ABC Amber Palm Converter, http://www.processtext.com/abcpalm.html

C:\Users\Plazma\Desktop\Knhy pdf\Nová složka (2)\P.Davies-Poslední tři minuty.pdb

PDB Name: P.Davies-Poslední tři minuty
Creator ID: REAd
PDB Type: TEXt
Version: 0
Unique ID Seed: 0
Creation Date: 16.8.1973
Modification Date: 16.8.1973
Last Backup Date: 1.1.1970
Modification Number: 0

Paul Davies

Poslední tři minuty

PŘEDMLUVA

Když jsem byl na začátku šedesátých let studentem, existoval intenzívní zájem o problém původu vesmíru. Teorie velkého třesku (big bang), pocházející z dvacátých let, ale braná vážně do úvahy pouze od let padesátých, už tehdy byla dobře známa, zdaleka však nepřesvědčovala. V některých kruzích stále ještě byla nejmódnějším scénářem soupeřící teorie stacionárního vesmíru, která se původem vesmíru nezabývala vůbec. Pak v roce 1965 přišel objev kosmického tepelného záření pozadí Arnem Penziasem a Robertem Wilsonem a celý předmět se tím změnil. To určitě bylo jasným důkazem horkého, bouřlivého a náhlého původu vesmíru.

Kosmologové horečně rozpracovávali důsledky tohoto objevu. Jak horký byl vesmír jeden milión let po velkém třesku? jeden rok po něm? Jednu sekundu? Jaký druh fyzikálních procesů by měl probíhat v tomto prvotním infernu? Mohly by existovat pozůstatky z úsvitu stvoření, v nichž by se zachovaly otisky extrémních podmínek, které tehdy musely převládat?

Dobře si pamatuji návštěvu přednášky o kosmologii v roce 1968. Profesor skončil přehledem teorie velkého třesku ve světle objevu tepelného záření pozadí. "Někteří teoretici předložili vysvětlení chemického složení vesmíru založené na jaderných procesech, které proběhly v průběhu prvních tří minut po velkém třesku," vyprávěl s úsměvem. Všichni posluchači se hlučně rozesmáli. Zdálo se být až absurdně ambiciózním pokoušet se popsat stav vesmíru pouhý okamžik poté, co vznikl. Dokonce ani James Ussher, arcibiskup ze sedmnáctého století, jehož studium detailů biblické chronologie přivedlo k prohlášení, že vesmír byl stvořen 23. října roku 4004 před naším letopočtem, se neodvážil podat přesný sled událostí v průběhu prvních tří minut.

Tempo vědeckého pokroku je však takové, že sotva uplynulo desetiletí od objevu kosmického tepelného záření pozadí a první tři minuty se staly pro studenty denním chlebíčkem. O tomto předmětu byly napsány celé učebnice. A pak v roce 1977 americký fyzik a kosmolog Steven Weinberg uveřejnil knihu-bestseller s přiléhavým titulem First Three Minutes (První tři minuty). Jak se ukázalo, tato kniha představovala přelom ve vydávání populárních knih o přírodních vědách. Přední světový expert zde poskytl obecné veřejnosti detailní a zcela přesvědčivý výklad procesů, které proběhly pouhé okamžiky po velkém třesku.

Zatímco se veřejnost snažila postihnout tyto opojné pokroky, samotní vědci už postoupili dále. Jejich pozornost se začala přesouvat od toho, co vešlo ve známost jako raný vesmír, tedy ony zhruba první tři minuty, k velmi ranému vesmíru, téměř nekonečně malému zlomku sekundy po počátku. Uplynulo další přibližně desetiletí a britský matematický fyzik Stephen Hawking mohl v A Brief History of Time (Stručná historie času) důvěryhodně popsat nejnovější myšlenky týkající se první bilión-bilión-bilióntiny sekundy. Smích, který zakončil onu přednášku v roce 1968, dnes zní poněkud dutě.

Poté, co se teorie velkého třesku tak dobře zavedla jak v lidovém, tak i vědeckém povědomí, stále více úvah je dnes věnováno budoucnosti vesmíru. Máme celkem dobrou představu o tom, jak vesmír započal, ale jak skončí? Co můžeme říci o jeho konečném osudu? Skončí vesmír třeskem nebo "fňuknutím" - a skončí vůbec? A co bude s námi? Může lidstvo nebo naši potomci, ať již budou robotičtí, nebo tvory z masa a krve, přežít po celou věčnost?

Nelze se nezajímat o takové záležitosti, dokonce i když Armageddon nemusí být právě za rohem. Náš boj o přežití na planetě Zemi, v současnosti ztěžován krizemi, které vyvoláváme my sami, zapadá do vítaného nového kontextu, když jsme nuceni přemítat o kosmologickém rozměru našeho bytí. Poslední tři minuty je příběh o budoucnosti našeho vesmíru jak ji umíme nejlépe předpovědět - založený na nejnovějších úvahách některých dobře známých fyziků a kosmologů. Není celý apokalyptický. Budoucnost v sobě ve skutečnosti chová příslib nikdy předtím nevídaného potenciálu rozvoje a bohatství zkušenosti. Ale nemůžeme ignorovat skutečnost, že to, co začalo existovat, může také přestat existovat.

Tato kniha je určena běžnému čtenáři. Nevyžaduje žádné předchozí přírodovědecké nebo matematické znalosti. Z času na čas však potřebuji hovořit o velmi velkých nebo velmi malých číslech a tehdy je pro jejich znázornění užitečný zhutňující matematický zápis známý jako tzv. zápis "mocnin desítek". Například plně vypsané číslo sto miliard je 100 000 000 000, což je spíše těžkopádné. V tomto čísle po jedničce následuje jedenáct nul, takže jej můžeme znázornit, když

napíšeme 1011 - slovy "deset na jedenáctou". Podobně jeden milión je 106 a jeden bilión 1012. A tak dále. Pamatujte však, že tento způsob zápisu projevuje sklon zamaskovat rychlost, kterou tato čísla narůstají: 1012 je stokrát větší číslo než 1010 - je to mnohem větší číslo, i když obě čísla vypadají téměř stejně. Použitím záporných mocnin desítek lze vyjádřit také nehni malá čísla. Zlomek jedna miliardtina, neboli 1/1 000 000 000, se takto stává 10-9, poněvadž v tomto zlomku pod lomítkem po jedničce následuje devět nul.
Nakonec bych rád varoval čtenáře, že tato kniha je nevyhnutně vysoce spekulativní. I když většina myšlenek, se kterými se v ní setkáte, se zakládá na našem nejlepším současném přírodovědném poznání, futurologie se nemůže těšit stejnému statutu jako jiné vědecké snahy. Pokušení spekulovat o konečném osudu kosmu je nicméně neodolatelné. Právě v tomto duchu nepředpojatého zkoumání jsem napsal tuto knihu. Základní scénář vesmíru, který vzniká ve velkém třesku a poté se rozpíná a chladne do určitého konečného stavu fyzikálního úpadku, nebo snad podléhá katastrofickému gravitačnímu zhroucení, je vědecky celkem dobře podložen. Mnohem méně určité jsou však hlavní fyzikální procesy, které by mohly probíhat v obrovských časových měřítkách, o které zde jde. Astronomové mají jasnou představu o všeobecném osudu běžných hvězd a v rostoucí míře začínají být přesvědčeni, že pochopili základní vlastnosti neutronových hvězd a černých děr. Jestliže ale vesmír přetrvá po mnoho biliónů let, nebo ještě déle, mohou existovat jemné fyzikální efekty, o kterých se můžeme jenom dohadovat, že nakonec by mohly být velmi důležité. Vzhledem na skutečnost, že naše poznání přírody je neúplné, vše, co můžeme učinit při pokusu o odvození možného konečného osudu vesmíru, je využít našich nejlepších existujících teorií a dovést je k jejich logickým závěrům. Problémem je, že mnohé z teorií, které mají důležitý vztah k osudu vesmíru, ještě bude třeba experimentálně prověřit. V některé procesy, o kterých v knize hovořím - například vyzařování gravitačních vln, rozpad protonu a záření černých děr - teoretici nadšeně věří, dosud však nebyly pozorovány. Stejně závažné je, že nepochybně budou existovat další fyzikální procesy, o kterých zatím nevíme nic a které by mohly dramaticky změnit myšlenky, vyslovené v této knize. Tyto nejistoty ještě rostou, jestliže uvažujeme možné důsledky existence inteligentního života ve vesmíru. Zde vstupujeme do říše vědecké fantastiky. Nicméně nemůžeme ignorovat skutečnost, že živé bytosti by v průběhu eonů (eon, nejvyšší jednotka geochronologie, s významem miliard či přinejmenším stamiliónů let pozn. překl.) mohly ve stále větším měřítku významně obměňovat chování fyzikálních systémů. Rozhodl jsem se zabývat také předmětem života v kosmu, protože u mnoha čtenářů se fascinace konečným osudem vesmíru vnitřně váže s jejich znepokojením nad osudem lidských bytostí nebo vzdálených potomků lidských bytostí. Měli bychom však pamatovat na to, že vědci prozatím nemají reálné poznatky o povaze lidského vědomí ani o fyzikálních požadavcích, jejichž splnění by ve vzdálené budoucnosti vesmíru mohlo podmiňovat pokračování vědomé aktivity.
Rád bych poděkoval Johnovi Barrowovi, Frankovi Tiplerovi, Jasonu Twamleyovi, Rogeru Penroseovi a Duncanu Steelovi za užitečné diskuse o tématu této knihy, redaktoru této edice Jerrymu Lyonsovi za to, že kriticky přečetl rukopis a Sáře Lippincottové za její skvělou práci na závěrečné verzi rukopisu.

PRVNÍ KAPITOLA
SOUDNÝ DEN

Datum: 10. srpna 2126. Soudný den.
Místo: Země. Zoufalé obyvatelstvo na celé planetě se pokouší ukrýt. Miliardy nemají kam jít. Někteří lidé unikají hluboko pod zemský povrch. Zoufale hledají jeskyně a nepoužívané báňské šachty, nebo vyrážejí na moře v ponorkách. Jiných se zmocňuje zuřivost, vražedná a bezohledná. Většina však pouze sedí, zachmuřeně a otupeně, a čeká na konec.
Vysoko na obloze je do klenby nebes vražen obrovský sloup světla. Co začalo jako štíhlá tužka měkce zářící mlhoviny, ze dne na den se nafukovalo, až vytvořilo vír plynu kypícího do vakua vesmíru. Na špičce mlhovinné stopy spočívá temná, beztvará, hrozivá zhuštěnina. Maličká hlava komety jakoby popírala její obrovskou ničivou sílu. Přibližuje se k planetě Zemi úžasnou rychlostí přes 64 000 kilometrů za hodinu, téměř osmnáct kilometrů za každou sekundu - bilión tun ledu a horniny předurčený k tomu, aby narazil sedmdesátinásobkem rychlosti zvuku.
Lidstvo se může jen dívat a čekat. Vědci, kteří už dávno tváří v tvář nevyhnutelnému zanechali svých dalekohledů, potichu vypínají počítače. Donekonečna opakované simulace katastrofy jsou stále příliš neurčité a jejich závěry jsou příliš alarmující, než aby je šlo v jakékoli podobě zveřejnit. Někteří vědci si připravili propracované strategie přežití, přičemž využili svých odborných znalostí, aby získali výhodu nad svými spoluobčany. Jiní plánují pozorovat kataklyzma tak pečlivě, jak to jen bude možné, a dostát úkolu skutečných vědců až do samotného konce, přenést napozorované údaje do časových kapsulí zahrabaných hluboko do nitra Země. Pro budoucnost.
Okamžik dopadu se blíží. Milióny lidí na celém světě si nervózně kontrolují hodinky. Poslední tři minuly.
Přesně nad bodem dopadu se najednou rozevírá obloha. Tisíce kubických kilometrů vzduchu jsou prudce odváty stranou. Prst spalujícího plamene širšího než město se žene obloukem k zemi a o patnáct sekund později se zapichuje do povrchu. Planeta se otřásá silou desetitisíce zemětřesení. Nárazová vlna vytlačeného vzduchu zametá povrch globu, zplošťuje všechny struktury, rozbíjí na kousky vše, co jí stojí v cestě. Plochý terén kolem místa dopadu se zvedá v prstenci několik kilometrů vysokého pohoří roztaveného materiálu a odhaluje nitro Země v kráteru s průměrem přes stopadesát kilometru. Stěna roztavené horniny se valí směrem ven, a pomalu překrývá okolní krajinu.
Uvnitř samotného kráteru se vypařují bilióny tun horniny. Mnohem více horniny je vymrštěno ven, její jistá část odlétá přímo do kosmického prostoru. ještě větší množství je rozhozeno přes polovinu kontinentu, dopadá o sta a tisíce kilometrů dále a déšť hmoty ničí vše na povrchu, přičemž masově ničí vše dole. Určitá část vyvrženého roztaveného materiálu dopadá do oceánu a zvedá obrovské vlny, které ještě zvětšují šířící se běsnění. Ohromný sloupec zvířených prachových částeček je rozvát do atmosféry a zastírá sluneční světlo nad celou planetou. Ale sluneční světlo nahrazuje zlověstná blikající záře miliardy meteorů zpražujících povrch sálovým teplem, jak se vytlačený materiál noří

zpět do atmosféry při návratu z kosmického prostoru.
Předcházející scénář je založen na předpovědi, že 21. srpna 2126 do Země narazí kometa Swift-Tuttle. Jestliže by k tomu došlo, nevyhnutelně by následovalo globální zpustošení, které by zničilo lidskou civilizaci. Když se k nám v roce 1993 tato kometa přiblížila, první výpočty zřetelně poukazovaly na možnost srážky v roce 2126. Od té doby revidované výpočty ukazují, že kometa ve skutečnosti mine Zemi o dva týdny: je to o vlásek, ale můžeme si vydechnout.
Nebezpečí tím však zcela nepomíjí. Dříve či později kometa Swift Tuttle nebo nějaký podobný objekt do Země narazí. Po oběžných drahách protínajících dráhu Země se podle odhadů pohybuje 10 000 objektů s průměrem půl kilometru či více. Tito astronomičtí vetřelci pochází z ledových vnějších výsep Sluneční soustavy. Někteří byli zachyceni gravitačními poli planet, jiní přicházejí z tzv. pásu planetek, který leží mezi Marsem a Jupiterem. Orbitální nestabilita zapříčiňuje nepřetržitý rušný pohyb těchto malých, ale smrtonosných těles směrem do a zase ven z vnitřní Sluneční soustavy, čímž vzniká vždy přítomná hrozba Zemi a našim sesterským planetám.
Mnohé z těchto objektů mohou zapříčinit více škod než všechny jaderné zbraně světa dohromady. Je pouze otázkou času, kdy do nás jeden z nich narazí. Až se to přihodí, bude to pro lidi znamenat zlou novinu. Dojde k prudkému a předtím nevídanému zlomu v historii našeho druhu. Ale pro Zemi je takový jev více či méně rutinou. K nárazům komet nebo planetek podobného rozsahu dochází v průměru jednou za každých několik málo miliónů let. Převládá přesvědčení, že jeden nebo více takových jevů před 65 milióny let zapříčinil vymření dinosaurů. Příště bychom to mohli být my.
Víra v Armageddon je hluboce zakořeněna ve většině náboženství a kultur. Biblická kniha Zjevení podává živé vylíčení smrti a ničení, které nás očekávají:

"Poté přišly záblesky světla, rachocení, dunění hromu a těžké zemětřesení. Žádné podobné zemětřesení nenastalo, odkdy je člověk na Zemi, tak obrovský to byl otřes ... Města národů se zhroutila ... Všechny ostrovy se vzdálily a pohoří nešlo nalézt. Z oblohy na lidi padaly obrovské ledovce vážící sto liber. A oni proklínali Boha pro tuto ránu krupobití, neboť rána bylá tak strašná."
Určitě existuje mnoho ošklivých věcí, které se mohou Zemi přihodit - nepatrnému objektu ve vesmíru plném ničivých sil. Naše planeta nicméně zůstala pohostinnou pro život po přinejmenším tři a půl miliardy let. Tajemstvím našeho úspěchu na planetě Zemi je prostor. Mnoho prostoru. Naše Sluneční soustava je drobným ostrovem aktivity v oceáně prázdnoty. Nejbližší hvězda (po Slunci) leží ve vzdálenosti více než čtyř světelných let. Abychom si uvědomili, jak je to daleko, uvažme, že světlo urazí přibližně 150 miliónů kilometrů od Slunce k Zemi za pouhých osm a půl minuty. Za čtyři roky urazí více než třicet tři bilióny kilometrů.
Slunce je typická trpasličí hvězda, která se nalézá v typické oblasti naší Galaxie, Mléčné dráhy. Galaxie obsahuje přibližně sto miliard hvězd, jejichž hmotnost je od několika procent až po stonásobek hmotnosti Slunce. Tyto objekty, společně s mnoha oblaky plynu a prachu a neznámým počtem komet, planetek, planet a černých děr, pomalu obíhají kolem středu Galaxie. Takový obrovský soubor těles by mohl budit dojem, že Galaxie je velmi přeplněný systém, až dokud se nevezme do úvahy skutečnost, že průměr viditelné části Mléčné dráhy je přibližně sto tisíc světelných let. Má tvar talíře se středovou výdutí. Kolem středu se rozprostírá několik spirálních ramen tvořených hvězdami a plynem. Naše Slunce se nalézá v jednom takovém spirálním rameni asi třicet tisíc světelných let od středu.
Pokud víme, Mléčná dráha není ničím vyjímečná. Podobná galaxie zvaná Andromeda leží ve vzdálenosti asi dvou miliónů světelných let ve směru stejnojmenného souhvězdí. Jako rozmazanou skvrnku světla ji je možné spatřit právě na hranici viditelnosti volným okem. Pozorovatelný vesmír zdobí mnoha miliard galaxií, z nichž některé jsou spirální, některé eliptické, některé nepravidelné. Měřítko vzdáleností je zde ohromné. Mohutné dalekohledy mohou rozeznat jednotlivé galaxie vzdálené několik miliard světelných let. V některých případech jejich světlo cestovalo po dobu přesahující věk Země (čtyři a půl miliardy let), než k nám dospělo.
Všechen tento prostor znamená, že kosmické srážky jsou vzácné. Největší hrozba Zemi vychází pravděpodobně z našeho vlastního nejbližšího okolí. Planetky normálně neobíhají v blízkostí Země. Většinou jsou vázány na pás mezi Marsem a Jupiterem. Ale ohromná hmotnost Jupitera může narušit dráhy planetek, příležitostně jednu z nich vyslat směrem ke Slunci a takto ohrozit Zemi.
Komety, to je jiná. Tato nebezpečná tělesa se podle všeho rodí v neviditelném oblaku, který je vzdálen od Slunce na světelný rok. V tomto případě nám nehrozí Jupiter, ale hvězdy z okolí Sluneční soustavy. Galaxie totiž pomalu rotuje podle toho, jak obíhají její hvězdy kolem galaktického jádra. Jeden takový okruh zabere Slunci a jeho malé družině planet přibližně dvě stě miliónů let. Na této cestě se jim přitom přihodí mnohá dobrodružství. Blízké hvězdy mohou svými gravitačními účinky zavadit o kometární oblak a vytlačit několik komet na dráhy směrem ke Slunci. jak se kometa řítí vnitřní oblastí Sluneční soustavy, záření Slunce vypařuje část jejího prchavého materiálu a sluneční vítr jej rozevlaje do okolí. Tak vzniká dlouhý pás - slavný kometární ohon. Velmi vzácně se kometa při svém dočasném pohybu ve vnitřní Sluneční soustavě srazí se Zemí. Ničení sice způsobuje kometa, ale odpovědnost nese hvězda, která se octla blízko Sluneční soustavy. Obrovské vzdálenosti mezi hvězdami nás naštěstí chrání před tím, aby taková setkání byla příliš častá.

Na naší cestě okolo Galaxie nám ovšem mohou zkřížit cestu i další objekty. Valící se obří oblaky plynu jsou sice mnohem řidší než laboratorní vakuum, přesto však mohou drasticky změnit charakter slunečního větru a ovlivnit tepelný tok ze Slunce. V inkoustově temných hlubinách vesmíru se mohou skrývat i další, zlověstnější objekty: bludné planety, neutronové hvězdy, hnědí trpaslíci, černé díry - všechna tato tělesa by se k nám mohla nepozorovaně přiblížit a bez varování zpustošit Sluneční soustavu.
Hrozba má ještě zákeřnější podoby. Někteří astronomové věří, že Slunce může patřit do soustavy dvojhvězdy, jak je

tomu běžně u velké části jiných hvězd v Galaxii. V našem případě je hvězda-průvodce - pojmenovaná Nemesis, neboli Hvězda smrti - snad příliš slabá a příliš daleko, než aby se ji podařilo objevit. Ale její přítomnost se může projevit gravitačně, jak na své pomalé oběžné dráze kolem Slunce svými gravitačními účinky periodicky narušuje vzdálený oblak komet a vysílá některé z nich, aby se řítily směrem k Zemi a posléze vyvolaly sérii pustošivých srážek. Geologové zjistili, že ekologické ničení ve velkém měřítku opravdu nastává s periodou přibližně třiceti miliónů let. Při pohledu do vzdálených hloubek vesmíru astronomové pozorovali zjevné srážky celých galaxií. Jaká existuje šance, že do Mléčné dráhy narazí jiná galaxie? Z pozorování velmi rychlého pohybu určitých hvězd plynou jisté důkazy, že Mléčná dráha už mohla být rozrušena srážkami s malými blízkými galaxiemi. Srážka dvou galaxií však ještě nemusí nevyhnutelně znamenat katastrofu pro jednotlivé hvězdy, z nichž se skládají. Populace galaxií je natolik řídká, že vzájemné splynutí se může odehrát bez srážek mezi jednotlivými hvězdami.
Většinu lidí fascinuje perspektiva Soudného dne - náhlého, velkolepého zničení světa. Ale násilná smrt je pro nás méně pravděpodobnou hrozbou než pomalý rozpad. Existuje mnoho způsobů, jimiž se Země postupně může stát nehostinnou. Pomalý ekologický úpadek, klimatická změna, malá změna v tepelné produkci Slunce - to vše by mohlo ohrozit naše pohodlí, ne-li samotné přežití na naší křehké planetě. Takové změny ovšem proběhnou v průběhu tisíců či dokonce miliónů let a lidstvo se s nimi může vypořádat pomocí pokročilé technologie. Například pozvolný nástup nové doby ledové by neohlašoval úplnou katastrofu pro Homo sapiens, pokud budeme mít k dispozici dostatek času na přípravu. Předpoklad, že dramatické pokroky v technologii budou pokračovat i v nadcházejících tisíciletích, svádí k přesvědčení, že lidské bytosti nebo jejich potomci budou ovládat stále rozsáhlejší fyzikální systémy a nakonec mohou být v postavení, které jim umožní odvrátit katastrofy dokonce i v astronomickém měřítku. Může lidstvo v principu přežít věčně? Snad. Ale uvidíme, že nesmrtelnost se nezískává snadno a ještě se může ukázat, že je nemožná. Samotný vesmír podléhá fyzikálním zákonům, které mu ukládají jeho vlastní životní cyklus: zrození, evoluci a možná - smrt. Náš vlastní osud se neoddělitelně prolíná s osudem hvězd.

DRUHÁ KAPITOLA
UMÍRAJÍCÍ VESMÍR

V roce 1856 vyslovil německý fyzik Hermann von Helmholtz pravděpodobně nejdepresivnější výrok v historii vědy. Vesmír, tvrdil Helmholtz, umírá. Základem pro tuto apokalyptickou předpověď se stal takzvaný druhý zákon termodynamiky. Ačkoli druhý zákon termodynamiky (nyní často jednoduše označovaný jako "druhý zákon") byl původně formulován v raném devatenáctém století jako spíše technický výrok o účinnosti tepelných strojů, brzy vyšlo najevo, že má univerzální význam - a doslova kosmické důsledky.

Druhý zákon ve své nejjednodušší verzi hlásá, že teplo proudí z teplejšího místa na chladnější. To je samozřejmě známou a zjevnou vlastností fyzikálních systémů. Projevy této vlastnosti pozorujeme, kdykoli si vaříme jídlo nebo ochlazujeme šálek kávy: teplo proudí z oblasti s vyšší teplotou do oblasti s teplotou nižší. Není v tom žádná záhada. Teplo samotné se ve hmotě projevuje pohybem molekul. V plynu, jako je vzduch, se molekuly pohybují prudce a chaoticky. Vzájemně do sebe narážejí. Dokonce i atomy v tuhém tělese hbitě kmitají kolem střední polohy. Čím více horké bude dané těleso, tím energetičtěji se v něm budou pohybovat molekuly. Dostanou-li se do kontaktu dvě tělesa s odlišnou teplotou, pak bouřlivější pohyb molekul v horkém tělese se brzy rozšíří na molekuly chladnějšího tělesa. Poněvadž tepelné proudění je jednosměrné, celý proces je uvězněn v čase. Film, jenž by ukazoval, jak teplo spontánně proudí od chladného k horkému, by vypadal stejně pošetile, jako řeka tekoucí do kopce, nebo dešťové kapky stoupající k oblakům. Takto můžeme rozpoznat směr tepelného proudění, který může být chápán jako šipka směřující z minulosti do budoucnosti. Tato "střelka času" ukazuje na nevratnou podstatu termodynamických procesů a fyziky fascinovala po stopadesát let.

Práce Helmholtze, Rudolfa Clausia a lorda Kelvina vedla k rozpoznání významu veličiny zvané entropie a která charakterizuje nevratné změny v termodynamice. V jednoduchém případě horkého tělesa, které se dotýká tělesa chladného, je možno entropii definovat vydělením tepelné energie teplotou. Představme si, že z horkého tělesa do chladného proudí malé množství tepla. Horké těleso při tom ztratí nějakou entropii a chladné těleso nějakou entropii získá. Jelikož jde v tomto případě o stejné množství tepelné energie, ale o odlišné teploty, entropie získaná chladným tělesem bude větší než entropie ztracená horkým tělesem. Úhrnná entropie celého systému - horké těleso plus chladné těleso - takto vzrůstá. Druhý zákon termodynamiky tedy tvrdí, že entropie takového systému by nikdy neměla klesat, neboť pokud by tomu tak bylo, plynulo by z toho, že nějaké teplo spontánně přešlo z chladného na horké těleso. Hlubší analýza umožňuje tento zákon zobecnit pro všechny uzavřené systémy: entropie nikdy neklesá. Je-li součástí takového systému lednička, která může přenášet teplo z chladného na horké, musíme při stanovení součtu entropie celého systému brát do úvahy energii spotřebovanou k pohonu ledničky. Tento proces spotřeby bude sám o sobě zvyšovat entropii. Vždy potom platí, že entropie vytvořená pohonem ledničky více než vyvažuje zmenšení entropie plynoucí z přenosu tepla z chladného na horké. Rovněž v přírodních systémech, takových, které zahrnují biologické organismy nebo utváření krystalů, entropie jedné části systému často klesá, ale tento pokles je vždy vyrovnán kompenzujícím vzrůstem entropie v jiné části daného systému. Celkově entropie nikdy neklesá.
Může-li být vesmír jako celek považován za uzavřený systém, na základě toho, že ve vztahu k němu neexistuje žádné "vně", potom druhý zákon termodynamiky tvrdí důležitý fakt: úhrnná entropie vesmíru nikdy neklesá. Ve skutečnosti dokonce nemilosrdně pokračuje její nárůst. Dobrý příklad leží právě na našem kosmickém prahu - Slunce, které nepřetržitě vyzařuje teplo do chladných hlubin kosmického prostoru. Teplo odchází do vesmíru a nikdy se nevrací. Celý proces je okázale nevratný.

Nasnadě je otázka: může entropie vesmíru růst věčně? Představme si horké těleso a chladné těleso, jež se dostanou do kontaktu uvnitř tepelně izolované nádoby. Tepelná energie proudí z horkého tělesa na chladné a entropie roste, ale chladné těleso se nakonec zahřeje a horké ochladí, takže obě tělesa spějí ke stejné teplotě. Až tohoto stavu dosáhnou, přenos tepla již nadále nebude pokračovat. Systém uvnitř nádoby dosáhne rovnoměrné teploty - stabilního stavu maximální entropie, jenž je označován jako termodynamická rovnováha.
Pokud. systém zůstává izolován, neočekáváme žádnou další změnu. Jsou-li však tělesa nějak narušena - řekněme přívodem dalšího tepla z prostředí mimo nádoby - dojde k další tepelné aktivitě a entropie bude růst k vyššímu maximu.
Co nám tyto základní termodynamické myšlenky říkají o astronomickém a kosmologickém vývoji? V případě Slunce a většiny dalších hvězd může odtok tepla pokračovat po miliardy let, ale zdroj tohoto procesu není nevyčerpatelný. Teplo normální hvězdy vytvářejí jaderné procesy v jejím nitru. Jak uvidíme, Slunci nakonec dojde palivo a - nebude-li oživeno určitými jevy - postupně bude chladnout, až dokud nedosáhne stejné teploty, jakou má okolní kosmický prostor.
Ačkoli Hermann von Helmholtz nic nevěděl o jaderných reakcích (zdroj ohromné energie Slunce byl v jeho době záhadou), porozuměl obecnému principu, že veškerá fyzikální aktivita směřuje ke konečnému stavu termodynamické rovnováhy, neboli maximální entropie, načež se už pravděpodobně až navěky nestane nic, co by stálo .za řeč. Tento jednosměrný skluz k rovnováze vešel mezi prvními termodynamiky ve známost jako "tepelná smrt" vesmíru. Připouštěli sice, že individuální systémy lze oživit zásahem zvenčí, ale vesmír sám o sobě ze své podstaty žádné "zvenčí" nemá, a tak nic nemůže zabránit všezahrnující tepelné smrti. Zdálo se, že jí nelze uniknout.
Objev, že vesmír umírá v nevyhnutném důsledku zákonů termodynamiky, zapůsobil skličujícím dojmem na celé generace vědců a filozofů. Například Bertranda Russella to vedlo k tomu, aby ve své knize Why I Am Not a Christian (Proč nejsem křesťanem) následujícím způsobem chmurně zhodnotil situaci:

Veškerá práce věků, všechno oddání se věci, všechna inspirace, všechen polední jas lidského génia jsou odsouzeny na zánik při obrovské smrti Sluneční soustavy a celý chrám úspěchů člověka nevyhnutně bude pochován pod troskami vesmíru v ruinách - všechny tyto věci, nejsou-li již zcela nesporné, jsou nicméně tak blízké jistotě, že žádná filozofie, která je zavrhuje, nemůže doufat v přetrvání. Pouze uvnitř klenby těchto pravd, pouze na základě zoufalství, z nějž není úlevy, lze proto bezpečně vybudovat příbytek ducha.
Mnozí další spisovatelé vyvozovali na základě druhého zákona termodynamiky a jeho důsledku - umírajícího vesmíru - závěr, že vesmír je bezvýznamný a lidská existence je v konečném smyslu pošetilá. K tomuto chmurnému zhodnocení situace se ještě vrátím v pozdějších kapitolách a budu se zabývat tím, zdali se zakládá či nezakládá na omylu.
Předpověď konečné tepelné smrti vesmíru nehovoří pouze cosi o budoucnosti vesmíru, ale přivádí nás také k důležitým závěrům o jeho minulosti. Je jasné, že pokud vývoj vesmíru nevratně konečnou rychlostí spěje ke konci, vesmír nemohl existovat věčně. Důvod je jednoduchý: kdyby byl vesmír nekonečně starý, byl by už býval zemřel. Cosi, co plyne konečnou rychlostí, evidentně nemůže existovat věčně. Jinak řečeno, vesmír musel vzniknout před konečným časem.
Je pozoruhodné, že tento dalekosáhlý závěr nebyl patřičně pochopen už vědci devatenáctého století. Myšlenka vesmíru, jenž náhle vzniká ve velkém třesku, musela čekat na astronomická pozorování ve dvacátých létech našeho století, přestože jeho konkrétní zrod v nějakém minulém okamžiku by byl býval měl vyplynout už ze samotných termodynamických zákonů.
Poněvadž však tento zřejmý závěr tehdy nebyl učiněn, astronomové devatenáctého století byli zaraženi pozoruhodným kosmologickým paradoxem. Olbersův paradox, pojmenovaný podle německého astronoma, kterému se připisuje jeho formulace, staví před nás jednoduchou, ale velice důležitou otázku: Proč je obloha v noci temná?
Tento problém se zpočátku jeví jako triviální. Noční obloha je temná, protože hvězdy jsou od nás ohromně daleko a tudíž se zdají být matné. Ale předpokládejme, že vesmír je bez hranic. V tomto případě by v něm celkem dobře mohl existovat nekonečný počet hvězd. Nekonečný počet matných hvězd by se sčítal a dohromady představoval velké množství světla. Souhrnné hvězdné světlo z nekonečného počtu neměnících se hvězd rozložených více méně rovnoměrně v prostoru lze vypočítat snadno. Jasnost hvězdy klesá se vzdáleností podle zákona recipročních kvadrátů. To znamená, že v dvojnásobné vzdálenosti má hvězda čtvrtinu původní jasnosti, v trojnásobné vzdálenosti devítinu a tak dále. Na druhé straně, čím dále dovidíme, tím je počet hvězd větší. Ve skutečnosti už jednoduchá geometrie ukazuje, že počet hvězd vzdálených řekněme dvěstě světelných let je čtyřnásobkem počtu hvězd vzdálených sto světelných let, zatímco počet hvězd vzdálených třista světelných let je jejich devítinásobkem. Takto počet hvězd roste jako druhá mocnina vzdálenosti, zatímco jasnost hvězd klesá jako druhá mocnina vzdálenosti. Oba efekty se vzájemně zruší a výsledkem je, že souhrnné světlo přicházející od všech hvězd v dané vzdálenosti nezávisí na této vzdálenosti. Od hvězd vzdálených dvěstě světelných let přichází stejné celkové světlo jako od hvězd vzdálených sto světelných let. Na problém narazíme, když sčítáme světlo ze všech hvězd ve všech možných vzdálenostech. Pokud vesmír nemá hranice, zdá se, že celkové množství světla dopadajícího na zem je neomezeno. Noční obloha by tedy nejenom neměla být temná, ale měla by být nekonečně jasná!

Tento problém se poněkud zmírní, když se vezmou do úvahy konečné rozměry hvězd. Čím vzdálenější je hvězda od á Země, tím menší jsou její zdánlivé rozměry. Blízká hvězda bude zakrývat vzdálenější hvězdu, nalézá-li se tato na stejné čáře pohledu. V nekonečnému vesmíru k tomu dojde mnohokrát. Vezmeme-li to do úvahy, změní to závěr předchozího výpočtu. Namísto nekonečného toku světla dopadajícího na Zemi je tento tok pouze velmi velký - zhruba stejný, jako kdyby sluneční kotouč vyplňoval celou oblohu. Taková situace by nastala, kdyby Země byla od slunečního povrchu vzdálena přibližně půl druhého miliónu kilometrů. To by byla opravdu velmi nepříjemná poloha, po pravdě řečeno, Země by se v důsledku velkého tepla rychle vypařila.

Závěr, že nekonečný vesmír by měl být kosmickou výhní, je ve skutečnosti pozměněnou formulací termodynamického problému, o němž jsem hovořil dříve. Hvězdy vyzařují teplo a světlo do kosmického prostoru. Toto záření se pomalu akumuluje v kosmické prázdnotě. Pokud by hvězdy bývaly hořely od věčných věků, na první pohled by se zdálo, že toto záření musí mít nekonečnou intenzitu. Ale jistá část tohoto záření při cestě kosmickým prostorem narazí na jiné hvězdy a bude opětovně . pohlcena. (To se rovná postřehu, že blízké hvězdy zakrývají světlo těch vzdálenějších.) Intenzita záření proto poroste, až dokud nebude dosaženo rovnováhy, při níž se bude rozsah vyzařování právě rovnat rozsahu pohlcování. Tento stav termodynamické rovnováhy nastane tehdy, když záření v kosmickém prostoru dosáhne stejné teploty, jaká panuje na povrchu hvězd - několik tisíc stupňů. Celý vesmír by takto měl být vyplněn tepelným zářením s teplotou několika tisíc stupňů a noční obloha, namísto toho, aby byla temná, by měla při této teplotě zářit.

Olbers pro tento paradox navrhl řešení. Povšiml si existence velkého množství prachu ve vesmíru a naznačil, že tento materiál by pohltil většinu hvězdného světla a takto zatemnil oblohu. Jeho myšlenka, ačkoli vynikala představivostí, naneštěstí byla v zásadě chybná: prach by se nakonec zahřál a začal by zářit stejně intenzívně jako záření, jež pohltil. Jiným možným řešením je vzdát se předpokladu, že rozsah vesmíru je nekonečný. Předpokládejme, že hvězd existuje mnoho, ale že jejich počet je konečný, takže vesmír se skládá z obrovského seskupení hvězd obklopeného nekonečnou temnou prázdnotou: většina hvězdného světla vyzáří do okolitého prostoru, kde se ztratí.

Avšak toto jednoduché řešení rovněž trpí fatální vadou, o které ostatně věděl už Isaac Newton v sedmnáctém století. Vada se týká podstaty gravitace. Každá hvězda přitahuje každou jinou hvězdu silou gravitace. Všechny hvězdy v seskupení by proto měly projevovat tendenci k padání dohromady a splývání v těžišti. Má-li vesmír definovaný střed a okraj, musí se zhroutit sám na sebe. Konečný statický vesmír bez opory je nestabilní a podléhá gravitačnímu zhroucení. Tento problém s gravitací se v mém příběhu později opět vynoří. Zde potřebujeme jednoduše zaznamenat důvtipný způsob, kterým se ho Newton pokusil obejít. Vesmír se může zhroutit na své těžiště, přemýšlel Newton, pouze tehdy, má-li těžiště. Je-li vesmír jak nekonečný rozsahem, tak i (v průměru) rovnoměrně osídlen hvězdami, pak nebude mít žádného středu ani okraje. Danou hvězdu budou z každého směru přitahovat mnohé sousedky, jakoby šlo 0 obrovská zahákování, při nichž lana vyrážejí do všech směrů. Všechna tato zahákování se v průměru vzájemně zruší a hvězda se jejich působením nebude hýbat.

