

edice
aliter

edice aliter

Náš neobyčejný vesmír

Martin Rees

DOKOŘÁN

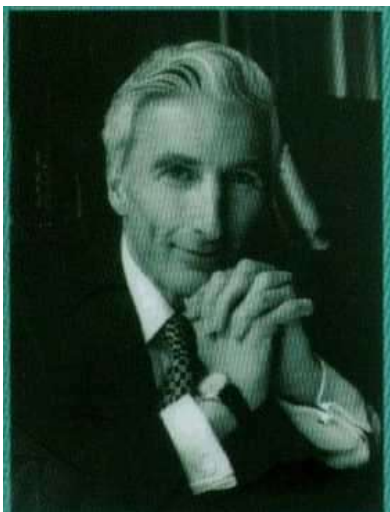
Martin Rees

Náš neobyčejný vesmír



Kosmologie má tisíciletou historii, ale vzrušení z poznávání nebylo nikdy intenzivnější než na počátku 21. století. O historii vesmíru víme již mnoho, dokážeme nahlédnout i do jeho budoucnosti, ale přesto stále tápeme. Jak mohl například okamžik stvoření – podle moderní fyziky tak prostý, že se dá popsat několika vzorci – vést o třináct miliard let později k nesmírně složitému vesmíru, jehož jsme my součástí? Je tento proces „přirozený“ nebo bychom měli být překvapeni tím, co se stalo? Mohou existovat také jiné vesmíry? A co vůbec bylo před velkým třeskem? Odpovědi na tyto otázky hledá současný přední astrofyzik Martin Rees ve své nejnovější práci, ve které shrnuje nejvýznamnější současné poznatky z oblasti astronomie a kosmologie. Mimořádný důraz klade i na prozatím spekulativní a hypotetické,

O to více však vzrušující teorie a myšlenky, které předkládá čtenáři elegantní a srozumitelnou formou. Knihu si jistě s chutí přečtou všichni, kteří jsou vesmírem, v němž žijeme, fascinováni stejně jako autor sám.



Martin Rees je profesorem na univerzitě v Cambridgi, členem Královské vědecké společnosti a nositelem titulu Královský astronom Velké Británie. Jako hostující profesor působí také na Imperiální fakultě v Londýně a na Leicesterské univerzitě. Deset let byl ředitelem Cambridgeského astronomického institutu. Je členem mnoha mezinárodních organizací a společnosti, mimo jiné Národní akademie věd, Americké filozofické společnosti a Americké společnosti umění a věd. Je rovněž čestným členem Ruské akademie věd a Papežské akademie. Jako autor nebo spoluautor vydal více než 500 odborných publikací převážně z oblasti kosmologie a astronomie.

edice aliter

Martin Rees
Náš neobyčejný
vesmír

Přeložil Aleš Drobek

Obsah

Předmluva _____	9
Předmluva k českému vydání _____	11
Úvod Mohl Bůh stvořit svět jinak? _____	13
Část I Od velkého třesku k biosférám _____	19
1. Planety a hvězdy _____	19
2. Život a inteligence _____	29
3. Atomy, hvězdy a galaxie _____	47
4. Extragalaktická perspektiva _____	60
5. Předgalaktická historie _____	75
6. Černé díry a stroje času _____	95
Část II Počátek a konec _____	103
7. Zpomalování, či zrychlování? _____	103
8. Dlouhodobá budoucnost _____	H4
9. Jak všechno začalo: První milisekunda _____	123
Část III Základy a domněnky _____	137
10. Kosmos a mikrosvět _____	137
11. Zákony a místní vyhlášky v multiverzu _____	151
Dodatek Měřítka struktur _____	175
Poznámky _____	177
Doslov Jiřího Bičáka Neobyčejný kosmolog a člověk _____	185
Rejstřík	191

„Cítil jsem, že se nacházím na malém, zaobleném zrnku z kamene a kovu, oděném vodou a vzduchem a vířícím v paprscích Slunce a v temnotě. A na povrchu tohoto zrnka celé zástupy lidí, generace za generací žily své životy, slepé a úmorné, tu a tam naplněné radostí, tu a tam prozářené moudrostí ducha. A veškeré jejich dějiny – stěhování národů, impéria, filozofie, pyšné vědy, sociální revoluce, stále rostoucí hlad po společnosti – nejsou než okamžikem v jednom dni života hvězd.“

Olaf Stapledon

Star Maker (Tvůrce hvězd, 1937)

Předmluva

Bylo pro mne ctí, když jsem byl požádán, abych pohovořil na téma Vesmír – náš domov na první ze Scribnerových přednášek, nové každoroční série sponzorované Princetonskou univerzitou a vydavatelstvím Princeton University Press. Byla to však zároveň skličující vyhlídka, neboť Princetonská univerzita je předním světovým centrem kosmologického výzkumu a já ji obvykle navštěvuji spíše jako posluchač než jako přednášející.

Jeden z nejvýznamnějších a nejinspirativnějších vědců tohoto ústavu profesor John A. Wheeler mne naučil krásný aforismus: „Čas využívá příroda k tomu, aby se nestalo všechno najednou.“ Na oplátku nabízím svůj, poněkud povrchnější: „Bůh vynašel prostor proto, aby se všechno nestalo v Princetonu.“

Nicméně většina kosmologického dění probíhá právě tam a ode mne bylo možná troufalé, když jsem si zvolil téma, na které by mohli místní odborníci promluvit zasvěceněji nežli já. Avšak mé přednášky nejsou určeny jim: mým cílem je nabídnout stručný pohled na vzrušující otázky soudobé vědy a poukázat na nové myšlenky formou dostupnou široké veřejnosti.

Prostor věnovaný jednotlivým tématům jsem přizpůsobil knižnímu vydání a zdůraznil méně známé a snad i díky tomu poněkud spekulativnější otázky.

K přednesení Scribnerových přednášek mne laskavě vyzval děkan Princetonské univerzity Jeremiah Ostriker. Děkuji jemu i ostatním přátelům a kolegům, zvláště pakj. Richardu Gottovi, za jejich pohostinnost a podporu. Chci rovněž vyjádřit dík Walteru Lippincottovi, Trevoru Lipscombovi a Fredu Appelovi z Princeton University Press za jejich pomoc během mé návštěvy, Alici Calapriceové a Joe Wisnovskemu za redakční pomoc při přípravě tohoto

textu a Richardu Swordovi za obrázky a schémata.

Jsem obzvlášť rád, že je tato kniha nyní k dispozici také v českém překladu.

Všichni anglicky píšící autoři přirozeně vítají překlady svých děl do jiných jazyků, ale v tomto konkrétním případě je z osobních důvodů má radost ještě větší.

Předmluva k českému vydání

První významnou konferencí, které jsem byl přítomen, bylo setkání Mezinárodní astronomické unie, konané jednou za tři roky, jehož se zúčastnilo více než dva tisíce vědců z celého světa. V roce 1967 se odehrávalo v Praze a já měl tehdy první příležitost prohlédnout si toto nádherné město – město se silnou vědeckou tradicí, sahající zpět až k časům Johanna Keplera a Tycho Brahe.

Byl jsem tenkrát čerstvým absolventem a tato konference pro mne byla nezapomenutelným a poučným zážitkem. Konala se právě v době, kdy jsme začali pronikat hluboko do tajemství gravitace a kosmologie vůbec. Teorii velkého třesku podpořil první významný empirický důkaz – objev rozptýleného záření, prostupujícího celým vesmírem, jež je dosvitem žhavého počátku našeho vesmíru. V nesmírně vzdálených oblastech vesmíru jsme začali objevovat kvasary – neobyčejně svítivé kosmické majáky, které, jak se dnes domníváme, jsou výsledkem aktivity obřích černých děr. A kosmická technologie nám ukázala vesmír i prostřednictvím vlnových délek ultrafialového a rentgenového záření. Pražská konference, odehrávající se hluboko v éře studené války pro mne byla první příležitostí k setkání a seznámení se nejen s vědci z Československa, ale také ze Sovětského svazu a dalších zemí, jejichž občané tehdy nemohli volně vycestovat do západní Evropy. Zvláště si pamatuji na setkání s velkým ruským teoretikem Y. B. Zeldovičem a několika jeho mladšími spolupracovníky, kteří v té době stáli v

čele světového výzkumu raného vesmíru a způsobu, jakým se formují galaxie a černé díry.

Na poněkud méně formální úrovni vedla tato zkušenost k dalším návštěvám a podnětné spolupráci mezi českými astronomy a kosmology a jejich protějšky z mého domovského institutu v Cambridgi. Tato spolupráce pokračuje dodnes pod vedením prof. Jiřího Bičáka z Karlovy univerzity.

Konec šedesátých let minulého století, kdy začala i má badatelská dráha, byl významným a vzrušujícím obdobím kosmického výzkumu. Nasazené tempo uskutečňování nových objevů se nám však daří držet dodnes. Vskutku, co se týče rychlosti postupu bádání, nemá posledních několik let obdoby. V této knize jsem se pokusil nabídnout aktuální pohled na tento pokrok s důrazem na jeho obecný filozofický význam.

Kdybychom dnes dokázali znovu přivést k životu Johanna Keplera, byl by jistě mimořádně nadšen dvěma objevy – ohromilo by jej množství přesvědčivých důkazů o existenci planetárních systémů okolo jiných hvězd. A teorie, že všechny částice v přírodě jsou vibracemi mikroskopických „strun“, ve vesmíru o mnoha dimenzích, jako by potvrzovala jeho vizi, že matematický soulad podpírá fyzikální realitu.

Nakonec bych chtěl poděkovat Aleši Drobkovi za překlad a doc. Jiřímu Podolskému za odborný dohled. Rovněž děkuji prof. Jiřímu Bičákovi za jeho příspěví ke vzniku této knihy.

Martin Rees, červen 2002

Úvod

Mohl Bůh stvořit svět jinak?

Největší záhadou je, proč vůbec cokoli existuje. Co vdechuje život fyzikálním rovnicím a uskutečňuje je v reálném vesmíru? Těmito otázkami se však věda nezabývá: to je teritorium filozofů a teologů. Věda se snaží porozumět tomu, jak mohl okamžik stvoření – tak prostý, že by se dal popsat pomocí stručného návodu – o třináct miliard let později vést k tak složitému vesmíru, jehož jsme my součástí. Je tento proces „přirozený“, nebo bychom měli být překvapeni tím, co se stalo? Mohou existovat také jiné vesmíry? Vědci dnes kladou otázky, které dříve náležely spíše do říše spekulací. Kosmologie má tisíciletou historii, ale vzrušení z poznávání vesmíru nebylo nikdy intenzivnější než na počátku dvacátého prvního století.

Slunce a nebeská klenba jsou součástí našeho prostředí – našeho kosmického domova. Géniové umění a mystiky sdílejí tento poznatek společně s vědci. D. H. Lawrence napsal: „Jsem částí Slunce, stejně jako mé oko je částí mého těla.“ Van Gogh namaloval svou Hvězdnou oblohu ve stejném duchu jako své obrazy kukuřičných polí a slunečnic. Člověk by v umění našel řadu takových příkladů.

Věda prohlubuje náš smysl pro důvěrný vztah vůči všemu nepozemskému. My sami jsme někde v polovině cesty mezi kosmem a mikrosvětem. Kdybychom chtěli vytvořit Slunce z lidských těl, potřebovali bychom jich asi tolik, kolik je v každém z nich atomů. Naše existence závisí na schopnosti atomů držet pohromadě a slučovat se do komplexních molekul, z nichž se skládají všechny živé tkáně. Avšak atomy kyslíku a uhlíku v našich tělech vznikly ve vzdálených hvězdách, jež žily a umíraly před miliardami let.

Technický pokrok ve dvacátém století, zejména v jeho posledních

desetiletích, obohatil náš pohled na náš vesmírný domov. Kosmické sondy nám odeslaly fotografie všech planet sluneční soustavy a nové technologie nabídly tento zprostředkovaný vesmírný průzkum celému světu. Záběry komety narážející do Jupiteru, které pořídil Hubbleův teleskop, sledoval na internetu v téměř přímém přenosu více než milion lidí. Během prvního desetiletí dvacátého prvního století budou sondy brázdit povrch Marsu, a dokonce se nad ním i vznášet, přistanou na Titanu, Saturnově gigantickém měsíci, a možná odeberou a na Zemi přivezou i vzorky písku z Marsu.

Náš vesmír se rozprostírá miliónkrát dále, než plane nejvzdálenější viditelná hvězda – ke galaxiím tak odlehlým, že jejich světlo k nám putovalo 10 miliard let. Bizarní vesmírné objekty – kvasary, černé díry a neutronové hvězdy – se staly součástí našeho běžného slovníku, přestože ne všichni chápeme jejich význam. Zjistili jsme, že většina hmoty ve vesmíru není ani zdaleka tvořena běžnými atomy. Skládá se ze záhadných temných částic neboli v prostoru skryté energie. Na naši Zemi pohlížíme v kontextu evoluce, jež sahá do doby před vznikem sluneční soustavy – a ještě dále, až k prapůvodní události, která dala impuls ke zrodu našeho vesmíru z jakési entity nepatrných rozměrů.

Hlubší porozumění podstatě času a prostoru možná rozšíří naše chápání vesmíru a odhalí existenci mnoha dalších, rozprostírajících se za hranicemi toho našeho. V důsledku toho možná objevíme další prostorové dimenze a jiné skutečnosti, natolik vzdálené naší intuici, že je budeme chápat jen s obtížemi – pokud vůbec. Vskutku zarážející je však to, že v této oblasti vůbec děláme nějaké pokroky.

Albert Einstein není zapsán v povědomí veřejnosti jako mladý, cílevědomý a ambiciózní vědec, ale jako vlídný a neupravený mudrc ze svých pozdějších let na Princetonu. Jedním z jeho nejčastěji citovaných aforismů je

tento: „Nejnepochopitelnější na vesmíru je to, že je pochopitelný.“ Vyjádřil zde svůj úžas nad tím, že fyzikální zákony, na něž je lidská mysl v jistém smyslu „nastavena“ a jež dokáže pochopit, neplatí pouze zde na Zemi, nýbrž všude tam, kam se podíváme. Mohlo se také ukázat, že náš vesmír je chaotické místo, kde vzdálené atomy a síly, které je ovládají, jsou nepochopitelně odlišné od těch, jež můžeme studovat v blízkém okolí. Avšak atomy v nejvzdálenějších galaxiích jsou shodné s těmi, které zkoumáme v laboratořích. Bez této zjednodušující vlastnosti bychom při studiu našeho vesmíru dělali daleko menší pokroky.

Ale co s tou spoustou faktů, která zůstávají nepochopitelná? Největší výzvu pro nás představuje naše biosféra – nezměrná spletnost a rozmanitost živočišných druhů, ekosystémů a myšlenkových pochodů. Předmětem mého zájmu jsou oblasti, které jsou podle mého názoru zvládnutelnější: zkoumání a formulování základních pravidel, jimiž se řídí mikrosvět atomů a velkolepý makrosvět vesmíru, a pochopení toho, jak tyto zákony připravily scénu pro život, když připustily vznik planet, hvězd a galaxií.

V posledních několika letech dvacátého století se otevřela nová vzrušující oblast vesmírného výzkumu – odhalování existence planet okolo jiných hvězd. Noční obloha bude brzy mnohem zajímavější. Hvězdy již nebudou pouze zářícími tečkami; mnohé z nich budou doprovázeny charakteristickou suitou planet, jejichž základní vlastnosti nám budou známy. Bude některá z nich obydlena nějakou inteligencí – nebo alespoň tím nejpřimitivnějším životem?

Pokud mimozemšťané skutečně existují a pokud s nimi navážeme kontakt, budou mít naše kultury něco společného? Odpověď je nasnadě: vesmír – náš domov. Jakkoliv odlišný může být jejich vývoj, budou složeni ze stejných atomů a budou podléhat stejným silám jako my. Pokud by byli vybaveni

zrakovým ústrojím a nad jejich světem by se klenulo jasné nebe, naskytl by se jim výhled na stejné hvězdy a galaxie, které obklopují i nás. Společně bychom stáli před nesmírnými měřítky prostoru a času. Přemýšliví mimozemšťané by možná již znali odpověď na otázky jako: Co bylo před velkým třeskem? Jaká je podstata gravitace a hmotnosti? Je vesmír nekonečný? Jak se atomy seskupily – přinejmenším na jedné planetě obíhající alespoň jednu hvězdu – v bytosti, schopné hloubat nad těmito záhadami? Tyto otázky zůstávají nezodpovězeny. Spíše než na začátku „konce vědy“ jsme stále jen na úplném počátku vesmírného putování.

K propojení kosmu a mikrosvěta je zapotřebí převratného objevu. Fyzika dvacátého století spočívá na dvou mohutných pilířích: kvantové teorii (objasňující chování ve „vnitřním světě“ atomů) a Einsteinově teorii relativity, která se zabývá časem, vnějším vesmírem a gravitací, ale jež pomíjí kvantové jevy. Stavby vztyčené na těchto základech se stále nedaří navzájem skloubit. Dokud nebude existovat sjednocená teorie sil ovládajících kosmos i mikrosvět, nebudeme schopni porozumět základním principům našeho vesmíru: principům, které mu byly vštípeny na samém počátku, kdy vše bylo natolik stlačeno, že kvantové fluktuace otrásaly celým kosmem.

V pozdějším věku se Einstein zaměřil na hluboké problémy, které patřily spíše do století jednadvacátého než dvacátého. Posledních třicet let strávil marným (a z dnešního pohledu také předčasným) hledáním jednotné fyzikální teorie. Bude takováto teorie, která by sloučila gravitaci s kvantovým principem a změnila naše pojetí prostoru a času, objevena v nadcházejících dekadách?

Zasvěcení sázejí na koncept známý jako „teorie superstrun“ či M-teorie, podle níž každý bod našeho normálního prostoru je ve skutečnosti jakýmsi origami, těsně poskládaným v šesti dalších dimenzích v měřítkách 10^{18} krát

menších než atomové jádro, a kde částice jsou reprezentovány vibrujícími smyčkami „strun“. Stále jsme však nepřeklenuli propast, zejména mezi touto složitou a důmyslnou matematickou teorií, a tím, co jsme ve skutečnosti schopni změřit. Nicméně její zastánci jsou přesvědčeni, že v ní klíčí velké zrno pravdy a že bychom ji měli brát vážně.

Vesmír příznivý pro život – mohli bychom říci biofilní vesmír – musí být v mnoha ohledech velmi specifický. Nezbytné předpoklady pro jakýkoliv život – dlouhodobě stabilní hvězdy, periodická tabulka prvků s komplexní chemií a tak dále – velmi citlivě závisejí na fyzikálních zákonech. A kdyby byl recept na jejich vznik při velkém třesku jen trochu odlišný, vznikly by jen mrtvé vesmíry bez atomů, bez chemie a bez planet nebo vesmíry s příliš krátkou životností či příliš prázdné na to, aby se v nich vyvinulo cokoli nad rámec sterilní uniformity. Takovýto osobitý a specifický vesmír je pro mne zásadní záhadou, která by neměla být smetena se stolu jen jako holá skutečnost.

Odhalení tohoto tajemství bude záviset na odpovědi na další z Einsteinových otázek: „Mohl Bůh stvořit svět jinak?“ Může vyjít najevo, že náš vesmír – včetně fyzikálních zákonů, jimiž se řídí – je jediným možným výsledkem, který připouští fundamentální teorie. Jinými slovy, že příroda jej může připravit pouze podle jednoho jediného receptu.

Nebo naopak, že základní zákony jsou shovívavější a připouštějí mnoho receptů, vedoucích k mnoha různým vesmírům. A že tyto vesmíry skutečně existují.

Nevíme, která z těchto možností se nakonec ukáže jako pravdivá. Odpověď musí vyčkat na příchod úspěšné fundamentální teorie a od nás by bylo troufalé činit předčasné úsudky. Tato kniha se nicméně zaměřuje na fascinující důsledky odpovědi na Einsteinovu otázku – uvedenou v podtitulu

tohoto úvodu – jež by zněla „ano“. Bůh měl na vybranou. Entita, tradičně nazývaná vesmír – oblast studovaná astronomy neboli následek „našeho“ velkého třesku – by byla jen jednou nepatrnou součástí či atomem nekonečného a nezměrně různorodého celku. Celé toto „multiverzum“ by se řídilo souborem základních pravidel, avšak to, co my nazýváme přírodními zákony, by nebylo ničím víc než obecní vyhláškou – výsledkem dějinné souhry okolností během počátečních okamžiků, následujících po našem konkrétním velkém třesku.

V této knize zastávám názor, že koncept multiverza je již součástí empirické vědy: možná už pozorujeme náznaky existence jiných vesmírů, a můžeme dokonce vyvozovat závěry o receptech, které k nim vedly. V nekonečném souboru vesmírů by nebyla existence několika vesmírů, které jsou zdánlivě dokonale příznivé pro život, žádným překvapením. Náš vesmírný domov by prostě patřil do této neobvyklé podmnožiny. Celý náš kosmos je úrodnou oázou multiverza.

Část I

Od velkého třesku k biosféram

1. Planety a hvězdy

Slunce

„Zatímco se tato planeta otáčí ve shodě s neměnným zákonem tíže od nejprostších počátků, vyvanuly se na ní a stále se vyvíjejí ty nejpodivuhodnější... formy života.“ Toto jsou slavná závěrečná slova O původu druhů Charlese Darwina.

Darwinův génius pochopil, jak „přirozený výběr upřednostňovaných variací“ mohl přetvořit prapůvodní život (zformovaný, jak Darwin předpokládal, v „malém, teplém rybníčku“) v ohromující rozmanitost tvorů, kteří plavou, létají či se plazí po Zemi.

Avšak evoluce – tento neuspořádaný a nikým neřízený proces – je ze své podstaty velmi pomalá. Darwin odhadoval, že musela trvat stovky milionů let. Takto gigantická měřítká jej však zřejmě příliš neohromovala, neboť geologové se opírali o podobná časová rozpětí při objasňování vzniku kamenných podloží a utváření povrchu Země. Vlastně již v prvním vydání své knihy odhadl Darwin rychlost eroze ve Weald of Kent, širokém údolí poblíž jeho domu, a spočítal, že tento geologický útvar musí být starý 300 milionů let. Trval na tom, že „je jistá majestátnost v tomto pohledu na život“. Pro jeho současníky v devatenáctém století byla takováto ohromná časová rozpětí mimo jakoukoliv představivost, zvláště pak v porovnání s omezenými měřítky, v nichž uvažovaly tradiční západní kosmologie.

Vyskytly se však některé znepokojující argumenty, které takové stáří

Země zdánlivě vylučovaly. Lord Kelvin, jeden z nejoslavovanějších fyziků své doby, vypočítal, že veškeré teplo z tekutého jádra Země by muselo prosáknout na povrch během několika málo milionů let. A samotné Slunce, prohlášoval, vyzářuje své vnitřní teplo takovým tempem, že by se za 10 milionů let muselo zcela vyčerpat. Kelvinovy závěry byly velmi závažné: „Můžeme s jistotou prohlásit,“ napsal, „že obyvatelé Země se nebudou těšit světlu a teplu nezbytnému pro život již o mnoho milionů let déle, pokud ovšem pro nás ve velkém rezervoáru stvoření nejsou připraveny zdroje nám doposud neznámé.“¹ Na to ostře zareagoval americký geolog Thomas Chamberlain: „Není snad klamu zákeřnějšího a nebezpečnějšího nad propracovaný a elegantní matematický postup postavený na nepodložených předpokladech.“

Chamberlain napsal svá slova v roce 1899, mají však mimořádnou zvučnost i dnes. V pozdějších kapitolách se zmíním o některých intelektuálně svůdných teoriích, vysvědujících nejzákladnější vlastnosti našeho fyzikálního vesmíru – proč se rozpíná tak, jak se rozpíná, proč obsahuje atomy (a jiné částice), síly, které mezi nimi působí, i samotnou podstatu prostoru. Ale ty nejmělejší a nejambicióznější z nich jsou stále postaveny na „nepodložených předpokladech“.

Pokrok ve fyzice nahlodal důvěryhodnost Kelvinových propočtů dokonce ještě za jeho života. V roce 1896 objevil Henri Becquerel, že uran vyzářuje jakési podivné paprsky – to byl nejen první náznak existence doposud netušené energie, dřímající v atomech, ale také klíč ke skutečné podstatě slunečního paliva. Mimoto si vědci uvědomili, že energie produkovaná radioaktivními rozpady v zemském jádru by mohla doplňovat unikající teplo. Avšak zjištění přesných reakcí, které Slunci umožňují, aby 10 miliard let pracovalo jako gravitačně vázaný fúzní reaktor, muselo vyčkat lepšího

porozumění atomovému jádru.

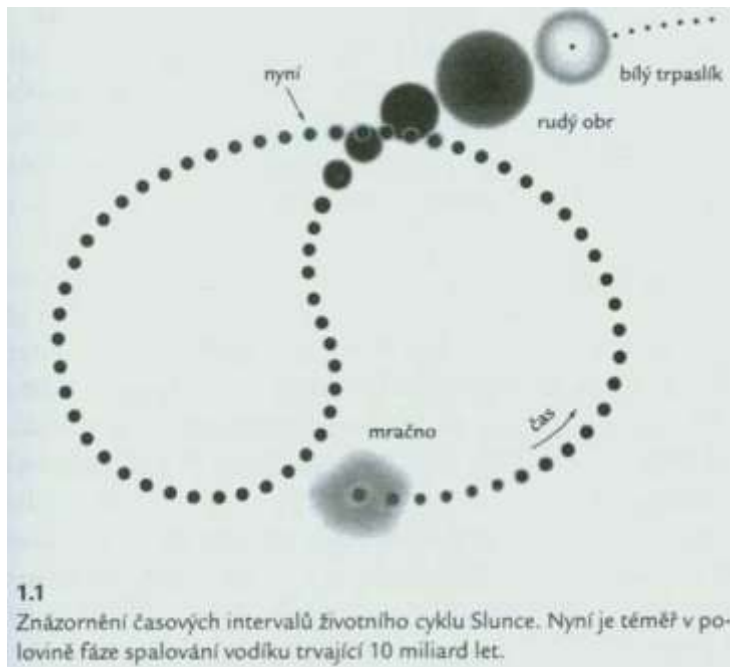
Kolem roku 1930 již bylo známo, že atom sestává z kladně nabitého jádra, kolem něhož obíhají elektrony se záporným elektrickým nábojem. Atomy jednotlivých prvků se od sebe odlišují nábojem jádra a počtem elektronů, potřebných k jeho elektrické neutralizaci, přičemž 1 elektron má vodík a 92 jich má uran – nejtěžší přirozeně se vyskytující atom. Chemické vlastnosti různých prvků byly známy již v devatenáctém století poté, co velký ruský chemik Dimitrij Mendělejev sestavil periodickou tabulku, která ukazovala na jisté příbuzenské vztahy v rámci jednotlivých skupin prvků. Na začátku dvacátého století nabídla nová kvantová teorie přirozené vysvětlení těchto vztahů a ukázala, jak úzce souvisejí s orbitami elektronů, obklopujícími jádro.

Samotné atomové jádro je složeno z protonů a neutronů, přičemž počet protonů udává elektrický náboj a umístění prvku v periodické tabulce prvků. Jádro helia, druhého nejjednoduššího prvku, obsahuje dva protony a dva neutrony. Váží však o 0,7 % méně, než činí souhrn hmotností všech čtyř částic, z nichž se skládá, a právě tento rozdíl odpovídá množství energie uvolněné při přeměně vodíku na helium (skrže Einsteinovu slavnou rovnici $E = mc^2$). Jaderná fúze uvolní zhruba miliónkrát více energie na kilogram hmoty než jakýkoliv chemický proces – hoření či exploze. Ničivá síla vodíkové bomby je toho dokladem. Chemické procesy pouze pozmění či přeskupí oběžné dráhy elektronů, avšak jaderná fúze čerpá z daleko většího rezervoáru energie v samotném atomovém jádře.

O první nahlédnutí do tajemství principů, na nichž fúze pracuje ve hvězdách, jako je naše Slunce, se zasloužili tři velcí fyzikové. Prvním byl Rus George Gamow, o kterém ještě bude řeč v kapitole 5 jako o jednom z průkopníků kosmologické teorie velkého třesku. Gamow využil nově formulované kvantové teorie k přibližnému výpočtu teploty, při níž se

vodíková fúze ve slunečním jádru sama udrží v chodu. Podrobný popis řetězových reakcí vypracovali Carl-Friedrich von Weizsäcker a Hans Bethe. Oba tito význační (tehdy ještě mladí) fyzikové byli Němci, ačkoliv Bethe se po roce 1930 odstěhoval do Spojených států již jako uznávaný průkopník na poli jaderné fyziky a ke všeobecnému úžasu zůstává v tomto oboru aktivní i na počátku jedenadvacátého století.

Naše koncepce životního cyklu Slunce je znázorněna na obrázku 1.1. Každá tečka představuje interval dlouhý 150 milionů let. Protoslunce se zrodilo z gravitačního kolapsu mračna rozptýleného mezihvězdného plynu. Gravitace tuto entitu zhušťovala až do okamžiku, kdy byly tlak a teplota v jejím jádru dostatečně vysoké k zažehnutí jaderné fúze vodíku v helium v takové míře, jež by vyvážila teplo vyzařované povrchem. Slunce doposud spotřebovalo méně než polovinu svého vodíku v jádru, přestože září již 4,5 miliardy let a ještě dalších 5 miliard let zářit bude. Poté bude expandovat a stane se z něj „rudý obr“, dostatečně velký a jasný na to, aby pohltil vnitřní planety a doslova vypařil veškerý život na Zemi. Během této fáze, trvající zhruba 500 milionů let, bude pokračovat spalování vodíku ve slupce okolo heliového jádra. Pak Slunce zažije ještě prudší otřes, když se zažehne heliová fúze v jádru. Tento proces odmrští některé vnější vrstvy – asi čtvrtinu celkové hmoty Slunce. Zbytek se promění v bílého trpaslíka – hustý a žhavý kus hvězdné strusky velký jako Země, který bude zalévat



to, co zůstane ze sluneční soustavy, modravým světlem ne o mnoho jasnějším než dnešní Měsíc v úplňku.

K přiblížení těchto ohromných časových měřítek bychom si mohli pomoci následující analogií. Představte si, že byste podnikli cestu pěšky napříč Amerikou. Vyšli byste z New Yorku v okamžiku, kdy se Slunce zrodilo, a dorazili do Kalifornie, právě když svůj životní cyklus zakončí. Abyste se pohybovali správnou rychlostí, museli byste každých 2 000 let udělat jeden krok. Celá zaznamenaná historie by se otiskla v několika málo šlépějích. A co víc, tyto kroky byste udělali ještě před polovinou celé trasy – zhruba někde v Kansasu – nikoli v cílové rovině. Rovněž tak naše Slunce má před sebou delší život, než jaký dosud prožilo, a celý náš vesmír může čekat nekonečná budoucnost.

Možná, že jsme stále na Darwinově „nejprostším počátku“. Pokud život na

Zemi předčasně nezanikne, rozšíří se naše vzdálené potomstvo v éonech ležících před námi daleko za hranice sluneční soustavy. A dokonce i kdyby byl pozemský život jedinečný, má ještě dost času na to, aby se zazelenal po celé Galaxii a možná i dál.

Jiné sluneční soustavy

Na začátku dvacátého století převládal názor, že naše sluneční soustava je výsledkem blízkého setkání Slunce a cizí hvězdy, která z něj vytrhla oblak plynu. Tento oblak zkondenzoval v malé kapky – protoplanety. Hvězdy jsou však v prostoru rozesety velmi řídké: kdybychom si představili Slunce o velikosti tenisového míčku, byly by nejbližší hvězdy vzdáleny tisíce kilometrů od něj i od sebe navzájem. Blízká setkání jsou fantasticky vzácná – a stejně tak i planetární systémy, pokud by byla tato teorie pravdivá. Avšak obliba takovýchto katastrofických vysvětlení ve druhé polovině století značně poklesla. Astronomové začali dávat přednost alternativní teorii, podle níž je vznik planet přirozeným průvodním jevem tvorby hvězd.

Když se mezihvězdný plyn smrští a vznikne z něj hvězda, zvýší se jeho hustota trilionkrát. Jakákoliv byť i nepatrná rotace původního oblaku se během kolapsu (vesmírné verze toho, co se stane, když krasobruslař při piruetě přitáhne paže k sobě) natolik znásobí, že odstředivé síly zabrání tomu, aby se do velikosti hvězdy smrští celý jeho objem. Kondenzující protohvězda by v tomto případě jako svůj vedlejší produkt vytvořila prstenec. V tomto prstenci ze vsudypřítomného mezihvězdného plynu a prachu by se prachové částičky navzájem slepily a utvořily skalnaté planetezimály, které by se následně spojily v planety.

Takové prstence byly nyní objeveny okolo nově zrozených protohvězd v mlhovině v Orionu i jinde. (Jejich objev dal vzniknout termínu

protoplanetární disky, krátce proplydy). Proplydy jsou přirozeným průvodním jevem zrodu každé hvězdy, takže máme všechny důvody věřit tomu, že i ostatní hvězdy doprovází planetární suita.

Nicméně i kdyby kolem některé z nejbližších hvězd skutečně obíhaly planety, byly by příliš tmavé na to, aby mohly být přímo pozorovány současnými teleskopy. Planeta by se oproti své mateřské hvězdě jevila temnější o několik řádů – přibližně stejně, o kolik temnější se nám jeví Jupiter a Venuše ve srovnání se Sluncem. Ale v posledních několika letech byly planety objeveny nepřímou, díky vlivu, jež mají na svou mateřskou hvězdu. Bylo zjištěno, že polohy některých hvězd se nepatrně mění, a právě takové chování je neklamnou známkou existence planetárního doprovodu. Planeta svou gravitací působí proti pohybu hvězdy, a tím ji brzdí, stejně jako když pes na vodítku táhne svého pána.

Prvního úspěchu dosáhli dva švýcarští astronomové Michel Mayor a Didier Queloz. Analyzovali světlo blízké hvězdy 51 Pegasi, která je velmi podobná našemu Slunci, aby zjistili, zda její barva (nebo – řečeno slovy fyziky – vlnová délka jejího světla) vykazala nějaké změny. Když se nějaký objekt pohybuje směrem k nám, zmáčknou se jeho vlny k sobě a jeví se kratšími – jinými slovy, posunou se směrem k modrému konci spektra. Světlo se jeví naopak červenější, pokud se jeho zdroj od nás vzdaluje. Tento jev je analogický k takzvanému Dopplerovu efektu pro zvukové vlny, podle kterého je zvuk vyšší, pokud se k nám jeho zdroj přibližuje. (Doppler uskutečnil proslulý pokus s trumpetisty ve vagonu nákladního vlaku, aby tento dnes již dobře známý efekt názorně demonstroval.) Mayor a Queloz zjistili, že světlo 51 Pegasi se nepatrně posunulo směrem k modré, pak směrem k červené a poté opět k modré, přičemž stejný vzorec chování se pravidelně opakoval. Tato pravidelnost naznačovala, že hvězda vykazuje malý rotační pohyb,

vyvolaný neviditelnou planetou: obě tělesa se otáčejí okolo těžiště soustavy, jelikož planeta svou gravitací hýbá celou hvězdou. Přepokládaná planeta je zhruba velikosti Jupiteru a obíhá rychlostí asi 50 kilometrů za sekundu. Hvězda samotná se pak pohybuje rychlostí pouze 50 metrů za sekundu – tisíckrát pomaleji než planeta, neboť je také tisíckrát těžší.

Zjištění těchto nepatrných pohybů bylo skutečným triumfem techniky. Přeborníky v lovu planet jsou nyní Geoffrey Marcy a Paul Butler z Kalifornie. Použili stejné metody jako Mayor a Queloz a planety objevili již v desítkách hvězdných soustav. Tato technika však měří pouze část pohybu hvězdy – nepatrný příčný pohyb se jako Dopplerův posuv neprojeví. Ovšem speciálně vybavené teleskopy by brzy měly být schopny odhalit i tento téměř nepostřehnutelný pohyb z jedné strany na druhou, vyvolaný obíhající planetou, na základě drobných změn v poloze hvězdy na obloze. V roce 1999 Marcy a Butler zjistili, že blízká hvězda v Andromedě má nejméně tři planety velikosti Jupiteru: jednu na velmi blízké kruhové orbitě s periodou 4,6 dní; ostatní dvě na větších, pomalejších orbitách. Planety nyní objevujeme kolem dalších a dalších hvězd. Tyto soustavy vykazují překvapivou různorodost. Jsou zde planety až dvacetkrát hmotnější než Jupiter. Perioda jednoho oběhu může činit pouhých několik dní, oběžné dráhy jsou někdy téměř kruhové, avšak překvapivě často jsou vysoce eliptické.

Konečným cílem je samozřejmě ostrý a detailní snímek, který by nám ukázal obíhající planetu přímo. Ovšem taková technologie je zatím stále jen hudbou budoucnosti. Někteří však tvrdí, že planety se prozrazují i jinak – například vyvoláním nepatrných změn ve zdánlivé jasnosti jejich mateřské hvězdy. Pohybuje-li se planeta přes přivrácenou stranu hvězdy (stejně jako v naší sluneční soustavě, když Venuše čas od času přechází přes sluneční kotouč), pak hvězda mírně potemní, a to vždy jednou za každý oběh, při němž ji

planeta překryje. Tato metoda pochopitelně funguje pouze tehdy, pokud náš úhel pohledu odpovídá rovině oběhu.

