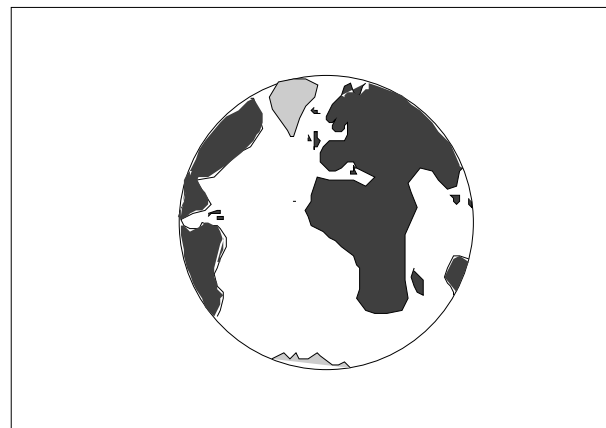
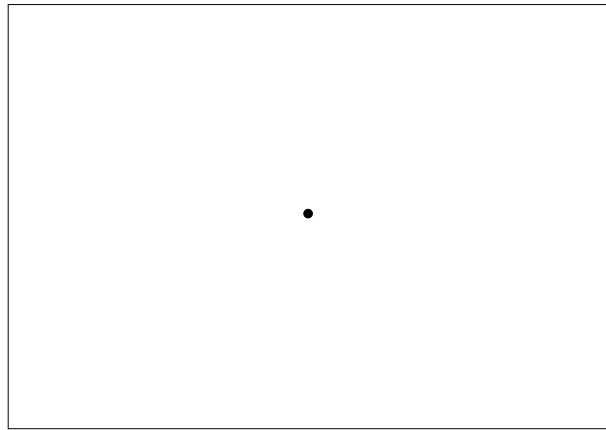
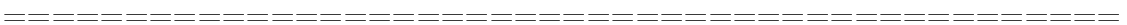


Från Big Bang ...



...till en rund stenklump med lite vatten
på



Ett litet kompendium med fysikernas bidrag till kursen:
Från Big Bang till dagens mångfald

Innehåll

1	Inledning	4
2	Konstigt nog är det mörkt på natten!	4
2.1	Olbers paradox	4
3	Hur ser universum ut?	5
3.1	Vårt planetsystem	6
3.2	Vintergatan	7
3.3	Lokala galaxhopen	8
3.4	Lokala superhopen	8
3.5	Observerbara universum	9
4	Hur mäter vi avstånd i rymden	9
4.1	Till månen	10
4.2	Till solen	10
4.3	Till närliggande stjärnor	10
4.4	Till avlägsna stjärnor	11
4.5	Till andra galaxer galaxer	11
5	Hubbles lag	12
5.1	Dopplereffekten	12
5.1.1	Ett litet CD-experiment	13
5.1.2	Vad har detta med Hubbles lag att göra?	14
6	Den kalla bakgrundstrålningen	15
7	Big Bang!	16
7.1	Bildandet av materia	16
7.2	Universum blir genomskinligt	17
8	Första generationens stjärnor skapas	18
8.1	Första generationens stjärnor lever	18
8.2	Första generationens stjärnor dör	19
8.3	Restprodukter vid stjärnornas gravplats	19
8.3.1	Vita dvärgar	19
8.3.2	Neutronstjärnor	19
8.3.3	Svarta hål	20
9	Vårt planetsystem skapas	20
9.1	Vattnet i våra hav	21
9.2	Vad avgör om en planet har atmosfär?	22
9.3	Tidvatten och jordens rotation	22
10	Vad avgör temperaturen på jorden?	24
10.1	Termisk strålning	24
10.1.1	Växthuseffekten	26
10.2	Solvinden och den skyddande magnetosfären	27

11 Big Crunch?	28
11.1 Flykthasighet	28
11.2 Universums flykthastighet	29
11.3 Uppskattning av universums densitet	29
11.3.1 Mörk materia	30
11.4 Plant, hyperboliskt eller slutet?	31
11.5 Den kosmologiska konstanten	32
12 Livet kan börja	32

1 Inledning

Målet med detta kompendium är att på ett så kortfattat sätt som möjligt ge en begriplig förklaring till hur vår jord har bildats. De exakta siffervärdena ska man inte ta så allvarligt på: det finns många olika uppgifter från olika böcker. Proportionerna i figurerna är heller inte alltid de exakta. Dock är storlekar, massor och antal som nämns approximativt korrekta så långt man känner till i dag, med reservation för klantigheter som gjorts vid författandet av detta kompendium. För att kunna förklara saker på ett begripligt sätt görs ibland vissa approximationer där till exempel relativistiska effekter utlämnas. Slutresultatet blir dock ändå det korrekta. Förhoppningsvis skall man då man läser detta även inse varför teorin om Big Bang är den absolut mest utbredda då det gäller universums skapande, och hur man kommit fram till denna teori. Förhoppningen från min sida är att detta lilla kompendium, förutom att utbilda er i astrofysik och processerna bakom jordens skapande, även ska väcka ert intresse att läsa i andra tidskrifter mer ingående om någon eller några av de moment som kompendiet behandlar. Nog med långrandigt svammel, detta skulle ju vara en *kort* förklaring, och över till de observationer som gjorts som ger oss ledtrådar till universums och jordens skapelse.

2 Konstigt nog är det mörkt på natten!

Frågor som människan mycket länge ställt sig är:

- Hur gammal är jorden?
- Hur gammalt är universum?

Om vi bortser från olika religiösa förklaringar som säger att jorden skapats för några tusen år sedan, så trodde de lärde länge att jorden nog var ganska gammal. Väldigt oklart hur gammal dock, men att universum i alla fall alltid funnits. För om det inte var så; hur skulle då ett universum kunna födas? Detta var ju helt absurt. Universum antogs vidare vara oändligt stort, för om det inte var oändligt stort, vad skulle då finnas utanför?

2.1 Olbers paradox

Teorierna om ett oändligt stort och gammalt universum fick sig ett rejält bakslag när holländaren Heinrich Wilhelm Matthias Olbers för ungefär tvåhundra år sedan gjorde en mycket intressant upptäckt. Han stannade upp en natt och noterade att det då var mörkt. Denna upptäckt, att det var mörkt på natten, hade naturligtvis flera personer, i princip alla personer som levte innan Olbers, gjort tidigare. Men det var Olbers som insåg vad detta innebar.¹ Han insåg att om Universum var oändligt stort och oändligt gammalt, så skulle det inte vara mörkt på himlen! Hur kunde han inse detta? Jo, han tänkte så här:

Ljuset från ett föremål avtar med kvadraten på avståndet till föremålet. Detta kan man lättast inse genom att placera en liten ljuskälla i en stort sfäriskt skal med arean $A = 4\pi R^2$. Om lampan lyser med t ex 100 Watt, så måste alla dessa

¹Det finns flera uppgifter som antyder att det nog var andra personer som också insett det Olbers gjorde, men det är i alla fall Olbers som lyckades ta åt sig äran för detta.

100 Watt träffa ytan. (Skalet antas tomt i övrigt så inget ljus absorberas.) Antal Watt/ytenhet bli då $100/A$. Så om du placera ditt öga på ett avstånd R från 100 Watts-lampan kommer du att se en ljusintensitet (dvs något du mäter i W/m^2) på $100/A$. Om vi nu fördubblar Radien på sfären, blir arean fyra gånger större $4A$. Ljusintensiteten som når ett öga placerat på avståndet $2R$ från ljuskällan blir således $100/(4A) = 25/A$, dvs en fjärdedel. Så, på dubbla avståndet blir ljusstyrkan en fjärdedel.

Men, ljuskällans area uppfattas också som en fjärdedel. Om en lampa är dubbelt så långt bort som en annan lampa så tycker du att lampans diameter är hälften så stor, dvs att arean blir en fjärdedel så stor. Så, anledningen att ett avlägset objekt är ljussvagare är att det upptar en mindre del av synfältet, och bara det. Om du skulle titta på en lampa genom ett tunt sugrör som bara tar in ljus från ett litet synfält, skulle en närliggande och en avlägsen lampa tyckas lika ljusstarka.² Så om du tittar på en tillräckligt liten del av himlen så är ytan på en stjärna lika ljusstark som ytan på solen. Om nu universum skulle vara oändligt stort och oändligt gammalt, så skulle blicken i alla riktningar till sist hamna på ytan av en stjärna, och hela himlen skulle vara lika ljusstark som ytan på solen! Och detta oavsett hur glest stjärnorna ligger!³

Nä, stopp där, tänker du kanske. Att ljusstyrkan avtog som kvadraten på avståndet berodde ju på att det inte fanns något som skymde ljuset. I rymden kan det ju finnas massor som kan absorbera ljus: damm, planeter, asteroider och annat skrot. Så, det avlägsna ljuset kanske inte når oss. Denna anmärkning är korrekt, men ändå inte. Om en bit sten, eller nåt annat, skulle absorbera ljus, och därigenom skymma sikten, så kommer stenen att bli varm. Så, länge den absorberar mer ljus än den sänder ut, så länge bli den varmare. Den skulle till sist bli lika varm som stjärnorna som skickat ut det värmande ljuset, och då stråla som en mini-sol. Det skulle inte gå att stoppa ljuset att nå oss! Universum kan alltså inte vara oändligt stort **och** oändligt gammalt. Det skulle kunna vara oändligt stort men **ändligt** gammalt, för då skulle inte ljuset från de avlägsna stjärnorna hunnit nå oss ännu. Alternativt skulle det kunna vara ändligt stort. För att kunna avgöra hur stort och gammalt universum är måste vi göra mer avancerade iakttagelser än att det är mörkt om natten.

3 Hur ser universum ut?

När vi med blotta ögat en natt tittar upp på himlen ser vi, om det mot all förmodan skulle vara stjärnklart och inte midnattssol, ett antal små prickar och ofta en större prick, månen. Den del av universum vi kan se på himlen med blotta ögat är dock bara en ofantligt liten del av det universum vi kan se med dagens teleskop.

När man ska beskriva storleken på universum tappar man lätt bort sig bland alla nollor. Vem kan ha någon uppfattning om hur långt 10^{20} meter är eller 10^{30} meter? Ett illustrerande exempel på hur svårt vi har att begripa stora, eller mycket små, tal är atomen. Vi läser att atomen är 10^{-10} meter men att atomkärnor är mycket mindre bara 10^{-15} meter. För att begripa detta förhållande så tänk er att ni ska

²Förutsatt att lampan fortfarande täckte hela det synfält som går att se genom sugröret.

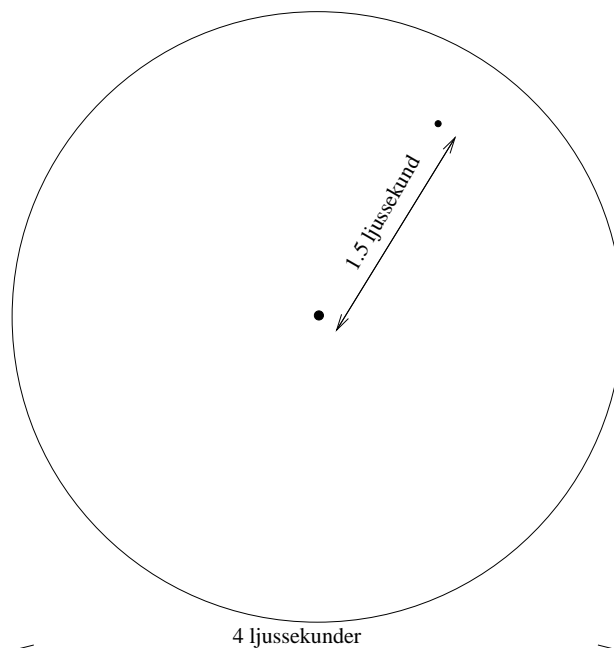
³Vi har här förutsatt att alla stjärnor liknar solen. Detta är förvisso inte sant, men är dock en ganska god approximation.

bygga en skalenlig modell av en atom. Ni tar ett knappnålshuvud (radie 1 mm) som atomkärna, hur stor blir då atomen. Atomen är 5 tiopotenser större så detta blir, 100 meter! Atomen skulle vara ungefär lika stor som Globen i Stockholm! På samma sätt är det när man ska beskriva hur stort universum är. Det blir väldigt svårt att fatta hur ofantligt mycket större 10^{25} meter är än 10^{20} meter. Meter är därför inte någon lämplig enhet att använda om man vill beskriva universums storlek. Mil är inte mycket bättre. Vi måste ha en jättelång enhet. Problemet är bara att enheten själv inte får vara så stor att man inte kan begripa den.... Den kompromiss som gjorts är att använda längdenheten ljusår. Detta den sträcka som ljuset färdas på ett år. Nedan följer en hisnande resa från vår lilla jord till det ofantligt stora observerbara universum som vi kan se med dagen stjärnkikare.

