

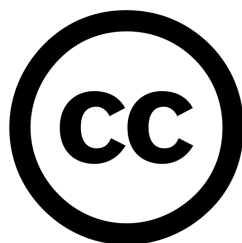
BOKEN OM NATURVETENSKAP



.se

LUDVIG WELLANDER

Omslagsbild: Satellitbild över Hawaiiöarna.



Denna bok har en Creative Commons BY-NC-ND-licens. Det betyder att det är tillåtet att kopiera, sända och distribuera boken, under förutsättning att upphovsmannen anges, att boken inte används för kommersiella syften och att inga förändringar, bearbetningar eller påbyggnader av boken görs.

Innehåll

INLEDNING	6
NATURVETENSKAP.....	7
Tre typer av naturvetenskaplig kunskap	8
NATURVETENSKAPENS PRODUKTER	9
Nатурlagar	9
Begrepp	11
Hypoteser	11
Teorier	11
Modeller	12
NATURVETENSKAPENS PROCESSER	13
Naturvetenskapliga metoden	13
Naturvetenskapliga metoden i skolan	14
NATURVETENSKAPENS ROLL I VÄRLDEN	15
Tillämpad naturvetenskap	17
VARFÖR SKA MAN LÄRA SIG NATURVETENSKAP?	18
ASTRONOMI	19
SOLASTRONOMI	20
Solens livscykel	20
Solens beståndsdelar	20
Solens uppbyggnad	20
PLANETÄR ASTRONOMI	23
Solsystemets uppkomst	23
Planeter	24
Dvärgplaneter	30
Månar	33
Small solar system bodies (SSSBs)	36
Exoplaneter	39
STJÄRNASTRONOMI	40
Stjärnbildning	40
Stjärndöd	40
GALAKTISK ASTRONOMI	42
EXTRAGALAKTISK ASTRONOMI, KOSMOLOGI	44
Universums historia	44
Bevis för Big Bang-teorin	50
Universums geometri och storlek	51
Universums beståndsdelar, massa och densitet	52
Universums expansion och utveckling	53
Avstånd i universum	54
GEOVETENSKAP	56
METEOROLOGI	57
Atmosfärens lager	57
Väder	59
Några väderfenomen	62
KLIMATOLOGI	64
HYDROLOGI, OCEANOLOGI, LIMNOLOGI OCH GLACIOLOGI	65
Vattnets kretslopp	65
Fördelning av jordens vatten	66
PEDOLOGI	67

Jordbildning	67
Jordarter och jordmåner	68
GEOLOGI	69
Jordens geologiska historia.....	69
Jordens inre skikt.....	71
Kontinentaldrift och plattetektonik	73
Mineral och bergarter	76
GEODESI.....	78
BIOLOGI.....	79
LIV	80
Egenskaper hos levande organismer.....	80
Arter och artbildning	82
ZOOLOGI	86
BOTANIK.....	89
MYKOLOGI.....	90
MIKROBIOLOGI	92
CELLBIOLOGI	93
Prokaryota celler	93
Eukaryota celler	95
GENETIK	97
DNA.....	97
Från DNA till protein.....	98
Fortplantning och mutationer	99
EKOLOGI.....	101
Individen	101
Populationen	101
Organismsamhället.....	102
Ekosystemet	103
EVOLUTIONSBIOLOGI.....	105
Bevis för evolutionsteorin	105
Naturligt urval.....	107
Livets historia.....	111
KEMI.....	121
ATOMEN	122
Hur ser en atom ut?.....	122
Atomens uppbyggnad.....	123
Periodiska systemet.....	125
ATOMER SOM SITTE IHOP	127
Jonbindning och jonföreningar.....	127
Elektronparbindning och molekyler	129
Dipolbindning och vätebindning.....	130
Metallbindning	130
RENA ÄMNEN OCH BLANDNINGAR.....	132
Rena ämnen.....	132
Blandningar.....	132
AGGREGATIONSTILLSTÅND	133
KEMISKA REAKTIONER	135
FYSIK	137
PARTIKELFYSIK	138
Fermioner	138
Bosoner.....	139
KLASSISK MEKANIK.....	141
Newtons rörelselagar	141

Newtons gravitationslag	142
Ljud	143
ELEKTROMAGNETISM	145
Elektricitet	145
Magnetism.....	148
Elektromagnetisk strålning	148
RELATIVITETSTEORI	150
Speciella relativitetsteorin	150
Allmänna relativitetsteorin.....	151
TERMODYNAMIK	152
Energi och energiformer.....	152
Energiutvinning.....	154
Värme och temperatur	157
$E = mc^2$	160
KVANTFYSIK (KVANTMEKANIK)	162
Partikel-våg-dualiteten	162
Osäkerhetsprincipen.....	163
BILDFÖRTECKNING.....	165
KÄLLFÖRTECKNING	170
INDEX	171

Inledning

Boken om naturvetenskap är riktad till förskole- och grundskolelärare som önskar att fördjupa sina kunskaper i naturvetenskap.

Boken behöver inte läsas från början till slut. För att söka information finns inledningsvis en innehållsförteckning och längst bak ett index. Där så är lämpligt finns i texten sidhänvisningar.

Boken har som mål att genom en representation av naturvetenskapens alla delar ge grundläggande kunskaper inom ämnet, samt skapa ett ramverk för framtida kompletterande kunskaper.

Bokens indelning av naturvetenskap följer forskningens. Varje naturvetenskap har ett eget kapitel och varje disciplin en egen sektion. Detta för att ge en komplett, om än endast översiktlig, bild av naturvetenskap.

Ett inledande kapitel beskriver vad naturvetenskap som helhet är, följt av en kortare motivering till varför alla bör lära sig naturvetenskap.

Boken är skriven av Ludvig Wellander, som en del av www.experimentarkivet.se, en sida med enkla och roliga experiment att göra hemma eller i skolan.

I slutet av boken finns ett bildregister med tillhörande upphovsrättslig information.



Bild: Många av bildtexterna är hämtade från webbplatsen *Världens häftigaste* (www.facebook.com/varldenshaftigaste, Andreas Wellander och Ludvig Wellander).

Naturvetenskap

Naturvetenskap är vetenskapen om naturen. Naturvetenskap är egentligen ett samlingsnamn för flera naturvetenskaper. Dessa är:

- **Astronomi** (s. 19) = Vetenskapen om himlakropparna och universum.
- **Geovetenskap** (s. 56) = Vetenskapen om planeten jorden.
- **Biologi** (s. 79) = Vetenskapen om livet och livets processer.
- **Kemi** (s. 121) = Vetenskapen om materias uppbyggnad, egenskaper och omvandlingar (dock på minsta nivån av atomer).
- **Fysik** (s. 137) = Vetenskapen om materia, energi och krafter.

Med *naturen* menas alltså här allt som finns i den fysiska världen, inte bara "den gröna naturen" med växter och djur – utan allt från elementarpartiklar (s. 138) till hela universum (s. 44).

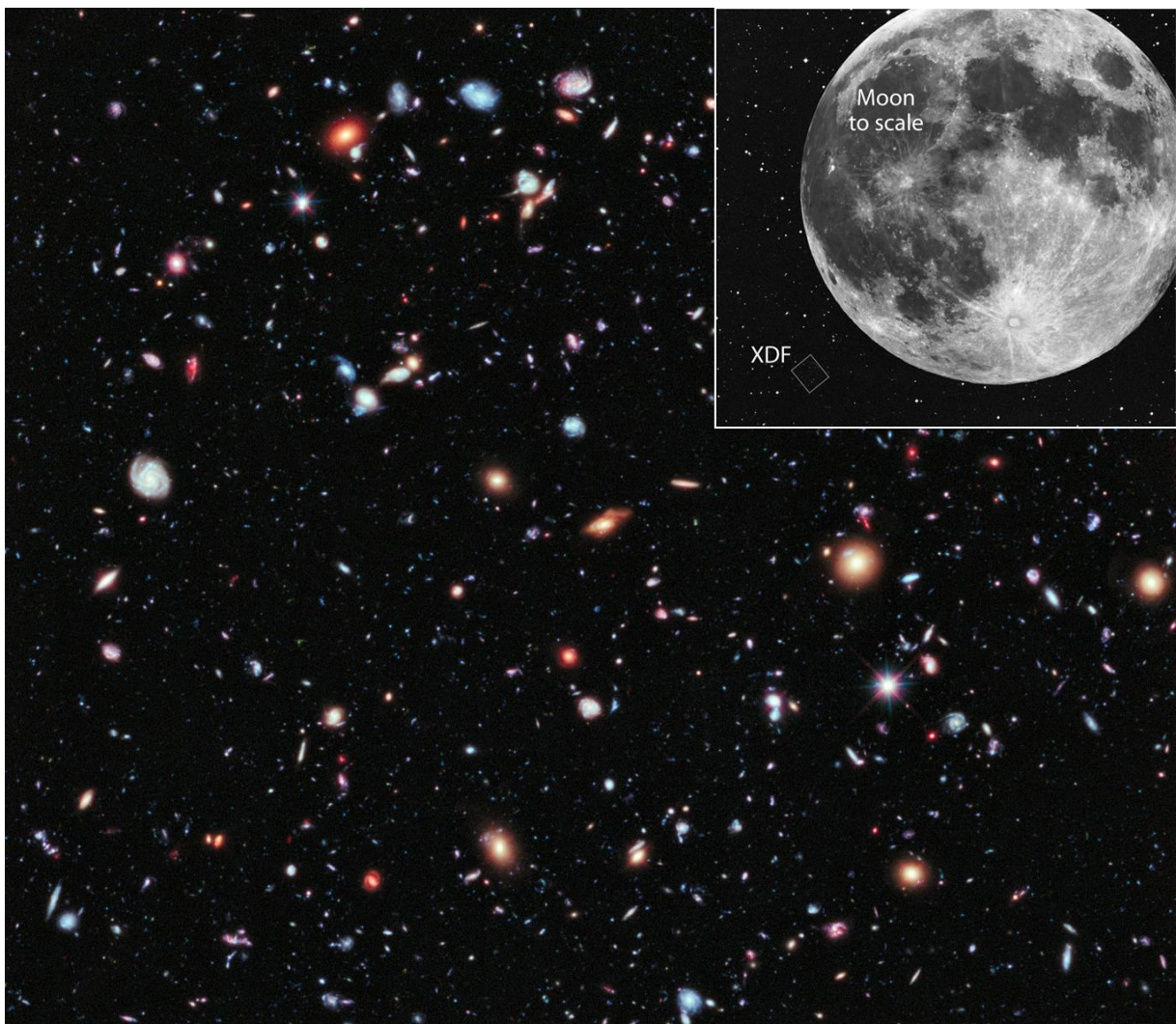


Bild: I september 2012 släppte NASA världens hittills "djupaste" fotografi – *Hubble eXtreme Deep Field (XDF)*). En liten del av natthimlen har fotograferats av rymdteleskopet Hubble, under en exponeringstid av 23 dagar. I bilden finns runt 5 500 galaxer, varav vi ser några som de såg ut endast 450 miljoner år efter Big Bang (de minsta, rödaktiga prickarna). Naturen är stor och naturvetare har mycket att göra.

Eftersom naturvetenskap är "vetenskapen om naturen" kan det tyckas som att forskare inom naturvetenskap studerar precis allt, och att det inte finns utrymme för människor att studera något annat än naturvetenskap. Detta stämmer dock inte. När det kommer till de flesta rent mänskliga fenomen lämnar naturvetare över stafettpinnen till människor som studerar exempelvis geografi, filosofi och medicin. Inte heller teknologi och matematik räknas inte till naturvetenskap. Så naturvetenskap är alltså vetenskapen om naturen – undantaget de flesta rent mänskliga fenomen.

Naturvetenskap eller NO?

Av de fem naturvetenskaperna återfinns endast tre av dem bland grundskolans ämnen. Dessa är biologi, kemi och fysik, vilka tillsammans kallas *naturorienterande ämnen (NO-ämnen)*. Dock hittar man faktiskt astronomi "gömt" i kursplanen för fysik. Geovetenskap å andra sidan, hittar man bara delvis gömt bland NO-ämnena. Det som handlar om atmosfären finns inom ämnet fysik, medan det som handlar om jordklotets yta och inre återfinns inom ämnet geografi. Hur det blivit så här är oklart, men har antagligen historiska och praktiska orsaker.

Tre typer av naturvetenskaplig kunskap

Det finns tre olika delar av naturvetenskap att lära sig, alltså tre olika sorters naturvetenskaplig kunskap (efter Sjöberg, 2004):

1. Naturvetenskapens produkter – Allt det vi "vet" om naturen. Naturlagar, begrepp, teorier och annat som förklarar och beskriver naturen.
2. Naturvetenskapens processer – Metoder och tekniker för att skapa naturvetenskapens produkter. Här ingår även arbetsformer, logik, värden och ideal. Naturvetenskap består av effektiva sätt att lösa uppgifter på. Denna punkt kan sammanfattas som "Den naturvetenskapliga metoden", även om detta är förenklat. Exempel på naturvetenskapliga processer är att experimentera, observera, klassificera, mäta, räkna, använda teknik, läsa grafer och tabeller, samt dokumentera.
3. Naturvetenskapens roll i världen – Naturvetenskap är en världslig institution. Dess roll märks bland annat genom dess pågående konflikt med religion, hur den ligger till grund för demokratiska beslut samt hur den är en del av kulturen.

I grundskolans läroplan läggs fokus på alla dessa tre. De tre förmågorna inom fysik, kemi och biologi motsvarar dessa tre kunskapstyper.

Vad som är viktigt att komma ihåg är att en del av naturvetenskapens processer inte är specifika för naturvetenskap (att observera, klassificera och tolka fakta görs exempelvis även inom samhällsvetenskap).



Bild: Det största jordskredet i modern historia inträffade när vulkanen Mount St. Helens i USA hade utbrott 1980. Ungefär tre kubikkilometer av berget gled iväg och dess topp sänktes från 2 950 m.ö.h. till 2 549 m.ö.h. Utbrottet och jordskredet tog 57 människors liv. U.S. Geological Survey beräknar att ytterligare 7 000 större däggdjur dog och tillräckligt mycket virke för att bygga 300 000 villor förstördes. Naturvetenskaplig kunskap innebär att kunna förklara och förutse vulkanutbrott, men även att använda metoder för att arbeta med vulkanutbrott, samt att förstå vilken roll naturvetenskapen har i världen.

Naturvetenskapens produkter

Forskare inom naturvetenskap studerar naturen för att kunna ge en allt bättre beskrivning eller förklaring av den. Resultatet av denna forskning blir "produkter" i form av naturlagar, begrepp, hypoteser, modeller och teorier.

Naturlagar

Inom naturvetenskapen söks efter naturlagar. En *naturlag* är ett påstående baserat på en observerad regelbundenhet i naturen, och som ger testbara förutsägelser bortom de omedelbara förhållanden där regelbundenheten observerades. Låter det krångligt? Här kommer ett exempel. Om alla organismer (levande varelser) i Sverige undersöks och man finner att alla består av en eller flera celler kan man formulera naturlagen "alla organismer består av en eller flera celler". Detta påstående uppfyller kriterierna för att vara en naturlag: (1) den är baserad på en observerad regelbundenhet i naturen och (2) den ger testbara förutsägelser bortom de förhållanden (alltså i Sverige) där regelbundenheten observerades. En sådan testbar förutsägelse skulle kunna vara: "alla organismer i Norge består av en eller flera celler".

Ett annat exempel på en naturlag är energiprincipen: "ingen energi kan uppstå eller förbrukas, endast omvandlas från en form till en annan". Även ett sådant simpelt påstående som "rådjur föder levande ungar" kan ses som en naturlag, men här skulle många naturvetare tycka att det har blivit *för* simpelt för att kallas en naturlag. Många naturvetare anser nämligen att det endast är de mest grundläggande naturlagarna som verkligen ska få kallas naturlagar. Att rådjur föder levande ungar kan nämligen ses som en naturlig följd av andra, mer grundläggande, naturlagar. De mest grundläggande naturlagarna hittar man inom fysiken, den mest grundläggande naturvetenskapen.

Många naturlagar kan även skrivas matematiskt. Ett exempel på en sådan naturlag är Newtons gravitationslag (s. 142): "två kroppar dras till varandra med en kraft som är större ju större deras massor är och mindre ju längre avståndet mellan dem är". Den här naturlagen behöver preciseras mer, och detta är enklast att göra med matematik. Naturlagen skrivs då $F = Gm_1m_2/r^2$, där G är gravitationskonstanten $6,6743 \times 10^{-11}$.

Påståendet "datorerna på kontoret är svarta" är ingen naturlag eftersom detta påstående inte gäller utanför de omedelbara förhållanden där regelbundenheten observerades. De flesta naturvetare anser dock att en naturlag inte behöver gälla i *exakt hela* naturen, utan att den endast kan gälla under vissa förhållanden. Då anges detta i naturlagen. Ett exempel är Ohms lag: "strömstyrkan i en ledare ökar proportionellt med spänningen, men endast i kretsar där resistensen (motståndet) inte förändras".

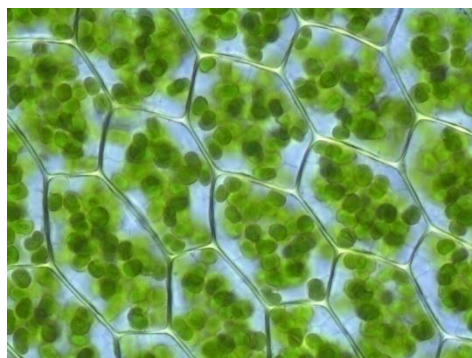


Bild: Alla organismer består av en eller flera celler. Här är växtceller i mikroskop. De runda strukturerna är kloroplaster (s. 96).

Är allt förbestämt?

Naturen styrs av naturlagar. Man kan tänka på naturlagar som de regler naturen måste följa – precis som att medborgarna i ett samhälle måste följa lagboken. Skillnaden är dock att naturen inte kan bryta mot lagen. Om så sker betyder det att naturlagen man tror sig ha hittat är felaktig.

Man kan också se det som att naturen förklaras av naturlagar. Med tillräckligt många naturlagar kan man förutse allt som man kan hitta och allt som kommer att hända i naturen.

Konsekvensen av naturlagar blev för många naturvetare, fram till för cirka 100 år sedan, att allt är förbestämt. Detta kallas *determinism*. Enligt naturvetenskaplig determinism kan man beräkna allt som kommer att hända i framtiden, även när man kommer att dö, vad det blir för lunch näst fredag och vem som kommer att vinna fotbolls-VM år 2040. Dock måste man då veta det exakta tillståndet hos allt (partiklars mängd, hastigheter, positioner med mera) i universum vid en viss tidpunkt, vilket i praktiken är omöjligt. Men enligt determinismen är det i alla fall teoretiskt möjligt. Det kan vara svårt att tro att man även kan förutse människors beteenden. Men enligt determinismen är fri vilja en illusion. Om man vet tillståndet hos de tusen miljarder miljarder molekyler som finns i människokroppen samt tillståndet hos alla faktorer som kan påverka dessa, samt kan räkna ut ungefär lika många ekvationer, kan man förutse en människas beteende. Beteendet styrs av hjärnan och hjärnans funktioner är i huvudsak kemiska reaktioner.

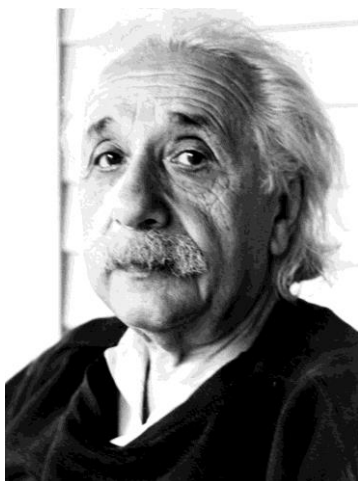


Bild: Albert Einstein var en av fysikerna bakom kvantfysiken (s. 162). Han gillade dock inte att naturen tycktes omöjlig att förutse på subatomär nivå.

Determinismen fick sig dock en kraftig törn i och med utvecklandet av kvantfysiken (s. 162) under de första decennierna av 1900-talet. Kvantfysiken introducerade en helt ny typ av naturlagar i naturvetenskapen. I stället för naturlagar som gjorde förutsägelser om vad som skulle ske, kom nu naturlagar som gjorde förutsägelser om vad som skulle *med en viss sannolikhet*. Enligt kvantfysiken kan man på subatomär nivå aldrig förutse med säkerhet vad som ska ske, även om man vet alla partiklars tillstånd vid en viss tidpunkt. Det är som att naturen spelar tärning, för att använda ett uttryck Einstein använde om kvantfysiken. Dessa naturlagar är på ett sätt upprörande, men på ett annat sätt väldigt vackra. De förklarar nämligen väldigt väl hur observationer visat att naturen faktiskt fungerar, och även om de inte stämmer överens med vår intuition har fysiker accepterat dem av den anledningen. Vår intuition bygger ju på vardagliga erfarenheter av naturen, men det finns ingenting som säger att den subatomära världen fungerar såsom saker och ting i vår vardag. När observationer visar att den subatomära världen beter sig på ett sätt som vänder upp och ner på sunt förnuft är detta inget problem. Utvecklingen av kvantfysik belyste på detta sätt kärnan av naturvetenskap, nämligen att observationer ligger till grund för vår förståelse av naturen, inte sunt förnuft, intuition, förutfattade meningar eller tro.

Falsifiering

Ingen naturlag kan ses som slutgiltig. Det kan upptäckas att den är fel. Då kallas det att naturlagen *falsifieras*, det vill säga förklaras felaktig. Till exempel, naturlagen "alla organismer består av en eller flera celler" har än så länge visat sig stämma i alla förhållanden, men det finns en möjlighet att någon kommer att upptäcka organismer som inte består av celler. Då falsifieras naturlagen.

Detta är centralt inom naturvetenskapen – att naturlagar kan falsifieras. Och de kan alltid falsifieras, eftersom de ger förutsägelser som kan testas. Naturlagen "alla organismer består av en eller flera celler" leder till förutsägelsen "alla organismer i Norge består av en eller flera celler" eller "alla organismer i Finland består av en eller flera celler". Dessa förutsägelser kan testas för att se om de stämmer. Och hittas organismer som inte består av celler falsifieras naturlagen. Vad som händer då är att en ny naturlag skrivs, som bättre beskriver naturen.

Det finns en del naturlagar som har stått sig i decennier och som förmodligen kommer att göra det länge till. Dock har det skett några stora falsifieringar. Ett exempel är när Newtons gravitationslag (s. 142) på 30-talet ersattes av naturlagarna i Einsteins allmänna relativitetsteori (s. 151), eftersom Einstein kunde förklara samma fenomen som Newton, plus vissa fenomen som Newton inte kunde. Bland annat kunde Merkurius omloppsbana inte förklaras av Newtons gravitationslag, men däremot av Einsteins teori.

Detta är en av naturvetenskapens grundidéer – naturlagar måste formuleras så att de kan testas. Då kan de eventuellt falsifieras och därmed ersättas av en bättre naturlag. Beskrivningen av naturen blir mer korrekt, mer noggrann. Naturvetenskapen går framåt. I skolan undervisas ofta "stabil" naturvetenskap. Elever kan då lätt få en bild av naturvetenskap är auktoritärt och evigt. Detta är en paradox mot naturvetenskapens sanna natur.

Naturlagar kan framstå som enkla att komma på men är det verkligen inte. Det är bara i efterhand lagen framstår som enkel. Detta är värt att tänka på när lärare låter sina elever observera ett fenomen i naturen och väntar på att eleverna ska komma fram till samma slutsatser som Newton eller Einstein.

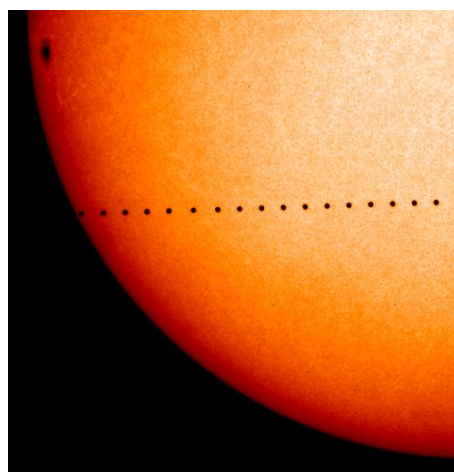


Bild: Här syns Merkurius (s. 24) passera framför solen, sett från jorden. Merkurius omloppsbana kunde inte helt förklaras av Newtons gravitationslag, vilken senare blev falsifierad.

Begrepp

För att en naturlag ska ha någon som helst betydelse måste orden i naturlagen förklaras, definieras. Vad betyder orden *organism* och *cell* i naturlagen "alla organismer består av en eller flera celler"? De lite krångliga definitionerna lyder: "organism = ett från omgivningen fristående system kapabelt till ämnesomsättning, förökning och evolution", "cell = ett utrymme omgivet av ett dubbelt lager lipider (ungefär; fettmolekyler)". Nu har naturlagen en innebörd. Ett ord, såsom *organism* eller *cell*, med en bestämd definition kallas ett *begrepp*. Att ge ord definitioner och därmed göra dem till begrepp kallas att *operationalisera*, det vill säga att göra orden klara för användning. Begrepp gör att när naturvetare kommunicerar med varandra så menar de samma sak när de använder ett visst ord.

En del begrepp definieras genom att ange hur det mäts eller med hjälp av siffror.

Begreppen är legobitar i naturvetenskapen. En viktig grundsten i undervisningen i naturvetenskap handlar om att lära sig begrepp. Till exempel: *evolution*, *atom*, *ljus*, *kraft*, *galax* och *ryggradsdjur*.



Bild: Naturlagen "alla organismer består av en eller flera celler" förutsäger att alla organismer i Norge består av en eller flera celler.

Hypoteser

En *hypotes* är en kandidat till en naturlag, och grundar sig på observationer. En hypotes kan precis som en naturlag falsifieras.

Ett påstående såsom "alla organismer består av en eller flera celler" blir inte en naturlag på en gång, utan det måste accepteras av forskare över hela världen först som tillsammans anser att det stämmer. Föreställ dig att påståendet "alla organismer består av en eller flera celler" hade formulerats av dig efter att du undersökt en dagmask och ett grässtrå på en åker. Dessa två observationer hade inte räckt för att forskare över hela världen skulle acceptera påståendet som en naturlag. Ditt påstående hade då kallats en hypotes.

Teorier

Naturlagar styr den natur som vi observerar. Men det behövs mer än naturlagar, och begrepp, för att verkligen förstå hur naturen fungerar. För att ge en komplett förklaring av en viss aspekt av naturen behövs en samling naturlagar plus en utförlig beskrivning av den natur som naturlagarna styr. Till exempel, naturlagarna "alla organismer består av en eller flera celler", "alla celler uppstår ur redan existerande celler" och "cellen är den minsta funktionella enheten i en organism" styr den delen av naturen som kan kallas den biologiska naturen, alltså organismerna. Här behöver man beskriva djur, växter, svampars uppbyggnad. Man behöver beskriva hur de förökar sig. Man behöver beskriva en cell ingående. Då börjar man förstå hur saker och ting fungerar. Detta – en samling naturlagar och en beskrivning av den natur de styr – kallas en *teori*. Här närmade vi oss den teori som brukar kallas cellteorin (s. 93).

Det är inte helt klart var gränsen mellan beskrivningar och naturlagar går. De naturvetare som hävdar att fysikens naturlagar är de enda sanna naturlagarna skulle exempelvis inte anse att cellteorin innehöll några naturlagar alls, endast beskrivningar. Å andra sidan skulle naturvetare som hävdar att nästan alla påståenden om naturen är naturlagar anse att cellteorin bara innehåller naturlagar, inga beskrivningar. Oavsett synpunkt, så ger en teori en utförlig förklaring av en viss del av naturen baserad på observationer.

En ensam naturlag är beskrivande, medan en teori är mer förklarande. Andra exempel på teorier är allmänna relativitetsteorin (s. 151) som förklarar hur gravitation fungerar och Big Bang-teorin (s. 44) som förklarar hur universum som helhet uppstod och utvecklades.

Om en naturlag i en teori falsifieras, falsifieras även teorin. Dock går man i regel inte så långt som att falsifiera hela teorin, utan oftast ändras bara den naturlagen och teorin justeras därmed till att bättre förklara naturen.

Begreppet *teori* används ibland synonymt med *hypotes*, alltså en kandidat till en naturlag. Ganska ofta används också begreppet *teori* om en samling hypoteser. Detta är exempelvis fallet med strängteorin, vilken innehåller massor av kandidater till de mest grundläggande naturlagarna.

Modeller

Dock kan man aldrig vara säker på att man beskriver den verkliga naturen, eftersom det kanske inte är den verkliga naturen man observerar. Detta låter märkligt – är det inte verkligheten man som människa ser? Kanske, men enligt naturvetenskapen kan man inte veta detta säkert. Precis som att vi inte med säkerhet kan säga att naturlagarna är sanna (de kan ju alltid falsifieras) kan vi inte heller med säkerhet säga att vår upplevelse av naturen är sann. Det enda vi med säkerhet kan säga är att vi observerar den variant av naturen som är observerbar för oss – vi observerar vår *modell* av naturen. Och det är denna modell som naturlagarna styr.

Om denna syn på verkligheten låter underlig kan man, som fysikerna Hawking och Mlodinov (2011), tänka på en gulfisk i en skål. När den tittar ut genom skålen ser den en förvrängd verklighet genom det krökta glaset.



Bild: En gulfisk i en skål upplever (utöver djurplågeri) en annan verklighet än en människa. Till exempel rör sig föremål i krökta banor i stället för raka.

Till exempel skulle föremål inte röra sig i raka banor som i vår verklighet, utan i krökta banor. Dock skulle gulfisken likväl kunna formulera naturlagar som korrekt skulle beskriva den natur den observerade.

Tänk om det är vi är gulfisken, och att vi ser en förvrängd bild av den sanna naturen? Det finns faktiskt flera saker som pekar på det. Till exempel verkar subatomära partiklar ibland inte existera förrän de mäts. Det är som att de försvinner ur den modell av naturen vi kan observera. Dessutom kan universum, enligt strängteorin, bestå av 11 dimensioner i stället för de fyra (tre rumsdimensioner och tiden) vi kan observera i vår modell.

Vår modell av verkligheten förändrades ganska drastiskt i och med upptäckten av mörk materia ([s. 52](#)) och mörk energi ([s. 53](#)).

Det är dock inte bara hela naturen som vi har en modell av. Även vissa mindre delar av naturen, som vi känner oss särskilt osäkra på eller som behöver förenklas, förklaras bäst genom modeller. Exempel på sådana modeller är atommodellen ([s. 122](#)) och vattnets kretslopp ([s. 65](#)).

Naturvetenskapens processer

Att komma fram till naturlagar och sedan teorier är kärnan i naturvetenskapen, eftersom man då förstår naturen. I föregående stycke har vi redan nämnt lite om hur det går till, men här beskrivs det mer strukturerat. De processer som används när man arbetar naturvetenskapligt kan sammanfattas till en arbetsmetod – *naturvetenskapliga metoden*.

Naturvetenskapliga metoden

Som exempel tar vi vår påhittade arbetsgång som ledde fram till naturlagen ”alla levande organismer består av en eller flera celler”.

1. Observation

Processen börjar med en observation. En *observation* innebär att registrera något genom ett sinne. Oftast observerar man med hjälp av synen, men det kan lika gärna ske med hjälp av hörseln, känseln, smaken eller lukten. Det kan även ske med teknisk utrustning som hjälp. I detta exempel samlar du in ett djur och en växt, närmare bestämt en dagmask och ett grässtrå. Du skär båda i tunna skivor (stackars dagmask), lägger skivorna under ett mikroskop och tittar. Både i provet från dagmasken och från grässtrået ser du att vävnaden är indelad i separata rum – celler.

Att observera kan även kallas att utföra en *undersökning*. En undersökning där människan har en aktiv roll i att förändra förhållandena som råder, brukar kallas ett *experiment*. Om ett experiment utförs på ett laboratorium kan man även kalla det för en *laboration*.



Bild: Astronauten Tracy Caldwell observerar jorden från Internationella rymdstationen.

2. Formulering av hypotes

Du formulerar en hypotes, en kandidat till en naturlag, nämligen ”alla levande organismer består av en eller flera celler”.

3. Test av hypotes

För att hypotesen ska kunna bli en naturlag måste den testas. Detta görs genom fler observationer, inom ramarna för undersökningar, experiment eller laborationer. Din hypotes om att ”alla levande organismer består av en eller flera celler” ger bland annat förutsägelsen ”alla organismer i Norge består av en eller flera celler”. Denna förutsägelse kan testas, genom att norska forskare kan undersöka de organismer som finns där och se om de består av celler. Likväl kan samma undersökning ske runt om i världen.

4. Formulering av naturlag

När forskare runt om i världen är eniga om att hypotesen ”alla organismer består av en eller flera celler” stämmer överens med det vi kan observera, blir den en naturlag. I detta fall får naturlagen samma formulering som hypotesen, men så behöver det inte vara. Hade man exempelvis kommit fram till att alla organismer utom svampar består av celler, kunde naturlagen ha formulerats: ”alla organismer består av celler, utom svampar”. Hypotesen kan alltså bara vara något att arbeta vidare från. Det kan vara lika lyckat att förklara den felaktig (falsifiera den), man kan ändå komma fram till en ny naturlag.

Det är återigen värt att nämna att det råder oenighet bland forskare om alla regelbundenheter i naturen verkligen ska kallas naturlagar. Många anser att det endast är de mest grundläggande naturlagarna, i regel de inom fysiken, som är de verkliga naturlagarna. Övriga regelbundenheter i naturen är nämligen endast en följd av dessa.

5. Teori

Även om du känner dig nöjd med att ha bidragit till hypotesen som ledde fram till naturlagen "alla organismer består av en eller flera celler", fortsätter andra forskare att hitta naturlagar som styr den biologiska naturen. Exempelvis: "alla celler uppstår ur redan existerande celler" och "cellen är den minsta funktionella enheten i en organism". Dessutom beskriver forskare den del av naturen de styr, nämligen den biologiska naturen. Man beskriver djur, växter och svampars uppbyggnad. Man beskriver hur de förökar sig. Man beskriver en cell ingående. Först då börjar man förstå hur saker och ting fungerar. Detta – en samling naturlagar och en beskrivning av den natur de styr – kallas en teori. Just denna teori, som förklarar sambandet mellan levande organismer och celler, kallas cellteorin (s. 93).

Naturvetenskapliga metoden i skolan

När barn och elever arbetar efter den naturvetenskapliga metoden i skolan brukar den förenklas lite. Den ser i stället ofta ut så här:

1. Hypotes

Inom skolundervisning brukar man hoppa över den inledande observationen. Barnen får i stället direkt formulera en hypotes utifrån deras erfarenheter. En lärare ställer ofta en fråga, exempelvis "tror du ett ägg flyter i saltvatten?" och barnen får utifrån denna frågeställning formulera en hypotes. Denna hypotes kan då bli "ett ägg flyter i saltvatten", men lika gärna "ett ägg sjunker i saltvatten".

En hypotes som inte grundar sig på några observationer anser en del forskare inte får kallas för *hypotes*. I stället bör något annat ord användas, exempelvis *förutsägelse*.

Man kan docka anse att elevernas hypotes eller förutsägelse faktiskt grundar sig på observationer, nämligen de observationer de gjort i hela sitt tidigare liv angående ägg och vatten.

2. Test av hypotes

Efter att barnen eller eleverna har formulerat en hypotes brukar den testas genom en undersökning, ett experiment eller en laboration. Detta ger fler observationer, vilka antingen stödjer eller motbevisar hypotesen.

3. Slutsats

Detta steg brukar i skolan kallas *slutsats* i stället för *formulering av naturlag*. Detta eftersom de undersökningar, experiment eller laborationer som genomförs i skolan knappast kan ses som tillräckliga för att bekräfta en hypotes som en naturlag.



Bild: Experiment har visat att olika delar av stammen hos en del växtarter leverar vatten till olika delar av blomman. Regnbågsfärgade blommor går hos dem att få fram genom att klyva stammen i flera delar och placera varje del i färgat vatten. Vattnet avdunstar från blomman medan färgmolekylerna stannar kvar.

Naturvetenskapens roll i världen

Naturvetenskap är ett *kunskapsområde*, det vill säga en samling av mänsklig kunskap. Allt som berör människan, allt som vår värld består av, kan delas in i kunskapsområden. Ett kunskapsområde kan vara en vetenskapsdisciplin, en studiedisciplin, eller ett allmänt känt intresse- och/eller aktivitetsområde.

Naturvetenskapen påverkar alla andra kunskapsområden och alla andra kunskapsområden påverkar naturvetenskapen. Genom att titta på hur, förstår man naturvetenskapens roll i världen.

Vi följer här engelskspråkiga Wikipedias indelning av kunskapsområden och ger några exempel.

Kultur och konst

Film och litteratur innehåller ofta skildringar av naturvetenskap. En viktig del av naturvetenskapens status beror troligtvis på hur den framställs i dessa medier. Ett exempel är "den onda vetenskapsmannen" som skapar giftiga brygder och elaka monster. Men det är också vanligt med historier om den ensamma forskaren som räddar världen efter att ha upptäckt något ingen annan gjort. Det finns till och med en hel genre inom film och litteratur som bygger på vetenskap, och nästan alltid just naturvetenskap, nämligen *science fiction*.

Geografi och platser

Geografi blandas lätt ihop med geovetenskap, och här görs ett försök med att reda ut begreppen. *Geografi* är vetenskapen om hur människan och naturen påverkar jordytan. Det är en speciell vetenskap som har både ett samhällsvetenskapligt och ett naturvetenskapligt element. Geografi består nämligen av två stora delar (samt några mindre, i sammanhanget oviktiga): kulturgeografi samt naturgeografi.

Kulturgeografi är den samhällsvetenskapliga delen av geografi.

Kulturgeografi är vetenskapen om hur människan påverkar jordytan.

Naturgeografi är den naturvetenskapliga delen av geografi.

Naturgeografi är vetenskapen om hur naturen påverkar jordytan.

Naturgeografi består i sin tur av två delar; biologisk geografi och fysisk geografi, där *biologisk geografi* är vetenskapen om organismers fördelning över jorden och *fysisk geografi* är vetenskapen om hur geovetenskapliga processer påverkar jordytan. Biologisk geografi är därmed nära släkt med biologi, medan fysisk geografi och geovetenskap i stort sett är samma sak, men den främsta skillnaden är antagligen att fysisk geografi studeras av geografer (som är mer samhällsvetenskapligt lagda) och geovetenskap studeras av geovetare (som är mer naturvetenskapligt lagda). Hur som helst är sambandet mellan geografi och naturvetenskap är stort.



Bild: Skådespelaren George Takei spelade löjtnant Sulu i flera Star Trek-serier och -filmer. Star Trek nämns ofta som typexemplet på science fiction. Star trek-hälsningen är obligatorisk för fans att kunna.

Hälsa och fitness

Biologer studerar hur organismer fungerar och påverkas av sin omgivning, vilket ligger till grund för deras hälsa och välbefinnande. En del biologer studerar endast människan medan andra, på grund av etiska eller praktiska skäl, studerar närbesläktade organismer i stället. Exempelvis har studier på råttor gett många resultat som är applicerbara på människan.

Det är dock inte biologer som främst studerar hur människan fungerar, utan forskare inom medicin. *Medicin* är vetenskapen om diagnostisering, behandling och förebyggande av sjukdomar och andra skador på kropp och sinne. Som tidigare nämnts är naturvetenskap vetenskapen om naturen – undantaget de flesta rent mänskliga fenomen. Medicin är ett tydligt exempel på när naturvetare lämnar över stafettpippen till forskare som är mer specialiserade på människan. Medicin kan ses som ett specialfall av zoologi, vilket är den del av biologin som studerar djur.

Historia och händelser

En del av människans historia handlar om hur naturvetenskapen utvecklats och blivit en del av vårt kulturarv. Väldigt kortfattat börjar naturvetenskapens historia i antikens Grekland, runt 600–300 år f.Kr., när filosofer som Thales och Aristoteles sökte efter naturens sanningar. Sedan skedde små framsteg fram till 1400- och 1500-talen när naturvetare som Nicolaus Kopernikus och Galileo Galilei presenterade observationer som kraftigt stred mot religions gällande världsbild. Sedan följde några århundraden med omvälvande paradigmskiften och



Bild: Fysikern Richard Feynman var känd för sitt arbete inom kvantfysik och för att testa hypoteser om hur man raggat kvinnor i barer.

nu på 2000-talet är antalet naturvetare fler än någonsin. Vår naturvetenskapliga kunskap är också större än någonsin, och vi är kanske till och med nära (?) att svara på de mest ultimata frågorna om hur universum uppstod, hur livet uppstod, vad medvetande är och hur allting kommer att sluta. Naturvetenskapens historia innehåller allt man önska sig i form av färgstarka personligheter (Albert Einstein och Richard Feynman), tragiska livsöden (Galileo Galilei och Antoine Lavoisier), kärlek (Marie och Pierre Curie) och samhällsomvälvande framsteg (evolutionsteorin och standardmodellen).

Matematik och logik

Matematik är ett oundgängligt verktyg för naturvetenskapen. Med hjälp av matematik går det att sammanfatta samband och processer i naturen på ett sätt som gör det enkelt att experimentera och arbeta vidare med dem. Särskilt inom fysik och astronomi är det vanligt att genom att endast räkna genomföra teoretiska experiment som omöjligt skulle kunna genomföras i praktiken. Genom att omvandla naturlagarna till matematiska formler går det att undersöka hur det exempelvis var strax efter Big Bang eller vad som händer i ett svart hål.

Människor och ego

Att vara naturvetare ger en känsla av samhörighet. Att vara naturvetare innebär ett sätt att tänka och ett förhållande till världen som man bara delar med andra naturvetare. Naturvetenskap blir en viktig del av ens identitet.

Filosofi och tänkande

De första naturvetarna var filosofer i antiken Grekland. På den här tiden fanns det ingen skillnad mellan naturvetenskap och filosofi, eftersom båda gick ut på att hitta sanningar genom att tänka. Med tiden utkristalliserade sig dock olika arbetssätt, där naturvetenskapen började baseras på observationer medan filosofin fortfarande baseras på intellektuella processer. Naturvetenskap kan dock fortfarande ses som en filosofi, det vill säga ett särskilt sätt att tänka på.

Religion och trossystem

Naturvetenskap har historiskt sett mött stort motstånd från religiösa och vice versa. Denna kamp pågår än idag, även om man är oense om hur stor den är. Biologen Richard Dawkins (2007) är en av de som anser att kampen fortfarande är stor och att den skadar samhället. Hans specialområde är evolutionsbiologi och han för en ständig kamp för att framföra de observationer som visar att religiösa bild av människans och jordens utveckling inte är förenlig med modern naturvetenskap. Andra hävdar dock att religion och naturvetenskap kan existera i samförstånd, och till och med komplettera varandra. Exempelvis anser en del att Big Bang-teorin endast förklarar hur vårt universum utvecklades efter att det skapats, men att teorin fortfarande lämnar utrymme för någon form av skapare. Denna skapare skulle ha bestämt naturlagarna, tryckt på "start" och sedan lämnat universum åt att sköta sig självt.



Bild: Basilisker är fyra ödlearter med förmågan att springa på bakbenen över vattnet. De kallas även "Jesus Christ lizards", vilket syftar på Bibelns berättelse om när Jesus gick på vattnet.

Samhälle och samhällsvetenskap

Naturvetenskap är en viktig del av samhället i de flesta länder. Likaså spelar samhället en viktig roll i naturvetenskapen.

Politiska beslut avgör hur mycket pengar som ska användas för forskning. Naturvetenskapliga observationer ligger också till grund för vissa politiska beslut. Ett exempel på detta är hur Sverige satsar pengar på klimatforskning, bland annat genom SMHI, vars resultat sedan används som underlag för politiska beslut om miljö.

Naturvetenskaplig forskning kostar pengar, men den kan även vara fördelaktig för ett lands ekonomi. Den genererar jobb och den ger resultat som kan användas för att uppnå ett ekonomiskt hållbart samhälle. Ett

exempel är hur forskning om vildlax i Östersjön visat att dess bestånd är på en rekordlåg nivå, men att detta går att vända och generera turism i form av sportfiske.

Teknologi

Teknologi är läran om teknik, och *teknik* är användandet av hjälpmedel för att utföra uppgifter. Dessa hjälpmedel kan antingen vara verktyg (fysiska saker), såsom lim, hammare, sugrör, tandkräm, möbler, motorvägar, flygplan, rymdskepp eller skidglasögon. De kan också vara metoder (icke-fysiska saker), såsom första hjälpen, klassifikationssystemet av biblioteksböcker eller den naturvetenskapliga metoden (s. 13).

Forskning inom naturvetenskap resulterar ofta i ny teknik. Men all teknik är inte resultatet av naturvetenskaplig forskning. Teknik kan lika gärna skapas med hjälp av exempelvis samhällsvetenskaplig forskning, eller ren uppfinnarglädje. Ibland behövs naturvetenskap för att förklara redan skapad teknik.

Tillämpad naturvetenskap

Tillämpad naturvetenskap kallas det när naturvetenskaplig kunskap används för att göra något nyttigt och användbart. All tillämpad naturvetenskap är därmed teknik, i alla fall enligt den definition på teknik som använts ovan.

Tillämpad naturvetenskap är en del i alla kunskapsområden som nämnts ovan. Exempel på områden där det används mycket tillämpad naturvetenskap är medicin, nutrition, jordbruk, skogsbruk, infrastruktur, energiutvinning, kommunikation, elektronik, robotik, fordonsteknik, kemiteknik, materialteknik och maskinteknik.

Den tillämpade naturvetenskapen inom dessa områden kan förhoppningsvis leda till världens kanske viktigaste mål – ett ekologiskt hållbart samhälle.



Bild: Saturn V är den längsta och tyngsta raket som någonsin använts. Den användes vid alla Apollo-månlandningar, samt vid uppskjutningen av rymdstationen Skylab. Den är 111 m lång och 10 m i diameter. Detta exemplar finns att beskåda på Space Center Houston i Texas. Det mesta av tekniken i raketen är tillämpad naturvetenskap, det vill säga ett resultat av naturvetenskaplig forskning.

Varför ska man lära sig naturvetenskap?

Varför ska *vissa* lära sig naturvetenskap?

Det är viktigt att fråga sig varför vi människor bör inhämta naturvetenskaplig kunskap. Kom ihåg att det finns tre typer av naturvetenskaplig kunskap; naturvetenskapens produkter, naturvetenskapens processer och naturvetenskapens roll i samhället.

Enligt Sjöberg (2004) finns två anledningar till att förvärva naturvetenskaplig kunskap:

1. Bildning – Naturvetenskaplig kunskap i sig är belöning nog. Att förstå naturen ger en sorts tillfredsställelse.
2. Nyttä – Naturvetenskaplig kunskap kan användas till något nyttigt. Naturvetenskaplig kunskap som används på något nyttigt vis kallas *tillämpad naturvetenskap*. Ett exempel är hur kunskaper inom elektromagnetism (s. 145) gör att vi kan kommunicera trådlöst över hela jordklotet. Massvis av andra exempel hittas inom bland annat jordbruk, skogsbruk, energiutvinning, informationsteknik, medicin, nutrition, elektronik, eller materialteknik.

Nyttoargumentet används oftast för att motivera naturvetenskap idag. Men för 100 år sedan och bakåt i tiden var läget annorlunda. Naturvetenskapen ledde då sällan till någon nytta. Typexemplet är antikens Grekland där dåtidens naturvetare (filosofer) endast strävade efter bildning.

Mycket av den tillämpade naturvetenskapen kan förhoppningsvis leda till ett ekologiskt hållbart samhälle. Just ett ekologiskt hållbart samhälle pekas ofta ut som den ensam viktigaste anledningen till att arbeta inom naturvetenskap. Ett problem med miljöproblemen är att vi som människor inte "känner" dem, eftersom de i jämförelse med en människas livstid sker långsamt. Därför behövs naturvetenskapens observationsmetoder för att påvisa dem.

Varför ska *alla* lära sig naturvetenskap?

Ovanstående två argument räcker inte till att motivera varför *alla* ska lära sig naturvetenskap, utan de räcker egentligen bara till att motivera varför *vissa* ska lära sig naturvetenskap. Men varför ska *alla* lära sig naturvetenskap, vilket är fallet i skolan? Här behövs nyttoargumentet utvecklas lite så att det gäller alla människor (efter Sjöberg, 2004):

1. Arbetsliv – Naturvetenskaplig kunskap behövs för ett lönsamt arbetsliv om man ska arbeta med naturvetenskap eller tillämpad naturvetenskap.
2. Vardagsliv – Naturvetenskaplig kunskap behövs för att klara av vardagslivet eftersom man i vardagslivet använder tillämpad naturvetenskap.
3. Demokrati – Naturvetenskaplig kunskap behövs för åsiktsbildning och ansvarsfullt deltagande i demokratin. Till exempel behövs kunskaper inom naturvetenskap för att leva miljövänligt, för att sälla bland medial information, för att inte bli lurad av politiker, samt för och att kunna följa med i nutidsorienteringen.
4. Kultur – Naturvetenskaplig kunskap behövs för att förstå vår kultur och dess världsbild, då naturvetenskap är den stor del av denna.

Värt att tänka på här är att argument 1 och 2 är svagare än 3 och 4, eftersom det där kan räcka med kunskaper i teknologi och inte i naturvetenskap.

Utöver dessa argument finns ett till, som inte motiverar ett ämnes plats i skolan, men som ändå är viktigt:

5. Nöje – Naturvetenskap är roligt. Det är spännande att lära sig om naturen. Det finns också flera hobbyer som berikas av kunskaper inom naturvetenskap, såsom stjärnskådning, växtodling, friluftsliv, läsa böcker, se på film och gå på museer.

Astronomi

Astronomi är vetenskapen om universum och dess himlakroppar. Astronomi delas in i mindre delar, så kallade discipliner, inom vilka man studerar olika delar av universum och dess himlakroppar. Genom att titta på de olika disciplinerna får man lättare en bild av vad astronomi innebär. Det finns inget bestämt sätt att dela in astronomi i discipliner, men denna variant är en av de vanligare.

- **Solastronomi** (s. 20) = Vetenskapen om solen.
- **Planetär astronomi** (s. 23) = Vetenskapen om objekt i omloppsbana runt stjärnor (planeter, månar, dvärgplaneter, asteroider, kometer, meteoroider och andra objekt).
- **Stjärnastronomi** (s. 40) = Vetenskapen om stjärnor.
- **Galaktisk astronomi** (s. 42) = Vetenskapen om vår galax Vintergatan.
- **Extragalaktisk astronomi** (s. 44) = Vetenskapen om universum utanför Vintergatan.
- **Kosmologi** (s. 44) = Vetenskapen om universum som helhet. Inom kosmologin studerar man universums uppkomst, evolution, struktur och framtid.

I *Astronomi*-kapitlet kommer extragalaktisk astronomi och kosmologi att behandlas tillsammans i samma avsnitt.

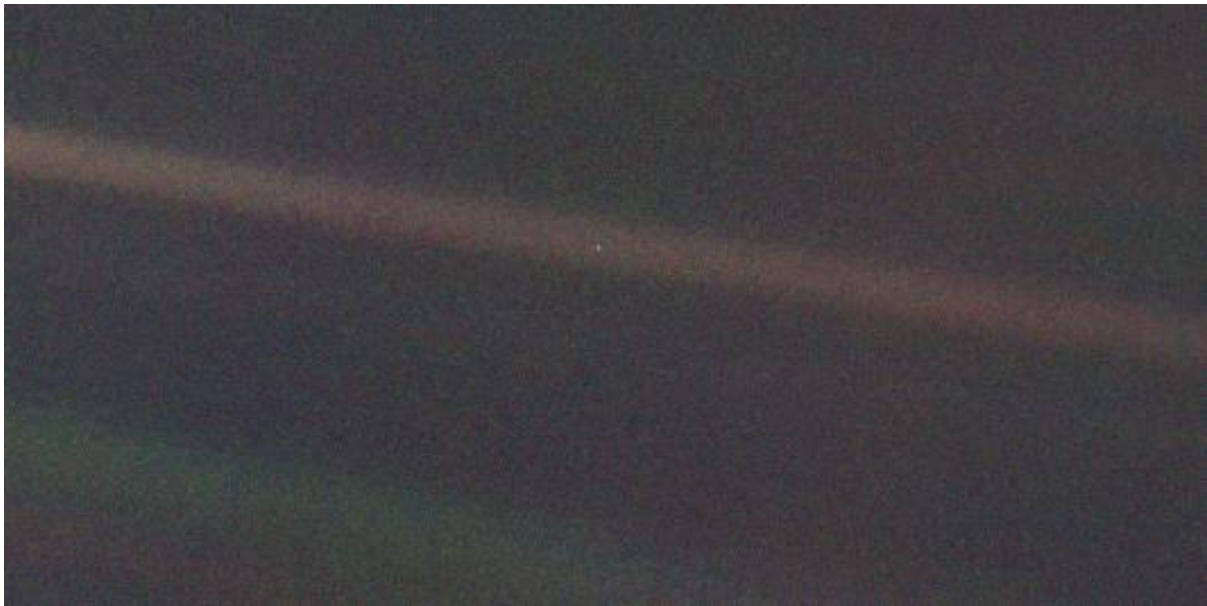


Bild: "Titta igen på den där prick. Det är här. Det är hem. Det är vi. På den har alla du älskar, alla du känner, alla du någonsin hört om, varje människa som någonsin funnits, levt sina liv. Summan av lycka och lidande, tusentals övertygade religioner, ideologier och ekonomiska doktriner, varje jagare och sökare, varje hjälte och fegis, varje skapare och förstörare av civilisationer, varje kung och bonde, varje förälskat ungt par, varje mor och far, hoppfullt barn, uppfinnare och utforskare, varje lärare av moral, varje korrupt politiker, varje "superstjärna", varje "högsta ledare", varje helgon och syndare i vår arts historia levde där – på ett dammkorn svävande i en solstråle. /.../ Våra ställningstaganden, vår inbillade självtillräcklighet, illusionen om att vi har någon privilegierad position i universum, är utmanade av den här prick. Vår planet är en ensam fläck i det inneslutande kosmiska mörket. I vårt mörker, i all den här ofantligheten, finns det inga tecken på att hjälp ska komma från andra platser för att rädda oss från oss själva." (översatt från Sagan, 1994, s. xv–xvi)

Bilden visar jorden, sedd från den yttre gränsen av solsystemet. Fotografiet kallas *Pale Blue Dot* och togs 1990 av rymdsonden Voyager 1, hela 6,4 miljarder km bort, vilket är bortanför alla planeternas omloppsbanor. Ränderna i bilden är solstrålar som reflekterade sig i Voyagers kamera (jorden låg nära solen, sett från Voyager 1). Rymdsonden tog också bilder av andra planeter i solsystemet, som sedan sammanfogades till ett "familjeporträtt", innan NASA stängde av kameran för att spara på ström. Voyager 1 är nu 18,4 miljarder km från jorden och förväntas när som helst bli det första människotillverkade föremålet som helt frigör sig från solens påverkan, det vill säga inträder den interstellära rymden.

Solastronomi

Solastronomi är vetenskapen om solen. *Solen* är namnet på stjärnan som jorden har sin omloppsbanan runt. Solen är ofantligt stor med jordiska mått mätt. Dess diameter är 109 gånger så stor som jordens och dess massa utgör 99,9 % av solsystemets totala massa.

Solens livscykel

Enligt den ledande teorin började hela vårt solsystem bildas för cirka 4,6 miljarder år sedan ur en nebulosa. En *nebulosa* är ett moln av stoff och gas i rymden. Den nebulosa solsystemet bildades av innehöll 98 % väte och helium och 2 % tyngre ämnen (du kan läsa mer om hur solsystemet bildades i avsnittet *Planetär astronomi* på s. 23 och mer om stjärnors livscykel i avsnittet *Stjärnastronomi* på s. 40).

Solen är ungefär i mitten av sitt liv och kommer att börja "dö" om ungefär 5 miljarder år. I sitt livs slutskede kommer den att svälla upp till röd jätte. Det är under debatt om solen kommer att bli så stor att den slukar jorden eller inte, men klart är i alla fall att eventuellt liv på jorden kommer utsläckas på grund av värmen. Därefter kommer solen kasta iväg sina yttre lager i en gigantisk nebulosa. Kvar i centrum kommer det då att finnas en vit dvärg, ungefär lika stor som jorden, som under miljardtals år långsamt lyser svagare och svagare.

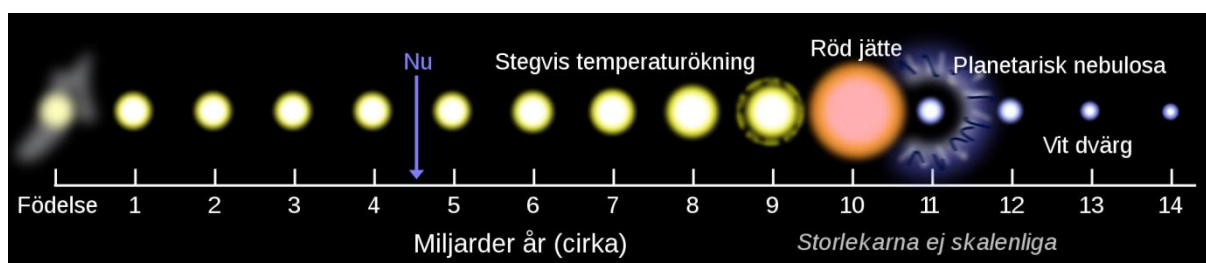


Bild: Solens livscykel.

Solens beståndsdelar

Solen består av plasma (s. 134), det vill säga fria atomkärnor och elektroner. Solens beståndsdelar (mätt i massa) är mer eller mindre desamma som hos den nebulosa solen bildades av, vilket var 71,1 % väte; 27,4 % helium och 1,5 % tyngre grundämnen. Lite skillnader mellan solens olika delar finns. Fotosfären (se nedan) består av 74,9 % väte; 23,8 % helium och 1,3 % övrigt. Kärnan (se nedan) består av cirka 60 % helium och i stort sett resten väte. Det helium som bildas i kärnan stannar kvar där. Som helhet idag består solen till cirka 2 % grundämnen tyngre än väte och helium. Av dessa är det mest syre (cirka 1,0 %), kol (cirka 0,3 %), neon (cirka 0,2 %) och järn (cirka 0,2 %).

Solvinden är en ström av partiklar som lämnar solen. Utöver de cirka 5 miljoner ton massa som varje sekund förloras genom fusionsreaktioner i kärnan (se nedan) förlorar solen även cirka en miljon ton per sekund genom solvinden. Solvinden består i stort sett av samma beståndsdelar som solen. Den rör sig i cirka 400–750 km/s. Solvinden är mycket tunn, mer likt vakuum än det vakuum vi på laboratorier åstadkommer. Nära jorden består den i genomsnitt endast av sex partiklar per kubikcentimeter. Solvinden som träffar jorden är orsaken till polarsken (s. 58).

Solens uppbyggnad

Om man skulle kunna resa in i solen, vad skulle man se? Solastronomer har numera ganska bra svar på den frågan. Så vi tänker oss att vi åker i rakt in i solen, med ett rymdskepp som tål hur hög temperatur och hur högt tryck som helst. Till skillnad från jorden kräver denna resa inget grävande eller borrhande, eftersom solen består av plasma. I ett plasma sitter partiklarna inte ihop med varandra och utgör en barriär som i berggrunden, utan rör sig fritt som i en gas.

Heliosfären

Så fort vi lämnar jordens atmosfär befinner vi oss i heliosfären. Precis som att jorden har en skyddande atmosfär har även hela solsystemet ett hölje som stöter bort infallande partiklar från den yttre rymden. *Heliosfären* kallas detta område i rymden som fylls av solvinden.

Solvindens partiklar strålar ut från solen åt alla håll men saktar ner ju längre från solen de kommer. Till slut avstannar de så pass mycket att trycket från dem balanseras ut av trycket från partiklar som faller in från yttre rymden. Denna gräns, dit solvinden sträcker sig och fyller rymden, kallas *heliopausen*. Avståndet till heliopausen, och därmed formen på heliosfären, är under undersökning. Men man tror att heliopausen ligger ungefär fem gånger längre bort från solen än Neptunus omloppsbana.

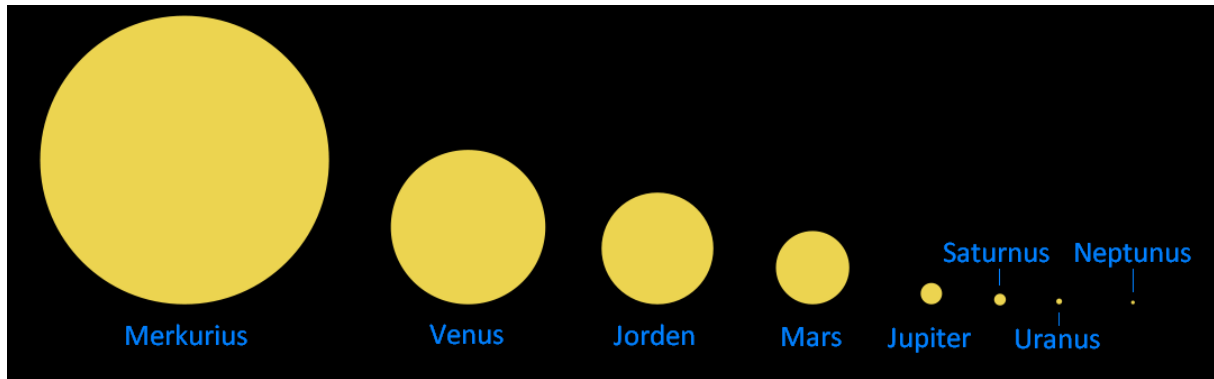


Bild: Solens storlek på himlen sedd från de olika planeterna.

Koronan

När rymdskeppet kommer in i solens atmosfär blir det på en gång varmt, väldigt varmt. I *koronan*, vilket är det yttersta av solatmosfärens tre skikt är det hela 1–2 miljoner °C. Ibland kan det till och med bli så hett som 20 miljoner °C. Det konstiga är dock att man inte vet vilken eller vilka mekanismer som är ansvariga för denna höga temperatur. Vi är trots allt långt ifrån solens kärna och koronan är väldigt tunn. Densiteten i det innersta av koronan är inte mycket högre än i vakuum.

Från jorden går det inte att se den vitskimrande koronan, förutom vid en solförmörkelse. Då syns den som en "aura" runt solen. Koronan avtar steglöst i rymden, och någonstans mellan en och två solradier ovanför solens yta (fotosfären) syns den inte längre vid en solförmörkelse.

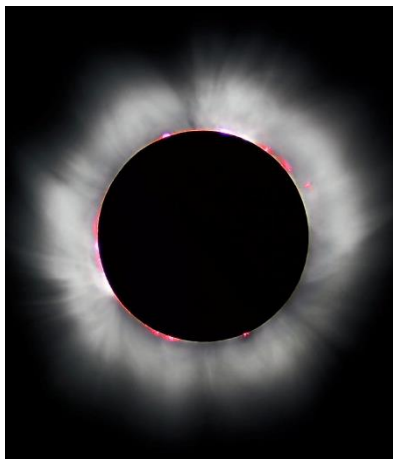


Bild: Vid en solförmörkelse framträder koronan som en vit aura och kromosfären som ett tunt rött skimmer närmast den mörka skivan.

Kromosfären

Resan fortsätter genom koronan och in i *kromosfären*, vilken utgör det mittersta lagret i atmosfären. Den gräns där koronan slutar och övergår till kromosfären kallas *övergångsregionen*. Övergångsregionen är cirka 200 km tjock. Här sjunker temperaturen kraftigt från cirka 1 miljon °C till 20 000 °C.

Även kromosfären är för tunn för att man normalt ska kunna se den från jorden. Men vid en solförmörkelse framträder den som ett tunt rödaktigt skimmer innanför koronan. Dess röda färg beror på väteatomer i ett visst tillstånd som är vanliga här. Kromosfären är cirka 2 000 km tjock. Densiteten i kromosfären ökar ju närmare solens kärna vi kommer, från mindre än $1.6 \times 10^{-11} \text{ kg/m}^3$ till $0,0002 \text{ kg/m}^3$. Temperaturen vid kromosfärens yttersta gräs är cirka 35 000 °C, men minskar sedan ju längre in vi kommer till cirka 4 000 °C, för att sedan öka igen till kromosfärens innersta gräns och bli 6 000 °C.

Den plats i kromosfären där temperaturen är som lägst kallas *temperaturminimum*. Här, cirka 1 500 km ner i kromosfären, är det kallt nog för att enkla molekyler, såsom vatten och kolmonoxid, att existera. Detta är den kallaste platsen i solen.

Fotosfären

Vi närmar oss nu solens synliga yta, *fotosfären*. Än så länge har resan varit i genomskinlighet, men nu når vi den lysande vägg som hela tiden väntat på oss. Dock märker vi när vi närmar oss, att övergången in i den lysande soppan sker gradvis. Men, efter endast några mil, ser vi inte längre rymden när vi tittar bakåt.

Det är från fotosfären det synliga ljuset lämnar solen och bland annat når jorden. Fotosfären är tiotals till hundratals kilometer tjock och endast något mindre genomskinlig än luft på jorden. Temperaturen här är cirka 6 200 °C och densiteten runt 0,0002 kg/m³.

Konvektiva zonen

Vi är nu inne i den *konvektiva zonen*, vilken sträcker sig från ytan till ett avstånd av cirka 0,7 solradier från solens mitt. Det här är det yttersta av solens tre innersta lager. Zonen har sitt namn efter att värme här leds genom konvektion (s. 158), det vill säga genom direktkontakt mellan materia som rör sig i förhållande till varandra. Kolumner av varm materia stiger till ytan, kyls ner av rymden utanför, och sjunker igen. Materia som stiger från botten av den konvektiva zonen till toppen, sjunker i temperatur från cirka 2 miljoner °C till 5 900 °C, samt minskar i densitet från cirka 200 kg/m³ till 0,0002 kg/m³.

Strålningszonen

Efter en lång resa genom konvektiva zonen når vi nästa lager av solens inre. Men det sker inga större synliga förändringar, vi befinner oss fortfarande bara i en ofantligt ljus soppa. *Strålningszonen* börjar på ett avstånd av 0,7 solradier från solens mitt och sträcker sig in till 0,20–0,25 solradier från solens mitt. Namnet kommer inte av det produceras någon strålning, för det gör det inte här. Däremot värms strålningszonen genom strålning (s. 158), närmare bestämt av elektromagnetisk strålning från kärnan. Det sker ingen konvektion av värme, till skillnad från i den konvektiva zonen. Från ytligaste till djupaste strålningszonen ökar temperaturen från 2 till 7 miljoner °C och densiteten från 200 kg/m³ till 20 000 kg/m³.

Kärnan

Efter en lång resa når vi händelsernas centrum. All värme och allt ljus vi har upplevt på vägen härstammar härifrån. *Kärnan* sträcker sig från solens mittpunkt till 0,20–0,25 solradier åt alla håll. Här är densiteten upp till 150 000 kg/m³ hög, och temperaturen upp till hela 13,6 miljoner °C. Vid denna höga temperatur börjar atomkärnor slås ihop, det vill säga *fusionera*.

Normalt stöter positivt laddade atomkärnor bort varandra, men när de tillförs energi börjar de dock röra sig mer och mer, och till slut kan de fusionera. I solens kärna tillförs denna energi genom uppvärmning, vilket i sin tur beror på det höga tryck som råder där. Utanför kärnan är det för kallt för att fusion ska kunna ske.

Exakt vad som sker i solens kärna är att atomkärnor av väte (vilket är detsamma som protoner) fusionerar och bildar atomkärnor av helium. Cirka 0,7 % av protonernas ursprungliga massa går förlorad i reaktionen. Denna massa förs i väg som rörelseenergi hos neutriner och elektromagnetisk energi hos gammastrålar. Neutriner interagerar svagt med materia och lämnar solen direkt, medan gammatrålarna absorberas inom millimetrar och avges igen som elektromagnetisk strålning med mindre energi.

Vi följer den elektromagnetiska strålningen bort från kärnan och ut mot ytan (fotosfären) igen. Dock måste vi nog åka lite fortare än strålningen, för den absorberas och avges oräkneliga gånger av plasman på vägen, samtidigt som den avger värme till denna. Först efter tusentals eller miljontals år lämnar den elektromagnetiska strålningen solens yta, då som synligt ljus.

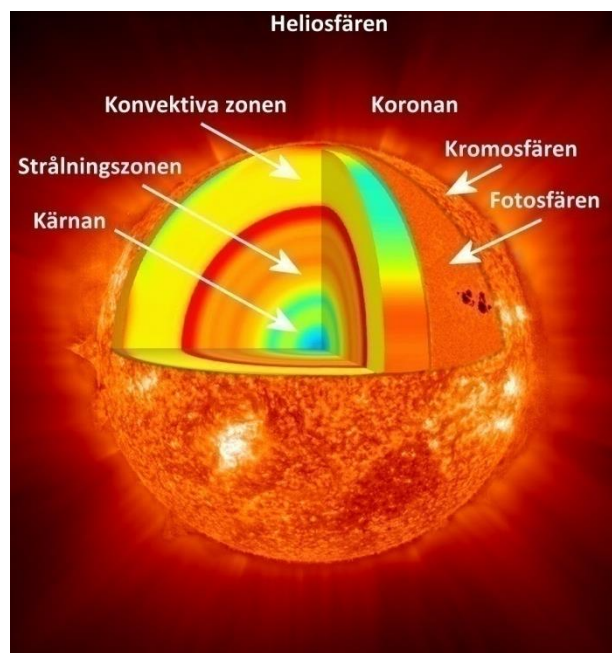


Bild: Solens atmosfär består av koronan, kromosfären och fotosfären. Solens inre består av den konvektiva zonen, strålningszonen och kärnan. Observera att färgerna inte är korrekta.

Planetär astronomi

Planetär astronomi är vetenskapen om objekt i omloppsbana runt stjärnor (planeter, månar, dvärgplaneter, asteroider, kometer, meteoroider och andra objekt).

Vår sol har flera typer av objekt i omloppsbana runt sig. Enligt en indelning av IAU (International Astronomical Union – en internationell samling astronomer med uppdrag att namnge himlakroppar) sägs solsystemet bestå av solen, *planeter*, *dvärgplaneter*, *månar* och *small solar system bodies (SSSBs)*. Planetär astronomi omfattar dock inte bara vårt eget solsystem, utan även andra stjärnsystem.

Solsystemets uppkomst

Enligt den ledande teorin började vårt solsystem bildas för cirka 4,6 miljarder år sedan ur en nebulosa innehållandes 98 % väte och helium, och 2 % tyngre ämnen. Gravitationskraften mellan alla partiklar i nebulosan gjorde att den började packas tätare och till slut blev det så varmt i mitten att en stjärna tändes – solen. Vår sol började fusionera väte cirka 50 miljoner år efter att nebulosan börjat komprimeras. Nebulosan som gav upphov till vår sol var stort, troligen flera ljusår i diameter, och gav förmodligen upphov till 100 eller 1 000 andra stjärnor.

När solen hade bildats fanns det mycket gas och stoff kvar i omloppsbana runt den. Även dessa partiklar började kollidera med varandra och växte med gravitationens hjälp. Större klumpar blev allt större och till slut återstod endast ett fåtal planeter, plus månar, asteroider och andra mindre kroppar.

När solsystem eller galaxer bildas börjar de rotera på grund av dragningskraften från objekt utanför det kollapsande området. Rörelsemängdsmomentet hos gasen och stoffet bibehålls även när det packas tätare, vilket betyder att rotationshastigheten ökar. När rotationshastigheten blir tillräckligt hög balanserar den dragningskraften från gas- och stoffmolnets centrum och molnet slutar krympa.

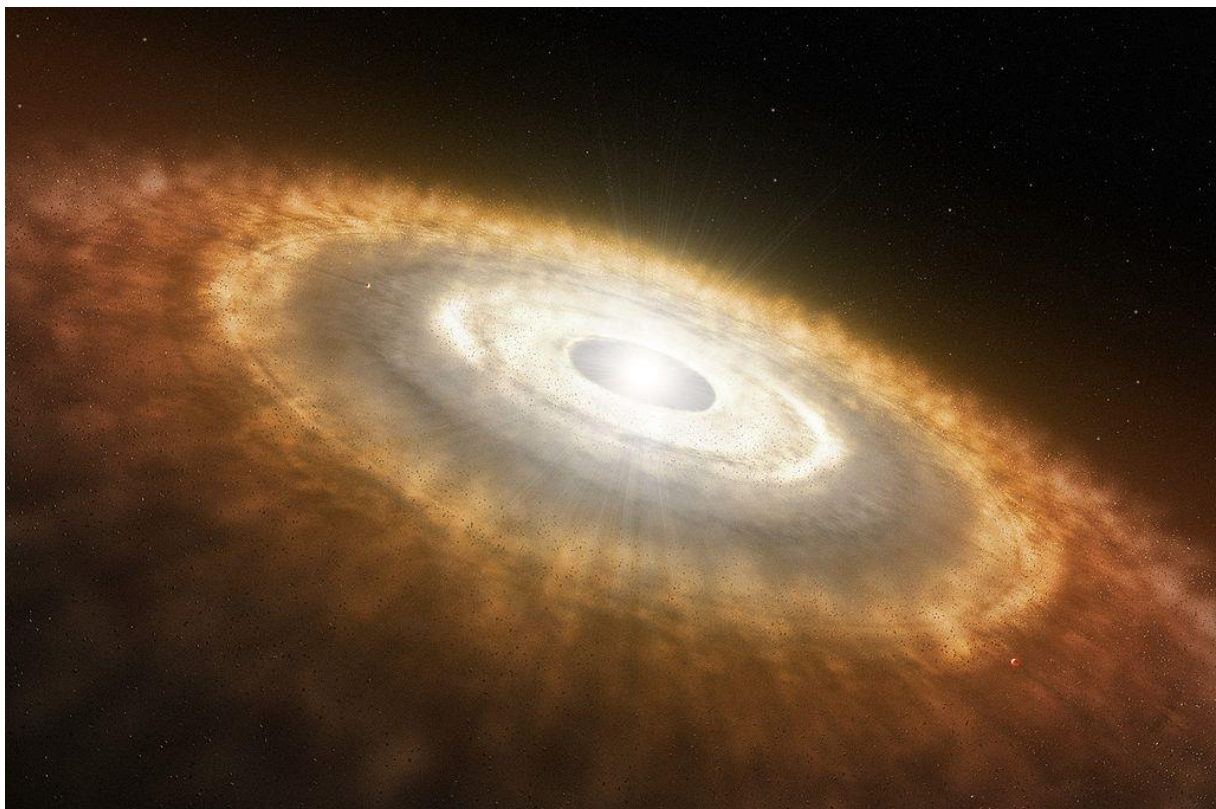


Bild: Vårt solsystem uppstod när en del av en nebulosa började packas tätare av sin egen gravitation. Efter ungefär 50 miljoner år hade väte packats så tätt i mitten att det började fusionera, och solen tändes. Med tiden klumpade även gasen och stoffet i omloppsbana runt solen ihop sig till planeter, dvärgplaneter, månar och SSSBs.

Planeter

En *planet* definieras av IAU som en himlakropp stor nog att den genom sin gravitation blivit rund samt rensat sin omgivning på andra himlakroppar. Planeter kan ha månar, så länge resten av omloppsbanan innehåller tillräckligt lite materia. Pluto har numera förlorat sin status som planet och kallas numera för en dvärgplanet, just eftersom det finns för mycket materia kvar i dess omlopps bana.

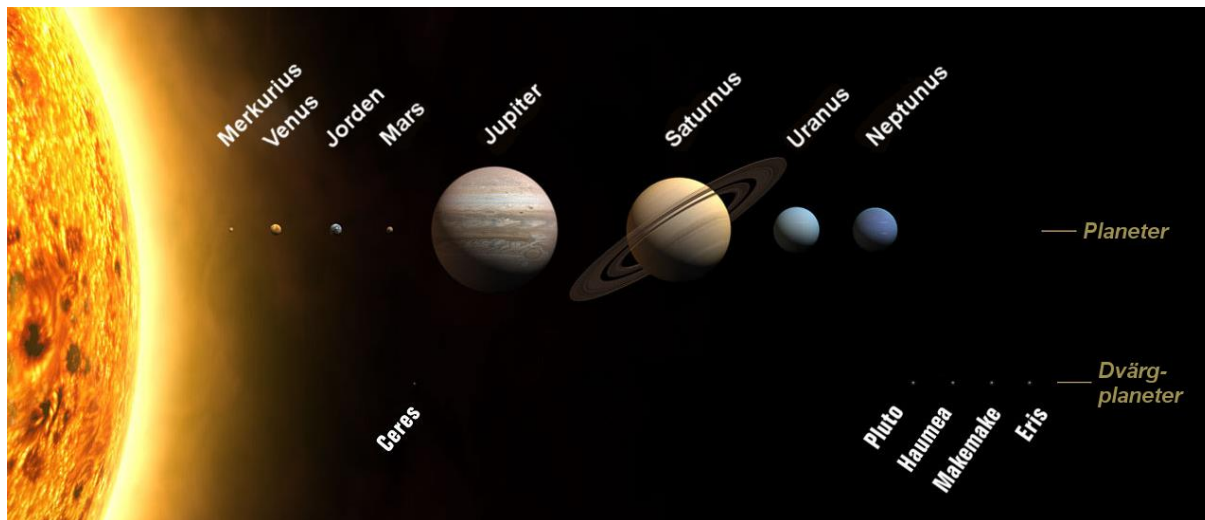


Bild: Solsystemets åtta planeter och fem dvärgplaneter. Ordningen på dem samt deras relativa storlek är korrekt, men inte deras avstånd till solen.

Merkurius

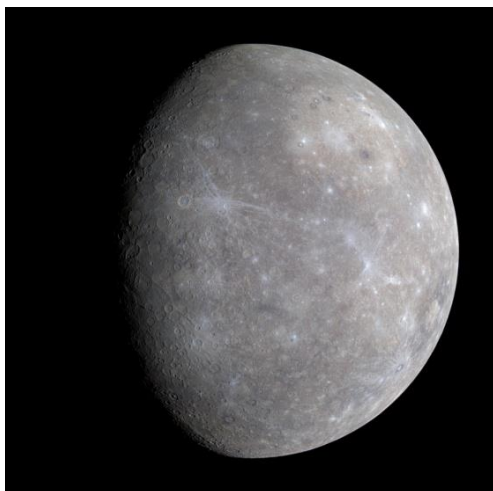


Bild: Merkurius fotograferad av rymdsonden MESSENGER.

Merkurius är en av de fem planeter som är synlig för blotta ögat från jorden (de andra är Venus, Mars, Jupiter och Saturnus). Merkurius kan man bara se vid gryning och skymning och då befinner sig planeten alltid nära solen. Men minst någon gång per år befinner sig Merkurius tillräckligt långt ifrån solen i sin omlopps bana att man kan se den mot en någorlunda mörk himmel. Planeten lyser ungefär som ljusstark stjärna på himlen. Planeten är för liten för att i ett amatörs teleskop (med fyra tum apertur) se några vidare detaljer, men däremot kan man se dess *faser*. Faser är de olika sätt som planeten är upplyst på sett från jorden, precis som månens olika faser (nymåne, halvmåne, fullmåne m.m.).

Avståndet mellan planeter och solen mäts vanligtvis i *astronomiska enheter* (AE), där 1 AE är detsamma som avståndet från jorden till solen (eller mer exakt; 149 597 870 700 m). Merkurius ligger närmast solen av alla planeter. Den har en tydligt elliptisk (oval) bana som ligger mellan 0,31 och 0,47 AE från solen. Merkurius har en medeldiameter motsvarande

0,38 jorddiameter. Detta gör Merkurius till den minsta planeten, och mindre än Jupiters måne Ganymedes och Saturnus måne Titan. Ett år på Merkurius motsvarar 0,24 jordår.

Merkurius har ingen måne, i alla fall ingen man har hittat än. År 1974 trodde man under några dagar, efter observationer av märklig ultraviolett strålning, att man hittat en måne runt Merkurius, men denna upptäckt visade sig snart vara en stjärna (som förstås låg långt utanför solsystemet).

Merkurius har en yta full av kratrar vilket tyder på att den, precis som jordens måne, varit geologiskt inaktivt väldigt länge. Likt de övriga inre planeterna (Venus, jorden och Mars) har planeten en yta av sten. Planeten har ingen atmosfär och därmed ingen förmåga att hålla kvar värme. Detta gör att Merkurius har de största temperaturförändringarna av alla planeter. På natten kan det vara -175 °C medan det på dagen kan vara +425 °C. Trots den höga dagstemperaturen tror man att det kan finnas fruset vatten på ytan, närmare bestämt djupt nere i kratrar vid polerna dit solljuset aldrig når.

Planetens omloppsbanan var länge ett mysterium för astronomer och fysiker, eftersom den inte kunde förklaras av Newtons gravitationslag från 1600-talet (s.142). Dess elliptiska omloppsbanan förändras med tiden genom att dess perihelion (den del av omloppsbanan som befinner sig närmast solen) förflyttar sig varje år. Detta är inget ovanligt utan sker hos alla planeter, men hastigheten som det skedde på hos Merkurius var annorlunda än den hastighet som kunde räknas fram med hjälp av Newtons gravitationslag. Lösningen kom med Einsteins allmänna relativitetsteori från 1916, vilken förklarar gravitation på ett annat sätt (s.151).

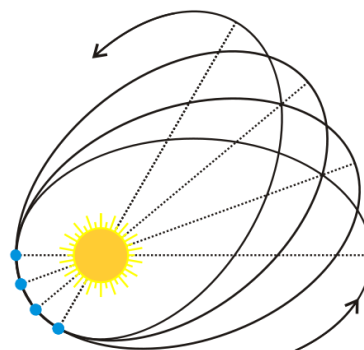


Bild: Merkurius omloppsbanan roterar med en hastighet som Newtons gravitationslag inte kunde förutse. Ett tag förklarades detta av att en upptäckt planet måste finnas innanför Merkurius omloppsbanan. Den hypotetiska planeten fick namnet *Vulkan*, men hittades aldrig.

Venus

Venus är synlig med blotta ögat från jorden. Den befinner sig alltid ganska nära solen på himlen, men ibland tillräckligt långt ifrån solen i sin omloppsbanan att man kan se den mot en mörk himmel. Venus är det ljusstarkaste objektet på natthimlen efter månen. I ett amatörf teleskop ser man inga strukturer på planeten, eftersom man inte ser igenom den tjocka atmosfären. Däremot ser man tydligt de olika faserna hos Venus.



Bild: Venus fotograferad av rymdsonden Mariner 10. Flera rymdsonder har landat på ytan men det är fortfarande ont om bra bilder därifrån.

Venus har en smått elliptisk omloppsbanan 0,72–0,73 AE från solen. Dess medeldiameter motsvarar 0,95 jordradier. Detta har gjort att Venus ofta kallats "jordens systerplanet", även om klimatet på Mars egentligen är mer likt jordens. Ett år på Venus motsvarar 0,62 jordår.

Venus har ingen känd måne. Det finns en teori om att Venus haft en måne tidigare, men att den kraschade in i Venus. Denna kollision skulle vara orsaken till planetens märkliga rotation. Venus roterar nämligen medurs sett ovanifrån, medan alla andra planeter roterar moturs. En dag på Venus varar 234 jorddagar och ett år på Venus varar 0,62 jordår.

Venus är den andra av de inre stenplaneterna. Venus tros ha aktiv vulkanism eftersom cirka 80 % av ytan är täckt av stelnad lava. Dock är avsaknaden av aktuella lavaflöden lite av ett mysterium. Venus har två högländer som inte täckts av lava. På den ena ligger Venus högsta berg, Ishtar Terra, som är 11 km högt. Venus har en väldigt tät atmosfär som i huvudsak består av koldioxid med lite kvävgas. Trycket från atmosfären är på Venus yta 92 gånger större än

trycket på jordytan. Denna tjocka atmosfär, tillsammans med moln av svaveldioxid, är orsaken till en väldigt stark växthuseffekt. Temperaturen på Venus ligger runt stabila 462 °C hela tiden.

Jorden

Jorden är den tredje planeten från solen. Den befinner sig på ett lagom avstånd för att kunna ha flytande vatten, vilket är ett krav för livet som vi känner till det.

Jorden har en elliptisk omloppsbanan 0,98–1,02 AE från solen. Jorden har en medeldiameter på 1 274 mil, men buktar (likt alla andra planeter) utåt längs ekvatorn till en följd av centrifugalkraften från dess rotation. Diametern vid ekvatorn är 43 km större än vid polerna.

Vetenskapen om jorden, geovetenskap, kan ses som ett specialfall av planetär astronomi. Därmed kan du läsa mer om jorden i kapitlet om *Geovetenskap* (s. 56). Du kan läsa mer om månen under rubriken *Månar* (s. 33).



Bild: Detta fotografi kallas *Blue marble* och var det första fotografiet som togs från rymden med hela jorden upplyst. Fotografer var astronauter ombord på Apollo 17.

Mars



Bild: Mars fotograferad av rymdteleskopet Hubble. Notera sandstormarna som rådde vid detta tillfälle.

Mars är synlig med blotta ögat från jorden. Eftersom planetens omloppsbanan ligger utanför jordens kan man ganska ofta, precis som med Jupiter och Saturnus, se den mot en becksvarthimmel. Eftersom Mars är ganska liten lyser den svagt som en ljusstjärna på natthimlen. Med ögat kan man se att planeten är ljusröd, något som blir ännu tydligare i ett amatörteleskop. Under bra förhållanden kan man då även skymta de olika färgskiftningarna på planeten – lite svarta ränder på det röda och vitt på polerna.

Mars har en elliptisk omloppsbanan 1,4–1,7 AE från solen. Dess medeldiameter motsvarar 0,53 jorddiametrar, vilket gör Mars till den näst minsta planeten. Ett år på Mars motsvarar 1,9 jordår.

Mars har två små månar; Phobos och Deimos. Phobos har en genomsnittlig diameter på 22 km och kretsar endast 600 mil ovanför Mars yta. Detta gör Phobos till den måne i solsystemet som befinner sig närmast sin planet eller dvärgplanet. Deimos har en genomsnittlig diameter på 12 km och kretsar 2 346 mil ovanför Mars yta. Båda månarna är för små för att ha blivit

runda av sin egen gravitation och liknar till utseendet asteroider.

Mars har sin röda färg efter den järnoxid ("rost") som täcker ytan. Även himlen skulle för en Mars-besökare vara rödaktig, eftersom damm från ytan blåser upp och lägger sig i atmosfären. Polerna är dock vita av is – i huvudsak koldioxidis, men vid nordpolen även lite vattenis. Medeltemperaturen på ytan är -63 °C, men kan vara så låg som -143 °C och så hög som +35 °C. Längs ekvatorn på sommaren är det ofta +20 °C. Ytan kan liknas vid en kall och stenig öken. Det har med största sannolikhet funnits flytande vatten på Mars, men var detta har tagit vägen är ett mysterium. Kanske försvann en del med solvinden, kanske är en del kvar i marken? Mars har en atmosfär mestadels bestående av koldioxid.

Även om Venus kallas "jordens systerplanet" är det Mars som har störst potential som vår framtida rymdkoloni (kanske en fantasi, men vem vet). På 70-talet gjordes en del forskning om *terraforming* av Mars, det vill säga att göra den jordlik och beboelig för oss. Först skulle man sätta ut mikroorganismer som bland annat skulle binda kväve till marken. Sedan skulle växter kunna planteras, vilka skulle använda upp koldioxid i luften och producera syre. Därefter skulle djur kunna införas. Människans kolonisering av Mars har dock börjat i liten mindre skala – just nu finns två fungerande *rovers* (rymdbilar) som åker omkring och tar prover och fotograferar.

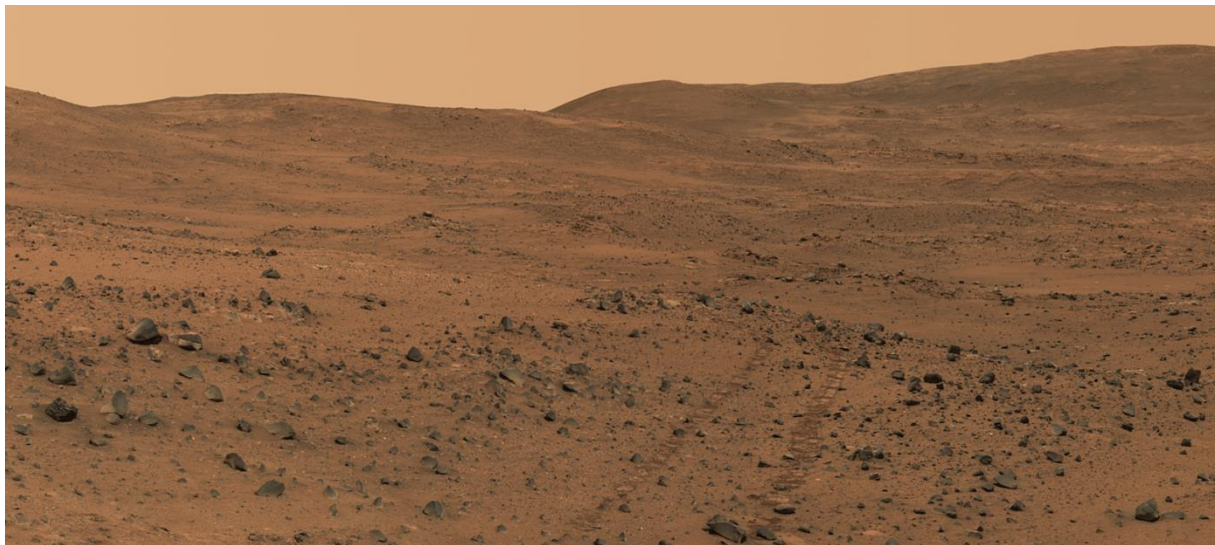


Bild: Fotografi av Mars yta tagen av rovern Spirit. Spirit landade på Mars i januari 2004, tre veckor innan dess "tvilling" Opportunity landade på andra sidan planeten. Spirit utforskade planeten i flera år tills den fastnade i sand 2009. Den skickade sitt sista meddelande 2010. Opportunity är dock fortfarande aktiv och tillsammans med den nyanlända rovern Curiosity fortsätter den utforska planetens röda yta. Med appen *Mars Images* kan du få deras fotografier direkt i mobilen.

Jupiter

Jupiter är synlig med blotta ögat från jorden. Eftersom planeten ligger utanför jordens omloppsbana kan man ganska ofta se den mot en becksvarthimmel. Jupiter är det ljusstarkaste objektet på natthimlen efter månen och Venus. Jupiter är kanske det tacksammaste objektet att titta på i ett amatörtteleskop. Man ser tydligt några ränder på planeten, samt dess fyra största månar i en prydlig rät linje. Den stora röda fläcken är dock svår att se, och kräver ett lite bättre teleskop (även om man kan inbilla sig att man ser den).

Jupiter har en omloppsbana 5,0–5,5 AE från solen. Den är den första av de yttre planeterna. Från Jupiter och utåt är avståndet mellan planeterna markant större än mellan de inre planeterna. Jupiter är solsystemets största planet, med en medeldiameter motsvarande 11 jorddiametrar. Jupiters volym är lika stor som 1 321 jordklot. Ett år på Jupiter motsvarar 12 jordår.

Jupiter har 67 upptäckta månar, av vilka nio har en diameter större än 50 km och 19 har en diameter större än 5 km. De fyra största, som Galileo Galilei kunde se i sitt teleskop på 1600-talet, kallas *de galileiska månarna*. Dessa månar utgör 99,997 % av de 67 månarnas totala massa. De Galileiska månarna är, i ordning från stigande avstånd från Jupiter, Io, Europa, Ganymedes och Callisto. Io har diameter motsvarande 0,29 av jordens, Europa 0,25, Ganymedes 0,41 och Callisto 0,38. Ganymedes är därmed solsystemets största måne, Callisto den tredje, Io den fjärde och Europa den sjätte. Io är solsystemets geologiskt mest aktiva himlakropp och har över 400 aktiva vulkaner. Europa har en tunn atmosfär främst bestående av syrgas och en yta bestående av vattenis, samt eventuellt flytande vatten under denna isiga yta. Dessa förhållanden har gjort att astronomer anser att det finns en viss möjlighet till liv på Europa. Ganymedes är den enda månen i solsystemet med ett magnetfält, precis så som jorden har. Callisto är geologiskt inaktiv och har därmed en väldigt gammal yta full av kratrar, likt vår måne.

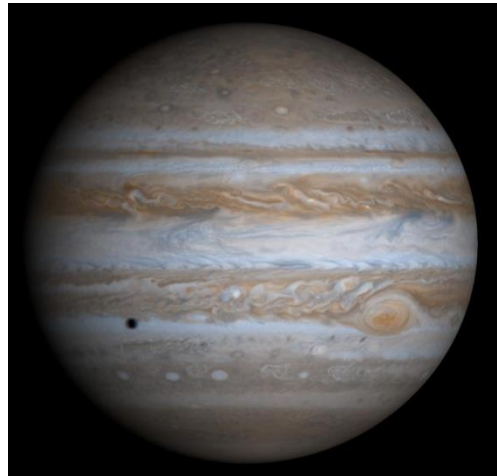


Bild: Jupiter fotograferad av rymdsonden Cassini. Dess röda fläck är en storm som varat i minst 182 år. Dess storlek har dock halverats de senaste 100 åren. Det är oklart om stormen kommer att avta eller öka i storlek igen. Vindarna rör sig motsols och gör ett varv på sex dagar.

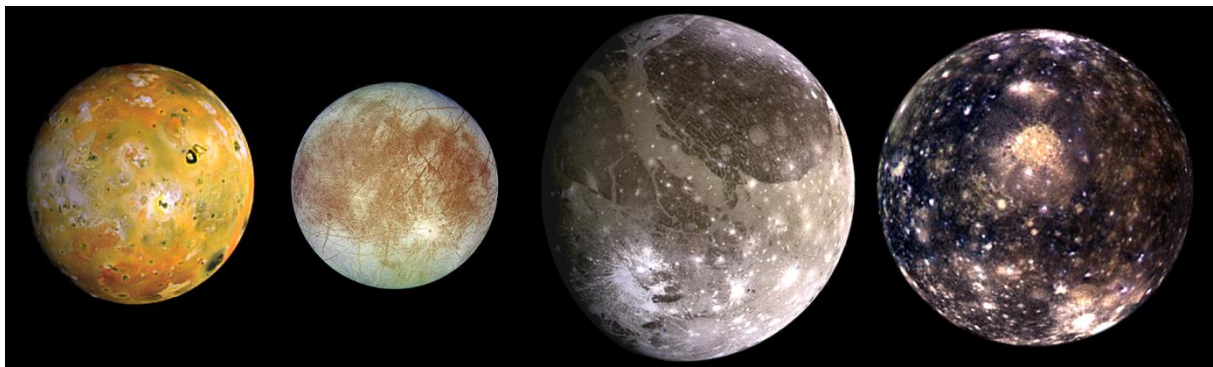


Bild: De galileiska månarna. Jupiter har minst 67 månar, men dessa fyra bjässar utgör den mesta av deras massa. De går till och med att se från jorden i en vanlig kikare. Från vänster till höger: Io, Europa, Ganymedes och Callisto.

