

# Innehåll

Förord	11
Ett kosmiskt mysterium: Begynnelse	21
Ett kosmiskt mysterium: När vi vägde universum	42
Ljus av ljusets källa	56
Mycket väsen för ingenting	72
Universum på rymmen	91
Gratislunchen vid slutet av universum	106
Vår dystra framtid	120
En enda stor tillfällighet?	136
Ingenting är någonting	155
Ingenting är instabilt	167
Ni sköna nya världar	185
Epilog	195
Efterord av Richard Dawkins	200
Register	205
Om författaren	215

# Ett kosmiskt mysterium: Begynnelse

*Det Första Mysterium som varje resa ger upphov till är: hur kom resenären till sin utgångspunkt från början?*

– LOUISE BOGAN, *Journey around my Room*

*Det var en mörk och stormig natt.*

Början av år 1916 hade Albert Einstein just avslutat sitt främsta livsverk, en tio år lång intensiv strävan efter att få fram en ny gravitationsteori, som han kallade den allmänna relativitetsteorin. Men det var inte bara en ny gravitationsteori, det var också en ny teori för tiden och rummet. Och det var den första vetenskapliga teori som inte bara kunde förklara hur objekt rör sig genom universum, utan dessutom hur universums egen utveckling skulle kunna se ut.

Det fanns emellertid en hake. När Einstein började tillämpa sin teori och beskriva universum som helhet med den blev det tydligt att teorin inte beskrev det universum som vi till synes bodde i.

I dag, nästan hundra år senare, är det svårt att förstå hur mycket bilden av universum har förändrats under loppet av ett enda människoliv. Så vitt forskarsamhället år 1917 kunde bedöma var universum statistiskt, evigt och bestod av en enda galax, vår Vinter-

gata, omgiven av den stora, ändlösa, mörka och tomma rymden. Så såg det ju trots allt ut om man tittade upp på natthimlen med blotta ögat, eller i ett litet teleskop, och det fanns egentligen inga skäl att misstänka någonting annat på den tiden.

I Einsteins teori, precis som i Newtons tidigare teori, är gravitationen en rent attraherande kraft mellan alla objekt. Det innebär att flera massor omöjligt kan befinna sig i vila i rymden i all evighet. Förr eller senare gör den ömsesidiga dragningskraften mellan dem att de faller in mot varandra, och det talar ju uppenbarligen emot att universum skulle vara statiskt.

Att Einsteins allmänna relativitetsteori inte verkade stämma överens med dåtidens bild av universum var ett hårdare slag för honom än du kanske tror. Anledningen till det ger mig en chans att slå hål på en myt om Einstein och den allmänna relativitetsteorin som alltid har stört mig. Folk antar ofta att Einstein arbetade ensam på sin kammare år efter år, bara tog tanken och förnuftet till hjälp och kom på sin vackra teori helt oberoende av verkligheten (kanske som vissa av dagens strängteoretiker!). Längre från sanningen än så kan man emellertid inte komma.

I grunden lät sig Einstein alltid vägledas av experiment och observationer. Medan han utförde många »tankeexperiment», och mycket riktigt slet hårt i över tio år, lärde han sig mer och mer matematik och slog in på många teoretiska villospår innan han till sist fick fram en teori som verkligen var matematiskt vacker. Det absolut mest avgörande ögonblicket för hans romans med den allmänna relativiteten hade emellertid med observationer att göra. Under de sista hektiska veckorna när han slutförde sin teori och konkurrerade med den tyska matematikern David Hilbert använde han sina ekvationer för att beräkna teorins förutsägelse av ett astrofysiskt mätresultat som annars kunde verka obetydligt: en liten precession i »perihelium» (punkten närmast solen) för Merkurius omloppsbana runt solen.

Astronomerna hade länge lagt märke till att Merkurius omloppsbana skilde sig en smula från vad Newton hade förutsagt. Merkurius omloppsbana bildade inte en perfekt, sluten ellips, utan precesserade (planeten återvänder inte till exakt samma punkt efter ett varv, utan ellipsens orientering flyttar sig lite för varje varv och ritar upp ett spiralliknande mönster) ytterst lite: 43 bågsekunder (ungefär en hundradels grad) på hundra år.