Jiné Země?

Tyto vzdálené planety, obíhající kolem hvězd slunečního typu, jsou všechny přibližně velikosti Jupiteru nebo Saturnu. Máme ovšem všechny důvody předpokládat, že to jsou ti největší členové svých „slunečních soustav“ a jejich menší sourozence ještě neumíme zjistit. Planety velikosti Země by způsobovaly posun centrální hvězdy v řádu pouhých centimetrů za sekundu, nikoliv metrů – příliš nepatrný na to, aby jej dnešní technologie dokázala změřit. Ani pomocí ostatních metod není snadné menší planety nalézt. Kdyby takováto planeta překryla svou hvězdu, snížila by její jasnost o méně než jednu desetitisícinu. Největší naději na zjištění takto miniaturního ztemnění nám dává pozorování prostřednictvím teleskopu umístěného ve vesmíru, kde na světlo hvězd nemá vliv zemská atmosféra, a je tudíž stálejší. Plánovaný evropský vesmírný projekt s názvem Eddington (pojmenovaný po slavném anglickém astronomovi) by měl být schopen odhalit přechody planet velikosti Země přes přivrácenou stranu hvězd už během příštího desetiletí. Dlouhodobým cílem je pozorovat planety pozemského typu přímo, na místo pouhého dovozování jejich přítomnosti. K tomu bude zapotřebí obrovských vesmírných teleskopických soustav – a vězte, že tento záměr má daleko k pouhému výplodu bujné fantazie.

Ze svého hlavního působiště v Anglii sleduji americký vesmírný program se zájmem a obdivem. Je daleko rozsáhlejší než evropský, ve svém měřítku je to odkaz soupeření supervelmocí. Projekt Mezinárodní kosmické stanice mne však nechává chladným. Již lépe zní zpráva, že poněkud mesiášský

administrátor NASA Dan Goldin se v rámci vědeckého plánu Origins¹ zaměřil na méně nákladný program nepilotovaných letů a jako stěžejní projekt do něj zahrnul takzvaný Terrestrial Planet Finder (volně přeloženo Vyhledavač planet pozemského typu – pozn. překl.), schopný objevit planety stejně malé jako naše Země. V Evropě se plánuje podobný projekt s názvem Darwin.²

V mládí jsme se všichni učili uspořádání naší sluneční soustavy – rozměry devíti hlavních planet a jak po svých drahách obíhají okolo Slunce. Ale ode dneška za dvacet let budeme moci ukázat svým vnoučatům daleko zajímavější věci, jež se odehrávají na hvězdném nebi. Blízké hvězdy již nebudou pouhými zářícími tečkami – budeme na ně pohlížet jako na Slunce jiných slunečních soustav. Budeme znát oběžné dráhy planet těchto soustav a rozměry (a možná dokonce i některé topografické údaje) těch největších exemplářů.

Obzvlášť nás budou zajímat potenciální dvojčata naší Země – planety stejné velikosti s mírným podnebím, obíhající kolem hvězd podobných našemu Slunci. Ještě stále nevíme, kolik takových objektů může existovat. Mimochodem, většina doposud objevených soustav se od té naší kupodivu velmi liší a neskýtá příliš nadějně vyhlídky na existenci obyvatelných planet. V mnoha z nich obíhají planety joviánského typu po výstředních drahách mnohem blíže své mateřské planetě než náš Jupiter. Takto masivní tělesa by

¹ Jedná se o program NASA vědeckých kosmických projektů (volně přeloženo jako Počátky), v jehož rámci se vědecké týmy v nejbližších dvaceti letech zaměří na zodpovězení dvou základních otázek: Odkud pocházíme? a Jsme ve vesmíru sami? Konkrétně jde o konstrukci a vyslání řady teleskopů, vědeckých družic a nových technologií. Podrobné informace lze nalézt na internetové stránce <http://origins.jpl.nasa.gov/whatis/whatis>.

destabilizovala kruhové orbity téměř každé planety pozemského typu, která by obíhala v té „správné“ vzdálenosti od své mateřské hvězdy. Tato zjištění, která nám poněkud ubírají na elánu, však mohou být částečně výsledkem selektivního pozorování: rychle se pohybující hmotné planety, obíhající blízko svých hvězd, objevovali Marcy a Butler nejspíše. Ještě si nemůžeme být jisti, v kolika planetárních soustavách by mohla planeta pozemského typu nerušeně přežívat miliardy let na téměř kruhové dráze. Avšak mezi mnoha miliony planetárních soustav (tvořených jednou, dvěma či třemi vysoce hmotnými planetami) se zcela jistě najdou planety na orbitách pozemského typu s teplotami, při nichž voda ani nevře, ani nezůstává trvale zamrzlá.

2. Život a inteligence

Pravděpodobnost výskytu života

Věhlasný snímek z roku 1960, pořízený z Měsíce, byl první fotografií naší Země v celé její kráse. Ukázalo se, že naše životní prostředí – pevniny, oceány a oblaka – je jen jakousi tenkou a křehkou slupkou. Naše domovská planeta – „třetí balvan od Slunce“ – je velmi výjimečná. Krása a zranitelnost „kosmické lodi Země“ se nápadně liší od strohé a sterilní měsíční krajiny, v níž astronauti zanechali své stopy. Může trvat dalších dvacet i více let, než si budeme moci pověsit na zeď plakát další Země, ale až k tomu dojde, změní se tradiční pohled na naši mateřskou planetu ještě zásadněji.

Ale ještě předtím, než si takové planety budeme moci prohlédnout v detailu, budeme je muset zevrubně prozkoumat prostřednictvím soustavy vesmírných teleskopů Terrestrial Planet Finder nebo jejich evropského

protějšku. Ze vzdálenosti řekněme deseti světelných let – zhruba tak daleko jsou blízké hvězdy – by Země vypadala podle slov Carla Sagana jako „bleděmodrá tečka“, obíhající velmi blízko hvězdy (našeho Slunce), která ji mnoho miliardnásobně přezářuje. Odstín modré by se nepatrně lišil podle toho, jestli by k nám byla Země otočena Tichým oceánem, nebo Euroasijským kontinentem, a jasnost by vykazovala též sezónní fluktuace. Při pozorování jiných planet sice nedokážeme rozeznat žádné detaily na povrchu, ale z dostupných údajů můžeme vyvodit délku dne, podnebí, a dokonce i přibližnou topografii.

Ze světelného spektra a infračerveného záření takovéto planety můžeme vyvodit, jaké plyny obsahuje její atmosféra. Výskyt ozónu, implikující atmosféru bohatou na kyslík, by byl velmi přesvědčivou známkou existence biosféry. Naše vlastní atmosféra nebyla na kyslík bohatá hned od počátku – její složení se postupně měnilo zásluhou primitivních bakterií.

Spektroskopický důkaz přítomnosti atmosférického metanu – produktu rozkládající se vegetace či nadýmání přežvýkavců – by byl dalším charakteristickým znakem existence biosféry pozemského typu.

Jaká je pravděpodobnost, že život našel přístřeší i na jiných planetách? To je otázka, která neobyčejně vzrušuje NASA i širší veřejnost. Jaká je šance, že v příznivém prostředí vzniknou jednoduché organismy? Vzklíčí život na každé planetě se správným teplotním rozmezím, s dostatkem vody a dalších prvků, jako je například uhlík? Mohly by na některých takovýchto planetách, obíhajících kolem cizích hvězd, vzkvétat formy života daleko zajímavější a exotičtější než cokoliv, co možná nalezneme na Marsu? Jaká je šance, že se ta či ona forma vyvine v něco, co bychom mohli nazývat inteligencí?

Dokud budeme znát pouze jednu biosféru, nebudeme schopni říci, zda je tento fenomén pravděpodobný, či nikoliv. Život může být ve vesmíru

všudypřítomný, nebo naopak může všechno hrát proti němu. Průzkum sluneční soustavy v nadcházejících desetiletích může leccos vyjasnit. Středem zájmu stále zůstává Mars. Od roku 1960 odhalily kosmické sondy vzrušující marťanskou krajinu: vulkány až dvacet kilometrů vysoké a kaňony šest kilometrů hluboké, táhnoucí se do délky až čtyři tisíce kilometrů. Ale nejpozoruhodnější ze všech jsou vyschlá řečiště – důkaz, že Mars kdysi mohl být příznivý pro život, přestože dnes to již neplatí. Jsou zde dokonce vrstevnaté krajinné prvky, které vypadají jako pobřežní linie oceánu. Pokud zde někdy v minulosti skutečně existovaly rozsáhlé povrchové vodní plochy, je pravděpodobné, že jejich zdroj byl hluboko pod zemí a voda se prodírala skrze tlustou vrstvu permafrostu. Mars tudíž nikdy nebyl ideálním místem pro luxusní přímořská letoviště.

V roce 1976 provedla NASA první opravdový průzkum povrchu Marsu. Sonda Viking přistála v holé poušti poseté roztroušenými balvany a její robotická paže shromáždila vzorky půdy, které byly přímo na místě analyzovány palubními zařízeními. Nebyl zjištěn žádný spolehlivý důkaz přítomnosti byť i té neprimitivnější formy života. Jediný seriózní předpoklad existence fosilního života na Marsu byl vznesen až později a zakládal se na analýze marťanského kamene, který kdysi dopadl na Zemi. Mars je z vesmíru neustále bombardován a tyto nárazy vyvrhují do okolního prostoru velké množství materiálu. Některé tyto kameny poté, co se miliony let toulaly po oběžné dráze, dopadnou na Zemi jako meteority. V roce 1996 NASA oficiálně oznámila, že meteorit nalezený v Antarktidě obsahuje cosi, co by mohly být stopy marťanského života. Na precizně zorganizované tiskové konferenci prezident Bili Clinton prohlásil: „Dnes k nám kámen 84001 promlouvá napříč miliardami let a milionů mil. Mluví o možnosti existence života.“ Důkaz byl dvojího druhu: komplexní organické molekuly, jaké se

nalézají i na Zemi, když se organismus rozloží, a cosi, co vypadalo jako zkameněliny jakýchsi tvorů podobných bakteriím. Navzdory veškerému humbuku je však přesvědčivost těchto nálezů stále pochybná: teorie o životě na Marsu se může rozplynout stejně snadno, jako tomu bylo před sto lety v případě „kanálů“.

Avšak naděje umírá poslední. V průběhu příštích několika let bude směrem k této rudé planetě vyslána celá flotila vesmírných sond, aby analyzovaly její povrch, přeletěly nad ním a v rámci pozdějších výprav dopravily na Zemi vzorky. V roce 2004 se sonda Evropské kosmické agentury jménem Huygens, součást výpravy NASA k Saturnu s názvem Cassini, spustí padákem do atmosféry Titanu a bude pátrat po všem, co by na tomto obřím měsíci mohlo vykazovat známky života. Dalšími potenciálními místy výskytu života jsou Jupiterovy zamrzlé měsíce Europa a Ganymed. Existují plány na vypuštění ponorných sond, které by pátraly po životě pod ledovou pokrývkou jejich oceánů.

Dokud bude jedinou známou biosférou naše vlastní, zemská, nemůžeme vyloučit možnost, že pozemský život je pouze výsledkem tak nepravděpodobné mimořádné souhry okolností, že se nemůže opakovat u žádné z 10^{21} hvězd, které jsou v dosahu našich teleskopů. O tom, jak život začal, víme stále příliš málo, abychom tuto možnost zavrhlí. Ale předpokládejme, že by se život v naší sluneční soustavě objevil dvakrát. Pak už by to nebyla jen šťastná náhoda: život na jiných planetách by byl zajisté také běžným jevem. Proto je důležité, abychom objevili život ještě alespoň na jedné planetě nebo měsíci naší sluneční soustavy. Je zde však zásadní podmínka: dříve než začneme vyvozovat závěry o všudypřítomnosti života, musíme si být zcela jisti, že nepozemský život skutečně vznikl nezávisle a že organismy neputovaly prostřednictvím kosmického prachu ani meteoritů z

jedné planety na druhou.

Sen Giordana Bruna: mimozemská inteligence?

I kdyby život skutečně existoval také jinde v naší sluneční soustavě, nikdo nepředpokládá, že by mohl mít jinou než primitivní formu. V naší galaxii krouží kolem nejrůznějších hvězd miliony a možná miliardy planet. Jaká je šance, že na některém z těchto těles existují pokročilé formy života?

V roce 1584 zveřejnil Giordano Bruno, dominikánský mnich, své dílo *De infinito universo e mondi* (O nekonečném univerzu a světech). O deset let dříve Bruno uprchl ze svého neapolského kláštera, cestoval po Evropě a užíval si kočovného života. V roce 1592 se však nerozumně vrátil do Itálie – jak se domníváme, zlákala ho naděje na profesuru v Padově, která však připadla mladému Galileovi – a padl do spárů inkvizice. Za své „zatvrzelé a nenapravitelné kacířství“ byl uvězněn v Římě. V únoru roku 1600 byl upálen na hranici na římském Campo di Fiori, kde nyní na jeho počest stojí pěkná bronzová socha.

Jednou z Brunových domněnek byla tato: „Existují nespočetná souhvězdí, Slunce a planety. My však vidíme pouze Slunce, protože svítí. Planety zůstávají neviditelné, neboť jsou malé a tmavé. Existují také nesčetné země, obíhající kolem svých Sluncí, ni horší, ni menší než tato naše zeměkoule.“ V posledních letech dvacátého století bylo jeho prorockému přesvědčení dáno za pravdu – planetární systémy bezpochyby existují i okolo mnoha jiných hvězd.

Bruno dále prohlašoval: „Žádný rozumný člověk nemůže předpokládat, že nebeská tělesa, jež jsou možná daleko velkolepější než naše, nehostí tvory podobné, či dokonce nadřazené těm, kteří žijí na této lidské zemi.“ Tehdy byla tato myšlenka pochopitelně pouhou fantazií, avšak od té doby se dostávalo konceptu „rozmanitosti obydlených světů“ překvapivě stále

podpory. William Herschel, velký astronom osmnáctého století a objevitel planety Uran, se dokonce domníval, že obydlené je i Slunce. A ještě před stolety spousta lidí věřila na existenci Mart'anů. Třebaže od Brunových časů doznalo naše pojetí vesmíru podstatných změn, pravděpodobnost existence mimozemského života stále nedokážeme odhadnout.

Navzdory naší přetrvávající nevědomosti – či snad právě díky ní – se názory v debatě na toto téma značně různí. Někteří se přiklánějí k Brunovi, jiní dogmaticky prohlašují, že naše planeta je jediná obydlená. Já osobně jsem přesvědčen, že jediným rozumným přístupem v této věci je agnosticismus. O původu života toho nevíme dost – zejména pak, co je nebo není v moci přirozeného výběru – abychom mohli s jistotou určit pravděpodobnost existence inteligentních mimozemšť'anů.

Chceme-li zvýšit šance na nalezení mimozemské inteligence, potřebujeme mít jasno v otázce, do jaké míry muselo být přírodní prostředí Země specifické, aby zde našel živnou půdu dlouhotrvající proces výběru, vedoucí posléze k vývoji člověka. Někteří astronomové tvrdí, že Země je neobyčejně mimořádná a že pouze velmi málo planet kolem jiných hvězd – dokonce i těch, které mají podobnou velikost a teplotu – by poskytlo nezbytnou dlouhodobou stabilitu eóny trvající evoluci, jež musí předcházet pokročilému životu. Donald Brownlee a Peter Ward uvádějí ve své knize *Rare Earth* (Unikátní Země) až znepokojivě dlouhý seznam nezbytných předpokladů. Planeta nesmí na své oběžné dráze zabloudit ani příliš blízko, ani příliš daleko od svého slunce, což by se mohlo stát, kdyby se k ní přiblížila některá z větších planet a popostrčila ji na jinou orbitu. Její rotace musí být stabilní (což v případě Země zajišťuje náš velký Měsíc). Nesmí být přespříliš bombardována z vesmíru, což má další podmínku: přítomnost další planety zhruba velikosti Jupiteru na téměř kruhové vnější orbitě, která by zachytávala

zbloudilé asteroidy. Dále musí obíhat kolem hvězdy, která se v naší Mléčné dráze nachází na obzvláště příznivém místě, kde není vystavena ani nadměrnému kosmickému záření, ani vysokému riziku srážky s ostatními hvězdami. Kdyby se k oběžné dráze Jupiteru přiblížila jiná hvězda, vážně by narušila planetární pohyb a odsunula Zemi na zcela jinou, možná vysoce výstřední orbitu. Ale cizí hvězda nás může ohrozit i bez podobného přiblížení: Slunce obklopuje ohromný rezervoár komet, které jsou převážně v bezpečné vzdálenosti daleko za vnějšími planetami. Ale přitažlivá síla hvězdy, míjející naši sluneční soustavu třeba i ve velmi velké vzdálenosti, by mohla některé komety odklonit na trajektorie kolidující s oběžnou dráhou Země.

Člověk by snadno nabyl dojmu, že biologické evoluci brání vnější environmentální vlivy, kupříkladu časté dopady komet. Avšak pravděpodobnost vzniku biosféry je neznámá i v případě, že by bylo prostředí nanejvýš příznivé. Nejobtížnější problémy a největší nejistota spočívá v oblasti biologie, nikoliv astronomie. Existují dvě závažné otázky a je důležité umět odlišit jednu od druhé. Za první – jak život začal? Pokud bychom znali odpověď, věděli bychom, zda je život pouze výsledkem šťastné náhody, nebo zda je to téměř nevyhnutelný produkt oné prapůvodní „polévky“, jejíž existenci lze na mladé planetě předpokládat. Ale je zde ještě druhá otázka – i kdyby jednoduchý život existoval, jaká je šance, že se vyvine v něco, co bychom mohli charakterizovat jako inteligentní? Je pravděpodobné, že tato otázka se bude vzpírat řešení mnohem urputněji. I kdyby byl primitivní život běžný, zrod pokročilého života takový být nemusí.

Klíčové fáze vývoje života na Zemi v hlavních rysech známe. Zdá se, že ty nejjednodušší organismy se objevily někdy během 100 milionů let po konečném ochlazení zemské kůry po posledním větším nárazu – to znamená

asi před čtyřmi miliardami let. Pravděpodobně však uběhly další až dvě miliardy let, než vznikly první eukaryotické (mající jádro) buňky, a možná další miliarda let, než se zrodil mnohobuněčný život. První známky většiny standardních typů tělesné stavby živočichů pocházejí z takzvané evoluční exploze v kambriu před půl miliardou let. V té době se objevili suchozemští tvorové nespočetných tvarů a forem a tento vývoj byl pochopitelně přerušován vymíráním celých druhů. Příkladem je událost před 65 miliony lety, která vedla k vyhynutí dinosaurů.

Jednoduchý život se podle všeho objevil velmi záhy, zatímco trvalo téměř tři miliardy let, než přišly na scénu nejzákladnější mnohobuněčné organismy. Tato nerovnost časových rozmezí naznačuje, že vzniku jakéhokoliv komplexního života mohou stát v cestě velmi obtížné překážky. Inteligence může být tudíž nesmírně vzácná, i kdyby byl jednoduchý život všeobecně rozšířený. Zrod našeho vlastního druhu je nade vše pochybnost dílem času a náhody. Pokud by se historie Země opakovala, mohla by být fauna naprosto odlišná. Kdyby kupříkladu nevyhynuli dinosauři, mohl být řetězec vývoje savců, který vedl k člověku, uzavřen. Nemůžeme s jistotou říci, zda by naši roli nepřevzaly jiné druhy.

Někteří evolucionisté tvrdí, že i v komplexní biosféře byl vznik života dílem šťastné náhody. Jiní, jako například Simon Conway Morris, jsou opačného názoru. Morris poukazuje na to, že určité vývojové znaky zajišťující přežití vedly ke vzniku podobných druhů prostřednictvím odlišných vývojových větví – například mnoho australských vačnatců má své blízké placentární protějšky na ostatních kontinentech – a tvrdí, že směrem k inteligenci se může sbíhat více evolučních cest. Píše: „Mám takový pocit, že přes nesmírnou rozmanitost a hojnost je život pravidly natolik sevřen, že to, co vidíme zde na Zemi, má daleko do nějaké stojaté vody evoluce či

provinciální zoo, natož hříčky přírody... Existují velmi silné limitující faktory nejen ohledně předvídatelnosti událostí zde na Zemi, nýbrž také ohledně vyvozování závěrů o jiných světech.“¹

Exotický „život“?

Je pochopitelné, že se pátrání po životě zaměřuje na planety pozemského typu, které obíhají kolem dlouhověkových hvězd, podobných našemu Slunci. Avšak autoři vědeckofantastické literatury upozorňují na to, že existují i poněkud exotičtější alternativy. Tělesná stavba inteligentních mimozemšťanů by byla vždy závislá na prostředí, které by nabízela jejich domovská planeta. Mohla by to být kupříkladu balonovitá stvoření vznášející se v husté atmosféře nebo tvorové velikosti hmyzu na velmi hmotné planetě s velkou gravitací.

Možná se životu daří i při nižších teplotách, či dokonce na planetách, které byly vrženy do mrazivé temnoty mezihvězdného prostoru a jejichž hlavním zdrojem tepla je vnitřní radioaktivita – proces, který zahřívá i zemské jádro.

Nedávno objevené planety obíhají kolem hvězd, jež se podobají našemu Slunci. Avšak úplně první extrasolární planety byly objeveny v mnohem exotičtějším prostředí. V roce 1992 objevil radioastronom Alex Wolszczan tři planety menší než Země, které obíhají nikoliv kolem běžné hvězdy, nýbrž hvězdy neutronové – objektu tak hustého, že hmota rovnající se Slunci je v něm stlačena do poloměru deseti kilometrů, jehož hustota je 100 000 000 000 000 násobně vyšší, než má běžné těleso.²

Neutronové hvězdy jsou husté „škvarky“, které zůstanou po explozi supernovy. Fyzikové se o ně velmi zajímají, protože jsou příkladem extrémních podmínek, které nemohou být simulovány v pozemských laboratořích, a skýtají tudíž příležitost prověřit přírodní zákony až na samu

hranici a snad i dozvědět se něco zásadně nového. Záření, které vydávají, je mnohem jasnější než pozemský laser a magnetická pole na jejich povrchu jsou miliónkrát silnější, než jaká mohou být vytvořena v laboratořích. Přitažlivá síla neutronové hvězdy je bilionkrát větší než na Zemi: když nám spadne tužka ze stolu, způsobí hluk. Stejná akce na neutronové hvězdě by uvolnila tolik energie jako kilotuna vysoce výbušné látky.

Nejznámější neutronová hvězda leží v centru Krabí mlhoviny, rozpínajících se pozůstatků supernovy, zaznamenané čínskými astronomy v roce 1054. Vrchní astrolog a počítáč kalendáře, Jang Wej Te, ji ve svých zápisech nazval „hvězdou-návštěvníkem“ a považoval ji za „žlutou a příznivou pro císaře“. Tataž supernova byla zaznamenána v Koreji a Japonsku; existují dokonce názory, že se objevuje i na některých indiánských kresbách. Neutronová hvězda v Krabí mlhovině se otáčí rychlostí třiceti tři obrátěk za sekundu a vyzařuje silný svazek paprsků radiace, který zachycujeme jednou během každé otáčky, pokaždé když se objeví jako kužel světla majáku v našem úhlu pohledu. Známe již mnoho set takových „pulsarů“. Většinou jsou to pozůstatky supernov, které explodovaly před miliony let. Trosky těchto dřívějších explozí již nejsou na rozdíl od Krabí mlhoviny viditelné, neboť se dávno rozptýlily a smísily s mezihvězdným plynem.³

Neutronová hvězda, kterou pozoroval Wolszczan, vydává velmi málo světla a naopak uvolňuje pronikavé rentgenové záření a zvedá vítr částic pohybujících se téměř rychlostí světla. Takové prostředí skutečně není příznivé pro život. Je vskutku zarážející, kde se tam tato soustava planet vlastně vzala. Mohla se zformovat po výbuchu supernovy z plynu, který padal k neutronové hvězdě a utvořil prstenec, avšak pravděpodobnějším vysvětlením je předpoklad, že původní hvězda měla svůj planetární doprovod

dříve, než se stala supernovou. Pokud nějaké planety obíhaly na vzdálenějších orbitách než tři zmiňované, mohly se na nich vyvinout primitivní formy života. Avšak tento život by nepřežil událost, při níž vznikla neutronová hvězda. Možná se objevil, jen aby jej doslova vypařila následná exploze supernovy.

Avšak život nemusí zaniknout výhradně v důsledku nějaké kosmické exploze. Naše Slunce se nikdy nestane supernovou a po skončení současného stadia po sobě zanechá bílého trpaslíka, nikoliv neutronovou hvězdu. Je otázkou, jaké jsou asi perspektivy jakéhokoliv inteligentního života na planetě, jejíž mateřská hvězda slunečního typu expanduje a odmrští své vnější vrstvy. Takovéto úvahy nám připomínají, jak je život na obydlených planetách křehký a pomíjivý, a také to, že signál zdánlivě umělého původu, který možná jednou zachytíme, může pocházet od superinteligentních (ne však nutně obdařených vlastním vědomím) počítačů, stvořených dávno zaniklou mimozemskou rasou.

Není vyloučeno, že život může vzniknout i na neutronové hvězdě samotné – scénář, který ve svém klasickém vědeckofantastickém díle představil Robert Forward. Druhy superhustých mikroskopických organismů, jež by mohly existovat v takovémto prostředí, ovládaném jadernými silami, by měly metabolismus daleko rychlejší než život na běžné chemické bázi, takže celý ekosystém by mohl vzniknout a vyvinout se během několika málo let.

Jako opačný extrém nám autoři spekulativní literatury připomínají, že život může existovat v podobě rozptýlených živých struktur, jež by volně proplouvaly mezihvězdnými oblaky. Žily by (a pokud by byly inteligentní, i myslely) ve zpomaleném tempu, nicméně i tak by ve vzdálené budoucnosti došly svého uplatnění (viz kapitola 7).

Mezihvězdný rozhovor

Tvrzení, že pokročilý život je všeobecně rozšířený, musí čelit slavné otázce, kterou poprvé položil velký fyzik Enrico Fermi: „Tak proč zde žádní mimozemšťané nejsou?“ Proč nás ještě nenavštívili nebo alespoň nezanechali nezpochybnitelný důkaz své existence? Proč nás nebijí do očí známky jejich přítomnosti nebo přítomnosti jejich artefaktů? Tento argument nabývá ještě větší váhy, když si uvědomíme, že některé hvězdy jsou o miliardy let starší než naše Slunce: kdyby byl život běžný, měl by nejprve vzniknout právě na planetách, které obíhají kolem těchto prastarých hvězd.⁴

Dokonce i kdyby nás nikdy nikdo nenavštívil (čímž si pochopitelně nemůžeme být stoprocentně jisti), neměli bychom z toho navzdory Fermiho otázce usuzovat, že mimozemšťané neexistují. Bylo by mnohem snazší vyslat rádiový nebo laserový signál než se trmácet napříč nepředstavitelnými vzdálenostmi mezihvězdného prostoru. Ve skutečnosti již dokážeme vyslat signál, který by mohla zachytit civilizace se stejnou technologií, jako je ta naše, a která by sídlila na planetě obíhající kolem nějaké blízké hvězdy. Avšak i ty nejbližší hvězdy jsou natolik vzdáleny, že by náš signál putoval mnoho let. (Mimozemšťané vybavení velkými rádiovými anténami by v každém případě mohli zachytit silné signály z antibalistických raketových radarů, a rovněž tak celkový výstup všech našich televizních vysílačů. Kdyby je navíc dokázali dekodovat, není těžké si představit, co by si asi pomysleli o „inteligentním“ životě na Zemi.)

Rozumnější je spíše nejprve naslouchat než vysílat. Kdybychom nějaký signál skutečně zachytili, měli bychom spoustu času na odeslání promyšlené odpovědi. Žádná svižná debata však není možná, jelikož obousměrná výměna by trvala přinejlepším celá desetiletí. Můžeme samozřejmě poslat kódované obrázky či dokonce nákresy trojrozměrných struktur: buď předmětů, nebo

molekulárních vzorů – například genomu. Z dlouhodobého hlediska by se nicméně debata mohla rozvinout. Logik Hans Freudental vytvořil kompletní jazyk pro mezihvězdnou komunikaci s názvem „lincos“ – ze začátku bychom se dorozumívali pomocí omezeného slovníku, potřebného k vyjádření jednoduchých matematických výroků, a pak bychom složitost rozhovoru postupně zvyšovali.

Pátrání po mimozemské inteligenci (SETI = Search for Extraterrestrial Intelligence – pozn. překl.) je riskantní podnik, který však stojí za to – ačkoliv se obávám, že šance na úspěch je pramalá – neboť takovýto nález by měl dalekosáhlý filozofický dopad. Signál zjevně umělého původu – i kdyby to byl nudný sled prvočísel nebo cifer čísla „ π “ zapsaný ve dvojkové soustavě – by s sebou nesl závažné poselství, že inteligence (třebaže nikoliv nutně vědomí) není jen výsadou Země, nýbrž se vyvinula také jinde, a že pojmy jako logika a fyzika nejsou výhradním vlastnictvím „hardwaru“, který nosíme ve svých hlavách.

Na špici tohoto pátrání stojí Institut SETI v Mountain View v Kalifornii a jeho práci vydatně podporují bohaté soukromé nadace. Ale i každý amatér, který vlastní domácí počítač, si může z internetu stáhnout krátký úsek datového toku z rádiového teleskopu a analyzovat jej. V době, kdy píší tuto knihu, využilo této nabídky přes tři miliony lidí. Všechny bezpochyby poháněla naděje, že právě oni jako první objeví mimozemšťany. Ve světle tak ohromného veřejného zájmu je s podivem, že program SETI jen nesnadno získává finanční prostředky z veřejných zdrojů; jeho rozpočet je nižší, než kolik stát získá na daních z jednoho vědeckofantastického filmu. Kdybych já byl americkým vědcem a vypovídal před Kongresem, raději bych požadoval pár milionů dolarů na SETI než na úzce specializovaná vědecká odvětví či na konvenční vesmírné projekty.

I kdyby inteligence byla všeobecně rozšířená, možná nikdy nepoznáme více než malý a atypický zlomek všeho, co je tam venku. Některé cizí myslí mohou nazírat realitu způsobem, který bude mimo naše chápání. Jiní tvorové mohou být nesdílní a uzavření, pohroužení sami do sebe a mohou obývat třeba hlubiny některého planetárního oceánu, aniž by dávali nějak najevo svou přítomnost. Ve vesmíru může existovat daleko více života, než kdy budeme moci poznat. Neexistence důkazů není důkazem neexistence. Jediným druhem inteligence, již jsme schopni objevit, je taková, která bude používat nám pochopitelnou technologii.

Další slunce, vzdálená mnoho světelných let, mohou svítit na mimozemské domovy stejně důmyslné a komplexní, jako je ten náš. Všechny by měly svou vlastní historii vývoje. Ani ten nejradikálnější konvergentní pohled na evoluci by nemohl vést k předpokladu, že se jiné biosféry v Mléčné dráze podobají té naší do nejmenšího detailu. Šance, že se vyvinou dva totožné ekosystémy, je menší, než že dvě opice přepíšou nahodilými údery do klávesnice stejnou Shakespearovu hru. Mohlo by k tomu dojít, kdyby čas a prostor byly skutečně nekonečné, ovšem nikoliv v rámci sice ohromné, avšak konečné sféry, kterou v současnosti pozorujeme. Opice celého světa by stěží vypočetly jeden jediný sonet bez chyby, i kdyby psaly miliardu let. Také jakýkoliv ekosystém obsahuje nekonečně více obměn než jeden jazyk.

Kdyby byl vesmír skutečně nekonečný, pak by se mohlo stát doslova cokoli, byť by to bylo vysoce nepravděpodobné. Vlastně by se to muselo stát nekonečněkrát – existovalo by nekonečně mnoho přesných kopií naší Země. Ale tyto klony by se nacházely daleko za hranicemi naší Galaxie, rozhodně velmi daleko za hranicemi námi pozorovaného vesmíru.

Bylo by jistým zklamáním, kdyby pátrám po mimozemské inteligenci bylo odsouzeno k nezdaru. Na druhé straně by však mělo lidstvo alespoň záminku

k pozvednutí sebeúcty a hrdosti na vlastní druh: pokud by naše malá Zemička byla jediným sídlem inteligence (přinejmenším ve sféře dosahu našich teleskopů), měla by tato skutečnost ještě větší kosmický význam, než kdyby se celá Mléčná dráha již dávno zelenala komplexním životem. Pak bychom měli dokonce ještě pádnější důvod pečovat o naši bleděmodrou tečku ve vesmíru a zajistit životu budoucnost.

Naše Slunce doposud spotřebovalo méně než polovinu svého jaderného paliva a ještě má před sebou více času, než kolik potřebovala naše biosféra, aby se vyvinula z nejprostších začátků na mladé Zemi – vlastně několiknásobně více času, než uběhlo od zrodu prvních mnohobuněčných forem života. Avšak budoucnost celého vesmíru je mnohem delší – v pozdějších kapitolách předložím názor, že je nekonečná. I kdyby pozemský život byl momentálně jedinečný, nemůžeme z toho usuzovat, že kosmos není biofilní. Život stále může vzejít, stát se všudypřítomným a nakonec ovládnout celý vesmír. Život rozsetý ze Země má spoustu času na to, aby se rozšířil napříč celou Galaxií, a dokonce i dál. Vzhledem k ohromnému časovému rozpětí nemůžeme samozřejmě počítat s tím, že se bude být jen vzdáleně podobat životu lidskému. Sám Darwin napsal: „Soudě podle minulosti, můžeme bezpečně říci, že žádný živočišný druh se nedočká vzdálené budoucnosti nezměněn.“ A dnes mohou umělé genetické modifikace vyvolat změny daleko rychleji, než by dokázal přirozený výběr.

K rozšíření života ze Země by mohlo dojít za předpokladu, že si lidé svým jednáním sami nezavrou dveře k této dlouhodobé perspektivě. Zemi navíc neustále hrozí srážka s asteroidem dostatečně velkým, aby způsobil katastrofu celosvětového dopadu – oceánské vlny stovky metrů vysoké, strašlivá zemětřesení a změny globálního klimatu. Díky filmům jako Drtivý dopad (Deep Impact) vzrostlo povědomí veřejnosti o možnosti takovéto katastrofy,

třebaže se vyskytli nejrůznější šířitelé poplašných zpráv, kteří zastírají fakt, že pravděpodobnost, že k něčemu takovému dojde za života kohokoliv z nás, je menší než 1: 10 000. (Nicméně pro průměrného člověka je stejně pravděpodobné, že přijde o život při pádu letadla. Riziko zmiňované katastrofy je rozhodně vyšší než všechna ostatní nebezpečí, kterým je většina Evropanů a obyvatel severoamerického kontinentu vystavena. Je proto nanejvýš vhodné věnovat přiměřené úsilí pátrání po potenciálně nebezpečných kosmických tělesech).

Hrozí nám však jedno poněkud hůře změřitelné nebezpečí – ačkoliv se obávám, že větší a stále naléhavější. Totiž že nás zničí nějaká katastrofa, kterou si přivodíme sami; možná nešťastný experiment nebo teroristický čin zneužívající poznatky biologie. Avšak jakmile budou mimo Zemi ustavena soběstačná společenství, bude lidstvo jako druh vůči takovýmto katastrofám imunní. Tyto úvahy podle mne předkládají nejpádňější důvody k tomu, abychom se zaměřili na program pilotovaných kosmických letů, třebaže pokroky v robotice a miniaturizaci stále více zpochybňují jeho praktickou prospěšnost. Vývoj kosmických obydlí – vize, uskutečnitelná ještě před koncem dvacátého prvního století – bude dostatečnou zárukou proti riziku, že náš druh zanikne a jeho budoucnost se uzavře.

Naše vlastní výprava do neznáma?

V červenci roku 1969 se díky „malému krůčku“ Neila Armstronga na Měsíci staly vesmírné lety skutečností. Tenkrát se zdálo, že onen krůček je pouze začátkem. Většina z nás si už představovala projekty, které budou následovat: stálá měsíční základna, tak trochu podobná té na jižním pólu, či dokonce obří vesmírné hotely na zemské orbitě. Zdálo se, že dalším logickým krokem bude výprava k Marsu s lidskou posádkou. Ale nic z toho se doposud

neuskutečnilo. Rok 2001 neodpovídá představám Arthura C. Clarka o nic více než rok 1984 představám George Orwella.

Program oznámený v roce 1961 prezidentem Johnem F. Kennedym – „dopravit člověka na Měsíc před koncem desetiletí a vrátit ho bezpečně zpět na Zemi“ – byl z politických důvodů štědře financován. Přistání na Měsíci bylo samoučelné a bez dalšího efektu. Soupeření velmocí, hnací síla celého vývoje, pozbylo na aktuálnosti a od roku 1972 se již žádná další lunární expedice neuskutečnila.