Jupiter och de övriga yttre planeterna är alla *gasplaneter*. Till skillnad från Merkurius, Venus, jorden och Mars har de nämligen en yta av materia i gasform i stället för i fast form. Jupiter tros bestå av en liten fast kärna av sten, omgiven av ett tjockt lager flytande, metalliskt väte (en speciell typ av aggregationstillstånd) som når ut till cirka 78 % av planetens radie. Ytterst finns sedan ett lager transparent vätgas. Denna vätgas utgör den "inre atmosfären", medan det sedan finns en yttre atmosfär ovanpå denna. Eftersom Jupiter inte har någon tydlig yta, sägs den yttre atmosfären börja där trycket är 10 gånger jordens atmosfäriska tryck. Jupiters atmosfär består i huvudsak av vätgas och helium. I atmosfären finns moln av ammoniak (och eventuellt ammonium) som täcker hela ytan. Det är dessa moln man ser utifrån rymden sett. Ränderna på Jupiters yta är ett resultat av att molnen på olika breddgrader är olika tjocka och ligger på olika höjd, samt rör sig i förhållande till varandra. Ett kännetecken för Jupiter är dess röda fläck, vilken är en storm som varat i mellan 182 och 347 år. Temperaturen vid molnens höjd ligger på runt -145 °C. Där väte övergår från gasform till flytande form är temperaturen cirka 9 700 °C.

Saturnus

Saturnus är synlig med blotta ögat från jorden. Eftersom planeten ligger utanför jordens omloppsbana kan man ganska ofta se den mot en becksvalt himmel. Saturnus är stor men ligger långt bort, och på natthimlen liknar den en ljusstark stjärna. Saturnus är, precis som Jupiter, ett trevligt objekt att titta på i ett amatöriteleskop. Planetens ringar är mycket tydliga. Både på ringarna och på planeten kan man skymta lite linjer.

Saturnus har en omloppsbana som ligger 9,0–10,1 AE från solen. Det är den mest tillplattade av planeterna, där diametern vid ekvatorn motsvarar 9,4 jorddiametrar, medan den vid polerna endast är 8,6 jorddiametrar. Ett år på Saturnus motsvarar 29 jordår.

Runt Saturnus har man än så länge upptäckt 62 månar, av vilka 13 har en diameter större än 50 km och 54 har en diameter större än 5 km. Sju av månarna är tillräckligt stora för att få en rund form, av vilka den allra största är Titan. Titan är, med en diameter på 0,40 av jordens, solsystemets näst största måne efter Ganymedes. Den är den enda månen i solsystemet med en tjock atmosfär. Denna atmosfär, vilken är det enda man ser av Titan från rymden sett, består i huvudsak av kvävgas. Ytan består av bergarter och vattenis, men har även sjöar, åar och hav av flytande metan och etan. Precis som att jorden har ett kretslopp av vatten, har Titan ett kretslopp av metan.

Saturnus är den andra av gasjättarna och solsystemets näst största planet. Planeten tros ha en inre stuktur liknande Jupiters; en inre fast kärna av sten, en tjockt lager flytande väte och ytterst ett lager vätgas. Därpå följer den yttre atmosfären bestående av i huvudsak vätgas, men även lite helium. Moln av ammoniak och ammonium i atmosfären utgör den synliga ytan av atmosfären. Saturnus har, precis som Jupiter, sina moln ordnade i band, men Saturnus band är mycket svårare att se. Temperaturen vid molnens höjd ligger på runt -145 °C och ökar till flera tusen grader ju närmare planetens centrum man kommer.

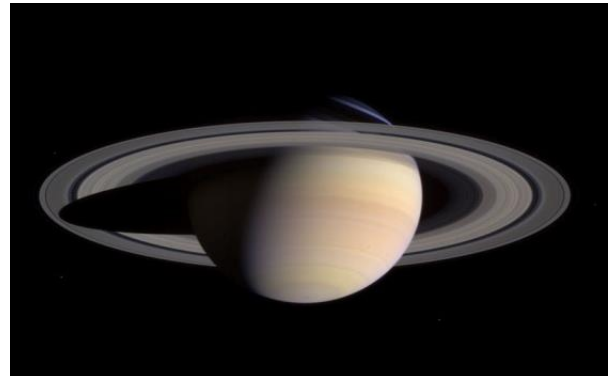


Bild: Saturnus fotograferat av rymdsonden Cassini. Saturnus ringar består i huvudsak av vattenis, med lite spår av sten. De består av partiklar som är alltifrån millimeter- till meterstora. I några av mellanrummen mellan ringarna ligger månar, vilka genom kollisioner sugit upp allt det mest av stoffet där. Ringarna tros ha bildats tidigt i solsystemets historia, men man vet inte hur.

Uranus

Uranus är inte synlig med blotta ögat från jorden, utan det krävs ett teleskop. Därför var Uranus inte heller känd förrän de första teleskopen uppfanns. Den tidigaste nedskrivna observationen gjordes 1690 av

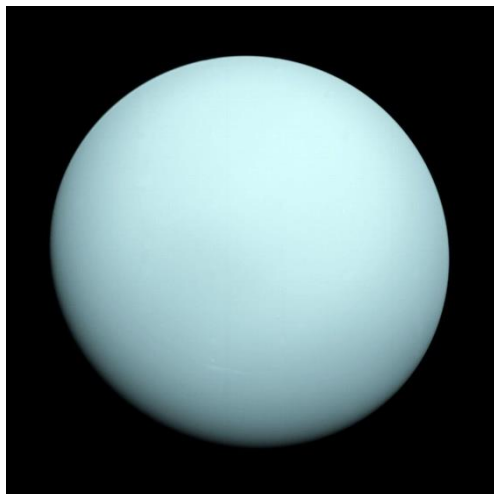


Bild: Uranus fotograferad av rymdsonden Voyager 2. Uranus synliga yta varierar med årstiderna, ibland är planeten mer eller mindre homogen, medan den ibland får synliga molnstrukturer och liknar då mer Neptunus.

engelsmannen John Flamsteed. Planeten observerades sedan flera gånger i teleskop innan man insåg att det var en planet, men runt 1783 hade flera astronomer tillsammans insett att det handlade om en planet. Uranus går att se i ett amatöriteleskop, men då måste man veta exakt var man ska titta och belöningen blir inte så mycket mer än en ljus prick.

Uranus ligger 18,3–20,1 AE från solen. Planeten är solsystemets tredje största och har en medeldiameter motsvarande 4,0 jorddiametrar. Ett år på Uranus motsvarar 84 jordår. Uranus har en axellutning på hela 98 ° (jorden har en på 23 °), vilket gör att planeten "rullar" fram i sin omloppsbana.

Uranus har 27 kända månar. Fem av dem är stora nog att ha blivit runda eller ellipsoida. Den största av dessa är Titania som har en diameter motsvarande 0,12 av jordens. Titania består möjligtvis av en kärna av bergarter och en ytmantel av is.

Uranus är den tredje av gasjättarna sett från solen, men har en liten annan sammansättning än Jupiter och Saturnus. Den har en fast kärna av sten, omgiven av en tjock vätska av vatten, ammoniak och andra lättflyktiga ämnen. Detta lager, manteln, brukar kallas is, eftersom den uppvisar egenskaper liknande is. Ovanpå detta finns sedan ett lager av vätgas och helium, vilket

man kallar atmosfären. I atmosfären tror man att många olika typer av moln finns, vilka utgör den yta man ser från rymden. Temperaturen vid molnen ligger runt $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Uranus är den andra planeten, förutom Saturnus, som har ringar. De är dock mycket svåra att se, och det är främst en av ringarna som lyser någorlunda starkt. Ringarna tros främst bestå av vattenis. De tycks inte innehålla så mycket stoff, utan mest större partiklar som är mellan 0,2 och 20 m stora. Ringarna är endast runt 600 miljoner år gamla, vilket tyder på att de härstammar från två eller flera månar som kolliderade med varandra.

Neptunus

Neptunus är den yttersta av planeterna och är precis som Uranus inte synlig med blotta ögat från jorden. Planeten kan dock ha upptäckts så tidigt som 1612 av Galileo Galilei. Det finns nämligen bevis för att han observerade Neptunus i sitt teleskop, men däremot är oklart om han misstänkte att det var en planet. På 1800-talet observerades å andra sidan märkliga avvikelser hos Uranus från dess förutspådda omloppsbanor. Dessa avvikelser kunde förklaras av gravitationskraften från en planet längre ut i solsystemet, och efter beräkningar om var denna planet skulle vara observerades också Neptunus 1846. Neptunus går att se i ett amatörtteleskop. Då måste man veta exakt var man ska titta och belöningen blir, en ännu mindre prick än Uranus.

Neptunus har en nästan cirkelrund omloppsbanor 29,8–30,4 AE från solen. Neptunus är solsystemets yttersta planet, sedan Pluto blev klassad som en dvärgplanet. Planeten är solsystemets fjärde största, med en medeldiameter motsvarande 3,9 jorddiameterar. Ett år på Neptunus motsvarar 165 jordår.

Neptunus har 13 kända månar, av vilka Triton är den klart största. Den har en diameter motsvarande 0,21 av jordens. Både Tritons atmosfär och yta består mestadels av kväve. Den näst största månen, Proteus, har en diameter motsvarande 0,03 av jordens.

Neptunus har en inre struktur som är mycket lik den hos Uranus. Längst in finns en fast kärna av sten, omgiven av en tjock vätska/is av vatten, ammoniak och andra lättflyktiga ämnen. Utanpå detta ligger atmosfären bestående av i huvudsak vätgas och helium. I atmosfären finns moln av olika sammansättning och det är dessa moln man ser som ytan av Neptunus, sett från rymden. Jämfört med Uranus bildar molnen fler strukturer. Temperaturen vid molnen ligger runt $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

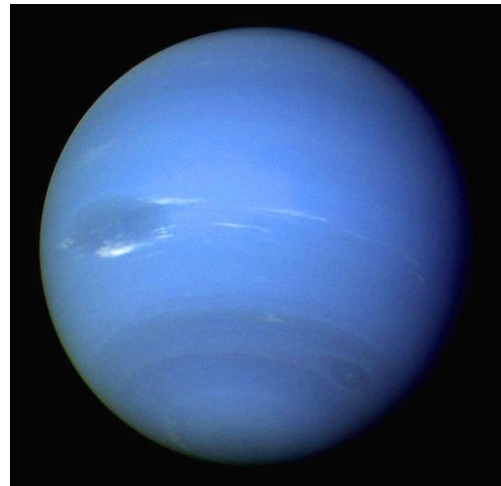


Bild: Neptunus fotograferad av rymdsonden Voyager 2. Planeten har, precis som Jupiter, en fläck bestående av en långvarig storm.

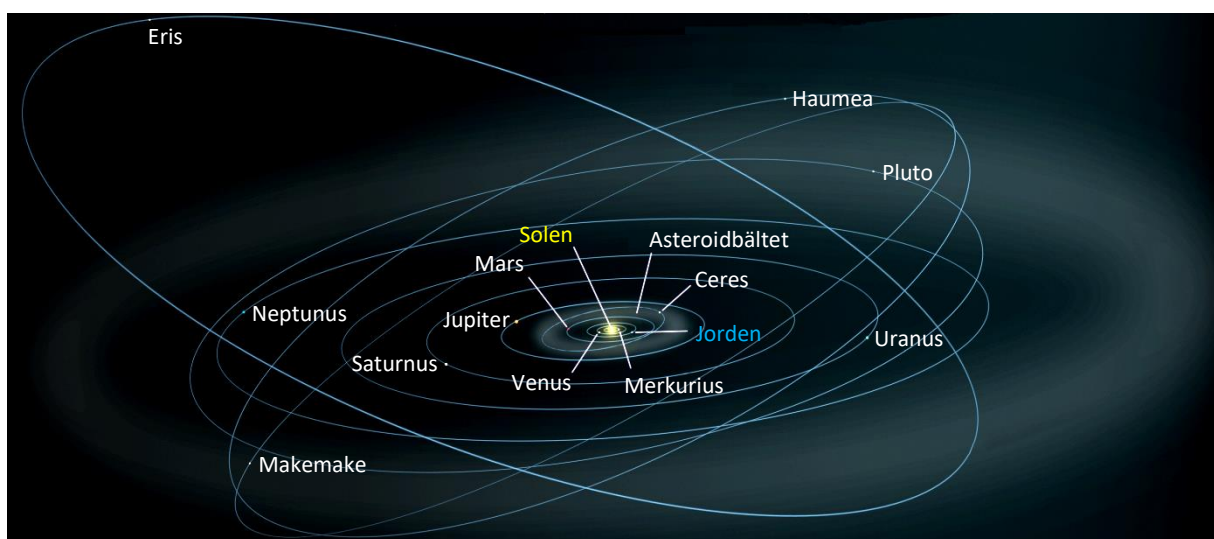


Bild: Planeternas, dvärgplaneternas och asteroidbältets omloppsbanor.

Dvärgplaneter

Förutom Pluto finns det minst fyra andra dvärgplaneter i vårt solsystem. En *dvärgplanet* definieras av IAU som en himlakropp stor nog att den genom sin gravitation blivit sfärisk eller ellipsoid (oval), men inte så stor att den rensat sin omgivning från andra himlakroppar.

Utöver de fem bekräftade dvärgplaneter som beskrivs här, finns det fler himlakroppar i solsystemet som man misstänker bör klassas om dvärgplaneter. Dessa kandidater inkluderar bland annat 50000 Quaoar, 90482 Orcus och 90377 Sedna.

Ceres

Ceres upptäcktes redan 1801 och ansågs länge vara en planet. Ceres ligger relativt nära jorden, i en elliptisk omlopps bana mellan 2,5 och 3,0 AE från solen. Ceres ligger i asteroidbältet, vilket är ett bälte "rymdsten" mellan Mars och Jupiter. Ceres kan anses vara den största av asteroiderna, som har blivit rund och därmed klassats som en dvärgplanet i stället för en *Small solar system body*. Den utgör cirka en tredjedel av den totala massan i asteroidbältet. Ceres är synlig från jorden med ett bra amatörtteleskop under mörka nätter. Ingen rymdfarkost har än så länge undersökt Ceres, men detta planerar NASA att göra 2015.

Ceres är den minsta av dvärgplaneterna med en diameter på 97 mil. Dess yta är 2,9 miljoner km², vilket ungefär motsvarar den europeiska kontinenten från Tyskland och västerut.

Trots sin storlek och placering bland asteroiderna har den inte dragit till sig någon måne.

Ceres tros ha en yta bestående av is och en kärna av olika bergarter. Det är möjligt att det finns flytande vatten under isen och en liten, liten chans att det där finns liv. Men på dvärgplanetens yta är det troligtvis för kallt, för här är det runt -100 °C. Ceres kan eventuellt ha en väldigt tunn atmosfär av vattenånga.

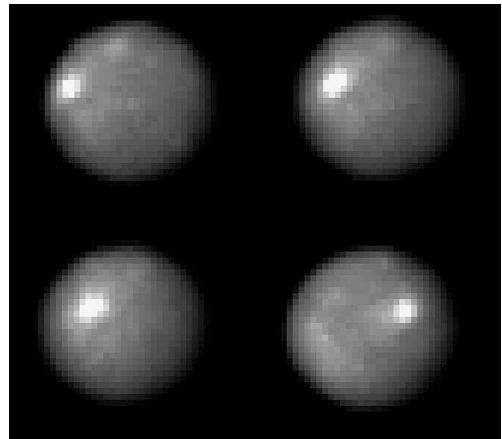


Bild: Bilden visar foton tagna av rymdteleskopet Hubble, där kontrasten förstärkts för att framhäva skillnader i ljusstyrka hos Ceres. På bilderna syns att ytan inte är homogen. Vad den ljusa fläcken är vet man inte.

Pluto

Pluto upptäcktes 1930 och var fram till 2006 klassad som en planet. Pluto ligger långt ut i solsystemet och har en mycket elliptisk bana mellan 30 och 49 AE från solen. Detta innebär att Pluto ibland ligger närmare solen än Neptunus, den yttersta av planeterna. Detta var till exempel fallet mellan åren 1979 och 1999. Pluto och



Bild: Det finns än så länge inga väldetaljerade fotografier av Pluto. Bilden visar en vetenskapligt grundad konstnärsbild av Pluto, Charon, Nix och Hydra, där avståndet mellan Pluto och månarna är överdrivet litet. Bättre bilder är att vänta 2015 när rymdfarkosten New Horizons passerar Pluto.

Neptunus kan dock aldrig kollidera, eftersom deras omloppsbanor inte korsar varandra. Det är väldigt kallt på Pluto, cirka -230 °C. Dvärgplaneten går precis att se med ett bra amatörtteleskop.

Pluto har en diameter på cirka 230 mil. Detta kan jämföras med jordens måne, som har en diameter på 374 mil. Beroende på osäkerheten, främst angående Eris diameter, är Pluto antingen den största dvärgplaneten eller den näst största efter Eris. Pluto har en väldigt speciell rotation, den "rullar" fram i sin omlopps bana, precis som Neptunus. Detta till skillnad mot exempelvis jorden, som "står upp" i sin rotation.

Pluto har fem kända månar. Den största, Charon, upptäcktes redan 1978 och är välkänd bland allmänheten. Nix och Hydra upptäcktes inte förrän 2005 och P4 och P5 så sent som 2011 respektive 2012. Charon är väldigt stor, cirka 121 mil i diameter, så stor att vissa astronomer kallar Pluto och Charon för en dubbel dvärgplanet. Pluto visar alltid samma sida mot Charon och Charon visar alltid samma sida mot Pluto. Detta är ett ovanligt fall av bunden rotation ([s. 34](#)).

Man vet mer om Pluto än om de andra dvärgplaneterna, eftersom man känt till och studerat den så länge. Pluto har

sannolikt en kärna av bergarter som utgör cirka 70 % av dess diameter. Utanför denna finns ett tjockt lager av i huvudsak vattenis, och allra ytterst ett tunt lager av främst kräveis. Ytterst finns en atmosfär av mestadels kvävgas, metan och koldioxid.

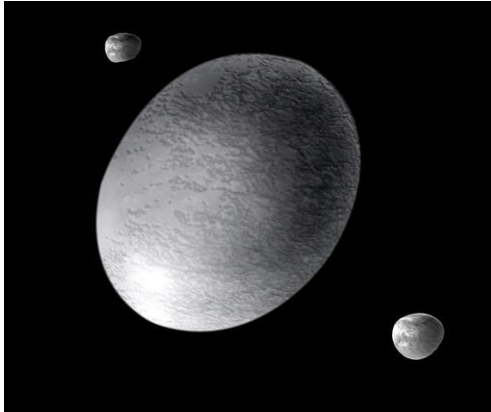


Bild: Det finns än så länge inga väldigt detaljerade fotografier av Haumea. Bilden visar hur dvärgplaneten kan tänkas se ut utifrån vad man vet idag (månarna har på denna bild placerats överdrivet nära Haumea).

Haumea

Haumea upptäcktes 2004, även om man i efterhand hittat den på foton från 1955.

Dvärgplanetens plats är långt ut i solsystemet och den rör sig i en kraftigt elliptisk omloppsbana på mellan cirka 35 till 52 AE från solen. Temperaturen på Haumea är under -220°C .

Haumea är den mest ellipsoida (ovala) av dvärgplaneterna. Dess långa axel på cirka 196 mil är ungefär dubbelt så lång som dess korta axel på 100 mil. Detta tros bero på att Haumea snurrar ett varv runt sin egen axel på endast strax under fyra timmar, vilket trycker ut dvärgplaneten åt två håll.

Haumea har två månar; Hi'iaka och Namaka. Hi'iaka är cirka 34 mil i diameter och Namaka cirka 17 mil i diameter. Med ganska stor sannolikhet bildades de två månarna när Haumea för mellan en och fyra miljarder år sedan träffades av en annan himlakropp. Haumea förlorade cirka 20 % av sin massa i kollisionen, varav det mesta blev till de två månarna och resten blev till några SSSBs som man funnit i det yttre solsystemet. Det är ganska tydligt att alla dessa himlakroppar hör till samma

”familj”, eftersom de alla har ett lager vattenis på ytan och har samma typ av omloppsbana.

Haumea består troligtvis av en kärna av bergarter täckta av ett tunt lager vattenis. Islagret kan inte vara för tjockt, för då skulle dvärgplaneten dragits ut och blivit mer oval än vad den är.

Makemake

Makemake upptäcktes 2005 men borde nästan på grund av sin relativt höga ljusstyrka ha upptäckts tidigare. Men att den inte gjorde det beror på att Makemake har en omloppsbana som ligger i ovanligt hög vinkel mot solsystemets plan.

Makemake ligger näst längst ut i solsystemet av dvärgplaneterna. Den rör sig i en kraftigt elliptisk omloppsbana på ett avstånd av cirka 39 till 53 AE från solen. Den är synlig med ett dyrt och proffsigt amatörteleskop, men då endast som en liten prick. Dess diameter är någonstans runt 150 mil, men dess exakta storlek är okänd.

Man har inte kunnat se någon måne runt Makemake. Detta gör det svårare att räkna ut Makemakes massa, eftersom en måne hjälper astronomer med detta.

Makemakes yta är mycket kall, runt -243°C , och består eventuellt av etan-, metan- och kväveis. Om detta stämmer skulle den ha en tunn atmosfär av kvävgas. Kärnan består troligtvis av bergarter.



Bild: Det finns än så länge inga väldigt detaljerade fotografier av Makemake. Bilden visar hur dvärgplaneten kan tänkas se ut utifrån vad man vet idag.

Eris

Eris upptäcktes 2005. Dess upptäckt hade stor betydelse i att ”degradera” Pluto från planet till dvärgplanet. Detta eftersom Eris var i samma storlek och hade liknande egenskaper som Pluto, och om man skulle utnämna alla sådana här himlakroppar till planeter kanske begreppet *planet* såsom de flesta känner till det till slut skulle tappa innebörden. I början kallades dock Eris ofta för ”den tionde planeten”. Eris kallades också av upptäckarteamet i början för Xena, efter TV-programmet *Xena - Krigarprinsessan*.

Eris ligger i det yttre solsystemet och är oftast längst ut av de fem dvärgplaneterna. Den har en ytterst kraftigt elliptisk (oval) bana, och dess avstånd från solen varierar mellan 38 och 98 AE. Detta kan jämföras med Neptunus, den yttersta av planeterna, som har en omloppsbana 30 AE från solen. Just nu befinner den sig nästan så långt bort den kan, vilket är tre gånger så långt bort från solen som Pluto. Dess yta har just nu en temperatur av runt $-243\text{ }^{\circ}\text{C}$, men kan vara så "varm" som $-217\text{ }^{\circ}\text{C}$ när dvärgplaneten är närmare solen. Eris och dess måne är de mest avlägsna objekt man känner till i solsystemet, bortsett från några rymdsonder och kometer.

Eris är någonstans runt 230 mil i diameter, man vet inte säkert. Eris är antingen större eller mindre än Pluto, beroende på vilken dess exakta diameter egentligen är, och därmed eventuellt den största dvärgplaneten.

Man har observerat en måne runt Eris, kallad Dysnomia. Den har en diameter på någonstans mellan 35 och 49 mil.

Man vet väldigt lite om vad Eris består av. Man tror att det på ytan finns frusen metan och i atmosfären metan i gasform. Eris tycks också vara grå.



Bild: Det finns än så länge inga väldetaljerade fotografier av Eris. Bilden visar hur Eris kan tänkas se ut utifrån vad man vet idag. Uppe till vänster syns solen och bortanför dvärgplaneten dess måne Dysnomia.

Månar

Det finns ingen klar definition på vad en måne är, men den lyder något i stil med: en *måne* eller *naturlig satellit* är en himlakropp med omloppsbana runt en annan himlakropp som inte är en stjärna. Det finns ingen bestämd undre eller övre gräns för en månens storlek.

Det har i vårt solsystem hittills (2013) upptäckts 176 månar med omloppsbana runt planeter. Till detta finns över 200 månar med omloppsbana runt dvärgplaneter och andra *small solar system bodies*. Du kan läsa mer om några av dessa månar under respektive himlakropp som de har omloppsbana runt (föregående sidor).

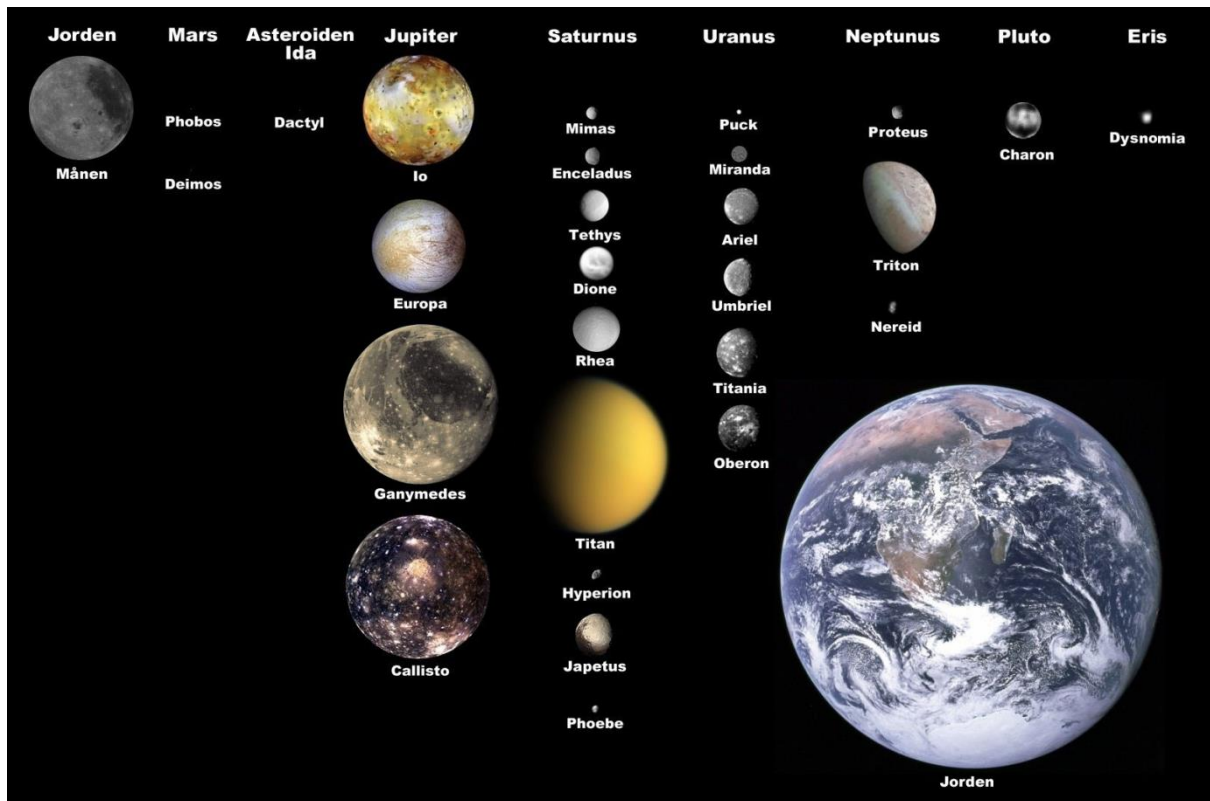


Bild: Några av månarna i solsystemet. Månarna är skalenligt avbildade gentemot varandra och jorden. Solsystemets största måne är Ganymedes (527 mil i diameter, omloppsbana runt Jupiter), följt av Titan (515 mil, Saturnus), Callisto (482 mil, Jupiter), Io (364 mil, Jupiter) och månen (347 mil, jorden).

Månen

Jorden har en måne, som kort och gott heter *månen*. Med en diameter på 347 mil är det solsystemets femte största måne. Månen gör ett varv runt jorden på 27,3 dagar.



Bild: Eftersom månens omloppsbana runt jorden är något elliptisk varierar avståndet dit mellan 363 000 och 405 000 km. Medelavståndet motsvarar ungefär 30 jorddiametrar. Tiden det tar för ljuset att färdas från månen till jorden är 1,3 s. Avståndet till månen är därmed 1,3 ljussekunder, och vi ser månen som den såg ut för 1,3 s sedan.

Det finns flera olika teorier om hur vi fick vår måne. Den inledningsvis mest logiska teorin är att månen bildades samtidigt som jorden ur stoffet i den nebulosa som bildade hela solsystemet. Men denna teori stämmer dock inte överens med det höga rörelsemängdsmoment (ungefär; energi i rotationen) som jorden och månen har tillsammans. Den ledande teorin om hur vi fick vår måne är i stället att en stor himlakropp, stor som Mars, kolliderade med det unga jordklotet och att månen bildades ur det stoff som kastades upp i omloppsbana runt jorden. Detta skulle ha skett 30–50 miljoner år efter att solsystemet bildades.

Månen gör ett varv runt jorden på 27,3 dagar. Denna period, den "vanliga" omloppstiden, kallas den *sideriska omloppstiden*. Detta betyder dock inte att det tar 27,3 dagar innan det blir fullmåne igen, eftersom detta också påverkas av jordens och månens samtidiga rotation runt solen. Denna period, alltså tiden det tar tills en himlakropp återigen hamnar i samma position i förhållande till två eller fler andra himlakroppar, och i

detta fall upplyses på samma sätt av solen sett från jorden, kallas den *synodiska omloppstiden* och är för månen 29,5 dagar.

Månen har en *bunden rotation* i förhållande till jorden, vilket innebär att den alltid visar samma sida mot oss. Månen roterar alltså ett varv runt sin egen axel på lika lång tid som den roterar ett varv runt jorden. Bunden rotation är inget speciellt för just vår måne, utan de flesta större månarna i solsystemet är rotationsbundna till sina planeter. Bunden rotation är en följd av *tidvattenkrafter*. Tidvattenkrafter kallas det när en himlakropp påverkar en annan himlakropps form genom sin gravitationskraft. Detta är känt på jorden, då månens gravitationskraft är större på den del av jordytan som är vänd mot månen. Detta märks genom att jordytan buktar utåt mot månen. Mest märks det på det lätttrörliga havet, vilket "lyfts" mot månen och vi upplever *flod*, det vill säga en havsnivå som är högre än medelvärdet. Tidvattenkraften märks även på den sida av jordklotet som är vänd bort från månen. Här är månens gravitationskraft extra svag, och jordytan "svävar" ut lite i rymden. Då både den sida som är vänd mot och från månen buktar utåt, dras de sidor av jordklotet vända 90 ° från månen inåt. Här upplevs *ebb*, det vill säga en havsnivå som är lägre än medelvärdet. Även om månen utövar tidvattenkrafter på jorden är tidvattenkrafterna jorden utövar på månen mycket större, och har resulterat i månens bundna rotation. Tidigare roterade månen relativt till jorden, och utbuktningar uppstod ständigt på den främre och bakre sidan relativt till jorden. Eftersom mer massa blev samlat i dessa utbuktningar blev också jordens gravitationskraft starkare här, och jorden försökte hela tiden dra dessa utbuktningar till sig så att de vändes mot jorden. Eftersom den främre utbuktningen dock låg närmare jorden var gravitationskraften starkare här, och jorden drog lite mer i den än i den bakre. Jorden skapade alltså hela tiden en utbuktning på månens framsida, och försökte sedan hålla kvar denna vänd mot jorden. Resultatet blev att månens rotation långsamt saktades ner, ända tills denna utbuktning alltid var vänd mot jorden. Månen är alltså även lite oval på grund av detta.

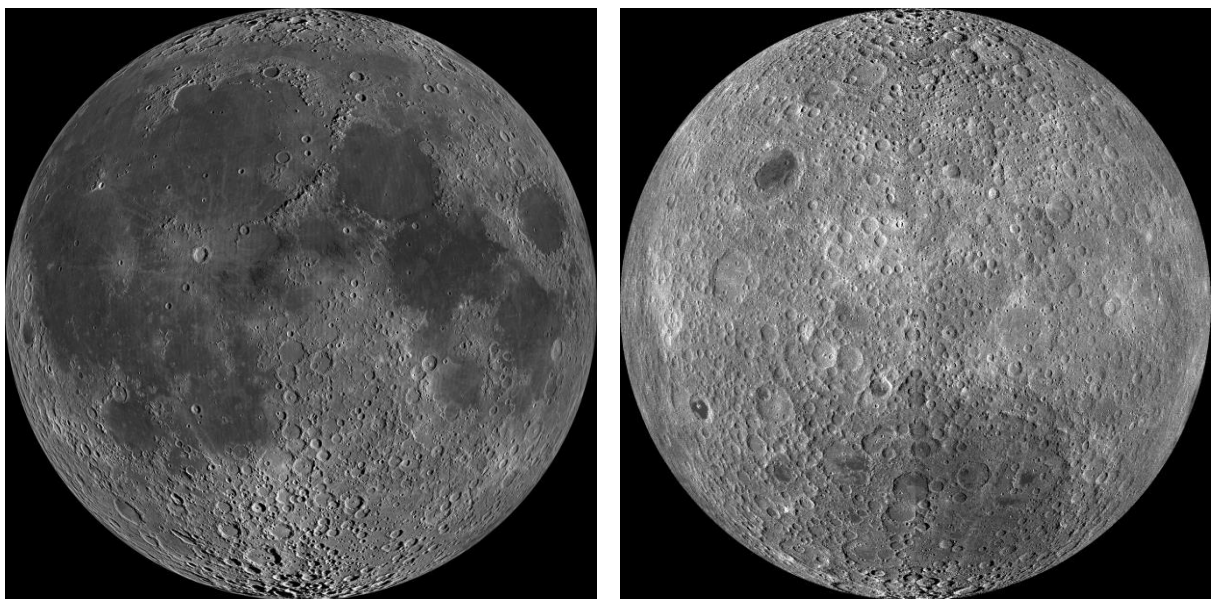


Bild: Månen vänder alltid samma sida mot jorden (vänster). Baksidan (höger) sågs för första gången 1959 när rymdsonden Luna 3 rundade månen och fotograferade den. Den första bilden hade mycket sämre kvalitet än denna bild, men det gick att se att baksidan var bergigare och hade färre månhav än framsidan.

Som tur är har vi fått den "roligaste" sidan av månen vänd mot oss, nämligen den sida med både många månhav och tydliga kratrar. *Månhaven* är de mörka partierna, främst på månens framsida men det finns även några små på månens baksida. Dess järnrika komposition gör den mörkare än övriga månytan. Månhaven består av gammal stelnad lava som kom upp på ytan när månen fortfarande vara vulkaniskt aktiv för mellan 3–4 miljarder år sedan (månen är inte längre vulkanisk aktiv). Denna lava rann ned i och fyllde stora nedslagskratrar som hade bildats sedan tidigare. Månhaven är vanligare på månens framsida eftersom månens skorpa är tunnare där. Anledningen till detta är fortfarande oklart. Namnet *månhav* kommer från att en del astronomer förr hypotetiserade om att dessa mörka partier var vatten.

De ljusare områdena på månens yta kallas *högländer*. Den månya som här är synlig är äldre än månhaven och därmed syns fler kratrar. En del av högländerna är dock egentligen lågländer, men som aldrig fylldes av lava. Månens högländer har en hel del berg och bergskedjor. En del av dessa berg bildades när månens skorpa

bildades och vissa delar av den "skrumpnade" ihop. Andra berg bildades tillsammans med nedslagskratrarna. Det högsta berget är Mons Huygens som är 5,5 km högt.

De kanske mest framstående kännetecknen på månen är dess kratrar. Månen visar hur jorden hade sett ut om vi inte haft vår kontinentaldrift samt kraftiga erosion och vittring. Generellt bildades de största och de flesta kratrarna längst bak i tiden, då solsystemet innehöll större och fler asteroider och kometer. De flesta kratrar tros faktiskt ha bildats under en kort period för 4,0–3,8 miljarder år sedan kallad *Late Heavy Bombardment* (s. 70). De flesta kratrarna är cirkelrunda, vilket en krater faktiskt blir även om en asteroid eller komet slår ner i låg vinkel (först vid infallsvinklar lägre än 5 ° börjar kratern bli oval).

Endast på väldigt branta kratersidor och gamla lavakanaler kan man se månens berggrund. Resten av ytan är täckt av *regolit*, vilket är söndersmulad berggrund. Regoliten har främst bildats genom nedslag, men även kosmisk strålning har en liten nedbrytande effekt på månytan.

Månen är den enda himlakropp förutom jorden som människan har satt sin fot på. Den första bemannade månlandningen gjordes 1969 av Neil Armstrong och Buzz Aldrin med NASA:s Apollo 11. Sedan följde Apollo 12, 14, 15, 16 och 17. Vardera av dessa Apollo-uppdrag hade samma upplägg med en servicemodul med en astronaut i som stannade kvar i omloppsbana runt månen, medan en månlandare förde ned två astronauter till månens yta. I och med att Apollo 17 lämnade månen 1972 hade 12 människor varit på månen, och ingen har återvänt sedan dess.

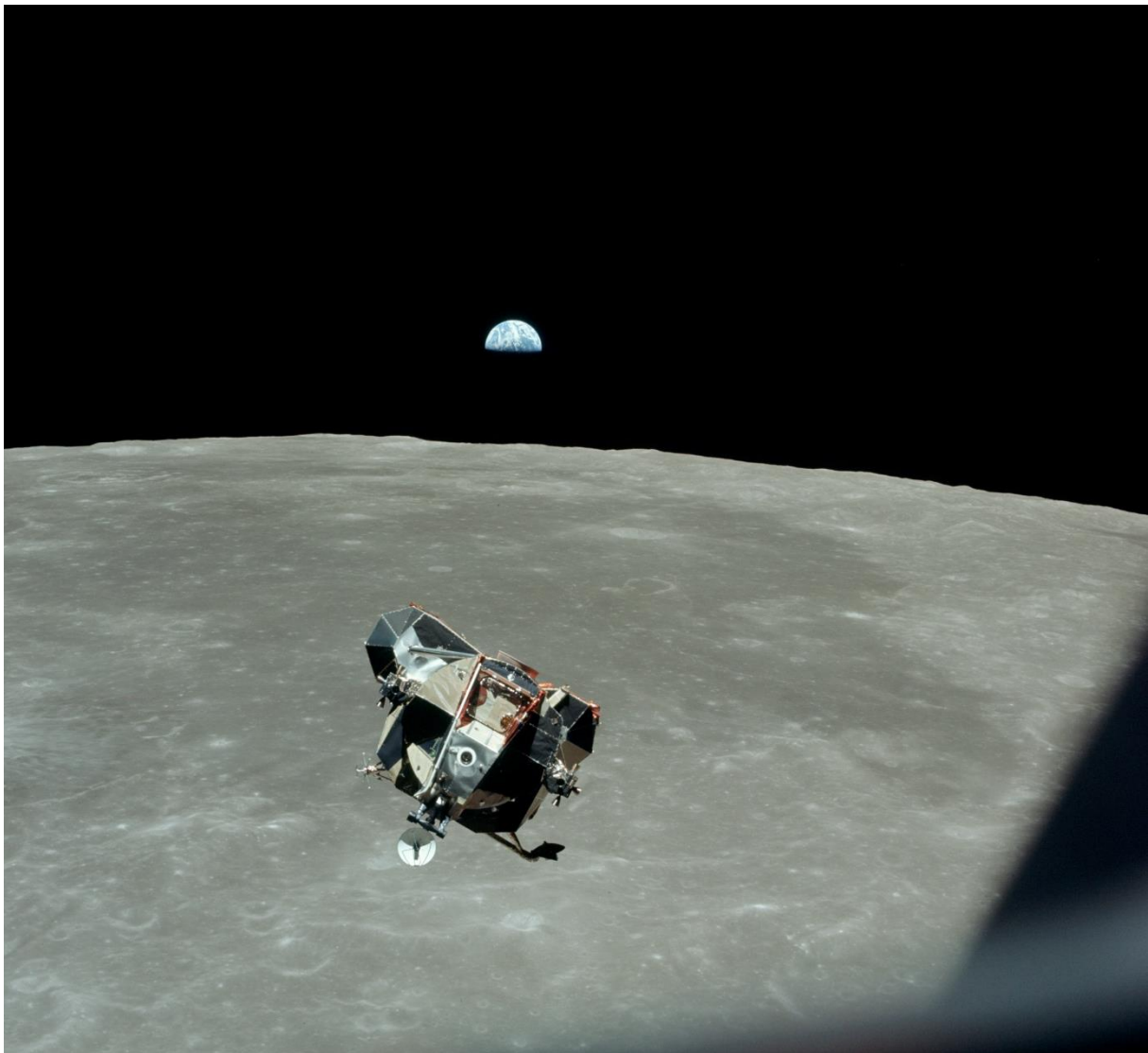


Bild: Medan Armstrong och Aldrin hade gått på månen hade Michael Collins ensam befunnit sig i omloppsbana kring månen med kommandomodulen. Efter att i över ett dygn varit "världens ensamaste man" siktade han *The Eagle* när den var på väg upp från månytan. Just som månlandaren närmade sig kommandomodulen för att docka steg jorden upp över månen. Collins rapporterade "earthrise" till markkontrollen i Houston och knäppte detta klassiska foto.

Small solar system bodies (SSSBs)

Small solar system bodies (SSSBs) är enligt IAU ett samlingsnamn på alla himlakroppar som varken är planeter, dvärgplaneter eller månar. Detta inkluderar alla *kometer*, *meteoroider*, *asteroider*, *centaurer*, *trojaner* och *transneptunska objekt*.

De flesta astronomer klassar fortfarande dvärgplaneterna också som någon typ av SSSB, även om detta enligt IAU:s indelning alltså är felaktigt. Men eftersom denna "dubbelklassificering" fortfarande görs av de flesta astronomer, gör även vi så här. Ceres klassas då som en asteroid medan Pluto, Eris, Makemake och Haumea klassas som transneptunska objekt.

Kometer

En *komet* är en isig och stenig himlakropp som uppvisar en karaktäristisk koma och eventuell svans när den kommer nära solen.



Bild: På bilden syns kometen Hale-Bopp. Kometen upptäcktes 1995 när den var på väg in mot solen, på ett avstånd mellan Jupiter och Saturnus omloppsbana (vilket är ovanligt långt bort för att upptäcka en komet). I maj 1996 blev den synlig för blotta ögat, och i april 1997 hade den utvecklats till tydlig koma och två stora svansar. I december 1997 försvann kometen återigen in i mörkret, även om den faktiskt fortfarande (2012) spåras av astronomer, 33 AU från solen. Hale-Bopp har en omloppstid på 2 520–2 533 år, men vilken dag som helst kan en ny komet på väg mot solen (och förhoppningsvis inte jorden) upptäckas.

När kometen är nära solen gör tryckökningen från solstrålningen samt solvinden att koman trycks iväg från solens riktning. Då bildas en svans på kometen. Både svansen och koman lyses upp av solen, vilket kan göra en komet väldigt ljusstark. Ibland syns två svansar på kometen. Då består den ena svansen av fast material och den andra av gas. Det fasta materialet påverkas nämligen lite mindre av trycket och solvinden och hänger kvar lite i kometens före detta färdriktning. Gassvansen å andra sidan är alltid riktad rakt från solen, oavsett åt vilket håll kometen rör sig.

Kometer innehåller också en del organiska ämnen, såsom metanol, etanol, etan och formaldehyd. Möjligtvis kan de även innehålla långa kolvätekedjor och aminosyror. Det väsentliga med detta är att kometer därmed kan innehålla byggstenarna för liv. Att livet uppstod på jorden tack vare kometnedslag är en av teorierna om livets uppkomst (s. 112). Just nu har man identifierat runt 90 kometer med en omloppsbana nära jorden.

Kometer har väldigt elliptiska omloppsbana som omväxlande för dem långt ut i solsystemet och nära solen. En del kometer har en ganska kort omloppsbana som inte för dem längre ut än planeterna. Ett exempel är den 11 km stora Halleys komet som har en omloppstid på 75–76 år och vars omloppsbana sträcker sig lite längre ut än Neptunus omloppsbana. Ett annat exempel är den 4,8 km stora Enckes komet som har en omloppstid på 3,3 år – den kortaste man känner till. Enckes komet rör sig som endast bara 2,2 AE från solen.

Andra kometer har långa omloppsbana, vilka då också blir mer elliptiska. Dessa kometer rör sig långt utanför planeterna och har en omloppstid på 200 år eller längre. Deras omloppsbana behöver heller inte ligga i solsystemets plan. Ett exempel är Wests komet (okänd storlek) som kan ha en omloppstid på flera miljoner år och en omloppsbana som tar den uppåt 70 000 AE (1,2 ljusår) från solen. En del kometer gör endast ett besök i solsystemet innan de bryts sönder, kolliderar med något eller kastas ut ur solsystemet efter ett dess bana störs av en planets gravitationskraft.

Själva kometen, alltså dess fasta kropp, kallas *kometkärnan*. Denna kan vara alltifrån 100 m till 40 km i diameter. Den består av sten, vattenis och frusna gaser (alltså ämnen i fast form) såsom kolmonoxid, koldioxid, metan och ammoniak. De tycks ha en skorpa av sten, med de övriga ämnena dolda under ytan. Eftersom de är så små och därmed har svag gravitationskraft blir de inte runda till formen, utan behåller en ojämn profil.

Koman är en tillfällig atmosfär som bildas när de fasta ämnen i kometkärnan består av övergång (sublimerar) till gasform. Även en del fasta partiklar lossnar från kometkärnan och hänger kvar som stoff i koman. Koman bildas när strålningen från solen värmer kometkärnan och den hålls kvar av gravitationskraften från kometkärnan.



Bild: Varje år passerar jorden genom meteoroidsvärmen Leoniderna. Meteoroidsvärmen är egentligen stoff som Temple-Tuttles komet lämnat efter sig.

Meteoroider

En *meteoroid* är, enligt en definition av IAU från 2011, "en fast himlakropp markant mindre än en asteroid och avsevärt större än en atom". Traditionellt har begreppet *meteoroid* avsett himlakroppar mindre än 10 m. Meteoroider är alltså de riktigt små himlakropparna som åker omkring i vårt solsystem. Generellt upptäcks de bara när de kommer in i jordens atmosfär. De värms då hastigt upp av friktionen som uppstår (kollisioner mellan de partiklar atmosfären består av och de partiklar meteoroiden består av) och förångas helt eller delvis samtidigt som de avger ett starkt sken. Detta himlafenomen kallas en *meteor*. Om en del av meteoroiden når marken kallas den resulterande stenen för en *meteorit*.

Asteroider

Det finns ingen riktigt bestämd definition på vad en *asteroid* är. Traditionellt skilde man på tre typer av objekt i solsystemet utöver planeter och månar; kometer, meteoroider och asteroider, där asteroider var de himlakroppar som var större än 10 m i diameter men som inte uppvisade en koma. De flesta asteroider man hade hittat då låg i omloppsbana innanför Jupiter. Men sedan började man hitta liknande objekt längre ut i solsystemet och då blev astronomer osäkra på om även dessa skulle kallas asteroider. Med tiden fick också dessa objekt sina egna namn (dessa kallas i stället centaurer eller transneptunska objekt, se nedan) och asteroider avser numera endast objekten vid eller innanför Jupiters omloppsbana. Här avses just dessa.

Asteroider är fasta objekt som i till stor eller största del består av sten. Vissa består även av vattenis, men det är oklart om asteroider innehåller lika mycket vatten som kometer.

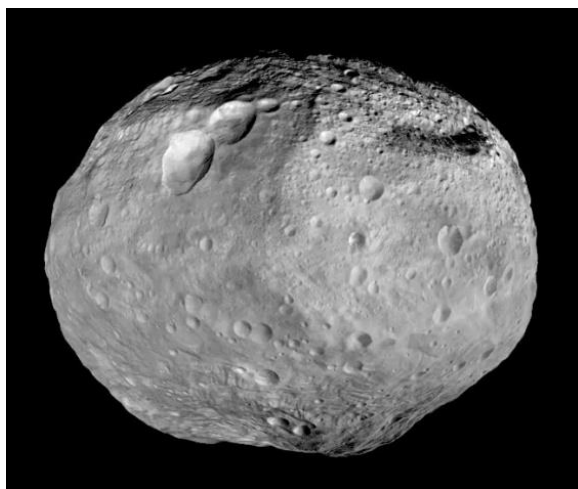


Bild: Asteroiden Vesta fotograferad av rymdsonden Dawn. Uppe till vänster syns tre kratrar på rad i minskande storlek, vilka fått namnet "Snowman craters".

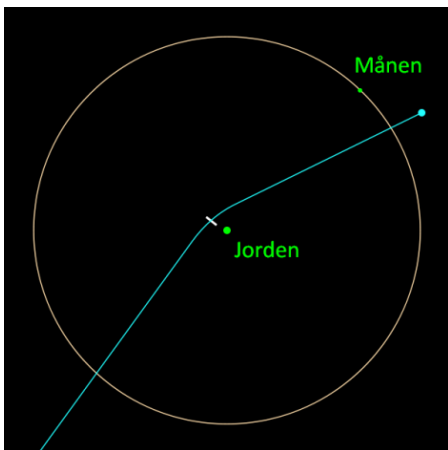


Bild: Bilden visar hur nära 99942 Apophis kommer att passera jorden år 2029. Det vita strecket anger osäkerheten i beräkningarna. Vid passagen kommer asteroiden att vara synlig för blotta ögat. Asteroiden är cirka 270 m i diameter och skulle ödelägga ett område stort som Europa vid en kollision med jorden.

Det finns miljontals asteroider, varav de flesta med största sannolikhet är oupptäckta. Deras storlek kan variera från meter till mil. Många av de större asteroiderna har egna små månar, vilka är före detta asteroider som fångats in av de större asteroidernas dragningskraft. Många asteroider består av en löst packad hög av före detta asteroider som har kolliderat med varandra. Andra asteroider är rester av en större asteroid som gått sönder i en kollision.

Majoriteten av asteroiderna ligger i omloppsbana runt solen mellan Jupiter och Mars. Detta område, eftersom det är så asteroidtätt, kallas *asteroidbältet*. Det är också här som de största asteroiderna finns. Det allra största objektet här är Ceres, med en diameter på 97 mil. Ceres är dock så stor att den genom sin egen gravitation blivit rund och klassas därmed numera som en dvärgplanet (s. 30). Ceres brukar dock ofta klassas både som en asteroid och en dvärgplanet. Den största "äkte" asteroiden är däremot Pallas med mått på cirka 58×56×50 mil, följt av Vesta (cirka 57×56×45 mil) och Hygia (cirka 53 × 41× 37 mil). Ceres, Pallas, Vesta och Hygia utgör tillsammans cirka 51 % av asteroidbältets massa. Asteroidbältets totala massa motsvarar i sin tur cirka 4 % av månens massa.

Många asteroider har en omloppsbana som för dem förbi jordens närhet. Runt 9 000 *near-Earth asteroids* har hittills identifierats. Endast två av dem har värdet "1" på *Torinoskalan*, resten har "0". Torinoskalan anger risken för en himlakropp att kollidera med jorden, där "1" betyder att risken är minimal och att kommande observationer troligtvis kommer degradera objektet till "0", vilket i sin tur betyder att det inte finns någon risk för en kollision. Detta är dock en liten underdrift, för en liten chans finns alltid på grund av osäkerheten i observationer och beräkningar. Asteroiden 99942 Apophis orsakade uppståndelse när den upptäcktes 2004 och man beräknade att det fanns 2,7 % risk att den skulle kollidera med jorden vid nästa passade 2029. Denna risk har dock beräknats om till 0 %, men det finns fortfarande en risk på 1 på 250 000 att en kollision sker vid ännu nästa passage 2036.

Centaurer

Centaurer definieras oftast som *small solar system objects* med en omloppsbana mellan Jupiter och Neptunus, men som korsar en eller flera av Jupiter, Saturnus, Uranus eller Neptunus omloppsbana någon gång. Namnet *centaur* kommer från den mytologiska varelsen *kentaur* som är en blandning mellan häst och människa. Detta eftersom centaurer kan ses som en blandning mellan kometer och asteroider.

En uppskattning är att det finns runt 44 000 centaurer större än 1 km i diameter i solsystemet. Den största man upptäckt är 10199 Chiraklo, som är runt 26 mil i diameter. Ingen centaur har än så länge fotograferats på nära håll.



Bild: Centaurer har väldigt instabila omloppsbana på grund av deras närhet till gasjättarna. Många astronomer misstänker att Saturnus 21 mil stora måne Phoebe är en före detta centaur som fångats av planetens gravitation.

Trojaner

Trojaner är små himlakroppar som delar omloppsbana med en planet eller en måne, men som inte kolliderar med den. En trojan har hamnat i en gravitationellt stabil punkt, 60 ° före eller efter planeten i dess omloppsbana. Trojanen behöver dock inte ligga i denna punkt, utan "dansar" oftast runt i någon form av bana med denna punkt som dess centrum.

En del asteroider är även trojaner, och kallas då *trojanska asteroider*. Dessa är alltså små himlakroppar (SSSBs) som delar omloppsbana med någon av de inre planeterna, men som inte är månar. Men det finns även trojaner hos de yttre planeterna, och dessa brukar endast kallas trojaner, eftersom de i regel inte klassas som asteroider.

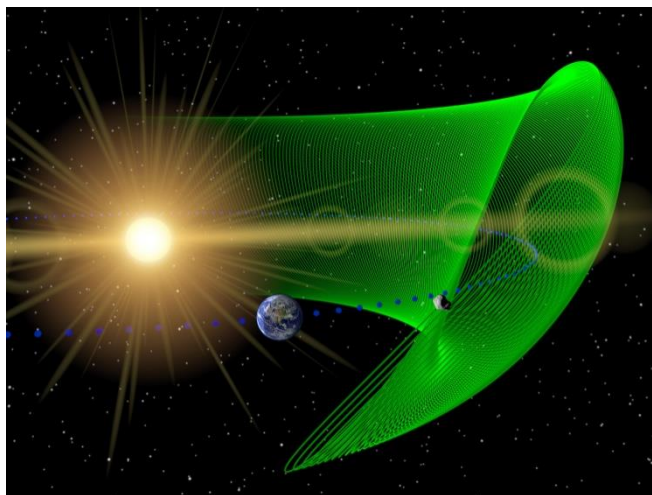


Bild: Jorden har en liten följeslagare. 2010 TK₇ är en cirka 300 m stor asteroid som dansar före jorden i vår omloppsbana runt solen. Den är vår enda kända så kallade trojan. På bilden syns hur avståndet till asteroiden från jorden varierar. Varje "öglå" tar 1 år att genomföra och hela färden längs den gröna linjen, fram och tillbaka, tar 395 år. Som närmast är den cirka 50 gånger längre bort än månen och som längst bort nästan på andra sidan solen.

Transneptunska objekt

Transneptunska objekt är alla himlakroppar med en omloppsbana utanför Neptunus. De två största transneptunska objekt man känner till dvärgplaneterna Eris och Pluto (man vet inte vilken som är störst), vilka båda har en diameter på cirka 230 mil. Därefter följer de andra två dvärgplaneterna Makemake och Haumea. Dessa himlakroppar klassas alltså oftast både som transneptunska objekt och dvärgplaneter. Några andra stora transneptunska objekt som vid vidare observationer kan visa sig vara runda och därmed bli också klassade som dvärgplaneter är 50000 Quaoar, 90482 Orcus och 90377 Sedna.

Exoplaneter

Astronomer tror att de flesta stjärnor har planeter runt sig, eftersom planeter är en sorts biprodukt av vanlig stjärnbildning. Cirka 0,1 % av massan som går åt till stjärnbildning tros vanligtvis bli till planeter. Planeter runt andra stjärnor kallas *exoplaneter*.

Det tog dock ganska lång tid innan man lyckades hitta andra planeter eftersom de är så små och ljussvaga i förhållande till stjärnor. Den första definitiva upptäckten gjordes 1995 och fram tills 9 november 2012 hade man bekräftat 846 exoplaneter i 665 olika stjärnsystem. I oktober 2012 upptäckte man att även vår närmsta stjärnsystemgranne Alpha Centauri har en planet.

De flesta exoplaneterna har en storlek av minst Jupiters massa, men man har även hittat planeter som är i jordens storlek. De allra flesta av dessa planeter har hittats indirekt, bland annat genom mätningar av hur deras stjärnor rör sig när de påverkas av planetens gravitation. Men några få exoplaneter har även fotograferats i riktigt ljus.

Än så länge har man inte funnit liv någon annanstans i universum, men det verkar rimligt att det borde finnas. Problemet för interaktion mellan världar är de stora avstånden. Människan har inte tekniken för att resa så långt. Även om vi hade tekniken, och kunde resa närmare ljusets hastighet, finns ett annat problem. Resan skulle för våra astronauter gå på minuter, men universum skulle åldras tusentals, kanske miljontals år, under samma tid (detta enligt speciella relativitetsteorin, [s. 150](#)). En civilisation existerar kanske inte så lång tid.

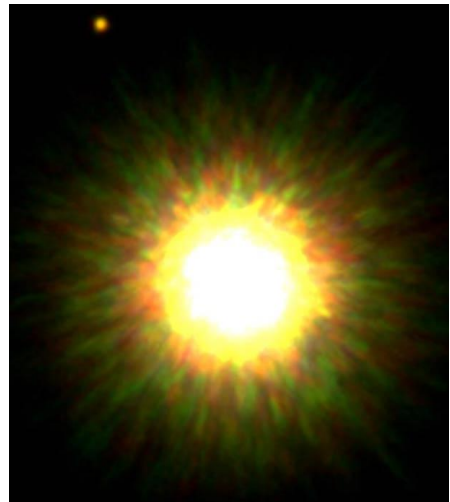


Bild: Exoplaneten *1RXS J160929.1-210524 b*, är en av dem som fotograferats. Den har en massa åtta gånger så stor som Jupiters och en omloppsbana 330 AE från sin stjärna (det stora objektet är stjärnan och det lilla är planeten).

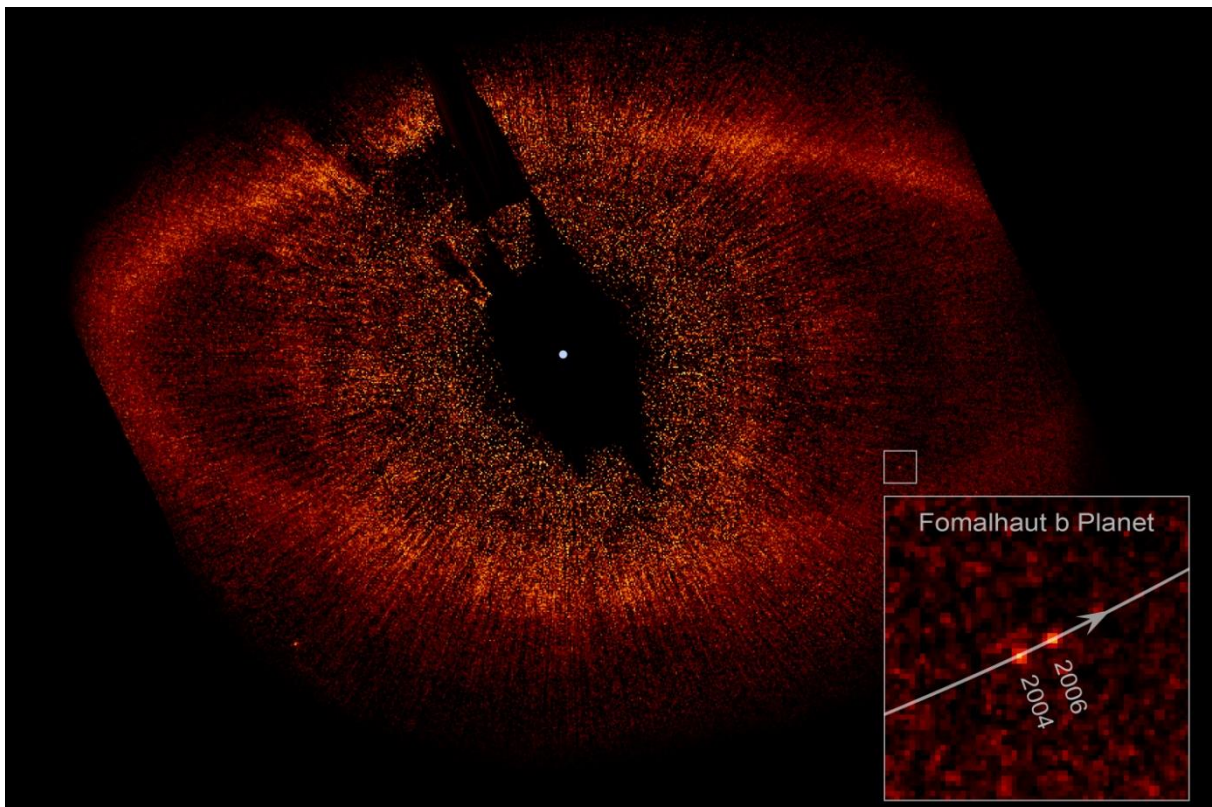


Bild: En annan exoplanet som fotograferats är *Fomalhaut b*. Bilden visar ett gas- och stoffmoln runt stjärnan Fomalhaut (uttalas "fom al hot", från arabiskan), ett sådant som är sammankopplat med uppkomsten av planeter. Planeten tros vara ungefär lika stor som Jupiter och har en omloppsbana 115 AE från Fomalhaut. Omloppstiden är cirka 872 år, och bilden visar stjärnans positioner på foton tagna 2004 och 2006 av Hubble-teleskopet. Dock tog det fram till 2008 tills man ansåg sig veta att detta var en planet.

Stjärnastronomi

Stjärnastronomi är vetenskapen om stjärnor. En *stjärna* är en massiv lysande kropp av plasma som hålls ihop av gravitationen.

Stjärnbildning

En stjärna bildas när en nebulosa (ett moln av gas och stoff i rymden) drar sig samman på grund av gravitationskraften mellan alla gaspartiklar i molnet. De flesta nebulosorna i universum består av ungefär tre fjärdedelar väte och en fjärdedel helium. Men viktigt är även de runt två procenten tyngre grundämnen, vilka är avgörande för den kommande stjärnans egenskaper.

När molnet dras samman kolliderar atomerna i gasen med varandra allt oftare och med högre och högre hastighet. Den höga hastigheten hos atomerna är detsamma som hög temperatur - nebulosan värms upp. Till slut blir den så varm att när två väteatomer kolliderar, gör de det med så hög hastighet att de slås ihop, de fusionerar. Vid denna reaktion bildas, utöver värme, även elektromagnetisk strålning, vilken lämnar stjärnan i form av bland annat synligt ljus.

En stjärna balanserar mellan att kollapsa ihop till en punkt på grund av sin egen gravitation, och att svälla upp på grund av trycket i stjärnan (vilket beror på partiklarna i stjärnan som kolliderar och trycks bort från varandra). När fusionsreaktionerna startar frigörs värme, vilket är detsamma som intensivare reaktioner mellan partiklarna i stjärnan, och därmed ökar trycket. Det är då stjärnan slutar dra ihop sig och får en stabil storlek.

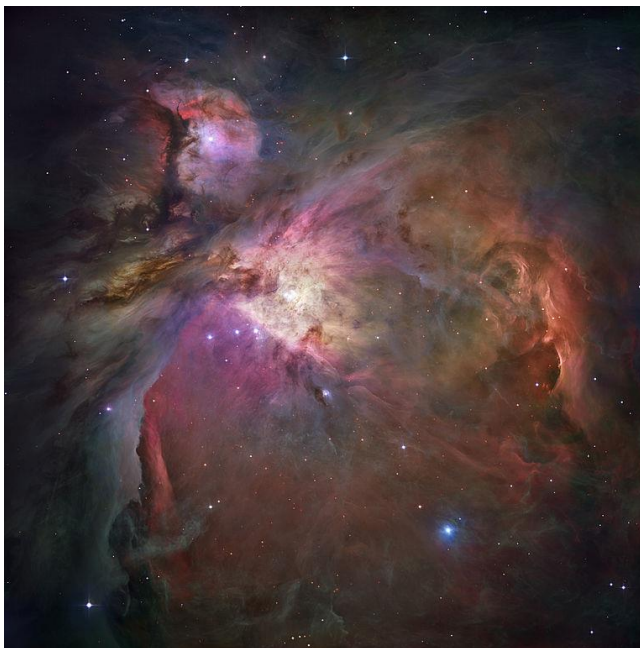


Bild: Orionnebulosan är på mörka nätter synlig som ett diffust litet moln under de tre stjärnorna i Orions bälte. Nebulosan ligger $1,344 \pm 20$ ljusår från jorden och är typexemplet för en stjärnbildande nebulosa. Olika delar av det 24 ljusår stora molnet drar sig samman och bildar olika stjärnor, säkerligen med tillhörande planeter. Runt 700 stjärnor i olika stadier i utvecklingen har hittats i nebulosan. Bilden är tagen av Hubbleteleskopet.

Stjärndöd



Bild: Plejaderna syns på natthimlen som "mini-Karlavagnen". Stjärnorna är bundna till varandra av gravitationen. De passerar just nu genom ett område med gas och stoff i rymden, vilket skapar denna vackra bild.

Stjärnor tillbringar cirka 90 % av sin tid med att fusionera väte till helium vid högt tryck nära kärnan. Beroende på hur stora stjärnorna är, det vill säga hur mycket bränsle de har, kommer de efter en viss tid att dö. På detta vis har generationer av stjärnor passerat. Dock inte så många, för de flesta stjärnor har en ganska lång livstid jämfört med hur länge universum har funnits. Solen, som brukar beskrivas som en ganska genomsnittlig stjärna, har exempelvis funnits i cirka 4,5 miljarder år och kommer att leva i 5 miljarder år till. Vårt universum är 13,7 miljarder år gammalt.

Ju större än stjärna är, det vill säga ju mer vätebränsle den har, ju kortare liv har den. Detta beror på att en sådan stjärna måste vara extra varm för att balansera ut den starka gravitationskraft den besitter på grund av sin storlek. För att inte kollapsa inåt måste dess tryck vara högt, och detta uppnås genom att stjärnan blir väldigt varm. Och ju varmare den är, ju snabbare gör en slut på sitt väte. En

riktigt stor stjärna kan göra slut på sitt bränsle på endast 100 miljoner år. Små stjärnor, å andra sidan, förbränner sitt bränsle så långsamt att de kan leva i tiotals, kanske hundratals, miljarder år.

En stilla död

När allt väte är slut börjar stjärnan sina sista dagar. Beroende av hur stor stjärnan är kommer olika saker att hända, till exempel en fas när stjärnan är en röd jätte, men slutet för små eller medelstora stjärnor innebär att den stöter bort sina yttersta lager. Denna materia bildar återigen en nebulosa. Kvar blir en vit dvärg som skiner i hundratals miljarder år av gammal lagrad värme. Solen kommer att bli en röd jätte, följt av en vit dvärg.

En vit dvärg består oftast av kol och syre, vilket bildats under tiden stjärnan var en röd jätte och helium fusionerades till detta. Den kan även innehålla helium, neon eller magnesium.

En vit dvärg skulle kollapsa på grund av sin egna gravitation om det inte vore för Paulis uteslutningsprincip (s. 138) som säger att två elektroner inte kan vara i samma utrymme samtidigt. Detta gör att materia i vita dvärgen bara kan pressas ihop till en viss gräns. En vit dvärg skiner endast med hjälp av kvarlämnad energi – alltså atomkärnors och elektrons inre energi (s. 157), bland annat i form av deras rörelse som ger upphov till elektromagnetisk strålning.

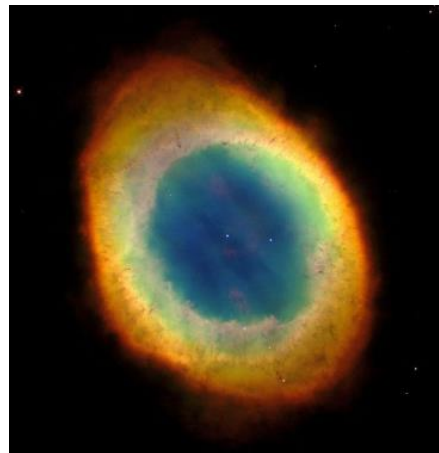


Bild: Ringnebulosan bildades när en röd jätte stötte bort sina yttre lager. Kvar blev en vit dvärg, vilken syns i mitten.



Bild: När en supernova inträffar kan den lysa starkare än en hel galax. Sedan tynar ljuset bort under de närmaste veckorna eller månaderna. Denna supernova, SN 1994D, upptäcktes i galaxen NGC 4526. Den inträffade för ungefär 55 miljoner år sedan, men ljuset nådde jorden 1994.

En explosiv död

Större stjärnor, oftast över 1,4 solmassor, har en mer spektakulär död. De kommer att implodera när gravitationen får övertaget över fusionsenergin som vill slita isär stjärnan. Därefter sker en våldsam explosion, likt en våg som studsar mot klipporna. En sådan exploderande stjärna kallas *supernova*. I en supernova kastas materia ut i rymden och resultatet blir återigen en nebulosa. Kvar i mitten blir dock ingen vit dvärg, utan vid supernovor bildas neutronstjärnor eller, om stjärnan var riktigt massiv, ett svart hål.

En *neutronstjärna* är cirka 10 km i diameter och har en massa motsvarande 1,4 solmassor. Denna otroliga densitet beror på att atomerna har kollapsat, och protoner och elektroner sjunkit ihop och bildat neutroner.

Ett *svart hål* är ett område i rymden där gravitationen är så stark att ingenting, inte ens ljuset, kan fly undan. Därför är ett svart hål helt svart. I mitten av det svarta hålet finns något som man inte helt förstår vad det är, för det är nämligen något utan volym men med en väldigt hög massa. Än så länge har inga svarta hål observerats direkt, men allt mer tyder på att Vintergatan och många andra galaxer har ett supermassivt svart hål i sitt centrum.

Rymden förorenas med grundämnen

Vare sig stjärnan dör en stilla eller explosiv död innehåller den nebulosa som lämnas kvar tyngre grundämnen än väte och helium. Dessa tyngre grundämnen skapas genom fusionsreaktioner när stjärnan är på väg att förbruka sitt väte- och heliumbränsle. I stället för att endast fusionera väte till helium sker en uppsjö av fusionsreaktioner som resulterar i allt större atomkärnor. Rymden berikas på så sätt med grundämnen som kol, syre, kväve, järn, guld, neon, aluminium och kisel. Även stjärnvinden, den ständiga strålningen från stjärnor, innehåller en liten del tyngre grundämnen.

Under en stjärnas vanliga liv är det tyngsta grundämne som kan bildas järn. Om stjärnan sedan dör genom en supernova kan alla naturliga grundämnen bildas.

Galaktisk astronomi

Galaktisk astronomi är vetenskapen om vår galax Vintergatan.

Galax

En *galax* är ett av gravitationen sammanhängande system av stjärnor, stjärnsystem, men även av stjärnrester, interstellärt medium och mörk materia.

En galax kan innehålla alltifrån 10 miljoner stjärnor till 100 miljoner miljarder stjärnor. Dessa ligger i omloppsbanor runt galaxens centrum. Enligt ganska ny forskning tycks det finnas ett supermassivt svart hål i de flesta, om inte alla, galaxcentrum.

Det *interstellära mediet* kallas den materia som finns i den svarta rymden mellan stjärnor. Denna materia består av gas, stoff och kosmisk strålning.

Vintergatan

Den galax vårt solsystem befinner sig i kallas Vintergatan. Vintergatan är en ganska typisk, mogen, galax. Den är en spiralgalax, vilket innebär att den har "armar" av stjärnor som leder ut från centrum.

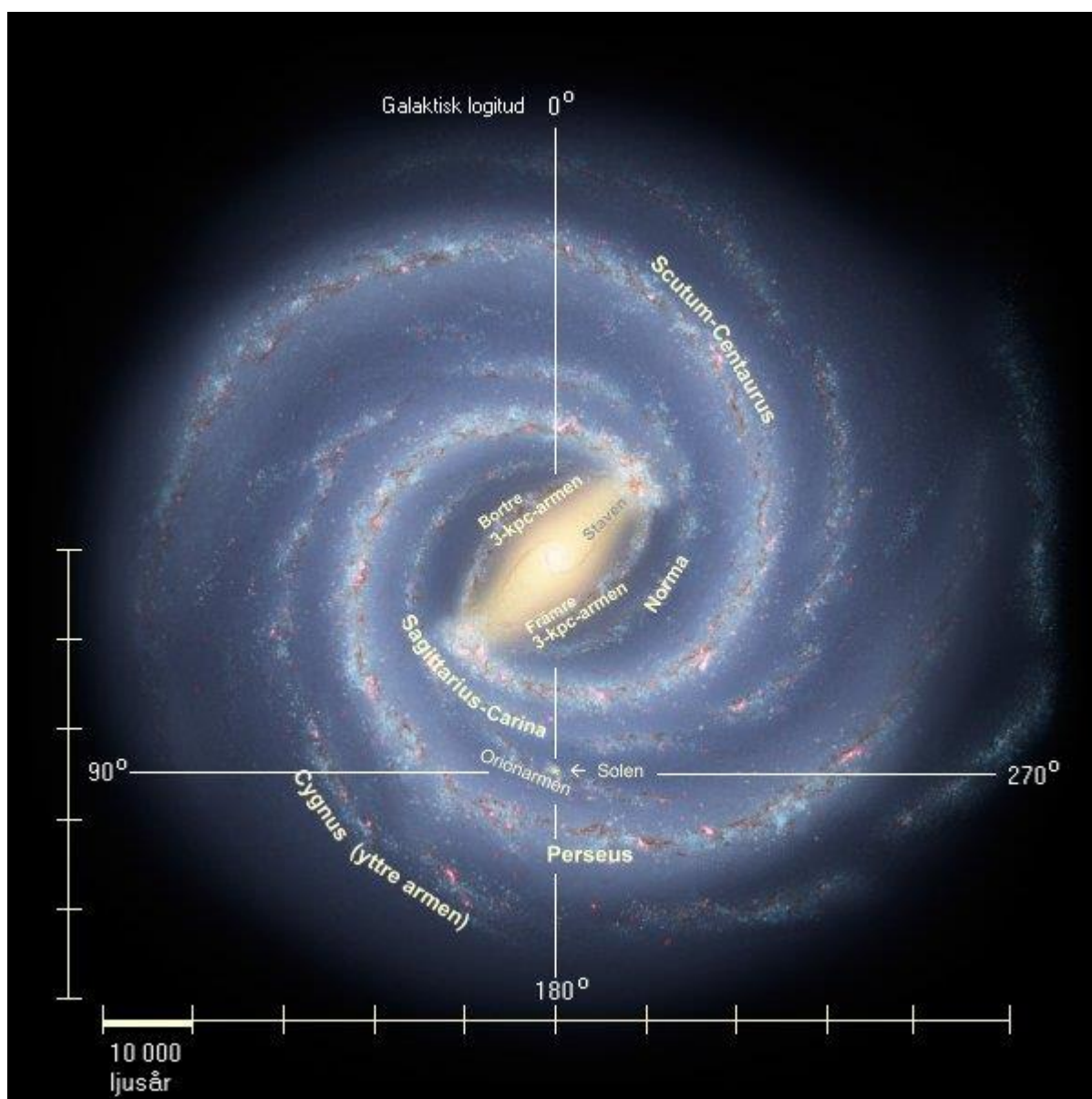


Bild: Solens plats i Vintergatan. Centrum av Vintergatan ligger om man tittar mot stjärnbilden Skytten, vilken i Sverige ligger lågt på horisonten.

Vår sol är en av minst 100 miljarder stjärnor i Vintergatan. Olika bud ligger på 100–400 miljarder stjärnor. Vintergatans diameter är cirka 100 000 ljusår, dess tjocklek cirka 12 000 ljusår. Vårt solsystem ligger 25 000–28 000 ljusår från Vintergatans centrum. Det tar cirka 250 miljoner år för vårt solsystem att fullborda ett varv runt Vintergatans centrum (ett galaktiskt år). Solsystemet rör sig i cirka 220 km/s runt centrum.

Vintergatan faller i cirka 600 km/s i riktning mot stjärnbilden vattenormen på södra himsfären. Det den faller mot är en samling av tusentals galaxer, flera hundra miljoner ljusår bort.

Lite liknelser om avstånd

Antalet stjärnor i Vintergatan är lika många som antalet sandkorn som får plats i en 1×1×1 m stor kub. Om man skulle räkna sandkornen, "*Betelgeuse, vår sol, Polstjärnan...*" och så vidare, skulle det ta 3000 år att räkna dem alla. Om jordens omkrets är lika stor som ett knappålshuvud (jorden är då lika stor som ett virus och solen som en mänsklig cell) är solsystemet lika stort som om man bildar en cirkel mellan tumme och långfinger. Den närmsta stjärnan är en annan mänsklig cell 274 m bort. Alla stjärnor vi ser enskilda på natthimlen är inom ett par kilometer. Vintergatan är lika stor som USA.

Vår närmaste stora galaxgranne är Andromedagalaxen som ligger 2,5 miljoner ljusår bort. Om Vintergatan var en fotbollsplan stor, skulle Andromedagalaxen vara stor som två fotbollsplaner och ligga 2,5 kilometer bort. Andromedagalaxen, tillsammans med två andra galaxer (Stora och Lilla Magellanska molnet, 14 000 respektive 7 000 ljusår i diameter), är synliga med blotta ögat.



Bild: En galax är väldigt ljussvag eftersom stjärnorna i den ligger långt från varandra. Fotografier av galaxer är i regel tagna med lång slutartid. När Andromedagalaxens ljus på detta sätt förstärks ser man att den egentligen är mycket större än månen på natthimlen. Det man ser med blotta ögat är annars endast centrum av galaxen, som en diffus vit fläck.

Extragalaktisk astronomi, kosmologi

I detta avsnitt kommer extragalaktisk astronomi och kosmologi att behandlas tillsammans.

Extragalaktisk astronomi är vetenskapen om universum utanför Vintergatan.

Kosmologi är vetenskapen om universum som helhet. Inom kosmologin studerar man universums uppkomst, evolution, struktur och framtid.

Universums historia

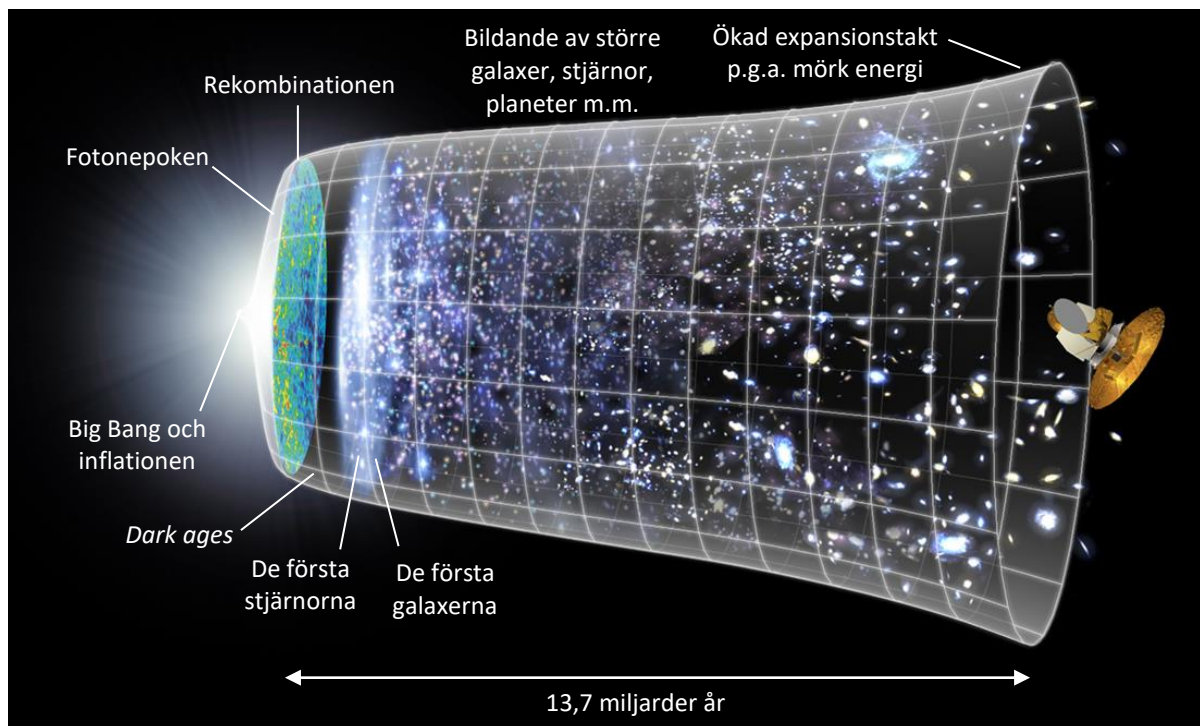


Bild: Universum uppstod genom en hastig expansion av rummet kallad Big Bang. Snabbast gick expansionen strax efter Big Bang, under en kort period som kallas inflationen. Därefter följde en period när universum var en ogenomskinlig "soppa" av ljus, atomkärnor och elektroner - fotonepoken. Expansionen gjorde att universum så småningom svalnade tillräckligt för atomkärnor och elektroner att förenas till atomer och när denna rekombination skedde blev universum genomskinligt och mörkt. Dock lyste de första stjärnorna upp universum 0,2–0,3 miljarder år efter Big Bang. Därefter bildades de första små galaxerna och med tiden har små galaxer slagit sig samman till större. Nebulosor från stjärnor i dessa galaxer som dött har återigen klumpat ihop sig till stjärnor, men även till planeter och andra himlakroppar. Universums expansionsstakt minskade stadigt till för 9,4 miljarder år efter Big Bang. Då började den mystiska mörka energin dominera i universum, vilket ledde till att expansionshastigheten återigen ökade.

Big Bang

Big Bang-teorin förklarar hur vårt universum som helhet uppstod och utvecklades. Universum uppstod för $13,7 \pm 0,1$ miljarder år sedan genom en hastig och kraftig expansion, kallad *Big Bang*. Big Bang var inte någon form av expanderande materia i ett redan befintligt rum, likt en dynamitexplosion, utan det var själva rummet som expanderade. Tillsammans med rummet uppstod även tiden, eftersom rummet och tiden är sammanlänkade i rumtiden. *Rumtiden* är en fyrdimensionell sammanslagning av rummets tre dimensioner och tidens en dimension, vilken bland annat innebär att en förändring av rummet också leder till en förändring av tiden och vice versa, även om dessa effekter är störst vid väldigt hög gravitation eller vid höga relativistiska hastigheter (s. 150). Eftersom rumtiden uppstod i och med Big Bang är frågor som "vad finns utanför universum?" och "vad fanns innan Big Bang?" svåra att svara på. Rum och tid är fenomen som vi just nu bara känner till i vårt nuvarande universum.

Inuti och förbundet med det nybildade rummet fanns även en ofantlig mängd energi och materia. Allt detta var innan Big Bang samlat i en oändligt massiv och het punkt – en så kallad *singularitet*.

Universums ålder har man räknat ut med flera oberoende metoder. En metod är att mäta hur snabbt galaxer rör sig bort från oss och räkna baklänges på när alla var på samma plats. En annan metod involverar att mäta åldern på stjärnkluster, och där man aldrig hittat några stjärnor som är äldre än 13,7 miljarder år.

Universum var i början väldigt litet och allt var oerhört tätt packat. All energi och materia som finns idag fanns redan då, men i ett mindre område. Detta gjorde att det var oerhört varmt och inga elementarpartiklar (till exempel kvarkar och elektroner) kunde sitta ihop och bilda större partiklar såsom atomkärnor. När expansionen fortgick svalnade dock universum. Partiklarna kunde då börja hållas ihop.

Varför Big Bang över huvud taget skedde vet man inte. Men när expansionen väl började fortsatte den. När rummet i sig väger något faller det utåt, vilket leder till att universum expanderar. Eftersom inget finns i vägen för detta "fall" fortsätter det bara. Universums volym tros ha ökat med en faktor av minst 10^{78} mellan 10^{-36} och 10^{-32} s efter Big Bang. Detta kan liknas vid om ett litet mynt på 1 cm i diameter på en bråkdel av en sekund växte till att bli tio miljoner gånger bredare än vår galax Vintergatan. Detta kan tyckas gå emot relativitetsteorins (s. 150) grund om att inget kan röra sig snabbare än ljuset, men detta gäller inte rummet självt. Denna snabba expansion slutade dock plötsligt på grund av okända anledningar. Den inledande kraftiga expansionen av universum kallas *inflationen* och är en viktig del i Big Bang-teorin. Det finns dock varianter av Big Bang-teorin som inte inkluderar inflationen, även om de flesta astronomer anser att den har hänt. Inflationen kan ses som själva "bang:et" i Big Bang.

Efter inflationen fortsatte expansionen, men i en mycket lägre hastighet. Universums expansion fortsätter än idag och kommer, enligt de ledande teorierna, fortsätta så länge universum existerar.

Fotonepoken och rekombinationen

Under de första 10 s efter Big Bang skedde många komplicerade förändringar som vi inte går närmare in på här. Men sammanfattningsvis passerade korta perioder där en viss typ av partiklar dominerade universum, som sedan förintades och lämnade över till en ny typ av partiklar, och så vidare. Men därefter, 10 s efter Big Bang och fram till 380 000 år efter Big Bang, var förhållandena någorlunda stabila och den så kallade *fotonepoken* varade. Epoken kallas så eftersom universum dominerades av fotoner (s. 139), vilka även kallas ljuspartiklar.

Under de första minuterna av fotonepoken bildades atomkärnor tyngre än väte (vätekärnor, alltså protoner, fanns redan). Förhållandena i hela universum var här liknande de i dagens stjärnkärnor. Efter cirka 30 min var 25 % av alla atomkärnor heliumkärnor, och ungefär resten vätekärnor. En liten, liten andel atomkärnor av deuterium, litium och beryllium bildades också. Sedan avstannade atomkärnereproduktionen i stort sett.

Därefter fanns i universum en gas av atomkärnor, elektroner och fotoner. Materia var joniserad (s. 127), vilket innebär att elektronerna ej var bundna till atomkärnorna som hos vanliga atomer. Detta berodde på att det fortfarande var för varmt för detta. Men även om protonerna och elektronerna inte satt ihop kolliderade de hit och dit med varandra, och när det händer bildas fotoner. Fotonerna kolliderade sedan fram och tillbaka med elektroner (främst) och energin spreds jämnt mellan dem alla. Alla partiklar var i så kallad *termodynamisk jämvikt*, vilket innebär att inget nettoflöde av energi eller materia sker från en del till en annan. Detta är ett lätt tillstånd att beskriva fysikaliskt, så universum var egentligen ganska okomplicerat vid denna tid. Tätheten av antalet protoner och fotoner var i slutet av denna epok en miljard gånger större än nu eftersom universum var en miljard gånger mindre. Detta innebär att det fanns cirka 410 miljarder fotoner per cm^3 och 250 protoner per cm^3 (mot dagens 410 fotoner per cm^3 och 1 proton per 4 m^3). Denna foton-protonratio på 1 600 000 000:1 sattes under första sekunden efter Big Bang och har varit mer eller mindre konstant genom universums historia. Om man räknar på fotonernas massa, alltså om man räknar om deras energi till massa enligt $E = mc^2$ (s. 160), var deras densitet i slutet av epoken 200 gånger större än bly. Men trycket i gasen runt 380 000 år efter Big Bang var bara cirka en miljondel av den i vår atmosfär.

Gasen nämns ofta som tjock, men det var den egentligen inte med jordiska mått mätt. Cirka 10 s efter Big Bang var den lika tjock som jordens atmosfär, och redan efter 10 år hade universum expanderat så pass att dess densitet var lägre än det bästa vakuum människan lyckats åstadkomma.

Temperaturen i gasen i universum var 380 000 år efter Big Bang cirka 3 000 °C. Dock skulle man inte bränna sig av gasen, eftersom den var för tunn. Man skulle knappt känna den. Temperaturen på 3 000 °C är ett mått på hastigheten på rörelserna hos de ingående partiklarna, inte mer än så (s. 157). Och eftersom det var så långt mellan partiklarna skulle de inte kunna bränna en människa. Men däremot skulle ljuset döda en! Den ofantliga strålningen av fotoner skulle omedelbart förgöra en.

Under denna epok var universum ogenomskinligt. Detta eftersom ljuset (fotonerna), som nämnts ovan, inte var fria att röra sig någon längre sträcka utan att interagera med främst elektroner, och till liten del protoner. Det kan jämföras med dimma i atmosfären, vilken beror på att fotonernas väg kröks vid passagen av gränsskiktet mellan luft och vattendroppe. Dock var gasen som sagt inte särskilt tät med jordiska mått mätt, endast några tusen elektroner per cm^3 fanns. Detta gjorde att universum var ganska transparent

(genomsnittligt) ändå. Vid 100 000 år efter Big Bang kunde man se 500 ljusår långt (1 s efter Big Bang var det dock så tät dimma att man inte hade kunnat se handen framför ansiktet). Men transparens i kosmologin innebär att man kan se ändå till "horisonten", det vill säga ända till gränsen av det synliga universum, och 100 000 år efter Big Bang var 500 ljusår endast 1 % av detta avstånd. Men universum blev långsamt mer och mer transparent eftersom densiteten av protoner och elektroner hela tiden minskade med expansionen. I den takten hade det dock dröjt 45 miljoner år tills man hade kunnat se ända till horisonten. Men vad som hände var rekombinationen.

Ungefär 380 000 år efter Big Bang och när universum var cirka 3 000 °C varmt bildades de första hela atomerna. Då var universum äntligen så svalt att de negativt laddade elektronerna nu tilläts att attraheras till de positivt laddade atomkärnorna. De rekombinerades med varandra. När elektronerna "föll" till lägre energinivåer i omloppsbanor runt atomkärnor gav de av fotoner, som passerade obehindrat genom de nu existerande neutrala atomerna. Universum blev under 80 000 år, den tid rekombinationen tog, transparent. Det ljus som nu spred sig genom universum, för den som hade kunnat se det, var oranget. Alltså, hade man varit i universum då, hade man kunnat se ända till gränsen av det synliga universum (s. 55), och där hade det lyst starkt oranget.

Under de närmaste sex miljoner åren förändrades färgen på ljuset i universum från oranget till allt mörkare rött och slutligen till att bli osynligt infrarött ljus. Universum var nu kolmörkt, en period som brukar kallas *the dark ages*. Men detta skulle inte bli för evigt.

De första stjärnorna

I universum finns mörk materia (s. 52) och baryonisk materia (s. 52). Mörk materia vet man inte vad är för något, men det kan påvisas genom sin massa. Baryonisk materia är i huvudsak atomer eller atomers beståndsdelar, alltså "vanlig materia". Både mörk materia och baryonisk materia var efter rekombinationen lite ojämnt fördelat i universum, men olika mycket. Vid 380 000 år efter Big Bang hade mörk materia en variation i densitet på 1 % mellan olika områden, medan baryonisk materia hade en variation på endast 0,01 %.

Anledningen till att mörk materia kunde klumpa sig (kollapsa) mer under denna period är att partiklarna som utgör mörk materia (vilka de nu är) inte kan kollidera och trycka bort varandra. Så mörk materia hade, trots universums snabba expansion, börjat fördela sig något ojämnt redan innan rekombinationen. En klumpning av den baryoniska materian började först ske vid rekombinationen, och vid 15 miljoner år efter Big Bang var densitetvariationen lika stor mellan mörk och baryonisk materia.

Under tiden efter rekombinationen klumpades den mörka materian allt mer. När mörk materia klumpar sig faller alla partiklar in mot varandra, men sedan passerar de varandra (de kan ju inte kollidera med varandra), åker ut igen, in igen, och så vidare. Därför kommer mörk materia inte packas lika tätt som baryonisk materia. Men till slut har den mörka materian packats så mycket det går. Resultatet blir en "*mini-halo*" med cirka hälften så stor diameter, och cirka åtta gånger så liten volym, som det ursprungliga området med mörk materia som började klumpa sig. Denna klumpning av mini-halos plus universums expansion gav en densitetsskillnad på totalt 200 gånger högre densitet i de tätaste områdena jämfört med de glesaste.

Medan mini-halos av mörk materia bildades klumpade sig även baryonisk materia mer och mer, dels på grund av sin egen gravitation, dels på grund av att den drogs till den mörka materian. Till slut blev den så tät att väteatomer trycktes ihop till heliumatomer samtidigt som de sände ut ljus och värme. Det "tändes" stjärnor, en i varje mini-halo. De första stjärnorna tror man tändes mellan 0,2 och 0,3 miljarder år efter Big Bang.

För att stjärnor ska bildas behövs både mörk och baryonisk materia. Mörk materia klumpar sig "halvdant" till en sorts livmoder inom vilken baryonisk materia sedan klumpas ihop till stjärnor. Baryonisk materia skulle troligtvis aldrig kunna klumpa ihop sig självt till stjärnor, utan behöver den mörka materians gravitation. Utan mörk materia skulle densitetvariationen i universum bara vara 10 % av vad den är idag. Att mörk materia kunde börja klumpa sig märkbart redan före rekombinationen har stor betydelse på universums kraftiga klumpning idag.

I det unga universum skedde klumpningar av materia snabbare än idag. Klumpningshastigheten, från att materia slutar spridas ut och börjar dras samman, tills att det tänds till en stjärna, är ungefär lika lång som åldern på universum. Exempelvis: 0,1 miljarder år efter Big Bang har materian i ett område expanderat i 0,1



Bild: De första stjärnorna var massiva och lyste extremt starkt. Skulle jorden cirkulera runt en sådan stjärna skulle hela biosfären börja brinna på någon sekund. Stjärnan skulle vara stor som en knytnäve på rak arm på himlen.

miljarder år, stannar upp, och klumpar ihop sig under 0,1 miljarder år. Denna snabba klumpning i det tidiga universum berodde dels på att universums densitet var högre (starkare gravitation överallt) och dels på att allt redan var närmare varandra.

Dessa klumpar av mörk materia som bildades under denna tid kallas "mini-halos" jämfört med de stora halos av mörk materia som idag finns runt galaxer. En mini-halo var några få tusen ljusår i diameter, innehöll cirka 1 miljon solmassor av mörk materia, 100 000 solmassor av atomer (väte- och heliumgas), hade totalt cirka en miljondel av massan som Vintergatan har, och hade en ensam stjärna i centrum. De kallas ibland även mikrogalaxer. Ett typiskt avstånd mellan två av dessa stjärnor var hela 10 000 ljusår.

Dessa första stjärnor, eller något annat från denna tid, har ej observerats än eftersom ljuset från dem är för svagt för dagens teknik. Vad man tror sig veta från denna tid är baserat på observationer från fysikaliska experiment och datormodeller.

Dessa första stjärnor var mycket annorlunda mot de stjärnor som finns i dagens universum. De bestod i stort sett bara av väte och helium (endast mycket, mycket lite deuterium, litium och beryllium). Dagens stjärnor består i regel av 1–2 % tyngre grundämnen, vilket gör stor skillnad. Framför allt kan sådan gas svalna mer, då de större atomernas elektroner lättare störs och bildar fotoner som bär iväg energi. I dagens universum är en stjärnframkallande gas ofta $-263\text{ }^{\circ}\text{C}$, men en gas av endast väte och helium kan aldrig bli kallare än $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Varmare gas har högre tryck, därför måste mer gas samlas för att gravitationen ska bli tillräckligt stor för att vätekärnor ska börja tryckas ihop (fusionera) till heliumkärnor. Därför var de första stjärnorna stora, troligtvis några hundra gånger massivare än solen. I dagens universum har de flesta stjärnor en massa som solen eller mindre. Endast några få har mer än 60 gånger solens massa.

Stora stjärnor strålar kraftigt och förbrukar sitt vätebränsle snabbt. Detta eftersom det i centrum, där kärnreaktionerna sker, blir högt tryck och därmed hög temperatur. De var förmodligen runt en miljon gånger ljusare än solen.