När Einstein beräknade omloppsbanan med hjälp av sin allmänna relativitetsteori blev siffran på pricken rätt. Einsteins livstecknare Abraham Pais skriver: »Jag tror att det här utan tvekan måste ha varit Einsteins största känsloupplevelse under hela hans liv inom vetenskapen, kanske under hela livet över huvud taget.» Einstein hävdade att han fick hjärtklappning, som om »något hade brustit» inuti honom. Hans glädje över den matematiska formen hos sin teori var påtaglig en månad senare när han beskrev teorin för en vän som »enastående vacker», men den här gången rapporterades det inte om någon hjärtklappning.

Men den skenbara bristen på överensstämmelse mellan den allmänna relativitetsteorin och observationerna i frågan om det var möjligt att universum var statiskt skulle inte bli långvarig. (Däremot ledde bristen på överensstämmelse till att Einstein modifierade teorin på ett sätt som han senare skulle kalla sitt livs största misstag. Mer om det senare.) I dag vet alla (utom vissa amerikanska skolstyrelser) att universum inte är statiskt utan utvidgar sig, och att expansionen började i ett otroligt hett och tätt tillstånd, den stora smällen, för cirka 13,72 miljarder år sedan. Lika viktigt är att vi numera vet att vår galax bara är en av kanske 400 miljarder galaxer i det observerbara universum. Vi är som de tidiga kartritarna över jorden och har inte börjat rita upp universum på de riktigt stora skalorna förrän alldeles nyss. Inte undra på att vår bild av universum har genomgått sådana omvälvningar de senaste årtiondena.

Upptäckten att universum inte är statiskt utan utvidgar sig fick

stor filosofisk och religiös betydelse, eftersom den innebar att vårt universum hade en början. En början antyder en skapelse, och skapelse väcker känslor. Det dröjde flera årtionden efter 1929 års upptäckt att universum expanderar innan föreställningen om en stor smäll fick sin egen empiriska bekräftelse. Trots det förkunnade påve Pius XII redan år 1951 att den stora smällen gav stöd åt Första Moseboken. Med hans egna ord:

... i ett enda svep genom århundradena tycks den moderna vetenskapen ha lyckats vittna om det ursprungliga Fiat Lux [Varde ljus] upphöjda ögonblick, när ett hav av ljus och strålning bröt sig fram ur intet tillsammans med materian, och grundämnena slingrade sig om varandra och drogs isär och bildade många miljoner galaxer. Med den konkretion som utmärker fysikaliska bevis har [vetenskapen] alltså bekräftat omständigheterna bakom universum, och dessutom den välgrundade slutsatsen om i vilken tid skapelsen trädde fram ur Skaparens händer. Detta innebär att en skapelse ägde rum. Vi säger: Således finns det en Skapare. Således finns Gud!

Faktum är att historien i sin helhet är lite mer intressant än så. Den som först föreslog en stor smäll var faktiskt en belgisk katolsk präst och fysiker vid namn Georges Lemaître. Lemaître hade en beaktansvärd blandning av talanger. Han började studera till ingenjör, var dekorerad artillerist i första världskriget och började sedan studera matematik medan han läste till präst i början av 1920-talet. Därefter gick han vidare till kosmologi och läste först tillsammans med den berömda brittiska astrofysikern sir Arthur Stanley Eddington innan han fortsatte till Harvard och till sist skaffade sig ytterligare en doktorsgrad i fysik vid Massachusetts Institute of Technology.

År 1927, innan han tog sin andra doktorsgrad, hade Lemaître faktiskt löst Einsteins ekvationer och visat att den allmänna rela-

tivitetsteorin förutsäger att vårt universum inte är statiskt och att den faktiskt tyder på att universum utvidgar sig. Tanken framstod som så oerhörd att Einstein själv protesterade med det färgstarka yttrandet »Din matematik är korrekt, men din fysik är usel».

Lemaître kämpade på trots det, och 1930 föreslog han vidare att vårt expanderande universum i själva verket började som en oändligt liten punkt som han kallade »uratomen» och, kanske som en anspelning på Första Moseboken, att denna början motsvarade »en dag utan gårdag».

Det var alltså en präst som först föreslog den stora smäll som påve Pius talade om i så varma ordalag. Man skulle kunna tro att Lemaître blev överlycklig av det påvliga godkännandet, men han hade redan gjort sig av med alla tankar på att den här vetenskapliga upptäckten skulle få några teologiska konsekvenser och tagit bort ett stycke med kommentarer av det slaget från utkastet till sin artikel från 1931 om den stora smällen.