3.1 Vårt planetsystem

För att inse hur stort universum är och hur det ser ut så börjar vi lite försiktigt med vår jord. Jordens omkrets är ca 4000 mil, och jordens diameter är således drygt 1250 mil. Detta motsvarar $1/25$ ljussekund i den längdskala som vi ska använda. Det vill säga, det tar 4 hundraedels sekund för ljuset att färdas en sträcka som motsvarar jordens diameter.

Ganska precis hundra gånger större än jorden är vår sol. Diametern är med andra ord ungefär fyra ljussekunder. Ett litet begrepp hur fantastiskt stort detta är fås genom att tänka på att avståndet mellan jorden och månen är 1.5 ljussekunder, dvs betydligt mindre än solen radie. Så, om vi placerade solen på samma plats där jorden ligger, så skulle månen ligga långt innanför solytan!



Figur 1: Solens storlek i förhållande till avståndet mellan jorden och månen

Så solen är alltså hundra gånger större än jorden. Eftersom vi tror oss begripa hur stor jorden är så kan vi ju nästan begripa hur stor solen är. För att försiktigt stega oss uppåt i längdskalorna tittar vi sedan på något som är hundra gånger större än solen, nämligen avståndet till solen. Detta avstånd, som även kallas en

astronomisk enhet och är den längdenhet man ofta använder då man talar om avstånd mellan planeter, är åtta ljusminuter.⁴

Ungefär hundra gånger större än avståndet mellan jorden och solen är diametern på vårt solsystem. Detta avstånd motsvarar således ungefär tio ljustimmar. Solsystemet innehåller fyra stenplaneter, (Merkurius, Venus, Jorden och Mars) fyra gasplaneter (Jupiter, Saturnus, Uranus och Neptunus) samt en liten isplanet (Pluto). För det mesta är Pluto den yttersta planeten, men p.g.a. Plutos elliptiska bana, så kommer Pluto att ibland ligga närmare Solen än Neptunus. Neptunus var till exempel under åren 1979-1999 den yttersta planeten. Alla planeter ligger i ungefär samma plan och snurrar åt samma håll runt solen. Denna information är en viktig ledtråd för att förstå hur vårt planetsystem skapats.

3.2 Vintergatan

Vår närmaste stjärna Proxima Centauri⁵ ligger drygt 4 ljusår från oss. Detta är ofantligt mycket längre bort än Pluto som ligger ungefär 5 ljustimmar bort. De allra flesta prickar som vi ser på natthimlen är stjärnor. Om vi bortser från den stora pricken (månen) så är dock de ljusstarkaste prickarna vi ser planeter. Anledningen till att de är ljusstarka är att de ligger så mycket närmare än stjärnorna, själva ljusstyrkan, luminositeten⁶, är ungefär lika stor hos de stjärnor som vi ser som hos solen. Planeternas ljusstyrka är kolossalt mycket mindre. Ljuset vi ser från planeter, liksom från månen, är reflekterat solljus. Förutom att reflektera solljus så strålar planeterna ut osynlig värmestrålning, men det ska vi tala om senare. Hur ljusstark en planet uppfattas på jorden beror på hur stor planeten är, hur nära solen den ligger, hur nära jorden den ligger, hur stor andel av det infallande ljuset planeten reflekterar och om den är *fullplanet*⁷ eller inte. De ljusstarkaste planeterna sett från jorden är vanligtvis Venus, Jupiter, Saturnus och Mars. De stjärnor vi ser, i alla fall de enstaka som ser ut som prickar på himlen, ligger alla inom några hundra ljusår från oss. Alla dessa stjärnor tillhör vår galax Vintergatan. Med blotta ögat ser vi dock bara en väldigt liten del av Vintergatan. (Se figuren nedan.) Vintergatan består av cirka 100 miljarder stjärnor. Solen är en av dessa. Solen är en medelstor stjärna. Avståndet mellan två närliggande stjärnor är i snitt några ljusår. Undantaget är de *solsystem*, som består av två eller fler stjärnor, och inte bara en stjärna som vårt solsystem. I dessa fall kan avståndet mellan stjärnorna vara lika kort som avståndet mellan jorden och solen. Om man tittar på stjärnorna med stjärnkikare ser man att flera av stjärnorna som ser ut som en stjärna faktiskt är *dubbelstjärnor*, eller i bland till och med *trippelstjärnor*.

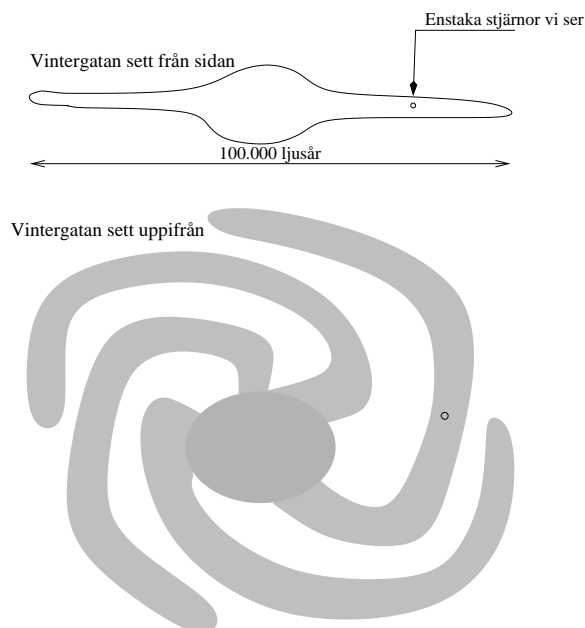
Vintergatan är en spiralgalax och dess diameter är nästan 100.000 ljusår. Tills får något år sedan trodde man att vi befinner oss i en av fyra spiralarmar, men nu tror man snarare att vintergatan består av två armar eventuellt i en stavspiralstruktur. Avståndet till Vintergatans centrum från oss är ungefär 30.000 ljusår.

⁴ $1.5 \cdot 10^{11}$ m som avståndet även kan skrivas låter en aning ogripbart. Och hur ynkligt litet detta avstånd är i universum kommer ni snart att inse...

⁵ Enligt ett av våra vanligaste sällskapsspel heter dock vår närmaste stjärna Solen, vilket jag bittert fick erfara då jag spelade T.P. med min syster för några år sedan...

⁶ Den utstrålade effekten. En storhet som lämpligen mäts i Watt. Att jämföra med luminositeten (Watt-styrkan) på en glödlampa

⁷ Jämför med fullmåne. Planeter som ligger närmare solen än jorden jordbanan kan aldrig bli *fulla* sett från oss. Försök fundera ut varför.



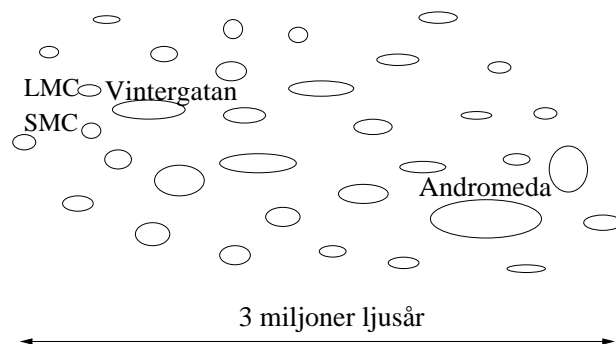
Figur 2: Vintergatan sedd från sidan och sedd uppifrån. (Om ni skulle se ett foto ur detta perspektiv som säger sig vara Vintergatan bör ni tvivla på fotots äkthet, och fråga er var fotografen befunnit sig...)

3.3 Lokala galaxhopen

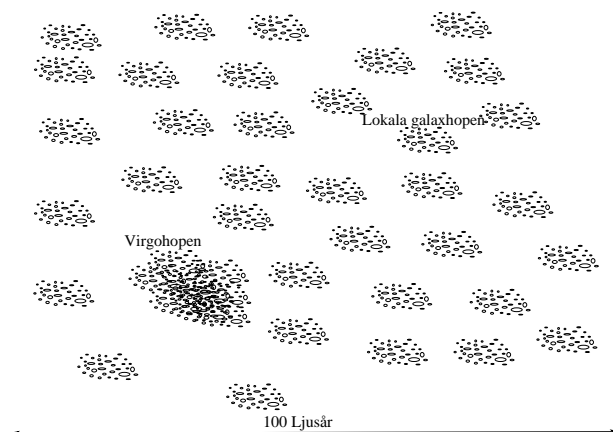
En vanlig uppfattning bland de flesta som inte studerat astronomi är att det, förutom vår egen galax, troligen finns några andra galaxer jämt utspridda i universum. Denna bild är dock bara delvis sann. Det finns andra galaxer, men de är inte alls jämt utspridda. På grund av gravitationen så dras galaxer mot varandra och bildar så kallade galaxhopen. Anledningen till att galaxerna inte dras ihop så mycket att de bli en enda galax är samma som att jorden inte dras in i solen: galaxerna snurrar runt mitten av galaxhopen. Och även om gravitationskraften drar dem mot mitten så gör centripetalrörelsen att de stannar kvar. I vår galaxhop, som mycket fantasilöst döpts till lokala galaxhopen, finns omkring 30 galaxer. Den största galaxen i lokala galaxhopen heter Andromeda. Andromeda kan faktiskt ses från jorden med blotta ögat som ett svagt utsträckt "ludd". Den lokala galaxhopen är ungefär 3 miljoner ljusår stor, eller ungefär 30 gånger större än Vintergatan. (Volymmässigt är dock lokala galaxhopen ofantligt mycket större, då den inte är platt som Vintergatan.)

3.4 Lokala superhopen

Så, galaxer samlas i galaxhopen. Är då dessa galaxhopen jämt utspridda i universum? Nej, inte alls. Galaxhopen är bundna till varandra med gravitationella krafter, och bildar så kallade superhopen. Lika fantasilöst som för galaxhopen tidigare kallas vår superhopen för den lokala superhopen. Hur många galaxhopen den lokala superhopen består av är lite svårt att säga, men någonstans upp mot tusen galaxhopen kanske. Det kan vara lite svårt från jorden att skilja de olika galaxhopen åt. Den största, och mest kända, galaxhopen i vår superhopen heter Virgohopen. Lokala superhopen är ungefär 50-100 miljoner ljusår stor.



Figur 3: Lokala galaxhopen. SMC (Lilla Magellanska Molnet) och LMC (Stora Magellanska Molnet) är våra närmaste galaxer. Andromeda är den största galaxen i lokala galaxhopen.



Figur 4: Lokala superhopen. Virgohopen som består av över tusen galaxer är den största galaxhopen i lokala superhopen.

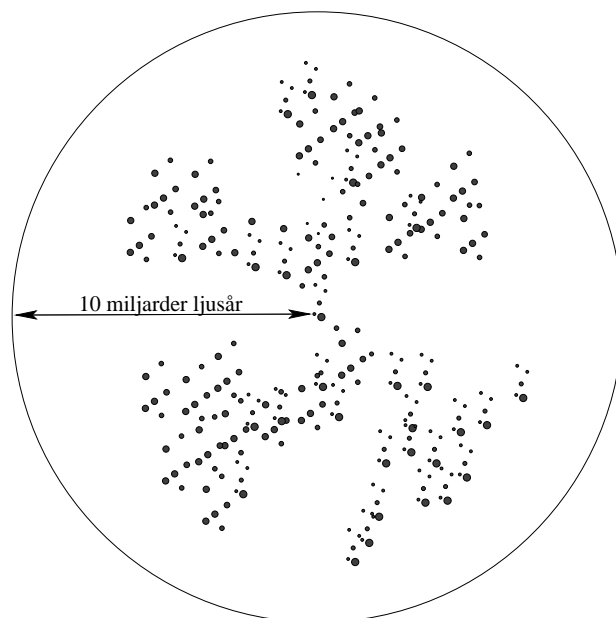
3.5 Observerbara universum

Nu tror man att man nästan börja begripa hur universums struktur ser ut. Stjärnor samlas ihop i galaxer, galaxer i galaxhopar, galaxhopar i superhopar, och superhopar i nåt ändå större kanske? Nej, superhoparna ligger så långt ifrån varandra så dessa bildar inga tydliga grupperingar. Om man tittar på hur superhoparna är placerade ser man att dessa visserligen inte ligger helt slumpmässigt men att de ändå inte klumpar ihop sig. (Se figur nedan)

Vi kan med dagens teleskop se ungefär 10 miljarder ljusår i alla riktningar. Vi ser då ungefär 100.000 superhopar! Totalt innehåller dessa mer än 10^{21} stjärnor!! Och varje stjärna är typiskt 1.000.000 gånger större än jorden (volymmässigt sett $100 \cdot 100 \cdot 100$). Hur mycket är det kolossalt stora talet 10^{21} ? Ja, ganska mycket faktiskt, ungefär lika mycket som antalet sandkorn på jorden (inklusive Sahara och alla badstränder). Detta i den del av universum som vi kan se. Hur mycket som finns därutöver kan man ju fundera på. Vi återkommer till detta.