På stjärnornas yta var det cirka $100\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$, vilket är cirka 20 gånger varmare än de flesta stjärnor idag. Med så varm yta blir mycket av strålningen ultraviolett ljus. För våra ögon skulle dessa stjärnor vara blåvita. Ultraviolett ljus är mycket destruktivt för atomer eftersom det slår bort elektroner från dem, alltså joniserar dem. Detta gjorde att gasen runt en stjärna, och mycket av gasen i universum på denna tid, joniserades (s. 127). Denna tid kallas *återjoniseringen*, och varade cirka 0,15–1 miljard år efter Big Bang. Detta gjorde att de första stjärnorna var ensamvargar, eftersom inga andra stjärnor kunde bildas av den joniserade gasen runt omkring dem. Därför var det endast en stjärna i varje mini-halo. Detta skiljer sig från idag, där stjärnor föds i 100- eller 1000-tal från samma nebulosa (dock sprider de oftast ut sig med tiden, på grund av rotationen från sin galax, tror man) och är samlade i galaxer.

Stjärnor fusionerar väte till helium och tyngre grundämnen i deras kärnor (vilka tyngre ämnen beror främst på stjärnans massa). De första stjärnorna hade förbrukat allt sitt väte redan efter cirka 1 miljon år. Snart därefter exploderade de i supernovor (s. 41). Den efterföljande nebulosan (molnet) av stjärnstoff från varje stjärna tros ha innehållit runt 100 solmassor grundämnen tyngre än väte och helium. Dessa ämnen spreds nu flera tusen ljusår i varje riktning och blandades med omgivande väte- och heliumgas. När 100 solmassor tyngre ämnen blandas med 100 000 solmassor väte och helium blir det 0,1 % "föroreningar" av tyngre ämnen i rymden. Detta kan låta som lite men är det inte. En dålig dag är det exempelvis 0,000 1 % smog i luften. Hade det varit 0,1 % smog hade man knappt kunnat se handen framför ansiktet. Hur som helst, nu kunde gasen i universum svalna mer och kommande generationer stjärnor var därför mindre.

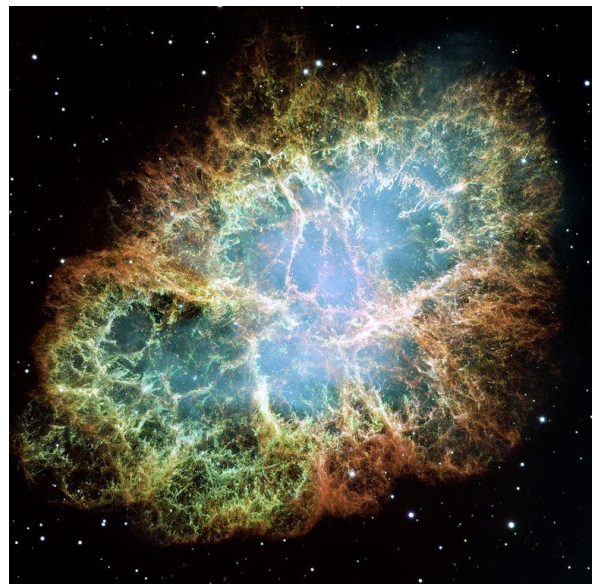


Bild: När universums första generation stjärnor dog i supernovor efterlämnade de nebulosor med en väsentlig mängd grundämnen tyngre än väte och helium. Det finns inga fotografier av dessa första stjärnor eller deras supernovor, utan detta är Krabbnebulosan, en rest av en supernova som exploderade i Vintergatan för cirka 7 500 år sedan och blev synlig för astronomer på jorden år 1054.

De första galaxerna

Bildandet av de första galaxerna, samlingar av stjärnor, är än så länge inte riktigt förstått. På något sätt samlades stjärnor, men hur snabbt det gick och hur nära dessa stjärnor var varandra när de först "tändes" är oklart.

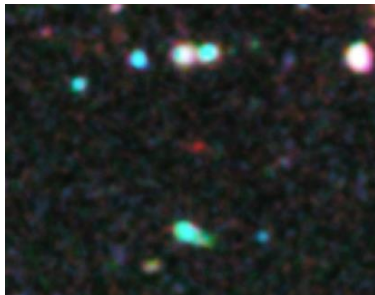


Bild: Den röda pricken är galaxen UDFj-39546284, den mest avlägsna galax vi känner till just nu. Vi ser den som den såg ut endast 480–500 miljoner år efter Big Bang.

Unga galaxer, mellan 1,3 och 2,0 miljarder år efter Big Bang, hade ingen symmetrisk form utan såg ut som oregelbundna fläckar. Det var först 5–6 miljarder år efter Big Bang som de började se "moderna" och symmetriska ut.

De första galaxerna var mycket små jämfört med dagens. Mellan 1,3 och 2 miljarder år efter Big Bang var de endast cirka 10 000 ljusår i diameter jämfört med dagens cirka 100 000 ljusår. Tre miljarder år efter Big Bang var de cirka 22 000 ljusår i diameter, och 4 miljarder år efter Big Bang cirka 35 000 ljusår i diameter. Att galaxerna växte berodde på sammanslagning av flera små.

Universum var en mycket häftig plats vid denna tid. Alla galaxer låg mycket nära varandra, många stjärnor var massiva och lyste starkt och det var vanligt med supernovaexplosioner (s. 41). Mellan 1 och 3 miljarder år efter Big Bang var det som mest stjärnljus någonsin i universum. Sedan dess har det långsamt blivit mörkare.

Födelsehastigheten av stjärnor toppade också mellan 1 och 3 miljarder år efter Big Bang, efter en snabb ökning. Sedan dess har den stadigt minskat, ungefär omvänt exponentiellt. Idag är födelsehastigheten ungefär 1/20 av vad den var när den var som högst. Denna "baby boom" berodde främst på att det skedde många kollisioner mellan galaxer vid denna tid, vilket av olika anledningar leder till att stjärnor föds.

Det totala antalet stjärnor i universum har dock ökat ända sedan Big Bang. Stjärnor lever långa liv och föds snabbare än de dör.

Till skillnad från de första "ensamvargstjärnorna", har de första galaxerna kunnat observeras. Detta kan man göra genom att titta långt bort i rymden, vilket innebär att man också ser bakåt i tiden. Och där finns de, om än väldigt ljussvaga. Deras ljusstyrka kan liknas med en fotbollsplan på månen upplyst av ett stearinljus och sedd från jorden. Men, i speciella fotografier tagna Hubble-teleskopet, syns de. Dessa avlägsna galaxer är röda för våra ögon. Den mesta synliga färgen har förändrats till infrarött ljus, så de har med andra ord nästan blivit osynliga.

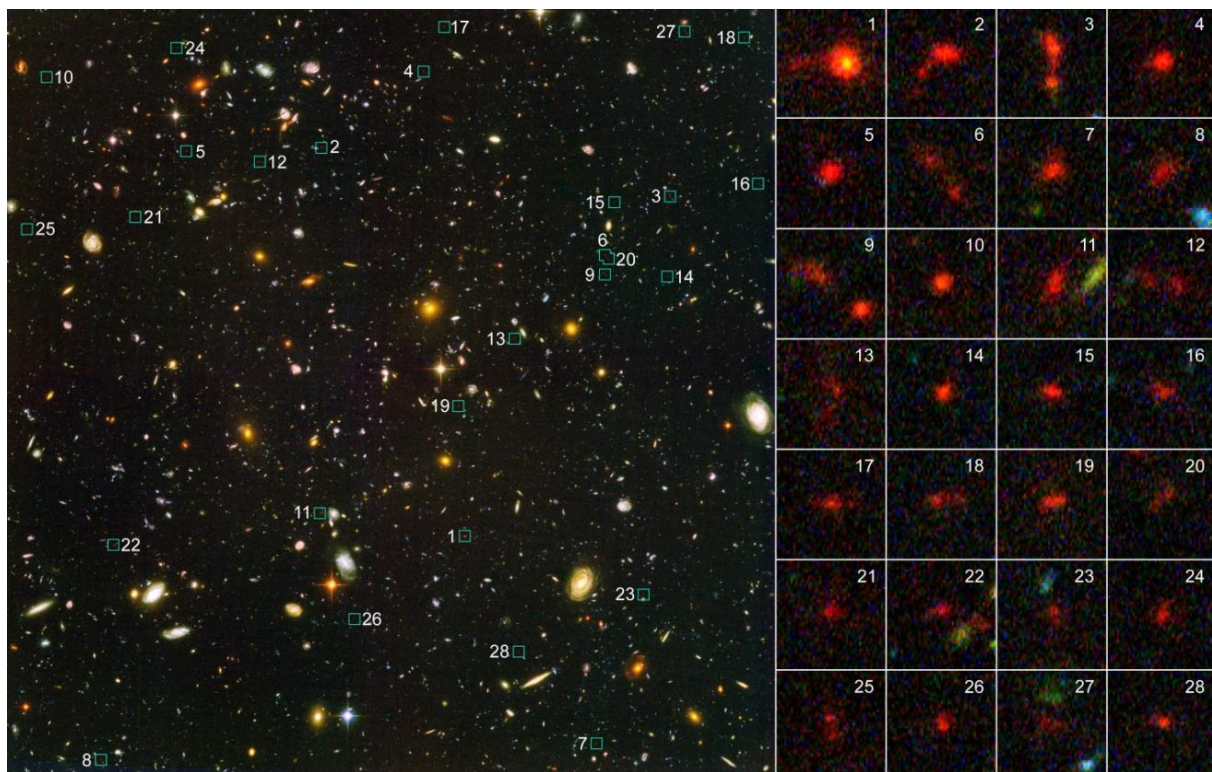


Bild: I detta fotografi, kallat *Hubble Ultra Deep Field*, från rymdteleskopet Hubble har astronomer funnit en guldgruva av avlägsna galaxer. Alla dessa galaxer ser vi som de såg ut mindre än 1 miljard år efter Big Bang.

Galaxhopar och superhopar

De första galaxerna i universum var små och ojämna till formen. Dock låg de nära varandra och det dröjde inte länge (i kosmiska mått mätt) förrän de började kollidera med varandra på grund av gravitationskraften mellan dem. Flera små galaxer gick samman till färre stora. Dessa stora galaxer har en mer regelbunden form än de små. Vintergatan är det typiskt exempel på en stor, "mogen", galax.

Gravitationskraften mellan galaxerna ledde också till att de började ordna sig någorlunda strukturerat. Galaxerna i dagens universum är nämligen distribuerade på ett intressant sätt. Galaxerna är samlade till *galaxhopar*, och galaxhoparna är i sin tur samlade till *superhopar* (hopar av galaxhopar). De största strukturerna i universum är *filament*, som är trådar av galaxhopar eller superhopar, som avgränsar stora tomrum.

Dagens stora galaxer har bildats genom hopslagningar av mindre. De första galaxerna som bildades i universum låg nära varandra, vilket ledde till att drogs till varandra på grund av gravitationskraften. Flera små gick samman till färre större.

Man skulle kunna tro, att eftersom det finns galaxer åt alla håll man tittar, att hela himlen borde lysa vit. Dock är det bara en bråkdel av galaxerna som ligger så nära jorden att deras ljus hunnit färdats hit under tiden universum har funnits (13,7 miljarder år).

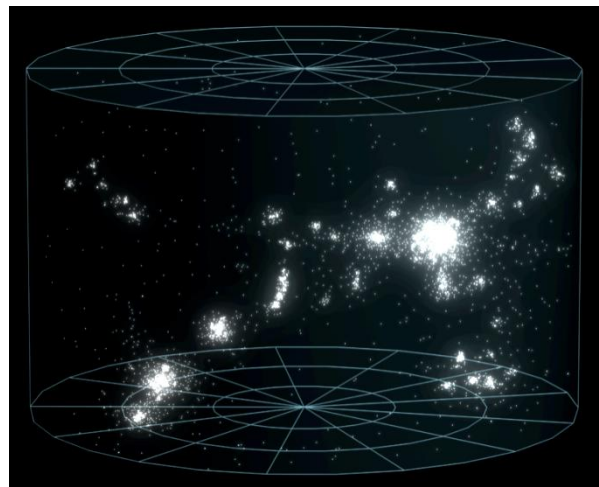
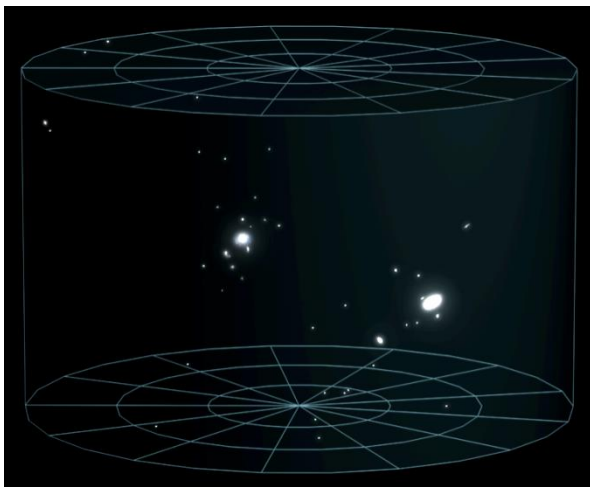


Bild: Vår plats i universum. Vänstra bilden visar den galaxhop vi befinner oss i, kallad *Lokala galaxhopen*. Den stora galaxen till vänster är Vintergatan och den stora till höger är Andromedagalaxen. Dessa två galaxer, samt övriga 52 mindre galaxer i hopen, är bundna till varandra genom gravitationen. Högra bilden visar *Lokala superhopen*, där Lokala galaxhopen ingår.

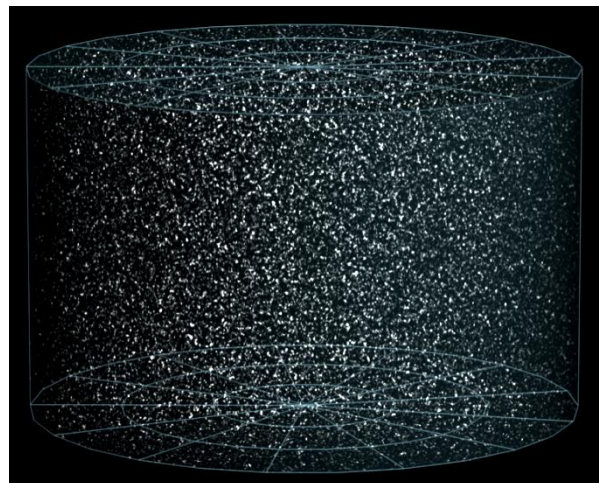
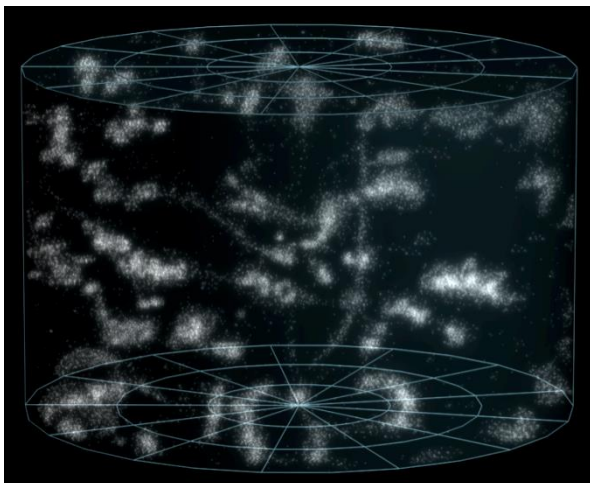


Bild: Vänstra bilden visar hur flera superhopar bildar filament, vilka är separerade av stora tomrum. På en större skala är dock dessa strukturer inte längre urskiljbara, och universum framstår som homogent. Den högra bilden visar filamenten och superhoparna i hela vårt synliga universum.

Bevis för Big Bang-teorin

Rödförskjutning

Expansionen av universums rum pågår fortfarande, och är ett av bevisen för Big Bang-teorin. Ju längre bort en galax är från oss, ju snabbare rör den sig bort från oss. Detta bevisades först av Edwin Hubble 1929. En uppskattning av avståndet kunde han göra genom att se hur ljussvaga galaxerna var. Hastigheten kunde han räkna ut genom att se hur spektrallinjer hos grundämnen förskjutits åt det röda, något som kallas *rödförskjutning*. *Spektrallinjer* är tydliga markeringar i det spektrum (s. 159) av ljus som galaxer sänder ut. Beroende av vilka grundämnen som finns i galaxen, vilket mestadels är väte och helium, kommer vissa färger av ljus absorberas och andra emitteras (sändas ut). Eftersom man är relativt säkra på vilka grundämnen som finns i galaxer kan man förutse vilket spektrum de kommer sända ut, och därmed vilka färger som kommer att förskjutas mot det röda. Dock, ju snabbare en galax rör sig bort från oss, ju längre åt det röda har dessa spektrallinjer förskjutits. Sammantaget innebär detta att galaxer relativt nära oss är tämligen vita, men på stora avstånd är de allt rödare. Denna rödförskjutning beror på att våglängden hos ljuset expanderat tillsammans med rummet under tiden som ljuset färdats mot oss genom universum.

Om rödförskjutningen hos ljuset från en galax är 5 % har universum expanderat 5 % under tiden ljuset färdats från galaxen och hit.

Kosmisk bakgrundsstrålning

Ett annat bevis för Big Bang-teorin är den *kosmiska bakgrundsstrålningen*, vilket är värmestrålning (s. 159) från det tidiga universum. Rymden är egentligen inte svart, utan glöder mycket svagt. Denna glöd, i stort sett likadan åt alla håll, kommer inte från galaxer eller stjärnor. Denna glöd, den kosmiska bakgrundsstrålningen, är glöden efter ett mycket ungt och hett universum strax efter Big Bang. Den kosmiska bakgrundsstrålningen upptäcktes av de två amerikanska astronomerna Arno Penzias och Robert Wilson 1964. De skulle ställa in en antenn för andra astronomiska undersökningar, men kunde inte bli av med ett störande brus vilket håll de än riktade antennen.

Det man hade hittat var värmestrålning från universums unga ålder, när det bestod av den varma gasen, innan rekombinationen. När universum expanderade blev det svalare, och till slut så svalt att atomer bildades och det blev transparent (s. 45). Men spåren av den ogenomträngliga gasen ser man alltså än idag om man tittar tillräckligt långt bort. Rödförskjutningen (ovan) har dock gjort att våglängden är väldigt lång, så lång att den för länge sedan passerat gränsen för synligt ljus och numera definieras som radiovågor, men med radioteleskop kan den registreras. Penzias och Wilson fick nobelpriset för sin upptäckt 1978.

Den kosmiska bakgrundsstrålningen kommer från en tid cirka 380 000 år efter Big Bang då universum var cirka 1000 gånger mindre än idag. Det är intressant att det ljus som vi ser idag som den kosmiska bakgrundsstrålningen bara var 40 miljoner ljusår bort när det sändes mot oss. Men medan ljuset har färdats mot oss har universum hela tiden expanderat och det tog 13,7 miljarder ljusår för det att komma fram.

Den kosmiska bakgrundsstrålningen behöver inte vara ett bevis för Big Bang-teorin, den kan även bero på något annat. Dock är Big Bang-teorin den teori som ger bäst förklaring till den.

Om du vill se den kosmiska bakgrundsstrålningen – ställ in TV:n på UHF-bandet och en frekvens där ingen kanal finns. Några procent av detta "myrornas krig" är den kosmiska bakgrundstrålningen.

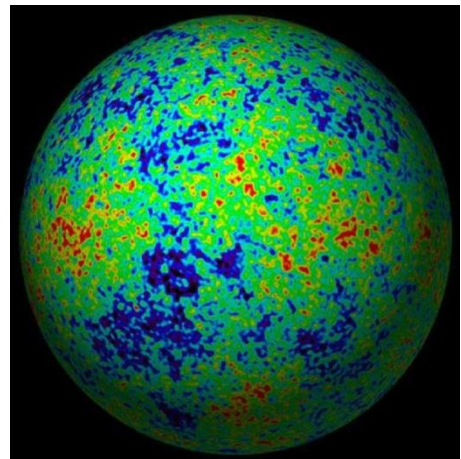


Bild: Föreställ dig jorden i mitten av denna sfär. På ett avstånd av 13,7 miljarder ljusår i varje riktning finns den kosmiska bakgrundsstrålningen. Här har dess radiovågor översatts till färger. Strålningen markerar gränsen för det synliga universum.

Fysikens lagar

Ett tredje bevis för Big Bang-teorin är förutsägelserna som modern fysik ger. Big Bang tycks vara en följd av naturlagarna. Och beräkningar av hur partiklar skulle interagera med varandra i en miljö strax efter Big Bang visar att vi skulle få det universum vi lever i idag.

Universums geometri och storlek

Universum sägs vara *isotropiskt*, det vill säga det ser likadant ut åt alla håll man tittar, och *homogent*, det vill säga så är fallet på alla platser i universum. Detta är i enlighet med den så kallade *kosmologiska principen* som säger att ingen plats är speciell (inte ens jorden). Dock, homogeneiteten sägs endast gälla på platser större än 200 miljoner ljusår i diameter, då man på mindre områden kan se tydlig klumpning (till exempel är ju vår planet jorden en ganska tydlig klump).

Även om rum och tid är sammanbundna i rumtiden (s. 44) är rum och tid generellt väl separerade i universum. Två undantag är dock vid platser med mycket hög gravitation (såsom i svarta hål eller väldigt massiva stjärnor) eller vid väldigt höga relativa hastigheter (till exempel två galaxer som rör sig bort från varandra i 80 % av ljusets hastighet, vilket i och för sig är vanligt, men interaktion mellan dessa två galaxer är det inte).

Universum har ingen gräns och inget centrum, men däremot en geometri. När man pratar om *geometri* i universum menar man formen på rumtiden (s. 44). Denna är svår, eller kanske rent av omöjlig, att föreställa sig eftersom rumtiden är fyrdimensionell. Men lite lättare blir det när man kommer ihåg att man oftast kan räkna bort tiden ur rumtiden, eftersom rum och tid generellt är väl separerade, och koncentrera sig på formen av rummets tre dimensioner. Det är dock fortfarande väldigt svårt att förstå sig formen på ett tredimensionellt rum, och därför liknas denna oftast vid en tvådimensionell yta.

Vilken geometri universum har är än så länge okänt. Universum har en lokal geometri och en global geometri. Det finns tre olika typer av lokala geometrier, vilka i sig kan ge upphov till olika globala geometrier:

1. *Platt (noll) kurvatur/euklidisk geometri* – Det tredimensionella rummet kan lokalt liknas vid den tvådimensionella ytan av ett plant papper. I ett sådant universum fungerar euklidisk (vanlig skol-) geometri, till exempel att en triangels tre vinklar blir 180° och att en cirkels omkrets är $2\pi r$. Om kurvaturen är noll åt alla håll är universum oändligt och hela det tredimensionella rummet kan då globalt liknas vid den tvådimensionella ytan av ett plant papper. Ett sådant universum är oändligt åt alla håll. Det finns också en möjlighet att universum är platt åt ena hållet men inte åt det andra. Det tredimensionella rummet kan då globalt bland annat liknas vid den tvådimensionella ytan av en cylinder. I ett sådant universum skulle man åt ena hållet kunna resa i all oändlighet, medan man åt ett annat håll till slut skulle återvända till samma plats man startade på.
2. *Öppen (negativ) kurvatur/hyperbolisk geometri* – Det tredimensionella rummet kan lokalt liknas vid den tvådimensionella ytan av en sadel. Dock, denna liknelse stämmer endast i en punkt, nämligen den i centrum av sadeln. Universum är oändligt. Euklidisk geometri fungerar inte, till exempel blir en triangels tre vinklar tillsammans mindre än 180° och en cirkels omkrets mer än $2\pi r$. Den kosmiska bakgrundsstrålningen skulle se förminskad ut då ljusstrålarna böjs som i en konkav (inåtbuktande) lins. Universum kan ha en global geometri av en vuvuzuela (det där störiga instrumentet från fotbolls-VM 2010), där det tredimensionella rummet globalt liknas vid den tvådimensionella ytan av den. Hyperbolisk geometri är inte helt förstått.
3. *Stängd (positiv) kurvatur/sfärisk geometri* – Det tredimensionella rummet kan lokalt liknas vid den tvådimensionella ytan av en sfär. Euklidisk geometri fungerar inte, till exempel blir en triangels tre vinklar tillsammans mer än 180° och en cirkels omkrets mindre än $2\pi r$. Detta är precis vad som skulle hända om man skulle rita en triangel eller en cirkel på en sfär. Den kosmiska bakgrundsstrålningen skulle se förstörd ut då ljusstrålarna böjs som i en konvex (utåtbuktande) lins. Universum har en ändlig storlek och kan bland annat ha formen av en sfär eller en dodokaheder (en tolvsidig tärning), där det tredimensionella rummet globalt liknas vid den tvådimensionella ytan av dem.

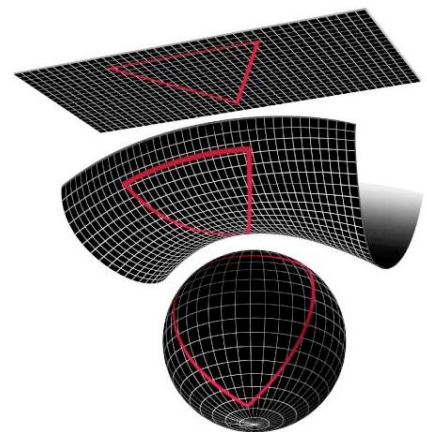


Bild: Universums tre möjliga lokala geometrier: (1) euklidisk, (2) hyperbolisk och (3) sfärisk.

Vilken geometri universum har bestäms av (1) dess densitet (massa per volymenhet) och (2) dess expansionshastighet. Ju högre densitet och/eller ju lägre expansionshastighet ju mer stängd geometri. Precis rätt kombination av densitet (ρ) och expansionshastighet (H_0 ; Hubbles konstant) ger ett platt universum. Då gäller $H_0^2/\rho = 8\pi G/3$. H_0 är mer eller mindre känt (cirka 22 km/s/miljoner ljusår) så den densitet universum ska

ha för ett platt universum, den så kallade kritiska densiteten (ρ_{crit}), kan räknas ut enligt $\rho_{crit} = 3H_0^2/8\pi G$, och blir då $9,7 \times 10^{-27} \text{ kg/m}^3$ eller 5,8 väteatommassor/ m^3 . Om ρ i universum är högre än detta är det stängt och om det är lägre är det öppet. Mätningar har visat att universum har en densitet som är exakt, eller mycket nära, 5,8 väteatommassor/ m^3 och att universum därmed tycks vara platt.

Rent praktiskt finns två sätt att avgöra universums geometri: (1) testa hur euklidisk geometri fungerar, eller (2) mäta universums densitet. Euklidisk geometri har man testat genom att förstå sig en stor triangel med bas på den kosmiska bakgrundsstrålningen och densiteten av de olika beståndsdelarna av universum har man mätt på olika sätt. Båda metoderna visar ett mer eller mindre platt universum. Detta stämmer bra överens med teorin om inflation (s. 45) som en del av Big Bang-teorin då denna enligt teorin skapade ett platt universum.

Universums storlek är oändligt om dess geometri är platt eller öppet. Om universum är stängt har universum en bestämd storlek. Vad man säkert kan säga är att *universum har en radie av minst 150 miljarder ljusår (och innehåller då cirka 10^{15} galaxer)*. Universum skulle ha en radie av 150 miljarder ljusår storlek om universum inte var platt utan stängt, och att de mätningar som gjorts av euklidisk geometri och densitet inte är tillräckligt noggranna än för att visa detta. Men ju noggrannare dessa mätningar blir, ju mer platt kommer universum troligtvis bli och ju större minsta möjliga storlek kommer det ha. Kanske visar det sig att universum är oändligt – vad nu det betyder.

Universums beståndsdelar, massa och densitet

Universum består, enligt ett sätt att dela in det, av fem beståndsdelar. Här anges hur stor procent av universums totala massa de utgör. Dagens universums totala densitet är 5,8 väteatommassor/ m^3 , vilket motsvarar ett sandkorn i jordklotets volym.

1. Baryonisk materia – 4 % (1 proton och 1 neutron per 4 m^3). *Baryoner* är partiklar bestående av tre kvarkar (s. 138), men *baryonisk materia* kallas även materia som *huvudsakligen* består av baryoner. Detta innefattar exempelvis atomer, vilka består av protoner och neutroner i en atomkärna (protoner och neutroner består av tre kvarkar vardera) men även elektroner runt atomkärnan. Endast 0,01 % av universums baryoniska materia är tillräcklig kall för att atomer ska bildas. Långt mycket vanligare är det att atomkärnor och elektroner existerar separerade från varandra, i en soppa kallad plasma (s. 134). Så är fallet i alla stjärnor.
2. Fotoner (s. 139) – 0,005 % (400 miljarder fotoner/ m^3). Nästan alla fotoner som finns i universum idag är de som släpptes fria cirka 380 000 år efter Big Bang.
3. Neutriner (s. 139) – 0,0034 %. Precis som det finns kosmisk bakgrundsstrålning av elektromagnetisk strålning finns det även en kosmisk bakgrundsstrålning av neutriner från tiden efter Big Bang.
4. Mörk materia – 23 %. *Mörk materia* varken absorberar, emitterar eller reflekterar ljus. Det interagerar med övrig materia genom gravitationskraften och svaga kärnkraften (s. 139).

Mörk materia är inte jämt spridd i universum utan finns i klumpar. Runt galaxer finns en stor halo av mörk materia. Denna halo kan påvisas genom att galaxer har mycket mer massa än vad som härledas från stjärnor och eventuell gas i galaxen.

En planet i omloppsbana kring solen har en viss hastighet beroende på avståndet till solen. Ju närmare omloppsbana ju högre hastighet. För stjärnor som cirkulerar runt centrum av en galax blir det lite annorlunda. Även om en stjärna skulle förflyttas längre ut från centrum, skulle dess hastighet i omloppsbanan förbli hög. Detta är dock logiskt, då massan innanför stjärnans omloppsbana också ökar ju längre ut från galaxens centrum en stjärna är. Galaxen är ju fylld med andra stjärnor, vilka nu hamnar innanför omloppsbanan (vilket knappt är fallet med planeter i solsystemet). Dock bör hastigheten för ett objekt utanför galaxens kant vara lägre, men det är det inte, och det är just detta som är förunderligt. Detta kan endast förklaras om det finns något annat med massa i och runt hela galaxen, och det är denna materia som kallas *mörk materia*. Man kan även mäta hastigheten hos hela galaxer i galaxkluster, eller hur mycket galaxkluster böjer ljus och se att det i och runt galaxer finns mycket mer massa än vad som kan förklaras av stjärnor och gas.

Ingen känd partikel passar beskrivningen för mörk materia. Det är inte baryonisk materia. Det är inte neutriner då dessa rör sig för snabbt (och är för små). Den hypotetiska partikel som utgör mörk materia kallas ibland *WIMP* (*weakly interacting massive particle*).

Försök görs för att detektera mörk materia. Enligt beräkningar ska de ibland kollidera med atomer och då slå atomkärnor baklänges, vilket i sin tur kan detekteras. I jordens volym beräknas det finnas cirka 1 kg mörk materia.

5. Mörk energi – 73 % ($5 \text{ väteatommassor/m}^3$). Mörk energi varken absorberar, emitterar eller reflekterar ljus. Det är jämnt spritt i universum.

Forskarna har sämre koll på vad mörk energi kan vara jämfört med mörk materia. Det finns tre olika hypoteser om vad det kan vara för något: (1) En fast, svag, energi associerad med rummet självt, så kallad *vakuumentergi*; (2) En något annorlunda sorts vakuumentergi som varierar i tid och rum, kallad *kvintess*; (3) Något som endast kan förklaras genom en modifikation av Einsteins gravitationsteori. Det första alternativet tycks ha mest stöd idag.

Densiteten av materia (baryonisk och mörk) har minskat linjärt med universums expansion och utveckling. Densiteten av strålning (fotoner och neutriner) likaså, men med en brantare kurva eftersom fotoner och neutriner rödförskjuts och förlorar energi med universums expansion. Densiteten av strålning var högst de första 60 000 åren efter Big Bang. Denna tid kallades *strålningseran*. Sedan dominerade materias densitet; *materiaeran*. Men – mörk energi har också densitet och denna densitet är konstant oavsett universums storlek. Materias densitet minskade till att bli lägre än mörk energis densitet 9,4 miljarder år efter Big Bang och vi lever nu i eran av mörk energi.

Universums expansion och utveckling

Universums expansion

Universums expansion observeras genom att galaxer tycks röra sig bort från oss. Dock är det inte galaxerna som rör sig, utan rummet mellan oss och dem som expanderar. Galaxer i sig expanderar inte, inte heller galaxhopar, eftersom gravitationskraften där övervinner expansionen.

Universum har hela tiden expanderat, men expansionshastigheten har förändrats. Expansionshastigheten minskade stadigt efter inflationen (s. 45) fram till 9,4 miljarder år efter Big Bang, då mörk energi (ovan) började dominera universums densitet. Sedan dess har expansionshastigheten ökat och kommer, enligt de flesta astronomer, att fortsätta öka exponentiellt. Mörk energi är alltså orsaken till att universums expansionstakt ökar. Vintergatan kommer att sammansmälta med några granngalaxer, men resten av galaxerna kommer att hamna allt längre ifrån oss. Om runt 100 miljarder år kommer alla galaxer röra sig bort från oss snabbare än ljusets hastighet, och därmed för alltid bli osynliga för oss.

Hastigheten med vilken en galax rör sig bort från jorden är proportionell mot dess avstånd till jorden, vilket kallas *Hubbles lag*. Formeln för att räkna ut hastigheten (v) enligt Hubbles lag är $v = H_0 d$, där H_0 är *Hubbles konstant*. Denna är $22 (\pm 2) \text{ km/s/miljoner ljusår}$, vilket innebär att en galax en miljon ljusår bort rör sig från oss i cirka 22 km/s. Med hjälp av Hubbles lag kan man även räkna ut åldern på universum genom att räkna ut hur lång tid det tagit för en galax att röra sig från oss. Dock måste man här anpassa uträkningarna för att ta hänsyn till att universums expansionshastighet har förändrats under universums historia.

En kropp (med massan m) som rör sig bort från en annan kropp (med massan M) är förknippad med två energiformer som är relevanta för universums expansion: rörelseenergi (E_k , s. 152) och en sorts potentiell energi kallad *gravitationsenergi* (E_G). Gravitationsenergi alltid är negativ. Den totala energin som kroppen har (E_{tot}) är konstant hela tiden och är summan av E_k och E_G . I universum tycks rörelseenergin hos alla kroppar vara större än gravitationsenergin (E_{tot} är större än 0) vilket betyder att universum kommer att expandera för evigt. Man kan tänka sig detta som att alla kroppar har högre hastighet än den flykthastighet som krävs för att fly undan gravitationen från resten av universum.

Det är mörk energi som är orsaken till att universum expanderar allt snabbare. Mörk energi har massa och när rummet i sig har massa (mörk energi är troligtvis associerat till rummet) kommer det falla utåt och hela tiden expandera i en ökande hastighet.

Tillväxt av ojämnheter i universum

Universum är på en mindre skala ojämnt, det vill säga det finns områden med högre och lägre densitet. Hur har denna ojämnheter uppstått?

Med *ojämnhetstillväxt* avses här att skillnaden i densitet mellan närliggande områden ökar. Det finns två olika typer av ojämnhetstillväxt: *superhorisonttillväxt* och *subhorisonttillväxt*.

Kom ihåg att det finns två starka drivkrafter i universum när det kommer till ojämnhetstillväxt; universums expansion och gravitationskraften. Universums expansion leder till att objekt kommer allt längre ifrån varandra, medan gravitationskraften leder till att objekt dras till varandra.

Superhorisonttillväxt är tillväxt av ojämnheter utanför den kosmiska horisonten, vilket är utanför den synliga gränsen av universum. En observatör någonstans i universum kan nämligen aldrig se hela universum, endast

en begränsad del av den (s. 55). Till exempel, anta att det finns en del av universum 100 miljarder ljusår bort med högre densitet än i vår synliga del. Denna del av universum kan inte påverka vår del av universum och vår del av universum kan inte påverka den. Därför kommer den andra delen av universum inte kunna dra materia till sig från vår del eller vice versa. Så superhorisonttillväxt sker genom att olika delar av universum expanderar olika mycket på grund av att de redan tidigare hade olika densitet. Vår del av universum kommer expandera mer på grund av låg densitet och därmed minska mycket i densitet, medan den andra delen av universum kommer expandera mindre på grund av högre densitet, som håller tillbaks expansionen, och därmed minska lite i densitet. Ojämnheten mellan de två delarna av universum har ökat.

Subhorisonttillväxt är tillväxt av ojämnheter inom den kosmiska horisonten. Detta sker "som vanligt", på grund av att områden med högre densitet drar till sig massa från områden med lägre densitet. Subhorisonttillväxten motverkas hela tiden av universums expansion, då områden med högre densitet späds ut och får svagare gravitationskraft. Faktum är att, under strålningseran, var universums expansion så snabb att ingen subhorisonttillväxt av ojämnheter skedde. Alltså, ingen materia kom närmare annan materia. Det är endast efter 60 000 år efter Big Bang som detta har skett.

Vad man ska komma ihåg är att den kosmiska horisonten hela tiden ökar i storlek, så områden som tidigare genomgick superhorisonttillväxt genomgår nu subhorisonttillväxt.

Avstånd i universum

Ljusets hastighet

Synligt ljus är en form av elektromagnetisk strålning. Elektromagnetisk strålning kan även sägas bestå av partiklar kallade fotoner. De andra formerna av elektromagnetisk strålning, utöver synligt ljus, är radiovågor, infraröd strålning, ultraviolett strålning, röntgenstrålning och gammastrålning. Elektromagnetisk strålning, eller fotoner, rör sig i rymden med en hastighet av 299 792 458 m/s. Det tar exempelvis 8 minuter för ljuset från solen att nå jorden. Vi ser solen som den såg ut för 8 minuter sedan. Solen ligger 8 ljusminuter från jorden. För objekt längre bort tar det år för ljuset att nå oss. Avståndet anges då i ljusår, och vi ser dessa objekt som de såg ut för flera år sedan.

Kom ihåg att ljusår är ett mått på avstånd. Ett ljusår är exakt 9 460 730 472 580 800 m. Som jämförelse kan nämnas att vår närmsta stjärngranne (Alpha Centauri) ligger 4,37 ljusår bort, Vintergatan är 100 000 ljusår i diameter och vår galaxgranne Andromedagalaxen ligger 2,5 miljoner ljusår bort.

Avstånd i ett expanderande universum

Avståndet mellan solen och jorden är i stort sett konstant, så därför kan vi bestämt säga att avståndet till solen är 8 ljusminuter. Detta gällde både när ljuset lämnade solen, och när det kom fram till jorden där det observerades. Under de 8 minuter fotonerna har färdats till jorden har solen och jorden inte kommit längre ifrån varandra.

För objekt utanför vår lokala galaxhop blir det annorlunda. Dessa objekt rör sig ju bort från oss, på grund av universums expansion. Det finns då tre olika sätt att ange avståndet mellan oss och dessa objekt: (1) *emissionsavståndet* – avståndet då fotonerna lämnade objektet, (2) *aktuella avståndet* – avståndet nu, då fotonerna kommit till oss och de observeras, samt (3) *ljusreseavståndet* – avståndet fotonerna tillryggalagt.

Ljusreseavståndets storlek är emellan de övriga två, och tycks vara det avstånd som oftast används när inget annat anges. Ljusreseavståndet i ljusår är också alltid detsamma som antalet ljusår tillbaka i tiden som man ser objektet.

För att förtydliga detta följer här ett exempel. En galax låg 5 miljarder ljusår bort när den skickade ut ljus mot oss. Ljuset färdas totalt 10,5 miljarder ljusår i den expanderande rymden och när det når fram till oss befinner sig galaxen 15 miljarder ljusår bort. När fotonerna når fram har universum blivit 3 gånger större under tiden fotonerna rest.

Ännu ett exempel är fotonerna som utgör den kosmiska bakgrundsstrålningen. Tjock gas befann sig 0,046 miljarder ljusår bort från oss när fotoner lämnade den (nu fanns ju inte jorden vid denna tid, men däremot den plats i rymden där jorden sedan skulle bildas). Vid denna tid expanderade rummet så snabbt att fotonerna inte kom närmare, de var som simmare fast i en motström. Faktum är att fotonerna bara kom längre och längre ifrån oss under 3 miljarder år, och fördes sammanlagt 5,5 miljarder ljusår bort. Men sedan började rummet

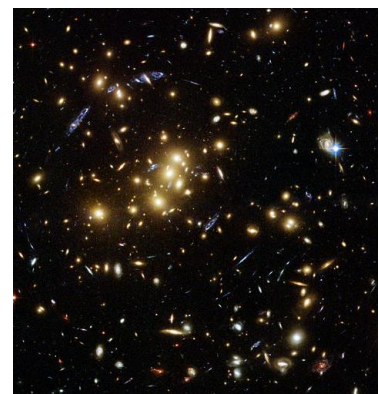


Bild: Dessa galaxer ligger 5, eller 10,5, eller kanske 15 miljarder ljusår bort...

expandera långsammare, samt att fotonerna nådde fram till rymd som i förhållande till jorden inte expanderar bortåt så snabbt (ju längre bort fotoner är när de rör sig mot jorden, ju snabbare expanderar rymden i förhållande till jorden och ju långsammare närmar de sig). Efter totalt 13,7 miljarder år nådde fotonerna fram, vilket alltså också är ljusreseavståndet. Det aktuella avståndet mellan den tjocka gasen (som alltså var gasen som existerade i universum innan rekombinationen, s. 45) och jorden är 46 miljarder ljusår. När fotonerna når fram har universum blivit 1 000 gånger större under tiden fotonerna rest.

Effekten av universums expansion på observationer

Det långa avståndet mellan oss och objekt i rymden gör alltså att vi ser dem så som de såg ut förr i tiden. När universum dessutom expanderar, uppstår ytterligare två effekter.

Händelser långt bort ser långsammare ut. Det beror helt enkelt på att "tåget" av ljus sträcks ut på sin resa hit och tar längre tid på sig att passera jorden. Exempel: en supernova sker i en galax långt bort. Supernovan varar i en vecka. Detta ljuståg är när det lämnar galaxen en ljusvecka långt. När det når jorden är det dock längre, kanske tre ljusveckor långt, och supernovan ser ut att pågå i tre veckor.

Riktigt avlägsna galaxer, sådär 8–11 miljarder ljusreseår bort, ser ut att ligga närmare oss än mindre avlägsna galaxer. Detta eftersom universum var så litet för 8–11 miljarder ljusår sedan, så att de galaxer som fanns då, och som nu ligger 8–11 miljarder ljusår bort, låg väldigt nära oss när de fotoner vi observerar lämnade dem. Dock ser avlägsna galaxer mycket ljussvagare ut än vad de egentligen är, av flera anledningar, bland annat att ljuset från dem spridits över en extra stor volym då rummet hunnit expandera mer än för närliggande galaxer.

Det synliga universum

Hur stort universum än är, kommer vi aldrig kunna observera alla dess delar. Vi lever i en "bubbla" av universum, vars kant finns 13,7 miljarder ljusreseår åt alla håll från jorden sett. Om man i stället räknar på det aktuella avståndet till denna kant ligger den 46,5 miljarder ljusår bort. Längre än så kan vi aldrig se, även med de bästa teleskopen. Detta beror på att ju längre bort man tittar i rymden, ju längre bakåt i tiden ser man. Längre bakåt i tiden än 13,7 miljarder år går inte att se, eftersom universum enligt Big Bang-teorin inte existerade då.

Vad som praktiskt sker när man tittar så långt bort i rymden det går, är att man ser den kosmiska bakgrundsstrålningen. Denna ligger inte exakt 13,7 miljarder ljusreseår bort, eftersom fotonerna från den sändes ut 380 000 år efter Big Bang, men nästan. Att se ända till Big Bang tycks än så länge vara omöjligt, eftersom den kosmiska bakgrundsstrålningen inte är genomskinlig.

Mäta avstånd i universum

Det finns flera olika sätt att mäta avstånd till objekt i rymden. Dessa metoder mäter stegvis längre avstånd och överlappar varandra i arbetsområde, i vad som kallas den *kosmiska avståndsstegen*. Metoder för att mäta avstånd till närliggande objekt används för att kalibrera nästa metod, och så vidare.

Många metoder involverar så kallade *standardljus*, vilka är objekt som man vet alltid har en viss ljusstyrka. Om man finner ett sådant objekt på natthimlen kan man genom att mäta dess uppenbara ljusstyrka räkna ut avståndet. Här är några metoder för att räkna ut avstånd i universum:

- Triangulering – Ungefär som att titta på sitt finger med ett öga i taget och mäta "hoppet". Denna metod kan användas för mindre avstånd, till exempel till Mars eller närliggande stjärnor.
- Cepheider – En typ av standardljus. Cepheider är stjärnor som är ljusstarka och varierar regelbundet i ljusstyrka (ett exempel är Delta Cepheus, vars pulserande man kan observera med kikare). Denna metod kan användas för avstånd upp till cirka 65 miljoner ljusår.
- Spiralgalaxer – En typ av standardljus. Det finns ett samband (*Tully-Fisher-relationen*) mellan rotationshastigheten hos en spiralgalax och dess ljusstyrka. Ju större, och ljusstarkare, en galax är ju snabbare roterar den. Om man kan mäta dess rotationshastighet och dess uppenbara ljusstyrka kan man räkna ut avståndet. Denna metod fungerar på avstånd upp till cirka 6,5 miljarder ljusår.
- Supernovor av typen 1a – En typ av standardljus. Dessa supernovor har alltid samma ljusstyrka då de uppstår från samma typ av stjärna (en vit dvärg, i ett dubbelstjärnesystem med en röd jätte). Denna metod fungerar på avstånd upp till ca 10 miljarder ljusår.

Osäkerheten i avståndsmätning i universum var 2008 runt 5–10 %.

Geovetenskap

Geovetenskap är vetenskapen om planeten jorden. Geovetenskap delas in i mindre delar, så kallade discipliner, inom vilka man studerar olika delar av jorden. Genom att titta på de olika disciplinerna får man lättare en bild av vad geovetenskap innebär. Här har disciplinerna dessutom sorterats in efter vilka "sfärer" de studerar. Det finns inget bestämt sätt att dela in geovetenskap i discipliner, men denna variant är en av de vanligare.

Atmosfären (gaserna runt jordklotet):

- **Meteorologi** (s. 57) = Vetenskapen atmosfären.
- **Klimatologi** (s. 64) = Vetenskapen om klimatet.

Hydrosfären (allt vatten på jorden):

- **Hydrologi** (s. 65) = Vetenskapen om vattnets rörelse, distribution och kvalitet.
- **Oceanologi** (ibland oceanografi, s. 65) = Vetenskapen om hav.
- **Limnologi** (s. 65) = Vetenskapen om inlandsvatten.
- **Glaciologi** (s. 65) = Vetenskapen om is.

Pedofären (all jord):

- **Pedologi** (s. 67) = Vetenskapen om jord.

Litosfären, astenosfären, mesosfären och kärnan (jordens inre):

- **Geologi** (s. 69) = Vetenskapen om jordens inre.

Flera sfärer (hela jordklotet):

- **Geodesi** (s. 78) = Vetenskapen om att bestämma punkters platser och tyngdkraftvärden.



Bild: Den kanadensiska delen av Klippiga bergen, Canadian Rockies, är den vackraste delen av Rocky Mountains, en bergskedja som sträcker sig från New Mexico i USA norrut till British Columbia i Kanada. Kanadas del av Klippiga bergen skiljer sig från USA:s genom att den består av sedimentära bergarter som kalksten och lerskiffer, medan USA:s del främst består av gnejs och granit. Dessutom är bergen i Canadian Rockies brantare och spetsigare till formerna, och reser sig ofta imponerande över sina omgivningar trots att inga toppar är över 4 000 m. Det högsta berget i området är Mount Robson med 3 954 m.ö.h., och dess topp är en riktig utmaning att bestiga (det krävs ungefär en vecka på berget och endast 10 % av de som försöker når toppen). Det finns fem nationalparker i Canadian Rockies och fyra utav dem utgör tillsammans ett världsarvsområde. I dalarna mellan bergen finns många vackra sjöar som ofta är turkosa på grund av att de innehåller mycket bergsdamm. På bilden syns i fjärran Klippiga bergens eget Matterhorn, Mount Assiniboine, 3 618 m.ö.h.

Meteorologi

Meteorologi är vetenskapen om atmosfären. *Atmosfären* är i sin tur det lager av gaser som omger en planet. Det är tack vare vår atmosfär som liv kan bestå på jorden. Detta för att den skyddar jorden från farlig strålning från solen. Den är också orsaken till växthuseffekten, vilken behövs i lagom mängd för att värma jorden samt för att minska temperaturskillnaden mellan natt och dag.

Atmosfären består en gasblandning kallad *luft*, vilken består av 78,1 % kvävgas (N_2), 20,9 % syrgas (O_2), 9,3 % Argon (Ar), 0,039 % koldioxid (CO_2), samt en liten andel andra gaser såsom ozon, men även föroreningar såsom svaveldioxid (SO_2) och dioxiner. I atmosfären hittar man även lite naturligt stoff, såsom pollen, vulkanisk aska och damm. I verkligheten är dock atmosfären inte "torr" på detta sätt, utan har även en viss andel vatten (H_2O) i sig. Vid ytan finns oftast 1–4 % vatten i luften, medan det i hela atmosfären finns runt 0,4 %.

Koldioxidhalten ska "egentligen" vara runt 0,029 % och inte 0,039 %. Överskottet beror på all koldioxid vi släppt ut vid förbränning av olja, kol och naturgas (s. 157). År 1960 var koldioxidhalten 0,032 %. Eftersom koldioxid är en växthusgas leder denna ökade halt till en ökad växthuseffekt (s. 159).

Luften blir tunnare på högre höjd, men sammansättningen är mer eller mindre densamma.

Atmosfärens lager

Atmosfären är indelad i lager efter temperatur. Densiteten, alltså hur mycket en kubikcentimeter väger, av atmosfären avtar med höjden.

Troposfären

Troposfären är det nedersta lagret av atmosfären. Här lever vi. Den börjar vid jordytan och fortsätter upp till 9 km vid polerna och 17 km vid ekvatorn, med viss variation efter väder. Troposfären värms i huvudsak av jordytan, så den karaktäriseras av att den är varmast vid jordytan och blir kallare uppåt. Detta gör att luft kan stiga (varm luft stiger) och turbulens kan uppstå. I troposfären finns ca 80 % av all massa i atmosfären.

Tropopausen, gränsen mellan troposfären och stratosfären, har en temperatur på cirka $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Under tropospausen sjunker temperaturen med höjden, medan den ovanför tropospausen stiger med höjden.

Stratosfären

Stratosfären börjar vid tropospausen, 9–17 km ovanför jordytan, och fortsätter upp till cirka 51 km ovanför jordytan. I stratosfären stiger temperaturen med höjden. Eftersom varm luft då alltid ligger stabilt i övre delen av stratosfären sker ingen större turbulens och blandning av luft.

Ozonskiktet ligger i stratosfären, vilket är orsaken till att temperaturen stiger med höjden. Detta beror nämligen på en ökad absorption av solens ultraviolettera strålar av ozon ju högre upp man kommer. Ozonet finns dock ändå (lite motsägelsefullt men korrekt) främst i nedre delen av stratosfären, på en höjd av 15–35 km. Runt 90 % av allt ozon i atmosfären finns i stratosfären.

Stratopausen, gränsen mellan stratosfären och mesosfären, har en temperatur på ca $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vid stratopausen är lufttrycket (s. 60) en tusendel av vid jordytan.

Flygplan flyger på en höjd av 9–12 km, vilket oftast är i övre troposfären. Detta för att låg temperatur ger mindre luftmotstånd samt att man hamnar ovanför turbulensen i troposfären.

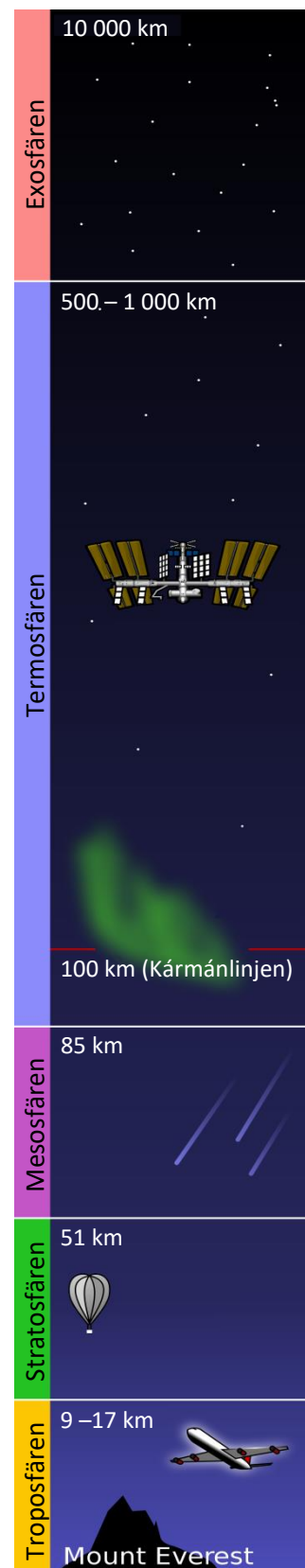


Bild: De olika lagren i jordens atmosfär.

Mesosfären

Mesosfären tar vid efter stratosfären och fortsätter upp till cirka 85 km ovan jordytan. I mesosfären sjunker temperaturen med höjden, precis vi människor är vana vid i stratosfären. I mesosfären brinner de flesta meteoroider upp.

Mesopausen, gränsen mellan mesosfären och termosfären, är den kallaste platsen på jorden på cirka $-85\text{ }^{\circ}\text{C}$ eller ibland så lågt som $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$. På grund av temperaturen i mesosfären fryser vatten till is och kan bilda nattlysande moln. Dessa ismoln är den molntyp som ligger högst upp av alla molntyper. De är så tunna att de inte syns på dagen, men däremot ser man dem på efter solnedgången, eftersom de är så högt upp att fortfarande är belysta fast solen gått ner för oss på jordytan.

Termosfären

Termosfären tar vid efter mesosfären och fortsätter upp till 500–1 000 km ovan jordytan.

Turbopausen ligger i nedre delen av termosfären, på en höjd av cirka 100 km. Detta är den gräns för när turbulensen i atmosfären är så låg att molekylers och atomers vikt har betydelse för hur de fördelas. Detta gör att kompositionen från och med nu ändras med höjden, med tunga molekyler och atomer på lägre höjder och lätta högre upp. Atmosfären under turbopausen kallas *homosfären*, och atmosfären ovanför turbopausen kallas *heterosfären*.

Jonosfären börjar i nedre delen av mesosfären, mellan cirka 50 och 1 000 km ovan jordytan. Den överlappar därmed även termosfären och exosfären (nästa lager av atmosfären). I jonosfären, eftersom den ligger ovanför ozonskiktet, har solstrålningen, främst UV-strålningen, en joniserande effekt på atomer och molekyler. Denna jonisering (s. 127) innebär att solstrålningen slår bort elektroner från atomer och molekyler, så att de därmed blir elektriskt laddade atomer och molekyler. Om detta skulle ske på jordytan skulle det få förödande konsekvenser. Jonosfären, eftersom den är laddad, reflekterar radiovågor, vilket gör att dessa kan nå runt jordens horisont.

Polarskens. 63) är ljussken minst 80 km ovanför jordytan. Ljusspelet kan sträcka sig ända upp till 500 km



Bild: Internationella rymdstationen har sin omloppsbana i termosfären. Stationen är byggd för sex besättningsmedlemmer, men kan husera dubbelt så många under kortare perioder.

ovanför jordytan, vilket är högre än omloppsbanan hos Internationella rymdstationen som har sin omloppsbana på en höjd av 400–420 km.

Kármánlinjen, uppkallad efter ingenjören och fysikern Theodore van Kármán, är en gräns som ofta används för att markera var rymden börjar. Den är satt 100 km ovanför jordytan.

I termosfären är det varmt! Upp till $2\,500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Detta beror på att luften är så tunn, så att varje atom och molekyl som finns här får absorbera mycket solenergi själv. Temperaturen ökar också med höjden, med nästan all ökning mellan 100 och 300 km. Detta beror på att det finns allt färre atomer och molekyler ju högre upp man kommer (främst syreatomer), och att dessa då får absorbera all solenergi. Trots den höga temperaturen i termosfären skulle en vanlig termometer visa runt $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ och man skulle inte bränna sig. Detta är lite svårt att

förstå, men det beror på att temperatur är ett mått på varje enskild atom eller molekyls energi (s. 157).

Eftersom det finns så få atomer och molekyler i termosfären gör de ingen skada på en människa. En vanlig termometer är anpassad till jordytan.

Termopausen, gränsen mellan termosfären och exosfären, ligger någonstans mellan 500 och 1 000 km ovanför jordytan (det varierar).

Exosfären

Exosfären tar vid efter termosfären. Vad som karakteriserar exosfären är att partiklar kan bryta sig loss från jordens dragningskraft. Exosfären består i huvudsak av väte och helium, vilka är de två vanligaste grundämnena i rymden. Den yttre gränsen för exosfären kan dras på två sätt. Antingen 10 000 km ut där geokoronan slutar.

Geokoronan är den lysande korona som omger jorden och som kan ses från rymden. Den yttre delen av geokoronan (den sträcker sig hela 15,5 jordradier ut) kan dock bara ses som UV-ljus. Eller så sätts den yttre gränsen av exosfären vid 190 000 km, ungefär halvvägs till månen, där solstrålningens tryck på väteatomer är starkare än jordens dragningskraft på dem.

Väder

Väder är ett annat ord för atmosfärens aktuella tillstånd. För att fullständigt beskriva vädret behöver man mäta följande parametrar.

Temperatur

Temperaturen nära marken kan variera mellan +56,7 °C (Death Valley i Kalifornien, USA, 1913) och -89,2 °C (forskningsstationen Vostok, Antarktis, 1983). I Sverige är värmerekordet +38,0 °C (Uppsala, 1933 och Kalmar, 1947) och -53,0 °C (Malgovik i Västerbotten, 1941). Att mäta temperaturen görs med en *termometer*. Standard är att mäta 2 m över marken, i skugga och i lä.

Temperatur är ett mått på hur mycket rörelseenergi partiklar har (s. 157). I luft, exempelvis, innebär hög temperatur att kvävemolekylerna, syremolekylerna samt de övriga atomer och molekyler som luften består av, rör sig väldigt mycket. De rör sig upp och ned, åt höger och vänster, fram och tillbaka, vibrerar samt roterar. När det å andra sidan är låg temperatur rör sig dessa partiklar lite. När det är -273,15 °C, vilket även kallas den *absoluta nollpunkten*, rör sig partiklarna minsta möjliga (de rör sig faktiskt fortfarande lite, för enligt kvantfysiken kan partiklar aldrig bli helt stillastående).

Vi människor, liksom de flesta andra organismer, har en förmåga att uppfatta partiklars rörelseenergi som varmt eller kallt. Hur detta sker är inte helt kartlagt, men sensoriska ("kännande") nervceller är inblandade.



Bild: Antarktis är jordens kallaste plats. Det ogästvänliga klimatet gör att kontinenten är världens sista vildmark. Antarktis och dess vatten är hem för sälar, pingviner, häckande fåglar, fisk, bläckfisk, valar, späckhuggare och tonvis av näringsviktiga krill och växtplankton. Dock är i princip allt liv begränsat till kusterna, isberg och omkringliggande hav och öar. I Antarktis finns i stort sett inget liv alls.

Luftfuktighet

Vatten kan i atmosfären existera i alla sina tre former. Fast vatten kallas *vattenis*, men oftast bara för *is*. Flytande vatten kallas helt enkelt vatten eller *flytande vatten*. Vatten i gasform kallas *vattenånga*. *Luftfuktighet* är ett mått på mängden vattenånga i luften. Luftfuktigheten mäts 1,5 m över marken, oftast med en så kallad *hygrometer*.

Anledningen till att det finns vattenånga i atmosfären är avdunstning (s. 133). Detta innebär att vatten på jordytan värms upp av solen så pass mycket att det övergår från att vara flytande till att bli vattenånga.

Hur mycket vattenånga som kan finnas i luften beror på luftens temperatur. Ju varmare luften är ju mer vattenånga kan den innehålla. Vid -20 °C kan 1 kubikmeter luft innehålla 1 g vatten. Vid +20 °C kan 1 kubikmeter luft innehålla 17 g vatten. När man pratar om luftfuktighet menar man oftast den *relativa luftfuktigheten*. Denna mäts i procent. Om den relativa luftfuktigheten är 80 % betyder det att luften innehåller 80 % så mycket vattenånga som den maximalt kan innehålla vid den temperaturen luften har just då.

När den relativa luftfuktigheten når 100 % övergår vattenånga till flytande vatten eller direkt till is. Vid dimma (vilket består av små vattendroppar) är den relativa luftfuktigheten vid marken 95–100 %. Vid regn eller snö behöver inte den relativa luftfuktigheten vid marken vara så hög, eftersom vattnet omvandlats på högre höjder.

Molnighet

Jordytan värms hela tiden av solen, vilket leder till att flytande vatten avdunstar och blir till vattenånga i luften. Även denna luft värms av solen, vilket gör att den utvidgas, blir lättare, och stiger. Högre upp är det däremot kallare och luften kyls återigen ned. Kall luft kan inte innehålla lika mycket vattenånga som varm luft, så denna avkylning leder till att den relativa luftfuktigheten (ovan) når 100 %. Detta gör att vattenångan övergår till att bli flytande vatten (kondenserar) eller till is (deponerar). En del vattenånga blir först flytande vatten och sedan is (först kondenserar och sedan fryser). Just detta vatten, små vattendroppar och små iskristaller, ser vi på himlen som moln. Ett *moln* är en synlig finfördelad ansamling av något i luften. Moln behöver inte bestå av vatten utan kan även bildas av exempelvis stoff från ett vulkanutbrott.

Dessa små vattendroppar och iskristaller faller faktiskt genom luften, men med en hastighet av endast några centimeter varje sekund. Den låga hastigheten beror på att luftmotståndet är högt jämfört med dragningskraften från jorden som verkar på dem. Denna saktmodiga rörelse upphävs helt av luftens rörelse, som oftast är flera meter i sekunden. Resultatet blir att molnen hänger kvar i luften.

Jorden täcks nästan jämnt till 40 % av moln. De reflekterar en väsentlig del av solstrålningen och har därför en stor effekt på klimatet.

Det finns många olika typer av moln, och vi går inte in närmare på dessa här. Vilket sorts moln som bildas beror på två saker – vilken temperatur det är och hur vindarna blåser. Moln som belyses av solen är nästan vita, medan de som ligger i skuggan blir mörkgråa. Moln blir även mörkare om de är tätt packade med vatten eller is.

Nederbörd

Nederbörd är alla typer av fast eller flytande vatten som faller från atmosfären till marken. De två vanligaste formerna av nederbörd i Sverige är regn och snö, men det förekommer även exempelvis hagel.

Ett moln (ovan) fortsätter ofta "förtätas" med fler små vattendroppar och iskristaller. Detta kan dels bero på att mer stigande luft kommer med mer vattenånga, som avkyls till vattendroppar eller iskristaller i molnet. Det kan även bero på att molnet kyls ner ännu mer av omkringliggande kall luft och att den vattenånga som redan fanns i molnet övergår till att bli vattendroppar och iskristaller. När de små vattendropparna och iskristallerna i molnet blir för många börjar de kollidera med varandra och slå sig samman. De blir då tillräckligt stora för att dragningskraften på dem blir väsentligt större än luftmotståndet. De börjar då falla nedåt, och detta dessutom snabbare än eventuella uppåtvindar i molnet. Nederbörd har bildats.

Nederbörd behöver dock inte bildas genom en tillsats av vattendroppar och iskristaller till molnet, utan kan även bildas genom att de vattendroppar och iskristaller som redan finns i molnet kolliderar med varandra på grund av turbulens, slås samman och faller ned.

Snö är från iskristaller i moln som slagit sig samman till snöflingor, och som inte smält innan de nått marken.

Regn å andra sidan, är antingen regndroppar som slagit sig samman, eller iskristaller som slagit sig samman men som smält på nervägen.

Hagel är klumpar av is som kan variera i storlek från några millimeter till flera centimeter i diameter. Ibland definierar man dock iskorn mindre än 5 mm som annat än hagel. Hagel bildas i åskmoln, framförallt de som är höga, har mycket uppåtvindar och innehåller mycket vatten. Det ska även vara kallt – den bästa temperaturen för hagelbildning är $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ett hagelkorn börjar som en vattendroppe lågt i molnet, men när den följer uppåtvindarna till högre och kallare höjder fryser den till is. Flera små hagelkorn kolliderar till större och på så sätt kan riktigt stora bildas. När hagelkornet blivit så stort att dragningskraften vinner över luftmotståndet och uppåtvindarna faller den till marken. Tillväxtfasen brukar ta minst 30 min.



Bild: Hagelkorn större än 2 cm kan orsaka stor skada på bilar och tak. Detta är det största hagelkorn som hittats i USA. Det var 20 cm i diameter och vägde 0,88 kg.

Lufttryck

Lufttryck är ett mått på tyngden av en lodrät "luftpelare" som sträcker sig från jordytan till atmosfärens slut. Lufttrycket mäts med hjälp av en *barometer* och i enheten hektopascal (hPa). Ett lufttryck på 1 000 hPa innebär att luften ovanför en kvadratmeter av jordytan väger 10 000 kg.

Normalt anger man lufttrycket vid havsytan. När det inte går att mäta där, räknar man om sitt uppmätta lufttryck till vad det skulle vara vid havsnivån. Lufttrycket sjunker nämligen med ungefär 1 hPa för varje 8:e meter högre man kommer ovanför havsytan, i alla fall de första 500 metrarna. Medellufttrycket vid jordens havsyta är 1 013,25 hPa. I ett högtryck kan det ligga runt 1 050 hPa och i ett lågtryck runt 950 hPa.

Ett *lågtryck* är ett område där lufttrycket är lägre än kringliggande områden. Ett lågtryck kan skapas när luft vid jordytan värms upp och stiger. Den stigande luften lämnar ett tomrum under sig – ett lågtryck.

Ett *högtryck* är ett område där lufttrycket är högre än kringliggande områden. Ett högtryck kan skapas när luft kyls ner högt uppe i troposfären och faller ner mot jordytan. Den sjunkande luften skapar ihoppressad luft under sig – ett högtryck.

Variationen av lufttryck uppstår globalt av samma anledningar som vindar (se nedan). Lokalt kan det dock ha flera anledningar.

Det finns ett samband högtryck och vackert väder. Som nämnts ovan beror högtryck på att luft som kyls ner högt uppe i atmosfären faller ner mot jordytan och där skapar ett högt tryck. När denna luft kommer ner värms den upp igen, eftersom den pressas ihop (att luft som pressas samman blir varmare kan man uppleva när man pumpar cykeln och känner att luftventilen på däckat blir varm). När luft värms upp kan den innehålla mer vattenånga, vilket gör att eventuella moln (som består av små vattendroppar och iskristaller) omvandlas till vattenånga och "försvinner".

Vind

Vind är luft i rörelse i atmosfären. Vindar rör sig alltid från ett område med högt lufttryck till ett område med lågt lufttryck. Dessa skillnader i lufttryck kan uppstå på grund av flera, mer eller mindre, komplicerade anledningar. Men globalt sett kan man sammanfatta det med två mekanismer. Dels värms luften vid ekvatorn mer än vid polerna, vilket gör att luften där stiger och skapar ett tomrum, ett lågtryck, under sig. Denna luft kyls sedan av högt uppe i atmosfären och faller ner igen. Där så sker, vilket är på vissa bestämda avstånd från ekvatorn, blir det högt tryck nere vid jordytan. Dels orsakar jordens rotation att vindarna rör sig i stora virvlar.

Vindriktningen anges ifrån vilket håll vinden kommer. Nordlig vind kommer alltså från norr, och det är därför den oftast är kall.

Åska

Ett för många skrämmande väderfenomen är *åska* - en kraftig elektrisk ström i luften. Orsaken till åska är en stor laddningsskillnad mellan moln och mark, eller moln och moln. Hur denna laddningsskillnad egentligen uppstår är faktiskt fortfarande oklart, men den ledande hypotesen är att elektroner, vilka är negativt laddade partiklar, hoppar från iskristaller till *trindsnö* (en sorts blandning mellan hagel och snöflingor) när dessa kolliderar med varandra i molnen. De lättare iskristallerna flyger med uppåtvindar högt i molnen, medan trindsnön faller nedåt. Resultatet blir att molnet på hög höjd är positivt laddat (saknar elektroner) och låg höjd är negativt laddat (har ett överskott av elektroner). Då molnet rör sig över marken blir även marken positivt laddad, eftersom elektronerna i molnets undersida stöter bort elektroner i markytan. När laddningsskillnaden, det vill säga dragningskraften på elektronerna från de positivt laddade områdena, blir väldigt stor sker en elektrisk urladdning. Denna elektriska urladdning innebär att elektronerna snabbt rör sig, i en luftburen elektrisk ström, från botten av molnet till antingen toppen av molnet eller till marken. Denna synliga elektriska ström kallas en *blixt*. Blixten, bestående av en ström av elektroner, värmer hastigt upp luften, vilken utvidgas. Detta leder till en tryckvåg i atmosfären, vilken går att uppfatta som en smäll – en *åskknall*. Åska består alltså både av en blixt och av en åskknall. En blixt rör sig i en hastighet av runt 200 000 km/h och är cirka 30 000 grader varm.



Bild: En blixt slår ner i ett träd.

Sikt

Sikt är ett mått på hur genomskinlig atmosfären är. WMO (World Meteorological Organization) skriver att "*den meteorologiska sikten är det största avstånd på vilket ett svart föremål av lämplig storlek beläget nära marken kan iakttas och igenkännas när det observeras mot horisonten under dagsljus, eller skulle ha kunnat iakttas och igenkännas under natten om ljusförhållandena varit de samma som under dagtid*". SMHI använder dock en annan metod att mäta sikten, som involverar en lampa med ett bestämt ljus och ett instrument som objektivt mäter när endast 5 % av dess ljusflöde är synligt.

Några väderfenomen

Utöver ovan nämnda "väderparametrar" finns en del väderfenomen i atmosfären som är värda att nämna.

Regnbåge



Bild: Ett särskilt intressant fenomen är en dubbel regnbåge, vilken uppstår när en del ljus reflekteras en extra gång i vattendropparna och koncentreras 50–53° från ljuskällans riktning. Faktum är att en del ljus alltid reflekteras med denna vinkel, men det är inte alltid den andra regnbågen blir tillräckligt stark

Vitt ljus från solen består egentligen av alla färger som finns. När solen skiner på en vattendroppe blir dessa synliga. När en vit ljusstråle antror "framsidan" på en vattendroppe, och passerar övergången mellan luft och vatten, bryts de olika färgerna lite åt olika håll. Ljusstrålen övergår från att vara smal och vit till att bli lite bredare och bestå av alla färger i ett regnbågsmönster. Ljusstrålen reflekteras sedan på insidan av "baksidan" av vattendroppen (lite ljus passerar även ut här, men ger ej upphov till en regnbåge) och vänder tillbaks ungefär mot solens riktning. Sedan passerar ljusstrålen återigen gränsen mellan vatten och luft på vattendroppens framsida, fast den här gången på väg ut ur den, och färgerna separeras ännu mer. Ljusstrålen sprids till viss del åt alla håll från framsidan av vattendroppen, men mest är dess färger koncentrerade 40–42° från solens riktning. Vill man se en regnbåge ska man alltså stå med solen i ryggen och titta på vattendroppar i himlen. Dock får solen inte vara högre än 42° från horisonten, för då hamnar regnbågen osynligt i marken. En regnbåge är alltid 84° bred (360° är ett varv runt din egen axel), vilket gör den svår att fotografera utan vidvinkelobjektiv.

En regnbåge kan även bildas på andra sätt än av solen och regn. Det kan exempelvis bildas regnbågar av vattenångan vid

ett vattenfall. Faktum är att det även kan bildas regnbågar av månens sken – *månregnbågar*. Dessa är dock svåra att se eftersom månens ljus är mycket svagare än solens. Om man har tur att se en kommer man uppfatta dess färger som svaga, eftersom människans färgseende blir dåligt i svagt ljus.

Tornado

En *tornado*, även kallad *tromb*, är en roterande luftkanal (virvelvind) mellan marken och ett moln. En tornado är ofta synlig som en molnformation, eftersom vatten kyls till små vattendroppar i den. Tornados bildas ofta från kraftiga åskväder kallade *superceller*. Dessa superceller innehåller ett område av roterande luft som kallas en *mesocyklon*. En tornado bildas sedan om kraftigt regn drar med sig mesocyklonens ena ände ner till marken. Dock kan tornados även bildas på andra sätt, utan inblandning av superceller. Gemensamt för dem alla är dock kraftiga vindar som kan orsaka stor skada. En normal tornado har en vindhastighet på cirka 150 km/h och är cirka 75 m bred. En riktigt extrem tornado kan dock ha en vindhastighet på 480 km/h och vara 3 km bred.



Bild: En tornado rör sig vanligtvis några kilometer längs marken innan den upplöses, med en hastighet av cirka 45 km/h.

Tropisk cyklon (orkan, tyfon, cyklon)

Den *tropiska cyklonen* orsakar flest dödsoffer av alla väderfenomen. Okärt barn har även många namn och en tropisk cyklon kallas, beroende på världsdel, även för *orkan*, *tyfon* eller bara *cyklon*. En tropisk cyklon tros bildas när varm luft stiger och bildar ett tomrum, ett lågtryck, under sig. Mer luft suges in i detta tomrum, vilket upplevs som vindar. Vindarna blåser dock spiralformat in mot centrum, en effekt som uppstår på grund av jordens rotation. När den nya luften kommit in i centrum stiger även den. Än så länge är detta bara ett vanligt lågtryck, men det som skiljer en tropisk cyklon från ett vanligt lågtryck är att den luft som stiger i centrum alltid är varm och fuktig eftersom tropiska cykloner uppstår ovanför tropiska hav. När denna luft når hög höjd och kyls av, kondenserar vattenångan i den till vattendroppar. När vatten på detta sätt kondenserar från gasform till flytande form frigörs värme, och denna värme ökar på luftförelserna ännu mer. Detta gör att mer och mer varm och fuktig luft suges upp i cyklonens centrum och dess vindstyrka, vatteninnehåll och storlek ökar. En

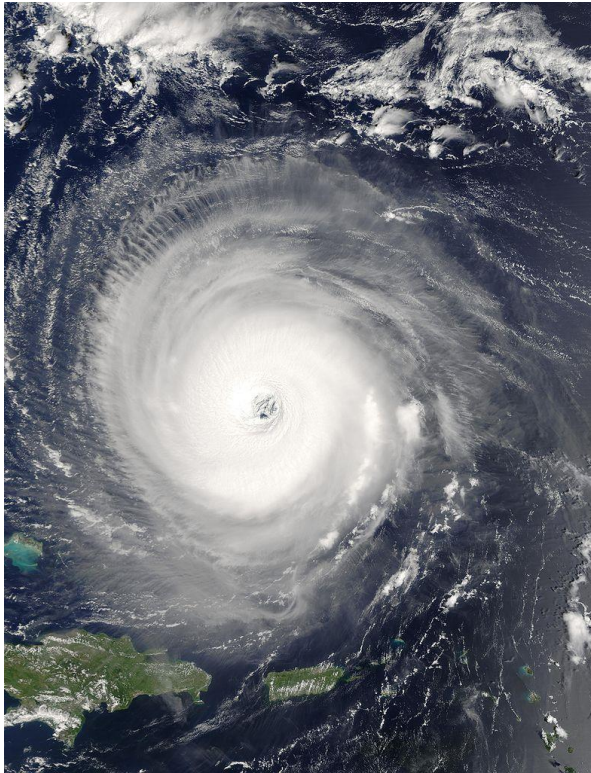


Bild: Orkanen Isabel 65 mil norr om Dominikanska republiken (stora ön till vänster) och Puerto Rico (lilla ön till höger). Isabel orsakade 16 dödsoffer.

medelstor tropisk cyklon är 50 mil i diameter. En tropisk cyklon avtar i styrka först när den kommer in över land eller kallare vatten. Vindarna når ofta orkanstyrka (minst 32,6 m/s) och det kan regna över 1 m på kort tid. De hastiga översvämningar som ofta följer med en tropisk cyklon är vad som brukar orsaka störst förödelse.

Polarsken

Att få uppleva ett ordentligt flerfärgat polarsken är en ynnest få förunnat. Men vi svenskar har tur – ett besök i norra landet på vinterhalvåret garanterar nästan ett polarsken. *Polarsken* är ljussken minst 80 km ovanför jordytan. Ljusspelet kan sträcka sig ända upp till 500 km ovanför jordytan. Polarsken uppstår när kväve och/eller syre i den tunna atmosfären avger fotoner (ljus). Anledningen till denna emission av fotoner är att kvävet och syret i första skedet absorberat energi från infallande laddade partiklar från solen eller rymden, energi som de sedan avger i form av fotoner. De laddade partiklarna från solen och rymden, främst elektroner, fångas in och accelereras av jordens magnetiska fält till områdena 10–20 ° från polerna där kollisionerna sker. Polarsken uppstår därför i ett ringformat område nära polerna, exempelvis ovanför norra Sverige. Polarsken har olika färger beroende på vilka av grundämnena kväve och syre som avger fotonerna, samt i vilken form dessa

grundämnen var när de avgav fotoner. Ljus från syre är grönt eller rödbrunt, medan ljus från kväve är blått eller rött. När polarsken uppstår på norra halvklotet kallas det *norrskan* och när det uppstår på södra halvklotet kallas det *sydsken*. Polarsken är inget unikt för jorden, utan har även observerats på alla andra planeter utom Merkurius, samt på några av Jupiters månar.



Bild: Joshua Strongs fotografi av ett norrskan vid Bear Lake i Alaska blev årets bild på Wikipedia 2006.

Klimatologi

Klimatologi är vetenskapen om klimatet. *Klimat* är statistiken över vädret, ofta över minst 30 dagar, det vill säga statistiken över tillstånd i atmosfären. Klimat är alltså detsamma som vädret över lång tid. Ofta tittar man på genomsnittliga värden av olika väderparametrar, men det kan lika gärna handla om variation eller toppar.

Olika delar av jorden har olika klimat. Det finns flera olika sätt att dela in världen i *klimatzoner*, där varje zon karaktäriseras av ett visst klimat. Ett exempel är *Köppens klassificeringssystem*. Det systemet bygger på månadsmedelvärden av temperatur och nederbörd. Detta ska sedan ge en viss förutspådd vegetationstyp.

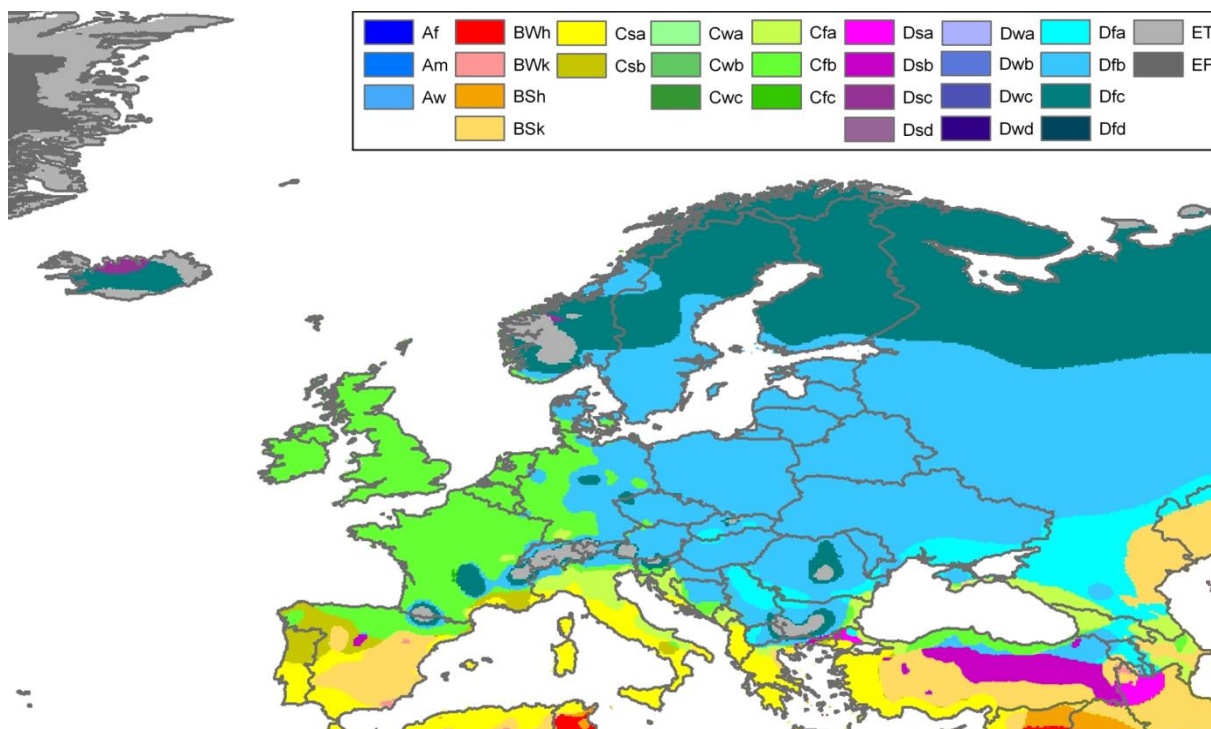


Bild: Klimatzoner i Europa enligt Köppens klassificeringssystem. I detta system har norra Sverige klimatet *Dwb* (kalltempererat klimat, barrskog, sommarregn, varm sommar) och södra Sverige klimatet *Dwc* (kalltempererat klimat, barrskog, sommarregn, sval sommar).

Klimatets huvudklasser anges med stora bokstäver:

- *A* = Tropiska regnrika klimat, regnskog
- *B* = Torra (arida) klimat: stäpp (*BS*) och öken (*BW*)
- *C* = Varmtempererade klimat, lövskog
- *D* = Kalltempererade klimat, barrskog
- *E* = Polarklimat: tundra (*ET*) och glaciärer (*EF*)

Genom att tillfoga en eller flera små bokstäver till huvudklimattypernas stora kan Köppens klimatindelning göras mer detaljerad:

- *a* = Het sommar
- *b* = Varm sommar
- *c* = Sval sommar
- *d* = Sval sommar, extrem vinterkyla
- *h* = Torrt och hett
- *k* = Torrt, kall vinter
- *f* = Helårsregn
- *m* = Monsunregn
- *s* = Vinterregn
- *w* = Sommarregn

Hydrologi, oceanologi, limnologi och glaciologi

Hydrologi är vetenskapen om om vattnets rörelse, distribution och kvalitet. *Oceanologi* är vetenskapen om hav. *Limnologi* är vetenskapen om inlandsvatten. *Glaciologi* är vetenskapen om is.

Vattnets kretslopp



Bild: En vattenmolekyl är ständigt på resa.

Vattnet på jorden cirkulerar hela tiden i ett kretslopp. Detta innebär att en viss vattenmolekyl ständigt reser omkring mellan jordytan, jordklotets inre och atmosfären.

Resan börjar i havet, där 97 % av allt vatten finns. Från havet avdunstar vattenmolekylen till atmosfären. Detta är en slumpmässig process och det beräknas i genomsnitt ta 3 200 år innan det sker för en viss vattenmolekyl.

Resan i atmosfären blir dock kort, endast runt 9 dagar. Här är vattnet först vattenånga, vilken stiger till högre höjder där den kyls ner. Detta gör att vattenångan övergår till att bli flytande vatten (kondensering) eller till is (deposition). En del vatten blir först flytande vatten och sedan is (kondensering följt av frysning). Dessa små vattendroppar och iskristaller klumpar sedan ihop sig och faller ner till jordytan (s. 60). En del vatten landar i havet igen, men mycket landar på land.

På land hittar man vatten i fast eller flytande form. Nederbörd i form av is (snö, hagel m.m.) kan förbli is en längre tid på land och ansamlas som polaris och glaciärer, där en vattendroppe förblir i genomsnitt i 20–100 år, men även kan stanna i tusentals år. Is på varmare platser smälter dock inom 2–6 månader. Is kan, förutom att smälta, omvandlas direkt till vattenånga i atmosfären (sublimation).

Flytande vatten från smältande is eller nederbörd hamnar i första hand på jordytan. Här finns det i sjöar, vattendrag och våtmarker. I sjöar beräknas vattenmolekyler stanna i genomsnitt i 50–100 år, medan de i vattendrag beräknas förbli i 2–6 månader. Våtmarker kan ibland tillhöra sjöar, ibland vattendrag, och ibland vara isolerade, så tiden en vattenmolekyl kan spendera i våtmarker varierar på grund av detta. Från sjöar,

vattendrag och våtmarker kan vattnet ta tre vägar. Antingen rinner det ut i havet igen, eller så avdunstar det till atmosfären. Eller så rinner det ner i marken.

När vatten rinner ner i marken blir det först markvatten. En vattenmolekyl som blivit markvatten förblir det i 1–2 månader, innan det rinner ut på jordytan eller i havet igen, eller fortsätter djupare ner i marken. När vattnet fortsätter rinna djupare, så djupt att det hamnar där marken är mättad med vatten (alla porer i marken är fyllda med vatten), kallas det *grundvatten*. En vattenmolekyl beräknas förbli grundvatten i cirka 100–10 000 år, beroende på hur djupt i marken en vattenmolekyl hamnar. Ur grundvattnet "flyr" vattenmolekylerna sedan till jordytan eller till havet igen

Fördelning av jordens vatten

Hydrosfären är det samlande namnet på allt vatten på jordytan, inuti jordklotet och i atmosfären. Hur mycket vatten som finns *djupt* inne i jordklotet vet man inte, så när man pratar om vattnets fördelning på jorden brukar man utelämnat detta. Endast det vatten som mätbart deltar i vattnets kretslopp (*ovan*) är med i beräkningarna.

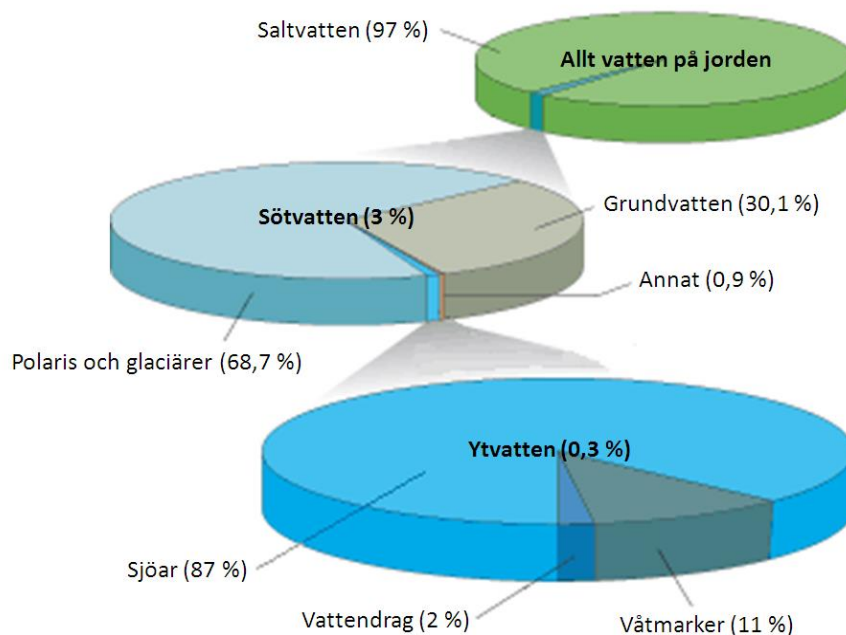


Bild: Av jordens vatten är 97 % saltvatten och 3 % sötvatten. Av saltvattnet är 0,01 % grundvatten och salt sjövattnet, resten är i haven. Av sötvattnet är det mesta i form av is. *Grundvatten* är vatten som finns under jordens yta på de platser där alla porer i jorden, sedimenten eller berggrunden är fyllda med vatten. *Annat* avser markvatten, permafrost, markis, atmosfären och vatten i organismer. Endast 0,3 % av jordens vatten är ytvatten i sjöar, vattendrag och våtmarker.

Pedologi

Pedologi är vetenskapen om jord. Pedologer studerar *pedosfären*, vilket är det skikt av jordskorpan (s. 71) som utsätts för erosion och vittring. Det ska dock nämnas att pedologi ibland räknas som en del av geologi (s. 69).

Jordbildning

Bergarter (s. 77) bryts hela tiden ner. De kan brytas ner på två sätt, genom vittring eller erosion.

Vittring kallas det när berggrunden bryts ned till följd av temperaturväxlingar eller kemisk påverkan.

En typ av vittring på grund av temperaturväxlingar är *frostsprängning*. Detta innebär att vatten i bergsprickor fryser och, eftersom vatten utvidgas när det fryser, spränger loss delar av berget. Frostsprängning är en viktig mekanism på kallare breddgrader, såsom i Sverige. En annan typ av vittring på grund av temperaturväxlingar är *solsprängning (termisk expansion)*. Detta innebär att berget värms upp och expanderar, för att sedan kylas ner och dras ihop, och så vidare. Till slut spricker berget och delar lossnar. Solsprängning är en viktig mekanism i öknar.

Kemisk påverkan kan bland annat vara vatten med lågt pH som löser upp kalk i berggrunden.

Erosion kallas det när bergarterna bryts ned och förs bort av inlandsis, rinnande vatten, vågor och vindar.

Vittring och erosion omvandlar bergarter till jord. *Jord* är fasta partiklar på jordens yta som är så lösa att man kan gräva i det. Jord behöver dock inte bestå av eroderad eller vittrad bergart, det kan även bestå av exempelvis djur- och växtdelar.



Bild: Preikestolen (Predikstolen) är en spektakulär klipphylla cirka 600 m rakt ovanför Lysefjorden i Norge. Preikestolen är ungefär 25x25 m stor och från tre av dess sidor stupar det i stort sett rakt ner ända till fjorden. Klipphyllan bildades troligtvis under istiden (cirka 100 000-10 000 år sedan) då en glaciär täckte Lysefjorden. Vatten som kommit in i springor i bergsidorna fryste och sprängde bort stora sjok med sten, vilka fördes bort med glaciärens rörelse. Kvar blev denna kantiga skapelse. Tvärs över Preikestolen finns en tydlig spricka, men geologer är rätt säkra på att Preikestolen inte kommer rasa inom de närmsta tusentals åren.

Jordarter och jordmåner

Jordarter

I Sverige skiljer man på jordarter och jordmån. En *jordart* är jord av en viss mekanisk och/eller kemisk sammansättning. Jordarter kan delas in på flera sätt olika sätt, vilket gör jordarter till en ganska komplicerad fråga för den oinsatte. Ett indelningssätt baseras på jordarternas beståndsdelar:

Namn	Beståndsdelar
1. Mineraljordar:	Mineral (s. 76)
a. <i>Sorterade</i> (sedimentjordar)	Få mineraler (avsatts av vind eller vatten)
b. <i>Osorterade</i> (moräner)	Många mineraler (t.ex. p.g.a. inlandsis, ras eller vittring)
2. Organogena jordar:	Organiska ämnen (s. 80)
a. <i>Gyttj jordar</i>	Växt- och djurdelar (på botten)
b. <i>Torvjordar</i>	Växtdelar (i mossar och kärr)
c. <i>Dyjordar</i>	Upplösta humusämnen (små växt-/djurrester)

Jordarter kan också delas in efter hur de har bildats, eller efter deras byggnadstekniska egenskaper.

Vid indelning av jordarter efter bildningssätt blir Sveriges vanligaste jordart morän. *Morän* definieras av att det bildats av inlandsis eller glaciärer. Morän kan alltså bestå av vad som helst så länge det bildats på detta sätt. Det mesta av Sveriges morän består dock av bergarterna granit och gnejs.

Morän kan också bestå av alla olika kornstorlekar. Med *kornstorlek* menas diametern på de fasta partiklar som finns i jordarten. Sedan 2002 används i Sverige följande tabell för kornstorlekar:

Storlek	Namn		
> 630 mm	Mycket grov jord		Stora block
200–630 mm			Block
63–200 mm			Sten
20–63 mm	Grov jord	Grus	Grovgrus
6,3–20 mm			Mellangrus
2–6,3 mm			Fingrus
0,63–2 mm			Grovsand
0,2–0,63 mm		Sand	Mellansand
63–200 µm			Finsand
20–63 µm			Grovsilt
6,3–20 µm			Mellansilt
2–6,3 µm	Fin jord	Silt	Finsilt
< 2 µm		Ler	

Därför kan en jordart exempelvis kallas *lerig morän*. Blanda dock inte ihop ler och lera. *Lera* definieras som en sorterad eller osorterad mineraljordart med mer än 15 % ler.

Jordmåner

Jordmån är det översta lagret av jorden, som har påverkats av klimatet, växterna och/eller människan. Med tiden blir jordmåner djupare och djupare och ersätter jordarterna. Jordmånen delas in i horisonter (A, B och så vidare) och når ner till 1–2 m djup. Dock kallas inte den jord som avsattes av istidens glaciärer för jordmåner, utan de anses som jordarter. Därför "nollställdes" alla jordmåner till jordarter under den senaste istiden i Sverige. Så de jordmåner som finns idag har bildats under de senaste 11 000 åren. I länder där man ej haft istider når jordmånen ofta ända ner till berggrunden, och man pratar inte om jordarter. Med det engelska ordet *soil* menar man då ofta jordmåner helt enkelt, eftersom det inte finns några jordarter.

I jordmånen identifierar man olika horisonter, det vill säga nivåer av jord. Dessa är, uppifrån och ner: organiskt lager (O), urlakningshorisont (A och E), anrikningshorisont (B) och ursprungsmaterial (C).

Exempel på olika jordmåner är *podsol*, *brunjord*, *svartjord* och *histosol*. Podsol är den vanligaste jordmånen i Sverige och täcker 50 % av Sveriges yta. Podsol finns främst i barrskog. Den karaktäriseras bland annat av en vit eller gråaktig E-horisont.

Geologi

Geologi är vetenskapens om jordens inre. Geologer tar vid där pedologer slutar, det vill säga där det inte längre går att gräva i marken (även om pedologi (s. 67) som sagt ibland räknas som en del av geologi).

Jordens geologiska historia

En stjärna dör

Långt innan vår sol och vårt solsystem fanns, fanns andra stjärnor (s. 44).

En stjärna består nästan bara av väte och helium, och skiner genom att fusera väte till helium. Men när allt väte är slut börjar stjärnan sina sista dagar. Beroende av hur stor stjärnan är kommer olika saker att hända, till exempel en fas när stjärnan är en röd jätte, men slutet för små eller medelstora stjärnor innebär alltid att den stöter bort sina yttersta lager. Denna materia bildar en *nebulosa*, det vill säga ett moln av stoff och gas i rymden. Kvar blir en vit dvärg som skiner i hundratals miljarder år av gammal lagrad värme (s. 41).

Större stjärnor, över 1,4 solmassor tunga, har en mer spektakulär död. De kommer att implodera när gravitationen får övertaget över fusionsenergin som vill slita isär stjärnan. Därefter sker en våldsam explosion, likt en våg som studsar mot klipporna. Den materia som skjuts iväg bildas en nebulosa. Efter en supernovaexplosion blir det ingen vit dvärg kvar, i stället bildas en neutronstjärna eller, om stjärnan var riktigt stor, ett svart hål (s. 41).

Rymden förorenas med grundämnen

Oavsett sättet stjärnan dör på innehåller den nebulosa som skickats ut i rymden tyngre grundämnen än väte och helium. Dessa ämnen skapas genom fusionsreaktioner när stjärnan i sitt slutstadium är på väg att förbruka allt sitt vätebränsle. Rymden berikas på så sätt med ämnen som kol, syre, kväve, järn, guld, neon, aluminium och kisel. Även stjärnvinden, den ständiga strålningen från stjärnor, innehåller en liten del tyngre grundämnen.