Za jak dlouho se asi lidé vrátí na Měsíc a případně se pustí do průzkumu vzdálenějších objektů? Stěžejním projektem kosmického výzkumu Spojených států je nová Mezinárodní kosmická stanice (ISS = International Space Station). Tato masivní konstrukce o velikosti fotbalového hřiště bude obíhat na stálé oběžné dráze několik stovek kilometrů nad Zemí. I kdyby byla dokončena – což je velmi nejisté vzhledem k ohromným a stále rostoucím nákladům a neustálému zpoždování – bude její existence nanejvýš nepodnětná, pokud lidem neumožní více než kroužit kolem Země za vynaložení nemalých finančních prostředků. To samo o sobě nebude příliš pozoruhodný počín – třicet let po přistání člověka na Měsíci. Pro většinu vědeckých disciplín (se zřejmou výjimkou kosmického lékařství) a rozhodně pro většinu astronomů je ISS asi tak stejně využitelná, jako by byl pro astronomická pozorování využitelný zaoceánský parník. Hlavní vědecký přínos ISS bude spočívat v její funkci jako základny pro montáže rozměrného a křehkého zařízení (kupříkladu pavučinově tenkých zrcadel pro obří vesmírné teleskopy), které pak budou moci být jen lehce popostrčeny na vyšší orbitu.

Časem může ISS sloužit jako přestupní stanice na cestě k jiným planetám. Ale takováto dobrodružství budou muset vyčkat nějakého převratného objevu,

který by lety do vesmíru zlevnil a zjednodušil. Současná technologie startu raketových nosičů je tak extravagantní a finančně náročná, jako by byla letecká doprava, kdyby letadla musela být po každém přistání kompletně přestavěna. Kosmické lety budou běžně dostupné pouze tehdy, převezmou-li stejné postupy a techniky jako nadzvuková letadla. Mohly by být také daleko levnější, kdyby se jich chopili lidé, kteří by je brali jako nebezpečná dobrodružství a přistupovali by k nim s duchem a odvahou zkušebních pilotů či jachtařů, jež se vydávají na výpravy kolem světa. Možná že v budoucnosti nebude průzkum vesmíru financován státem, nýbrž soukromými společnostmi – a stane se vsutku doménou bohatých dobrodruhů, ochotných podstoupit velké riziko, aby se mohli směle vydat k těmto vzdáleným hranicím.

Kamkoli vesmírní cestovatelé půjdou, tam budou čelit nepřátelskému prostředí. Jistě by nebylo lehké postavit pohodlné obydlí, ať už volně se vznášející ve vesmíru či umístěné na Měsíci nebo na Marsu. Ale není to nemožné: nezbytnou infrastrukturu by mohly předem vybudovat automatické sondy a roboti. Suroviny by mohly být těženy a zpracovávány přímo na místě a kolonisté by nakonec mohli žít zcela nezávisle na dodávkách ze Země. Až budou založeny soběstačné kolonie – na Měsíci, Marsu nebo ve volném vesmíru, bude náš druh jako celek nezranitelný jakýmkoli globálními katastrofami a v následujících pěti miliardách let bude mít šanci rozvinout celý svůj potenciál, ať už je jakýkoliv.

3. Atomy, hvězdy a galaxie

Hvězdný materiál

V roce 1835 prohlašoval francouzský filozof Auguste Comte, že jednou

sice můžeme zjistit rozměry a pohyby hvězd, avšak nikdy se nedozvíme, z čeho jsou složeny. Během dvaceti let se tento pesimismus ukázal jako neopodstatněný.

Newtonův slavný pokus s hranolem dokázal, že sluneční světlo lze rozložit na jednotlivé části spektra, představující všechny barvy duhy. Na počátku 19. století použil německý optik Joseph von Fraunhofer poněkud složitější přístroj a zobrazil sluneční spektrum jako pás světla, který pak mohl analyzovat pod mikroskopem. Zjistil, že je proložena mnoha temnými místy, což znamenalo, že některé barevné odstíny (odpovídající dané vlnové délce světla) chybějí. Robert Bunsen (vynálezce slavného Bunsenova hořáku) a Gustav Kirchhoff analyzovali světlo ze světélkujících plynů v laboratoři a objevili podobný vzor spektrálních čar. Každý typ atomu vydává světlo o specifickém barevném složení – kupříkladu žluté světlo vyzařuje sodík; výpary rtuti zase produkují modrou zář, známou z pouličního osvětlení. Nacházejí-li se tyto atomy před teplejším zdrojem svěda, absorbují zcela stejné barvy a vznikne tak spektrum o charakteristickém složení, podobném dnešnímu čárovému kódu. Temné linie ve slunečním spektru má na svědomí absorpce v o něco chladnějším plynu, který pokrývá žhavý povrch Slunce.

Nástup fotografie vyvolal v astronomii doslova revoluci: světlo mohlo být zachyceno během dlouhé expoziční doby, a odhalilo tak mnoho podrobností – příliš nepatrných, než aby je bylo možno spatřit jen pozorováním skrze teleskop. Angličan William Huggins, bohatý amatérský astronom, této nové technologie využil ke studiu světla hvězd a zjistil, že rozloženo na jednotlivé části spektra vykazuje stejný čárový vzor, jaký byl již pozorován u slunečního spektra. Slunce bylo složeno ze stejného materiálu jako Země, a stejně tak i hvězdy.

Spektra hvězd ukazují čárové kódy nejrůznějších prvků, neexistuje však

žádný přímý vztah mezi jasnými spektrálními čarami a množstvím příslušného prvku. Význam signatury toho či onoho prvku je, jak dnes již víme, záležitostí atomové fyziky a závisí také na teplotě a složení vnějších vrstev hvězdy. Tyto otázky byly zodpovězeny až později ve dvacátém století.

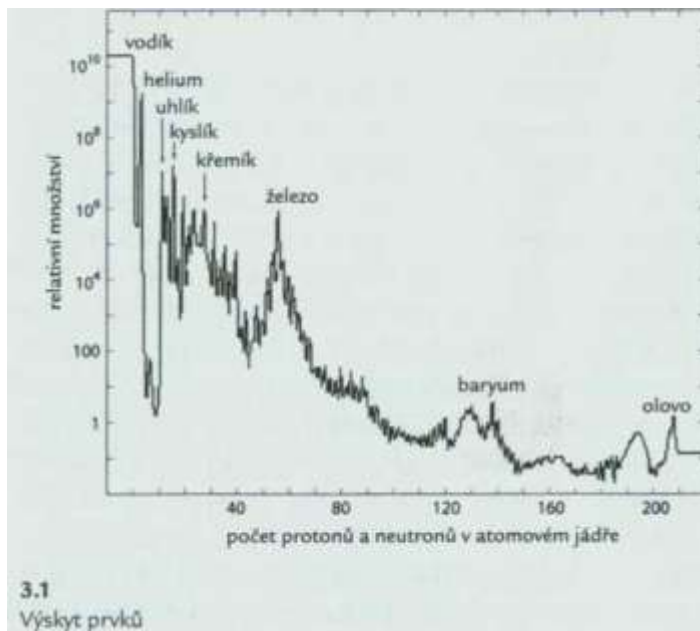
Až do roku 1920 nebylo dokonce známo ani to, že vodík a helium – dva nejjednodušší prvky – jsou zdaleka nejrozšířenějšími prvky nejen v naší sluneční soustavě, ale v celém vesmíru. Pro svou nestálost nejsou tyto velmi lehké atomy na Zemi příliš zastoupeny, ovšem na celkovém složení Slunce a obřích vnějších planet se podílejí až 98 %. Velké uznání zasluhuje Cecilia Payneová, jejíž doktorská práce z roku 1925 byla v tomto ohledu naprosto zásadní. Ovšem skepticismus nejvýznamnějšího experta té doby Henryho Norrisa Russella z Princetonu ji přinutil její největší objev bagatelizovat a upozornit čtenáře na to, že odhadované množství vodíku a helia „je nepravděpodobně vysoké a téměř jistě nereálné“. Payneová se dočkala úspěšné kariéry a opožděně jí byla udělena profesura na Harvardu. (To bohužel nebylo ani zdaleka poprvé, kdy významný počín ženy na poli vědy zůstal nedocenen.)

Hvězdná alchymie

Postupně se začalo ukazovat, že podíl různých prvků na složení hvězd vykazuje jistou pravidelnost a že odpovídá poměru, který byl zjištěn i v naší sluneční soustavě (obr. 3.1). Jak tento specifický „mix“ vznikl? Kolem roku 1930 byly již jaderná fyzika i astrofyzika dostatečně rozvinutými vědami na to, aby se s touto otázkou dokázaly vypořádat. Mohly by být prvky produktem jaderných přeměn ve hvězdách?

Astronomové dokáží vypočítat životní cykly hvězd, které mají například desetinou, desetinásobnou či třicetinásobnou hmotnost Slunce.

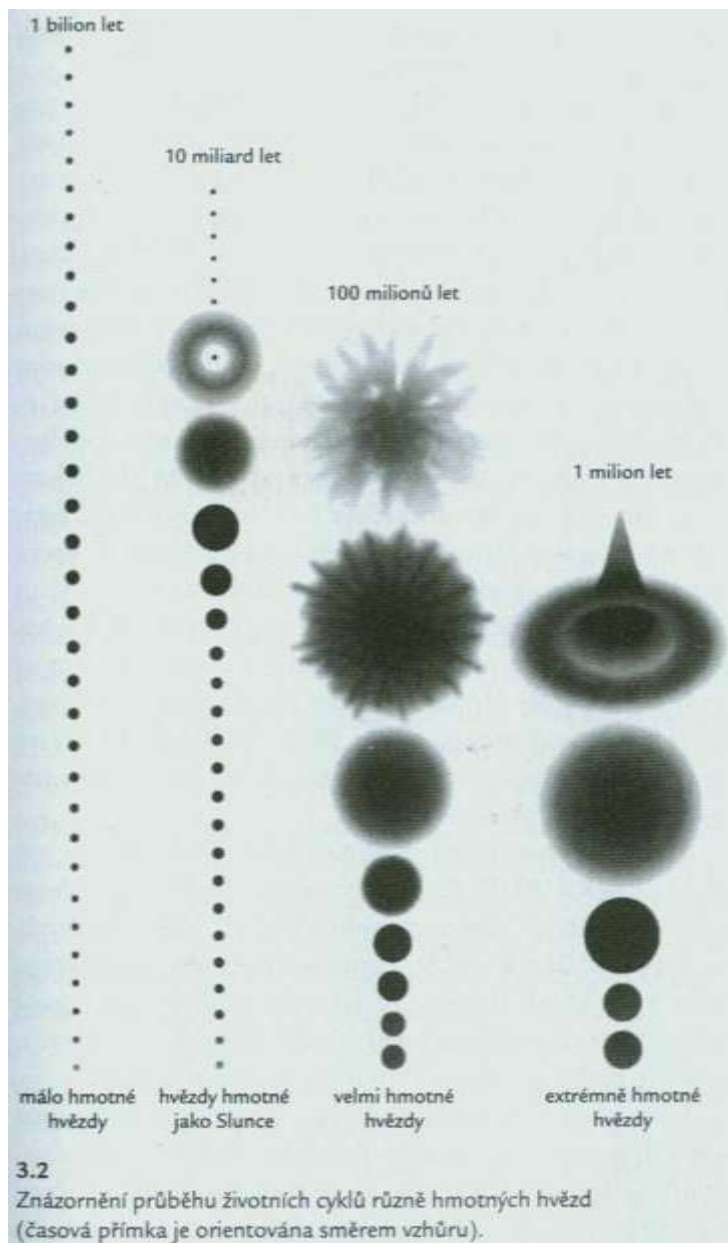
Obrázek 3.2 znázorňuje průběh životních cyklů různých typů hvězd: větší hvězdy jsou mnohem jasnější a svítí krat-



ší dobu, neboť své palivo spotřebovávají rychleji. Ovšem v porovnání s astronomy žijí i ty nehmotnější hvězdy nesrovnatelně déle, takže z celého jejich života neznáme více než okamžik. Podstata našich výpočtů je stejná, jako kdyby mimozemšťan, který právě přistál na Zemi, měl rychle odhadnout životní cyklus stromů nebo lidí.

Ve vesmíru pozorujeme celá hvězdná společenství. Nejlepším zkušebním vzorkem jsou hvězdokupy – shluky až 100 000 hvězd nejrůznějších velikostí, které vznikly ve stejné době. Existují i místa, kde se hvězdy zřejmě ještě tvoří, například v pilířích Orli mlhoviny. Tyto pozoruhodné plynné struktury, vzdálené přibližně sedm tisíc světelných let, se objevují mezi nejčastěji reprodukovánými fotografiemi z Hubbleova vesmírného

teleskopu. Chladná mezihvězdná mračna ukrývají mladé zářivé hvězdy i právě se



formující protohvězdy obklopené prachovými prstenci, z nichž jednou mohou

vzniknout planety.

Podle lidských měřítek jsou změny ve hvězdách nepostřehnutelně pomalé, ovšem není tomu tak vždy. Život hmotných hvězd končí velmi efektně a impozantně – explozí supernovy. Nejbližší supernova, pozorovaná ve dvacátém století, byla objevena v roce 1987. Dne 24. února se na nebi objevil jasný objekt, který ještě předchází noci nebyl vidět. Po několika týdnech začal slábnout, ale jeho vývoj je dodnes monitorován za použití všech dostupných metod moderní astronomie. Tato událost je pro teoretiky jedinečnou příležitostí k prověření komplikovaných počítačových simulací exploze supernovy a názorným příkladem toho, jak nám vesmír umožňuje studovat „extrémní fyziku“ – fungování přírodních zákonů v podmínkách, které nemohou být napodobeny laboratorními experimenty.

Za tisíc let bude materiál vyvržený supernovou z roku 1987 vypadat jako proslulá Krabí mlhovina (o níž jsem se zmínil v kapitole 2), modře zářící pozůstatky supernovy, která byla zaznamenána v roce 1054. Za dalších 10 000 let se tyto expandující trosky rozptýlí a splynou s okolním mezihvězdným plynem.

Supernovy astronomy fascinují, ale astronomem je jen jeden člověk z 10 000. Co znamenají tyto exploze, vzdálené tisíce světelných let, pro zbývajících 9 999 lidí? Odpovědí je, že jsou klíčem k zodpovězení všední pozemské otázky: odkud pocházejí atomy, z nichž se skládáme, a proč jsou některé běžně rozšířené (například kyslík, uhlík a železo), zatímco jiné jako zlato nebo uran jsou velmi vzácné?

Hvězdy desetinásobně a vícekrát hmotnější než Slunce spotřebovávají vodík ve svém nitru mnohokrát rychleji, a září tudíž mnohem jasněji. Gravitace je pak dále stlačuje a jejich jádro je stále žhavější, až se heliová jádra navzájem spojí a vytvoří jádra atomů, jež se nacházejí v periodické soustavě prvků dále.

Takovéto hvězdy mají vnitřní uspořádání podobné cibuli – vrstva uhlíku obklopuje vrstvu kyslíku, která zase spočívá na vrstvě křemíku. Jádro je pak převážně železné. V železe se atomová jádra dotýkají nejtěsněji, takže jakmile se střed velké hvězdy přemění v železo, nastává energetická krize. Jádro imploduje, zhustí se biliardkrát více než běžná hmota a stane se z něj neutronová hvězda, či dokonce černá díra. Takovýto katastrofický kolaps uvolní dostatečné množství energie na to, aby vyvolalo kolosální explozi – supernovu – která odmrští vnější vrstvy hvězdy. V té době už hvězda obsahuje všechny produkty jaderné alchymie, díky níž zářila po celou dobu své existence.

Toto vysvětlení zodpovídá část otázky, avšak samo o sobě nemůže objasnit existenci všech dvaadevadesáti prvků vyskytujících se v přírodě. Železo zaujímá v periodické tabulce teprve 26. místo; muselo projít energeticky mnohem náročnějšími procesy, aby z něj vznikly ještě těžší prvky, které se vyskytují pouze ve stopovém množství. Některé z nich – například thorium nebo uran – byly stvořeny ve výhni samotné exploze supernovy. Jiné jako baryum a vizmut vznikají při zachytávání neutronů v rudých obrech. Hvězdy, které nejsou dostatečně hmotné na to, aby se staly supernovami, také přispívají svým dílem – ve skutečnosti jsou hlavním zdrojem uhlíku, protože když vzplanou, odhodí do prostoru množství zpracovaného materiálu.

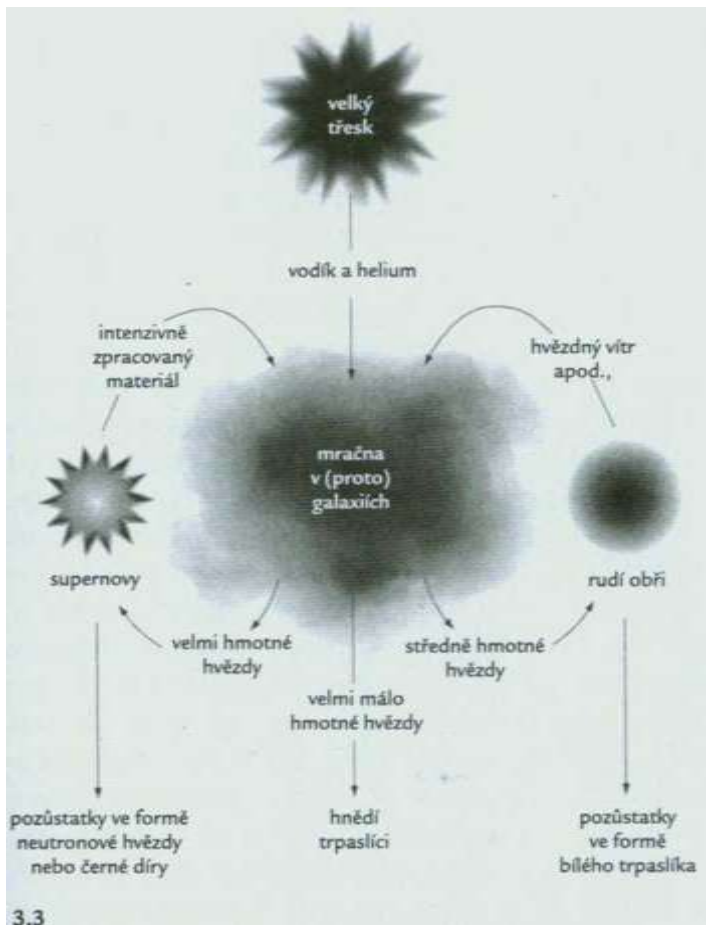
Ústřední postavou těchto objevů od poloviny 40. let dvacátého století byl cambridgeský astrofyzik Fred Hoyle. Byl průkopníkem v poznávání vnitřní struktury hvězd a jejich vývoje; disponoval rovněž dostatečným vzděláním na to, aby porozuměl fundamentálním jaderným procesům. Co však bylo důležitější, dokázal nadchnout ostatní vědce, zejména pak jaderného fyzika Williama Fowlera, v jehož laboratoři na Kalifornském technologickém institutu bylo provedeno mnoho zásadních experimentů k objasnění klíčových

specifických reakcí. Klíčové procesy stelární nukleogeneze byly v roce 1957 sjednoceny v obsáhlém dokumentu, na němž Hoyle a Fowler spolupracovali s astronomy Geoffreyem a Margaret Burbidgeovými. (Toto klasické pojednání bývá nazýváno B²FH podle iniciál jeho čtyř autorů).²

Náš vesmírný domov je jako ekosystém, kde plyn je postupně recyklován v dalších a dalších generacích hvězd (obr. 3.3). Rychle hořící hmotné hvězdy přeměňují původní vodík na uhlík, kyslík, železo a ostatní prvky periodické tabulky. Pak odhodí spotřebované palivo zpět do vesmíru buď prostřednictvím hvězdného větru, nebo při závěrečném vzplanutí supernovy. Každý takový atom kyslíku, vyvržený z masivní hvězdy, se mohl toulat mezihvězdným prostorem i stovky milionů let. Nakonec se ocitl v hustém mračnu, které se vlastní vahou smršťuje a formuje v novou hvězdu, obklopenou prachovým prstencem. Tato hvězda byla třeba zrovna naším Sluncem, dotyčný atom mohl skončit na Zemi, a tak právě teď možná obíhá v některé lidské buňce. Abychom porozuměli svému původu, musíme nejprve porozumět hvězdám, které se zformovaly před dlouhými věky kdesi v odlehlé části naší Mléčné dráhy.

Mimozemšťané by byli složeni z podobných atomů jako my lidé. A stejně jako my by si uvědomili, že tyto atomy vděčí za svou existenci hvězdným explozím. Sdíleli bychom s nimi společnou spřízněnost s hvězdami. My i oni bychom

² Kanadský fyzik Alastair Cameron rozvinul nezávisle na nich některé zásadní myšlenky. Podrobnosti byly rozpracovány v následujících desetiletích, zejména pokud jde o lepší porozumění procesům, které probíhají v rázové vlně samotné exploze supernovy.



Při velkém třesku vznikl vodík a helium (plus stopové množství lithia). Tento původní plyn působením gravitace zkonzoval do protoogalaktických mračen, v nichž se pak utvořily hvězdy. Nejmenší (a nejpomaleji hořící) hvězdy mají méně než desetinou hmotnost Slunce. Ty nejtěžší jsou naopak více než 100 násobně hmotné. Jaderná fuze ve hvězdách produkuje těžší prvky. Část takového „zpracovaného“ materiálu je ze středně a velmi hmotných hvězd vyvržena a později opět recyklována v nových hvězdách. Při těchto procesech vzniknou prvky periodické tabulky v poměrech zobrazených na obrázku 3.1. Jak galaxie

stárnou, vzniká stále více těžkých prvků. Z původního plynného mračna se postupně stává „mrtvá“ kompaktní hmota.

byli jen hvězdný prach nebo méně prozaicky jaderný odpad z reakcí, které hvězdám umožňují svítit.

System jaderných reakcí, které vytvořily prvky periodické tabulky, je těsně spjat s fyzikou mikrosvěta: s tím, co nastane, když se srazí dvě atomová jádra, jaké kombinace částic zůstanou pohromadě a stabilní a tak dále. Tyto reakce závisejí především na rovnováze mezi dvěma silami, jež ovládají základní složky atomového jádra: elektrickým odpuzováním mezi protony a silnou jadernou vazbou mezi protony a neutrony. Tuto sílu dnes vysvětlujeme (budeme-li se pohybovat na poněkud odbornější úrovni) pomocí částic menších než atomové jádro zvaných kvarky a gluony.

Jaderné síly umožňují existenci stabilních prvků periodické tabulky a díky nim je atomová energie efektivním energetickým zdrojem hvězd. Navíc se ukazuje, že na síle jaderné vazby velmi citlivě závisí také slučování jednotlivých atomů. Kupříkladu každé atomové jádro uhlíku (obsahující šest protonů a šest neutronů) je výsledkem spojení tří jader helia. Tento proces, jak si poprvé uvědomili Fred Hoyle a americký astrofyzik Edwin Salpeter, účinně funguje pouze tehdy, vykazuje-li jádro uhlíku poněkud neočekávané chování: kmitání o velmi specifické energii. Jinak by šance, že se heliová jádra spojí, byla tak nízká, že by atomy uhlíku – samozřejmě nezbytné pro život – byly velmi vzácné. Ve skutečnosti se Hoyle domníval, že uhlíková jádra mají tuto vlastnost, ještě předtím, než to bylo experimentálně doloženo. Přiměl své kolegy, aby provedli laboratorní měření, a výsledek jeho předpověď potvrdil. Frekvence kmitů atomových jader závisejí na velikosti síly, která drží pohromadě protony a neutrony. Tento jev, který Hoyle objevil, by býval vůbec neexistoval, kdyby se tato síla lišila od stávající hodnoty o 1 či 2 % –

fakt, jenž je často uváděn jako důkaz toho, že náš vesmír se řídí zákony, které jsou až neuvěřitelně biofilní.

I ostatní vlastnosti atomových jader mají dalekosáhlé důsledky. Neutron je o 0,14 % těžší než proton – jen o málo více než o jednu tisícinu. Avšak tento rozdíl, jakkoliv je malý, převyšuje celkovou hmotnost elektronu. Kdyby elektrony nebyly tak lehké, sloučily by se s protony v neutrony a žádný vodík by nevznikl. (V našem vesmíru k těmto spojením dochází pouze při extrémních tlacích, jaké panují uvnitř neutronových hvězd.)

Skutečnost, že elektrony váží v porovnání s atomovými jádry velmi málo, je také důležitá. Tato nerovnost je nezbytným předpokladem toho, že molekuly jako DNA mají sklon zachovávat své přesné a charakteristické struktury. Heisenbergův princip neurčitosti hovoří o nevyhnutelné nemožnosti stanovit přesnou polohu té či oné částice, ačkoliv tato neurčitost je menší v případech těžších částic. V molekule je neurčitost polohy atomu podmíněna hmotností jeho jádra. Oběžné dráhy elektronů obklopující jádro jsou mnohem rozměrnější, jelikož elektrony jsou lehčí, a ohledně jejich polohy tudíž panuje větší neurčitost. Orbity elektronů určují celkovou velikost atomů a rozestupy mezi atomy v molekule. Jelikož protony jsou 1 836 krát těžší než elektrony, může být poloha atomů (relativní vzhledem k jejich sousedům) určena poměrně přesně; komplexní molekuly tudíž mají jasně definované uspořádání.

Podivuhodný příběh stelární nukleogeneze zklamal George Gamowa. Jak bude řečeno v následující kapitole, jeho přesvědčení, že všechny prvky vznikly při velkém třesku (či „ylemu“, jak jej nazýval), podrobné výpočty nepotvrdily. Během prvních pár minut existence vesmíru poklesla teplota natolik, že řetězec potřebných reakcí nestačil započít. A co víc, pozorování ukázala, že mladší hvězdy obsahují těžší prvky než starší hvězdy, což potvrdilo předpoklad, že se hvězdy zformovaly z mezihvězdného plynu, který

se časem více a více „znečišťoval“. Ale Gamowovi bylo alespoň zčásti dáno za pravdu – deuterium, helium a lithium skutečně vznikly v horkém raném vesmíru. Dokonce i nejstarší hvězdy obsahují 23 % helia – tedy přesně tentýž podíl, jaký vyšel z velkého třesku.

Hvězdy, atomy a gravitace

Hlubaví mimozemšťané, i kdyby byli slepí nebo měli podobu plyných útvarů, by se jistě dozvěděli o atomech a gravitaci dost, aby se dovtipili, co jsou hvězdy zač. Pokud bychom definovali hvězdy jako gravitačně uzavřený fúzní reaktor, pak bychom se dobrali jejich velikost pomocí velmi jednoduchého údaje – kolik atomů bychom museli stlačit k sobě, aby nějaká vznikla.

Gravitace je velmi slabá síla. Dva protony k sobě přitahuje silou zhruba 10^{36} slabší, než jak to svede síla elektrická. Ovšem ve velkých objektech, složených z ohromného počtu atomů, se kladné a záporné elektrické náboje vzájemně téměř vyruší, neboť počet elektronů a protonů se takřka přesně shoduje. Naproti tomu znaménko gravitačního náboje je vždy stejné, takže čím je objekt větší, tím je gravitace ve srovnání s ostatními silami významnější. Jelikož je tak nesmírně slabá – 10^{36} násobně slabší než elektrická síla mezi dvěma protony – dominuje pouze ve skutečně velkých objektech. Princetonský fyzik Robert Dicke jako první upozornil na to, že právě z toho důvodu jsou hvězdy tak velké (Slunce jakožto typická hvězda obsahuje 10^{57} protonů.³) Dicke také odhadl dobu, za níž hvězda vychladne, a

³ Dickeovo tvrzení vyplývá z docela prostého aritmetického výpočtu.

Představte si, že postupně dáváte dohromady stále větší kousky o 10, 100, 1 000 atomech a tak dále. Potom 24. kousek, obsahující 10^{24} atomů, bude velký

ukázal tak, že kromě své velikosti se hvězdy pyšní také mimořádně dlouhým životem – a to vše díky tomu, že gravitace je tak slabá.

V rámci přípravy na spekulativní úvahy v dalších kapitolách si můžeme zkusit představit, jak by vesmír vypadal, kdyby gravitace nebyla tak slabá. Předpokládejme například, že by byla „jen“ 10^{26} místo 10^{36} násobně slabší než elektrická síla v atomech, avšak mikrofyzička by zůstala beze změn. Atomy a molekuly by se chovaly naprosto stejně jako v našem skutečném vesmíru, ale objekty by nemusely dosáhnout takové velikosti, aby gravitace mohla konkurovat ostatním silám. V tomto pomyslném vesmíru by hvězdy měly 10^{15} hmotnosti Slunce. Kdyby kolem nich obíhaly planety, byly by úměrně tomu menší než planety naší sluneční soustavy, avšak přitažlivost na

jako kostka cukru; 40. už bude jako hora nebo menší asteroid.

Vliv gravitace na každý atom – jak silně jej váže s ostatními atomy v kousku – vzrůstá úměrně k celkovému počtu atomů, ovšem děleno kvadrátem průměrné vzdálenosti jednoho od druhého. Za každý 1 000 násobný přírůstek k celkové hmotnosti vzroste význam gravitace 100 násobně. (Je tomu tak proto, že ačkoliv počet atomů vzroste 1 000 krát, průměrná vzdálenost jednoho od druhého vzroste pouze 10 krát). Přes svůj počáteční handicap, rovnající se 10^{36} , gravitační síly převládnu, jakmile je pohromadě více než 10^{54} protonů (36 jsou dvě třetiny z 54). Takovýto objekt je velký asi jako Jupiter, největší planeta naší sluneční soustavy. Chce-li se však stát hvězdou, musí být ještě o něco hmotnější – o celkovém počtu více než 10^{56} atomů – aby jej gravitace udržela pohromadě i přesto, že v jeho jádře panuje dostatečně vysoká teplota ke spuštění jaderné fúze. Obrázek A.1 v Dodatku znázorňuje tuto argumentaci graficky.

jejich povrchu by byla daleko silnější než na Zemi. Silná gravitace by na těchto hypotetických miniplanetách, obíhajících kolem hypotetických minihvězd, rozdrtila cokoliv, co by bylo větší než hmyz. Ovšem ještě závažnějším omezením by byl čas. Místo života dlouhého 10 miliard let by miniaturní Slunce svítilo jen asi jeden rok a svou energii by vyčerpalo ještě dřív, než by evoluce stačila podniknout první nesmělé krůčky.

V tomto hypotetickém vesmíru se silnou gravitací by byly vyhlídky na vznik komplexního života přirozeně méně příznivé, neboť by bylo k dispozici méně prostoru i času. Rozdíly mezi časovými škálami hvězd a typickými časovými škálami fyzikálních a chemických reakcí by se počítaly v nižších mocninách deseti. Gravitace je ve vesmíru rozhodující silou, avšak čím je slabší (za předpokladu, že není nulová), tím velkolepější a složitější jsou její projevy.

Vesmír, neovládaný vysokými čísly, by nemohl zahrnovat tak mnohohrstvovou hierarchii struktur a neposkytl by dostatek času komplexní evoluci. Ohromná měřítká jsou nezbytným předpokladem „zajímavého“ vesmíru – ten náš takovým učinila právě kvůli obrovskému číslu 10^{36} , které udává slabost gravitace. V důsledku toho jsou vesmírné objekty, jež ovládá gravitace, rozměrné a žijí dlouhou dobu.

4. Extragalaktická perspektiva

Jiné galaxie

Žijeme v Galaxii diskovitého tvaru, zahrnující 100 miliard hvězd. Slunce obíhá kolem jejího středu ve vzdálenosti 25 000 světelných let, přičemž jeden

celý oběh (galaktický rok) mu trvá 200 milionů let. Avšak naše Galaxie je jen jednou z mnoha; například galaxie v Andromedě, její nejbližší soused, leží ve vzdálenosti asi 2 miliony světelných let. Pozorovateli v Andromedě by se naše Galaxie jevila přibližně stejně jako Andromeda nám – ohromný, zvolna se otáčející disk hvězd a plynu zdánlivě oválného tvaru, neboť by byl pozorován poněkud zešikma.

Galaxie jsou základními prvky velkorozměrového vesmíru, stejně jako jednotlivé hvězdy jsou hlavními prvky galaxií. V dosahu našich teleskopů je přibližně tolik galaxií, kolik je v každé z nich hvězd. (Stejně jako lidé jsou někde na půli cesty mezi atomy a hvězdami, galaxie jsou uprostřed mezi hvězdami a námi pozorovatelným vesmírem.)

S hvězdami jsme dnes v zásadě dobře obeznámeni. Víme toho dost o atomech i gravitaci, abychom mohli vypočítat, jak vypadá gravitačně uzavřený fúzní reaktor. Výsledky těchto propočtů nám udávají velikost, zářivost a barvu hvězd, jež vidíme, a umožňují nám odhadnout jejich věk a životní cykly. Avšak navzdory překotnému pokroku v poslední době je bezúspěšné naše úsilí o stejně zevrubné porozumění galaxiím. Proč scenerii velkorozměrového vesmíru vévodí tato úchvatná a osobitá seskupení plynu a hvězd? Proč mají některé podobu disku, zatímco jiné – eliptické – jsou amorfními roji hvězd? Okolnosti, které maří dnešní pokusy o zodpovězení této otázky, přiblížím v dalších kapitolách. Galaxie ukrývají stále neznámou složku – temnou hmotu – a některé své hlavní rysy získaly již na počátku existence našeho vesmíru.

Galaxie nejsou ve vesmíru rozesety náhodně: většinou se nacházejí ve skupinách či shlucích a jsou svázány gravitací. Naší vlastní Místní skupině s průměrem několika milionů světelných let vévodí dvě velké galaxie – Mléčná dráha a galaxie v Andromedě, ovšem nachází se zde (podle posledního

sčítání) také třicet pět menších satelitních galaxií, z nichž každá je udržována na ohromné orbitě gravitací celé skupiny. Místní skupina je odlehlou částí souostroví galaxií, soustředěných kolem kupy galaxií v souhvězdí Panny, jejíž střed leží ve vzdálenosti 50 milionů světelných let. Avšak i tyto kupy jsou uspořádány v ještě větších celcích. Tím nejbližším a nejmarkantnějším je takzvaná Velká stěna, seskupení hvězd podobné gigantickému pásu, jež je vzdálené 200 milionů světelných let.

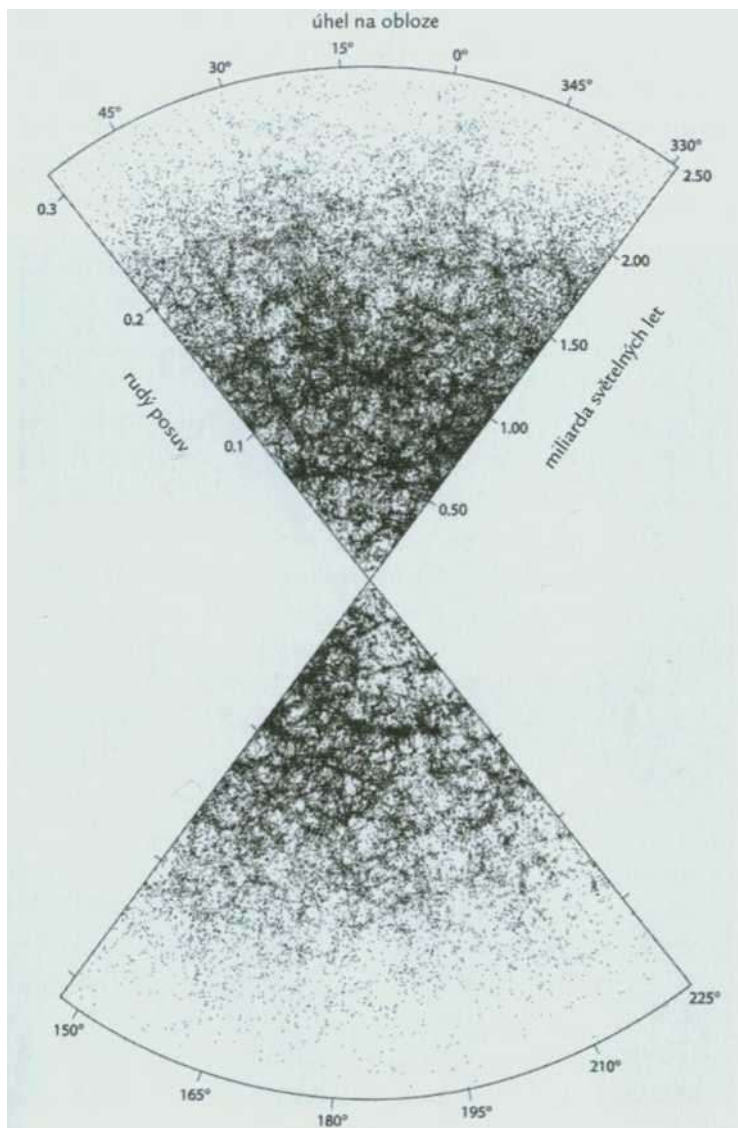
Velkorozměrová struktura a expanze

Kdyby náš vesmír obsahoval shluky ve shlucích ve shlucích ad infinitum – kdyby to byl technickým žargonem řečeno jednoduchý fraktál – pak jakkoliv velký objem bychom prozkoumali, byla by to vždy jen část většího celku: jednoduše bychom testovali vyšší a vyšší množiny v hierarchii hvězdných seskupení. Ale takto náš vesmír nevypadá (obr. 4.1).