Takže přijmeme-li Newtonovo řešení paradoxu hroutícího se vesmíru, máme zde opět na krku nekonečný vesmír a Olbersův paradox. Zdá se, že musíme čelit jednomu nebo druhému. Ale pomocí jistého nadhledu můžeme nalézt zlatou střední cestu z tohoto dilematu. Špatný není předpoklad, že vesmír je nekonečný v prostoru, nýbrž předpoklad, že je nekonečný v čase. Paradox planoucí oblohy vznikl, protože astronomové předpokládali, že vesmír se neměnil, že hvězdy byly statické a že s nezmenšující se intenzitou hořely po celou věčnost. Ale nyní víme, že oba tyto předpoklady byly mylné. Za prvé, jak zakrátko objasním, vesmír není statický, ale rozpíná se. Za druhé, hvězdy nemohly hořet věčně, nebol by jim už dávno došlo palivo. Ze skutečnosti, že dnes hoří, plyne, že vesmír musel vzniknout v konečném minulém čase.

Má-li vesmír konečný věk, pak Olbersův paradox bezprostředně pomine. Abychom viděli proč, přemýšlejme o případě velmi vzdálené hvězdy. Poněvadž světlo se šíří konečnou rychlostí (300 000 kilometrů za sekundu), hvězdu nevidíme takovou, jaká je dnes, nýbrž takovou, jaká byla, když ji příslušné světlo opustilo. Například jasná hvězda Betelgeuse je vzdálena přibližně 650 světelných let, takže se nám jeví takovou, jakou byla před 650 lety. Vznikl-li vesmír řekněme před deseti miliardami let, pak bychom nemohli vidět žádné hvězdy, které jsou od nás vzdáleny více než deset miliard světelných let. Vesmír může být nekonečný v prostorovém rozsahu, ale má-li konečný věk, pak v žádném případě nemůžeme dohlédnout za určitou konečnou vzdálenost. Takže souhrnné hvězdné světlo z nekonečného počtu hvězd konečného věku bude konečné a snad bezvýznamně malé.

Stejný závěr plyne z termodynamických úvah. Čas, jenž hvězdy potřebují k vyplnění prostoru tepelným zářením a dosažení společné teploty, je obrovský, protože ve vesmíru existuje tak mnoho prázdného prostoru. Od počátku vesmíru jednoduše nebylo dost času na to, aby už dnes bylo dosaženo termodynamické rovnováhy.

Všechny důkazy pak ukazují na vesmír, jenž má konečné rozpětí života. Vznikl v nějakém konečném čase v minulosti, v současnosti překypuje činností, ale nevyhnutně degeneruje směrem k tepelné smrti v nějakém budoucím stadiu. Bezprostředně vyvstává mnoho otázek. Kdy přijde konec? Jakou podobu bude mít? Bude pomalý nebo náhlý? A je myslitelné, že závěr o tepelné smrti, tak, jak mu dnes vědci rozumí, by se mohl ukázat jako nesprávný?

TŘETÍ KAPITOLA
PRVNÍ TŘI MINUTY

Kosmologové podobně jako historici chápou, že klíč k budoucnosti leží v minulosti. V předešlé kapitole jsem vysvětlil, jak je možno ze zákonů termodynamiky vyvodit, že dlouhověkost vesmíru je ohraničena. Mezi vědci dnes převládá téměř jednomyslný názor, že vesmír vznikl před přibližně 10 až 20 miliardami let ve velkém třesku a že tento jev vyslal vesmír na cestu k jeho konečnému osudu. Přemýšlením o tom, jak vesmír započal a zkoumáním procesů, jež proběhly v jeho prvotní fázi, můžeme získat rozhodující klíče k poznání jeho vzdálené budoucnosti.

Myšlenka, že vesmír neexistoval vždy, je v západní kultuře hluboce zakořeněna. Ačkoli řečtí filozofové přemýšleli o možnosti věčného vesmíru, všechna velká západní náboženství zastávala názor, že vesmír byl stvořen Bohem v jistém konkrétním okamžiku v minulosti.

Vědecké argumenty v prospěch náhlého původu ve velkém třesku zní přesvědčivě. Nejpřímější důkazy pocházejí ze studia charakteru světla vzdálených galaxií. Ve dvacátých létech našeho století americký astronom Edwin Hubble - který navázal na trpělivá pozorování Vesta Sliphera, odborníka na mlhoviny pracujícího na observatoři v arizonském Flagstaffu - zaznamenal, že světlo vzdálenějších galaxií se zdá být mírně červenější než světlo blízkých galaxií. Hubble

využil stopalcového (2,5 m) dalekohledu na observatoři Mount Wilson k pečlivému změření tohoto zčervenání a výsledky zanesl do grafu. Zjistil systematický poměr, čím dále od nás galaxie leží, tím červenější se jeví.
Barva světla závisí od jeho vlnové délky. Ve spektru Mého světla modrá barva leží na krátkovlnném konci, zatím co červená na dlouhovlnném konci. Zčervenání vzdálených galaxií naznačuje, že vlnová délka jejich světla se nějak natáhla. Hubble tento efekt potvrdil pečlivým určením poloh charakteristických čar ve spektrech mnoha galaxií. Přišel s názorem, že příčinou natažení světelných vln je skutečnost, že vesmír se rozpíná. Tímto velevýznamným prohlášením Hubble položil základy moderní kosmologie.
Podstata rozpínajícího se vesmíru mate mnoho lidí. Z hlediska Země se zdá, jakoby vzdálené galaxie od nás utíkaly. To však neznamená, že Země je ve středu vesmíru, vzorec rozpínání je (v průměru) stejný v celém vesmíru. Každá galaxie nebo přesněji, každá kupa galaxií - se vzdaluje od každé jiné. Nejlépe si to lze představit jako natahování nebo nadouvání se prostoru mezi kupami galaxií, spíše než jako pohyb kup galaxií v prostoru.
Skutečnost, že prostor lze natahovat, může být překvapující, ale je to koncepce, kterou vědci znají od roku 1915, kdy Einstein uveřejnil svoji obecnou teorii relativity. Tato teorie tvrdí, že gravitace je ve skutečnosti projevem zakřivení nebo zkroucení prostoru (přísně vzato prostoročasu). Prostor je v jistém smyslu pružný a lze jej překládat nebo natahovat způsobem, který závisí od gravitačních vlastností materiálu, jenž se v něm nalézá. Tuto myšlenku v rozsáhlé míře potvrdila pozorování.
Základní pojem rozpínajícího se prostoru lze pochopit pomocí jednoduché analogie. Představte si řadu knoflíků navlečených na pružnou strunu. Nyní si představte, že strunu natahujete táhnutím za její konce. Všechny knoflíky se vzájemně vzdalují. Ať se již soustředíte na kterýkoli knoflík, zdá se, že sousední knoflíky se vzdalují. Rozpínání je nicméně všude stejné: neexistuje žádný privilegovaný střed. Samozřejmě, tak jak jsem to nakreslil, existuje ústřední knoflík, ale to je pro způsob, jakým se systém rozpíná, nepodstatné. Tento detail bychom mohli odstranit, pokud by struna s knoflíky byla nekonečně dlouhá, nebo uzavřena do kruhu.

Z pohledu kteréhokoli konkrétního knoflíku by se nejbližší sousedé jevili jako vzdalující se poloviční rychlostí než další nejbližší a tak dále. Čím je z vašeho pohledu příslušný knoflík dále, tím rychleji se vzdaluje. V tomto typu rozpínání je rychlost vzdalování přímo úměrná vzdálenosti - což je vysoce významná závislost. Vyzbrojeni tímto obrazem si nyní můžeme představit světelné vlny, jak putují mezi knoflíky nebo kupami galaxií v rozpínajícím se prostoru. Jak se natahuje prostor, tak se natahují i vlny. To vysvětluje kosmologický červený posuv. Hubble zjistil, že míra červeného posuvu je přímo úměrná vzdálenosti, přesně tak, jak to ilustruje tato jednoduchá obrázková analogie.
jestliže se vesmír rozpíná, musel být v minulosti menší. Hubblova původní pozorování, jakož i mnohem dokonalejší pozorování, která se provedla později, dovolují změřit rychlost rozpínání. Pokud bychom mohli zpětně promítat kosmický film, zjistili bychom, že ve vzdálené minulosti všechny galaxie splývají dohromady. Ze znalosti současné rychlosti rozpínání dovedeme odvodit, že tento stav splynutí musel nastat před mnoha miliardami let. Přesné určení je zde však nesnadné, a to ze dvou důvodů. Za prvé, provádění přesných měření je obtížné a tato měření přitom podléhají celé řadě nejrůznějších chyb. Ačkoli moderní dalekohledy značně zvýšily počet zkoumaných galaxií, rychlost rozpínání je doposud neurčitá v rámci koeficientu dvou a je předmětem živých sporů.
Za druhé, rychlost rozpínání vesmíru není konstantní v čase. Příčinou je síla gravitace, která působí mezi galaxiemi a vůbec mezi všemi formami látky a energie ve vesmíru. Gravitace působí jako brzda, která omezuje galaxie v jejich rozbíhání. V důsledku toho se rychlost rozpínání postupně zmenšuje. Z toho plyne, že vesmír se v minulosti musel rozpínat rychleji než nyní. Znázorníme-li si graf, ve kterém bude velikost typické oblasti vesmíru záviset na čase, získáme křivku se všeobecným tvarem naznačeným na obr. 3.2. Z grafu vidíme, že vesmír byl v počátku velmi stlačen. Velmi rychle se rozpínal a hustota hmoty pozvolně klesala, zatímco objem vesmíru rostl. Sledujeme-li graf až k samotnému počátku (na obrázku označenému jako 0), plyne z něj, že vesmír vznikl s nulovou velikostí a nekonečnou rychlostí rozpínání. Jinak řečeno, materiál, z něhož jsou vytvořeny všechny galaxie, které dnes můžeme pozorovat, se vynořil z jediného bodu rychlostí výbuchu! Toto je idealizovaný popis takzvaného velkého třesku.

Ale postupujeme správně, když extrapolujeme křivku až k počátku? Mnoho kosmologů věří, že ano. Za předpokladu, že vesmír měl počátek (z důvodů, které jsem rozebral v předcházející kapitole), to jistě vypadá tak, že velký třesk tímto počátkem byl. Je-li tomu tak, pak začátek křivky označuje více než pouhou explozi. Připomeňme si, že zde graficky znázorněná exploze je explozí samotného prostoru, takže nulový objem zde neznamená pouze to, že hmota je stlačena na nekonečnou hustotu. Znamená také, že prostor je stlačen do nicoty. Jinak řečeno, velký třesk není jen zdrojem látky a energie . ale také prostoru. Je důležité uvědomit si, že podle této koncepce neexistovala žádna předchozí prázdnota, v níž by došlo k velkému třesku.
Stejná základní myšlenka platí i pro čas. Nekonečná hustota hmoty a nekonečné stlačení prostoru vyznačují rovněž hranici času. Příčinou je to, že gravitace roztahuje čas stejně jako prostor. Tento efekt je opět důsledkem Einsteinovy obecné teorie relativity a byl přímo experimentálně prověřen. Z podmínek ve velkém třesku plyne nekonečná deformace času, takže samotný pojem času (a prostoru) nelze zpětně rozšiřovat směrem dozadu za velký třesk. Závěr, který se přímo vnucuje, je, že velký třesk byl prapůvodním počátkem všech fyzikálních věcí: prostoru, času, látky a energie. Evidentně nedává smysl ptát se (jak mnozí lidé činí), co se stalo před velkým třeskem, nebo co zapříčinilo, že došlo k explozi. Nebylo žádné předtím. A kde není žádný čas, tam nemůže být ani žádné zapříčinění v běžném smyslu.
Spočívala-li by teorie velkého třesku s jejími podivnými důsledky pro původ vesmíru pouze na důkazech o rozpínání vesmíru, pak by ji většina kosmologů pravděpodobně zavrhla. V roce 1965 však objev, že vesmír se koupe v tepelném záření, přinesl důležité dodatečné důkazy, které tuto teorii podporovaly. Zmíněné záření k nám přichází z vesmíru se stejnou intenzitou ze všech směrů na obloze a šířilo se více méně nerušeně od doby krátce po velkém třesku. Poskytuje

tak jakousi momentku stavu prvotního vesmíru! Spektrum tepelného záření přesně odpovídá záři vznikající uvnitř pece, která dosáhla stav termodynamické rovnováhy - formě záření, kterou fyzici znají jako záření černého tělesa". Je to příliš přesná shoda, než aby šlo o náhodu. Vede nás to k závěru, že raný vesmír se kdysi nalézal právě v takovém stavu rovnováhy, kdy všechny jeho oblasti měly společnou teplotu.
Měření tepelného záření pozadí ukazují, že odpovídá asi třem stupňům nad absolutní nulou (absolutní nula je přibližně -273°C), ale jeho teplota se s plynutím času pomalu mění. Jak se vesmír rozpíná, záření chladne podle jednoduchého vztahu: zdvojnásobení poloměru vesmíru vede k poklesu teploty záření pozadí na polovinu. Toto ochlazování je stejným efektem jako červený posuv světla: jak tepelné záření, tak světlo tvoří elektromagnetické vlny a vlnová délka tepelného záření se rovněž natahuje s rozpínáním vesmíru. Nízkoteplotní záření se (v průměru) skládá z vln větší délky než vysokoteplotní záření. Kdybychom znovu zpětně promítali kosmický film, zjistili bychom, že vesmír musel být v minulosti mnohem více horký. Samotné tepelné záření pozadí pochází z doby přibližně 300 000 let po velkém třesku, kdy vesmír už ochladl na teplotu asi 4 000 °C. Před touto dobou prvotní plyn, skládající se hlavně z vodíku, byl ionizovaným plazmatem a tudíž byl neprůhledný pro elektromagnetické záření. Plazma se s poklesem teploty přeměnilo na normální neionizovaný vodíkový plyn, který je průhledný, takže záření pozadí se tímto plynem mohlo volně šířit.
Záření pozadí je význačné nejen černotělesovým tvarem svého spektra, nýbrž také svojí mimořádnou rovnoměrností po celé obloze. Teplota záření se v různých směrech vesmíru mění pouze přibližně o jednu stotisícinu. Tato vyrovnaná hladina naznačuje, že vesmír musí být ve velkém měřítku pozoruhodně homogenní. Jakékoli systematické seskupování hmoty do jedné oblasti prostoru, nebo podél jednoho konkrétního směru, by se projevilo změnou teploty záření pozadí.
Na druhé straně víme, že vesmír není zcela stejnoměrný. Látka se seskupuje do galaxií a galaxie obvykle utvářejí kupy galaxií. Tyto kupy jsou zase uspořádány do superkup galaxií. V měřítku mnoha miliónů světelných let má vesmír jistý druh pěnovité struktury s obrovskými prázdnotami, které jsou obklopeny jakýmisi plachtami a vlákny galaxií.
Tato velkolepá sukovitost vesmíru musela vyrůst z mnohem hladšího původního stavu. Ačkoli za to mohly odpovídat různé fyzikální mechanismy, nejpravděpodobnějším vysvětlením se zdá být pomalé gravitační přitahování. Je-li teorie velkého třesku správná, pak bychom očekávali, že v kosmickém tepelném záření pozadí spatříme nějaké otisky důkazů raných stadií tohoto procesu seskupování. V roce 1992 satelit NASA pojmenovaný COBE (COsmic Background Explorer - Průzkumník kosmického záření pozadí) odhalil, že toto záření ve skutečnosti není dokonale hladké. Jsou v něm obsaženy nepochybné vlnky či rozdíly v intenzitě záření od jednoho místa na obloze ke druhému. Tyto nepatrné nepravidelnosti se zdají být jemnými počátky procesu vzniku superkup galaxií. Záření pozadí po celé miliardy let věrně zachovávalo náznaky prvotních nakupení látky a názorně demonstruje, že vesmír nebyl vždy organizován tím výlučným způsobem, jaký vidíme dnes. Shlukování látky do galaxií a hvězd je prodloužený evoluční proces, který započal ve vesmíru z téměř přesně stejnorodého stavu.
Existuje poslední pramen důkazů potvrzující teorii horkého původu vesmíru. Jestliže známe dnešní teplotu tepelného záření, snadno můžeme vypočítat, že přibližně sekundu po začátku by měl mít vesmír v celém svém objemu teplotu asi deseti miliard stupňů. To je příliš horké prostředí dokonce i pro, existenci sloučených atomových jader. Hmota v té době musela být rozložena na své nejelementárnější složky. Vytvářela jakousi "polévku" fundamentálních částic, jako jsou protony, neutrony a elektrony. Jak ale polévka chladla, umožnilo to, aby začaly probíhat jaderné reakce. Konkrétně neutrony a protony se mohly volně spojovat do dvojic, které se zase zkombinovaly, aby vytvořily jádra prvku helium. Výpočty naznačují, že tato jaderná aktivita trvala přibližně tři minuty (z toho je odvozen titul knížky Stevena Weinberga), po dobu, v jejímž průběhu se přibližně čtvrtina látky přeměnila jadernou syntézou na helium. Tento proces spotřeboval prakticky všechny neutrony, které byly k dispozici. Zbylým nezkombinovaným protonům bylo souzeno stát se jádry vodíku. Teorie proto předpovídá, že vesmír by se měl skládat z přibližně 75 procent vodíku a 25 procent helia. Tato čísla jsou ve velmi dobrém souladu se současnými měřeními poměrného kosmického zastoupení těchto prvků.
Prvotně jaderné reakce pravděpodobně vyprodukovaly rovněž velmi malá množství deuteria, helia-3 a lithia. Těžší prvky, které v souhrnu netvoří více než jedno procento kosmického materiálu, však nebyly vyrobeny ve velkém třesku. Utvořily se mnohem později, uvnitř hvězd, způsobem, o němž budu hovořit v kapitole 4.
Shrnuto dohromady, rozpínání vesmíru, kosmické tepelné záření pozadí a poměrná zastoupení chemických prvků ve vesmíru jsou silnými důkazy v prospěch teorie velkého třesku. Existuje zde nicméně mnoho nezodpovězených otázek. Proč se například vesmír rozpíná přesně tou rychlostí, kterou se rozpíná - jinak řečeno, proč byl velký třesk tak velký? Proč byl raný vesmír tak stejnorodý a rychlost rozpínání tak podobná ve všech směrech a ve všech oblastech prostoru? Jaký je původ malých fluktuací hustoty objevených COBE - tak podstatných pro utváření galaxií a kup galaxií?
V nedávných letech se vědci hrdinsky pokoušeli vyřešit tyto hlubší záhady kombinací základní teorie velkého třesku s nejnovějšími myšlenkami z fyziky částic vysokých energií. Měl bych zdůraznit, že tato "nová kosmologie" spočívá na mnohem méně bezpečném vědeckém základě než předměty, o nichž jsem hovořil doposud. Jde především o to, že konkrétní procesy, které nás zajímají, zahrnují mnohem větší energie částic, jaké se nám podařilo přímo pozorovat, a kosmická epocha, v níž tyto procesy proběhly, představuje nepatrný zlomek sekundy po zrození vesmíru. Podmínky v té době byly natolik extrémní, že jediným vodítkem, které je zde v současnosti k dispozici, je matematické modelování. To se zase téměř zcela zakládá na výlučně teoretických představách.
Ústřední domněnkou nové kosmologie je možnost procesu nazývaného inflace. Základní myšlenkou je zde to, že v jistém okamžiku v průběhu prvního zlomku sekundy velikost vesmíru skokem vzrostla - došlo k inflaci, neboli nafouknutí vesmíru - a to v obrovské míře. Abychom viděli, co to obnáší, podívejme se znovu na obr. 3.2. Křivka se vždy ohýbá směrem dolů, což znamená, že i když velikost jakékoli dané oblasti roste, probíhá to klesající rychlostí. Inflace na rozdíl od toho znamená, že rozpínání se ve skutečnosti nakrátko zrychluje. Situace je znázorněna (nikoli v

příslušném měřítku) na obr. 3.3. Rozpínání se zpočátku zpomaluje, ale poté se křivka s nástupem inflace rychle zvedá a na krátkou chvíli míří přímo vzhůru. Nakonec se křivka vrací k normálnímu trendu, ale velikost graficky znázorněné oblasti prostoru mezitím v obrovské míře vzrostla (mnohem více, než ukazuje obrázek) ve srovnání se zodpovídající polohou na grafu na obr. 3.2.

Proč by se měl vesmír chovat tímto podivným způsobem?
Připomeňme si, že příčinou ohybu křivky směrem dolů je přitažlivá síla gravitace, která působí jako brzda rozpínání. Ohýbání křivky směrem vzhůru je možné považovat za jistý druh antigravitace nebo odpudivé síly, která zapříčiňuje, že vesmír se zvětšuje stále rychleji a rychleji. Ačkoli antigravitace se jeví jako exotická možnost, některé nedávné spekulativní teorie naznačují, že v extrémních podmínkách teploty a hustoty, které převládaly ve velmi raném vesmíru, se takovéto efekty mohly vyskytnout.
Předtím, než budu hovořit o tom, jak k tomu mohlo dojít, dovolte mi objasnit, proč inflační fáze pomáhá vyřešit některé z právě uvedeného seznamu kosmických záhad. Za prvé, eskalující rozpínání nám skýtá přesvědčivou odpověď na otázku, proč byl velký třesk tak velký. Antigravitační efekt je nestálý, splašený proces - chci tím říci, že velikost vesmíru při něm roste exponenciálně. Matematicky to znamená, že daná oblast prostoru se zdvojnásobuje v průběhu pevně zadané časové periody. Nazývejme tuto periodu tikem. Po dvou ticích se velikost zčtyřnásobila, tři tiky a vzrostla osminásobně, deset tiků a oblast se zvětšila více než tisícnásobně. Výpočet ukazuje, že rychlost rozpínání na konci inflační éry odpovídá rychlosti rozpínání, jak ji pozorujeme dnes. (V kapitole 6 vysvětlím přesněji, co tím míním.)
Obrovský skok ve velikostí vesmíru způsobený inflací rovněž skýtá pohotové vysvětlení kosmické stejnorodosti. Jakékoli počáteční nepravidelnosti by byly vyhlazeny roztažením prostoru, stejně jako po nafouknutí balónu mizí vrásky na jeho povrchu. Inflace, která působí stejně intenzívně ve všech směrech, by podobně rychle překonala jakékoli rané změny rychlosti rozpínání v odlišných směrech. Nakonec, mírné nepravidelnosti odhalené COBE by bylo možno připsat skutečnosti, že inflace všude nemusela skončit ve stejném okamžiku (z důvodů, o nichž zakrátko budu hovořit), takže některé oblasti by se nafoukly mírně více než jiné, což by vytvořilo mírné odlišnosti v jejich hustotě.
Zaveďme do toho nějaká čísla. V nejjednodušší verzi inflační teorie se inflační (antigravitační) sta projevuje jako přímo fantasticky mohutná: Velikost vesmíru se jejím působením zdvojnásobuje každých sto bilión-bilión-bilióntin (10-34) sekundy. Tento téměř nekonečně malý úsek času je tím, co jsem nazval tikem. Po pouhých sto ticích by se oblast o velikostí atomového jádra nafoukla na oblast o průměru téměř světelného roku. To postačuje k snadnému rozřešení výše zmíněných kosmologických záhad.
Využitím teorií fyziky subatomárních částic bylo objeveno několik možných mechanismů, které snad mohly vést k inflačnímu chování. Všechny tyto mechanismy využívají pojem známý jako kvantové vakuum. Aby bylo možno pochopit, oč zde jde, nejdříve je třeba cosi vědět o kvantové fyzice. Kvantová teorie začala objevem podstaty elektromagnetického záření, jako jsou teplo a světlo. Ačkoli se toto záření šíří prostorem v podobě vln, někdy se nicméně může chovat, jakoby se skládalo z částic. Konkrétně vyzařování a pohlcování světla probíhá ve formě drobných balíčků energie, neboli kvant, které se nazývají fotony. U tohoto podivného amalgamu vlnových a částicových aspektů, někdy nazývaného vlnově-částicový dualismus, se ukázalo, že platí pro všechny fyzikální objekty v atomárním a subatomárním měřítku. Objekty, které jsou normálně považovány za částice, jako jsou elektrony, protony, neutrony a dokonce celé atomy, tak za určitých okolností mohou projevovat vlastnosti podobné vlnám.
Ústřední zásadou kvantové teorie je princip neurčitosti Wernera Heisenberga. Podle tohoto principu kvantové objekty nemají ostře definované hodnoty všech svých vlastností. Například u elektronu nelze současně určit přesnou polohu a přesnou hodnotu hybnosti. Stejně nelze určit přesnou hodnotu jeho energie v specifickém časovém okamžiku. Zde se nás týká právě tato neurčitost v energii. Zatímco v makroskopickém světě inženýra se energie vždy zachovává (nelze ji stvořit ani zničit), v subatomární kvantové říši je možné platnost tohoto zákona dočasně pozastavit. Energie se může spontánně a nepředvídatelně měnit z jednoho okamžiku na druhý. Čím kratší je uvažovaný interval, tím větší budou tyto náhodné kvantové fluktuace. V důsledku toho si částice může vypůjčit energii odnikud, za předpokladu, že ji rychle vrátí zpět. Přesný matematický tvar Heisenbergova principu neurčitosti vyžaduje, aby velká energetická půjčka byla splacena velmi rychle, zatímco menší půjčky mohou trvat déle.
Neurčitost v energii vede k některým pozoruhodným efektům. Patří k ním možnost, že částice, jako je foton, může náhle vzniknout z ničeho, aby brzy nato opět zanikla. Tyto částice žijí na účet vypůjčené energie a tedy i ve vypůjčeném čase. Nevidíme je, nebol jejich zjevení je jen prchavé, ale v tom, co normálně považujeme za prázdný prostor, se rojí hordy takovýchto dočasně existujících částic, nejen fotonů, nýbrž také elektronů, protonů a všech možných dalších částic. Aby tyto dočasné částice byly odlišeny od známějších trvale existujících částic, označují se jako "virtuální" částice, zatímco trvalé částice jsou známé jako "reálné".

Kromě své dočasné podstaty se virtuální částice od reálných ničím neliší. Ve skutečnosti platí, že když jí zvenčí, z oblasti mimo systému, dodáme tolik energie, že postačí na vyrovnání Heisenbergovy energetické půjčky, potom se virtuální částice může stát reálnou částicí. Jako taková je potom nerozlišitelná od libovolné jiné reálné částice stejného druhu. Například virtuální elektron má typickou životnost pouze asi 10-21 sekundy. V průběhu svého krátkého života nezůstává v klidu, nýbrž může urazit vzdálenost až 10-13 metru (pro srovnání, atom je velký přibližně 10-10 metru) předtím, než zmizí. Jestliže virtuální elektron v průběhu tohoto krátkého časového úseku získá energii (řekněme z elektromagnetického pole), vůbec nemusí zmizet, ale nadále může existovat jako dokonalý normální elektron.
I když je nemůžeme spatřit, víme, že tyto virtuální částice jsou "skutečně tam" v prázdném prostoru, protože zanechávají zjistitelné stopy svých aktivit. Například jedním z efektu virtuálních fotonů je vytvoření nepatrného posuvu v energetických hladinách atomů. Zapříčiňují rovněž stejně nepatrnou změnu v magnetickém momentu

elektronů. Tyto drobné, ale významné změny byly velmi přesně změřeny pomocí spektroskopických technik. .
Výše podaný jednoduchý obraz kvantového vakua se změní, vezmeme-li do úvahy, že subatomární částice se ve všeobecnosti nepohybují volně, ale že podléhají celé řadě sil, přičemž typ síly závisí na typu dotyčné částice. Tyto síly působí rovněž mezi odpovídajícími virtuálními částicemi. Možná pak existuje více než jeden druh kvantového stavu. Existenci mnoha možných "kvantových stavů" je známým rysem kvantové fyziky - nejznámější jsou různé energetické hladiny atomů. Elektron obíhající kolem jádra nějakého atomu může, existovat v určitých dobře definovaných stavech s přesně určenými energiemi. Nejnižší hladina se nazývá základní stav a je stabilní. Vyšší hladiny jsou takzvanými vzbuzenými stavy a jsou nestabilní. Je-li elektron vyražen do vyššího stavu, potom učiní jeden nebo více přesunů zpět dolů do základního stavu. Vzbuzený stav se "rozpadá" s dobře definovaným poločasem rozpadu.
Podobné principy platí i pro vakuum, které může mít jeden nebo více vzbuzených stavů. Tyto stavy by měly velmi odlišné energie, ačkoli by ve skutečnosti vypadaly stejně - to jest prázdně. Nejnižší, neboli základní, energie se někdy nazývá "pravé" vakuum, čímž se chce říci, že to je stabilní stav a pravděpodobně ten, který odpovídá prázdné oblasti vesmíru v jeho dnes pozorované podobě. Vzbuzené vakuum je označováno jako stav "falešného" vakua.
Je třeba zdůraznit, že stavy falešného vakua zůstávají čistě teoretickou myšlenkou. Jejich vlastnosti v značné míře závisí na konkrétní teorii, o kterou v daném případě jde. Přirozeně se však vynořují ve všech nedávných teoriích, jejichž cílem je sjednotit čtyři fundamentální přírodní síly: gravitaci a elektromagnetismus, které známe z každodenního života, a dvě jaderné síly s krátkým dosahem zvané slabá síla a silná síla. Tento seznam býval delší: elektřina a magnetismus byly kdysi považovány za odlišné síly. Proces sjednocování začal v raném devatenáctém století a v nedávných desetiletích postoupil dále. Dnes víme, že elektromagnetická síla a slabá jaderná síla spolu souvisí a tvoří jedinou "elektroslabou" sílu. Mnoho fyziků věří, že silná jaderná síla se rovněž ukáže být spojena s elektroslabou silou, což je souvislost, kterou v té či oné podobě popisují takzvané velké sjednocené teorie. Je celkem možné, že na nějaké hlubší úrovni splývají všechny čtyři síly do jediné supersíly.
Nejslibnějšího kandidáta na inflační mechanismus nabízejí různé velké sjednocené teorie. Klíčovým rysem těchto teorií je skutečnost, že energie stavů falešného vakua je přímo úžasná: typicky by měl kubický centimetr prostoru obsahovat 1087 joulů! Dokonce i objem atomu by v takovém stavu obsahoval 1062 z joulů. Srovnejte si to s nicotnou energií 10-18 joulu či tak nějak, kterou má vzbuzený atom. Na vzbuzení pravého vakua bychom proto potřebovali velké množství energie a neočekáváme, že bychom se v dnešním vesmíru mohli se stavem falešného vakua setkat. Na druhé straně, když vezmeme v úvahu extrémní podmínky velkého třesku, jsou tato čísla přijatelná.
Obrovská energie, která souvisí se stavy falešného vakua, má mohutný gravitační účinek. Příčinou je, jak nám ukázal Einstein, ta skutečnost, že energie má hmotnost a proto také působí gravitační přitažlivostí zrovna tak, jako normální hmota. Obrovská energie kvantového vakua je rovněž mimořádně přitažlivá: energie kubického centimetru falešného vakua by vážila 1064 tun, což značně přesahuje hmotnost celého dnes pozorovaného vesmíru (přibližně 1050 tun)! Tato kolosální gravitace ale nenapomáhá při produkci inflace, procesu, který vyžaduje nějaký druh antigravitace. Obrovská energie falešného vakua souvisí se stejně obrovským tlakem falešného vakua a právě tento tlak splňuje požadovaný účel. Normálně o tlaku nepřemýšlíme jako o zdroji gravitace, ale on jím je. Ačkoli tlak vyvíjí navenek směřující mechanickou sílu, vyvolává dovnitř směřující gravitační přitahování. V případě známých těles je gravitující účinek tlaku zanedbatelný ve srovnání s obdobným účinkem hmotnosti tělesa. Například z tíže vašeho těla na Zemi jde na vrub vnitřního laku Země méně než jedna miliardtina. Nicméně tento efekt je reálný a v systému, ve kterém tlak dosahuje extrémních hodnot, může gravitační účinek tlaku soupeřit s gravitací hmoty.
V případě falešného vakua současně existují kolosální energie a srovnatelně kolosální tlak, takže soupeří o gravitační nadvládu. Klíčovou vlastností je zde však to, že tlak je negativní. Falešné vakuum nepostrkuje, nasává. Negativní tlak vytváří negativní gravitační účinek - jinými slovy, antigravituje. Gravitační působení falešného vakua je tedy soupeřením mezi obrovským přitažlivým účinkem jeho energie a obrovským odpudivým účinkem jeho záporného tlaku. Ukazuje se, že tlak vítězí a že čistým výsledným efektem je vytvoření odpudivé síly, která je natolik velká, že v zlomku sekundy dokáže rozvát celý vesmír. Právě tento gargantuovský inflační tlak je příčinou tak rychlého zdvojnásobování velikostí vesmíru v průběhu každých 10-34 sekundy.
Falešné vakuum je už svojí vnitřní podstatou nestabilní. Podobně jako všechny vzbuzené kvantové stavy se chce rozpadnout zpět do základního stavu - pravého vakua. Učiní tak pravděpodobně po několika málo tuctech tiků. Protože je kvantovým procesem, podléhá nevyhnutelné neurčitosti a náhodným výkyvům, o nichž bylo pojednáno výše v souvislosti s Heisenbergovým principem neurčitosti. To znamená, že k tomuto rozpadu nedojde rovnoměrně v celém prostoru, budou se vyskytovat odchylky. Někteří teoretici naznačují, že právě tyto odchylky mohou být zdrojem vlnek pozorovaných COBE.
Po rozpadu falešného vakua obnovuje vesmír normální, zpomalující se rozpínání. Energie uzamčená ve falešném vakuu je uvolněna a objevuje se ve formě tepla. Obrovské roztažení vyprodukované inflací ochladilo vesmír na teplotu velmi blízkou absolutní nule. Ukončení inflace jej naopak náhle rozehřívá na úžasných 1028 stupňů. Tento ohromný rezervoár tepla přežívá v značně umenšené podobě až podnes jako kosmické tepelné záření pozadí. Vedlejším produktem uvolnění energie vakua je to, že mnohé virtuální částice v kvantovém vakuu získávají něco z této energie a jsou povýšeny do stavu reálných částic. Po dalších procesech a přeměnách se ze zbytku těchto prvotních částic vytvořilo oněch 1050 tun látky, ze kterých se skládáte vy, já, Galaxie a zbytek pozorovatelného vesmíru.
Je-li scénář inflačního vesmíru na správné stopě - a mnozí vůdčí kosmologové věří, že je - pak základní strukturu a fyzikální obsah vesmíru určily procesy završené po uplynutí pouhých 10-32 sekundy. Postinflační vesmír prošel mnoha dodatečnými změnami na subatomární úrovni, jak se prvotní materiál vyvíjel do podoby částic a atomů tvořících základní kosmický materiál naší epochy, ale většina dodatečného zpracovávání hmoty byla završena už po přibližně třech minutách.

Jak první tři minuty souvisí s posledními? Právě tak, jako osud kulky vystřelené na cíl kriticky závisí na zamíření pušky, osud vesmíru citlivě závisí na jeho počátečních podmínkách. Uvidíme, jak způsob, kterým se vesmír rozpínal ze svých prvotních počátků, a podstata materiálu, který se vynořil z velkého třesku, předurčují jeho konečný osud. Začátek a konec vesmíru se neoddělitelně prolínají.

ČTVRTÁ KAPITOLA
ZKÁZA HVĚZD

V noci 23. února 1987 kanadský astronom Ian Shelton pracoval na observatoři Las Campanas vysoko v chilských Andách. Chilský noční asistent nakrátko vyšel ven a bezmyšlenkovitě pohlédl na temnou noční oblohu. Protože nebe důvěrně znal, rychle si povšiml čehosi neobvyklého. Na okraji mlžné skvrnky světla známé jako Velký Magellanův oblak byla hvězda. Nebyla nějak zvláště jasná - měla přibližně jasnost . hvězd v pásu Orionu. Významné ale bylo, že tam nebyla den předtím.

Asistent na objekt upozornil Iana Sheltona a novina se za několik hodin rozšířila po celém světě. Shelton a jeho chilský asistent objevili supernovu. Byl to první takový objekt viditelný volným okem od roku 1604, kdy jeden podobný zaznamenal Johannes Kepler. Astronomové v několika zemích bezprostředně zaměřili své přístroje na Velký Magellanův oblak. Chování Supernovy 1987A bylo v dalších měsících intenzívně sledováno až do těch nejjemnějších detailů.

Několik hodin předtím, než Shelton učinil svůj senzační objev, byl na zcela odlišném místě, hluboko pod zemí v zinkovém dole Kamiokande v Japonsku, zaznamenán jiný neobvyklý jev. Fyzici tam prováděli dlouhodobý experiment s ambiciózním cílem - chtěli prověřit konečnou stabilitu jedné z nejzákladnějších složek hmoty: protonů. Velké sjednocené teorie rozvinuté v sedmdesátých letech našeho století předpovídají, že protony mohou být velmi mírně nestabilní a občas se rozpadat do velice zřídkavé varianty radioaktivity. Jestliže je tomu tak, tento jev by měl dalekosáhlé důsledky pro osud vesmíru, jak uvidíme v příští kapitole.

Na prověření rozpadu protonu naplnili japonští experimentátoři nádrž 2 000 tunami ultračisté vody a kolem ní rozmístili vysoce citlivé detektory fotonů. Úkolem detektorů bylo zaregistrovat prozrazující záblesky světla, které by šlo připsat vysokorychlostním produktům jednotlivých jevů rozpadu. Vědci se rozhodli provést experiment pod zemí, aby omezili vlivy kosmického záření, které by jinak zaplavilo detektory zavádějícími jevy.

Detektory v Kamiokande byly 22. února náhle spuštěny neméně než jedenáctkrát ve stejném počtu sekund. Obdobný detektor na druhé straně planety, umístěný v solném dole v Ohiu, zaznamenal ve stejném čase osm jevů. Protože simultánní masová sebevražda devatenácti protonů byla nemyslitelná, tyto jevy musely mít jiné vysvětlení. Fyzikové jej brzy nalezli. Jejich přístrojové vybavení muselo zaregistrovat zničení protonů jiným, konvenčnějším procesem: srážkou s neutriny.