I en stjärna är det tyngsta grundämne som kan bildas järn. Om stjärnan sedan dör genom en supernova kan alla grundämnen upp till uran bildas.

Solsystemet bildas

Enligt den ledande teorin började vårt solsystem bildas för 4,6 miljarder år sedan ur en nebulosa innehållandes 98 % väte och helium, och 2 % tyngre grundämnen. Gravitationskraften mellan alla dessa partiklar gjorde att gasen och stoffet började ansamlas till klumpar. Till slut blev det så varmt i mitten att en stjärna tändes. Vår sol började fusera väte cirka 50 miljoner år efter att nebulosan börjat komprimeras. Nebulosan som gav upphov till vår sol var stor, troligen flera ljusår i diameter, och gav förmodligen upphov till 100 eller 1 000 andra stjärnor också. När solen hade bildats fanns det mycket gas och stoff kvar i omloppsbana runt den. Dessa partiklar började kollidera med varandra och växte med gravitationens hjälp. Större klumpar blev allt större och till slut återstod endast ett fåtal planeter (s. 24), dvärgplaneter (s. 30) och månar (s. 33), samt *small solar system bodies* (s. 36).

Smält jord

Det tog ungefär 10–20 miljoner år av kollisioner tills man anser att jorden hade bildats. Detta var för 4,54 miljarder år sedan. Den yngsta jorden var helt smält av flera anledningar. Jorden värmdes upp när den trycktes ihop av sin egen gravitation, och värme frigavs från radioaktiv nedbrytning av ämnen. Dessutom bombarderades jorden ständigt av andra himlakroppar som fanns kvar runt solen. Rörelseenergin hos dessa himlakroppar omvandlades till rörelseenergi hos jordens partiklar, vilket är detsamma som en ökad temperatur hos jorden.

Jordens ålder på 4,54 miljarder år är bland annat uppskattad efter meteoritprov på månen. Solens exakta ålder tror man är 4,57 miljarder år. Detta kan man se genom att jämföra liknande stjärnor i universum.



Bild: Den unga jorden var för varm för att ha en fast skorpa. Men med tiden svalnade planeten och de första bergarterna bildades.

Jorden får en skorpa och en atmosfär

Tiden 100–150 miljoner år efter att jordens bildats tror många forskare att den hade svalnat tillräckligt för det yttersta lagret att stelna till en skorpa. Jorden hade också blivit så pass stor att dess gravitation höll kvar gaser runt jordklotet – en atmosfär. Jordens tidiga atmosfär var dock helt annorlunda än idag, och hade varit giftig för dagens levande organismer.

Late Heavy Bombardment



Bild: Om en skorpa hade hunnit bildas på jorden för 4 miljarder år sedan förstördes den troligtvis under *Late Heavy Bombardment*. Även månen bombarderades och det huvudsakliga beviset för *Late Heavy Bombardment* är de många månkratrar som är från denna period.

Det hade också blivit lugnare på jorden, och under några hundra miljoner år träffades planeten av få himlakroppar. Men för cirka 4,0–3,8 miljarder år sedan, en period som på engelska kallas *the Late Heavy Bombardment* (ungefär ”sena tunga bombardemanget” eller ”solsystemets härjningstid” på svenska) tog det fart igen. Jorden började återigen bombarderas av stenar från rymden och nästan hela, om inte hela, jordskorpan förstördes igen. Det var inte bara jorden och månen som bombarderades, även Merkurius, Mars och Venus överröstes. Orsaken till *the Late Heavy Bombardment* kan ha varit att gasjättarna (Jupiter, Saturnus, Uranus och Neptunus) började emigrera utåt, det vill säga skaffa sina nuvarande omloppsbanor efter att tidigare befunnit sig närmare solen. Deras gravitationskrafter påverkade omloppsbanorna hos *small solar system bodies* som asteroider och kometer (s. 36), vilka satte kurs mot de

inre planeterna. På jorden gjorde detta bombardemang att gaser från jordens inre läckte ut i atmosfären och ändrade dess sammansättning.

Efter *Late Heavy Bombardment* svalnade jorden åter och jordskorpan återbildades.

Hav bildas

Himlakropparna som kolliderade med jorden tros ha medfört vatten (en del fanns redan på jorden). Detta vatten blev till vattenånga i jordens atmosfär, på grund av att det var så varmt. När jorden senare svalnade bildades moln, och regn gav upphov till hav. De första haven tros ha bildats för ungefär 3,8 miljarder år sedan, även om detta är väldigt osäkert. Atmosfären bestod vid den här tiden av ammoniak, metan, vattenånga, koldioxid, kväve och en liten andel andra gaser.

Det syre som fanns på jorden vid denna tid var bundet till mineraler eller väte i form av vatten. Även om haven hade bildats var jorden än så länge ingen gynnsam plats för liv. Den vulkaniska aktiviteten var stor, och det fanns inget ozon vilket gjorde att jordytan badade i ultraviolett strålning.

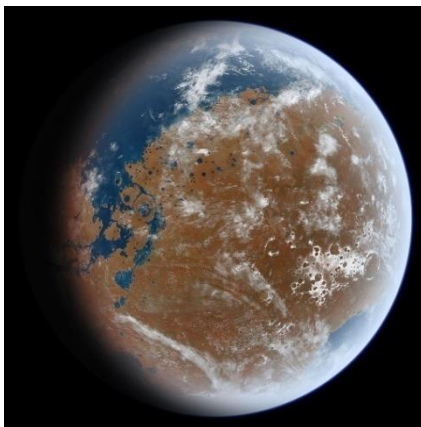


Bild: Vattenångan i atmosfären tog god tid på sig att omvandlas till flytande form. Det kan ha regnat under miljontals år innan haven var fyllda.



Bild: Jorden träffas fortfarande av himlakroppar. Barringerkratern i USA är cirka 1,2 km i diameter, 170 m djup och kantas av en vall på 45 m. Anledningen till att kratern är så välbevarad är att nedslaget skedde relativt nyligen, bara för 50 000 år sedan. På denna tid fanns människor (*Homo sapiens*), men det är oklart om de hade invandrat till Nordamerika ännu. Meteoriten som slog ned var cirka 50 m i diameter, och fragment har hittats.

Jordens inre skikt

Jordens inre är indelat i skikt. Skikten kan klassificeras på två sätt; efter egenskaper eller efter vad de består av. Därför finns två olika indelningar. I tabellen nedan presenteras de olika skikten och på vilket djup under jordytan de ligger. Gränserna som anges är cirkavärden. Jordens centrum finns 6 360 km under jordytan.

Jordens inre skikt...			
...efter egenskaper		...efter sammansättning	
<i>Litosfären</i>	0–60 km (varierar mellan 5 och 200 km)	<i>Jordskorpan</i>	0–cirka 35 (varierar mellan 5 och 70 km)
<i>Astenosfären</i>	60–660 km	<i>Manteln</i>	Övre: Cirka 35–410 km
<i>Mesosfären</i>	660–2890 km		Övergångszon: 410–660 km
<i>Yttre kärnan</i>	2890–5150 km		Nedre: 660–2890 km
<i>Inre kärnan</i>	5150–6360 km	<i>Yttre kärnan</i>	2890–5150 km
		<i>Inre kärnan</i>	5150–6360 km

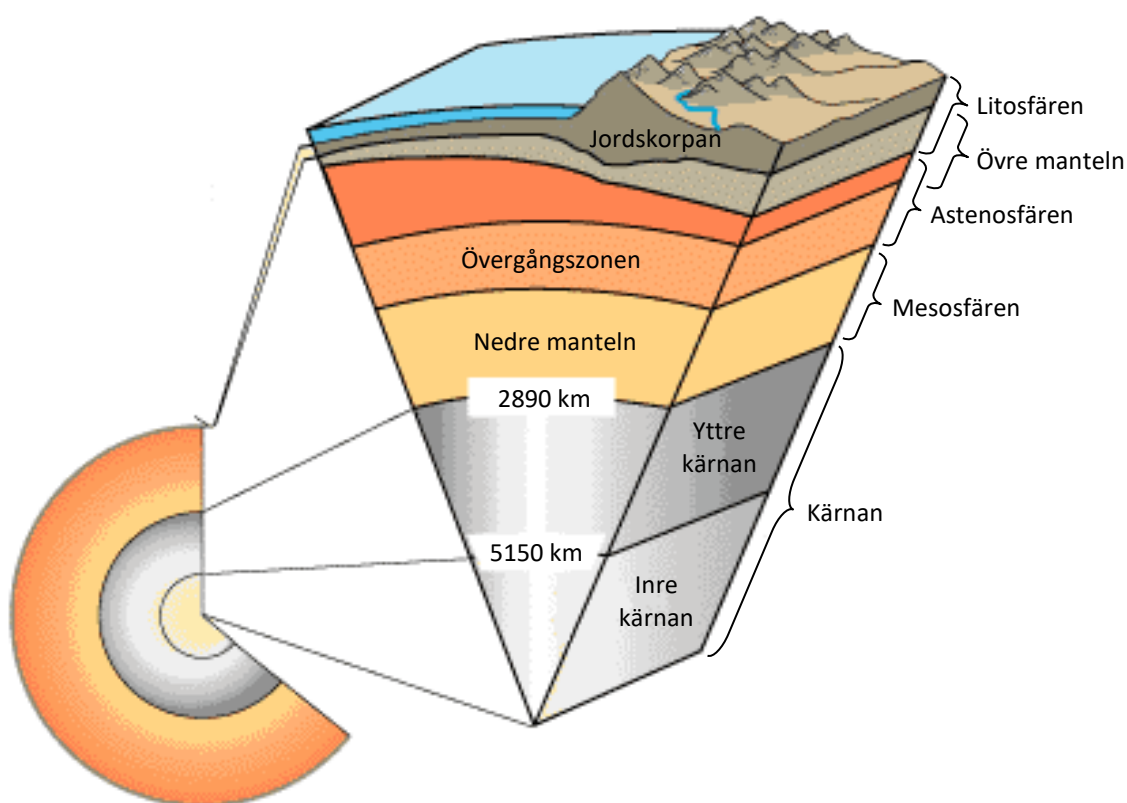


Bild: Jordens inre skikt. Men hur kan man veta hur det ser ut i jordens inre? Det finns flera sätt. Man kan (1) observera jordskorpans topografi och batymetri (som topografi fast på havsbotten), (2) undersöka blottad berggrund, (3) ta prover av smält berggrund (lava) som förts upp ur jordens inre via vulkanisk aktivitet, (3) mäta hur jordens gravitationskraft varierar i styrka och därmed härleda hur massa och densitet är fördelat över jordklotet, (4) genom uträkningar av densitet hos material i litosfären räkna ut densiteten i den återstående delen av jorden, (5) experimentera med mineral och bergarter under tryck- och temperaturförhållanden som i jordens inre eller (6) undersöka hur seismiska vågor reflekteras och bryts olika på olika djup i jorden.

Egenskaper hos skikten

Litosfären är det översta skiktet på jordklotet. Den är kall och ej formbar. I litosfären överförs värme endast via konduktion, det vill säga genom direktkontakt mellan stillastående materia (s. 157). Värme förloras från litosfären till atmosfären. Tjockleken på litosfären sätts efter var *olivin*, det svagaste mineralet i övre manteln (se nedan), börjar deformeras. Då är temperaturen cirka 1 000 °C.

Astenosfären är varmare än litosfären och därför trögflytande och elastisk. Värme överförs utöver konduktion även genom *konvektion*, det vill säga genom direktkontakt mellan materia som rör sig i förhållande till varandra (s. 158). Från astenosfären förloras inte värme till omgivande skikt.

Mesosfären är fast. Den börjar vid cirka 66 mils djup där en kraftig ökning i densitet sker.

Yttre kärnan är flytande på grund av att temperaturen är så hög (4 400–6 100 °C) att järn och nickel smälter. Trycket är högt, men inte tillräckligt högt att den yttre kärnan ska bli fast. Virvelströmmar kallade *Eddy currents* i yttre kärnan ger upphov till jordens magnetfält. Denna hindrar solvinden från att slå bort atmosfären och är nödvändig för livet på jorden.

Inre kärnan tros ha en temperatur på runt 5 500 °C. Trots denna höga temperatur är den inte flytande, eftersom trycket från ovanliggande skikt är så högt.

Sammansättning hos skikten

Jordskorpan är det översta skiktet på jordklotet och består av olika mineral (s. 76).

Manteln består precis som jordskorpan av olika mineral. Här finns dock mer magnesium jämfört med järn än i jordskorpan. Det finns även mindre kisel och aluminium än i jordskorpan. Manteln utgör 84 % av jordens volym. Mätningar har visat att skakningar fortplantas på lite olika sätt i olika delar av manteln. Därför delas manteln även in i *övre manteln*, *övergångszonen* och *nedre manteln*.

En viss portion av manteln kan vara del av litosfären en dag och astenosfären en annan dag, beroende på dess tryck och temperatur.

Kärnan består mest av järn och en mindre andel nickel. Kärnan är helt enkelt en legering (blandning) av järn och nickel. Eftersom kärnans densitet är högre än både den hos järn och nickel tros den även bestå av bland annat guld och platinium. Man tror att dessa andra metaller skulle kunna bilda ett 0,45 m tjockt skikt på resten av kärnan. Kärnan utgör 15 % av jordens volym.

Järnet och nicklet tror ha ansamlats i kärnan cirka 500 miljoner år efter att jorden bildats, vid den så kallade *järnkatastrofen*. Jorden var efter ansamlingen av planetärt stoff mycket varm. Grundämnena var homogent spridda i jorden. Dock pågick radioaktivt sönderfall som frigjorde ännu mer värme, och efter ett tag blev jorden så pass flytande att ämnena kunde fördela sig fritt inom jordklotet – de tyngsta innerst och de lättaste ytterst. Tungt järn och nickel sjönk då ned till kärnan.



Bild: "Door to Hell" är ett brinnande hål i marken utanför byn Darvaza i Turkmenistan. Hålet ligger mitt ute i Karakum-öknen, ett område som har stora tillgångar av olja och naturgas. "Dörren till helvetet" bildades 1971 när sovjetiska geologer råkade borra igenom taket till en grotta fylld med naturgas. Marken kollapsade och det blev ett stort gapande hål med en diameter på 70 m. För att hindra de giftiga gaserna från att sprida sig bestämde sig geologerna för att tända eld på hålligheten och låta den brinna tills allt bränsle var slut. Man trodde det skulle ta några dagar, men det brinner än idag. För en storleksjämförelse, notera människorna till vänster om hålet.



Bild: Kola Superdeep Borehole i Ryssland är världens djupaste hål skapat av människor. Under 19 år borrar sig forskare 12 262 m ner i jordskorpan, där temperaturen är 180 grader. Projektet lades ner 2005 och borrarplatsen, 2 mil från Norge, är idag övergiven. Än så länge har människan aldrig borrar sig ner till manteln.

Kontinentaldrift och plattetektonik

Jordens kontinenter är i ständig förflyttning. Det ser ut som att de driver omkring på jordytan, något som kallas *kontinentaldrift*. Kontinentaldrift, tillsammans med vulkanutbrott och jordbävningar, är några av fenomenen som förklaras av teorin om plattetektonik.

Litosfärplattor

Teorin om plattetektonik förklarar rörelserna i jordens litosfär (ovan).

Litosfären är det fasta skalet på jordklotet, bestående av jordskorpan och den översta delen av manteln. Litosfären är indelad i plattor som kallas *litosfärplattor*. Dessa flyter ovanpå astenosfären på grund av att de har lägre densitet än denna.

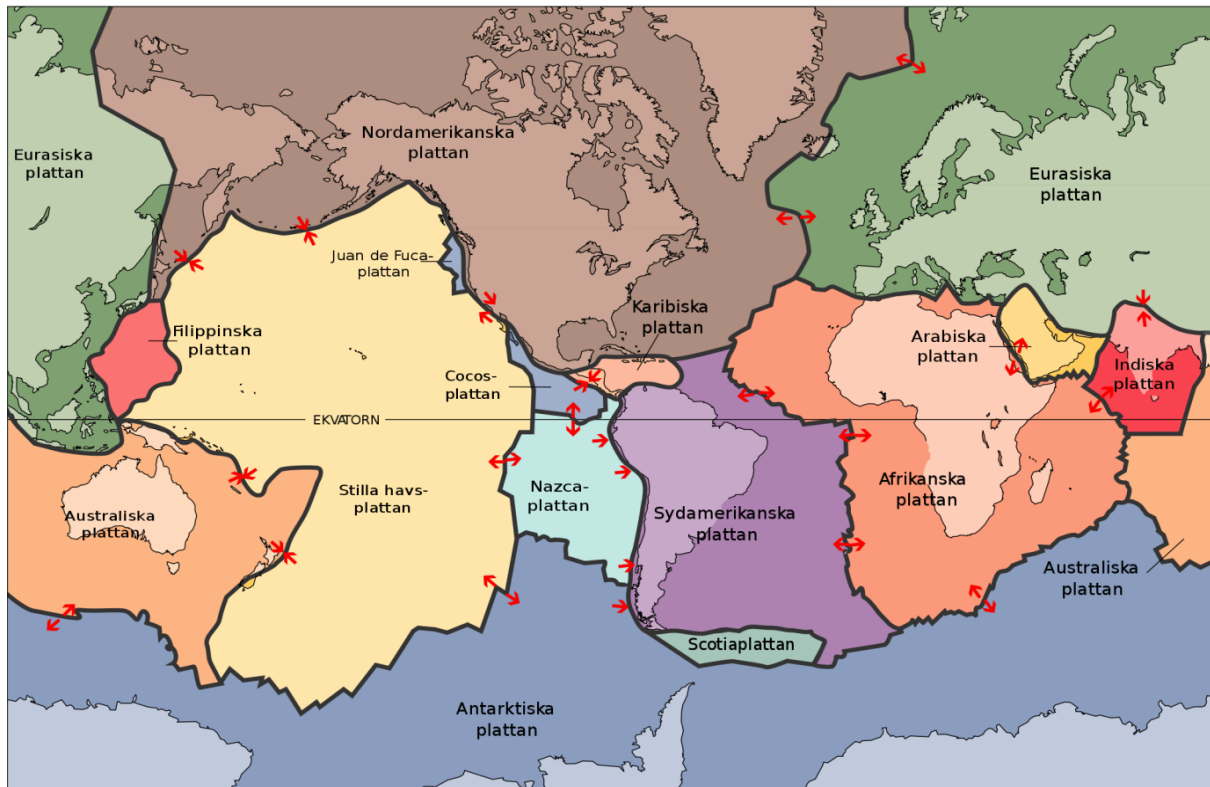


Bild: Jordens stora litosfärplattor. Förutom dessa finns även massor av små mikroplattor vid gränserna mellan de stora.

Havsbottenlitosfär och kontinentallitosfär

Det finns två olika typer av litosfär; tunn havsbottenlitosfär och tjock kontinentallitosfär. Skillnaden mellan dem är hur de formas. *Havsbottenlitosfär* formas genom oceanbottenspridning och *kontinentallitosfär* genom vulkanutbrott eller genom att en bit litosfärplatta lossnar och fastnar på en annan (något som kallas *accretion of terranes*). Havsbottenlitosfären utgör djuphavsbottenarna och kontinentallitosfären utgör kontinenterna samt den grunda havsbottenen nära dem. Viktigt att komma ihåg är att en litosfärplatta kan bestå av båda sorternas litosfär.

Havsbottenlitosfär är i genomsnitt runt 100 km tjock och dess jordskorpa 5–10 km tjock. Kontinentallitosfär är i genomsnitt runt 200 km tjock och dess jordskorpa 35–70 km tjock. Jordskorpan är allra tjockast vid Himalaya och tunnast vid havskusterna, där havsbottenlitosfär möter kontinentallitosfär.

Kontinentaljordskorpan består av magmatiska, metamorfa och sedimentära bergarter (s. 77), medan havsbottenjordskorpan främst består av de magmatiska bergarterna basalt, diabas och gabbro. Det mesta av kontinentaljordskorpan ($2,7 \text{ g/cm}^3$) har lägre densitet än havsbottenjordskorpan ($2,9 \text{ g/cm}^3$).

Eftersom kontinentallitosfären är tjockare än oceanbottenlitosfären, samt har lägre densitet på grund av en annan sammansättning, är finner man den både högre upp och djupare ner än den. Detta är en följd av vanliga fysikaliska lagar när något flyter på något (i detta fall litosfär som flyter på astenosfär). Eftersom havsbottenlitosfärens yta ligger lägre rinner vatten ner från ytan av kontinentallitosfären och lägger sig på ytan av oceanbottenlitosfären. Därför ligger haven ovanpå havsbottenlitosfären, och därför har

havsbottnenlitosfären fått sitt namn. Dock, när havsbottnenlitosfären täckts av hav finns det även lite hav kvar. Därför täcks de lägsta delarna av kontinentallitosfär också av hav.

Endast cirka 40 % av jordytan täcks av kontinentaljordskorpa, men av jordskorpans totala *volym* består hela 70 % av kontinentaljordskorpan.

Litosfärplattornas rörelser

Litosfärplattorna flyter ovanpå astenosfären, liksom isflak på vatten. Dessutom rör sig plattorna relativt till varandra. Detta går nu för tiden enkelt att mäta med hjälp av satelliter. Exempelvis rör sig den Eurasiska plattan och den Nordamerikanska plattan ifrån varandra med 1–5 cm per år. Vissa plattor rör sig dock snabbare. Nazcaplattan rör sig mot Sydamerikanska plattan med en hastighet av upp till 16 cm per år.

Varför plattorna rör sig, liksom isflak på oroligt vatten, vet geologerna fortfarande inte. Även om de flyter på astenosfären, skulle de ändå nämligen kunna ligga still. Vad geologer är mer eller mindre överens om är i alla fall att rörelseenergin härstammar från värmeströmningar i manteln. Men kopplingen mellan värmespridning i manteln och plattörelser är fortfarande under debatt. Så teorin om platttektonik har sina begränsningar.

Plattgränser

Gränserna mellan olika litosfärplattor kallas *plattgränser*. Det finns tre olika typer av plattgränser, indelade efter hur plattorna rör sig i förhållande till varandra.

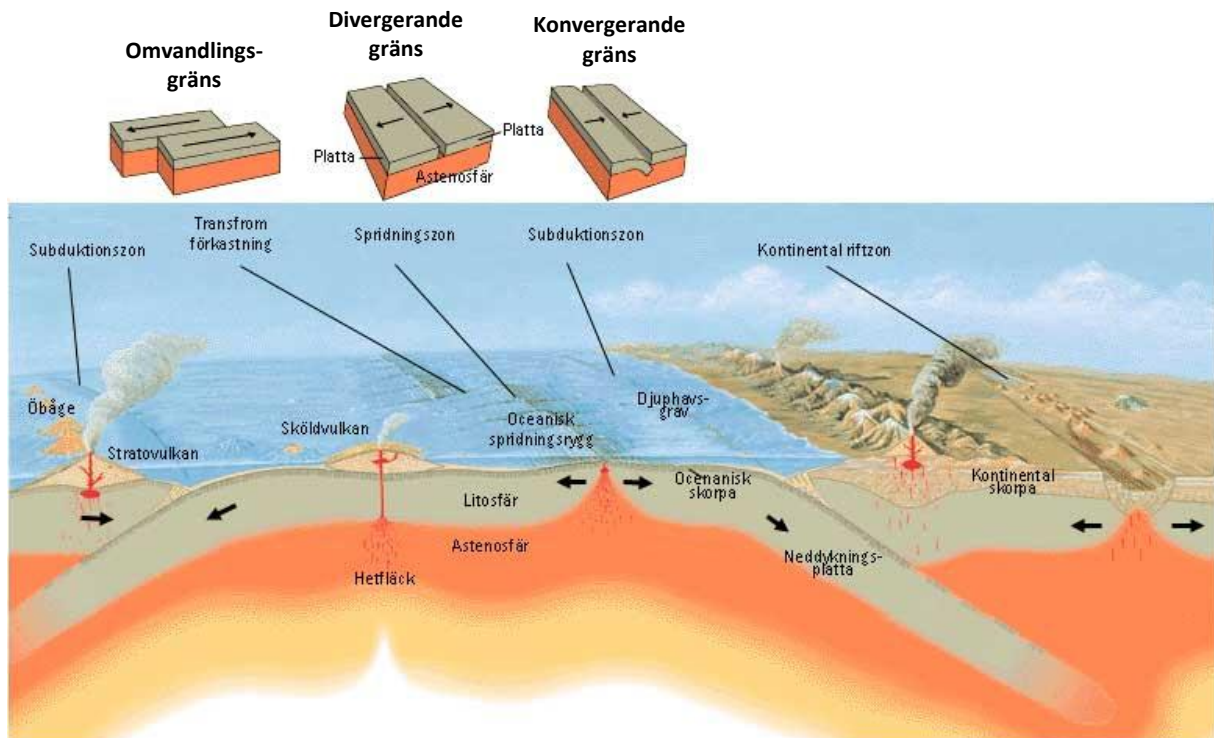


Bild: Olika typer av plattgränser och några av de geologiska fenomen som uppstår vid dem.

Omvandlingsgränser är plattgränser där plattorna glider längs med varandra. De kallas även *transforma* eller *konservativa* plattgränser. Vid en omvandlingsgräns varken förstörs eller skapas litosfär.

San Andreas-förkastningen i USA är ett exempel på en omvandlingsgräns. Vid omvandlingsgränser sker jordbävningar när plattorna rör sig.

Divergerande gränser är plattgränser där plattorna glider ifrån varandra. De omåden som påverkas av divergerande gränser kallas *spridningszoner*. Vid divergerande gränser bildas en öppning ner till astenosfären och material därifrån kommer upp. Normalt är astenosfären väldigt trögflytande, nästan fast, men vid dessa platser smälter litosfären och astenosfären till så kallad magma. *Magma* är en blandning av smälta bergarter (s. 77), gaser och andra fasta ämnen under jordens yta. Anledningen till att det bildas magma är att det vid divergerande gränser sker kraftig konvektion av värme från djupare delar av manteln, samt att trycket sjunker (högre temperatur och lägre tryck är de två faktorer som kan smälta något, s. 133). Magman kommer upp till jordytan eller havsbottnen och kallas då *lava*. Eftersom divergerande gränser oftast ligger på havsbottnen är det

vanligast att lavan kommer upp där. På jordytan eller havsbotten svalnar lavan och stelnar. Då bildas det nya magmatiska bergarter (s. 77). Ny litosfär bildas alltså och "täpper" igen hålet ner till astenosfären.

Mittatlantiska ryggen, som går över Island, är ett exempel på en divergerande gräns. Vid divergerande gränser sker jordbävningar då plattorna rör sig. Det bildas också vulkaner när astenosfären blottas. Lavan från dessa vulkaner bygger upp bergskedjor såsom de som finns på havsbotten i spridningszoner.

Konvergerande gränser är gränser där plattorna kolliderar. De kallas även *kollisionsgränser*. Vad som sker vid en konvergerande gräns beror på vilka sorters litosfär som kolliderar. I samtliga fall uppstår jordbävningar när plattorna rör sig.



Bild: Vid subduktionszoner frigörs cirka 90 % av all jordbävningens energi. Längs med Sydamerikas västkust, ungefär 16 mil utanför kusten, dyker Nazcaplattan ned under den Sydamerikanska plattan. Nazcaplattan är kanske den kontinentalplatta som rör sig snabbast av alla – 16 cm per år har man uppmätt. Detta gör att det vid gränsen mellan Nazcaplattan och Sydamerikanskaplattan uppstår väldiga spänningar när plattorna hakar i varandra. I maj 1960 var det dags för dessa spänningar att släppa. På morgonen 21 maj, klockan 06:02, skakades mittersta Chile av en jordbävning med en magnitud på runt 8,0. I staden Concepcion dog 125 personer och en tredjedel av husen förstördes. I staden Talcahuano förstördes 65 % av husen. Morgonen därpå, klockan 06:32, kom nästa jordbävning, med en magnitud på 7,3. Den tredje jordbävningen inträffade klockan 14:55 samma dag och hade en magnitud på 7,8. Folk var vid det här laget ute på gatorna, för att undvika eventuellt rasande byggnadsdelar. Detta var tur, för innan de flesta hunnit återvända till sina hem eller sina jobb började det skaka igen. De tre tidigare jordbävningarna hade endast varit förskäl till vad som nu kom, den kraftigaste jordbävningen i vår moderna historia – *Stora jordbävningen i Chile* (eller *Jordbävningen i Valdivia*), klockan 15:11, 22 maj 1960. Jordbävningen hade en magnitud av 9,5. Hela mittersta Chile, en yta stor som Sverige, påverkades. Stora delar av detta område sjönk 2,5 m. Jordskred förstörde byggnader och gjorde floderna bruna. Utloppet från en stor sjö, Lago Riñihue, täpptes igen av ett jordskred. Översvämningen som skedde på grund av detta kom sedan att påverka 100 000 människor. Klockan 16:20 nådde tsunamin Chile kust. Den första vågen var runt 8 m hög, och den andra runt 10 m hög. Några lokala vågor var 25 m höga. Staden Valdivia, med runt 100 000 invånare, fick stora skador. Stora delar översvämmades och all elektricitet och allt dricksvatten förstördes. Ungefär 40 % av husen i Valdivia förstördes (bilden) och 20 000 personer blev hemlösa. Orten Puerto Saavedra förstördes helt. Corral drabbades hårt. Tsunamin var även kraftig i västlig riktning och i staden Hilo på Hawaii dödades 61 människor. Just här blev tsunamin hela 10 m hög på grund av hur havsbotten och kusten var formad. Även Japan drabbades, 22 timmar efter jordbävningen, när tsunamin krävde 138 människoliv där. I Filipinerna, 24 timmar efter jordbävningen, dog 32 människor. Två dagar efter jordbävningen fick vulkanen Cordón Caulle ett utbrott. Vulkanen låg i bergen och utbrottet hade få ögonvittnen, men är ett bevis för hur allvarliga konsekvenserna av en jordbävning kan bli. Exakt hur många som påverkades av jordbävningen och dess följder är oklart, men någonstans mellan 1 600 och 6 000 personer miste livet. Runt två miljoner människor miste sina hem. Den låga dödssiffran, med tanke på den kraftiga jordbävningen, berodde bland annat på att många var utomhus när jordbävningen skedde, att området är glest befolkat, att många hus var byggda i trä (vilka klarar jordbävningar ganska bra) och att många kustsamhällen inte låg så nära vattnet.

Om oceanbottenlitosfär kolliderar med kontinentallitosfär glider vanligtvis den tyngre oceanbottenlitosfären under kontinentallitosfären. När en platta glider in under en annan kallas *subduktion*. Detta sker till exempel vid Anderna. Vid den så kallade *subduktionszonen*, området där subduktionen sker, bildas vulkaner. Varför detta sker är inte helt klart, men den ledande teorin är att gaser avges från den porösa oceanbottenlitosfären när den sjunker ner i jordens inre och värms upp. Det är främst vattenånga som avges. När denna vattenånga stiger till den ovanliggande kontinentallitosfärens undersida, sänks smältpunkten för dess bergarter och magma produceras. Denna magma med mycket gaser i stiger till ytan och ger upphov till väldigt explosiva vulkaner. Magman kommer ut som lava, stelnar till magmatiska bergarter (s. 77), och bygger upp bergskedjor som exempelvis Anderna.

När kontinentallitosfär från två plattor kolliderar med varandra kan antingen båda plattorna bucklas ihop, eller så kan subduktion ske. I båda fallen bildas bergskedjor. Detta sker bland annat vid Himalaya, där Indiska plattan skjuts in under och lyfter upp den Eurasiska plattan.

När oceanbottenlitosfär från två plattor kolliderar med varandra sker vanligtvis subduktion, med tillhörande bildning av vulkaner. Subduktionszonen och dess vulkaner bildar ofta en båge, vilket beror på jordytans kurvatur. Ett exempel på en sådan båge är ögruppen Aleuterna vid Alaska och Japan.

Litosfär kan alltså bara förstöras på ett sätt – genom subduktion. Man har beräknat att ungefär 3 km² litosfär förstörs varje år på detta sätt. Eftersom kontinentallitosfär sällan utsätts för detta, är kontinentallitosfär generellt mycket äldre än oceanbottenlitosfär. Allra yngst litosfär finner man vid de divergerande gränserna, nämligen den som precis bildats av stelnde lava. Det finns ingen oceanbottenjordskorpa som är äldre än 250 miljoner år.

Det är vid subduktionszonerna man finner djuphavsgravarna. Dessa ligger precis där en platta försvinner in under en annan.

Vissa plattgränser är svåra att definiera. Ofta finns massor av små uppbrutna litosfärplattor, kallade *mikroplattor*. Ett exempel är gränsen mellan Afrikanska plattan och Eurasiska plattan, där Alperna bildas. Här finns massor av mikroplattor och många typer av interaktioner mellan dem sker.

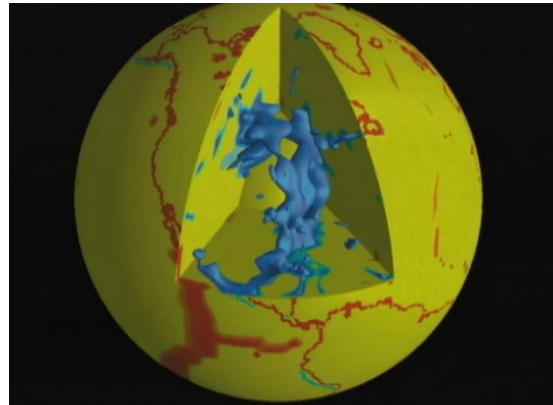


Bild: En intressant fråga är hur djupt ner litosfären sjunker vid subduktion. Några forskare anser sig ha hittat litosfär så djupt ner som 290 mil, vilket är gränsen till yttre kärnan. Annars kan litosfären ligga och "flyta" i övre manteln. En del litosfär kan sticka ner 40 mil djupt, medan andra änden fortfarande sitter kvar i litosfär på ytan. Vanligt tycks vara att litosfären sjunker till cirka 66 mils djup. Bilden visar resterna av Farallonplattan, som ligger under Nordamerikanska plattan. Den del av plattan som ligger djupast ligger 160 mil under jordytan.

Mineral och bergarter

Mineral

Litosfären är uppbyggd av olika mineraler. Definitionen på ett *mineral* är långt ifrån universellt bestämd. Dock, den kanske mest gällande definitionen är den från IMA (The International Mineralogical Association), vilka är de som bland annat godkänner och klassificerar nyupptäckta mineral. Definitionen lyder: "*Generellt sett är ett mineral ett grundämne (s. 132) eller en kemisk förening (s. 132) som normalt är kristallint och som bildats genom geologiska processer*". Frasen "generellt sett" lades till för att lämna öppet för diskussion om vissa ämnen som redan accepterats som mineral, men som nu per definition var på gränsen till att vara det. Att mineral är kristallint innebär att det består av kristaller. En *kristall* är ett fast ämne vars atomer och/eller joner bildar en struktur som upprepar sig i alla tre dimensioner. En kristall kan vara mikroskopiskt liten eller flera meter stor.

Totalt har IMA klassificerat cirka 4 000 mineral. Tre exempel på mineral är fältspat, kvarts och glimmer. Fältspat är det vanligaste mineralet på jorden och utgör cirka 60 % av jordskorpan. Det är egentligen ett samlingsnamn för en grupp olika fältspater, men även en mineralgrupp brukar ofta kallas ett *mineral*. Kvarts är det näst vanligaste mineralet på jorden. Glimmer är likt fältspat en mineralgrupp.



Bild: Fältspat.



Bild: Kvarts.



Bild: Glimmer (endast det svarta).

Bergarter

Mineral är litosfärens byggstenar. Mineral bygger i sin tur upp bergarter. En *bergart* är en naturlig fast massa av ett eller flera mineral. En bergart definieras efter vilket eller vilka mineral som ingår, dess kemiska sammansättning samt hur den bildats.

Bergarter grupperas efter hur de bildas i tre grupper: magmatiska bergarter, sedimentära bergarter och (metamorfa) omvandlade bergarter.

Magmatiska bergarter bildas genom att magma eller lava kallnar och stelnar. De bergarter som bildats genom att lava stelnat kallas *vulkaniska bergarter*. Dessa blir, eftersom avkylningen går fort, mycket finkornig. Exempel på vulkaniska bergarter är *basalt*, *ryolit* och *pimpsten*. De bergarter som bildats genom att magma stelnat kallas *magmatiska djupbergarter*. Dessa blir, eftersom avkylningen går långsamt, grovkornig. Exempel på magmatiska djupbergarter är *granit*, *diabas* och *pegmatit*. Alla magmatiska bergarter blir ofta prickiga.

Sedimentära bergarter bildas genom att material samlas på jordytan eller på botten i vatten. Det som ansamlas har i första skedet vittrat ([s. 67](#)) eller eroderat ([s. 67](#)) bort och sedan transporterats till platsen av ett medium (så erosion är det alltid, men ibland föregås det av vittring). Stenarna är ofta gryniga och mjuka. Exempel är *sandsten*, *kalksten* och *skiffer*.

Metamorfa (omvandlade) bergarter bildas genom att en redan existerande sedimentär, magmatisk eller metamorf bergart genomgår fysikaliska och kemiska förändringar under hårt tryck och hög temperatur. Detta kan till exempel ske när kontinentalplattor gnider sig mot varandra, eller när litosfär vid subduktion trycks ned djupt i jorden. Bergarterna blir ofta randiga. Exempel är *marmor*, *gnejs* och *hällflinta*.

De två vanligaste bergarterna i Sverige är *granit* och *gnejs*. Båda består (vanligen) av fältspat, kvarts och glimmer. I båda bergarterna ser man ofta dessa mineraler i separata mineralkorn. Både *granit* och *gnejs* kan variera mycket i utseende, eftersom utseendet på de ingående mineralerna kan variera mycket i utseende.



Bild: Granit bestående av fältspat, kvarts och glimmer. Magmaiska bergarter är ofta prickiga.



Bild: Sandsten bestående av kvarts. Sedimentära bergarter är ofta gryniga och mjuka.



Bild: Gnejs bestående av fältspat, kvarts och glimmer. Metamorfa bergarter är ofta randiga.

Geodesi

Geodesi är vetenskapen om att bestämma punkters platser och tyngdkraftvärden. En viss punkt på (eller i) jordklotet kan platsbestämmas genom att man mäter dess longitud och latitud, samt dess höjd över havet. *Longitud* är läget i öst-västlig riktning, medan *latitud* är läget i nord-sydlig riktning. *Höjd över havet* är höjden ovanför jordens havsytta.

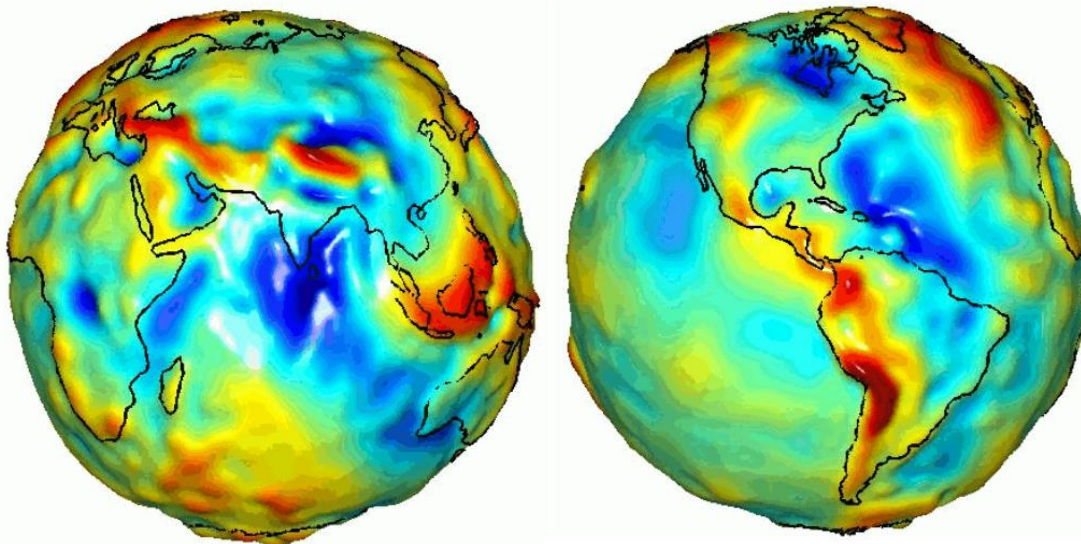


Bild: Bilden visar hur gravitationskraften varierar i styrka över jordklotet. Vid röda områden (t.ex. Anderna) är gravitationskraften starkare än medelvärdet på jorden, och vid blå områden (t.ex. Centralafrika) svagare. Om man släpper ett äpple från samma höjd kommer det slå i marken med en högre hastighet i Turkiet än i Sverige. Skillnaden är dock knappast märkbar.

Tyngdkraftvärdet, det vill säga styrkan på gravitationskraften från jorden, varierar dels med avståndet från jordens medelpunkt, dels hur jordens massa fördelas. Eftersom jorden är lite tillplattad vid polerna är gravitationskraften generellt högre där. Likaså är den högre där det finns mycket massa samlad, som vid bergskedjor.

Ofta mäter man punkters lägen och tyngdkraftsvärden över tid, och på så sätt kan man påvisa hur jordklotet förändras av exempelvis kontinentaldrift eller landhöjning.

De som arbetar med geodesi skapar olika typer av kartor och bilder som hjälper alla andra geovetare. I Sverige är det Lantmäteriet som ansvarar för Sveriges geodetiska riksnät, som består av punkter med noggrant bestämda positioner i plan, höjd och med tyngdkraftvärden.



Bild: Under Antarktis is har gravitationsmätningar och radarbilder avslöjat en cirkulär landformation innehållandes extra mycket massa, vilket för tankarna till en nedslagskrater. Den kallas Wilkes Land-kratern och är otroliga 480 km i diameter! Den himlakropp som slog ned här kan ha varit hela 55 km i diameter. Om detta är en riktig nedslagskrater tror forskare att den kan ha bildats för 250 miljoner år sedan, vilket sammanträffar med slutet av Perm, då nästan allt djurliv på jorden dog ut. Dock behövs fler mätningar och helst prover (vilket är svårt eftersom kratern ligger flera hundra meter under isen) för att verifiera kratern.

Biologi

Biologi är vetenskapen om livet och livets processer. Biologi delas in i mindre delar, så kallade discipliner, inom vilka biologer studerar olika aspekter av livet. Genom att titta på de olika disciplinerna får man lättare en bild av vad biologi innebär. Det finns inget bestämt sätt att dela in biologi i discipliner, men denna variant är en av de vanligare.

- **Zoologi** (s. 86) = Vetenskapen om djur.
- **Botanik** (s. 89) = Vetenskapen om växter.
- **Mykologi** (s. 91) = Vetenskapen om svampar.
- **Mikrobiologi** (s. 92) = Vetenskapen om mikroskopiskt små organismer (vilket inkluderar vissa djur, växter och svampar, samt alla bakterier, arkéer och enkla eukaryoter).
- **Cellbiologi** (s. 93) = Vetenskapen om celler.
- **Genetik** (s. 97) = Vetenskapen om gener, ärftlighet och variation hos levande organismer.
- **Ekologi** (s. 101) = Vetenskapen om samspelet mellan levande organismer och deras miljö.
- **Evolutionsbiologi** (s. 105) = Vetenskapen om evolution.



Bild: Alpheidae (till höger på bilden) är en familj räkor som finns över hela jordklotet och är kända för att ha en slagkraftig klo som är mycket större än den andra. Jätteklon kan de snäppa ihop med en högljudd smäll, vilket har gjort att räkan på engelska kallas "*snapping shrimp*" och "*pistol shrimp*". När räkan slår ihop klon skapas en bubbla som når en fart av uppåt 100 km/h och ger av ett ljud på cirka 218 dB. Tryckvågen som då bildas i vattnet kan döda en liten fisk, och räkan använder pistoleffekten till att döda byten samt för att kommunicera med artfränder. Alpheidae är ett av de mest högljudda vattenlevande djuren och när de lever i kolonier kan de störa ekolod och undervattenskommunikationer. Vissa Alpheidae lever i symbios med smörbultar (bilden), varvid räkan bygger och tar hand om boet, medan smörbulten skyddar räkan och håller utkik efter faror.

Innan vi går in specifikt på någon av biologins discipliner är det lämpligt att ställa oss frågan: vad är liv? Jo, *liv* är det sammanfattande ordet för de egenskaper som är specifika för levande organismer.

Egenskaper hos levande organismer

Levande organismer har alla några gemensamma egenskaper, vilka definierar vad en levande organism är:

1. **De består av celler.** Varje organism består av en eller flera celler (s. 93). Människan består exempelvis av runt 10^{14} celler.
2. **De behöver energi.**
3. **De behöver byggnadsmaterial.**
4. **De kan reagera på omgivningen.** Djur kan exempelvis förändra sitt beteende beroende på situationen. Men även enkla encelliga organismer kan reagera på sin omgivning, exempelvis genom att förändra vilka ämnen de tar upp genom sitt cellmembran.
5. **De har DNA (s. 97).**
6. **De kan fortplanta sig.** Detta är sant för alla arter, men inte alla individer. Som nämns nedan finns det hybrider som inte kan fortplanta sig (s. 82). Hårddrar man resonemanget är det även sant att vissa individer som inte är hybrider inte kan fortplanta sig, exempelvis på grund av sjukdom.

Fortplantning innebär att nya individer bildas från redan existerande. Allt nytt liv härstammar från redan existerande liv.

Det finns ytterligare en egenskap som *vissa* organismer besitter:

7. **De har rörelseförmåga.** Växter anses oftast inte ha rörelseförmåga, även om de kan växa i en viss riktning som är fördelaktig. Svampar har ingen rörelseförmåga. Många encelliga organismer kan röra sig, exempelvis med hjälp av små utskott från cellmembranet eller genom ryckningar i cellkroppen.



Bild: Taggagamen finns i Australien och är en ödla i familjen agamer. Taggagamens ovansida är helt täckt av hårda taggar som ska göra det svårt för rovdjur att svälja den. Den har även en extra stor knöl på nacken som den visar för rovdjur för att lura dem att det är ödlans riktiga huvud. Taggagamen är, trots sitt skräckinjagande yttre med de kusliga taggarna och det märkliga extrahuvudet, helt ofarlig för människor och äter mest myror och växter.

Organiska ämnen

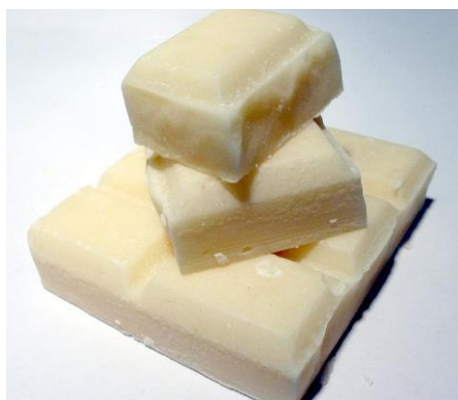


Bild: Kolhydrater är organiska ämnen. En sorts kolhydrat är druvsocker, vilket bildas i fotosyntesen. Det är också känt under namnen *glukos* eller *dextros*.

Alla organismer behöver organiska ämnen. Dessa behövs till två saker – som energikälla och som byggnadsmaterial. Ett *organiskt ämne* är ett ämne som består av molekyler innehållandes en eller flera kolatomer, som finns i eller härstammar från levande organismer (av historiska skäl finns en del undantag som ändå inte räknas som organiska ämnen, främst koldioxid).

Alla levande organismer behöver energi. Det krävs till exempel energi för att laga skador på celler eller för att transportera vissa ämnen in och ut genom celler. Energin behöver organismen i form av kemisk energi (s. 80), det vill säga energi lagrad i kemiska bindningar mellan atomer, närmare bestämt i de organiska molekylerna. Denna kemiska energi kan sedan omvandlas till exempelvis rörelseenergi, när en organism behöver förflytta sig. Energin lämnar i slutändan alltid organismen som värme (s. 157). För att energin i en molekyl ska kunna användas behöver molekylen brytas sönder. Då frigörs den kemiska energin.

Alla levande organismer behöver också byggnadsmaterial. Detta behövs för att bygga upp organismer. Vatten och mineralämnen är viktiga byggstenar i en organism, men organiska molekyler kan ses som själva ramverket. Anledningen till att just molekyler med kolatomer i sig bygger upp levande organismer är att kolatomen kan binda till så många som fyra andra atomer, och därmed vara med och bilda stora, komplicerade molekyler.

Alla ämnen som inte är organiska kallas *oorganiska ämnen*. Några exempel på organiska ämnen är kolhydrater, fetter och proteiner. Några exempel på oorganiska ämnen är vatten, mineraler och syrgas.

Autotrofer och heterotrofer

Organismer kan delas in i två kategorier efter hur de erhåller organiska molekyler.



Bild: Lingon är en autotrof, närmare bestämt en fotoautotrof. Mycket av druvsockret från fotosyntesen koncentreras i bären.

Autotrofer kallas de organismer som kan tillverka sina egna organiska ämnen från oorganiska, med hjälp av energi från solen (fotoautotrofer) eller oorganiska kemiska reaktioner (kemoautotrofer). En autotrof kan inte direkt utnyttja energin från solen eller oorganiska kemiska reaktioner, utan omvandlar först denna energi till kemisk energi i organiska molekyler. Dessa organiska molekyler kan sedan brytas ner när energin behövs. Eller så används molekylerna till byggnadsmaterial.

Fotoautotrofer kallas de organismer som använder energi från solen för att bilda organiska molekyler. Denna process, när solenergi omvandlas till kemisk energi i molekyler, kallas *fotosyntes*. Fotosyntes kan genomföras på några olika sätt men det vanligaste sättet, och det som sker i växter, innebär att koldioxid, vatten och ljusenergi omvandlas till druvsocker (en organisk molekyl) och syrgas. De allra flesta växterna, en del

bakterier och en del enkla eukaryoter genomför någon form av fotosyntes.

Kemoautotrofer bygger sina organiska molekyler med hjälp av energi från oorganiska ämnen, såsom metan (CH_4), koldioxid (CO_2) och svavelväte (H_2S). Alla kemoautotrofer är bakterier. Det finns flera olika processer som olika kemoautotrofer använder, vilka vi inte går närmare in på här.

Den andra gruppen organismer är heterotrofer. *Heterotrofer* är beroende av att skaffa sig färdigtillverkade organiska ämnen från autotrofer. De är alltså beroende av att äta autotrofer eller dess produkter, eller äta heterotrofer som ätit autotrofer. Heterotrofer kan man säga behöver mat. Heterotrofer kan tillverka organiska molekyler, men endast från andra organiska molekyler.

Både autotrofer och heterotrofer utövar *cellandning*. Detta är processen när energin i organiska molekyler bryts ner och görs tillgänglig för organismen. Närmare bestämt bildas små energipaketsmolekyler kallade *ATP* (*adenosintrifosfat*), vilka i sin tur transporteras till den plats i organismen där energi behövs och bryts ner där. Vid dessa processer bildas restprodukter såsom koldioxid och vatten. Den kemiska energin som frigörs ur ATP kan bli till exempelvis rörelseenergi, eller kemisk energi i molekyler som bygger upp organismen. Till slut förs energin alltid bort från organismen som värme.



Bild: Gavialen, heterotrof och kanske världens konstigaste krokodildjur, lever i indiska floder och kan bli 6,5 m lång. Den äter bara fisk och har genom historien utvecklad en lång och smal nos som är perfekt att fånga firrar med. Gavialen är tack vare sin ensidiga diet och slimmade trut ganska ofarlig för människor. Tyvärr är den akut utrotningshotad på grund av jakt och minskade levnadsområden.

Arter och artbildning

Art

Alla organismer på jorden delas in i arter. En *art* definieras ofta som en population (en grupp individer) inom vilken individerna kan få fortplantningsduglig avkomma med varandra. Denna definition på begreppet *art* är dock bristfällig, vilket alla biologer är medvetna om. Anledningen till det är att många organismer inte förökar sig med *varandra* (sexuell förökning, s. 100), utan kan föröka sig ensamt (asexuell förökning, s. 100).

Två exempel på arter är blåmes och talgoxe. Dessa välkända svenska småfåglar har även varsitt latinskt namn, *Parus caeruleus* (blåmes) och *Parus major* (talgoxe). Varje art har nämligen ett latinskt namn, vilket alltid används bland biologer när de ska kommunicera med varandra över landsgränserna. Det latinska namnet har även en till fördel. Det anger nämligen också vilka arter som är nära släkt med varandra, det vill säga vilka arter som ganska nyligen hade en gemensam anfader. Dessa grupperas ihop till ett *släkte*, och den första delen i artens latinska namn är släktnamnet. Eftersom både blåmes och talgoxe heter *Parus* ingår de i samma släkte.

De släkten som är närmast släkt med varandra grupperas ihop till en *familj*. Därefter följer, i ökande storleksordning: *ordning*, *klass*, *fylum*, *riken* och *domäner*. Släktet *Parus* (har inget svenskt namn) tillhör familjen Paridae (mesfåglar), ordningen Passeriformes (tättingar), klassen Aves (fåglar), fylumet Chordata (ryggsträngsdjur), riket Animalia (djur) och domänen Eukaryota (eukaryoter). Varje sådan nivå av den biologiska hierarkin kallas ett *taxon* (*taxa* i plural). Utöver ovan nämnda taxa används ibland ännu fler för att närmare klassificera en art. Till exempel tillhör blåmes och talgoxe också *subfylumet* Vertebrata (rygggradsdjur). Notera att det endast är det latinska art- och släktnamnet som skrivs i kursiva bokstäver.



Bild: Blåmes (*parus caeruleus*).



Bild: Talgoxe (*parus major*).

Hybrid

Ibland kan individer från olika arter få avkomma med varandra. En sådan avkomma kallas *hybrid*. Ett exempel på en djurhybrid är en mulåsna (om en hästthingst och ett åsne sto parar sig) eller mula (om ett häststo och en åsne hingst parar sig). Hybrider är dock sterila, det vill säga de kan inte föröka sig sexuellt.

Ras och underart

En *ras* är en grupp individer inom en art med egna ärftliga egenskaper. Olika raser kan få fortplantningsduglig avkomma med varandra eftersom de fortfarande tillhör samma art. *Art* är dock ett begrepp som främst används om husdjur, och djur där människan har varit med och avlat, samt ibland om människor. Ett mer biologiskt korrekt ord för ras är *underart*. Detta begrepp kan användas om alla arter.



Bild: Den moderna jordgubben (*Fragaria × ananassa*) är faktiskt ingen egen art, utan en hybrid mellan två arter inom smultronssläktet. "Föräldrarna" till denna sterila delikatess är chilenska jättesmultron (*Fragaria chiloensis*) och nordamerikanska scharlakanssmultron (*Fragaria virginiana*). Jordgubbar kan dock fortplanta sig asexuellt genom att en individ bildar utlöpare som nya individer växer ut från.

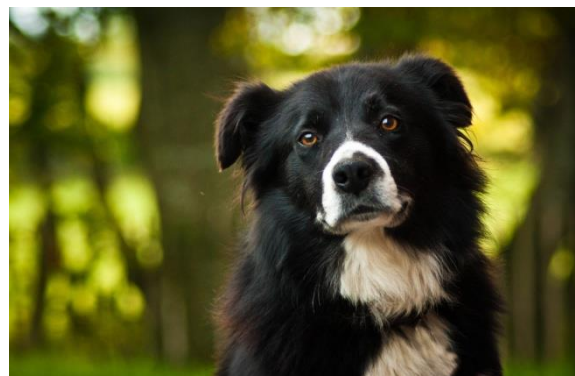


Bild: Border collie är en ras inom arten hund. Enligt tidningen New Scientist är det också världens intelligentaste hundras som kan lära sig över 1 000 ord. Men den passar inte alltid så bra som sällskapshund. Förutom daglig motion och träning behöver border collies mycket mental stimulans. Om de inte får en uppgift att utföra hittar de på något själva, vilket kan innefatta att gräva hål i gräsmattan, tugga sönder möbler eller jaga bilar.

Artbildning

Artbildning kan ske på följande sätt (vilket som anses vanligast är under diskussion):

- *Anagenes* = En art utvecklas gradvis till en annan art.
- *Kladogenes* = En art splittras i två eller fler arter.
 - *Allopatrisk artbildning* = En population splittras i två geografiskt skilda. I varje population sker evolution. Om eller när de kommer i kontakt med varandra igen kan de inte föröka sig med varandra och få fortplantningsduglig avkomma.
 - *Peripatrisk artbildning* = Som allopatrisk artbildning fast den ena populationen är mycket mindre, och "perifer" till den stora.
 - *Parapatrisk artbildning* = Som allopatrisk artbildning, men de två populationerna är bara delvis geografiskt isolerade från varandra. Individer från de olika populationerna kan para sig med varandra, men den blandade avkomman har dålig överlevnadsförmåga och försvinner till slut. Det kallas också parapatrisk artbildning när en population är så utbredd att utbyte av gener inte längre sker över hela området.
 - *Sympatrisk artbildning* = Två populationer är inte alls geografiskt isolerade från varandra, men ger ändå upphov till två nya arter. Detta skulle exempelvis kunna ske när insekter hittar olika värdväxter. Denna typ av artbildning tycks det finnas minst bevis för just nu.
 - *Polyplodisk artbildning* = Polyplodi är när en organism har en eller flera extra DNA-uppsättningar. Skulle detta ske en gång hos en människa (vilket det inte har gjort) skulle denna få 92 kromosomer (s. 98) i stället för det normala 46 kromosomer. Denna människa skulle inte kunna föröka sig med andra människor och skulle därför anses vara en ny art. *Autopolyploidi* är när en individ själv spontant blir polyplod. *Allopolyploidi* är när en polyplod individ har kromosomer från olika arter, alltså en *polyplod hybrid*. Polyploda hybrider kan vara fortplantningsdugliga och ge upphov till en ny art, vilket har setts hos solrosor och vissa fjärilar, men anses mycket ovanligt.

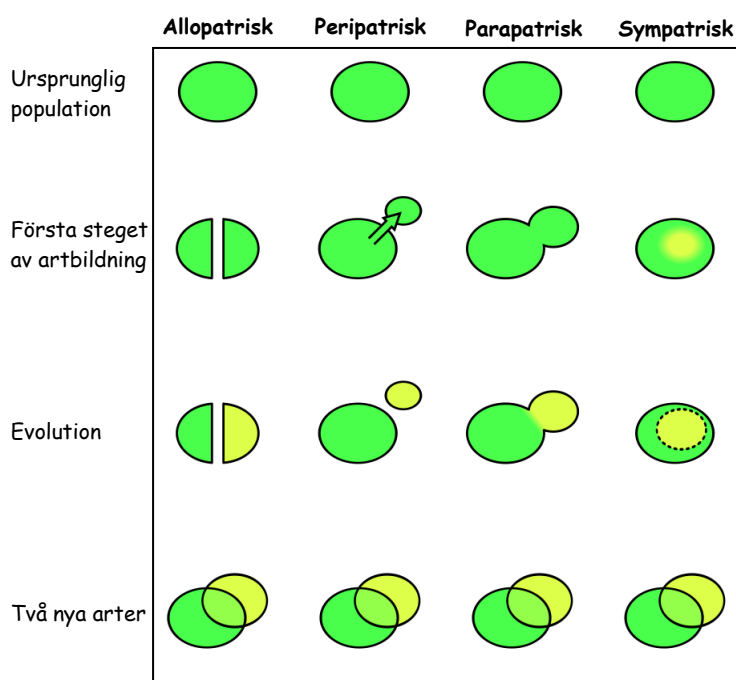


Bild: En art kan ge upphov till två på flera olika sätt. Vilket sätt som är vanligast i naturen är biologer faktiskt fortfarande osäkra på.



Bild: Divergerande litosfärplattor (s. 74) kan splittra en population och med tiden till och med föra dem till helt olika miljöer. På Island är gränsen mellan Eurasiska plattan och Nordmarikanska plattan väl synlig.

Livets släkträd

Eftersom en art kan ge upphov till två nya arter, och att så har skett väldigt många gånger under jordens historia, är alla arter släkt med varandra i ett gigantiskt släkträd. Släkträdet börjar med alla arters gemensamma anfader.

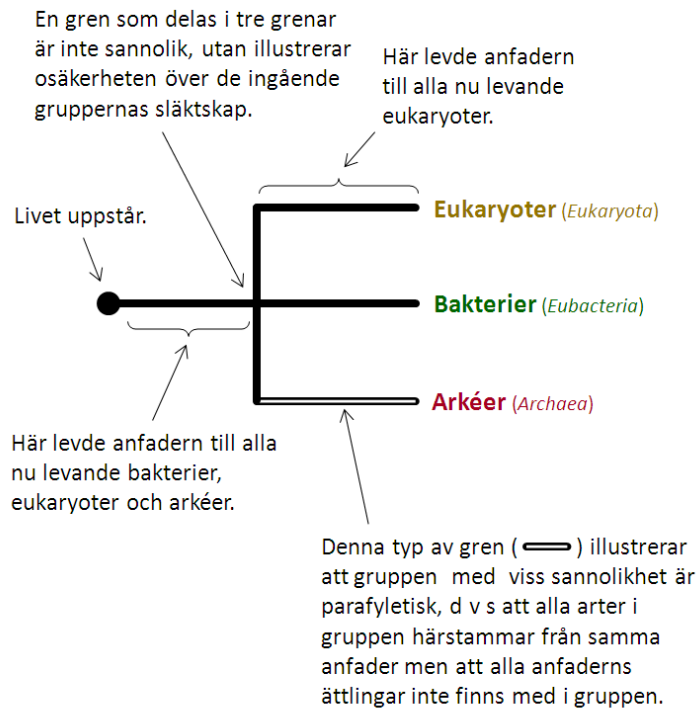


Bild: Släkträdet över alla nu levande (och utdöda) arter börjar här. Hur livet började på jorden, alltså vad den allra första arten var för något, vet man inte. Men DNA-analyser visar i alla fall att vi alla är ättlingar till den.

vidare på bakteriernas och arkéernas grenar, men däremot på eukaryoternas. Detta innebär att vi nu kommer se en bild på vilka organismgrupper som anfadern till alla eukaryoter gav upphov till.

I bilden ses de tre domäner som alla organismer kan sorteras in i.

Eukaryoter är alla organismer som har celler med membran slutna celldelar (s. 95). En sådan celldel är cellkärnan. Eukaryoter kan vara både en- och flercelliga. Ordet *eukaryot* är bildat av de två grekiska orden *eu* (äkta) och *karyon* (kärna).

Bakterier och arkéer är båda *prokaryoter*, vilket innebär att de saknar cellkärna och andra membran slutna celldelar (s. 93). Bakterier och arkéer är alltid encelliga. Förr i tiden visste man inte att det var någon skillnad mellan bakterier och arkéer, och man kallade dem båda för "bakterier". Nu har man dock upptäckt att det finns vissa väsentliga skillnader mellan dem, framför allt att deras cellmembran och cellväggar ser olika ut, vilket innebär att de är två helt skilda organismgrupper. Ordet *prokaryot* är bildat av de två grekiska orden *pro* (före) och *karyon* (kärna).

Vi kommer inte att följa detta släkträd



Bild: Har du också undrat vilket slags djur Mort i animerade filmen *Madagaskar* är? Svaret är musmakier (*mouse lemur* på engelska). Musmakier är små lemurer som, precis som alla andra lemurer, lever på ön Madagaskar. De olika arterna blir bara mellan 9 och 15 cm höga, om man inte räknar med svansen, och musmakier är därmed de minsta primaterna i världen (den allra minsta är arten *Madame Berthe's mouse lemur* som i genomsnitt blir 92 mm lång). Musmakier är aktiva på nätterna och äter både växter och smådjur. Även människa är en primat och vi är alltså ganska nära släkt med lemurer. Vår gemensamma anfader levde någon gång för cirka 47 miljoner år sedan, även om detta tidsspann är väldigt osäkert.

Eukaryoter

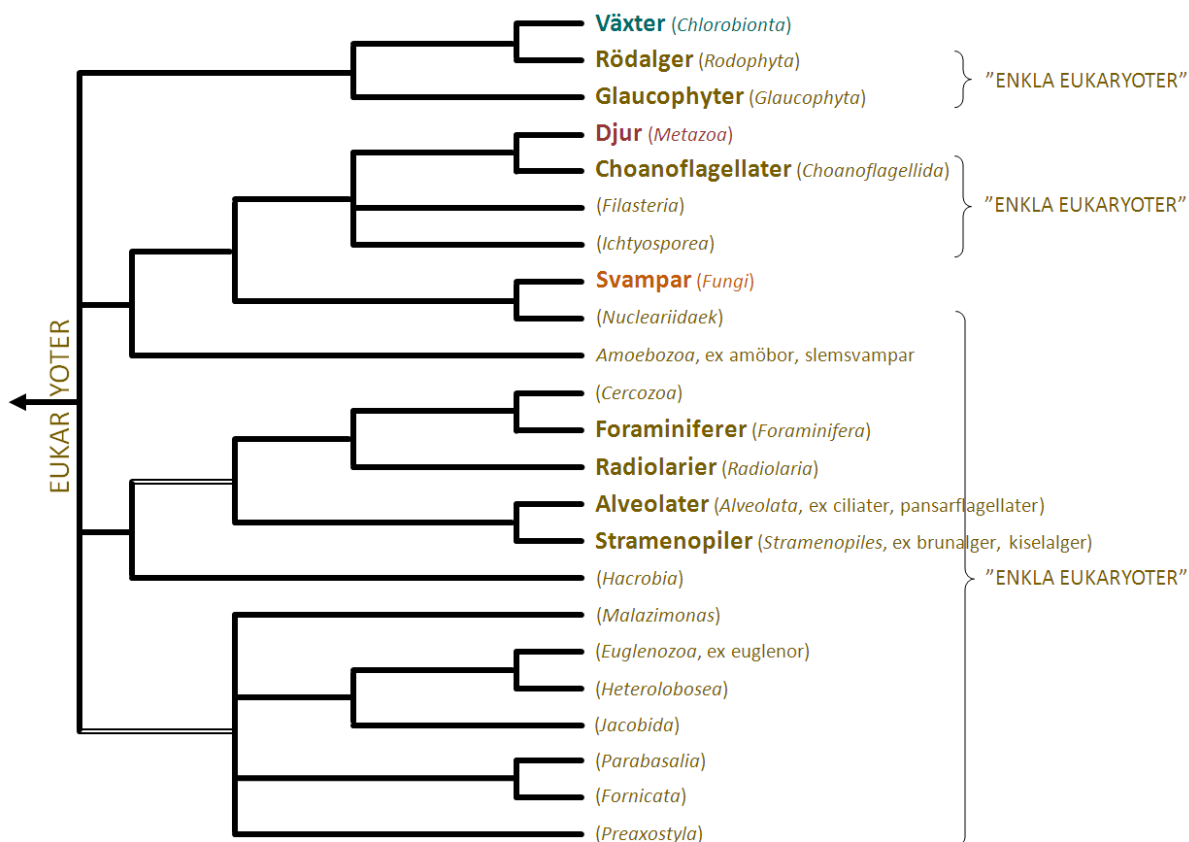


Bild: Släkträd över eukaryoterna. Några exempel på organismer som man kan stöta på i vardagen har nämnts för några av de organismgrupper som inte kommer att beskrivas närmare nedan.

Här hittar vi några bekanta organismgrupper, nämligen växter, djur och svampar. Notera dock att det finns många andra organismer som varken är växter, djur eller svampar. Dessa organismer är inte heller bakterier eller arkéer. Man brukar kalla dem *enkla eukaryoter*. Denna grupp är något av en "slaskgrupp", det vill säga att den innehåller alla organismer som blir över när man sorterat in alla andra som växter, djur, svampar, bakterier eller arkéer. Därför är det svårt att ange några gemensamma karaktärer för de enkla eukaryoterna, annat än *organismer med membranomslutna celldelar, men som inte är djur, växter eller svampar*.

Bara för att både rödalger och choanoflagellater är enkla eukaryoter betyder de inte att de är nära släkt. Som bilden visar är rödalger närmare släkt växter än några andra enkla eukaryoter, medan choanoflagellater är närmare släkt djur än några andra enkla eukaryoter.

Med denna kunskap kan man sortera in alla organismer i sex riken; växter, djur, svampar, bakterier, arkéer och enkla eukaryoter.

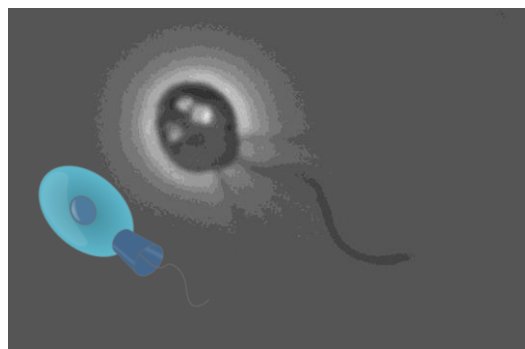


Bild: Choanoflagellater är den grupp organismer som tros vara närmast släkt djur. Likt alla andra enkla eukaryoter är de encelliga. De har en karaktäristisk flagell (lång svansen) omgiven av 30–40 mikrovilli (små "hårstrån") som bildar en tratt. Lilla bilden visar en förtydligande bild av en choanoflagellaten. De är 3–10 tusendels millimeter stora, om man inte räknar med flagellen.

Zoologi

Djur

Zoologi är vetenskapen om djur. De flesta vet nog vad ett djur är när de ser ett, men inom naturvetenskapen måste alla begrepp definieras, även *djur*. *Djur* är alla organismer som har följande egenskaper:

- De måste äta andra organismer. De är med andra ord heterotrofa (s. 81).
- De har celler utan cellväggar, vilket är ett extra hårt lager utanför cellmembranet (s. 96). Detta innebär förenklat att deras kroppar är "pösiga".
- De har rörelseförmåga (s. 80) minst någon gång under sin livscykel.

Det finns många olika djurgrupper. Här ses ett släkttred över alla djur.

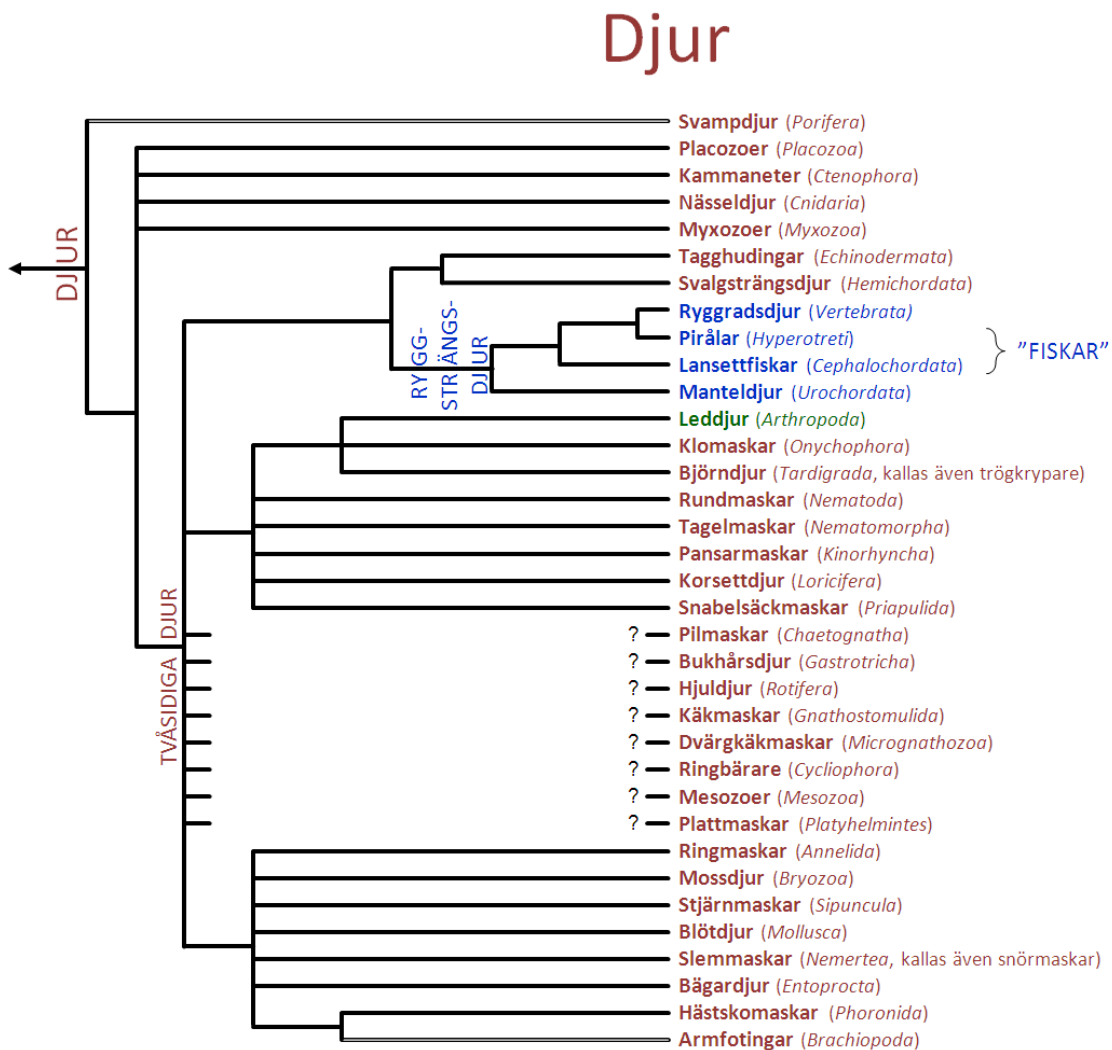


Bild: Släkttred över djuren.

Vi människor är ryggradsdjur, vilka får en närmare presentation nedan. Alla djurgrupper förtjänar förstås en närmare presentation men av praktiska skäl får vi här nöja oss med några exempel från de övriga djurgrupperna.

Maneter och de revbildande koralldjuren hör till nässeldjuren, vilka kännetecknas av en speciell typ av brännande celler som kallas nässelceller. Sjöstjärnor, sjöborrar och sjögurkor hör till tagghudingarna, vilka kännetecknas av ett yttre kalkskelett som ofta har taggar på dig. Spindeldjur, mångfotingar, kräftdjur och insekter hör till leddjuren, vilka karaktäriseras av en segmenterad (uppdelad) ledad kropp, från vilken parvis ledade ben utgår.

Ryggradsdjur

Djurgruppen ryggradsdjur är lite extra intressant ur ett vardagligt perspektiv, så vi tittar närmare på den.

Ryggradsdjur karaktäriseras av:

- En *rygggrad*, vilket är en dorsal nervsträng (*ryggsträng*) omgiven av skelett.
- Två par extremiteter fästade till ryggraden.

Ryggradsdjur

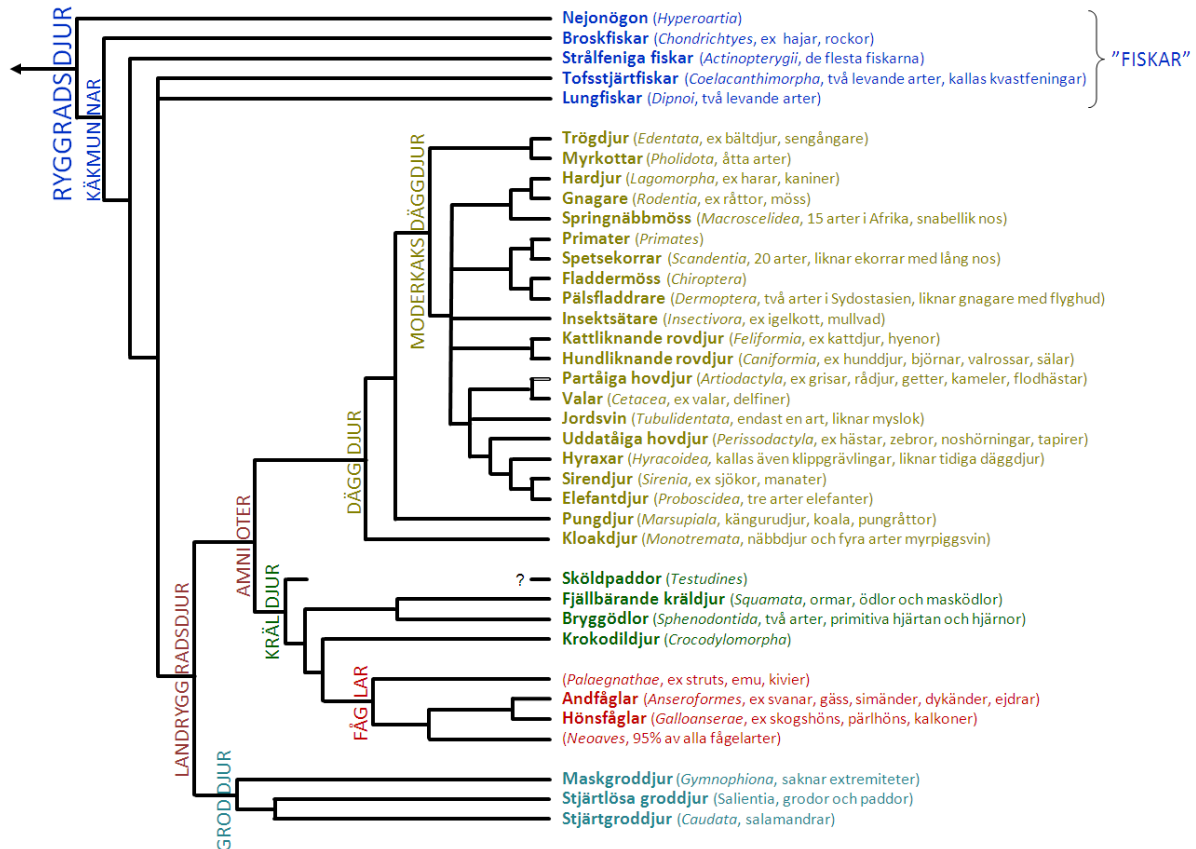


Bild: Släktträd över ryggradsdjuren. Notera exemplen ur djurgrupperna,

Bland ryggradsdjuren hittar vi de välbekanta groddjuren, kräldjuren, fåglarna och däggdjuren. Dessutom hittar vi flera olika vattenlevande djurgrupper; nejonögon, broskfiskar, strålfeniga fiskar, tofstjärtfiskar och lungfiskar. Dessa är inte särskilt nära släkt med varandra, men kallas vardagligt gemensamt för "fiskar".

Groddjur karaktäriseras av:

- Kroppar som är *växelvarma*, det vill säga som passivt följer omgivningens temperatur.
- Ägg utan med amnion.
- *Med vissa undantag:* Larver som är vattenlevande och vuxna som är landlevande.

Kräldjur karaktäriseras av:

- Kroppar som är växelvarma.
- Ägg med *fostervatten*, vilket är en hinna innehållandes skyddande fostervatten.



Bild: Axolotl är en vattenlevande salamander som bara finns i vatten i Mexiko City. Det konstiga med en axolotl är att den aldrig utvecklas till en "färdig" salamander och därmed inte kan klara sig på land. Den får färdiga och fungerande lungor, men har fortfarande kvar gälar som sticker ut bakom huvudet. Axolotl är akut utrotningshotad på grund av vattenföroreningar och inplantering av icke inhemska rovfiskar.



Bild: *Cantor's giant softshell turtle* finns i sötvattendrag i Asien och spenderar cirka 95 % av sitt liv nedgrävd i sand för att gömma sig från fiender. Den kan bli 2 m lång och har ett brett hårt nog att krossa ben. *Cantor's giant softshell turtle* är världens största så kallade mjukskalssköldpadda och har en ovanligt platt kropp och ett skal som känns som hårt gummi. Tyvärr är den utrotningshotad eftersom den enkelt kan fångas för att ätas eller säljas.

Fåglar karaktäriseras av:

- Kroppar som är *jämnvarma*, det vill säga som håller en jämn temperatur oberoende av omgivningens temperatur.
- Ägg med fostervatten.
- Fjädrar.

Däggdjur karaktäriseras av:

- Kroppar som är *jämnvarma*.
- Ägg med fostervatten.
- Ungar som dias (däggas) av modern.



Bild: Kattbjörnen finns i Asien och kallas ibland för röd panda, "eldräv" eller "*firefox*". Den är bara något större än en fullvuxen katt, och det är omstritt om arten ska klassas som en egen familj, eller delas in tillsammans med halvbjörnar eller björnar. Den lever på södra Himalayas sluttningar, upp till 4 800 m över havet, där den klättrar omkring i bambuträd och äter bambuskott eller fångar en och annan fågel. Kattbjörnen är utrotningshotad, men har de senaste 10 åren tack vare skyddsåtgärder ökat något i antal till nästan 10 000 individer.



Bild: Pingviner är icke-flygkunniga fåglar som lever på södra halvklotet (förutom Galapagospingvinen som bor precis norr om Ekvatorn). De är snabba och graciösa i vattnet, men charmigt klumpiga på land. Bilden visar en liten del av en koloni kejsarpingviner, vars gulliga ungar ofta figurerar på bilder på söta djur. Falsksjungande Mumble i den animerade filmen *Happy Feet* är en kejsarpingvin.

Botanik

Botanik är vetenskapen om växter. Växter är alla organismer med följande egenskaper:

- De behöver inte äta andra organismer. De är med andra ord autotrofa (s. 81).
- De har celler med cellväggar, vilket är ett extra hårt lager utanför cellmembranet (s. 96). Detta innebär förenklat att deras kroppar är styva.
- De saknar rörelseförmåga (s. 80).
- Med vissa undantag: De genomför fotosyntes (s. 81) i kloroplaster (s. 96), och lagrar de fotosyntetiska produkterna som stärkelse i kloroplasterna.

Här ses ett släktträd över alla växter.

Växter

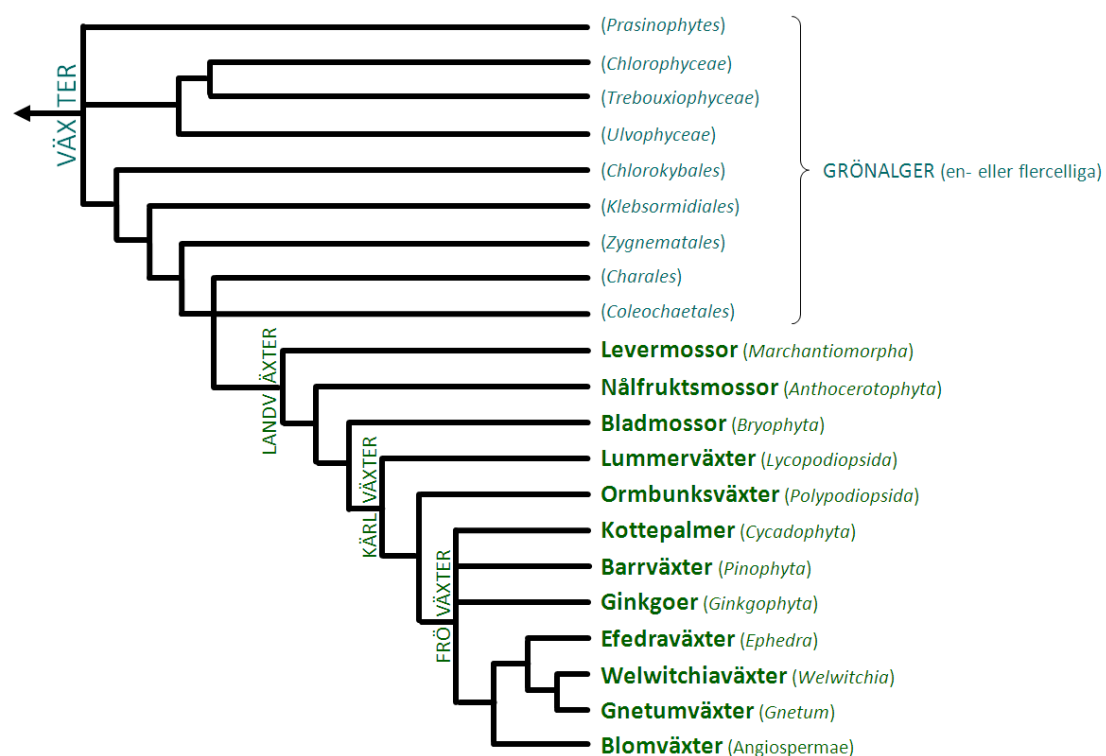


Bild: Släktträd över växterna.

Det finns tre grupper med olika mossor, där bladmossorna är vanligast och som man oftast stöter på i svensk natur. Här hittar vi till exempel vitmossa, björnmossa och husmossa. Bland lummerväxterna hittar vi i Sverige bland annat rev- och mattlumner, vilka liknar små tallskott i marken. Kottepalmer finns på varmare breddgrader, liknar palmer men är inte nära släkt med dem. Ginkgoer består faktiskt bara av en art – ginkgon, vilken är helt ensam i sitt slag. Detsamma gäller welwitchian som är den enda welwitchiaväxten. Efedraväxterna är runt 40 arter i torra miljöer som liknar förvedade fräkenväxter. Gnetumväxter är runt 33 arter av tropiska buskar och träd.



Bild: Ginkgon är känd för sina vackra blad och illaluktande frukter.

Ormbunkar och fräkenväxter hör till *orbunksväxterna*, vilka karakteriseras av:

- Förökning med sporer.
- Uppdelning mellan huvudaxel och sidogrenar.

Barrväxter, såsom gran, tall och en, karakteriseras av:

- Förökning med frön, vilka finns i kottar.
- Barr- eller fjällika blad.

Den största växtgruppen är blomväxterna. Hit hör den stora majoriteten växtarter, inklusive alla lövträd, näckrosor, gräs, orkidéer, prydnadsblommor m.m. *Blomväxter* karakteriseras av:

- Förökning med frön, vilka finns i frukter.
- Blommor.



Bild: Stensöta är en vanlig ormbunke i Sverige. Den är känd för sina lakritssmakande rötter. Under bladen sitter sporsamlingarna, som kallas *sori*.



Bild: Sveriges två vanligaste barrväxter är tall och gran. Tall har runda kottar och barr som sitter parvis, medan gran har avlånga kottar och barr som sitter ensamma. Vilken art är det på bilden?

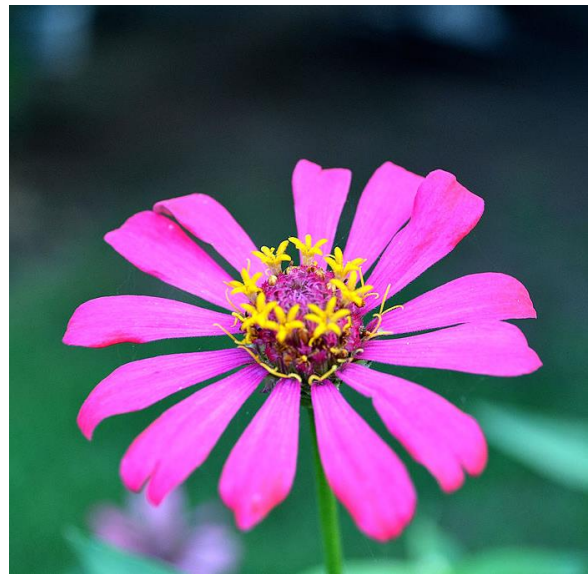


Bild: En viss grupp av blomväxter är de korgblommiga växterna. Dessa har en hel "korg" med blommor, vilka ofta misstas för en enda blomma.

Mykologi

Mykologi är vetenskapen om svampar. Svampar är alla organismer med följande egenskaper:

- De måste äta andra organismer. De är med andra ord heterotrofa (s. 81).
- De har celler med cellväggar, vilket är ett extra hårt lager utanför cellmembranet (s. 96). Detta innebär förenklat att deras kroppar är styva. Svampars cellväggar innehåller alltid ämnet kitin.
- De saknar rörelseförmåga (s. 80).
- De äter genom att utsöndra enzymer för nedbrytning av större näringsmolekyler utanför cellerna och absorberar sedan produkterna.

Här ses ett släkttre över alla svampar.

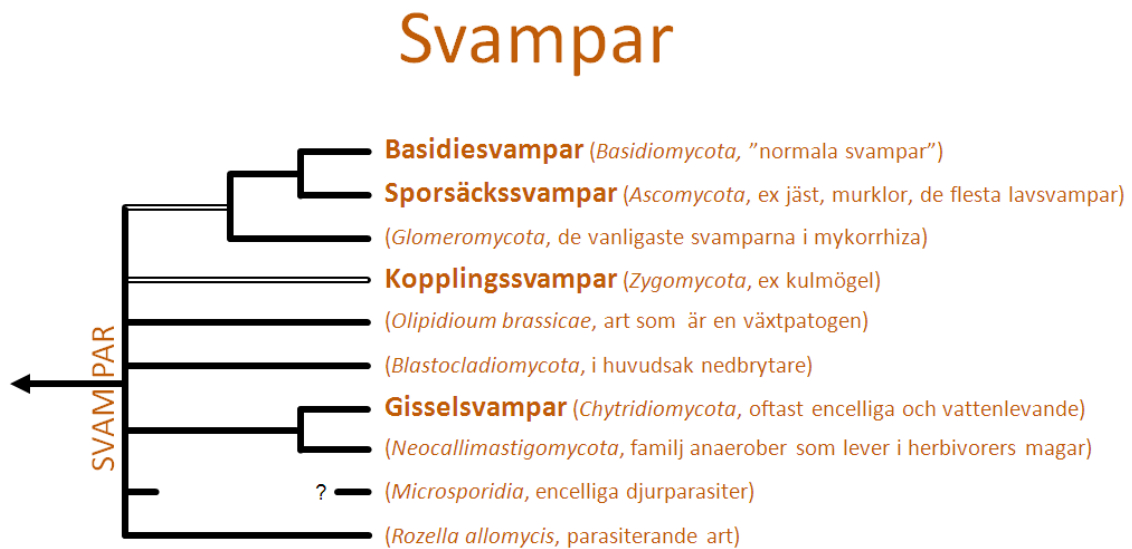


Bild: Släkttre över svamparna. Notera även exemplen ur varje grupp.

De två största svampgrupperna är basidiesvampar och sporsäckssvampar. Kantareller, champinjoner, flugsvampar och alla liknande "normala svampar" för icke-biologen är alla basidiesvampar. Bland sporsäckssvamparna hittar vi bland annat jäst och murklor.

En *lav* är en svamp och någon fotosyntetiserande (s. 81) organism som lever tillsammans och som utgör en enhetlig kropp. Det mesta av laven utgörs av svampen, oftast en sporsäckssvamp, och i den finns oftast en grönalgs- eller cyanobakterieart.



Bild: Basidiesvampen svart trumpet svamp anses vara en delikatess. Tillsammans med rödgul trumpet svamp, trattkantarell (höstkantarell), kantarell och karljohan utgör den en relativt säker svamp i svensk natur, det vill säga det finns inga lättförväxlande giftiga svamparter.

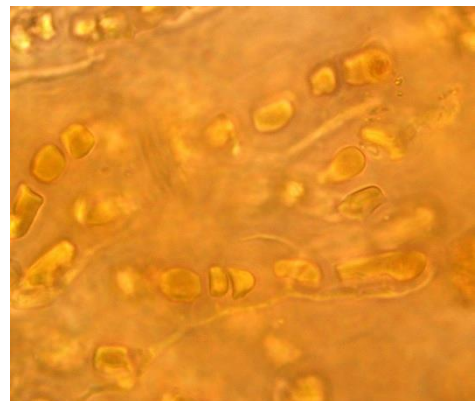


Bild: I en lav finns de fotosyntetiserande mikroorganismerna inuti svampen. De bidrar med energirika molekyler från fotosyntesen medan svampen bidrar med skydd och vatten.

Mikrobiologi

Mikrobiologi är vetenskapen om mikroskopiskt små organismer, alltså sådana organismer som endast är observerbara i mikroskop. Detta inkluderar vissa små djur, växter och svampar, vilka redan har definierats ovan. Det inkluderar också *oftast* enkla eukaryoter vilka vi också redan har definierat (s. 85) (*organismer med membran Slutna celldelar, men som inte är djur, växter eller svampar*). Men framför allt inkluderar mikrobiologi de två domänerna bakterier och arkéer.

Bakterier är alla organismer med följande egenskaper:

- De är encelliga.
- De saknar cellkärna och andra membran Slutna celldelar (s. 93). De är med andra ord prokaryoter (s. 84).
- De har ogrenade membranlipider, en särskild sorts molekyler, i cellmembranet.
- De har peptidoglykan, en särskild molekyl, i cellväggar.

Arkéer är alla organismer med följande egenskaper:

- De är encelliga.
- De saknar cellkärna och andra membran Slutna celldelar (s. 93). De är med andra ord prokaryoter (s. 84).
- De har grenade membranlipider, en särskild sorts molekyler, i cellmembranet.
- De har ej peptidoglykan, en särskild molekyl, i cellväggar.

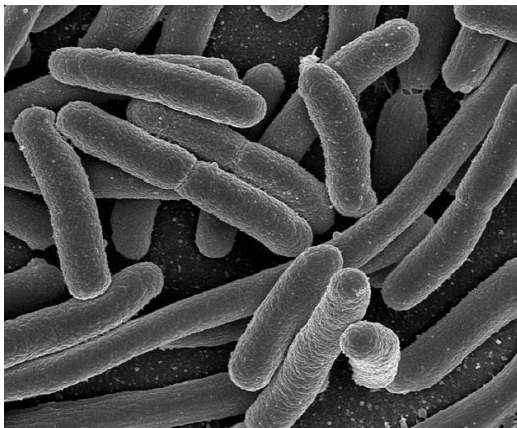


Bild: Bakteriearten *Escherichia coli* (*E. coli*) finns i tarmsystemet hos människan. Där hjälper de oss genom att producera K-vitamin och hindra sjukdomsframkallande bakterier från att ta plats.

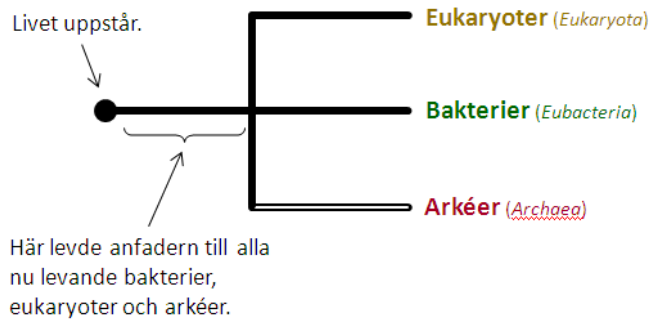


Bild: "Foten" av livets träd.



Bild: Arkéer är till utseendet förväxlande lika bakterier och identifierades först på 70-talet som en egen organismgrupp, tack vare metoder för att analysera DNA. Till en början hittade man dem mest vid extrema miljöer, såsom vid den heta källan *Grand prismatic spring* i nationalparken Yellowstone i USA, men nu för tiden anser man att de finns i de flesta miljöer.

Cellbiologi

Cellbiologi är vetenskapen om celler. En bra introduktion till cellbiologi fås med hjälp av naturlagarna i *cellteorin*. Dessa är:

1. Alla organismer består av en eller flera celler.
2. Alla celler uppstår ur redan existerande celler.
3. Cellen är den minsta funktionella enheten i en organism.
4. Aktiviteten i en organism utgörs av den totala aktiviteten i dess celler.
5. All ämnesomsättning och kemiska reaktioner sker i celler.
6. Celler innehåller DNA som förs vidare från cell till cell vid celledelning.