Teleskopy dnes dokáží shromažďovat údaje daleko rychleji než kdy předtím: místo aby astronomové pozorovali galaxie jednu po druhé, mohou pomocí optických vláken zaznamenávat stovky spekter naráz. Projekty jako Sloan Digital Sky Survey⁴, pětiletý plán průzkumu oblohy pomocí speciálně vybaveného teleskopu v Novém Mexiku, nyní systematicky sledují všechny galaxie, ležící ve vzdálenosti až desetinásobně větší oproti dřívějším průzkumům. Tyto podrobnější výzkumy odhalují více shluků, podobných kupě v Panně, a více útvarů jako Velká stěna. Zdá se však, že žádné větší útvary již neexistují. Krychle o straně 200 milionů světelných let je dostatečně rozměrná na to, aby představoval uspokojivě reprezentativní vzorek našeho vesmíru. Takto velký úsek, ať už by byl vyňat z kteréhokoliv místa ve vesmíru, by obsahoval přibližně stejný počet galaxií, statisticky obdobně

4 V současnosti nejambicióznější projekt průzkumu oblohy, pojmenovaný po nadaci Alfreda P. Sloana, jednoho z nejvýznamnějších sponzorů projektu. Podrobnosti na internetové stránce www.sdss.org - pozn. překl.

uspořádaných do kup, vláknitých struktur apod. A 200 milionů světelných let je maličkost ve srovnání s horizontem našich pozorování, který leží ve vzdálenosti 10 miliard světelných let.

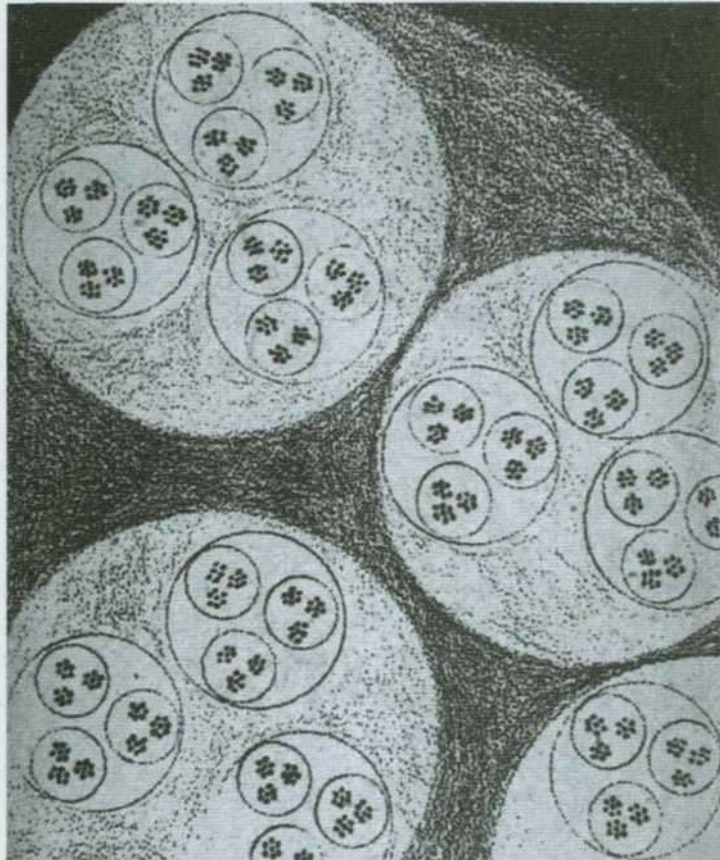


4.1

Velkorozměrové shlukování galaxií: úseky severní a jižní polokoule tak, jak byly zmapovány Anglo-australským teleskopem.

Můžeme si docela dobře představit hypotetický, skutečně fraktálovitý vesmír (viz obr. 4.2), který by postrádal hladkost našeho skutečného

velkorozměrového vesmírného domova. V takovémto vesmíru by byla kosmologie ještě obtížnějším oborem, než je nyní. Vysvětlím to na názorném příkladu. Představte si, že se nacházíte na lodi uprostřed



4.2

Znázornění fraktálovitého vesmíru se shluky ve shlucích ve shlucích *ad infinitum* – uspořádání, jaké na počátku dvacátého století předpokládal švédský astronom Charlier.

oceánu. Kdyby byl oceán neklidný, viděli byste složité struktury vln, ovšem vzdálenost od hřebenu ke hřebenu i toho nejmohutnějšího oceánského dmutí

by byla stále malá ve srovnání se vzdáleností horizontu; viděli byste dostatečně rozsáhlý vzorek všech druhů vln na to, aby byl statisticky relevantní. Na druhé straně v hornaté krajině (která může být skutečně fraktálovitá) může celému rozhledu dominovat jeden jediný vrchol. Kosmologie je zvládnutelná jen proto, že náš vesmír připomíná hladinu oceánu spíše než pohoří. Díky této velkorozměrové nečlenitosti můžeme stanovovat průměrné hodnoty.

Celkové pohyby vesmírných těles jsou rovněž jednoduché. Snad nejdůležitější globální informací o našem vesmíru je skutečnost, že všechny galaxie (až na několik sousedících objektů, jež patří ke stejnému seskupení jako my) se od nás vzdalují. Kromě toho je rudý posuv (měřítko rychlosti vzdalování) větší v případě vzdálenějších a hůře viditelných galaxií. Zdá se, že se nacházíme v rozpínajícím se vesmíru, kde se propasti mezi jednotlivými uskupeními galaxií postupně rozšiřují, a vesmír je tudíž čím dál řidčeji „obydlen“.

Prostý vztah mezi rudým posuvem a vzdáleností se nazývá Hubbleův zákon po Edwinu Hubbleovi, který jej v roce 1929 objevil jako první. Je přirozené vysvětlit rudý posuv vzdálené galaxie tím, že zatímco světlo putuje napříč vesmírem, prostor se rozpíná. Stupeň posuvu – jinými slovy míra roztažení vlnových délek – nám udává, nakolik se vesmír rozšířil během doby, kdy k nám světlo putovalo.

Hubbleův zákon neimplikuje, že naše poloha je něčím zvláštní. Představte si, že všechny galaxie jsou propojeny svorníky. Kdyby se tyto pomyslné spojovací články rovnoměrně roztáhly tak, že libovolný trojúhelník ze tří článků by si při tom ponechal týž tvar, pak by pozorovatel z kterékoliv galaxie viděl expanzi stejně. Je to, jako by se rozpínal samotný prostor a

galaxie vlekl s sebou.⁵

Náš vesmír byl nejspíš kdysi stlačen do jediného bodu, takže každý – ať už ze Země, Andromedy či té nejvzdálenější galaxie – si může činit stejný nárok na to, že vyšel z tohoto bodu. V našem nynějším vesmíru nemůžeme ukázat na žádné konkrétní místo a říci: „Toto je střed.“ Všechny galaxie mají rovnoprávné postavení.

Hubble mohl studovat pouze ty galaxie, které jsou nám relativně blízké – ty, jejichž rychlost vzdalování byla nižší než 1 % rychlosti světla. Díky větším teleskopům a (ještě více) zdokonaleným sensorům pro detekci slabého světla máme dnes mnohem obsáhlejší údaje a odhalili jsme galaxie tak vzdálené, že se pohybují 90 % rychlostí světla. Svědo z těchto galaxií začalo svou pouť, když byly o několik miliard let mladší a vesmír byl více stlačený (jinými slovy když byly ony pomyslné spojovací články kratší). Při odvozování rychlostí a vzdáleností musíme počítat s vlivem relativity a s rozpínáním vesmíru.

Teleskopy: ve vesmíru a na povrchu Země

Na pokroku v astronomii nemají hlavní zásluhu teoretikové, třebaže si vypomáhají supervýkonnými počítači. Závisí především na pozorováních a na vysoce přesných přístrojích, které jsou na špici technologického vývoje. Astronomie má delší historii než kterákoliv jiná věda, snad kromě medicíny. Jako první využila přesných měření a možná jako první přinesla více užitku než škody. Každopádně v ní bylo poprvé zapotřebí velkých přístrojů.

⁵ Tento zákon se vztahuje pouze na kupy, nikoliv na galaxie: v kupách galaxií jsou individuální členové ovlivňováni přitažlivou silou ostatních a žádné rozpínání zde neexistuje. Hubbleův zákon rovněž neplatí uvnitř galaxií.

Astronomické pomůcky – astroláby, hodiny a dalekohledy – byly (a stále jsou) pomníky lidské vynalézavosti a nezřídka mají také vysokou estetickou hodnotu.

Během celého minulého století byly optické teleskopy konstruovány se stále většími zrcadly, aby zachycovaly co nejvíce světla. Kolem roku 1980 existoval již více než tucet zrcadel o průměru přesahujícím 4 metry. Možnosti těchto teleskopů se dramaticky zvýšily, když byl tradiční fotografický film nahrazen foto elektrickými mikroelektronickými čipy, označovanými zkratkou CCD⁶. Účinnost detekce slabého světla se zvýšila z 1 na 80 % teoretického maxima, což v případě těchto čtyřmetrových teleskopů znamenalo ohromný nárůst. Pokud však chceme i při dosažení takovéto účinnosti nalézat stále matnější objekty, musíme zachycovat ještě více světla, a to znamená konstruovat ještě větší zrcadla. Nová 8 či 10 metrová zrcadla dokáží zachytit čtyřikrát více světla z velmi vzdálených a bledých galaxií než předcházející generace pozemských teleskopů. Dva Keckovy teleskopy na Havaji nyní doplňuje několik dalších. Nejmohutnější ze všech je konstrukce s poněkud nenápaditým názvem VLT (Very Large Telescope – Velmi velký teleskop – propojené seskupení čtyř teleskopů, každý s 8,2 metrovým zrcadlem, které v chilských Andách zbudovalo konsorcium evropských států.

Projekt Hubbleova vesmírného teleskopu neustále provázelo zpoždění, překračování rozpočtu a technické problémy, avšak nakonec se očekávání všech astronomů splnila. V roce 1994 provedla lidská posádka opravu na jeho zrcadle, které vykazovalo zkreslení; v rámci dalších misí pak byly jeho

⁶ , Podle anglického Charge Coupled Device (prvek s nábojovou vazbou) – pozn. překl.

detektory světla nahrazeny novějšími modely. Nestane-li se nic mimořádného, měl by fungovat do roku 2010. Ačkoliv průměr jeho zrcadla je pouhých 2,4 metru, dokázal díky svému umístění mimo zkreslující účinky pozemské atmosféry pořídit doposud nejostřejší a nejpodrobnější snímky velmi vzdálených oblastí vesmíru.

Za pár let se k Hubbleovu teleskopu na oběžné dráze připojí Next Generation Space Telescope (Vesmírný teleskop nové generace), mezinárodní projekt s plánovaným průměrem zrcadla 6 až 8 metrů, který bude citlivý na infračervené záření. Tento přístroj bude prozkoumávat ještě odlehlejší hlubiny vesmíru a je možné, že se vrátí zpět v čase až do doby „temna“, kdy ještě neexistovaly žádné galaxie a jediným zdrojem světla byly malé „subgalaxie“.

Dole na zemském povrchu budou desetimetrové teleskopy doplněny novou generací ještě ambicióznějších „obřích očí“. V Evropě se vážně plánuje vývoj takzvaného OWL (OverWhelmingly Large = ohromně velký) teleskopu se stometrovým zrcadlem – vlastně jakási mozaika mnoha méně gigantických částí, které bude možno individuálně nastavit tak, aby se kompenzovaly odchylky v atmosféře. Tento futuristický pozemní přístroj by pravděpodobně přišel na podstatně méně peněz než Hubbleův vesmírný teleskop. Jeho prostřednictvím bychom získali ostré snímky velmi slabě zářících objektů – extrémně vzdálených galaxií, malých planet atd.

Naším hlavním zdrojem informací o vzdálených hvězdách a galaxiích je samozřejmě jejich svědo, které zachycujeme. Ovšem běžně viditelné světlo je pouze částí elektromagnetického spektra. Za modrým koncem spektra leží ultrafialové pásmo, složené ze záření s kratší vlnovou délkou než modré svědo a přenášené fotony o větší energii. Za ultrafialovým je pásmo rentgenového záření, jež odpovídá fotonům s ještě větší energií. Na druhém

konci světelného spektra přechází červené světlo v infračervené tepelné záření, které vydávají objekty, jež nejsou dostatečně horké na to, aby viditelně zářily. V pásmu ještě delších vln leží mikrovlnné a rádiové záření.

Pokud bychom si pomohli analogií se zvukem, pak ultrafialové a rentgenové záření by byly vysoké tóny a infračervené a rádiové vlny by ležely na druhém konci klávesnice. Celé elektromagnetické spektrum, vyzařované vesmírnými objekty, se pohybuje v rozmezí více než stovky oktáv. Pouhé optické pozorování nám tudíž zprostředkovává neúplný pohled na vesmírnou scenerii – omezené a fádní harmonie středního rozsahu namísto široké škály frekvencí, které ve skutečnosti většina objektů ve vesmíru vyzařuje. Toto omezení vyšlo najevo nedlouho poté, co oblohu začaly prozkoumávat primitivní rádiové antény v době, kdy byla astronomie ještě v plenkách. Některé z nejsilnějších zdrojů vesmírného rádiového šumu byly snadno identifikovány: jedním z nich byla například Krabí mlhovina. Dalšími byly extragalaktické objekty (včetně – jak již nyní víme – generování energie okolo gigantických černých děr) tak vzdálené, že byly optickými teleskopy téměř nepostřehnutelné. Nejmarkantnější jevy rádiové oblohy se vůbec neshodovaly s nejjasnějšími viditelnými objekty. S fyzikálními procesy, při nichž dochází ke generování rádiových vln, se tehdy nepočítalo, třebaže dnes jsou již zevrubně prozkoumány.

Mnoho druhů záření z vesmírných objektů pohltní atmosféra, takže neproniknou až na povrch k pozemním observatořím. Vesmírné teleskopy otevřely dveře novým metodám pozorování vesmíru – astronomové mohou kupříkladu jejich prostřednictvím zachycovat rentgenové záření. První detektory rentgenového záření, umístěné na raketách, stačily zaznamenat pouhých pár minut užitečných informací, než se zřítily zpět na povrch. Stejně jako u projektu Apollo plánu přistání člověka na Měsíci – byla hnací silou

rentgenové astronomie rivalita supervelmocí na poli vesmírné technologie a jaderných zbraní. Tento obor učinil mílový krok kupředu v roce 1970, kdy NASA vypustila první satelit s rentgenovými detektory na palubě; namísto minut shromažďoval data na oběžné dráze po celá léta. Tento malý satelit zkonstruovala a obsluhovala výzkumná skupina vedená Riccardein Giacconim, italským fyzikem, který se usadil ve Spojených státech. Díky tomuto projektu a mnoha jeho následovníkům rentgenová astronomie dokázala, že je novým, velmi důležitým „oknem“ do vesmíru. Pokrok vesmírných rentgenových teleskopů je stejně zásadní jako cesta od Galileova „optického skla“ k 10 metrovým teleskopům, přičemž vše se událo v průběhu posledních třiceti let.

Tepelné rentgenové záření vydávají objekty tisíckrát teplejší, než je povrch běžné hvězdy; v důsledku toho jsou na rentgenových mapách oblohy zdůrazněny nejžhavější a nejenergetičtější objekty ve vesmíru. Rentgenové záření přichází například od prudce zahřátého plynu, jenž je vtahován do černé díry. Největší exempláře těchto děr o hmotnosti milionů či dokonce miliard hvězd se skrývají v jádrech galaxií. Radiace vyzařovaná z jejich blízkosti je klíčem k nejpozoruhodnějšímu aspektu Einsteinovy teorie – jak silná gravitace ohýbá prostor a natahuje čas. Astrofyzikové se obzvláště zajímají o nejextrémnější a nejdrsnější vesmírné podmínky: prudké exploze, výtrysky částic pohybujících se až 99,99 % rychlosti světla, záblesky, které v několika sekundách vyzáří více světla než Slunce za celou svou historii trvající 10 miliard let. Vesmír se nám nabízí jako laboratoř, kde můžeme testovat přírodní zákony v extrémních podmínkách, jichž na Zemi nelze dosáhnout.

Ohlédnutí daleko nazpět

Jak už bylo řečeno v kapitole 3, díky laboratorní znalosti gravitace, atomů

a jejich jader můžeme vypočítat životní cyklus Slunce a hvězd. Nyní se zaměříme na celé galaxie. Hvězdy naší Mléčné dráhy a galaxie v Andromedě krouží v podobě jakéhosi gigantického disku a řídí se principy, které by Isaac Newton snadno pochopil. Avšak v galaxiích panuje složité „počasí“, které víří mezihvězdný prach a neustále jej recykluje v dalších a dalších generacích hvězd – takto, z původního vodíku, vznikají atomy všech prvků periodické soustavy.

James Binney a Scott Tremaine ve svém klasickém díle *Galactic Dynamics* (Galaktická dynamika) uvádějí vtipný postřeh, že galaxie jsou pro astronomii tím, čím ekosystémy pro biologii. Atomy, z nichž se skládáme, pocházejí ze všech koutů naší Mléčné dráhy, ale jen několik se k nám dostalo z jiných galaxií. Kde se však vzal onen původní vodík? A jak to, že galaxie vůbec existují? Proč se náš vesmír skládá z těchto seskupení hvězd a plynu, která mají v průměru desítky tisíc světelných let? Abychom mohli tyto otázky zodpovědět, musíme se vrátit až k prvním minutám vesmírné historie.

Stejně jako geologové odvozují historii klimatu Země ze zkušebních vrtů do mohutných vrstev antarktického ledu, astronomové sestavují dějiny naší Galaxie studiem různých populací hvězd, které se v ní nacházejí, a odhadováním jejich věku. Ale astronomové mají před geology jistou výhodu: při pozorování hlubokého vesmíru v pravém slova smyslu vidí vzdálenou minulost galaxií tak odlehlých, že jejich světlo začalo svou pouť před miliardami let.

Obrázek 4.3 znázorňuje naši světočáru a světočáry ostatních galaxií. Jediné úseky časoprostoru, o kterých víme, jsou vyznačeny šedou barvou – tedy naše vlastní světočára a oblasti podél minulého „světelného kužele“. Ve zcela náhodném vesmíru (připomínajícím spíše pohoří než hladinu oceánu) by se vzdálené oblasti vůbec nemusely podobat ničemu, co známe z našeho okolí, a

jejich historie by mohla být naprosto odlišná. Klíčovou roli zde hraje velkorozměrová jednotnost našeho vesmíru. Pouze na základě globální homogenity vesmíru máme pádné důvody předpokládat, že všechny jeho části se vyvinuly obdobně a že podoba galaxií vzdálených řekněme 5 miliard světelných let je téměř stejná jako 5 miliard let starý snímek naší Galaxie a jejích sousedů.

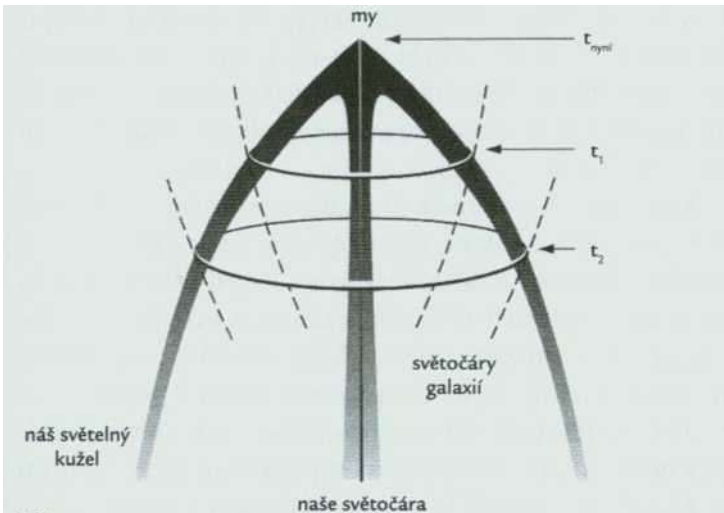
Nejpodrobnější fotografie oblohy, které se nám až doposud podařilo získat, jsou výsledkem týden trvající expozice provedené Hubbleovým vesmírným teleskopem. Každá z nich pokrývá menší úsek oblohy než setinu Měsíce v úplňku. Když takovou oblast pozorujeme běžným teleskopem, jeví se nám prázdná. Ukrývá však mnoho set slabounce zářících skvrn, z nichž každá je ve skutečnosti ohromnou galaxií o velikosti v průměru tisíců světelných let. Vypadají malé a bledé, protože jsou tak vzdálené: jejich světlo k nám putovalo 10 miliard let. Vidíme je takové, jaké byly v dávné minulosti, kdy byly všechny hvězdy ještě mladé. Vědci z Institutu vesmírného teleskopu v Baltimoru nyní zveřejnili několik těchto záběrů hlubokého vesmíru⁷ a ukázalo se, že úseky severní i jižní oblohy vypadají – statisticky vzato – naprosto stejně. Toto zjištění je důkazem velkorozměrové jednotnosti.

Samozřejmě že již od počátku 20. století víme, že naše sluneční soustava je stará několik miliard let, a nemělo by nás tudíž překvapovat, že se náš expandující vesmír rozprostírá napříč miliardami světelných let. Ve skutečnosti si však jen stěží dokážeme představit miliardy galaxií, z nichž každá může ukrývat miliony planet pozemského typu. Z tohoto pohledu budou mít ohromující snímky Hubbleova teleskopu a větších pozemních zařízení stejný dopad na obecné povědomí jako fotografie naší Země a dalších

⁷ Autor hovoří o tzv. snímcích Hubble Deep Field. HDF je program využití části přístrojového času Hubbleova teleskopu k pořízení fotografií co nejvzdálenějších oblastí vesmíru. Podrobnosti na internetové stránce <http://www.stsci.edu/ftp/science/hdf/hdf.html>. Viz též poslední stranu barevné přílohy.

planet, které nám naše vesmírné sondy posílají pravidelně od 60. let.

Když pozorujeme galaxii v Andromedě, možná si říkáme, jestlipak se Andromedané dívají zase na nás – možná ještě většími teleskopy? Není to vyloučeno. Avšak v těch nejvzdálenějších galaxiích, jak jsou zobrazeny na snímcích



4.3

Tento časoprostorový diagram znázorňuje naši vlastní světočáru a světočáry některých vzdálených galaxií. Přímé důkazy máme pouze o šedých částech, tedy o historii naší Galaxie (události poblíž naší světočáry) a událostech podél našeho minulého světelného kužele. Poněvadž náš vesmír je téměř homogenní, v rámci každého časového řezu (znázorněného jako horizontální rovina) panovaly všude obdobné podmínky, a o mezilehlých oblastech tudíž můžeme vyvozovat přesvědčivé závěry.

HDF, se žádná takto pokročilá forma života ještě nemohla vyvinout. Vidíme je ve velmi primitivním stadiu, kdy ještě mnohé tamější hvězdy nestačily dokončit své životní cykly a hvězdné „pece“ neměly čas vyprodukovat atomy, jež jsou potřebné ke komplexní chemii. Obsahují tak málo prvků jako kyslík, uhlík, křemík a další, že by to nestačilo ani na zformování pusté

skalnaté planety. Existuje tudíž jen mizivá šance, že zde život měl čas být i jen vzniknout.

Skeptičtí přátelé se mne často ptají: není to od kosmologů troufalé, když tvrdí, že dokáží vysvětlit všechno, co se v našem ohromném vesmíru děje? Pokaždé odpovídám, že pochopení vesmíru neztěžuje jeho velikost, nýbrž komplikovanost. V extrémních podmínkách – uvnitř hvězd nebo v horkém raném vesmíru – se vše rozpadá na své nejjednodušší složky. Hvězda je ve své podstatě jednodušší než hmyz. Biologové, zápasící se spleťmi mnohovrstvými aspekty emocí či inteligence, čelí obtížnějším úkolům než astronomové.

Upozorňuji na to radši předem, neboť v dalších kapitolách budu předkládat tvrzení, jež by jinak mohla znít domyšlivě – například, že dokážeme s 99 % přesností odvodit, co se stalo v prvních sekundách existence vesmíru, a že vše můžeme vysledovat zpět až k velkému třesku, jehož základní charakteristiky je možno poměrně snadno popsat.

Díky těmto pokrokům se do středu pozornosti dostávají nové otázky a nevyřešená tajemství. Jakými cestami se ubíralo 13 miliard let evoluce od zcela jednoduchého „předpisu“ až ke komplexnímu vesmíru, kde se atomy – zde na Zemi a možná i na jiných planetách – seskupily do podoby tvorů, kteří jsou schopni uvažovat nad svým původem? Na planetách obíhajících cizí vzdálená slunce možná žijí mimozemšťané, kteří již odpovědi znají. Pro nás však tyto otázky zůstávají hlavní výzvou nového milénia.

5. Předgalaktická historie

Dříve než galaxie – zpět k horkému počátku

HDF snímky jsou portrétem éry, kdy se galaxie teprve utvářely. Ale jak je to s ještě dřívější vesmírnou historií, kdy ještě nesvítily ani ty nejstarší

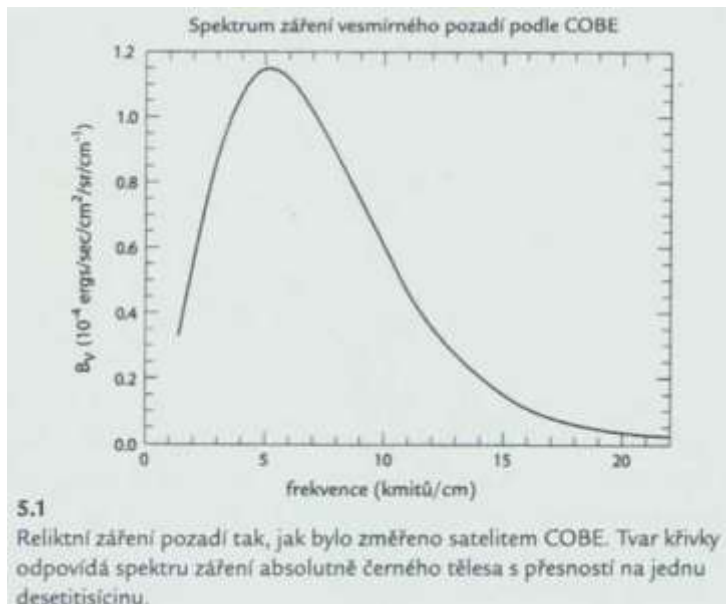
hvězdy? Před zhruba sedmdesáti lety vyslovil Georges Lemaitre, belgický kněz a současně matematik a absolvent MIT, jako první domněnku, že vše začalo ve zhuštěném stavu. Nazval to „prapůvodní atom“, ovšem tento pojem se nikdy neujal stejně jako slovo „ylem“, které propagoval ruskoamerický astrofyzik a bouřlivák George Gamow. Nakonec zvítězil velký třesk – poněkud posměšný název, jež Fred Hoyle v 50. letech 20. století přisoudil teorii, kterou neměl příliš v oblibě. Hoyle naopak prosazoval názor, že náš vesmír existoval v ustáleném stavu: nové atomy vznikaly neustále a shlukovaly se do nových galaxií, které vyplňovaly místo po starých, takže v průměru vypadalo vše stále stejně navzdory rozpínání. Tato teorie – že náš vesmír existoval odjakživa v jedinečně uniformním stavu – byla v Anglii v padesátých letech minulého století velmi populární. Měla tu přednost, že na jejím základě bylo možno vyvozovat velmi konkrétní předpovědi. Byla zranitelná vůči experimentálním důkazům, jež svědčily proti ní, a představovala tak výzvu pro pozorovatele. Avšak hlasy onoho výřečného tria, které s ní přišlo – Hermann Bondi, Thomas Gold a Fred Hoyle – se nikdy vážně nedonesly až k americkým břehům. Jejich pohled nebyl ideologicky přijatelný ani v Sovětském svazu.

Ve čtyřicátých a padesátých letech minulého století byl nejhlasitějším obhájcem velkého třesku George Gamow. Se svými mladšími spolupracovníky Ralphem Alpherem a Robertem Hermannem studoval fyziku horkého hustého počátku. Jejich výpočty opravil a vybrousil Japonec Sitoru Hajaši, avšak vzbudil jen pramalý zájem – zejména proto, že v té době nemohly být teorie o hustém počátku vesmíru ověřeny pozorováním, a byly tudíž vydány napospas nespoutaným spekulacím.

Lemaitre napsal: „Evoluci vesmíru můžeme přirovnat k obrazu právě skončeného ohňostroje – tu a tam pár jiskřiček, popel a kouř. Stojíme na zcela

vychladlém oharku, jsme svědky pohasínání sluncí a toužíme si vybavit bývalou nádheru počátku světů.⁴¹ Důkaz této „bývalé nádhery“ se datuje do roku 1965, kdy byl zachycen odlesk horkého a hustého počátku našeho vesmíru – nesporně nejdůležitější kosmologická událost posledních padesáti let. Tento objev, jenž dal teorii ustáleného stavu ránu z milosti, bezděčně učinili Arno Penzias a Robert Wilson, zaměstnanci Bellových telefonických laboratoří v New Jersey, kteří si lámali hlavu nad přebytečným „šumem pozadí“, jež zachycovala citlivá anténa určená k přijímání vysílání umělých satelitů. Oznámili jej ve slavném článku v časopise *Astrophysical Journal* pod nevzrušivým nadpisem Nadměrná teplota antény při 4080 MHz. Jiný článek ve stejném vydání pak ozřejmil, co to znamená. Jeho autorem byli dnes již zesnulý Robert Dicke a jeho princetonské kolegy James Peebles, Paul Roli a David Wilkinson, kteří měli sami v úmyslu toto záření zachytit. Okamžitě si uvědomili, že Penzias a Wilson jim důležitý objev vyfoukli přímo před nosem a spěšně provedli vlastní nová měření.

Mezigalaktický prostor není zcela chladný, neboť je nepatrně zahříván všudypřítomnými mikrovlnami bez zjevného zdroje; toto záření prostupuje celým naším vesmírem. Jeho intenzita v různých vlnových délkách, zakreslená do grafu, určuje záření (slovy fyziků) „absolutně černého tělesa“ či „termální“ křivku. Takovouto křivku lze předpoklá-



dat v situaci, kdy je radiace v rovnováze se svým okolím, jak tomu je kupříkladu hluboko v nitru hvězdy nebo ve vysoké peci. Důkazy pro toto zvláštní spektrum byly shromážděny v průběhu následujících padesáti let od jeho objevení, ale až v roce 1990 učinili John Mather a jeho kolegové pomocí družice COBE⁸ skutečně pozoruhodná měření s odchylkami menšími, než je tloušťka samotné křivky grafu (obr. 5.1). Což je nade vše racionální pochybnost důkazem teorie, že všechno – veškerý materiál, z

⁸ , COBE – Cosmic Background Explorer (Průzkumník záření reliktního kosmického pozadí), sonda NASA, určená k měření mikrovlnného a difúzního záření pozadí ve vesmíru. Bližší informace na české internetové stránce http://aldebaran.cz/sondy/sondy/89_Cobe.html nebo oficiální stránce NASA <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/tmp/1989-089A.html>.

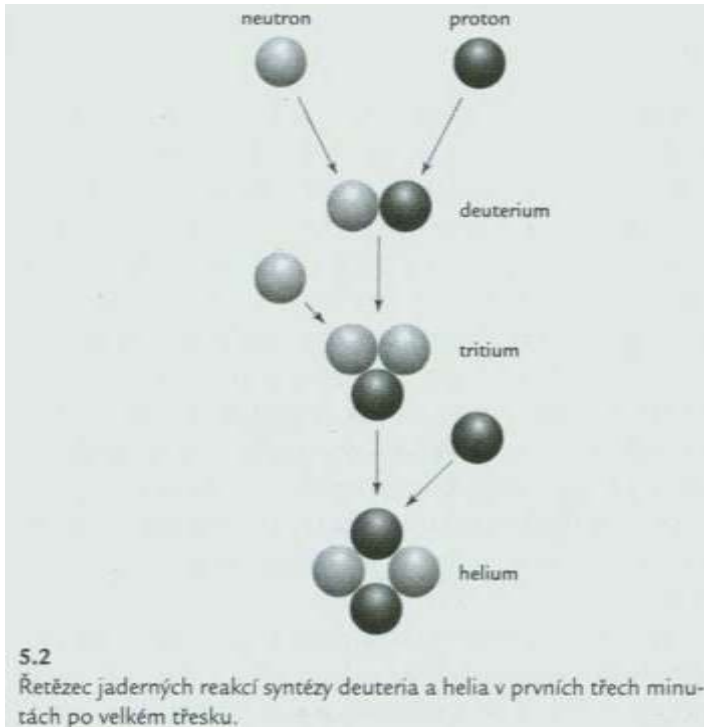
něhož se dnes galaxie skládají – bylo kdysi jen stlačeným plynem, který byl žhavější než jádro Slunce.

Expanze vesmíru záření ochladila, rozředila a prodloužila jeho vlnovou délku. Avšak toto prvopočáteční teplo – dosvit stvoření – je stále všude kolem nás a vyplňuje každíčkový centimetr prostoru, protože se nemůže jen tak ztratit! Většina z nás je vidí den co den, poněvadž je z jednoho procenta příčinou rušení našich televizních přijímačů.

Penzias a Wilson byli radioastronomy, odborníky spíše na elektroniku než na kosmologii. Jejich úspěch byl výsledkem vytrvalosti a technických dovedností. Není žádným překvapením, že o skutečném významu jejich objevu je museli přesvědčit jiní. Wilson si plný dosah svého počínu uvědomil vlastně až po přečtení příslušného článku v New York Times. Mnozí z nás v záležitostech menšího významu máme podobné zkušenosti. Každý badatel se musí soustředit na specifické technické detaily, ovšem riziko povolání spočívá v tom, že v důsledku úzkého zaměření ztratí člověk širší perspektivu. Proto by měli profesionální vědci ve svém vlastním zájmu seznamovat se svou prací také laiky. A i když to třeba děláme špatně, má naše snaha smysl – připomíná nám, že naše úsilí je užitečné pouze tehdy, pokud lidem pomáhá pochopit celkový obraz.

Během prvních pár minut byl náš vesmír žhavější než jádro Slunce – dokonce žhavější než velké hvězdy na konci své životní dráhy a určitě dostatečně žhavý na spuštění jaderné fúze. Naštěstí pro nás jeho teplota klesla dřív, než se všechny materiál stačil přeměnit na železo, nejtěsněji vázaná jádra. Kdyby náš vesmír zůstal takto žhavý ještě chvíli (nebo kdyby k dotyčným reakcím došlo dříve), nezbylo by žádné jaderné palivo, které by

pohánělo hvězdy. Avšak stalo se pouze to, že 23 % vodíku se přeměnilo na helium, přičemž jako meziprodukt vzniklo malé množství těžkého vodíku (deuteria – obr. 5.2). Tento poměr odpovídá astronomickým měřením. Kromě stopového množství lithia již



žádné jiné prvky periodické tabulky – uhlík, kyslík apod. – bezprostředně po velkém třesku nevznikly.

Trvalo stovky tisíc let, než se expandující vesmír, který byl zpočátku nesmírně žhavý a jasný, ochladil na teplotu povrchu Slunce. Teprve poté se volné elektrony a ionty spojily v neutrální atomy, které již nerozptylovaly záření. „Mlha“ se zvedla a vesmír se stal průhledným. Prvopočáteční světlo se poté posunulo v infračervené záření a ve vesmíru zavládla doslova doba

temna, která trvala, dokud se nezformovaly první hvězdy a znovu jej neosvětlily. Mikrovlny křížují vesmírem od doby, kdy byl starý pouhou tisícinu svého současného věku. Jsou přímými „svědky“ éry, jež předcházela vzniku prvních hvězd a galaxií.²

Temná hmota

Nevíme, zda náš vesmír je, či není nekonečný, je však evidentně nesmírně rozlehlý. Z počáteční fáze ohnivé koule se zrodilo dostatečné množství atomů vodíku a helia na to, aby se zformovaly všechny hvězdy ve všech galaxiích. V dosahu našich teleskopů je minimálně 10^{78} atomů. Záření či fotonů bylo ještě daleko více – asi 2 miliardy fotonů na každý atom, a proto často hovoříme o tzv. žhavém velkém třesku.

Z horké rané fáze přetrvalo ještě něco – záhadná temná hmota.