Neutrina jsou subatomární částice. V mém příběhu budou hrát klíčovou roli, takže stojí za to věnovat se jim detailněji. Jejich existenci jako první v roce 1931 postuloval teoretický fyzik rakouského původu Wolfgang Pauli v zájmu vysvětlení jistého problematického aspektu radioaktivního procesu známého jako beta rozpad. Při typickém jevu beta rozpadu se rozpadá neutron na proton a elektron. Elektron, který je poměrně lehkou částicí, odlétá se značnou energií pryč. Problém spočívá v tom, že elektron podle všeho má při každém rozpadovém jevu odlišnou energii, poněkud menší než celková energie, která je k dispozici z rozpadu neutronu. Poněvadž celková disponibilní energie je ve všech případech stejná, zdá se, že konečná energie se liší od počáteční. Tak to ale nemůže být, protože zachovávání energie je základním zákonem fyziky. Pauli naznačil, že chybějící energii odnáší pryč neviditelná částice. Počáteční snahy vypátrat ji však selhaly a bylo zřejmé, že pokud vůbec existuje, musí mít neuvěřitelnou schopnost pronikat látkou. Poněvadž jakýkoli druh elektricky nabité částice by byl v látce snadno zachycen, Pauliho částice musela být elektricky neutrální - odtud pochází jméno "neutrino".

Ačkoli v té době neutrino ve skutečnosti ještě nikdo nezachytil, teoretikům se podařilo odvodit některé jeho vlastnosti. Jednou z nich je hmotnost neutrina.

Když máme co dělat s rychle se pohybujícími částicemi, je pojem hmotnosti poněkud složitější. Příčinou je ta skutečnost, " že hmotnost nějakého tělesa není pevně zadanou veličinou, ale závisí na rychlosti pohybu tohoto tělesa. Například pohybovala-li by se kilogramová olověná koule rychlostí 260 000 kilometrů za sekundu, vážila by dva kilogramy. Klíčovým faktorem je zde rychlost světla. Čím těsněji se rychlost nějakého objektu přibližuje k rychlosti světla, tím hmotnějším se tento objekt stává, přičemž tento růst je neomezený. Protože hmotnost je tímto způsobem proměnná, hovoří-li fyzik o hmotnosti subatomární částice, míní tím její hmotnost v klidu, aby se zamezilo zmatení pojmů. Pokud se částice pohybuje rychlostí blízkou rychlosti světla, její skutečná hmotnost může být mnohonásobkem její klidové hmotnosti: elektrony a protony mohou uvnitř velkých urychlovačů částic nabýt mnohotisícnásobku svých klidových hmotností.

Klíč k hodnotě klidové hmotnosti neutrina vychází ze skutečnosti, že beta jev čas od času vyvrhne elektron s téměř veškerou disponibilní energií a neutrinu neponechá téměř žádnou. To znamená, že neutrino může existovat s energií v zásadě nulovou. Podle slavného Einsteinova vztahu E=mc2 jsou však energie E a hmotnost m rovnocenné, takže nulová energie předpokládá také nulovou hmotnost. To znamená, že neutrino pravděpodobně bude mít velmi malou, snad nulovou klidovou hmotnost. Jestliže je jeho klidová hmotnost přesně rovna nule, neutrino se bude pohybovat právě rychlosti světla. V každém případě je pravděpodobné, že se bude pohybovat rychlostí velmi blízkou rychlosti světla.

Další odvozená vlastnost se týká způsobu, kterým subatomární částice rotují. U neutronů, protonů a elektronů se vždy zjistí, že rotují. Velikost této rotace, neboli spinu, je jistá pevně zadaná veličina a ve skutečnosti je tato veličina u všech tří zmíněných druhů částic stejná. Spin je formou momentu hybnosti a existuje zákon zachování momentu hybnosti -

zákon, který je stejně základní jako zákon zachování energie. Rozpadá-li se neutron, pak se jeho spin musí zachovat v produktech rozpadu. Jestliže by elektron a proton rotovaly stejným směrem, jejich spiny by se sčítaly, což by dávalo dvojnásobek spinu neutronu. Pokud by naopak rotovaly v protisměru, jejich spiny by se vynulovaly. Ať už je to jakkoli, souhrnný spin elektronu a protonu se sám o sobě nemůže rovnat spinu neutronu. Když se ale vezme do úvahy existence neutrina, účty lze dát elegantně do pořádku na základě předpokladu, že neutrino má stejný spin jako ostatní částice, o které zde jde. Dva ze tří produktů rozpadu pak mohou rotovat ve stejném směru, zatímco třetí vůči nim rotuje v protisměru.
Takže aniž by neutrino vůbec zachytili, fyzici dovedli odvodit, že to musí být částice s nulovým elektrickým nábojem, spinetu identickým se spinetu elektronu, malou nebo nulovou klidovou hmotností a tak slabým vzájemným působením s běžnou látkou, že v ní nezanechává téměř žádné stopy svého průchodu. Stručně řečeno, jde o jakýsi rotující přízrak. Nepřekvapuje tedy, že muselo uplynout přibližně dvacet let od Pauliho předpovědi existence neutrin, než je konečně definitivně objevili v laboratoři. V jaderných reaktorech vznikají v tak hojných počtech, že příležitostné vzorky neutrin je možné zachytit i navzdory jejich mimořádné unikavosti.
Příchod spršky neutrin v dole Kamiokande ve stejném čase, kdy se objevila Supernova 1987A - to nepochybně nebyla pouhá náhodná shoda a vědci se chopili současného výskytu obou jevů jako kriticky důležitého důkazu teorie supernov: sprška neutrin byla ve skutečnosti přesně tím, co astronomové od jevu supernovy očekávali.
Přestože slovo "nova" znamená v latině "nová," Supernova 1987A nebyla zrozením nové hvězdy. Ve skutečnosti byla smrti staré hvězdy ve velkolepém výbuchu. Velký Magellanův oblak, ve kterém se supernova objevila, je minigalaxií, která se nalézá ve vzdálenosti přibližně stosedmdesát tisíc světelných let. To je natolik blízko k Mléčné dráze, že Velký Magellanův oblak je jakýmsi satelitem naší Galaxie. Na jižní polokouli je viditelný i volným okem jako rozmazaná skvrnka světla, ale abychom v něm mohli rozlišit jednotlivé hvězdy, na to je třeba velkých dalekohledů. Pouhých několik hodin po Sheltonově objevu australští astronomové odhalili, která hvězda mezi několika miliardami obsaženými ve Velkém Magellanově oblaku vlastně vybuchla: tohoto úspěchu dosáhli přezkoumáním starších fotografických desek příslušné části oblohy. Postižená hvězda patřila k typu, který je označován jako modrý veleobr spektrální třídy B3, s průměrem zhruba čtyřicetkrát přesahujícím průměr Slunce. Dokonce měla i jméno: Sanduleak -69 202.
Teorii, že hvězdy mohou explodovat, jako, první v polovině padesátých let našeho století zkoumali astrofyzici Fred Hoyle, William Fowler a Geoffrey a Margaret Burbidgeovi. Abychom pochopili, jak hvězda dospívá k takové kataklyzmické nestabilitě, je nevyhnutné vědět cosi o jejím vnitřním fungování. Nejznámější hvězdou je Slunce. Podobně jako u většiny ostatních hvězd, u Slunce se nezdá, že by se měnilo. Tím se však zastírá skutečnost, že Slunce je jakoby uzamčeno v neustávajícím boji se silami ničení. Všechny hvězdy jsou plynové koule, které udržuje pohromadě gravitace. Pokud by v nich působila jenom gravitace, okamžitě by se smrštily vlivem své vlastní obrovské tíže a v několika hodinách by zmizely. Nestane se tak proto, že dovnitř směřující sílu gravitace vyvažuje navenek směřující síla plynoucí z tlaku vyvíjeného stlačeným plynem v nitru hvězdy.
Mezi tlakem plynu a jeho teplotou existuje jednoduchý vztah. Zahřeje-li se plyn o určitém objemu, tlak stoupá úměrně s teplotou. Jestliže teplota naopak klesá, klesá také tlak. V nitru hvězdy působí obrovský tlak, protože je tak horké mnoho miliónů stupňů. Teplo se zde vyrábí při jaderných reakcích. Po většinu života hvězdy je hlavní reakcí, která hvězdě dodává energii, přeměna vodíku na helium jaderným slučováním, neboli fúzí. Tato reakce vyžaduje velmi vysokou teplotu, aby bylo možno překonat elektrické odpuzování působící mezi atomovými jádry. Energie fúze může udržovat záření hvězdy po miliardy let, ale dříve či později obsah paliva poklesne a reaktor začne vynechávat. Až k tomu dojde, ohrozí to tlakovou oporu a hvězda začne prohrávat svůj dlouhý boj s gravitací. Hvězda v zásadě žije ve vypůjčeném čase a odvrácení svého gravitačního zhroucení splácí postupným vyčerpáváním svých palivových rezerv. Ale každý kilowatt, který proudí pryč z povrchu hvězdy do hlubin kosmického prostoru, přibližuje její konec.
Z propočtů plyne, že Slunce může na základě vodíku, s nímž začalo, hořet přibližně deset miliard let. Dnes, ve věku asi pěti miliard let, naše místní hvězda spálila téměř polovinu svých rezerv. Prozatím žádný důvod k panice. Rychlost, s níž hvězda spotřebovává jaderné palivo, citlivě závisí na její hmotnosti. Těžší hvězdy spalují palivo mnohem rychleji musí, protože jsou větší a jasnější a tudíž vyzařují více energie. Větší hmotnost stlačuje plyn na vyšší hustotu a teplotu a tím zvyšuje rychlost fúzní reakce. Například hvězda s hmotností deseti hmotností Slunce spálí většinu svého vodíku za poměrně krátkou dobu deseti miliónů let.
Sledujme osud takové hmotné hvězdy. Většina hvězd se na začátku skládá hlavně z vodíku. Při "spalování" vodíku jde o slučování jader vodíku - jádro vodku je tvořeno jediným protonem - vytvářející jádra helia, z nichž každé obsahuje dva protony a dva neutrony. (Příslušné detaily jsou složité a nemusí nás zde zajímat.) "Spalování" vodíku je nejúčinnějším zdrojem jaderné energie, ale nikoli jediným. Jestliže je teplota ve středu hvězdy dostatečně vysoká, pak se mohou slučovat jádra helia a vytvářet uhlík. Následné fúzní reakce vedou ke kyslíku, neonu a dalším prvkům. Hmotná hvězda dovede vytvořit nevyhnutné vnitřní teploty - dosahující přes miliardu stupňů - potřebné k dalšímu postupu tohoto řetězce následných reakcí, ale zisky se přitom neustále zmenšují. S každým novým vyprodukovaným prvkem klesá množství uvolněné energie. Palivo se spaluje stále rychleji a rychleji, až se chemické složení hvězdy mění měsíčně, poté denně, poté každou hodinu. Její nitro připomíná cibuli, přičemž roli slupek zde hrají po sobě následující chemické prvky syntetizované ve stále šílenějším tempu. Z vnějšího pohledu se hvězda nafoukne do obrovských rozměrů, větších než je celá Sluneční soustava a stává se tím, co astronomové nazývají červeným veleobrem.
Konec řetězce jaderného hoření vyznačuje prvek železo, který má obzvláště stabilní strukturu jádra. Při syntéze prvků těžších než železo se energie ve skutečnosti spíše spotřebovává než uvolňuje, takže jakmile v sobě hvězda syntetizovala železné jádro, její osud je zpečetěn. V okamžiku, když už centrální oblasti hvězdy nadále nemohou produkovat tepelnou energii, šance se osudově nakloní v prospěch síly gravitace. Hvězda se potácí na pokraji katastrofické nestability a nakonec spadne do své vlastní gravitační jámy.

Co se děje - a děje se to rychle - je toto: Železné jádro hvězdy, které už nadále nedokáže produkovat teplo jaderným spalováním, nemůže klást odpor vlastní tíži a působením gravitace se natolik silně smršťuje, že jsou při tom rozdrceny samotné atomy. Jádro hvězdy nakonec dosáhne hustoty atomového jádra, při které by se do náprstku vešlo téměř bilión tun hmoty. V tomto stadiu bude mít jádro postižené hvězdy průměr kolem 200 kilometrů. Tuhost jaderného materiálu poté zapříčiní jeho takzvaný odraz. Gravitační přitahování je natolik silné, že tento titánský odraz zabere pouhých několik málo milisekund. Jak se ve středu hvězdy odvíjí toto drama, okolní vrstvy hvězdného materiálu podléhají gravitačnímu zhroucení na jádro hvězdy v náhlé katastrofickém křeči. Bilióny a bilióny tun smršťujícího se materiálu letící směrem dovnitř se setkávají s odraženým vysoce kompaktním jádrem hvězdy tvrdším než diamantová zeď. Následuje srážka úžasné prudkostí, od které se celou hvězdou navenek šíří ohromná rázová vlna.
Rázovou vlnu provází obrovský puls neutrin, které se náhle uvolňují z vnitřních oblastí hvězdy v průběhu její konečné jaderné přeměny, při níž jsou elektrony a protony natlačeny dohromady, aby vytvořily neutrony. Jádro hvězdy se v podstatě stává obří koulí neutronů. Rázová vlna a neutrina společně odnášejí obrovské množství energie směrem ven přes výše ležící vrstvy hvězdy. Vnější vrstvy hvězdy velkou část této energie pohltí a doslova explodují v nepředstavitelném zuření jaderného holocaustu. Hvězda po několik málo dní září intenzitou deseti miliard.Sluncí, aby o několik týdnů později pohasla.
Supernovy se v typické galaxii, jakou je Mléčná dráha, vyskytují dvakrát či třikrát za století a užaslí astronomové je v dějinách zaznamenali. Jedné z nejslavnějších si povšimli čínští a arabští pozorovatelé v roce 1054 v souhvězdí Býka. Dnes má tato výbuchem otřesená hvězda podobu roztřepeného oblaku rozpínajícího se plynu známého jako Krabí mlhovina. Exploze Supernovy 1987A osvětlila vesmír neviditelným zábleskem neutrin. Byl to puls úžasné intenzity. Každý čtvereční centimetr Země - ačkoli se nalézala asi stosedmdesát tisíc světelných let od exploze - probodlo sto miliard neutrin, přičemž její obyvatelé si naštěstí neuvědomovali, že do nich v okamžiku vnikly bilióny částic z jiné galaxie. Ale detektory rozpadu protonů v Kamiokande a v Ohiu devatenáct z nich zastavily. Bez tohoto přístrojového vybavení by neutrina prošla kolem nás bez toho, abychom si jich povšimli, jak tomu bylo v roce 1054.
Ačkoli supernova hvězdě, jíž se týká, přináší smrt, exploze má i svou tvořivou stránku. Obrovské uvolnění energie nahřívá vnější vrstvy hvězdy natolik účinně, že po krátkou dobu mohou probíhat další jaderné reakce - ty reakce, které spíše nasávají než uvolňují energii. V této konečné a nejintenzívnější hvězdné výhni jsou kovány těžké prvky z oblasti za železem - jako jsou zlato, olovo a uran. Tyto prvky, společně s lehčími, které vznikly v ranějších stadiích nukleosyntézy, jsou výbuchem prudce vymrštěny do kosmického prostoru, kde se promíchávají se sutí nespočetných jiných supernov. Těžké prvky se v průběhu dalších Bonů nakupí do podoby nových generací hvězd a planet. Bez výroby a rozesetí těchto prvků do kosmického prostoru by neexistovaly žádné planety jako je Země. Životodárné prvky uhlík a kyslík, zlato našich prstenů, olovo pokrývající naše střechy a uranové palivové tyče našich jaderných reaktorů - to vše vděčí za svoji pozemskou přítomnost smrtelným zápasům hvězd, které zmizely dávno předtím, než začalo existovat naše Slunce. Zvláštní je pomyslet, že samotná látka našich těl se skládá z jaderného popela dávno mrtvých hvězd.
Exploze supernovy nezničí hvězdu úplně. I když většinu jejího materiálu rozptýlí kataklyzma, smrštěné jádro, které uvedlo do pohybu celý jev, zůstává na místě. Jeho osud je však. také choulostivou záležitostí. Jestliže je hmotnost jádra hvězdy poměrně malá - řekněme jedna hmotnost Slunce vytvoří kouli neutronů o velikostí malého města. Tato "neutronová hvězda" se nejpravděpodobněji bude bláznivě točit, udělá snad i přes 1000 otáček za sekundu, což bude na jejím povrchu odpovídat 10 procentům rychlosti světla. Tak závratnou rotaci jí dodává smrštění, které obrovsky zrychluje poměrně pomalou rotaci původní hvězdy v důsledku stejného principu, který zapříčiňuje, že krasobruslaři se rychleji roztočí, přitáhnou-li ruce k tělu. Astronomové objevili mnoho takových rychle rotujících neutronových hvězd. Ale rychlost rotace se postupně zpomaluje, jak objekt ztrácí energii. Například rotace neutronové hvězdy ve středu Krabí mlhoviny se už zpomalila na 33 otáček za sekundu.
Jestliže je hmotnost jádra hvězdy trochu větší - řekněme několik hmotností Slunce - nemůže se poskládat do podoby neutronové hvězdy. Gravitační sta je natolik silná, že dokonce ani neutronizovaná hmota - nejtvrdší substance, jakou známe - nemůže odolat dalšímu stlačování. Tím se připravilo jeviště pro událost, která vzbuzuje ještě větší bázeň a která je ještě katastrofičtější než supernova. Gravitační zhroucení jádra hvězdy pokračuje, v méně než milisekundě jádro vytváří černou díru a mizí do ní.
Osudem hmotné hvězdy je potom rozbití sebe sama na kousky a zanechání pozůstatku, buď neutronové hvězdy, nebo černé díry, obklopené rozptýlenými vyvrženými plyny. Nikdo neví, kolik hvězd už tímto způsobem podlehlo, ale jen samotná Mléčná dráha by takových hvězdných mrtvol mohla obsahovat miliardy.
Jako dítě jsem trpíval morbidním strachem, že by Slunce mohlo vybuchnout. Nehrozí ale žádné nebezpečí, že by se mohlo stát supernovou. Je příliš malé. Osud méně hmotných hvězd je všeobecně méně bouřlivý než osud jejich hmotnějších příbuzných. Především, jaderné procesy pohlcující palivo u nich postupují volnějším tempem, trpasličí hvězda na dolním konci hmotnostního rozpětí hvězd může stacionárně zářit po bilióny let. Za druhé, méně hmotná hvězda nedokáže vytvořit dostatečně vysoké vnitřní teploty nevyhnutné pro syntézu železa, a tak ani nemůže rozpoutat katastrofické smršťování. Slunce je typickou, spíše méně hmotnou hvězdou, která se vytrvale propaluje svým vodíkovým palivem a proměňuje své nitro na helium. Toto helium většinou sídlí v ústředním jádře, které je v současnosti, co se týče jaderných reakcí, inertní fúze probíhá na povrchu jádra. Samotné jádro tak nemůže přispívat ke kriticky důležité výrobě tepla potřebného k podržení Slunce tváří v tvář drtivým gravitačním silám. Aby zabránilo . svému gravitačnímu zhroucení, Slunce musí při hledání čerstvého vodíku rozšířit jadernou aktivitu směrem ven. Jeho heliové jádro se mezitím postupně smršťuje. Jak plynou eony, vnější zjev Slunce se v důsledku těchto vnitřních změn bude nejdříve téměř neznatelně měnit. Jeho velikost se nafoukne, ale jeho povrch tím poněkud ochladne, což mu dodá červenavý odstín. Tento trend bude pokračovat, až dokud se Slunce nepromění na červeného obra a nebude snad

pětsetkrát větší než je nyní. Červené obry astronomové znají. Do této kategorie spadá několik velmi dobře známých jasných hvězd na noční obloze, jako jsou Aldebaran, Betelgeuse a Arkturus. Fáze červeného obra vyznačuje začátek konce méně hmotné hvězdy.
Ačkoli je červený obr poměrně chladný, z jeho velikostí plyne obrovská plocha zářícího povrchu, což také znamená větší celkovou svítivost. Planety Slunce budou za přibližně čtyři miliardy let čelit těžkým časům, až na ně zaútočí zvýšený tok tepla. Země se stane neobyvatelnou už dlouho předtím. Její oceány se vypaří a atmosféra bude zničena. Jak se rozměry Slunce budou rozpínat, přibalí postupně do svého ohnivého batohu Merkur, poté Venuši a nakonec Zemi. Naše planeta se zmenší na škvarek a se psí oddaností bude lpět na své oběžné dráze dokonce i po svém spálení na popel, hustota horkých červených plynů Slunce bude natolik nízká, že podmínky se v nich budou blížit vakuu a pohyb Země výrazně neovlivní.
Samotná naše existence ve vesmíru je důsledkem mimo řádné stability hvězd podobných Slunci, které mohou vytrvale, pouze s malými změnami, hořet po miliardy let. To je dostatečně dlouhé období umožňující evoluci a rozkvět života. Ale s příchodem stadia červeného obra tato stabilita končí. Následující stadia v kariéře hvězdy jakou je Slunce jsou komplikovaná, nepravidelná a bouřlivá, s poměrně náhlými změnami chování a vnějšího zjevu. Stárnoucí hvězdy mohou strávit milióny let pulsacemi či odvrhováním plynových obalů. Helium v jádře hvězdy se může vznítit a vytvořit uhlík, dusík a kyslík a tím poskytnout životodárnou energii, která udrží existenci hvězdy ještě o něco déle. Když hvězda odhodí svůj vnější obal do prostoru, může skončit "oloupána" až na své uhlíkové-kyslíkové jádro.
Po tomto období složité aktivity hvězdy s nízkou a střední hmotností nevyhnutně podléhají gravitaci a smršťují se. Toto smršťování je neustálé a pokračuje, až dokud hvězda není stlačena na rozměry malé planety a nestane se objektem, který astronomové znají jako Mého trpaslíka. Poněvadž bílí trpaslíci jsou tak malí, jsou rovněž mimořádně matní, navzdory skutečnosti, že jejich povrchové teploty mohou být mnohem vyšší než na Slunci. Žádného z nich nelze ze Země spatřit bez pomoci dalekohledu.
Naše Slunce ve vzdálené budoucnosti stihne osud bílého trpaslíka. Až dospěje do této fáze, zůstane ještě horké po mnoho miliard let, jeho obrovská masa bude natolik kompaktní, že zadrží vnitřní teplo mnohem účinněji než ten nejlepší známý izolátor. Ale protože vnitřní jaderná výheň už bude definitivně uzavřena, nebude žádných rezerv paliva, které by nahradilo pomalé prosakování tepelného záření do chladných hlubin kosmického prostoru. Trpasličí pozůstatek toho, co kdysi bývalo naším mocným Sluncem, bude velmi pomalu chladnout a slábnout, až dokud nevstoupí do své konečné metamorfózy a postupně nebude tuhnout, na krystal mimořádné tuhostí. Nakonec se jeho jas zcela vytratí a tiše splyne s černí vesmíru.

PÁTÁ KAPITOLA
SOUMRAK
Mléčná dráha září světlem sta miliard hvězd a každá z nich je odsouzena na zánik. Po deseti miliardách let většina z těch, které nyní vidíme, zeslábne a zmizí z dohledu, vyhasnou v důsledku druhého zákona termodynamiky.
Ale Mléčná dráha bude ještě stále zářit světlem hvězd, neboť i když hvězdy umírají, rodí se nové, aby zaujaly jejich místo. Ve spirálních ramenech, jako je například to, ve kterém sídlí naše Slunce, se stlačují oblaky plynu, které se smršťují působením vlastní gravitace, drobí na části a tím dochází ke kaskádovitému zrodu hvězd. Pohled na souhvězdí Oriona odhaluje aktivitu takovýchto hvězdných jeslí. Rozmazaný chuchvalec světla ve středu Orionova meče ve skutečnosti není hvězdou, nýbrž mlhovinou - ohromným oblakem plynu prošpikovaným jasnými mladými hvězdami. Díky tomu, že astronomové se soustředili spíše na pozorování infračerveného záření této mlhoviny než jejího viditelného světla, nedávno zahlédli hvězdy v samotných prvních stadiích jejich utváření, doposud obklopené plynem a prachem.
Utváření nových hvězd ve spirálních ramenech naší Galaxie bude pokračovat, dokud tam bude dostatek plynu. Plynný obsah Galaxie tvoří zčásti prvotní materiál, který se ještě neseskupil do hvězd, a zčásti plyn, který vyvrhly hvězdy při vzplanutích supernov, hvězdné větry (odtok částic z hvězdného povrchu - pozn. překl.), malé výbušné vzplanutí a další procesy. Tato recyklace hmoty samozřejmě nemůže pokračovat donekonečna. Jak staré hvězdy umírají a podléhají gravitačnímu zhroucení do podoby bílých trpaslíků, neutronových hvězd nebo černých děr, nebudou už schopny znovu doplňovat mezihvězdné plyny. Prvotní materiál bude pomalu zahrnován do nových hvězd, až dokud se rovněž zcela nevyčerpá. Jak budou tyto hvězdy později procházet svými životními cykly a umírat, jas Galaxie začne neodvratně slábnout. Toto slábnutí bude zdlouhavé. Uplyne mnoho miliard let, než nejmenší nejmladší hvězdy završí své jaderné hoření a smrští se na bílé trpaslíky. Ale s pomalou mučivou konečností nevyhnutelně přijde soumrak věčné noci.
Podobný osud očekává i všechny ostatní galaxie rozptýlené po neustále se rozšiřujících propastech kosmického prostoru. Vesmír, který dnes září hojností jaderné energie, nakonec tento hodnotný zdroj vyčerpá. Éra světla navždy pomine.
Ale když kosmická světla zhasnou, nebude to znamenat konec vesmíru, protože existuje jiný zdroj energie, který je dokonce mocnější než jaderné reakce. Gravitace, nejslabší z přírodních sil na atomární úrovni, v astronomickém měřítku začíná převládat nade vším ostatním. Působí možná poměrně slabě, ale je nesmírně vytrvalá. Hvězdy se po miliardy let podpírají vůči své vlastní tíži jaderným hořením. Ale gravitace v každém okamžiku číhá, aby se jich zmocnila.
Gravitační síla mezi dvěma protony v atomovém jádře je pouhou desetibilión-bilión-biliontinou (10-37) silné jaderné síly. Ale gravitace je kumulativní. Každý další proton ve hvězdě přispívá k celkové tíži. V konečném důsledku je gravitační síla neodolatelná. A právě tato neodolatelná síla je klíčem, který odemyká obrovskou energii.
Žádný jiný objekt neilustruje moc gravitace názorněji než černá díra. Gravitace zde totálně triumfovala, rozdrtila hvězdu do nicoty a zanechala její otisk v okolním prostoročase v podobě nekonečného zborcení času. Existuje fascinující myšlenkový experiment, který se týká černých děr. Představme si, že do černé díry z velké vzdálenosti upustíme malé

těleso, například příslovečnou biliardovou kouli. Koule se ponoří do černé díry a zmizí z dohledu, nenávratně se ztratí. Stopu své někdejší existence však zanechá ve struktuře černé díry, která se následkem pohlcení koule mírně zvětší. Výpočet ukazuje, že je-li koule upuštěna z velké vzdálenosti do černé díry, pak díra získá množství hmoty, která se rovná původní hmotnosti koule. Neuniká žádná energie nebo hmota.

Nyní přemýšlejme o jiném experimentu, v jehož rámci je koule pomalu spouštěna směrem k díře. Šlo by to provést připevněním lanka ke kouli, navinutím lanka přes převod kladkostroje na buben a postupným odvíjením lanka. (Viz obr. 5.1. Předpokládám, že lanko se nebude natahovat a nebude mít žádnou hmotnost, což je fikce, ale je to kvůli tomu, abychom se vyhli komplikacím.) Jak se koule spouští, může dodávat energii - například otáčením elektrického generátoru připevněného k bubnu. Čím těsněji se koule přiblíží k povrchu černé díry, tím silněji na ni bude působit gravitační přitahování díry. S narůstáním své tíže koule vykonává stále více a více práce na generátoru. Jednoduchým výpočtem lze stanovit, kolik energie koule celkově dodá generátoru předtím, než dosáhne povrchu černé díry. V ideálním případě se odpovědí ukáže, že je to celá energie klidové hmotnosti koule. (Pojem klidové hmotnosti jsem vysvětlil v předcházející kapitole.)
Připomeňme si slavný Einsteinův vztah E=mc2, který nám říká, že hmotnosti m odpovídá množství energie mc2. Využitím černé díry bychom toto množství mohli získat. V případě biliardové koule o hmotnosti 100 gramů to znamená přibližně miliardu kilowatthodin elektřiny. Pro srovnání, když Slunce spálí jadernou fúzí 100 gramů paliva, dodá méně než 1 procento tohoto množství energie. Uvolňování gravitační energie by tak principiálně mohlo být více než stonásobně mohutnější než termojaderná fúze, která dodává energii hvězdám.
Obě zde popsané vymyšlené situace jsou samozřejmě zcela nerealistické. Objekty nepochybně do černých děr neustále padají, ale určitě nikdy ne tak, že visí z převodu kladkostroje způsobem, který je z hlediska výtěžku energie nejúčinnější. V praxi je tak vyzářena nějaká hodnota mezi nulou a 100 procenty energie klidové hmotnosti. Skutečné procento závisí na fyzikálních okolnostech. Astrofyzici v průběhu několika posledních desetiletí studovali široký rozsah počítačových simulací a dalších matematických modelů ve snaze porozumět chování plynu vířivě klesajícího do černé díry a odhadnout množství a podobu uvolněné energie. Příslušné fyzikální procesy jsou velmi komplikované, je nicméně zjevné, že množství gravitační energie linoucí se z takových systémů mohou být obrovská.
Jediné pozorování však stojí za tisíc výpočtů a astronomové podnikají rozsáhlá pátraní po objektech, které by mohly být černými děrami v procesu pohlcování hmoty. Ačkoli zcela přesvědčivý kandidát na černou díru dosud nebyl nalezen, jeden systém, který vypadá velmi nadějně, se nalézá v souhvězdí Labutě (lat. Cygnus) a je označován jako Cygnus X-1. Optický dalekohled odhaluje velmi horkou hvězdu druhu, který jé diky své barvě nazýván modrým obrem. Spektroskopické studie naznačují, že modrý obr není v prostoru osamocen, neboť rytmicky kmitá a to naznačuje, že obra periodicky přitahuje gravitace blízkého objektu. Hvězda a toto další těleso se zřejmě těsně obíhají. Optické dalekohledy však neodhalují žádný příznak průvodce: je to buď černý objekt, nebo velmi slabá kompaktní hvězda. To sice poukazuje na černou díru, ale ještě nijak její přítomnost nedokazuje.
Další klíčový poznatek pochází z odhadů hmotnosti temného tělesa. Tuto lze odvodit z Newtonových zákonů, jestliže známe hmotnost modré obří hvězdy. Tu zase můžeme odhadnout na základě těsné závislost mezi hmotností hvězdy a její barvou: modré hvězdy jsou horké a tudíž mají vysokou hmotnost. Výpočty naznačují, že neviditelný objekt-průvodce má hmotnost rovnající se několika hmotnostem Slunce, Zjevně není normální malou a slabou hvězdou, takže musí být gravitačně zhroucenou hmotnou hvězdou - buď bílým trpaslíkem, neutronovou hvězdou nebo černou dírou. Existují však zásadní fyzikální důvody, proč natolik hmotný objekt nemůže být bílým trpaslíkem nebo neutronovou hvězdou. Problém se týká intenzivního gravitačního pole, které se snaží objekt rozdrtit. Totálnímu gravitačnímu zhroucení do stadia černé díry je možné se vyhnout pouze tehdy, jestliže existuje nějaká forma vnitřního laku, který je natolik silný, že odolá stlačující sile gravitace. Ale má-li zhroucený objekt hmotnost několika hmotností Slunce, žádná známá síla nedokáže odolat drtící tíži jeho materiálu. Opravdu, má-li být jádro takové hvězdy natolik tuhé, aby se vyhlo rozdrcení, pak by rychlost zvuku v tomto materiálu měla převýšit rychlost světla. Poněvadž to je v rozporu s teorií relativity, většina fyziků a astronomů věří, že utvoření černé díry je za těchto podmínek nevyhnutné.
Závěrečný důkaz, že Cygnus X-1 obsahuje černou díru, však přichází ze zcela jiného pozorování. Tento systém obdržel označení X-1, protože je silným zdrojem rentgenového záření, neboli záření X, které je možné zachytit senzory umístěn i na palubách satelitů. Teoretické modely podávají přesvědčivé vysvětlení vzniku tohoto rentgenového záření, přičemž vycházejí z předpokladu, že temný objekt-průvodce v Cygnus X-1 je černou dírou. Vypočítané gravitační pole díry je natolik silné, že vysává materiál z modré obří hvězdy. Jak jsou unášené plyny přitahovány k díře - a ke konečnému zapomenutí - oběžný pohyb systému zapříčiní, že dovnitř padající materiál bude vířit a posléze vytvoří kolem černé díry disk. Disk tohoto druhu nemůže být zcela stabilní, neboť materiál v blízkostí jeho středu obíhá kolem černé díry mnohem rychleji než materiál u jeho okraje a viskózní síly se pokusí tuto diferenciální rotaci vyrovnat. V důsledku toho se plyn zahřeje na teplotu, která bude natolik vysoká, že to povede nejen k vyzařování pouhého optického světla, ale také rentgenového záření. Ztráta oběžné energie, která tím vznikne, zapříčiní, že plyn bude pomalu spirálovitě klesat do černé díry.
Důkazy pro existenci černé díry v systému Cygnus X-1 proto spočívají na poměrně dlouhém řetězci úvah zahrnujícím jak pozorovací detaily, tak i teoretické modelování. To je typické pro podstatu velké části astronomického výzkumu těchto dnů: žádný jednotlivý úlomek důkazů není zcela přesvědčivý, ale různé studie objektu Cygnus X-1 a celé řady podobných systémů v souhrnu výrazně poukazují na přítomnost černé díry. Vysvětlení pozorování pomocí černé díry je rozhodně nejlogičtější a nejméně ovlivněné nadměrnými kombinacemi.
Od aktivit větších černých děr můžeme očekávat ještě nápadnější efekty. V současnosti se jeví jako pravděpodobné, že mnohé galaxie ve svých středech obsahují superhmotné černé díry. Důkazy ve prospěch tohoto názoru poskytuje

rychlý pohyb projevovaný hvězdami v těchto galaktických jádrech hvězdy jsou zjevně strhávány k silně přitahujícímu, vysoce kompaktnímu objektu. Odhady hmotnosti takových možných objektů se pohybují od deseti miliónů až po miliardu slunečních hmotností, to by jim dodalo hltavý apetýt na jakoukoli hmotu zatoulanou do jejich blízkostí. Hvězdy, planety, plyn a prach jsou zřejmě vesměs kořistí těchto monster. Proces padání dovnitř černé díry by měl být v některých případech dostatečně bouřlivý, aby to narušilo celou strukturu příslušné galaxie. Astronomům jsou známy mnohé druhy aktivních galaktických jader. Některé galaxie budí dojem, jakoby doslova explodovaly, mnohé jsou mohutnými zdroji rádiových vln, rentgenového záření a jiných forem energie. Nejvýznačnější je třída aktivních galaxií, z nichž vyráží obrovské proudy plynu dlouhé tisíce až milióny světelných let. Energetická produkce některých těchto objektů je přímo úžasná. Velmi vzdálené kvazary - jméno je zkratkou označení "kvazihvězdné objekty" - mohou například vyzařovat tolik energie jako tisíce galaxií, přitom z oblasti, která má průměr snad pouhého jediného světelného roku, což jim- propůjčuje povrchový vzhled hvězd.
Mnozí astronomové věří, že ústředními motory všech těchto vážně narušených objektů jsou obrovské rotující černé díry, které pohlcují materiál ze své blízkostí. Jakékoli hvězdy, které se přiblíží k díře, budou pravděpodobně roztrženy gravitací díry, nebo se ještě předtím srazí s jinými hvězdami a rozpadnou se. Stejně jako v případě systému Cygnus X-1, ale v mnohem větším měřítku, by rozložený materiál asi vytvořil

kotouč horkého plynu, který bude obíhat díru a pomalu se nořit dovnitř. Průvodní uvolnění obrovských množství gravitační energie pak může být usměrněno podél osy rotace díry, takže vznikne pár opačně orientovaných proudů. Mechanismus tohoto uvolňování energie a utváření proudů je pravděpodobně velmi komplikovaný a zahrnuje elektromagnetické, viskózní a další síly, stejně jako gravitaci. Tato otázka zůstává předmětem intenzivních teoretických úvah a pozorování.
A co Mléčná dráha? Bylo by možné, aby byla tímto způsobem rozrušena naše vlastní galaxie? Střed Mléčné dráhy leží ve vzdálenosti třiceti tisíc světelných let v souhvězdí Střelce (lat. Sagittarius). Jeho vnitřní oblasti zakrývají velké oblaky plynu a prachu, ale využitím rádiových, rentgenových, gama a infračervených přístrojů se astronomům podařilo rozlišit existenci vysoce kompaktního energetického objektu označovaného jako Sagittarius A*. Ačkoli jeho průměr nepřesahuje několik málo miliard kilometrů (podle astronomických standardů je malý), Sagittarius A* je nejmohutnějším rádiovým zdrojem v Galaxii. Jeho poloha se shoduje s polohou velmi intenzivního infračerveného zdroje a nalézá se rovněž blízko rentgenového objektu. I když je tato situace složitá, zdá se stále pravděpodobnějším, že se tam skrývá hmotná černá díra a některé pozorované jevy jdou na její vrub. Hmotnost této černé díry je ale pravděpodobně nanejvýše deset miliónů hmotností Slunce, což ji řadí až na dolní konec superhmotnostního rozpětí. O takovém bouřlivém vyzařování energie a materiálu, k němuž dochází v některých jiných galaktických jádrech, neexistují žádné důkazy, ale to může být proto, že příslušná černá díra se v současnosti nalézá v klidovém stavu. V nějakém budoucím stadiu - snad když získá větší přísun plynu - by mohla vzplanout, i když by asi neměla tak rozvratný účinek, jako je tomu u mnoha jiných známých systémů. Není jasné, jaký účinek by takové vzplanutí mělo na hvězdy a planety ve spirálních ramenech Galaxie.
Černá díra bude pokračovat v uvolňování hmoty-energie obětované hmoty, dokud se v její blízkostí bude vyskytovat materiál, kterým se bude moci "krmit". Postupem času bude černými děrami pohlceno stále více a více hmoty. Černé díry v důsledku toho zase dále porostou a budou ještě hladovější. Dokonce i hvězdy na velmi vzdálených oběžných drahách kolem hmotné černé díry nakonec podlehnou. Příčinou je mimořádně slabý, a přece v konečném důsledku rozhodující gravitační proces, zvaný gravitační záření.
Krátce po zformulování své obecné teorie relativity v roce 1915 objevil Einstein jistou pozoruhodnou vlastnost gravitačního pole. Na základě studia rovnic pole této teorie zjistil, že tyto předpovídají existenci vlnovitých gravitačních oscilací, které se prázdným prostorem šíří rychlostí světla. Toto gravitační záření připomíná elektromagnetické záření, jako je světlo a rádiové vlny. Ačkoli může přenášet mnoho energie, gravitační záření se od elektromagnetického záření liší silou, jíž narušuje látku. Zatímco rádiovou vlnu snadno pohltí i tak jemná struktura, jakou je drátěná síť, gravitační vlna s látkou vzájemně působí natolik slabě, že přímo projde celou Zemí se sotva nějakým umenšením. Pokud byste dokázali vyrobit gravitační laser, potřebovali byste biliónkilowattový paprsek, abyste uvedli do varu kotlík vody tak účinně jako kilowattová elektrická spirála. Relativní slabost gravitačního záření je možné vysvětlit skutečností, že gravitace je daleko nejslabší ze známých přírodních sil. Například poměr gravitačních a elektrických sil v atomu je asi 10-40. Jediným důvodem, proč vůbec gravitaci zaznamenáváme, je skutečnost, že je kumulativní a proto převládá ve velkých objektech jako jsou planety.
Gravitační vlny nejenže jsou mimořádně slabé ve svých projevech, ale nenápadnou záležitostí je i samotná jejich tvorba. Gravitační záření v principu vzniká kdekoli tam, kde dochází k narušování hmot. Například pohyb Země kolem Slunce vyvolává nepřetržité vyzařování gravitačních vln, ale příslušný celkový energetický výkon je pouhý jeden miliwatt! Tento úbytek energie zapříčiňuje rozpad oběžné dráhy Země, ale až směšně pomalou rychlostí, přibližně o tisícbiliontinu centimetru za desetiletí.
Avšak u hmotných astronomických těles, které se pohybují rychlostí blízkou rychlosti světla, je situace dramaticky odlišná. K důležitým efektům gravitačního záření vedou pravděpodobně dva druhy jevů. Jedním je náhlá, bouřlivá událost, řekněme výbuch supernovy, nebo gravitační zhroucení hvězdy s následným vytvořením černé díry. Výsledkem takového jevu je vyzáření krátkodobého pulsu gravitačního záření, který trvá snad několik málo milisekund a odnáší pryč typicky 1044 joulů energie. (Srovnejte si to s tepelným výkonem Slunce, který je 3 x 1026 joulů za sekundu.) Druhým jevem je vysokorychlostní pohyb vzájemně se obíhajících hmotných objektů. Například těsný pár hvězd v dvojhvězdě vyprodukuje velký nepřetržitý tok gravitačního záření. Tento proces je obzvláště účinný, jsou-li obíhající hvězdy gravitačně zhroucenými objekty, jako jsou neutronové hvězdy nebo černé díry. V souhvězdí Orla (lat.