Faktum är att Lemaître senare opponerade sig mot påvens påstående från 1951 om att Första Moseboken skulle ha bevisats av den stora smällen (inte minst för att han insåg att katolska kyrkans påståenden om skapelsen skulle kunna ifrågasättas om hans teori senare motbevisades). Vid det laget hade han valts in i Vatikanens påvliga vetenskapsakademi, som han senare blev ordförande för. Med hans egna ord: »Så vitt jag kan se ligger en sådan teori helt utom ramarna för några metafysiska eller religiösa frågor.» Påven tog aldrig mer upp frågan offentligt.

Här finns värdefull lärdom att hämta. Som Lemaître insåg är det en naturvetenskaplig fråga om den stora smällen faktiskt inträffade, inte en teologisk. Och även om smällen inträffade (något som det numera finns överväldigande stöd för) kan man välja att tolka den på olika sätt beroende på religiös eller metafysisk smak. Man kan välja att se smällen som ett tecken på att en skapare finns om man känner att man behöver det, eller i stället hävda att den allmänna relativitetsteorins matematik förkla-

rar universums framväxt hela vägen tillbaka till dess början utan några gudomligheters ingripande. Men den sortens metafysisk fundering är inte beroende av den fysikaliska giltigheten hos själva smällen och har ingen betydelse för hur vi förstår den. Om vi sedan går vidare från den blotta existensen av ett expanderande universum till att försöka förstå vilka fysikaliska principer som skulle kunna förklara dess ursprung kan naturvetenskapen givetvis kasta mer ljus över spekulationerna, och som jag kommer att hävda gör de det också.

Hur som helst var det varken Lemaître eller påve Pius som övertygade forskarsamhället om att universum utvidgar sig. Som i all god vetenskap var det i stället resultaten från noggranna observationer som avgjorde saken, i det här fallet Edwin Hubbles observationer. Hubble ger mig än i dag hopp om mänskligheten, för han började som advokat och sadlade sedan om till astronom.

Hubble hade gjort en banbrytande upptäckt tidigare, år 1925, från Mount Wilson-laboratoriet med det nya 2,5 meter breda Hookerteleskopet, som då var världens största. (Som jämförelse kan nämnas att det i dag byggs teleskop med mer än tio gånger så stor diameter och hundra gånger så stor area!) Med de tidigare teleskopen hade astronomerna kunnat urskilja suddiga bilder av objekt som inte var några vanliga stjärnor i vår galax. De kallade dem *nebulosor*, vilket betyder ungefär »suddig» (egentligen »dimmig») på latin. De diskuterade också huruvida objekten låg i vår galax eller utanför den.

Eftersom den tidens allmänna uppfattning om universum var att vår galax var det enda som fanns höll de flesta astronomer på »i vår galax», ledda av den berömda astronomen Harlow Shapley vid Harvarduniversitetet. Shapley hade hoppat av skolan i femte klass och studerat på egen hand för att så småningom läsa vidare vid Princetonuniversitetet. Han bestämde sig för att studera astronomi genom att välja det första ämnet han hittade i kurskatalogen. I en artikel som skulle få stor betydelse demonstrerade han

att Vintergatan var mycket större än man tidigare hade trott, och han visade också att vår sol inte ligger i dess centrum utan i en avlägsen, ointressant avkrok. Han var en respektingivande kraft inom astronomin, så hans uppfattning om nebulosor vägde tungt.

På nyårsdagen 1925 publicerade Hubble resultaten från sin två år långa studie av så kallade spiralnebulosor. Hubble hade identifierat en viss typ av variabel stjärna som kallas *cepheid* i nebulosorna, inklusive den nebulosa som i dag är känd som Andromedagalaxen.

Cepheider, en typ av stjärnor vars ljusstyrka varierar med bestämd period, observerades för första gången år 1784. År 1908 blev Henrietta Swan Leavitt, okänd och vid den tiden obeaktad blivande astronom, anställd av Harvard College Observatory som »kalkylator». (»Kalkylatorer» var kvinnor som togs in för att katalogisera ljusstyrkan hos stjärnor som hade registrerats på observatoriets fotografiska plåtar. Kvinnor fick inte använda observatorieteleskopen på den tiden.) Leavitt var dotter till en kongregationalistpastor och ättling till pilgrimerna. Hon gjorde en otrolig upptäckt, som hon lyckades kasta ytterligare ljus över år 1912: hon lade märke till att det fanns en direkt relation mellan en cepheidstjärnas ljusstyrka och dess variationsperiod. Om man kunde bestämma avståndet till en enda cepheid med känd period (vilket lyckades 1913), så skulle man kunna räkna ut avståndet till andra cepheider med samma period genom att mäta deras ljusstyrka!