Astronomové zjistili, že galaxie, a dokonce celé kupy galaxií, musejí být vázány přitažlivostí pět až desetkrát většího množství hmoty, než jaké ve skutečnosti vidíme, protože jinak by se tato seskupení jednoduše rozpadla. Tento předpoklad potvrzují mnohá pozorování. Zmíním se pouze o dvou. První důkaz poskytují diskovité galaxie, jako jsou například naše Mléčná dráha a galaxie v Andromedě. Hvězdy a plyn krouží kolem středového jádra těchto galaxií rychlostí, při níž odstředivé síly vyrovnávají gravitační tah směrem ke středu. Je to obdoba situace – ačkoliv v mnohem větším měřítku – kdy přitažlivá síla Slunce udržuje planety na jejich oběžných drahách. Radioastronomové zjistili přítomnost mračen chladného vodíku, jež obíhají daleko za hranicí viditelného disku hvězd. Atomy vodíku vyzařují na typické rádiové vlnové délce 21 centimetrů a rychlost mračen můžeme odvodit z Dopplerova posunu tohoto záření. Kdyby na tato odlehlá mračna působila gravitace hvězd a plynů v galaxii, pak čím dále by byly, tím pomaleji by se pohybovaly – ze stejného důvodu, z jakého Pluto obíhá kolem Slunce

pomaleji než Země. Nic takového se však neděje, jelikož mračna v rozdílných vzdálenostech od středu galaxie obíhají více méně stejnou rychlostí. Kdyby se v naší sluneční soustavě Pluto pohybovalo stejně rychle jako Země, museli bychom dojít k závěru, že na oběžnou dráhu Pluta působí ještě nějaká jiná hmota. Rovněž vysoká rychlost těchto mračen napovídá, že existuje více hmoty v galaxii, než kolik vidíme. Celá zářící galaxie – soubor hvězd a světélkujícího plynu – musí být těsně obklopena temným halo, několikrát těžším a rozlehlejším.

Je třeba se také zmínit, že hvězdy a plyn v galaxiích se nepohybují rychlostí vyšší než tisícina rychlosti světla. To znamená, že opravy, které do Newtonovy teorie vnesla Einsteinova obecná teorie relativity, jsou zde velmi podružné, a to platí i pro oběžné dráhy planet.

Temná, skrytá hmota je všudypřítomná i v ještě větších měřítkách. Švýcarsko-americký astronom Fritz Zwicky zastával ve třicátých letech dvacátého století názor, že galaxie v kupě by se rozptýlily, kdyby nebyly svazovány přitažlivostí temné hmoty. Předložil návrh, že efekt gravitační čočky – ohyb světelného paprsku gravitací velkého objektu – by mohl odhalit přítomnost temné hmoty. Tato metoda dnes, o šedesát let později, nese své ovoce, a je smutné, že Zwicky se nedožil toho, aby si mohl prohlédnout snímky, jako je ten v příloze této knihy, který znázorňuje velkou kupu galaxií vzdálenou asi milion světelných let. Jsou na něm rovněž vidět četné pásy a šmouhy: každý z nich představuje galaxii několikrát vzdálenější než kupa samotná, jejíž obraz se jeví, jako by byla nahlížena skrze zkreslující čočku – stejně tak vypadá vzorek tapety, když se na něj díváme skrze zakřivenou skleněnou plochu. Gravitace kupy galaxií totiž ohýbá světlo, které jí prochází. Viditelné galaxie v kupě však představují pouze 10 až 20 % hmoty potřebné k takovému zkreslení – důkaz toho, že kupa stejně jako jednotlivé galaxie

obsahují pět až desetkrát více hmoty, než ve skutečnosti vidíme.

Existence temné hmoty je odvozována především na základě aplikace Newtonova gravitačního zákona v měřítkách miliónkrát, či dokonce miliardkrát větších než naše sluneční soustava, což je přirozeně jediné místo, kde byl doposud spolehlivě ověřen. Při takovýchto ohromných extrapolacích je na místě opatrnost. Někteří vědci mají skutečně podezření, že jsme byli svedeni na scestí a že gravitace je na větší vzdálenosti silnější, než jak předpokládají standardní teorie. Z tohoto pohledu je efekt gravitační čocky důležitý, neboť podpírá jiný důkaz, a je přitom založen na poněkud jiné fyzice – Einsteinově namísto Newtonovy.

Není skutečně důvod pochybovat o názoru, že většina hmoty ve vesmíru je nejspíš temná: proč by mělo vše na obloze svítit více, než jak je tomu na Zemi? To, co ve skutečnosti vidíme, může být jen malý a atypický zlomek všeho, co je tam venku. Co však ona temná hmota může být zač? Pro kosmology je zahanbující, že 90 % vesmíru doposud nebylo vysvětleno. Dřívějšími kandidáty na chybějící hmotu byly velmi slabě zářící hvězdy a mrtvé hvězdné pozůstatky. Dnes jsou však přístroje mnohem citlivější, a kdyby opravdu existovalo dostatečné množství těchto objektů na to, aby představovaly veškerou temnou hmotu, je nepravděpodobné, že by zůstaly nepovšimnuty.

Máme dnes silné podezření, že temná hmota není tvořena běžnými atomy. Upřednostňován je názor, že se skládá ze shluků částic, které až doposud unikaly odhalení, protože nemají žádný elektrický náboj a protože proniknou skrz naskrz libovolným materiálem téměř bez jakékoliv interakce.³ Stále se vedou bouřlivé debaty o tom, co přesně mohou tyto záhadné a nepolapitelné entity být; neexistují žádní žhaví kandidáti. Fyzikové rovněž teoretizují o mnoha typech částic, které mohly být stvořeny v ultrahorkém bezprostředním

okamžiku po velkém třesku a přetrvat do současnosti.

Tisíce těchto částic nás mohou bombardovat každou sekundu, ale téměř všechny procházejí přímo skrze nás i skrze každou laboratoř. Čas od času se však některá z nich srazí s atomem a citlivé experimenty mohou zachytit následný zpětný náraz, dojde-li k tomu například v kousku křemíku. Tímto úkolem se zabývá několik výzkumných týmů po celém světě. Je k tomu zapotřebí citlivých a jemných přístrojů, které jsou ochlazeny na teplotu blízkou absolutní nule a umístěny hluboko pod zemí, aby se omezil vliv kosmického záření a jiných rušivých prvků.

Tyto experimenty komplikuje skutečnost, že další druhy částic (produkované například radioaktivním rozpadem minerálů) mohou být také zdrojem podobných signálů. Avšak pravá temná hmota by se vyznačovala charakteristickým „podpisem“, na jehož základě bychom mohli určit, že jeho zdroj pochází z Galaxie, a nikoliv pouze ze Země. Slunce se vytrvale prodírá skrze shluk částic, z něhož se skládá naše galaktické halo, a Země zase obíhá kolem Slunce, takže naše rychlost v rámci halo kolísá během roku pravidelně a předvídatelně – nejvyšší je v červnu a nejnižší v prosinci. V roce 1999 oznámil tým italských vědců, že pomocí přístrojů umístěných hluboko pod apeninským pohořím Gran Sasso zaznamenal právě takovéto sezónní změny. Jejich měření se však nepotvrdila. Odhodlaní vědci musejí dále zdokonalovat své metody a zůstat ve svých tunelech a šachtách ještě o pár let déle, než budou moci zachytit jednoznačný signál. Ani tehdy však není úspěch zaručen, jelikož v případě částic, z nichž se skládá temná hmota, je stále mnoho neznámého. Jednotlivě mohou být příliš lehké na to, aby vyvolaly zjistitelný zpětný náraz, nebo mohou být naopak příliš těžké a vzácné.

V sázce je vysoký intelektuální zisk. Temná hmota je v současné astronomii tématem číslo 1 a na prvních místech figuruje rovněž v seznamu

fyzikálních problémů. Kdybychom odhalili její tajemství – já sám jsem optimista a mám za to, že k tomu dojde během příští dekády – zjistili bychom, z čeho se náš vesmír převážně skládá a navíc bychom se dozvěděli i něco zcela nového o mikrosvětě částic. Kromě toho, jak se zmíním v následující kapitole, na množství temné hmoty závisí dlouhodobé prognózy budoucnosti vesmíru – jak se bude rozpínat od nynějška za desítky miliard let.

Již jsme se smířili s postkoperníkovskou myšlenkou, že nejsme středem vesmíru. Nyní se však zdá, že naše postavení ve vesmíru bude degradováno ještě více. Částicový šovinismus musí v tomto případě jít stranou: nejsme stvořeni z žádného mimořádného materiálu. My, jakož i hvězdy a viditelné galaxie, jsme pouze zbytky sedimentů ve vesmíru, jakýmsi dodatečným nápadem Stvořitele. Velkorozměrová struktura a konečný osud kosmu závisí na čemsi zcela odlišném (a stále neznámém).

Od jednoduchosti ke komplexitě – úloha gravitace

Náš vesmírný domov se vyznačuje ohromnou rozmanitostí a kontrasty. Panují v něm obrovská teplotní rozmezí. Hvězdy mají nesmírně žhavý povrch (a ještě žhavější jádro), ale temnou oblohu zahřívá mikrovlnný dosvit velkého třesku pouze na $2,7^\circ$ nad absolutní nulou. Existuje zde rovněž velké rozpětí hustot: některé atomy jsou stále rozptýleny v mezigalaktickém prostoru o hustotě nižší než 1 atom na metr krychlový. Ostatní se seskupily v galaxie, hvězdy a planety – a také v minimálně jednu biosféru.

Veškerá tato spleť komplexita se vynořila z amorfni ohnivé koule, k jejímuž popisu není třeba více čísel než k popisu jediného atomu. Může se to jevit jako porušení posvátných fyzikálních principů, konkrétně druhého zákona termodynamiky, který hovoří o neúprosné tendenci systémů a struktur rozpadat se a rozptylovat. Věci se ochlazují, jsou-li horké, a zahřívají, jsou-li

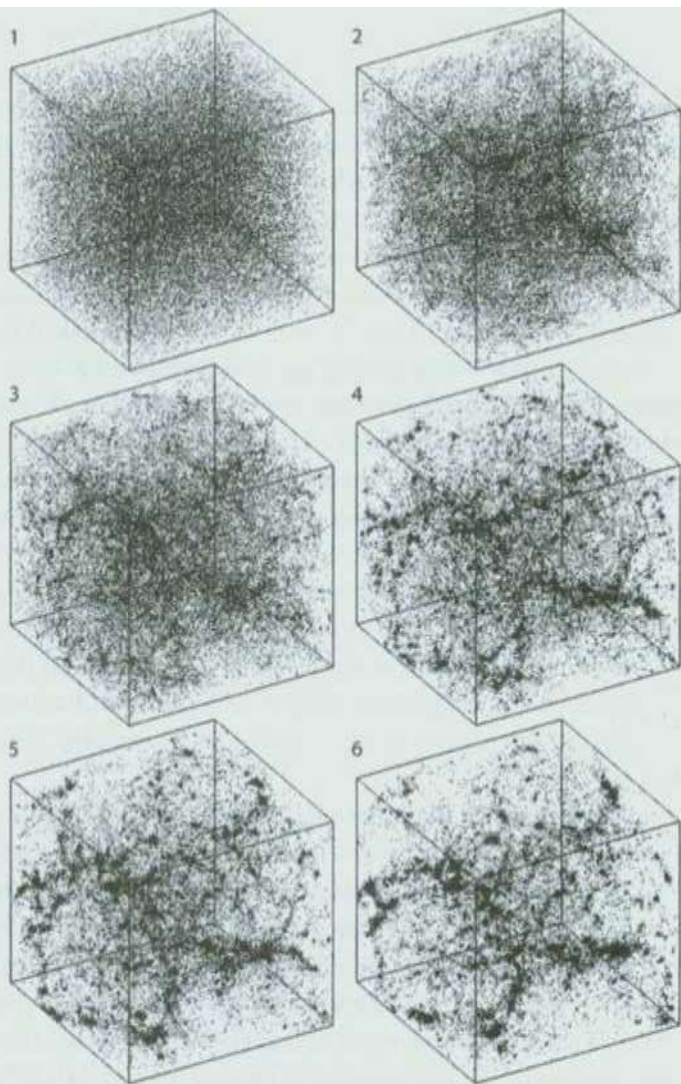
studené. Uspořádané stavy směřují k neuspořádanosti, nikoliv však obráceně. Entropie, měřítko onoho chaosu, se nikdy nesnižuje.

Jaké je řešení tohoto zdánlivého paradoxu? Klíčovou roli zde hraje gravitace – zejména z hlediska toho, jak se v rozpínajícím se vesmíru umocňují malé počáteční rozdíly hustoty. Každá oblast, která má mírně vyšší počáteční hustotu nebo se rozpíná mírně pomaleji, než je průměr, je vlivem větší gravitace více zpomalována. Intenzita jejího rozpínání je stále nižší a nižší, dokud se úplně nezastaví a dotyčná oblast se nevydělí jako gravitačně svázaný systém. Věříme, že právě tento proces umožnil, aby se zhruba za miliardu let po velkém třesku utvořily galaxie a hvězdy.

Astrofyzikové mohou zmiňovaný proces studovat pomocí simulací virtuálních vesmírů ve svých počítačích, které ukazují, jak se původní entity o mírně vyšší hustotě vyvinuly působením gravitace v galaxie, jež se zase zformovaly do kup.

Obrázek 5.3 znázorňuje šest filmových okének, na nichž je zachycena krychle dostatečně velká na to, aby pojala tucty galaxií. Na rozpínání není brán zřetel, takže všechny krychle mají stejnou velikost. Jasně zde vidíte, jak se vznikající struktury rozšiřují a vyvíjejí. Tyto obrázky ukazují pouze temnou hmotu, která má dominantní gravitační vliv.

Menší struktury splývají a vytvářejí protogalaxie. Plyn by byl vtahován do těchto shluků temné hmoty galaktických rozměrů, kde by zchladl a zkonduzoval do „kapiček“, které by se následně zformovaly ve hvězdy. Nové galaxie by se pak shlukly do kup. Filmy pojednávající o tomto procesu jej ukazují asi 10^{16} rychleji, než jak se skutečně ode-



5.3

Šest fází simulace problému N těles. Ukazují, jak se hustotní kontrast zvětšuje a jak se struktury vyvíjejí. Na těchto obrázcích bylo srovnáno měřítko ranějších a pozdějších krychlí, takže navzdory rozpínání vypadají všechny stejně velké.

hrál. Na začátku těchto výpočtů stojí rozpínající se vesmír s atomy, zářením a temnou hmotou.

Už Newton uvažoval nad původem vesmírných struktur. Nebyl obeznámen

s našimi nejnovějšími poznatky o skutečných rozměrech vesmíru a samozřejmě nevěděl ani to, že se rozpíná. Ale v dopise Richardu Bentleyovi, klasickému učenici, který stál v čele Trinity College v Cambridgi, se podělil o svou domněnku, jak může nekonečný a statický vesmír zkondenzovat ve hvězdy: „Kdyby byla hmota rovnoměrně rozptýlena napříč nekonečným prostorem... trocha by se zformovala v jedno těleso a trocha v druhé, a tak by vznikl nekonečný počet ohromných těles, jež by byly rozesety po celém nekonečném prostoru ve velké vzdálenosti od sebe. Takto se tedy mohlo vytvořit Slunce a stálice.“

Dodal však ještě jednu podmínku: „Za předpokladu, že hmota by měla zářivou povahu.“ Bylo by však jen zbožným přáním vidět za touto spekulací tušení existence temné hmoty.

Počítačové simulace zdařile napodobují hlavní vlastnosti skutečných galaxií – charakteristické rozměry a tvary, kolik z nich je diskovitých a kolik eliptických – a jakým způsobem jsou seskupeny. Předkládají mimochodem další důvod, proč věřit v temnou hmotu: pokud v těchto modelech počítáme s tím, že vše se skládá z atomů a neexistuje žádná temná hmota jako zdroj dodatečné gravitace, pak jejich výsledek neodpovídá našemu skutečnému vesmíru.

Již mnohem obtížnější je modelovat jemnější detaily – „klimatické podmínky“ každé galaxie. Poté, co se hvězdy zformují, pokračují v trendu směřování od uniformity k ještě větším kontrastům teploty a hustoty, protože gravitace je příčinou zdánlivě zvráceného vztahu mezi teplem, energií a teplotou. Přepokládejme, že bychom zastavili přívod paliva do slunečního jádra. Jak by energie unikala, postupně by se hroutilo. Ale nakonec by bylo žhavější než předtím: gravitace je na krátkou vzdálenost silnější, takže jádro by se muselo zahřívat, aby vytvořilo dostatečný tlak k vyrovnání silnější síly,

kteřá jej stlačuje. Běžné látky (například voda) se vyznačují vlastností zvanou měrné teplo, která udává, kolik energie vstřebají, když vzroste jejich teplota. Objekty svázané gravitací mají záporné měrné teplo – jsou stále teplejší, hustší a ztrácejí energii.

Jakmile se zformovaly hvězdy a planety, mohly být následné události, které se na některých planetách odehrály, mnohem složitější povahy než cokoliv předtím. Základní fyzika nám říká, že žádný „tepelný stroj“ nemůže pracovat a žádná komplexita nemůže vzniknout, pokud je vše v teplotní rovnováze: některé oblasti musejí být teplejší než jiné. Planetární biosféry čerpají energii ze světla centrální hvězdy. Tato „ušlechtilá“ energie pohání fotosyntézu a zbytkové teplo je vyzařováno do mrazivého mezihvězdného prostoru. Biologická evoluce je velmi citlivá vůči náhlým změnám – změnám klimatu, dopadům asteroidů, epidemiím a tak dále – takže kdyby se historie Země opakovala, vyvinula by se její biosféra zcela odlišně. Totéž by platilo pro kteroukoliv jinou planetu.

Astronomové mimochodem běžně hovoří o „evoluci“ hvězd a galaxií, ovšem pokud chceme používat termínů biologie, pak by byl vhodnější spíše pojem „růst“. Entity, které astronomové studují – hvězdy, galaxie a podobně – mají sklon směřovat k větší komplexitě a diferenciaci stejně jako v případě růstu zvířete nebo rostliny. Stelární a galaktická astronomie však neskýtá žádnou analogii k darwinovské evoluci přirozeným výběrem.

Vesmírná textura

Vesmír nemohl vzniknout dokonale hladký ani uniformní. Kdyby ano, obsahoval by nyní vodíkový a heliový plyn tak zředěný, že na každý krychlový metr by připadal v průměru méně než jeden atom. Byl by chladný a jednotvárný: nikde by nebyly žádné galaxie, a tudíž ani hvězdy, žádná periodická tabulka prvků, žádná komplexita a rozhodně žádní lidé.

Ale díky „růstu kontrastu“, který během expanze způsobuje gravitace, mohla všechno tohle změnit byť i nepatrná počáteční nerovnoměrnost. Amplituda těchto nerovnoměrností může být označena prostým číslem Q – energetickým rozdílem mezi nejvyššími a nejnižšími hodnotami hustoty, děleným celkovou energií (Einsteinovo mc^2) hmoty. Q udává měřítko největších struktur ve vesmíru, přičemž vyšší hodnoty Q vedou k „hrudkovitějšímu“ vesmíru. Počítačové modely ukazují, že Q odpovídající současným galaxiím a kupám musí být asi 0,00001. Takto nízká hodnota znamená, že z hlediska gravitace je náš vesmír tak hladký jako Země, kdyby její nejvyšší hory či vlny měřily pouze 50 metrů.

Tyto nepravidelnosti – či chcete-li zčeření – se projevují i jinak: díky nim je pozadí na některých částech oblohy mírně teplejší a jinde mírně chladnější. Satelit COBE zmapoval teplotu celé oblohy a zjistil kolísání v rozmezí jedné stotisíciny. Toto měření znamenalo skutečný triumf techniky. Reliktní záření o teplotě menší než 3° nad absolutní nulou je stokrát chladnější než Země a její atmosféra, přičemž družicí změřené teplotní rozdíly mezi teplými a studenými částmi oblohy jsou ještě stotisíckrát menší.

Měření COBE rovněž potvrdila domněnku, že kosmické struktury vznikly v důsledku gravitační nestability Ukázala, že horký raný vesmír byl skutečně čereň vlněním o právě takové amplitudě, jaká podle počítačových modelů vedla k současné struktuře vesmíru.

Tyto fluktuace společně se specifickým složením prvků musely být vtisknuty našemu vesmíru velmi brzy. Ať už způsobilo velký třesk cokoli, ozvěna či vibrace této události se nese vesmírem dodnes. Stále však nevíme, co ustálilo amplitudu těchto vibrací – jinými slovy, co určilo hodnotu Q . Je ovšem zajímavé, že takto vlídné prostředí by nenabídl ani mnohem hladší, ani mnohem členitější vesmír.

Kdyby bylo Q o mnoho menší než 0,00001 (či 10^{-5}), galaktické „ekosystémy“ by nikdy nevznikly. Trvalo by déle, než by se utvořila seskupení hmoty, a jejich gravitace by byla příliš slabá na to, aby si udržely plyn. Velmi hladký kosmos by zůstal navždy temný a nevýrazný, i kdyby jeho počáteční mix atomů, temné hmoty a radiace byl stejný jako v našem současném vesmíru. Na druhé straně, členitější vesmír s Q mnohem větším než 0,00001 by byl neklidný a bouřlivý. Ve velmi raném stadiu by se zformovala tělesa daleko větší než galaxie. Nerozdělila by se na hvězdy, místo toho by se zhroutila a vytvořila gigantické černé díry, z nichž každá by byla mnohem těžší než celá současná kupa galaxií. I kdyby se galaxie přece jen zformovaly, hvězdy v nich by byly natěsnány tak blízko sebe, že každý případný planetární systém by byl brzy rozvrácen prolétající hvězdou.⁹

Nakolik věrohodná je teorie velkého třesku?

Důkazy toho, že náš vesmír expandoval z horkého a hustého stavu, jsou postupem času stále přesvědčivější. Po celá desetiletí neměla teorie velkého třesku snadný život, ale přežila. V osmdesátých a devadesátých letech dvacátého století ji některá zjištění mohla zpochybnit, avšak nestalo se tak. Například kdyby byl objeven objekt, jehož obsah helia by byl nulový nebo značně nižší než 23 %, mělo by to pro teorii velkého třesku fatální následky. Helium vyprodukované ve hvězdách by totiž tento předgalaktický podíl rychle zvýšilo, zatím však nevíme o žádném způsobu, jak přeměnit helium zpět na vodík. Nebo se mohlo ukázat, že reliktní záření – tak precizně

⁹, Z podobných důvodů je méně pravděpodobné, že planetární systémy existují poblíž středu naší Galaxie, kde hvězdy nejsou daleko jedna od druhé, oproti oblastí, v níž se nachází Slunce, kde jsou vzdálenosti mezi nimi větší.

změřené satelitem COBE (viz obr. 5.1) – vykazuje spektrum, které se liší od předpokládaného vyzařování absolutně černého tělesa či termální křivky. Přebytečné záření na nejkratších (milimetrových) vlnových délkách mohl mít na svědomí rozptýlený prach či jiné zdroje. Kdyby však na nějakých vlnových délkách existoval deficit ve srovnání se standardním zářením absolutně černého tělesa, bylo by to skutečně velkou záhadou.⁴

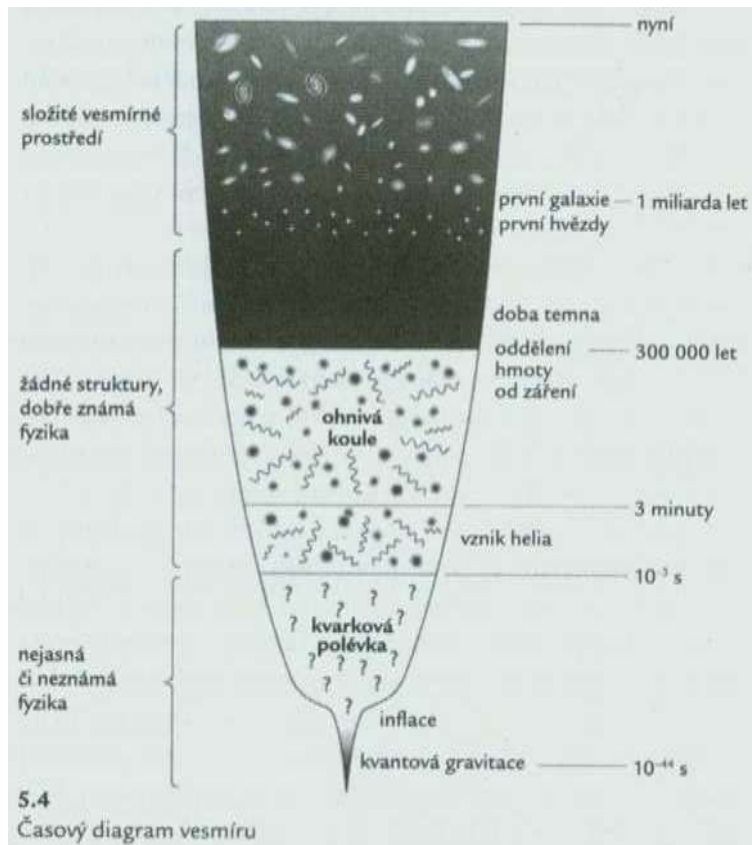
Teorie velkého třesku zasluhuje minimálně stejnou vážnost jako teorie geologů a paleontologů o historii Země. Závěry, které vědci zabývající se naší planetou vyvozují, jsou právě tak nepřímé (a méně kvantitativní). Skutečnost, že tato teorie přežila, mně skýtá (a řekl bych, že i většině ostatních kosmologů) 99 % jistotu při extrapolování vesmírné historie zpět až k prvním jeho sekundám.

Prozíravě si nechávám otevřená zadní vrátka zbývajících 1 % pro případ, že naše uspokojení je stejně iluzorní jako pocit ptolemaiovského astronoma, který úspěšně přidal pár dalších epicyklů. Kosmologové jsou někdy peskování za to, že se často mýlí, ovšem nikdy nejsou na pochybách.

Můj starý guru Fred Hoyle, autor teorie ustáleného stavu, se s tím vším stále ještě nesmířil. Věří v „ustálený třesk“ – kosmos procházející velmi pomalou expanzí, která je složena s poněkud rychlejší oscilací. Fyzik Max Planck říkal, že teorie není nikdy zcela opuštěna, dokud nezemře její poslední zastánce. A Fred je našťástí v době, kdy tohle píšu, stále plný síly.

(Zastánci ustáleného vesmíru se paradoxně nemusejí zcela mýlit, snad si jen nedokáží představit vesmír v celém jeho měřítku. V závěrečných kapitolách se zmíním o teorii, podle níž by náš velký třesk mohl být jen jedním z mnoha „třesků“ odehrávajících se ve vesmíru, který v jakémsi gigantickém měřítku existuje v nekonečném samoobnovujícím se

stacionárním stavu.)



5.4
Časový diagram vesmíru

Obrázek 5.4 je vlastně chronologickým přehledem, jenž znázorňuje velký třesk od samého počátku. Měl bych velmi důrazně upozornit na to, že jsem si na 99 % jist úsekem, který sahá k první sekundě, možná dokonce milisekundě – ale rozhodně ne o mnoho dále. Toto omezení vyplývá ze skutečnosti, že při zpětných extrapolacích až k těm nejmenším zlomkům sekundy se dostáváme k hustotám a teplotám daleko vyšším, než jaké mohou být uměle vytvořeny nebo studovány na Zemi, takže naše dedukce ohledně převládajících

podmínek nestojí na žádných pevných základech. Po uplynutí první milisekundy se částice pohybovaly a srážely s intenzitou, která může být v laboratoři snadno napodobena. Reliktní záření, helium a deuterium jsou fosiliemi této éry a soulad mezi měřeními a teoriemi tyto dalekosáhlé extrapolace jen potvrzuje.

Stručně řečeno, rozlišujeme tři éry kosmické historie.

1. První milisekunda. Zde se v základní fyzice vyskytuje mnoho nejasností, které jsou tím závažnější, čím více se blížíme k počátku, jelikož se můžeme stále méně opírat o experimenty.
2. Od milisekundy k několika milionům let. Tato část je snadná. Fyzika je dobře známa a vše se stále plynule rozpíná. Ovšem jednoduchost končí ve chvíli, kdy zkondenzuje první struktura.
3. “Nedávný“ vesmír. Tato éra je velkou neznámou. Ne snad proto, že bychom nerozuměli fyzice, ale ze stejných důvodů, proč jsou složité i ostatní environmentální vědy jako třeba meteorologie. Vývoj celé struktury každopádně závisí na tom, jaké podmínky byly nastaveny. Klíčové údaje jako Q a zastoupení atomů, záření a temné hmoty jsou odkazem exotické a neurčité fyziky první éry.

Jsme svědky crescenda objevů a můžeme si být jisti, že díky sbíhání různých vývojových směrů tato situace bude pokračovat i během příštích deseti let.

1. Fluktuace v teplotě pozadí. Tyto nepatrné odchylky mají na svědomí „embrya“ galaxií a jejich kup. Během následujících dvou let budou mít dva satelity – MAP (Microwave Anisotropy Probe – Sonda mikrovlnné anizotropie) americké NASA a Planck-Surveyor evropské kosmické agentury ESA – pokrytu celou oblohu s daleko vyšším rozlišením, než

jakého dosáhl COBE.

2. Vesmír velkého rudého posuvu. Hubbleův vesmírný teleskop dostal svému potenciálu; dva Keckovy teleskopy jsou v provozu (nyní doplněny VLT v Chile a několika dalšími přístroji se zrcadly o více než 8 metrech v průměru). Nové vesmírné rentgenové teleskopy a pozemské soustavy antén k přijímání rádiových signálů nám umožní nahlédnout ještě dále než současná zařízení.
3. Velkorozměrové seskupování. Rozsáhlé průzkumy zkatalogizují miliony galaxií a umožní provést mnoho citlivých statistických testů, které by měly odhalit více podrobností o tom, jak galaxie vznikly.
4. Rapidní pokrok v počítačové technologii. Díky němu jsme schopni vytvářet stále realističtější modely procesu vzniku a vývoje galaxií a hvězd. Můžeme dokonce provádět „virtuální experimenty“, abychom zjistili, k čemu dochází při explozi hvězdy nebo srážce galaxií.
5. Nové fundamentální fyzikální teorie. Jak se zmíním v kapitole 9, nové koncepce skýtají naději (pokud ovšem současná euforie zcela nevezme za své), že velmi ranému vesmíru, prvnímu nepatrnému zlomku sekundy, položíme stejně pevné základy jako pozdějším éram v jeho historii.

6. Černé díry a stroje času

Úplný gravitační kolaps

Už od samého počátku je náš vesmír díky gravitaci stále méně uniformní a vznikají v něm stále větší kontrasty hustoty a teploty. Nakonec gravitace převládne nad ostatními silami ve hvězdách a všech větších strukturách, třebaže vliv rotace a jaderné energie její konečné vítězství oddálí.

V některých entitách již gravitace triumfovala nad všemi ostatními silami. Jsou to takzvané černé díry – objekty, jejichž zhroucení bylo tak úplné, že z

nich neunikne žádné světlo ani jiný signál, ale které přesto po sobě zanechávají stopy – deformace prostoru a času, jež „zamrzly“ v místě, jež opustily.

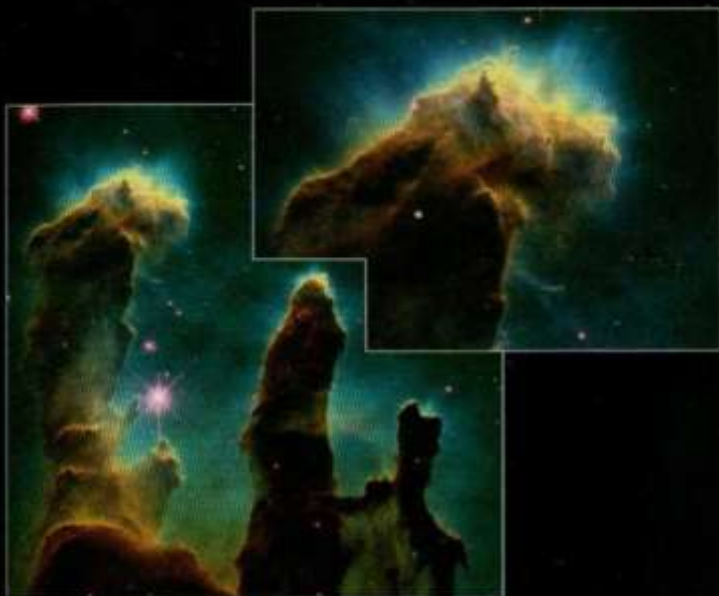
Astronaut, který by zabloudil příliš blízko černé díry, by se ocitl v oblasti, z níž není návratu a odkud nelze odeslat žádnou zprávu vnějšímu světu. Jako by prostor samotný byl vtahován dovnitř rychleji, než jak se jím pohybuje světlo. Vnější pozorovatel by se nikdy nedočkal definitivního osudu padajícího astronauta: chod hodin padajících dovnitř díry by se jevil pomalejší a pomalejší, tudíž i astronaut by zdánlivě zůstal viset na obzoru, uvězněn v čase.

Ruští teoretikové Jakov Zeldovič a Igor Novikov, kteří studovali deformace času poblíž zhroutených objektů, dali těmto objektům název „zamrzlé hvězdy“. Zeldovič, jeden z posledních polyhistorů ve fyzice, zaujímá v moderní kosmologii význačné postavení. Byla to silná a charismatická osobnost; od šedesátých let dvacátého století stála jeho výzkumná škola v Moskvě v čele mnoha klíčových objevů, přestože kosmologie a relativita byly dříve v Sovětském svazu ideologicky nepřijatelné.¹ Samotný termín „černá díra“ byl poprvé použit v roce 1968, kdy John Wheeler vysvětloval, jak se přitahovaný objekt „stává milisekundu po milisekundě tmavším (...), světlo a částice dopadající zvenčí (...) se propadnou do černé díry, jen aby zvýšily její hmotnost a přitažlivou sílu“.²

Černé díry, nejpozoruhodnější důsledek Einsteinovy teorie, nejsou pouze teoretickými konstrukcemi. V naší Mléčné dráze i ve všech ostatních galaxiích jich existuje ohromné množství a všechny jsou pozůstatky hvězd, které vážily několikanásobně více než naše Slunce. Ve středech galaxií existují dokonce mnohem větší exempláře. Poblíž našeho vlastního galaktického jádra obíhají hvězdy desetkrát rychleji než v ostatních částech

Galaxie. Zblízka na ně působí gravitace temného objektu, pravděpodobně černá díra o hmotnosti 2,6 milionu Sluncí. Přesto je v tomto ohledu naše Mléčná dráha jen chudým příbuzným některých jiných galaxií, v jejichž středech se ukrývají díry hmotnější než miliarda Sluncí. Prozrazuje je jejich ohromná přitažlivá síla, která způsobuje velmi rychlý pohyb okolních hvězd a plynu.

Černé díry patří k nejexotičtějším, přesto však k nejlépe poznaným entitám ve vesmíru. Jejich stavebním materiálem je prostor samotný a z hlediska struktury jsou stejně prosté jako elementární částice. Nově zformovaná černá díra se rychle ustálí ve standardizovaném stacionárním stavu, jež můžeme charakterizovat pouhými dvěma čísly, které udávají jeho hmotnost a rotaci. (Teoreticky je třetím číslem elektrický náboj, ale hvězdy nikdy nezískají dostatečný elektrický náboj, který by byl při skutečných kolapsech relevantní). Deformovaný prostor a čas okolo černých děr je přesně charakterizován řešením rovnic Einsteinovy obecné relativity, s nímž jako první přišel v roce 1963 Roy Kerr – matematik, který se později vzdal bádání, aby se stal mezinárodně uznávaným hráčem bridže. Obecně se mak-

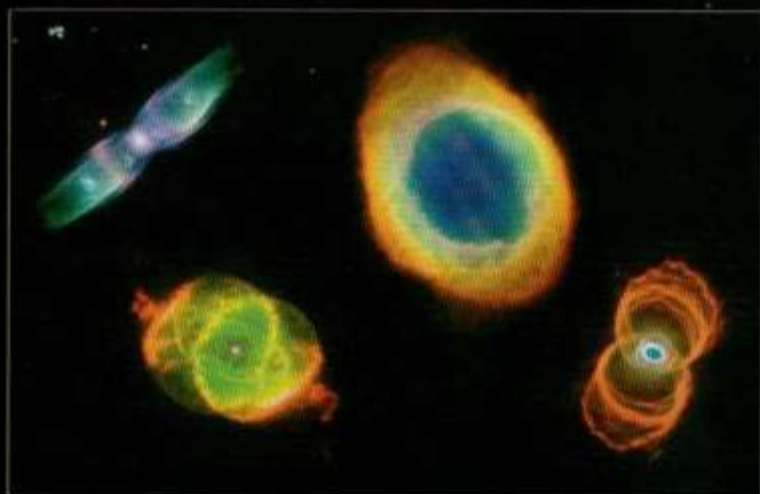


Hvězdy se rodí z mohutných prachoplynných oblaků. Na horním obrázku jsou zachyceny tři „pilíře“ molekulárního vodíku a prachu, dlouhé zhruba jeden světelný rok, v Orli mlhovině (M16). Zaoblené výběžky, patrné zejména na detailu konce jednoho z pilířů, jsou globule – „hvězdná vejce“. Na dolním snímku je objekt HH-34. Dobře patrná je složitá struktura mlhoviny i dva protiběžné oranžové výtrysky z čerstvě vzniklé protohvězdy vlevo dole.