4 Hur mäter vi avstånd i rymden

Ovanstående beskrivningar av universum inkluderar massor av olika avstånd. Uppenbarligen är inte linjal, eller liknande anordningar, något vi kan använda för att



Figur 5: Det observerbara Universum. Prickarna motsvarar superhopar.

mäta avstånd i rymden. Att mäta dessa avstånd är ofta mycket besvärligt och fullständigt olika metoder används för mäta avstånd på olika längdskalor.

4.1 Till månen

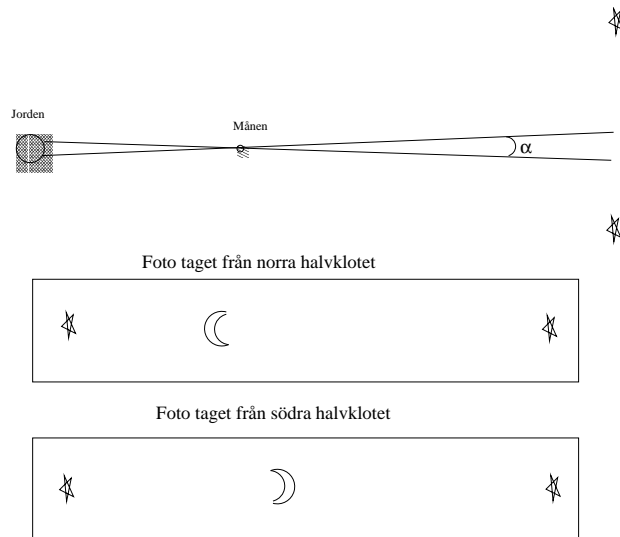
För att uppskatta avståndet till månen idag skickar man laserljus som reflekteras mot månytan. Genom att se hur lång tid det tar för ljuset att studsas tillbaka kan man lätt uppskatta avståndet till månen. De första uppskattningarna av avståndet till månen gjordes med hjälp av parallaxmetoden, se figuren nedan.

4.2 Till solen

Det var länge svårt att uppskatta avståndet till solen. Två saker gjorde att det var svårare att beräkna avståndet till solen än till månen. Ett problem är att avståndet är större, och parallaxeffekten därför mindre. Dessutom finns inte några synliga fixstjärnor på himlen när solen är uppe. Man löste detta genom att man studerade planeten Venus. Genom att titta på vilken maximal vinkel det var mellan solen och Venus så fick man med enkel geometri förhållandet mellan avstånden sol-jord, sol-Venus och jord-Venus. Genom parallaxmetoden kunde man bestämma avståndet till Venus och fick därigenom även avståndet till solen. Avstånden till de övriga planeterna blev därefter lätta att bestämma. Detta kunde man bland annat göra genom att studera omloppstider runt solen, och enligt Keplers lagar koppla omloppstiderna till avståndet planet-sol relativt avståndet sol-jord.

4.3 Till närliggande stjärnor

Redan de närliggande stjärnorna ligger så långt bort att en direkt parallaxmetod inte är möjlig. Skillnaden i vinkel mellan var två personer på jorden ser en stjärna på himlen är så liten att den inte ens går att uppfatta med de bästa teleskopen. Men, genom att vara väldigt lurig så kan man faktiskt använda parallaxmetoden



Figur 6: Två observatörer, en på norra halvklotet och en på södra kollar var månen befinner sig. Genom att jämföra vinkeln mellan var på stjärnhimlen de ser månen och nyttja att man vet avståndet mellan observatörerna kan avståndet till månen beräknas. (Notera förresten att månen ju kommer att bli uppochnervänd från södra halvklotet.)

ändå. Trixet man gör är då inte att man flyttar sig på jorden utan att man väntar ett halvår mellan två mätningar. På denna tid kommer observatören att förflyttas sig dubbla avståndet till solen. Nu kan vi se en parallaxeffekt (se figuren nedan). Denna metod funkar upp till avstånd på ungefär 100 ljusår.

4.4 Till avlägsna stjärnor

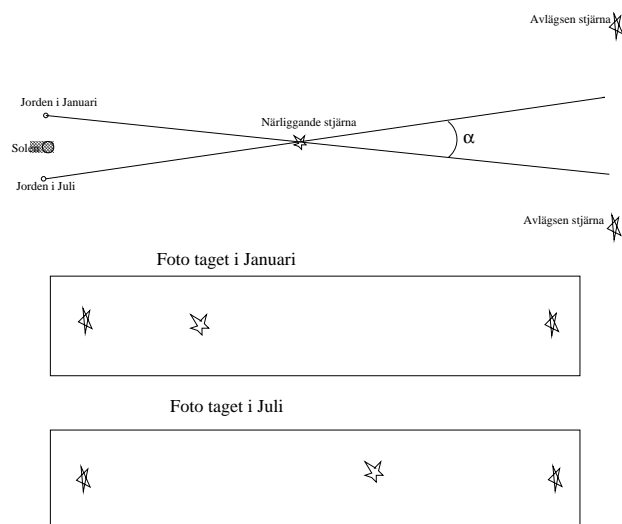
Är avståndet till en stjärna mer än 100 ljusår kan vi inte använda en direkt metod som parallaxmetoden. Vi kan dock, som sagt var, bestämma avståndet till nästan alla stjärnor som ligger närmare än 100 ljusår. Sedan är det bara att sätta igång och chansa. Om en avlägsen stjärna ser ut som en närliggande stjärna (Samma yttemperatur och har samma spektralmönster⁸) så antar man att den avlägsna stjärna strålar ut samma effekt som stjärnan vi känner avståndet till. Genom att jämföra ljusintensiteten som når jorden från de båda stjärnorna så kan förhållandet mellan avstånden till stjärnorna fås fram. Ljusintensiteten från en stjärna som ligger till exempel tio gånger längre bort har en intensitet som är 100 gånger lägre. Denna metod är indirekt och kan ge stora fel om man gör felaktiga antaganden.

4.5 Till andra galaxer galaxer

Det finns vissa mycket ljusstarka objekt vilka man känner till nästan exakt hur mycket ljus de sänder ut.⁹ Genom att kolla vilken ljusintensitet från dessa objekt som når oss kan vi beräkna avståndet till dem. Då objekten ingår i en galax vet vi därmed avståndet till galaxen. Om vi på detta sätt fått avståndet till ett antal

⁸Det vill säga, samma specifika frekvenser där man har extra mycket eller extra lite strålning.

⁹Man vet ljusstyrkan på vissa typer av supernovor samt för Cepheider (vilka är stjärnor med variabel ljusstyrka), men varför man vet deras ljusstyrka tar jag inte upp här. Jag måste begränsa mig annars blir detta ett långt kompendium.....



Figur 7: En observatör gör två observationer av var på stjärnhimlen en närliggande stjärna ligger. Genom att jämföra vinkeln α mellan var på stjärnhimlen observatören ser stjärnan och nyttja att man vet att avståndet mellan observationerna är dubbla avståndet jord-sol kan avståndet till stjärnan beräknas. För att vara säker på att inte stjärnan rört sig under tiden bör man dock göra en kontroll i ett år efter första observationen och se att stjärnan inte flyttat sig... Notera att de fixstjärnor (avlägsna stjärnor) som man använde måste ligga mycket längre bort än den stjärna som man vill bestämma avståndet till.

avlägsna galaxer kan vi sedan använda något som kallas Hubbles lag för att beräkna avståndet till galaxer som saknar objekt med kända ljusstyrkor. Vad Hubbles lag är framgår nedan.

5 Hubbles lag

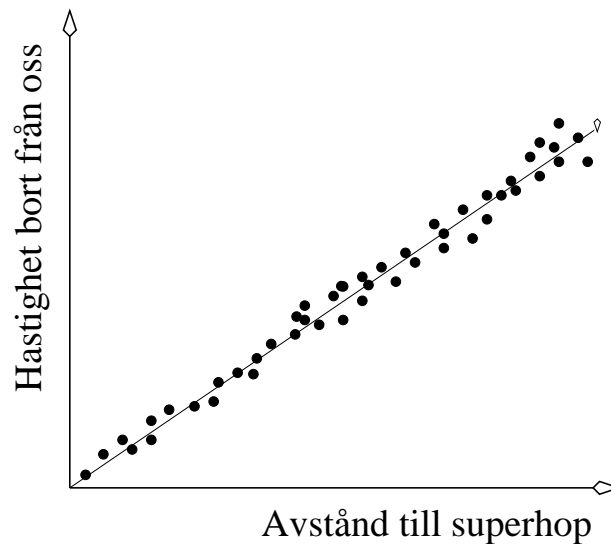
En observation minst lika fantastisk som de ofantliga mängder av stjärnor som man ser är att alla superhopar, alla 100.000, rör sig i riktning rakt bort från oss. Och inte nog med det, ju längre bort de är ju fortare avlägsnar de sig från oss. En man vid namn Hubble noterade detta och såg att hoparnas hastighet berodde linjärt på avståndet till dem. Utan ett spår av blygsamhet döpte han detta till Hubbles lag. Den lyder

$$v = H_0 R \quad (1)$$

där v är den hastighet vilken superhopen avlägsnar sig, R avståndet till hopen, och H_0 en konstant kallad Hubble-konstanten. Denna konstant är egentligen inte en konstant utan är en funktion av tiden, men mer om detta senare.

5.1 Dopplereffekten

Man ska inte tro allt man hör eller läser. Det finns allt för många fall av människor som fått lära sig en massa osanningar. Det är därför viktigt att kritiskt ifrågasätta vad som sägs. Nu skulle kanske vara en lämpligt tidpunkt att göra detta. Det kanske är möjligt att tro att dagens superteleskop kan se superhopar som ligger flera miljarder ljusår bort. Men att tro på att man med dessa observationer ska



Figur 8: Då man mäter avstånd till andra superhoppar och den hastighet de avlägsnar sig från oss och plottar detta storheter mot varandra fås ett diagram liknande detta.

kunna se att dessa superhoppar rör sig bort från oss verkar ju i det närmaste absurt. Hur gör vi för att avgöra om något är på väg bort från oss eller om det kommer mot oss? Om vi ser ansiktet på en person som rör sig kan vi ju anta att personen är på väg mot oss och ser vi nacken på personen så är det rimligt att anta att personen avlägsnar sig från oss. Detta kan vi ju inte nyttja då vi tittar på superhoppar, eftersom de ser likada ut oberoende av rörelserikning. Så, om vi bortser från att vi kan se framsidan eller baksidan på en person, hur kan vi då avgöra om personen rör sig mot oss eller från oss. Jo, genom att titta på personen tillräckligt länge. Förefaller personen att bli större så närmar sig personen antagligen, och blir personen mindre så avlägsnar sig nog personen. Men, detta funkar inte heller på superhoppar. Förutsatt att inte studerar superhopen i flera miljoner (miljarder?) år så kommer avståndet till superhopen att ändras så lite att ljuset från superhopen bli starkare eller svagare. Hur kan vi då avgöra hur den rör sig?

5.1.1 Ett litet CD-experiment

Tänk er följande experiment. En kompis står 340 meter bort från dig med en bärbar CD-spelare i ena handen. 340 meter är den sträcka som ljudvågor färdas på en sekund. Du och din kompis ska kontrollera att en låt på CD är exakt 3 minuter lång. Kompisen spelar upp låten och startar sin klocka när första tonen kommer ur CD-spelaren. Du startar också din klocka då du hör första tonen. Eftersom det tar en sekund för ljudet att färdas 340 meter så startar du din klocka en sekund senare än din kompis. Kompisen promenerar mot dig med CD spelaren. Efter knappt 3 minuters promenad är kompis framme vid dig. Då slutar låten och ni slår båda av klockorna. Din kompis noterar belåtet att låten är exakt 3 minuter lång, du noterar dock att låten bara är 2.59. (Du startade ju klocka en sekund senare än din kompis men slog av den samtidigt.) Det konstiga är att fast du bara lyssnat på låten i 2.59 så har du hört varenda ton. Hur är detta möjligt? Ni bestämmer för att göra om experimentet. Din kompis är nu så lat att ni börjar experimentet genom att stå bredvid varandra. Låten startas och ni startar klockan samtidigt.

