

INNEHÅLL

-I. PROLOG	7
0. MÖRKRET MELLAN STJÄRNORNA	11
1. ETT VÄXANDE MÖRKER	25
2. DEN MÖRKA MATERIEN	45
3. MÖRKRET VID TIDENS ÄNDE	95
4. MÖRKRET FÖRE SKAPELSEN	113
1. PÅ RANDEN AV DET SVARTA HÅLET	139
∞. EPILOG	181
ATT LÄSA VIDARE	183
BILDREGISTER	185
REGISTER	187

-I. PROLOG

To boldly go where no man has gone before.

STAR TREK

Mörker. Den här boken handlar om mörker. Men inte om vilket slags mörker som helst. Den handlar inte om det mörker du ser, eller inte ser, när du sluter ögonen. Inte heller handlar den om mörkret i en garderob där du stängt dörren och släckt lampan. Den handlar inte om ett mörker som bara är frånvaro av ljus, utan om ett annat och uttrycksfullt mörker som kan anas mellan stjärnorna på himlen och spåras till tidevarv långt före skapelsen av vårt universum. Boken handlar om ett mörker som inte är tomt utan i stället rymmer mycket mer än vad som syns, ett mörker som utvecklas, växer och sträcker sig bortom tidens ände.

Historien om universums mörka sida tar sin början när den tyske läkaren och astronomen Heinrich Wilhelm Olbers år 1823 ställer den skenbart lite larviga frågan varför det är mörkt om natten. Fast det fanns också de som långt tidigare misstänkte att svaret inte var så enkelt som man först skulle tro. Johannes Kepler ska ha tänkt i de här banorna redan år 1610, och dessförinnan, i mitten av 1500-talet, grubblade den engelske astronomen Thomas Digges – den förste att föreställa sig ett oändligt universum fyllt av stjärnor – över varför det trots allt är mörkt. Men det var först i och med Olbers som man fick anledning att ta frågan på riktigt allvar.

Gåtans lösning lät vänta på sig. Någon gång för ganska precis

hundra år sedan, samtidigt som Europa härjades av det stora kriget och Einstein formulerade sin allmänna relativitetsteori, blev frågan om mörkret riktigt akut. Den senare forskningen har satt denna fråga alltmer i fokus. I slutet av 1920-talet upptäckte astronomerna att universum expanderar. Världsalltet visade sig ha en historia och man anade ett skapelseögonblick, en ursmäll, i det avlägset förflutna. På 1930-talet insåg man att det finns mer där ute bland stjärnorna än vad vi direkt kan se. De första tecknen på *mörk materia* gav sig till känna och vi vet ännu inte riktigt vad den kan bestå av. Under de hundra år som gått har kunskapen om materien utvecklats, från de första aningarna om hur atomer är uppbyggda till dagens standardmodell för partikelfysiken där allt, eller nästan allt, verkar passa in. Kanske med just mörk materia som den felande länken – det som ännu fattas, det som kan peka vidare inåt i materien, utåt i kosmos och bakåt mot tidsåldrar innan vårt universum föddes.

För ett halvsekel sedan upptäckte man, med ögon känsliga för mikrovågor, för första gången återskenet från ursmällen – strålning som varit på väg till oss i nära 14 miljarder år. Under det senaste kvartsseklet har vi kunnat studera strålningen i detalj i syfte att uttölka hur det egentligen gick till när vårt universum föddes. Mycket tyder på att det tidiga universum genomgick en fas av extremt snabb expansion. Man kallar den för *inflationen* men vet inte mycket om vad som orsakade den. Det är just detta mörker, det vi skönjer när vi spanar så långt bort och så långt tillbaka i tiden att inga stjärnor ännu tagit form, som också bekymrade Digges, Kepler och Olbers. Mörkret före skapelsen.

Och så det underligaste av allt: *den mörka energin*. Einstein kallade den sin kosmologiska konstant och trodde att den skulle balansera galaxernas gravitation och rädda universum från den ständiga förändring och slutgiltiga död som annars är oundvikliga, men förkastade den senare när det stod klart att universum alls inte är

statistiskt och evigt utan tvärtom expanderar. I slutet av 1990-talet kunde man slå fast att expansionen går allt snabbare. Man insåg också att något mörkt och dolt motverkar gravitationens återhållande kraft och jäktar på universum i dess expansion mot tomheten. Den mörka energin var tillbaka, men vad den egentligen utgörs av är det ingen som vet.