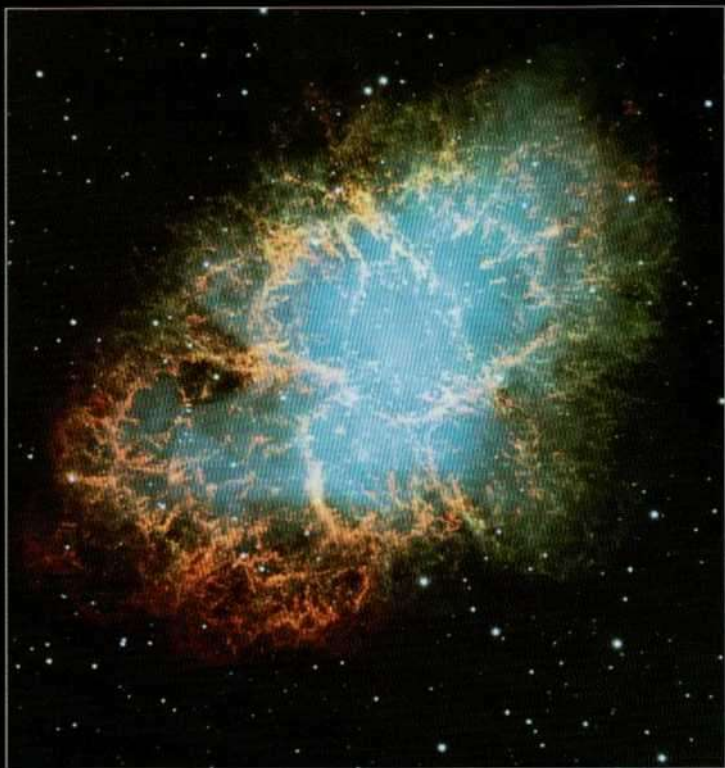


Velká mlhovina v Orionu (M42) je rovněž oblastí překotného zrodu hvězd. Nedávno se podařilo objevit zde dokonce i protoplanetární disky (zkráceně proplydy), zárodky planetárních systémů kolem mladých hvězd. Na detailu jsou obrázky čtyř různých disků o rozměrech 2-8 krát větších než je rozměr naší sluneční soustavy. Centrální mladé hvězdy uprostřed nich září červeně.



Pozůstatkem zániku hvězd velkých zhruba jako naše Slunce je zářící plyn, jenž vytváří úchvatné tzv. planetární mlhoviny. Nahoře mlhovina M2-9, Prstencová mlhovina (M57), Kočičí oko (NGC 6543) a Přesýpací hodiny (Mycn18). Dole planetární mlhovina Eskymák (NGC 2392) a mlhovina Koňská hlava (IC434).



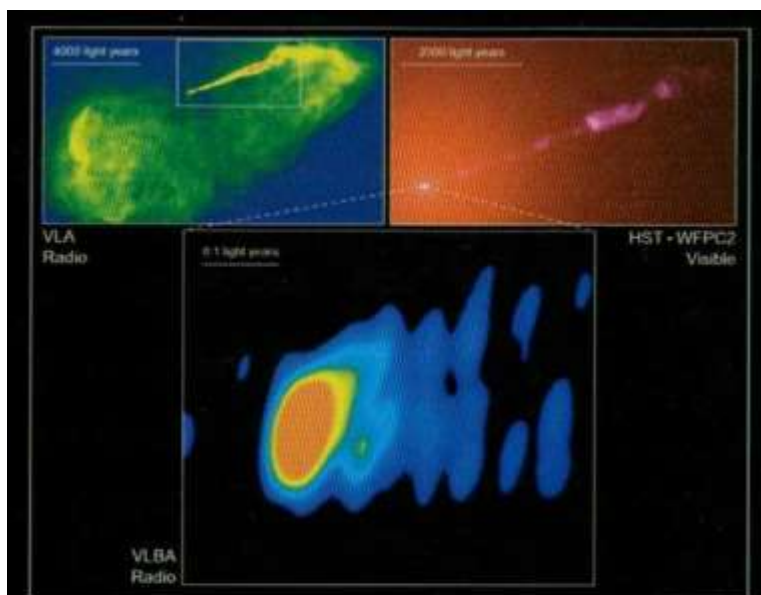


Slavná Krabí mlhovina (M1) je pozůstatkem supernovy z roku 1054. Hvězda hmotnější než naše Slunce se na tomto místě zhroutila do nepatrné neutronové hvězdy (pulzaru), zatímco materiál vyvržený explozí vytvořil mlhovinu, která má dnes rozměr asi 10 světelných let. Dole je fotografie centrální oblasti nedávné supernovy, která v roce 1987 vybuchla ve Velkém Magellanově oblaku. Zachycen je i její vývoj od února 1994 do února 1996.

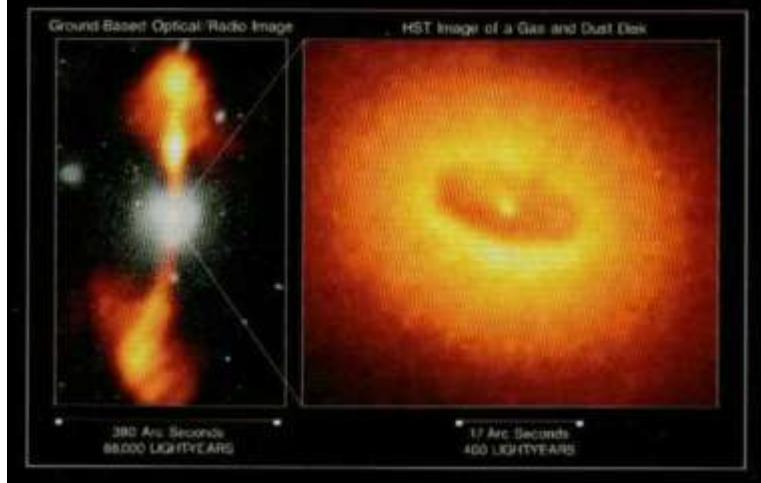


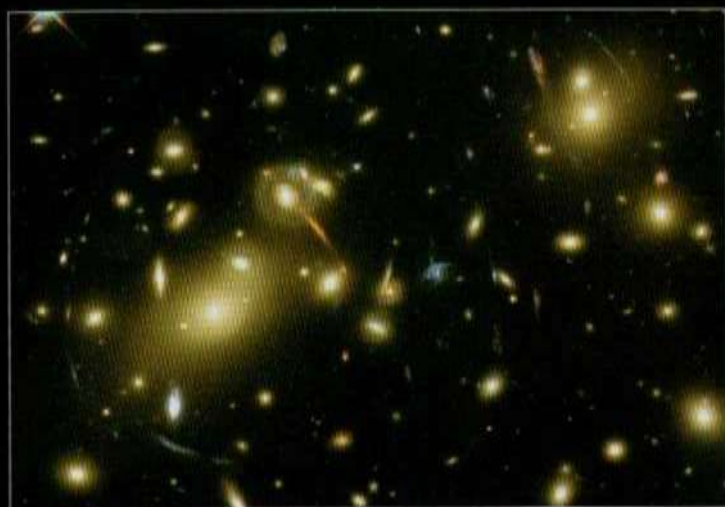
Typická spirální galaxie (NGC 1232). V centrální oblasti se nacházejí staré červené hvězdy, zatímco ve spirálních ramenech září spíše mladé modré hvězdy. Na dolním obrázku je zachycena srážka dvou galaxií (NGC 4038 a 4039). Snímek vlevo pořízený pozemským dalekohledem ukazuje jen dvě dlouhá svítící ramena připomínající tykadla hmyzu. Na podrobném snímku vpravo z Hubbleova kosmického teleskopu lze rozeznat nejen oranžová jádra obou galaxií, ale také tisíce hvězdokup složených z nových modrých hvězd překotně zrozených v důsledku dramatické kolize.





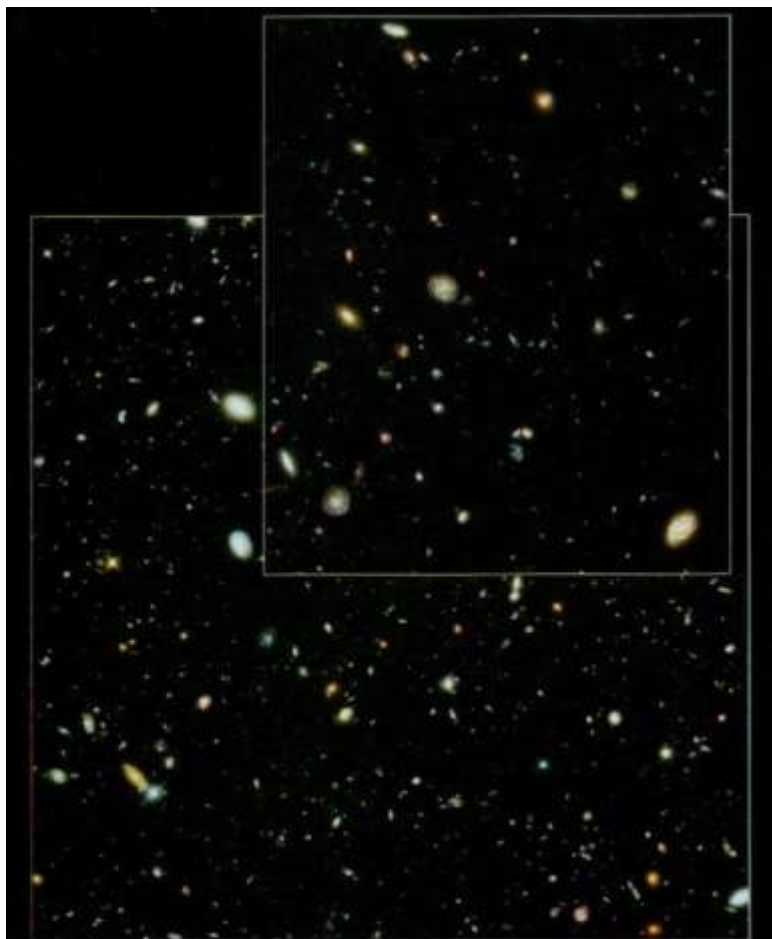
Detaily výtrysku dlouhého tisíce světelných let, jenž je způsoben přítomností obří černé díry o hmotnosti 3 miliard Sluncí v jádru aktivní galaxie M87. Výtrysk je tvořen proudem nabitých částic vylétávajících takřka rychlostí světla kolmo na akreční disk plynu a prachu rotující kolem díry. Na dolním snímku je vidět přímo akreční disk o průměru 300 světelných let kolem supermasivní černé díry v jádře galaxie NGC 4261.



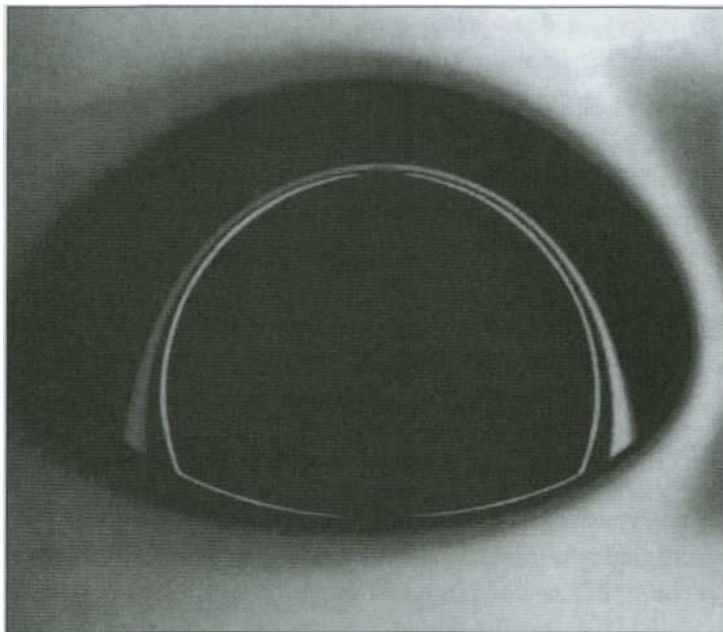


Obří kupa galaxií Abell 2218 v souhvězdí Draka (nahore) působí jako gravitační čočka. Svoji nesmírnou hmotností ohýbá paprsky světla z galaxií, které leží za kupou v 5-10 krát větší vzdálenosti takřka na hranici pozorovatelného vesmíru. Obraz vzdálených galaxií je znásoben, zjasněn a zdeformován do působivých zářivých oblouků. Na dolním obrázku je gravitační čočka způsobená (žlutou) kupou galaxií 0024+1654 v souhvězdí Ryb. Vzdálená protogalaxie je zde zobrazena celkem pětkrát v podobě protáhlých modrých obláčků.





Pohledy do největších hlubin vesmíru, jak nám je zprostředkoval Hubbleův vesmírný teleskop. Dole je tzv. HDF (Hubble Deep Field) v severním směru (v souhvězdí Velkého vozu), nahoře pohled ve směru jižním (v souhvězdí Tukana). Snímky zabírají jen zcela nepatrnou část oblohy, asi 1/30 Měsíce v úplňku. Díky dlouhým několikadenním expozicím však na nich jsou zachyceny bezprecedentně slabé objekty vzdálené i více než 10 miliard světelných let. Astronomům se zatajil dech nad tisíci mladých galaxií nejroztodivnějších tvarů, barev a velikostí, stvořených jen krátce po velkém třesku.



6.1

Plyn vířící dovnitř do černé díry. Tato kresba znázorňuje, co bychom viděli, kdybychom vzali v úvahu Dopplerovy posuvy a světelný ohyb způsobený silnou gravitací.

roskopické objekty při stále bližším pohledu jeví více a více komplikované. Nemůžeme proto očekávat, že vysvětlíme každý jejich detail, ovšem černé díry jsou výjimkou, která potvrzuje pravidlo.

Při pohledu zvenjšku nelze zpozorovat žádné známky toho, jak se ta či ona díra zformovala ani jaké objekty již pohltila. Na velkého indického astrofyzika Subrahmanyana Chandrasekhara toto zjištění hluboce zapůsobilo esteticky i vědecky: „V celém svém vědeckém životě,“ napsal, „mnou nejvíc ze všeho otřásl poznání, že přesné řešení Einsteinových rovnic obecné relativity, které našel novozélandský matematik Roy Kerr, s naprostou přesností popisuje ohromný počet masivních černých děr, jež se nacházejí ve

vesmíru. Roger Penrose, teoretik, který má možná největší zásluhy na renesanci teorie relativity v šedesátých letech, poznamenal: „Je ironií, že nejpodivnější a nejczizejší astrofyzikální objekt – černá díra – je teoreticky úplně popsán.“⁴ Objev černých děr tedy otevřel dveře k testování těch nejpozoruhodnějších důsledků Einsteinovy teorie.

V první kapitole jsem se zmínil o ambiciózním projektu NASA s názvem Terrestrial Planet Finder – soustavě zrcadel ve vesmíru, která budou schopna nalézat planety pozemského typu, jež obíhají kolem jiných hvězd. Až bude takovýto objev učiněn, mohla by si NASA jako další cíl stanovit vyfotografování vířícího plynu, který je vtahován do černé díry. Vypadalo by to asi jako simulace na obrázku 6.1. Na takto reálný obrázek bychom neměli jen čekat se zatajeným dechem; než se dočkáme skutečného vyobrazení, můžeme o černé díře mnohé vydedukovat. Zdrojem záření těchto objektů je zejména horký plyn, který víří směrem dolů do gravitační propasti. Přístroje, které již máme ve vesmíru, dokáží toto záření zachytit a určit jeho spektrum. Kterákoliv část spektra by měla vykázat ohromný Dopplerův posuv, protože plyn se pohybuje významným zlomkem rychlosti svěda. Je zde také další rudý posuv – takzvaný gravitační rudý posuv – vyplývající ze ztráty energie fotonů, které chtějí uniknout ze sféry vlivu takto silné gravitace. Měření tohoto záření (spíše rentgenového než viditelného světla, jelikož plyn je velmi horký) mohou prozkoumat proudění velmi blízko díry a stanovit, zda „tvar prostoru“ kolem ní souhlasí s teoretickými předpoklady.

Černé díry stojí v popředí zájmu astronomů, protože proudění hmoty a magnetická pole okolo nich vytvářejí jedny z nejspektakulárnějších pyrotechnických efektů ve vesmíru. Jsou ovšem výzvou také pro elementární fyziku.

Každou černou díru obklopuje horizont, hranice zastírající pohled do nitra,

odkud neunikne dokonce ani světlo. Velikost díry je přímo úměrná její hmotnosti: kdyby se v černou díru proměnilo Slunce, mělo by poloměr 3 kilometry. Ovšem některé supermasivní černé díry v galaktických jádrech jsou velké jako celá naše sluneční soustava. Kdybyste spadli dovnitř takovéto monstrózní díry, bylo by vám dopřáno několik hodin pohodlného pozorování předtím, než byste se přiblížili k samotnému středu, kde by vás roztrhaly rostoucí slapové síly. Přímo uprostřed byste vy nebo vaše pozůstatky narazili na singularitu, kde fyzika přesahuje veškeré naše dosavadní poznatky. Nová fyzika, jíž je nám zde zapotřebí, je stejná jako ta, která ovládala první okamžiky bezprostředně po velkém třesku.

Cestování časem kupředu (a zpět?)

Dobrá vědeckofantastická literatura by měla respektovat elementární omezení vyplývající z fyzikálních zákonů. V duchu této zásady je užitečné vědět, že člověk by v podstatě mohl pozorovat vzdálenou budoucnost během časového intervalu, který by se subjektivně zdál docela krátký. Podle Einsteina závisí plynutí času na tom, kde se právě nacházíte a jak rychle se pohybujete. Kdyby váš subjektivní čas plynul ve srovnání s vesmírnými hodinami velmi pomalu, mohli byste „cestovat“ do budoucnosti. K dotyčnému jevu by došlo, pokud byste se pohybovali rychlostí velmi blízkou rychlosti světla. Čas může být deformován také silnou gravitací: hodiny na neutronové hvězdě by šly o 20 až 30 % pomaleji. Poblíž černé díry by byly deformace dokonce ještě větší. Kdybyste ovšem například spadli do černé díry, byl by váš osud zpečetěn: byli byste nataženi jako špagety a poté roztrháni ještě daleko zuřivějšími gravitačními silami. Avšak obezřetný astronaut, který by se dostal na nejbližší možnou orbitu kolem rychle rotující černé díry, aniž by do ní spadl, by si odnesl velmi zajímavé zážitky: časoprostor je tam natolik zdeformovaný, že

jeho hodinky by šly libovolně pomalu, a on by tudíž mohl v subjektivně krátkém čase přehlédnout celou budoucnost vnějšího vesmíru.

Může nám připadat, že tato „elasticita“ rychlosti plynutí času odporuje veškeré naší přirozenosti. Ovšem tuto přirozenost jsme si osvojili každodenním pobytem v našem bezprostředním okolí (a snad ji zčásti zdělili od našich vzdálených předků), které nám jinou zkušenost nenabízí. Jen málokdo z nás se kdy pohyboval rychleji než milióntinou rychlosti světla (rychlost proudového dopravního letadla). Žijeme na planetě, kde je přitažlivost 1 000 miliardkrát slabší než na neutronové hvězdě. Dilatace času však s sebou nepřináší žádné rozpory ani paradoxy.

Poněkud problematičtější by již samozřejmě bylo cestování zpět do minulosti. Před více než padesáti lety přišel významný logik Kurt Gödel se zjištěním, že samotná obecná teorie relativity předem nevylučuje existenci stroje času. Nalezl platné řešení Einsteinových rovnic, které popisovalo bizarní vesmír, v němž jsou některé světočáry uzavřenými smyčkami – jinými slovy, mohli byste se vrátit do vlastní minulosti. Ale Gödelovo řešení bylo nerealistické: popisovalo vesmír, který se nerozpínal, nýbrž rotoval. Bylo vypracováno několik dalších teoretických příkladů systémů, které se zdají být v souladu se zákony fyziky, ale zároveň umožňují uzavřené časové smyčky. Například princetonský teoretik Richard Gott ukázal, že stroj času by mohl být sestaven ze dvou takzvaných kosmických strun – dlouhých, mikroskopicky tenkých trubic hyperhustého materiálu, jež by byly dostatečně těžké na to, aby byly s to zakřivit prostor. Gott a jeho spolupracovník Li-Sin Li také navrhli kosmologický model, a to dokonce ještě podivnější než Gödelův, v němž se veškerý vesmír s konečným životním cyklem stáčí do časové smyčky, takže jeho konec je zároveň jeho počátkem.

Jeden velmi diskutovaný návrh stroje času počítá s „červí dírou“: dvě černé

díry spojené jakýmsi tunelem či „prostorovou deformací“. Tunel by mohl existovat pouze tehdy, pokud by se skládal z materiálu o vysoce negativním tlaku (tenzi). Teoretikové spekulují o tom, že takto exotický materiál se vyskytoval v raném vesmíru, ale i kdyby stále ještě existoval, množství materiálu potřebného k vytvoření červí díry dostatečně široké na to, aby jí mohl pohodlně cestovat člověk, by představovalo 10 000 násobek hmotnosti Slunce!

Gódelův objev a jeho důsledky vyvolaly všeobecnou diskusi. Existuje ještě jiný fyzikální zákon, restriktivnější než Einsteinovy rovnice, který takové efekty zakazuje? Mohli bychom jej nazvat „zákonem zachování chronologické posloupnosti“. Je v zásadě možná existence stroje času? Je zřejmé, že takovýto přístroj stále patří do říše science-fiction, my se však jen ptáme, zda je konstrukční omezení stroje času „pouze“ technologické, nebo vyplývá z nějakého nezvratného fyzikálního zákona. (Abych vysvětlil rozdíl – většina fyziků by řekla, že do první kategorie spadá kosmická loď cestující 99,99 % rychlostí světla, kdežto do druhé ta, která rychlost světla překračuje.)

Události odehrávající se na časové smyčce ji musejí uzavírat logicky a celistvě jako ve filmu, kde poslední scéna rekapituluje tu první. Paradox by vyvstal v případě, kdybyste se vrátili do minulosti a překazili nebo zničili něco, co by bylo podmínkou vaší existence: například ještě v kolébce zavraždili vlastní babičku, což by bylo na pováženou nejen z hlediska etiky, ale také logické konzistence. Cestování v čase dává smysl pouze tehdy, pokud některý z přírodních zákonů takovéto rozpory předem vylučuje. Závěr, že musí existovat nějaká „časová policie“, která by omezila naši svobodnou vůli, se může zdát paradoxní. Mne však přesvědčily silné argumenty Igora Novikova, předního fyzika, který zkoumal tyto teorie, že fyzikální zákony naše možnosti již omezují. Svoji svobodnou vůli nemůžeme uplatnit například

tím, že budeme chodit po stropě. Zamezit tomu, aby byla porušena konzistence časové smyčky, je z určitého hlediska analogické.

I kdybychom skutečně sestavili stroj času, nemohli bychom cestovat do doby před jeho konstrukcí. Takže skutečnost, že nejsme svědky návalu turistů z budoucnosti, znamená pouze to, že žádný takový přístroj ještě nebyl postaven, nikoliv že to není možné.

V následujících kapitolách si ukážeme, co vše již můžeme vydedukovat o úplném počátku našeho vesmíru a jeho vzdálené budoucnosti, aniž bychom museli opustit pohodlí své domovské planety.

Část II

Počátek a konec

7. Zpomalování, či zrychlování?

Nevyžadovaly žádnou znalost pohybu Slunce ani Měsíce, pouze důvěru v pravidelnost přírody.

Významnějších pokroků bylo dosaženo až v průběhu sedmnáctého století. V té době již astronomové jako Edmund Halley znali uspořádání Sluneční soustavy a uvědomili si, že osmnáctiletý cyklus je výsledkem kolísání roviny oběžné dráhy Měsíce. Halleye proslavilo jeho zjištění, že kometa, kterou pozoroval v roce 1682, je stejná, jakou viděli lidé v letech 1531 a 1607. Jejího návratu, který předpověděl na rok 1758, se sice nedožil, za svého života měl však štěstí na dvě úplná zatmění Slunce v Anglii, jež obě předpověděl. Jeho prognózy „pásu totality“ byly lepší, než jakých byli kdy schopni naši dávní předkové. Důležitější však byl kvalitativní pokrok: Halley na rozdíl od

Babyloňanů založil své předpovědi na onom typu poznatků, který bychom mohli po právu nazvat vědeckým vysvětlením.

Takovéto vysvětlení samozřejmě zbavuje zatmění jakéhokoliv tajemna a iracionálního strachu. Například pár týdnů poté, co v Evropě v roce 1999 došlo k zatmění Slunce, postihla Turecko a Řecko velká zemětřesení. Dříve lidé v těchto dvou úkazech viděli spojitost, kdežto dnes rozumíme příčinám zatmění i zemětřesení natolik dobře, že jakoukoliv příčinnou souvislost zcela vylučujeme.

Zatmění je mezi přírodními úkazy poněkud atypické, jelikož je vysoce předvídatelné. Dokážeme je předpovědět téměř na sekundu. Spolehlivé předpovědi zemětřesení však neexistují. Totéž platí pochopitelně i pro počasí: když jedu do Cornwallu, nikdy nevím, zda bude jasno či zataženo. Tato nevypočitatelnost zajisté nevypovídá o větších schopnostech astronomů ve srovnání se seismology a meteorology, pouze demonstruje podstatný rozdíl mezi předvídatelností a znalostmi. Prognózy zatmění i na celá staletí dopředu jsou téměř tak přesné jako vstupní data, to však neplatí pro předpovědi počasí, neboť zákony atmosférického proudění nejsou stabilní. Neurčitost vzrůstá, protože i ten nejmenší výkyv může významně změnit výsledek – stejně jako když člověk balancuje tužkou na špičce prstu.

Lidé stále touží po vysvětlení, i když nemají ani základní představu o tom, co se děje. Nastuzení svádíme na průvany, vlhké oblečení nebo jinou domnělou příčinu. Stejně nevypočitatelné pohyby na burze se vždy dočkají pohotových vysvětlení ve finančních rubrikách dalšího dne – vzrůst ceny je přisuzován důvodům typu „pesimismus ohledně růstu úrokových měr byl přehnaný“ nebo „společnost X byla nadhodnocena“. Tato vysvětlení jsou přinášena pochopitelně vždy až ex post: novináři by nabídli stejně pohotové komentáře, i kdyby se situace na trhu vyvíjela opačně.

Většina jevů je stále nepředvídatelná, přestože jsou zevrubně prozkoumány – jako například počasí. Nebeský hodinový stroj tvoří spíše výjimku, jež potvrzuje pravidlo. Newton měl štěstí, že narazil na jeden z mála dějů v přírodě, který lze předpovědět do velmi vzdálené budoucnosti. Spolehlivé předpovědi se omezují na situace velmi malé (chování jednotlivých částic nebo jednoduchých chemikálií) a velmi velké (nebeské oběžné dráhy a podobně). Nejspletitější komplexita se projevuje ve středně velkých měřítkách každodenního života – ve strukturách dostatečně velkých na to, aby pojaly jiné struktury, ale aby zároveň nebyly rozdraceny vlastní gravitací.

Subatomární svět je prostý – zdá se, že je možné jej popsat pomocí pouhých několika rovnic. V největších měřítkách je prostý rovněž náš vesmír. Jeho obecnou charakteristiku můžeme vyjádřit několika málo čísly – rychlost rozpínání, průměrná hustota a tak dále. Převažuje globální uniformita a gravitace v něm vládne pevnou rukou.

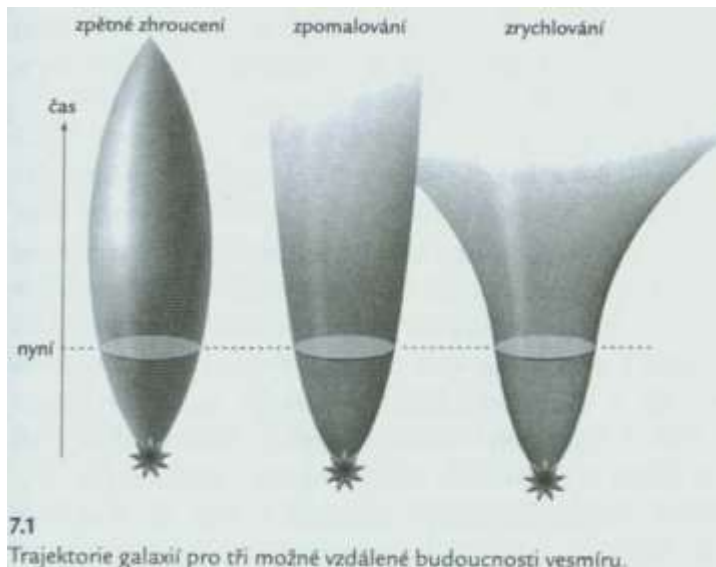
Dlouhodobá předpověď vesmíru?

Jsou-li majestátní astronomické úkazy v některých ohledech skutečně jednodušší než každodenní události, mohli bychom některé z nich předvídat? Můžeme vypracovat dlouhodobou prognózu vývoje našeho vesmíru?

Za zhruba 5 miliard let zanikne Slunce a s ním i Země. V přibližně stejném čase plus minus miliarda let do naší Galaxie možná narazí galaxie v Andromedě. Bude se však vesmír rozpínat donekonečna? Nebo se naše hvězdná bář zborťí zpět ve velký krach? Prostor již teď provrtávají nesčetné černé díry. Jsou snad ony předchůdci zhroucení, které nás všechny pohlťí? (Viz obr. 7.1)

Odpověď záleží na tom, do jaké míry se rozpínání vesmíru zpomaluje. Všechna tělesa na sebe navzájem působí svou gravitační silou a není těžké si spočítat, že by bylo třeba úhrnné hmoty pouhých pěti atomů vodíku na metr

krychlový, aby se rozpínání zastavilo – pokud nezasáhnou nějaké jiné síly. Zdá se, že to není mnoho. Ovšem kdyby byly všechny galaxie rozebrány a jejich stavební prvky společně s veškerým plynem rovnoměrně rozptýleny prostorem, vzniklo by ještě prázdnější vakuum – pouhý jeden atom na 10 metrů krychlových. Vypadá to, že v rozptýleném mezihvězdném plynu je přibližně stejné množství materiálu, ale i kdybychom jej přidali do naší „směsi“, dostali bychom hustotu pouhého 0,2 atomu na metr krychlový. To je obdoba pár zrněk písku v objemu celé zeměkoule nebo malého asteroidu pár stovek metrů v průměru v krychli tak velké, že by se do ní vešla celá naše sluneční soustava. Tato hustota je stále pětadvacetkrát nižší než kritický počet pěti atomů na metr krychlový. Ačkoliv by se mohlo zdát, že to znamená věčné rozpínání s obrovskou rezervou, je skutečnost vzhledem k záhadné temné hmotě poněkud komplikovanější. Jak



jsem již vysvětlil v kapitole 5, galaxie, a dokonce celé kupy galaxií by se

rozpadly, kdyby nebyly drženy pohromadě přitažlivou silou pět až desetkrát většího množství „temného“ materiálu, než opravdu vidíme. Domníváme se, že temná hmota je pravděpodobně nějakým druhem částic bez elektrického náboje, který přetrval z éry raného vesmíru. Ať už je to cokoliv, závisí na tom osud našeho vesmíru.

Řeckým písmenem omega (Ω) označujeme průměrnou hustotu dělenou kritickou hustotou. Kdyby Ω byla vyšší než jedna, mohla by gravitace nakonec vést ke zpětnému zhroucení. Podle našich současných znalostí se běžné atomy podílejí na kritické hustotě pouhými 4 % – jinými slovy, kdyby v našem vesmíru nebylo již nic jiného, měla by Ω hodnotu jen 0,04. Asi polovina těchto atomů je seskupena ve hvězdách a plynu, z nichž se skládají galaxie; zbytkem je převážně mezigalaktický plyn. Temná hmota přispívá pět až desetkrát větší měrou, to však stále nečiní více než 0,3 hustoty potřebné k zastavení rozpínání. Toto zjištění svědčí o tom, že se vesmír nezpomaluje dostatečně na to, aby se vůbec kdy zastavil.

Zrychlování?

K předvídání dlouhodobé budoucnosti vesmíru existuje i druhý přístup, který se na první pohled jeví přímočařejší. Je jím přímé porovnání tempa rozpínání před několika miliardami let a dnes plus následná extrapolace budoucího trendu. Toto srovnání je v zásadě možné, protože rudý posuv vzdálených objektů nám říká, jak se pohybovaly v době, kdy se jejich světlo vydalo na cestu – nikoliv jak se pohybují nyní. Praktický problém této metody spočívá v tom, že je zapotřebí objektů velmi vzdálených a zároveň dostatečně jasných. A co hůř – dostatečně standardizovaných na to, aby jejich zdánlivá jasnost vypovídala o jejich vzdálenosti. Samotné galaxie tomuto účelu nevyhovují. Jsou to spíše jakési „zoologické zahrady“ nejrozmanitějších

objektů a není jisté, jak se jejich jasnost v průběhu času mění. Hvězdy, které je tvoří, zanikají, nové se stále rodí a tak dále.

Nejvhodnějším dosud objeveným standardním majákem je druh supernovy, která vzniká jadernou explozí. Tyto takzvané supernovy typu 1A jsou v podstatě termojadernými bombami – explodujícími hvězdami se standardizovanou hodnotou uvolněné energie. Rozruch vyvolaly již první výsledky studií vzdálených supernov, jež oznámily v roce 1998 dva mezinárodní výzkumné týmy. Rozhodně nepotvrdily takovou míru zpomalování, k jaké by docházelo v nejjednodušším typu vesmíru, kde Ω by bylo přesně 1. To samo o sobě nebylo nijak překvapující, neboť se již dávno zdálo jasné, že ve vesmíru není dostatek temné hmoty na to, aby Ω mělo hodnotu větší než nějakých 0,3. Překvapením však nepochybně bylo, že rozpínání se nejspíš naopak zrychluje.

Časopis Science označil toto zjištění za vědecký objev roku 1998 ze všech oblastí výzkumu. Není však vyloučeno, že takovéto vyznamenání bylo poněkud předčasné. Uskutečněná pozorování jsou správná z hlediska omezeného rámce možností dnešních teleskopů. Člověku však stále nedají spát možné komplikace a omyly. Například supernovové „bomby“, které vybuchly v dávné minulosti a jež dnes pozorujeme jako vzdálené objekty s významným rudým posuvem, nemusely být úplně stejné jako ty, které vybuchly v nedávné době a poblíž. Nebo se v důsledku zamlžení způsobeného mezihvězdným plynem mohou jevit matnější, než skutečně jsou. Soubor relevantních informací není zatím nijak ohromující, přesto přidáváme to této „sbírky“ s každým měsícem další a další supernovy – za dva tři roky by tedy měly být všechny skuliny v této teorii zaceleny. Naštěstí máme dva týmy, jež pracují nezávisle na sobě, protože dlouhodobá prognóza vývoje vesmíru je příliš závažná na to, aby byla stanovena bez alternativního názoru.

Akcelerace implikuje působení další kosmické síly – jakéhosi druhu vesmírného odpuzování, který převažuje nad gravitací. Samotná tato myšlenka není ničím novým – již v roce 1917 ji poprvé vyslovil Einstein. V té době astronomové doopravdy znali pouze naši vlastní Galaxii. Až ve 20. letech se vědci shodli na tom, že Andromeda a další „spirální mlhoviny“ jsou vlastně samostatnými galaxiemi a jsou srovnatelné s tou naší. Bylo přirozené, že Einstein pokládal vesmír za statický útvar, který se ani nerozpíná, ani nesmršťuje. Uvědomil si, že v tomto stavu nemůže zůstat, není-li gravitace vyvažována jinou silou. Do svých rovnic zapracoval další číslo, které nazval „kosmologickou konstantou“, označovanou řeckým písmenem lambda (λ). Tím se zrodila odpudivá síla – jakási „antigravitace“ – křerá byla protiváhou k normální gravitaci a připouštěla existenci statického vesmíru, jenž by byl konečný, ale bez hranic. Paprsek světla, který byste v Einsteinově vesmíru vyslali, by se vrátil a udeřil by vás do zátylku.

Později Einstein označil λ za svůj největší omyl, protože kdyby s touto konstantou nepřišel, a neumožnil tak teorii o existenci statického vesmíru, mohl by předpovědět jeho rozpínání ještě před objevem Edwina Hubblea v roce 1929. Einsteinova pohnutka k zavedení λ nebyla aktuální po dlouhých sedmdesát dalších let, ani to však není důvodem k pochybám o konceptu samotném. Naopak – dnes se λ jeví méně jednoúčelová, než jak o ní smýšlel Einstein. Můžeme si ji představit jako energii, která je nějak obsažena dokonce i v prázdném prostoru (známé též jako „energie vakua“). Dle našich současných znalostí je prázdný prostor vším možným, jen ne jednoduchou entitou. Nachází se v něm nejrůznější částice v latentním stavu a ještě v miniaturnějších měřítkách to může být vířící změť strun. Z našeho moderního pohledu se netázeme, zda λ ano či ne, spíše si lámeme hlavu s tím, proč její hodnota není mnohem větší.