Eftersom stjärnors skenbara ljusstyrka minskar med kvadraten på avståndet till stjärnan (ljuset sprids jämnt i en sfär vars yta ökar med kvadraten på avståndet, och det observerade ljuset vid en given punkt minskar i samma grad som sfärens yta ökar) har beräkningen av avståndet till avlägsna stjärnor alltid varit ett av astronomins största problem. Leavitts upptäckt blev omvälvande för fältet. (Hubble, som själv aldrig fick något nobelpris, sa ofta att Leavitts arbete förtjänade att belönas med priset, fast



han kan mycket väl ha talat i egen sak och bara föreslagit det för att hans senare arbete gjorde honom till en naturlig kandidat för att dela priset med henne.) Den svenska Kungliga Vetenskapsakademien hade faktiskt redan påbörjat pappersarbetet inför att nominera Leavitt till nobelpriset 1924 när det visade sig att hon hade dött i cancer tre år tidigare. Hubbles starka personlighet, förmåga att hävda sig och skicklighet som observatör skulle göra honom världsberömd, medan Leavitt sorgligt nog bara är känd bland områdets entusiaster.

Med hjälp av sina mätningar av cepheider och Leavitts samband mellan period och ljusstyrka kunde Hubble slutgiltigt bevisa att cepheiderna i Andromeda och flera andra nebulosor befann sig alldeles för långt bort för att kunna ligga i Vintergatan. Andromeda visade sig vara ytterligare ett eget litet universum, ytterligare en spiralgalax nästan exakt likadan som vår egen galax, och en av de fler än 100 miljarder andra galaxer som vi i dag vet finns i det observerbara universum. Hubbles resultat var så entydiga att astronomerna – inklusive Shapley, som för övrigt hade hunnit bli chef för Harvard College Observatory där Leavitt hade gjort sin banbrytande forskning – snabbt accepterade det faktum att Vintergatan inte är det enda som finns omkring oss. Plötsligt hade det kända universums storlek ökat mer i ett slag än på flera hundra år! Det hade ändrat karaktär också, precis som nästan allt annat.

Efter den dramatiska upptäckten kunde Hubble ha vilat på sina lagrar, men han var på jakt efter större fiskar – närmare bestämt större galaxer. Han gjorde mätningar av ännu svagare cepheider i galaxer ännu längre bort och lyckades kartlägga mer och mer av universum. Men när han gjorde det upptäckte han någonting mer, något ännu mer häpnadsväckande: universum utvidgar sig!

Hubble kom fram till det genom att jämföra avstånden med ytterligare en uppsättning mätresultat från ytterligare en ameri-

kansk astronom, Vesto Slipher, som hade studerat spektrum för ljus som kom från dessa galaxer. För att vi riktigt ska förstå vad sådana spektrum är och hur de blir till behöver jag ta dig med ända tillbaka till den moderna astronomins början.

En av astronomins viktigaste upptäckter är att stjärnorna och jorden till stor del består av samma saker. Som så mycket annat i den moderna vetenskapen började alltihop med Isaac Newton. År 1665 mörklade Newton, som då var en ung forskare, sitt rum så när som på ett litet hål han hade gjort i en fönsterlucka. Han lät en smal strimma solljus lysa genom ett prisma och såg solljuset spridas ut i regnbågens välbekanta färger. Han menade att det vita solljuset innehöll alla dessa färger, och han hade rätt.

Etthundrafemtio år senare undersökte en annan forskare det spridda ljuset noggrannare, upptäckte mörka band bland färgerna, och menade att de berodde på att det fanns ämnen i solens yttre atmosfär som absorberade ljus med vissa färger eller våglängder. De här »absorptionslinjerna», som de kom att kallas, kunde identifieras med våglängderna hos ljus som man hade konstaterat absorberades av kända ämnen på jorden, bland annat väte, syre, järn, natrium och kalcium.