Trots alla frågetecken är det lätt att imponeras av hur mycket människan lärt sig om universum. Vilka oerhörda djup som avslöjats och vilka intrikata samband den mänskliga tanken lyckats bena ut. Men, om man ska vara riktigt ärlig, har vi egentligen förstått särskilt mycket? På vilken skala mäts vår framgång? Vad ska vi jämföra med? Knappast med vad okända civilisationer på andra håll i universum kan ha upptäckt och förstått, om det nu finns några. Jag föreställer mig gärna varelser som avslöjat betydligt djupare hemligheter om vårt universum än vi. Kanske till och med djupare än vi någonsin kommer att kunna föreställa oss, eller hinna ge oss i kast med innan vi förgör oss själva. Hur dessa för oss okända civilisationer sedan förvaltat sin kunskap är en annan fråga.

Det har funnits tidpunkter i historien då många forskare haft känslan av att vara nära en total förståelse av naturen. Denna känsla har varit mer eller mindre välgrundad men alltid lika illusorisk och missvisande. Det klassiska exemplet är Lord Kelvin – en av det sena 1800-talets förgrundsgestalter inom fysiken – som för drygt hundra år sedan argumenterade för att man nu förstod allt så när som på ett par små detaljer. Det enda insiktsfulla i Kelvins påstående var att de ”detaljer” han pekade på var precis de som bara några år senare skulle leda fram till kvantmekaniken och relativitetsteorierna.

I våra dagar talas det ibland om sökandet efter en *teori för allting*. Jag forskar själv inom strängteori där man haft som ambition att åstadkomma en sådan total beskrivning av naturens mest fundamentala lagar. Jag vet inte hur många av mina kollegor som egentligen

tror att man snart kommer att nå fram. De allra flesta är väl fullt upptagna med att nysta i något litet hörn så gott det går, snarare än att tänka storvulna tankar om helheten. Det finns en vardag i allt – även i forskning om världsalltets ursprung.

Finns det då något skäl att tro att vi just nu, i våra dagar, verkligen börjar närma oss något slags slutpunkt? Jag tror inte det. Tvärtom kan man hävda att vi aldrig tidigare i historien på ett lika tydligt och storslaget sätt kunnat ana vidden av vår okunskap. Och detta blir kanske som mest uppenbart när vi studerar universums mörka sida – ämnet för den här boken.

Jag kommer att berätta om det vi känner till allra minst, men som också är just det område där det finns mest att lära. På vägen kommer vi att stifta bekanskap även med lite mer etablerad fysik, men målet är och förblir det okända, det som gäckar i mörkret mellan stjärnorna. När man sysselsätter sig med ting av detta slag är det oundvikligt att tankarna löper iväg till de allra yttersta av frågor. Mot slutet av boken kommer vi att ta ut svängarna rejält, och när vi hunnit till sista sidan hoppas jag ha förmedlat en vision av ett världsallt större än du någonsin kunnat tänka dig. Ett universum som innehåller dig själv, Vintergatan, allt det våra teleskop kan se på himlen och ett oräkneligt antal andra och helt olika universa, hela vägen bort till det otänkbart otänkbara i de allra mest otillgängliga och obegripliga av utmarker.

Hundra år efter det att Einstein formulerade sin teori är en både bra och dålig tidpunkt att skriva en sådan här bok. Bra för att det finns så mycket att berätta om allt det vi lärt oss. Bra också för att det finns så mycket kvar att lära. Men hur mycket av det vi idag tror oss veta kommer att stå sig? Hur mycket kommer att kastas över ända? Du som läser min bok får ha detta perspektiv i åtanke. Författaren visste inte bättre.

O. MÖRKRET MELLAN STJÄRNORNA

Were the succession of stars endless, then the background of the sky would present us a uniform luminosity, like that displayed by the Galaxy – since there could be absolutely no point, in all that background, at which would not exist a star. The only mode, therefore, in which, under such a state of affairs, we could comprehend the voids which our telescopes find in innumerable directions, would be by supposing the distance of the invisible background so immense that no ray from it has yet been able to reach us at all.