Din kompis promenerar bort från dig. När låten slutar är din kompis 340 meter bort. Den sista tonen når dig en sekund efter den lämnat CD-spelaren. Du stannar din klocka efter 3.01! Din kompis uppmäter fortfarande att låten är 3.00 minuter lång. Eftersom du är mycket musikalisk noterade du att låten lät lite olika då två gångerna. Sångaren hade lite mer basröst andra gången. Detta påminner dig om din barndom, då CD-spelare ännu inte var något som fanns i var mans hem. Då hände det att du, medvetet eller omedvetet, spelade upp din LP-skiva som skulle spelas med 33 rpm, med 45 rpm. Då lät musiken väldigt annorlunda, mycket pipigare. Och då du spelade upp en singel som skulle spelas med 45 rpm med 33 rpm så lät rösten väldigt mörk på sångaren. Så, om låten spelas upp för fort bli ljudet pipigare, mer högfrekvent. Så något som kommer mot dig låter pipigare än något som färdas bort från dig. (Detta hörs mycket tydligt då en bil passerar dig. Man hör hur motorljudet byter frekvens just då bilen passerar dig.) Så om vi vet hur låten ska låta kan vi genom att lyssna på hur pipigt sångaren sjunger avgöra om ljudet är på väg mot oss eller från oss. Vi kan även avgöra hur fort ljudkällan rör sig, ju fortare ju större skillnad i ljudets frekvens jämfört med vad det skulle vara om ljudkällan stod stilla.

Som lite lustigt kuriosa kan nämnas att det faktiskt var på detta sätt som ljudhastigheten först bestämdes lite noggrannare. På ett tåg som färdades med en känd hastighet spelade en trumpetare en ren ton, säg att det var tonen C. Vid sidan av spåret stod några personer med absolut gehör. Tåget som körde i riktning mot personerna ökade farten tills personerna med absolut gehör hörde tonen D. Det är lätt att övertyga sig om att den relativa frekvensändringen $(\Delta f)/f$ och förhållandet mellan tågets hastighet v och ljudhastigheten v_{ljud} blir

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{v}{v_{ljud}}. \quad (2)$$

Då allt utom v_{ljud} är känt kan ljudets hastighet beräknas. Senare när denna hastighet är känd så kan samma samband användas för att räkna ut en okänd hastighet v om man känner till både den uppmätta och den utsända frekvensen.

5.1.2 Vad har detta med Hubbles lag att göra?

Eftersom vi inte hör något ljud från superhoparna kan man undra vad detta har med mätningar av hastigheten på superhopar att göra. Det är förvisso sant att vi inte kan höra superhoparna, men de skickar ut ljusvågor, och frekvensen på dessa ändras också på exakt samma sätt då en ljuskälla rör sig som då en ljudkälla rör sig. Ljuset blir inte pipigare (eller mörkare(!)) då frekvensen ändras, men olika frekvenser motsvarar olika färger på ljuset. Synligt ljus med låg frekvens är rött, och med hög frekvens blått eller violett. Vi vet vilken färg stjärnor ska ha, och även vilka frekvenserav ljuset som ska absorberas av atomer utanför stjärnan. Så vi vet hur stjärnor ska se ut. Nu visar det sig att ju längre bort en superhop ligger ju rödare är de stjärnor som ingår i superhopen. Frekvensen på ljuset från dessa stjärnor är lägre. Stjärnorna rör sig bort från oss. Detta fenomen kallas rödsift. Stjärnornas normalt sett gula färg uppfattas allt mer som röd färg om de ligger långt bort. Genom att uppskatta hur långt bort stjärnorna ligger och hur röda de blivit kan Hubbles lag kontrolleras.

Så vad är då så märkvärdigt med detta samband? Jo, en hel del faktiskt. Tänk er vad detta innebär. De superhopar som är dubbelt så långt bort rör sig dubbelt så fort... Vi vet ju att hastigheten kan skrivas

$$v = s/t \tag{3}$$

Hastigheten är sträckan genom tiden. I Hubbles lag är $1/t$ utbytt mot H_0 (R betecknar sträckan, men Hubble kunde ju lika gärna ha valt s för att beteckna sträckan.) H_0 måste ha SI-enheten 1/sekund. Notera att om vi fördubblar både v och s blir t det samma. Ett föremål som som åker dubbelt så fort har på samma tid hunnit dubbel så långt.

Om Hubblekonstanten H_0 nu är $1/t$, vilken tid motsvarar då detta. Jo, tiden då superhopen befann sig på samma plats som vi! Nu, börjar det bli intressant¹⁰. Tiden som gått sedan superhopen befann sig på samma plats som oss blir den samma oavsett vilken superhop vi tittar på. Alla superhopar var alltså på samma ställe vid en viss tidpunkt! Vid vilken tidpunkt jo, vid tiden $T = 1/H_0$ bakåt i tiden? Kan detta stämma? Ja, nästan i alla fall. Lite har vi faktiskt fuskat. Den formel vi använt förutsätter att hastigheten är konstant, men det är den inte. Gravitationskrafter mellan superhoparna bromsar upp rörelsen, hastigheten var större tidigare. Relativt enkla räkningar (något kanske för senare fysik-kurser?) ger oss att tiden sedan alla superhopar låg samlade inte är $T = 1/H_0$ utan $T = 2/(3H_0)$. Då låg all materia samlad i en enda liten prick! Vad som sedan hände med den pricken återkommer jag till.

6 Den kalla bakgrundstrålningen

En mycket viktig upptäckt som kanske är det allra viktigaste beviset för hur universum bildats gjordes av en ren tillfällighet av två herrar, Arno Penzias och Robert Wilson för ungefär 40 år sedan. De jobbade med att sända och ta emot signaler från en satellit. Mycket irriterande nog var det något som störde signalerna. Efter att ha noga kontrollerat sin utrustning så insåg de att ett par duvor häckade vid antennen, och att dessa ibland använt antennen som toalett. Duvorna jagades bort och antennen rengjordes noga. Duvorna var dock snart tillbaka. Arno och Robert gav dock inte upp. Med hjälp av lurigt konstruerade duvfällor lyckades man infånga duvorna. Man fraktade dem sedan med bil mer än 10 mil bort från den plats där duvorna tydligen gillade att uträtta sina behov. Nu skulle man kunna tro att Arno och Robert hade gått segrande ur *slaget om antennen*. Det skulle man kunna tro. Men, dessvärre, visade sig duvorna tillhöra den ras av duvor som används som brevduvor (de duvor som på engelska kallas *homing pigeons*). Följaktligen sökte sig genast de två kuttrande vännerna tillbaka till antennen igen. Vilka metoder Arno och Robert sedan använde förtäljer inte historien, men de lyckades slutligen bli av med duvorna. Då visade sig att duvorna inte hade något med de dåliga signalerna att göra! Efter mycket efterforskande märkte Arno och Robert att att rymden var full av signaler, mikrovågor, som störde signalerna från satelliten. De undrade vad det kunde vara och tog kontakt med den kände fysikern och författaren George Gamov. När George fick höra om vågorna blev han helt euforisk och fick sätta sig ner. Han förstod direkt att Arno och Robert hade just upptäckt

¹⁰Bäst jag skriver det i fall ni inte insett det.

något som han tänkt sig skulle finnas men som han ändå aldrig riktigt trott att man skulle kunna se; *den viktigaste pusselbiten till hur universum skapats*. George Gamov¹¹ hade länge arbetat med teorier för universums födelse och enligt dessa skulle rymden vara fylld med mikrovågor! Mikrovågor som skulle komma från en uråldrig värmestrålning. När han senare kollade vilka våglängder den uppmätta strålningen hade blev han inte mindre entusiastisk. Man fann att de observerade mikrovågorna hade samma uppsättning av våglängder som de våglängder som en 2.7 K varm (kall) kropp termiskt skulle ha strålat ut. Dessa vågor fanns (och finns) överallt i rymden som om rymden själv skulle vara 2.7 K. Varför denna observation är så extremt viktig kommer att framgå om ett litet tag, så lägg inte ifrån er kompendiet än om ni vill se hur det hela slutar, eller snarare började.

7 Big Bang!

I början var allt, alla $10^{21} - 10^{22}$ stjärnor vi kan se, och allt vi inte kan se, samlade i en punkt. Detta känns kanske lite konstigt, men brukar gå att begripa. Om man trycker tillräckligt hårt så..... ja, då skulle man nog kunna trycka ihop allt till en liten prick. Och stora gravitationskrafter som trycker ihop saker får vi ju om vi samlar så mycket materia på ett litet område. Vad som är mycket svårare att begripa är något som räkningar med den allmänna relativitetsteorin ger oss.¹² Runt denna prick av enorma mängder materia finns ingenting, inte ens vakuum. Just detta tillägg, "inte ens vakuum", är det som är jobbigt. Vakuum är ju det som vi menar med att det är helt tomt på materia, men här var det ändå tommare, inte ens rummet fanns.¹³ Av någon anledning exploderade denna prick. Något som irriterar fysiker är att de inte har en aning vad som hände de första 10^{-43} sekunderna. Det enda man vet är att det var oerhört varmt, så varmt och sådana extrema förhållanden att den fysik vi använder oss av inte gällde under dessa extrema premisser.

7.1 Bildandet av materia

Energi kan ha många former. Massor som rör sig har rörelseenergi. Beroende på var en massa befinner kan den ha någon form av potentiell energi. En annan form av energi är energin hos ljuspartiklar,¹⁴ fotoner. Energin hos en foton är

$$E = hf = hc/\lambda, \quad (4)$$

där f är fotonens svängningsfrekvens, λ våglängden, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s ljushastigheten och $h = 6.6 \cdot 10^{-34}$ Js Plancks konstant. Detta säger att det bara är fotonen frekvens (alt. våglängd) som avgör hur stor energi en foton har. Ju högre frekvens (kortare

¹¹I samband med George Gamov måste jag bara nämna att han skrivit en av de allra bästa och roligaste böcker som på ett pedagogiskt sätt förklarar fysik. Boken, som heter *Mr. Tomkins in Wonderland* påminner lite om Gullivers resor, men i stället för jättar och småfolk färdas huvudpersonen till olika världar där fysikkonstanterna har absurda värden. Huvudpersonen besöker bland annat en värld där ljushastigheten är 15 km/h och försöker jaga tigrar i en värld där djuren följer kvantfysiken lagar ungefär som elektronerna gör i vår värld.

¹²Dessa räkningar är dock på en sådan hög nivå att inte ens en skiss av dessa lämpar sig för denna kurs.

¹³För att ytterligare göra det värre kan också nämnas att inte heller tiden fanns....

¹⁴Fotoner kallas partiklarna även om de inte motsvarar synligt ljus.

våglängd) den har, ju energirikare är den.

Den mest berömda, men av fysikstudenter ack så sällan använda, fysikformeln är Einsteins välkända

$$E = mc^2. \quad (5)$$

Om m är massan på ett föremål i vila så är mc^2 föremålets viloen energi. Eftersom ljushastigheten är så stor, bli denna energi mycket stor. (Beräkna till exempel din egen viloen energi!). Vilken nytta har man då av att veta viloen energi hos en partikel? Jo, om vi ska skapa en partikel ur någon annan form av energi, så är det denna energi som krävs. Så, för att skapa en proton som väger $1.67 \cdot 10^{-27}$ kg krävs en energi på $1.67 \cdot 10^{-27} \cdot c^2 = 1.5 \cdot 10^{-10}$ J. Detta kan tyckas vara en låg energi, men om den ska skapas ur energin hos en foton är detta en extremt hög energi för en foton. I universums början fanns det fotoner med extremt hög energi. Dessa kunde skapa bland annat protoner och neutroner. De kunde också slå sönder dessa partiklar. Allt eftersom universum expanderade blev energin hos fotonerna allt lägre.¹⁵ Ungefär en sekund efter Big Bang kunde inte längre dessa partiklar bildas eller förintas. Eftersom neutroner är tyngre än protoner var dessa svårare att bilda. Det går att uppskatta, via beräkningar som är lite för avancerade för denna kurs, att det ungefär skulle bli sju gånger så många protoner som neutroner. Detta förhållande mellan protoner och neutroner stämmer mycket väl med observationer som man gjort och är ett starkt bevis för att protoner och neutroner har skapats på detta vis.

Protoner och neutroner slås sedan samman och bildar atomkärnor. De enklaste att bilda är vätekärnor och heliumkärnor. Fast en vätekärna består ju bara av en proton,¹⁶ så den är ju så att säga redan bildad. De atomkärnor som bildas är nästan bara helium och väte (och lite litium). Fotonernas energi är under universums första 200 000 år så hög att de kan slå bort elektroner från resten av atomerna och bilda joner. Vi har en gas av positiva joner och negativa elektroner, ett så kallat plasma.

7.2 Universum blir genomskinligt

När universum utvidgats under ungefär 200 000 – 300 000 år så börjar fotonernas energi bli så låg att de inte räcker till för att slå loss elektroner från atomerna. Fotonerna har nu samma energi som de fotoner som en kropp på några tusen grader (omkring 3000 K) strålar ut. Efter denna stund består rymden av fotoner som flyger omkring utan att reagera med atomerna. I och med detta säger man att universum blir genomskinligt. Ljuset som tidigare absorberades och sändes ut av atomerna i alla tänkbara riktningar gick nu rakt framåt. Det blev nu möjligt att se ljuset från avlägsna objekt. Tidigare var allt mest ett stort *sudd*. Rymden kan nu sägas vara 3000 K varm. Men allt eftersom rymden fortsätter att utvidgas så utvidgas även våglängderna på fotonerna i rymden. Fotoner med längre våglängd motsvarar en lägre temperatur. Så, idag borde inte rymden vara 3000 K varm utan snarare några få grader Kelvin, kanske 2.7 K!