Aquila) existují dvě neutronové hvězdy, které se obíhají ve vzájemné vzdálenosti pouhých několika málo miliónů kilometrů. Jejich gravitační pole jsou natolik silná, že každý oběh je završen za méně než osm hodin, takže hvězdy se pohybují rychlostí tvořící významný zlomek rychlosti světla. Tento neobvykle rychlý pohyb velmi zvyšuje rozsah vyzařování gravitačních vln a zapříčiňuje rozpad oběžné dráhy rychlostí měřitelnou na úrovni roku (za toto období asi o 75 mikrosekund). Rozsah vyzařování se bude prudce zvyšovat, jak se hvězdy budou k sobě spirálovitě přibližovat. Hvězdám je souzeno, aby se po uplynutí tří set miliónů let srazily.
Astronomové odhadují, že dvojhvězdné soustavy tohoto druhu splývají v každé galaxii jednou za každých stotisíc let. Tyto objekty jsou natolik kompaktní a jejich gravitační pole natolik intenzívní, že v průběhu posledních okamžiků před tím, než se srazí, hvězdy kolem sebe obíhají vícetisíckrát za sekundu a frekvence příslušné gravitační vlny vystřelí nahoru v charakteristickém "cvrknutí". Einsteinovy rovnice předpovídají, že v této konečné fázi bude gravitační energetický výkon přímo obrovský a oběžná dráha podlehne rychlému zhroucení. Tvar hvězd bude natolik významně narušen vzájemným přitahováním, že v době, kdy se dotknou, budou vypadat jako obří vířící doutníky. Výsledné splynutí bude zamotanou záležitostí. Obě hvězdy splynou a vytvoří komplikovanou, šíleně poskakující masu, která bude hojně vyzařovat gravitační záření, až dokud se neusadí do zhruba kulovité podoby, která se bude kývat a kroužit jako obrovský zvon ve vibraci úplně osobitého typu. Tyto oscilace budou rovněž produkovat určité množství gravitačního záření, čímž bude objekt zbavován ještě většího množství energie, až dokud neztichne a nestane se nakonec inertním.
Ačkoli při gravitačním záření jde o poměrně pomalou ztrátu energie, jeho vyzařování má pravděpodobně dalekosáhlé dlouhodobé účinky na strukturu vesmíru. Proto je důležité, že vědci se pokoušejí potvrdit své myšlenky o gravitačním záření pozorováním. Studie podvojné soustavy neutronových hvězd v souhvězdí Orla ukazují, že jejich oběžná dráha se rozpadá přesně tou rychlostí, kterou předpovídá Einsteinova teorie. Tento systém proto poskytuje přímý důkaz vyzařování gravitačního záření. Rozhodující prověrka ale vyžaduje, aby se toto záření zachytilo v laboratoři na Zemi. Mnoho výzkumných skupin vybudovalo zařízení určená speciálně pro zaznamenání letmého průchodu vzplanutí gravitačních vln. Žádné z těchto zařízení však dosud nebylo natolik citlivé, aby nějaký objevilo. Je pravděpodobné, že si budeme muset počkat na novou generaci detektorů, než bude možné existenci gravitačního záření zcela potvrdit.
Splynutí dvou neutronových hvězd může vytvořit bud větší neutronovou hvězdu, nebo černou díru. Splynutí neutronové hvězdy a černé díry nebo dvou černých děr musí vyprodukovat jedinou černou díru. Tento proces by, podobně jako tomu bylo v případě podvojné soustavy neutronových hvězd, provázela ztráta energie gravitačními vlnami, následovaná komplikovanými kruhovými a houpavými pohyby, které by byly pomalu utlumeny pokračující energetickou ztrátou opět prostřednictvím gravitačních vln.
Je zajímavé zkoumat teoretické hranice gravitační energie, která by se dala vytěžit ze dvou černých děr v průběhu jejich splynutí. Teorii těchto procesů začátkem sedmdesátých let. rozpracovali Roger Penrose, Stephen Hawking, Brandon Carter, Remo Ruffini, Larvy Smarr a další. Jestliže obě černé díry nerotují a mají stejnou hmotnost, lze uvolnit přibližně 29 procent celkové energie jejich klidové hmotnosti. Nemusí to být. zcela ve formě gravitačního záření, pokud by příslušné černé díry byly nějakým způsobem manipulovány, řekněme nějakým druhem pokročilé technologie, ale v rámci přirozeného splynutí by většina energie byla uvolněna v této vysoce nenápadné formě. Kdyby díry rotovaly maximální rychlostí připouštěnou fyzikálními zákony (zhruba řečeno rychlostí světla) a splynuly by podél svých rotačních os tak, že by rotovaly protipohybem, mohlo by být vyzářeno 50 procent jejich hmoty-energie.
Dokonce ani toto značné procento ještě není teoretickým maximem. Černá díra může nést elektrický náboj. Elektricky nabitá černá díra má kromě gravitačního pole i elektrické pole a obě tato pole v sobě mohou ukládat energii. Setká-li se černá díra s kladným nábojem s černou dírou se záporným nábojem, pak dojde k "výboji", přičemž se v tomto procesu uvolní jak elektromagnetická, tak i gravitační energie.
Pro tento výboj však existuje hranice, poněvadž černá díra dané hmotnosti může nést elektrický náboj pouze po určitou maximální hodnotu. Pro černou díru, která nerotuje, stanovíme tuto hodnotu následující úvahou. Představme si dvě identické černé díry, které mají stejný souhlasný náboj. Gravitační pole děr mezi nimi vyvolají přitažlivou sílu, zatímco elektrická pole mezi nimi vyvolají odpudivou silu (souhlasné náboje se odpuzují). Když poměr náboje a hmotnosti dosáhne kritické hodnoty, tak se tyto dvě oponující si síly přesně vyrovnají a mezi černými děvami nebude působit žádná výsledná síla. Právě tato podmínka vyznačuje mezní množství elektrického náboje, které může černá díra obsahovat. Mohli byste si položit otázku, co by se stalo, kdybyste se pokusili zvýšit náboj černé díry nad tuto maximální hodnotu. Jedním ze způsobů, jak se o to pokusit, je nuceně dodat do díry více náboje. Tato procedura sice poslouží ke zvýšení elektrického náboje, ale práce vykonávaná při překonávání elektrického odpuzování spotřebovává energii a tato energie je dodávána díře. Poněvadž energie má hmotnost (připomeňte si E=mc2), hmotnost a tudíž i velikost díry tím poroste. Jednoduchý výpočet ukazuje, že hmotnost v rámci tohoto procesu naroste více než náboj, takže hodnota poměru náboj-hmotnost ve skutečnosti klesá a pokus o překonání mezního množství náboje selhává.
Elektrické pole nabité černé díry zvyšuje její celkovou hmotnost. V případě díry, která nese maximálně přípustný náboj, elektrické pole představuje polovinu hmotnosti. Nesou-li dvě nerotující černé díry maximální náboj, ale opačného znaménka, pak se budou vzájemně přitahovat jak gravitačně, tak i elektromagneticky. Splynou-li, jejich elektrické náboje se zneutralizují a elektrickou energii půjde vytěžit. Teoreticky to může být až 50 procent celkové hmoty-energie systému.
Absolutní horní hranice výtěžnosti energie bude dosaženo tehdy, jestliže obě černé díry rotují a nesou opačné elektrické náboje blízké maximálním hodnotám. Tehdy by se daly uvolnit až dvě třetiny celkové hmoty-energie. Samozřejmě, takové hodnoty jsou zajímavé pouze teoreticky, nebol v praxi je nepravděpodobné, že by dvě černé díry splývaly právě optimálním způsobem, pokud by s nimi pro tento účel nemanipulovalo pokročilé technologické společenstvo. Avšak dokonce i nikoli optimálně účinné splynutí dvou černých děr by pravděpodobně vyprodukovalo

téměř okamžité uvolnění energie v rozsahu významného zlomku celkové energie hmotnosti příslušných objektů. Srovnejte si to s nicotným 1 procentem energie hmotnosti, které hvězdy vyzáří jadernou fúzí v průběhu svých miliardy let trvajících životů.
Význam těchto gravitačních procesů spočívá v tom, že vyhořená hvězda nejenže neumírá, ale má jako zhroucený škvarek potenciál uvolnit mnohem, mnohem více energie než mohla uvolnit termojadernými procesy jako zářící plynová koule. Když byla tato skutečnost před přibližně dvaceti lety rozpoznána, fyzik John Wheeler - člověk, který původně navrhl výraz "černá díra" - si představoval hypotetickou civilizaci, kterou strmě narůstající poptávka po energii vedla k opuštění vlastní hvězdy a obývání okolí rotující černé díry. Odpad společenstva se každodenně soustřeďuje na nákladďáky a tyto jsou po pečlivě vypočítaných drahách navedeny k černé díře. V blízkostí díry se obsah nákladďáků uvolní a odpad je vyklopen do díry, čímž je využit k dobrému účelu. Dovnitř padající materiál, pohybující se podél dráhy protirotující vůči rotaci díry, vytváří efekt mírného brždění rotace díry. Tímto se uvolní rotační energie díry a civilizace jí může využít k pohonu svého průmyslu. Tento proces je dvojnásobně výhodný, poněvadž zcela odstraňuje veškeré odpadové produkty jejich přeměnou na čistou energii! Civilizace může tímto způsobem v reakci na poptávku uvolnit z mrtvé hvězdy mnohem větší zásobu energie než tato hvězda kdy vyzářila ve své zářivé fázi.
Ačkoli využívání energie černé díry je scénářem z vědecké fantastiky, uvnitř černých děr přirozeným způsobem skončí množství materiálu, buď jako součást hvězdy, která se gravitačně zhroutí, aby se z ní tato díra utvořila, nebo jako trosky pohlcené při náhodném setkání. Kdykoli přednáším o černých dírách, lidé vždy chtějí vědět, co se stane s něčím, co vstoupí do jedné z nich. Stručnou odpovědí je, že to nevíme. Naše poznání černých děr, takové, jaké je, je téměř úplně založeno na teoretických úvahách a matematickém modelování. Ve skutečnosti pozorovat zvenčí nitro černé díry podle definice ani nemůžeme, takže i kdybychom měli dobrý pozorovací přístup k černé díře (jenž nemáme), nikdy bychom nemohli poznat, co se děje v jejím nitru. Teorii relativity, jíž se v první řadě užívá k předpovědi samotné existence černých děr, lze nicméně využít rovněž k předpovědi, co by se stalo s astronautem, který by do jedné spadl. Následující je souhrnem takovýchto teoretických dedukcí.
Povrch černé díry je ve skutečnosti pouze matematickou konstrukcí - neexistuje tam žádná membrána, pouze prázdný prostor. Astronaut, který by do ní padal, by při křižování dovnitř díry fyzicky nepostřehl nic zvláštního. Povrch černé díry však má přesně stanovený - a spíše dramatický - fyzikální význam. Uvnitř díry je gravitace tak silná, že zachycuje i světlo a navenek směřující fotony přitahuje zpět. To znamená, že z díry nemůže uniknout ani světlo. Právě to ji při pohledu zvenčí činí černou. Poněvadž žádný fyzikální objekt nebo informace se nemůže pohybovat rychleji než světlo, jakmile je tato hranice překročena, z díry nemůže uniknout nic. Jevy, které se odehrávají uvnitř díry, jsou před vnějšími pozorovateli navždy ukryty. Z tohoto důvodu je na povrch černé díry odkazováno jako na "horizont událostí," neboť odděluje jevy venku, které je možné sledovat zdálky, od jevů uvnitř, u nichž to možné není. Tento efekt je však pouze jednosměrný. Astronaut uvnitř horizontu událostí stále ještě může vidět vnější vesmír, i když jej už nikdo zvenčí nemůže spatřit.
Jak se astronaut noří hlouběji do černé díry, gravitační pole narůstá. Jedním z efektů je pokroucení jeho či jejího těla. Padá-li astronaut nohama kupředu, nohy budou blíže ke středu díry než hlava. Gravitace je blíže ke středu díry silnější.

V důsledku toho budou nohy přitahovány dolů intenzivněji a tělo se protáhne. Současně budou ramena přitahována ke středu díry konvergujícími drahami, takže astronaut bude na bocích stlačen. Toto protáhnutí a stlačení se někdy označuje jako špagetizace.
Teorie předpokládá, že gravitace černé díry v jejím středu neomezeně roste. Poněvadž gravitační pole se projevuje jako zakřivení či zborcení prostoročasu, eskalující gravitaci provází zborcení prostoročasu, které rovněž narůstá bez známého omezení. Matematici se na tento rys odkazují jako na singularitu prostoročasu. Představuje hranici či okraj prostoru a času, za kterým už není možné uplatňovat normální představu prostoročasu. Mnoho fyziků věří, že singularita uvnitř černé díry věrně představuje konec prostoru a času a že jakákoli hmota, která se s ní setká, bude zcela vyhlazena. Je-li tomu tak, pak dokonce i atomy astronautova těla zmizí do singularity v nanosekundě ultrašpagetizace. Má-li černá díra hmotnost deseti miliónů hmotností Slunce, podobnou hmotnosti té díry, která může sídlit v jádře Mléčné dráhy - a nerotuje, potom astronaut bude délku pádu z horizontu událostí do anihilující singularity vnímat přibližně tři minuty. Tyto poslední tři minuty budou velmi nepohodlné, v praxi by špagetizace nešťastné individuum zabila dlouho předtím, než by dospělo k singularitě. Individuum by v průběhu této konečné fáze nijak nemohlo spatřit fatální singularitu, neboť z ní nemůže uniknout žádné světlo. V případě, že příslušná černá díra má jen hmotnost Slunce, její poloměr je asi tři kilometry a cesta z horizontu událostí k singularitě zabere pouhých několik málo mikrosekund.
I když padající astronaut v rámci své škály vnímal čas, který uběhne do jeho zničení, jako velmi krátký, zkroucení času černou dírou je takového charakteru, že při pohledu zdálky by se jeho poslední cesta jevila jako zpomalená. Jak se astronaut blíží k horizontu událostí, tempo jevů v jeho blízkosti by se vzdálenému pozorovateli zdálo být stále pomalejší a pomalejší. Ve skutečnosti se zdá, že dosažení horizontu musí astronautovi zabrat nekonečnou délku času. Takže to, co se při pohledu ze vzdálených oblastí vesmíru blíží věčnosti, astronaut vnímá jako úprk. Černá díra je v tomto ohledu určitým druhem brány ke konci vesmíru, kosmickou slepou uličkou představující výstup do nicoty. Černá díra je malou oblastí prostoru, který obsahuje konec času. Ti, kteří jsou zvědavi na konec vesmíru, si ho skokem do jedné z nich mohou zakusit sami. pro sebe.
Ačkoli je gravitace zdaleka nejslabší přírodní silou, její podrývající a kumulativní působení předurčuje konečný osud nejen jednotlivých astronomických objektů, ale rovněž celého kosmu. Stejné nepřetržité přitahování, které drtí hvězdu, působí v mnohem větším měřítku na vesmír jako celek. Výsledek tohoto vesmírného přitahování citlivě závisí na celkovém množství hmoty, které vyvíjí gravitační přitahování. Abychom tento výsledek zjistili, musíme zvážit vesmír.

ŠESTÁ KAPITOLA
VÁŽENÍ VESMÍRU

Často se říká, že to, co jde vzhůru, musí se nakonec vrátit dolů. Přitažlivá síla gravitace působí na těleso vržené směrem k obloze tím, že brzdí jeho let a přitahuje jej zpět na Zemi. Ale nikoli vždy. Jestliže se těleso pohybuje dostatečně rychle, potom může gravitaci Země zcela uniknout. Odletí do vesmíru a už nikdy se nevrátí. Rakety, s jejichž pomocí se vypouštějí meziplanetární sondy, jsou uzpůsobeny tak, aby dosáhly těchto vysokých rychlostí.

Kritická "úniková rychlost" je přibližně 11 kilometrů za sekundu (zhruba 40 000 kilometrů za hodinu) - více než dvacetinásobek rychlosti nadzvukového dopravního letadla Concorde. Toto kritické číslo je odvozováno jak od hmotnosti Země - množství hmoty v ní obsažené - tak i od jejího poloměru. Pro těleso dané hmotnosti platí, že čím bude menší, tím větší bude jeho povrchová gravitace. Uniknout ze Sluneční soustavy znamená překonat gravitaci Slunce: požadovaná rychlost je 618 kilometrů za sekundu. Únik z Mléčné dráhy vyžaduje rovněž rychlost několika set kilometrů za sekundu.

Jako opačná krajnost, rychlost potřebná k úniku z kompaktního objektu jako je neutronová hvězda dosahuje desetitisíců kilometrů za sekundu, zatímco pro černou díru se rovná rychlosti světla (300 000 kilometrů za sekundu).

A jak je tomu s únikem z vesmíru? Jak jsem se zmínil v kapitole 3, u vesmíru se nejeví, že by měl okraj, z něhož by šlo uniknout. Ale budeme-li na okamžik předstírat, že tento okraj má a že je situován na hranici našich pozorování (do vzdálenosti přibližně patnácti miliard světelných let), potom se příslušná úniková rychlost zhruba rovná rychlosti světla. To je velmi významný výsledek, neboť u nejvzdálenějších galaxií se jeví, že se od nás vzdalují rychlostí blízkou rychlosti světla. Na první pohled se zdá, že galaxie se rozlétají od sebe natolik rychle, že skutečně mohou právě "unikat" z vesmíru, nebo přinejmenším unikat vzhledem na sebe sama a "nikdy se nevrátit dolů."

Ve skutečnosti se ukazuje, že rozpínající se vesmír se chová způsobem, který je blízkou analogií tělesa vrženého ze Země, ačkoli zde neexistuje žádný dobře definovaný okraj. Jestliže je rozpínání dostatečně rychlé, pak vzdalující se galaxie uniknou ze sféry působnosti kumulativní gravitace veškerého ostatního materiálu ve vesmíru a rozpínání bude pokračovat věčně. Jestliže je rozpínání naproti tomu příliš pomalé, pak se eventuálně zastaví a vesmír se počne smršťovat. Galaxie se potom opět "vrátí dolů" a v rámci gravitačního zhroucení vesmíru nastoupí konečná kosmická katastrofa.

Kterýpak z těchto alternativních scénářů se odehraje? Odpověď závisí na srovnání dvou čísel. Na jedné straně je zde rychlost rozpínání, na druhé celkové gravitační přitahování vesmíru - v konečném důsledku váha čili hmotnost vesmíru. Čím větší je toto přitahování, tím rychleji se vesmír musí rozpínat, aby je překonal. Rychlost rozpínání mohou astronomové přímo měřit na základě efektu červeného posuvu: dosud však probíhá jistá kontroverze týkající se výsledků. Druhá veličina - váha, neboli tíže, vesmíru - je však ještě problematičtější.

Jak zvážíte vesmír? Na první pohled jde o úkol, který nahání strach: zjevně to nemůžeme učinit přímo. Nicméně bychom mohli odvodit jeho tíži pomocí teorie gravitace. Dolní mez lze získat přímočarým způsobem. Slunce můžeme zvážit na základě jeho gravitačních účinků na planety. Víme, že Mléčná dráha obsahuje asi sto miliard hvězd s průměrnou hmotností přibližně jedné hmotnosti Slunce, což poskytuje hrubou dolní mez pro hmotnost Galaxie. Nyní můžeme sečíst, kolik galaxií existuje ve vesmíru. Nemůžete je sčítat jednotlivě - existuje jich příliš mnoho - ale dobrým odhadem je deset miliard. Tímto v úhrnu dospíváme k 1021 hmotnostem Slunce, neboli přibližně 1048 tunám. Jestliže jako poloměr tohoto seskupení galaxií přijmeme hodnotu patnácti miliard světelných let, můžeme vypočítat minimální hodnotu únikové rychlosti z vesmíru: odpovědí se ukazuje být asi 1 procento rychlosti světla. Můžeme tudíž učinit závěr, že tvořily-li by hmotnost vesmíru jenom hvězdy, vesmír by unikl vlastní gravitační přitažlivosti a jeho rozpínání by pokračovalo donekonečna.

Opravdu, mnozí vědci věří, že právě to se stane. Ale nikoli všichni astronomové a kosmologové jsou přesvědčení, že součty byly provedeny správně. Viditelná hmota není vším, co ve skutečnosti existuje, neboť ne všechny objekty ve vesmíru září. Temná tělesa, jako jsou slabě svítivé hvězdy, planety a černé díry, ve značné míře unikají naší pozornosti. Existuje také mnoho mezihvězdného prachu a plynu, jehož většina je nenápadná. Navíc, prostory mezi galaxiemi nepochybně nejsou zcela zbaveny hmoty: mohou tam existovat velká množství zředěného plynu.

Po několik let však astronomy vzrušovala spletitější možnost. Velký třesk, v němž vznikl vesmír, byl zdrojem veškeré viditelné hmoty, ale také zdrojem množství hmoty, kterou nevidíme. Jestliže vesmír započal jako extrémně horká polévka subatomárních částic, potom kromě známých elektronů, protonů a neutronů, které vytvářejí běžnou látku, musely v hojných počtech vznikat rovněž všechny ostatní druhy částic nedávno identifikované v laboratoři částicovými fyziky. Většina z těchto dalších typů částic se jeví jako vysoce nestabilní a brzy by se rozpadly, ale některé mohou přetrvávat i v současné epoše jako zbytky kosmického počátku.

Hlavní roli mezi zajímavými zbytky hrají neutrina, ty přízračné částice, jejichž aktivita se projevuje u supernov (viz kapitolu 4). Pokud víme, neutrina se už nemohou rozpadnout na nic jiného. (Ve skutečnosti existují tři odlišné typy neutrin, které se mohou vzájemně proměňovat, ale Tuto komplikaci zde budu ignorovat.) Očekáváme tedy, že vesmír by se měl koupat v moři kosmických neutrin zanechaných po velkém třesku. Za předpokladu, že energie prvotního vesmíru byla demokraticky sdílena všemi druhy subatomárních částic, lze vypočítat, kolik kosmických neutrin by mělo existovat. Odpověď poskytuje přibližně jeden milión neutrin na kubický centimetr prostoru, což činí přibližně miliardu neutrin na každou částici běžné hmoty.

Tento pozoruhodný závěr mne vždy upoutával. V libovolné době se uvnitř vašeho těla nalézá přibližně sto miliard neutrin, téměř všechno zbytků z velkého třesku zanechaných ve více či méně nenarušeném stavu od prvních milisekund existence. Poněvadž neutrina se pohybují rychlostí světla nebo v její blízkosti, sviští vámi tak rychle, že každou sekundu jich vámi proniká sto miliard miliard! Toto neustálé narušování probíhá tak, že jej vůbec nezaznamenáváme, neboť neutrina s běžnou hmotou vzájemně působí natolik slabě, že existuje pouze zanedbatelná

pravděpodobnost, že by se za celý váš život byt jen jediné z nich zastavilo ve vašem těle. Existence tolika neutrin rozšířených po zdánlivě prázdných prostorách vesmíru by nicméně mohla mít dalekosáhlé důsledky pro jeho konečný osud.
Ačkoli neutrina s běžnou hmotou vzájemně působí mimořádně slabě, podobně jako všechny ostatní částice vyvíjejí gravitační sílu. Neutrina nemusí běžně významně gravitačně ovlivňovat jinou hmotu ve svém okolí, ale jejich nepřímé gravitační účinky by se v důsledku jejich příspěvku k celkové hmotnosti vesmíru mohly projevit jako kriticky důležité. Aby šlo určit, kolik v tomto ohledu neutrina přispívají, je třeba určit jejich hmotnost. Když je ve hře gravitace, počítá se spíše aktuální než klidová hmotnost. Poněvadž neutrina se pohybují rychlostí blízkou rychlosti světla, mohou mít významnou hmotnost, i když jejich klidová hmotnost může být nepatrná. Opravdu, mohou mít dokonce nulovou klidovou hmotnost a pohybovat se přesně rychlostí světla. Jestliže je tomu tak, jejich aktuální hmotnost lze určit s odkazem na jejich energii, kterou můžeme v případě zbytkových kosmických neutrin odvodit z jejich předpokládané energie získané z velkého třesku. Tuto počáteční energii je poté třeba opravit o faktor, který bere do úvahy zeslabující účinek rozpínání vesmíru. Když tak učiníme, zjistíme, že neutrina s nulovou klidovou hmotností by nepřispívala žádnou významnou měrou k celkové hmotnosti vesmíru.
Naproti tomu si nemůžeme být jisti, že neutrino má nulovou klidovou hmotnost, ani v tom, že všechny tři druhy neutrina mají stejnou klidovou hmotnost. Naše současné teoretické chápání neutrin nevylučuje jejich omezenou klidovou hmotnost, takže určit, jak tomu vlastně je, se stává záležitostí experimentu. Jak jsem se už zmínil v kapitole 4, víme, že má-li neutrino klidovou hmotnost, pak je určitě velmi malá, mnohem menší než klidová hmotnost kterékoli jiné známé částice. Poněvadž však ve vesmíru existuje takové množství neutrin, dokonce i jejich nepatrná klidová hmotnost by v rámci celkové hmotnosti vesmíru mohla hrát velkou roli. Je to jemně vyvážená záležitost. Dokonce i natolik malá hmotnost, jako je jedna desetitisícina hmotnosti elektronu (jinak nejlehčí známé částice), by postačovala, aby to mělo dramatický dopad: neutrina by převážila veškeré hvězdy. Zjištění podobně malé klidové hmotnosti je velmi obtížné a výsledky příslušných experimentů proto byly matoucí a protikladné. Je pozoruhodné, že zachycení neutrin ze Supernovy 1987A v tomto ohledu poskytlo důležitý klíč. Jak už jsem poznamenal, mají-li neutrina nulovou klidovou hmotnost, potom i se všechna musí pohybovat přesně stejnou rychlostí - rychlostí světla. Jestliže neutrino naproti tomu má malou, ale nenulovou klidovou hmotnost, potom je možný celý rozsah rychlostí. U neutrin ze supernovy je pravděpodobné, že jsou velmi energetická a proto se pohybují rychlostí velmi blízkou rychlosti světla, i když mají nenulovou klidovou hmotnost. Protože však musela dlouho cestovat kosmickým prostorem, dokonce i nepatrné rozdíly v rychlosti by se mohly převést do měřitelných rozdílů v časech příchodu na Zemi. Zkoumáním časového rozpětí, ve kterém neutrina ze Supernovy 1987A přilétala, můžeme určit horní mez jejich klidové hmotnosti na úrovni přibližně jedné třicetitisíciny hmotnosti elektronu.
Situace se zde naneštěstí dále komplikuje, neboť je známo, že existuje více než jeden typ neutrina. Většina určení klidové hmotnosti se týká neutrina, jehož existenci původně postuloval Pauli, ale od té doby už byla experimentálně zjištěna existence druhého typu neutrina a existence třetího typu je odvozována z teorie. Všechny tři druhy by měly v hojném počtu vznikat ve velkém třesku. Klást přímá omezení na hmotnost dalších dvou druhů neutrin je velmi obtížné. Rozsah možných hodnot zůstává experimentálně velmi široký, ale současný názor teoretiků je takový, že neutrina pravděpodobně nemají dominantní podíl na hmotnosti vesmíru. Ve světle nových experimentálních určení hmotností neutrin by se však tento postoj mohl snadno obrátit.
Neutrina nakonec nejsou jediným možným kosmickým zbytkem, který musíme brát do úvahy, když odhadujeme tíži vesmíru. Ve velkém třesku mohly vzniknout další stabilní, s běžnou hmotou slabě vzájemně působící částice, snad spíše s většími hmotnostmi. (Narostla-li by však klidová hmotnost těchto částic příliš, jejich tvorba by byla v poměru k jiným, méně hmotným částicím potlačena, neboť částice s vysokou hmotností ke svému vytvoření spotřebují více energie.) Kolektivně jsou tyto částice známy jako WIMP-y (Weakly Interacting Massive Particles - slabě vzájemně působící masivní částice). Teoretici mají celý obchodní katalog hypotetických WIMP-ů, které jsou nositeli exotických jmen, jako gravitina, Higgsina a fotina. Nikdo neví, zda reálně existují, ale jestliže ano, měly by být vzaty do úvahy při určování tíže vesmíru.
Je pozoruhodné, že existence WIMP-ů se možná dá ověřit přímo, na základě jejich předpokládaného vzájemného působení s běžnou látkou. Toto vzájemné působení je podle předpovědi sice mimořádně slabé, ale veliká hmotnost WIMP-ům umožňuje nadělat množství "děr". Experimenty v solném dole v severovýchodní Anglii a pod přehradou blízko San Francisca byly naplánovány, aby zaregistrovaly procházející WIMP-y. Za předpokladu, že jsou ve vesmíru hojně zastoupeny, měl by existovat obrovský počet WIMP-ů, které námi (a Zemí) neustále procházejí. Experiment je založen na principu, nad kterým zůstává rozum stát: zachytit zvuk, který vyprodukuje WIMP, když narazí do atomového jádra!
Příslušná aparatura se skládá z krystalu germania nebo křemíku obklopeného chladícím systémem. Jestliže WIMP narazí do jádra v krystalu, svou hybností zapříčiní zpětný odraz jádra. Tento náhlý náraz vytváří nepatrnou zvukovou vlnu, neboli vibraci krystalické mřížky. Jak se vlna šíří, bude tlumena a bude se proměňovat na tepelnou energii. Experiment je navržen tak, aby zachytil drobný puls tepla spojený s rozpadající se zvukovou vlnou. Protože krystal je ochlazen téměř až na absolutní nulu, detektor je mimořádně citlivý na zavedení jakékoli tepelné energie. Teoretici se domnívají, že galaxie jsou ponořeny v zhuštěných rojích poměrně pomalu se pohybujících WIMP-ů s hmotnostmi, které by mohly ležet kdekoli mezi jednou a tisícem hmotností protonu a typickými rychlostmi několika málo tisíc kilometrů za sekundu. Jak naše Sluneční soustava obíhá kolem středu Galaxie, žene se tímto neviditelným mořem a na každý kilogram hmoty na Zemi by i mohlo za den narazit až tisíc WIMP-ů. Při tomto rozsahu jevů by mělo být přímé zachycení WIMP-ů proveditelné.
Zatímco pokračuje lov na WIMP-y, s problémem vážení vesmíru zápolí rovněž astronomové. Dokonce i když nějaké

těleso není vidět (nebo slyšet), účinky jeho gravitačního přitahování mohou být zjevné. Například k objevu planety Neptun vedla ta skutečnost, že astronomové zaznamenali narušování oběžné dráhy Uranu gravitační silou neznámého tělesa. Tímto způsobem také objevili matnou hvězdu-Mého trpaslíka Sirius B, který krouží kolem jasné hvězdy Sirius. Monitorováním pohybu viditelných objektů mohou astronomové napomoci vytvořit obraz i neviditelné hmoty. (Vysvětlil jsem už, jak tato technika vedla k podezření, že v systému Cygnus X-1 se může nalézat černá díra.)
V průběhu přibližně posledního desetiletí či dvou byl podrobně studován způsob, jakým se pohybují hvězdy v naší Galaxii. Hvězdy obíhají kolem středu Mléčné dráhy v časovém měřítku typicky přesahujícím dvěstě miliónů let. Galaxie má přibližně tvar disku s velkým zhuštěním hvězd blízko středu. Připomíná tedy zhruba Sluneční soustavu, v níž planety obíhají kolem Slunce. Vnitřní planety Sluneční soustavy, jako jsou Merkur a Venuše, se však pohybují rychleji než vnější planety, jako jsou Saturn a Neptun, poněvadž vnitřní planety pociťují silnější gravitační přitahování ze strany Slunce. Mohli byste očekávat, že toto pravidlo bude platit i pro Galaxii: hvězdy na periférii disku by se měly pohybovat pomaleji než hvězdy u jeho středu.
Pozorování tomu však odporují. Hvězdy se v celém disku pohybují přibližně stejnou rychlostí. Vysvětlením pak musí být, že většina hmotnosti Galaxie se nakonec nenalézá blízko jejího středu, ale že je více méně pravidelně rozložena směrem ven. Skutečnost, že Galaxie vypadá, jakoby se většina její hmotnosti nalézala u jejího středu, napovídá, že svítící materiál je jen částí příběhu. Evidentně je tam přítomno množství temného, neboli neviditelného materiálu, z toho většina ve vnějších výspách disku, přičemž tento materiál urychluje pohyb hvězd v příslušné oblasti. Značná množství temné látky by mohla existovat dokonce i za viditelným okrajem a zcela mimo rovinu svítícího disku, což by Mléčnou dráhu obalovalo neviditelným masivním halem zasahujícím daleko do mezigalaktického prostoru. Podobný vzorec pohybu hvězd je pozorován u dalších galaxií. Měření poukazují na skutečnost, že viditelné oblasti galaxií jsou v průměru více než desetkrát hmotnější, než jak by mohla naznačovat jejich jasnost (ve srovnání se Sluncem), přičemž v jejich nejvzdálenějších vnějších oblastech tento násobek vzrůstá až na pět tisíc.
Podobný závěr plyne ze studia pohybu galaxií uvnitř galaktických kup. Je zjevné, že jestliže by se galaxie pohybovala dostatečně rychle, unikla by z gravitačního přitahování kupy. Pokud by se tak rychle pohybovaly všechny galaxie v kupě, příslušná kupa by se brzy rozpadla. Typická kupa, kterou tvoří několik set galaxií, se nalézá v souhvězdí Vlasů Bereniky (lat. Coma Berenices). Byla intenzívně studována. Průměrná rychlost pohybu galaxií v kupě ve Vlasech Bereniky je daleko vyšší, než aby tato kupa vůbec mohla držet pohromadě, pokud tam není přítomno přinejmenším třistakrát více hmoty než lze přičíst svítící látce. Poněvadž průchod napříč kupou ve Vlasech Bereniky zabere typické galaxii pouze přibližně miliardu let, kupa měla dost času na to, aby se rozptýlila. Dosud se tak nicméně nestala a struktura kupy vyvolává po všech stránkách dojem, že ji poutá gravitace. Zdá se, že je tam v značném množství přítomna nějaká forma temné látky, která ovlivňuje pohyb galaxií.
Další náznak, že existuje hmota, kterou nevidíme, pochází z přezkoumání struktury vesmíru ve velmi velkém měřítku způsobu, kterým se seskupují kupy a superkupy galaxií. Jak jsem vysvětlil v kapitole 3, galaxie jsou rozloženy způsobem, který připomíná pěnu. Táhnou se podélně ve šňůrách, nebo v obrovských plachtách obklopují nesmírné prázdnoty. Taková chuchvalcovitá pěnovitá struktura nemohla vzniknout v době, která byla k dispozici od velkého třesku, bez přídavného gravitačního přitahování nesvítící hmotou. Počítačovým simulacím se však až do této chvíle nedaří reprodukovat pozorovanou pěnovitou strukturu s jakoukoli jednoduchou formou temné látky. Možná je zapotřebí komplikovaného koktejlu.
V nejnovější době se vědecká pozornost týkající se kandidátů na temnou látku zaostřila na exotické subatomární částice. Tato temná látka by nicméně mohla existovat i v konvenčnějších formách, jako jsou hmotné objekty velikostí planet nebo slabě svítící hvězdy. Všude kolem nás by se ve vesmíru mohly potulovat roje těchto temných objektů a my bychom vzhledem k této skutečnosti zůstávali v požehnané nevědomosti. Astronomové nedávno objevili postup, který by mohl vést k odhalení existence temných těles, která nejsou gravitačně vázána k viditelným objektům. Tento postup využívá výsledek Einsteinovy obecné teorie relativity známý jako efekt gravitační čočky.
Základem této myšlenky je skutečnost, že gravitace může ohýbat světelné paprsky. Einstein předpověděl, že paprsek hvězdného světla, který prochází v blízkosti Slunce, bude mírně zakřiven a tím se posune zdánlivá poloha příslušné hvězdy na obloze. Srovnáním poloh hvězdy, když Slunce je a není přítomno v jejím blízkém okolí na obloze, je možné tuto předpověď prověřit. Poprvé tak učinil britský astronom sir

Arthur Eddington v roce 1919 a brilantně tím potvrdil Einsteinovu teorii.
Čočky rovněž ohýbají světelné paprsky a v důsledku toho mohou soustřeďovat světlo takovým způsobem, že světlo vytváří obraz. Jestliže je hmotné těleso dostatečně symetrické, pak může napodobit čočku a soustřeďovat světlo ze vzdáleného zdroje. Obrázek 6.1 ukazuje jak. Světlo ze zdroje S dopadá na kulovité těleso. Toto těleso zakřivuje vlastní gravitací světlo kolem sebe, přičemž jej usměrňuje do ohniska na vzdálené straně. Pro většinu objektů je tento efekt ohýbání nepatrný, ale při astronomických vzdálenostech dokonce i mírné zakřivení dráhy světla nakonec vytvoří ohnisko. Zaujímá-li dané těleso polohu mezi Zemí a vzdáleným zdrojem S, efekt se bude projevovat velmi zjasněným obrazem S, nebo, ve vyjímečných případech, kdy jsou Země, hmotné těleso a zdroj S přesně vyrovnány podél zorného paprsku, jako jasný prstenec světla - takzvaný Einsteinův prstenec. U těles s komplikovanějšími tvary efekt gravitační čočky nejpravděpodobněji vytvoří vícenásobné obrazy, spíše než jediný soustředěný obraz. Astronomové objevili celou řadu gravitačních čoček v kosmologickém měřítku: galaxie, které jsou téměř dokonale vyrovnány v zákrytu mezi Zemí a vzdálenými kvazary, vytvářejí vícenásobné obrazy těchto kvazarů a v některých případech oblouky a celé prstence ze světla kvazarů.