EDGAR ALLAN POE

Det är sent på sommaren och jag har en plan. Där jag vistas, långt upp på norra halvklotet, är sommarnätterna ljusa och större delen av tiden ser man knappast några stjärnor. Det är först i början av augusti som mörkret långsamt återvänder och stjärnhimlen vid klart väder på nytt blir synlig. En sådan varm och stjärnklar natt smyger jag mig ut när ingen annan är vaken för att lägga mig i gräset och se på stjärnorna. Men i stället för att titta upp låtsas jag att jag tittar ner. Jag har gjort det många gånger. Det svindlar men jag blir aldrig rädd. Över mig, eller snarare nedanför mig, öppnar sig en mörk avgrund fylld av stjärnor. Kanske har du ibland stått vid ett stup på toppen av ett berg och ängsligt spanat över kanten mot marken några hundra meter ner? Eller kanske du varit på besök vid Grand Canyon i USA och förundrats över den två kilometer djupa ravinen, ett närmast obegripligt djup för en liten människa? Detta är ingenting mot det jag upplever där

jag ligger och håller mig fast i gräset. Vad är några hundra meter, eller för den delen ett par kilometer, mot de ljusår jag har nedanför mig? Om jag tittar tillräckligt långt ner, miljarder ljusår, och fäster blicken på mörkret, kan jag ana det som fanns dessförinnan. Innan allting hände.

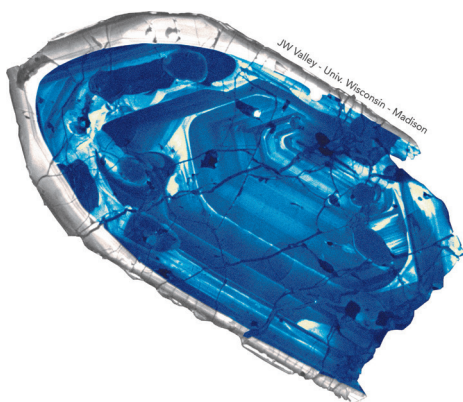
Under de år jag ägnat mig åt dessa betraktelser har fysiken och kosmologin gått framåt. Vi vet alltmer. Och det är nog just sådana stjärnkla nätter som skapat en nyfikenhet på universums ursprung hos fler än mig. En vilja att få veta och förstå.

Naturvetenskapen och fysiken handlar om verkligheten. Ambitionen är att så långt möjligt ge en beskrivning och nå något slags förståelse av ett faktiskt existerande, av oss oberoende universum. Samtidigt är vi alla själva en del av just detta universum. Vi kan inte slå oss fria och inta den upphöjda, objektiva oberoende position som skulle vara i samklang med de högstämda ambitionerna. Våra biologiska kroppar med sina trubbiga sinnen och begränsade själsliga förmågor är ju ett resultat av samma naturlagar som vi vill kunna förstå. Därför biter vi lätt oss själva i svansen och riskerar att förlora oss i hopplösa cirkelresonemang.

Oavsett allt detta står det klart att den enda framkomliga vägen är att kombinera tankens kraft med försök att observera och mäta, noggrant och tålmodigt. Vi behöver lyhört lyssna till vad naturen har att berätta. Vi är inte begränsade till att bara drömma om hur det skulle kunna vara. Vi har möjlighet att se efter på riktigt. Detta gäller inte minst frågan om hur det gick till när världen skapades.

En resa bakåt i tiden

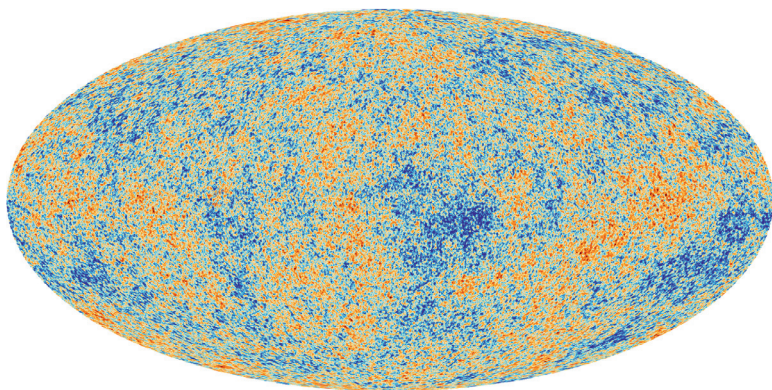
Det är förstås frustrerande att inse hur lite av förflutenheten som är direkt tillgänglig för oss. De allra flesta har svårt att i detalj minnas vad vi gjorde en viss dag bara några år tillbaka, om det inte var något alldeles särskilt som inträffade. Kanske kan vi med hjälp