¹⁵Våglängden på fotonerna drogs helt enkelt ut, och eftersom energin hos en foton enbart beror på våglängden så blev energin lägre.

¹⁶Det finns dock så kallat tungt Väte, deuterium, som består av en proton och neutron. Detta är dock extremt mycket mer ovanligt än vanligt Väte.

Så, nu kanske ni inser att upptäckten av att rymden tycks vara 2.7 K varm är en viktig upptäckt. För om universum skapats med en Big Bang så måste det finnas spår av den varma strålning som fanns då. Skulle inte bakgrundstrålningen i rymden finnas så faller hela Big Bang-teorin. Nu finns den. Eftersom vi har en uppfattning om hur gammalt universum är i dag och hur fort det utvidgar sig kan vi även uppskatta hur mycket temperaturen på bakgrundstrålningen borde ha minskat. Uppskattningarna stämmer mycket väl med vad man har uppmätt. Bakgrundstrålningens temperatur borde vara ungefär 1000 gånger kallare i dag än när universum blev genomskinligt.

8 Första generationens stjärnor skapas

Sedan vi fått ett universum bestående av materia (och inte strålning som det ursprungligen var) hade vi en ganska jämn smet av partiklar. Ordet *ganska* i förra meningen är ett mycket viktigt ord. Hade smeten varit helt jämn hade vi inte suttit här idag. De områden som hade lite tjockare smet drog då till sig partiklar från tunnare områden med hjälp av gravitation. På detta sätt bildades områden med mycket materia, omgivna av områden med praktiskt taget tomhet. Områden med tätare materia blev så småningom vad som idag motsvaras av superhopar. Även inom områden med mycket materia fanns områden där materia var tätare samlad. Dessa områden, dagens galaxhopar, drog till sig materia och lämnade stora områden inom superhoporna tomma på materia. I de blivande galaxhoporna klumpade också materia ihop till att forma materia som skulle bli galaxer. Föga förvånade klumpade materia i galaxerna ihop sig. Dessa områden som är några ljusår stora drar ihop sig och blir den första generationens stjärnor. Runt stjärnorna fanns lite gas som eventuellt kunde bilda planeter. Dock blev det inga planeter liknande jorden. All materia som fanns var ju väte, helium och lite litium. Grundämnen som kol, kväve och syre existerade inte.

8.1 Första generationens stjärnor lever

Gravitationskraften strävar till att dra ihop varje stjärna till allt mindre storlek. I mitten av stjärnan uppstår då ett extremt högt tryck och en mycket hög temperatur. Den höga temperaturen gör att bland annat vätekärnorna (dvs protonerna) rör sig väldigt fort. Normalt sett så kommer två protoner inte så väldigt nära varandra eftersom de har samma laddning och skyr varandra värre än pesten. Den extremt höga hastigheten och den höga tätheten av partiklar gör dock att de ibland kolliderar med varandra. De slås då samman och bildar en ny atomkärna, tungt väte.¹⁷ En atomkärna till tungt väte väger något mindre än två vätekärnor. Massa har alltså försvunnit i kollisionen (kallad fusion). Den massa som försvunnit Δm har blivit energi Δmc^2 ($E = mc^2$). Denna energi gör att stjärnans inre blir allt varmare. En gas som blir varm vill expandera. Vi får en balans mellan gravitationen som drar ihop stjärnan och fusionen i mitten som skapar värme som gör att stjärnan vill växa. Via olika sammanslagningar kommer sedan heliumkärnor (även kallade alfa-partiklar) att bildas. Ungefär de 10 % av vätet som ligger närmast mitten av stjärnan blir på detta sätt helium. Då vätet i mitten av stjärnan tagit slut brinner vätet i ett skal runt mitten. Då blir stjärnan allt större. Så stor blir den

¹⁷Vid kollisionen kommer den ena av protonerna att omvandlas till en neutron.

så att om den legat där solen ligger skulle jorden hamnat innanför stjärnans yta.¹⁸ Temperaturen i stjärnans centrum ökar och kan bli så stor att heliumkärnor slås samman och bildar kol. Är stjärnan tillräckligt stor kan sedan kolet förbrännas. Alla grundämnen lättare än järn (inklusive järn) kan bildas på detta sätt.

8.2 Första generationens stjärnor dör

Förr eller senare tar bränslet i en stjärna slut. Det finns inga nya grundämnen att bilda. (För grundämnen lättare än järn kan man få ut mer energi av att slå ihop två atomkärnor än den energi det krävs för att slå ihop dem, men för grundämnen tyngre än järn är det inte så.) När vi inte har fusion i en stjärna så finns inte längre något som motverkar gravitationen i stjärnan. Stjärnan kollapsar. Om stjärnan är en stor stjärna blir denna kollaps slutligen något som kallas en supernovaexplosion. Vid kollapsen minskar den potentiella energin dramatiskt och denna energi orsakar en extrem explosion som sprider ut resterna av stjärnan flera ljusår bort. Stjärnan blir under denna explosion, kallad supernovaexplosion, extremt ljusstark, lika ljusstark som en hel galax. Tung grundämnen som till exempel uran bildas i denna kollaps. Resterna av stjärnan blir bara ett moln bestående av främst väte och helium, men även av andra grundämnen. Detta moln kallas för en nebulosa och är alltså resterna efter en stjärna som dött.

8.3 Restprodukter vid stjärnornas gravplats

När energiproduktionen i stjärnan upphört och stjärnan börjat kollapsa så händer dramatiska saker. Beroende på hur tung stjärnan var så händer olika saker.

8.3.1 Vita dvärgar

En stjärna som är ungefär lika tung som solen eller lättare kollapsar till dess att atomerna ligger så nära varandra att elektronskalen runt atomerna börjar flätas in i varandra. Eftersom det inte får finnas mer än ett visst antal elektroner på varje elektronskal så kommer då stjärnan att försöka förhindra att den trycks ihop ändå mer. Man säger att stjärnan hålls ut av en elektrongas. Är inte stjärnan mycket tyngre än solen så kommer kollapsen nu att avstanna. Det vi har är en stjärna ungefär lika stor som jorden men lika tung som solen. Dessa stjärnor kallas vita dvärgar. Att de kallas dvärgar är lätt att förstå eftersom de är mycket små för att vara stjärnor. Stjärnorna blir vid kollapsen ganska varma och strålar med ett vitaktigt ljus. Efter stjärnan blivit en vit dvärg svalnar den långsamt och blir allt ljussvagare. Den blir slutligen en svart dvärg.

8.3.2 Neutronstjärnor

Är stjärnan så tung att det som är kvar efter att materia försvunnit vid supernovaexplosionen¹⁹ väger mer än ungefär 1.4 solmassor så kommer inte elektrongasen att kunna hålla ut stjärnan. Den kollapsar ytterligare tills dess att atomkärnorna stöter ihop med varandra. Elektronerna trycks in i atomkärnorna och vi får en massa

¹⁸Detta kommer förresten att hända med solen. Den kommer att bli en så kallad röd jätte och sluka jorden, men detta tar några miljarder år till.

¹⁹Notera att stjärnor med massor kring solens storlek eller mindre inte blir supernovor. Det blir bara stora stjärnor.

neutroner. Skalet på atomkärnorna, eller snarare neutronerna, hindrar stjärnan att kollapsa fullständigt. Eftersom atomkärnorna är extremt mycket mindre än atomerna så kommer dessa stjärnor, som kallas neutronstjärnor, att bli mycket små. De väger mer än 1.4 solmassor men har en radie på bara ungefär en mil! Densiteten på neutronstjärnan går med andra ord inte av för hackor. Räkna gärna ut densiteten på neutronstjärnan och jämför den med densiteten hos de tyngsta metallerna, dvs ungefär 20 ton per kubikmeter.

8.3.3 Svarta hål

Är stjärnan ändå tyngre så kommer inte heller neutronerna att kunna motstå trycket. Stjärnan kommer då att kollapsa fullständigt. Den blir en singularitet, dvs mindre än det minsta lilla. Mindre än en atomkärna, mycket mindre än så faktiskt. Oändligt liten. Gravitationen nära denna singularitet är extremt stor. Så stor att ljus som kommer i närheten av singulariteten inte kan komma därifrån. Ett område runt singulariteten kommer att bli fullständigt mörkt eftersom ljus inte kan lämna detta område. Detta område kallas ett svart hål. Ingenting som kommer innanför det svarta hålet kommer någonsin ut därifrån.²⁰

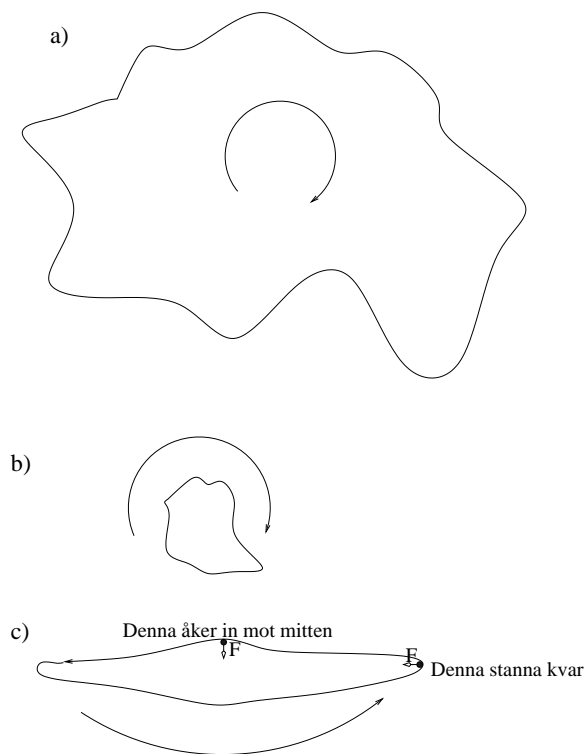
9 Vårt planetsystem skapas

Man tror att vår sol och vårt planetsystem skapats ur en nebulosa. En nebulosa är som vi nyss såg resterna av en exploderad stjärna och består av en stort moln av partiklar med de flesta av periodiska systemets grundämnen, dock fortfarande mest väte och helium. Molnet är extremt tunt jämfört med tätheter vi är vana med från jorden, men har väldigt hög densitet jämfört med resten av rymden. Molnen snurrar mycket långsamt runt sin mittpunkt, eller mer korrekt uttryckt, runt sitt masscentrum. Molnet är stort, något ljusår eller så. Då detta moln, på grund av gravitationen, drar ihop sig börjar det snurra allt fortare.²¹

Molnet bli mindre, och plattare. I centrum där den mesta materian samlas blir det extremt varmt. Fusion startar i solen på samma sätt som för första generationens stjärnor. Den materia som snurrar runt solen börjar klumpa ihop sig till varma sandkornslänkande saker, som sedan krocker och klibbar ihop till små *stenar*. Ju större en sten blir, ju oftare krocker den med andra objekt. Bli stenen riktigt stor kommer gravitationen från den dessutom att dra till sig ändå mer materia. Jorden drar fortfarande till sig diverse småstenar. Dessa stenar som flyger omkring i rymden kallas *meteoroider*. När stenarna kommer in i atmosfären kallas de dock *meteoriter*, eller fallande stjärnor. Ofta brinner stenarna upp i atmosfären men om de landar på jorden kallas de *meteoriter*! Så fallande stjärnor är alltså småstenar bara någon mil upp och har absolut ingenting med riktiga stjärnor att göra.

²⁰Detta är dock en sanning med viss modifikation. Kvantfluktationer gör faktiskt att de svarta hålen mycket långsamt dunstar bort, men detta tar ofantligt lång tid. Miljardtals gånger längre tid är universums nuvarande ålder.

²¹Man säger att rörelsemängdsmomentet bevaras, du upplever detta om du snurrar med armarna utsträckta och sedan drar in armarna.



Figur 9: a) Ett stort gasmoln som snurrar sakta drar ihop sig. b) Då det blir mindre så snurrar de snabbare. c) All materia dras mot mitten, men det som ligger i planet vinkelrätt mot rotationsaxeln hålls ute på grund av centripetalrörelsen.

9.1 Vattnet i våra hav

Strax efter att jorden skapats, eller snarare i slutskedet av skapandet, fanns det fortfarande massor av asteroider och kometer som flög omkring i banor som korsade jordbanan. Man tror att jorden bland annat träffats av så många kometer (stora snöbollar) att det är resterna av dessa som idag är våra hav och sjöar. Man kan ju roa sig med att uppskatta hur många kometer med en diameter på några kilometer som måste ha krockat med jorden för att tillföra allt vatten som vi idag har. Troligen var dock variationen i storlek stor på de *snöbollar* som ramlade ner på jorden.