Det finns två huvudtyper av celler, nämligen de som prokaryoter (bakterier och arkéer) består av och de som eukaryoter (växter, djur, svampar och enkla eukaryoter) består av. Den huvudsakliga skillnaden mellan dem är att prokaryota celler inte har några inre membranomslutna utrymmen, såsom en cellkärna. Eukaryoter däremot, har flera olika membranomslutna utrymmen, såsom en cellkärna innehållandes DNA.

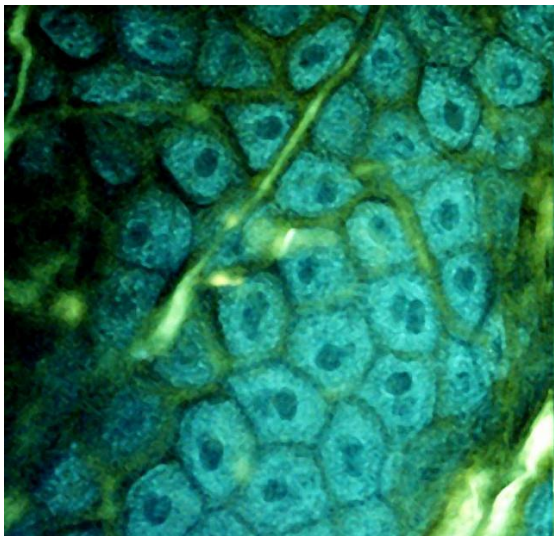


Bild: Eukaryota musceller fotograferade genom ett vanligt ljusmikroskop. I mitten av varje cell syns cellkärnan, vilket ofta är den enda celldel som inte är i stort sett genomskinlig.

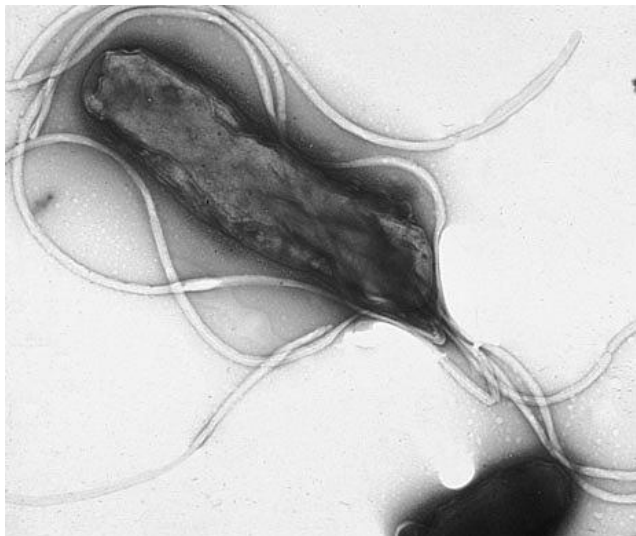


Bild: En prokaryot cell, närmare bestämt en bakterie, sedd genom ett elektronmikroskop. Bakterien har flera flageller. De flesta prokaryota celler är mellan $0,25 \times 1,2$ och $1,5 \times 4,0 \mu\text{m}$ stora. De flesta eukaryota celler är tiotalt gånger större.

Prokaryota celler

Prokaryoter var de första invånarna på jorden och finns än idag nästan överallt. De består endast av en cell så när man undersöker en prokaryot cell undersöker man därför även hela organismen. Som modell för en prokaryot cell använder vi en bakterie (se nedan).

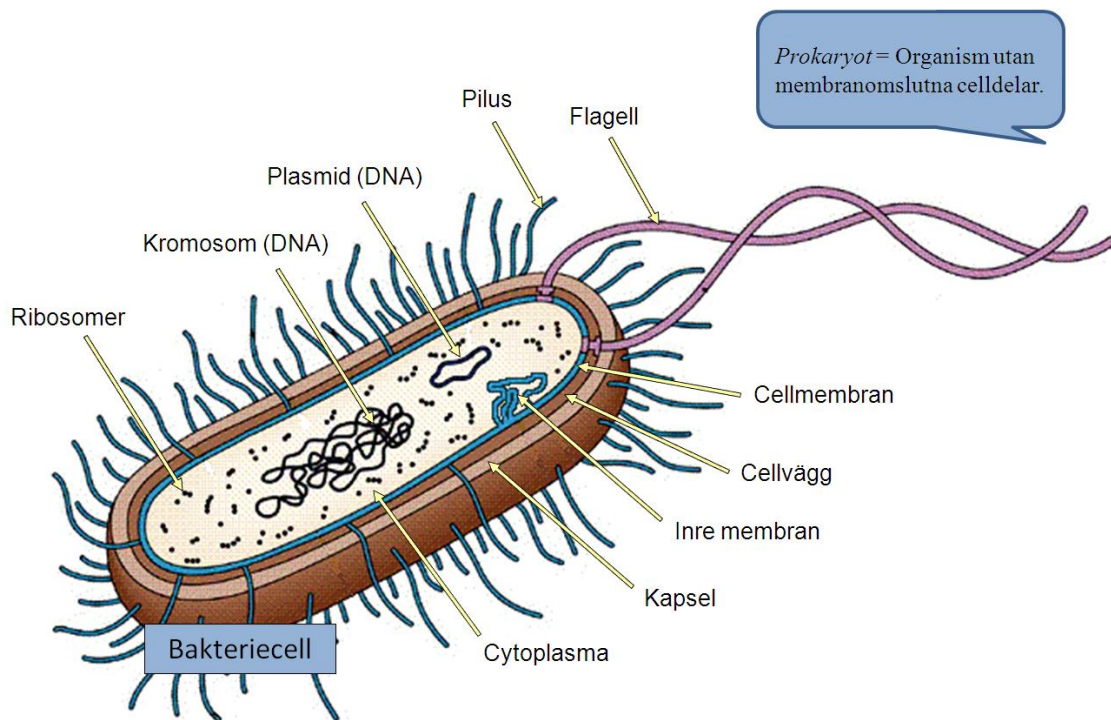


Bild: Prokaryota celler.

Organeller (celldelar) som finns hos *alla* prokaryoter:

- **Cellmembran (plasmamembran)** – En mycket tunn, men stark, hinna som håller ihop och skyddar cellen. Cellmembranet är uppbyggt av ett dubbelt skikt av en typ av molekyler kallade *fosfolipider*. I membranet finns proteiner, kallade *membranproteiner*. Genom cellmembranet släpps bara en del molekyler igenom. En del molekyler kan passera fritt eftersom de är så små, exempelvis vattenmolekyler, medan andra måste passera genom membranproteiner formade som kanaler. Vissa kanaler är öppna hela tiden. Andra kanaler kan öppnas och stängas på signal inifrån eller utifrån. Hos prokaryoter sker celloandningen (s. 81) med hjälp av enzymer som sitter här.
- **DNA** (s. 97) – Prokaryoter har ofta en stor DNA-molekyl, vilken är detsamma som dess kromosom (s. 98). Ibland har prokaryoter även plasmider (se nedan). Den stora DNA-molekylen är oftast ringformad. Regionen i cellen där den ligger kallas *nukleoiden*. Prokaryoters DNA är mycket mindre än eukaryoters, men generna (s. 99) sitter tätare.
- **Cytoplasma** – Innehållet i cellen förutom nukleoiden. Den består av *cytosol* (vatten och lösta ämnen) samt olösta partiklar (till exempel ribosomer).
- **Ribosom** – Cellens proteinfabrik. Små celldelar, som bara består av några molekyler. Hit lånas lite kod från DNA:t, som tyds i ribosomen, och rätt protein bildas. Proteinerna bildas genom att aminosyror kopplas ihop i rätt ordning, det är det som DNA-koden anger (s. 98). Ribosomerna hos prokaryoter är lite mindre än hos eukaryoter.

Organeller som finns hos *en del* prokaryoter:

- **Plasmid** – Liten ringformad DNA-molekyl ("minikromosom"). Innehåller, precis som den stora kromosomen, DNA (s. 97) och gener (s. 99).
- **Cellvägg** – Hårdare skal utan cellmembranet som ger form, struktur och skydd. Den innehåller hos de flesta bakterier, men ej arkéer, ämnet *peptidoglykan*. En del bakterier har även ett yttre membran (räknas också till cellväggen) av fosfolipider rikt på polysackarider (en sorts kolhydrater). En del av dessa polysackarider är sjukdomsframkallande toxiner. Detta membran är mer genomsläppligt än plasmamembranet. Cellväggar finns nästan hos alla prokaryoter.
- **Kapsel** – Ett lager som omsluter cellväggen hos en del bakterier. Kapseln består mest av polysackarider, vilka bildar ett lager av slem. Vissa bakteriers kapsel kan skydda dem från djurs immunförsvar. Kapseln hindrar annars att bakterien torkar ut och hjälper den att fästa till andra bakterier. En kapsel är inte livsnödvändig, en bakterie som förlorar sin kapsel kan klara sig utan den.

- *Inre (intracellulära) membran* – Veck av cellmembranskomposition som antingen sitter fast i cellmembranet eller är fria. De finns bland annat hos fotosyntetiserande bakterier, kvävefixerande bakterier och metanoxiderande bakterier. Hos fotosyntetiserande bakterier finner man här klorofyll och andra ämnen som behövs för fotosyntesen.
- *Flagell* – En "svans" bestående av proteinet *flagellin*. Den roterar kring sin egen axel och driver på så sätt cellen framåt. Celler kan ha en eller flera flageller. De sitter fast i plasmamembranet och, hos de som har det, i det yttre membranet.
- *Pilus* – "Hår" som finns hos vissa grupper av bakterier. Pili är kortare än flageller och hjälper bakterien att hänga fast vid andra bakterier eller djurceller.
- *Cytoskelett* – En del bevis pekar på att det finns en spiralformad struktur precis innanför plasmamembranet. Protein som bygger upp detta är likt aktin, som bygger upp cytoskelettet hos eukaryoter. Mycket tyder därför på att prokaryoters cytoskelett har samma funktion som hos eukaryoter, alltså att ge form åt cellen.

Eukaryota celler

Eukaryoter utvecklades från prokaryoterna och har en del mer avancerade celldelar. Eukaryoter kan vara både encelliga eller flercelliga. Som modeller för eukaryota celler använder vi en växtcell och en djurcell.

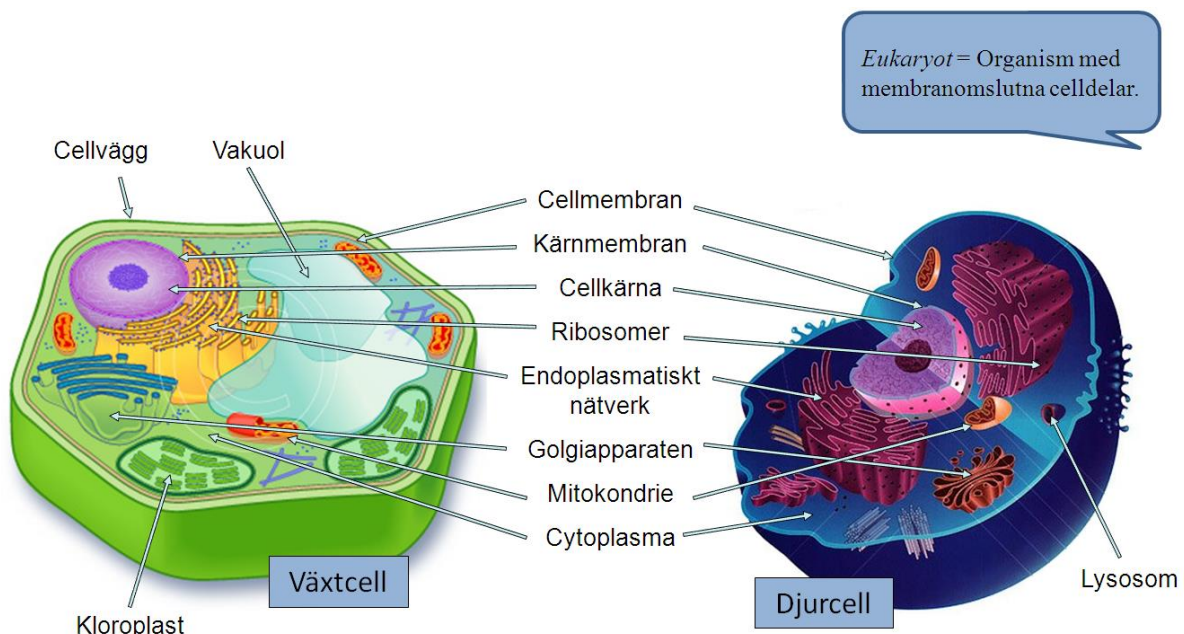


Bild: Eukaryota celler.

Organeller som finns hos både djur- och växtceller:

- *Cellmembran (plasmamembran)* – En mycket tunn, men stark, hinna som håller ihop och skyddar cellen. Cellmembranet är uppbyggt av ett dubbelt skikt av en typ av molekyler kallade *fosfolipider*. I membranet finns proteiner, kallade *membranproteiner*. Genom cellmembranet släpps bara en del molekyler igenom. En del molekyler kan passera fritt eftersom de är så små, exempelvis vattenmolekyler, medan andra måste passera genom membranproteiner formade som kanaler. Vissa kanaler är öppna hela tiden. Andra kanaler kan öppnas och stängas på signal inifrån eller utifrån.
- *Cellkärna* – Membranomslutet utrymme som innehåller cellens DNA (s. 97). Cellkärnans membran har stora porer, som bland annat släpper igenom RNA (små kopior av DNA, s. 98). Antalet cellkärnor i en cell kan variera, men är oftast en.
- *Ribosom* – Cellens proteinfabrik. Små celldelar, som bara består av några molekyler. Hit lånas lite kod från DNA:t, som tyds i ribosomen, och rätt protein bildas. Proteinerna bildas genom att aminosyror kopplas ihop i rätt ordning, det är det som DNA-koden anger (s. 98). Ribosomerna finns antingen fria i cellen, eller sitter fast på det endoplasmatiska nätverket.

- *Endoplasmatiskt nätverk (endoplasmatiskt retikulum, ER)* – Membranomslutna rör och tillplattade säckar som innesluter upp till 10 % av cellens volym. Inuti ER transporteras nytillverkade proteiner och andra ämnen runt, skilda från resten av cellen, till sin rätta plats. Proteiner kan även förändras inuti ER, och få sin rätta form. ER sköter också tillverkningen av nya membran.
- *Golgiapparaten* – Membranomslutna rör och tillplattade säckar av samma typ som ER. Golgiapparaten tar emot proteiner från ER, modifierar dem ännu mer, koncentrerar och paketerar dem. Proteinerna skickas till cellen eller ut från cellen via *vesiklar* (membranomslutna "bubblor"). Även andra ämnen än proteiner behandlas av Golgiapparaten.
- *Mitokondrie* – Cellens "kraftverk". Här sker cellandningen, närmare bestämt att glukosmolekyler byts ner och adenosintrifosfat (ATP) bildas, och vid denna process överförs den kemiska energin i glukos till ATP. ATP är sedan en lättillgänglig energikälla för andra celldelar. Inuti mitokondrierna finns enzymer som bryter ned glukos. Mitokondrier har ett dubbelt membran. Detta tror man beror på att mitokondrien en gång var en bakterieart, som genom evolutionen började leva inuti en annan cell. Att mitokondrien har lite eget DNA tyder också på detta. Det egna DNA:t gör att mitokondrier kan föröka sig oberoende av resten av cellen. Celler som kräver mycket energi, såsom muskelceller, har många mitokondrier.
- *Cytoplasma* – Innehållet i cellen förutom cellkärnan. Den består av *cytosol* (vatten och lösta ämnen) samt olösta partiklar (till exempel ribosomer och mitokondrier).
- *Cytoskelett* – Som en inre byggnadsställning bestående av protein, vilken ger form åt cellen. Cytosolen är genomborrat av cytoskelettet.

Organeller som endast finns hos växtceller:

- *Cellvägg* – Hårdare skal utanför cellmembranet som i huvudsak består av *cellulosa*. Dess främsta funktion är att agera stödjande, exempelvis när vattentrycket blir högt inuti cellen. Den ger även form och struktur åt cellen. Den fungerar också som skydd och som filter.
- *Vakuol* – En membranomsluten bubbla innehållandes främst vatten, men också lite lösta ämnen. Ofta består den största delen av växtcellen, upp till 90 % av volymen, av vakuolen. Vakuolen har ett lite förhöjt vattentryck i sig, vilket spänner ut cellen så mycket som cellväggarna tillåter. Om man glömmer vattna sina krukväxter krymper vakuolerna, cellerna blir mjuka och växten slokar. Vakuoler har lite andra funktioner också. De innehåller bland annat biprodukter av cellens ämnesomsättning, vilka kan vara giftiga för djur, som därför avstår från att äta växten. I vakuolen sker även nedbrytning av ämnen.
- *Kloroplast* – Växters "solceller". I kloroplasterna sker fotosyntesen. En växtcell innehåller oftast många kloroplaster. I kloroplasterna finns färgpigmentet *klorofyll*. Klorofyll är den molekyl som absorberar ljusenergin. Anledningen till att växter är gröna, är att klorofyll är grönt. Anledningen till att klorofyll är grönt är för att det absorberar blått och rött ljus. Då blir det grönt kvar, och det reflekteras bort till omgivningen. De små mörkgröna strukturerna i kloroplasten är *tylakoiderna*, den verkliga platsen för fotosyntesen. Det utanför är kloroplastens plasma, vilket kallas *stroma*. Kloroplasten har precis som mitokondrien ett dubbelt membran och lite eget DNA, vilket tyder på att även den uppstod genom att en mindre fotosyntetiserande bakterie invaderade en större encellig organism.

Organeller som endast finns hos djurceller:

- *Lysosom* – Cellens "avfallsvarn". Innanför dess membran bryts stora molekyler ned till mindre med hjälp av enzymer. En del molekyler lagras också ett tag här. Innehållet i lysosomer kan antingen spottas ut utanför cellen, eller sippra ut till cytoplasman. Lysosomer bryter även ned gamla och utslitna organeller. Hos växter och svampar fyller *lytiska vakuoler* (också membranomslutna "bubblor") samma funktion som lysosomerna.

Genetik

Genetik är vetenskapen om gener, ärftlighet och variation hos levande organismer.

DNA

DNA:s uppbyggnad

I cellen finns DNA. DNA står för deoxyribonukleinsyra (*deoxyribonucleic acid* på engelska, därav förkortningen DNA). DNA är en lång och stor molekyl, som byggs upp genom sammansättning av flera små molekyler (och vardera av dessa små molekyler består av atomer). DNA ser ut som en stega, med sidor och pinnar. Stegen är dock vriden runt sin egen axel. Sidorna av stegen består av en sockermolekyl, en fosfatgrupp, en sockermolekyl, en fosfatgrupp och så vidare. Sockermolekylen är en monosackarid, till strukturen lik glukos (dock femkantig i stället för sexkantig). Fosfatgruppen är en liten molekyl, bestående av en fosfatatom och fyra syreatomer. Fosfatgruppen brukar förkortas *P* (eftersom det är fosfors kemiska beteckning) och sockermolekylen brukar förkortas *D* (eftersom sockermolekylen heter *deoxyribos*).

Stegpinnarna i DNA-molekylen består av kvävebaser, vilka är molekyler (i DNA) innehållandes kväve. De fäster i sockermolekylen. Det finns fyra olika kvävebaser; *adenin* (brukar förkortas *A*), *tymin* (*T*), *cytosin* (*C*) och *guanin* (*G*). Varje stegpinne består av två av dessa kvävebaser. Dessa binds ihop med hjälp av vätebindningar (s. 130), vilka är ganska svaga för att vara kemiska bindningar. Detta gör att stegen relativt enkelt kan säras längs mitten.

Kvävebaserna bildar alltid samma par, A och T tillsammans, samt C och G tillsammans. Ordningen på basparen, samt vilken kvävebas som sitter på vilken sida i stegen, är det som ger en viss DNA-molekyl sin unika struktur. Hela koden i en DNA-molekyl får man fram genom att läsa ordningen på kvävebaserna längs ena sidan av stegen (A A T A G A C o.s.v.), och sedan läsa ordningen på kvävebaserna längs den andra sidan. När cellen behöver bilda ett visst protein delas DNA-molekylen tillfälligt längs mitten och läser ordningen på kvävebaserna längs den ena sidan (se nedan).

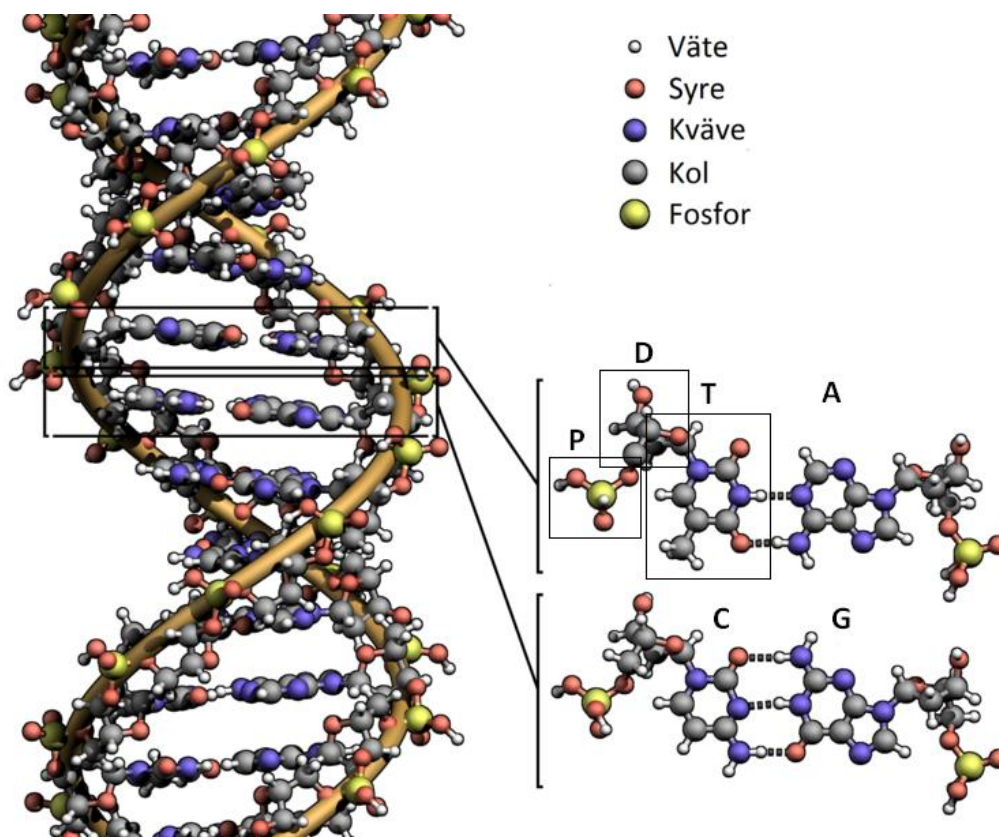


Bild: På bilden ses ett avsnitt av en DNA-molekyl. Kom ihåg att en DNA-molekyl sträcker sig mycket längre (upp och ner) än vad som syns på denna bild. Notera även att de orangea stängerna i stegsidorna egentligen inte existerar, utan endast förtydligar DNA-molekylens tvinnade form.

Kromosomer

Antalet DNA-molekyler i varje cell varierar mellan olika arter. Människan har exempelvis 46 stycken DNA-molekyler i varje cellkärna. Under en människocells vanliga liv ligger dessa 46 DNA-molekyler utspridda i cellkärnan och är svåra att särskilja. När cellen ska dela sig packas de dock tätt var för sig och de blir till och med synliga i ett mikroskop. Dessa DNA-klumpar var det första man såg av DNA och de fick namnet kromosomer. En *kromosom* är alltså en DNA-molekyl som är tätt packad. Hos bakterier och arkéer pratar man dock om kromosomer även om DNA-molekylen inte är tätt packad.

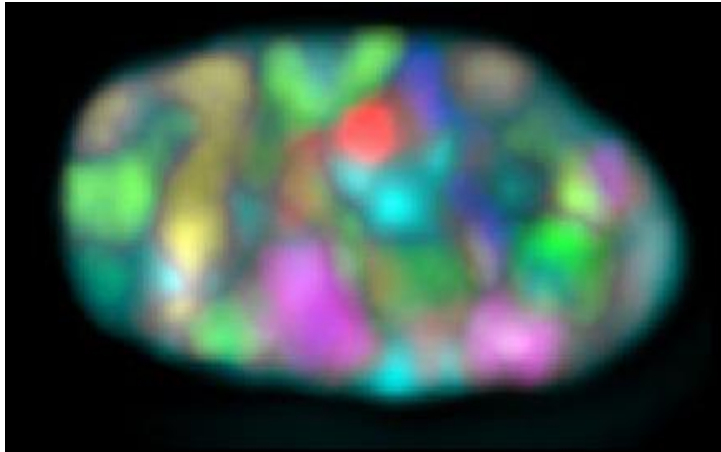


Bild: Under största delen av den eukaryota cellens liv ligger DNA-molekylerna löst packade i cellkärnan. Här syns cellkärnan i en människocell. Varje DNA-molekyl har färgats i en egen färg, och då syns att DNA-molekylerna har egna territorier i cellkärnan.

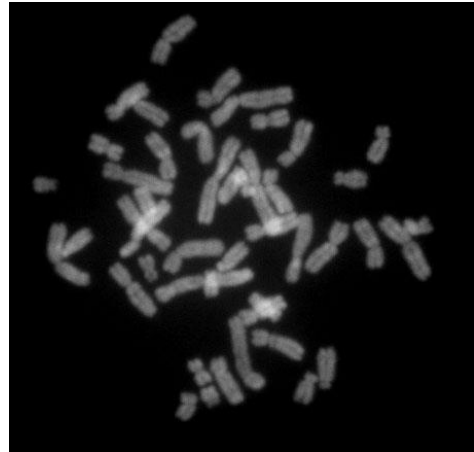


Bild: Inför celldelning packas varje DNA-molekyl tätt till en kromosom. Här är de 46 kromosomerna i en människocells kärna.

Från DNA till protein

Protein

Varje organism på jorden har DNA i sin eller sina celler. Växter, djur, svampar och enkla eukaryoter har sitt DNA i en cellkärna, medan bakterier och arkéer har det fritt i cellen. Antalet DNA-molekyler, längden på dem, och ordningen på kvävebaserna i dem varierar mellan olika arter. Det är denna skillnad i DNA som ger olika arter dess specifika egenskaper. Hur hänger detta ihop?

DNA är ett recept för proteiner. *Proteiner* är stora molekyler som består av kedjor av aminosyror (en mindre typ av molekyler). Det är proteiner som "styr och ställer" i organismer, och därmed avgör vilka egenskaper de får. Den kanske viktigaste uppgiften hos proteiner är att verka som enzymer. *Enzymer* är molekyler som sköter kemiska reaktioner. Med väldigt få undantag är alla enzymer som forskare funnit i naturen proteiner. Exempelvis är amylas ett enzym som bryter ner stärkelse. Andra proteiner bygger upp organismer. Exempelvis består muskler till största del av proteinerna aktin och myosin. Alla de tusentals proteiner som människan har är uppbyggda av endast 20 olika aminosyror (12 kan vi tillverka själva, medan åtta måste vi få i oss genom maten). Ordningen av och antalet aminosyror avgör vilken funktion ett protein kommer få. På de 46 DNA-molekyler som människan har finns recepten för alla människans proteiner.

Från DNA till mRNA till protein

Men hur kodar DNA för ett protein?

Bilden nedan föreställer en förenklad cell med cellkärna (en eukaryot cell). I cellkärnan syns ett avsnitt DNA. Just detta avsnitt DNA, närmare bestämt ena sidan, innehåller koden för ett protein. Denna "kod" utgörs av ordningen av kvävebaserna (exempelvis C C G A T G o.s.v.) längs ena sidan. DNA lämnar aldrig cellkärnan, så för att få ut koden måste en kopia göras. Det avsnitt DNA som innehåller koden för proteinet i fråga lindas upp med hjälp av enzymer. Sedan vandrar ett särskilt enzym längs med den ena sidan av DNA-molekylen och läser kvävebas för kvävebas. Varje gång en kvävebas läses av hämtas den komplementära kvävebasen. Läses exempelvis C hämtas G, läses A hämtas T. På så sätt hämtas en lång kedja av komplementära kvävebaser och sätts ihop. Denna "spegelvända" kopia av DNA-molekylens ena sida kallas mRNA. *mRNA (messenger-RNA)* är en molekyl som förmedlar information från cellkärnan till ribosomerna. När enzymet som läser DNA:t når en viss

avslutningssekvens av kvävebaser slutar den läsa och DNA-molekylen sätts återigen ihop. Denna process, när mRNA bildas utifrån DNA, kallas *transkription*.

mRNA transporteras ut ur cellkärnan, genom små hål i cellkärnans membran. Nu finns alltså en sorts kopia av DNA ute i cellen, i cellplasman. Nästa steg är att översätta mRNA till en kedja av aminosyror. Detta görs i någon av cellens ribosomer. mRNA binds till en ribosom, och ribosomen börjar vandra längs med mRNA-molekylen och läsa ordningen på kvävebaserna. För varje tripplett av kvävebaser som ribosomen läser hämtas en aminosyra. Den molekyl som hämtar aminosyrorna till ribosomen heter *tRNA* (*transfer-RNA*). tRNA är precis som mRNA en RNA-kedja en sorts enkelsträngad DNA-molekyl. tRNA binder till mRNA inne i ribosomen, eftersom båda har ensamma kvävebaser. Strax efter att den första tRNA har bundit till mRNA kommer nästa. Den första tRNA kommer då att lämna över sin aminosyra till den andra tRNA, som nu bär på två aminosyror. Dessa två aminosyror kommer sedan att lämnas över till den tredje tRNA som kommer, och på så sätt håller det på tills allt mRNA har lästs av. Processen, när en aminosyrakedja bildas efter en mRNA-molekyl som mall, kallas *translation*.

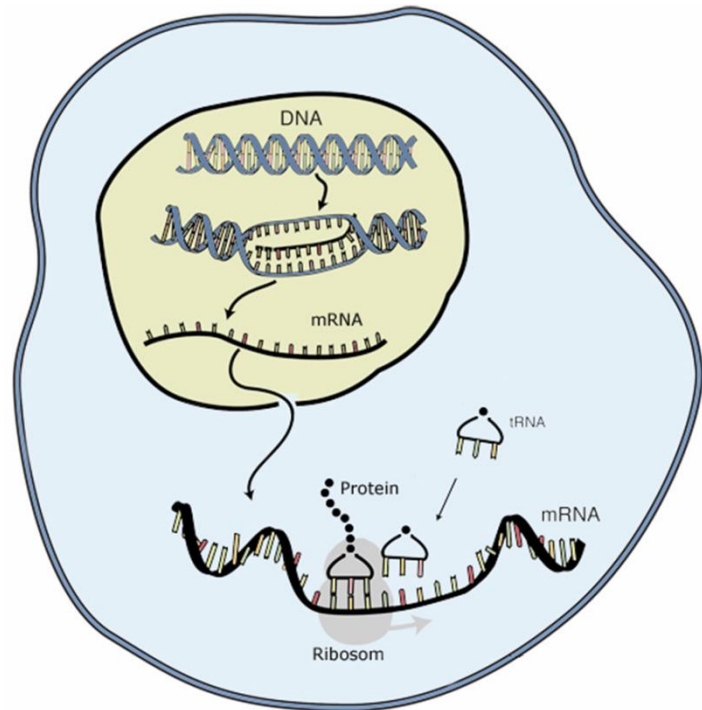


Bild: Schematisk bild över hur ett protein bildas efter DNA som mall.

Denna kedja av aminosyror som bildats i ribosomen är detsamma som ett protein (generellt anser man att en kedja på runt 30 aminosyror är ett protein, annars kallas det bara en aminosyrakedja). Dock är det vanligt att proteinet måste efterbehandlas i endoplasmatiska nätverket för att få sin slutliga funktion. Därefter kan proteinet göra sitt antingen i cellen det tillverkades i, eller släppas ut utanför cellen och göra underverk någon annanstans (om det är en flercellig organism).

Gener

En *gen* är det avsnitt av en DNA-molekyl som resulterar i ett visst mRNA. I exemplet ovan resulterade mRNA:t rakt av i ett protein, men ibland kan mRNA-molekylen delas på olika sätt, bilda flera mRNA och flera protein, som varje kan få flera funktioner genom olika modifikationer.

Gener kan överlappa varandra, befinna sig på både sidorna av en DNA-molekyl och gå åt båda hållen. En del av DNA:t i en organism är inte gener, det är bara "slask-DNA". Hos människan tror man att endast 1–2 % av allt DNA är gener. Hur många gener detta utgör har man dålig koll på, men man tror att det rör sig om cirka 20 000 stycken, fördelade på de olika kromosomerna.

Fortplantning och mutationer

Mitos

När en cell delar sig måste DNA:t kopiera sig. Varje dottercell ska ju innehålla exakt samma DNA som sin modercell. Detta sker likt första steget i proteintillverkningen. DNA-molekylen tvinnar upp sig, alltså de två stegsidorna separeras från varandra. Vi får nu två enkelsträngade DNA-molekyler. Efter detta vandrar ett särskilt enzym längs med de enkelsträngade DNA-molekylerna och bygger på den andra sidan igen. Vid *mitos*, eller *vanlig celledelning* delas en modercell till två dotterceller med samma kromosomuppsättning som modercellen.

Människan har 46 kromosomer. Vid mitos kommer dessa att kopieras, så att det blir två uppsättningar av de 46 kromosomerna i cellkärnan. Man anser dock inte att man har 92 kromosomer vid denna tidpunkt, eftersom paren fortfarande sitter ihop. Men under själva mitosen kommer de 46 kromosomerna att dras isär, en halva mot varje dottercell. När cellen sedan knoppas av finns 46 kromosomer i varje dottercell.

Meios

Det är dock inte alltid DNA:t fördubblas sig vid celledelning. Vid *meios*, eller *reduktionsdelning* delas en modercell till fyra dotterceller, vardera med en halv kromosomuppsättning jämfört med modercellen. I människans fall innebär det att en cell med 46 kromosomer delar sig till fyra celler med 23 kromosomer var. Meios inleds precis som mitos med att kromosomerna kopieras. Vid meiosen sker vid denna kopiering dessutom en "omskyfflande" av gener. Denna cell med dubbel kromosomuppsättning delas sedan till fyra celler med en halv kromosomuppsättning vardera. "Omskyfflingen" av gener vid den inledande kopieringen av kromosomer gör att inga två dotterceller kommer att ha identiskt DNA.

Vid meios bildas *könsceller*. En spermiecell hos människan innehåller 23 kromosomer och en äggcell 23 kromosomer. Meios sker hos kvinnor i äggstockarna och hos män i testiklarna.

När en äggcell befruktas av en spermiecell, så enas deras cellkärnor. Äggcellens kromosomer blandas med spermiecellens och den resulterande befruktade äggcellen har 46 kromosomer igen. När denna äggcell sedan börjar dela sig, för att bli ett foster bestående av miljarder celler, sker det genom mitos.

Växter har också könsceller, men de heter inte ägg och spermier, utan ägg och pollen. Resultatet blir inte ett foster, utan ett frö.

Könlös och könlig fortplantning

Fortplantning kan ske på två sätt: könlöst eller könligt.

Könlös (asexuell) fortplantning sker med hjälp av vanlig celledelning (mitos). Resultatet blir nya individer med samma DNA som föräldern. Föräldern och avkomman blir *kloner*, det vill säga individer med samma DNA. Könlös fortplantning sker hos encelliga organismer, men även många växter förökar sig könlöst. Det är ganska vanligt med rötter, utlöpare eller rizom som skjuter nya skott. Exempel är vass, jordgubbar, potatis och asp. Till och med djur kan föröka sig könlöst. Exempelvis kan bladlössens honor få avkomma utan befruktning (jungfrufödelse). Fördelen med könlös förökning är i regel att det går fortare. En art kan snabbt utnyttja bra förhållanden och föröka sig på en gång, utan att leta partner först.

Den andra typen av fortplantning kallas *könlig (sexuell) fortplantning*, vilket sker med hjälp av reduktionsdelning (meios). Resultatet blir DNA från två olika individer som blandas. Könlig fortplantning kräver två individer med olika kön, vilka bildar två olika könsceller som kan förenas. Man kan fråga sig vad det finns för fördel med könlig förökning. Om det nu finns en massa individer som lever och fungerar bra, varför kan man inte använda deras DNA om och om igen? Jo, om det kommer något virus, bakterie eller annan förändring kan det slå ut hela arten. Könlig förökning ger individer med individuellt DNA, inga två kommer att vara desamma (förutom enäggstvillingar). Därför är det stor chans att åtminstone några har motståndskraft mot förändringen.

Mutationer

Ibland sker en spontan förändring i DNA:t hos en individ, vilket kallas *mutation*.

Om en mutation förändrar en gen kallas det för en *genmutation*. Detta kan ske på tre sätt: (1) en kvävebas byts ut, (2) en kvävebas läggs till, eller (3) en kvävebas tas bort.

Om en mutation påverkar en hel kromosom kallas det för en *kromosommutation*. Detta kan ske på fyra olika sätt: (1) antalet kromosomer fördubblas, (2) en extra kromosom bildas, (3) en kromosom försvinner, eller (4) en del av en kromosom försvinner eller flyttats till annan kromosom. Kromosomala mutationer är vanligast och kan upptäckas i mikroskop.

De flesta mutationer sker i celler som inte är könsceller. Denna förändring kommer vanligtvis endast påverka en cell eller möjligtvis några dotterceller. Dock, sker en mutation i en könscell, kommer alla celler i den resulterande individen ha mutationen. Mutationen har blivit ärftlig.

Det konkreta resultatet av mutationer är att proteinproduktionen blir påverkad. Om exempelvis en kvävebas i en gen som kodar för proteinet insulin byts ut, kommer en aminosyra i insulin bytas ut. Detta leder med stor sannolikhet till att insulinet inte kommer fungera. De flesta mutationer är negativa, men fåtalet är faktiskt positiva. Det är genom mutationer som de levande organismerna på jorden har utvecklats.

Ekologi

Ekologi är vetenskapen om samspelet mellan levande organismer och deras miljö. Notera att med miljö menas både levande och icke-levande faktorer.

Ekologi kan studeras på olika nivåer: (1) individen, (2) populationen, (3) organismsamhället, (4) ekosystemet och (5) biosfären. Vi kommer att börja titta på individen. *Biosfären* kommer inte att beskrivas ytterligare, mer än att det betyder allt levande på jorden och dess miljö

Indviden

Vi börjar titta på hur individen och miljön samspelar. En *individ* är inom biologin en enskild organism (s. 80). Vårt exempel är en älgko.

Miljöfaktorer

Arter har genom evolution (s. 105) anpassats till sin miljö. De förhållanden i miljön som påverkar en organism kallas *miljöfaktorer*. Miljöfaktorer kan vara *biotiska* (levande) eller *abiotiska* (icke-levande).

Exempel på abiotiska miljöfaktorer som påverkar älgkon är vind (kyleffekt), ljus (dagslängd), temperatur och vatten (att dricka). Exempel på biotiska miljöfaktorer är konkurrenter (inom eller utanför arten), växter (som föda), parasiter (älgar kan bland annat drabbas av hjärnhinnemask) och rovdjur (varg och människa).

Många miljöfaktorer är också *resurser*, det vill säga tillgångar som individen behöver. En del resurser, som i detta fall ljus, finns lika mycket av för älgkon som för hennes konkurrenter. Sådana resurser kallas *obegränsade resurser*. Intressantare är de *begränsade resurserna*, vilka är de resurser det finns konkurrens över. För älgkon är det bland annat vatten (att dricka) och växter (att äta). Utöver vatten och mat är även boplatz en begränsad resurs för älgkon.



Bild: I Sverige finns runt 210 vargar. Enligt Rovdjurscentret i Järvsö dödar en vargflock 100–120 älgar per år, varav flest ungdjur eller gamla kor. Människan skjuter cirka 100 000 älgar varje år.

Nisch

En individ har alltså krav på de olika miljöfaktorerna. Dessa måste uppfyllas för att individen ska överleva. Denna "lista" på krav, alltså dess levnadssätt, kallas *nisch*. Intressant att notera är att beteendet delvis avgör nischen. Exempelvis är älgen endast dagaktiv, vilket får många följder.

Man säger att två arter aldrig kan ockupera samma nisch. Då uppstår konkurrens. Det som händer då är att den ena arten försvinner från området (dör eller flyttar) eller att den ena eller båda arterna förändrar sina nischer.

Arter som har liknande nischer tillhör samma *skrå*, till exempel de stora gräsätande djuren på Afrikas savanner.

Populationen

Nu tittar vi på hur populationen och miljön samspelar. En *population* är alla individer av en art inom ett visst geografiskt område. Vårt exempel är älgpopulationen i Sveriges norra barrskogsregion. Var den geografiska gränsen sätts är upp till biologen som ska studera populationen. Den ambitiösa biologen kan sätta jordklotet som gräns, och populationen innefattar då hela arten.

Populationsstorlek

Inom populationsekologin studerar man hur vanliga olika arter är och varför de minskar och ökar i antal. Födelse- och dödstalen, och därmed populationsstorleken, styrs av miljöfaktorerna. När man pratar om populationsekologi delar man in dem i täthetsberoende och täthetsoberoende faktorer. *Täthetsberoende faktorer* får starkare inverkan ju tätare en population är, alltså ju fler individer av en viss art det finns inom ett område, medan täthetsoberoende faktorer har lika stark inverkan oavsett populationsstorlek. Alla faktorer som har med klimatet att göra är exempelvis täthetsoberoende, eftersom de har lika stor inverkan oberoende av

hur tät populationen är. Vatten och föda är exempel på täthetsberoende faktorer, eftersom det blir högre konkurrens om den ju tätare populationen blir. Parasiter, och andra sjukdomsalstrande organismer, är också täthetsberoende faktorer eftersom de blir ett större problem när individer lever tätt och de lättare sprids. Rovdjur vänjer sig vid att jaga de bytesdjur som är vanliga.

Hur en population ökar i storlek visas i en *tillväxtkurva*, där antal individer plottas över tid. Det finns två typer av tillväxtkurvor; S- och J-formad kurva. I en *S-kurva* ökar först hastigheten på tillväxten, sedan avtar den och antalet stabiliseras vid en topp, vid miljöns bärformåga. Människa är exempel på en art som följer en S-formad kurva. Vår tillväxthastighet ökar just nu, med kommer avta när miljön inte kan bära fler människor. Vid en *J-kurva* ökar hastigheten på tillväxten likt en S-kurva, men avtar inte lika snabbt. För många individer föds än vad miljön klarar av och resultatet blir en krasch, där många individer dör. Ibland börjar sedan antalet öka igen så att det blir en ny krasch, och så vidare. Exempel på arter som följer en J-formad kurva är bladlöss, olika fjärilar och många insekter som lever på växter.

Storleken på en population varierar ofta cykliskt. Till exempel kan den bli större om våren när ungarna föds. Men den kan även variera tillsammans med en annan art. Så har man till exempel sett att lodjur och harar varierar i antal tillsammans.

Organismsamhället

Nu tittar vi på hur organismsamhället och miljön samspelar. Ett *organismsamhälle* är alla arters populationer inom ett visst geografiskt område. Vårt exempel blir alla populationer i Sveriges norra barrskogsregion; älgpopulationen, harpopulationen, blåbärspopulationen med mera.

Interaktioner mellan populationer

I en viss naturtyp finns ofta en viss samling arter. Arter kan på något sätt trivas ihop eller i huvudsak endast vara anpassade till den abiotiska miljö som finns här. En del arter finns i området endast vissa tider på året, till exempel flyttfåglar. Andra finns där hela året men har större betydelse för sin omgivning under några månader, exempelvis björn, insekter eller blomväxter.

Inom organismsamhället finns olika relationer mellan populationer av olika arter. Dessa varianter finns:

- **Konkurrens** (–/–). Två organismer använder samma resurser, och dessa resurser är för små för att tillgodose bådas behov.

Exempel: Älg och rådjur konkurrerar om födan. Undersökningar av maginnehåll har visat att de till 60 % äter samma sak. Båda äter bärris, ljung och barrkvistar. Bärris och ljung tros vara mer begärligt hos båda och där är konkurrensen störst, och antagligen särskilt på vintern.

- **Predation och parasitism** (+/–). *Predation* innebär att en organism dödar och äter upp en annan. En organism som utövar predation kallas *predator* eller *rovdjur*. Inom predation kan man skilja på äkta predation och *herbivori* (äta växter). *Parasitism* innebär att en organism långsamt äter av en annan. Det kan i vissa fall leda till den andres död, och i vissa fall inte.

Exempel: Vargen är en predator för älgen, medan älgen är en herbivor för blåbär. Fästingar suger blod på älgar och är därmed parasiter.

- **Mutualism** (+/+). Interaktion mellan två organismer som båda tjänar på.

Exempel: Många trädets rötter är invaderade av en svamps trådar. Detta komplex av rötter och trådar kallas *mykorrhiza*. Trädet tjänar på detta eftersom svamptrådarna blir som förlängda rötter och hjälper växten ta upp vatten och mineralämnen. Svampen tjänar också på detta samarbete eftersom den får organiska ämnen från växten. I den svenska barrskogen bildar tall mykorrhiza med bland annat tallblodrisk. Ett annat exempel på mutualism är lav ([s. 91](#)).

- **Kommensalism** (+/0). Interaktion som en organism tjänar på men som inte påverkar den andra.



Bild: I jordens vatten finns "rengöringsstationer", där fiskar samlas för att bli tvättade. Arbetet utförs av experter som putsarräkor och läppfiskar. Kunderna visar med sitt kroppsspråk att de vill bli tvättade och inte tänker äta upp rengörarna, vilka i sin tur äter upp parasiter, både på kundernas hud samt i deras munnar och gälar. Rengörarna får i gengäld föda. Flera dykare har upptäckt att även de kan få bli tvättade.

Exempel: Lavar på träd, lotsfiskar (*Naucrates ductor*) som får skydd vid hajar samt äter smulor från dem, havstulpaner på valhud.

- *Amensalism* (-/0). Interaktion där den ena organismen skadas och den andra inte påverkas. Exempel: stora djur som trampar ner växter, grenar från större träd som faller ner och skadar mindre växter.
- *Neutralism* (0/0). Interaktion som ej påverkar någon av organismerna.

Symbios är ett begrepp som brukar definieras lite olika. Ibland räknas symbios som alla typer av interaktioner där någon av parterna tjänar på den (predation/parasitism, mutualism och kommensalism). Ibland avser man dock endast mutualism. Ibland definieras symbios endast som en nära relation mellan två organismer.

Ekosystemet

Ett *ekosystem* är alla populationer och abiotiska miljöfaktorer inom ett visst geografiskt område. Vårt exempel blir Sveriges norra barrskogsregion.

Näringskedja

När man forskar om ett så komplext system som ett ekosystem vill man skapa lite ordning i det. Det gör man bland annat genom att skapa näringskedjor. En *näringskedja* anger vem som äter vem – i en linjär sekvens.

Exempel: En brännässla är föda till nässeljärilens larv (nässeljärilen heter som den gör just därför att den som larv i huvudsak lever på brännässlor). Larven är i sin tur vanlig föda åt talgoxen, en av våra vanligaste småfåglar i Sverige. Talgoxen är i sin tur föda åt sparvhöken.

Alla näringskedjor inleds med gröna växter eller alger, alltså en art som kan fotosyntetisera (s. 81). De kallas *producenter*, eftersom de producerar näring med hjälp av solenergi. De som äter denna näring kallas *konsumenter*, eftersom de konsumerar (äter). Den som först äter den gröna växten eller algen kallas *förstahandskonsument*. Den som äter förstahandskonsumenten kallas *andrahandskonsument* och så vidare. Den art som kommer sist i näringskedjan, och som saknar någon som äter upp den, kallas *toppkonsument*.

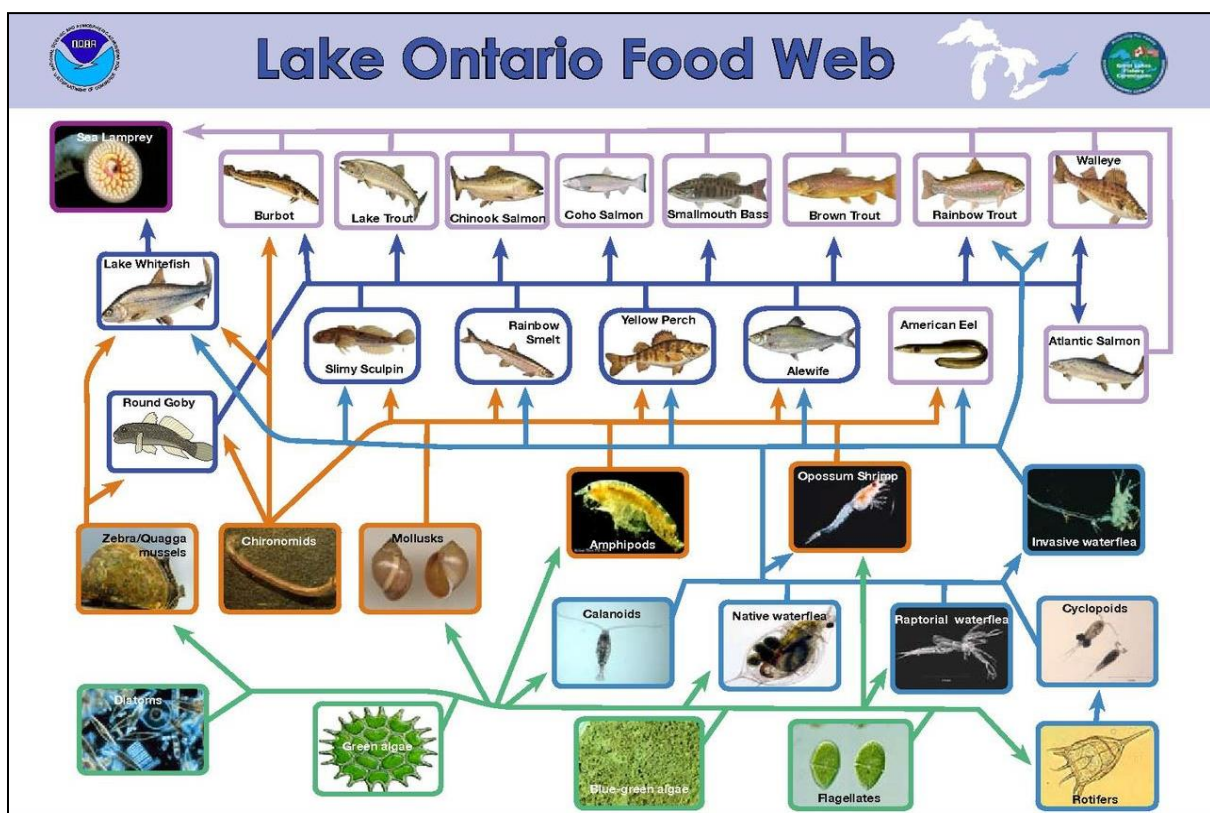


Bild: Amerikanska forskare har kartlagt de viktiga aktörerna i Lake Ontario och konstruerat en näringsväv med dem. Havsnejonöga (*sea lamprey*) invaderade sjön på 1800-talet genom människobyggda kanaler och blev på 1900-talet ett stort problem. Det är en parasitisk ål-liknande art som suger sig fast på större fiskar, vilka ofta dör av blodförlust eller infektioner.

Näringsväv

Ibland räcker det med en näringskedja för att kunna förklara något som sker i ett ekosystem. Exempelvis kanske det är synnerligen kallt ett år och många av nässeljärilarna dog redan i sina ägg. Detta gör att talgoxarna får mindre mat och blir färre, vilket i sin tur leder till att sparvhökarna får mindre mat och blir färre.

Men ibland är det mer invecklat. Då ritar man en näringsväv. En *näringsväv* anger vem som äter vem (jämför med näringskedja, [ovan](#)).

Nedbrytare

Några som inte ingår i näringskedjor och näringsvävar, men som ändå spelar en mycket viktig roll i ekosystemen, är nedbrytarna. *Nedbrytare* är organismer som bryter ner organiska ämnen (alltså de som organismer består av) till enklare former av materia, såsom vatten, metan, koldioxid och mineralämnen. I praktiken innebär det att de äter av och bryter ner döda eller ruttnande organismer. Nedbrytare återför på så sätt materia tillbaka till den abiotiska naturen. Några exempel på nedbrytare är svampar, bakterier och ringmaskar (bland annat daggmaskar).

Energins flöde

Energien flödar genom ett ekosystem i olika former (energi kan aldrig förbrukas eller uppstå, endast omvandlas från en form till en annan, [s. 152](#)).

Producenter, exempelvis blåbär, tar emot strålningenergi från solen när de fotosyntetiserar ([s. 81](#)). Denna omvandlar de till kemisk energi bunden i de organiska molekyler som bygger upp dem. När förstahandskonsumenterna äter producenter, exempelvis när en älg äter blåbär, får de i sig denna kemiska energi. Dock, medan producenterna levde förbrukade de själva en del av den kemiska energin i sin cellandning ([s. 81](#)). En del energi lämnade då ekosystemet som värme. När andrahandskonsumenten äter förstahandskonsumenten, exempelvis när en varg äter en älg, får den i sig den kemiska energi som fanns i de molekyler som byggde upp den. Dock, medan förstahandskonsumenten levde förbrukade den själv en del av den kemiska energin i sin cellandning, och en del energi lämnade då ekosystemet som värme.

När nedbrytarna äter av organismer, exempelvis en daggmärsk som äter av en död varg, får de i sig kemisk energi bunden i molekyler. Men samtidigt bryter de ner organismerna, och då omvandlas kemisk energi till värme. Slutligen, medan nedbrytarna lever, förbrukar de den kemiska energin de tagit upp, vilken då lämnar ekosystemet i form av värme.

Den värme som avges från levande organismer sprids i atmosfären och så småningom ut i rymden. Invånarna i ekosystemet kan alltså inte återanvända denna värme utan är beroende av den strålningenergi från solen som producenterna fångar. På land är det växter som är de viktigaste producenterna. I haven och sjöarna är alger (gröna, röda och bruna) och blågröna bakterier de viktigaste producenterna.

Den energi som varje steg i näringskedjan har tillgång till krymper ju högre upp i den man kommer. Producenterna har tillgång till hur mycket strålningenergi som helst. Förstahandskonsumenterna har tillgång till den kemiska energi som finns i producenterna. Detta är dock inte all energi producenterna har bundit från solenergin eftersom producenterna har omvandlat mycket till värme medan de levde. Andrahandskonsumenten har tillgång till den energi som finns i förstahandskonsumenterna. Detta är ännu mindre energi, eftersom förstahandskonsumenterna också har omvandlat massor till värme.

Evolutionsbiologi

Evolution är vetenskapen om evolution. Inom biologin betyder *evolution* att arter förändras från en generation till nästa. En mer teknisk definition av evolution är: *en förändring av frekvensen av gener i en population, från en generation till nästa*. Om exempelvis 50 % av alla människor har genen för en hörselsjukdom i en generation, men endast 45 % har denna gen i nästa generation, har evolution skett.

Bevis för evolutionsteorin

Vad finns det för observationer som tyder på att evolution sker?

Fossil

Fossil är spår av döda organismer. Fossil kan förekomma i många olika former.

Yngre fossil kan bestå av ben eller till och med hela djur bevarade i exempelvis is eller en mosse.

Eftersom de riktiga delarna av organismer inte bevaras så länge, bildas äldre fossil på ett annat sätt. Ta en havslevande snäcka som ett exempel. När snäckan dör sjunker den till havsbotten. Andra organismer äter upp allt utom skalet på snäckan. Inom månader börjar skalet täckas av sand och annat som sjunker ner till botten. Dessa lager fortsätter att byggas på och skyddar skalet från omgivningen. Efter hundra år är snäckskalet någon meter under havsbotten.

Dessa lager, bestående av material som eroderat eller vittrat bort från jordytan och transporterats någonstans där det lagt sig som ett lager, kallas *sediment*. Sedimenten kan se lite olika ut beroende av miljön ovanför. Exempelvis kan aska från ett vulkanutbrott ge ett mörkt sediment. Med tiden blir sedimenten till bergarter. Detta beror på det höga tryck de utsätts för, både av havet och av ovanliggande sediment. Bergarter som bildas på detta sätt kallas sedimentära bergarter (s. 77).

Snäckskalet genomgår med tiden en rad kemiska förändringar och vittrar sönder. Utrymmet som sakta bildas, om än i mikroskopiska steg, fylls med grundvatten. Detta grundvatten innehåller små mineralkorn (s. 76) som lämnas kvar. Snäckskalet ersätts alltså sakta med ett mineral och blir stenhårt – snäckskalet *förstenas*.

Det krävs att en organismdel bevaras tillräckligt länge för att förstening ska hinna ske. Därför är det inte alla organismer som bildar förstenade fossil. Djur med kalkskal bildar ofta förstenade fossil, eftersom kalkskalen inte äts upp och blir kvar tillräckligt länge för att packas in i berggrunden. Djur med mjuka kroppar, såsom maskar eller sniglar, bildar sällan förstenade fossil eftersom de snabbt äts upp eller går sönder innan de kan packas in i berggrunden.

Genom kontinentaldriften (s. 73) kan berggrunden som snäckskalet befinner sig i flytta upp på land. Erosion och vittring kan sedan skala av berglager efter berglager. På detta sätt kan forntida fossil bli synliga för oss som vandrar på jorden nu.

Man kan också hitta avtryck av organismer. Detta blir resultatet när organismen bäddats in och vittrat sönder, men inte ersatts av något mineral. Kvar blir i stället ett hålrum. Avtryck kan bestå av fotspår eller dylikt,



Bild: *Ambulocetus natans* representerar utvecklingen från hovdjur till valar. Däggdjuren började härska på land efter att dinosaurierna dog ut för 65 miljoner år sedan. För mellan 50 och 30 miljoner år sedan skedde en gradvis utveckling av en grupp landlevande hovdjur till helt vattenlevande däggdjur, vilka vi idag känner som valar. Man har hittat många fossil av arter mer eller mindre vallika, men *Ambulocetus natans* får ofta representera den felande länken. Namnet betyder "gående val som simmar". Den levde för cirka 49 miljoner år sedan vid flodmynningar och bukter vid Tethyshavet, ett hav som då fanns vid nuvarande Pakistan. Den var 3 m lång och liknade med sin kroppsform en krokodil. Troligtvis levde den både på land och i vattnet. Rygggraden skvallrar om att den simmade med liknande rörelser som en val. Anpassningar till vattenliv inkluderar bakben som är mer anpassade till simtag än gångsteg och en förmåga att svälja under vatten. De saknade även ytteröron, vilket är en anpassning till att höra bra under vatten. Möjligtvis jagade de som krokodiler, det vill säga att de låg i grunt vatten och lurade på byten.



Bild: I dagbrottet Cal Orcko i Bolivia finns dessa spår från minst sex olika dinosauriearter. Spåren hittades 1994 och befinner sig på en vägg som lutar 70 grader. Omgivningen såg dock annorlunda ut när dessa dinosaurier lämnade sina spår för cirka 68 miljoner år sedan. Väggen var då en sjöbotten. Den största dinosaurien som lämnat avtryck här är sauropoden *Titanosaurus*, som blev 9–12 m lång.

men även vara en bild av hela organismen. Dessa fossil bevaras när avtrycket gjorts i ett mjukt material, som sedan bäddats in i sediment. Sedimenten kan sedan vittra eller erodera bort, för att återigen avslöja avtrycket.

Fossil behöver nödvändigtvis inte betyda evolution. Fossil kan helt enkelt vara spår av organismer som även finns nu och som alltid existerat. Så för att få stöd för evolutionsteorin måste fossil ålderbestämmas. Biologer måste kunna påvisa förändringen av livsformer på jorden över tid.

Ett grovt sätt att ålderbestämma fossil är att notera hur djupt i berggrunden de ligger. De äldsta fossilen ligger djupast i berggrunden, medan de yngre ligger grundare. Detta ger en relativ ålder mellan fossil.

Ett noggrannare sätt att ålderbestämma fossil är genom *radiometrisk datering*, vilket innebär att bestämma åldern på något genom att mäta det radioaktiva sönderfallet av isotoper. När bergarter bildas innesluts även radioaktiva isotoper. Isotoper är varianter av samma grundämnen, det vill säga vars atomkärnor alla har samma antal protoner men olika antal neutroner (s. 124). Många isotoper är *radioaktiva*, vilket innebär att atomkärnorna är instabila och avger energi. I detta fall intresserar man sig för den typ av radioaktivitet som innebär att atomkärnorna faller sönder till andra grundämnen. Så sönderfaller till exempel isotopen ^{14}C (kol-14) till den stabila isotopen ^{12}C (kol-tolv) med en halveringstid av 5 700 år. Detta betyder att om det för 5 700 år sedan fanns 100 % ^{14}C , finns det idag 50 % ^{14}C och 50 % ^{12}C . Om ytterligare 5 700 år, alltså om en halveringstid till, kommer det att finnas 25 % ^{14}C och 75 % ^{12}C . Om man mäter halten av de två kolisotoperna i organiskt material kan man räkna ut hur länge sönderfallet har pågått och datera det. Ett krav är dock att man vet hur många procent ^{14}C och ^{12}C det fanns i organismen när sönderfallet började, alltså vid tiden av den händelse man vill datera. I levande organismer är förhållanden mellan ^{14}C och ^{12}C densamma som i atmosfären, men när organismen dör börjar ^{14}C sönderfalla till ^{12}C . Ration ^{14}C till ^{12}C i atmosfären har ungefär varit densamma de senaste 50 000 åren. För äldre dateringar får man dock övergå till andra radioaktiva isotoper.

De äldsta fossilen är från cirka 3,5 miljarder år sedan och tros vara bakterier. Ju yngre fossil är, ju mer liknar de organismer som finns idag.

Anatomiska och fysiologiska likheter

Arter som är nära släkt med varandra har oftast likheter i kroppsbyggnad (*anatom*) och kroppens funktioner (*fysiologi*). Genom att jämföra anatomi och fysiologi mellan arter går det att härleda vilka som har en gemensam anfader. Exempelvis har alla insekter likartade vingar, och har därför troligtvis samma anfader.

Det finns dock undantag från detta. En del arter har organ som har olika funktion men som ändå har samma ursprung. Sådana organ kallas *homologa organ*. Ett exempel är de främre extremiteterna hos människa, katt, val och fladdermus. De härstammar alla från de första groddjurens framben, men idag har de utvecklats till att fungera helt olika.

En del arter har organ med samma funktion, men organen inte har samma ursprung och arterna är alltså inte nära släkt. Sådana organ kallas *analoga organ*. Ett exempel är ögat hos däggdjur och ögat hos bläckfiskar. Ett annat exempel är fåglars och insekters vingar.

En del funktioner eller organ har med tiden tillbakabildats. Sådana organ eller funktioner kallas *rudimentära*. Kvar finns endast rester av dem. Ett exempel på en sådan funktion är gåshud (piloerektion) hos människan, vilket är en kvarleva från när människan hade mer hår. Gåshud gör att håret reser sig, vilket då fyllde två funktioner: "Pälsen" blir tjockare och varmare, samt att djuret ser större och farligare ut. Ett exempel på ett organ som med tiden har tillbakabildats är bakbenen hos valar, vilka är en kvarleva från när valarnas förfäder levde på land. Numera finns de bara kvar som korta skelettben inuti valkroppens bakdel.

Uppenbarligen finns det flera problem med att härleda hur evolutionen gått till genom att endast titta på anatomiska och fysiologiska likheter. Men genom att titta lite närmare och att ha ovanstående undantag i åtanke går det ändå rätt bra. Dock, den bästa metoden är att analysera organismers kemi.

Kemiska likheter

I alla organismer hittar man samma molekyler som byggstenar, såsom kolhydrater, proteiner, fetter. Framför allt har alla levande organismer DNA (s. 97). Den genetiska koden är också nästan identisk hos alla arter. Totalt 22 aminosyror används när DNA översätts till de proteiner som "styr" kroppen. Av dessa används tjugo olika aminosyror används av alla levande organismer, och endast två aminosyror (selenocystein och pyrrolysin) endast av vissa. Tack vare att alla organismers celler pratar samma "DNA-språk" går det att analysera deras DNA med hjälp av datorer. Genom att läsa kvävebasordningen på alla DNA-molekyler, eller endast på utvalda avsnitt, och låta datorer analysera detta, går det mycket säkert att räkna ut vilka organismer som är släkt med vilka.

Problemet med DNA är dock att det är en känslig molekyl som lätt faller sönder. Det är en bra analysmetod för existerande organismer men sämre för fossil. Som längst bevaras DNA i runt 6,8 miljoner år, men är inte läsligt längre efter 1,5 miljoner år. Detta betyder att vi aldrig kommer kunna hitta DNA från dinosaurier exempelvis, och vi kommer heller inte kunna läsa DNA:t hos den kända "grottmänniskan" Lucy. Därför måste biologer förlita sig på anatomiska och fysiologiska likheter för att härleda släktskap hos fossil.

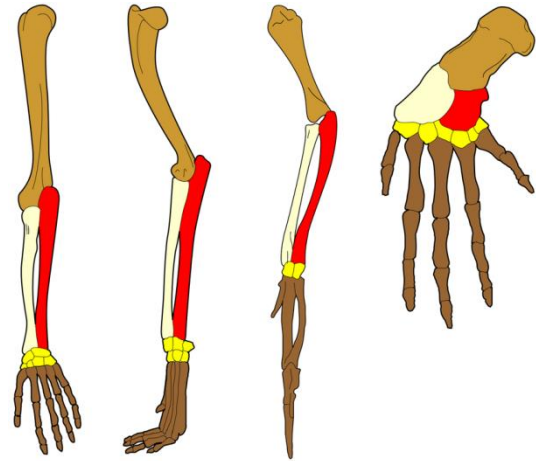


Bild: De främre extremiteterna hos människa, katt, val och fladdermus är exempel på homologa organ, det vill säga organ med olika funktion med samma ursprung. Färgerna visar hur samma ben hos den gemensamma anfadern genom mutationer omformats.

Naturligt urval

Evolution är en förändring av frekvensen av de olika generna i en population från en generation till nästa. Alltså, att arter förändras från en generation till nästa.

Den största orsaken till evolution är naturligt urval, vilket vi kommer titta närmare på här. Naturligt urval leder till att populationer anpassas till sin miljö. *Naturligt urval* kan sammanfattas så här: *Den individ som är bäst anpassad till den miljö den lever i har störst chans att överleva och få fortplantningsduglig avkomma, och därmed föra sina gener vidare.* Man kan tänka på naturligt urval som att naturen, inklusive organismer, väljer ut vilka individer som får fortplanta sig. Charles Darwin drog denna slutsats (men han skulle ha sagt *arvsanlag* i stället för *gener*, eftersom man inte kände till gener på den tiden) och denna slutsats står sig än idag.

Den helomfattande teorin vi har idag om hur evolution sker kallas ibland *neo-darwinism*, eller *modern evolutionär syntes*. Skillnaden från Darwins tid är att teorin om naturligt urval är mer detaljrik samt har kompletterats med några andra mekanismer för evolution.

Att säga att evolution endast sker genom naturligt urval är nämligen en förenkling. Det finns fler mekanismer som leder till evolution, såsom *genetisk drift* och *genflöde*. För en djup förståelse av evolution kan man även sätta sig in i dessa, men vi går inte närmare in på dem här. Naturligt urval är ändå, enligt de allra flesta biologer, den huvudsakliga orsaken till evolution, samt den mekanism som leder till att arter anpassas till sin miljö.

Mutationer

Det som avgör hur pass anpassad en individ är till sin miljö är dess egenskaper (dess *fenotyp*). Egenskaper kan vara morfologiska, molekylära eller beteendemässiga. Egenskaperna beror på individens DNA, närmare bestämt dess gener (dess *genotyp*). Teorin om naturligt urval bygger på att det finns en variation av gener och därmed egenskaper inom en grupp. Hur uppstår nya egenskaper och därmed variation?

Hos arter som förökar sig sexuellt kan till synes nya egenskaper uppstå genom att gener från två olika individer blandas hos avkomman, men dessa är egentligen bara är en ny blandning av redan existerande egenskaper den fått från föräldrarna. Helt nya egenskaper uppstår däremot genom mutationer (s. 100).

Exempel #1

Här följer en förklaring av hur naturligt urval går till, genom ett exempel. Vi ska titta på hur arten giraff har utvecklat sin långa hals.

En giraff äter i trädkronorna på savannen. Eftersom den sträcker sig efter bladen skulle man lätt kunna föreställa sig hur den genom åren sträckt ut sin hals så den blivit längre och längre. Detta är dock inte fallet. Giraffen har inte tränat upp sin hals – utan fötts med den. Den har ärvt generna för den långa halsen från sina föräldrar. Giraffens föräldrar föddes också med dessa gener, och deras föräldrar, och deras föräldrar... Men den stora frågan blir förstås; hur uppstod den långa halsen till en första början. Jo, någon gång bland giraffens anfäder uppstod en mutation. Denna mutation ledde till en förändring av DNA:t, i en gen eller en kromosom, vilket i sin tur ledde till en längre hals. Troligtvis är giraffens långa hals ett resultat av flera sådana mutationer efter varandra, vilka alla förlängt halsen.

1. Variation av egenskaper – Inom en art finns en variation av egenskaper hos individer som beror på olika DNA. Det kan handla om olika antal fläckar, olika stora öron, olika långa ben, olika motståndskraft mot sjukdomar etc. Föreställ dig två giraffer, den ena med lite längre hals än den andra. Denna längre hals är ett resultat av en mutation. Den ena giraffen har fått en eller flera speciella gener, som ger en lång hals.
2. Kamp om tillvaron – Giraffen med längre hals når bladen högt upp i träden. Där finns gott om mat, eftersom träden har mest blad i sina kronor. Giraffen med lång hals blir stor och stark och får ett bra immunförsvar. Giraffen med kortare hals når inte lika högt. Den får nöja sig med de glest bladbevuxna grenarna längs stammen. Den blir svag.

När det kommer en sjukdom till girafferna insjuknar den med kort hals och blir allvarligt sjuk, medan den med lång hals klarar sig bättre tack vare sitt starkare immunförsvar. Naturen är hård, och sällar ut de individer som är sämre anpassade till den. Det sker ett urval, en *selektion*, av individer och därmed gener. I detta exempel sker det genom en sjukdom, men det kan även ske på många andra sätt.

3. Olika framgång i fortplantning – Giraffen med kort hals kommer alltså inte att skaffa avkomma (den är ju död). Dess gener kommer inte att föras vidare. Giraffen med lång hals kommer däremot att leva tills den blir könsmogen och parar sig. Dess gener, inklusive genen för lång hals, kommer att föras vidare till dess ungar. Det har skett ett naturligt urval av egenskaper inom arten – lång hals överlever, kort hals dör.
4. Nya individer bättre anpassade till miljön – Giraffen får två ungar med genen för lång hals. Båda har framgång i jakten på föda, blir stora och starka och lever länge nog för att skaffa två egna ungar var, även de med genen för lång hals. Samtidigt dör andra giraffer med kortare hals i svält, sjukdom eller annat. Då det från början endast fanns en individ med extra lång hals inom arten, finns det nu fyra. Med tiden kommer girafferna med längre halsar att konkurrera ut girafferna med kortare halsar, tills det bara finns giraffer med lång hals inom arten. Arten har anpassat sig till miljön.

Här visade det sig att mutationen som gav en giraff en extra lång hals var fördelaktig. Den fick mer mat, blev stark och levde så länge att den kunde para sig och skaffa avkomma. I de flesta fall är mutationer dock negativa för individen.

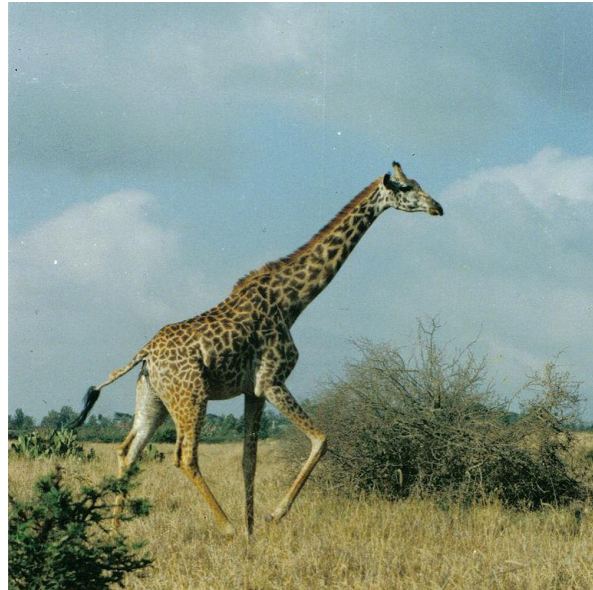


Bild: Giraffen är med sina 5 till 6 m världens högsta landlevande djur. Den lever endast i vissa begränsade områden i Afrika, men har tack och lov fortfarande ett relativt stabilt bestånd (även om vissa underarter är utrotningshotade). Giraffen är växtätare och gillar framför allt trädgrenar. Det är med största sannolikhet fördelen med att nå högt belägna växtdelar som gjort att giraffen utvecklat sin långa hals. Giraffer blir upp till 25 år gamla.

Exempel #2

Vi ska titta på ett andra exempel av hur naturligt urval gått till. I detta exempel påverkas två arter av varandra – de är båda en del av varandras miljö – vilket leder till evolution av båda. En samtida och relaterad evolution mellan två eller fler arter kallas *samevolution*. De två arterna är gepard och impala.

Geparden är världens snabbaste landdjur och kan springa i 110–120 km/h.

1. *Variation av egenskaper* – Bland alla geparder finns en variation av egenskaper. I detta fall koncentrerar vi oss på egenskapen snabbhet. Vissa geparder är snabbare än andra. Denna egenskap har från början uppstått genom en serie mutationer.
2. *Kamp om tillvaron* – Geparden jagar impalor och andra däggdjur som föda. De snabbaste geparderna kommer ifatt flest impalor och får mycket föda. De växer sig stora och starka och klarar sig i bra tillvaron. De långsammare geparderna har svårt att jaga ifatt sin föda. De blir magra. De får ännu svårare att jaga ifatt föda, och svälter ihjäl, eller dör av något annat indirekt beroende av brist på mat.
3. *Olika framgång i fortplantning* – Endast de snabba geparderna lever tillräckligt länge för att bli könsmogna, para sig och föra sina gener vidare. Det har skett ett naturligt urval av egenskaper. Notera att det också handlar om att honorna väljer hanar som ser starka ut. Så även om långsammare gepardhanar överlever, kanske honorna inte väljer dem.
4. *Nya individer bättre anpassade till miljön* – Ungarna som föds ärver föräldrarnas snabbhet. Arten gepard blir överlag snabbare.

Impalan är en afrikansk antilop. Den kan likt geparden springa mycket fort, upp till 90 km/h. Den kan dessutom hoppa 9 m långt.

1. *Variation av egenskaper* – Bland alla impalor finns en variation av egenskaper. I detta fall koncentrerar vi oss på egenskapen snabbhet. Vissa impalor är snabbare än andra.
2. *Kamp om tillvaron* – Impalor jagas av geparden. De snabbaste impalorna kommer undan. De långsammare impalorna har svårt att komma undan, och lider risk att dödas.
3. *Olika framgång i fortplantning* – Endast de snabba impalorna lever tillräckligt länge för att bli könsmogna, para sig och föra sina gener vidare. Det har skett ett naturligt urval av egenskaper. Notera att det kanske även här handlar om att honorna väljer hanar som ser starka ut. Så även om långsammare impalahanar överlever, kanske honorna inte väljer dem.
4. *Nya individer bättre anpassade till miljön* – Ungarna som föds ärver föräldrarnas snabbhet. Arten impala blir överlag snabbare.

Vad vi ser här är att arterna gepard och impala evolverar tillsammans. Då geparderna blir snabbare ställs högre krav i tillvaron på impalorna. Det blir ett tydligare urval till fördel för de snabbare impalorna. Då impalorna i sin tur blir snabbare ställs högre krav på geparderna, och så fortsätter det så. Kom återigen ihåg dock att båda impalor eller geparder är beroende av mutationer för att bli snabbare i första skedet, endast därefter kan denna egenskap selekteras genom naturligt urval.



Bild: Geparden lever i Afrika och delar av Mellanöstern och är med ganska god marginal världens snabbaste landdjur, sett till dess toppfart. En gepard kan accelerera från 0 till 100 km/h på cirka 3 s, vilket innebär att den skulle springa ifrån de flesta sportbilarna i starten. Den kan sedan komma upp i häpnadsväckande hastigheter på mellan 110 och 120 km/h! Dock har geparden ingen vidare uthållighet och kan bara hålla toppfart i knappt 500 m. Därför måste den när den jagar först smyga nära sina byten, vilka främst är impalor, thomsongaseller, grantgaseller och springbockar, alla blixtsnabba djur som springer ifrån geparden på längre sträckor. Om inte geparden lyckas fälla sitt byte relativt fort så ger den upp, men mer än 50 % av alla jaktförsök slutar med fördel till geparden, vilket är den högsta siffran i världen bland djur som jagar ensamma (allra bäst på att jaga är den afrikanska vildhunden som lyckas i 80 % av fallen). Trots sin snabbhet så är geparden på grund av sin dåliga uthållighet och brist på råstyrka ganska chanslös när den får konkurrens om sitt fällda byte. Geparden väljer hellre att fly än att fäkta och förlorar i genomsnitt hälften av sina byten till rovdjur som lejon eller hyenor. Dessutom blir cirka 90 % av gepardens ungar tagna av rovdjur under sina första veckor i livet, så trots att geparden är världens snabbaste djur så har den ingen problemfri vardag.

Tre olika typer av naturligt urval

Naturligt urval kan påverka en population på olika sätt i olika situationer.

Stabiliserande urval är när "medelmåttorna" selekteras, alltså individer med "medelegenskaper". Ett exempel är att människobarn som väger 3–4 kg har störst chans att överleva, medan ett mindre barn bland annat har sämre utvecklade lungor och större barn gör förlossningen svårare. Stabiliserande urval sker när miljön varit stabil en längre tid och arten stabiliserat sig med redan anpassade egenskaper.

Riktat urval är när en ovanlig egenskap börjar gynnas eftersom miljön hastigt förändras. Individerna med denna egenskap kommer att selekteras och arten kommer att förändras åt ett visst håll, och om ett antal generationer kommer arten se annorlunda. Ett exempel är hur giraffen fick sin långa hals ([ovan](#)). Ett annat exempel är antibiotikaresistenta bakterier.

Splittrande urval, vilket även kallas *divergerande urval*, är när "medelmåttorna" har sämst chans medan två ovanliga varianter klarar sig bättre. Ett exempel är huggormar i Sverige. De är antingen grå eller bruna med ett tydligt sicksackband, eller helsvarta. Mellantingen är ovanligt (grå/bruna utan sicksackmönster). Troligtvis är sicksackmönstrade bättre kamouflerade medan svarta värms mer av solen och kan vara aktivare. Splittrande urval kan leda till två nya arter ([s. 83](#)).

Sexuellt urval

Ovan nämnde vi att honor hos geparder och impalor har en tendens att välja hanar som ser starka ut. Denna typ av naturligt urval som individerna inom en art gör vid val av partner kallas *sexuellt urval*. Sexuellt urval finns alltså bara hos arter som har sexuell förökning.

Ofta är det honorna som väljer hanar med vissa attribut. Att välja stora och starka hanar ger deras gemensamma avkomma en bättre överlevnadschans då hanen exempelvis kan försvara boet, försvara revir, och hämta mat.

Andra attribut hos hanar som honor väljer kan te sig vara ett handikapp i övrigt. Detta kan ändå vara ett smart val, eftersom hanen bör vara livsduglig om den överlevt trots sitt handikapp.

Det kan även vara hanarna som väljer hona. Ofta kämpar de med varandra på ett eller annat sätt och den som vinner får välja hona. Hanar kan även kämpa på spermienivå. Valar producerar stora mängder sperma för att genom volym slåss mot andra hanars sperma inuti honan.



Bild: Impalan genomgår på grund av samevolution med geparden riktat urval, där de snabbaste impalorna selekteras. Impalan lever i Afrika och är en av alla de djurarter som även kallas *antilop*. Antilop är ett samlingsnamn på cirka 90 olika djurarter som nästan alla ingår i familjen slidhornsdjur. Dock räknas inte alla slidhornsdjur som antiloper, och vissa antiloper är mer släkt med getter och får än med varandra, vilket gör att termen antilop är väldigt brokig och svår att använda på rätt sätt. Impalan är ett kvickt och studsigt hjortdjur som i flykt kan komma upp i 90 km/h och göra 9 m långa hopp. Impalan räknades tidigare in i samma underfamilj som gasellantiloperna (nedan), men forskare fann att den var så pass annorlunda att placerades i en alldeles egen underfamilj.



Bild: *Amphistium paradoxum* representerar ofta utvecklingen från "vanliga" fiskar till plattfiskar. Plattfiskar är en grupp fiskar som kännetecknas av sin platta kropp och att ögonen hos den vuxna fisken finns på samma sida av kroppen. Detta gör att de kan ligga platt mot botten men ändå se med båda ögonen. Hos *Amphistium paradoxum*, som levde för cirka 50 miljoner år sedan, är denna utveckling halvfärdig, då ena ögat ligger vid toppen av huvudet. Det ska dock poängteras att *Amphistium paradoxum* som art ej var halvfärdig eller på något sätt oduglig, utan väl anpassad till sin dåvarande livsmiljö. Det är en vanlig missuppfattning att evolutionen har ett mål och syfte, och att vägen dit består av halvfärdiga arter. I verkligheten är evolutionen aldrig färdig, utan alla arter utvecklas hela tiden i den dynamiska naturen.

Livets historia

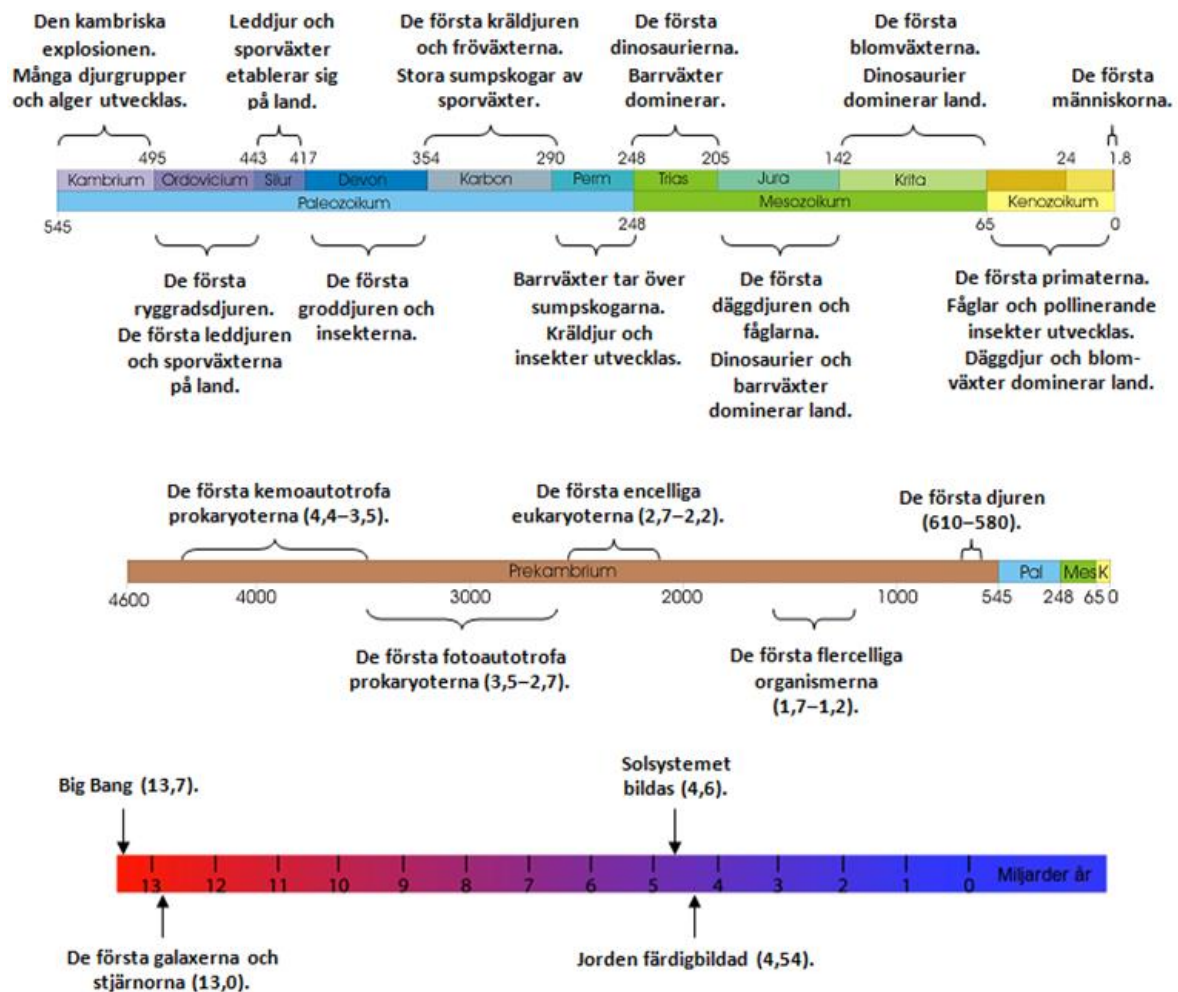


Bild: Utvecklingen av livet på jorden kan sammanfattas på dessa tre tidslinjer. Den nedersta tidslinjen spänner från 13,7 miljarder år sedan (Big Bang) till nutid. Den mittersta tidslinjen spänner från 4 600 miljoner år (4,6 miljarder år) sedan till nutid. Den översta tidslinjen spänner från 545 miljoner år (0,545 miljarder år) sedan till nutid. Notera namnen på tidsperioderna.

Prekambrium – Första livet

Man vet inte exakt när livet började på jorden, eftersom man inte hittat några fossil av det. Det är knappast troligt att man kommer att göra det heller, eftersom encelliga organismer sällan bildar fossil. Men sannolikt skedde livets uppkomst i samband med att jorden hade färdigbildats och fått en någorlunda stabil skorpa med hav. Då hamnar man i tidsspannet mellan 4,4 och 3,5 miljarder år sedan.

Men vad menas med det första livet? Jo, en av definitionerna för en levande organism är att det är någonting som har förmågan att föröka sig, och vid förökningen föra arvsanlag (någonting som innehåller information om organismens egenskaper) vidare. Allt liv idag har DNA (s. 97) som arvsanlag, vilket är en av sakerna som för misstankarna till att alla arter har samma anfader. Men denna anfader behöver inte ens ha varit en organism, såsom vi tänker oss en organism idag. Alla organismer idag består nämligen av minst en cell, men det är faktiskt rimligt att tro att det allra första livet endast var molekyllärt – molekyler som förökade sig. Detta kan dock ha skett i någon form av skyddad miljö, som i en bubbla eller droppe. Vilken molekyl som var först att reproducera sig själv vet man inte, men antagligen DNA, någon form av RNA (s. 98) eller ett protein (s. 99), vilka alla är nyckelingredienser för liv.

Prekambrium – Hur uppstod första livet?

Var uppstod det första livet? Det finns flera olika hypoteser om detta. Alla utgår från att det handlar om en spontan uppkomst av organiska molekyler ur oorganiska (s. 80).

Den första hypotesen är att livet uppstod i grunt vatten. Stanley Miller (dog 2007) gjorde på 50-talet ett känt experiment där han efterliknade de förhållanden som man tror rådde på jorden vid den här tiden. Han sände blixtrar och ultraviolett ljus genom en gasblandning som efterliknade atmosfären under prekambrium. I hans experiment, samt senare liknande, har man framställt alla byggstenar som behövs för DNA, RNA, proteiner och cellmembran. Man har med andra ord kunnat framställa alla nyckelingredienser till liv. Stanley Miller hade hypotesen att dessa organiska molekyler följde med regnet från atmosfären ner till jordytan. I sjöar, laguner eller strandkanter skulle koncentrationerna bli tillräckligt höga för att de spontant skulle organiseras till primitiva celler.

En annan hypotes är att livet uppstod i djuphavet. Denna teori, som kallas "järn-svavel-världen", utgår från att livet började vid heta källor på havets botten. Varma källor sprutade ut vatten med metalljoner, koldioxid, ammoniak och svavelväte från jordens inre som blandades med det kallare havsvattnet. Cykliska kemiska processer pågick här som till slut resulterade i bildandet av aminosyror, och då kanske även proteiner. De första "cellerna" skulle ha varit fettbubblor där de kemiska reaktionerna, eller ämnesomsättningen som denna teori talar om, skulle ha pågått. Ett stöd för denna teori är de kemoautotrofa (s. 81) arkeer (s. 92) som idag lever vid liknande platser.

Ännu en hypotes är att livet uppstod i sprickor i berggrunden. Ett stöd för denna teori är att det idag finns kemoautotrofa bakterier (s. 92) som inte kräver syre eller solljus, och som lever 3 500 m under markytan. En del får sin energi av vätgas och har koldioxid som kolkälla. Det är möjligt att enzymatiska reaktioner kunde ske vid dessa förhållanden. Enzymer (s. 98) består ofta av en metalljon i kärnan, och i berggrunden finns gott om dessa, vilka under högt tryck skulle kunna verka likt enzymer.

En fjärde hypotes är att livet uppstod vid komet- eller asteroidnedslagsplatser. Det är känt att organiska molekyler kan finnas i både kometer och asteroider. Det är därför möjligt att byggstenar till det första livet kom med dessa. Likt Millers experiment visade att byggstenarna till DNA, RNA och proteiner kunde bildas ur atmosfären har ett senare experiment visat att aminosyror kan bildas vid kollisionen av en komet eller asteroid på jorden. Dessa kometer och asteroider, som eventuellt skulle ha varit med att skapa liv på jorden, tros ha varit de som kolliderade med jorden under *Late Heavy Bombardment*.

En sista hypotes är att livet inte alls uppstod på jorden, utan i rymden någonstans, och fördes hit med en himlakropp.

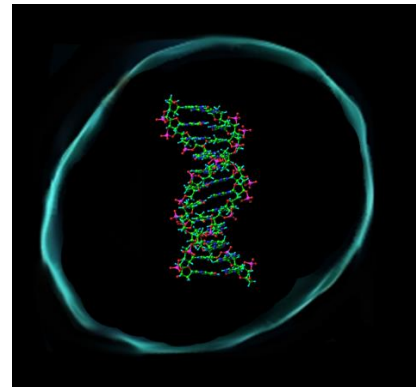


Bild: Schematisk bild över det första livet, som troligtvis endast bestod av molekyler som förökade sig i någon form av cell. Hade något liknande upptäckts idag är det oklart om det hade ansetts vara liv.

Prekambrium – De första kemoautotrofa prokaryoterna

Det finns inga fossil av dessa allra första organismer, men genom att jämföra hur alla dagens organismer ser ut kan man komma fram till att de inom kort måste ha utvecklats till kemoautotrofa prokaryoter, närmare



Bild: Någon gång runt tiden för *Late Heavy bombardment* uppstod de första prokaryoterna.

bestämt bakterier eller arkeer. Man vet dock inte om det var bakterierna eller arkeerna som utvecklades först, och därmed vilken organismgrupp som utvecklades från den andra. Troligtvis liknade de i alla fall till levnadssättet arkeer mer än bakterier. Arkeer lever nämligen ofta i extrema miljöer.

De äldsta bergarterna som har hittats är 3,8 miljarder år gamla. Detta stämmer överens med tidpunkten då *Late Heavy Bombardment* upphörde och jordskorpan kunde återbildas (s. 70). Det finns några fynd som kan vara äldre än så, vilka kan komma från delar av den trasiga jordskorpan som fanns under *Late Heavy Bombardment*. Om det fanns celler under den här tiden som kunde lämna fossil, har de förmodligen förstörts av all rörelse i berggrunden. I alla fall har inga hittats. Det man har funnit är grafit, en av grundämnets kols former, som misstänks kunna komma från några levande organismer.

Prekambrium – De första fotoautotrofa prokaryoterna

Efter en tid utvecklades fotosyntetiserande bakterier, fotoautotrofer (s. 81). Jämfört med kemoautotrofer har dessa en fördel på så sätt att solljus är en outtömlig energikälla. De första fotoautotrofernas fotosyntes bildade inte syrgas.

De äldsta *odiskutabla* bevisen för liv är just fossil av fotosyntetiserande bakterier, i form av så kallade stromatoliter. *Stromatoliter* är inte fossil av själva bakterierna, utan fossil av de högar av material som fastnade i de klubbiga trådkolonier de bildade på havsbotten. Som tur är finns det stromatoliter än idag, om än ovanliga, som man kan jämföra med. Dessa byggs av en viss typ av fotosyntetiserande och syrebildande bakterier som kallas cyanobakterier, och man tror att det även var cyanobakterier som gjorde de första stromatoliterna. De äldsta säkra fossilen av stromatoliter är cirka 2,7 miljarder år gamla. Lite mindre säkra fossil av stromatoliter är 3,5 miljarder år gamla.

De äldsta fynden av fossiliserade bakterier (ej i stromatoliter, utan i berglager), i alla fall de äldsta *odiskutabla*, är cirka 3,0 miljarder år gamla.

Prekambrium – Syrehalten stiger

Cyanobakterierna i stromatoliterna kan ha varit ansvariga för en stor förändring i jordens atmosfär. Cyanobakterier genererar nämligen syrgas som restprodukt i deras fotosyntes. De andra prokaryoterna som fanns på jorden vid den här tiden var nu i riskzonen, och det var endast de som utvecklade förmågan att använda syrgas i energiomsättningen som så småningom överlevde. Och de som gjorde det vann en till fördel. Energiomsättning med syre är effektivare på så sätt att den ger mer energi per vikt använt bränsle. Här började det naturliga urvalet verkligen visa sitt ansikte, och med tiden försvann de flesta organismer som inte använde syrgas. De organismer som använde syrgas i sin energimetabolism tros ha uppstått för 2–2,5 miljarder år sedan.

För små prokaryoter räckte den låga syrehalt som fanns på jorden för cirka 2,5 miljarder år sedan. Detta eftersom de har stor cellyta mot omgivningen, jämfört med cellvolym, som den kan ta upp syre genom. Om en cell skulle växa sig större, minskade däremot cellytan jämfört med cellvolymen, och cellens krav på energi och syrgas ökade. Därför krävdes det högre koncentration syrgas i atmosfären innan detta kunde ske. Eukaryoter (s. 84) kräver ännu mer syrgas än prokaryoter, vilket är en anledning till tiden det tog innan de utvecklades. Ännu större krav har flercelliga organismer, då en del av cellytan "försvinner" genom kontakt med de andra cellerna i organismen. När syrehalten var cirka 3 % av dagens halt uppstod eukaryoterna och när den var cirka 5 % uppstod flercellighet.

Syrehalten ökade långsamt men stadigt, men i övrigt förändrades ständigt förhållandena på jorden. Kontinentaldriften och vulkanisk aktivitet fanns alltid närvarande. Sedan träffades jorden ännu då och då av meteoriter, asteroider och kometer. Temperaturen på jorden förändrades också då och då, ofta på grund av förändringar i jordens omloppsbana runt solen eller förändringar av havsströmmar. Ibland förorsakade dessa faktorer massutdöenden.



Bild: Växande stromatoliter i ett naturreservat i Shark Bay, Australien.

Prekambrium – De första encelliga eukaryoterna

Prokaryoter, som för 3,0 miljarder år sedan alltså befolkade jorden, är enkla organismer. De består av celler utan specifika delar, såsom cellkärna. Deras DNA och övrigt innehåll ligger mer eller mindre utspritt inom cellen. Nästa evolutionära steg var encelliga organismer med specialiserade celldelar, kallade eukaryoter.