FIGUR 0.1: Till vänster fotspår av några *Australopithecus afarensis* som vandrat tillsammans för 3,6 miljoner år sedan. Till höger det äldsta mineralet, daterat till strax efter jordens skapelse.

av gamla fotografier, dagböcker eller andra anteckningar i någon mån rekonstruera historien, men vår bild är alltid bristfällig och ofullständig. Ju längre bakåt i tiden vi strävar, desto svårare blir det i allmänhet att få någon exakt kunskap. När det gäller de riktigt stora perspektiven får vi nöja oss med sporadiska ögonblicksbilder, likt de 3,6 miljoner år gamla fotspåren i Laetoli, Tanzania, där några förmänniskor vandrat upprätt på våt vulkanisk aska. Vad tänkte de? Höll de varandra i hand? Var de rädda för vulkanen? Samma svindlande perspektiv ger zirkonerna, ett slags mineral som kristalliseras efter vulkanutbrott och sedan motstår det mesta. I västra Australien finns zirkoner som är 4,4 miljarder år gamla, de äldsta stenar man hittills funnit på jorden. Vilken historia har inte de att berätta?

Men om vi rör oss riktigt långt tillbaka i tiden förändras allt detta. Om vi i stället för att intressera oss för vårt personliga ursprung, vår arts eller vår jords, vill synliggöra skapelsen av hela vårt universum, blir det paradoxalt nog möjligt. Till skillnad från



FIGUR 0.2: En bild, tagen av Plancksatelliten, visar hur universum såg ut när det var knappt 400 000 år gammalt.

tidigare generationer som var hänvisade till fantasin när de ville utforska världsalltets tillblivelse, kan vi idag med teknikens hjälp faktiskt bara titta efter hur det såg ut. Vi kan helt enkelt ta bilder som visar universum strax efter att det bildades.

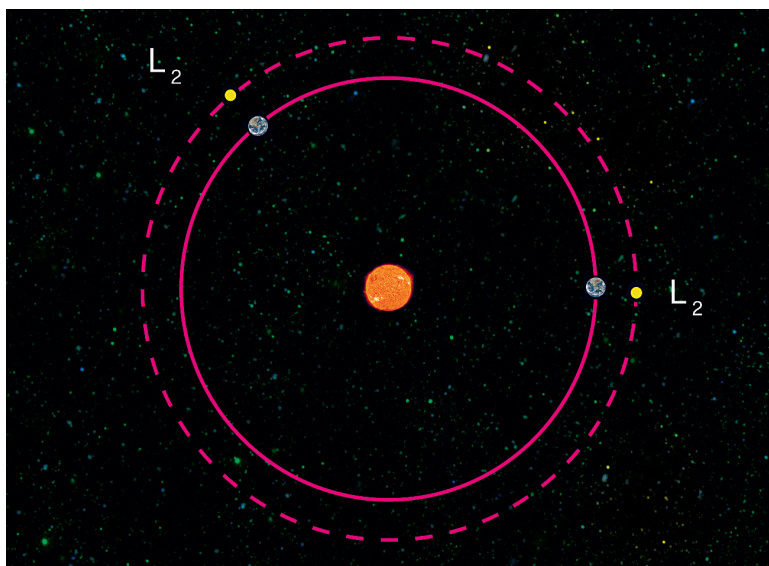
Det är viktigt att påpeka att det verkligen handlar om riktiga fotografier, inte bara fantasifulla illustrationsförsök där konstnärer gjort sitt bästa för att återge något som människoögon aldrig sett eller någonsin kommer att få se, anvisade av forskare som berättat hur det borde se ut. Nej, detta är verkligheten. Eller näst intill. Bilden i figur 0.2 visar hela himlavalvet utfläkt på det plana papperets yta. Färgerna är i och för sig inte riktiga, men de kodar för olika temperaturer i verkliga plasmamoln som existerade mindre än 400 000 år efter skapelsen, och svarar på så sätt mot något i allra högsta grad verkligt.