År 1868 observerade ytterligare en forskare två nya absorptionslinjer i den gula delen av solspektret som inte motsvarade något känt grundämne på jorden. Han kom fram till att de måste orsakas av något nytt grundämne, som han kallade helium. En generation senare lyckades man för första gången isolera helium på jorden.

Att titta på spektrer för strålning från andra stjärnor är ett av vetenskapens viktigare verktyg för att förstå stjärnornas uppbyggnad, temperatur och utveckling. Från 1912 undersökte Slipher spektrerna för ljus från olika spiralnebulosor och fann att spektrerna liknade dem från närbelägna stjärnor – förutom

att alla absorptionslinjerna hade förskjutits lika långt längs våglängdsspektret.

Vid det här laget hade man förstätt att fenomenet berodde på den välbekanta »dopplereffekten», som har fått sitt namn efter den österrikiska fysikern Christian Doppler. År 1842 förklarade han att vågor som närmar sig från en källa i rörelse sträcks ut om källan rör sig bort från betraktaren och trycks ihop om källan rör sig mot betraktaren. Det här är ett uttryck för ett fenomen som alla har upplevt någon gång, och som oftast påminner mig om en skämtteckning av Sydney Harris där två cowboys sitter på var sin häst ute på prärien och den ena säger till den andra: »Vad jag älskar det sorgsna tjutet från tågvisslan när frekvensen ändras på grund av dopplereffekten!» Ljudet från tågvisslor och ambulanssirener verkar ju faktiskt bli ljusare om tåget eller ambulansen rör sig mot en och mörkare om de rör sig bort från en.

Det har visat sig att samma fenomen uppstår bland ljusvågor som bland ljudvågor, om än av lite andra skäl. Om ljusvågor kommer från en källa som rör sig bort från betraktaren, vare sig det beror på dess egen rörelse genom rummet eller på grund av att rummet mellan dem utvidgar sig, sträcks de ut och ser därför rödare ut än i vanliga fall, eftersom rött ligger i den långvågiga delen av spektret för synligt ljus, medan vågor från en källa på väg mot betraktaren trycks ihop och ser blåare ut.

År 1912 gjorde Slipher observationen att nästan samtliga absorptionslinjer i ljuset från spiralnebulosorna var systematiskt förskjutna mot längre våglängder (även om vissa, som Andromeda, var förskjutna mot kortare våglängder). Han drog den korrekta slutsatsen att de flesta av dem alltså rörde sig bort från oss med avsevärd hastighet.

Hubble kunde jämföra sina observationer av avståndet till dessa spiralgalaxer (som man nu visste att de var) med de hastigheter som Slipher hade mätt upp att de avlägsnade sig med. Han hade hjälp av Milton Humason på Mount Wilson-labora-

toriet (som var så tekniskt skicklig att han hade lyckats få jobb på Mount Wilson utan att ens ha tagit examen från high school), och år 1929 meddelade han att ett anmärkningsvärt empiriskt samband hade upptäckts, det som i dag kallas Hubbles lag: Det finns ett linjärt samband mellan galaxers avstånd och hastigheten med vilken de avlägsnar sig. Mer avlägsna galaxer rör sig nämligen bort från oss snabbare!

När man först ställs inför ett så märkvärdigt faktum – att nästan alla galaxer är på väg bort från oss, och att de som är dubbelt så långt bort rör sig dubbelt så snabbt, att de som är tre gånger så långt bort rör sig tre gånger så snabbt, och så vidare – verkar det uppenbart vad det innebär: *Vi är hela universums medelpunkt!*

Vissa av mina vänner har antytt att jag dagligen skulle behöva påminnas om att *så inte är fallet*. Snarare stämmer iakttagelsen helt och hållet överens med det samband Lemaître hade förutspått. Vårt universum utvidgar sig faktiskt.

Jag har försökt förklara det här på flera olika sätt, och ärligt talat tror jag inte att det finns något bra sätt att göra det utan att tänka utanför lådan – i det här fallet universumlådan. Om man vill förstå implikationerna av Hubbles lag kan man inte stirra sig blind på vår egen galax, utan måste se på universum utifrån. Ett tredimensionellt universum är svårt att gå utanför, men det är lätt att gå utanför ett tvådimensionellt. På nästa sida har jag ritat ett sådant expanderande universum vid två olika tidpunkter. Som du ser är det längre mellan galaxerna vid den andra tidpunkten.