Hur den första cellkärnan uppstod är under mycket spekulation och ingen hypotes har ännu tillräckligt med bevis för att anses välgrundad. Men oavsett hur den uppstod kan den första cellen med cellkärna anses vara den första encelliga eukaryoten, samt den första enkla eukaryoten (s. 85).

De encelliga eukaryoterna som vi människor härstammar från, vilka kan ses

som ensam djurceller, bildades troligtvis genom att en eukaryot med cellkärna invaderades av en mindre prokaryot som kunde andas syrgas. Den mindre prokaryoten utvecklades sedan till den celldel som kallas mitokondrien (s. 96), som sköter celledningen i alla eukaryota celler.

Om denna djurcell sedan invaderades av en cyanobakterie, fick man en cell som dessutom kunde fotosyntetisera, med andra ord en ensam växtcell. Cyanobakterien utvecklades med tiden till kloroplasten (s. 96).

Det finns två starka bevis för denna teori om så kallad *endosymbios*, alltså att en organism börjar leva i symbios inuti en annan organism. Dels har mitokondrier dubbla membran, vilket resultatet blir om en prokaryot cell tas upp av en annan, och dels har de eget DNA. Det finns även idag en encellig organism, *Pelomyxa*, som saknar mitokondrier. I stället överlever den i symbios med bakterier som sköter andningen.

Man vet inte exakt när de första eukaryoterna uppstod. Teorierna varierar från mellan 2,7 miljarder år sedan till 1,4 miljarder år sedan. Just nu verkar det dock luta åt att de första eukaryoterna uppstod för 2,1 till 2,0 miljarder år sedan.

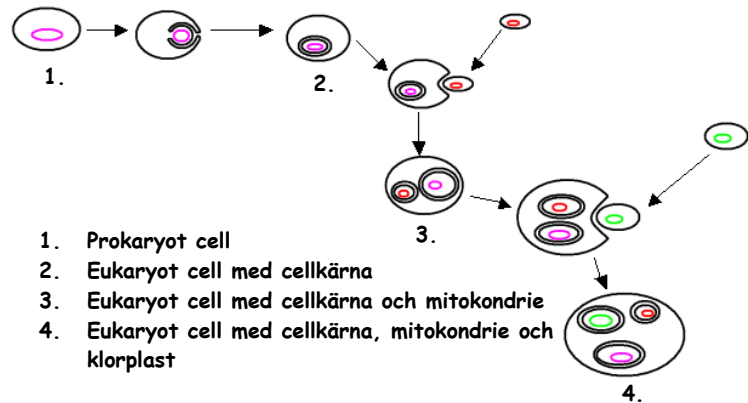


Bild: En modell över hur de tidiga eukaryoterna kan ha utvecklats. En prokaryot cell (1) utvecklade en cellkärna och blev en eukaryot cell (2). En sådan eukaryot cell invaderades sedan av en prokaryot som kunde andas syrgas, vilket blev till dess mitokondrie (3). Denna cell invaderades sedan av en cyanobakterie som kunde fotosyntetisera, vilken blev till dess kloroplast (4).

Prekambrium – De första flercelliga organismerna

De eukaryota encelliga organismerna utvecklades till de flercelliga organismerna, medan prokaryoterna än idag endast är encelliga. Flercellighet uppstod flera gånger oberoende av varandra och ledde till utvecklandet av de växter, svampar och djur som finns idag. Det äldsta fossilet av en flercellig organism är 1,7 miljarder år gammalt. Dessa celler var dock odifferentierade, vilket betyder att de inte än hade utvecklats till att bli specialiserade på olika saker (som till exempel att vara nervceller och muskelceller). Det äldsta fossilet av differentierade celler i en flercellig organism är av en rödalga och är 1,2 miljarder år gammalt.

Det är under debatt hur flercellighet först uppstod. En teori är att flercellighet uppstod genom symbios mellan flera encelliga organismer av olika arter. Med tiden skulle de bli så beroende av varandra att de inte skulle kunna leva ensamma. Till slut skulle deras DNA blandas och de skulle bli två sorters differentierade celler inom samma art. Problemet med denna teori är att man inte vet hur DNA:t skulle kunna blandas.

En annan teori är att en encellig organism formade inre membran runt sina multipla cellkärnor med DNA, och på så sätt blev flercellig. Denna teori stöds av att en del encelliga eukaryoter idag har flera cellkärnor.

Den tredje teorin är koloniteorin, vilken innebär att encelliga organismerna av samma art gick samman till en flercellig organism (jämfört med symbioteorin där organismerna var av olika arter). Stöd för den här teorin är att man närmast har sett en sådan sammanslutning ske bland flera arter. Hos en slemsvamp (*Dictyostelium*) har man sett att individer grupperar sig när det finns ont om mat. Denna grupp rör sig sedan tillsammans och cellerna blir också lite differentierade. Inom grönalgerna *Eudorina* och *Volvox* eller cyanobakterier finns också koloniala formationer med differentiering. Exempelvis är det bara vissa celler som förökar sig. Koloniteorin är kanske den som har starkast stöd idag.

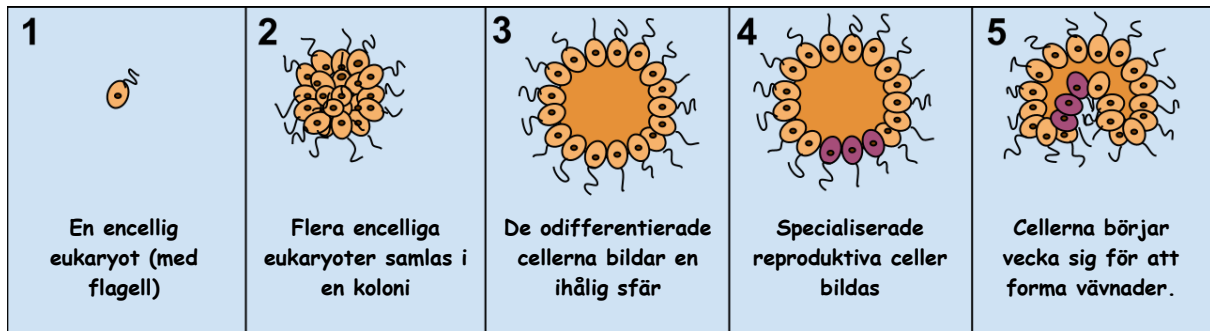


Bild: Koloniteorin är kanske den teori om flercellighetens uppkomst som har mest stöd idag. Enligt teorin gick flera encelliga organismer samman och bildade en flercellig organism. Bildserien ovan visar denna utveckling. När och hur den gemensamma förökningen skedde är dock fortfarande väldigt oklart.

Prekambrium – De första djuren

Djur karaktäriseras av att de är eukaryoter som någon gång under sitt liv har rörelseförmåga. Djur är även heterotrofa, vilket innebär att de är beroende av att äta andra döda eller levande organismer. De flesta djur har muskler, nervsystem och en inre mag-tarmkanal eller kroppshåla för nedbrytning av föda.

Enligt nya rön anses kammaneterna vara de första djuren på jorden. Totalt finns cirka 150 arter idag på jorden. Kammaneter liknar nässeldjuren men är ett eget fylum (Ctenophora). Denna hypotes baseras på genetisk analys gjord på Göteborgs universitet av alla nu levande djurgrupper, och ger ingen exakt uppgift om när de levde.

De äldsta fossilen av djur är cirka 580 miljoner år gamla, och kommer från den så kallade *ediacarafaunan*. Dessa djur är svåra att klassificera, och det är möjligt att de inte har några nu levande släktingar. Till utseendet liknar de dock maneter, koralldjur eller svampdjur, men det finns också en liten möjlighet att de var växter eller svampar. Tidsperioden *ediacara* (sent i prekambrium) kallades förr för *vendium* och ediacarafaunan kan därför även kallas *vendobionter*.



Bild: Kammaneterna kan ha varit de första djuren på jorden. Denna bild visar havskrusbär, en av tre arter kammaneter i svenska hav, som fångats av en röd brännmanet.

Kambrium (cirka 542–488 miljoner år sedan)

Tidsperioden ediacara var den sista delen av *prekambrium*, en stor sammanfattande tidsera som sträcker från att jorden bildades fram till för cirka 542 miljoner år sedan. Efter prekambrium kom tidseran *kambrium*. Det som karaktäriserar kambrium är att berglager från denna tidsålder innehåller mycket fossil av flercelliga organismer. Under kambrium började syrehalten öka upp till 20–30 % av dagens syrehalt, och i slutet av denna period fanns alla dagens djurfylum närvarande (ryggsträngsdjur, blötdjur, leddjur, nässeldjur, rundmaskar, plattmaskar, ringmaskar, tagghudingar m.m.). Denna snabba ökning av mångfald kallas den *kambriska explosionen*, och den skedde på bekostnad av ediacarafaunan som dog ut.

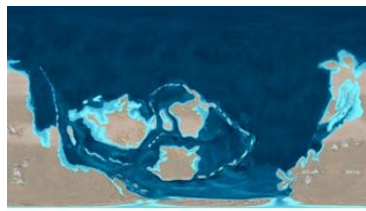


Bild: Man har hittat otroligt många fossil av trilobiter, och över 17 000 arter har identifierats. De varierar i längd från 1 mm till 72 cm, men vanligast 3–10 cm.

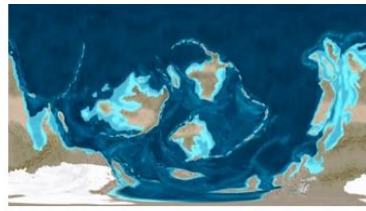
En trolig anledning till denna snabba diversifiering är att jorden innan kambrium var nedisad och nu började tina. Eventuellt gled landmassor isär och vulkanisk aktivitet frigjorde massor av koldioxid, vilket värmden jorden. Uppkomsten av predatorer kan också ha påskyndat evolutionen.

Några exempel på kända djur från kambrium är *Opabinia* (4–7 cm lång, med fem ögon och en egendomlig snabel som förmodligen användes för att söka föda på havsbotten), *Marrella* (2 cm eller mindre i längd, 24–26 kroppssegment med vardera två ben) och trilobiter. Trilobiter var en klass leddjur som utvecklades tidigt under kambrium och dog ut för cirka 250 miljoner år sedan. De hade ett kraftigt exoskelett vilket bevarades bra och bildade fina fossil.

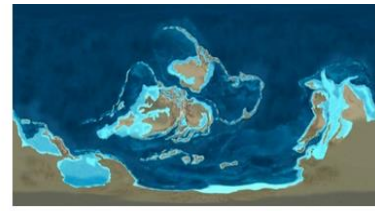
De enda flercelliga växterna på denna tid var alger.



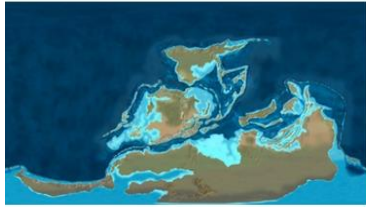
Kambrium



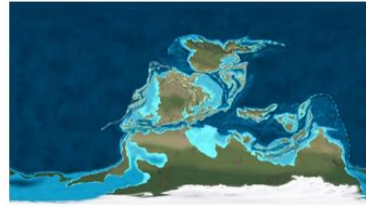
Ordovicium



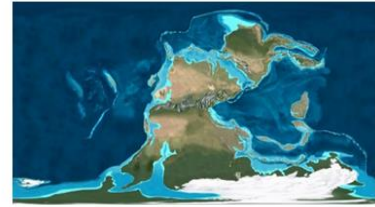
Silur



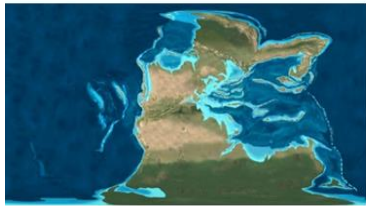
Devon



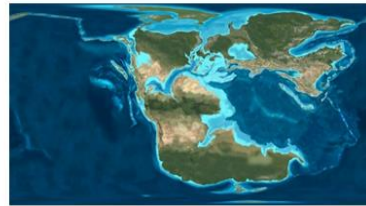
Karbon



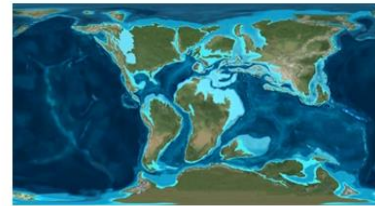
Perm



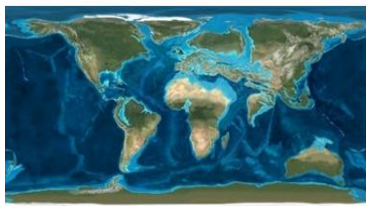
Trias



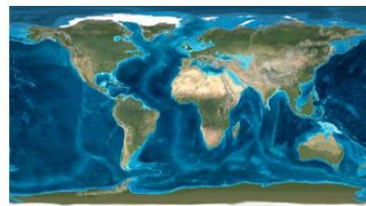
Jura



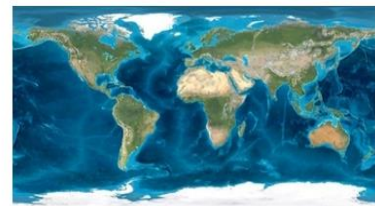
Krita



Paleogen



Neogen



Kvartär

Bild: På grund av litosfärplattornas rörelser (s. 73) har kontinenterna ständigt bytt skepnad under jordens historia. På bilderna kan vi se hur jordytan har förändrats under de senaste 542 miljoner åren (sedan kambrium). Kontinentaldriften är anledningen till att man kan hitta fossil som en gång fanns på helt andra breddgrader. Det är också anledningen till att man på land kan hitta fossil som en gång fanns på havsbotten. Notera på bilden hur exempelvis delar av Europa delvis legat under vatten för inte så länge sedan.

Ordovicium (cirka 488–443 miljoner år sedan)

Det fanns fortfarande inga flercelliga växter på land vid det här laget, endast i havet där det fanns gott om gröna alger. Alla djur levde också i havet, vid eller i havsbotten.

Koraller och bläckfiskar var vanliga. Lansettfiskar, en grupp ryggradsdjur, fanns tidigt under ordovicium.

De första ryggradsdjuren uppstod för cirka 480–470 miljoner år sedan i form av käklösa fiskar. Några av dessa ryggradsdjur var rundmunnarna, fiskar med rund sugmun (varav vilka nejonögon och pirålar finns idag).

I slutet av ordovicium skedde en stor nedisning av den stora kontinenten Gondwana, och glaciärerna som bildades använde upp havsvattnet. Kombinationen av kallare klimat och lägre havsnivå var förmodligen vad som ledde till att 75 % av alla djurarter dog ut i slutet av ordovicium.



Bild: Ett av de första ryggradsdjuren var *Arandaspis prionotolepis*. Det var en rundmun med beniga skyddsplattor på kroppen – en så kallad pansarrundmun. Den var cirka 15 cm lång.

Silur (443–417 miljoner år sedan)

Det marina livet återhämtade sig efter det stora utdöendet i slutet av ordovicium.

För cirka 420 miljoner år utvecklades de första benfiskarna. Dessa är ryggradsdjur med ett starkt förbenat skelett och utgör idag den största gruppen av fiskar. Dessa första benfiskar kunde simma på riktigt, till skillnad från att guppa längs havsbotten och leta mat likt rundmunnarna, och intog nu den stora havsmassan. Djurgruppen utvecklades snabbt till en stor mängd arter. Det är möjligt att de första benfiskarna till viss del liknade sardiner. De första korallreven uppstod också under silur.

En grupp kända djur som levde under silur var sjöskorpionerna, förmodligen de största leddjuren som någonsin levte, upp till 2 m långa.

Under silur tycks ozonskiktet blivit lika tätt som idag. Detta eftersom syrehalten i atmosfären blivit tillräcklig hög för att syrgas skulle reagera med syrgas i tillräcklig mängd och bilda ozon. Detta gjorde att mindre UV-strålning nådde jordytan. För första gången intog växter och djur land.

Cooksonia är en landväxt som man har hittat väl bevarade fossil av. Den var förmodligen inte den första landväxten, men är det bäst bevarade och det säkraste beviset. De äldsta fossilen av *Cooksonia* är cirka 425 miljoner år gamla.

Av djuren var det de ryggradslösa djuren som invaderade land först, i form av spindeldjur och mångfotingar (båda är leddjur). Detta skedde sent under silur. De äldsta klara bevisen för leddjur på land är cirka 415 miljoner år gamla.



Bild: *Cooksonia* var upp till 50 cm höga, hade kärl, men saknade rötter och blad. De förökade sig med sporer.

Devon (cirka 417–354 miljoner år sedan)

Under devon skedde stora evolutionära framsteg, bland annat utvecklades alla fiskgrupper som finns idag. Det fanns gott om korallrev och blötdjur (bläckfiskar, musslor, snäckor m.m.).

På land spred sig växterna längre upp, från stränderna till torrare områden. De utvecklade djupa rötter som bidrog till att vittringen av berget gick snabbare och den första riktiga jorden bildades. Under devon fanns det gott om mossor, lummeväxter, fräkenväxter och andra ormbunksväxter. Några av dem växte sig stora som träd.

Under devon uppstod den första insekten. Det äldsta fossilet av en insekt är av arten *Rhyniognatha hirsti*, och man tror att den eventuellt kan ha haft vingar.

Ichthyostega levde i slutet av devon, för cirka 367–362,5 miljoner år sedan, och var ett av de första ryggradsdjuren på land. Denna art, tillsammans med andra liknande, utvecklades genom att benfiskars fenor förändrades till ben. Dessa första landlevande ryggradsdjur var också de första groddjuren. Groddjur är nämligen djur som har ett vattenlevande yngelstadie men som sedan kan leva på land, vilket var fallet med dessa djur och kommande groddjur. Men även om ryggradsdjuren genom detta fortfarande delvis var bundna till vattnet, hade de nu funnit en ny miljö – land. *Ichthyostega* var ganska stor, närmare 1,5 m lång.

Ryggradsdjuren var som sagt inte de första organismerna på land. Växterna hade vid denna tid redan intagit den nya miljön. Likaså fanns också redan ryggradslösa djur (djur som inte är ryggradsdjur) här, i form av spindeldjur och mångfotingar. Dessa utgjorde dock troligtvis inte föda för de första ryggradsdjuren på land, då de enkelt kunde fly från dessa långsamma vidunder.

Runt 75 % av alla arter i havet dog ut i slutet av Devon. Man vet inte varför, men kratrar från två meteoriter som kolliderade med jorden under den här tiden har hittats.



Bild: *Ichthyostega* var ett av de första ryggradsdjuren på land. Dessa djur kallas ofta "fyrbenta fiskar". Evolutionen av ben för förflyttning på land var ett stort steg. Men målet var kanske inte att erövra land, utan att kunna stanna i vattnet. Benen användes som förflyttning från en vattensamling till en annan. En annan teori är att de första landlevande ryggradsdjuren utvecklades för att utnyttja den föda (uppspolade maneter m.m.) som fastnade på land vid ebb i tidvattenszoner.

Karbon (cirka 354–290 miljoner år sedan)

Under karbon bildades stora glaciärer på delar av land, men stora skogar växte i de tropiska områdena. Skogarna utgjordes främst av ormbunksväxter och fräkenväxter. Namnet karbon kommer från att mycket av det kol vi använder idag består av dessa träd. Under karbon fanns mycket grunda vatten där växter inte bröts ned.

Djurlivet på land förändrades mycket under karbon. Under den här tiden vet man att insekter med vingar fanns, samt stora groddjur. Groddjuren hade som sagt inte riktigt brutit förbindelsen med havet i och med deras vattenlevande larvstadium. Men för cirka 320 till 310 miljoner år sedan utvecklade en grupp av groddjuren förmågan att lägga ägg som överlevde och kläcktes på land, samt som resulterade i helt landlevande ungar. Detta är en karaktär för kräldjur, och de första kräldjuren var nu här.

Perm (cirka 290–248 miljoner år sedan)

Under Perm kolliderade samtliga kontinenter till en superkontinent kallad Pangea. Detta resulterade i kraftig vulkanisk aktivitet och att stora landområden täcktes av lava. Vulkanutbrott skapade så mycket aska att solljuset blockerades och temperaturen sjönk, vilket resulterade i de kanske största glaciärerna under jordens historia.

I slutet av Perm fanns det fler kräldjur än groddjur. En gren av reptilerna vek av, den gren som skulle utvecklas till däggdjuren.

Under Perm fanns stora skogar av barrträd.

Djur- och växtlivet klarade sig bra under Perm, ända fram till slutet. Kraftigt lavautflöde i havet använde upp syrehalten i det. Det förgiftade havsvattnet nådde sedan ytan, där mängder av koldioxid och svavelväte släpptes ut i atmosfären. Grunda hav försvann. Detta, tillsammans med ett stort meteoritnedslag i dagens Australien, kan ha varit orsaken till att 90–95 % av alla arter i havet och 70 % av alla arter på land dog ut. Så mycket som 99,5 % av alla individer kan ha dött.

Trias (cirka 248–206 miljoner år sedan)

De arter som överlevde Perm fann sig själva i en ganska tom värld. Men klimatet blev varmare och glaciärerna smälte. Det bildades inlandshav som var grunda och varma. Kräldjuren utvecklades till många arter och de första dinosaurierna kom. Dinosaurierna var kräldjur med en viss kraniestruktur, och är välkända för sin storlek (även om många faktiskt var små).

De dominerande landväxterna blev nu fröväxter, såsom barrväxter och ormbunksväxter med frön.

I slutet av trias skedde ännu ett massutdöende, kanske beroende av en meteorit som slog ner i nuvarande Quebec, och någonstans runt 65 % av alla arter dog ut.



Bild: Ett av de första kräldjuren var *Casineria*, som var 15 cm lång och åt insekter. Den hade klor, vilket var nytt för ryggradsdjuren och något som hänger ihop med kräldjurens speciella fjäll.



Bild: Man har beräknat att 57 % av alla familjer och 83 % av alla släkter dog ut i slutet av Perm, och därmed också en stor del av jordens mångfald.

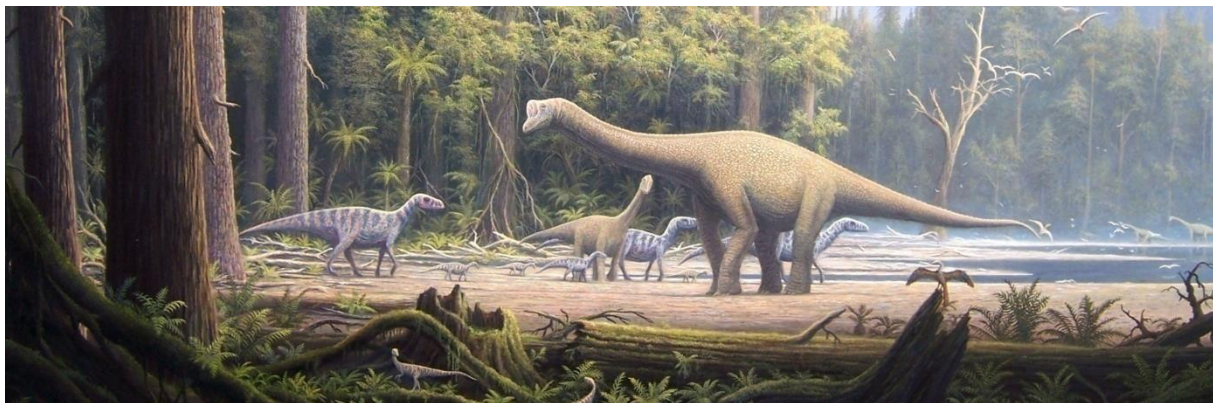


Bild: Dinosaurierna dominerade jorden under trias, jura och krita – hela 183 miljoner år. Fåglarna är deras enda levande ättlingar. De utvecklades inte, vilket man skulle kunna tro, från de flygande kräldjuren *pterosaurierna*, utan från tvåbenta dinosaurier.

Jura (cirka 206–144 miljoner år sedan)

Kräldjuren fortsatte att härska på jorden under jura. De första salamandrarna och ödlorna kom. Dinosaurierna utvecklades i två generella grupper; tvåfotade rovdjur och fyrfotade växtätare. De första flygande kräldjuren, *pterosaurierna*, kom. Dessa var de första flygande ryggradsdjuren.

Det fanns dock en grupp av kräldjuren som utvecklades åt ett annat håll. Under trias och jura utvecklades dessa stegvis från kräldjur till däggdjur. Från jura har man funnit flera fossil av djur som kan karaktäriseras som däggdjur. Däggdjuren kan ses som ännu bättre anpassade till land än kräldjuren, eftersom de är jämnvarma. Detta gör att de kan bosätta sig på både varma och kalla platser. De växelvarma kräldjuren var beroende av varmare temperaturer, då kyla gjorde dem kalla och inaktiva. Dock hade däggdjuren vid denna tid ingen chans att konkurrera mot dinosaurierna. De var små och gnagarlika, var aktiva på natten och åt mest insekter och mjuka växtdelar.

Någon gång under jura utvecklades även de första fåglarna från tvåbenta landlevande dinosaurier. *Archaeopteryx lithographica* kan ha varit den "felande länken" mellan dem, eller är i alla fall en nära släkting till den. Den levde i vad som nu är södra Tyskland för cirka 140 miljoner år sedan.

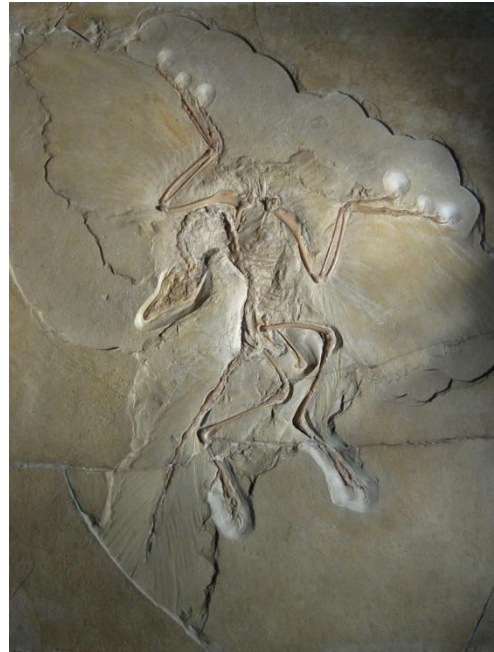


Bild: Man har hittat 11 fossil av *Archaeopteryx lithographica* och några av dem är riktigt välbevarade. Till form och storlek liknade den skatan. Den hade fågelkaraktärer såsom näbb och fjädrar, men även kräldjurskaraktärer såsom tänder, svans och klor på vingarna.

Krita (cirka 144–65 miljoner år sedan)

Dinosaurierna fortsatte att regera på jorden, men även andra djurgrupper hade det bra. Jorden var varm och fuktig, både på land och i havet. De första ormarna kom. Däggdjuren diversifierades till fler grupper, i huvudsak små och rättliknande. *Tyrannosaurus rex* levde under krita. Fossil har endast hittats som är mellan 67–65,5 miljoner år gamla.

Under krita uppstod de första blomväxterna. Blomväxterna skulle komma att dominera bland landväxterna i framtiden, mycket tack vare deras samevolution med insekterna.

Krita avslutas med ett nytt massutdöende, förmodligen på grund av en meteor som slog ned i närheten av Mexiko. Det verkar som att i stort sett alla landdjur som vägde över 25 kg dog ut. Många insektsarter utrot också, kanske för att växterna (deras mat) blev mindre till storlek och färre i antal.

Totalt har 700 dinosauriearter identifierats. Runt två tredjedelar av dem var växtätare.

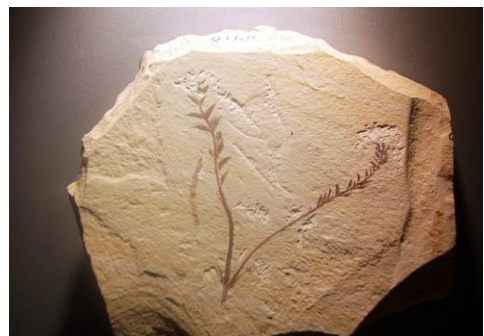


Bild: Ett av de äldsta fossilen av blomväxter är av *Archaeofructus*, vilket är 125 miljoner år gammalt.



Bild: Ett av de första däggdjuren var *Pseudotribos robustus*. Det äldsta fossillet av denna art är 165 miljoner år gammalt.

Paleogen (cirka 65–23 miljoner år sedan)

Paleogen karaktäriseras främst av däggdjurens evolution. Från att ha varit små djur som levde gömda från dinosaurierna blev vissa av dem stora och dominerade landmassorna, medan andra började leva i haven. Under krita levde däggdjuren på insekter eller mjuka växtdelar, och det fortsatte en del med, men en del stora däggdjur började äta andra däggdjur. Vissa däggdjur började till och med flyga, nämligen fladdermössen. Fåglarna utvecklades också mycket och började likna dagens arter. Förutom däggdjurens och fåglarnas utveckling förblev de andra grenarna i livets träd relativt oförändrade. Dock tog blomväxterna över som den dominerande växtgruppen, även om barrväxterna var vanliga i kallare områden.

Primater är däggdjur anpassade till att leva i träd. De har karaktäristiska kroppar med bland annat nyckelben, mycket rörliga axelleder, motsatta tummar och framtåtriktade ögon som ger bra avståndsbedömning. Den första primaten tros ha uppkommit runt tiden för dinosauriernas utdöende, för 65 miljoner år sedan.

Under paleogen och neogen bildades Alpenna och Himalaya.

Neogen (cirka 23–2,6 miljoner år sedan)

Precis som under paleogen var det främst däggdjuren och fåglarna som evolverade, medan andra djurgrupper förblev relativt oförändrade. I haven kom de moderna hajarna.

Under neogen utvecklades den första människoapan. Människoapor är en grupp primater som idag består av schimpanser (två arter), gorillor (två arter), orangutanger (två arter) och människa (en art). Alla dessa arter har samma förfader, den första människoapan. Denna levde för cirka 14 miljoner år sedan.

Kvartär (cirka 2,6–0 miljoner år sedan)

Kvartär kallas den senaste tidseran, och det är under den här tiden som människan, så som vi skulle känna igen den, och dess närmaste släktingar kom. Under kvartär har en hel del nedisningar skett.

Den första primaten gav upphov till minst två arter. Den ena arten härstammar orangutangerna ifrån och den andra arten härstammar människa, gorillor och schimpanser ifrån. Troligtvis avvek gorillornas förfader först från vår sida av släktträdet, och schimpansernas sedan. Detta skedde för mellan åtta och fyra miljoner år sedan. Kvar fanns den art vars enda levande barnbarnsbarnsbarn är vi – människan. Och för cirka 250 000 år sedan, efter att denna art förändrats till flera olika arter av vilka alla utom vi har dött ut (bland annat *Homo erectus*), var det färdigt – *Homo sapiens* hade utvecklats. Det mesta tyder på att *Homo sapiens* uppstod i Afrika och därifrån spred sig över jordklotet. Det finns dock mycket osäkerheter när det kommer till människans evolution.



Bild: Det är lätt att missta sig och tro att människan är kronan på verket efter miljarder år av naturligt urval. Men då ska man komma ihåg att alla andra arter som finns på jorden har en lika lång evolutionär historia, fast med andra förfäder. Kanske är de mest framgångsrika arterna de som har förändrats minst, som till exempel dagens bakterier eller benfiskar.

Människan är dock på många sätt den mest komplexa arten på jorden.

Denna vackra men sorgliga bild föreställer ett mänskligt foster som togs ut tillsammans med livmodern hos en kvinna som drabbats av cancer.



Bild: *Plesiadapis*, som levde för cirka 58 miljoner år sedan är det äldsta kända fossila primatsläktet. *Plesiadapis* tros ha uppkommit i Nordamerika, men sedan vandrat över till Europa på en landbrygga via Grönland (vid det här laget i jordens historia hade kontinenterna börjat få sina nuvarande former och positioner). Man vet inte mycket om *Plesiadapis* liv, men den tros ha levt både i träden och på marken, samt ätit lite av varje.



Bild: Exakt vilken art som är människoapornas gemensamma förfader vem man inte, men den liknade troligtvis *Proconsul* (en av de primater som levde för 14 miljoner år sedan).

Kemi

Kemi är vetenskapen om materias uppbyggnad, egenskaper och omvandlingar. *Materia* är allting som har massa. Att något har massa kan påvisas på olika sätt. Här på jorden kan vi väga materia på en våg. I rymden skulle vi kunna putta på materia och känna motstånd.

Dock studerar kemister generellt inte materia på en mindre skala än atomkärnor och elektroner. När det är dags att studera atomkärnors beståndsdelar (elektroner tycks inte ha beståndsdelar) eller andra fenomen på denna mindre skala, börjar man röra sig inom fysikens värld. Inom kemi studerar man också endast materia bestående av atomer. Materia bestående av exempelvis neutriner, eller mörk materia, är även det områden för fysiker.

Kemi delas in i mindre delar, så kallade discipliner, inom vilka man studerar olika aspekter av materia. Genom att titta på de olika disciplinerna får man lättare en bild av vad kemi innebär. Det finns inget bestämt sätt att dela in kemi i discipliner, men denna variant är en av de vanligare.

- **Analytisk kemi** = Vetenskapen om att separera ut, identifiera och väga samt mäta beståndsdelarna i materia.
- **Organisk kemi** = Vetenskapen om organiska ämnen (s. 80).
- **Oorganisk kemi** = Vetenskapen om oorganiska ämnen (s. 80).
- **Biokemi** = Vetenskapen om uppbyggnad, egenskaper och omvandlingar hos materian i levande organismer.
- **Fysikalisk kemi** = Vetenskapen om hur materia styrs av naturlagar.

För pedagogiska ändamål kommer vi *inte* att titta på de olika disciplinerna inom kemi var för sig, så som vi gjort under de övriga naturvetenskaperna, utan vi kommer att titta på grundläggande kemi som ej tillhör någon specifik disciplin.

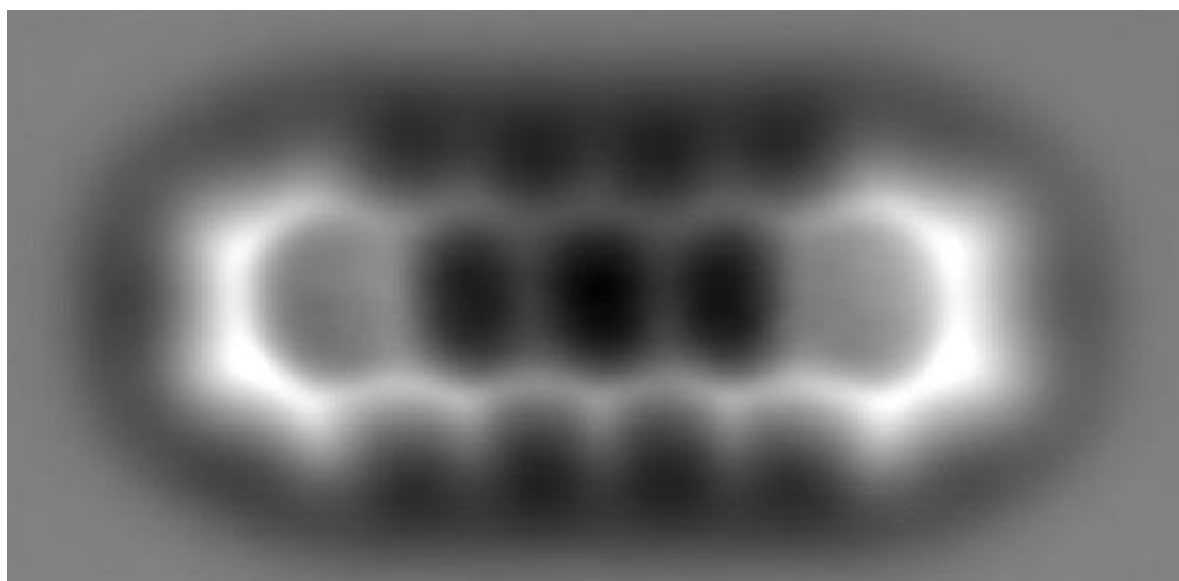


Bild: I augusti 2009 tog forskare på IBM den första bilden av en enda molekyl. Bilden togs med hjälp av svepprobmikroskopi, vilket går ut på att låta en spets tjock som en atom löpa över molekylen och registrera de elektromagnetiska krafter som uppstår. Detta kan sedan översättas till en bild med hjälp av en dator. Detta är dock problemfyllt eftersom spetsen interagerar med molekylen likt en magnet interagerar med en annan magnet. Den kan både fastna på och stöta bort molekylen, vilket gör det omöjligt att få fram en bild. Detta löste man genom att sätta en kolatom följt av en syreatom längst ut på spetsen, vilket gjorde att spetsen interagerade lagom lite med molekylen. Ett annat problem är att enskilda molekyler vibrerar kraftigt. Detta löste man genom att kyla ner molekylen till $-268\text{ }^{\circ}\text{C}$. Att andra molekyler, såsom DNA, inte har fotograferats har med sådana här praktiska problem att göra.

Molekylen på bilden heter pentacen. Ringarna utgörs av kolatomer, sex i varje ring. "Utskotten" från ringarna är enskilda väteatomer. Bindningarna mellan atomerna består av elektroner som delas mellan dem.

Atomen

Inom kemi studeras materia bestående av atomer. Denna typ av materia är den som vi stöter på hela tiden i vårt vardagliga liv. Jorden är, till skillnad från stora delar av universum, ett väldigt atomtätt område. Atmosfären, haven och marken består av atomer. Notera dock att det finns andra typer av materia, vilka vi kommer att beröra senare (s. 138).

Hur ser en atom ut?

Ingen har någonsin sett en atom med sina egna ögon. En enskild atom är nämligen för liten för att direkt uppfattas med synligt ljus, vilket är sättet vi människor ser på. Däremot är det möjligt, att med hjälp av speciella mikroskop, skapa datorgenererade bilder av atomer.

En atom består av en kärna och kringliggande elektroner. En atom kan liknas vid ett litet solsystem, där kärnan är solen och elektronerna är planeterna. På övre bilden syns en heliumatom. Detta är den klassiska "skolmodellen" av en atom, vilken är väldigt funktionell, men det finns flera fel med den.

Det stämmer att kärnan är väldigt liten jämfört med hela atomens storlek, precis som solen är jämfört med hela solsystemet. Diametern på hela atomen är 23 000–145 000 gånger större än diametern på atomkärnan, beroende på vilken atom vi pratar om.

Däremot stämmer det inte att elektronerna ligger en och en i bestämda omloppsbanor runt kärnan. En elektron är en elementarpartikel (s. 138), alltså en minsta entitet som inte går att dela i mindre beståndsdelar. Detta innebär att den, likt alla andra elementarpartiklar, har väldigt märkliga egenskaper. I vissa situationer beter sig elektronen som en partikel, oändligt liten och med en viss position. I andra situationer beter sig elektronen som en våg, utspridd över ett större område, faktiskt över hela atomen. Generellt är det så att, så länge elektronen inte observeras, uppvisar den vågegenskaper. Men när den observeras, så hittar man den på en viss plats, alltså övergår den till att uppvisa partikelegenskaper. Ett bra sätt att tänka blir då att föreställa sig en elektron som ett suddigt moln runt kärnan. På den nedre bilden syns återigen en heliumatom, men här med ett elektronmoln runt kärnan i stället för ett elektronskal.

I varje sådant suddigt moln kan det finnas två elektroner. Man säger att dessa två elektroner ligger på samma *energinivå*. Ett elektronmoln, med en eller två elektroner i sig, har olika form och olika avstånd från kärnan beroende på vilken energinivå molnet har. Ju färre elektroner en atom har, ju närmare kärnan är de. Elektronerna fylls så att säga på inifrån och ut. En väteatom har endast en elektron. Den finns i ett klotformat moln nära kärnan. En heliumatom har två elektroner. Dessa finns i samma klotformade moln nära kärnan (bilden). En litiumatom har tre elektroner. Två finns i det klotformade molnet nära kärnan, vilket nu är fullt, och den tredje i ett klotformat moln längre ut från kärnan. Och så fortsätter det, med en del väldigt intressanta molninformationer.

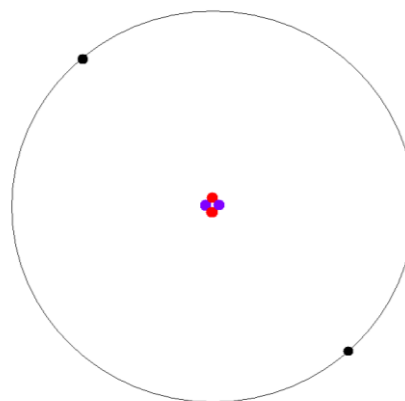
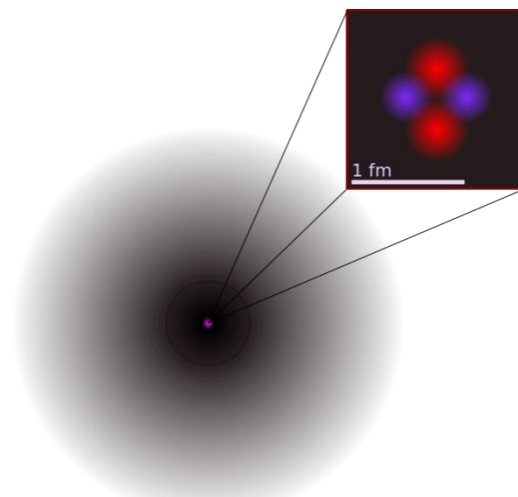


Bild: Den klassiska skolmodellen av en atom.



$$1 \text{ Å} = 100,000 \text{ fm}$$

Bild: Den moderna atommodellen. Denna är baserad på kvantfysiken (s. 162), vilken bland annat säger att en elektron inte befinner sig på en bestämd plats.

Efter denna inledning, med inslag av kvantfysik (s. 162), kommer vi att övergå till den vanliga "skolmodellen" av en atom, liknande ett solsystem. Anledningen till det, är att det är mycket lättare att beskriva hur atomer sitter ihop och reagerar med varandra. Elektronerna är i denna modell finns samlade i omloppsbanor kallade *elektronskal*. Varje elektronskal innehåller alla de elektroner som befinner sig i moln på ett visst avstånd från kärnan.

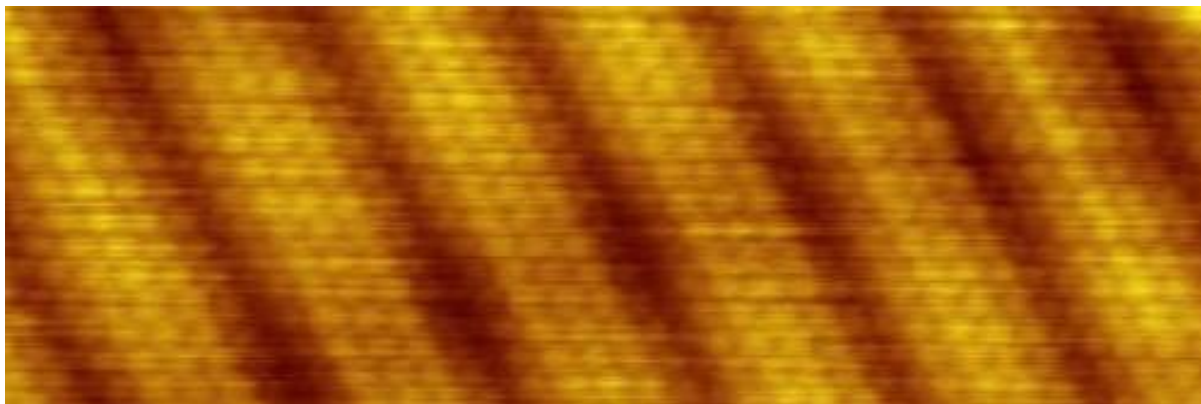


Bild: Modeller i all ära, men hur ser en atom egentligen ut? På denna bild tagen av ett sveptunnelmikroskop syns en yta av guld, och de guldatomer som utgör denna yta. Varje atom syns som ett klot. Det som syns på bilden är atomens yttersta elektroner. Innanför dessa yttersta atomer finns många fler elektroner (en guldatom har 79 elektroner) och längst inne en liten atomkärna.

Atomens uppbyggnad

Protoner, neutroner och elektroner

En atom består av *protoner*, *neutroner* och *elektroner*. Protoner är positivt laddade, neutroner är neutrala och elektroner är negativt laddade. Protonens positiva laddning är lika stor, men omvänd, som elektronens negativa laddning.

Protoner och neutroner utgör kärnan. Elektronerna finns runt kärnan. De negativa elektronerna attraheras av de positiva protonerna i kärnan och på så sätt hålls atomen samman. Neutronerna i kärnan har en annan funktion. De klämmer sig in mellan protonerna för att dessa, på grund av att de alla är positivt laddade, inte ska stöta ifrån varandra så att kärnan faller sönder.

Det finns 118 olika atomer som vi känner till. Det som avgör vilken typ av atom det är, är antalet protoner i kärnan. Finns det en proton i kärnan är det en väteatom. Finns det två protoner är det en heliumatom (bilden), och så vidare. Den tyngsta atomen, ununoctium, har 118 protoner. Antalet protoner i kärnan är detsamma som *atomnumret*.

I en atom finns även alltid lika många elektroner som protoner. En viss typ av atom innehåller alltså ett visst antal protoner och lika många elektroner. Antalet neutroner i kärnan kan variera, men är i regel lika många eller fler än protonerna. Ett av undantagen är väteatomen, som ofta inte innehåller någon neutron alls.

Neutroner och protoner är lika stora och väger lika mycket. Elektronen har endast 1/2 000 av en protons eller neutrons massa. Medan en elektron är en elementarpartikel, vilket innebär att man inte kunnat se att den i sin tur består av mindre beståndsdelar, är protoner och neutroner sammansatta av *kvarkar*. Varje proton och neutron består av tre kvarkar. Kvarkar är, precis som elektroner, elementarpartiklar. Ibland beskrivs en atom som att den består av kvarkar och elektroner, vilket alltså är helt korrekt.

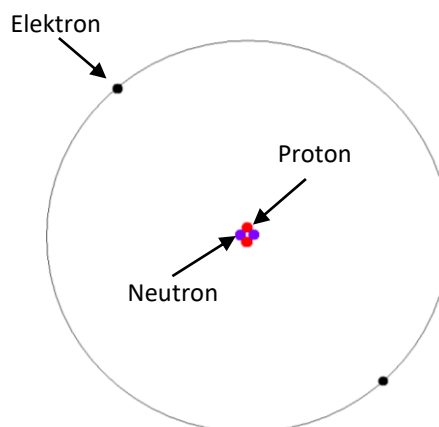


Bild: Atomens beståndsdelar.

Elektronskal

Elektronerna runt atomkärnan är alltså, i "skolmodellen", fördelade i skal, vilka generellt fylls på inifrån ju större atomen är (denna regel har många undantag bland grundämnen med fler än 18 protoner). Väteatomen, som endast har en elektron, har sin elektron i det innersta elektronskalet – *K-skalet*. Heliumatomen har båda sina två elektroner i K-skalet. Sedan är K-skalet fullt och litium, som har tre elektroner, har två elektroner i K-skalet och en elektron i *L-skalet*. L-skalet kan rymma åtta elektroner. Därefter följer *M-skalet* som kan rymma 18 elektroner, *N-skalet* som kan rymma och 32 elektroner, *O-skalet* som kan rymma 32 elektroner, *P-skalet* som kan rymma 18 elektroner, samt *Q-skalet* som kan rymma 8 elektroner.

Isotoper

Medan antalet protoner och elektroner i exempelvis en väteatom alltid är detsamma, en av varje, kan antalet neutroner i kärnan alltid variera. Väteatomen har man hittat tre olika varianter av i naturen. Den första varianten av väteatomen innehåller inte någon neutron alls. Denna variant kallas *väte-1*, vilket betyder att den innehåller en kärnpartikel (endast en proton och ingen neutron). Sedan finns en variant av väteatomen som innehåller en neutron (*väte-2*), och en som innehåller två neutroner (*väte-3*). Dessa olika varianter av atomer, med samma antal protoner med olika antal neutroner, kallas *isotoper*. Det finns alltså tre isotoper av väte.

Atomers massa, antal och storlek

Eftersom atomer är så små är vanliga mått inte särskilt användbara. Atomens massa, *atommassan*, mäts i *unified mass unit (u)*, där $1\text{ u} =$ en tolfedel av massan hos en kol-12-atom i vila.

Antal atomer brukar man inte mäta i stycken, utan i *mol*, där $1\text{ mol} = 6 \times 10^{23}$ (sekhundratusen triljoner). I stället för att alltså säga "trehundratusen triljoner kolatomer", kan man säga "en halv mol kolatomer".

Mängden 1 mol av en sorts atomer väger i gram lika mycket som en av dessa atomer väger i u. Alltså, eftersom en kol-12-atom väger 12 u, väger 1 mol kolatomer 12 g. Det var så man räknade ut vad mol skulle vara. En mol atomer upptar olika stor volym beroende på vilken typ av atomer det är och i vilket tillstånd de är. I en badboll, som innehåller de atomer som utgör luft, finns ungefär 1 mol atomer. Det finns även ungefär 1 mol atomer i en basketboll, eftersom atomerna i luft här pressats närmare varandra. 1 mol kolatomer, vilka sitter ihop i en kolbit, fyller en volym av några kubikcentimeter.

En neutron eller proton väger $1,7 \times 10^{-24}\text{ g}$ och en elektron $9,1 \times 10^{-28}\text{ g}$.

Radien hos en atom (dock svår gräns att sätta eftersom elektronerna beter sig som vågor) varierar mellan 30 och 300 *pikometer* ($1\text{ pm} = 10^{-12}\text{ m}$), eller mellan 0,3 och 3 *ångström* ($1\text{ Å} = 10^{-10}\text{ m}$). För en "medelatom" med radien 100 pm krävs en miljard (1×10^9) stycken atomer i rad för att bilda en 1 mm lång rad.

Grundämnen

En viss typ av atomer utgör ett *grundämne*. En samling väteatomer utgör grundämnet väte, och en samling kolatomer utgör grundämnet kol. Eftersom det finns 118 olika atomer finns det också 118 olika grundämnen. Ibland används begreppet *grundämne* även om en enskild atom, exempelvis "denna atom är helium" i stället för "denna atom är en heliumatom".

Grundämnet syre, som alltså består av syreatomer, är ett av många grundämnen som faktiskt existerar i flera varianter. Hur går detta till? Jo, den variant av grundämnet syre som kallas *syrgas* består av syreatomer som sitter bundna till varandra i par, medan den variant av grundämnet syre som kallas *ozon* består av syreatomer som sitter bundna till varandra i tripletter. Ett annat exempel är grundämnet kol. Den variant av grundämnet kol som kallas *grafit* består av kolatomer där varje kolatom binder till tre andra kolatomer. Den variant av grundämnet kol som kallas *diamant* består å andra sidan av kolatomer där varje kolatom binder till fyra andra kolatomer. Dessa grundämnesvarianter, vars skillnad är att atomerna sitter bundna till varandra på olika sätt, kallas *allotroper*.

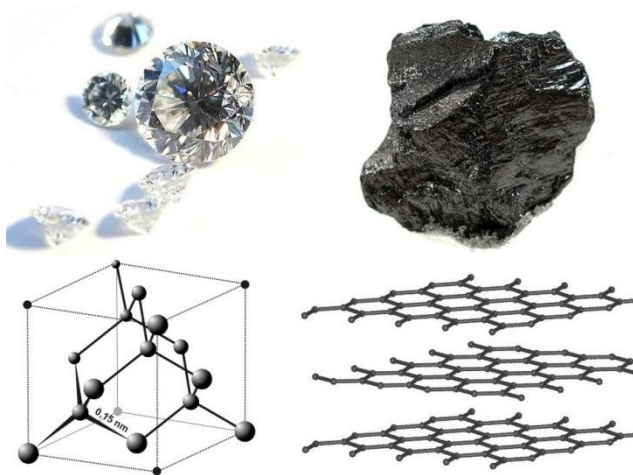


Bild: Två varianter (allotroper) av grundämnet kol - diamant och grafrit. I diamant binder varje kolatom till fyra andra kolatomer. Det är denna stabila konstruktion som gör diamant till världens hårdaste ämne.

Periodiska systemet

Det finns 118 olika atomer, alla med olika antal protoner i kärnan. Väteatomen har en proton i kärnan, heliumatomen har två, och så vidare ändå upp till ununoctiumatomen som har 118 protoner i kärnan. Likaså finns det 118 olika grundämnen, från väte till ununoctium. I det *periodiska systemet* sorteras de 118 grundämnena i rader efter antal elektronskal och i kolumner eller kemiska egenskaper.

Group →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
↓ Period																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo

Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Bild: Det periodiska systemet. Notera de grundämnen som kallas lantanider och aktinider. Dessa ska egentligen placeras där deras korresponderande färg finns (i grupp 3), men flyttas av platsbrist oftast ut bredvid det resterande periodiska systemet.

I det periodiska systemet förkortas grundämnena med sin *kemiska beteckning*, vilken består av den första och eventuellt en till bokstav ur grundämnets latinska namn. Järn (atomnummer 26) förkortas exempelvis *Fe*, efter dess latinska namn *ferrum*.

Perioder

Om man läser det periodiska systemet som textraderna i en bok är grundämnena ordnade efter stigande atomnummer, alltså antal protoner i kärnan. Varje rad, eller *period*, innehåller dessutom de atomer som har lika många elektronskal. Litium (Li), beryllium (Be), bor (B), kol (C), kväve (N), syre (O), fluor (F) och neon (Ne) har alla två elektronskal och återfinns därför i period 2. Så fortsätter det, ändå till period 7, där alla atomer har sju elektronskal.

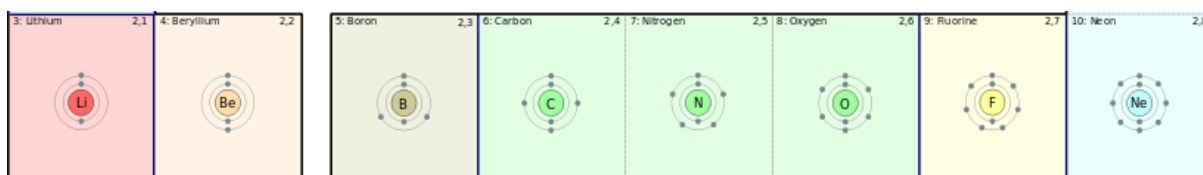


Bild: Grundämnena i grupp 2 i periodiska systemet. Alla deras atomer har två elektronskal. På bilden har atomkärnorna förstorats och förenklats.

Grupper

Atomerna i samma kolumn, eller *grupp*, har som regel lika många elektroner i sitt yttersta elektronskal. Dessa elektroner kallas även *valenselektroner*. Väte (H), litium (Li), natrium (Na), kalium (K), rubidium (Rb), cesium (Cs) och francium (Fr) har alla en valenselektron och återfinns därför i grupp 1. Om vi sedan fortsätter grupp för grupp så har alla atomer i grupp 2 två valenselektroner. I grupp 3–12 har de flesta atomer två valenselektroner, medan en del har bara en och palladium (Pd) betar sig som att det har noll. I grupp 13 har atomerna tre valenselektroner, i grupp 14 har de fyra, i grupp 15 har de fem, i grupp 16 har de sex och i grupp 17 har de sju. I grupp 18 har alla atomer utom helium (H) åtta valenselektroner. Helium har två valenselektroner. Det finns alltså flera undantag till regeln om att alla atomer i samma grupp har lika många valenselektroner. En bättre

regel är att *grundämnen i samma grupp har liknande kemiska egenskaper*. Liknande kemiska egenskaper, alltså hur grundämnena reagerar med andra ämnen, beror till största del på antalet valenselektroner.

Alla atomer i grupp 1 kallas *alkalimetaller*. Deras ensamma valenselektron sitter ganska löst. Detta gör att alkalimetaller lätt förlorar denna elektron till andra atomer, vilket är detsamma som en kemisk reaktion (s. 135). Alkalimetaller är alltså alla mycket reaktiva.

Alla grundämnen i grupp 18 kallas *ädelgaser*. Dessa är mycket stabila, vilket beror på de alla har åtta elektroner i deras yttersta skal (undantaget helium som har två). Man kan säga att de alla har ett "fullt" yttersta elektronskal. Ingen atom i det periodiska systemet har nämligen fler än åtta valenselektroner. Denna elektronkonfiguration är mycket stabil, och ädelgaser reagerar väldigt trögt med andra ämnen.

Metaller, icke-metaller och halvmetaller

De grundämnen som i det periodiska systemet ovan är markerade ljusblå, gula eller gröna är alla icke-metaller. De sex senapsfärgade grundämnena är halvmetaller. Resterande grundämnen är metaller.

Metaller karaktäriseras av tre egenskaper; (1) de leder värme och elektrisk ström bra, (2) de kan böjas utan att spricka, samt (3) de glänser om man skär fram en ny yta på dem. *Icke-metaller* saknar en eller flera av dessa egenskaper. *Halvmetaller* är grundämnen som kan uppträda både som metaller och icke-metaller.

Exempel på metaller är järn (Fe), guld (Au) och kvicksilver (Hg). Exempel på icke-metaller är syre (O), kol (C) och kväve (N). Exempel på halvmetaller är kisel (Si), arsenik (As) och polonium (Po).

Metaller är fasta i rumstemperatur. Metaller smältpunkt ligger generellt vid cirka 1 000–2 000 °C och kokpunkt vid cirka 1 500–5 000 °C. Icke-metaller är antingen fasta eller gasformiga i rumstemperatur. Det finns ett undantag från vardera grupp; kvicksilver och brom, vilka båda är flytande i rumstemperatur.

Transuraner

Grundämnena med atomnummer 93–118 kallas *transuraner*. Dessa grundämnen förekommer inte alls eller ytterst sällan i naturen. Faktum är att dessa grundämnen först upptäcktes på laboratorium, där man framställde dem syntetiskt. Men sedan har man upptäckt några av dem i naturen. Exempelvis kan man finna plutonium (Pu) i jordskorpan och många av transuranerna kan bildas i supernovor.

Transuranerna är alla radioaktiva. Ibland har man endast lyckats framställa några få atomer. De flesta isotoper sönderfaller inom bråkdelar av en sekund, men några är mer stabila. Några har användningsområden; neptunium (Np) bildas vid uransönderfall och kan användas som neutrondetektor, plutonium (Pu) framställs i kärnreaktorer ur uran och kan användas i kärnvapen och americium (Am) används i rökdetektorer.

Generellt kan man säga att ju högre upp i periodiska systemet man kommer, ju instabilare är transuranerna och ju färre atomer har skapats. Transuranerna brukar av den anledningen ibland inte räknas till varken metaller, icke-metaller eller halvmetaller, eftersom man inte känner till deras egenskaper tillräckligt väl. Copernicium (Cn) tror man skulle vara flytande i rumstemperatur om tillräckligt mycket skulle finnas. Dock har endast runt 75 atomer totalt detekterats i olika apparater.

Atomer som sitter ihop

Atomer kan sitta ihop genom att binda till varandra på olika sätt. Det finns olika typer av *kemiska bindningar*. Här kommer vi titta på de tre typer kemiska bindningar som binder ihop enskilda atomer; jonbindning, elektronparbindning och metallbindning. Vi kommer även titta på en typ av bindning som binder ihop molekyler, nämligen dipolbindning. Värt att ha i minnet är att alla kemiska bindningar beror på elektriska laddningar: negativt laddade partiklar (elektroner eller atomer med överskott av elektroner) attraheras av positivt laddade partiklar (atomkärnor eller atomer med underskott av elektroner).

Ädelgasstruktur

Alla grundämnen i grupp 18 kallas *ädelgaser*. Dessa är mycket stabila, vilket beror på att de alla har åtta elektroner i deras yttersta skal (undantaget helium som har två). Man kan säga att de alla har ett "fullt" yttersta elektronskal. Ingen atom i det periodiska systemet har nämligen fler än åtta valenselektroner. Denna elektronkonfiguration är mycket stabil, och ädelgaser reagerar väldigt trögt med andra ämnen. Att ha samma elektronkonfiguration som en ädelgas, det vill säga att ha ett "fullt" yttersta elektronskal, kallas att ha *ädelgasstruktur*.

Alla atomer strävar naturligt efter ädelgasstruktur. Detta eftersom det är det lägsta energitillstånd en atom kan ha. Vad innebär detta? Jo, om en atom uppnått ädelgasstruktur måste det tillföras väldigt mycket energi för att den ska lämna detta tillstånd. Det är därför sällsynt att detta sker, och atomer med ädelgasstruktur förblir oftast i detta tillstånd.

För att en atom, som från början inte är en ädelgas, också ska uppnå ädelgasstruktur måste den antingen bli av med en eller flera elektroner, eller ta upp en eller flera elektroner. Oftast sker detta i "samarbete" med en eller flera andra atomer. Anledningen till att atomer sitter ihop är att det är på detta sätt uppnår ädelgasstruktur. Atomer av ädelgaserna, vilka naturligt redan har ädelgasstruktur, finner man däremot i regel ensamma.

Jonbindning och jonföreningar

Det första sätt som atomer kan sitta ihop på är jonbindning. I detta exempel kommer vi titta på hur en natriumatom och en fluoratom förenar sig.

En natriumatom har atomnummer 11. Det innebär att den har 11 protoner i kärnan, men även 11 elektroner runt kärnan (den har även oftast 12 neutroner i kärnan, men detta antal kan som sagt variera, och är heller inte relevant här). Natrium har två av sina elektroner i det första elektronskalet, åtta elektroner i det andra elektronskalet och en elektron i det tredje elektronskalet. För att uppnå ädelgasstruktur måste den bli av med sin valenselektron i det tredje skalet. Det tredje elektronskalet blir då tomt (existerar inte längre) och natriumatomens andra elektronskal blir det yttersta. Eftersom detta elektronskal innehåller åtta elektroner har natriumatomens då ädelgasstruktur.

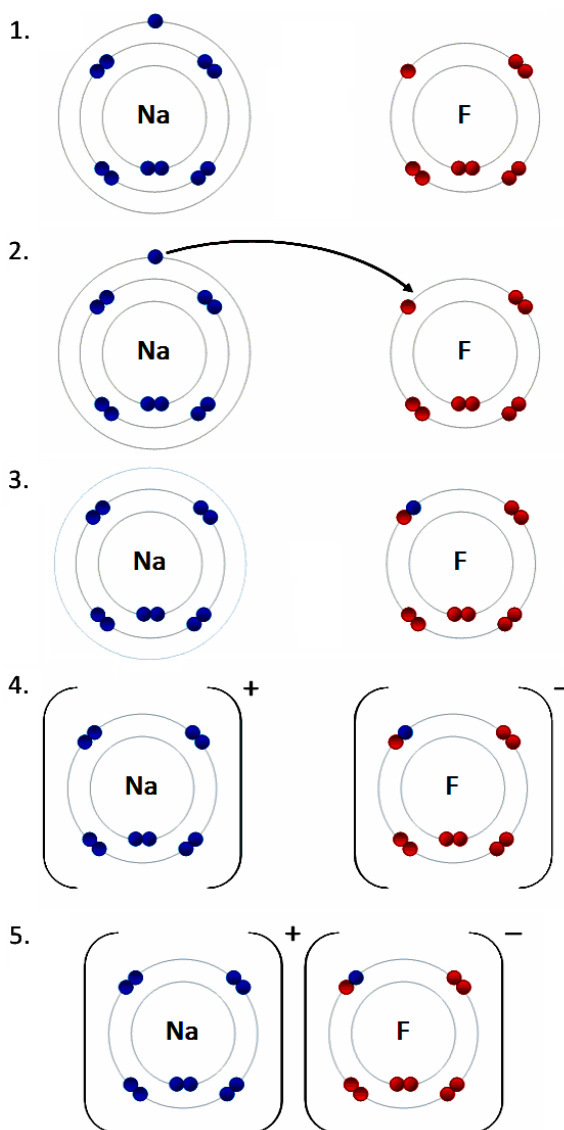


Bild: Bildserien visar hur det går till när en natriumatom och en fluoratom reagerar med varandra och bildar en jonförening. När en natriumatom och fluoratom kommer i varandra närhet (1) kommer fluoratomen att dra till sig en elektron från natriumatomen (2–3). Båda atomerna blir nu laddade och kallas joner (4). Eftersom natriumjonen är positivt laddad och fluorjonen är negativt laddad kommer de attrahera varandra och bilda en jonförening (5).

En fluoratom har atomnummer 9. Det innebär att den har 9 protoner i kärnan, men även 9 elektroner runt kärnan (den har även oftast 10 neutroner i kärnan, men detta antal kan som sagt variera, och är heller inte relevant här). Fluor har två av sina elektroner i det första elektronskalet och sju elektroner i det andra elektronskalet. Fluor kan uppnå ädelgasstruktur genom att ta upp en till elektron och därmed få åtta elektroner i sitt yttersta skal.

Om en natriumatom kommer nära en fluoratom kommer en elektron hoppa från natriumatomen till fluoratomen. Natriumatomen förlorar alltså en elektron och fluoratomen får en, precis vad som behövde ske för att båda skulle uppnå ädelgasstruktur. Detta sker eftersom fluoratomens positivt laddade atomkärna (protonerna i atomkärnan är ju positivt laddade) drar till sig den negativt laddade elektronen från natriumatomen. Natriumatomens atomkärna har för få protoner och är för långt bort från elektronen för att kunna konkurrera med fluoratomens atomkärna. Det är denna dragkamp mellan atomkärnor som är mekanismen till att ädelgasstruktur inträffar.

Den natriumatom som nu har bildats har 11 positivt laddade protoner i kärnan och 10 negativt laddade elektroner runt kärnan. Detta innebär att den som helhet är positivt laddad. Dess laddning är 1 positiv elementarladdning, vilket förkortas "1+" eller bara "+". Natriumatomens kemiska beteckning blir nu Na^+ . Men viktigast av allt, natriumatomen är inte längre en atom – den är en natriumjon. Så fort en atom blir positivt eller negativt laddad övergår den från att vara en atom till att vara en jon, den har *joniserats*. En jon har nämligen, på grund av sin elektriska laddning, helt andra egenskaper än en atom.

Den fluoratom som nu har bildats har 9 positivt laddade protoner i kärnan och 8 negativt laddade elektroner runt kärnan. Detta innebär att den som helhet är negativt laddad. Dess laddning är 1 negativ elementarladdning, vilket förkortas "1-" eller bara "-". Fluoratomens kemiska beteckning blir nu F^- . Men viktigast av allt är alltså att fluoratomen inte längre är en atom, utan en jon – en fluoridjon (negativa joner får oftast ändelsen *-id*).

Den positivt laddade natriumjonen och den negativt laddade fluoridjonen kommer, efter elektronöverlämningen, att dras till varandra. Detta eftersom positivt laddad materia attraherar negativt laddad materia och vice versa. Jonerna kommer till och med att sitta ihop, "axel mot axel". Denna förening, av en eller flera positiva joner och en eller flera negativa joner kallas en *jonförening*. Ett annat ord för jonförening är *salt*. Den elektriska attraktionskraft som finns mellan dem och som håller ihop dem, kallas *jonbindning*.

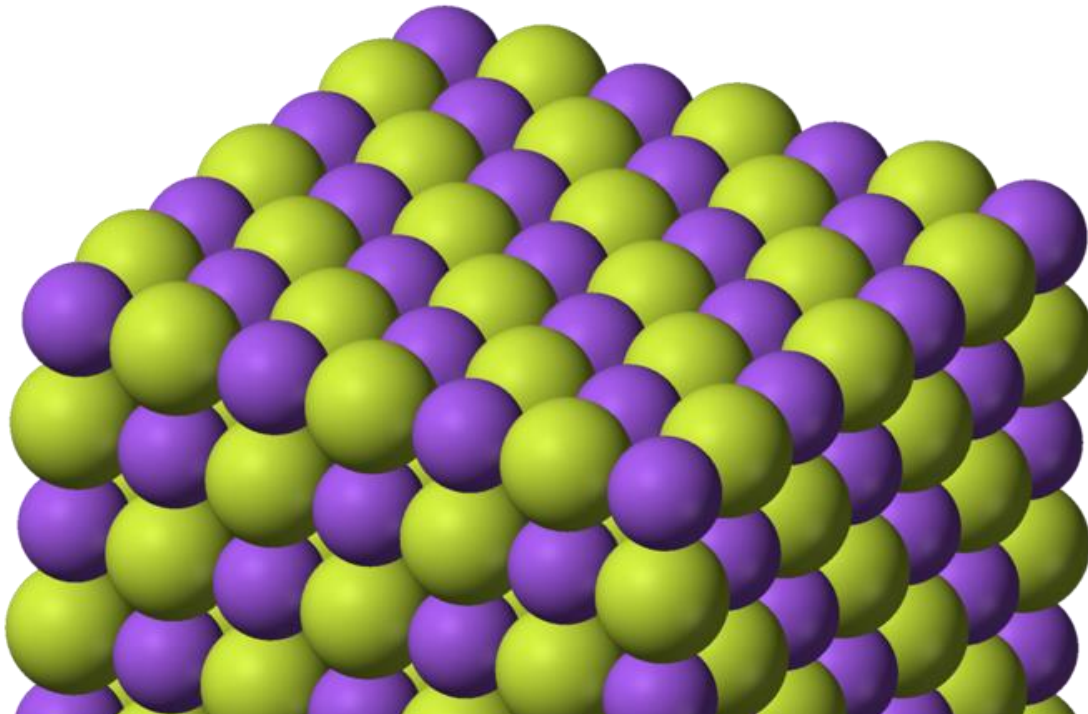


Bild: Det är sällsynt att det bara är natriumatom och en fluoratom som stöter på varandra i naturen. Oftast handlar det om miljarder av varje. Jonföreningar hittar man oftast som stora kristaller bestående av tusentals, miljontals eller miljardtals joner. Just denna jonförening kallas *natriumfluorid* (NaF). Både fluoridjonen och natriumjonen har 10 elektroner som utgör deras huvudsakliga volym. Natriumjonen är lite mindre på grund av att dess atomkärna har större positiv laddning (fler protoner), vilka håller elektronerna tätt till sig. Natriumfluorid används bland annat i tandkräm som fluorkälla. När natriumfluorid hamnar i vatten separerar jonerna från varandra och fluorjonerna blir tillgängliga för kroppen.

Elektronparbindning och molekyler

Ett annat sätt som atomer kan uppnå ädelgasstruktur på är att dela elektroner med varandra. I detta exempel kommer vi titta på hur två väteatomer förenas.

En väteatom har atomnummer 1. Det innebär att den har 1 proton i kärnan, men även 1 elektron runt kärnan (den har oftast inga neutroner i kärnan, men detta antal kan som sagt variera, och är heller inte relevant här). Väte har sin elektron i det första elektronskalet. För att uppnå ädelgasstruktur måste den få en till elektron. Den skulle då få två elektroner i sitt yttersta skal vilket, för det innersta elektronskalet, innebär att det är fullt och atomen därmed har ädelgasstruktur.

När en väteatom kommer nära en annan väteatom kommer ingen av dem ge bort sin elektron för att den andra atomen ska uppnå ädelgasstruktur. När dragningskraften på elektronerna från de båda atomkärnorna gjort sitt, kommer i stället båda atomkärnorna att dela på de två elektronerna. Båda elektronerna kommer att cirkulera i ett elektronskal runt båda atomkärnorna. Varje atomkärna har därmed två elektroner i sitt skal (även om den delar detta skal med en annan atomkärna), vilket innebär ädelgasstruktur.

De två väteatomerna sitter nu ihop. Denna förening, mellan två eller fler atomer som delar elektroner med varandra, kallas en *molekyl*. Denna molekyl kallas *vätgas* (H_2) på kemiskt språk. Bindningen som håller ihop atomerna, vilken alltså består av att två elektroner cirkulerar runt båda atomerna, kallas *elektronparbindning*, *kovalent bindning* eller *molekylbindning*. En elektronparbindning är starkare än en jonbindning.

Ett annat exempel på en molekyl är vattenmolekylen. Den består av två väteatomer och en syreatom, och bildas när dessa reagerar med varandra. Molekylen är formad som ett "Musse Pigg-huvud", med syreatomen i mitten och väteatomerna på sidorna. Syreatomen har atomnummer 8 och därmed 8 elektroner; 2 i det innersta elektronskalet och 6 i det yttersta elektronskalet. Väteatomerna har atomnummer 1 och 1 elektron vardera i det inre skalet. Syreatomen sitter ihop med de två väteatomerna genom två elektronparbindningar. I en vattenmolekyl hålls elektronerna i elektronparbindningarna lite närmare syreatomens kärna. Detta gör att vattenmolekylen vid syreatomens ände är lite negativt laddad. Eftersom den andra sidan av molekylen då har ett underskott av negativ laddning är denna positivt laddad. En molekyl som på detta sätt har två elektriska poler kallas en *dipol*.

Molekyler kan variera mycket i storlek. Vätgas består exempelvis endast av två atomer medan DNA (s. 97) består av flera miljarder atomer.

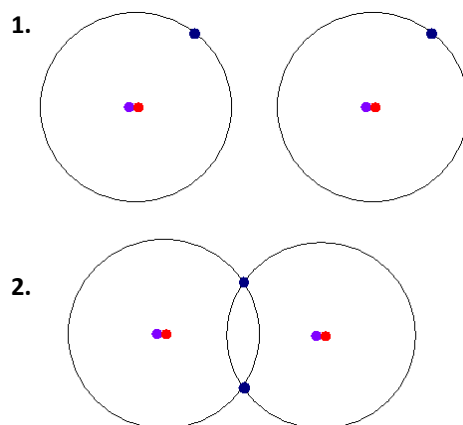


Bild: Bildserien visar hur det går till när två väteatomer reagerar med varandra och bildar en molekyl. När två väteatomer kommer i varandra närhet (1) kommer deras båda elektroner att börja röra sig runt bådas atomkärnor. Detta illustreras enligt (2). En molekyl har bildats.

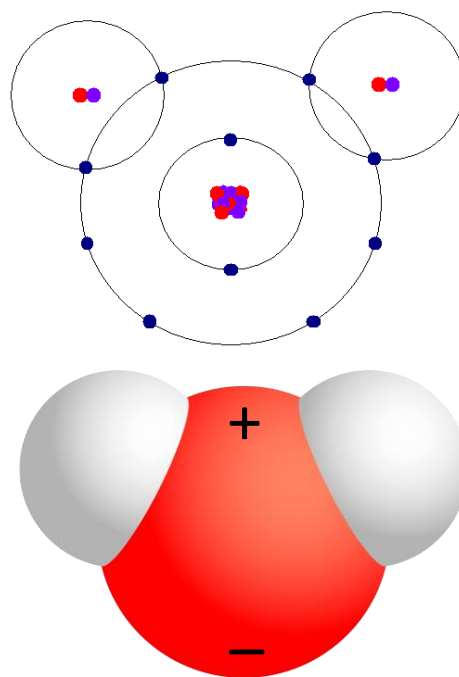


Bild: I en vattenmolekyl finns två elektronparbindningar. Elektronerna i dessa attraheras mer av syreatomens kärna än av väteatomernas och kommer därför befinna sig närmare denna (syns ej på bilden). Detta gör att molekylen är negativt laddad i molekylen "syre-ände" och positivt laddad i "väte-änden".

Dipolbindning och vätebindning

Molekyler som är dipoler attraherar varandra. Därför hålls exempelvis flera vattenmolekyler samman. Den sida av vattenmolekylen som är negativt laddad attraheras av en annan vattenmolekyls positiva sida, och så vidare. Attraktionskraften mellan dipoler är en typ av kemisk bindning som kallas *dipolbindning*. Detta är alltså en kemisk bindning mellan molekyler, till skillnad från mellan atomer.

Dipolbindning är en svag typ av kemisk bindning, och hos vattenmolekylerna bryts och återskapas de hela tiden. Att vattenmolekyler sitter ihop med varandra märks genom vattnets ytspänning. En liten insekt kan gå på vattenytan utan att dipolbindningarna mellan vattenmolekylerna bryts. Men en människas tyngd bryter utan problem de svaga bindningarna. Vattenmolekylerna flyttar sig undan åt alla håll och människan sjunker. Inte ens Jesus skulle kunna gå på vattnet. Detta skulle vara ett brott mot naturlagarna.

Den typ av dipolbindning där väte är inblandat, vilket är fallet med vatten, kallas *vätebindning*. De har fått ett eget namn, eftersom de är extra starka för att vara dipolbindningar.

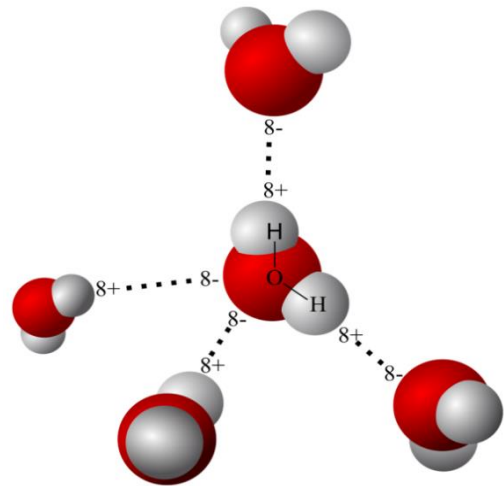


Bild: Vattenmolekyler samlas på ett särskilt sätt. Den negativa änden av en molekyl attraherar den positiva änden av en annan molekyl. Attraktionskraften mellan dipoler kallas dipolbindning och är bland annat orsaken till vattnets ytspänning.

Jonförening (salt) i vatten

Jonföreningar (salter) består av positiva och negativt laddade atomer – joner. Jonbindningen som håller dem samman är en ganska svag kemisk bindning. Om jonföreningen omges av andra elektriskt laddade partiklar är det lätt hänt att jonbindningarna bryts och jonerna i stället attraheras till något annat än sig själva. Detta sker ofta om en jonförening hamnar i vatten.

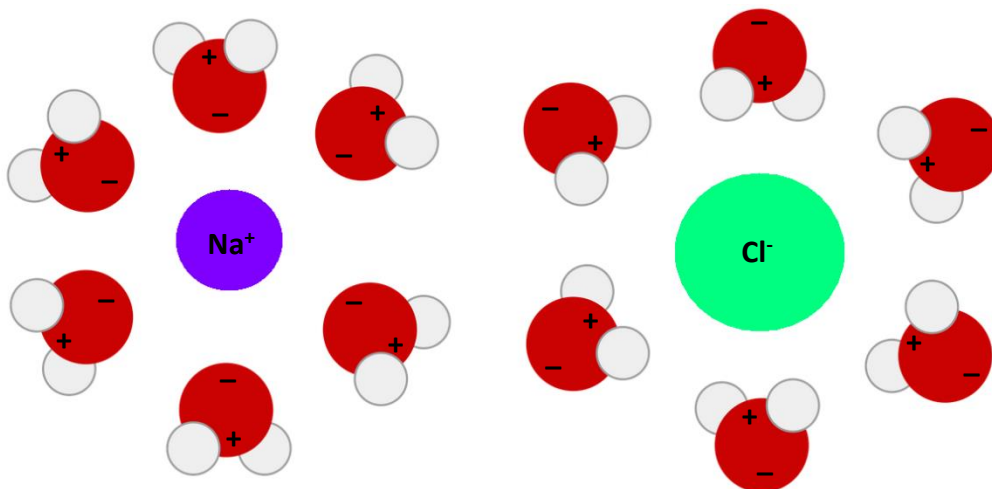


Bild: En jonförening löses lätt upp i vatten. Här har jonföreningen natriumklorid (koksalt, "vanligt salt"), bestående av natriumjoner och kloridjoner lösts i vatten och bildat saltvatten. De positiva jonerna har omringats av vattenmolekyler med sin negativa sida vänd mot dem, samtidigt som de negativa jonerna har omringats av vattenmolekyler med sin positiva sida vänd mot dem.

Metallbindning

Metallatomer har oftast endast ett fåtal valenselektroner (de flesta har en eller två). Dessa sitter så löst att de lätt lossnar från atomerna när de attraheras av annan atomkärna.

I en metall finns massvis av metallatomer. Ingen av dessa metallatomer har några egna valenselektroner, utan dessa byter hela tiden plats mellan olika atomer. En metall består alltså av atomer med egna elektroner, men också av ett stort elektronmoln av lösa valenselektroner som spänner över hela metallen. Dessa fria valenselektroner, vilka också binder ihop atomerna, kallas *metallbindning*.

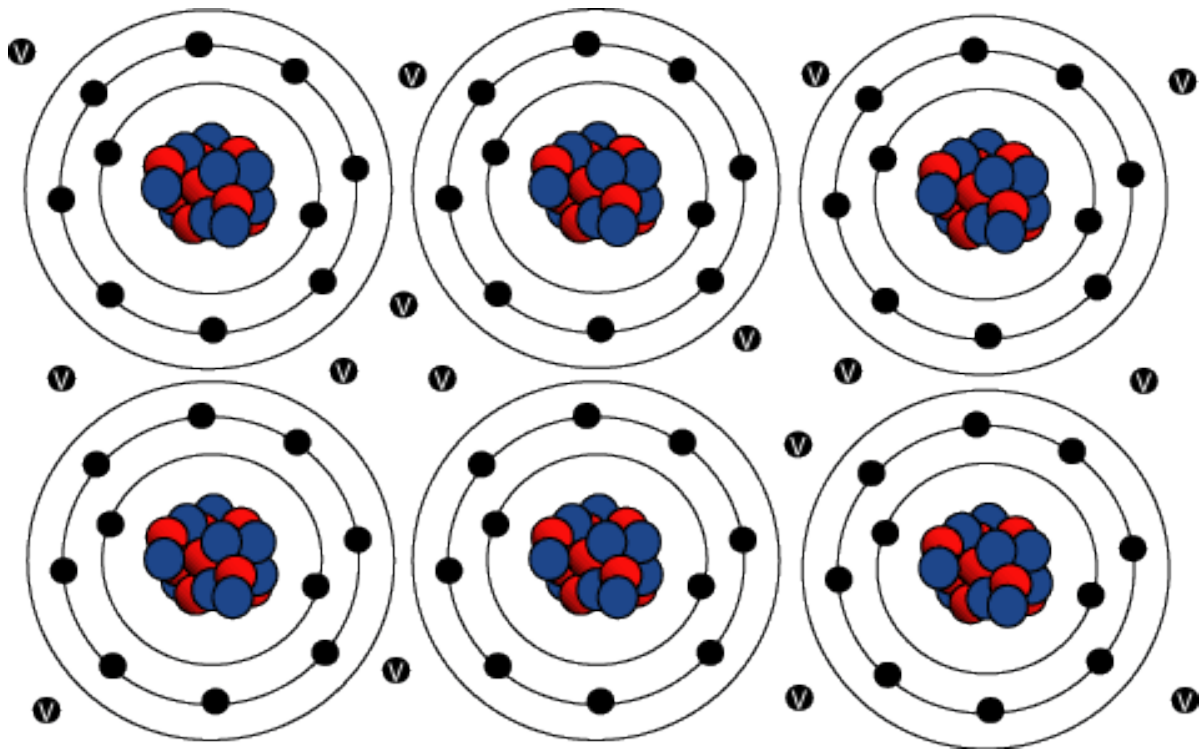


Bild: Aluminium har atomnummer 13, vilket innebär att varje aluminiumatom har 13 elektroner. Av dessa är tre valenselektroner. I aluminium rör sig dessa valenselektroner fritt mellan alla atomer och bildar ett gigantiskt elektronmoln som är gemensamt för dem alla.

Rena ämnen och blandningar

Inom kemi används ofta begreppet *ämne*. Detta begrepp har ingen entydig definition, men syftar oftast på en mängd materia bestående av atomer. Ett ämne kan antingen vara ett rent ämne eller en blandning.

Rena ämnen

Ett *rent ämne* har alltid bestämda egenskaper, exempelvis i form av smältpunkt, ledningsförmåga eller hållfasthet. Ett rent ämne kan vara antingen ett grundämne eller en kemisk förening.

Ett *grundämne* består endast av en sorts atomer eller joner. Grundämnet järn består exempelvis bara av järnatomer och grundämnet syre består bara av syreatomer. De 118 grundämnena återfinns i det periodiska systemet. Kom dock ihåg att grundämnena kan finnas i olika allotroper (s. 124). Exempelvis kan grundämnet syre förekomma både som syrgas och ozon.

En *kemisk förening* består däremot av två eller flera olika atomer eller joner. Koksalt (natriumklorid) består exempelvis av både natriumjoner och klorjoner. Vatten består exempelvis av både syreatomer och väteatomer. Koksalt och vatten är dock ändå rena ämnen, eftersom de har bestämda egenskaper.

Notera att både grundämnena och kemiska föreningar kan bestå av jonföreningar, molekyler eller metallatomer i metallbindning.

Blandningar

En *blandning* på kemispråk är helt enkelt en blandning av två eller fler rena ämnen. En blandnings egenskaper beror på de ingående rena ämnenas egenskaper. I en blandning har de ingående rena ämnena kvar sina egna egenskaper.

I en *homogen blandning* kan man inte urskilja beståndsdelarna med ögat. Ett annat namn för en homogen blandning är en *lösning*. Ett exempel på en homogen blandning är luft. Luft består till största del av de två rena ämnena kvävgas och syrgas. Ett annat exempel är mässing, vilket är en blandning av de rena ämnena koppar och zink. En homogen blandning av metaller kallas även *legering*.

I en *heterogen blandning* kan man urskilja beståndsdelarna med ögat. Ett exempel på en heterogen blandning är om man blandar natriumklorid (vanligt salt) och sackaros (vanligt socker). Även om det inte är jätteenkelt går det att skilja de två rena ämnena åt med ögat.



Bild: Hur viktigt det rena ämnet vatten är för jordens befolkning syns tydligt på denna nattbild över Egypten, tagen från Internationella rymdstationen. Nästan hela befolkningen är koncentrerad längs med Nilen och vid flodens delta mot Medelhavet. På dagen kan det vara svårt att urskilja all bebyggelse från rymden eftersom den ligger mitt bland alla odlingar bredvid Nilen, men på natten lyser städerna och vägarna mellan dem upp. Den stora ljusfläcken alldeles söder om Nilens delta är huvudstaden Kairo. På bilden syns även atmosfären, vilket är en homogen blandning av mestadels kvävgas och syrgas.

Aggregationstillstånd

Varje rent ämne (s. 132) kan befinna sig i olika tillstånd med distinkta egenskaper, exempelvis i fast form, flytande form, gasform eller plasma. Dessa olika tillstånd kallas *aggregationstillstånd*.

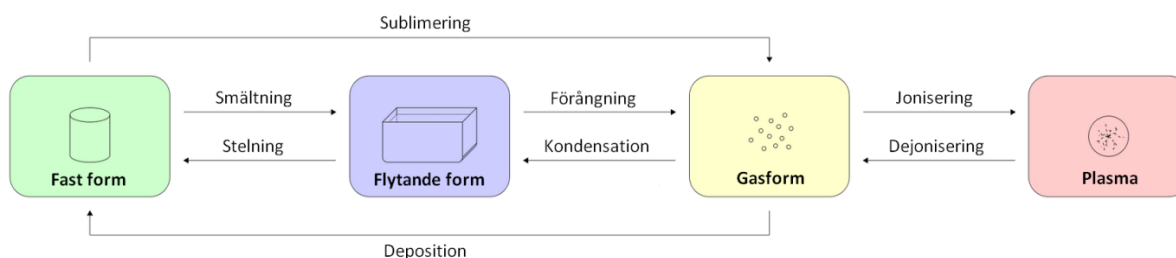


Bild: Bilden visar de vanligaste aggregationstillstånden, samt vad det heter när ett rent ämne övergår från ett aggregationstillstånd till ett annat. Det finns även ett par andra aggregationstillstånd som vi sällan stöter på i våra vardagliga liv och som inte tagits med här, till exempel *Bose-Einstein-kondensat* eller *kvark-gluon-plasma*. Dessa aggregationstillstånd inträffar vid extremt höga eller låga temperaturer.

Det som avgör vilket aggregationstillstånd ett rent ämne befinner sig i är två saker; (1) temperatur och (2) tryck.

När ett rent ämne har hög temperatur innebär det att dess ingående partiklar (atomer, joner eller molekyler) rör sig mycket. Ju mer de rör sig ju lättare bryter de loss sig från varandra. Deras rörelseenergi övervinner den elektriska attraktion som finns mellan dem.

När ett rent ämne utsätts för lågt tryck innebär det att partiklar runt om det rena ämnet inte trycker ihop det lika mycket längre. Partiklarna har då lättare att "falla isär" och den elektriska attraktionen mellan dem kanske inte längre är tillräcklig för att hålla ihop dem.

Fast form

När ett rent ämne befinner sig i *fast form* är dess partiklar (atomer, joner eller molekyler) tätt packade. Partiklarna sitter så hårt ihop med varandra att de inte kan röra sig, endast vibrera på sin plats. Detta gör att ett rent ämne i fast form behåller en bestämd volym och form.

Om ett rent ämne i fast form utsätts för hög temperatur och/eller lågt tryck övergår det till flytande form, vilket kallas *smältning*. Ett rent ämne i fast form kan även direkt övergå till gasform, vilket kallas *sublimering*. Detta sker endast vid en viss temperatur och ett visst tryck. För vatten kan sublimering ske vid 0,01 °C och 611,73 Pa. Fast vatten kallas även *vattenis*, eller kort och gott *is*.

Flytande form

När ett rent ämne befinner sig i *flytande form* är dess partiklar (atomer, joner eller molekyler) i regel mindre tätt packade än i fast form. Ett undantag är dock vatten, där vattenmolekylerna faktiskt är tätare varandra i flytande form. Vad som däremot är gemensamt för alla ämnen i flytande form är att de ingående partiklarna är lösare bundna till varandra än i fast form. I flytande vatten exempelvis, rör sig vattenmolekylerna runt varandra, och bryter och skapar nya bindningar med andra vattenmolekyler hela tiden (men befinner sig nära varandra hela tiden). Att partiklarna är lösare bundna till varandra gör att ett rent ämne i flytande form anpassar sin form till den behållare det finns i, men behåller en nästan konstant volym.

Om ett rent ämne i fast form utsätts för hög temperatur och/eller lågt tryck övergår det till gasform, vilket kallas *förångning*. Om ett rent ämne i fast form utsätts för låg temperatur och/eller högt tryck övergår det till fast form, vilket kallas *stelning*.



Bild: Geirangerfjorden i Norge. På bergen ligger vatten i fast form, i fjorden finns vatten i flytande form och i luften vatten i gasform. Även molnen (s. 60) består av vatten, i fast och flytande form.

Gasform

När ett rent ämne befinner sig i *gasform* är dess partiklar (atomer, joner eller molekyler) väldigt löst, eller inte alls, bundna till varandra. Partiklarna rör sig så mycket att de sprids åt alla håll. Detta gör att ett rent ämne i gasform expanderar och fyller ut den behållare det befinner sig i. Vatten i gasform har ett särskilt namn – *vattenånga*. Vattenånga är helt genomskinligt och inte synligt för blotta ögat. Ofta förväxlas vattenånga med små droppar av flytande vatten luften, vilka syns som dimma.

Om ett rent ämne i gasform utsätts för hög temperatur övergår det till plasma, vilket kallas *jonisering*. Om ett rent ämne i gasform utsätts för låg temperatur och/eller högt tryck övergår det till flytande form, vilket kallas *kondensation*. Ett rent ämne i gasform kan även direkt övergå till fast form, vilket endast sker vid en viss temperatur och ett visst tryck (0,01 °C och 611,73 Pa för vatten, samma som när sublimering sker), och kallas *deposition*.

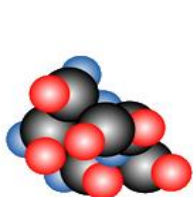
Plasma

Ett *plasma* är ett rent ämne som uppvisar liknande egenskaper som i gasform, det vill säga att det expanderar och fyller ut den behållare det befinner sig i, men där de ingående partiklarna är laddade. Vanligtvis innebär detta att elektronerna har slitits loss från atomkärnorna. Ett plasma består då av positivt laddade joner och negativt laddade elektroner. Ett plasma kan tack vare detta leda en elektrisk ström.

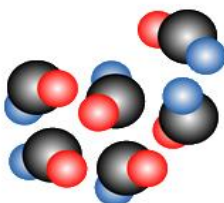
Om ett rent ämne i gasform utsätts för hög temperatur övergår det alltså till att bli ett plasma, vilket kallas *jonisering*. Då börjar elektronerna röra sig fritt från sina före detta atomkärnor. Men jonisering kan även ske på andra sätt än genom en lägre temperatur, exempelvis genom att utsätta ett rent ämne för ett starkt elektromagnetiskt fält via en laser eller en mikrovågsgenerator.

Om ett plasma av ett rent ämne utsätts för låg temperatur övergår det till gasform, vilket kallas *dejonisering*. Då återgår elektronerna till sina banor runt atomkärnorna. Dejonisering kan även ske på andra sätt, exempelvis genom att tidigare elektromagnetiskt fält försvinner.

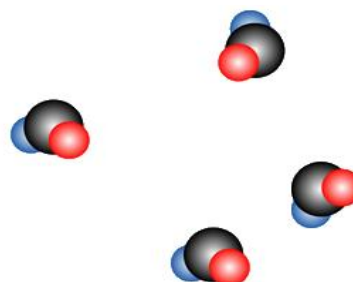
Plasma är det vanligaste aggregationsståndet för vanlig kemisk ("atomär") materia. Alla stjärnor i universum består nämligen av plasma. På jorden är dock plasma ovanligare, men vi hittar den på några ställen. En eldslåga består delvis av plasma och jonosfären (s. 58) högt uppe i atmosfären består av plasma.



Fast form



Flytande form



Gasform

Bild: Schematisk bild av ett rent ämne i fast form, flytande form och gasform. Observera att detta inte är vatten, eftersom vattenmolekylerna har den speciella egenskapen att befinna sig närmare varandra i flytande form än i fast form.

Kemiska reaktioner

En *kemisk reaktion* är när ett eller flera rena ämnen (s. 132) omvandlas till ett eller flera andra rena ämnen. Ett rent ämne som deltar i en kemisk reaktion kallas *reaktant*. Ett rent ämne som bildas i en kemisk reaktion kallas en *produkt*.

Reaktionshastighet

Alla kemiska reaktioner sker av sig själva när reaktanter kommer i kontakt med varandra. En del kemiska reaktioner sker väldigt snabbt, så snabbt att de kan tyckas ske "spontan". Egentligen är dock alla kemiska reaktioner spontana, det är bara det att vissa är väldigt långsamma. Alla kemiska reaktioner drivs nämligen av den rörelseenergi som ett rent ämnes ingående partiklar besitter, alltså dess temperatur. Eftersom rörelseenergin hos enskilda partiklar hela tiden varierar kommer de med en viss sannolikhet att någon gång komma upp i den rörelseenergi som krävs för att starta en kemisk reaktion. Men detta kommer då bara ske för någon partikel då och då, och endast en liten del i taget av det rena ämnet genomgår den kemiska reaktionen. Partiklar i riktigt kalla rena ämnen kan behöva vänta i tusentals, kanske miljontals eller miljardtals, år innan slumpen ger dem tillräckligt hög rörelseenergi för att utlösa en kemisk reaktion.