Bilden, den bästa som finns, är tagen av den europeiska *Plancksatelliten*. Att kalla den för satellit är möjligen lite missvisande. Tillsammans med många andra större rymdobservatorier lades den i en bana nära den *andra Lagrangepunkten* på ett avstånd av ungefär 1,5 miljoner km från jorden – fyra gånger så långt bort

som månen – och i en riktning rakt motsatt solens. Den följde alltså jorden i dess bana runt solen i en yttre kurva, alltid på samma avstånd från vår planet. Just vid denna punkt samverkar solens och jordens gravitationskrafter på ett så finstämt sätt att detta blir möjligt.

Den andra Lagrangepunkten har flera fördelar framför en vanlig omloppsbana runt jorden. Dels är det besvärligt för känsliga instrument att passera in i och ut ur jordskuggan med efterföljande nedkylning och uppvärmning. Dels slipper man störande värmestrålning från jorden. Planck skickades upp i maj 2009 och stängdes av i oktober 2013 efter fullgjort uppdrag. Man såg också till att städa efter sig i den andra Lagrangepunkten genom att lägga Planck till vila i en bana runt solen, som avlägsnar den från jorden.

Men åter till figur 0.2. Hur kan man ta ett fotografi av universums skapelse? Nyckeln är ljusets begränsade hastighet som gör det möjligt



FIGUR 0.3: Planckobservatoriet utförde sina observationer från den andra Lagrangepunkten.

att se bakåt i tiden. I och för sig är ljushastigheten vansinnigt hög, ungefär en miljard kilometer i timmen, men det innebär ändå att ljuset behöver tid på sig för att kunna färdas en viss sträcka. Ju längre sträcka, desto längre tid tar det, och detta innebär att ju längre bort vi tittar desto längre bakåt i tiden ser vi också.

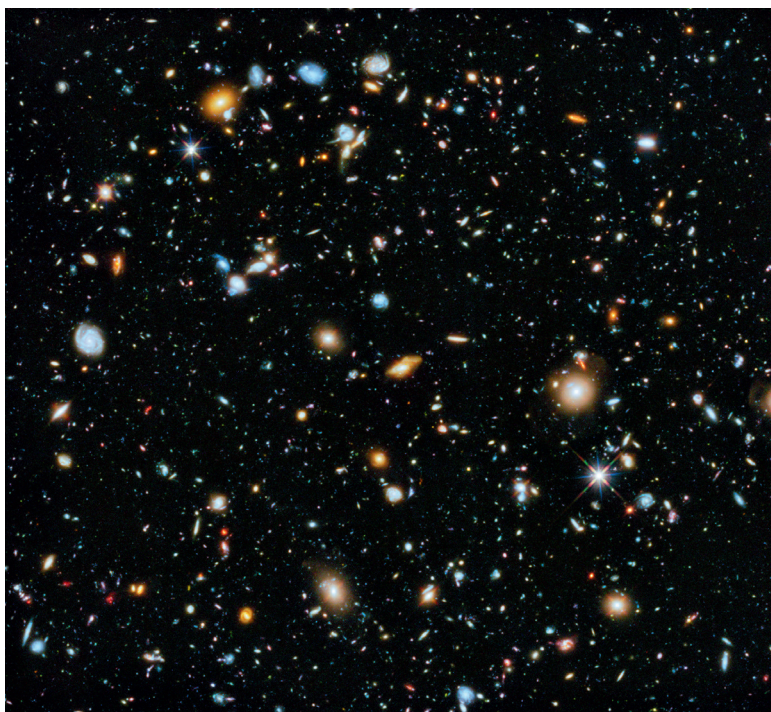
Vi är kanske mer vana att *lyssna* bakåt i tiden. När blixten slår ner hör vi ljudet först en liten stund efter det att vi med ögonen registrerat vad som hänt. Ljudet rör sig med blygsamma 300 meter per sekund och det dröjer hela 15 sekunder innan vi hör mullret från ett blixtnedslag en halvmil bort. Genom att notera hur stor fördröjningen är kan vi uppskatta avståndet.