Při pátrání po temných planetách a slabě zářících trpasličích hvězdách hledají astronomové neklamné známky efektu

gravitační čočky, které by se projevily, jestliže by takové temné těleso zaujalo polohu přímo mezi Zemí a nějakou hvězdou. Jak by temné těleso procházelo zorným paprskem, jasnost obrazu hvězdy by rostla a klesala význačným způsobem. I když samotné těleso by zůstalo neviditelným, na jeho přítomnost by se dalo usoudit na základě čočkového efektu. Někteří astronomové tento postup využívají ke hledání temných objektů v hale Mléčné dráhy. Ačkoli pravděpodobnost přesného uspořádání do jedné linie se vzdálenou hvězdou je neuvěřitelně malá, jestliže tam existuje dostatečně velký počet temných objektů, pak by efekt gravitační čočky měl být pozorován. Společný australsko-americký tým, který pozoruje hvězdy ve Velkém Magellanově oblaku z observatoře na hoře Mt. Stromlo v Novém Jižním Walesu, podal koncem roku 1993 zprávu o pozorování, které se jeví jako první určitý příklad efektu gravitační čočky vyvolaného trpasličí hvězdou v halu naší Galaxie.
Jako gravitační čočky budou působit rovněž černé díry. Proběhla rozsáhlá vyhledávání takových černých děr založená na pozorování mimogalaktických rádiových zdrojů (efekt gravitační čočky působí na rádiové vlny stejně jako na světelné vlny). Nalezeno však bylo jen velmi málo pravděpodobných kandidátů a to vyvolává dojem, že černým dírám s hvězdnou nebo galaktickou hmotností pravděpodobně nelze přičíst mnoho temné látky.
Ale při průzkumu výskytu čočkového efektu by nevyšly najevo všechny černé díry. Je možné, že extrémní podmínky, které převládaly krátce po velkém třesku, příznivě působily na utváření mikroskopických černých děr, velikostí snad nepřesahujících atomové jádro. Takové objekty by měly hmotnost ekvivalentní hmotnosti planetky. V této formě by se mohlo účinně skrývat velmi mnoho hmoty, která by přitom byla rozšířena po celém vesmíru. Je to možná překvapující, ale ještě i těmto bizarním útvarům je možno na základě pozorování stanovit hranice. Tato možnost souvisí s jevem, který je nazýván Hawkingovým efektem. Patřičně jej objasním v kapitole 7. Stručně, u mikroskopických černých děr je pravděpodobné, že vybuchnou a tento výbuch bude provázen sprškou elektricky nabitých částic. Výbuch nastane po přesně určené době, která závisí od velikostí díry: menší díry vybuchnou dříve. Díra o hmotnosti planetky vybuchne po deseti miliardách let, tedy přibližně nyní. Jedním z efektů takovéhoto výbuchu by bylo vytvoření náhlého pulsu rádiových vln, takže celou věc mohli prověřit radioastronomové. Nebyly objeveny žádné pravděpodobné pulsy. Na tomto základě bylo vypočítáno, že v kubickém světelném roce kosmického prostoru nemůže k takovému výbuchu dojít častěji než jednou za tři milióny let. To znamená, že ve formě mikroskopických černých děr nemůže existovat více než nepatrný zlomek hmotnosti vesmíru.
Odhady množství temné látky ve vesmíru se celkově mění od jednoho astronoma ke druhému. Temná látka převažuje nad svítící látkou pravděpodobně přinejmenším v poměru deseti ku jedné a někdy jsou zmiňována i čísla sto ku jedné. Pomyšlení, že astronomové nevědí, z čeho se skládá většina vesmíru, je úžasné. V případě hvězd, o nichž si dlouho mysleli, že představují většinu vesmíru, se ukázalo, že tvoří spíše malou část celkového souhrnu hmoty.
Pro kosmologii je klíčovou otázkou, zda existuje dostatek temné látky na to, aby to zadrželo rozpínání vesmíru. Minimální hustota látky, která právě ještě nepostačuje k zastavení rozpínání, se nazývá "kritická hustota". Její hodnotu můžeme výpočtem stanovit jako přibližně stonásobek hustoty viditelné látky. Takové množství temné látky zůstává reálnou možností, i když jen tak-tak. Zbývá nám doufat, že pátrání po temné látce brzy poskytne definitivní ano nebo ne, když už pro nic jiného, tak proto, že na tom závisí konečný osud vesmíru.
Na základě současného stavu našeho poznání nemůžeme říci, zda se vesmír bude rozpínat věčně, či nikoli. Jestliže se přece jen začne smršťovat, stojíme před otázkou, kdy k tomu dojde. Odpověď závisí na tom, o kolik přesně hmotnost vesmíru přesahuje kritickou hodnotu. Jestliže je to o 1 procento, vesmír se začne smršťovat za přibližně bilión let, jestliže o 10 procent, smršťování se začne za sto miliard let.
Někteří teoretici jsou však přesvědčeni, že hmotnost vesmíru by se dala stanovit samotným výpočtem, bez toho, aby bylo třeba obtížných přímých pozorování. Víra, že lidské bytosti by mohly jaksi vyvěštit dalekosáhlé kosmologické poznatky pouhou silou uvažování, navazuje na tradici sahající zpět až k starověkým řeckým filozofům. Ve vědecké éře se celá řada kosmologů pokusila formulovat matematické vzorce, které by uvažovaly hmotnost vesmíru jako veličinu, jejíž hodnotu pevně stanovuje nějaký soubor základních principů. Obzvláště zavádějící jsou asi ty systémy, v nichž je přesný počet částic ve vesmíru vyjádřen prostřednictvím nějaké numerologické formule. Jakkoli fascinující taková převážně křeslová hloubání mohou být, nenalezla si cestu k většině vědců. V nedávných letech se však stala populární přesvědčivější teorie, která vyslovuje konkrétní hypotézu o hmotnosti vesmíru. Je to inflační scénář, o němž bylo pojednáno v kapitole 3.
Jedna z hypotéz inflační teorie se týká množství hmoty ve vesmíru. Předpokládejme, že vesmír počíná s hustotou hmoty, která je mnohem větší nebo mnohem menší než kritická hodnota, při níž právě ještě nedochází ke gravitačnímu zhroucení. Po nástupu inflační fáze se hustota vesmíru dramaticky mění. Inflační teorie ve skutečnosti předpovídá, že hustota vesmíru se rychle přibližuje ke kritické hodnotě. Čím déle se vesmír nafukuje, tím těsněji se jeho hustota blíží ke kritické hodnotě. V standardní verzi této teorie trvá inflace velmi krátce, takže pokud by se vesmír nějakým zázrakem nezačal vyvíjet s přesně kritickou hustotou, z inflační fáze se vynoří s hustotou mírně větší nebo mírně menší než je kritická hodnota.
Přibližování ke kritické hustotě po dobu trvání inflace však probíhá exponenciálně rychle, takže je pravděpodobné, že konečná hodnota hustoty bude mimořádně blízká kritické hodnotě, dokonce i pro inflační období trvající pouze nepatrný zlomek sekundy. Pojem "exponenciální" zde nabývá takový význam, že pro zhruba každý další tik, o který trvá inflace déle, se čas, který uplyne mezi velkým třeskem a nástupem zpětného smršťování, zdvojnásobuje. Takže, vede-li inflace řekněme v rozsahu sto tiků k vesmíru, který se začíná zpětně smršťovat po sto miliardách let, ze stojedna tiků plyne zpětné smršťování po dvěstě miliardách let, zatímco stodeset tiků inflace odpovídá smršťování po dvaceti osmi biliónech let. A tak dále.
Jak dlouho trvala inflace? To nikdo neví, ale jestliže má tato teorie úspěšně vysvětlit početné kosmologické záhady, které jsem popsal, inflace musí přetrvat po určitý minimální počet tiků (zhruba sto, toto číslo je ale dost pružné). Žádná

horní hranice zde však není. Takže pokud vesmír v důsledku nějaké mimořádné.shody prošel pouze minimálním množstvím inflace postačujícím k vysvětlení našich současných pozorování, pak by hustota po inflaci stále ještě mohla být významně nad (nebo pod) kritickou hodnotou - v tomto případě by další pozorování měla vést k určení epochy smršťování, nebo toho, že ke smršťování vůbec nedojde. Mnohem pravděpodobnější je, že inflace trvala mnohem více tiků než je minimální počet. Výsledkem bude hustota vskutku velmi blízká kritické hodnotě. To znamená, že pokud vesmír spěje k opětovnému smršťování, potrvá ještě hodně dlouho, než k tomu dojde mnohonásobně déle, než je současný věk vesmíru. Jestliže je tomu tak, lidské bytosti nikdy nepoznají osud vesmíru, který obývají.

SEDMÁ KAPITOLA
VĚCNOST JE DLOUHÁ DOBA

V souvislosti s nekonečnem je důležité, že to není jenom velmi velké číslo. Nekonečno se kvalitativně liší od něčeho, co je jen úžasně, nepředstavitelně obrovské. Předpokládejme, že vesmír nemá žádného konce. Trvat po celou věčnost znamená to, že by měl mít nekonečně dlouhý život. V tom případě by ale nakonec musel proběhnout jakýkoli fyzikální proces, jakkoli pomalý či nepravděpodobný, právě tak, jako by opice, která by si po celou věčnost nešikovně pohrávala s psacím strojem, nakonec naklepala dílo Williama Shakespeara.

Dobrý příklad nabízí jev vyzařování gravitačních vln, který jsem rozebral v kapitole 5. Energetická ztráta ve formě gravitačního záření bude produkovat nápadné změny pouze v případě nejbouřlivějších astronomických procesů. Když Země v důsledku toho, že obíhá okolo Slunce, vyzáří přibližně miliwatt, má to na její pohyb nekonečně malý účinek. Nicméně dokonce i miliwattový odtok energie, pokračující bilióny po biliónech let, by nakonec zapříčinil spirálovitý pád Země na Slunce. Samozřejmě, je pravděpodobné, že Zemi už dávno předtím pohltí povrch rozpínajícího se Slunce. Avšak podstatná je zde ta skutečnost, že procesy, které jsou v lidském časovém měřítku zanedbatelné, ale nicméně přetrvávají, mohou nakonec převládnout a takto. určit konečný osud fyzikálních systémů.

Představme si stav vesmíru po velmi, velmi dlouhé době v budoucnosti - řekněme za bilión biliónů let. Hvězdy vyhořely již dávno předtím: vesmír je temný. Ale není prázdný. V černé obrovitosti vesmíru se skrývají rotující černé díry, zatoulané neutronové hvězdy a černí trpaslíci - dokonce i několik málo planetárních těles. Prostorová hustota takovýchto objektů je v této epoše mimořádně nízká: vesmír se rozepnul na desetitisícbiliónnásobek své dnešní velikostí.

Gravitace by vyhrávala podivnou bitvu. Rozpínající se vesmír se pokouší odtáhnout každý objekt dále od jeho sousedů, ale vzájemná gravitační přitahování tomu oponují a pokoušejí se tělesa dát dohromady. V důsledku toho jisté soubory těles - například kupy galaxií nebo toho, co ještě z galaxií zůstane po Bonech strukturální degenerace - zůstávají gravitačně vázány dohromady, ale tyto soubory se posunou ještě dále od sousedních souborů. Konečný výsledek tohoto přetahování závisí na míře, v níž se zpomaluje rozpínání vesmíru. Čím nižší je hustota hmoty ve vesmíru, tím více jsou tyto soubory těles "povzbuzovány", aby se uvolnily od svých sousedů a svobodně a nezávisle se vzdalovaly.

Uvnitř gravitačně vázaného systému projevují svůj převládající vliv pomalé, ale neodvratné gravitační procesy. Vyzařování gravitačních vln, jakkoli je slabé, neúnavně odsává energii systému a vede k pomalé spirále smrti. Mrtvé hvězdy se takto, i když jen pozvolna, přikrádají k jiným mrtvým hvězdám nebo černým dírám a splývají s nimi v prodloužené orgii kanibalismu. Zabere bilión biliónů let, než gravitační vlny úplně rozloží oběžnou dráhu Slunce kolem Galaxie a škvarek černého trpaslíka bude tiše klouzat směrem ke středu Galaxie, kde čeká obří černá díra, aby jej pohltila. Vůbec ale není jisté, že mrtvé Slunce postihne konečný zánik právě tímto způsobem, protože na své pomalé cestě směrem dovnitř se občas setkává s jinými hvězdami. Někdy bude procházet blízko dvojhvězdné soustavy - dvojice hvězd uzamčených v těsném gravitačním objetí. Tím se připraví jeviště pro pozoruhodný jev známý jako gravitační prak. Vzájemný oběžný pohyb dvou těles projevuje klasickou jednoduchost. Právě tento problém - ve variantě planety obíhající kolem Slunce - zaujal Keplera a Newtona a vedl ke zrodu moderní vědy. Pohyb planety je v idealizované situaci a při ignorování gravitačního záření pravidelný a periodický. Bez ohledu na to, jak dlouho čekáte, planeta obíhá stejně. Situace je však dramaticky odlišná, jestliže je přítomno třetí těleso - řekněme hvězda a dvě planety nebo tři hvězdy. Jejich pohyb už nadále není jednoduchý a periodický. Uspořádání vzájemných sil mezi třemi tělesy se neustále komplikovaným způsobem mění. V důsledku se energie systému nedělí mezi účastníky rovnoměrně, dokonce i když jde o identická tělesa. Namísto toho zde probíhá komplikovaný tanec, ve kterém nejdříve jedno a potom jiné těleso vlastní lví podíl energie. Chování systému v dlouhých časových periodách může být v zásadě náhodné: problém tří těles gravitační dynamiky je ve skutečnosti dobrým příkladem takzvaného chaotického systému. Může se stát, že dvě tělesa se "spolčí" a odevzdají mnoho ze své energie třetímu, které je v důsledku toho zcela vymrštěno ven ze systému, podobně jako projektil z praku. Odtud pochází označení "gravitační prak".

Prakový mechanismus dokáže vymrštit hvězdy z hvězdokup nebo dokonce ze samotné galaxie. Velká většina mrtvých hvězd, planet a černých děr bude ve vzdálené budoucnosti tímto způsobem vymrštěna do mezigalaktického prostoru, snad aby se tam setkaly s jinou rozpadající se galaxií, nebo aby věčně uháněly obrovskou rozpínající se prázdnotou. Tento proces je však pomalý: završení tohoto rozplývání zabere miliardnásobek dnešního věku vesmíru. Zbylých několik málo procent objektů bude naproti tomu migrovat do středů galaxií a splývat, což vytvoří obrovské černé díry. Jak jsem vysvětlil v kapitole 5, astronomové mají dobré důkazy, že ve středech některých galaxií už existují monstrózní černé díry, které lačně hltají vířící plyny a v důsledku toho uvolňují obrovská množství energie. Takové hltavé šílenství časem očekává většinu galaxií a bude pokračovat až do té doby, dokud materiál obklopující černou díru nebude buď vysát, nebo odvržen, snad aby nakonec spadl zpět, anebo se připojil k rozplývajícímu se mezigalaktickému plynu. Nafouknutá černá díra potom zůstane v klidu a jen příležitostně do ní spadne zatoulaná neutronová hvězda nebo malá černá díra. To však ještě nebude konec příběhu černé díry. V roce 1974 Stephen Hawking objevil, že černé díry nakonec

nejsou tak úplně černé. Namísto toho slabě tepelně září.
Hawkingův efekt můžeme správně pochopit pouze pomocí kvantové teorie polí, obtížné oblasti fyziky, které jsem se už dotkl ve spojitosti s teorií inflačního vesmíru. Připomeňme si, že ústřední zásadou kvantové teorie je Heisenbergův princip neurčitosti, podle něhož kvantové částice nemají přesně definované hodnoty všech svých vlastností. Například foton nebo elektron nemůže mít přesně určenou hodnotu své energie ve specifickém časovém okamžiku. V důsledku toho si částice může "vypůjčit" energii odnikud, jestliže ji promptně vrátí zpět.
Jak jsem poznamenal v kapitole 3, neurčitost v energii vede k některým pozoruhodným efektům, jako je prchavá přítomnost krátce žijících, neboli virtuálních částic v zdánlivě prázdném prostoru. To vede k podivnému pojmu "kvantového vakua" - vakua, které, daleko toho, aby bylo skutečně vakuové a inertní, vře neúnavnou aktivitou virtuálních částic. Ačkoli tato aktivita obvykle probíhá bez povšimnutí, může vytvářet fyzikální efekty. Jeden z takovýchto efektů nastává, když aktivitu vakua naruší přítomnost gravitačního pole. Extrémní případ se týká virtuálních částic, které se objevují v blízkostí horizontu událostí černé díry. Připomeňme si, že virtuální částice žijí na účet vypůjčené energie po velmi krátkou dobu, po jejímž uplynutí musí být tato energie "zpětně splacena" a virtuální částice musí zmizet. Jestliže virtuální částice v průběhu své krátké doby existence z jakékoli příčiny obdrží dostatečně velkou dávku energie z nějakého vnějšího zdroje, energetická půjčka tím může být splacena za ně. Částice pak už nemusí zmizet, aby splatila půjčku. V důsledku tohoto dárcovství energie se virtuální částice změní na reálné, které se mohou těšit více či méně trvalé existenci.
Podle Hawkinga dochází v blízkostí černé díry právě k takovému obdarování. "Dárcem", který dodává potřebnou energii, je v tomto případě gravitační pole černé díry. Celá transakce probíhá následovně: virtuální částice jsou obvykle vytvářeny v párech, jejichž členové se pohybují v opačném směru. Představme si takový pár čerstvě vzniklých částic hned za vnějším okrajem horizontu událostí. Předpokládejme, že tyto částice se budou pohybovat tak, že jedna z nich padá přes horizont do černé díry. Při svém pohybu "načerpá" velký díl energie z intenzívní gravitace díry. Hawking objevil, že tato energetická injekce postačuje k úplnému "vymazání dluhu" a povýšení jak dovnitř padající částice, tak i jejího partnera který se doposud zdržuje na vnější straně horizontu událostí - na reálné částice. Osud opuštěné je však choulostivou záležitostí. Může být nakonec vsáta zpět dolů do černé díry, nebo může velkou rychlostí odletět pryč a z černé díry zcela uniknout. Hawking tedy předpokládá, že by měl existovat nepřetržitý tok těchto uprchlíků proudících z okolí černé díry pryč do kosmického prostoru. Tento tok vytváří takzvané Hawkingovo záření.

Hawkingův efekt by byl nejsilnější pro mikroskopické černé díry. Poněvadž například virtuální elektron může za normálních podmínek urazit předtím, než je nutno splatit energetickou výpůjčku, nanejvýše 10-13 metru, pouze černé díry menší než tato vzdálenost (to jest černé díry zhruba rozměrů atomového jádra) budou moci účinně vytvářet proud elektronů. Jestliže je díra v jakékoli míře větší, většině virtuálních elektronů se nebude dostávat času, aby stihly projít horizontem ještě předtím, než budou muset splatit vypůjčenou energii.
Vzdálenost, kterou může urazit virtuální částice, závisí na tom, jak dlouho žije, a o tom zase rozhoduje - skrze Heisenbergův princip neurčitosti - velikost energetické půjčky. Čím větší je půjčka, tím kratší dobu částice žije. Velkou položkou energetické půjčky je energie klidové hmotnosti částice. V případě elektronu se půjčka musí rovnat přinejmenším energii jeho klidové hmotnosti. U částice s větší klidovou hmotností například protonu - by půjčka byla větší a tedy krátkodobější, takže vzdálenost uražená touto částicí by rovněž byla menší. Tvorba protonů Hawkingovým efektem tak vyžaduje černou díru dokonce ještě menších než jaderných rozměrů. Naopak, částice s nižší klidovou hmotností než elektrony - například neutrina - by vytvářela černá díra větších než jaderných rozměrů. Fotony, které mají nulovou klidovou hmotnost, budou vytvářeny černou dírou libovolné velikostí. Dokonce i černá díra o hmotnosti Slunce bude vytvářet tok Hawkingových fotonů a možná také neutrin, intenzita toku je však v takových případech velmi slabá.
Použití slova "slabý" zde není nikterak přehnané. Hawking zjistil, že spektrum energie produkované černou dírou je stejné jako spektrum vyzařované horkým tělesem. Jedním způsobem, jak vyjádřit intenzitu Hawkingova efektu, je proto využít pojmu teploty. Pro díru o velikostí atomového jádra, s průměrem 10-15 metru, je příslušná teplota velmi vysoká - asi deset miliard stupňů. Černá díra o hmotnosti Slunce, jejíž průměr dosahuje několika kilometrů, má naproti tomu teplotu méně než desetimiliontiny stupně nad absolutní nulou. Celý objekt by ve formě Hawkingova záření nevyzařoval více než miliard-miliard-miliardtinu wattu.
Jednou z podivných vlastností Hawkingova efektu je ta skutečnost, že teplota záření stoupá s poklesem hmotnosti a velikostí černé díry. To znamená, že malé černé díry jsou více horké než velké. Jak černá díra září, ztrácí energii a tedy i hmotnost, takže se smršťuje. V důsledku toho její teplota stoupá a černá díra září ještě výrazněji, smršťuje se ještě rychleji. Proces je proto vnitřně nestálý a nakonec se stává neovladatelným, jak černá díra vyzařuje energii a smršťuje se stále rychlejším tempem.
Hawkingův efekt předpovídá, že všechny černé díry nakonec jednoduše zmizí v oblaku záření. Poslední chvíle by byly velkolepé, jevily by se jako výbuchy velké jaderné bomby, krátký záblesk intenzívní tepelné energie následovaný - ničím. Přinejmenším to teorie naznačuje. Ale někteří fyzici nejsou šťastni z toho, že materiální objekt může podlehnout gravitačnímu zhroucení a vytvořit černou díru, která zase zmizí a zanechá za sebou jen tepelné záření. Jsou znepokojeni tím, že by existence dvou velmi odlišných objektů mohla skončit produkcí identického tepelného záření a přitom by nepřežila žádná informace o původním tělese. Takový akt zmizení odporuje všem obecně uznávaným zákonům o zachování. Alternativním návrhem je, že mizící černá díra za sebou zanechává drobný pozůstatek, v němž je nějak obsaženo obrovské množství informace. Ať už je to jakkoli, převládající část hmotnosti díry je vyzářena pryč ve formě tepla a světla.
Hawkingův proces je téměř nemyslitelně pomalý. Černé díře o jedné hmotnosti Slunce by zmizení zabralo 1066 let,

zatímco superhmotná černá díra by na to potřebovala delší dobu - kolem 1093 let. A samotný proces by se nedal do pohybu, dokud by vesmírná teplota pozadí nepoklesla pod teplotu černé díry, neboť jinak by teplo proudící do černé díry z okolitého vesmíru vítězilo nad teplem proudícím pryč z díry prostřednictvím Hawkingova efektu. Kosmické tepelné záření pozadí zanechané z velkého třesku má v současnosti teplotu přibližně tři stupně nad absolutní nulou a zabralo by 1022 let, než by tato teplota poklesla na úroveň, při které by docházelo k tepelné ztrátě z černých děr o hmotnosti Slunce. Hawkingův proces není čímsi, u čeho se můžete posadit a dívat se.
Ale věčnost je dlouhá doba a za předpokladu takové doby pravděpodobně nakonec zmizí všechny černé díry - dokonce i superhmotné - a jejich smrt budou označovat okamžikové záblesky světla v inkoustové černi věčné kosmické noci, prchavý epitaf dávné existence miliardy zářících sluncí.
Co zbývá?
Ne všechna hmota padá do černých děr. Potřebujeme brát do úvahy neutronové hvězdy a černé trpaslíky a bludné planety, které se osaměle potulují v obrovských mezigalaktických prostorách, nemluvě o řídkém plynu a prachu, který se nikdy neseskupil do hvězd a planetek, komet, meteoritů a podivných úlomků hornin, které se neuspořádaně hromadí ve hvězdných systémech. Přežívají tyto věci věčně?
Zde se dostáváme do teoretických potíží. Potřebujeme vědět, zda je běžná hmota - materiál, který tvoří vás, mne, planetu Zemi - absolutně stabilní. Konečný klíč k budoucnosti spočívá v kvantové mechanice. I když jsou kvantové procesy normálně spojovány s atomárními a subatomárními systém, zákony kvantové fyziky by se měly hodit na všechno včetně makroskopických těles. Kvantové efekty ve velkých objektech jsou mimořádně malé, ale v obrovských časových rozpětích by mohly vést k velkým změnám.
Základními znaky kvantové fyziky jsou neurčitost a pravděpodobnost. V kvantové říši není nic určitého kromě šancí na výhru v sázce. To znamená, že je-li nějaký proces vůbec možný a bude k dispozici dost času, tak nakonec proběhne, jakkoli nepravděpodobný může být. Fungování tohoto pravidla můžeme vidět na příkladě radioaktivity. Jádro uranu 238 je téměř absolutně stabilní. Existuje zde však nepatrná šance, že vyvrhne alfa částici a přemění se na thorium. Abychom byli přesní, na jednotku času připadá jistá velmi malá pravděpodobnost, že dané jádro uranu se rozpadne. V průměru zabere přibližně čtyři a půl miliardy let, než se tak stane, ale protože zákony fyziky vyžadují pevně zadanou pravděpodobnost na jednotku času, u libovolného daného jádra uranu je jisté, že se nakonec rozpadne.
Příčinou radioaktivního alfa rozpadu je malá neurčitost polohy protonů a neutronů, ze kterých se skládá jádro atomu uranu. Podobně existuje dokonce ještě menší, ale nenulová neurčitost přesné polohy atomu v tuhém tělese. Například atom uhlíku v diamantu se bude v rámci krystalové mřížky zdržovat ve velmi dobře definované poloze. Při teplotách blízkých absolutní nule, očekávaných v daleké budoucnosti vesmíru, bude tento pobyt mimořádně stabilní. Ale ne zcela. Vždy existuje nepatrná neurčitost polohy atomu, ze které plyne nepatrná pravděpodobnost, že atom může spontánně vyskočit ze svého místa v mřížce a objevit se někde jinde. V důsledku takových migračních procesů není nic - dokonce ani tak tvrdá substance, jako je diamant - skutečně tuhé. Zdánlivě tuhá látka se podobá mimořádně viskózní kapalině a v obrovských časových intervalech může následkem kvantověmechanických efektů téct.
Teoretický fyzik Freeman Dyson odhadl, že po přibližně 1065 letech by nejenže došlo k redukci každého pečlivě vybroušeného diamantu na kulovitou perličku, ale podobni rovněž k deformaci každého úlomku horniny na hladkou kouli.
Neurčitost polohy by dokonce mohla vést k jaderným proměnám. Přemýšlejme například o dvou sousedících atomech uhlíku v krystalu diamantu. Spontánní přemístění jednoho takového atomu velmi vzácně zapříčiní, že jeho jádro se na okamžik objeví právě u jádra sousedního atomu. Jaderné přitažlivé sty potom mohou zapříčinit, že obě jádra se sloučí a vytvoří jádro hořčíku. Jaderná fúze tak nevyžaduje velmi vysoké teploty: chladná fúze je možná, ale vyžaduje úžasné časové intervaly. Dyson odhadl, že po 101500 letech (to jest, jedničce následované patnácti sty nul!) se veškerá hmota tímto způsobem promění na nejstabilnější jadernou formu, kterou je prvek železo.
Jaderná hmota však možná ani tak dlouho nepřežije, a to v důsledku působení sice rychlejších, ale stále ještě neuvěřitelně pomalých procesů proměn. Dysonův odhad předpokládá, že protony (a neutrony vázané v jádrech) jsou absolutně stabilní. Jinak řečeno, jestliže proton nespadne do černé díry a i jinak je ponechán v nenarušeném stavu, potom přetrvá věčně. Ale můžeme si tím být jisti? Když jsem byl ještě studentem, nikdo o tom neměl pochyb. Protony existovaly věčně. Byly považovány za zcela stabilní částice. V této souvislosti ale vždy existovala mučivá pochybnost. Problém se týká existence částice zvané pozitron, která je totožná s elektronem až na to, že má podobně jako proton kladný náboj. Pozitrony jsou mnohem lehčí než protony, takže, jestliže jsou veškeré ostatní parametry stejné, protony by upřednostňovaly proměnu na pozitrony: jedním ze základních fyzikálních principů je ten, že fyzikální systémy vyhledávají svůj nejnižší energetický stav a nízká hmotnost znamená nízkou energii. Nikdo ale nedovedl říci, proč protony jednoduše nevyrazí vpřed a tuto proměnu neuskuteční, takže fyzikové jednoduše předpokládali, že existuje fyzikální zákon, který to nepřipouští. Tato oblast až donedávna vůbec nebyla dobře pochopena, ale koncem sedmdesátých let se vynořil jasnější obraz o tom, jak různé jaderné síty vyvolávají kvantověmechanické proměny jednoho druhu částic na jiné. Nejnovější teorie poskytují přirozené místo zákonu, který zakazuje rozpad protonu, ale většina z těchto teorií také předpokládá, že tento zákon nemá 100-procentní účinnost. Mohla by existovat velmi nepatrná pravděpodobnost, že daný proton se vskutku přemění na pozitron. Zbylá hmotnost protonu by se podle předpovědi objevila zčásti ve formě elektricky neutrální částice, jako je takzvaný pion, zčásti ve formě pohybové energie (produkty rozpadu by se po svém vytvoření pohybovaly vysokou rychlostí).
V jednom z nejjednodušších teoretických modelů je průměrný čas vyžadovaný pro rozpad protonu 1028 let, což je miliard-miliardkrát déle než dnešní věk vesmíru. Mohli byste se proto domnívat, že téma rozpadu protonu je čistě akademickou kuriozitou. Musíme si však připomenout, že jde o proces, který je kvantověmechanický a tedy svou podstatou pravděpodobnostní: 1028 let je předpovězený průměrný věk, nikoli aktuální věk každého protonu. Za

předpokladu dostatku protonů proto existuje dobrá šance, že jeden z nich se rozpadne přímo před vašimi zraky. Opravdu, při 1028 protonech byste mohli očekávat zhruba jeden rozpad za rok a 1028 protonů je obsaženo v pouhých deseti kilogramech hmoty.
Shodou okolností byl takto dlouhý věk protonu experimentálně vyloučen ještě předtím, než se tato teorie stala populární. Odlišné verze teorie však poskytly delší věky - 1030 let resp. 1032 let, nebo dokonce ještě déle (některé teorie předpovídají až 1080 let). Nižší hodnoty leží na okrájí experimentální ověřitelnosti. Například rozpadový čas 1032 let by znamenal, že byste v průběhu života mohli tímto způsobem ze svého těla ztratit jeden či dva protony. Ale jak zachytit natolik vzácné jevy?
Přijat byl následující postup: nakupit tisíce tun látky a tuto látku po mnoho měsíců monitorovat citlivými detektory vyladěnými tak, aby je do pohybu uvedly produkty jevů protonového rozpadu. Hledání rozpadu protonu se naneštěstí podobá hledání jehly v kupce sena, protože protonové rozpady překrývají mnohem početnější podobné jevy, jejichž příčinou jsou produkty kosmického záření. Země je nepřetržitě bombardována vysokoenergetickými částicemi z vesmíru, které vytvářejí neustále přítomné pozadí subatomárních zbytků. Aby se omezily tyto rušivé vlivy, je nutno příslušné experimenty provádět hluboko v podzemí.
Jeden takový experiment byl umístěn více než půl kilometru hluboko pod zemským povrchem v solném dole nedaleko Clevelandu ve státě Ohio. Příslušná aparatura se skládala z 10 000 tun ultračisté vody v kostkové nádrži obklopené detektory. Voda byla zvolena kvůli své průhlednosti, která detektorům umožňovala najednou "vidět" tolik protonů, kolik jen bylo možné. Základní myšlenka byla následovná. Jestliže se proton rozpadá způsobem očekávaným na základě módních teorií, pak, jak bylo vysvětleno výše, nadávkem k pozitronu vytváří i elektricky neutrální pion. Pion se zase rychle rozpadá na dva fotony s velmi vysokou energií, neboli paprsky gama. Tyto paprsky gama se nakonec setkají s jádry ve vodě a každý z nich vytvoří páry elektronů a pozitronů, které jsou rovněž velmi energetické. Tyto druhotné elektrony a pozitrony by ve skutečnosti byly natolik energetické, že by se dokonce i ve vodě pohybovaly rychlostí blízkou rychlosti světla.
Světlo se ve vakuu šíří rychlostí 300 000 kilometrů za sekundu a to je mezní rychlost, kterou se může pohybovat jakákoli částice. Voda zpomaluje rychlost šíření světla na zhruba 230 000 kilometrů za sekundu. Vysokorychlostní subatomární částice, pohybující se vodou rychlostí blízkou 300 000 kilometrů za sekundu, se proto ve skutečnosti pohybuje rychleji než světlo ve vodě. Jestliže se letadlo pohybuje rychleji než zvuk, vytváří zvukový efekt proražení zvukové bariéry. Podobně nabitá částice, která se v nějakém prostředí pohybuje rychleji, než se v tomto prostředí šíří světlo, vytváří význačnou elektromagnetickou rázovou vlnu známou po svém ruském objeviteli jako Čerenkovovo záření. Ohijští experimentátoři tak sestrojili soubor na světlo citlivých detektorů pro hledání čerenkovovských záblesků. Aby rozlišili mezi jevy protonového rozpadu a neutriny z kosmického záření a dalšími klamnými subatomárními zbytky, experimentátoři pátrali po význačném prozrazujícím rysu - těsně souběžných párech Čerenkovových světelných pulsů, které by byly vyzařovány v opačných směrech se pohybujícími páry elektronů a pozitronů.
Ohijskému experimentu se naneštěstí ani po několika letech činnosti nepodařilo nalézt přesvědčivé důkazy rozpadu protonu, ačkoli, jak bylo poznamenáno v kapitole 4, zachytil neutrina ze Supernovy 1987A. (Jak se to často ve vědě stává, pátrání po jedné věci vede k neočekávanému objevu jiné.) Další experimenty, které byly navrženy odlišně, vedly až do této doby k nulovým výsledkům. To může znamenat, že protony se nerozpadají. Také to může ovšem znamenat, že se rozpadají, ale že jejich věk přesahuje 1032 let. Měřit rychlost rozpadu, která je pomalejší, než tato hodnota, přesahuje současné experimentální možnosti, a tak v dohledné budoucnosti se porota posuzující rozpad protonu asi nedohodne.
Pátrání po rozpadu protonu podnítilo teoretické práce na různých velkých sjednocených teoriích, které si kladou za cíl sjednocení silné jaderné síly (síly, která váže dohromady protony a neutrony v jádře) se slabou jadernou silou (ta odpovídá za radioaktivitu beta) a elektromagnetickou silou. Rozpad protonu by nastával v důsledku nepatrného vzájemného promíchání těchto sil. Ale dokonce i když se tato myšlenka velkého sjednocení projeví jako nesprávná, zůstává zde možnost, že se protony budou rozpadat jiným způsobem - tím, který zahrnuje čtvrtou fundamentální přírodní sílu, gravitaci.
Abychom pochopili, jak může gravitace způsobit rozpad protonu, musíme vzít do úvahy skutečnost, že proton není pravou elementární částicí v bodové formě. Ve skutečnosti je složené těleso, které tvoří tři menší částice nazývané kvarky. Proton má po většinu času průměr přibližně desetibilióntinu centimetru, což je průměrná vzdálenost mezi kvarky. Kvarky však nezůstávají v klidu, ale v důsledku kvantověmechanické neurčitosti neustále mění své polohy uvnitř protonu. Z času na čas se k sobě dva kvarky přiblíží velmi těsně. Ještě vzácněji se stane, že se v těsné vzájemné blízkosti ocitnou všechny tři kvarky. Je možné, že se k sobě přiblíží natolik, že gravitační síla mezi nimi, která je normálně zcela zanedbatelná, převáží nade vším ostatním. Jestliže k tomu dojde, kvarky splynou dohromady a vytvoří miniaturní černou díru. V důsledku toho se proton kvantověmechanickým tunelovým efektem zhroutí vlivem své vlastní gravitace. Výsledná minidíra je vysoce nestabilní - připomeňte si Hawkingův proces - a víceméně okamžitě zmizí, přičemž vytvoří pozitron. Odhady věku protonu při tomto způsobu rozpadu jsou velmi neurčité a pohybují se od 1045 let až k úžasným l0220 let.
Jestliže se protony po uplynutí obrovského časového rozpětí skutečně rozpadají, má to pro vzdálenou budoucnost vesmíru dalekosáhlé důsledky. Veškerá hmota by byla nestabilní a nakonec by zmizela. Tuhé objekty, jako jsou planety, které se vyhnuly pádu do černé díry, by nepřetrvaly věčně. Namísto toho by se velmi pozvolna vypařily. Z věku protonů řekněme 1032 let by plynulo, že Země každou sekundu ztrácí bilión protonů. Při tomto rozsahu by naše planeta po přibližně 1033 letech úplně zmizela, za předpokladu, že by ji do té doby už nezničilo něco jiného.
Vůči tomuto procesu nejsou imunní ani neutronové hvězdy. Neutrony se rovněž skládají ze třech kvarků a pomocí