Pokud prázdný prostor skutečně obsahuje energii (která se rovná hmotnosti, jak nás učí Einsteinova slavná rovnice $E=mc^2$), proč má na rozpínání vesmíru opačný účinek než atomy, záření a temná hmota, které expanzi naopak zpomalují? Odpověď závisí na jedné, nikoliv zřejmě vlastnosti Einsteinovy teorie: podle rovnic obecné teorie relativity gravitace nezávisí pouze na energii (a hmotě), ale rovněž na tlaku. Vakuum má tu vlastnost, že je-li jeho energie pozitivní, pak jeho tlak je negativní – jinými slovy, vyznačuje se „tenzí“ jako stlačená guma. Výsledným efektem energie vakua je pak zrychlování vesmírné expanze. Vyznačuje se ohromným negativním tlakem, a tudíž podle Einsteinových rovnic netáhne, nýbrž tlačí.¹

Pokud λ představuje energii skrytou v prostoru, která je vytvářena komplikovanou strukturou v subatomárních měřítkách, pak nejlepší teoretický odhad praví, že by měla vyvolávat odpuzování 10^{120} silnější, než jaký je jí nyní připisován. Všeobecně rozšířená a oblíbená teorie zvaná „inlace“ (o níž hovořím v kapitole 9) postuluje, že ve velmi raném vesmíru tato dravá odpudivá síla skutečně existovala. Pokud je to pravda, jak by mohla být „vypnuta“ (nebo být nějakým způsobem neutralizována) s tak ohromující přesností?

Většina fyziků pojala podezření, že nějaký dosud neznámý proces vedl k výsledné nulové energii vakua, stejně jako je tomu dle našich poznatků u některých jiných charakteristik vesmíru – například celkového elektrického náboje. Nedávné výzkumy prokázaly, že hodnota λ není nulová, je však stále velmi nízká. Proč? Nepochybně muselo dojít k nějaké impozantní anulaci, proč ale byla natolik přesná, že vyústila ve 119 nul v řadě za desetinnou čárkou, a ne například ve 120 nebo více?

Jiná teorie uvažuje o tom, že odpuzování nemá na svědomí prázdný prostor (vakuum), ale že ve vesmíru existuje jakési všudypřítomné fluidum s

negativním tlakem, které je skutečným zdrojem odpudivé síly, jež se však během rozpínání natolik rozptýlilo a prořídlo, že jeho účinek je nyní velmi slabý. Tato záhadná substance – jakási temná energie – dostala přezdívku „kvintesence“.²

Důkazy pro „plochost“:

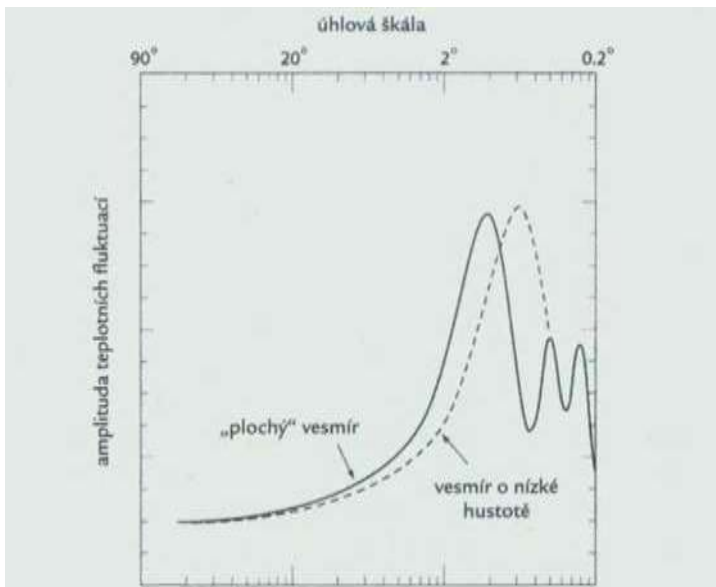
Souhlasná měření našeho vesmíru

Také další údaje, jež jsou zcela nezávislé na důkazu o zrychlování vesmíru založeném na supernových typu 1A, nyní existenci λ či kvintesence potvrzují. Jsou výsledkem přesných měření „dosvitu“ velkého třesku. Tato radiace není po obloze rozprostřena rovnoměrně. Zjistili jsme slabé odchylky v teplotě, jež jsou způsobeny zčeřením, z něhož se rodí galaxie a kupy galaxií. Teorie nám říká, že existuje jistá vlnová délka, na níž by fluktuace – jakési akustické vibrace vesmíru – byly maximální. Jak velké se tyto dominantní vlny na obloze jeví (kupříkladu zda mají v průměru jeden úhlový stupeň či pouze půl stupně), závisí na geometrii vesmíru, která zase závisí na celkové hmotě a energii.

Na téměř každé kosmologické konferenci jeden či více řečníků neomylně přijde s obrázkem 7.2, který znázorňuje amplitudu různých kmitočtových modů raného vesmíru: malé úhly napravo, větší (nižší harmonické) nalevo. Teplotní mapy reliktního záření pozadí, pořízené z vyprahlých vysokohorských oblastí, z Antarktidy nebo při dlouhodobých letech meteorologických balonů, určily úhlové rozměry těchto dominantních vln s více než 10 % přesností. Výsledky ukazují na „plochý“ vesmír: vztah mezi vzdáleností a úhly je stejný jako v euklidovském prostoru.

Přesně to bychom předpokládali, kdyby množství temné hmoty stačilo na kritickou hustotu – jinými slovy, kdyby Ω měla hodnotu 1. Na druhé straně Ω

o hodnotě 0,3 by znamenala (kdyby se ve vesmíru nevyskytovala žádná jiná energie) úhel dvojnásobně menší, což je rozhodně v rozporu s pozorováním. Nicméně pokud se energie vakua (λ) či kvintesence podílí zbývajícími 7/10, dostaneme se do souladu se získanými údaji. I takovéto exotické formy energie mohou modifikovat geometrii vesmíru a učinit jej plochým. Jelikož však přispívají k negativnímu tlaku (přestože mají pozitivní energii), jsou zdrojem antigravitace neboli kosmického odpuzování, a mohou tudíž stát v pozadí důkazu zrychlování expanze, jenž je založen na supernovách.



7.2

Předpokládané fluktuace v teplotě reliktního záření v plochém vesmíru. V otevřeném vesmíru o nízké hustotě by se vrchol nacházel na menší úhlové škále.

Mezi léty 1998 a 2000 vykázaly výsledky několika nezávislých metod měření klíčových charakteristik, které popisují náš vesmír, pozoruhodnou shodu. Zdá se, že vesmír je plochý, což odpovídá teoretickým předpokladům.

Jeho obsah je však směsicí prapodivných ingrediencí. Běžné atomy (baryony) ve hvězdách, mlhovinách a rozptýleném mezihvězdném plynu se podílejí na celkové hmotnosti-energii pouhými 4 %, temná hmota přispívá asi 30 % a temná energie zbývající částí (tzn. asi 66 %). Rozpínání se zrychluje, protože převládající složkou je temná energie (s negativním tlakem). Ze všech atomů ve vesmíru se pouze polovina nachází v galaxiích a zbytek je rozptýlen napříč mezigalaktickým prostorem. Nejviditelnější objekty ve vesmíru – hvězdy a zářící plyn v galaxiích – představují pouze 2 % z celkového vesmírného rozpočtu hmoty-energie, což je pozoruhodný zvrat oproti přirozeným předpokladům ze začátku dvacátého století.³

V ještě dřívějších stoletích převládal názor, že vše v „sublunární sféře“ se skládá ze čtyř „elementů“ – země, vzduchu, ohně a vody – ale nebesa jsou tvořena zcela odlišnou „pátou esencí“. Tento koncept byl v devatenáctém století definitivně pohřben, když výzkumy hvězdných spekter ukázaly, že hvězdy jsou ze stejného materiálu jako Země – jak jsme viděli v kapitole 3. Ovšem moderní kosmologie obdobnou antitezi vzkřísila. Vypadá to, jako by ona záhadná „antigravitační substance“ – energie vakua či kvintesence – skutečně byla převládající hmotou-energii v našem vesmíru, přestože v galaxiích a hvězdách nehraje žádnou roli. Může to být pozůstatek (daleko divočejší) síly, která podle teorie „inlace“ poháněla překotnou expanzi raného vesmíru. Přesto však stále čelíme otázce, proč kdysi tak mocná síla je nyní tak slabá. Odhalení jejího tajemství je výzvou pro teoretiky: je důležitým klíčem k objasnění raného vesmíru a povahy prostoru.

8. Dlouhodobá budoucnost

Temnější budoucnost

Za pět miliard let, až Slunce zanikne, budou galaxie navzájem ještě vzdálenější a méně svítivé, protože jejich hvězdná populace bude starší a k vytvoření nových jasných hvězd bude k dispozici méně plynu. K čemu však může dojít za ještě delší dobu? Nemůžeme předpovědět, jaké místo ve vesmíru si pro sebe život nakonec vybojuje. Může zcela zaniknout nebo převládnout natolik, že bude ovlivňovat chod celého vesmíru. Druhá možnost patří spíše do říše science-fiction, nelze ji však zavrhnout jako absurdní. Koneckonců uběhlo jen něco málo přes miliardu let a z počátečních mnohobuněčných organismů se přirozeným výběrem zrodila současná biosféra Země včetně nás. Než pohasne Slunce, uplyne pětkrát více času – dost na to, aby se zemská biosféra (a také ostatní, pokud existují) nepředstavitelně proměnila, i kdyby se budoucí živočišné druhy rodily v rámci dlouhých časových období přirozeného biologického vývoje. Budoucí změny však mohou být ještě mnohem rychlejší, budou-li uměle řízeny, a časové intervaly vzniku nových druhů pak budou svou délkou srovnatelné s kulturními či historickými údobími.

Navzdory těmto nepředvídatelným okolnostem můžeme učinit předběžný dlouhodobý odhad vývoje hrubých charakteristik vesmíru. Zdá se, že je odsouzen k pokračujícímu rozpínání a dokonce – pokud se současné důkazy potvrdí – jeho zrychlilování. Nakonec vychladnou i ty nejpomaleji hořící hvězdy a všechny galaxie naší Místní skupiny – Mléčná dráha, Andromeda a tucty menších galaxií – splynou v jedinou soustavu. Většina původního plynu bude tou dobou přetavena v pouhé mrtvé pozůstatky hvězd, část bude uvězněna v černých dírách a zbytek budou tvořit chladné neutronové hvězdy nebo bílí trpaslíci.

V ještě vzdálenější budoucnosti si přijdou na své úkazy příliš výjimečné na to, abychom je dnes měli možnost zaznamenat, například srážky hvězd.

Hvězdy jsou v prostoru tak řídké rozestřeny, že vzájemné kolize jsou nesmírně vzácné (naštěstí pro naše Slunce), ale přesto jejich počet roste. Galaxie v závěrečném stadiu sem tam osvětlí intenzivní záblesk pokaždé, když dojde k takovéto srážce mezi dvěma mrtvými hvězdami. Dalším velmi pomalým procesem je gravitační záření, jemné čerění prostoru, vyvolávané jakýmkoliv velkým objektem, který se pohybuje a mění tvar. Tyto gravitační vlny z něj odčerpávají energii. Jejich vliv je dnes sotva postřehnutelný, až na několik dvojhvězd, jejichž oběžné dráhy jsou obzvlášť těsné a rychlé. Za dostatečně dlouhý čas však nakonec „obrousí“ všechny hvězdné i planetární orbity.

Nakonec se rozpadnou i černé díry. Působením kvantových efektů je povrch černé díry mírně rozostřený a v důsledku toho vydává záření. Tento efekt by byl v našem dnešním vesmíru významný, kdyby se v něm nacházely minidíry o velikosti jediného atomu. Takovéto černé díry by vyzařováním radiace a částic erodovaly. Čím by byly menší, tím by bylo vyzařování silnější a energičtější, až by nakonec explodovaly a zanikly. Nezdá se však pravděpodobné, že podobné minidíry existují. Mohly se zformovat pouze v hyperhustém raném vesmíru a i tehdy to bylo nepravděpodobné – kdyby ovšem podmínky nebyly mnohem bouřlivější, než jak předpokládá teorie. Pokud by měly vzniknout dnes, musel by být asteroid o kilometrovém průměru (nebo podobně hmotné těleso) stlačen na velikost atomového jádra.

Vypařování černých děr jako kvantový proces má pro velké díry mnohem menší význam. Čas potřebný k erodování černé díry závisí na její hmotnosti. Černé díry o hmotnosti hvězdy žijí 10^{66} let. Ale i ty největší, hmotné jako miliarda Sluncí, jež se ukrývají například v galaktických jádrech, by se vypařily dřív, než by uběhlo 10^{100} let.

Asymptotická budoucnost života

Kosmologové již vyprodukovali impozantní sbírku spekulativní literatury o velmi raném vesmíru. Naproti tomu kosmická futurologie je ponechána autorům science-fiction. Já osobně si nárokuji jedno z prvních vědeckých pojednání v této oblasti. V roce 1968 jsem napsal krátký článek s názvem Zhroutení vesmíru: Eschatologická studie. Mnozí kosmologové se tehdy domnívali, že možná žijeme v konečném vesmíru, který skončí velkým krachem, a já vypočítal, co se stane, jestliže se kosmická expanze zastaví a vesmír se začne hroutit zpátky. Během zpětného odpočítávám do kolapsu všechny galaxie vzájemně splynou a jednotlivé hvězdy zrychlí téměř na rychlost světla (podobně, jako když atomy zrychlují ve stlačovaném plynu). Nakonec budou tyto hvězdy zničeny, neboť žár dopadající na jejich povrch (záření modrého posuvu z ostatních hvězd) bude větší než teplota v jejich jádru.

O deset let později dodal Freeman Dyson tomuto tématu náležitě vědecké vážnosti: v *Reviews of Modern Physics* (seriózním a prestižním akademickém periodiku) uveřejnil fascinující a podrobný článek s názvem Čas bez konce: Fyzika a biologie v otevřeném vesmíru. Důkazy pro neustále se rozpínající vesmír byly v té době méně přesvědčivé než dnes, ale Dyson byl již pevně rozhodnut, že nebude podporovat teorii velkého křachu, neboť „z ní má pocit klaustrofobie“. Zaobíral se také úvahami o budoucnosti inteligentního života. Až zaniknou všechny hvězdy, ptal se, může život přetrvat, aniž by se intelektuálně vyčerpal? Energetické zásoby jsou konečné, a to se na první pohled může jevit jako hlavní omezení. Dyson však dokázal, že tento limitující faktor ve skutečnosti vůbec není fatální. Jak se vesmír rozpíná a ochlazuje, mohou být nízkoenergetická kvanta energie (či ekvivalentně záření o delších a delších vlnových délkách) použita k přechovávání nebo přenosu informací. Stejně jako nekonečné řady mohou

dávat konečný součet (například $1 + 1/2 + 1/4 + \dots = 2$), neexistuje žádné omezení objemu informací, které mohou být zpracovány s vynaložením konečného množství energie. Každá myslitelná forma života by musela být stále chladnější, myslet pomaleji a prodlužovat své odpočinkové intervaly. Byl by však dostatek času k promyšlení každé myšlenky. Jak jednou řekl Woody Allen: „Věčnost trvá hrozně dlouho, zvláště pak když se chýlí ke konci.“

Dyson si představoval, že konec všehomíra se bude protahovat takovou řadu let, že kdybychom ji chtěli popsat, potřebovali bychom tolik nul, kolik je atomů ve všech viditelných galaxiích. Na konci všeho času by všechny hvězdy již hnízily v černých dírách, které by se následně vypařily za dobu, která by ve srovnání s celou historií byla téměř okamžikem.

Za dvacet let od vydání Dysonova článku se náš postoj změnil ve dvou ohledech, přičemž každý z nich činí naše vyhlídky do budoucna ještě chmurnějšími. Za prvé se většina fyziků dnes domnívá, že atomy nežijí navěky. Proto bílí trpaslíci a neutronové hvězdy zřejmě přibližně za 10^{35} let podlehnou erozi. Díky teple produkovanému atomovým rozpadem v jejich nitru budou mrtvé hvězdy žhnout, ne však více než přenosný ohřívač. Tou dobou bude naše Místní skupina galaxií pouhým shlukem temné hmoty a několika elektronů a pozitronů. Myšlenky a vzpomínky by přetrvaly jen prvních 10^{35} let, pokud by byly zkopírovány do spleťtých obvodů a magnetických polí v mračnecích elektronů a pozitronů – mohlo by to připomínat hroživou mimozemskou inteligenci v *The Black Cloud* (Černý mrak, 1957), prvním a nejnápaditějším z vědeckofantastických románů Freda Hoylea.

Dyson se na možnosti otevřeného vesmíru díval optimisticky, neboť se zdálo, že potenciální velikost vesmírných struktur nezná mezí. Představoval

si, že pozorovatelný vesmír bude ještě rozlehlejší. A co víc, mnohé galaxie, jejichž světlo nás ještě nestačilo dosáhnout, se nakonec objeví na dohled, a tudíž i na dosah možné komunikace a „zapojení do sítí“. Gravitace má sklon zpomalovat vzdalování galaxií, přestože rozestupy mezi nimi se stále zvětšují, takže rozrušující účinek rozpínání nebude tak významný. Jak jsme si ukázali již v kapitole 7, kosmologové se domnívají, že expanze se nezpomaluje: zdá se, že galaxie od sebe stále rychleji odtlačuje nějaká odpudivá síla či antigravitace. Dlouhodobá budoucnost se tudíž stále více zužuje. Galaxie se rychleji a rychleji ztrácejí z dohledu a vykazují stále větší rudý posuv – jejich čas plyne z našeho pohledu stále pomaleji, až se nakonec v jistém okamžiku definitivně zastaví. Sice nikdy úplně nezmizí, my však spatříme pouze omezený úsek jejich budoucnosti. Situace je analogická tomu, co by se stalo hrdinům Star Treku, kdyby spadli do černé díry. Z místa s dobrou vyhlídkou a z bezpečné vzdálenosti od díry bychom uviděli, jak se naši padající kolegové v určitém okamžiku téměř zastaví, přestože za horizontem událostí budou dále prožívat budoucnost, která je pro nás nepozorovatelná.

Naše Mléčná dráha, galaxie v Andromedě a několik tuctů menších satelitních galaxií, jež uvízly ve vzájemném gravitačním sevření, splynou v jediný amorfní systém stárnoucích hvězd a temné hmoty. V akcelerujícím vesmíru nám všechno ostatní zmizí z obzoru; je-li zrychlení výsledkem pevně dané X , nebude onen obzor nikdy o mnoho vzdálenější, než je nyní. Existuje tedy pevná mez – ač přirozeně nepředstavitelně kolosální – toho, do jakých rozměrů může každý systém či struktura nakonec narůst. Stejně omezení se vztahuje také na složitost a komplexitu čehokoliv. Charakteristická „zrnitost“ vesmíru stanovuje hranice spletnosti, která může být vetkána do struktur ohraničeného prostoru.¹ Nejlepším prostředkem k rozeznání nudného stereotypu takového vesmíru by byl stroj času, s jehož pomocí by člověk

mohl alespoň subjektivně vyčerpat všechny možnosti opakovaným cestováním tam a zpět v uzavřené časové smyčce.

Tyto dlouhodobé předpovědi vycházejí z fascinující fyziky, z níž většině poměrně dobře rozumíme. Avšak čtenáři, kteří se skutečně zajímají o to, co se stane za miliony a miliony let, musejí vzít do úvahy jisté nepředvídatelné okolnosti. Za prvé si nemůžeme být jisti, zda oblasti nacházející se mimo náš dnešní horizont jsou srovnatelné s částmi vesmíru, které vidíme. Jste-li uprostřed oceánu, mohou se ty nej neobvyklejší věci dít zrovna těsně za obzorem. Stejně tak vesmír, který zpomaluje – třebaže zdánlivě ne v takové míře, aby se vůbec kdy zastavil – se může zhroutit zpět v důsledku hustšího materiálu, který zatím nevidíme. A i kdyby k tomu nedošlo, tendence směrem k větší hladkosti ve větších měřítkách nemusí pokračovat donekonečna. Možná existuje zcela nová kategorie struktur, jež nabízí nové zdroje energie v měřítkách daleko větších než oblasti vesmíru, které jsme až doposud prozkoumali.

Za druhé nevíme, co se nakonec stane s kvintesencí – záhadnou energií prostoru, která pohání akceleraci vesmírného rozpínání. Tato reziduální energie by se mohla přeměnit na nový druh částic. Jestliže by tato konverze proběhla hladce, zavládl by nakonec ve vesmíru absolutní tma. Ale zbytková energie by se také mohla rozpadat v bublinách, jejichž povrchy by do sebe vzájemně narážely, a tím by vznikala místa se zvýšenou koncentrací energie, kde by se atomy možná dokonce regenerovaly. Takovýto opětovně vzkříšený vesmír by byl nepravidelný a různorodý s ostrůvky obnovené aktivity, roztroušenými v nesmírné prázdnotě. Abych citoval Paula Steinhardta, „poznali by budoucí tvorové, že jejich počátkem byl izotropní vesmír, který vidíme kolem sebe dnes? Dozvěděli by se někdy, že vesmír kdysi kypěl životem a pak odumřel, jen aby dostal druhou šanci?“²

Poněkud více zneklidňující vyhlídkou je možnost, že prázdný prostor může být zranitelný vůči katastrofické transformaci. Absolutně čistá voda může být podchlazena pod svůj bod mrazu, ale jakmile do ní přidáme nepatrné smítko prachu, okamžitě zamrzne. Analogicky naše současné „vakuum“ může být pouze metastabilní a později se přetransformovat ve zcela jiný vesmír, jenž se bude řídit odlišnými zákony, možná s vysokou zápornou λ , v jejímž důsledku by namísto zrychleného rozpínání vše implodovalo. Je to kosmická verze toho, co se stane se světovým vodstvem v knize Kurta Vonneguta Kolíbka. Z jistých příčin vznikne anomální druh ledu, který netaje ani při běžných teplotách a který následně podnítl přeměnu veškerého pozemského vodstva v tento nový fatální stav.

Občas vyvstávají obavy, že podobná konverze by mohla být vyvolána uměle prostřednictvím vysokoenergetických srážek částic při pokusech v urychlovačích. Uklidnit nás může skutečnost, že k daleko energetičtějším kolizím – v nichž figurují částice kosmického záření – dochází přirozenou cestou po miliardy let, aniž by nějak narušily strukturu vesmíru.

Další cestou k Armagedonu by mohla být přeměna běžných atomových jader v hypotetické částice zvané strangelety, které obsahují třetí typ kvarku (tzv. podivný kvark, označovaný písmenem s – pozn. překl.), doplňujícího ostatní druhy, z nichž sestávají běžné protony a neutrony. Pokud mohou strangelety existovat jako stabilní objekty a pokud mají záporný elektrický náboj (což je velmi nepravděpodobné), mohou přitahovat ostatní jádra a poté jako nakažlivá nemoc přeměnit jejich okolí a nakonec celou Zemi v takzvanou strange matter (tzv. podivnou hmotu). Tuto možnost vzali dostatečně vážně odpovědní pracovníci Brookhavenského urychlovače a nechali si vypracovat odborný posudek, zda pokusy, při nichž se srážejí velmi těžká atomová jádra, mohou takovouto katastrofu vyvolat.³

Verdikt odborníků přinesl uklidnění. Přesto si myslím, že nebudeme moci spát klidným spánkem, dokud si nebudeme zcela jisti, že k prakticky totožným událostem již v přírodě došlo bez katastrofálních následků. Přijatelná míra rizika při takovém pokusu je určitě nižší než jedna ku bilionu. Samotné teoretické argumenty však nemohou nabídnout dostatečné uklidnění: pouze lehkomyšlný a příliš sebejistý teoretik by si vsadil na správnost svého předpokladu v poměru jedna ku bilionu.

Naše vzdálené potomky pravděpodobně čeká nekonečná budoucnost (pokud ovšem nepadnou do spárů nějaké černé díry). Nicméně je nutno poznamenat, že alternativní osud – rozdrčení ve velkém křachu – by byl nepochybně cennou zkušeností. Vyložili jsme si, že ve stále se rozpínajícím vesmíru se všechno děje stále pomaleji. Celkový počet jednotlivých událostí či „myšlenek“ by pak mohl být omezený, ač by se tyto odehrávaly v rámci nekonečné budoucnosti. John Barrow a Frank Tipler zdůraznili, že v hroutícím se vesmíru by mohla nastat opačná situace: mohlo by se odehrát nekonečně mnoho „událostí“ v rámci omezeného časového intervalu.

Kosmologové jsou zvyklí na představu, že v okamžicích bezprostředně po velkém třesku se toho nejspíš událo mnoho. Kdybychom extrapolovali zpět k ještě extrémnějším hustotám, čas by musel být měřen řadou stále menších, robustnějších a rychleji tikajících hodin. I součet nekonečně mnoha čísel může být konečný. Stejně tak v posledních okamžicích před velkým křachem by nám před očima neprobleskl pouze celý náš předchozí život, ale prožili bychom nekonečně mnoho nových zážitků.

Tolik tedy ke vzdálené budoucnosti. Vraťme se nyní zpět k počátku.

9. Jak všechno začalo: První milisekunda

Zpět po stopách příčinných souvislostí:

sebejistě, či obezřetně?

Astronomie a kosmologie mají pozitivní image a těší se všeobecně vysoké vážnosti v porovnání s rozporuplným postojem veřejnosti například ke genetice nebo jaderné fyzice. Podstata nových objevů a konceptů těchto kosmických věd je snadno pochopitelná, prostá jakýchkoliv technických aspektů a přístupná široké veřejnosti. Nejsem však spokojen se způsobem, jakým je média prezentují – novináři kolem nich příliš často rozpoutají halasný povyk, jen aby pak svá prohlášení brali zpět a uváděli je na pravou míru. Nežádka jsou ovšem na vině sami vědci (nebo jejich tisková oddělení), nikoliv média. Brzy se může stát běžnou praxí, že novináři budou brát vědce s rezervou, stejně jako dnes berou politiky. Zveličená kosmologická tvrzení zajisté nenadělají tolik škody jako například zavádějící zprávy z oblasti lékařského výzkumu, které vzbuzují falešné naděje na zázračná uzdravení, kosmologové by se však měli vyhýbat bombastickým odhalením ve svém vlastním zájmu. Budeme-li příliš často vykřikovat do světa, že jsme učinili převratný objev, jenž vyvrací všechny předchozí teorie, bezpochyby ztratíme i ten kredit, který si skutečně zasloužíme. Kosmologové by tudíž měli pečlivě rozlišovat mezi tím, co je spolehlivě podloženo, a tím, co je hypotetické. Jinak hrozí, že na jedné straně získají jejich pochybné teorie nezaslouženou důvěru, a na druhé, že pravověrní skeptikové při vědomí, že ta či ona teorie je zčásti skutečně založena na dohaděch, odmítnou i zbytek, který přitom projde spolehlivými zkouškami a testy.

Celou naši sluneční soustavu můžeme dnes zasadit do velkolepého rámce sahajícího zpět až k velkému třesku – éry, kdy všechno bylo žhavější než

hvězdné jádro a rozpínalo se v měřítkách pouhých několika sekund. Důkazy jsou stejně přesvědčivé jako většina tvrzení geologů a paleontologů, jež se týkají historie Země, a krom toho jich je daleko více. V kapitole 5 jsem nastínil, jak se expandující ohnivá koule, mírně se lišící místo od místa, mohla za 10 miliard let vyvinout v současný vesmír. Počítačové simulace dokáží tento proces napodobit.

Galaxie hvězd, soustředěné v kupách, vznikly zejména v důsledku působení gravitace, stejné síly, která – jak si Newton uvědomil – udržuje planety na jejich oběžných drahách. Paralelu s Newtonovým objevem lze rozšířit. Znal důvod, proč obíhají v elipsách, ale počáteční „nastavení“ sluneční soustavy pro něj bylo záhadou: proč jsou oběžné dráhy všech planet přibližně v jedné rovině (ekliptice), zatímco komety se objevují z různých směrů? Ve druhém vydání *Optiky* (1717) napsal: „Slepý osud by se nikdy nemohl přičinit o to, aby veškeré planety obíhaly stejně po soustředných orbitách... Takováto úchvatná stejnoměrnost planetární soustavy musí být,“ prohlášoval Newton, „výsledkem prozřetelnosti.“ Příčina této koplanarity oběžných drah je dnes již dobře známa: je přirozeným důsledkem vzniku sluneční soustavy z původního rotujícího protostelárního disku. Ve skutečnosti dokážeme původ všech věcí vystopovat ještě dále – až k první sekundě velkého třesku.

V podstatě stojíme před stejnou překážkou jako Newton. On se podívoval nad tím, že se planety pohybují v jedné určité rovině. My zase uvažujeme, proč byl vesmír ve věku pouhých několika sekund nastaven na rozpínání určitým tempem a s určitým podílem různých ingrediencí.

Ani z dalšího hlediska – vztahu mezi kosmologií a náboženstvím – nedoznala naše doba oproti Newtonově žádných kvalitativních změn. Jeho objevy spustily lavinu náboženských (i protináboženských) reakcí. Stejně tak

i dnešní kosmologové dávají najevo pestrou škálu náboženských postojů: jsou mezi nimi jak tradiční věřící, tak zarytí ateisté. Můj osobní pohled – jistě nudný pro někoho, kdo by chtěl vést konstruktivní dialog (či jen nekonstruktivní debatu) na téma věda a náboženství – je takový, že pokud nám věda něco přinesla, pak to bylo poznání, že ani věcem tak „elementárním“, jako jsou atomy, není snadné porozumět. Proto bychom měli přistupovat se skepticizmem k jakémukoliv dogmatu či tvrzení, které si nárokuje něco více než jen velmi povrchní a obrazné nahlédnutí do hlubin naší existence. Není však bez zajímavosti, že E. O. Wilson ve své knize Consilience (Shoda) označil deismus (ne-li teismus obecně) za „problém astrofyziky“.

Zpět k první milisekundě

Recept, který popisuje náš vesmír starý jednu sekundu, je dostatečně jednoduchý na to, aby jej bylo možno shrnout do několika bodů:

Tento recept musel být výsledkem toho, co se odehrálo ještě dříve v prvním nepatrném zlomku sekundy. Zdůraznil jsem, že se můžeme s jistotou vrátit až k prvním sekundám vesmírné expanze. Reliktní záření, helium a deuterium jsou všechno zevrubně prozkoumané fosilie této éry. Jdeme-li ještě blíže k počátku, nabývají podmínky extrémnější a neznámější povahy. Prvních 10^{-5} sekund byl materiál hustší než atomové jádro a protony a neutrony se prakticky rozpadly na samostatné kvarky. Výzkumníci v ženevské laboratoři CERN a v Brookhavenské národní laboratoři ve Spojených státech napodobili tyto podmínky v miniaturních měřítkách prostřednictvím uměle vyvolané srážky atomových jader olova a zlata,

urychlených téměř na rychlost světla.¹⁰ Ještě blíže k počátku je energie a hustota natolik extrémní, že experimenty v této oblasti nám poskytují ještě chatrnější oporu.

V této souvislosti je užitečné vnímat čas na logaritmické stupnici. Každý násobek 10 – každá další nula za desetinnou čárkou na kosmických hodinách – by měl být počítán stejně. Teorie popisující tento velmi raný vesmír jsou stále ještě velmi provizorní a měla by jim předcházet podobná varování před zdravotními riziky, jaká jsou uváděna na cigaretových krabičkách. Přesto však jsme učinili ohromný pokrok a posunuli hranici známého počátku zase o něco více nazpět.

Nepřekonatelnou mez jakékoliv spolehlivé zpětné extrapolaci stanovuje kvantová teorie. Základní hypotézou této teorie je Heisenbergův princip neurčitosti, který nám říká, že čím přesněji chcete něco lokalizovat či zaměřit, tím energetičtější jsou kvanta – balíčky energie – která k tomu potřebujete. Existuje určitý limit, kdy je energie tak koncentrovaná, že hrozí imploze do černé díry. Nazývá se Planckova délka a má hodnotu 10^{-35} m – tedy zhruba 10^{19} krát menší než proton (viz diagram v příloze). Tato miniaturní délka, dělená rychlostí světla, vymezuje nejmenší změřitelný časový interval, Planckův čas – asi 10^{-44} sekund.

V první biliontině sekundy by každá částice nesla více energie, než jakou jí dokáže udělit nejvýkonnější urychlovače. Ovšem biliontina sekundy překračuje Planckův čas více než 10^{30} krát. Existuje tudíž mnoho dekad

10 Vzájemný poměr běžných atomů, temné hmoty a záření

2. Rychlost rozpínání vesmíru
3. Jak hladké je rozpínání - v podstatě hodnota jediného čísla Q , které určuje texturu a měřítko struktur
4. Základní vlastnosti atomů a atomových jader

logaritmického času, během nichž je mikrofyzika v důsledku vysokých energií a hustot nejistá, ale kde zároveň nepanují natolik extrémní podmínky, abychom si museli dělat starosti s kvantovou gravitací a (možná) s nespojitou strukturou prostoru a času.

Věříme, že některé z tvořivých procesů v našem vesmíru se udály v době, kdy byl asi stamilionkrát starší než Planckův čas, avšak kdy měl za sebou stále pouze 10^{-36} sekund. Právě tehdy nejspíš došlo k ustavení současného poměru atomů a záření. Jak jsem se zmínil již dříve, nejpočetnějšími entitami ve vesmíru jsou kvanta radiace – fotony – která tvoří zbytkové teplo velkého třesku. Atomy, jež jsou základními stavebními prvky naší existence a také existence všech planet, hvězd a galaxií, jsou 2 miliardkrát méně početné než fotony. Ovšem skutečným překvapením a teoretickým hlavolamem je skutečnost, že zde není pouze záření. Jak to, že vůbec nějaké atomy existují?

Kdybyste chtěli namíchat ten nejjednodušší vesmír, vzali byste stejné množství hmoty a antihmoty, tolik protonů jako antiprotonů, tolik kvarků jako antikvarků. Ale v takovémto vesmíru by veškerá hmota a antihmota anihilovala a přeměnila se v záření.

Co umožnilo existenci alespoň nějaké hmoty, nikoliv však antihmoty?

Odpověď vychází z myšlenek, jejichž průkopníkem byl velký ruský fyzik a někdejší disident Andrej Sacharov, doplněných experimentálními důkazy, že hmota a antihmota nejsou svými přesnými zrcadlovými obrazy. Ve velmi raných fázích kosmické expanze tato asymetrie mírně zvýhodňovala hmotu před antihmotou, třebaže ono nadržování představovalo pouze asi jednu miliardtinu. Přesto byla tato nepatrná část rozhodující: za svou vlastní existenci vděčíme rozdílu na devátém desetinném místě. Na každou miliardu anihilovaných párů, jež se přeměnily na fotony, které dnes vytvářejí mikrovlnné záření pozadí, zůstal jeden přebytečný nespárovaný kvark.

Oproti elektrickému náboji je zde jeden důležitý rozdíl. Náš vesmír má nulový celkový náboj, jelikož každá kladně nabitá částice je přesně vyvažována částicí nabitou záporně. Ovšem počet baryonů – počet protonů minus počet antiprotonů – není stále stejný. Proto může být tato převaha ustavena v raném vesmíru. Za všechno se ale musí platit. Jelikož počet protonů není striktně zachovávan, mohou se spontánně rozpadnout, aniž by se vzájemně anihilovaly s nějakou antičásticí. Potíže, kterým budou naši potomci čelit za 10^{35} let – až atomy, z nichž se budou skládat, postupně podlehnou erozi – budou jen vrácením půjčky šťastné náhodě, která upřednostnila hmotu před antihmotou. Zabránila tak tomu, aby se všechno vzájemně anihilovalo a přeměnilo v gama záření ještě před tím, než se stačily zformovat hvězdy a galaxie.

Běžně se předpokládá, že hmota má nad antihmotou navrch všude ve viditelném vesmíru, jsou však pro to nějaké nezvratné důkazy? Antihmota může přetrvat pouze tehdy, je-li důsledně oddělena od normální hmoty. V opačném případě dojde k anihilaci a celá hmota-energie (Einsteinovo mc^2) se přemění v záření, převážně paprsky gama. Naše vlastní galaxie jistojistě nezačala jako směs stejného množství hmoty a antihmoty. Kdyby ano, nic by nezbylo, neboť její obsah by rozvířily a rozptýlily turbulentní procesy, provázející zrod a explozivní zánik hvězd. I v rámci celých kup galaxií dochází k míšení dostatečně významnému, takže bychom očekávali silnější vyzařování gama paprsků, než jaké ve skutečnosti zachycujeme. V měřítkách těch největších superkup již nemůžeme být tak dogmatictí. Jednotlivá „panství“ hmoty a antihmoty mohou být střídavě rozeseta napříč vesmírem za předpokladu, že se rozprostírají na škálách větších než stovky milionů světelných let.

Proč rozpínání?