Hur kan en kemist öka hastigheten på en kemisk reaktion? Några av variablerna som man kan justera för att öka hastigheten på en kemisk reaktion är:

- Koncentration – Ju högre koncentration av reaktanter ju snabbare går reaktionen, eftersom fler kollisioner mellan partiklar sker. Det finns dock några kemiska reaktioner vars hastighet är oberoende av koncentrationen.
- Kontaktyta – Större kontaktyta mellan reaktanter leder till fler kollisioner mellan partiklar och snabbare reaktion.
- Temperatur – Högre temperatur är detsamma som högre rörelseenergi hos de ingående partiklarna, och därmed en snabbare reaktionshastighet.
- Tryck – Högre tryck innebär att de ingående partiklarna är närmare varandra, vilket ökar både antalet kollisioner och deras rörelseenergi.
- Katalysator – En *katalysator* är ett rent ämne som närvarar och ökar hastigheten på en kemisk reaktion, men som självt varken förändras eller förbrukas.

Ett exempel på en långsam kemisk reaktion är när trä reagerar med luft. De rena ämnen som är reaktanter här är druvsocker (beståndsdelen i cellulosa) i träet och syrgas i luften. Produkterna av den kemiska reaktionen blir koldioxid och vatten. Denna kemiska reaktion sker ytterst långsamt i naturen, men går att snabba på genom att exempelvis tillföra värme. Om träet som helhet värms till runt 200 °C går reaktionen väldigt snabbt.

Reaktionsformler och kemiska beteckningar

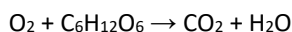
Det blir ganska otympligt att beskriva en kemisk reaktion i form av text, särskilt när det är många reaktanter och produkter inblandade. Kemister använder oftast en reaktionsformel i stället. I en *reaktionsformel* förkortas de rena ämnena till deras kemiska beteckningar (s. 125).

Den kemiska beteckningen för syrgas är O₂. Genom den kemiska beteckningen går det att utläsa att syrgas består av partiklar bestående av två syreatomer som sitter ihop. Om dessa syreatomer sitter ihop med jon-, elektronpar- eller metallbindning skvallrar en kemisk beteckning inget om, utan det lär sig kemister med tiden. Syreatomerna sitter dock ihop med elektronparbindning och syrgas består därmed av molekyler – syrgasmolekyler.

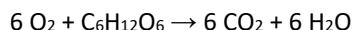
Den kemiska beteckningen för druvsocker är C₆H₁₂O₆. Genom denna kemiska beteckning går det att utläsa att druvsocker består av partiklar bestående av sex kolatomer, 12 väteatomer och sex syreatomer. Druvsocker är precis som syrgas en molekyl.

När syrgas reagerar med druvsocker bildas koldioxid och vatten. Den kemiska beteckningen för koldioxid är CO₂ och för vatten H₂O. Båda dessa är molekyler.

Reaktionsformeln för när syrgas och druvsocker reagerar med varandra och bildar koldioxid och vatten ser ut så här:



Denna reaktionsformel är dock obalanserad. De finns på tok för många atomer på vänster sida pilen jämfört med höger. Det är som att hålla i massor av ingredienser i degen, som sedan går upp i rök! Det korrekta att göra är att balansera reaktionsformeln, så här:



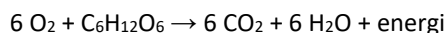
Det finns nu lika många atomer på vänster sida om pilen som höger. Reaktionsformeln talar nu om att, när syrgas och druvsocker reagerar med varandra i naturen, är det sex syremolekyler och en druvsockermolekyl som reagerar med varandra. Och resultatet blir sex koldioxidmolekyler och sex vattenmolekyler.

Endoterma och exoterma reaktioner

I den inledande texten beskrevs hur kemiska reaktioner alltid sker av sig själva, om än ibland långsamt. En del kemiska reaktioner absorberar dock energi från omgivningen under tiden som de sker. Dessa kemiska reaktioner är *endoterma*. Denna absorption av energi leder till att det rena ämnets temperatur ökar, vilket är detsamma som att dess partiklar börjar röra sig mer (får mer rörelseenergi). Ett exempel på en endoterm reaktion är fotosyntesen (s. 81). I den kemiska reaktion som fått namnet *fotosyntesen* reagerar koldioxid och vatten med varandra och bildar druvsocker och syrgas. Denna reaktion sker, precis som alla andra kemiska reaktioner, spontant, men först måste energi fås från omgivningen och bli till hög temperatur i koldioxiden och vattnet. Denna energi kommer i form av strålningsenergi från solen. Solljuset ökar temperaturen på koldioxiden och vattnet så att de reagerar med varandra. Reaktionsformeln för fotosyntesen skrivs:



Det finns även kemiska reaktioner där energi frigörs till omgivningen. Dessa kallas *exoterma*. Ett exempel på en exoterm reaktion är när cellulosa och syrgas reagerar med varandra. Denna reaktionsformel har vi redan tittat på, men nu skrivs den komplett med energi inräknat:



Kemiska bindningar

En kemisk reaktion innefattar alltid att en eller flera kemiska bindningar mellan atomer (jonbindning, elektronparbindning eller metallbindning) bryts eller bildas. Detta innefattar i sin tur omflyttning av en eller flera elektroner. Den energi som till synes "försvinner" i en endoterm reaktion omvandlas i själva verket till potentiell (lagrad) energi i de kemiska bindningar som bildas hos produkterna. Denna energiform (s. 152) kallas *kemisk energi*. Den energi som krävs för att öka temperaturen på reaktanterna användes för att flytta om elektroner, och finns nu som lagrad som potentiell energi i elektronernas nya positioner. Detta kan jämföras med att den rörelseenergi som krävs för att lyfta en skidåkare upp på berget sedan finns lagrad som potentiell lägesenergi i skidåkaren när denne står på toppen.

I exoterma reaktioner frigörs den potentiella energin i elektroners positioner i kemiska bindningar. Detta kan jämföras med att skidåkaren sätter fart nedför berget och omvandlar lägesenergi till rörelseenergi (s. 152). I en exoterm reaktion har elektronerna i reaktanterna mer energikrävande positioner runt atomkärnor än vad de har i produkterna.



Bild: Den kemiska energin som frigörs i en exoterm reaktion kan omvandlas till olika energiformer (s. 152). Här blir den till strålningsenergi och rörelseenergi (ökad temperatur) hos produkterna.

Fysik

Fysik är vetenskapen om materia, energi och krafter. Fysik delas in i mindre delar, så kallade discipliner, inom vilka fysiker studerar olika aspekter av materia, energi och krafter. Genom att titta på de olika disciplinerna får man lättare en bild av vad fysik innebär. Det finns inget bestämt sätt att dela in fysik i discipliner, men denna variant är en av de vanligare.

- **Klassisk mekanik** (s. 141) = Vetenskapen om hur en kropp rör sig när den utsätts för krafter.
- **Elektromagnetism** (s. 145) = Vetenskapen om de fenomen som uppstår på grund av elektriskt laddade partiklar.
- **Relativitetsteori** (s. 150) = Vetenskapen om rum och tids föränderlighet.
- **Termodynamik** (s. 152) = Vetenskapen om värme och dess relation till energiformer.
- **Kvantfysik (kvantmekanik, s. 162)** = Vetenskapen om materia, energi och krafter på små avstånd (i storleksordningen av Plancks konstant, vilket ungefär betyder på avstånd av 100 nm och mindre).

Vi kommer inleda kapitlet med att titta på den tvärvetenskapliga och grundläggande fysikdisciplinen partikelfysik (s. 138), vilket är vetenskapen om de fundamentala beståndsdelarna av materia och de krafter som verkar på dem.

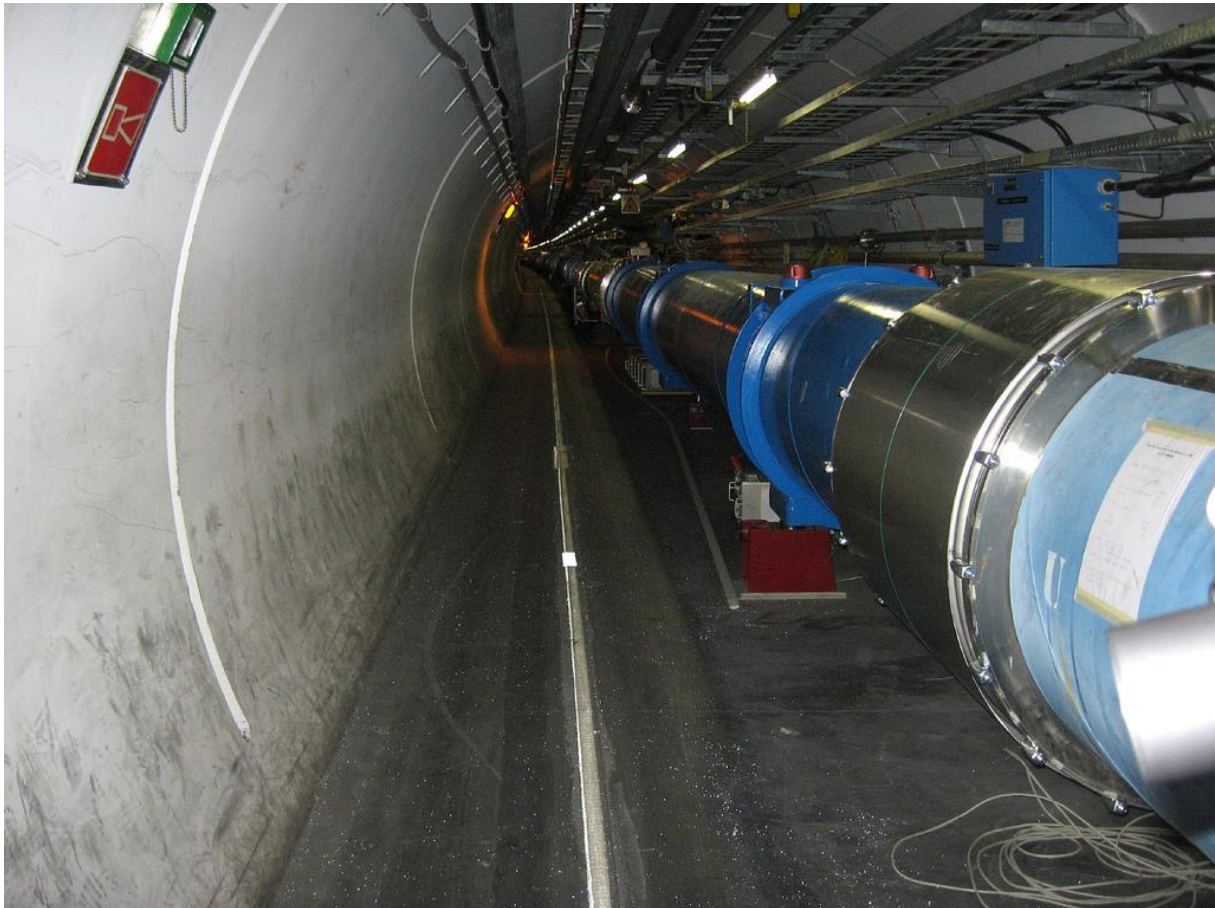


Bild: Large Hadron Collider (LHC) på gränsen mellan Schweiz och Frankrike är världens största och kraftfullaste partikelaccelerator. Inuti acceleratoren, som är byggd i en 27 km lång oval tunnel, accelereras partiklar till nära ljusets hastighet för att sedan kollidera med varandra. Partiklarna rör sig i två separata rör i motsatta riktningar innan de leds mot varandra vid någon av de sex detektorerna. Vid kollisionen som följer bildas nya partiklar som biprodukter, och genom att observera dessa kan fysiker bilda en uppfattning om naturens minsta byggstenar och de lagar som styr dem. Large Hadron Collider, som kostade 28 miljarder kronor att bygga, är ett samarbete med över 10 000 forskare från 111 länder.

Partikelfysik

Partikelfysik är vetenskapen om de fundamentala beståndsdelarna av materia och de krafter som verkar på dem.

Elementarpartiklar och standardmodellen

Världen består av något man inte riktigt ännu vet vad det är, men som kan observeras som partiklar. Dessa partiklar tycks inte ha några mindre beståndsdelar och kallas därför *elementarpartiklar*. Det finns 16 olika sorters elementarpartiklar, vilka finns sammanfattade i den så kallade *standardmodellen* (bilden). Denna tabell är en sammanfattning av många decennier av observationer och experiment, och är den noggrannaste beskrivningen av naturens uppbyggnad.

Notera redan nu att samtliga partiklar även kan bete sig som vågor (s. 162). Man kan säga att naturen består av något som vi inte vet vad det är, men som ibland manifesterar sig som partiklar och ibland som vågor. Naturen tycks bestå av någon form av "vågpartiklar". För enkelhetens skull kommer vi här endast att kalla dem "partiklar".

Varje partikel karaktäriseras bland annat av dess *massa*, *laddning* och *spinn*. *Massa* är en partikels tröghet mot acceleration. Inom partikelfysik mäts massa sällan i kilogram (kg), utan i elektronvolt (eV). *Laddning* avser dess elektriska laddning, vilken kan vara både positiv och negativ. I standardmodellen anges laddning i storlek jämfört med *elementarladdningen*, vilket är den elektriska laddning som en elektron eller en proton har. *Spinn* anger hur en partikel ter sig från olika håll. Partiklar med spinn 0 ser likadana ut från alla håll (som en punkt – "•"). Partiklar med spinn 1 ser bara likadan ut om man vrider den 360° (som en pil – "↑"). Partiklar med spinn 2 ser bara likadan ut igen om man vrider den 180° (som en dubbelpil – "↕"). Partiklar med spinn ½ ser bara likadan ut igen om man vrider den 720°, vilket inte går att åskådliggöra med en symbol!

Av de 16 elementarpartiklarna är 12 "masspartiklar" (fermioner) och fyra "kraftbärarpartiklar" (bosoner).

Tre generationer materia (Fermioner)			
	I	II	III
massa→	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV
laddning→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
spinn→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
namn→	u upp	c charm	t topp
	4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d ner	104 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s sär	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b botten
	<2.2 eV 0 $\frac{1}{2}$ v _e elektron-neutrino	<0.17 MeV 0 $\frac{1}{2}$ v _μ myon-neutrino	<15.5 MeV 0 $\frac{1}{2}$ v _τ tau-neutrino
	0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e elektron	105.7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ myon	1.777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ tauon
			91.2 GeV 0 1 Z ⁰ Z-boson
			80.4 GeV ±1 1 W [±] W-boson

Bild: Standardmodellen.

Fermioner

Fermioner är partiklar som normalt är beståndsdelarna av materia, även om denna koppling inte alltid är fullt så tydlig. Fermioner karaktäriseras av att de lyder under *Paulis uteslutningsprincip*, vilken innebär att två identiska fermioner inte kan befinna sig i samma tillstånd samtidigt, exempelvis på samma plats.

Varje fermion har en korresponderande *antipartikel*. En elektron har exempelvis en "anti-elektron", vilken heter *positron*. En antipartikel karaktäriseras av att, när den kommer i kontakt med sin partikel, förintas båda två samtidigt som nya partiklar bildas.

Av fermionerna i standardmodellen är sex kvarkar och sex leptoner.

Kvarkar

Kvarkar karaktäriseras av att de är de enda elementarpartiklarna som påverkas av den starka kärnkraften (se nedan). De påverkas också av den elektromagnetiska kraften (se nedan) och den svaga kärnkraften (se nedan). Det finns sex olika kvarkar, alla med olika massa. Upp- och nerkvarken är kvarkarna med lägst massa, och de stabilaste av dem. Därmed är de väldigt vanliga i universum och de är de som utgör atomkärnor. En *proton* består nämligen av två uppkvarkar och en nerkvark. En *neutron* består av en uppkvark och två nerkvarkar. Kvarkar har aldrig observerats ensamma, utan endast i par eller tripletter. Partiklar som består av kvarkar kallas

hadroner. Av dessa finns två typer; *mesoner*, som består av en kvark och en anti-kvark, samt *baryoner*, som består av tre kvarkar.

Leptoner

Leptoner karaktäriseras av att de inte påverkas av den starka kärnkraften (se nedan). Det finns sex olika leptoner, alla med olika massa. Alla påverkas av den svaga kärnkraften (se nedan). *Elektronen*, *myonen* och *tauonen* har alla elektrisk laddning och påverkas därmed av den elektromagnetiska kraften (se nedan). De tre *neutrinerna* har ingen elektrisk laddning och påverkas därmed inte av den elektromagnetiska kraften. Den mest kända leptonen är elektronen, vilken tillsammans med upp- och nerkvarkarna i atomkärnan bygger upp atomer.

Bosoner

Bosoner är partiklar som normalt förmedlar krafter, även om denna koppling inte alltid är fullt så tydlig. Bosoner karaktäriseras av att de inte lyder under Paulis uteslutningsprincip, vilket innebär att två identiska bosoner kan befinna sig i samma tillstånd samtidigt, exempelvis på samma plats.

Vad är en kraft?

En *kraft* är, om man väljer att se naturen bestående av partiklar, en boson ("kraftbärandepartikel") som sänds ut av en fermion ("masspartikel"). Masspartikeln får då en hastighet bakåt i en rekyl. Kraftbärandepartikeln kolliderar sedan med en annan masspartikel som absorberar den samtidigt som den rör sig bakåt av "smällen". Man säger att en kraft fanns mellan de två masspartiklarna. En kraftbärandepartikel i en sådan situation kallas en *virtuell partikel*, eftersom vi inte kan detektera den i en partikeldetektor. Men de finns enligt fysikerna, eftersom vi kan mäta deras effekter – nämligen krafterna.

Ibland existerar kraftbärandepartiklar dock som verkliga partiklar som kan detekteras. Exempelvis är fotoner som förmedlar den elektromagnetiska kraften virtuella, medan fotoner som utgör ljus eller annan elektromagnetisk strålning verkliga.

Inte alla bosoner har antipartiklar. W^+ och W^- -bosonerna (de två varianterna av W -bosonen) är varandras antipartiklar, medan Z -bosonen och fotonen inte har antipartiklar. Men man kan också säga att de är sina egna antipartiklar. Detta innebär att de, under rätt förhållanden, kan förintas och bilda nya partiklar när de träffar på sig själva. Gluonen är också sin egen antipartikel, men på ett mer komplicerat sätt som vi inte går närmare in på här.

De fyra naturkrafterna

Det finns fyra fundamentala krafter i naturen; den elektromagnetiska kraften, den starka kärnkraften, den svaga kärnkraften och gravitationskraften.

Fotonen är kraftbärandepartikeln för den *elektromagnetiska kraften*. Denna kraft existerar mellan partiklar som har en elektrisk laddning. Det är inte helt klart vad elektrisk laddning egentligen är för något, men man vet de ger upphov till en kraft – den elektromagnetiska kraften. Man vet också det finns två olika typer av elektrisk laddning – positiv och negativ. Den elektromagnetiska kraften verkar attraherande mellan masspartiklar med olika laddning, och frånstötande mellan masspartiklar med samma laddning.

Gluonen är kraftbärandepartikeln för den *starka kärnkraften*. Den kraft existerar mellan partiklar som har något man kallas *färgladdning*. Detta har ingenting med färg i vanlig bemärkelse att göra, utan är bara ett sätt att namnge den egenskap som innebär att en partikel interagerar med gluoner. Det är endast kvarkar och gluonerna själva som har färgladdning. I atomkärnor håller den starka kärnkraften ihop kvarkar så att de bildar protoner och neutroner, men kraften sträcker sig även utanför dessa och håller ihop hela atomkärnan.

W^- och Z -bosonerna är kraftbärandepartiklarna för den *svaga kärnkraften*. Denna kraft påverkar alla partiklar vars spinn (ovan) är ett halvtal, vilket gäller alla masspartiklar (fermioner). Sammanfattningsvis orsakar den svaga kärnkraften att partiklar sönderfaller till andra partiklar. Exempelvis kan en nerkvark sönderfalla till en uppkvark, och en proton sönderfalla till en neutron.

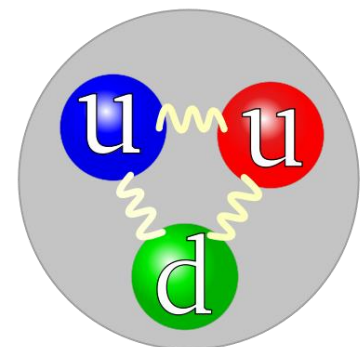


Bild: En proton består av två uppkvarkar och en nerkvark. Dessa hålls ihop av den starka kärnkraften. Eftersom en uppkvark har laddningen $+2/3$ och en nerkvark har laddningen $-1/3$ får en proton den sammalagda laddningen $+1$.

Den fjärde naturkraften, *gravitationskraften*, är inte inkluderad i partikelfysikens standardmodell. Detta är standardmodellens största brist. En komplett standardmodell bör innehålla samtliga naturkrafter, och fysikernas största problem just nu är att inkorporera gravitationskraften bland resten av partiklarna. Om naturen är så elegant som många fysiker misstänker bör även gravitationskraften förmedlas av en kraftbärrarpartikel (vilken man redan nu döpt till *graviton*). Än så länge förklaras gravitationskraften fortfarande bäst av den allmänna relativitetsteorin (s. 151). Man vet dock att gravitationskraften interagerar med alla partiklar som har massa. Gravitationskraften är alltid attraherande, vilket betyder att alla föremål med massa attraherar varandra. Ju större massa de har och ju närmare varandra de är, ju starkare blir gravitationskraften.

Krafter i vårt vardagliga liv

De fyra fundamentala krafterna är de enda som finns i naturen. I vårt vardagliga liv märker vi främst av två av dem; den elektromagnetiska kraften och gravitationskraften.

Den elektromagnetiska kraften håller ihop en atom eftersom de negativa elektronerna attraheras av atomkärnan. En positiv atomkärna kan även attrahera en annan atoms elektroner och därmed kan två atomer förenas. Det är alltså den elektromagnetiska kraften som driver alla kemiska reaktioner (s. 135). Det är också den elektromagnetiska kraften som gör att vi känner ett motstånd när vi trycker våra händer mot varandra. Elektronskalen hos atomerna i den vänstra handen stöter bort elektronskalen hos atomerna i den högra handen. Fenomen såsom friktionskraft och dragkraft är alla fenomen som i grund och botten beror på den elektromagnetiska kraften.

Gravitationskraften håller oss kvar på jorden och håller planeterna i omloppsbana runt solen. Den är orsaken till att saker väger något när vi håller dem i vår hand (gravitationskraften kallas även *tyngdkraften*). Fenomen såsom tyngd och centrifugalkraft är alla fenomen som i grund och botten beror på gravitationskraften.

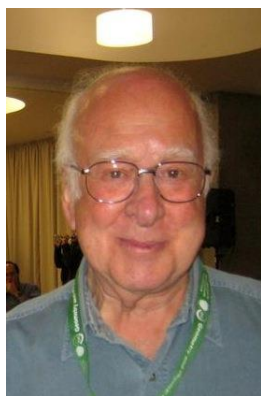


Bild: Engelska Peter Higgs var en av fysikerna som förutspådde partikeln som fick hans namn.

Higgs boson

Standardmodellen kommer kanske snart få ett nytillskott – *Higgs boson*. Higgs boson är en förutspådd partikel, som behövs för att göra standardmodellen komplett. Den helt enkelt bör finnas för att den ska stämma. Higgs boson är en boson, men inte en kraftbärrarpartikel på samma sätt som de övriga bosonerna i modellen. Higgs boson är nämligen *orsaken* till att partiklar har massa. Man kan tänka sig att hela universum är fullpackat av Higgs bosoner. De partiklar som måste "vada" genom dessa partiklar, likt en person som vadar genom lera, har massa. Ju trögare det går för dem, ju mer påverkas de av Higgs boson, och ju större massa har de. Vissa partiklar, såsom fotonen, påverkas dock inte alls av Higgs boson, och har ingen massa.

Higgs boson har med väldigt stor säkerhet observerats i den stora partikelacceleratorn i Large Hadron Collider hos CERN (European Organization for Nuclear Research), men fysikerna måste vara helt säkra på detta innan den förtjänar sin plats i standardmodellen. Den observerade partikeln har en massa på mellan 125 och 127 GeV, men ingen elektrisk laddning, spinn eller färgladdning. Därmed påverkas den endast av gravitationskraften.

Klassisk mekanik

Klassisk mekanik är vetenskapen om hur en kropp rör sig när den utsätts för krafter. En *kraft* inom klassisk mekanik definieras som något som kan få en kropp att accelerera, alltså förändra dess hastighet i någon riktning.

Klassisk mekanik har två begränsningar. Dess naturlagar gör inga korrekta förutsägelser när kroppar blir riktigt små eller när de rör sig i väldigt höga hastigheter relativt till observatören. Riktigt små kroppar, såsom elektroner och atomkärnor, styrs i stället av naturlagarna inom kvantmekanik (s. 162). Kroppar i väldigt höga hastigheter, såsom andra galaxer och Star Trek-rymdskepp, styrs av naturlagarna inom relativitetsteori (s. 150).

Den klassiska mekanikens naturlagar kan ses som förenklingar av kvantmekanikens och relativitetsteoris, även om kopplingen mellan dem inte är helt klar för fysikerna. I nästan alla vardagliga situationer räcker klassisk mekanik gott och väl för att förklara naturen, även om dess lagar är just förenklingar. Men tack och lov för det – kvantfysik och relativitetsteori är jättesvårt!

Värt att komma ihåg är att en del av de krafter som beskrivs inom klassisk mekanik inte är någon av de fyra fundamentala naturkrafterna (s. 139), men de kan alltid härledas ur dem. Ett exempel är *friktionskraften*. Detta är en kraft som motverkar rörelsen hos två ytor som är i rörelse i förhållande till varandra. Ett exempel är en puck som glider på isen. Här verkar friktionskraften på pucken och får den att sakta ner. Friktionskraften härstammar från den elektromagnetiska kraft som verkar mellan de elektriskt laddade partiklar (atomkärnor och elektroner) som de båda ytorna består av. Det är oerhört komplicerat att räkna ut hur mycket pucken påverkas av dessa krafter genom att räkna på varje enskild interaktion mellan två laddade partiklar. I stället kan alla dessa interaktioner sammanfattas till en kraft – friktionskraften.

Newtons rörelselagar

Isaac Newton var en engelsk naturvetare som levde 1642–1727. Hans största bidrag till fysiken var hans rörelselagar och hans gravitationslag. Dessa naturlagar är än idag det centrala i klassisk mekanik.

Newtons första rörelselag (tröghetslagen)

Lagen säger: *En kropp förblir i vila eller i likformig rörelse (konstant hastighet i en riktning) så länge inga yttre krafter verkar på den.*

Exempel: Om en puck läggs på isen är den i vila. Enligt den första rörelselagen kommer den att förbli så tills någon yttre kraft verkar på den. En sådan kraft kan exempelvis tillfogas genom att slå till pucken med en ishockeyklubba. Nu är pucken inte i vila längre utan i rörelse. Dess rörelse, när den glider, är *likformig*. Det betyder att den rör sig med konstant hastighet och i samma riktning. Kraften som tillfogades med hjälp av klubban påverkar inte längre pucken, och om ingen kraft påverkar pucken kommer den fortsätta i likformig rörelse i all evighet. Vår vardagliga erfarenhet säger dock att pucken inte kommer glida i all evighet, och detta beror på att krafter faktiskt verkar på den, nämligen friktionskraften från isen och luften. Dessa yttre krafter får pucken att stanna.

Vila och likformig rörelse är egentligen samma sak. Det beror bara på hur observatören rör sig i förhållande till kroppen. Vad som är viktigt i den första rörelselagen är att ingen acceleration sker utan en yttre kraft.

Newtons andra rörelselag (kraftlagen)

Lagen säger: *Accelerationen en kropp får av en kraft, har samma riktning som och är proportionell mot kraften, samt är omvänt proportionell mot kroppens massa.*

Exempel: Om ishockeyspelaren i det förra exemplet tillfogar en stor kraft på pucken med sin klubba, kommer pucken få en stor acceleration. Om ishockeyspelaren tillfogar en liten kraft på pucken kommer den få en liten acceleration. Denna acceleration kommer också att ha samma riktning som kraften. Pucken kommer alltså sätta fart åt det håll som ishockeyspelaren siktar. Om pucken byts ut till en innebandyboll, vilken är mycket lättare, kommer accelerationen den får vara högre än pucken förutsatt att ishockeyspelaren slår till med samma kraft.



Bild: Astronauten Mark C. Lee genomför en obunden rymdpromenad 1994. Han och rymdfärjan är båda i vila i förhållande till varandra.

Newtons andra rörelselag kan skrivas matematiskt och blir $F = m \times a$, där F är kraften som tillfogas, m är massan hos kroppen och a är den acceleration kroppen får. Exempel: Om ishockeyspelaren slår till pucken med en kraft på 100 N (kraft mäts i newton) och pucken väger 160 g kommer accelerationen bli $F = m \times a \Rightarrow a = F/m \Rightarrow a = 100/0,160 \Rightarrow a = 625 \text{ m/s}^2$. En acceleration på 625 m/s^2 betyder att puckens hastighet kommer att öka med 625 m/s under varje sekund som kraften verkar på den. För att sedan räkna ut vilken hastighet pucken kommer få måste man veta hur länge ishockeyklubban slog på pucken. Sedan använder man formeln $v = at$, där v är hastigheten, a är accelerationen och t är tiden kraften verkade på kroppen. Om klubban verkade på pucken under 0,08 s blir hastigheten $v = a \times t \Rightarrow v = 625 \times 0,08 \Rightarrow v = 50 \text{ m/s}$. Ett väldigt hårt skott med andra ord.



Bild: Ju större kraft en kropp tillfogas, ju större acceleration får den. Sopningen i curling skapar ett tunt lager vatten på isen. Detta leder till minskad friktion mellan isen och stenen.

Newtons tredje rörelselag (lagen om verkan och motverkan)

Lagen säger: *Två kroppar påverkar alltid varandra med lika stora och motriktade krafter.*

Exempel: Om man trycker handflatorna mot varandra utsätts båda handflatorna för varsin kraft. Detta kanske känns som en självklarhet? Men även om trycker hårdast med ena handen, och händerna därmed förs åt ena sidan, kommer kraften på båda handflatorna vara lika stor. Kanske inte lika självklart? Likväl kan man trycka ena handflatan mot bordet och känna hur kraften på handflatan ökar ju hårdare man själv trycker. Det är som att bordet trycker tillbaka.

Newtons tredje rörelselag anger att krafter endast existerar i par. En kraft har alltid en partner, och denna partner är lika stark och riktad åt andra hållet (liknelsen med ett äktenskap har gjorts av flera).

Newtons gravitationslag

Newtons gravitationslag säger: *Två kroppar dras till varandra med en kraft som är proportionell mot kropparnas massor och omvänt proportionell mot kvadraten på avståndet mellan dem.*

Exempel: Två puckar som ligger på isen attraheras till varandra, endast på grund av att de har massa. Gravitationskraften som drar i varje puck är större ju större puckarnas sammanlagda massa är, och större ju närmare varandra puckarna ligger. Dock ser vi inte puckarna närma sig varandra, och detta beror på att gravitationskraften är svagare än den motverkande friktionskraften från isen och luften.

Gravitationskraften upplever vi hela tiden i vårt vardagliga liv. Det är ju den som gör att vi står med fötterna stabilt på jorden. Jordklotet och du attraherar varandra med en lika stor kraft, enligt Newtons tredje rörelselag. Detta betyder att jordklotet drar dig mot sig, men även att du drar jordklotet mot dig. Men eftersom du har så liten massa jämfört med jordklotet påverkas du i högre grad. Din acceleration mot jordklotet blir större än jordklotets acceleration mot dig. Detta enligt Newtons andra rörelselag ($F = m \times a$).

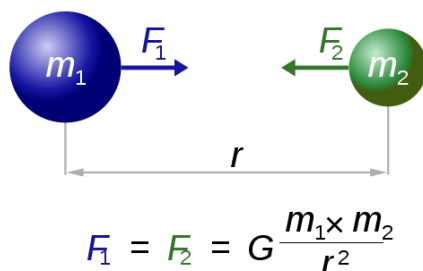


Bild: Gravitationskraften mellan två kroppar är lika stor på dem båda, oavsett om en kropp har större massa än den andra.

Newtons gravitationslag kan skrivas matematiskt som $F = G \times m_1 \times m_2 / r^2$, där F är kraften som verkar på båda kropparna, G är gravitationskonstanten $6,6743 \times 10^{-11}$, m_1 är den ena kroppens massa, m_2 är den andra kroppens massa och r^2 är avståndet mellan de båda kropparnas tyngdpunkter (masscentrum) gånger sig självt.

Newtons gravitationslag ger ingen förklaring till *hur* gravitationskraften egentligen fungerar. Hur kan två kroppar påverka varandra, utan att det finns någon förbindelse mellan dem? Denna *action at a distance* var länge en gåta för fysikerna, men problemet löstes med den allmänna relativitetsteorin (s. 151) som gav en bättre förklaring av vad gravitation egentligen är för något.

Ljud

Luft

I ett vanligt klassrum finns cirka $2,5 \times 10^{27}$ (2,5 biljarder biljarder biljarder) partiklar som utgör luft. Varje kubikmeter luft väger cirka 1,3 kg, vilket gör att luften i ett klassrum totalt väger runt 200 kg. Luftens partiklar rör sig slumpmässigt åt alla håll och kolliderar med varandra. Hastigheten de rör sig med är över 1 600 km i timmen. Varje partikel kolliderar cirka fem miljarder gånger varje sekund med andra partiklar. Partiklarna kolliderar också med människors trumhinnor. Trycket från luftpartiklar på trumhinnan motsvarar 1 kg per kvadratcentimeter! Som tur är balanseras detta tryck ut av luftpartiklar på insidan av trumhinnan, som också de slumpvis kolliderar med den.

Ljudvåg

Resultatet av att luftpartiklar trycker lika mycket från båda sidor trumhinnan är att trumhinnan är stilla, den vibrerar inte. När trumhinnan inte vibrerar hör vi inget.

Men luftpartiklar kan sättas i en mer ordnad rörelse än deras slumpmässiga virrande. Om en högtalare låter vibrerar dess membran. När membranet buktar ut från högtalaren trycks luften framför ihop (partiklarna packas tätare). När membranet svänger tillbaka blir luften åter tunnare. Dessa växelvisa förtätningar och förtunningar sprids i luften som vågor.

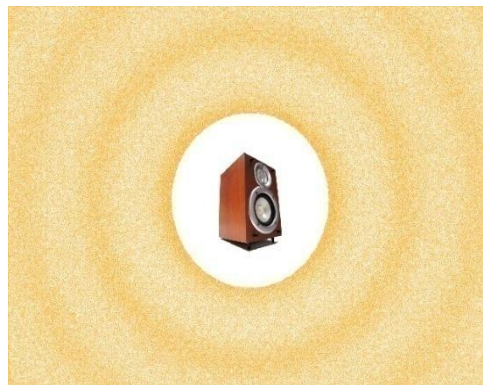


Bild: En högtalare sätter luftpartiklarna i rörelse. Här ses ovanifrån hur växelvisa förtätningar och förtunningar av partiklarna sprider sig som vågor genom rummet.



Bild: Ljudvågor sett från sidan. De svarta prickarna är partiklarna luften består av.

Man kallar detta för en *ljudvåg*, och denna ljudvåg sprider sig i luft med en hastighet av 340 m/s. Det betyder dock inte att luftpartiklarna förflyttar sig så snabbt, från ena änden av rummet till den andra, utan det är bara vågen som förflyttar sig så snabbt. Luftpartiklarna "guppar" i vågorna, likt en gummianka på en sjö.

Ljudvågor sprider sig olika snabbt i olika medium. I luft sprider de sig i 340 m/s. I vatten rör sig en ljudvåg i 1 500 m/s. I stål går det ännu snabbare – i 5 200 m/s. Därför går det att höra ett tåg i tågrälsen långt innan det går att höra det i luften. Anledningen till att det går olika fort är hur mediets partiklar är förskaffade.

Ljudvallen kallas den hastighet som länge var svår för flygplan att överstiga – vilket var ljudets hastighet. Att bryta ljudvallen innebär att åka fortare än ljudet i atmosfären. När ett plan bryter ljudvallen uppstår ett väldigt högt tryck framför det, vilket uppfattas som en ljudbang för åhörare. Denna tryckökning kan också ge upphov till spektakulära effekter i hur vatten i atmosfären kondenserar.

Toner och buller

När ljudvågor når en människas öra börjar trumhinnan vibrera. Ljudvågornas förtätningar slår växelvis på trumhinnan och detta sätter den i snabb gungning fram och tillbaka. Denna vibration sprids sedan vidare, via hammaren, städet, stigbygeln i mellanörat, och snäckan i innerörat. I snäckan omvandlas denna vibration till en nervsignal som via hörselnerven når hjärnan.

När ljudvågorna är regelbundna, det vill säga när det är lika långt mellan en vågtopp och nästa vågtopp hela tiden, uppfattar vi ljudet som en *ton*. Vad som avgör hur hög tonen är, om det exempelvis är ett C eller ett D, är hur många vågtoppar (förtätningar) som varje sekund träffar vår trumhinna. Ju fler, ju högre frekvens, och ju högre ton. *Frekvens* är detsamma som antalet av någonting per sekund och mäts i *hertz (Hz)*, där 1 Hz i detta fall innebär att en förtätning per sekund träffar vår trumhinna.

En människa hör bara ljud inom vissa frekvenser, normalt mellan 20 och 20 000 Hz. Detta omfång minskar dock med åren.

När ljudvågorna inte kommer regelbundet, det vill säga när våglängden skiftar hela tiden, upplever vi ljudet som *buller*. Allt som inte är toner är buller, så prat är också buller enligt en fysiker. Buller brukar inte anges ha särskilda frekvenser, eftersom buller kan ses som en massa toner med olika frekvenser – samtidigt.



Bild: Frekvensomfånget hos några vanliga musikinstrument.

Ljudnivå

Ljudnivå anger hur starkt vi människor upplever toner eller buller. På vardagligt språk brukar ljudnivå kallas *volym*. Ljudnivå mäts i *decibel (dB)*. Hur ljudnivå mäts rent fysikaliskt är en mycket krånglig historia, men vad ljudnivå i slutändan handlar om är hur starkt vi som människor upplever ljudet.

Skalan för ljudnivå är också satt efter människans upplevelse, där 0 dB är det svagaste ljud en människa kan höra. För varje ökning med 10 dB upplevs ljudet som dubbelt så starkt. Ljudnivån 60 dB upplevs alltså dubbelt så starkt som 50 dB.

En ljudnivå på runt 125 dB, lite olika beroende av frekvens, motsvarar den så kallade *smärtgränsen*. Detta är en psykologisk gräns, men dessutom kan trumhinnan spricka.

Infraljud och ultraljud

Ljud med en frekvens under 20 Hz kallas för *infraljud*. Detta är ljud som vi människor inte kan höra, men däremot känna som vibrationer vid tillräcklig styrka. I biosalonger utnyttjas det här för effekt. I musik utnyttjas det i regel inte. Ett test som gjordes med 700 deltagare visade att ljud i 17 Hz får folk att känna en massa konstiga känslor som oro, ledsamhet, nervositet och rysningar. Experimentet var två konserter där infraljud spelades samtidigt som musiken. Vilka låtar som innehöll infraljud skiftade mellan konserterna. I samband med experimentet föreslogs att hus som anses spöka helt enkelt innehåller någon källa av infraljud i stället.

Ljud över 20 000 Hz kallas *ultraljud*. Ultraljud används exempelvis vid ekolodning och fosterundersökningar. Det är känt att många djur hör ultraljud, exempelvis hundar och katter.

Elektromagnetism

Elektromagnetism är vetenskapen om de fenomen som uppstår på grund av elektriskt laddade partiklar. Elektromagnetism har sitt namn från orden *elektricitet* och *magnetism*. Elektromagnetism är därmed ett samlingsnamn för två typer av fenomen, elektriska fenomen och magnetiska fenomen. När dessa fenomen först upptäcktes visste ingen att de egentligen var två sidor av samma mynt. Elektricitet och magnetism hör ihop, och den samlande kraften (ordagrant) är den elektromagnetiska kraften.

Här nedan kommer elektricitet och magnetism först att behandlas separat, men sedan kommer vi att titta på elektromagnetismens kärna – den elektromagnetiska kraften. Under tiden som du läser om elektricitet och magnetism separat, kom alltså ihåg att den kraft som verkar på elektriskt laddade partiklar är samma kraft som verkar på magnetiska partiklar. Den (elektromagnetiska kraften) ter sig bara lite annorlunda i olika situationer.

Elektricitet

Laddade partiklar

Elektricitet är ett samlingsnamn på de (i traditionell mening) *elektriska fenomen* som uppstår på grund av elektriskt laddade partiklar.

I naturen finns det två typer av laddningar; positiva eller negativa. Vad dessa laddningar egentligen är vet man inte, men man vet att det finns två olika typer. Det är helt enkelt en egenskap som partiklar kan ha. En partikel kan även sakna denna egenskap och vara neutral, det vill säga inte ha någon laddning. En sådan partikel studeras inte direkt inom elektromagnetismen, eftersom den inte påverkas av den elektromagnetiska kraften.

Olika laddningar attraherar varandra, medan *lika* laddningar repellerar (stöter bort) varandra. Den kraft som förmedlar denna påverkan är den elektromagnetiska kraften.

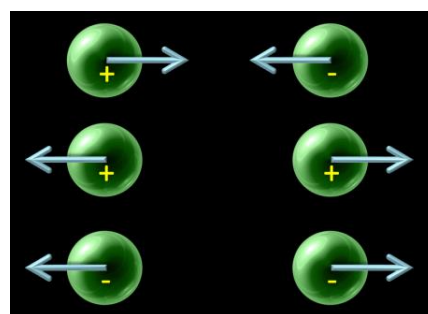


Bild: De olika sätt som laddade partiklar kan påverka varandra.

Atomkärnor och elektroner

I vår omgivning stöter vi främst på två laddade partiklar, vilka båda finns i atomen (s. 123). Den första partikeln är atomkärnan. En atomkärna innehåller positivt laddade protoner och neutrala neutroner. Atomkärnan blir därför som helhet positivt laddad. Den andra partikeln är elektronen, vilka utgör atomernas yttre skal. Dessa är negativt laddade.

Elektroner är den rörliga delen av en atom. Elektroner kan byta plats från en atom till en annan. De attraheras av sin egen atomkärna, men ibland ännu mer av en annan atoms atomkärna. De elektriska fenomen, alltså den elektricitet, som vi oftast stöter på i vår vardag grundar sig på detta, att elektroner rör sig mellan olika atomer. Exempelen nedan kommer att handla om dessa elektroner, men kom ihåg att samma principer gäller för alla laddade partiklar.

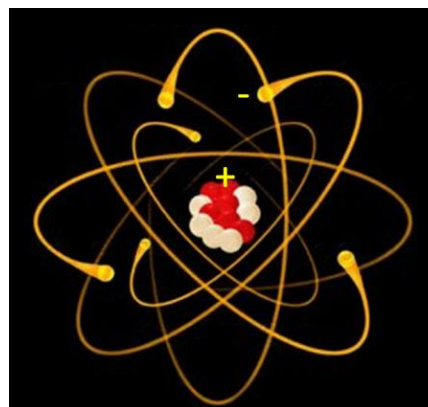


Bild: I en atom rör sig negativt laddade elektroner runt den positivt laddade atomkärnan.

Statisk elektricitet

Statisk elektricitet är laddade partiklar i vila som påverkar varandra genom den elektromagnetiska kraften. En negativt laddad partikel och en positivt laddad partikel attraherar exempelvis varandra. Men om dessa partiklar inte får mötas, utan på något sätt hålls kvar på sina platser, uppstår statisk elektricitet. Man kan tänka på statisk elektricitet som olycklig kärlek.

Statisk elektricitet kan skapas med hjälp av hår och en ballong. Båda materialen består av atomer (sammansatta i molekyler). När två material kommer i kontakt med varandra finns alltid chansen att atomerna i det ena materialet tar elektroner från det andra materialets atomer. Om detta sker eller inte beror på om det ena materialets atomkärnor har tillräckligt stor dragningskraft på det andra materialets elektroner. Detta kan de ha om de kommer tillräckligt nära samt om de är tillräckligt positivt laddade, alltså innehåller tillräckligt

många protoner. Vi kan påverka hur nära de två materialens atomer kommer varandra genom att föra ballongen mot håret. Om elektroner sedan kommer hoppa över håret till ballongen eller vice versa beror på atomkärnornas laddning. Denna beror i sin tur på hur många protoner de innehåller.

I fallet med ballong och hår, visar det sig att elektroner hoppar från håret till ballongen. Detta sker långsamt, men processen kan skyndas på genom att gnugga ballongen mot håret.

Ballongen får nu ett överskott på elektroner och blir därmed negativt laddad. Håret får ett underskott av elektroner (eller ett överskott av protoner, beroende på hur man ser det) och blir nu positivt laddat. Att håret är positivt laddat kan man se genom att det ställer sig upp. Eftersom varje hårstrå är positivt laddat vill de komma så långt ifrån varandra som möjligt, vilket sker om hårstråna "flyr" uppåt.

Att ballongen är negativt laddad kan man påvisa på ett annat sätt. Om man håller den mot en vägg kommer den stöta bort elektroner i väggen, så att dessa hamnar längre in i väggen. Kvar på väggens yta blir atomer som saknar elektroner och är positivt laddade. Nu är alltså ballongen negativt laddad och väggens yta positivt laddad. De attraherar varandra – ballongen fastnar på väggen. Detta visar att ett laddat föremål kan attraheras till ett från början neutralt föremål.

Fenomenet med en ballong som sitter fast på väggen är ett exempel på statisk elektricitet. Laddade partiklar attraheras till varandra, men är stilla. Kvar är dock kraften mellan dem.

Elektrisk ström

Laddade partiklar som rör sig kallar man för en *elektrisk ström*. Detta kan liknas med strömmande vatten, fast i stället för vattenmolekyler som rör sig är det laddade partiklar, såsom elektroner, som rör sig.

I exemplet med ballongen och håret hittar vi förutom statisk elektricitet faktiskt även elektrisk ström. När elektronerna hoppade från håret till ballongen existerade en elektrisk ström.

Den som satt upp en elektriskt laddad ballong på väggen vet också att den efter ett tag kommer att falla ner. Detta beror på att en svag elektrisk ström av elektroner har gått från ballongen till omgivningen (väggen eller luften) och gjort att ballongen förlorat sin laddning.

Väggen är en *isolator*, vilket betyder att elektroner och andra laddade partiklar rör sig trögt i den. Skulle man i stället sätta den elektriskt laddade ballongen mot ett dörrhandtag av metall skull något annat hända. Metaller är *ledare*, vilket betyder att elektroner och andra laddade partiklar rör sig lättsamt i det. Elektroner skulle hastigt röra sig bort från dörrhandtagets yta. Handtagets yta blir nu väldigt positivt laddad, så pass positivt att den snor elektroner från ballongen. Det blir elektrisk ström i stället för statisk elektricitet. Den elektriska strömmen kan ske trots att det är ett mellanrum mellan ballongen och dörrhandtaget, och går då genom luften som en blix.

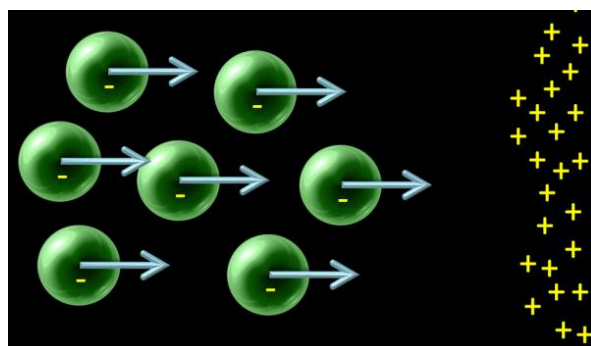


Bild: En elektrisk ström består av någon typ av laddade partiklar som rör sig gemensamt - i en ström. Här syns negativt laddade partiklar, kanske elektroner, som dras mot något positivt laddat.

Elektrisk ström i elledningar

I metaller sitter atomerna ihop på ett speciellt sätt som kallas metallbindning (s. 130). Metallatomer har oftast några yttre elektroner som sitter så löst att de lätt lossnar när de attraheras av en annan atomkärna. När flera metallatomer befinner sig bredvid varandra lossnar alla dessa elektroner och bildar ett gemensamt elektronmoln för dessa atomer. Elektronerna i det gemensamma elektronmolnet hör inte till någon särskild atomkärna och kallas *fria elektroner*, och det är detta moln som utgör själva metallbindningen. Sammantaget tar de olika elektronernas rörelser ut varandra, det vill säga det finns ingen gemensam ström av elektroner åt ett visst håll.

En elledning består av atomer, oftast kopparatomer, hopbundna genom metallbindning. Om något starkt positivt laddat placeras i ena änden av tråden, kommer de fria elektronerna att attraheras dit. En ström av elektroner uppstår, det vill säga en elektrisk ström. Det område som elektronerna rör sig till, i det här fallet ena änden av koppartråden, kallas en positiv *pol*. Det område som elektronerna rör sig från, det vill säga den andra änden av koppartråden, kallas en negativ *pol*.

Det går att mäta hur många elektroner som passerar ett visst tvärsnitt av metalltråden per sekund. Detta kallas *strömstyrka* och mäts i *ampere* (A). En ampere motsvarar $6,242 \times 10^{18}$ elektroner som passerar ett tvärsnitt av metalltråden per sekund.

Elektronen upptäcktes i slutet av 1800-talet, men elektricitet började studeras redan i början av 1800-talet. Då sa man att strömmen helt enkelt gick från den positiva polen till den negativa. Detta är alltså motsatt håll mot det håll elektronerna verkligen strömmar. Men än idag säger man att elektrisk ström i elledningar går från positiv till negativ pol.

Den verkliga hastigheten hos elektroner som rör sig i en vanlig ledare är några millimeter per sekund. I en så kallad *supraledare* är den dock närmare ljusets hastighet.

Resistans

Hur stark strömstyrkan är i en ledning beror delvis på hur många elektroner som finns tillgängliga för "leverans", men begränsas i regel av den så kallade resistansen i ledningen. *Resistens* kallas det motstånd ett material har för att låta laddade partiklar (oftast elektroner) passera genom det.

Resistens beror på att elektroner då och då krockar med de atomer som ledaren består av. I vilken grad detta sker beror på materialet i ledaren, ledarens längd (ju längre ledning ju högre resistens), ledarens tjocklek (ju smalare ledning ju högre resistens) och temperaturen (när temperaturen ökar börjar atomerna röra sig mer och elektronerna får ännu svårare att komma fram).

I elektrisk utrustning beror resistansen till liten del på kablar. Snarare beror den på vad man kopplar in för elektrisk utrustning till dessa kablar, i form av till exempel lampor och datorer. Elektriska apparater innehåller *resistorer* (inbyggda motstånd) för att skapa en viss resistans och därmed få ut den strömstyrka de är byggda för.

Tunna kablar kan nå väldigt hög temperatur på grund av att en massa elektroner kolliderar med atomer där i "flaskhalsen". Detta utnyttjas kontrollerat i glödrådarna i brödrostar och glödlampor. Vid tillräckligt hög temperatur börjar en glödråd sända ut ljus.

Resistens mäts i *ohm* (Ω).

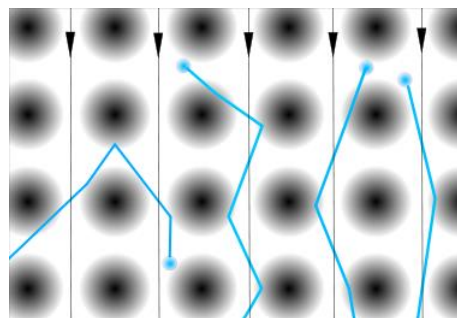


Bild: På bilden syns hur elektronernas banor påverkas av atomerna som ledaren består av. Som helhet finns dock en ström av elektroner uppåt i bilden, om än med visst motstånd.

Spänning

Förutom resistans finns det en till faktor som påverkar hur stark strömstyrkan är, nämligen spänning. *Spänning* är ett mått på hur stark den elektriska attraktionen mellan två olika punkter är. Om vi exempelvis tänker oss en koppartråd, vars ena ända fästs till en starkt laddad positiv pol och andra änden till en starkt laddad negativ pol, blir spänningen över koppartråden väldigt hög. Elektroner "sugs" med en stark kraft mot den positiva polen. Antalet elektroner som passerar ett visst tvärsnitt av tråden blir väldigt många, och strömstyrkan blir därmed hög. En stark spänning kan även övervinna den högsta av resistenser.

Spänningen kan beskrivas som den energi som finns tillgänglig för varje enhet laddning. Med andra ord är spänning också ett mått på hur mycket en elektron kan "falla i potential" i kretsen.

Spänning mäts i *volt* (V).

Batteri

Ett batteri består, förenklat, av ett material som avger elektroner och ett annat material som tar emot dessa elektroner. På ett vanligt AA-batteri blottas det ena materialet på undersidan av batteriet, medan det andra materialet blottas på ovansidan. Genom att placera en ledare, till exempel en koppartråd, mellan dessa ändar kommer elektroner att rusa från det ena till det andra materialet.

Ju starkare dragningskraft på elektroner det ena materialet har jämfört med det andra materialet, ju högre spänning finns mellan dem. Det är denna spänning som anges som batteriets spänning, till exempel 1,5 V.

Hur länge ett batteri räcker beror på hur mycket material det finns som kan avge respektive ta emot elektroner. När alla atomer i det ena materialet avgett alla elektroner de kan, eller när alla atomer i det andra materialet är "mättade" med elektroner, är batteriet slut. Ett batteri som räcker länge består i regel av mycket material och därför stort.

Magnetism

Orsaken till magnetism

Magnetism är ett samlingsnamn på de (i traditionell mening) *magnetiska fenomen* som uppstår på grund av partiklars elektriska laddning och/eller spin.

Det finns två källor till magnetism; (1) laddade partiklar i rörelse och (2) partiklars spinn (s. 138). Ett material som är magnetiskt är det på grund av elektronernas rörelse runt dess atomkärnor samt dessa elektroners spinn. Lite magnetism kan även komma från kärnpartiklars spinn, men i sammanhanget är denna magnetism svag.

Oftast är elektronerna i ett material ordnade i par så att deras magnetiska fält tar ut varandra. Men i vissa material finns oparade elektroner, vars magnetfält inte tas ut av någon annan elektron och tillåter materialet att bli magnetiskt.

I järn, till exempel, har varje atom fyra oparade elektroner med spinn åt samma håll. Varje atoms magnetism styr närliggande atomer att ordna sig likadant. Järn, och andra så kallade *ferromagnetiska material*, är kristallina och varje kristalldel kommer att ha atomer ordnade likadant. Dock kommer en klump järn bestå av flera kristalldelar, vilka alla måste ordnas likadant innan materialet som helhet blir magnetiskt. Detta kan man göra genom att ta en magnet och dra dess ena ända längs med järnet ett antal gånger åt samma håll (som när man kammar sig).

En viss mängd magnetiskt material kallas för en *magnet*. Det finns två typer av magneter, de som är permanent magnetiska ("hårda" magneter) eller de som blir magnetiska i kontakt med annan magnetism och en kort stund därefter ("mjuka" magneter). Det finns även *elektromagneter*, vilka blir magnetiska när en elektrisk ström flyter genom dess spole.

Varför attraherar magneter andra magnetiska material (magneter)? Jo, magneter attraherar atomer som har oparade elektroner med spinn i samma riktning som den. Det finns även så kallade *diamagnetiska material*, vars elektroners spinn skapar ett fält som svagt repellerar en magnet. Andra material reagerar inte alls med en magnet.

Exempel på magnetiska material är järn, nickel och kobolt.

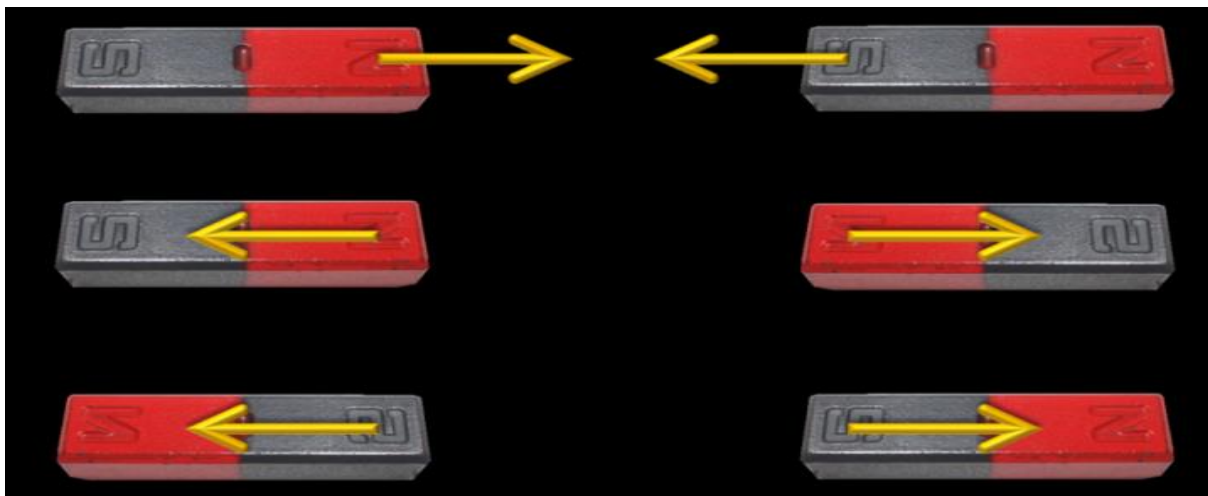


Bild: Magneter har alltid två ändar, en sydände och en nordände. Ofta målas nordändan röd. Även en hästskeformad magnet har en nord- och en sydända, även om den ibland är målad som att den bara har sydändor. Nordändan attraheras av en annan magnets sydände och vice versa. Två nordändor eller två sydändor repellerar varandra.

Elektromagnetisk strålning

Fotonen (s. 139) är en av elementarpartiklarna i standardmodellen och kraftbärarpartikeln för den elektromagnetiska kraften. Som alla elementarpartiklar beter sig fotonen ibland som en våg och får då ett annat namn – *elektromagnetisk våg* eller *elektromagnetisk strålning*.

Elektromagnetiska vågor skiljer sig från ljudvågor på ett väsentligt sätt. De kräver nämligen inget medium att färdas genom. Då ljudvågor behöver luftpartiklar att sätta i rörelse, behöver elektromagnetiska vågor ingenting. De är både sin egen våg och sitt egna medium. De kan färdas genom vakuum. Detta var länge en gåta för fysikerna och man trodde att elektromagnetiska vågor behövde ett medium de kallade *eter* att färdas i.

Dock vet man nu att så inte är fallet, och att ingen annan elementarpartikel heller behöver ett medium för att bete sig som vågor.

En elektromagnetisk våg är sammansatt av en elektrisk och en magnetisk komponent. Dessa två komponenter beter sig som varsin "delvåg" som oscillerar (vibrerar) vinkelrätt mot varandra och färdriktningen. Detta går att påvisa genom att en elektromagnetisk våg både ger upphov till elektriska och magnetiska fenomen, samt påverkar både elektriska och magnetiska partiklar.

En elektromagnetisk våg fortplantar sig i vakuum med en hastighet av 300 miljoner m/s. Den kan även fortplanta sig genom medier, såsom vatten, men rör sig då lite långsammare. Den kan dock aldrig röra sig snabbare än sin hastighet genom vakuum, och faktum är att inget i naturen tycks kunna röra sig snabbare än så.

Elektromagnetiska vågor kan ha olika våglängd. Detta gör att det finns olika typer av elektromagnetisk strålning, vilka definieras efter deras minsta och största våglängd.

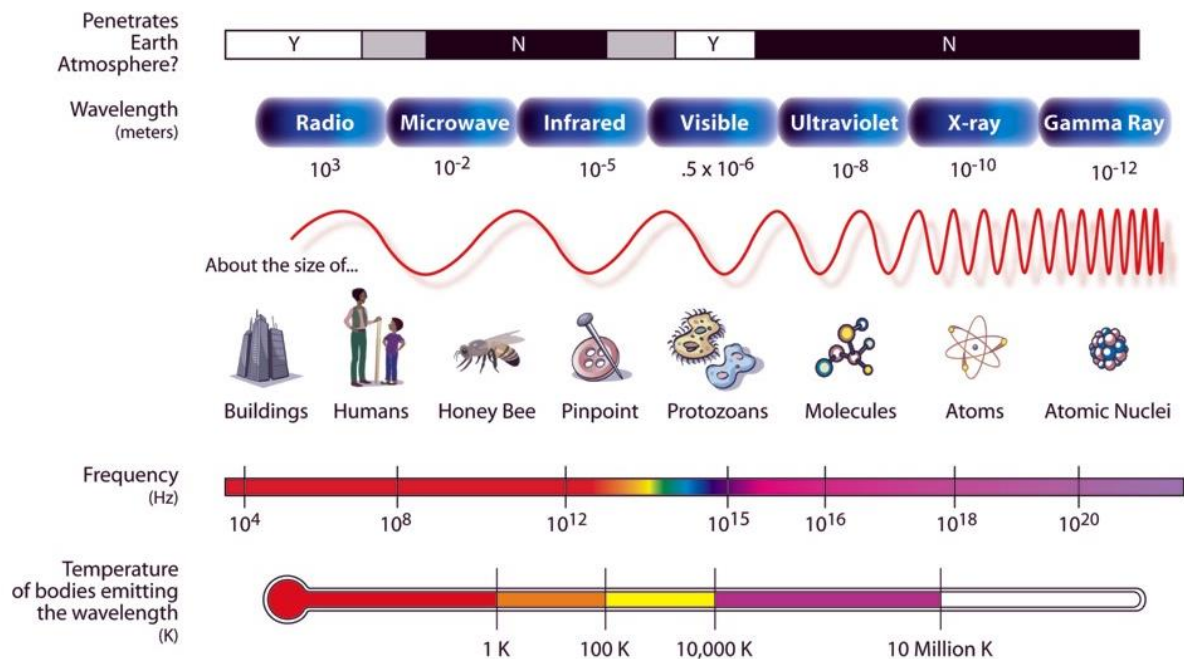


Bild: Bilden visar de olika typerna av elektromagnetisk strålning och deras egenskaper. De olika strålningstyperna är *radiovågor*, *mikrovågor*, *infraröd strålning*, *synligt ljus*, *ultraviolett strålning*, *röntgenstrålning* och *gammastrålning*. En källa till alla dessa typer av elektromagnetisk strålning är solen, och överst i bilden visas vilka typer som penetrerar jordens atmosfär. I mitten av bilden syns de olika strålningstypernas våglängd jämfört med olika objekt i naturen samt deras frekvens. Längst ner visas vilken temperatur ett objekt har om det i huvudsak sänder ut en viss strålningstyp.

Synligt ljus

Elektromagnetisk strålning med en våglängd mellan cirka 390 och 750 nm har människan en förmåga att se. Denna strålning kallas *synligt ljus*. Allt vi ser är detta ljus, vilket sänts ut eller studsar på objekt i vår omgivning.

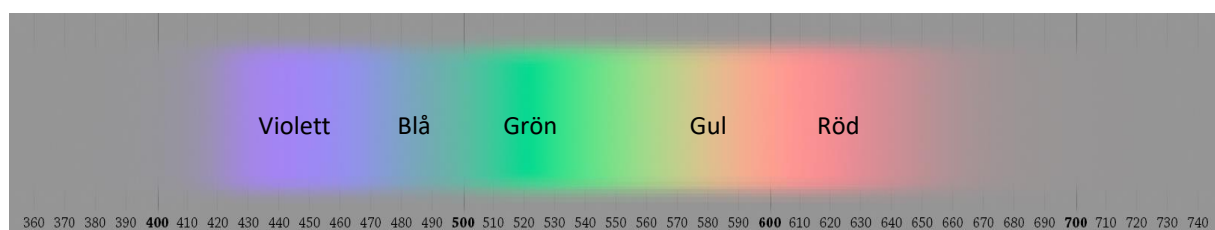


Bild: Vi har förmågan att urskilja olika våglängder av synligt ljus, och dessa uppfattar vi som färger. Elektromagnetisk strålning med en våglängd mellan 570 och 590 nm ser vi som exempelvis som gult ljus. Bilden visar några olika färger vi kan se och vilka olika våglängder det motsvarar.

Relativitetsteori

Relativitetsteori är vetenskapen om rum och tids föränderlighet. Det finns två olika relativitetsteorier; den speciella och den allmänna. Den speciella relativitetsteorin var den första som utvecklades (1905) och gäller endast vid likformig rörelse. Den allmänna relativitetsteorin, vilken är mer komplicerad och utvecklades senare (1916), gäller även vid acceleration. Eftersom gravitationskraften agerar accelererande, är den allmänna relativitetsteorin även den gällande teorin om gravitation. Både den speciella och den allmänna relativitetsteorin utvecklade av Albert Einstein, även om de senare har kompletteras av andra.

Speciella relativitetsteorin

Ljusets hastighet är konstant

Den speciella relativitetsteorin skapades av Albert Einstein under hans sällsynt produktiva år 1905. Teorin utgår från en enkel princip, nämligen den att naturens lagar är desamma överallt. Till exempel rör sig en elektromagnetisk våg likadant överallt i universum, vilket innebär att ljusets hastighet (i vakuum) alltid är densamma.

Ljusets konstanta hastighet kan exemplifieras så här: Föreställ dig en flicka och en pojke som står en bit från varandra. Flickan kastar en boll till pojken och pojken kastar tillbaks den. Då bestämmer sig flickan för att kasta bollen snabbare. Flickan tar sats, det vill säga springer mot pojken, och kastar bollen. Bollen lämnar flickans hand med samma hastighet som när hon stod stilla och kastade. Men bollen når pojken med högre hastighet än innan - bollens hastighet plus flickans hastighet. Allt i enlighet med fysikens lagar. Men, fysikens lagar säger något annat om ljuset. Föreställ dig nu att flickan "kastar" en ljusstråle till pojken. Detta gör hon genom att en kort stund tända en ficklampa riktad mot honom. Ljusstrålen lämnar flickan med en hastighet av 300 000 000 m/s (ljusets hastighet avrundat) och träffar pojken i 300 000 000 m/s. Än så länge stämmer det överens med bollen. Men, nu vill flickan "kasta" ljusstrålen snabbare mot pojken. Hon tar sats, det vill säga springer mot pojken, tänder ficklampan och släcker den igen. Ljuset lämnar återigen flickan i 300 000 000 m/s, men träffar också pojken i 300 000 000 m/s. Att flickan tog sats spelade alltså ingen roll. Ljuset kommer alltid att lämna en observatör och träffa en observatör i samma hastighet, oavsett om denna observatör rör sig i förhållande till riktningen ljuset kommer ifrån.



Bild: Världens kanske mest berömda matematiska formel, $E = mc^2$, är en följd av den speciella relativitetsteorin.

Tid och rum är inte konstant

Att ljusets hastighet alltid är densamma för alla observatörer beror på att tid och rum kan förändras. Till exempel skulle en observatör som stod på en perrong och såg ett tåg rusa förbi i hög fart se tåget som extra kort, medan en resenär på tåget skulle se personen på perrongen som extra smal (kom ihåg att vi ser med hjälp av ljusstrålar). Dessutom skulle personen som stod bredvid och tittade på tåget se att resenärerna i det rörde sig som i slow motion, medan resenärerna skulle se det som att personen på perrongen rörde sig i slow motion. Nu har du kanske inte upplevt detta när du tittat på tåg, och det beror på att tåget måste röra sig runt 80 % eller mer av ljushastigheten för att dessa så kallade *relativistiska effekter* ska börja märkas nämnvärt. Och då skulle du ha större problem med att hinna se tåget också. Men trots att vi inte upplever dessa effekter i vårt

vardagliga liv har teorin bland annat stor betydelse inom astronomin, där de objekt man observerar ofta rör sig i stora hastigheter relativt till jorden (s. 54). Det finns till exempel galaxer som rör sig bort från oss i 80 % av ljushastigheten. Utan den speciella relativitetsteorin skulle inte mycket bli rätt inom astronomin. Likaså behövdes den för att de gamla tjock-TV-apparaterna skulle fungera, då elektroner sköts ur bildröret mot skärmen i väldigt hög hastighet. Utan teorin hade bilden blivit suddig, och tänk vad mycket vi hade missat på TV då.

Som om inte detta vore nog blev följden av den speciella relativitetsteorin formeln $E = m \times c^2$. Denna enkla formel säger att massa och energi är två ansikten av samma sak – en sorts massenergi (s. 160).

Allmänna relativitetsteorin

Acceleration

Den speciella relativitetsteorin hade dock en svaghet. Den gällde bara vid likformig rörelse, det vill säga när två objekt rör sig med konstant hastighet och i rak linje i förhållande till varandra. Men sker inte samma förvrängning av tid och rum även om rörelsen inte är likformig, till exempel när en fallskärmschoppare accelererar mot jordytan? Jodå, det gör det, men de matematiska formlerna för att räkna ut detta var svårare att ta fram, så Albert Einstein var inte klar med dessa förrän 1916.

Gravitation

Den allmänna relativitetsteorin är mer komplicerad än den speciella, men är å andra sidan ännu viktigare. Den ger nämligen den bästa förklaringen av vad gravitation är. Innan 1916 var det en gåta hur månen kunde hållas kvar i omloppsbanan av jorden, utan att månen och jorden på något sätt verkade vara i kontakt med varandra. Einstein gav lösningen – jorden, liksom allt annat med massa, kröker rummet. På bilden nedan är detta åskådliggjort, men notera att det tredimensionella rum vi lever i här liknas med en tvådimensionell yta. Resultatet av denna krökning av rummet blir att månen dras i den sluttande rumtiden mot jorden. Dock har månen sedan den bildat haft en hastighet vinkelrät mot jordens dragningskraft, och därför dras den inte in mot jorden, utan ändrar bara ständigt riktning och hamnar därför i omloppsbanan. En omloppsbanan kan liknas med om man sätter fart på en stenkula i "tratten" på bilden. Stenkulan skulle med rätt hastighet fortsätta runt, runt i tratten i all evighet, precis som månen gör runt jorden (en stenkula skulle dock sakta ner på grund av friktion mot underlaget och luften, men rumtiden har ingen friktion).

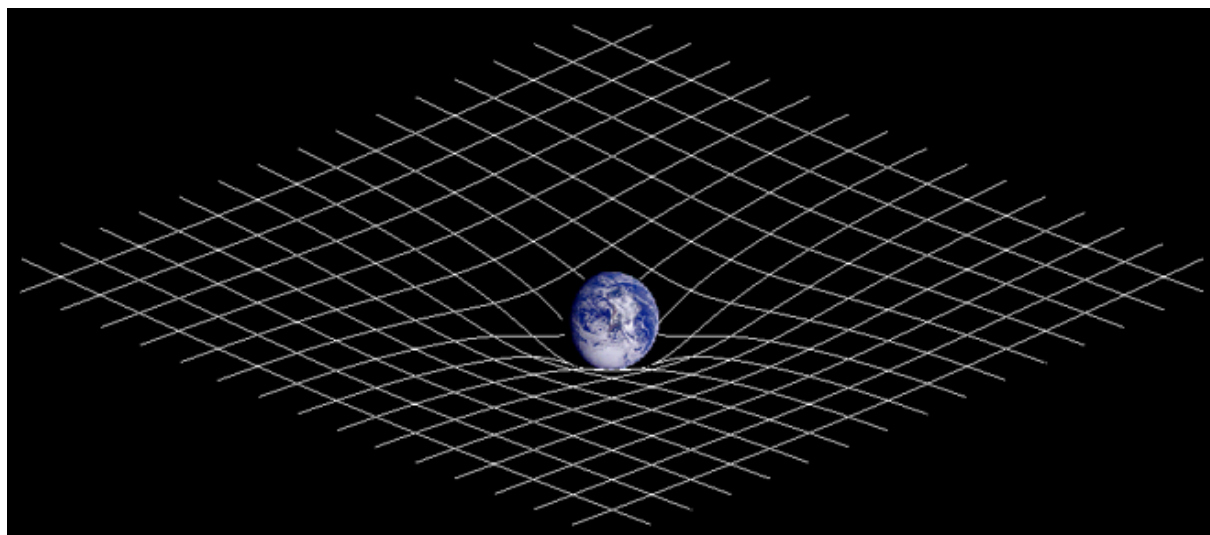


Bild: Varje objekt med massa bildar en krökning av rummet. Ju större massa, ju större krökning. Två objekt är gravitationellt förbundna med varandra genom hur dessa krökningar breder ut sig till varandras positioner.

Termodynamik

Termodynamik är vetenskapen om värme och dess relation till olika energiformer.

Energi och energiformer

Ordet *energi* används ofta i vardagen. "Vi måste spara energi", "den här apparaten är energisnål", "personen är energisk" och så vidare. Men vad är energi ur en fysikalisk synvinkel?

Energi är det som krävs för att utföra arbete. *Arbete* är i sin tur vad en kraft (s. 141) sägs uträtta när den verkar på en kropp och får den att röra på sig en viss sträcka. Ju längre sträcka kroppen rör sig, eller ju större kraften är, ju större arbete uträttas – och ju mer energi krävs.

En person har energi, eftersom den har förmågan att uträtta arbete, exempelvis dra en pulka ett antal meter. Bensinen i en bil har också energi, eftersom den har förmågan att flytta bilen.

Det kanske bästa sättet att förstå vad energi egentligen är, är att lära sig olika energiformer.

Energiformer

Energi förekommer i många olika former, det är därför det känns så diffust. Det är ingen partikel, det är ingenting som går att observera direkt, utan det är en fysikalisk *storhet*, likt längd, acceleration, massa, tryck och volym. Dessa storheter är ingenting som går att se eller ta på, men de används för att beskriva verkligheten. Det går också att tänka på energi som en egenskap – egenskapen att kunna uträtta arbete, och denna egenskap finns i olika (energi)former beroende på vem eller vad som besitter den.

Här är några energiformer:

- *Elektrisk energi* är energin hos laddade partiklar i rörelse. Dessa laddade partiklar kan exempelvis vara joner eller elektroner. I elkablar finns exempelvis elektroner, vilka utför en typ av elektrisk ström (s. 146). Den energi som går att utvinna ur elektrisk ström är elektrisk energi.
- *Kemisk energi* (s. 136) är den energi som finns lagrad i kemiska bindningar mellan atomer. När en kemisk bindning mellan två atomer bryts frigörs denna energi. Den energi som kan frigöras genom att exempelvis elda kol är kemisk energi.
- *Strålningsenergi* eller *elektromagnetisk energi* är energin som finns hos fotoner. Elektromagnetisk energi är faktiskt detsamma som elektromagnetisk strålning (s. 148). De olika typerna av elektromagnetisk strålning är gammastrålning, röntgenstrålning, ultraviolett strålning, synligt ljus, infraröd strålning, mikrovågor och radiovågor. Den energi som kan utvinnas med hjälp av solpaneler är strålningsenergi.
- *Kärnenergi* är den energi som finns lagrad i atomkärnor (s. 123). När en atomkärnas protoner och neutroner separeras från varandra frigörs denna energi. Den energi som utvinns i kärnkraftverk, där urankärnor delas, är kärnenergi.
- *Mekanisk energi* är energin associerad med ett objekts position och rörelse. Den består av två komponenter; *lägesenergi*, vilket är den komponent som är associerad med ett objekts position, och *rörelseenergi*, vilket är den komponent som är associerad med ett objekts rörelse. Om ett föremål lyfts och sedan släpps kommer det att falla. Den energiform som tillförs föremålet när det lyfts är lägesenergi. Detta är en potentiell (lagrad) energi, som byggs på när föremålet flyttas tvärt emot den riktning dit gravitationskraften, eller någon annan kraft, vill dra den. När föremålet släpps kommer dock lägesenergin att försvinna samtidigt som rörelseenergin ökar, eller snarare, lägesenergin omvandlas till rörelseenergi.



Bild: En skidåkare som lyfts uppför berget i en skidlift tillförs lägesenergi. Denna lägesenergi omvandlas till rörelseenergi när skidåkaren åker (eller faller) nerför berget.

Energiprincipen

Energiprincipen är väldigt central inom naturvetenskapen. Den säger: *energi kan aldrig skapas eller förbrukas, endast omvandlas från en energiform till en annan*. Vad som exempelvis sker i ett kärnkraftverk är att kärnenergi omvandlas till elektrisk energi. Denna elektriska energi omvandlas sedan i våra hem till önskvärd energiform, exempelvis strålningsenergi i lampor. I en bil omvandlas kemisk energi i bensinen till rörelseenergi hos bilen.

Energikvalitet

Energiformer som vi människor har stor användning av sägs ha hög *energikvalitet*. Energiformer som vi har svårt att omvandla har låg energikvalitet, medan de energiformer som vi har lätt att omvandla har hög energikvalitet. Energiformer som vanligtvis anses ha hög energikvalitet är kärnenergi och kemisk energi. En energiform som ofta anses ha låg energikvalitet är elektromagnetisk energi.

Verkningsgrad



Bild: Fotosyntesens verkningsgrad, när elektromagnetisk energi omvandlas till kemisk energi, är cirka 27 %. Resten blir till värme (s. 157). Den kemiska energin är sedan eftertraktad av växtätarna och arter ännu högre upp i näringskedjorna. Det här är *Ectophylla alba*, en 4 cm lång fladdermusart i Centralamerika som mestadels äter frukt.

Vid en mänskligt styrd energiomvandling omvandlas oftast inte all energi på det sätt man önskar. I ett kärnkraftverk till exempel, är det bara cirka 35 % av kärnenergin som omvandlas till elektrisk energi. Resten av kärnenergin förs i stället bort som värme (s. 157). Man säger att *verkningsgraden* hos ett kärnkraftverk är cirka 35 %. En bil har en verkningsgrad på runt 30 %, vilket innebär att det endast är 30 % av den kemiska energin i bensinen som omvandlas till rörelseenergi (mekanisk energi) hos bilen medan resten förs bort som värme. Ett vattenkraftverk har vanligtvis hög verkningsgrad, runt 90 %, vilket innebär att 90 % av rörelseenergin hos vattnet omvandlas till elektrisk energi. Gamla glödlampor hade låg verkningsgrad, vilket märktes genom den värme som fördes bort från dem. Nya lampor, såsom LED-lampor, har å andra sidan hög verkningsgrad, vilket märks genom att de inte blir lika varma.

Energienheter

Energins olika ansikten visar sig även genom flera olika enheter.

Ofta anges energi i enheten *joule (J)*, där 1 J motsvarar energin som krävs för att tillföra en kraft på 1 N under en förflyttning av 1 m. Lite mer vardagligt motsvarar 1 J läsesenergin som tillförts ett 102 g tungt äpple som lyfts 1 m rakt upp, rörelseenergin hos en 50 kg tung person som rör sig i 0,2 m/s, eller energin som varje 1/60 s frigörs som värme (s. 157) hos en person som vilar.

Energien hos mat mäts ofta i *kalorier (cal)*, där 1 cal motsvarar 4,18 J. Ibland används *kilokalorier (kcal)*, där 1 kcal = 1 000 cal.

Inom elektricitet används ibland enheten J, men oftare enheten *wattsekund (Ws)*, där 1 Ws = 1 J. Man kommer dock snabbt upp i 1 Ws på elräkningen så i stället brukar man prata om *wattimmar (Wh)*. En wattimme är detsamma som 3 600 Ws, eller detsamma som den energi som en enwattslampa (om det finns) som lyser i en timme omvandlar. Man kommer dock snabbt upp i 1 Wh också, så på elräkningen brukar den elektriska energin anges i *kilowattimmar (kWh)*, där 1 kWh = 1 000 Wh.

Energi från solen

På jorden finns alla energiformer som nämnts ovan. Men finns det någon ursprunglig energiform? Ja, det skulle man nästan kunna säga. Vår planet bombarderas hela tiden av energi från solen, i form av elektromagnetisk energi. Denna elektromagnetiska energi kommer till oss i form av elektromagnetiska vågor (eller fotoner, om man föredrar dess partikelmotsvarighet). De elektromagnetiska vågorna från solen har olika våglängd. De flesta våglängder stoppas i atmosfären, men de våglängder som motsvarar synligt ljus och radiovågor släpps igenom.

Den elektromagnetiska energin härstammar från kärnenergi. I solen förenas vätekärnor till heliumkärnor (fusion) och vid denna "ombyggnad" av atomkärnor omvandlas en del kärnenergi till elektromagnetisk energi.

Solens kärna bestod ursprungligen av cirka 75 % väte och 25 % helium. Nu, fem miljarder år efter att den bildades, består den av cirka 35 % väte och 65 % helium. Vätekärnorna beräknas räcka i cirka 5 miljarder år till.

När ljus träffar jordytan reflekteras en del av det ut i rymden igen, men en del absorberas av de partiklar atmosfären och jordytan består av. Denna absorption består i att elektromagnetisk energi omvandlas till rörelseenergi hos partiklarna, vilket ökar deras temperatur (s. 157). Så värms jorden upp. När luften i atmosfären värms upp utvidgas den dessutom, vilket leder till att den stiger. Det bildas ett tomrum under luftmassan och ny luft sugas in därunder. Rörelseenergin hos luftens partiklar manifesterar sig alltså dessutom som rörelseenergi i vindar (s. 61). Elektromagnetisk energi som blir till rörelseenergi hos vattenmolekyler får dem att frigöra sig från vattenmassorna och avdunsta upp i luften (s. 59). Energin från solen är med andra ord det som skapar vårt väder och klimat.

En liten del av ljuset som träffar jordytan omvandlas till kemisk energi. Detta sker hos de organismer som kan fotosyntetisera, vilket bland annat är växterna. I fotosyntesen (s. 81) används koldioxid, vatten och elektromagnetisk energi för att bygga druvsockermolekyler. Den elektromagnetiska energin omvandlas då till kemisk energi i de bindningar som håller ihop druvsockermolekylerna. Växterna kan sedan i sin ämnesomsättning omvandla denna kemiska energi till energiformer som behövs för dem att leva, exempelvis rörelseenergi för att aktivt förflytta ämnen inuti sina kroppar. All kemisk energi omvandlas dock inte, utan mycket bevaras i de molekyler som bygger upp växternas kroppar. Djur som äter växterna får i sig denna kemiska energi och kan i sin ämnesomsättning omvandla den till energiformer som behövs för dem att leva, exempelvis rörelseenergi för att leta mat och försvara revir. Ett djur som står ännu högre i näringskedjan (s. 103) kan sedan äta detta djur och få i sig denna kemiska energi. Det är alltså tack vare energi från solen som liv kan existera på jorden.

Jordens biosfär (område med liv) tillförs även energi från ett annat håll, nämligen från jordens inre. Där pågår kärnreaktioner som ger upphov till värme. Den värme som utnyttjas som bergvärme är dock inte sådan, utan värme som även den ursprungligen kommer från solen genom uppvärmt grundvatten. För att utnyttja värme från jordens inre måste man gräva 1 000–2 000 m, vilket är väldigt kostsamt. Det finns dock geotermiska kraftverk, oftast där kontinentalplattorna möts.

Energiutvinning

Människan är beroende av energi till sin teknik. Denna energi måste utvinnas på något sätt. Här beskrivs kortfattat några av de vanligaste och några av de ovanligare alternativen för att utvinna energi idag.

Observera att *energiproduktion* är ett väldigt felaktigt ord att använda, även om man ofta säger så om energiutvinning. Enerkiprincipen (s. 153) säger ju att energi varken kan skapas eller förbrukas, endast omvandlas från en form till en annan.

Solkraft

Solkraft är det tekniska namnet på energi som härstammar från omvandlad solenergi. *Solenergi* är det tekniska namnet på elektromagnetisk energi (elektromagnetisk strålning) från solen. En timmes solsken över Sverige motsvarar hela landets energibehov under ett helt år. Det är ingen tvekan om att solenergi är en av lösningarna på de miljöproblem vi har idag med andra energikällor. Växterna har länge kunnat ta den tillvara, och vi håller på att lära oss det. *Solceller* är elektrisk utrustning som omvandlar solenergi direkt till elektrisk energi. Dock behövs laddningsbara batterier för att spara på elektriciteten till natten eller mulna dagar. En solcell fungerar så att



Bild: Vid uppskjutningen av den amerikanska rymdstationen Skylab 1973 lossnade den ena av stationens två solpaneler. Delar från den saknade solpanelen fastnade även vid den andra, vilken därför inte kunde fällas ut ordentligt. Tack vare solpanelerna på Skylabs egna teleskop (överst i bild) fick dock Skylab tillräckligt med elektrisk energi för sina basala funktioner. Två och en halv vecka efter Skylabs uppskjutning anlände den första besättningen på tre astronauter. På grund av att även en solsköld lossnat vid uppskjutningen var det 52 °C varmt inuti rymdstationen, men snart lyckades de genom en lucka från insidan fälla ut ett stort parasoll, och temperaturen sjönk under fyra dagar till behagliga 23 °C. De tre astronauterna stannade 28 dagar ombord på Skylab, varav de efter två veckor lyckades fälla ut solpanelen under en rymdpromenad.

elektroner i materialet den består av exciteras ("hoppas till") av solenergin, och sedan leds ut via en kabel.

Solfångare omvandlar solenergi till rörelseenergi hos partiklar ("värme", s. 157). De innehåller svarta ytor som absorberar ljus, och där vatten leds igenom och därmed värms.

Vågkraft

Vågkraft är det tekniska namnet på energi som härstammar från omvandlad vågenergi. *Vågenergi* är det tekniska namnet på rörelseenergi hos vattnets vågor. Det finns olika sätt att utnyttja denna energi. Ett sätt är att leda vågorna mot ett smalt och grunt ställe. Vågorna blir då höga och kastar upp vatten till ett vattenmagasin på land. När vattnet rinner tillbaks kan det driva en turbin (en propeller, lite förenklat) som sedan driver en generator (en maskin som omvandlar rörelseenergi till elektrisk energi), likt ett vattenkraftverk.

Ett annat sätt att utnyttja vågenergi är genom en viss typ av bojar. Bojen består av en flytkropp och tung kolv (eller annat föremål) hängandes därunder, fäst med en kuggstång. Flytkroppen gubbar med vågorna medan kolven inte rör sig så mycket. Det uppstår en relativ rörelse mellan flytkroppen och kolven som gör att kuggstången åker upp och ner och driver en generator. På grunda platser kan man i stället för en hängande kolv ha en tyngd liggandes fast på botten. Vågenergi används bland annat för att driva ljud- och ljusbojar längs med farleder i Sverige.



Bild: En vågpark är en samling maskiner som omvandlar rörelseenergi hos vågor till elektrisk energi. Världens första sådan hette Aguçadouras vågpark och sjösattes 2008. Den bestod av tre maskiner som liknade ledade ormar, där den relativa rörelsen mellan olika segment användes för att generera elektrisk ström. Vågparken var bara igång i två månader innan ett tekniskt problem ledde till att maskinerna bogserades i hamn. Företaget bakom vågparken håller just nu på att testa nästa generations maskiner.

Vindkraft

Vindkraft är det tekniska namnet på energi som härstammar från omvandlad vindenergi. *Vindenergi* är det tekniska namnet på rörelseenergi hos luften. Principen för energiutvinning är enkel; vinden driver en propeller som driver en generator. Ett problem är dock att ett vindkraftverk förhållandevis inte ger så mycket energi. För att ersätta en kärnreaktor behövs några hundra vindkraftverk (förr behövdes några tusen, men de har blivit effektivare nu).



Vattenkraft

Vattenkraft är det tekniska namnet på energi som härstammar från omvandlad vattenenergi. *Vattenenergi* är det tekniska namnet på rörelseenergi hos strömmande vatten. Vattenkraft har människan utnyttjat väldigt länge. Forsar har via vattenhjul drivit kvarnar och sågklingor. Nu kan man dock omvandla forsens rörelseenergi till elektrisk energi, som kan ledas bort. Kvarnen och sågen behöver idag inte ligga vid forsens. I Sverige har det byggts vattenkraftverk vid nästan alla större forsar. Den stora nackdelen är förändringarna i miljön. Vattenkraftverk utgör stora hinder för vandrande fiskarter, såsom laxöring. Man bygger spillrännor som fisken kan vandra nedför och laxtrappor som den kan vandra uppför, men oftast fungerar de inte som de ska. En del fisk kommer genom gallrena innan kraftverket och sugas in i turbinerna, där sannolikheten är stor att de skadas eller dör. Ett vattenkraftverk fungerar genom att fallande vatten driver en turbin som driver en generator.

Bild: Lillgrund vindkraftspark ligger cirka 10 km utanför Skånska kusten, strax söder om Öresundsbron. Med en kapacitet som motsvarar hushållsel till 60 000 hem är det idag (januari 2013) Sveriges kraftfullaste vindkraftspark. Den består av 48 vindkraftverk som vardera mäter 115 m till rotorns högsta punkt.

Kärnkraft

Kärnkraft är det tekniska namnet på energi som härstammar från omvandlad kärnenergi. I solen slås väteatomkärnor ihop (fusion), vilket omvandlar en del av deras kärnenergi till elektromagnetisk energi. För större atomkärnor, såsom hos uran i ett kärnkraftverk, krävs fission i stället för fusion för att frigöra kärnenergi. *Fission* innebär att atomkärnor klyvs till mindre delar. Alla atomkärnor "strävar" nämligen efter att se ut som järn, vars atomer har medelstora atomkärnor. Stora atomers atomkärnor frigör därför energi när de delas, medan små atomkärnor frigör energi när de slås ihop.

Atomen som klyvs i kärnkraftverk är uran, närmare bestämt isotopen (s. 124) uran-235. Uranet sänks ned som bränslestavar i vatten och beskjuts sedan med neutroner, vilket gör att atomkärnor sönderfaller. Sönderfallsprodukter (mindre atomer såsom barium-141, krypton-92, jod-131, cesium-137, strontium-90) bildas samtidigt som 2–3 överlevna neutroner skjuts iväg åt annat håll. Dessa får andra uranatomer att sönderfalla, och en kedjereaktion fortgår. Sönderfallsprodukterna fortsätter själva att sönderfalla, samtidigt som de avger strålning som kan jonisera (s. 127) andra atomer – de är med andra ord *radioaktiva*. Med tiden sönderfaller de till stabila atomer, med detta kan ta hundratusentals år.

Neutroner får inte vara för snabba för att kärnan ska sönderfalla. Då slås de i stället samman med kärnan och ingen fissions sker (då kan plutonium bildas, vilket bland annat används i kärnvapen). Vattnet gör dock att de saktar ned. Reaktionerna styrs av styrestavar. Dessa består av ett ämne som fångar in neutroner. Om alla styrestavar förs ned mellan bränslestavarna avstannar reaktionerna.

Den kärnenergi som omvandlas till elektromagnetisk energi värmer vatten i kärnkraftverket – alltså blir i sin tur till rörelseenergi hos vattenmolekyler. Dessa vattenmolekyler frigör sig från det flytande vattnet och blir till stigande vattenånga. Denna driver en turbin som driver en generator.

Biobränslen

Biobränslen är bränslen bestående av organiska ämnen (s. 80), utantaget fossila bränslen (se nedan). Biobränslen är elektromagnetisk energi från solen som hos levande organismer lagrats som kemisk energi. Det innefattar bland annat vedträn, halm, energiskog, etanol genom jäsning av sockret i växter, samt metan (sumpgas) från ruttnande växt- och djurrester i röt-kammare (*rötning* är nedbrytning av organiskt material av bakterier i en miljö utan syre).

Vid förbränning av biobränslen används den kemiska energin ofta för att värma vatten, det vill säga omvandlas till rörelseenergi hos vattenmolekyler. Dessa frigör sig från det flytande vattnet och blir till stigande vattenånga. Detta driver en turbin som driver en generator. Ibland används den höga temperaturen hos vattnet direkt för att värma upp något annat.

De biobränslen som förbrukas kan relativt snabbt ersättas genom att odla nya växter. Så den koldioxid som släpps ut vid förbränning kan tas upp igen av de nya växternas fotosyntes. Det finns ändå dock stora miljöproblem med biobränslen, till exempel att nya växter inte planteras som de ska eller att regnskogar huggs ner för att göra plats för andra växter som kan användas som biobränsle.



Bild: Pripyat i norra Ukraina hade en gång i tiden 50 000 invånare, varav de flesta arbetade på det närliggande kärnkraftverket Tjernobyl (vid horisonten på bilden). Den 26 april 1986 exploderade en av kärnkraftverkets reaktorer och ett moln med radioaktiva partiklar spreds över stora delar av Europa. Dagen efter fick invånarna i staden ett meddelande om att de radioaktiva halterna i området höll på att stiga och att de tillfälligt måste evakueras. Varje hyreshus skulle få en buss att åka i, och invånarna ombads ta med viktiga dokument och personliga ägodelar. De visste inte då att de aldrig skulle få flytta tillbaka. Idag är Pripyat en plundrad och vandaliserad spökstad som kan besökas av turister med guide och tillstånd. Staden har börjat tas över av naturen och området kommer kanske inte att vara beboeligt på flera århundraden på grund av strålningen (det är ofarligt att vistas där en kortare stund). Kärnkraftens rykte är på grund av olyckor och kärnvapen dåligt, men faktum kvarstår att människans energibehov är stort och att även många andra energiutvinningsprocesser har stor negativ miljöpåverkan. Kanske säkrare kärnkraftverk som använder torium i stället för uran kommer att bli vanliga i framtiden?

Fossila bränslen

Fossila bränslen är organiska ämnen (s. 80) som lagrats i jordskorpan. Det är rester av levande organismer som levt för tusentals, miljontals eller miljardtals år sedan. Precis som biobränslen så är fossila bränslen elektromagnetisk energi från solen som hos levande organismer lagrats som kemisk energi.

Fossilt kol (brunkol och stenkol), råolja (petroleum) och naturgas (främst metan) är alla fossila bränslen. När dessa förbränns släpps, precis om med biobränslen, koldioxid ut. Skillnaden är dock att det praktiskt inte går att ersätta de fossila bränslena genom att plantera växter som tar upp denna koldioxid igen. Fossila bränslen kräver miljontals år på sig att bildas, samt förbränns i en takt som nyplantering inte hinner motverka.

Den ledande teorin om hur olja och naturgas bildas är att de härstammar från zoo- och växtplankton som ansamlats på botten i fattiga på syre och nedbrytare. Genom fossilisering (s. 105) med tid, värme och tryck omvandlas de först till kerogen, en gegg med stora organiska molekyler. Vid viss temperatur (cirka 60–160 °C) släpper kerogenet iväg olja eller, vid ännu högre temperatur (cirka 150–200 °C), naturgas. Olja har hittats i berg alltifrån prekambrium (s. 111) till neogen (s. 120). En annan teori för oljans ursprung är att den kommer från



Bild: Autostadt i tyska Wolfsburg är ett besökscenter för de som gillar bilar. Huvudattraktionen är två 48 m höga torn med Volkswagenbilar som precis rullat ut från den närliggande fabriken. Ännu drivs majoriteten av alla bilar av fossila bränslen, närmare bestämt bensin eller diesel framställt ur råolja.

jordskorpan i sig och inte från levande organismer. Stöd för teorin är bland annat att olja ofta hittas vid geologiskt aktiva områden, samt att kol och väte är vanliga atomer i jordskorpan.

Den ledande teorin om kol är att det härstammar från växter som lagrats i träsk, sjöar och liknande, i syre- och nedbrytarfattiga förhållanden. Det mesta av kolet tros härstamma från de stora skogarna under karbon (s. 118).

Torv räknas ibland som ett fossilt bränsle, ibland som ett biobränsle. Torv bildas när döda organismer samlas på hög i en syrefattig miljö där få nedbrytare lever. Vitmossa är i Sverige den vanligaste torvbildaren och ger upphov till myrar eller mossar. Cirka 10 % av Sveriges yta täcks av torvmark. Torvar byggs på med cirka 1 mm/år.