mechanismů podobných těm, které jsou posly zániku protonů, se mohou měnit na lehčí částice. (Izolované neutrony jsou nestabilní v každém případě a rozpadají se po přibližně patnácti minutách.) Bílí trpaslíci, zlomky hornin, prach, komety, řídká oblaka plynu a všechen drobný astronomický inventář by po naplnění času rovněž podlehl. Osudem přibližně 1048 tun běžné hmoty, kterou v současnosti vidíme rozptýlenu ve vesmíru, bude zmizení bud do černých děr, nebo prostřednictvím pomalého jaderného rozpadu.
Protony a neutrony při svém rozpadu samozřejmě vytvářejí rozpadové produkty, takže vesmír to nevyhnutelně nezbavuje hmoty všeho druhu. Jak jsem se už zmínil výše, jedna pravděpodobná cesta rozpadu protonu například vede k pozitronu plus neutrálnímu pionu. Pion je velmi nestabilní a promptně se rozpadá na dva fotony nebo snad na elektronově-pozitronový pár. Ať už je to jakkoli, ve vesmíru zřejmě bude v důsledku rozpadu protonu postupně přibývat stále více a více pozitronů. Fyzikové jsou přesvědčeni, že celkový počet kladně nabitých částic (v současnosti hlavně protonů) ve vesmíru je stejný jako počet záporně nabitých částic (hlavně elektronů). Z toho plyne, že jakmile se rozpadnou všechny protony, bude existovat rovnovážná směs elektronů a pozitronů. Pozitron je takzvanou antičásticí elektronu a. jestliže se pozitron setká s elektronem, vzájemně se zanihilují - tento proces se dá snadno studovat v laboratoři - a uvolňují energii ve formě fotonů.
Vědci se pomocí výpočtů pokoušeli určit, zda se ve vzdálené budoucnosti vesmíru zbývající pozitrony a elektrony úplně vzájemně zanihilují, anebo z nich jakýsi zbytek zůstane. Anihilace neprobíhá zcela náhle. Elektron a pozitron se nejdříve uspořádají do určitého druhu miniatomu nazývaného pozitronium. Obě částice v něm obíhají kolem společného těžiště v jakémsi tanci smrti, vázány vzájemným elektrickým přitahováním. Částice potom spirálovitým pohybem splynou a zanihilují. Čas zabraný spirálovitým pohybem závisí na počáteční vzdálenosti mezi elektronem a pozitronem v době utváření "atomu" pozitronu. V laboratoři probíhá rozpad pozitronia v průběhu nepatrného zlomku sekundy, ale ve vnějším vesmíru, kde je jen máloco může rušivě ovlivňovat, by se elektrony a pozitrony mohly vzájemně vázat na obrovských oběžných drahách. Odhady naznačují, že by zabralo 1071let, než by většina elektronů a pozitronů vytvořila pozitronium, ale ve většině těchto případů by příslušné oběžné dráhy měly průměr mnoha biliónů světelných let! Částice by se pohybovaly natolik pomalu, že by jim uražení jednoho centimetru zabralo milión let. Elektrony a pozitrony by natolik "zlenivěly," že čas jejich spirálovitého pohybu vychází na ohromujících 10116 let. Konečný osud těchto atomů pozitronia je nicméně zpečetěn od okamžiku, kdy se utvoří.
Je to možná podivné, ale ne všechny elektrony a pozitrony se musí vzájemně zrušit. Po celou dobu, kdy elektrony a pozitrony hledají své opačné partnery, neustále klesá prostorová hustota těchto částic, a to jak v důsledku anihilace, tak i pokračujícího rozpínání vesmíru. Jak čas plyne, utvoření pozitronia se stává stále obtížnějším a obtížnějším. Takže i když se nepatrný zbytek hmoty neustále zmenšuje, nikdy zcela nevymizí. Vždy bude někde existovat lichý elektron či pozitron, ačkoli každá taková částice bude v osamělosti obývat neustále rostoucí objem prázdného prostoru.
Nyní si můžeme načrtnou obrázek, jak by vypadal vesmír po završení všech těchto neuvěřitelně pomalých procesů. Za prvé, bude zde materiál zanechaný z velkého třesku, kosmické pozadí, které zde bylo vždy. To se skládá z fotonů a neutrin a možná také z nějakých dalších zcela stabilních částic, které doposud neznáme. Energie těchto částic bude s rozpínáním vesmíru dále klesat, až dokud nevytvoří zcela zanedbatelné pozadí. Běžná látka vesmíru zmizí. Všechny černé díry se vypaří. Většina hmotnosti černých děr přejde do fotonů, i když část přejde také do podoby neutrin a velmi nepatrná část, vyzářená v průběhu konečného explozivního výbuchu černých děr, přejde do podoby elektronů, protonů, neutronů a těžších částic. Všechny těžší částice se rychle rozpadnou. Protony a neutrony se rozpadnou pomaleji, což zanechá malé množství elektronů a pozitronů, aby se tyto mohly spojit s těmi dalšími - posledním zbytkem běžné látky, kterou dnes vidíme.
Vesmír velmi vzdálené budoucnosti by tedy byl nepředstavitelně zředěnou polévkou fotonů, neutrin a ubývajícího počtu elektronů a pozitronů vzdalujících se od sebe stále více a více. Pokud víme, neproběhly by už žádné další základní fyzikální procesy. Nevyskytl by se žádný významný jev, který by narušil bledou sterilitu vesmíru, který už dorazil na konec své cesty, ale dosud je před ním věčný život - nebo snad lepším popisem situace by byla věčná smrt. Tímto chmurným obrazem chladné, temné, ničím zvláštním se nevyznačující téměř-nicoty se moderní kosmologie nejvíce blíží k "tepelné smrti vesmíru" fyziky devatenáctého století. Doba potřebná k tomu, aby vesmír degeneroval do tohoto stavu, je natolik dlouhá, že odolává veškeré lidské představivosti. Nicméně není než pouze nekonečně malou částí nekonečného času, který je k dispozici. Jak už jsme řekli, věčnost je dlouhá doba.
Ačkoli rozpad vesmíru zabírá časový interval, který tak ohromně přesahuje lidská časová měřítka, že pro nás prakticky nemá smyslu, lidé se neustále netrpělivě ptají: "Co se stane s našimi potomky? Jsou nevyhnutně odsouzeni ke zkáze ve vesmíru, který kolem nich pomalu, ale nevyhnutně zhasne?" Když vycházíme spíše z nepříliš slibného stavu, který vesmíru velmi vzdálené budoucnosti předpovídá věda, zdá se, že jakákoli forma života musí být v konečném důsledku odsouzena ke zkáze. Ale smrt není tak jednoduchá.

OSMÁ KAPITOLA
ŽIVOT NA POMALO

V roce 1972 uveřejnila organizace zvaná Římský klub chmurnou prognózu o budoucnosti lidstva nazvanou The Limits to Growth (Meze růstu). Mezi mnoha jejími výroky o nastávající katastrofě se vyskytovala předpověď, že světová zásoba fosilních paliv bude vyčerpána za pouhých několik málo desetiletí. Lidé se polekali, ceny ropy vyskočily nahoru a do módy přišel výzkum alternativních zdrojů energie. Dnes jsme v devadesátých letech a nic nenasvědčuje, že fosilní paliva se už-už vyčerpají. V důsledku toho poplach vystřídalo uklidnění. Bohužel, jednoduchá aritmetika však říká, že z konečných zdrojů nelze čerpat v nezmenšujícím se rozsahu věčně. Dříve či později se do energetické krize dostaneme. Podobný závěr můžeme vyvodit i co se týče populace Země: její růst nemůže pokračovat donekonečna. Někteří proroci věří, že nastupující energetická krize a krize z přelidnění povedou k zániku lidstva jednou a provždy.

Není však třeba dávat znaménko rovnosti mezi vymizení fosilních paliv a zánik Homo sapiens. Všude kolem nás jsou obrovské zdroje energie, jen když budeme mít dostatek vůle a důvtipu jich využít. Především sluneční světlo může poskytnout více než dostatek energie pro naše účely. Obtížnějším problémem bude omezit populační růst předtím, než to za nás udělá hladomor. To vyžaduje spíše sociální, ekonomické a politické dovednosti, nežli vědecké. Avšak, jestliže dokážeme překonat energetickou soutěsku podnícenou vyčerpáním fosilních paliv, jestliže dokážeme bez katastrofického konfliktu stabilizovat lidskou populaci a jestliže se podaří omezit ekologické poškozování planety, potom věřím, že lidstvu je souzena prosperita. Neexistuje žádný zřejmý přírodní zákon, který by ohraničoval věk našeho druhu.
V předcházejících kapitolách jsem popsal, jak se v důsledku pomalých fyzikálních procesů za nepředstavitelně dlouhé období změní struktura vesmíru - obecně směrem k úpadku. Lidstvo je tady nanejvýše pět miliónů let (podle toho, jak definujeme člověka) a civilizace (jaká-taká) pouhých několik tisíc let. Země by měla zůstat obyvatelnou ještě dvě či tři miliardy let - samozřejmě s omezenou populací. To je tak obrovské časové rozpětí, že to vyčerpává veškerou představivost. Je tak velké, že se může jevit jako v podstatě nekonečné. Viděli jsme však, že dokonce i miliarda let je tím nejnepatrnějším okamžikem ve srovnání s obrovským časovým měřítkem celkových astronomických a kosmologických proměn. Jinde v naší Galaxii mohou Zemi podobná obyvatelná prostředí existovat ještě za miliardu miliard let.
Určitě si umíme představit naše potomky, kteří budou mít k dispozici tak obrovské množství času, jak rozvíjejí průzkum vesmíru a veškeré možné druhy zázračných technologií. Budou mít dost času na to, aby opustili Zemi předtím, než ji Slunce upraží na škvarek. Mohou pátrat po jiné vhodné planetě a potom zase po jiné a tak dále. Expanzí do vesmíru může expandovat také populace. Je v tom útěcha - vědět, že náš boj o přežití v dvacátém století nakonec nemusí být zbytečný?
Ve druhé kapitole jsem se zmínil, jak Bertrand Russell v návalu deprese z důsledků druhého zákona termodynamiky s úzkostí psal o pošetilosti lidské existence na základě skutečnosti, že Sluneční soustava je odsouzena ke zkáze. Russell jasně vnímal, že zjevně nevyhnutný zánik našeho domovského prostředí nějakým způsobem zbavuje lidský život smyslu či z něj dokonce dělá frašku. Toto přesvědčení jistě přispělo k jeho ateismu. Cítil by se Russell lépe, kdyby věděl, že gravitační energie černé díry může mnohonásobně překonat produkci Slunce a přetrvat bilióny let i potom, co se rozpadla Sluneční soustava? Sotva. Nejde zde o aktuální délku časového intervalu, ale o myšlenku, že dříve nebo později se vesmír stane neobyvatelným: právě tato myšlenka u některých lidí vyvolává pocit, že naše existence je nesmyslná.
Na základě popisu vzdálené budoucnosti vesmíru uvedeného na konci kapitoly 7 by šlo usuzovat, že méně uhlazené a více nepřátelské prostředí si sotva lze představit. Nesmíme však být šovinisty nebo pesimisty. Lidské bytosti by nepochybně měly těžké časy, jestliže by měly žít ve vesmíru skládajícím se ze zředěné polévky elektronů a pozitronů, ale důležité zde jistě není to, zdali je nesmrtelný náš druh jako takový, ale jestli mohou přežít naši potomci. A u našich vzdálených potomků je nepravděpodobné, že budou lidskými bytostmi.
Druh Homo sapiens se na Zemi objevil jako produkt biologické evoluce. Evoluční procesy však začínají být rychle modifikovány našimi aktivitami. Zamíchali jsme se už do působení přírodního výběru. Ve stále větší míře roste i možnost plánovat mutace. Brzy můžeme být schopni přímou genetickou manipulací působit na vznik lidských bytostí s předepsanými atributy a fyzickými vlastnostmi. Tyto biotechnologické možnosti vyvstaly za pouhých několik málo desetiletí technologické společnosti. Představte si, čeho by mohlo být dosaženo v průběhu tisíců či dokonce miliónů let éry rozvoje vědy a technologie.
V průběhu pouhých několika desetiletí lidstvo dokázalo opustit planetu a odvážně se vydat do blízkého kosmického prostoru. Po uplynutí eonů by se naši potomci mohli rozšířit mimo Zemi do širší oblasti Sluneční soustavy a poté k dalším hvězdám uvnitř Galaxie. Lidé často podléhají nesprávnému dojmu, že takový podnik by si vyžádal téměř věčnost. Není tomu tak. Kolonizace by pravděpodobně postupovala skoky z planety na planetu. Kolonisté by opustili Zemi kvůli vhodné planetě vzdálené několik světelných let a jestliže by mohli cestovat rychlostí blízkou rychlosti světla, cesta by si vyžádala pouze těchto několik let. Dokonce i kdyby naši potomci nikdy nedosáhli větších rychlostí než 1 procento rychlosti světla - dostatečně skromný cíl - příslušný cestovní čas bude pouze několik století. Završení skutečného zavedení nové kolonie může zabrat několik dalších století a potom by potomci původních kolonistů mohli přemýšlet o vyslání své vlastní kolonizační expedice k jiné vhodné planetě ve větší vzdálenosti. Opět po několika stoletích by i tato další planeta byla kolonizována a tak dále. Právě tímto způsobem Polynézané kolonizovali ostrovy středního Tichomoří.
Světlo potřebuje na průchod napříč Galaxií pouze asi stotisíc let, takže při 1 procentu této rychlosti je celkový cestovní čas deset miliónů let. Jestliže by na této cestě bylo kolonizováno stotisíc planet, přitom na každé z nich by si zavedení kolonistů vyžádalo dvě staletí, důsledkem je pouze ztrojnásobení časového měřítka galaktické kolonizace. Ale třicet miliónů let je podle astronomických nebo dokonce geologických standardů velmi krátká doba. Slunci zabere dvěstě miliónů let pouhý jeden oběh Galaxií, život na Zemi existoval přinejmenším sedmnáctkrát déle. Stárnutí Slunce ohrozí Zemi pouze za tři či čtyři miliardy let - za třicet miliónů let by se Slunce změnilo velmi málo. Z toho vyplývá, že naši potomci by mohli kolonizovat Galaxii za malý zlomek toho času, který si na Zemi vyžádala evoluce života až k technologické společnosti.

Jak by tito naši kolonizátorští potomci vypadali? Jestliže popustíme uzdu fantazii, můžeme vyslovit domněnku, že kolonisté by mohli být pozměněni genetickým inženýrstvím, aby se snadněji přizpůsobili cílové planetě. Abychom uvedli jednoduchý příklad, jestliže by byla u hvězdy Epsilon Eridani objevena Zemi podobná planeta a zjistilo se, že v atmosféře má pouhých 10 procent kyslíku, pak by kolonisté mohli být přizpůsobeni genetickým inženýrstvím, aby měli více červených krvinek. Jestliže by povrchová gravitace nové planety byla vyšší, mohli by být nadáni robustnější

stavbou těla a silnějšími kostmi. A tak dále.
Ani cesta nemusí být velký problém - dokonce i kdyby k jejímu završení bylo třeba několika století. Kosmickou loď by šlo postavit jako archu - zcela soběstačný ekosystém schopný uživit cestovatele po mnoho generací. Anebo by kolonisty mohli na cestu hluboce zmrazit. Ve skutečnosti by mělo větší smysl, kdyby byla vyslána jen malá kosmická loď s malou posádkou a do nákladu byly zahrnuty milióny oplodněných vajíček. Ta by se po příchodu mohla vložit do inkubátoru, čímž by se okamžitě získala populace bez logistických a sociologických problémů, které by přinášela dlouhodobá přeprava velkého počtu dospělých bytostí.
A opět, když už spekulujeme, čeho by šlo dosáhnout za předpokladu obrovského množství času, není důvodu, proč by tito kolonisté měli být lidští vzhledem či dokonce mentalitou. Jestliže lze pomocí genetického inženýrství upravovat bytosti, aby vyhověly různým potřebám, pak by mohla každá expedice zahrnovat účelově naplánované tvory s anatomií a psychologií, jaké si takový úkol vyžaduje.
Kolonisty by dokonce ani nemusely být živé organismy podle obvyklé definice. Už nyní je možné implantovat. mikroprocesory založené na křemíkových čipech do lidských bytostí. Další pokroky této technologie by mohly vést ke směsi organických a umělých elektronických součástí sloužících jak fyziologickým, tak i mozkovým funkcím. Například by šlo navrhnout "zasouvací" paměť pro lidské mozky, podobnou přídavným pamětem, které jsou dnes k dispozici pro počítače. Naopak by se brzy mohlo dokázat, že je efektivnější přizpůsobit pro vykonávání výpočtů organický materiál, než pro tento úkol, vytvářet zařízení z tuhé látky. V důsledku toho by šlo biologicky "pěstovat" komponenty počítačů. Digitální počítače by pravděpodobně byly pro mnohé úkoly nahrazeny neuronovými sítěmi, dokonce už nyní je neuronových sítí užíváno namísto digitálních počítačů k simulaci lidské inteligence a předpovídání ekonomického chování. A může mít větší smysl pěstovat organické neuronové sítě z útržků mozkového tkaniva, než je vyrábět ab initio. Dala by se rovněž sestrojit konstrukce symbiotické směsi organických a umělých sítí. S rozvojem nanotechnologie se rozdíl mezi živým a neživým, přirozeným a umělým, mozkem a počítačem, bude v rostoucím stupni smazávat.
V současnosti patří takové spekulace do říše vědecké fantastiky. Mohou se stát vědeckou skutečností? Konec konců, to, že si něco dovedeme představit, ještě neznamená, že se to stane. V případě technologických procesů však můžeme použít stejný princip, který jsme uplatnili v případě přírodních procesů: za předpokladu dostatečně dlouhého času, cokoli, co se může stát, také se stane. Jestliže lidé nebo jejich potomci zůstanou dostatečně motivováni (to může být velkým "jestli"), pak budou technologii omezovat pouze fyzikální zákony. Úkol, jakým je například projekt mapování lidského genomu, který může být nad síly jedné generace vědců, by byl vcelku jednoduchý, kdyby na něm pracovalo sto, tisíc či milión generací.
Předpokládejme optimisticky, že přežijeme a budeme pokračovat v rozvoji naší technologie až po její meze. Co z toho plyne pro průzkum vesmíru? Sestrojení účelově navržených vědomých bytostí by otevřelo možnost vyslání agentů do ne hostinných prostředí, aby provedli úkoly v současnosti nemyslitelné. I když by tyto bytosti byly konečnými produkty lidmi iniciovaných technologií, samy o sobě by lidské nebyly.
Měl by nám vlastnicky ležet na srdci osud těchto podivných zjevů? Mnozí lidé mohou mít nedobrý pocit při perspektivě nahrazení lidstva takovými monstry. Pokud přežití vyžaduje, aby lidské bytosti uvolnily cestu geneticky zmanipulovaným organickým robotům, možná bychom upřednostnili vymření. Jestliže na nás nicméně působí pravděpodobnost zániku lidstva depresivně, pak se musíme tázat, co přesně bychom si přáli zachovat z lidských bytostí. Určitě ne naši fyzickou podobu. Opravdu by na nás působilo rušivě, kdybychom věděli, že za řekněme milión let naši potomci možná ztratí prsty u nohou? Nebo že budou mít kratší nohy či větší hlavy a mozky? Konec konců, naše fyzická podoba se tak či onak podstatně změnila za posledních několik staletí a i v současnosti existují široké rozdaly mezi odlišnými etnickými skupinami.
Mám podezření, že pod tlakem okolností by většina z nás považovala za cennější to, co by bylo možno nazvat lidským duchem - naši kulturu, náš soubor hodnot, naše charakteristické duševní ustrojení, jak se projevují v našich velkých uměleckých, vědeckých a intelektuálních počinech. Tyto věci určitě jsou hodny toho, aby byly zachovány a zvěčněny. Jestliže bychom dovedli na naše potomky, ať už bude jejich fyzická podoba jakákoli, přenést naši zásadní lidskost, dosáhli bychom přežití toho nejdůležitějšího.
To, zda je možné vytvořit lidem podobné bytosti, které budou postupovat dále a rozšíří se po vesmíru, je samozřejmě ve značné míře věcí názoru. Mimo jiné se může stát, že lidstvo ztratí motivaci k tak velkému podniku, nebo že ekonomické, ekologické či jiné katastrofy povedou k našemu zániku ještě předtím, než doopravdy opustíme planetu. Je dokonce možné, že mimozemské bytosti jsou o krok před námi a už
kolonizovali většinu vhodných planet (ačkoli evidentně nikoli Zemi - dosud). Ale ať už tento úkol připadne našim potomkům, nebo potomkům nějakého cizího druhu, možnost rozšíření po vesmíru a získávání vlády nad ním prostřednictvím technologie je fascinující. Svádí to k otázce, jak by se taková superrasa vypořádala s pomalou degenerací vesmíru.
Časové intervaly fyzikálního rozpadu, o kterých se mluvilo v kapitole 7, jsou tak obrovské, že jakákoli snaha odhadnout na základě současných trendů na Zemi, jaká by byla technologie ve velmi vzdálené budoucnosti, je marná. Kdo si dovede představit technologickou společnost starou bilión let? Mohlo by se zdát, že nič pro ni nebude nemožné. Jakákoli technologie, libovolně pokročilá, by nicméně pravděpodobně stále podléhala základním fyzikálním zákonům. Jestliže je správný například závěr teorie relativity, že žádné hmotné těleso ne
může překročit rychlost světla, potom by při prolamování světelné bariéry selhalo dokonce i biliónleté technologické úsilí. Co je však vážnější, jestliže veškerá zajímavá aktivita zahrnuje využívání přinejmenším nějaké energie, potom postupné vyčerpávání zdrojů volné energie, které jsou k dispozici ve vesmíru, nakonec vážně ohrozí jakkoli pokročilé technologické společenstvo.

Když budeme na co nejšířeji definované vědomé bytosti aplikovat základní fyzikální principy, můžeme přezkoumat, zda úpadek vesmíru ve vzdálené budoucnosti představuje nějaké opravdu zásadní překážky pro to, abychom přežili. Aby si nějaká bytost zatoužila přídomek "vědomá", musí být přinejmenším schopna zpracovávat informaci. Myšlení a sbírání zkušeností jsou příklady aktivit, které v sobě zahrnují zpracovávání informace. Takže jaké požadavky by na fyzikální stav vesmíru z toho mohly vyplývat?
Charakteristickou vlastností zpracovávání informace je skutečnost, že rozptyluje energii. To je důvodem, proč počítač s textovým procesorem, na kterém píši tuto knihu, musí být připojen k přívodu elektřiny. Množství energie spotřebované na bit informace závisí na termodynamických úvahách. Rozptylování energie je nejmenší, jestliže procesor pracuje při teplotě blízké teplotě svého prostředí. Lidský mozek a většina počítačů působí velmi neúčinně a rozptylují velká množství přebytečné energie ve formě tepla. Například lidský mozek produkuje významný zlomek tělesného tepla a mnohé počítače dokonce potřebují zvláštní chladící systém, aby se předešlo jejich roztavení. Původ tohoto odpadového tepla je třeba hledat už v samotné logice, na jejímž základě funguje zpracovávání informace a která si vyžaduje zbavovat se informací. Jestliže například počítač provádí výpočet 1 + 2 = 3, dva bity vstupní informace (1 a 2) jsou nahrazeny jedním bitem výstupní informace (3). Bezprostředně po provedení výpočtu může počítač odhodit vstupní informaci, čímž nahrazuje dva bity jedním. Aby zabránil přecpání svých paměťových bank, stroj musí po celou dobu zahazovat takovou nadbytečnou informaci. Proces jejího vymazávání je podle definice nevratný a tak v sobě zahrnuje vzrůst entropie. Zdá se tedy, že sběr a zpracovávání informace budou na té nejzákladnější úrovni nevyhnutně odčerpávat dostupnou energii a zvyšovat entropii vesmíru.
Freeman Dyson přemýšlel o omezeních, kterým v průběhu postupného ochlazování vesmíru směrem k tepelné smrti čelí společenstvo vědomých bytostí - pokud totiž vůbec mají přemýšlet, musí jistým tempem vydávat energii. Prvním omezením je, že tyto bytosti musí mít teplotu vyšší než je teplota jejich prostředí, jinak by z nich odpadové teplo neproudilo ven. Za druhé, fyzikální zákony omezují rozsah, v němž fyzikální systém může vyzařovat energii do okolí. Je zřejmé, že nějaká bytost nemůže dlouho fungovat, vytváří-li odpadové teplo rychleji, než se ho umí zbavit. Tyto požadavky kladou dolní mez na rozsah, v němž tato bytost nevyhnutně musí rozptylovat energii. Zásadním požadavkem potom je, že musí existovat zdroj volné energie, aby doplňoval energii ztrácenou tímto životně důležitým odtokem tepla. Dyson dospívá k závěru, že v daleké kosmické budoucnosti bude osudem všech takových zdrojů pozvolné ubývání a vyčerpávání, takže veškeré vědomé bytosti nakonec budou čelit energetické krizi.
Existují dva způsoby, jak prodloužit věk vědomí. Jedním je přežít tak dlouho, jak to jen lze, druhým je zvýšit rychlost přemýšlení a sbírání zkušeností. Dyson rozumně předpokládá, že to, jak nějaká bytost subjektivně prožívá plynutí času, závisí na rychlosti, kterou tato bytost zpracovává informaci: čím je využitý mechanismus zpracovávání informace rychlejší, tím více myšlenek a vjemů má bytost za jednotku času a tím rychlejším se jí jeví plynutí času. Tento předpoklad je zábavným způsobem využit ve vědeckofantastickém románu Roberta Foreworda Dragon´s Egg (Dračí vejce), který vypráví příběh společenstva vědomých bytostí žijících na povrchu neutronové hvězdy. Tyto bytosti k udržování své existence. využívají spíše jaderné než chemické procesy. Poněvadž jaderná vzájemná působení jsou vícetisícnásobně rychlejší než chemická, neutronické bytosti zpracovávají informaci mnohem rychleji. Jedna sekunda v lidském časovém měřítku pro ně představuje ekvivalent mnoha let. Společenstvo neutronové hvězdy je v době, kdy se poprvé dostane do styku s lidmi, zcela primitivní, ale rozvíjí se z minuty na minutu a brzy předstihuje lidstvo.
Přijetí této strategie přežití má naneštěstí i druhou stránku: čím rychleji je zpracovávána informace, tím větší bude rozsah rozptylování energie a tím rychleji se vyčerpají zdroje dostupné energie. Možná si myslíte, že to nevyhnutně znamená záhubu našich potomků, ať už by přijali jakoukoli fyzickou podobu. Není to však nevyhnutné. Dyson ukázal, že by mohl existovat důvtipný kompromis, v jehož rámci společenstvo postupně zpomaluje svoji aktivitu, aby ji vyrovnalo s dobíháním vesmíru - řekněme tím, že společenstvo bude přecházet na stále delší období zimního spánku. V průběhu každé fáze spánku by se rozptýlilo teplo z úsilí předcházející aktivní fáze a současně by se akumulovala užitečná energie pro využití v příští aktivní fázi.
Subjektivní čas prožívaný bytostmi, které přijaly tuto strategii, bude představovat stále menší a menší zlomek aktuálního uplynulého času, neboť oddechový čas společenstva se po celou dobu prodlužuje. Ale jak stále opakuji, věčnost je dlouhá doba a my se musíme smířit s protichůdnými omezeními: zdroji směřujícími k nule a časem směřujícím k nekonečnu. Dyson na základě jednoduchého přezkoumání těchto omezení ukázal, že celkový subjektivní čas může být nekonečný, dokonce i když jsou celkové zdroje konečné. Uvádí potěšující statistiku: společenstvo bytostí se stejnou populační hustotou, jakou má dnes lidstvo, by mohlo přetrvat po doslova věčnost při využití celkové energie 6 x 1030 joulů, což je energetická produkce Slunce za dobu pouhých osmi hodin!
Pravá nesmrtelnost si však vyžaduje více než pouze schopnost zpracovávat nekonečné množství informace. Jestliže má nějaká bytost konečný počet mozkových stavů, potom si může pomyslet jen konečný počet odlišných myšlenek. Pokud by měla přetrvat věčně, znamenalo by to, že by se znovu a znovu musela zabývat stejnými myšlenkami. Taková existence se jeví stejně nesmyslnou, jako existence ke zkáze odsouzeného druhu. K úniku z této slepé uličky je nevyhnutné, aby se společenstvo - nebo jediná superbytost - neustále rozrůstalo a tento růst byl neomezený. To ve vzdálené budoucnosti představuje vážnou výzvu, protože hmota se bude vypařovat rychleji, než bude moci být ovládnuta jako mozkový materiál. Zoufalé, avšak důvtipné individuum by se snad v zájmu rozšíření záběru své intelektuální aktivity pokusilo využít nezachytitelných, ale vždypřítomných kosmických neutrin.
Mnoho z Dysonovy diskuse - a vlastně většina spekulací o osudu vědomých bytostí ve vzdálené budoucnosti - mlčky předpokládá, že duševní procesy těchto bytostí je možné vždy zredukovat na nějaký druh digitálního výpočetního procesu. Digitální počítač je nepochybně strojem konečného stavu a proto to, čeho může dosáhnout, má své hranice. Existují však i jiné druhy výpočetních systémů známé jako analogové počítače. Jednoduchým příkladem je logaritmické pravítko. Výpočty je možné provádět tak, že se pravítko neustále nastavuje a v idealizovaném případě zde může

existovat nekonečný počet stavů. Analogové počítače takto unikají několika omezením digitálních počítačů, které mohou ukládat a zpracovávat jen konečné množství informace. Jestliže je informace zakódována do podoby vhodné pro analogové počítače - řekněme prostřednictvím poloh nebo úhlů materiálních objektů - potom se kapacita počítače jeví jako neomezená. Takže může-li superbytost operovat jako analogový počítač, snad nemusí produkovat pouze nekonečný počet myšlenek, ale také nekonečný počet odlišných myšlenek.
Naneštěstí nevíme, zda se vesmír jako celek podobá analogovému nebo digitálnímu počítači. Kvantová fyzika naznačuje, že "kvantován" by měl být i samotný vesmír - to by znamenalo, že do všech jeho vlastností jsou zabudovány spíše diskrétní skoky nežli spojité změny. Ale to je čistý dohad. Navíc ani reálně nerozumíme vztahu mezi duševní a fyzikální aktivitou mozku, myšlenky a zkušenosti se nedají jednoduše převést na představy kvantové fyziky, o kterých tu uvažujeme.
Ať už je podstata mysli jakákoli, není pochyb, že bytosti vzdálené budoucnosti budou čelit vrcholné ekologické krizi: kosmickému rozptýlení veškerých zdrojů energie. Nicméně se zdá, že "životem na nízké obrátky" by mohly dosáhnout jistého druhu nesmrtelnosti. V Dysonově scénáři by jejich aktivity měly stále menší a menší dopad na vesmír chladně lhostejný vůči jejich požadavkům. Tyto bytosti by po nevýslovně dlouhých obdobích odpočívaly v nečinnosti, uchovávaly by si vzpomínky, ale nové by k nim nepřidávaly a téměř by nenarušovaly nehybnou temnotu skonávajícího vesmíru. Ale při dovedné organizaci by ještě stále mohly produkovat nekonečný počet myšlenek a zakusit nekonečný počet zkušeností. V co více bychom mohli doufat?
Kosmická tepelná smrt byla jedním z přetrvávajících mýtů našeho věku. Viděli jsme, jak se Russell a jiní chopili zdánlivě nevyhnutné degenerace vesmíru, předpovězené druhým zákonem termodynamiky, na podporu filozofie ateismu, nihilismu a zoufalství. Dnes rozumíme kosmologii lépe a tak můžeme načrtnout trochu jiný obraz. Vesmír možná ochabuje, ale ještě není v koncích se silami. Druhý zákon termodynamiky určitě platí, ale ještě nemusí nevyhnutně vylučovat kulturní nesmrtelnost.
Ve skutečnosti by věci ani nemusely být tak zlé, jako jsou v Dysonově scénáři. Dosud jsem předpokládal, že vesmír při svém rozpínání a ochlazování zůstává více méně stejnoměrný, ale nemusí to být pravda. Gravitace je zdrojem mnoha nestabilit a dnes pozorovaná stejnoměrnost vesmíru ve velkém měřítku by ve vzdálené budoucnosti mohla uvolnit cestu složitějším uspořádáním. Mírné variace rychlosti rozpínání v různých směrech by například mohly zesílit. Seskupit by se mohly obrovské černé díry, jakmile by jejich vzájemné přitahování překonalo rozptylující efekt kosmologického rozpínání. Tato okolnost vede k pozoruhodnému soupeření. Připomeňme si, že čím je černá díra menší, tím více je horká a tím rychleji se vypařuje. Jestliže dvě černé díry splynou, výsledná díra bude větší a tedy chladnější a proces vypařování se tím podstatně zpomalí. Klíčovou otázkou ve vztahu ke vzdálené budoucnosti vesmíru je, zda rozsah splývání černých děr stačí udržet krok s rychlostí vypařování. Jestliže ano, vždy budou existovat nějaké černé díry, které prostřednictvím Hawkingova záření mohou poskytnout zdroj užitečné energie pro technologicky nadané společenstvo, což snad může odstranit potřebu hibernace. Výpočty, které provedli fyzici Don Page a Randall McKee, naznačují, že toto soupeření je záležitostí na ostří nože a jeho výsledek kriticky závisí na přesné míře nepřetržitého zpomalování rozpínání vesmíru, v některých modelech splývání černých děr opravdu vítězí.
V Dysonově výkladu je také zanedbána možnost, že naši potomci se mohou sami pokusit o obměnu organizace kosmu ve velkém měřítku, aby zachovali jeho dlouhověkost. Astrofyzici John Barrow a Frank Tipler přemýšleli o způsobech, jimiž by pokročilé technologické společenstvo mohlo provést mírné úpravy pohybů hvězd tak, aby vytvořilo speciální, pro sebe výhodné gravitační uspořádání. Například by šlo využít jaderných zbraní k narušení oběžné dráhy nějaké planetky řekněme natolik, aby tato planetka dostala gravitačně prakový impuls od nějaké velké planety, který by vedl ke srážce planetky se Sluncem. Síla nárazu by velmi mírně ovlivnila dráhu Slunce v Galaxii. I když je tento efekt malý, je kumulativní: čím dále by Slunce postoupilo na své dráze, tím více by se posunulo od polohy, kterou by zaujalo bez podobného zásahu. Na vzdálenosti mnoha světelných let by tento posuv mohl sehrát rozhodující roli a proměnit setkání dvou kolemjdoucích na setkání, které by prudce pozměnilo dráhu Slunce po Galaxii. Podobnou manipulací s mnoha hvězdami by šlo vytvořit a řídit shluky astronomických těles ke prospěchu společenstva. A protože příslušné efekty se zesilují a akumulují, neexistuje omezení velikostí systému, který by mohl být takovým způsobem ovládán - tu a tam malým šťouchnutím. Za předpokladu dostatečně dlouhé doby - a naši potomci určitě budou mít k dispozici hojnost času - by šlo manévrovat dokonce s celými galaxiemi.
Toto grandiózní kosmické inženýrství by muselo soupeřit s přirozenými náhodnými příhodami, při nichž jsou hvězdy a galaxie vymršťovány z gravitačně vázaných shluků, jak to bylo popsáno v kapitole 7. Barrow a Tipler soudí, že změnit uspořádání Galaxie prostřednictvím manipulace s planetkami by si vyžádalo 1022 let. Přirozené rozrušení naneštěstí nastává za přibližně 1019 let, takže se zdá, že výsledek bitvy se rozhodujícím způsobem převažuje v prospěch přírody. Naši potomci však mohou získat vládu nad mnohem většími objekty než jsou planetky. Platí rovněž, že rozsah přirozeného rozptylování závisí na oběžných rychlostech objektů. Jestliže jde o celé galaxie, tyto rychlosti s rozpínáním vesmíru klesají. Pomalejší oběžné rychlosti zpomalují také umělou manipulaci, ale tyto dva procesy se nezmenšují stejným tempem. Zdá se, že časem by snad rychlost .přirozeného rozptylování mohla poklesnout pod rychlost, kterou by společenstvo inženýrů mohlo reorganizovat vesmír. To nás staví před zajímavou možnost, že inteligentní bytosti mohou s plynutím času získávat stále více a více vlády nad vesmírem stále méně a méně bohatým na zdroje, až dokud veškerá příroda nebude v zásadě "technologizována" a rozdíl mezi tím, co je přirozené, a tím, co je umělé, nevymizí.
Klíčovým předpokladem Dysonovy analýzy je, že procesy myšlení nevyhnutně rozptylují energii. Lidské myšlenkové procesy tak určitě činí a donedávna se předpokládalo, že jakákoli forma zpracovávání informace by měla zaplatit alespoň minimální termodynamickou cenu. Zdá se to možná divné, ale není to zcela pravda. Počítačoví vědci Charles Bennett a Rolf Landauer z IBM ukázali, že vratný výpočet je principiálně možný. To znamená, že určité (v současnosti zcela hypotetické) fyzikální systémy by mohly zpracovávat informaci bez rozptylování energie. Je možné si představit