Även om vi kanske inte är direkt medvetna om det, ser vi också lite grand bakåt i tiden. I själva verket inträffade det där blixtnedslaget ju ett par hundratusendelar av en sekund innan vi såg blixten slå ner. Men det är i praktiken så små skillnader att vi inte har en chans att uppfatta dem utan noggranna mätinstrument, och det är först i astronomiska sammanhang som ljusets senfärdighet blir påtaglig. Om vi tittar på månen ser vi hur den såg ut någon dryg sekund bakåt i tiden, och när vi tittar på solen har vi förflyttat oss åtta minuter in i det förflutna. När vi med blotta ögat observerar vissa stjärnor ger det oss möjlighet att spana mer än tusen år bakåt i tiden, och letar vi reda på Andromedagalaxen handlar det om nära tre miljoner år. Att räkna om avstånd till tid med hjälp av ljusets hastighet är ett praktiskt sätt att ange – och i viss mån också förstå – de oerhörda avstånden i universum. Ett *ljusår* är den sträcka som ljuset färdas under ett år, och med en hastighet på en miljard kilometer i timmen kommer man ju riktigt långt. Man kan jämföra med avståndet runt jordens ekvator som överbryggas på en tiondels sekund.

Bilden i figur 0.4 är ett av de vackraste och mest extrema exemplen. Den är tagen med det amerikanska rymdteleskopet Hubble, som legat i bana kring jorden sedan år 1990 och på många sätt

revolutionerat vår förståelse av universum. Bilden tar oss med på en resa flera miljarder år bakåt i tiden. Nästan alla ljusfläckar man ser är avlägsna galaxer – förutom några enstaka stjärnor som hör till Vintergatan. Ljuset från de mest framträdande galaxerna har behövt några hundra miljoner år för att nå fram till oss, medan det för de allra ljussvagaste handlar om mer än nio miljarder år.

Vi ser alltså ett tvärsnitt av hela universums historia: ögonblicksbilder av galaxer samtida med dinosaurierna, det första livet på jorden, solsystemets skapelse och tider långt, långt dessförinnan. Genom noggranna studier av bilder likt denna kan man också



FIGUR 0.4: Hubble deep field, tagen av rymdteleskopet Hubble, visar galaxer som de såg ut långt innan vårt solsystem skapades.

konstatera att universum utvecklats – de tidiga galaxerna ser inte ut som de i det mer samtida universum, som ju har ytterligare flera årmiljarder på nacken. Vi kan också konstatera att avstånden mellan galaxerna tidigare var mindre. Sedan skapelsen av vårt universum har avstånden vuxit sig allt större.

Men det allra mest spännande i bilden är egentligen mörkret mellan galaxerna. Där anar vi att tiden bakåt har ett slut och att universum faktiskt haft en början. Det var just det som Wilhelm Heinrich Olbers kom på spåren när han ställde frågan om nattens mörker i början av 1800-talet. I ett universum som är oändligt stort, överallt späckat av stjärnor och galaxer, kommer synlinjen förr eller senare alltid att träffa ytan av en stjärna – precis som i figur 0.5. Konsekvensen, menade han, borde bli att himlen lyste lika starkt som solen och att det inte vore mörkt om natten. Men mörkt är det och det är detta motstridiga faktum som utgör Olbers paradox.

Lösningen på paradoxen är att universum inte existerat för evigt. Universum må vara hur stort som helst, men om dess ålder är begränsad kan vi inte se mer än en begränsad del av det. Ljuset måste ju ha hunnit fram till oss under den tid som gått sedan skapelsen. Men om inget ljus hunnit fram, vad ser vi då? Mörker. Det är just detta mörker som vi ser i Hubbleteleskopets bild. Mellan galaxerna ser vi det svarta slutet, eller snarare början, på tiden någonstans bortom, eller snarare före, de mest avlägsna galaxerna.

Men helt mörkt är det egentligen inte, och med hjälp av andra teleskop än Hubble kan vi urskilja strukturer i mörkret. Det är just dem som figur 0.2 visar. Något synligt ljus går inte att skönja, men om man spanar i mikrovågsområdet har man bättre lycka. Det ljus som skickades ut i det tidiga universum från det glödande, några tusen grader heta plasmat hade orange färg, men i och med att universum sedan dess expanderat och avstånden sträckts ut och blivit tusen gånger större, har också ljusets våglängd förändrats.