Torvbrytning är i Sverige en mycket liten verksamhet, men var vanligare under andra världskriget då import av kol och olja var begränsad. Torvbrytning är egentligen ingen bra idé eftersom det förstör viktiga våtmarker.

Värme och temperatur

Värme

Värme är något centralt för termodynamiken. Men för att förstå värme behöver man först förstå vad *inre energi* är för något.

Inom termodynamiken är *inre energi* den totala energin i ett termodynamiskt system. Ett *termodynamiskt system* är en precis specificerad makroskopisk region av universum som studeras med termodynamikens principer (eller på vanligt språk – ”något”). Ett termodynamiskt system kan vara alltifrån hela universum till en enstaka partikel, beroende på hur en fysiker väljer att avgränsa sina undersökningar. Den inre energin är den energi som krävdes för att bilda detta system. Den inre energin består av två delar; kinetisk och potentiell energi. Den kinetiska energin består i sin tur av; rörelseenergin i translationella (rörelser åt något håll), vibrerande och roterande rörelse hos de partiklar (molekyler, atomer och alla sorters subatomära partiklar) som ingår i systemet. Den potentiella (lagrade) energin består i sin tur av; alla energier som härstammar från partiklars massor, alla energier som härstammar från den kemiska sammansättningen (till exempel potentiell energi i kemiska bindningar), kärnenergin samt de fysiska kraftfälten i systemet (till exempel på grund av deformation av fast materia).

Den inre energin hos ett system kan ökas genom att tillföra värme, genom att utföra arbete på det eller att tillföra massa till det.

Värme är energiöverföring genom konduktion eller strålning (radiation).

Konduktion är överföring genom direktkontakt, närmare bestämt överföring av kinetisk energi hos partiklar genom att de kolliderar med varandra. Den kinetiska energin överförs i riktning från de partiklar som rör sig mest till de som rör sig minst. Till slut kommer alla partiklar röra sig lika mycket. Eftersom temperaturen (se nedan) är ett mått på rörelseenergin hos partiklar leder konduktion till att temperaturen jämnas ut mellan alla partiklar. Ett vardagligt exempel på konduktion är mellan din kropp och luften. Konduktion sker då mellan

partiklarna i luften och partiklarna i din hud. Som alltid vid konduktion kommer temperaturen mellan dig och luften att jämnas ut. Om luften exempelvis är kallare än du, kommer konduktionen leda till att du blir kallare och att luften blir varmare. Dock, eftersom luftens partiklar är många fler än din huds, kommer deras temperatur inte att förändras så mycket. Det är främst din hud som kommer att ändra temperatur. Men till slut kommer din hud och luften att ha samma temperatur. Exempelvis, om lufttemperaturen i ett rum var 20 °C och din hudtemperatur var 35 °C, skulle de båda efter konduktion vara 23 °C. Dock vet vi att människor håller värmen bättre än så, och detta beror på i den höga temperatur som finns i våra kroppars inre. Denna temperatur upprätthålls genom vår ämnesomsättning. Konduktion sker även därifrån till huden och motverkar hela tiden luftens nedkylande effekt.

Strålning (radiation) är när en elektromagnetisk våg startas och för med sig energi från ett område till ett annat där den absorberas. Strålning är till skillnad från konduktion värmeöverföring som inte sker via direktkontakt mellan materia.

Värme beskrivs ofta som en energiform, men detta är inte korrekt. Värme är, som ovan nämnts, energi som tillförs eller lämnar ett termodynamiskt system genom konduktion eller konvektion. Men den form som energin är i när den överförs är antingen kinetisk energi (konduktion) eller elektromagnetisk energi (strålning).



Bild: Ofta nämns konvektion som en egen typ av värmeöverföring, utöver konduktion och radiation. Detta är dock inte korrekt, eftersom konvektion är en form av konduktion. *Konvektion* är konduktion mellan två massor som rör sig i förhållande till varandra. Eftersom detta gör att fler kontakter mellan partiklar skapas, ökar konduktionen i hastighet. Om en kall vind exempelvis blåser, kommer huden bli kallare snabbare än om luften stod stilla. Kroppen kommer ha svårt att hinna med att motverka denna avkylning. Därför är stormar särskilt farliga på platser som redan är kalla, som exempelvis toppen av Mount Everest (bilden). Men även varma vindar kan vara farliga. Att veva en handduk i en bastu leder till att kroppen bli varmare snabbare än om luften stod stilla, och den kommer ha svårt att hinna kyla ner sig själv.

olika typer av inre energi och saker och ting blir mer komplicerat.

Inom termodynamik eller teknik är det sällan praktiskt att räkna med alla sorters inre energier. Det är oftast även omöjligt att exakt räkna ut den inre energin hos ett system. Oftast räknas man bara med *förändringar* i inre energi, exempelvis genom värmeöverföring.



Bild: Jorden kan studeras som ett termodynamiskt system. Jorden är i termisk kontakt med den omgivande rymden och energi flödar till och från planeten på alla tre sätt, det vill säga genom värme, arbete och överföring av massa.

När energi överförs från ett termodynamiskt system till ett annat sägs dessa system vara i *termisk kontakt*. Om energiöverföring får fortgå till sitt slut kommer systemen hamna i *termodynamisk jämvikt*, vilket innebär ingen nettoenergiöverföring längre sker (ingen värme överförs). Områdena har då samma temperatur (se nedan).

Att utföra arbete på ett termodynamiskt system innebär att energi överförs genom mekaniska förändringar, exempelvis förändring i volym eller tryck, eller andra rubbningar, såsom en elektrisk ström genom systemet.

Tillförsel av massa till ett termodynamiskt system ökar som sagt också dess inre energi.

Termisk energi, en lite lös term, är den del av den inre energin hos ett system som är "rörlig", det vill säga som är möjlig att överföras från ett område till ett annat, samt som kan mätas som en resulterad förändring i temperatur (se nedan).

När ett system tillförs energi, ökar dess inre energi. Det kan vara svårt att veta vilken eller vilka energiformer av den inre energin som ökar. I en *ideell gas*, vilket är en monoatomär gas med förenklade egenskaper som är lätta att räkna med, blir all tillförd energi till kinetisk energi. Bara translationell sådan också, eftersom partiklar i monoatomära system inte anses vibrera eller rotera. Därför lär man sig ofta termodynamik med hjälp av ideella gaser som modeller.

Dock, i övriga ämnen fördelas den tillförda energin mellan

Temperatur

Den kinetiska energin i ett system (energin i de translationella, vibrerande och roterande rörelserna hos de partiklar som ingår) ger upphov till systemets temperatur. Alltså, *temperatur* är ett mått på den kinetiska energin. Ju mer partiklarna i ett ämne rör sig, ju högre temperatur har ämnet. Vad man ska komma ihåg är att denna kinetiska energi inte är låst, utan potentiell energi omvandlas hela tiden till kinetisk energi och vice versa. Det sker ett utbyte av olika typer av inre energier i systemet.

Temperatur mäts inom fysiken i kelvin (K). I vardagliga sammanhang används dock oftast grader Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Vid lägsta möjliga temperatur, 0 K eller $-273,15^{\circ}\text{C}$, finns enligt klassisk fysik ingen kinetisk energi kvar, endast potentiell energi. Dock har modern fysik visat att det finns kvantmekaniska rörelser kvar hos partiklarna vid 0 K, vilken aldrig kan försvinna. Men vid 0 K har systemet sin lägsta möjliga energi. Vid temperaturer över 0 K omvandlas hela tiden kinetisk energi till potentiell energi och vice versa.

I ett system i termodynamisk jämvikt med en viss temperatur, exempelvis 5 500 K ($5\,227^{\circ}\text{C}$), har inte alla partiklar samma kinetiska energi. Partiklarnas hastigheter, och därmed deras kinetiska energi, är fördelad på ett visst sätt som kallas en *Maxwell-Boltzmannfördelning* (se bild). En viss temperatur betyder alltså ett visst utseende på denna graf.

Temperatur är *inte* ett mått på värme (ovan).

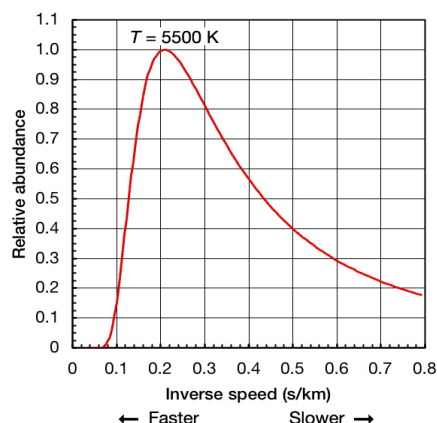


Bild: Denna Maxwell-Boltzmannfördelning visar hur snabbt partiklarna rör sig i ett ämne som har temperaturen 5 500 K ($5\,227^{\circ}\text{C}$). Om man skulle plocka ur en partikel från ämnet, är det störst sannolikhet att den rör sig i en hastighet av 4,78 km/s (0,21 s/km). Denna graf har inverterad hastighet på x-axeln, så 0 innebär oändlig temperatur.

Värmestrålning

Det finns en direkt koppling mellan en kropps temperatur och den elektromagnetiska strålning den avger, den så kallade *värmestrålningen*. En kropp med temperaturen 5 500 K avger till exempel ett visst spektrum av elektromagnetisk strålning medan en kropp med temperaturen 4 500 K ett annat (se bild). Ett *spektrum* av elektromagnetisk strålning är spännvidden och mängden av olika våglängder (s. 149) som ingår i strålningen.

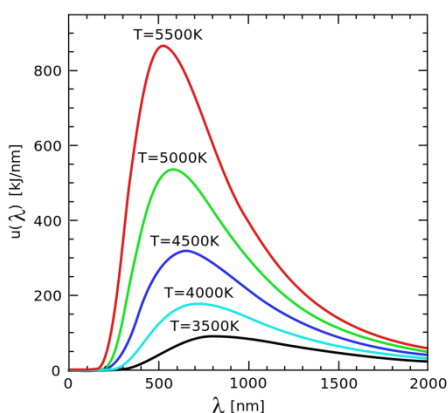


Bild: En kropp med temperaturen 5 500 K avger mest elektromagnetisk strålning med våglängden 530 nm, vilket är rött ljus. En kropp med den temperaturen lyser rött.

Ett spektrum av värmestrålning är baserat på en så kallad *svart kropp*, vilket är en kropp som absorberar all inkommande elektromagnetisk strålning och alltså inte reflekterar någon. Då beror all elektromagnetisk strålning som lämnar kroppen på dess temperatur.

Värmestrålning uppstår när den kinetiska energin hos laddade partiklar, till exempel elektroner och protoner, förändras. Detta sker hela tiden i en kropp, och mer ju högre temperatur den har. Då sker en omvandling från kinetisk energi till elektromagnetisk energi. Denna elektromagnetiska energi, alltså värmestrålningen, kan vara synligt ljus, men kan även vara någon annan form av elektromagnetisk strålning (s. 148). Om värmestrålningen är synligt ljus är det är toppen på kurvan som avgör vilken färg strålningen upplevs som.

Växthuseffekten

En viktig faktor för jordens klimat är växthuseffekten. *Växthuseffekten* är den process när värmestrålning från jordytan absorberas av partiklar i atmosfären och återsprids i alla riktningar.

Jordytan värms upp av solen genom att elektromagnetisk strålning i våglängderna av synligt ljus kommer genom atmosfären. En del synligt ljus reflekteras, vilket är vad som ger olika föremål dess färger. En del synligt ljus absorberas, det vill säga omvandlas till kinetisk energi hos de partiklar jordytan består av. Jordytans temperatur ökar. Jordytan avger sedan själv elektromagnetisk strålning, närmare bestämt värmestrålning i våglängderna av infraröd strålning.

En *växthusgas* är en gas i atmosfären som absorberar och sänder ut infraröd strålning. Det finns många växthusgaser i atmosfären, till exempel vatten(ånga), metan, kväveoxider, ozon och koldioxid. Partiklarna som dessa gaser består av absorberar den infraröda strålningen från jordytan, vilket innebär att elektromagnetisk energi omvandlas till kinetisk energi hos dem. Deras temperatur ökar. Växthusgaserna avger sedan i sin tur infraröd strålning och så fortsätter det. Varje gång förloras en del av den infraröda strålningens energi och blir kvar som kinetisk energi hos de partiklar den värmt upp. Till slut lämnar den infraröda strålningen jorden för rymden. Dess energiförlust syns genom en längre våglängd.

Resultatet av detta "runtstudsande" av infraröd strålning blir att jorden värms upp mer än vad den skulle ha gjort om den infraröda strålningen direkt skulle ha sänts rakt ut i rymden från jordytan.

Utan denna växthuseffekt skulle medeltemperaturen på jorden vara 33 °C lägre än vad den är idag, så växthuseffekten är något önskvärt. Problemet är dock att vi människor fyller på med extra mycket växthusgaser i atmosfären. Växthuseffekten ökar och vi får en *global uppvärmning*, det vill säga en ökning av medeltemperaturen vid jordytan. Den största boven i dramat är koldioxid, vilket bildas när fossila bränslen (s. 157) förbränns.

Koldioxidhalten i atmosfären har sedan den industriella revolutionen ökat från naturliga 0,029 % till 0,039 %. Samtidigt ökade medeltemperaturen på jorden, enligt FN, med 0,74 °C mellan 1906 och 2005. Detta kan låta lite, men är extremt mycket på så kort tid.



Bild: År 2006 kom filmen *En obekvämt sanning* med Al Gore (bilden) och öppnade många ögon för den globala uppvärmningen. Även rapporter från FN:s klimatpanel ICPP har varit viktiga för att belysa detta allvarliga hot mot jordens liv.

$E = m \times c^2$

En följd av Einsteins speciella relativitetsteori (s. 150) var formeln $E = m \times c^2$. I formeln står E för energi, m för massa och c för ljusets hastighet i vakuum.

Formeln betyder att energi har massa, precis som materia. Energi kan alltså både anges i joule (J) och kilogram (kg). Energi väger någonting. Formeln betyder också att massa är en energiform (s. 152), som kan



Bild: *Tsar Bomba* var smeknamnet på det kraftfullaste kärnvapen som någonsin detonerat. Testet utfördes av Sovjetunionen ovanför Novaja Zemlya 1961. Fotografiet är taget 160 km från explosionen och svampmolnet når här cirka 56 km högt. *Tsar Bomba* var en vätebomb, vilket innebär att det var kärnenergi hos väteatomers kärnor som frigjordes.

omvandlas till andra energiformer. Ett föremål som har en massa av 1 kg har även en inneboende energi av 9×10^{16} J. Detta är otroligt mycket energi. Om alla denna energi omvandlades till elektrisk energi skulle det 1 kg tunga föremålet kunna driva ett hushålls elektriska utrustning i fyra miljoner år.

Definitionen av materia som "något som har massa" (s. 121) är därmed inte exklusiv, eftersom även energi har massa. Därmed genererar både materia och energi gravitation.

Massa kan inte försvinna eller uppstå, och alla former av materia har energi. Likaså kan energi inte försvinna eller uppstå, och alla former av energi har massa. Massan hos ett termodynamiskt system (s. 157) är ett mått på dess energiinnehåll.

Formeln $E = m \times c^2$ härstammar alltså från den speciella relativitetsteorin. Där är vilomassan hos ett objekt den massa som uppmätts av en observatör som rör sig tillsammans med objektet. Vilomassa kan omvandlas till andra former av massa som rör sig relativt observatören, exempelvis rörelseenergi eller elektromagnetisk energi. Men massan kvarstår. Alltså, om energi ändrar form och lämnar ett system tar den sin massa med sig.

Formeln $E = m \times c^2$ används ofta som förklaring till energin som "uppstår" i kärnreaktioner. Man hänvisar då till att atomkärnorna minskar i massa och att denna massa omvandlas till ren energi. Detta är felaktigt, eftersom energin fanns där hela tiden – den har bara omvandlats från en energiform (vilomassa) till en annan (exempelvis elektromagnetisk energi). Man kan också se det som att vilomassan omvandlas till en mer rörlig form av massa, men det är alltså fortfarande massa.

Det är väldigt ovanligt i vardagliga situationer att tillräckligt mycket vilomassa omvandlas till mer rörliga former av massa och lämnar ett föremål för att det ska vara mätbart. Likaså är det väldigt ovanligt att så pass mycket rörlig massa tillförs ett föremål som vilomassa för att det ska vara mätbart.

Sammanfattningsvis är energi och massa två ansikten av samma sak – en sorts massenergi. Massa kan aldrig omvandlas till energi eller vice versa, eftersom de egentligen är samma sak – massenergi. Dock kan massenergi ibland te sig på ett sätt som vi förknippar med "energi" och ibland på ett sätt som vi förknippar med "massa".

Men oftast används begreppen *massa* och *energi* som att de är två olika saker. Så även i denna bok när det inte handlar om termodynamik eller relativitetsteori. Detta är dock inte felaktigt, utan funktionellt. I så kallad *klassisk fysik*, den fysik som utvecklades innan relativitetsteori och kvantfysik och som fortfarande används idag i vissa områden, gör man så.

Vilka följder får det att energi har massa i det vardagliga livet? Här är några exempel:

- Om en stekpanna värms på en spisplatta ökar stekpannans vilomassa. Den ökade vilomassan beror på rörelseenergi hos partiklarna i spisplattan som omvandlats till inre energi hos stekpannan.
- Om en tennisboll lyfts upp från jorden, får det termodynamiska systemet bestående av tennisboll och jordklot mer vilomassa. När föremålet släpps ned igen omvandlas den tillförda vilomassan till rörelseenergi.
- Ett gummiband som sträcks ut eller en fjäder som trycks ihop får en ökad vilomassa. Den ökade vilomassan beror på den potentiella energin som nu finns lagrad, vilken består i utsträckta kemiska bindningar mellan molekyler.
- Ett laddat batteri har en högre vilomassa än ett urladdat.
- Druvsocker väger mer än det koldioxid, vatten och ljus som krävdes för att bygga det. Den ökade vilomassan beror på den potentiella energin som nu finns lagrad, vilken består i kemiska bindningar mellan atomer.
- Om en atombomb skulle sprängas i en ogenomtränglig och oändligt stark låda, skulle all värme och elektromagnetisk energi stanna i lådan och lådan skulle väga lika mycket innan som efter detonation.
- Ett stearinljus väger mer än förbränningsprodukterna.
- I kärnreaktioner i kärnkraftverk omvandlas cirka 10 miljoner mer vilomassa till rörliga former av energi än vid kemiska reaktioner. Men fortfarande är det mindre än 1 % av vilomassan hos kärnbränslet som omvandlas.
- Om ett kärnkraftverk och ett kolkraftverk producerar lika mycket energi under ett år, har deras respektive bränslen förlorat lika mycket vilomassa.
- I solen omvandlas 5 miljoner ton kärnenergi till elektromagnetisk energi – per sekund!



Bild: I ett kärnkraftverk såsom Forsmark (bilden) omvandlas kärnenergi i uranbränsle till elektrisk energi. I ett kolkraftverk omvandlas å andra sidan kemisk energi i kolhaltiga bränslen till elektrisk energi. I båda fallen väger reaktionsprodukterna mindre än bränslet. Detta betyder att en del massa har lämnat kraftverken i form av elektrisk energi. I ett kärnkraftverk är andelen massa hos bränslet som omvandlas till elektrisk energi 10 miljoner gånger större än i ett kolkraftverk. Därför kräver ett kolkraftverk 10 miljoner gånger mer bränsle än ett kärnkraftverk för att producera lika mycket elektricitet.

Kvantfysik (kvantmekanik)

Fram tills början av 1900-talet stämde de naturlagar man hittills funnit ganska väl överens med människors intuition. Saker och ting betedde sig ungefär såsom man kunde vänta sig. Men när fysikerna med hjälp av nyare teknik började studera naturen närmare, upptäckte man fenomen som inte alls stämde överens med hur vi trodde världen fungerade. De flesta sådana kontraintuitiva fenomen hanteras inom kvantfysik. *Kvantfysik*, eller *kvantmekanik*, är i sin snäva definition vetenskapen om materia, energi och krafter på små avstånd. Men kvantfysik är även mer än så – det är den moderna fysiken. Kvantfysikens naturlagar gäller nämligen även i den stora, makroskopiska, världen. Kvantfysikens naturlagar styr ju de atomer som vi och vår omgivning består av, och därmed även oss. Men kvantfysikens märkliga effekter är för små i den makroskopiska världen, och därför är det effektivare att där använda sig av mer klassisk fysik, såsom Newtons rörelselagar ([s. 141](#)).

Här kommer vi att titta på två av de centrala delarna av kvantfysiken; partikel-våg-dualiteten och osäkerhetsprincipen.

Partikel-våg-dualiteten

Alla partiklar kan, beroende på omständigheterna, även uppvisa vågegenskaper. Detta kallas *partikel-våg-dualiteten*.

Enklast att förklara detta är genom ett känt experiment som kallas *dubbelspaltsexperimentet*. En av alla varianter av detta experiment gjordes av fysiker i Österrike 1999. De hade till sitt förfogande en mängd fullerener, vilka är molekyler bestående av 60 kolatomer sammansatta som en fotboll. De sköt dessa mikroskopiska bollar mot en vägg, vilken hade två spalter (smala öppningar) där bollarna kunde passera genom. Bakom väggen fanns en skärm som detekterade de bollar som kom igenom.

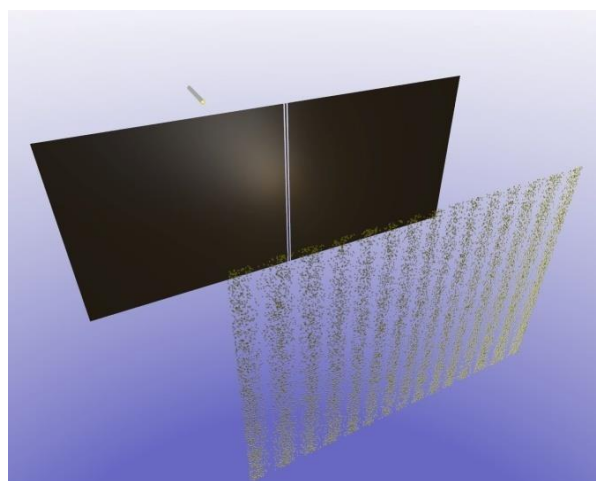
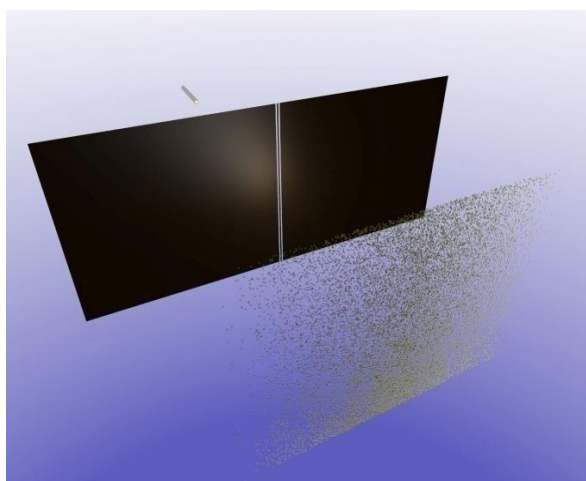


Bild: Dubbelspaltsexperimentet. Fullerener skjuts mot en vägg med två spalter. På vänstra bilden är bara den ena spalten öppen. På högra bilden är båda spalterna öppna.

Från början var bara den ena spalten öppen (vänstra bilden). De flesta av bollarna träffade väggen och studsade tillbaka, men en del passerade genom spalten och detekterades på skärmen bakom. På grund av osäkerhetsprincipen (se nedan) detekterades inte alla bollar rakt bakom öppningen, utan lite utspritt.

När även den andra spalten öppnades hände något märkligt (högra bilden). Vår vardagliga erfarenhet säger oss att antalet bollar som kom igenom väggen borde ha dubblats jämfört med när bara ena spalten var öppen, samt att de skulle ha spridits på samma sätt. Men i stället detekterades bollar i prydliga rader.

Förklaringen till detta resultat är följande att bollarna beter sig som vågor medan de passerar spalterna, men som partiklar när de detekteras på skärmen. Mönstret med de prydliga raderna är nämligen karaktäristiskt för vad som sker när två vågor passerar genom två spalter och interfererar (kolliderar) med varandra. På vissa ställen tar vågorna ut varandra och på andra ställen förstärker de varandra (bild nästa sida).

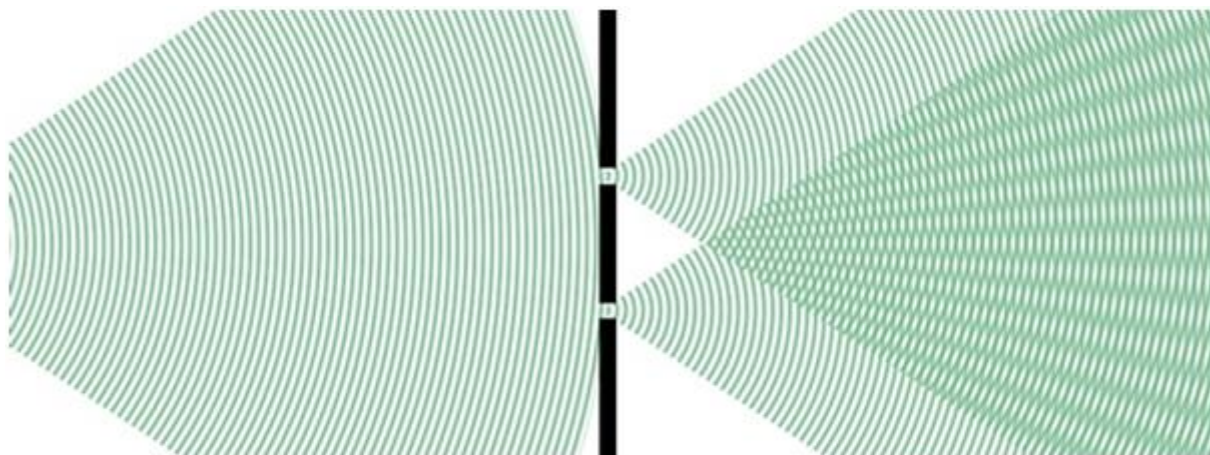


Bild: Dubbelspaltsexperimentet sett från ovan. När fullerenerna passerar de två spalterna beter de sig som vågor. Efter spalterna interfererar (kolliderar) vågorna med varandra. På bilden gestaltas vågens toppar som svarta streck. Där två svarta streck möts förstärks de båda vågorna. Där ett svart streck möter ett vitt mellanrum försvagas vågen.

Vågegenskaper bli märkbara först när våglängden (avståndet från en vågtopp till nästa) är i samma storleksordning som omgivningen vågen interagerar med. Ett exempel är ljudvågor. Ljudvågor kan böja sig runt hörn, alltså interagera med vår vardagliga omgivning, eftersom ljudvågors våglängd är i storleksordningen millimeter och meter, vilket även vår vardagliga omgivning är. Det är också därför spalterna i experimentet måste vara väldigt smala, eftersom vanlig materias våglängd är väldigt liten. Våglängden hos materia fås genom formeln $h/m \times v$, där h är Plancks konstant, m är objektets massa och v dess hastighet. Stora objekt, såsom en dator, har enligt formeln mycket liten våglängd jämfört med deras omgivning (cirka 10^{-34} till 10^{-33} m, vilket är ofantligt mycket mindre än en atom) och dess vågegenskaper märker vi därför inte. Elementarpartiklars våglängd är däremot större, i storleksordningen av en atom, och deras vågegenskaper märks tydligt. Ett exempel är fotoner, de partiklar som ljus består av. När dessa interagerar med vår makroskopiska omgivning märks ljusets vågegenskaper tydligt. Vågegenskaper hos makroskopiska objekt skulle bli tydliga om de kunde bli mycket stilla, alltså om v i formeln ovan skulle bli nära noll. Detta är mycket svårt att uppnå, men man har vid kraftig nedkyllning faktiskt påvisat vågegenskaper hos makroskopiska objekt.

När en våg detekteras beter den sig som en partikel. Man säger att "vågfunktionen kollapsar". En våg får då partikelegenskaper som den inte hade innan. Eller snarare, den hade alla varianter av dessa egenskaper innan - vågfunktionen befann sig i en *superposition*. Exempelvis är en odetekterad elektron på flera ställen samtidigt.

En tolkning av vågfunktionskollapsen är att alla alternativ händer vid detektion, till exempel att en elektron detekteras på alla möjliga ställen, och att varje alternativ ger upphov till ett nytt universum.

Ett exempel på vågor som kollapsar i vårt vardagliga liv är när vi fotograferar med en kamera (både analog och digital). Ljuset som filmen detekterar har betett sig som vågor, ända tills de träffar den. Då avbildas de som små partiklar. Detta sker även i våra ögon.

Våg-partikel-dualiteten ska inte ses som motsägelsefull, utan som komplementär. En partikel kan ibland uppträda som en våg och ibland som en partikel, men aldrig som båda på samma gång.

Osäkerhetsprincipen

Osäkerhetsprincipen innebär att det omöjligt går att mäta flera av vissa egenskaper hos en partikel samtidigt, framför allt dess position och rörelsemängd (hastighet gånger massa). Detta betyder att desto noggrannare en partikels position mäts, desto mindre noggrant går det att mäta dess hastighet, och vice versa. Om man exempelvis mäter dess position med dubbelt så stor noggrannhet (minskar felmarginalen i mätningen med hälften), kommer felmarginalen i hastighetsmätningen att fördubblas. Matematiskt så kan osäkerheten i positionsmätningen gånger osäkerheten i rörelsemängdsmätningen aldrig bli 0, utan minst cirka $6,63 \times 10^{-34}$. Detta värde kallas *Plancks konstant*, och är ett väldigt litet värde. Detta innebär att för makroskopiska objekt så märks inte osäkerheten märkbart. Det går, med vardagliga mått mätt, väldigt bra att både mäta en möbels position och hastighet utan någon märkbar felmarginal. Men för små partiklar, såsom en elektron, blir situationen en annan. Om man mäter en elektrons position med en noggrannhet stor nog att det går att bestämma vilken atom elektronen tillhör, kan man aldrig mäta elektronens hastighet med en mindre felmarginal än plus eller minus 1 000 km/s!

Det märkliga med osäkerhetsprincipen är att den inte beror på dåliga mätinstrument, utan på att naturen tycks vara osäker i sig. Enligt klassisk fysik gick det att förutspå vad som skulle hända om man visste någots tillstånd. Då kunde man, teoretiskt i alla fall, räkna ut hur alla partiklar skulle interagera med varandra och vad resultatet skulle bli. Men osäkerhetsprincipen talar om för oss att, även om naturen "vet" sitt tillstånd vid en viss tid, finns flera möjligheter om vad som kommer att hända. Det går aldrig att med säkerhet räkna ut exakt vad som ska hända, det går endast att räkna ut *sannolikheten* för att något ska hända. En av många fysiker som var bekymrade över detta var Albert Einstein som sade att det var som att Gud kastade en tärning innan han bestämde resultatet av varje fysikalisk process.

Kvantfysiken introducerade en helt ny typ av naturlagar i naturvetenskapen. I stället för naturlagar som gjorde förutsägelser om vad som skulle ske, kom nu alltså naturlagar som gjorde förutsägelser om vad som skulle *med en viss sannolikhet*. Dessa naturlagar är på ett sätt upprörande, men på ett annat sätt väldigt vackra. De förklarar nämligen väldigt väl hur observationer visat att naturen faktiskt fungerar, och även om de inte stämmer överens med vår intuition har fysiker accepterat dem av denna anledning. Detta är ju kärnan av naturvetenskap.

Dubbelspaltsexperimentet är ett av alla experiment där osäkerhetsprincipen gäller. När bara den ena spalten var öppen syntes principen genom att bollarna fördelade sig över ett större område bakom spalten, i stället för att alla landade på samma punkt på skärmen. Varje fulleren kunde med en viss sannolikhet landa överallt på skärmen - till och med utanför skärmen. Och detta berodde inte på apparatur som siktade dåligt, utan på naturens osäkerhet i sig. När båda spalterna var öppna spred sig bollarna återigen över ett större område i stället för att landa på två punkter på skärmen. Samtidigt kolliderade de med varandra, på ett sätt som är typiskt för vågor.

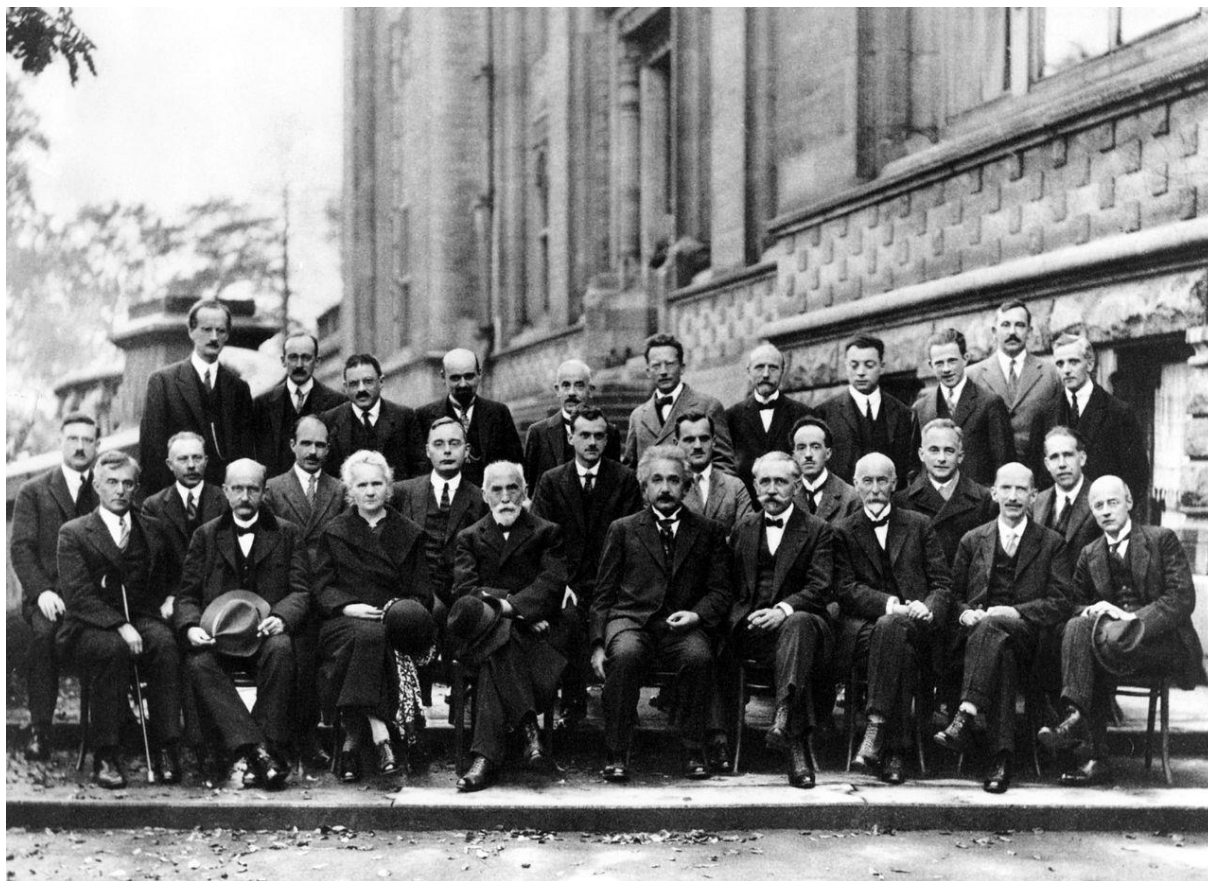


Bild: Solvaykonferenserna hålls med några års mellanrum och är en mötesplats för de mest framstående fysikerna och kemisterna. Den mest kända konferensen hölls 1927, där temat var den nya kvantfysiken. Niels Bohr (mittersta raden, längst till höger) och Albert Einstein (främre raden, i mitten) hade en livlig debatt om osäkerhetsprincipen. Einstein sade "*God does not play dice*" och Bohr replikerade med "*Einstein, stop telling God what to do*". Ingen av dem var dock särskilt religiös utan brukade, enligt de flesta historiker, använda *Gud* som en synonym för naturlagarna. Fysikern som formulerade osäkerhetsprincipen hette Werner Heisenberg (bakre raden, tredje från höger). Av de 29 deltagarna på konferensen skulle 17 vinna Nobelpriset, däribland Marie Curie (främre raden, tredje från vänster) som fick hedersbetygelsen i både fysik och kemi.

Bildförteckning

Varje bild i boken har använts i enlighet med den licens upphovsmannen och/eller licensgivaren valt för bilden. Bilder med följande licenser har använts:

Creative Commons Erkännande (CC BY): Det är tillåtet att kopiera, distribuera och sända verket. Det är också tillåtet att skapa bearbetningar samt använda verket för kommersiella syften. Allt detta under villkoret att upphovsmannen och/eller licensgivaren anges på det sätt de anger, men inte på ett sätt som antyder att de godkänner eller rekommenderar din användning av verket (Creative Commons, 2007a).

Creative Commons Erkännande-DelaLika (CC BY-SA): Det är tillåtet att kopiera, distribuera och sända verket. Det är också tillåtet att skapa bearbetningar samt använda verket för kommersiella syften. Allt detta under villkoret att upphovsmannen och/eller licensgivaren anges på det sätt de anger (men inte på ett sätt som antyder att de godkänner eller rekommenderar din användning av verket), samt att en eventuell ändrad, bearbetad eller påbyggd version av verket distribueras under samma licens eller en liknande licens som denna (Creative Commons, 2007b).

Public domain: *Public domain* är egentligen ingen licens utan ett amerikanskt juridiskt begrepp som innebär att ett verk fritt får användas och förändras av vem som helst, utan krav på att upphovsmannen anges.

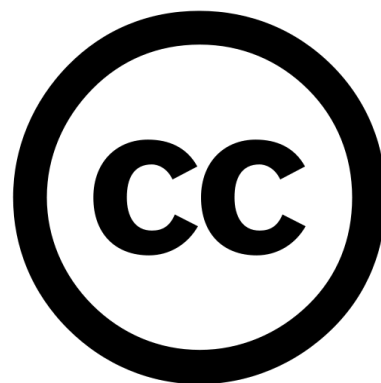


Bild: Creative Commons är en icke-vinstdrivande organisation som arbetar för att öka utbudet av kreativa verk tillgängliga för andra att bygga vidare på eller dela. En upphovsman kan välja att licensiera sitt verk under någon av organisationens licenser.

Bildförteckning

Sida 1: NASA, public domain.

Sida 2: Public domain.

Sida 6: NASA, public domain.

Sida 7 (stora): NASA, public domain.

Sida 7 (lilla): NASA, public domain.

Sida 8 (vänstra): United States Forest Service, public domain.

Sida 8 (högra): United States Geological Survey, public domain.

Sida 9: Kristian Peters, en.wikipedia.org/wiki/File:Plagiomnium_affine_laminazellen.jpeg, CC BY-SA.

Sida 10 (övre): John D. Schiff, Library of Congress, public domain.

Sida 10 (nedre): NASA, public domain.

Sida 11: sigkyrre, www.flickr.com/photos/48973837@N00/2573786522, CC BY.

Sida 12: Peter Baker, www.flickr.com/photos/wrathdelivery/3299301361, CC BY.

Sida 13: NASA, public domain.

Sida 14: Michael Kobayashi © ROSESHOP, commons.wikimedia.org/wiki/File:RS-Rainbowrose1.jpg, CC BY-SA.

Sida 15: Diane Krauss, commons.wikimedia.org/wiki/File:George_Takei.jpg, CC BY-SA.

Sida 16 (övre): Nobelstiftelsen, public domain.

Sida 16 (nedre): davida3, www.flickr.com/photos/davida3/425462125, CC BY.

Sida 17: Ed Uthman, www.flickr.com/photos/euthman/2082509795, CC BY.

Sida 19: NASA, public domain.

Sida 20: Oliverbeatson, public domain.

Sida 21 (övre): Nevermore4ever, commons.wikimedia.org/wiki/File:Comparison_sun_seen_from_planets.svg, CC BY-SA.

Sida 21 (nedre): Luc Viatour, en.wikipedia.org/wiki/File:Solar_eclipse_1999_4_NR.jpg, CC BY-SA.

Sida 22: NASA, public domain.

Sida 23: European Southern Observatory, en.wikipedia.org/wiki/File:Artist%E2%80%99s_Impression_of_a_Baby_Star_Still_Surrounded_by_a_Protoplanetary_Disc.jpg, CC BY.

Sida 24 (övre): NASA, public domain.

Sida 24 (nedre): NASA, public domain.

Sida 25 (övre): Mpfiz, public domain.

Sida 25 (mittre): NASA, public domain.

Sida 25 (nedre): NASA, public domain.
 Sida 26 (övre): NASA, public domain.
 Sida 26 (nedre): NASA, public domain.
 Sida 27 (övre): NASA, public domain.
 Sida 27 (nedre): NASA, public domain.
 Sida 28 (övre): NASA, public domain.
 Sida 28 (nedre): NASA, public domain.
 Sida 29 (övre): NASA, public domain.
 Sida 29 (nedre): Andrew Z. Colvin, commons.wikimedia.org/wiki/File:2_Solar_System_(ELitU).png, CC BY-SA,
 Sida 30 (nedre): NASA, public domain.
 Sida 30 (övre): NASA, public domain.
 Sida 31 (nedre): NASA, public domain.
 Sida 31 (övre): NASA, public domain.
 Sida 32: NASA, public domain.
 Sida 33 (övre): NASA, public domain.
 Sida 33 (nedre): commons.wikimedia.org/wiki/File:Earth-Moon2.jpg, CC BY-SA
 Sida 34 (båda): NASA, public domain.
 Sida 35: NASA, public domain.
 Sida 36: Philipp Salzgeber, en.wikipedia.org/wiki/File:Comet-Hale-Bopp-29-03-1997_hires_adj.jpg, CC BY-SA.
 Sida 37 (övre): Navicore, en.wikipedia.org/wiki/File:Leonid_Meteor.jpg, CC BY.
 Sida 37 (mittre): NASA, public domain.
 Sida 37 (nedre): Public domain.
 Sida 38 (övre): NASA, public domain.
 Sida 38 (nedre): NASA, public domain.
 Sida 39: NASA, public domain.
 Sida 40 (övre): NASA, public domain.
 Sida 40 (nedre): NASA, ESA, AURA/Caltech, Palomar Observatory, public domain.
 Sida 41 (övre): The Hubble Heritage Team, public domain.
 Sida 41 (nedre): NASA/ESA, The Hubble Key Project Team and The High-Z Supernova Search Team,
 en.wikipedia.org/wiki/File:SN1994D.jpg, CC BY.
 Sida 42: NASA, public domain.
 Sida 43: NASA, public domain.
 Sida 44: NASA/WMAP Science Team, public domain.
 Sida 46: NASA, public domain.
 Sida 47: NASA, ESA, J. Hester and A. Loll (Arizona State University), public domain.
 Sida 48 (övre): NASA, public domain.
 Sida 48 (nedre): NASA, public domain.
 Sida 49 (alla): Andrew Z. Colvin, commons.wikimedia.org/wiki/File:Earth%27s_Location_in_the_Universe_(JPEG).jpg, CC BY-SA.
 Sida 50: NASA, WMAP, public domain.
 Sida 51: NASA, public domain.
 Sida 54: NASA, ESA, M.J. Jee and H. Ford (Johns Hopkins University), public domain.
 Sida 56: Jeffrey Pang, www.flickr.com/photos/jeffpang/5257031978, CC BY.
 Sida 57: United States National Oceanic and Atmospheric Administration, public domain.
 Sida 58: NASA, public domain.
 Sida 59: Anne Fröhlich, www.flickr.com/photos/21624621@N04/4689844871, CC BY.
 Sida 60: United States National Weather Service, en.wikipedia.org/wiki/File:Record_hailstone_Vivian,_SD.jpg, public domain.
 Sida 61: United States National Oceanic and Atmospheric Administration, public domain.
 Sida 62 (övre): United States National Oceanic and Atmospheric Administration, public domain.
 Sida 62 (nedre): Justin Hobson, commons.wikimedia.org/wiki/File:F5_tornado_Elie_Manitoba_2007.jpg, CC BY-SA.
 Sida 63 (övre): NASA, public domain.
 Sida 63 (nedre): Senior Airman Joshua Strang, United States Air Force, public domain.
 Sida 64: White bear, commons.wikimedia.org/wiki/File:Europe_-_climates_(K%C3%B6ppen).gif, CC BY-SA.
 Sida 65: United States Geological Survey, public domain.
 Sida 66: Ludvig Wellander, CC BY-SA.
 Sida 67: JuriaanH, commons.wikimedia.org/wiki/File:Preikestolen02.jpg, CC BY-SA.
 Sida 69: NASA, public domain.
 Sida 70 (övre): Tim Wetherell - Australian National University, en.wikipedia.org/wiki/File:Lunar_cataclysm.jpg, CC BY-SA.
 Sida 70 (vänstra): Ittiz, en.wikipedia.org/wiki/File:AncientMars.jpg, CC BY-SA.
 Sida 70 (högra): NASA, public domain.
 Sida 71: United States Geological Survey, public domain.
 Sida 72 (övre): P.Lechien, public domain.

Sida 72 (nedre): Andre Belozeroﬀ, sv.wikipedia.org/wiki/SG-3, CC BY-SA.

Sida 73: United States Geological Survey, public domain.

Sida 74: United States Geological Survey, public domain.

Sida 75: National Oceanic and Atmospheric Administration, public domain.

Sida 76: NASA, public domain.

Sida 77 (övre vänstra): Dave Dyet, public domain.

Sida 77 (övre mittre): Rob Lavinsky, iRocks.com, commons.wikimedia.org/wiki/File:Anatase-Quartz-mun05-117a.jpg, CC BY-SA.

Sida 77 (övre högra): Dave Dyet, public domain.

Sida 77 (nedre vänstra): Halvard Hatlen, commons.wikimedia.org/wiki/File:400-bohus-granitt.gif, CC BY-SA.

Sida 77 (nedre mittre): Roll-Stone at de.wikipedia, commons.wikimedia.org/wiki/File:Halmstad.jpg, CC BY-SA.

Sida 77 (nedre högra): Kevin Walsh, www.flickr.com/photos/86624586@N00/10194484, CC BY.

Sida 78 (övre): NASA, public domain.

Sida 78 (nedre): commons.wikimedia.org/wiki/File%3aAntarctica_Map_Wilkes_L_Crater.png, CC BY-SA.

Sida 79: Steve Childs, www.flickr.com/photos/steve_childs/5386276787, CC BY.

Sida 80 (övre): Steve Shattuk, www.flickr.com/photos/steve_shattuck/3886114215, CC BY.

Sida 80 (nedre): Paul Nasca, public domain.

Sida 81 (övre): Jonas Bergsten, public domain.

Sida 81 (nedre): Matěj Batha, en.wikipedia.org/wiki/File:Gavialis_gangeticus,_ZOO_Praha_045.jpg, CC BY-SA.

Sida 82 (överst): Maximilian Dorsch, commons.wikimedia.org/wiki/File:ParusCaeruleus.jpg, CC BY-SA.

Sida 82 (näst överst): Sławek Staszczuk, ca.wikipedia.org/wiki/Fitxer:Parus_major_m.jpg, CC BY-SA.

Sida 82 (vänstra): Ken Hammond, United States Department of Agriculture, public domain.

Sida 82 (högra): Lindsay Wilson, www.flickr.com/photos/snailsareslimy/5927635854, CC BY.

Sida 83 (vänstra): Ilmari Karonen, en.wikipedia.org/wiki/File:Speciation_modes.svg, CC BY-SA.

Sida 83 (högra): Ysangkok, public domain.

Sida 84 (övre): Ludvig Wellander, CC BY-SA.

Sida 84 (nedre): Frank Vassen, www.flickr.com/photos/42244964@N03/4023061440, CC BY.

Sida 85 (övre): Ludvig Wellander, CC BY-SA.

Sida 85 (nedre stora): Stephen Fairclough, en.wikipedia.org/wiki/File:Monosiga_Brevicollis_Phase.jpg, CC BY-SA.

Sida 85 (nedre lilla): Urutseg, en.wikipedia.org/wiki/File:Cronoflagelado2.svg, CC BY-SA.

Sida 86: Ludvig Wellander, CC BY-SA.

Sida 87 (övre): Ludvig Wellander, CC BY-SA.

Sida 87 (nedre): Orizatriz, commons.wikimedia.org/wiki/File:Albinoaxolotl3.jpg, CC BY-SA.

Sida 88 (övre): Blogue Dementia, www.flickr.com/photos/45617735@N07/4435474899, CC BY-SA.

Sida 88 (mittre): Jenny Varley, www.flickr.com/photos/34118865@N07/6309487775/in/set-72157627920068859, CC BY-SA.

Sida 88 (nedre): Sander van der Wel, www.flickr.com/photos/40803964@N08/4240012319, CC BY-SA.

Sida 89 (övre): Ludvig Wellander, CC BY-SA.

Sida 89 (nedre): Kurt Stüber, en.wikipedia.org/wiki/File:Ginkgo_biloba0.jpg, CC BY-SA.

Sida 90 (övre): Kurt Stüber, en.wikipedia.org/wiki/File:Polypodium_vulgare0.jpg, CC BY-SA.

Sida 90 (nedre vänstra): John Haslam, www.flickr.com/photos/43145783@N00/501043766, CC BY.

Sida 90 (nedre högra): Shamli071, commons.wikimedia.org/wiki/File:Flower_3.jpg, CC BY-SA.

Sida 91 (övre): Ludvig Wellander, CC BY-SA.

Sida 91 (nedre vänstra): Wolfgangw, commons.wikimedia.org/wiki/File:Craterellus_cornucopioides2.jpg, CC BY-SA.

Sida 91 (nedre högra): Graham D. Schuster, commons.wikimedia.org/wiki/File:Hyella_caespitosa_hypae.jpg, CC BY-SA.

Sida 92 (övre): Ludvig Wellander, CC BY-SA.

Sida 92 (nedre vänstra): United States Department of Health and Human Services, public domain.

Sida 92 (nedre högra): National Park Service, public domain.

Sida 93 (vänstra): Jonathan Palero, www.flickr.com/photos/jonathanpalero/171301223, CC BY-ND.

Sida 93 (högra): Yutaka Tsutsumi, public domain.

Sida 97: Zephyris, commons.wikimedia.org/wiki/File:DNA_Structure%2BKey%2BLabelled_Swettransl.png, CC BY-SA.

Sida 98 (vänstra): Andreas Bolzer, Gregor Kreth, Irina Solovei, Daniela Koehler, Kaan Saracoglu, Christine Fauth, Stefan Müller, Roland Eils, Christoph Cremer, Michael R. Speicher, Thomas Cremer, en.wikipedia.org/wiki/File:PLoSBIol3.5.Fig1bNucleus46Chromosomes.jpg, CC BY.

Sida 98 (högra): Steffen Dietzel, en.wikipedia.org/wiki/File:HumanChromosomesChromomycinA3.jpg, CC BY-SA.

Sida 99: National Institutes of Health, public domain.

Sida 101: Gary Kramer, public domain.

Sida 102: Barry Peters, www.flickr.com/photos/barrypeters/3385504415, CC BY.

Sida 103: United States Great Lakes Environmental Research Laboratory, public domain.

Sida 105 (övre): Nobu Tamura, en.wikipedia.org/wiki/File:Ambulocetus_BW.jpg, CC BY.

Sida 105 (nedre): Ghedoghedo, commons.wikimedia.org/wiki/File:Ambulocetus_natans_4.jpg, CC BY-SA.

Sida 106: Jerry Daykin, www.flickr.com/photos/31244652@N00/12935938, CC BY.

Sida 107: Волков Владислав Петрович, public domain.

Sida 108: GTBacchus, commons.wikimedia.org/wiki/File%3aGiraffeRunning.jpg, CC BY-SA.

Sida 109: Mukul2u, commons.wikimedia.org/wiki/File:Cheetah_Kruger.jpg, CC BY.

Sida 110 (övre): Charlesjsharp, commons.wikimedia.org/wiki/File:Impala_jumping.JPG, CC BY-SA.

Sida 110 (nedre): Totodu74, public domain.

Sida 111: Ludvig Wellander, CC BY-SA.

Sida 112 (övre): Ludvig Wellander, CC BY-SA.

Sida 112 (nedre): NASA, public domain.

Sida 113: Paul Harrison, en.wikipedia.org/wiki/File:Stromatolites_in_Sharkbay.jpg, CC BY-SA.

Sida 114: Polyhedron, commons.wikimedia.org/wiki/File:Endosymbiosis.png, CC BY-SA.

Sida 115 (övre): Katelypn1, en.wikipedia.org/wiki/File:ColonialFlagellateHypothesis.png, CC BY-SA.

Sida 115 (mittre): United States Geological Survey, public domain.

Sida 115 (nedre): John Alan Elson, en.wikipedia.org/wiki/File:Trilobitegrowth.jpg, CC BY-SA.

Sida 116 (övre): Ron Blakey, en.wikipedia.org/wiki/File:Blakey_500moll.jpg (m.fl.), CC BY-SA.

Sida 116 (nedre): Nobu Tamura, en.wikipedia.org/wiki/File%3aArandaspis_NT.jpg, CC BY-SA.

Sida 117 (övre): Ville Koistinen, commons.wikimedia.org/wiki/File:Cooksonia.png, CC BY-SA.

Sida 117 (nedre): Nobu Tamura, en.wikipedia.org/wiki/File%3alchthystega_BW.jpg, CC BY-SA.

Sida 118 (övre): Xenarachne, public domain.

Sida 118 (mittre): NASA, public domain.

Sida 118 (nedre): Gerhard Boeggemann, en.wikipedia.org/wiki/File:Europasaurus_holgeri_Scene_2.jpg, CC BY-SA.

Sida 119 (övre): H. Raab, en.wikipedia.org/wiki/File:Archaeopteryx_lithographica_%28Berlin_specimen%29.jpg, CC BY-SA.

Sida 119 (mittre): Shizhao, en.wikipedia.org/wiki/File:Archaeofructus_liaoningensis.jpg, CC BY-SA.

Sida 119 (nedre): Tobu Namura, en.wikipedia.org/wiki/File%3aPseudotribos_BW.jpg, CC BY-SA.

Sida 120 (övre): Tobu Namura, en.wikipedia.org/wiki/File%3aPlesiadapis_NT.jpg, CC BY-SA.

Sida 120 (mittre): Guérin Nicolas, en.wikipedia.org/wiki/File%3aProconsul_skeleton_reconstitution_%28University_of_Zurich%29.jpg, CC BY-SA.

Sida 120 (nedre): drsuparna, commons.wikimedia.org/wiki/File:Human_fetus_10_weeks_-_therapeutic_abortion.jpg, CC BY-SA.

Sida 121: IBM, en.wikipedia.org/wiki/File:IBM_Zurich_Press_Release_AFM_Image_Penacene_Aug_2009.jpg, CC BY-SA.

Sida 122 (övre): Ludvig Wellander, CC BY-SA.

Sida 122 (nedre): Yzmo, en.wikipedia.org/w/index.php?title=File:Helium_atom_QM.svg&page=1, CC BY-SA.

Sida 123 (övre): Erwinrossen, public domain.

Sida 123 (nedre): Ludvig Wellander, CC BY-SA.

Sida 124: United States Geological Survey, public domain; Mario Sarto, en.wikipedia.org/wiki/File:Brillanten.jpg, CC BY-SA; Michael Ströck, commons.wikimedia.org/wiki/File:Eight_Allotropes_of_Carbon.png, CC BY-SA.

Sida 125 (övre): Cepheus, public domain.

Sida 125 (nedre): GregRobson, en.wikipedia.org/wiki/File:Periodic_Table_of_Elements_showing_Electron_Shells.svg, CC BY-SA.

Sida 127: Wdcf, en.wikipedia.org/wiki/File:NaF.gif, CC BY-SA.

Sida 128: Benjah-bmm27, public domain.

Sida 129 (övre): Ludvig Wellander, CC BY-SA.

Sida 129 (nedre): Ludvig Wellander, CC BY-SA; Solkoll, public domain.

Sida 130 (övre): Qwerter, commons.wikimedia.org/wiki/File:3D_model_hydrogen_bonds_in_water.jpg, CC BY-SA.

Sida 130 (nedre): Ludvig Wellander, CC BY-SA.

Sida 131: NDT Education Resource Center, www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Structure/metallic.htm.

Sida 132: NASA, public domain.

Sida 133 (övre): ElfQrin, en.wikipedia.org/wiki/File:Physics_matter_state_transition_1_en.svg, CC BY-SA.

Sida 133 (nedre): Dennis Wright, www.flickr.com/photos/denniswright/217159324, CC BY-ND.

Sida 134: Luis Javier Rodriguez Lopez, commons.wikimedia.org/wiki/File:Solid_liquid_gas.svg, CC BY-SA.

Sida 136: CaesiumFluoride, de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:ThermiteFe2O3.JPG&filetimestamp=20090129074216, CC BY-SA.

Sida 137: alpinethread, www.flickr.com/photos/50514053@N00/2129966999/in/set-72157603523559132, CC BY-SA.

Sida 138: MissMJ, commons.wikimedia.org/wiki/File:Standard_Model_of_Elementary_Particles-sv.svg, CC BY.

Sida 139: Arpad Horvath, en.wikipedia.org/wiki/File:Quark_structure_proton.svg, CC BY-SA.

Sida 140: Gert-Martin Greuel, en.wikipedia.org/wiki/File:Higgs_Peter_(1929)3.jpg, CC BY-SA.

Sida 141: NASA, public domain.

Sida 142 (övre): Chaes N., www.flickr.com/photos/28446856@N00/4366536390, CC BY-SA.

Sida 142 (nedre): Dna-Dennis, en.wikipedia.org/wiki/File:NewtonsLawOfUniversalGravitation.svg, CC BY.

Sida 143 (övre): Thierry Dugnolle, public domain.

Sida 143 (nedre): Public domain.

Sida 145 (övre): Ludvig Wellander, CC BY-SA.

Sida 145 (nedre): Public domain.

Sida 146: Ludvig Wellander, CC BY-SA.

Sida 147: Public domain.

Sida 148: Aney, en.wikipedia.org/wiki/File:Bar_magnet.jpg, CC BY-SA.
 Sida 149 (övre): NASA, public domain.
 Sida 149 (nedre): Spigget, en.wikipedia.org/wiki/File:Rendered_Spectrum.png, CC BY-SA.
 Sida 150: Lienhard Schulz, en.wikipedia.org/wiki/File%3aRelativity3_Walk_of_Ideas_Berlin.jpg, CC BY-SA.
 Sida 151: Johnstone, en.wikipedia.org/wiki/File%3aSpacetime_curvature.png, CC BY-SA.
 Sida 152: Squaw Valley, www.flickr.com/photos/squawvalleyusa/6405836029, CC BY-SA.
 Sida 153: Leyo, en.wikipedia.org/wiki/File:Ectophylla_alba_Costa_Rica.jpg, CC BY-SA.
 Sida 154: NASA, public domain.
 Sida 155 (övre): S.Portland, public domain.
 Sida 155 (nedre): Tomasz Sienicki, commons.wikimedia.org/wiki/File:Turbiny_wiatrowe_w_Szwecji,_2011_ubt.jpg, CC BY.
 Sida 156: Jason Minshull, public domain.
 Sida 157: ilovebutter, www.flickr.com/photos/jdickert/3091034228, CC BY.
 Sida 158 (övre): NASA, public domain.
 Sida 158 (nedre): Sandra Leduc, commons.wikimedia.org/wiki/File:JK_Everest_May_2012.jpg, CC BY-SA.
 Sida 159 (övre): en.wikipedia.org/wiki/File:Maxwell_Dist-Inverse_Speed.png, CC BY-SA.
 Sida 159 (nedre): en.wikipedia.org/wiki/File:Wiens_law.svg, CC BY-SA.
 Sida 160 (övre): Tom Raftery, en.wikipedia.org/wiki/File:Al_Gore_at_SapphireNow_2010.jpg, CC BY-SA.
 Sida 160 (nedre): Andy Zeigert, www.flickr.com/photos/andyz/3856834913, CC BY-SA.
 Sida 161: Anders Sandberg, www.flickr.com/photos/87547772@N00/1775684849, CC BY.
 Sida 162 (vänster): Jean-Christophe BENOIST, commons.wikimedia.org/wiki/File:2Slits-particles_only.jpg, CC BY.
 Sida 162 (höger): Jean-Christophe BENOIST, commons.wikimedia.org/wiki/File:2slits_quantum.jpg, CC BY.
 Sida 163: Tatoute, commons.wikimedia.org/wiki/File:Fentes_young.png, CC BY-SA.
 Sida 164: Benjamin Couprie, public domain.
 Sida 165: Public domain.

Källförteckning

- Creative Commons (2007a), *Creative Commons Erkännande 3.0 Unported (CC BY 3.0)*, creativecommons.org/licenses/by/3.0 (hämtad 2013-02-03).
- Creative Commons (2007b), *Creative Commons Erkännande-DelaLika 3.0 Unported (CC BY-SA 3.0)*, creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0 (hämtad 2013-02-03).
- Dawkins, Richard (2007), *The God Delusion*, Bantam Books, USA.
- Hawking, Stephen & Mlodinov, Leonard (2011), *The Grand Design*, Bantam Books, Tyskland.
- Sagan, Carl (1994), *Pale Blue Dot: A Vision of the Human Future in Space*, Random House Publishing Group, New York.
- Sjöberg, Svein (2004), *Naturvetenskap som allmänbildning - en kritisk ämnesdidaktik*, Lund, Studentlitteratur.

Index

En fetmarkerad sida innehåller en definition av begreppet.

- 2010 TK₇, 38
abiotisk, **101**
absoluta nollpunkten, **59**
acceleration, **141**
accretion of terranes, 73
adenin, 97
adenosintrifosfat, **81**, 96
AE. Se *astronomisk enhet*
aggregationstillstånd, 133–34, **133**
aktin, 95, 98
aktuellt avstånd (kosmologi), **54**
Albert Einstein, 10, 164
Aleuterna, 76
alkalimetall, **126**
allmänna relativitetsteorin, 151
allopatrik artbildning, **83**
allopolyploidi, **83**
allotrop, **124**, 132
Alpha Centauri, 39
Alpheidae, 79
Ambulocetus natans, 105
amensalism, **103**
americium, 126
amfibie. Se *groddjur*
aminosyra, 98, 99, 107, 112
ampere, **146**
Amphistium paradoxum, 110
anagenes, **83**
analogt organ, **106**
analytisk kemi, **121**
anatomi, **106**
Anderna, 76
Andromedagalaxen, 43
Antarktis, 59
antipartikel, **138**, 139
Apollo 11, 35
Apophis (99942 Apophis), 38
arbete (fysik), **152**
arbetsliv, 18
Archaeofructus, 119
Archaeopteryx lithographica, 119
argon, 57
arké, 84, **92**, 112
Arno Penzias, 50
art, 82–84, **82**
artbildning, 83
asexuell fortplantning. Se *könlös fortplantning*
astenosfär, 72
asteroid, 37–38, **37**, 112
asteroidbältet, **37**
astronomi, 19–55, **19**
astronomisk enhet, **24**
atmosfär, 57–63, **57**, 70, 113
atmosfären, 159–60
atom, 121–36
atombomb. Se *kärnvapen*
atomkärna, 122–26, 128, 129, 130, 138, 139, 140, 145–47
atommassa, **124**
atomnummer, **123**, 125
ATP. Se adenosintrifosfat
autopolyploidi, **83**
Autostadt, 157
autotrof, **81**
axolotl, 87
bakterie, 84, **92**, 112, 113
barometer, 60
barr, 90
Barringerkratern, 70
barrträd, 118
barrväxt, **90**, 120
baryon, **52**, **139**
baryonisk materia, 46–47, **52**, 53
basalt, 73
basidiesvamp, 91
basilisk, 16
batteri, 147
begrepp, **11**
benfisk, 117
bergart, **77**
bergskedja, 74–76
bergvärme, 154
Big Bang, 44–45, **44**, 50
Big Bang-teorin, **44**, 50
bildning, 18
biobränsle, **156**
biokemi, **121**
biologi, 79–120, **79**
biologisk geografi, **15**
biosfär, 101
biotisk, **101**
bladmossa, 89
blandning (kemi), **132**
blix, **61**
block, **68**
blomma, 90
blomväxt, **90**, 119, 120
blåmes, 82
blötdjur, 117
border collie, 82
Bose-Einstein-kondensat, 133
boson, 139–40, **139**
botanik, 89–90, **89**
brom, 126
broskfisk, 87
brunjord, 68
brunkol, 157
buller, **144**
bunden rotation, **34**
bunden rotation (månen), 34
Buzz Aldrin, 35
byggnadsmaterial (biologi), 80, 81
Cal Orcko, 106
Callisto, 27
Canadian Rockies, 56
Cantor's giant softshell turtle, 88
Casineria, 118
cell, **11**, 80, 93–96, 112
celandning, **81**, 94, 96, 104
cellbiologi, 93–96, **93**
cellkärna, **95**, 98, 99
cellmembran, **94**, **95**, 112
cellplasma, 99
cellteorin, 93
cellulosa, 96, 135
cellvägg (eukaryot), **96**
cellvägg (prokaryot), **94**
centaur, **38**
cepheid, 55
Ceres, 30
Charon, 30
Chiraklo (10199 Chiraklo), 38
choanoflagellat, 85
Cooksonia, 117
copernicium, 126
Curiosity, 26
cyanobakterie, 113
cyklon. Se *tropisk cyklon*
cytoplasma (eukaryot), **96**
cytoplasma (prokaryot), **94**
cytosin, 97
cytoskelett (eukaryot), **96**
cytoskelett (prokaryot), 95
cytosol, **94**, **96**
dark ages (kosmologi), 46
decibel, **144**
Deimos, 26
dejonisering, **134**
demokrati, 18
deoxyribonukleinsyra. Se *DNA*
deoxyribos, 97
deposition, **134**
determinism, **9**
devon, 117
dextros. Se *druvsocker*
dia, 88
diabas, 73
diamagnetism, **148**
diamant, 124
dinosaurie, 118, 119
dioxin, 57
dipol, **129**
dipolbindning, **130**
divergerande gräns, **74**

divergerande urval, **110**
djuphavsgrov, 76
djur, 86–88, **86**, 115
DNA, 80, 94, 97–100, **97**, 111, 112
domän (biologi), 82, 84
Door to Hell, 72
dottercell, 99
druvsocker, 80, 135, 136
dubbelspaltsexperimentet, 162–63
dvärgplanet, 30–32, **30**
dyjord, **68**
dägga. Se *dia*
däggdjur, **88**, 118, 119, 120
 $E = mc^2$, 151, 160–61
E. coli. Se *Escherichia coli*
ebb, **34**
Eddy current, 72
ediacarafaunan, 115
Edwin Hubble, 50
efedraväxt, 89
egenskap (evolutionsbiologi), 107
ekologi, 101–4, **101**
ekologiskt hållbart samhälle, 17, 18
ekonomi, 16
ekosystem, **103**
eld, 134
elektricitet, 145–47, **145**
elektrisk energi, **152**
elektrisk ström, 146–47, **146**
elektromagnet, 148
elektromagnetisk energi, **152**, 153
elektromagnetisk strålning, 148–49, **148**, 152, 153, 157–60
elektromagnetisk våg. Se *elektromagnetisk strålning*
elektromagnetiska kraften, **139**, 145
elektromagnetism, 145–49, **145**
elektron, 122–26, 127–30, 136, 139, 140, 145–47
elektronmoln, 122
elektronparbindning, **129**
elektronskal, 122, **123**, 124, 127, 128, 129
elementarladdning, **138**
elementarpartikel, 122, 123, **138**
emissionsavstånd, **54**
En obekväm sanning, 160
Enckes komet, 36
endoplasmatiskt nätverk, **96**, 99
endoplasmatiskt retikulum. Se *endoplasmatiskt nätverk*
endosymbios, **114**
endoterm, **136**
energi, 80, 104, 136, 152–61, **152**
energiqualitet, **153**
energinivå, 122
energiprincipen, **153**
energiproduktion, 154
energiutvinning, 154–57
enkel eukaryot, **85**, 92, 114

enzym, **98**, 112
Eris, 31
erosion, **67**, 105
Escherichia coli, 92
eter, 148
eukaryot, **84**, 85, 95–96, 114
eukaryot cell, 95–96
Europa (måne), 27
evolution, 105–20, **105**
evolutionsbiologi, 105–20, **105**
exoplanet, 39
exosfär, 58
exoterm, **136**
expansion (kosmologi), 53, 54–55
experiment, **13**
extragalaktisk astronomi, 44–55, **44**
falsifiering, **10**
familj (biologi), 82
Faralloonplattan, 76
fas (astronomi), **24**
fast form, **133**
fenotyp, **107**
fermion, 138–39, **138**
ferromagnetism, 148
filament (astronomi), **49**
filosofi, 16
fission, **156**
flagell, **95**
flercellighet, 114
flod, **34**
fluor, 128
flygplan, 57
flytande form, **133**
flytande vatten, **59**
Fomalhaut, 39
Forsmark, 161
fortplantning, 80, 99
fosfatgrupp, 97
fosfolipid, 94, 95
fossil, 105–6, **105**
fossilt bränsle, **157**
fostervatten, **87**
fotoautotrof, **81**, 113
foton, 52, 53, **139**, 148
fotonepok, 45–46, **45**
fotosfär, 22
fotosyntes, **81**, 95, 104, 136, 153
frekvens, **144**
friktionskraft, **141**
frostsprängning, **67**
frukt, 90
fräkenväxt, 117
fräkenväxter, 118
frö, 90
fröväxt, 118
fusion, **22**, 153, 156
fusion (i solen), 22
fylum (biologi), 82
fysik, 137–64, **137**
fysikalisk kemi, **121**
fysiologi, **106**
fysisk geografi, **15**

fåglar, **88**, 119, 120
fältspat, 77
färgladdning, **139**
förstening, **105**
förutsägelse, 14
förångning, **133**
gabbro, 73
galaktisk astronomi, 42–43, **42**
galax, 42–43, **42**, 48
galaxbildning, 48
galaxhop, **49**
gammastrålning, 149
Ganymedes, 27
gasform, **134**
gasjätte. Se *gasplanet*
gasplanet, **27**, 70
gavial, 81
Geirangerfjorden, 133
gen, **99**, 107–10
generator, 155
genetik, 97–100, **97**
genetisk drift, 107
genflöde, 107
genmutation, **100**
genotyp, **107**
geodesi, **78**
geografi, **15**
geokorona, **58**
geologi, 69–77, **69**
geometri (kosmologi), **51**
geovetenskap, 56–78, **56**
gepard, 109, 110
ginkgo, 89
giraff, 108
glaciologi, 65–66, **65**
glimmer, 77
global uppvärmning, **160**
glukos. Se *druvsocker*
gluon, **139**
glödtråd, 147
gnejs, 77
Golgiapparat, 96
Gondwana, 116
gorilla, 120
grafit, 112, 124
gran, 90
Grand prismatic spring, 92
granit, 77
gravitation, 151
gravitationsenergi, 53
gravitationskraften, 78, 140, 142
graviton, **140**
groddjur, **87**, 117, 118
grundvatten, **66**
grundämne, 124, **132**
grupp (periodiska systemet), **126**
grus, **68**
guanin, 97
gyttjejord, **68**
gåshud, 106
hadron, **139**
hagel, **60**
haj, 120

Hale-Bopp, 36
 Halleys komet, 36
 halo, 46
 halvmetall, **126**
 hastighet, 142
 Haumea, 31
 hav, 65–66, 70
 havsbottenlitosfär, 73–74, **73**
 heliopaus, **21**
 heliosfär, 21
 helium, 122, 123
 herbivori, **102**
 hertz, **144**
 heterogen blandning, **132**
 heterosfär, **58**
 heterotrof, **81**
 Hi'aka, 31
 Higgs boson, **140**
 Himalaya, 76
 historia, 15
 histosol, 68
 Homo sapiens. Se *människa*
 homogen blandning, **132**
 homogenitet, **51**
 homologt organ, **106**
 homosfär, **58**
 Hubble eXtreme Deep Field, 7
 Hubble Ultra Deep Field, 48
 Hubbles konstant, 51, **53**
 Hubbles lag, **53**
 humus, **68**
 hybrid, **82**
 Hydra, 30
 hydrologi, 65–66, **65**
 hydrosfär, **66**
 Hygia, 37
 hygrometer, 59
 hypotes, **11**, 13, 14
 hälsa, 15
 högland (månen), **34**
 högtryck, **61**
 höjd över havet, **78**
 IAU. Se *International Astronomical Union*
Ichthyostega, 117
 icke-metall, **126**
 ideell gas, **158**
 identitet, 16
 IMA. Se *The International Mineralogical Association*
 impala, 109, 110
 individ, **101**
 inflation (Big Bang-teorin), **45**
 infraljud, **144**
 infraröd strålning, 149
 inre energi, 157–59, **157**
 inre kärna (geologi), 72
 inre membran, **95**
 insekt, 86, 117, 118
 insulin, 100
 International Astronomical Union, 23
 Internationella rymdstationen, 58

interstellärt medium, **42**
 intracellulärt membran. Se *inre membran*
 Io, 27
 is (vatten). Se *vattenis*
 Isaac Newton, 141
 Ishtar Terra, 25
 ismoln. Se *natttlysande moln*
 isolator, **146**
 isotop, 106, **124**
 isotropi, **51**
 Jesus Christ lizard, 16
 J-kurva (ekologi), 102
 jon, **128**
 jonbindning, 127–28, **128**
 jonförening, 127–28, **128**, 130
 jonisering, **128**, **134**
 jonosfär, 58, 134
 jord, 67–68, **67**
 jordart, **68**
 jordbävning, 74–76
 Jordbävningen i Valdivia. Se *Stora jordbävningen i Chile*
 jorden, 25, 56–78
 jordgubbe, 82
 jordmån, 68
 jordskorpa, 70, 72
 joule, 153
 jungfrufödelse, 100
 Jupiter, 27
 jura, 119
 jämnvarm, **88**, 119
 järnkatastrofen, 72
 järn-svavel-världen, 112
 kallblodig. Se *växelvarm*
 kalori, **153**
 kambriska explosionen, **115**
 kambrium, 115
 kammanet, 115
 kapsel (bakterie), **94**
 karbon, 118
 Kármánlinjen, **58**
 katalysator, **135**
 kattbjörn, 88
 kemi, 121–36, **121**
 kemisk beteckning, **125**, 128
 kemisk bindning, 127–30, **127**
 kemisk energi, 80, 136, **152**
 kemisk förening, **132**
 kemisk reaktion, 135–36, **135**
 kemoautotrof, **81**, 112
 kerogen, 157
 kilokalori, **153**
 kilowattimme, 153
 kinetisk energi, 157–60
 kitin, 91
 kladogenes, **83**
 klass (biologi), 82
 klassisk fysik, 161
 klassisk mekanik, 141–44, **141**
 klimat, **64**
 klimatologi, **64**
 klimatzon, **64**

klon, 100
 klorofyll, 95, **96**
 kloroplast, **96**
 klumpning (astronomi), 46–47
 kol, 118, 124, 157
 kol-14, 106
 Kola Superdeep Borehole, 72
 koldioxid, 57, 135, 136, 160
 kolkraftverk, 161
 kollisionsgräns. Se *konvergerande gräns*
 koma, **36**
 komet, 36, 112
 kometkärna, **36**
 kommensalism, **102**
 koncentration, 135
 kondensation, **134**
 konduktion, 71, **157**
 konkurrens, **102**
 konservativ gräns. Se *omvandlingsgräns*
 konst, 15
 konsument (ekologi), **103**, 104
 kontaktyta, 135
 kontinentaldrift, 73–76, **73**
 kontinentallitosfär, 73–74, **73**
 konvektion, 22, 72, 74, **158**
 konvektiv zon, 22
 konvergerande gräns, **75**
 koralldjur, 86
 korallrev, 117
 korgblommig växt, 90
 kornstorlek, **68**
 korona, 21
 kosmisk bakgrundsstrålning, 50, 52, 54, 55
 kosmiska avståndsstegen, 55
 kosmologi, 44–55, **44**
 kosmologiska principen, **51**
 kotte, 90
 kottepalm, 89
 kovalent bindning. Se *elektronparbindning*
 Krabbnubulan, 47
 kraft, 139–40, 142
 kraft (klassisk mekanik), **141**
 kraft (partikelfysik), **139**
 kraftbärande partikel, 139–40
 kraftlagen, **141**
 krater, 35
 kristall, **76**
 krita, 119
 kromosfär, 21
 kromosom, 94, **98**
 kromosommutation, **100**
 kräftdjur, 86
 kräldjur, **87**, 118, 119
 kultur, 15, 18
 kulturgeografi, **15**
 kunskapsområde, **15**
 kurvatur (kosmologi), 51
 kvantfysik, 10, 162–64, **162**
 kvantmekanik. Se *kvantfysik*

- kvark, 123, **138**
 kvark-gluon-plasma, 133
 kvarts, 77
 kvartär, 120
 kvicksilver, 126
 kvintess, **53**
 kvävebas, **97**, 107
 kvävgas, 57
 kärna (geologi), 72
 kärna (solen), 22
 kärnenergi, **152**, 153
 kärnkraft, **156**
 kärnkraftverk, 156, 161
 kärnvapen, 160, 161
 könlig fortplantning, **100**
 könlös fortplantning, **100**
 könszell, **100**
 Köppens klassificeringssystem, 64
 laboration, **13**
 laddning, **138**, 145
 laddning (elektricitet), 139
 lagen om verkan och motverkan, **142**
 Lake Ontario, 103
 lansettfisk, 116
 Lantmäteriet, 78
 Large Hadron Collider, 137
 Late Heavy Bombardment, 70, 112
 latinskt namn (biologi), 82
 latitud, **78**
 lav, **91**
 lava, **74**, 76
 ledare (elektricitet), **146**
 leddjur, 86, 117
 legering, **132**
 Leoniderna, 37
 lepton, **139**
 ler, **68**
 lera, **68**
 levande organism, **80**
 LHC. Se *Large Hadron Collider*
 likformig rörelse, **141**
 Lilla Magellanska molnet, 43
 Lillgrund vindkraftspark, 155
 limnologi, 65–66, **65**
 litosfär, 71
 litosfärplatta, 73
 liv, 80–85, **80**
 livets uppkomst, 111–12
 ljud, 143–44
 ljudnivå, **144**
 ljudvall, **143**
 ljudvåg, **143**, 144
 ljus. Se *synligt ljus*
 ljusets hastighet, 54, 149, 150–51
 ljusreseavstånd, **54**
 ljusår, 54
 Lokala galaxhopen, 49
 Lokala superhopen, 49
 longitud, **78**
 luft, **57**, 143
 luftfuktighet, 59
 lufttryck, 60–61, **60**, 61
 lummerväxt, 89, 117
 lungfisk, 87
 lysosom, **96**
 lytisk vakuol, 96
 lågtryck, **61**
 lägesenergi, **152**
 lösning (kemi), **132**
 magma, **74**, 76
 magmatisk bergart, **77**
 magmatisk djupbergart, **77**
 magnet, **148**
 magnetfält (jorden), 63, 72
 magnetism, **148**
 Makemake, 31
 manet, 86
 mantel (geologi), 72
Marella, 115
 Marie Curie, 164
 Mars, 26
 massa, **138**, 140, 142, 160–61
 massenergi, 161
 masspartikel, 138–39
 matematik, 16
 materia, 121–36, **121**, 138–40, 160–61
 materiaeran, **53**
 Maxwell-Boltzmannfördelning, 159
 medicin, **15**
 meios, **100**
 mekanik (klassisk), 141–44
 mekanik (kvant-). Se *kvantfysik*
 mekanisk energi, **152**
 membranprotein, 94, 95
 Merkurius, 10, 24–25
 mesocyklon, 62
 meson, **139**
 mesopaus, **58**
 mesosfär (geologi), 72
 mesosfär (meteorologi), 58
 messenger-RNA, **98**
 metall, **126**, 130
 metallbindning, **130**, 146
 metamorf bergart, **77**
 meteor, **37**
 meteorit, **37**
 meteoroid, **37**, 58
 meteorologi, 57–63, **57**
 mikrobiologi, **92**
 mikropatta, 76
 mikroskop, 92
 mikrovåg, 149
 miljöfaktor, **101**
 mineral, 76–77, **76**
 mineralgrupp, 76
 mineraljord, **68**
 mini-halo, 46
 mitokondrie, **96**, 114
 mitos, **99**
 Mittatlantiska ryggen, 75
 modell, **12**
 modercell, 99
 modern evolutionär syntes, 107
 mol, **124**
 molekyl, **129**
 molekylbindning. Se *elektronparbindning*
 moln, **60**
 molnighet, 60
 Mons Huygens, 35
 morän, **68**
 mossor, 117
 Mount St. Helens, 8
 mRNA. Se *messenger-RNA*
 musikinstrument, 144
 musmaki, 84
 mutation, **100**, 107–10
 mutualism, **102**
 mykologi, **91**
 mykorrhiza, **102**
 myon, 139
 myosin, 98
 måne, 33–35, **33**
 månen, 33–35
 mångfoting, 86
 mångfotingar, 117
 månham, **34**
 månregnbåge, **62**
 människa, 120
 människoapa, 120
 mörk energi, 53
 mörk materia, 46–47, 52, 53
 Namaka, 31
 natrium, 127
 nattlysande moln, 58
 natur, **7**
 naturgas, 157
 naturgeografi, **15**
 naturlag, 9–10, **9**, 13
 naturlig satellit. Se *måne*
 naturligt urval, 107–10, **107**
 naturorienterande ämnen, **8**
 naturvetenskap, 7–18, **7**
 naturvetenskapens processer, 13–14
 naturvetenskapens roll i världen, 15–17
 naturvetenskaplig kunskap, 8
 naturvetenskaplig process, 13
 naturvetenskaplig produkt, 9–12
 naturvetenskapliga metoden, 13–14
 naturvetenskapliga metoden i skolan, 14
 Nazcaplattan, 74
 nebulosa, **20**, 23, 40, 41, 47, 69
 nedbrytare, **104**
 nederbörd, **60**
 nedre mantel (geologi), 72
 Neil Armstrong, 35
 nejonöga, 87
 neo-darwinism, 107
 neogen, 120
 neptunium, 126
 neutralism, **103**
 neutrino, 52, 53, 139

- neutron, 123–24, 124, 127, 128, 129, **138**, 139
- neutronstjärna, 41
- Newtons gravitationslag, 142
- Newtons rörelselagar, 141–42
- Niels Bohr, 164
- Nilen, 132
- nisch, **101**
- Nix, 30
- nordände, 148
- norrsken. Se *polarsken*
- NO-ämnen. Se *naturorienterande ämnen*
- nukleoid, **94**
- nytta, 18
- näringskedja, **103**
- näringsväv, **104**
- nässelcell, 86
- nässeldjur, 86
- nöje, 18
- observation, **13**
- oceanografi. Se *oceanologi*
- oceanologi, 65–66, **65**
- ohm, 147
- ojämnhetsstillväxt (kosmologi), **53**
- olivin, 71
- omvandlad bergart. Se *metamorf bergart*
- omvandlingsgräns, **74**
- oorganisk kemi, **121**
- oorganiskt ämne, **81**
- Opabinia*, 115
- operationalisera, **11**
- Opportunity, 26
- orangutang, 120
- Orcus (90482 Orcus), 38
- Orcus (90492 Orcus), 30
- ordning (biologi), 82
- ordovicium, 116
- organell, **94**
- organisk kemi, **121**
- organiskt ämne, 80–81, **80**, 112
- organism. Se *levande organism*
- organismsamhälle, **102**
- organogen jord, **68**
- Orionnebulosan, 40
- orkan. Se *tropisk cyklon*
- orm, 119
- ormbunksväxt, **90**, 117, 118
- ormbunksväxter, 118
- osäkerhetsprincipen, 163–64, **163**
- ozon, 57, 117, 124
- ozonskikt, 57
- P4 (Plutos måne), 30
- P5 (Plutos måne), 30
- Pale Blue Dot, 19
- paleogen, 120
- Pallas, 37
- Pangea, 118
- parapatrisk artbildning, **83**
- parasitism, **102**
- partikel, 138–40, 143
- partikel, 162–63
- partikelfysik, 138–40, **138**
- partikel-våg-dualiteten, 162–63, **162**
- Paulis uteslutningsprincip, 41, **138**, 139
- pedologi, 67–68, **67**
- pedosfär, **67**
- peptidoglykan, 94
- period (periodiska systemet), **125**
- periodiska systemet, 125–26, **125**
- peripatrisk artbildning, **83**
- perm, 118
- petroleum, 157
- Phobos, 26
- pilus, **95**
- pingvin, 88
- pistol shrimp. Se *Alpheidae*
- Plancks konstant, 163
- planet, 24–29, **24**
- planetär astronomi, 23–39, **23**
- plasma, **134**
- plasmamembran. Se *cellmembran*
- plasmid, 94
- plattetektonik, teorin om, 73–76, **73**
- plattgräns, 74–76, **74**
- Plejaderna, 40
- Plesiadapis*, 120
- Pluto, 30
- plutonium, 126
- podsol, 68
- pol (elektricitet), 146
- polarsken, 58, 63
- politik, 16
- polyploidisk artbildning, **83**
- population, 101–4, **101**
- populationsstorlek, **101**
- positron, 138
- potentiell energi, 152, 157–59
- Preconsul*, 120
- predation, **102**
- predator. Se *rovdjur*
- Preikestolen, 67
- prekambrium, 111–15
- primat, 120
- Pripyat, 156
- producent (ekologi), **103**, 104
- produkt, **135**
- prokaryot, **84**, 92, 93–95, 112
- prokaryot cell, 93–95
- protein, **98**, 111, 112
- Proteus, 29
- proton, 123–24, 124, 127, 128, 129, **138**, 139
- Pseudotribos robustus*, 119
- pterosaurie, 118, 119
- Quaoar (50000 Quaoar), 30, 38
- radiation. Se *strålning (värme)*
- radioaktivitet, **106**, 156
- radiometrisk datering, **106**
- radiovåg, 58, **149**
- ras, **82**
- reaktant, **135**
- reaktionsformel, **135**
- reaktionsförmåga, 80
- reduktionsdelning. Se *meios*
- regn, **60**
- regnbåge, 62
- regolit, **35**
- rekombinationen, 45–46
- relativ luftfuktighet, **59**
- relativitetsteori, 150–51, **150**
- religion, 16
- rent ämne, **132**
- reptil. Se *kräldjur*
- resistens, **147**
- resistor, 147
- resurs (ekologi), **101**
- Rhyniognatha hirsti*, 117
- ribosom, **94**, **95**, 99
- Richard Dawkins, 16
- Richard Feynman, 16
- rike (biologi), 82, 85
- riktat urval, **110**
- Ringnebulosan, 41
- RNA, 111, 112
- Robert Wilson, 50
- rovdjur, **102**
- rover, 26
- rudimentär funktion, **106**
- rudimentärt organ, **106**
- rum, 44, 51–53, 150–51
- rumtid, **44**, 51–53
- rundmun, **116**
- ryggrad, **87**
- ryggradsdjur, 87–88, **87**, 117
- ryggradslöst djur, **117**
- ryggsträng, **87**
- rymden. Se *astronomi*
- råolja, 157
- röd jätte, 41
- rödalga, 85
- rödförskjutning, **50**
- röntgenstrålning, 149
- rörelseenergi, 53, 135, **152**
- rörlig massa, 161
- rötning, **156**
- salamander, 119
- salt, **128**, 130
- saltvatten, 130
- samevolution, **109**
- samhälle, 16
- samhällsvetenskap, 16
- sand, **68**
- sandsten, 77
- Saturn V, 17
- Saturnus, 28
- schimpans, 120
- science fiction, 15
- sediment, **105**
- sedimentär bergart, **77**, 105
- Sedna (90377 Sedna), 30, 38
- selektion, **108**
- sena tunga bombardemanget. Se *Late Heavy Bombardment*
- sexuell fortplantning. Se *könlig fortplantning*

sexuellt urval, **110**
siderisk omloppstid, **33**
sikt, **61**
silt, **68**
silur, **117**
singularitet, **44**
sjö, 65–66
sjöborre, **86**
sjögurka, **86**
sjöskorpion, **117**
sjöstjärna, **86**
skrå (ekologi), **101**
S-kurva (ekologi), **102**
Skylab, **154**
slutsats, **14**
släkte (biologi), **82**
släkttrod, **84**
small solar system body, 36–38,
36
småplanet. Se *small solar system
body*
smältning, **133**
smärtgräns (ljud), **144**
snapping shrimp. Se *Alpheidae*
snö, **60**
solastronomi, 20–22, **20**
solcell, **154**
solen, 20–22, **20**, **153**
solenergi, **154**
solfångare, **155**
solkraft, **154**
solsprängning, **67**
solsystemet, 23–39
solsystemets härjningstid. Se *Late
Heavy Bombardment*
Solvaykonferens, **164**
solvind, **20**, **21**
speciella relativitetsteorin, 150–
51, 160–61
spektrallinje, **50**
spektrum, **159**
spermie, **100**
spindeldjur, **86**, **117**
spinn (partikelfysik), **138**
spiralgalax, **55**
Spirit, **26**
splittrande urval, **110**
spor, **90**
sporsäckssvamp, **91**
spridningszon, **74**
spänning (elektricitet), **147**
SSSB. Se *small solar system body*
stabiliserande urval, **110**
stam (biologi). Se *fylum (biologi)*
standardljus, **55**
standardmodellen, **138**
Stanley Miller, **112**
starka kärnkraften, **139**
statisk elektricitet, **145**
stelning, **133**
sten, **68**
stenkol, **157**
stjärna, 40–41, **40**, 46–47, 69, **134**

stjärnastronomi, 40–41, **40**
stjärnbildning, 40, **48**
stjärndöd, **40**
Stora jordbävningen i Chile, **75**
Stora Magellanska molnet, **43**
stratopaus, **57**
stratosfär, **57**
stroma, **96**
stromatolit, **113**
strålfenig fisk, **87**
strålning (värme), **158**
strålningsenergi, **152**
strålningseran, **53**
strålningszon, **22**
ström (elektricitet). Se *elektrisk
ström*
strömstyrka, **146**
subduktion, **76**
subduktionszon, **76**
subhorisonttillväxt, **54**
sublimering, **133**
supercell, **62**
superhop, **49**
superhorisonttillväxt, **53**
supernova, **41**, **55**, **126**
superposition, **163**
supraledare, **147**
svaga kärnkraften, **139**
svamp, **91**
svart hål, **41**
svart kropp, **159**
svartjord, **68**
svaveldioxid, **57**
sydsken. Se *polarisken*
sydände, **148**
symbios, **103**
sympatrisk artbildning, **83**
synliga universum, **55**
synligt ljus, **54**, **149**
synodisk omloppstid, **34**
syre, **70**, **124**
syrgas, **57**, **113**, **117**, **124**, **135**, **136**
taggagam, **80**
tagghuding, **86**
talgoxe, **82**
tall, **90**
tauon, **139**
taxa. Se *taxon*
taxon, **82**
teknik, **17**
teknologi, **17**
temperatur, **58**, **59**, **133**, **135**, **136**,
157–60, **159**
temperaturminimum (solen), **21**
Temple-Tuttles komet, **37**
teori, 11–12, **11**, **14**
termisk energi, **158**
termisk expansion, **67**
termisk kontakt, **158**
termodynamik, 152–61, **152**
termodynamisk jämvikt, **45**, **158**
termodynamiskt system, **157**
termometer, **59**

termopaus, **58**
termosfär, **58**
terraformering, **26**
The International Mineralogical
Association, **76**
tid, 44, 51–53, 150–51
tidvattenkraft, **34**
tillväxtkurva (ekologi), **102**
tillämpad naturvetenskap, **17**, **18**
Titan, **28**
Titania, **28**
Tjernobyl, **156**
tofsstjärtfisk, **87**
ton (ljud), **144**
Torinoskalan, **38**
tornado, **62**
torv, **157**
torvjord, **68**
transfer-RNA, **99**
transform gräns. Se
omvandlingsgräns
transkription, **99**
translation, **99**
transneptunskt objekt, **38**
transport-RNA. Se *transfer-RNA*
transuran, **126**
triangulering, **55**
trias, **118**
trilobit, **115**
trindsnö, **61**
Triton, **29**
tRNA. Se *transfer-RNA*
trojan, **38**
trojansk asteroid, **38**
tromb. Se *tornado*
tropisk cyklon, 62–63
tropopaus, **57**
troposfär, **57**
trossystem, **16**
trumhinna, **143**
tryck, **133**, **135**
tröghetslagen, **141**
Tsar bomba, **160**
Tully-Fisher-relationen, **55**
turbid, **155**
turbopaus, **58**
tyfon. Se *tropisk cyklon*
tylakoid, **96**
tymin, **97**
tyngdkraft, **140**
tyngdkraftvärde, **78**
tyngdpunkt, **142**
Tyrannosaurus rex, **119**
täthetsberoende faktor (ekologi),
101
u. Se *unified mass unit*
ultraljud, **144**
ultraviolett strålning, **149**
underart, **82**
undersökning, **13**
unified mass unit, **124**
uran, **156**
Uranus, 28–29

vakuol, **96**
 vakuumenergi, **53**
 valenselektron, **125**, 130
 vanlig celldelning. Se *mitos*
 vardagsliv, 18
 varför ska man lära sig
 naturvetenskap?, 18
 varg, 101
 varmblodig. Se *jämnvarm*
 vatten, 59, 65–66, 70, 133, 134,
 135, 136
 vattenenergi, **155**
 vattenis, **59**, **133**
 vattenkraft, **155**
 vattenmolekyl, 129, 130
 vattenånga, **59**, **134**
 wattimme, **153**
 vattnets kretslopp, 65–66
 wattsekund, **153**
 W-boson, **139**
 weakly interacting massive
 particle, 52
 welwitchiaväxt, 89
 vendobiont. Se *ediacarafaunan*
 Venus, 25
 verkningsgrad, **153**
 Werner Heisenberg, 164
 vesikel, **96**
 Vesta, 37

Wests komet, 36
 Wilkes Land-kratern, 78
 vilomassa, 161
 WIMP. Se *weakly interacting
 massive particle*
 vind, **61**
 vindenergi, **155**
 vindkraft, **155**
 vindkraftspark, **155**
 vindriktning, **61**
 Vintergatan, 42–43
 virtuell partikel, **139**
 vit dvärg, 41
 vittring, **67**, 105
 volt, 147
 volym (ljud), **144**
 vulkan, 74–76
 Vulkan (planet), 25
 vulkanisk bergart, **77**
 våg, 162–63
 vågenergi, **155**
 vågfunktion, 163
 vågkraft, **155**
 våglängd, 163
 vågpark, **155**
 vågpartikel, 138
 väder, 59–63, **59**
 väderfenomen, 62–63
 värme, 104, 157–60, **157**

värmestrålning, **159**
 väte, 123, 124, 129
 vätebindning, **130**
 vätgas, 129
 växelvarm, **87**, 119
 växt, **89**
 växter, 89–90
 växthuseffekten, **159**
 växthusgas, **160**
 Xena, 31
 ytspänning, 130
 yttre kärna (geologi), 72
 Z-boson, **139**
 zoologi, 86–88, **86**
 ångström, **124**
 åska, **61**
 åskknall, **61**
 återjoniseringen, 47
 ädelgas, **126**, 127
 ädelgasstruktur, **127**, 128, 129
 ägg (människa), 100
 älg, 101–4
 ämne, **132**
 ödla, 119
 övergångsregion (solen), 21
 övergångszon (geologi), 72
 övre mantel (geologi), 72