systém produkující nekonečný počet myšlenek bez toho, aby potřeboval jakýkoli druh dodávky energie! Není jasné, zda by takový systém informaci kromě jejího zpracovávání také mohl sbírat, neboť jakékoli netriviální získávání informace z prostředí bude v té či oné formě zahrnovat rozptylování energie, i kdyby jen proto, že si toho žádá vytřídění informace z šumu. Proto by taková bytost bez energetických potřeb nemohla disponovat žádným vnímáním vnějšího světa. Mohla by si však pamatovat, jakým vesmír byl. Snad by také mohla snít.
Obraz umírajícího vesmíru byl utkvělou myšlenkou vědců po více než století. Předpoklad, že žijeme v kosmu, který neustále degeneruje v důsledku entropické rozmařilosti, je součástí folklóru vědecké kultury. Ale jak dobře je podložen? Můžeme si být jisti, že veškeré fyzikální procesy nevyhnutně vedou směrem k chaosu a rozpadu?
Jak je tomu s biologií? Cosi nám naznačuje mimořádná nedůtklivost, se kterou se někteří biologové zastávají Darwinovy evoluce. Jejich reakce, domnívám se, pramení z nepříjemného rozporu, že proces, který je zjevně konstruktivní, uvádějí do pohybu fyzikální síly, které by ve své podstatě měly být destruktivní. Život na Zemi pravděpodobně započal jako nějaký druh prvotního slizu. Dnes je biosféra bohatým a komplexním ekosystémem, sítí vytříbeně komplikovaných a vysoce proměnlivých organismů v delikátní vzájemné souhře. Ačkoli biologové, snad v obavě z nadbíhání myšlence o Božím záměru, zavrhují jakékoli důkazy systematického pokroku v evoluci, vědci stejně jako laikovi je zřejmé, že od vzniku života na Zemi se cosi rozvinulo, a to více méně jedním směrem. Problémem je, jak tento rozvoj výstižněji charakterizovat. Co se to vlastně rozvinulo?
Předcházející diskuse o přežití se soustředily na boj mezi informací (neboli uspořádaností) a entropií - přičemž entropie má vždy navrch. Ale je informace sama o sobě veličinou, kterou bychom se zde měli zabývat? Konec konců, systematicky se propracovávat všemi možnými myšlenkami je asi stejně napínavé jako četba telefonního seznamu. Co se počítá, je jistě kvalita zkušenosti - nebo všeobecněji, kvalita informace, kterou shromažďujeme a využíváme.
Do té míry, v níž to dnes můžeme tvrdit, vesmír započal svoji existenci ve více či méně beztvarém stavu. Časem se objevila bohatost a proměnlivost fyzikálních systémů, které dnes pozorujeme. Historie vesmíru je proto historií růstu organizované komplexnosti. Zdánlivě je to paradoxní. Svůj výklad jsem začal popisem druhého zákona termodynamiky, který nám říká, že vesmír umírá, nevyhnutně sklouzává z počátečního stavu nízké entropie do konečného stavu maximální entropie a nulových perspektiv. Zlepšuje se tak stav věcí, nebo zhoršuje?
Ve skutečnosti to žádný paradox není, protože organizovaná složitost je cosi jiného než entropie. Entropie, neboli neuspořádanost, je negací informace, tedy řádu: čím více informací zpracujete - to jest, čím více uspořádanosti vyprodukujete - tím větší entropickou cenu je třeba zaplatit: uspořádanost na tomto místě vede ke vzrůstu neuspořádanosti někde jinde. Takový je druhý zákon, entropie vždy vítězí. Ale organizace á složitost nejsou pouze uspořádaností a informací. Vztahují se na určité typy uspořádanosti a informace. Mezi řekněme baktérií a krystalem je významný rozdal. Oba objekty jsou uspořádané, ale každý odlišným způsobem. Krystalická mřížka představuje sešikovanou stejnoměrnost, ztuhle nádhernou, ale v zásadě nudnou. Vytříbeně uspořádaná organizace baktérie je naproti tomu vzrušivě zajímavá.
Podobá se to subjektivním úsudkům, ale tyto lze podepřít matematikou. V nedávných letech se otevřela celá nová výzkumná oblast, která si stanovila za cíl kvantifikovat takové pojmy, jako je organizovaná komplexnost a která se snaží ustanovit obecné principy organizace, které by se přiřadily k existujícím fyzikálním zákonům. Tento předmět je ještě v plenkách, ale už představuje výzvu mnoha tradičním představám o uspořádanosti a chaosu.
Ve své knize The Cosmic Blueprinf (Kosmická matrice) vyslovuji názor, že ve vesmíru působí určitý druh "zákona narůstající složitosti", který stojí po boku druhého zákona termodynamiky. Tyto zákony si nijak neodporují. Růst organizační složitosti .fyzikálního systému v praxi zvyšuje entropii. V biologické evoluci se například nové, složitější organismy objeví pouze poté, když už proběhlo mnoho destruktivních fyzikálních a biologických procesů (například předčasná smrt špatně přizpůsobených mutantů). Dokonce i utvoření sněhové vločky vytváří odpadové teplo, které zvyšuje entropii vesmíru. Ale, jak už bylo vysvětleno, nejde o přímý obchod, neboť organizace není opakem entropie.
Velmi mne povzbudilo, že mnozí další výzkumníci dospěli k podobnému závěru a že probíhají pokusy o formulaci "druhého zákona" složitosti. Ačkoli je slučitelný s druhým zákonem termodynamiky, zákon složitosti podává velmi odlišný výklad kosmické změny a popisuje vesmír jako progredující (v jistém smyslu, který upřesní zmíněné výzkumy) od převážně beztvarých počátků ke stále důmyslnějším složitým stavům.
V souvislosti s koncem vesmíru má existence zákona narůstající složitosti dalekosáhlý význam. Jestliže organizovaná složitost není opakem entropie, tak potom omezená zásoba negativní entropie ve vesmíru nemusí omezovat úroveň složitosti. Entropická cena zaplacená za postup složitosti je možná čistě náhodná - spíše než zásadní, jako je tomu v případě pouhého uspořádávání, neboli zpracovávání informace. Jestliže je tomu tak, naši potomci mohou být schopni dosáhnout stavů stále vyšší organizační složitosti bez plýtvání ubývajícími zdroji. Ačkoli mohou být omezeni v množství zpracovávané informace, nemusí existovat omezení bohatství a kvality jejich duševních a fyzických aktivit.
V této a předchozí kapitole jsem se pokusil poskytnout zběžný pohled na zpomalující se vesmír, kterému však nikdy zcela nedojde pára, na bizarní stvoření z říše vědecké fantastiky probíjející se bytím tváří v tvář protivenstvím, které si zabezpečují existenci ve stále horších podmínkách a prověřují svoji vynalézavost na neúprosné logice druhého zákona termodynamiky. Obraz jejich zoufalého, ale nikoli nezbytně beznadějného boje o přežití může některé čtenáře rozveselit a r jiné působit depresivně. Mé vlastní pocity jsou smíšené.
Celá tato spekulace však stojí na předpokladu, že rozpínání vesmíru bude pokračovat věčně. Viděli jsme, že to je jen jeden z možných osudů kosmu. Jestliže se rozpínání zbrzďuje v dostatečné míře, potom vesmír jednoho dne může zastav své rozpínání a začít se smršťovat směrem k velkému krachu. Jaká je naděje na přežití v tomto případě?

DEVÁTÁ KAPITOLA
ŽIVOT NA RYCHLO

Žádná lidská nebo jiná vynalézavost nemůže prodloužit život navěky, neexistuje-li ono "navěky". Jestliže vesmír může existovat pouze po konečnou dobu, potom se Armageddonu nelze vyhnout. V kapitole 6 jsem vysvětlil, jak konečný osud vesmíru zcela závisí na jeho celkové hmotnosti. Pozorování
naznačují, že hmotnost vesmíru leží velmi blízko kritické mezní linie mezi věčným rozpínáním a konečným zhroucením. Jestliže se vesmír nakonec začne smršťovat, prožitky jakýchkoli vědomých bytostí se budou velmi lišit od popisu podaného v poslední kapitole.
Přinejmenším raná stadia kosmologického smršťování ještě nejsou hrozivá. Podobně jako míč, který dosahuje vrcholu své dráhy, vesmír začne padat dovnitř velmi pomalu. Předpokládejme na okamžik, že nejvyššího bodu dráhy bude dosaženo za sto miliard let: tehdy ještě bude hořet množství hvězd a naši potomci budou moci optickými dalekohledy sledovat pohyb galaxií - budou vidět, jak kupy galaxií postupně zpomalují svůj ústup a začínají padat zpět k sobě. Galaxie, které dnes pozorujeme, budou v tom čase přibližně čtyřikrát vzdálenější. Astronomové díky vyššímu věku vesmíru dohlédnou přibližně desetkrát dále než nyní dohlédneme my, takže jejich pozorovatelný vesmír zahrne mnohem více galaxií než můžeme spatřit v naší kosmické epoše.
Skutečnost, že světlu zabere průchod napříč vesmírem mnoho miliard let, znamená, že astronomové v době za sto miliard let, ať už to bude kdokoli, smršťování ještě dlouho nezpozorují. Nejdříve zaznamenají, že poměrně blízké galaxie se v průměru častěji přibližují než vzdalují, ale světlo ze vzdálených galaxií se jim stále bude jevit jako posunuté k červenému konci. Úprk směrem dovnitř by byl zjevný pouze po desítkách miliard let. Snadněji by šlo rozpoznat jemnou změnu v teplotě kosmického tepelného záření pozadí. Připomeňme si, že toto záření pozadí je pozůstatkem z velkého třesku a že v současnosti má teplotu přibližně tří stupňů nad absolutní nulou, neboli tří kelvinů. S rozpínáním vesmíru chladne. Za sto miliard let jeho teplota poklesne na přibližně jeden kelvin a nejnižší úrovně dosáhne ve vrcholném bodě rozpínání. Bezprostředně po zahájení smršťování teplota záření pozadí opět začne růst a ke třem kelvinům se vrátí, jakmile se vesmír smrští na stejnou hustotu, jakou má dnes. To si vyžádá dalších sto miliard let: vzestup a pád vesmíru je přibližně symetrický v čase.
Vesmír se jednoduše nezhroutí přes noc. Ve skutečnosti si naši potomci budou dobře žít ještě po desítky miliard let dokonce i po zahájení fáze smršťování. Jestliže však obrat nastane až po mnohem delší době - řekněme za bilión biliónů let, situace nebude tak růžová. V tomto případě hvězdy dohořely už dávno před dosažením vrcholného bodu rozpínání a obyvatelé, kteří zůstali naživu, budou čelit řadě stejných problémů, s jakými se lze setkat ve věčně se rozpínajícím vesmíru.
Ať už k obratu dojde kdykoli, pokud to budeme počítat na roky ode dneška, po stejném počtu let se vesmír vrátí ke své dnešní velikostí. Ale jeho vzhled už bude velmi odlišný. I při obratu za sto miliard let bude existovat mnohem více černých děr a mnohem méně hvězd než existuje dnes. Po obyvatelných planetách proto bude velká poptávka.
V době, kdy se vesmír vrátí ke své dnešní velikostí, bude se smršťovat už celkem rychlým tempem. Své rozměry bude zmenšovat na polovinu za tři a půl miliardy let. Jeho pohyb se přitom bude po celou dobu zrychlovat. Skutečná zábava však začne až přibližně po deseti miliardách let, až začne být vážnou hrozbou vzrůst teploty kosmického tepelného záření pozadí. Až jeho teplota dosáhne asi 300 kelvinů, planeta podobná Zemi by už měla potíže, jak se zbavit vlastního tepla. Začala by se stále více a více nahřívat. První by roztály všechny ledové čepičky nebo ledovce, poté by se začaly vypařovat oceány.
O čtyřicet miliónů let později by teplota záření pozadí dosáhla průměrné teploty dnešní Země. Zemi podobné planety by tehdy byly už zcela nehostinné. Země takovému osudu samozřejmě musela čelit už předtím, neboť Slunce se v příslušném čase proměnilo na červeného obra, ale v této situaci už naši potomci nemají kam jít, není žádného bezpečného přístavu. Tepelné záření vyplňuje vesmír. Celý prostor má teplotu 200 °C, která nadále stoupá. Pokud by se nějací astronomové přizpůsobili vyprahlým podmínkám, nebo sestrojili chladící systémy k oddálení vlastního uvaření, zaznamenali by, že vesmír se nyní smršťuje hektickým tempem a zmenšuje se na polovinu každých několik málo miliónů let. Všechny dosud existující galaxie by se už nedaly rozeznat, poněvadž by už v té době měly splynout. Dosud by však existovalo mnoho prázdného prostoru: srážky mezi jednotlivými hvězdami by byly vzácné.
Podmínky ve vesmíru blížícímu se ke své konečné fázi by stále více připomínaly podmínky, které v něm převládaly krátce po velkém třesku. Astronom Martin Rees provedl studii o konci kosmu. Díky použití obecných fyzikálních principů zkonstruoval obraz závěrečných stadií gravitačního zhroucení vesmíru. Kosmické tepelné záření pozadí by mělo natolik zesílit, že noční obloha by zářila mdlým červeným svitem. Vesmír by se postupně proměňoval na všezahrnující kosmickou výheň, pražící veškeré křehké životní formy, ať už by se skrývaly kdekoli, a odstraňující planetární atmosféry. Červený svit by se postupně přeměnil na žlutý a poté bílý, až dokud by prudké tepelné záření, v němž se koupe vesmír, neohrozilo existenci samotných hvězd. Hvězdy by nadále nebyly schopny vyzařovat svoji energii do okolí, hromadily by teplo ve svém nitru a posléze explodovaly. Prostor by se vyplnil horkým plynem - plazmatem - který by prudce zářil a jehož teplota by se po celou dobu dále zvyšovala.
Jak se tempo změn zrychluje, podmínky se stávají stále extrémnějšími. Vesmír se začíná podstatně měnit v časovém měřítku pouhých sto tisíc let, poté tisíc, poté sto, zrychluje svůj pohyb směrem k úplné katastrofě. Teplota vzrůstá na milióny, poté miliardy stupňů. Hmota, která dnes zabírá obrovské oblasti prostoru, je stlačena do nepatrných objemů. Hmotnost galaxie zabírá prostor o průměru pouhých několika světelných let. Začínají poslední tři minuty.
Teplota natolik vzrůstá, že dochází k rozpadu dokonce i atomových jader. Hmota je zredukována na stejnoměrnou polévku elementárních částic. Dílo velkého třesku a generací hvězd při vytváření těžkých chemických prvků je zničeno za méně času než zabere přečtení této stránky. Atomová jádra stabilní struktury, které přetrvaly po bilióny let - jsou nevratně rozdrcena. S výjimkou černých děr byly všechny ostatní struktury již dávno předtím vypáleny do nebytí. Vesmír je nyní elegantně, ale zlověstně jednoduchý. Zbývají mu už pouhé sekundy života.
Jak se vesmír smršťuje stále rychleji a rychleji, teplota stoupá eskalující rychlostí do výšek, které neznáme. Hmota je

stlačena natolik silně, že nadále už není individuálních protonů a neutronů, existuje pouze kvarková polévka. Gravitační zhroucení se však ještě zrychluje.
Nyní je připravena scéna pro konečnou kosmickou katastrofu, od které nás dělí pouhých několik mikrosekund. Černé díry začínají splývat, přičemž jejich nitra se jen málo liší od obecného gravitačně se hroutícího stavu samotného vesmíru. Jsou pouze oblastmi prostoročasu, které dospěly ke konci trochu brzy a k nimž se nyní připojuje zbytek kosmu.
V závěrečných okamžicích se silou, která převládá nade vším ostatním, stává gravitace a tato nemilosrdně drtí hmotu a prostor. Růst zakřivení prostoročasu se zrychluje. Stále rozsáhlejší a rozsáhlejší oblasti prostoru jsou stlačovány do stále menších a menších objemů. Síla smršťování podle konvenční teorie nekonečně vzrůstá. Drtí veškerou hmotu do nebytí a vymazává každý fyzikální pojem, včetně samotného prostoru a času, v singularitě prostoročasu.
To je konec.
"Velký krach," nakolik mu rozumíme, není pouhým koncem hmoty. Je koncem všeho. Poněvadž ve velkém krachu zaniká samotný čas, je nesmyslné ptát se, co se stane poté, stejně jako je nesmyslné ptát se, co se přihodilo před velkým třeskem. Není žádného "potom" pro nic, co by se mělo stát žádného času dokonce ani pro neaktivitu, ani žádného prostoru pro prázdnotu. Vesmír, který vyšel z nicoty ve velkém třesku, zmizí do nicoty ve velkém krachu a po několika ziliónech let jeho slavné existence nezůstane ani vzpomínka.
Měli bychom podlehnout depresi z takové perspektivy? Co je horší: vesmír, který pomalu degeneruje a rozpíná se věčně do stavu temné prázdnoty, nebo vesmír, který se smršťuje do ohnivého zapomenutí? A jaká je nyní naděje na nesmrtelnou zde, ve vesmíru, jemuž je souzeno spotřebovat všechen čas?
Život před blížícím se velkým krachem vypadá ještě beznadějněji, než ve vzdálené budoucnosti věčně se rozpínajícího vesmíru. Problémem nyní není nedostatek energie, nýbrž její nadbytek. Naši potomci však mohou mít miliardy nebo dokonce bilióny let na to, aby se připravili na finální holocaust. V průběhu této doby by se život mohl rozšířit po celém vesmíru. V nejjednodušším modelu gravitačně se hroutícího vesmíru je celkový objem prostoru ve skutečnosti konečný. Příčinou je to, že prostor je zakřiven a může se spojit se sebou samotným v trojrozměrném ekvivalentu povrchu koule. Proto je myslitelné, že inteligentní bytosti se mohou rozšířit po celém vesmíru a ovládnout jej. Tak dosáhnou postavení, ve kterém budou čelit konfrontaci s velkým krachem všemi možnými dostupnými prostředky.
Ze začátku je obtížné pochopit, proč by se tím měli obtěžovat. Za předpokladu, že existence za velkým krachem je nemožná, jaký by mělo význam prodloužení agonie jen o maličko déle? Ve vesmíru starém bilióny let není v zániku deset miliónů let či jeden milión let před koncem žádný rozdíl. Ale nesmíme zapomínat, že čas je relativní. Subjektivní čas našich potomků bude záviset na rychlosti jejich metabolismu a zpracovávání informace. Znovu, za předpokladu, že mají množství času na to, aby přizpůsobili svoji fyzickou podobu, mohou dokázat přeměnit přibližování se Hádu na nějaký typ nesmrtelnosti.
Rostoucí teplota znamená, že částice se pohybují svižněji a fyzikální procesy probíhají rychleji. Připomeňme si, že zásadním požadavkem na vědomou bytost je schopnost zpracovávat informaci. Ve vesmíru s eskalující teplotou poroste rovněž rychlost zpracovávání informace. Bytosti zužitkovávající termodynamické procesy při teplotě miliardy stupňů se hrozící vyhlazení vesmíru bude jevit vzdáleno celá léta. Jestliže je možné zbylý čas v myslích pozorovatelů natáhnout donekonečna, potom se není třeba obávat konce času. Jak se gravitační zhroucení zrychluje ke konečnému krachu, tak by v principu bylo možné prodlužovat ještě rychleji subjektivní zkušenosti pozorovatelů, což by vyrovnávalo zrychlující se ponořování do Armageddonu zvyšující se rychlostí myšlení.
Bylo by zajímavé vědět, zdali by superbytost obývající gravitačně se hroutící vesmír v průběhu jeho závěrečných okamžiků v konečném čase, který je k dispozici, mohla mít nekonečný počet odlišných myšlenek a prožitků. Tuto otázku studovali John Barrow a Frank Tipler. Odpověď kriticky závisí, na fyzikálních detailech závěrečných stadií gravitačního zhroucení. Jestliže například vesmír při svém přibližování ke konečné singularitě zůstává vcelku stejnoměrný, potom vyvstává velký problém. Ať už bude rychlost myšlení jakákoli, rychlost světla zůstává nezměněna a světlo může za sekundu urazit vzdálenost nejvíce jedné světelné sekundy. Poněvadž rychlost světla definuje mezní rychlost, kterou se může šířit jakýkoli fyzikální efekt, plyne z toho, že v průběhu poslední sekundy nemůže mezi oblastmi vesmíru vzdálenými od sebe více než jednu světelnou sekundu dojít k žádné komunikaci. (To je jiný příklad horizontu událostí, podobného tomu, který zabraňuje úniku informace z černých děr.) S přibližováním konce se velikost komunikovatelných oblastí a počty částic, které jsou v nich obsaženy, scvrkávají směrem k nule. Pro zpracovávání informace nějakým systémem je třeba, aby spolu komunikovaly všechny jeho části. Konečná rychlost světla zjevně omezuje velikost jakéhokoli "mozku," který by mohl existovat v průběhu přibližování se konce a to by zase mohlo omezovat počet odlišných stavů - a tudíž myšlenek - které by tento mozek mohl mít.
Aby se tomuto omezení dalo vyhnout, je nutné, aby se poslední stadia kosmického zhroucení odchylovala od rovnoměrnosti - a ve skutečnosti je tato možnost velmi pravděpodobná. Rozsáhlá matematická zkoumání procesu gravitačního zhroucení naznačují, že jak se vesmír smršťuje, rychlost hroucení v různých směrech se bude měnit. Je zajímavé, že to není jednoduše záležitost vesmíru smršťujícího se rychleji v jednom směru než v jiném. Objevují se oscilace, takže směr nejrychlejšího hroucení se neustále mění. V důsledku toho se vesmír na své cestě k zániku houpá v cyklech stále narůstající prudkostí a komplexnosti.

Barrow a Tipler se domnívají, že tyto komplikované oscilace zapříčiňují vymizení horizontu událostí nejdříve v tom a poté v onom směru, což všem oblastem umožňuje udržet se v dotyku. Jakýkoli supermozek by musel bystře přepínat komunikaci od jednoho směru ke druhému, jak by oscilace přinášely rychlejší hroucení nejdříve v tom a poté v onom směru. Jestliže by tato bytost dokázala udržet krok, potom by jí energii nezbytnou k pohonu myšlenkových procesů mohly propůjčit samotné oscilace. V jednoduchých matematických modelech se dále objevuje nekonečný počet

oscilací v konečném časovém intervalu ukončeném velkým krachem. To poskytuje základ pro nekonečné množství zpracovávání informace, tedy hypoteticky rovněž nekonečný subjektivní čas pro superbytost. Duševní svět tedy nemusí skončit nikdy, dokonce i když fyzikální svět dospěje k prudkému přerušení ve velkém krachu.
Co by mozek s neomezenou kapacitou mohl dělat? Podle Tiplera by nejenže dovedl uvažovat o všech aspektech své vlastní existence a existence vesmíru, který do sebe pojal, ale se svou nekonečnou mocí zpracovávání informace by mohl přistoupit k simulaci imaginárních světů v orgii virtuální reality. Nebylo by žádného omezení počtu možných vesmírů, který by si tímto způsobem mohl zvnitřnit. Poslední tři minuty by se nejenže protáhly na věčnost, ale připustily by také simulovanou realitu nekonečné různorodosti kosmické aktivity.
Tyto (poněkud divoké) spekulace naneštěstí závisí na velmi konkrétních fyzikálních modelech, které se mohou ukázat jako zcela nerealistické. Ignorují také kvantové efekty pravděpodobně převládající v závěrečných stadiích gravitačního zhroucení - efekty, které by celkem dobře mohly stanovit konečné omezení rychlosti zpracovávání informace. Jestliže je tomu tak, potom doufejme, že kosmická superbytost či superpočítač dospěje přinejmenším k dostatečně dobrému pochopení bytí v čase, který bude mít k dispozici, aby se smířila se svou vlastní smrtelností.

DESÁTÁ KAPITOLA
NÁHLÁ SMRT - A ZNOVUZROZENÍ

Dosud jsem předpokládal, že konec vesmíru, ať již zanikne třeskem nebo "fňuknutím" (nebo přesněji, v krachu či hlubokém zmrazení), je předurčen ve velmi vzdálené, snad nekonečné budoucnosti. Jestliže vesmír nakonec podlehne gravitačnímu zhroucení, naši potomci budou disponovat mnohomiliardletým varováním před hrozícím rozdrcením. Ale zbývá zde jiná, obecně více alarmující možnost.
Jak jsem už vysvětlil, když se astronomové dívají na nebesa, nevidí vesmír v jeho současném stavu, zobrazen jako na momentce. Poněvadž světlu ze vzdálených oblastí zabere cesta k nám nějakou dobu, libovolný daný objekt ve vesmíru vidíme takový, jaký byl, když se z něho vyzářilo příslušné světlo. Teleskop je také časoskopem. Čím dále leží příslušný objekt, tím vzdálenější směrem dozadu v čase bude jeho obraz, který dnes vidíme. V důsledku toho je astronomův vesmír zpětným řezem prostorem a časem, odborně označovaným jako "minulý světelný kužel". Zobrazen je na obr. 10.1.

Podle teorie relativity se žádná informace nebo fyzikální vliv nemohou šířit rychleji než světlo. Minulý světelný kužel proto nejenže vyznačuje hranici všech znalostí o vesmíru, ale i o všech jevech, které nás snad mohou ovlivnit v tomto okamžiku. Z toho plyne, že jakýkoli fyzikální vliv postupující k nám rychlostí světla přichází zcela bez varování. Jestliže k nám vzhůru světelným kuželem směřuje katastrofa, nebude žádného zvěstovatele zkázy. Poprvé se o tom dozvíme až v okamžiku, kdy nás to zasáhne.
Uveďme jednoduchý hypotetický příklad. Vybuchlo-li by nyní Slunce, tuto skutečnost bychom zpozorovali až o osm a půl minuty později, což je doba, kterou světlu zabere cesta ze Slunce k nám. Podobně je zcela možné, že nějaká blízká hvězda už vybuchla jako supernova - takový jev by mohl zaplavit Zemi smrtonosným zářením - ale my ještě po několik dalších let zůstaneme v požehnané nevědomosti o této skutečnosti, zatímco se zlá novina řítí rychlostí světla Galaxií. Takže ačkoli vesmír v tomto okamžiku může vypadat celkem klidně, nemůžeme si být jisti, zda, se už nepřihodilo cosi vskutku hrozného.
Nejnáhlejší bouřlivé procesy ve vesmíru způsobují škodu, která se omezuje na bezprostřední kosmické okolí. Smrt hvězd, nebo vnoření se hmoty do černé díry, ovlivní planety a blízké hvězdy, možná do vzdálenosti několika světelných let. Nejvelkolepějšími výbuchy se zdají být jevy postihující jádra některých galaxií. Jak jsem už popsal, někdy jsou při tom vyvrhovány obrovské proudy materiálu rychlostí představující velké procento rychlosti světla a vyzářena jsou rovněž velká množství radiace. Je to nápor v galaktickém měřítku.
Ale co skázonosné jevy vesmírných rozměrů? Může dojít k výbuchu, který by jedním úderem zničil celý vesmír - takřečeno v jeho nejlepším věku? Je možné, že už byla uvedena do pohybu ta vpravdě kosmická katastrofa? Mohly by se její nemilé důsledky dokonce už nyní hnát vzhůru naším minulým světelným kuželem směrem k našemu křehkému koutku v prostoru a čase?
V roce 1980 fyzici Sidney Coleman a Frank De Luccia uveřejnili v časopise Physical Review D zlověstnou práci s neškodně vyhlížejícím názvem "Gravitational Effects on and of Vacuum Decay" (Gravitační efekty na rozpad vakua a rozpadu vakua). Vakuum, o které zde běží, není pouhým prázdným prostorem, nýbrž vakuovým stavem kvantové fyziky. V kapitole 3 jsem vysvětlil, že to, co se nám jeví jako prázdnota, se ve skutečnosti hemží pomíjivou kvantovou aktivitou - objevují se přízračné virtuální částice a opět mizí v náhodném mumraji. Připomeňme si, že tento kvantový stav nemusí být jedinečný, mohlo by existovat několik kvantových stavů, z nichž všechny by se jevily jako prázdné, avšak oplývaly by různými úrovněmi kvantové aktivity a různými s tím souvisejícími energiemi.
Dobře zavedeným principem kvantové fyziky je, že vyšší energetické stavy projevují sklon k rozpadu do nižších energetických stavů. Například atom může existovat v celé řadě vzbuzených stavů. Všechny jsou však nestabilní a atom se proto pokusí o rozpad do stavu nejnižší energie, neboli "základního" stavu, který je stabilní. Podobně se vzbuzené kvantové vakuum pokusí o rozpad do stavu nejnižší energie, neboli stavu "pravého" vakua. Scénář rozpínavého vesmíru je založen na teorii, že velmi raný vesmír prošel stavem vzbuzeného, neboli "falešného" vakua, ve kterém se rozpínal šíleným tempem, ale že po velmi krátké době se tento stav rozpadl do stavu pravého vakua a rozpínání ustalo.
Obvykle se předpokládá, že dnešní stav vesmíru odpovídá pravému vakuu, to jest, že prázdný prostor .v naší epoše je vakuem s nejnižší možnou energií. Ale můžeme si tím být jisti? Coleman a De Luccia přemýšlejí o mrazivé možnosti, že současné vakuum nemusí být pravým vakuem, ale pouhým dlouhodobým metastabilním vakuem, které nás ukolébalo

do falešného pocitu bezpečí, protože přetrvalo po několik miliard let. Známe mnoho kvantových systémů, jako jsou jádra uranu, s poločasem rozpadu několik miliard let. Nespadá současný stav vakua do této kategorie? "Rozpad" vakua zmíněný v názvu Colemanovy a De Lucciovy práce se týká katastrofické možnosti, že současné vakuum může náhle selhat a uvrhnout kosmos do ještě nižšího energetického stavu, což by pro nás mělo příšerné důsledky (a mimo to i pro všechno ostatní).
Klíčem ke Colemanově a De Lucciově hypotéze je jev kvantového tunelování. Nejlépe jej lze ilustrovat jednoduchým případem kvantové částice uvězněné silovou bariérou. Předpokládejme, že částice sedí w malém údolí, které je na každé straně ohraničeno pahorky, jak je to znázorněno na Obr. 10.2. Tyto samozřejmě nejsou reálnými pahorky, například by mohly být elektrickými nebo jadernými silovými poli. V nepřítomnosti energie potřebné k překonání pahorků (neboli k překonání silové bariéry) se částice zdá být uvězněna navždy. Ale připomeňme si, že všechny kvantové částice podléhají Heisenbergovu principu neurčitosti, který jim dovoluje vypůjčovat si na velmi krátké časové intervaly energii. To otevírá pozoruhodnou možnost. Jestliže si nějaká částice může vypůjčit energii postačující k dosažení vrcholu pahorku a stihne se dostat na druhou stranu předtím, než bude muset tuto energii zpětně splatit, potom může uniknout z prohloubeniny. V důsledku toho tato částice "protunelovala" bariérou.

Pravděpodobnost toho, že kvantová částice protuneluje ven z podobné prohloubeniny, velmi citlivě závisí jak na výšce, tak i na šířce bariéry. Čím vyšší je bariéra, tím více energie si částice musí vypůjčit, aby dosáhla jejího vrcholu a tím krátkodobější pak musí být podle principu neurčitosti půjčka. Přes vysoké bariéry je tedy možné tunelovat, jen když jsou také tenké, což částici umožňuje, aby jimi prošla dostatečně rychle pro včasné splacení energetické půjčky. Z tohoto důvodu tunelový efekt nezaznamenáváme v každodenním životě: makroskopické bariéry jsou příliš vysoké a široké, než aby docházelo k významnému tunelování. Lidská bytost principiálně může projít cihlovou zdí, ale pravděpodobnost kvantového tunelování je pro tento zázrak mimořádně malá. V měřítku atomu je však tunelování velmi běžné, tímto mechanismem například dochází k radioaktivitě alfa. Tunelového efektu je využíváno rovněž v polovodičích a dalších elektronických zařízeních, jako je tunelový elektronový mikroskop.
Co se týče problému možného rozpadu dnešního vakua, Coleman a De Luccia spekulují, že kvantová pole tvořící vakuum by se snad mohla nacházet v (metaforické) krajině sil znázorněné na Obr. 10.3. Současný stav vakua odpovídá základně údolí A. Pravé vakuum však odpovídá základně údolí B, které leží níže než A. Vakuum by se rádo rozpadlo z vyššího energetického stavu A do nižšího energetického stavu B, ale odrazuje jej od toho "pahorek," neboli silové pole, oddělující tyto stavy. Ačkoli pahorek zadržuje rozpad, v důsledku tunelového efektu mu zcela nezabraňuje: systém může tunelovat z údolí A do údolí B. Jestliže je tato teorie správná, potom vesmír žije ve vypůjčeném čase, zavěšen nahoře v údolí A, ale se vždypřítomnou šancí, že se v nějakém náhodném okamžiku protuneluje do údolí B.