Hur månen bildats finns det lite olika teorier om. En populär teori är att jorden för mycket länge sedan kolliderade med en planet stor som Mars. Denna kollision, som är miljardfalt värre än om den största asteroiden i solsystemet skulle krocka med jorden, gjorde att stora delar av jordens yttersta lager revs loss från jorden och bildade ett gigantiskt moln av damm. Detta damm klumpade sedan ihop sig och blev vår måne.

En annan sak som är mycket fascinerande att tänka på är att de flesta av de atomer som finns i din kropp ursprungligen är bildade i mitten av en stjärna och att man med rätta kan påstå att du bildats ur resterna av en supernovaexplosion!

9.2 Vad avgör om en planet har atmosfär?

Man kan notera att små himlakroppar sällan har någon atmosfär. Anledningen till detta är att den hastighet som behövs för att lämna en himlakropp, den så kallade flykthastigheten, är väldigt liten om himlakroppen är liten och lätt. (Se avsnittet om flykthastighet för noggrannare beräkningar om detta.) Om gasmolekylerna rör sig fortare än denna hastighet så lämnar de himlakroppen. Den hastighet som gasmolekyler rör sig med beror på vilken temperatur gasen har samt vilken atommassa gaspartiklarna har. Relationen mellan rörelseenergin hos en enskild gasmolekyl, med massa m , och temperaturen, T , ges av

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2}k_B T \quad (6)$$

där $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K. Ur detta samband kan den typiska hastigheten, även kallad termiska hastigheten, hos gaspartiklarna bestämmas. För att en himlakropp ska behålla sin atmosfär måste denna hastighet vara betydligt lägre än himlakroppens flykthastighet. Om termiska hastigheten är omkring 10 gånger lägre, eller ändå lägre, än flykthastigheten så behålls atmosfären. Anledningen att det inte räcker bara att termiska hastigheten är *strax* under flykthastigheten är att den termiska hastigheten bara är medelhastigheten och det finns flera enskilda gasatomer som har betydligt högre hastighet. Dock har praktiskt taget ingen atom en hastighet som är tio gånger större än denna hastighet. På jorden är flykthastigheten ungefär 11.200 m/s och den termiska hastigheten kring 500 m/s. Detta gör att vår atmosfär stannar kvar på jorden. Jag misstänker förresten att ni redan märkt detta, så påpekandet kanske var onödigt?

9.3 Tidvatten och jordens rotation

Med tanke på hur jorden snurrar runt solen så är det ganska uppenbart att solen är den himlakropp som påverkar jorden med störst kraft. Det kan därför förefalla väldigt underligt att man skyller på månen då det blir tidvatten. Hur kan det stämma, och vad är egentligen tidvattnet? Jo, tänk er att månen drar i en sten med massa m som ligger på jordytan. Anta att avståndet mellan månens centrum och *framsidan* av jorden är en sträcka R . (Se figur nedan). Kraften F på stenen från månen blir då

$$F = \frac{GM_m m}{R^2} \quad (7)$$

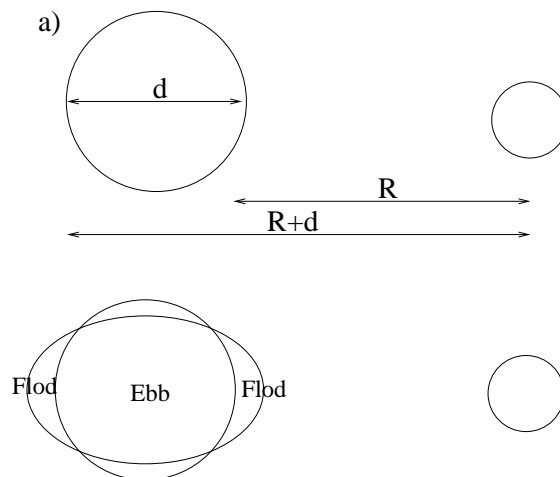
där M_m är månens massa och G gravitationskonstanten.

Uttrycket för kraften på en identisk sten som ligger på baksidan av jorden blir i stort sett detsamma, men R är då utbytt mot $R+d$, där d är jordens diameter. (se figur). Skillnaden i kraft, F_{diff} , mellan fram och baksida blir alltså

$$F_{diff} = \frac{GM_m m}{R^2} - \frac{GM_m m}{(R+d)^2} = \frac{GM_m m}{R^2} - \frac{GM_m m}{(R^2 + 2Rd + d^2)}. \quad (8)$$

Dessutom gäller, även om inte figuren som inte alls är i skala antyder detta, att $d \ll R$. Så ekvation (8) kan nu skrivas

$$F_{diff} \approx \frac{GM_m m}{R^2} - \frac{GM_m m}{(R^2 + 2Rd)} = \frac{GM_m m}{R^2} - \frac{GM_m m}{R^2(1 + 2d/R)} \quad (9)$$



Figur 10: a) Månen drar i en sten på jordens framsida och på baksidan. b) En bild, kraftigt överdriven, som visar var det blir ebb och var det blir flod.

Nu till lite matematik. Det är lätt att inse, prova till exempel på er miniräknare, att $1/(1+x) \approx 1-x$ om x är mycket mindre än ett. Vi får därför

$$F_{diff} \approx \frac{GM_m m}{R^2} - \frac{GM_m m}{R^2(1+2d/R)} \approx \frac{GM_m m}{R^2} - \frac{GM_m m}{R^2}(1-2d/R) = \frac{GM_m m 2d}{R^3}. \quad (10)$$

Så, skillnaden i gravitation beror inte på avståndet i kvadrat utan på avståndet upphöjt i tre. Så, även om solen, som är stor och ligger långt borta, utsätter jorden för en större kraft än vad månen gör, så är skillnaden i kraft mellan jordens framsida och baksida större av kraften från månen.²² Tidvattenkraften uppkommer på grund av skillnader i kraft mellan olika delar av jorden. Vattnet på den sida av jorden kommer att utsättas för en större kraft per massenhet än massan vid jordens centrum. Detta vatten kommer då att dras bort från jorden. På motsvarande sätt så kommer vattnet på den sida som är längst bort från månen att få mindre kraft från månen än jordens mitt. Där dras jorden iväg mot månen mer än vattnet. I båda dessa fall stiger vattenytan. Var kommer då detta vatten ifrån, jo från områden som har ungefär samma avstånd till månen som jordens centrum. Där blir det ebb. Runt ekvatorn blir det således ebb ungefär två gånger per dag och flod två gånger. Att det inte blir exakt två gånger per dygn beror dels på att månen rör sig runt jorden, och dels på att jorden rör sig runt solen. För oss här i norr blir det ju aldrig varken ebb eller flod. Vad beror det på? Ja, vi har ju på ett sätt ständig ebb här, men eftersom vi aldrig ligger på varken framsida eller baksida mot månen så varierar inte vattenytan, och vi anser, med rätta, att ebb är vår normalnivå.

Blir det då inget tidvatten alls orsakat av solen? Jo, det finns även en klart kännbar tidvattenkraft från solen men den, ursäktat uttrycket, dränks av effekterna från månens tidvattenkraft. Dock ser vi skillnad när solens och månens verkar åt samma håll eller motverkar varandra. När månen och solen båda ger en tidvattenkraft riktad åt samma håll talar man om springflod och när de motverkar varandra talar man om nipflod. Springfloden ger märkbart mycket större höjning av vattenytan än nipfloden.

²²Prova själv genom att sätta in lämpliga värden på massor och avstånd

På månen blir tidvattenkrafterna från jorden mycket kraftiga. Det finns inget vatten att dra ut så därför borde månens yta dras ut. Detta tror man hände för länge sedan. Månen deformerades varje gång den snurrade runt jorden.²³ Denna deformation krävde massor av energi. Energin togs från månens rotationsenergi. Månen snurrade allt långsammare runt sin egen axel, till dess att den fick bunden rotation. Det vill säga, till dess att den alltid visar samma sida mot jorden hela tiden. landsänkningar längre. På samma sätt tas energin som krävs att höja och sänka vattenytan från jordens rotation. Dygnen blir allt längre, även om det bara blir nån tusendels sekund längre varje sekel så är det ändå mätbart.

Tidvattenkrafter, dvs skillnad i kraft mellan framsida och baksida på ett objekt, är extremt viktiga för om en planet ska bildas eller inte. Mellan Mars och Jupiter finns det så kallade asteroidbältet; en massa stenar som inte klumpat ihop sig till en planet. Man tror att anledningen till att asteroidbältet inte blivit en enda planet är att den största och tyngsta planeten i vårt solsystem, Jupiter, utsatt stenar som börjat närma sig varandra för tidvattenkrafter som slitit isär dem igen. Det finns därför anledning att tro att om det i jordens närhet funnits en väldigt tung planet så skulle troligen inte jorden blivit en planet utan bara en stor samling stenar i rymden.

10 Vad avgör temperaturen på jorden?

En förutsättning för den typ av liv som finns på jorden är att temperaturen måste vara sådan att det kan finnas vatten i flytande form. Temperaturer på 0 – 100 C° måste således förekomma. Vad är det då som avgör vilken temperatur det är på en planet?

10.1 Termisk strålning

Alla kroppar som har temperatur över den absoluta nollpunkten strålar ut värme. Den värmeeffekt L som ett objekt strålar iväg är

$$L = A\sigma T^4 \quad (11)$$

där A är objektets area, T objektets yt-temperatur och σ Stefan–Boltzmanns konstant. ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \text{K}^4)$.) Denna ekvation säger att ju varmare en kropp är ju mer värme strålar ut från den, vilket förefaller rimligt. En tio gånger varmare kropp strålar 10000 gånger mer. Vidare, vilket dock inte framgår av ekvationen ovan, så är den typiska våglängden på värmestrålningen kortare ju varmare en kropp är. Sambandet mellan den frekvens där vi har mest strålning, λ_m , och temperaturen på kroppen, T , ges av Wiens förskjutningslag

$$\lambda_m \cdot T = 2.90 \cdot 10^{-3} \text{Km} \quad (12)$$

En kropp som strålar blått ljus (kort våglängd) är därför varmare än en som strålar rött ljus (längre våglängd). Solen, som strålar mycket ljus med "gula våglängder" är varmare än röda solar, men kallare än blå. Jorden, som ju är mycket kallare än

²³Egentligen snarare varje gång den snurrade runt sin egen axel.

solen, strålar men våglängder längre än röda, s k infraröd strålning. Denna strålning, som förresten våra egna kroppar också skickar ut, kan inte ses med blotta ögat, bara med t. ex. IR-kikare (Kikare för InfraRött ljus).

Vi mäter vid jordytan att solstrålningen är ungefär 1.37kW/m^2 . Eftersom solen strålar lika mycket åt alla håll kan vi anta att på avståndet $1.5 \cdot 10^{11}\text{m}$ från solen (avståndet sol-jord) så är intensiteten alltid 1.37kW/m^2 . Om vi runt solen skulle bygga en sfär med radien $1.5 \cdot 10^{11}\text{meter}$ ²⁴ så skulle denna yta träffas av en hel massa strålning. Arean på en sfär med radie R är som bekant $4\pi R^2$, så den totala strålningen L som träffar sfären är då:

$$L = 4\pi(1.5 \cdot 10^{11})^2 * 1.37 \cdot 10^3 = 3.9 \cdot 10^{26}\text{W}.$$

Det är ganska lätt att inse att oavsett var vi skulle bygga en sfär runt solen skulle vi alltid få samma strålning som träffar sfären, nämligen den strålning som solen skickar ut, $3.9 \cdot 10^{26}\text{ W}$. Genom denna mätning, och kunskapen om att solens radie är $696 \cdot 10^6\text{m}$ kan vi nu bestämma solens yttemperatur eftersom

$$L = A\sigma T^4 \tag{13}$$

eller

$$T = (L/(A\sigma))^{0.25} = (3.9 \cdot 10^{26}/(5.67 \cdot 10^{-8}4\pi \cdot 696 \cdot 10^6)^2)^{0.25} = 5800\text{K}. \tag{14}$$

Så solens yttemperatur är alltså omkring 5800 K. Vad blir då jordens yttemperatur? Varje sekund träffas jorden av solstrålning, en del av denna reflekteras, en del absorberas. Hur stor andel av solljuset som reflekteras kallas **albedo**. Ju större albedo en planet har, ju tydligare syns den från jorden. Jordens albedo, a , är ungefär 0.30-0.35, dvs mellan 30 och 35 % av solljuset reflekteras. Detta är vad vi behöver veta för att kunna uppskatta jordens temperatur.

Vad som händer är detta. Energi strålar in från solen. Denna energi måste vara lika stor som den energi som jorden reflekterar plus den energi som jorden strålar ut via egen termisk strålning (se figur nedan). Om det inte skulle vara på detta sätt, t.ex. att jorden absorberade mer strålning än den skickade ut, så skulle den extra energi göra att jordens temperatur skulle öka. Om temperaturen ökar så ökar den utstrålade energin. Till slut så avger jorden lika mycket som den tar emot. Det vill säga, jorden kommer alltid att anpassa sig så att den avger lika mycket energi som den tar emot.