Coleman a De Luccia matematicky modelovali rozpad vakua, aby vysledovali způsob, kterým k tomuto jevu dochází. Zjistili, že rozpad započne na náhodném místě prostoru ve formě nepatrné bubliny pravého vakua obklopené nestabilním falešným vakuem. Jakmile se utvoří jádro bubliny, bude se rozpínat rychlostí zakrátko blízkou rychlosti světla, přičemž bude pohlcovat stále větší a větší oblast falešného vakua a okamžitě jej proměňovat na pravé vakuum. Energetický rozdíl mezi oběma stavy - který může být souměřitelný s obrovskou hodnotou, o níž jsem pojednal v kapitole 3 - se soustřeďuje ve stěně bubliny, která se žene vesmírem a ničí vše, co se jí octne v cestě.
O existenci bubliny pravého vakua bychom se poprvé dozvěděli tehdy, až by její stěna dorazila. Kvantová struktura našeho světa by se náhle změnila. Nebyli bychom varováni dokonce ani jen v předstihu tří minut. Podstata všech subatomárních částic a jejich vzájemných působení by se v okamžiku drasticky obměnila, například by se okamžitě mohly rozpadnout protony. V takovém případě by se prudce vypařila veškerá látka. To, co by zbylo, nalézalo by se poté uvnitř bubliny pravého vakua - ve stavu věcí velmi odlišném od toho, co pozorujeme v tomto okamžiku.
Nejvýznamnější rozdíl se týká gravitace. Coleman a De Luccia zjistili, že energie a tlak pravého vakua by vytvořily natolik intenzívní gravitační pole, že oblast zaujatá bublinou by podlehla gravitačnímu zhroucení, a to v méně než několika mikrosekundách, dokonce i při rozpínání stěny bubliny. Tentokrát by to nebyl žádný mírný pád k velkému krachu, namísto toho by šlo o prudkou anihilaci všeho, jak by se nitro bubliny smršťovalo do prostoročasové singularity. Stručně řečeno, okamžitý krach. "Je to skličující," poznamenávají autoři obdivuhodně zdrženlivě a pokračují:
"Možnost, že žijeme ve falešném vakuu, nikdy nebyla povzbuzujícím tématem úvah. Rozpad vakua je vrcholnou ekologickou katastrofou, ... po rozpadu vakua nejenže není možný život, tak jak jej známe, ale i chemie, tak jak ji známe. Člověk však mohl čerpat stoickou útěchu z možnosti, že nové vakuum by snad postupem času podporovalo když už ne život, tak jak jej známe, pak přinejmenším nějaké struktury schopné radosti z poznání. Tato možnost byla nyní odstraněna."
Hrozné důsledky rozpadu vakua se po uveřejnění Colemanovy a De Lucciovy práce staly předmětem mnoha diskusí mezi fyziky a astronomy. V navazující studii uveřejněné v časopise Nature, kosmolog Michael Turner a fyzik Frank Wilczek dospěli k apokalyptickému závěru: "Z hlediska mikrofyziky je pak zcela myslitelné, že naše vakuum je metastabilní někde ve vesmíru by se bez varování mohlo vytvořit jádro bubliny pravého vakua a rozpínat se rychlostí světla." Nedlouho poté, co se objevila Turnerova a Wilczekova práce, Piet Hut a Martin Rees, rovněž článkem v Nature, vyvolali poplašný přízrak, že vytvoření jádra vakuové bubliny ničící vesmír by nedopatřením mohlo být uvedeno do pohybu samotnými částicovými fyziky! Znepokojení se týkalo toho, že velmi vysokoenergetické srážky subatomárních částic by mohly vytvořit podmínky - byt jen na pouhý okamžik ve velmi malé oblasti prostoru - které by vakuum povzbudily k rozpadu. Jakmile by došlo k přechodu, dokonce i v mikroskopickém měřítku, okamžité nafouknutí nově utvořené bubliny do astronomických rozměrů by nešlo zastavit. Neměli bychom proto zakázat výstavbu nové

generace urychlovačů částic?
Všichni uvítali, že Hut a Rees nimi vyvolaný přízrak sami poněkud zažehnali. Poukázali na skutečnost, že pozorované kosmické paprsky dosahují vyšších energií než jsou ty, kterých jsme schopni dosáhnout uvnitř našich urychlovačů částic. Tyto kosmické paprsky narážely na jádra atomů v atmosféře Země po miliardy let bez toho, aby uvedly do pohybu rozpad vakua. Naproti tomu, při několikasetnásobném či podobném zvýšení energií urychlovačů bychom mohli vytvořit
energetičtější srážky, než k jakým kdy došlo při dopadech kosmických paprsků na Zemi. Skutečným problémem zde ale není to, zdali by mohlo dojít k utvoření jádra bubliny na Zemi, nýbrž zdali k tomu mohlo dojít kdekoli v pozorovatelném vesmíru v libovolném čase od velkého třesku. Hut a Rees poznamenali, že při velmi vzácných příležitostech by mělo docházet k čelným srážkám dvou kosmických paprsků s energiemi miliardkrát vyššími než jsou energie dosahované v existujících urychlovačích. Takže autoritativní zákazy prozatím nepotřebujeme.
Je paradox, že stejný jev utvoření jádra vakuové bubliny, který v jedněch souvislostech ohrožuje samotnou existenci kosmu - by se v mírně odlišném kontextu mohl projevit jako jeho jediná možná spása. Jediným jistým způsobem, jak uniknout smrti vesmíru, je vytvořit nový vesmír a uchýlit se do něj. To by mohlo znít jako poslední výkřik fantastických spekulací, ale "dětské vesmíry" (baby universes) se v nedávných letech staly hojně diskutovaným tématem a argumenty v prospěch jejich existence jsou seriózní.
Problém původně otevřela skupina japonských fyziků studujících vlastnosti jednoduchého matematického modelu chování malé bubliny falešného vakua obklopené pravým vakuem - situaci opačnou vzhledem na to, co jsem právě rozebral. Předpověděli, že falešné vakuum by se nafouklo ve stylu popsaném v kapitole 3 a ve velkém třesku by se rychle rozeplo na rozsáhlý vesmír. Na první pohled se zdá, že rozpínání bubliny falešného vakua musí zapříčinit postup stěny bubliny, takže oblast falešného vakua poroste na úkor oblasti pravého vakua. Ale to je v rozporu s předpokladem, že právě pravé vakuum s nižší energií by mělo vytlačit falešné vakuum s vyšší energií. Nemělo by to probíhat naopak.
Napodiv, při pohledu z oblasti pravého vakua se nejeví, že by se oblast prostoru zabíraná bublinou falešného vakua rozpínala. Tato oblast ve skutečnosti vypadá spíše jako černá díra. (V tomto ohledu připomíná stroj času Tardis doktora Who, který se jeví větší zevnitř než zvenčí.) Hypotetický pozorovatel umístěný uvnitř bubliny falešného vakua by spatřil, jak se jeho vesmír rozepíná na obrovské rozměry, ale při pohledu zvenčí bublina zůstává kompaktní.
Tento podivný stav věcí lze znázornit analogií s gumovou plochou, která se na jednom místě vyduje a nafoukne do podoby balónu (viz Obr. 10.4). Balón vytváří určitý druh dětského vesmíru spojený s mateřským vesmírem jakousi pupeční šňůrou, neboli "červi dírou". Hrdlo červi díry se z mateřského vesmíru jeví jako černá díra. Tato konfigurace je nestabilní, černá díra se rychle vypařuje Hawkingovým efektem a mizí z mateřského vesmíru. V důsledku toho se červi díra usekne a dětský vesmír, nyní odpojený od mateřského vesmíru, stává se novým svéprávným a nezávislým vesmírem. Vývoj dětského vesmíru, který následuje po tomto "vypučení" z mateřského vesmíru, je podle předpokladu stejný, jaký byl v případě našeho vesmíru: krátké období inflace, po kterém následuje obvyklé zpomalování. Z tohoto modelu plyne zřejmý důsledek, že náš vlastní vesmír rovněž vznikl tímto způsobem - jako potomek jiného vesmíru.
Původce inflační teorie Alan Guth a jeho kolegové zkoumali, zda předcházející scénář připouští bizarní možnost vytvoření nového vesmíru v laboratoři. Na rozdíl od znepokojujícího případu rozpadu falešného vakua na bublinu pravého vakua neohrožuje utvoření bubliny falešného vakua obklopené pravým vakuem existenci vesmíru. I když tento experiment může uvést do pohybu velký třesk, výbuch by byl zcela uvězněn uvnitř nepatrné černé díry, která se potom rychle vypaří. Nový vesmír by si vytvořil svůj vlastní prostor a vůbec by neujídal z našeho.

Ačkoli tato myšlenka zůstává ve vysoké míře pouhou domněnkou a je založena výhradně na matematickém teoretizování, některé studie naznačují, že tento způsob vytvoření nových vesmírů může být proveditelný soustředěním velkého množství energie pečlivě směřovaným způsobem. Ve velmi vzdálené budoucnosti, až náš vlastní vesmír začne být neobyvatelným, nebo se bude přibližovat k velkému krachu, naši potomci se mohou rozhodnout odejít za lepším prostřednictvím iniciace procesu pučení a poté se přeškrábou přes pupeční šňůru červi díry do sousedního vesmíru ještě předtím, než se tento odrazí pryč - což by bylo emigrací ve vrcholném smyslu slova. Nikdo samozřejmě neví jak, nebo zdali vůbec, by tyto neohrožené bytosti mohly tak velký počin uskutečnit. Přinejmenším cesta červi dírou by byla velmi nepohodlná, jestliže by černá díra, do níž se při vstupu musí vnořit, nebyla dost velká.
Pokud budeme ignorovat takové praktické záležitosti, samotná možnost existence dětských vesmírů otevírá perspektivu té pravé nesmrtelnosti - nejen pro naše potomky, ale i pro vesmíry. Spíše než abychom přemýšleli o životě a smrti vesmíru, měli bychom naproti tomu přemýšlet o rodině vesmíru množících se ad infinitum, přičemž z každého z nich se by se zrodily nové generace vesmírů, snad v celých tisících. Při takové kosmické plodnosti by možná seskupení vesmírů - neboli metavesmír, jak by se to ve skutečnosti mělo nazývat nemuselo mít žádného začátku nebo konce. Každý jednotlivý vesmír by šlo charakterizovat zrozením, evolucí a smrtí po způsobu popsaném v předcházejících kapitolách této knihy, ale jejich soubor jako celek by existoval věčně.
Tento scénář vyvolává otázku, zda by vytvoření našeho vlastního vesmíru bylo přirozenou záležitostí (analogickou přirozenému zrození dítěte), nebo výsledkem záměrné manipulace ("dítětem ze zkumavky"). Umíme si představit, že dostatečně pokročilé a altruistické společenstvo bytosti v mateřském vesmíru by se mohlo rozhodnout vytvořit dětské vesmíry, nikoli proto, aby jim tyto poskytly únikovou cestu pro jejich vlastní přežití, ale pouze aby zvěčnily možnost života existujícího někde jinde, za předpokladu, že jejich vlastní vesmír je odsouzen ke zkáze. To odstraňuje potřebu vypořádat se s obrovskými překážkami, jimž čelí každý pokus o sestrojení průchodné červi díry do dětského vesmíru.
Není jasné, v jakém rozsahu by dětský vesmír nesl genetické vtištění svého mateřského vesmíru. Fyzici doposud nechápou ani to, proč různé přírodní síly a částice hmoty mají ty vlastnosti, které mají. Na jedné straně tyto vlastnosti

mohou být součástí přírodních zákonů, které je stanovily jednou a provždy v libovolném vesmíru. Některé z těchto vlastností však mohou být výsledkem náhod evoluce. Celkem dobře například může existovat několik stavů pravého vakua, z nichž všechny by měly stejnou nebo téměř stejnou energii. Mohlo by to být tak, že když se na konci inflační éry rozpadá falešné vakuum, jednoduše si náhodně zvolí jeden z těchto mnoha možných stavů vakua. Co se týče fyziky vesmíru, volba stavu vakua bude diktovat mnohé z vlastností částic a sil, které mezi částicemi působí, a mohla by diktovat dokonce i počet prostorových dimenzí. Dětský vesmír by tak mohl mít zcela odlišné vlastnosti od svého mateřského vesmíru. Život by snad byl možný jen ve velmi malém počtu potomků, v nichž by fyzika více méně blízce připomínala fyziku našeho vesmíru. Nebo snad existuje jistý druh principu dědičnosti, který zajišťuje, že dětské vesmíry věrně zdědí vlastnosti svých mateřských vesmírů, kromě případů nepatřičné mutace. Lee Smolin naznačil, že by dokonce mohl existovat určitý typ darwinovské evoluce operující mezi vesmíry, který nepřímo povzbuzuje objevení se života a vědomí. Ještě zajímavější je možnost, že vesmíry jsou vytvářeny inteligentní manipulací v mateřském vesmíru a záměrně vybaveny vlastnostmi nevyhnutnými pro to, aby zrodily život a vědomí.
Žádná z těchto myšlenek nepředstavuje mnohem více než troufalou domněnku, ale kosmologie je dosud ještě velmi mladou vědou. Výše zvažované fantastické spekulace slouží přinejmenším jako protilátka proti chmurným prognózám rozvinutým v předcházejících kapitolách. Je v nich náznak, že ačkoli naši potomci budou muset jednoho dne čelit posledním třem minutám, vědomé bytosti určitého druhu mohou existovat věčně.

JEDENÁCTÁ KAPITOLA
SVĚTY BEZ KONCE?

Bizarní myšlenky, o nichž bylo pojednáno na konci minulé kapitoly, nejsou jedinými možnostmi, které byly probírány při hledání cesty, jak se vyhnout kosmické zkáze. Kdykoli přednáším o konci vesmíru, obvykle se někdo zeptá na cyklický model. Myšlenka je tato. Vesmír se rozepne na maximální velikost a poté se smršťí k velkému krachu, ale namísto toho, aby sám sebe zcela vyhladil, nějakým způsobem se "odrazí" a vstoupí do dalšího cyklu rozpínání a smršťování (viz Obr. 11.1). Tento proces může pokračovat věčně a v tom případě by vesmír neměl žádného skutečného počátku nebo konce, i když každý jednotlivý cyklus by byl vyznačen zřetelným počátkem a zakončením. Je to teorie, která přitahuje obi zvláště lidi ovlivněné hinduistickou a buddhistickou mytologií, v nichž cykly zrození a smrti, stvoření a zničení zaujímají význačné postavení.
Načrtl jsem dva odlišné vědecké scénáře konce vesmíru. Každý z nich znepokojuje svým vlastním způsobem. Perspektiva vesmíru, který zcela vyhlazuje sebe sama ve velkém krachu, je alarmující, jakkoli daleko v budoucnosti může tento jev spočívat. Vesmír, který přetrvává po nekonečnou dobu ve stavu pusté prázdnoty po konečném časovém intervalu zářivé aktivity, je naproti tomu dalekosáhle depresivní. Skutečnost, že oba zmíněné modely snad umožňují superbytostem dosáhnout neomezené moci zpracovávání informace, se jeví jako slabá útěcha pro nás, teplokrevné Homo sapiens.
Přitažlivost cyklického modelu spočívá v tom, že se vyhýbá přízraku totálního zničení bez toho, aby jej nahradil věčnou degenerací a rozpadem. Aby se cykly vyhly marnosti nekonečného opakování, měly by se nějak vzájemně lišit. V jedné populární verzi této teorie se každý nový cyklus vynořuje jako Fénix z ohnivé smrti svého předchůdce. Z tohoto prvotního stavu rozvíjí nové systémy a struktury a zkoumá svoji vlastní bohatou novost předtím, než je v budoucím velkém krachu tabulka opět smazána.
Ačkoli se tato teorie může jevit jako přitažlivá, trpí naneštěstí vážnými fyzikálními problémy. Jedním z nich je odhalit věrohodný proces, který by dovolil, aby se vesmír při nějaké velmi vysoké hustotě spíše odrazil, než aby se sám zničil ve velkém krachu. Musel by existovat nějaký druh antigravitační síly, jejíž účinky začnou převládat v pozdních stadiích gravitačního zhroucení, aby šlo obrátit hybnost smršťování a bylo možno působit proti strašné drtící síle gravitace. V současnosti není známa žádná taková síla a jestliže by existovala, její vlastnosti by musely být velmi podivné.

Čtenář si může vzpomenout, že existence přesně takové mocné odpudivé síly je hypoteticky předpokládána v inflační teorii velkého třesku. Připomeňme si však, že vzbuzené vakuum, které vytváří inflační sílu, je vysoce nestabilní a brzy se rozpadá. Ačkoli domněnka, že nepatrný, jednoduchý, nově se rodící vesmír by měl vzniknout v takovém nestabilním stavu, je myslitelná, zcela jinou věcí je tvrdit, že vesmíru smršťujícímu se ze složitého makroskopického stavu by se mohlo podařit všude obnovit stav vzbuzeného vakua. Situace je zde analogická balancování tužky na jejím hrotu. Tužka se brzy převrátí, to je snadné. Mnohem obtížnější by bylo znovu vyťuknout tužku zpátky na její hrot.
Dokonce i kdybychom předpokládali, že takové problémy se dají nějak obejít, k myšlence cyklického vesmíru se nadále pojí vážné potíže. O jedné z nich jsem hovořil v kapitole 2. Konečnou rychlostí se vyvíjející systémy, které podléhají nevratným procesům, začnou po uplynuti konečné časové periody projevovat sklon přibližovat se ke svému závěrečnému stavu. V devatenáctém století právě tento princip vedl k předpovědi tepelné smrti vesmíru. Zavedení kosmických cyklů tuto obtíž neobchází. Vesmír můžeme přirovnat k hodinám, které pomalu dobíhají. Jeho aktivita se nakonec nevyhnutně zastaví, pokud se nějak znovu "nenatáhne". Ale jaký mechanismus by mohl znovu natáhnout kosmické hodiny, aniž by sám nepodléhal nevratné změně?
Fáze gravitačního zhroucení vesmíru na první pohled vypadá jako obrácení fyzikálních procesů, ke kterým dochází ve fázi rozpínání. Rozbíhající se galaxie jsou přitahovány zpátky dohromady, chladnoucí záření pozadí se opětovně zahřívá a složité prvky jsou rozbíjeny na polévku elementárních částic. Stav vesmíru právě před velkým krachem se značně podobá jeho stavu právě po velkém třesku. Dojem symetrie je však jen povrchový. Klíčem k pochopení situace je zde skutečnost, že astronomové žijící v době obratu od rozpínání ke smršťování budou dále pozorovat, jak se vzdálené galaxie rozbíhají, a to ještě po mnoho miliard let. Vesmír vypadá jako by se dosud rozpínal, dokonce i když se už smršťuje. Tato iluze vzniká v důsledku zpožďování pozorovaných jevů, které způsobuje konečná rychlost světla.

V třicátých létech kosmolog Richard Tolman ukázal, jak toto zpožďování ničí zdánlivou symetrii cyklického vesmíru. Příčina je jednoduchá. Vesmír začíná s velkým množstvím tepelného záření zanechaného z velkého třesku. Postupem času je toto záření dále zmnožováno světlem hvězd, takže po několika málo miliardách let je v akumulovaném hvězdném světle pronikajícím prostor téměř tolik energie jako v teple pozadí. To znamená, že vesmír se přibližuje k velkému krachu se značně větším množstvím záření, které je v něm rozptýleno, než kolik v něm bylo bezprostředně po velkém třesku. Takže až se vesmír nakonec smrští zpátky na stejnou hustotu, jakou má dnes, bude o něco více horký.
Přídavek tepelné energie jde na úkor látkového obsahu vesmíru, - děje se tak prostřednictvím Einsteinova vztahu E = mc2. Uvnitř hvězd produkujících tuto tepelnou energii jsou lehké prvky, jako je vodík, zpracovávány na těžké prvky, jako je železo. Jádro železa normálně obsahuje padesát šest protonů a třicet neutronů. Mohli byste proto předpokládat, že takové jádro bude mít hmotnost padesáti šesti protonů a třiceti neutronů, ale nemá. Seskupené jádro je přibližně o 1 procento-lehčí než je součet hmotností jednotlivých částic. "Chybějící" hmotnost jde na účet velké vazbové energie vytvářené silnou jadernou silou, hmotnost představovaná touto energií je uvolněna na krytí hvězdného světla. Celkovým výsledkem toho všeho je čistý přenos energie z látky na záření. To má důležitý účinek na způsob smršťování vesmíru, neboť gravitační přitažlivost záření se zcela liší od gravitační přitažlivosti látky o stejné energii hmotnosti. Tolman ukázal, že přídavek záření ve fázi smršťování zapříčiňuje, že vesmír se smršťuje rychleji. Jestliže by pak nějakým způsobem došlo k odrazu, vesmír by se rovněž rozpínal rychleji. Jinak řečeno, každý velký třesk by byl větší než minulý. V důsledku toho by se vesmír v každém dalším cyklu rozepnul na větší rozměry, takže cykly by se postupně zvětšovaly a prodlužovaly (viz Obr. 11.2).

Nevratný růst kosmických cyklů není žádnou záhadou. Je příkladem nevyhnutelných důsledků druhého zákona termodynamiky. Akumulující se záření představuje růst entropie, který se gravitačně projevuje ve formě větších a větších cyklů. Myšlenka pravé cykličnosti tím však končí: vesmír se zjevně vyvíjí s časem. Směrem do minulosti cykly kaskádovitě splývají do komplikovaného a zamotaného počátku, zatímco budoucí cykly se rozšiřují bez omezení, až dokud nebudou tak dlouhé, že libovolný daný cyklus v jeho největší části nepůjde rozlišit od scénáře tepelné smrti věčně se rozpínajících modelů.
Od časů Tolmanovy práce kosmologové dokázali odhalit další fyzikální procesy, které narušují symetrii fází rozpínání a smršťování každého cyklu. jedním příkladem je vytváření černých děr. Ve standardním obraze vesmír počíná bez jakýchkoli černých děr, ale jak čas plyne, hvězdy se gravitačně hroutí a vytváření černých děr zapříčiňují i další procesy. S vývojem galaxií se objevuje stále více a více černých děr. V průběhu pozdních stadií gravitačního zhroucení vesmíru
bude stlačování povzbuzovat vytváření ještě více děr. Některé z těchto černých děr mohou splynout a vytvořit větší díry. Gravitační uspořádání vesmíru blízko velkého krachu je proto mnohem komplikovanější - je významně děravější - než bylo blízko velkého třesku. Jestliže by se vesmír měl odrazit, budoucí cyklus by započal s podstatně více černými děrami než tento.
Zdá se být nevyhnutným závěrem, že jakýkoli cyklický vesmír, který připouští, aby se z jednoho cyklu do druhého šířily fyzikální struktury a systémy, nemůže uniknout degenerativním vlivům druhého zákona termodynamiky. Stále tam bude tepelná smrt. Jedním způsobem, jak se vyhnout tomuto chmurnému závěru, je předpokládat, že fyzikální podmínky při odrazu jsou natolik extrémní, že žádná informace o dřívějších cyklech nemůže proniknout do cyklů budoucích. Všechny předcházející fyzikální objekty jsou zničeny, všechny vlivy zaniknuty. Účinkem toho se vesmír znovuzrodí, aniž by v něm zůstala byt jen stopa čehokoli předcházejícího.
Je však těžké pochopit, v čem by spočívala přitažlivost takového modelu. Jestliže je každý cyklus fyzikálně oddělen od ostatních, jaký smysl má hovořit, že cykly po sobě následují, nebo že představují stejný vesmír, který nějak přetrvává? Cykly jsou zcela odlišnými, oddělenými vesmíry a snad by šlo stejně dobře říci, že existují paralelně, spíše než v posloupnosti. Situace zde připomíná doktrínu převtělování, při němž však znovuzrozená osoba nemá žádných vzpomínek na předchozí životy. V jakém smyslu pak lze říci, že převtělováním prochází stejná osoba?
Jinou možností je, že dochází k nějakému narušení druhého zákona termodynamiky, takže při odraze se "hodiny natáhnou". Co to znamená pro poškození zapříčiněné druhým zákonem, jestliže má být odčiněno? Vezměme si jednoduchý příklad druhého zákona v činnosti: řekněme vypařování parfému z lahvičky. Obrácení osudu parfému by obnášelo obrovskou organizační konspiraci, při níž by každá molekula parfému v místnosti musela být odťuknuta ,zpátky do lahvičky. "Film" by se odvíjel zpětně. Právě na základě druhého zákona termodynamiky získáváme rozdíl mezi minulostí a budoucností - šipku času. Narušení druhého zákona proto znamená tolik, jako obrácení chodu času. Předpokládat, že čas se jednoduše obrátí, když už bude slyšet praskot zkázy, to je trochu banální únik před kosmickou smrtí. Jestliže začne být běh věcí drsný, jen spusťte zpětné promítání velkého kosmického filmu! Tato myšlenka nicméně některé kosmology přitahovala. V šedesátých létech Thomas Gold naznačil, že ve fázi smršťování opětovně se smršťujícího vesmíru by čas mohl plynout obráceně. Poukázal na skutečnost, že takový obrat by zahrnoval i mozkové funkce bytostí, které by v té době existovaly a posloužil by tak k obrácení jejich subjektivního vnímání času. Obyvatelé fáze smršťování by proto neviděli, že vše kolem nich "běží zpátky", ale prožívali by kupředu směřující tok událostí stejným způsobem, jako jej prožíváme my. Například by vnímali, že vesmír se rozpíná, nikoli že se smršťuje. Jejich očima by to byl náš vesmír, který by se smršťoval a naše mozkové procesy, které by probíhaly zpětně.
V osmdesátých létech si s myšlenkou vesmíru, v němž dochází k obrácení času, chvíli pohrával i Stephen Hawking, aby ji nakonec opustil a přiznal, že to byla jeho "největší chyba". Hawking nejdříve věřil, že aplikace kvantové mechaniky na případ cyklického vesmíru vyžadovala detailní časovou symetrii. Ukazuje se však, že tomu tak není - přinejmenším nikoli v standardní formulaci kvantové mechaniky. Murray Gell-Mann a James Hartle se nedávno zabývali obměnou pravidel kvantové mechaniky, při níž je časová symetrie jednoduše zavedena, a poté se tázali, zda by měl tento stav

věcí jakékoli důsledky v naší kosmické epoše. Odpověď dosud není jasná.
Velmi odlišný způsob, jak se vyhnout kosmické zkáze, navrhl ruský fyzik Andrej Linde. jeho základem je rozpracování teorie inflačního vesmíru, o níž bylo pojednáno v kapitole 3. V původním scénáři této teorie se předpokládalo, že kvantový stav velmi raného vesmíru odpovídal konkrétnímu vzbuzenému vakuu, které dočasně pohánělo bouřlivé rozpínání. V roce 1983 Linde naznačil, že kvantový stav raného vesmíru by se naproti tomu mohl chaotickým způsobem měnit z místa na místo: zde nízká energie, tam středně vzbuzená a v některých oblastech velmi vzbuzená. Kde byl stav vzbuzen, tam nastala inflace. Lindeho výpočty chování kvantového stavu dále ukázaly, že vysoce vzbuzené stavy vedou k nejrychlejší inflaci a rozpadají se nejpomaleji, takže čím vzbuzenější by byl stav v konkrétní oblasti prostoru, tím rozsáhlejší by byla míra inflace v této oblasti. Je zjevné, že po velmi krátké době by se oblasti prostoru, v nichž byla energie náhodně nejvyšší a inflace nejrychlejší, nafoukly nejvíce a zabraly by lví podíl celkového prostoru. Linde situaci přirovnává k darwinovské evoluci, nebo k ekonomice. Úspěšný kvantový přechod do velmi vzbuzeného stavu, i když je přitom nutné vypůjčit si množství energie, je bezprostředně odměněn obrovským vzrůstem objemu příslušné oblasti. Takže vysoce se energeticky zadlužující oblasti s následnou superinflací brzy začínají převládat.
V důsledku chaotické inflace by se vesmír rozdělil na hromadu minivesmírů, neboli bublin, z nichž některé by procházely přímo šílenou inflací a jiné vůbec žádnou. Protože některé oblasti - jednoduše jako výsledek náhodných výkyvů budou mít velmi velkou energii vzbuzeného stavu, v těchto oblastech dojde k mnohem rozsáhlejší inflaci, než se předpokládalo v původní teorii. Ale poněvadž tyto oblasti jsou přesně těmi, které projdou nejrozsáhlejší inflací, náhodně zvolený bod v postinflačním vesmíru by se velmi pravděpodobně nalézal právě v takové vysoce nafouknuté oblasti. Naše vlastní umístění v prostoru tedy velmi pravděpodobně leží hluboko uvnitř supernafouknuté oblasti. Linde vypočítal, že takové "velké bubliny" by se mohly nafouknout na násobek původních rozměrů, který by šlo vyjádřit 10 na 108, což je jednička následovaná stovkou miliónů nul!
Naše vlastní megadoména by byla pouze jednou z nekonečného počtu vysoce nafouknutých bublin, takže vzhled vesmíru v obrovském velikostním měřítku by byl stále mimořádně chaotický. Uvnitř naší bubliny - která se táhne do úžasně velkých vzdáleností za hranice v současnosti pozorovatelného vesmíru - jsou látka a energie rozloženy přibližně rovnoměrně, ale mimo naší bubliny leží .další bubliny, stejně jako oblasti, kde dosud probíhá proces inflace. V Lindeho modelu inflace ve skutečnosti nikdy nepřestává: vždy existují oblasti prostoru, kde probíhá inflace, kde se utvářejí nové bubliny, dokonce i když jiné procházejí svým životním cyklem a umírají. jde tedy o formu věčného vesmíru, podobnou teorii dětských vesmírů, o které bylo pojednáno v minulé kapitole, kde život, naděje a vesmíry pramení věčně. Vytváření nových bublinových vesmírů nemá konce a pravděpodobně ani začátku, ačkoli v této souvislosti v současnosti probíhá určitý spor.
Nabízí existence jiných bublin našim potomkům záchranné lano? Mohou se vyhnout zkáze kosmu - nebo přesněji zkáze bubliny - tím, že se po naplnění času vždy přesunou do jiné, mladší bubliny? Přesně této otázce se Linde věnoval ve svém heroickém článku "Život po inflaci", který byl uveřejněn v roce 1989 v časopise Physics Letters. "Z těchto výsledků plyne, že život v inflačním vesmíru nikdy nevymizí," napsal. "Tento závěr naneštěstí ještě automaticky neznamená, že můžeme být velmi optimističtí, co se týče budoucnosti lidstva." Linde poukazuje na to, že kterákoli konkrétní doména, neboli bublina, se bude pomalu stávat neobyvatelnou, a uzavírá: "Jedinou možnou strategií přežití, kterou v tomto okamžiku vidíme, je přesunout se ze starých domén do nových."
Nepříliš povzbudivé ale je, že velikost typické bubliny v Lindeho verzi inflační teorie je přímo obrovská. Linde vypočítal, že nejbližší bublina mimo naší vlastní by mohla být tak daleko, že její vzdálenost ve světelných letech by musela být vyjádřena jedničkou následovanou několika milióny nul to je natolik veliké číslo, že jeho plné vypsání by si vyžádalo celou vlastní encyklopedii! Dokonce i rychlostí blízkou rychlosti světla by dosažení jiné bubliny zabralo podobný počet let, jestliže bychom se v důsledku nějaké mimořádně šťastné náhody nenalézali právě u okraje naší bubliny. A dokonce i taková šťastná okolnost, zdůrazňuje Linde, předpokládá, že naše doména bude pokračovat v rozpínání předpovídatelným způsobem. Ten nejnepatrnější fyzikální efekt - který může být v současné epoše zcela nenápadný - by nakonec mohl určit způsob rozpínání vesmíru, jakmile se látka a záření, které dominují v současnosti, nekonečně zředí. Ve vesmíru by například mohla přetrvat mimořádně slabá inflační síla, která je v současnosti zcela zahlcena gravitačními účinky hmoty, ale jejíž účinky by se vzhledem na obrovské moře času potřebného k úniku bytostí z naší bubliny nakonec projevily. V takovém případě by se vesmír po dostatečně dlouhé době znovu začal nafukovat - nikoli v šíleném stylu velkého třesku, ale mimořádně pomalu. Šlo by o jakousi slabou imitaci velkého třesku. Toto chabé "fňuknutí", jakkoli slabé, by však pokračovalo věčně. Ačkoli by se tím růst vesmíru zrychloval pouze nepatrně, skutečnost, že se vůbec zrychluje, má kriticky důležitý fyzikální důsledek. Výsledným efektem je totiž vytvoření horizontu událostí uvnitř bubliny, která by se potom ve svém nitru podobala spíše černé díře a představovala by stejně účinnou past. Jakékoli přežívající bytosti by byly bezmocně pochovány hluboko uvnitř naší bubliny, neboť jakkoli rychle by se pokoušely dosáhnout okraje bubliny, tento okraj by se jim v důsledku inflace vzdaloval ještě rychleji. Lindeho výpočty, i když se zakládají na fantaziích, názorně ukazují, jak konečný osud lidstva nebo našich potomků může záviset na fyzikálních efektech, které jsou tak slabé, že nemůžeme mít reálnou naději zachytit je předtím, než se začnou projevovat kosmologicky.
Lindeho kosmologie v jistých ohledech připomíná starou teorii stacionárního vesmíru, která byla populární v padesátých a začátkem šedesátých let a dosud je nejjednodušším a nejpřitažlivějším návrhem, jak se vyhnout konci vesmíru. Ve své původní verzi, kterou předložili Hermann Bondi a Thomas Gold, teorie stacionárního vesmíru předpokládala, že vesmír ve velkém měřítku zůstává po všechen čas neměnným. Nemá proto ani počátku, ani konce. Jak se vesmír rozpíná, nepřetržitě se vytváří nová hmota, aby vyplnila mezery a udržovala tak konstantní celkovou hustotu. Osud libovolné dané galaxie se podobá tomu, co jsem popsal v dřívějších kapitolách: zrození, evoluce a smrt. Ale z nově vytvořené látky, jejíž přísun je nevyčerpatelný, se neustále utvářejí další galaxie. Vzhled vesmíru jako celku

proto obecně vypadá totožně od jedné epochy ke druhé, se stejným počtem galaxií v daném objemu vesmíru, který tvoří směs objektů různého stáří.
Koncepce vesmíru ve stacionárním stavu na prvním místě odstraňuje potřebu vysvětlit, jak vesmír vznikl z ničeho, a prostřednictvím evoluční změny kombinuje zajímavou různorodost objektů s kosmickou nesmrtelností. Ve skutečnosti zachází ještě dále a poskytuje věčné kosmické mládí, neboť i když jednotlivé galaxie pomalu umírají, vesmír jako celek nestárne nikdy. Naši potomci nikdy nebudou muset slídit kolem dokola po stále prchavějších zdrojích energie, poněvadž nová hmota je bude poskytovat zadarmo. Jestliže starší galaxii dojde palivo, její obyvatelé se pouze přestěhují do mladší. A toto může pokračovat ad infinitum, přičemž po veškerou věčnost bude udržována stejná úroveň živosti, rozmanitosti a aktivity.
Aby však tato teorie fungovala, je nutno splnit určité fyzikální požadavky. Vesmír v důsledku rozpínání každých několik málo miliard let zdvojnásobuje svůj objem. Udržení konstantní hustoty vyžaduje, aby se v průběhu tohoto období vytvořilo zhruba 1048 tun nové látky. Jeví se to jako mnoho, ale v průměru to obnáší objevení se pouze jediného atomu za století v oblasti prostoru o velikostí leteckého hangáru. Je nepravděpodobné, že bychom takový jev zaznamenali. Vážnější problém se týká podstaty fyzikálního procesu, který v této teorii odpovídá za tvorbu látky. Přinejmenším bychom měli znát, odkud pochází energie, která dodává dodatečnou hmotu, a jak si to tato zázračná nádobka energie zařizuje, že je nevyčerpatelná. Tohoto problému se chopil Fred Hoyle, který se svým spolupracovníkem Jayantem Narlikarem rozvinul teorii stacionárního vesmíru do podrobností. Navrhli nový typ pole - tvořivé pole - aby dodávalo energii. Tvořivé pole bylo samo o sobě postulováno tak, že má zápornou energii. Objevení se každé nové částice látky o hmotnosti m má takový účinek, že k tvořivému poli přispívá energií -mc2.
Ačkoli tvořivé pole poskytlo technické řešení problému vytváření hmoty, mnoho otázek zanechalo nezodpovězených. Zdálo se také být spíše řešením ad hoc, neboť žádné další projevy tohoto záhadného pole nebyly zjevné. Co bylo vážnější, v šedesátých létech se proti teorii stacionárního stavu začaly hromadit pozorovací důkazy, z nichž nejdůležitějším byl objev kosmického tepelného záření pozadí. Toto rovnoměrné pozadí lze pohotově vysvětlit jako pozůstatek horkého velkého třesku, ale v rámci modelu stacionárního stavu jej lze vysvětlit jen obtížně. Průzkumy velmi vzdálených galaxií a radiogalaxií navíc vedly k nezpochybnitelným důkazům, že vesmír ve velkém měřítku se vyvíjí. Když to začalo být zjevné, Hoyle a jeho spolupracovníci se vzdali jednoduché verze teorie stacionárního stavu, ačkoli z času na čas se komplikované verze této teorie nakrátko objevují znovu.
I když si odmyslíme fyzikální a pozorovací problémy, teorie stacionárního vesmíru nás staví před některé pozoruhodné filozofické potíže. Jestliže by například naši potomci skutečně měli k dispozici nekonečný čas a zdroje, jejich technologickému rozvoji by nebylo možno klást žádné zřejmé meze. Svobodně by se mohli rozšířit po vesmíru, získávaje vládu nad stále větším objemem kosmického prostoru. Ve velmi vzdálené budoucnosti by tedy rozsáhlá část prostoru byla v zásadě technologizována. Ale podle uvažované hypotézy se podstata vesmíru ve velkém měřítku nemění s časem, takže předpoklad stacionárního stavu nás zavazuje učinit závěr, že vesmír, který dnes vidíme, už je technologizován. Poněvadž fyzikální podmínky jsou ve vesmíru stacionárního stavu obecně stejné ve všech epochách, ve všech epochách rovněž musí vzniknout inteligentní bytosti. A protože tento stav věcí existoval po veškerou věčnost, měla by existovat nějaká společenstva bytostí, která zde byla po libovolně dlouhou dobu a natolik se rozšířila, že zabrala libovolně velký objem prostoru včetně naší oblasti vesmíru - přičemž ho technologizují. Tento závěr nelze obejít předpokladem, že inteligentní bytosti obecně netouží po kolonizaci vesmíru. K správnosti závěru postačuje, aby v libovolném minulém čase vzniklo byt pouze jediné takové společenstvo. Je to jiný případ staré slovní hračky, že v nekonečném vesmíru k čemukoli byt jen vzdáleně pravděpodobnému někdy musí dojít a musí k tomu dojít nekonečně častokrát. Jestliže tuto logiku sledujeme až k jejímu trpkému závěru, teorie stacionárního stavu předpovídá, že vesmírné procesy jsou totožné s technologickými aktivitami jeho obyvatel. To, co nazýváme přírodou, je ve skutečnosti aktivitou superbytosti, nebo společenstva superbytostí. Podobá se to nějaké verzi Platónova demiurga (božstva, které působí uvnitř hranic už stanovených fyzikálních zákonů) a je zajímavé, že Hoyle ve svých pozdějších kosmologických teoriích výslovně obhajuje takovou superbytost.
Jakékoli úvahy o konci vesmíru nás konfrontují s otázkou účelu. Zmínil jsem se už, že perspektiva umírajícího vesmíru přesvědčila Bertranda Russella o konečné marnosti existence.
Ozvěna tohoto sentimentu se v nedávných letech objevila u Stevena Weinberga, jehož kniha First Three Minutes (První tři minuty) vrcholí neochvějným závěrem, že "čím více se vesmír zdá být postižitelný naším rozumem, tím více se také zdá být nesmyslnějším". Uvedl jsem argumenty v prospěch názoru, že původní strach z pomalé kosmické tepelné smrti byl snad přehnaný a může být dokonce chybný, ačkoli náhlá smrt velkým krachem zůstává jednou z možností. Spekuloval jsem o aktivitách superbytostí, které mohou navzdory všem protivenstvím dosáhnout přímo zázračných fyzikálních a intelektuálních cílů. Krátce jsem se také zabýval možností, že myšlenky nemusí mít žádných mezí, dokonce i když vesmír meze má.
Ale přinášejí nám tyto alternativní scénáře úlevu v našem znepokojení? Jeden můj přítel kdysi poznamenal, že to, co slyšel o Ráji, jej příliš nezaujalo. Perspektiva žít věčně ve stavu povznesené rovnováhy mu připadala jako zcela nepřitažlivá. Lépe je rychle zemřít a mít to všechno za sebou, nežli čelit nudě věčného života. Jestliže se nesmrtelnost omezuje na to mít znovu a znovu věčně stejné myšlenky a zkušenosti, pak se opravdu jeví nesmyslnou. Jestliže je však nesmrtelnost zkombinována s pokrokem, pak si umíme představit život ve stavu neustálé novosti, vždy se učíc nebo dělajíc něco nového a vzrušujícího. Problémem je: kvůli čemu? Když se lidské bytosti pustí do nějakého účelového projektu, mají na mysli specifický cíl. Jestliže tohoto specifického cíle není dosaženo, projekt selhává (ačkoli příslušná zkušenost nevyhnutně nemusí být bezcenná). Jestliže je cle naproti tomu dosaženo, projekt bude završen a aktivita poté přestane. Může pak existovat skutečný účel u projektu, který není završen nikdy? Může být bytí smysluplné, jestliže se skládá z nekončící cesty směrem k určení, jehož není dosaženo nikdy?

Jestliže existuje účel vesmíru a vesmír tohoto účelu dosáhne, pak vesmír musí skončit, neboť pokračování jeho bytí by bylo bezdůvodné a nesmyslné. Jestliže vesmír naopak přetrvá věčně, je obtížné představit si, že vůbec existuje jakýkoli konečný účel vesmíru. Kosmická smrt tedy může být cenou, kterou je nutno zaplatit za kosmický úspěch. Snad můžeme doufat nanejvýše v to, že naši potomci poznají účel vesmíru ještě před uplynutím posledních tří minut.