Den energi som jorden tar emot varje sekund (E_{in}) är

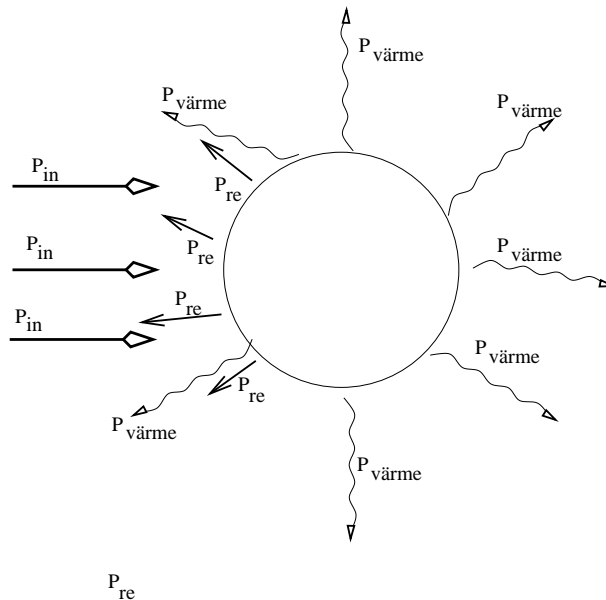
$$E_{in} = 1370 \cdot A_{tv} \tag{15}$$

eftersom det varje sekund på en kvadratmeter kommer 1370 Joule (1 Joule = 1 Watt/sekund), och den yta A_{tv} som träffas är jordens tvärsnittsarea.²⁵ Det som skickas ut från jorden (E_{ut}) varje sekund är

$$E_{ut} = aE_{in} + \sigma A_{tot}T^4. \tag{16}$$

²⁴OBS! Tankeexperiment, inte praktiskt genomförbart.

²⁵Att det bli tvärsnittsarean och inte någon annan area inses lätt om man tänker på att det bakom jorden bli en cirkelformad skugga, lika stor som jordens tvärsnittsarea, och att det är solljuset i denna cirkel som absorberas.



Figur 11: Instrålning solstrålning in mot jorden; reflekterad solstrålning och infraröd värmestrålning ut från jorden.

a är jordens albedo, och den första termen är det reflekterade solljuset, A_{tot} är jordens totala area (mantelarean) och T jordens temperatur. För att beräkna jordens temperatur (medeltemperatur) så sätter vi nu bara $E_{ut} = E_{in}$ och löser ut den enda obekanta variabeln T :

$$T = ((1 - a) \cdot 1370 \cdot A_{tv} / (\sigma A_{tot}))^{0.25}. \quad (17)$$

Temperaturen blir 250 - 255 K (beroende på om a är 0.3 eller 0.35) eller kring -25°C ! Men detta kan ju inte vara jordens medeltemperatur, även om resultatet inte är helt tokigt.... Varför blev det fel?

10.1.1 Växthuseffekten

Vissa gaser i vår atmosfär, de så kallade växthusgaserna, har en stor påverkan på det klimat vi får på vår jord. Molekyler och atomer som krockar med fotoner reagerar ibland med dessa, om våglängden är den rätta. En växthusgas, till exempel koldioxid (CO_2) bryr sig inte om de korta våglängder som solen sänder ut, de våglängder som varma kroppar sänder ut. Den termisk strålningen som jorden skickar ut med våglängder motsvarade infraröd strålning kan dock reagera med koldioxiden. Molekylen absorberar då fotonen som sändes ut från jordens yta. Denna foton kommer CO_2 -molekylen sedan att skicka ut, dock är risken (chansen?) ganska stor att det blir i riktning mot jorden. Man kan se detta som att vissa infraröda fotoner studsar mot atmosfären. Atmosfären blir som ett filter som släpper igenom solljus men hindrar jorden från att stråla ut värmestrålning. Detta gör att jorden måste bli varmare än vi fick fram ovan för att stråla iväg så mycket strålning som jorden skulle göra.

Vi hör nästan dagligen att vi måste minska våra utsläpp av CO_2 . Med kunskapen om vad denna gas gör förefaller ju det ganska uppenbart att det inte är bra att släppa ut växthusgaser. Jordens medeltemperatur skulle då öka. Vid första anblick

känns det för oss som bor nära polcirkeln som att detta skulle vara ganska skönt. Men det skulle inte bli så trevligt. Delar av Antarktis och Arktis skulle smälta och vattnet skulle utvidgas på grund av termisk expansion. Havsnivån skulle stiga.²⁶ Länder som ligger nära havsytan, skulle även i framtiden ligga nära havsytan, men dessvärre strax under i stället för strax ovan. Vädersystem skulle kunna ändras.²⁷ Om detta sedan skulle innebära att Golfströmmen försvagades eller kraftigt ändrade bana skulle paradoxalt nog ett varmare världsklimat kunna ge ett kallare klimat i norden. Slutligen kan tilläggas, att det finns idéer att man runt Mars skulle kunna släppa ut en massa växthusgaser för att klimatet på Mars, som ligger mycket längre bort från solen än jorden, skulle kunna få ett klimat liknande jordens. Detta för att vi i framtiden, då vi förbrukat jordens resurser, skulle kunna åka till Mars och fördärva Mars också....

10.2 Solvinden och den skyddande magnetosfären

Som bekant har vi ett magnetfält runt jorden. Detta har vi stor nytta av. En nytta är att vi kan orientera oss med hjälp av kompasser. Magnetfältet sträcker sig ut i rymden och blir som en bubbla runt jorden. Denna bubbla kallas jordens magnetosfär. Utan jordens magnetfält skulle vi dessutom inte ha något norrskän.²⁸ Detta är visserligen två trevliga egenskaper som vårt magnetfält ger oss, men det finns en betydligt mer betydelsefull uppgift som magnetfältet runt jorden har: Utan jordens magnetfält så skulle vi troligen kvävas!

Förutom solstrålar skickar solen varje sekund iväg några miljarder kilogram partiklar. Partiklarna är i plasmatillståndet, d.v.s. de är positiva joner och fria elektroner. Dessa partiklar, den så kallade solvinden, blåser bort från solen med en väldig fart, ungefär 400 000 m/s. När solvindspartiklarna efter några dagar når jorden är densiteten väldigt låg eftersom partiklarna spridits ut över en stor volym. Om inte jorden skulle haft ett magnetfält så skulle solvinden kunna slå bort (nöta bort) de yttersta lagren av jordens atmosfär. Detta tror man har hänt på planeten Mars som i dagsläget har mycket lite atmosfär och som nästan helt saknar magnetfält.

Men i och med att jorden är omgiven av ett magnetfält ändras bilden radikalt. Laddade partiklar påverkas av magnetfält. När de träffar på en magnetfältslinje stoppas de upp och snurrar runt i magnetfältet. Endast vid de magnetiska polerna kan solvinden tränga in till jorden. När de sedan träffar atmosfären så *tangerar* inte partiklarna atmosfären utan drämmer rakt ner i atmosfären. På detta sätt så kan inte solvinden dra iväg med atmosfären. Kollisionen mot atmosfären vid polarområdena kan vi se som norrskän.²⁹ Så, en planet som ska vara en bra plats för att bilda liv på ska ha rätt grundämnen, rätt temperatur och ett skyddande magnetfält.

²⁶ Att ett isberg smälter påverkar dock INTE vattennivån. Tänk på Arkimedes princip.

²⁷ Detta är inte mitt experområde så dessa teorier kan ni ta som en lekman's åsikter.

²⁸ Orsaken till detta tar vi inte upp här. Det hör hemma på elementära kurser i rymdfysik.

²⁹ Hmmm. Nu råkade jag visst trots allt ge en slags förenklad bild hur norrskän uppstår, fast jag sagt att jag inte skulle göra detta.

11 Big Crunch?

Som vi såg tidigare så sa Hubbles lag oss att universum blir allt större. Men kommer det att fortsätta så? Gravitationen vill bromsa upp expansionen och dra samman materian, så kanske universum kommer att kollapsa i en Big Crunch? För att avgöra vilket öde som universum kommer att röna, måste vi göra vissa beräkningar.

11.1 Flykthasighet

För att avgöra om en boll som kastas rakt uppåt kommer att nå till taket innan den vänder nedåt så tittar man på energier. Om den kinetiska energin då bollen lämnar handen är större än skillnaden i potentiell energi mellan handen och taket, så kommer bollen att nå taket. Den kinetiska energin E_k är som bekant

$$E_k = \frac{mv^2}{2}. \quad (18)$$

där m är bollens massa och v bollens hastighet. Skillnaden i potentiell energi ges av arbetet att flytta bollen från handen till taket. (Vi försummar hela tiden luftmotståndet och betecknar sträckan med bokstaven r .) Arbetet, A , ges av $A = F \cdot r = mg \cdot h = mgh$ där h är höjden mellan handen och taket. Att $A = F \cdot s$ gäller dock bara om kraften är konstant under hela sträckan, annars ges generellt sett arbetet som

$$A = \int_0^h F(r) dr \quad (19)$$

I detta fall är $F(r) = mg$ en konstant och ekvationen blir nu

$$A = \int_0^h mg dr = [mgr]_0^h = mgh - 0 = mgh. \quad (20)$$

Om vi nu skulle kasta bollen riktigt högt upp, långt ovan jordytan då kommer inte kraften på bollen att vara mg hela tiden utan den avtar. Generellt kan kraften skrivas:

$$F(r) = \frac{mM_{jord}G}{r^2} \quad (21)$$

där M_{jord} är jordens massa och G allmänna gravitationskonstanten. (Notera att om vi sätter r till jordradien blir $M_{jord}G/r^2 = g$.) Tänk er nu att vi skulle vilja kasta bollen så högt att den aldrig kommer tillbaka, till oändligheten som matematiker (och även fysiker måste jag erkänna) skulle kalla det. Hur hårt skulle vi då kasta bollen? Arbetet som krävs blir nu:

$$A = \int_{R_{jord}}^{\infty} F(r) dr = \int_{R_{jord}}^{\infty} \frac{mM_{jord}G}{r^2} dr = \left[-\frac{mM_{jord}G}{r} \right]_{R_{jord}}^{\infty} \quad (22)$$

Så det totala arbetet att förflytta en boll med massan m till oändligheten är:

$$\left[-\frac{mM_{jord}G}{r} \right]_{R_{jord}}^{\infty} = -0 - (-) \frac{mM_{jord}G}{R_{jord}}. \quad (23)$$

Om rörelseenergin vid jordytan är större än detta så kommer bollen aldrig att återvända. Gränsen då bollen precis når till oändligheten fås då

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{mM_{jord}G}{R_{jord}}. \quad (24)$$

Detta motsvarar att hastigheten v är ungefär 11.2 km/s.

11.2 Universums flykthastighet

För att beräkna om universum ska kollapsa eller inte ska vi nu genomföra några ganska hisnande beräkningar, där vi inte vet mycket men ändå kommer att få fram ett svar!

Antag att universums radie är R (vi vet dock inte R , R kan i princip vara oändligt stor eller ha ett ändligt värde). En partikel (superhop eller så med godtycklig massa m) på avståndet R från universums centrum har hastigheten $v = RH_0$ enligt Hubbles lag. Så partikelns kinetiska energi är

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{mR^2H_0^2}{2}. \quad (25)$$

Partikelns potentiella energi är

$$E_p = -\frac{mMG}{R} \quad (26)$$

där M är universums massa. (Vi har dock inte den blekaste om vad denna massa är, men vi ger inte upp trots detta.) M kan skrivas

$$M = \frac{4}{3}\pi R^3\rho \quad (27)$$

där ρ är universums medeldensitet. Vad krävs för att superhoperna ska bromsas in och återvända mot centrum igen? Jo, att den totala energin är mindre än noll. (Annars kan partikeln komma till *oändligheten*.) Så om $E_k < -E_p$ kollapsar universum så småningom. Vi får att universum kollapsar om (dividera bort m , vilket är nödvändigt att göra då vi ej vet vad massan är)

$$\frac{R^2H_0^2}{2} < \frac{4\pi R^3\rho G}{3R}. \quad (28)$$

Ommöblering ger (obs R förkortas bort vilket var väldigt tur då vi ej hade den blekaste aning om R s värde)

$$\rho > 3H_0^2 8G\pi. \quad (29)$$

$\rho = 3H_0^2 8G\pi = \rho_c$ brukar kallas den kritiska densiteten och är ca 10^{-26} kg/m³. Så om densiteten är större än detta kollapsar universum! Detta motsvarar ungefär en atom per kubikmeter och är flera miljoner gånger lägre densitet än de bästa vakuum som man kan framställa på jorden. Detta förefaller illavarslande!

11.3 Uppskattning av universums densitet

Universum kommer att kollapsa om det finns mer än 10^{-26} kg/m³! Är därmed jordens, och hela universums, dagar räknade? Nja, innan vi svarar på denna fråga kan vi ju försöka att räkna ut vad densiteten i universum verkligen är. Vi har ju tittat oss runt omkring i en boll med radien 10 miljarder ljusår. Ett ljusår är cirka 10^{16} m, dvs 10 miljarder ljusår är omkring 10^{26} m. Volymen på det observerbara universum är därför

$$V = \frac{4\pi}{3}R^3 = \frac{4\pi}{3}(10^{26})^3. \quad (30)$$

Om vi approximerar π med 3, så blir alltså volymen $4 \cdot (10^{26})^3 = 4 \cdot 10^{78} \text{m}^3$. Det låter ju inte så mycket, men det är mycket, tro mig. Massan på alla stjärnor kan vi grovt uppskatta enligt följande:

Anta att en stjärna i medeltal väger lika mycket som solen, dvs $2 \cdot 10^{30} \text{kg}$. (Det är en hyfsad approximation). En galax innehåller ungefär 100 miljarder stjärnor. En galaxhop har ungefär 100 galaxer i sig. En superhop består av ungefär 2000 galaxhopar. (Jag skulle lika gärna kunna välja 1000 galaxer, men väljer 2000 för att få fina siffror i slutet....) Vidare finns det som sagt var ungefär 100 000 superhopar. Den totala massan hos alla dessa stjärnor är³⁰

$$M = 2 \cdot 10^{30} \cdot 10^{11} \cdot 10^2 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 10^5 = 4 \cdot 10^{30+11+2+3+5} = 4 \cdot 10^{51}. \quad (31)$$

Universums densitet kan nu bestämmas som

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{4 \cdot 10^{51}}{4 \cdot 10^{78}} = 10^{-27} \text{kg/m}^3. \quad (32)$$

Densiteten är således ändå mindre än 10^{-26}kg/m^3 vilket ju var gränsen för att universum skulle kollapsa. Puh!

11.3.1 Mörk materia

Om man var orolig att universum skulle kollapsa av sin egen tyngd, så var ju ovanstående räkningar lugnande. Kan man tycka. Nu är det bara det att vi inte tänkt på allt ännu. Vi har bara inkluderat den materia som vi kan se, dvs den materia som lyser. Nu visar det sig att man genom att studera hur olika föremål i universum rör sig inser att det finns mer materia där. Materia som vi inte kan se. Denna materia kallas mörk materia. Vad den består av är dock mycket oklart, även om det finns massor av olika teorier. Även om man inte vet vad materia består av, så kan man ändå uppskatta massan av den mörka materia. Om vi lägger till denna materia till den synliga och på nytt beräknar universums densitet så får man att, den kritiska densiteten och den uppmätta densiteten är praktiskt taget identiska! Om nån är större kanske den kritiska ändå är något lite större.

Hur osannolikt det är att dessa densiteten skulle bli i stort sett de samma är mycket svårt att begripa. Hoppas att ni insett hur otroligt olika räkningarna som kom fram till de två densiteterna är. Skillnaden i densitet skulle kunna vara tio-talet tiopotenser tycker man. Det som gör det hela ändå mycket mer förvånande är detta:

Skillnaden mellan den kritiska och den verkliga densiteten blir större och större. För att dessa densiteter idag ska vara ungefär lika stora, så måste skillnaden i densitet just efter Big Bang vara ofantligt liten. Om inte vi haft någon inflationsfas, så skulle den verkliga och den kritiska densiteten 10^{-43}s efter Big Bang ha samma 50 första värdesiffror! Skillnaden skulle då vara i värdesiffra 51 eller så! Detta verkar helt absurt. Vissa hävdar därför att om densiteterna var så extremt nära varandra i början så var de säkert identiska, även om det ju också verkar skumt minst sagt. Teorin om inflationen, att universum plötsligt ökade i storlek ofantligt mycket, räddar till viss del detta problem. Då behövde inte densiteterna vara riktigt så nära varandra. Kort sagt, det är ett mysterium att den densitet som krävs för att universum ska kollapsa och den densitet universum har i princip är identiska. ´

³⁰Planeter, kometer asteroider och annat småskrot väger obetydligt mycket i förhållande till stjärnorna.

11.4 Plant, hyperboliskt eller slutet?

Hittills har vi enbart gjort räkningar med Newtons lagar. Vi har inte bekymrat om saker som att de hastigheter vi räknat med kan ha varit mycket större än ljushastigheten. Vidare har vi inte störts det minsta av att galaxerna på långt avstånd inte observeras samtidigt som de som ligger nära. (På grund av att vi ju ser ljuset som galaxerna utsänder och att ljuset tar lång tid att nå oss, särskilt för avlägsna galaxer.) Nu visar det sig att om vi i stället gjort mycket mer komplicerade beräkningar där vi tagit hänsyn till relativistiska effekter så skulle svaren i stort sett blivit de samma. Vi skulle till exempel få exakt samma kritiska densitet. En sak som man dock inte kan få fram med Newtons mekanik är att rymden runt oss kan vara krökt. Om vi skulle utföra beräkningar med allmän relativitetsteori kan vi se att själva rummet där universum finns kan bara se ut på, vara böjt på, tre olika sätt.

- **Plant.** Om den verkliga densiteten är exakt lika stor som den kritiska densiteten så kommer universum alltid att bli större och aldrig kollapsa. Då kommer rummet att vara plant och oändligt stort. Detta är det trevliga rum som vi kan förstå. I detta rum går ljusstrålarna rakt framåt.³¹ I två dimensioner skulle detta motsvara ett oändligt stort plan, och i en dimension av en oändligt lång linje. Man kan alltså aldrig komma till universums ände i detta universum. Detta är det universum vi tror vi bor i, men kräver alltså att den kritiska densiteten i universum är **exakt** lika stor som den verkliga. I princip så hänger detta universum på att antalet atomer är exakt rätt, en atom mer eller mindre skulle göra att vi inte skulle bo i ett plant universum. Är vi dock så nära den kritiska densiteten som en atommassa på hela universum, så skulle universum var väldigt plant, och bara märkbart böjt över extremt långa sträckor.
- **Sfäriskt.** Om den verkliga densiteten är större än den kritiska så bor vi i ett sfäriskt universum. Detta är ändligt stort, men har ändå inget slut! I detta universum är de tre rumsdimensionerna *uppspända* på en fjärde rumsdimension, och bildar en *tre-sfär*. Den tvådimensionella motsvarigheten är en vanlig sfär, som till exempel jorden. Vi som bor på jordens yta bor på ändligt stor area, men den har inget slut. Om vi går tillräckligt länge åt ett håll (ett varv runt jorden) så kommer vi tillbaka till vår startpunkt. (I en dimension motsvaras detta av en cirkel.) I denna rymd skulle man på samma sätt om man åkte tillräckligt långt i samma riktning komma tillbaka till startpunkten. Dessutom så skulle man kunna *se sig själv* långt bort i universum.³² I detta universum så skulle dessutom saker som ligger riktigt långt bort förefalla större än de som ligger bara ganska långt bort på grund av den optiska effekten som uppstår då ljuset böjs. Om du skulle kunna se dig själv (du måste vara extremt gammal för att kunna göra detta eftersom ljuset från dig själv ska färdas genom hela universum) så skulle du se dig själv lika stor som om du stod bara en meter bort, du skulle dock vara extremt ljussvag. Detta universum kommer att expandera att tag till (flera miljarder år till) för att

³¹Utom i närheten av massiva objekt där de böjs av, men det är en annan femma.

³²Detta är en skillnad mot liknelsen med jorden, eftersom ljuset vid jordytan inte följer densamma.

sedan kollapsa till en Big Crunch. Inget tyder idag direkt på att vi lever i ett sådant universum, även om det inte helt kan uteslutas.

- **Hyperboliskt.** Om den verkliga densiteten är mindre än den kritiska så bor vi i ett hyperboliskt universum. Om det sfäriska universum är svårt att beskriva, så är detta nästan omöjligt att beskriva. Detta universum är oändligt stort och kommer aldrig att kollapsa. I ett plant rum (vanligt rum med andra ord) så blir ett föremål som är dubbelt så långt bort hälften så stort. I ett hyperboliskt universum blir föremålet som ligger dubbelt så långt bort mindre än hälften så stort. Rymden är krökt, och man säger att det är krökt till en sadelpunkt i varje punkt av universum.... Detta begriper nog inte ens jag kan jag villigt erkänna. Så, om ni fattar resten av detta men inte just detta är ni förlåtna. Det är möjligt, om än inte det mest troliga, att vi lever i ett sådant universum. Det troligaste (idag skall tilläggas eftersom detta har varierat med tiden allt eftersom man kunnat göra allt mer avancerade observationer) är att vi lever i ett plant universum. Andra hands alternativet är att vi lever i ett hyperboliskt universum, och det minst troliga är att vi lever i ett sfäriskt universum.

11.5 Den kosmologiska konstanten

Enligt det som hittills sagt så borde universums utvidningshastighet avta eftersom gravitationen hela tiden bromsar upp expansionen. Helt nyligen, under de senaste åren, har dock noggranna mätningar visat att universum inte alls bromsas upp, utan att utvidningshastigheten snarare ökar. För att förklara detta talar man om en kosmologisk konstant. Vad gör då denna konstant? Det är inte helt lätt att förklara hur denna verkar, men en bild man kan ha är denna: Se universum som en boll som växer. Bollen är själva rummet som växer ut i ingenting. På bollens rand får vi något som skulle kunna motsvara ett vakuumsug som drar ut universum. Ju större universum blir, ju större blir den area som suget kan verka på. Även om denna *sugkraft* är mycket svag så blir den allt mer betydelsefull allt eftersom universum utvidgas. När universum var ungt var denna kraft helt försumbar, men nu håller den på att bli så stor att vi kan mäta den. Detta är den teori man har idag, och dagens forskare låter övertygade om att denna teori är korrekt, men bli inte förvånade om man om några år har helt andra förklaringar till varför universum utvidgar sig som det gör.

Den förste som hittade på det här med en kosmologisk konstant var Albert Einstein. Efter att ha presenterat sina teorier om att det fanns en kosmologisk konstant som motverkade att universum drogs ihop, ångrade han sig senare. Strax innan sin död 1955 ansåg han själv att den teori han hade om att det fanns en kosmologisk konstant var *den största blundern i hans liv*. Nu, omkring 50 år senare, tror flera av världens mest framstående astrofysiker att det visst finns en kosmologisk konstant.

12 Livet kan börja

Så i och med detta lämnar fysikerna över stafettpippen. Vi har nu ordnat en planet, där vi har vatten i flytande form och en atmosfär som skyddas av en magnetosfär. Vi har även ordnat de grundämnen som behövs för att skapa den form av liv som

vi känner till. Hur vi från denna döda planet kunnat få alla olika former av liv som finns på jorden idag, är ett mysterium som andra grenar av naturvetenskapen får reda ut. Som avslutning kan jag dock säga något som får en att undra. Anta att universum är 12 miljarder år gammalt. Om vi skulle kunna bygga ett teleskop som vi kan se 12 miljarder ljusår med vad skulle vi då se? Jo, Big Bang, åt alla håll!³³

³³I alla fall borde man kunna se universum som det såg ut 300 000 år efter Big Bang. Före detta var det inte genomskinligt och det skulle nog vara svårt att se ända fram till själva *smällen*.

Några citat från ett par stora tänkare

“Rymden är stor. Verkligen stor. Ingen skulle kunna tro hur ohyggligt fantastiskt vansinnigt stor den är. Du kanske tycker att det är långt att gå till t.ex. apoteket, men den sträckan är bara som skrutt om man jämför med hur stor rymden är”

“...och den svävade i luften precis som en tegelsten inte gör.”

“ Inget kan färdas fortare än ljushastigheten, utom dåliga nyheter.”

“Jatraiderna på Viltvodel VI tror att Universum uppkom då en varelse kallad 'Den store Gröngölingen' råkade snyta sig en dag. Jatraiderna, som är små blå varelser med 50 armar, lever i ständig skräck för något de kallar 'Den vita näsdukens ankomst'. De är unika i hela Universum då de är det enda släktet som upfunnit spraydeodoranten före hjulet.”

“ Detta spel var det mest avancerade i hela Universum. Regelboken med grundreglerna var inte särskilt tjock, men då man vid ett tillfälle samlade alla undantag till spelets grundregler på en och samma plats, så kollapsade dessa gravitationellt till ett svart hål p g a den samlade massan av dessa skrifter! ”

Fem utdrag ut Douglas Adams “Liftarens guide till galaxerna”.

“A fat lady came in to the shoe-store today. She was so fat that four smaller ladies were orbiting her...”

Al Bundy (Från “Våra värsta år.”)