Umíme již tedy vysvětlit, proč je náš vesmír směsí záření a atomů. Ovšem zůstává nám ještě zásadnější otázka – jak vůbec vznikl a proč se rozpíná tak, jak se rozpíná?

Je velmi zavádějící představovat si, že velký třesk započal nějakou explozí. Člověkem vyrobené bomby nebo supernovy ve vesmíru explodují proto, že náhlý vzrůst vnitřního tlaku vyvrhne materiál do okolního prostoru, kde je tlak nižší. Ale v raném vesmíru byl tlak všude stejný: žádné prázdné vnější okolí neexistovalo. Dodatečná gravitace vyvolaná tlakem a tepelnou energií naopak spíše přispívala ke zpomalování expanze. Potřebujeme nějaké jiné vysvětlení toho, co vlastně třesklo a proč to třesklo. Kromě toho je na tempu rozpínání něco zvláštního, jak ukazuje obrázek 9.1.

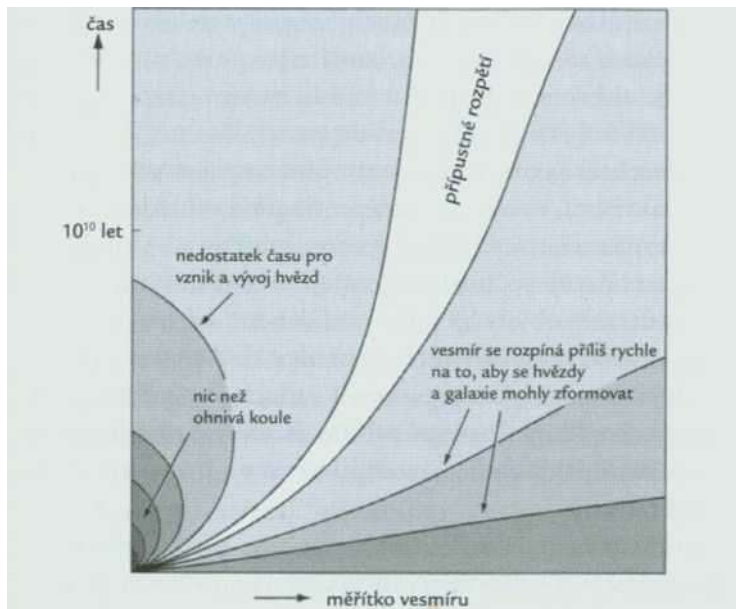
Představte si, že připravujete rozpínající se vesmír. Trajektorie, již by sledoval, by závisela na počátečním impulsu. Kdyby byl příliš prudký, disponovala by expanze hned zpočátku takovou energií, že by zcela převládla a gravitace by nikdy nedokázala soustředit materiál tak, aby zkondenzoval ve hvězdy a galaxie. Kdyby byl ovšem počáteční podnět nedostatečný, předčasný velký křach by evoluci zarazil hned v zárodku. Tehdy, jednu sekundu po začátku (pamatujte, že pro takto rozsáhlou zpětnou extrapolaci máme poměrně pevné základy), se musely kinetická a gravitační energie lišit o méně než jednu biliardtinu ($1/10^{15}$)¹¹

¹¹ , Jestliže by se námi zvolený počáteční okamžik odehrál mnohem dříve, pak by dovozovaná přesnost byla ještě větší. Jiní autoři uvádějí daleko vyšší čísla, indikující mnohem úchvatnější jemné vyladění. Za svůj počáteční bod jsem si zvolil jednu sekundu, neboť o fyzikálních podmínkách a rychlosti rozpínání v této době máme přesvědčivé důkazy (díky heliu a deuteriu), zatímco o ještě

Když na tento problém vědci narazili poprvé, reagovali dvojím způsobem. Za prvé, že vesmír se pravděpodobně někdy v budoucnu zhroutí zpět, ale že bychom neměli být překvapeni tím, do jakých rozměrů doposud expandoval. V opačném případě by totiž došlo ke kolapsu a krachu dřív, než bychom se stačili vyvinout a lámat si nad tím hlavu. (Argumenty tohoto druhu se znovu objeví v kapitole 11). Druhou a po dalších dvacet let převládající reakcí byla snaha nalézt nějaké vysvětlení křehké rovnováhy mezi tempem rozpínání a gravitací.

Proč je náš vesmír tak rozsáhlý? A jak to, že se vůbec rozpíná? Zdaleka nejpříjemnější a nejvěrohodnější vysvětlení zahrnuje takzvanou inflační fázi. Podle této teorie hned zpočátku, kdy všechno, co dnes astronomové pozorují, mělo doslova mikroskopické rozměry, nebyly dominantním materiálem ve vesmíru běžné atomy a záření, nýbrž koncentrovaná temná energie skrytá v původním prostoru. Nikoliv zřejmou vlastností této energie je, že vyvolává negativní gravitaci – odtlačuje, namísto aby přitahovala. Stejně jako velmi velká λ , převládla tato „temná energie“ nad běžnou gravitací a vyvolala nesmírně silnou antigravitaci čili kosmické odpuzování. Expanze narůstala exponenciálně; měřítko se zdvojnásobilo a pak znovu a znovu. A pak se bouřlivá expanze zastavila. Část temné energie se přeměnila

ranějším vesmíru existují spíše důkazy nepřímé.



9.1

Trajektorie neobyvatelných rozpínajících se vesmírů. Je-li expanze příliš pomalá, dojde ke zpětnému zhroucení dřívě, než může započít komplexní evoluce. Je-li naopak příliš rychlá, gravitace nemá sílu přitáhnout k sobě struktury, a žádné hvězdy ani galaxie se tudíž nezformují.

na běžnou energii a posléze teplo žhavé prvopočáteční ohnivá koule, která následně nastartovala nám již známější proces rozpínání, který vedl k našemu současnému kosmickému domovu.

Během asi 10^{-36} sekundy – biliontiny biliontiny biliontiny sekundy – mohl mikroskopický bod expandovat do takových rozměrů, že obsáhl vše, co dnes vidíme, a nastolil jemnou rovnováhu mezi gravitační a kinetickou energií.

Možná ale trvalo velmi dlouho, než fáze exponenciálního rozpínání skončila. Teoretikové popisují tuto situaci jako problém „elegantního ukončení“. Náš vesmír se nakonec napnul tak, že je zcela plochý, stejně jako když napnete pomačkaný ubrus. Na dvourozměrném povrchu se projeví účinky zakřivení:

kupříkladu na zakřiveném povrchu Země dávají tři úhly trojúhelníku dohromady více než 180 stupňů. Stejně tak geometrie trojrozměrného prostoru závisí na jeho zakřivení, ovšem inflační teorie předpokládají, že náš vesmír má zvláštní vlastnost zvanou „plochost“. V plochem vesmíru existuje jednoznačný vztah mezi úhlovými rozměry vzdálených objektů a jejich vzdáleností od nás, přičemž měření reliktního záření tento předpoklad potvrzují.²

Mechanismus, který poháněl inflaci, je v podstatě totožný s tím, který dnes způsobuje akceleraci rozpínání, až na to, že odpudivá síla – energie a tenze v prostoru – byla 10^{120} krát větší.

Je možné, že jakmile inflace začala, pokračovala tak dlouho, až se plochá oblast rozprostřela mnohem dále, než je současný rozměr 10 miliard světelných let našeho pozorovatelného vesmíru. Vzdálenost k „okraji“ by mohlo vyjadřovat číslo s miliony nul. Rozdíl 10^{60} mezi Planckovou délkou a rozměrem našeho horizontu by pak byl ničím ve srovnání s nepředstavitelným skokem až ke skutečné hranici našeho vesmíru. V takovýchto nesmírných rozlohách daleko za obzorem našich pozorování jsou kombinace možností tak nezměrné, že by nepochybně existovaly téměř přesné kopie naší Země a biosféry i přesto, jak nepravděpodobný může vznik života být. Ve skutečnosti by se v dostatečně kolosálním kosmu mohly vyskytovat nejen přesné duplikáty naší Země, ale i celé oblasti (zahrnující miliardy galaxií, každá tvořená miliardami hvězd), které leží v dosahu našich teleskopů.

A co víc – ani takto nepředstavitelně rozlehlý vesmír nemusí být vše, co existuje. Některé teorie říkají, že náš velký třesk nebyl jediný. Prostor se rozpíná tak rychle, že nabízí dostatek „místa“ k započetí nekonečné série dalších nezávislých velkých třesků. Tento směr uvažování dramaticky rozšiřuje naše pojetí reality – od univerza k multiverzu. V kapitole 11

podrobněji vysvětlím, proč by v důsledku zmíněného scénáře vývoje mohly být některé vlastnosti našeho vesmíru méně překvapivé.

Většina teoretiků považuje inflaci za znamenitou myšlenku, které se budou držet do té doby, než někdo přijde s něčím lepším. Ve skutečnosti se již objevují náznaky, že další prostorové dimenze doplňující naše obvyklé tři nás mohou dovést ke zcela jinému paradigmatu. Některým vědcům inflační teorie nikdy neučarovala. Například Roger Penrose si myslí, že inflace je „móda, jíž fyzikové vysokých energií trestají kosmology“, a dodává, že „mravenečníci mají své potomky také za nádherná stvoření“. Je přesvědčen, že porozumění našemu velkému třesku musí vyčkat na nějakou převratnou koncepci, která změní naše pojetí kvantové teorie i gravitace. Má rovněž podezření – a tady riskuje ještě více – že stejný průlom vnese světlo poznání do tajemství vědomí.

Všichni se shodují na tom, že bude potřeba nových myšlenek – či alespoň ráznějšího způsobu v rozhodování mezi již přednesenými – než budeme moci s jistotou popsat procesy, k nimž došlo ve velmi raném vesmíru. Některé vlastnosti našeho současného kosmu mohou být vysvětleny pouze detailním zkoumáním a formulováním těchto myšlenek. Pečlivá pozorování by proto mohla spolurozhodnout o vítězi mezi soupeřícími teoriemi. Kupříkladu inflační teorie tvrdí, že původci čerení, které se projevuje nepravidelnostmi v teplotě záření pozadí, jsou embrya galaxií a kup galaxií. Podle inflace jsou to kvantové vibrace, které ve skutečnosti vznikly v mikroskopických měřítkách, ale jež se zvětšily natolik, že se nyní rozprostírají napříč oblohou jako úchvatné pojítko mezi makrokosmem a mikrokosmem. S tímto čerením jsou spojeny gravitační vlny – oscilace v samotné struktuře prostoru, jež křižují vesmír rychlostí světla. Působením těchto vln se všechno mírně chvěje. Tento efekt je miniaturní a jeho zachycení představuje nesnadný technický problém,

a to dokonce i v rámci rozsáhlých experimentů ve vesmíru, které jsou speciálně určeny k pátrání po gravitačních vlnách. Nicméně tyto vlny se mohou projevovat také nepřímo: způsobují nepatrnou polarizaci v mikrovlnném záření pozadí, a pokud bychom tuto polarizaci dokázali změřit, dostali bychom přímý nástroj ke zjišťování procesů, k nimž došlo během inflace.

Ve fyzice můžeme vyvozovat nejrůznější domněnky, počítat, co ta či ona domněnka znamená pro fluktuace v mikrovlnném záření pozadí, pro seskupování galaxií, gravitační vlny a podobně, a tak alespoň zúžit výčet možností. Astronomové obvykle pracují s laboratorní fyzikou (kromě případů, kdy se jedná o gravitaci). Možná by jí teď mohli vrátit kompliment tím, že se dozvědí něco o „extrémní fyzice“, kterou nelze otestovat v laboratorních podmínkách.

Kosmologický výzkum za deset let ode dneška

Vsadil bych slušný peněžní obnos na to, že do roku 2010 budeme s jistotou vědět nejen, co je zač ona dominantní temná hmota, ale budeme také znát hodnotu Ω a vlastnosti temné energie ve vakuu. Pokud k tomu opravdu dojde, bude to velký triumf kosmologie: poznali bychom náš vesmír stejně zevrubně, jako jsme v průběhu několika posledních staletí změřili velikost a tvar našeho Slunce a Země. A také – za předpokladů, které zmíním v následující kapitole – budeme znát dlouhodobou předpověď vývoje vesmíru.

Po roce 2010 nás pak budou čekat úkoly dvojího odlišného typu. To proto, že kosmologie má dvě tváře: je to elementární věda, ale také nejvelkolepější z věd environmentálních. Kanadský teoretik Werner Israel přirovnal tuto dichotomii k rozdílu mezi šachy a zápasením v bahně. Kosmologická komunita je možná stejně nesourodou směsí extrémní

kultivovanosti a extrémní hrubosti (pochopitelně pouze z intelektuálního hlediska).

Zhruba za deset let ode dneška se budou ti z nás, kdo se raději válejí v blátě – a jsou k tomu intelektuálně lépe vybaveni než pro šachy – rozplývat nadšením nad „dokonce ještě podrobnějšími“ pozorováními jak pozemskými, tak i vesmírnými teleskopy. Díky masivním počítačovým simulacím budeme lépe rozumět tomu, jak se formují galaxie, hvězdy a planety.

Objem dat bude tak kolosální, že celý proces objevování a analýzy bude plně automatizovaný. Astronomové se budou probírat intenzivně zpracovávanými statistikami populací planet, hvězd a galaxií a zaměří se na nejpozoruhodnější příklady každého fenoménu – například planety nejvíce podobné Zemi a patologické objekty, které mohou být klíčem k extrémní fyzice. Prudký rozvoj počítačových technologií umožní simulace hvězdných kolizí, černých děr a ostatních jevů na úrovni virtuální reality. Astronomové se stanou součástí větší a širší komunity. Technologie umožní demokratičtější přístup k těm informacím, které byly v minulosti vyhrazeny pouze pro elitní (či jinak upřednostněnou) menšinu. Podrobné mapy oblohy budou dostupné každému, kdo bude mít možnost stáhnout si je z internetu. Vzniknou virtuální observatoře. Nadšenci po celém světě se budou moci podílet na prozkoumávání našeho kosmického domova, ověřovat si své předpoklady a objevovat mimořádné objekty. Dočkáme se pozorovatelů sedících v křeslech, stejně jako dnes máme v křeslech sedící teoretiky.

Řekl bych však, že „šachisté“ se budou stále pít po hlubším porozumění úplnému počátku. Proces hledání jednotných teorií kosmu a mikrosvěta se nevyčerpá (třebaže může vyčerpat své aktéry). Ve zbývajících dvou kapitolách se zamyslíme nad rozsahem a mezemi těchto snah.

Základy a domněnky

10. Kosmos a mikrosvět

Z ničeho?

Vše, co astronomové pozorují v oblasti vesmíru, která se rozprostírá přes 10 miliard světelných let daleko, vzniklo z nesmírně malé entity. Tuto nezvyklou myšlenku je snazší přijmout, pokud si uvědomíme, že z určitého hlediska může mít „netto“ energie vesmíru nulovou hodnotu. Všechno má energii rovnající se mc^2 , dle slavné Einsteinovy rovnice. Ale díky gravitaci má všechno také negativní energii. Ve srovnání s astronautem ve vesmíru máme my na Zemi energetický deficit. Ovšem tento deficit vzhledem k veškeré úhrnné hmotě ve vesmíru by mohl činit minus mc^2 . Jinými slovy, vesmír vytváří sám sobě gravitační jámu tak hlubokou, že všechno v ní má negativní gravitační energii, která přesně kompenzuje energii hmoty. Takže celkový výdej energie, potřebný k inflaci našeho vesmíru, by mohl být ve skutečnosti nulový.

Kosmologové někdy prohlašují, že vesmír může vzniknout „z ničeho“. To však není přesné. Ač může být smrštěn na velikost jediného bodu nebo kvantového stavu, ukrývá náš vesmír latentní částice a síly. Jeho obsah a struktura mají tudíž daleko do stavu, který filozofové nazývají „ničím“.

V kapitole 9 jsme se zmínili, že moderní kosmologové stejně jako Newton při zpětném sledování řetězce příčinných souvislostí stále narážejí na bariéru.

V jistém stadiu můžeme říci pouze „věci jsou, jaké jsou, protože byly, jaké byly“. Ani zdaleka jsme ještě sestavili jednotný a jednoznačný obraz našeho vesmíru. V jednom ohledu jsou na tom kosmologové ještě hůře, než byl Newton. Jeho zákony jsou autonomní – obíhající planety se jimi řídí, ale zpětně je neovlivňují ani nemodifikují. Na druhé straně nemůžeme spoléhat na to, že tato autonomita platí v celém vesmíru. Není vyloučeno, že kosmos určuje lokální zákony a zároveň se jimi řídí.

Fyzik a filozof devatenáctého století Ernst Mach vyslovil domněnku, že objekty odvozují svou setrvačnost z nějakého druhu interakce s okolním vesmírem. Tato myšlenka, která byla poctěna názvem Machův princip, je klíčová pro objasnění podstaty rotace a otáčení. Sám Newton zdůrazňoval, že pokud roztočíte vědro s vodou, tvar hladiny nezávisí na rotaci vzhledem ke stěnám vědra: rotace je poměřována v globálnějším vztažném systému – takzvaném inerciálním systému. Mach vyslovil domněnku, že tento inerciální vztažný systém je určen průměrným pohybem všech objektů ve vesmíru.

Tento rozdíl by se mohl na první pohled jevit jako nepodstatný, ale zdám klame. Ukazuje se, že inerciální systém, definovaný například pravidelným pohybem Foucaultova kyvadla, se nepohybuje vůči vzdálenému vesmíru. Někteří však byli přesvědčeni, že tomu tak být nemusí. Einsteinovy rovnice každopádně rotující vesmíry umožňují. (Na jednom takovém vesmíru bylo založeno řešení, které objevil Gódel a které rovněž umožňovalo cestování v čase. Ale existují i jiná, méně bizarní.) Je to jen náhoda, že náš vesmír vypadá ve všech směrech stejně a nemá žádnou zvláštní osu otáčení? Nebo jsou rotující vesmíry zakázány nějakým hlubším a restriktivnějším principem?¹²

¹² Je to stejná otázka, s jakou jsme se setkali v kapitole 6 v části pojednávající o stroji času. Existuje nějaký zákon, který vylučuje uzavřené časové linie?

Proměnné konstanty?

Možná náš vesmír nerotuje, rozhodně se však rozpíná – a přitom se také mění. Někteří tvrdí, že by bylo nanejvýš překvapivé, kdyby v měnícím se vesmíru zůstávaly fyzikální zákony neměnné. V roce 1937 přednesl velký fyzik Paul Dirac konkrétní hypotézu tohoto druhu, když prohlásil, že Newtonova gravitační konstanta G může se vzrůstajícím stářím vesmíru klesat. Pokles by činil jednu desetimiliardtinu hodnoty za každý rok.

Zajímavá je motivace, která Diraca k jeho myšlence vedla.¹ Pověřil si, že jak gravitační, tak elektrická síla se řídí zákonem převráceného kvadrátu. Proto poměr působení gravitačních a elektrických sil, řekněme mezi elektronem a protonem, je roven fundamentálnímu, nesmírně vysokému číslu: asi 10^{39} . Dirac byl překvapen zjištěním, že velikost pozorovatelného vesmíru (Hubbleův poloměr) přesahuje velikost protonu také asi 10^{39} násobně. Poté odhadem určil počet atomů v pozorovatelném vesmíru (to je dokonce ještě hrubší odhad) na zhruba 10^{78} , což je druhá mocnina 10^{39} . Zdráhal se připisovat tyto podobnosti náhodě a došel k závěru, že mezi těmito obrovskými čísly musí existovat nějaká skrytá souvislost. Konkrétně navrhl, že Newtonova konstanta G se může se vzrůstajícím věkem vesmíru měnit tak, že zmíněná dvě čísla současně rostou.¹³

Jev takových rozměrů, jakýsi představoval Dirac, můžeme dnes s jistotou vyloučit i na základě měření v naší sluneční soustavě. Kdyby měl Dirac pravdu, pak by se všechny oběžné dráhy planet postupně, a to s přesně

¹³ Číslo uvedené v kapitole 3 není 10^{39} , nýbrž 10^{36} , protože v onom případě jsem zmiňoval gravitační sílu mezi dvěma protony, a nikoliv mezi protonem a elektronem. Hubbleův poloměr je v podstatě doba, jež uplynula od velkého třesku, vynásobená rychlostí světla.

vypočítatelnou rychlostí, vzdalovaly po spirále v důsledku slábnoucího gravitačního působení Slunce. Země by tudíž v době, kdy se zformovala, musela být Slunci blíže než dnes. Mimoto by Slunce muselo mít větší svítivost: větší gravitace by zapříčinila, že jeho vnější vrstvy by silněji tlačily na žhavé jádro, a zvýšily tak výkon jaderné pece. V důsledku těchto dvou efektů – že Země by byla blíže a Slunce by bylo žhavější než dnes – by teplota oceánů v dobách, kdy byla Země mladá, dosahovala bodu varu, což je v rozporu s poznatky geologů.

Dnes již víme, že G se nezmenšuje ani stonásobně pomaleji, než jak navrhol Dirac. Nejpresvědčivější důkazy získáváme pečlivým sledováním kosmických sond a také díky binárním soustavám se dvěma neutronovými hvězdami, jejichž oběžné dráhy, po kterých kolem sebe navzájem krouží, mohou být velmi přesně monitorovány.

Ze všech vesmírných sil je gravitace právě tou, jejíž souvislost s velkorozměrovou strukturou vesmíru je nejvíce patrná. Mohla by však kosmická expanze nějakým způsobem vyvolávat změny v atomech – v jejich elektrických a jaderných vazbách, ve hmotnosti a náboji každého elektronu a podobně? Jak jsme viděli v kapitole 2, astronomové si již před 150 lety uvědomili, že hvězdy jsou ze stejného materiálu jako Země. Víme, že nežijeme ve zcela anarchickém vesmíru, kde by se atomy a zákony, jimiž se řídí, zcela nevypočítatelně lišily hvězdu od hvězdy. Jenže světlo velmi vzdálených galaxií započalo svou pouť v době, kdy byl náš vesmír o mnoho mladší a stlačenější. Je možné, že mikrofyziika byla tehdy odlišná v aspektech, které vyjdou najevo, až astronomové provedou analýzu tohoto prastarého světla?

„Čárové kódy“ ve spektrech těch nejvzdálenějších galaxií nám sdělují, že

atomy ve všech koutech vesmíru jsou si zřejmě velmi podobné. Vzdálené atomy se neliší o více než milióntinu od těch, které studujeme v laboratořích. O více se za celé ty miliardy let, co světlo těchto galaxií putuje vesmírem, nezměnily ani náboj, ani hmotnost elektronů.

Další výmluvný důkaz pochází z překvapivé oblasti: dolu Oklo v Gabonu v západní Africe. Na tomto nalezišti se před dvěma miliardami let nahromadila voda a uranová ruda a tato směs se „stala kritickou“. Toto geologické ložisko tak obsahuje výsledek radioaktivního rozpadu v dávné minulosti. Obzvláště zajímavý je vzácný prvek samarium, protože rychlost jeho rozpadu by se výrazně změnila, i kdyby se tehdejší hodnota náboje elektronu lišila od té současné o pouhou jednu milióntinu. Pečlivá analýza 2 miliardy let starého naleziště Oklo omezuje jakékoliv změny ve fyzice atomů stejně striktně jako astronomická pozorování.²

Nejvzdálenější galaxie jsou tak daleko, že jejich světlo vyrazilo na cestu v době, kdy byl vesmír pouze v jedné desetině svého současného věku. Mohlo však dojít k rychlejším a drastičtějším změnám ještě dříve? Tuto otázku nejlépe zodpovídá výsledek jaderných reakcí, k nimž došlo v několika prvních minutách po velkém třesku (viz kapitola 5). Více než několikaprocentní změny buď v gravitační síle, nebo ve vlastnostech elektronů by pozměnily výsledné množství helia a deuteria, které by pak bylo v rozporu s našimi pozorováními.

Tato omezení jsou dost silná již dnes, přesto by je astronomové měli stále zjemňovat, neboť některé moderní teorie velmi pomalé změny opravdu předpovídají. Takzvané „teorie velkého sjednocení“ tvrdí, že při extrémních teplotách v čase 10^{-36} s po velkém třesku, kdy podle předpokladů došlo k inflaci, byly elektrické i jaderné vazby stejně silné. Jak se později expandující vesmír ochlazoval, tyto síly se začaly odlišovat. Ale k přepokládaným

změnám by došlo tak brzy, že „konstanty“ by se během celého toho časového intervalu, jaký dnes dokážeme prozkoumat, skutečně zdály neměnné. Jiné, poněkud radikálnější teorie, operují s vyššími dimenzemi, které by mohly vyvolat významnější a pozdější změny v silách a dalších základních vlastnostech mikrosvěta. Máme tudíž silnou motivaci pro to, abychom zvyšovali citlivost těchto bádání. Možná, že tak astronomové poskytnou nějaký nesporný test radikálních teorií v mikrofyziice.

Při výzkumech těch nejnepatrnějších rozměrů a nejranějších fází se již nemůžeme opřít o nic, co důvěrně známe z našeho okolí. Takzvanou Planckovu délku nemůžeme popsat, aniž bychom překročili dokonce i teorii velkého sjednocení a dostali se k teorii, která uvádí v soulad gravitaci a kvantový princip. Jde zatím o otevřenou záležitost, ale je pravděpodobné, že teorie bude zahrnovat ústup od všeobecně přijímaných konceptů spojitého času a třírozměrného prostoru.

Další dimenze?

Vesmíry mohou mít krátké životy, mohou být ovládány více či méně intenzivními základními silami či dokonce mohou obsahovat odlišnou „zoologickou zahradu“ elementárních částic. Mohou však sestávat z většího počtu prostorových dimenzí, než jsou naše standardní tři? Takové prostory jsou rutinní záležitostmi pro matematiky, ale fyzika v nich je již hůře uchopitelná. Ve dvourozměrném světě nemohou existovat složité sítě, aniž by se dráty vzájemně nekřížily, třebaže tím nejsou vyloučeny spletité tvary vln, které se vzájemně překrývají. Dokonce i v rámci jedné dimenze může existovat složitá komplexita. Ve svém klasickém vědeckofantastickém románu Tvůrce hvězd si Olaf Stapledon představuje kromě mnoha jiných originálních vesmírů „hudební

vesmír, kde tvorové mají podobu složitých melodických vzorců a rytmů. Tělo každého tvora představuje více méně konstantní melodický prvek, který může procházet těly ostatních živých tvorů v tónové dimenzi, stejně jako se překrývají vlny na hladině.“

Stapledonův hudební vesmír má vedle času prakticky jen jednu prostorovou dimenzi. Náš časoprostor sestává přirozeně ze tří prostorových dimenzí. Čtvrtá – čas – se od ostatních liší tím, že má směr, že je orientovaný: zdá se, že nás unáší pouze jedním směrem (kupředu). Třírozměrný prostor má výjimečné vlastnosti. Například když otočíme nějaký objekt libovolným způsobem, potřebujeme tři čísla – tedy právě tolik, kolik je dimenzí – abychom specifikovali jeho rotaci: dvě k určení polohy osy otáčení a jedno ke stanovení úhlu, o který kolem své osy rotuje. (Ve dvou dimenzích je rotace definována pouze jedním číslem; ve čtyřech je potřeba čísel šesti).

Elektrická a gravitační síla se řídí zákonem převráceného kvadrátu právě proto, že existují v rámci tří prostorových dimenzí. Tuto závislost snadněji pochopíme pomocí Faradayova pojetí siločar. Kulová slupka kolem hmoty či náboje o poloměru r má povrch r^2 ; síla pak klesá jako $1/r^2$, protože při větším poloměru jsou siločáry rozprostřeny na větší ploše a jejich účinek je oslaben. Kdyby existovala čtvrtá prostorová dimenze, povrch koule by nebyl úměrný r^2 , nýbrž r^3 a síla by se řídila zákonem převrácené třetí mocniny. Zákon převráceného kvadrátu je výjimečný, neboť umožňuje existenci oběžných drah, které jsou stabilní v tom smyslu, že orbita planety se jen nepatrně změní v reakci na lehké „šťouchnutí“ (takovou změnu by vyvolal například ráz po dopadu asteroidu). Kdyby se však gravitace řídila zákonem převrácené třetí mocniny, bylo by vše katastroficky jinak: planeta, která byla mírně zpomalena, by narazila do Slunce, a kdyby byla naopak mírně zrychlena, vzdálila by se po spirále vstříc mrazivé mezihvězdné temnotě. Tuto

skutečnost si můžeme vyložit jako další ze zvláště biofilních důsledků existence tří prostorových dimenzí.

Vlastně to byl teolog osmnáctého století William Paley, který se proslavil svým výrokem, že vesmír, který se jeví, jako by byl naplánován, je stejným důkazem existence Stvořitele, jako hodiny jsou důkazem existence hodináře.

Ten si také jako první povšiml zvláštní stability zákona převráceného kvadrátu. (Paley získal své matematické vzdělání v Cambridgi v době, kdy podíl newtonské matematiky na tehdejším studijním programu byl velký.) Toto zjištění podpořilo jeho argumenty pro Boží Prozřetelnost, Paley však nenalezl spojitost mezi tímto zákonem a počtem prostorových dimenzí.

Kdyby působil o století později, uplatnil by podobný argument na atomy: elektrony by nemohly existovat ve stabilním „vázaném stavu“, kdyby se elektrická síla řídila zákonem převrácené třetí mocniny.

V současné době nám nepřipadá nic nesmyslného na vesmíru, v němž má prostor ještě další dimenze: podle teorií superstrun jich měl velmi raný vesmír deset či jedenáct. Ony dodatečné dimenze byly sbaleny a „stěsnány“, namísto aby expandovaly spolu s ostatními. Kdyby byly stlačeny na velikost Planckovy délky, pak by nemohly přímo ovlivňovat žádný experiment. Je však možné, že „škála sbalení“ – třebaže stále mikroskopická – není tak malá jako Planckova délka. Dodatečné dimenze by pak po sobě zanechaly nějaké stopy, které by mohli objevit fyzikové částic. Představte si kupříkladu, že dvě dodatečné dimenze vstoupí do hry v měřítkách menších než 10^{-15} cm. Pak nám Faradayův argument o siločárách praví, že síla v takovémto poloměru se řídí zákonem převrácené čtvrté mocniny namísto obvyklého převráceného kvadrátu. Ve třídímenzionálním vesmíru je gravitace tak silná, že kvantové efekty jsou významné pouze v měřítkách ne větších než Planckova délka, tzn. 10^{-33} cm. Kdyby však gravitace více rostla se zmenšujícím se poloměrem a

namísto převráceného kvadrátu by se řídila převrácenou čtvrtou mocninou, pak by kvantové efekty měly větší pole působnosti již na škálách větších než miniaturních 10^{-33} cm. Faktická Planckova délka by již nebyla tak nepatrná a míra stlačení potřebná ke vzniku černé minidíry by nebyla tak extrémní jako v běžném třídímenzionálním vesmíru. Někteří fyzikové dokonce zvažují možnost, že bychom malé černé díry mohli stvořit v technicky realizovatelných urychlovačích.

Je známo, že Einstein zasvětil posledních třicet let svého života hledání sjednocené teorie fyzikálních zákonů. V tomto dobrodružství byl osamocen. Ale podobnému pátrání se samostatně věnovali i ostatní – zejména anglický astrofyzik Ardiur Eddington. (Eddington byl tehdy již slavný díky své klasické a nadčasové práci o relativitě a struktuře hvězd a později začal být posedlý numerologickou „fundamentální teorií“, podle níž je náš vesmír uzavřený a konečný. Navrhl dokonce vzorec k určení přesného počtu atomů ve vesmíru.)¹⁴

Tyto pokusy byly z mnoha důvodů předčasné. Zaměřovaly se kupříkladu na gravitaci a elektromagnetismus, aniž by braly na vědomí i ostatní síly: silnou jadernou vazbu a takzvanou slabou interakci, jež je významná pro neutrína a radioaktivitu. Takovýchto falešných nadějí bylo ještě několik. Nyní však převládá optimismus, že teorie superstrun či – jak se dnes nazývá – M-teorie, je branou k fundamentálním rovnicím. (Někteří odborníci přirovnávají současnou situaci ke stavu, v němž se nacházela v roce 1925 kvantová teorie,

¹⁴ Ve své Fundamentální teorii Eddington napsal: Věřím, že vesmír obsahuje 15 747 724 136 275 002 577 605 653 961 181 555 468 044 717 914 527 116 709 366 231 425 076 185 631 031 296 protonů a stejný počet elektronů.“ (Toto číslo je rovno 2^{256} x 136.) Tomu žádný žijící vědec nevěří a jen stěží by někdo projevil snahu proniknout do podstaty Eddingtonových úvah.

kdy si všichni uvědomovali, že je třeba nového paradigmatu, ale nikdo přesně nevěděl, co by jím mělo být.) Sjednocenými teoriemi se nyní zabývají i mladí vědci, nikoliv pouze etablovaní koryfeje, kteří si mohou dovolit přecenit své schopnosti a nedobrat se ničeho podstatného.

Mezi složitostí desíti či jedenácti dimenzí a tím, co dnes můžeme pozorovat nebo změřit, zeje znepokojivě velká propast. Není jisté, co rozhoduje o geometrii „běžného“ prostoru: jak to, že na počátku expandovaly a náš vesmír utvořily pouze tři prostorové dimenze? Teoretikové ještě nedokáží říci, zda ve „sbaleném“, mikroskopicky malém stavu jsou všechny dodatečné dimenze, nebo zda některé z nich tvoří vesmíry oddělené od našeho, stejně jako v našem třídimenziálním vesmíru může existovat mnoho dvourozměrných ploch, aniž by se navzájem dotýkaly. (Poněkud složitější je otázka, zda může mít vesmír více než jednu časovou dimenzi. Pokud ano, pak bychom nepochybně potřebovali jazyk s více slovesnými časy, abychom si vůbec rozuměli.)

Obecně lze říci, že bude třeba nalézt „novou“ matematiku. Neeuklidovskou geometrii, které Einstein využil k popisu zakřiveného prostoru, rozvinul už Riemann a ostatní. Průkopníci kvantové teorie také zjistili, že pro jejich účely plně postačuje matematika devatenáctého století. Ale vědci pracující s teorií superstrun budou potřebovat matematiku dvacátého prvního století.

Teorie superstrun zatím nevysvětluje různé druhy subatomových částic – kvarků, gluonů a podobně – ani doposud nepředpověděla nic nového, experimentálně nebo kosmologicky ověřitelného, co by měly na svědomí dodatečné dimenze. Mnozí jsou však ochotni na ni vsadit. Částečně proto, že se téměř zdá, jako by „předpovídala“ existenci gravitační síly. Částečně také z

estetických důvodů. K takovému postoji existuje precedens. Einsteinova teorie gravitace – obecná relativita – si získala všeobecné uznání díky svému estetickému půvabu, třebaže její empirická podpora byla zprvu mlhavá a nepřesná. Přesáhla Newtonovu teorii, neboť nabídla hlubší porozumění. Einstein na rozdíl od Newtona podal přirozené vysvětlení, proč vše padá stejnou rychlostí a proč se gravitace řídí zákonem převráceného kvadrátu. Obecná relativita se datuje do roku 1916 a objasnila odvěkou anomálii v Merkurově oběžné dráze. Byla slavně potvrzena měřením ohybu světla hvězd během zatmění v roce 1919, ovšem sám Einstein přikládal eleganci své teorie větší váhu. Jednou byl tázán, jak by reagoval, kdyby výsledek při zatmění nesouhlasil. A on odpověděl, že „by mu našeho Pána bylo líto“.

Co nám fundamentální teorie neřekne

Podaří-li se kdy sjednocenou teorii opravdu zformulovat, bude to možná největší intelektuální počín všech dob, triumfální vyvrcholení pouti, která začala dávno před Newtonem a pokračovala přes Maxwella, Einsteina a jejich následovníky. Objasnila by totožnost základního elementu, z něhož se skládají všechny objekty ve vesmíru, a stala by se názorným příkladem toho, co velký fyzik Eugene Wigner nazval „nepochopitelnou efektivností matematiky ve fyzikálních vědách“. Také by byla důkazem pozoruhodné skutečnosti – mnoha lidmi zpochybňované – že je v duševních silách člověka obsáhnout základní principy fyzikální reality.

Doufám, že nebudu vypadat jako přílišný morous, když také zdůrazním, co by nepřinesla. Takováto teorie by neznamenal konec všem velkým vědeckým výzvám. Ve skutečnosti by měla na ostatní vědy jen minimální dopad – a dokonce i na větší část kosmologie. Dvě fráze, často užívané v populárních knihách – „finální teorie“ a „teorie všeho“ – ukrývají konotace,

kteřé jsou nejen poněkud arogantní, ale také velmi zavádějící.

Téměř všichni vědci již jsou přesvědčeni, že náš každodenní svět je v jistém ohledu možno zredukovat na fyziku atomů. Stejně jako jakákoliv myslitelná oběžná dráha kterékoliv planety je řešením Newtonových pohybových rovnic, tak také každý kousek materiálu – ať už živý či neživý – se řídí Schrödingerovou rovnicí, základní rovnicí kvantové teorie, která popisuje všechny atomy a jejich seskupení. Ve skutečnosti však nedokážeme tuto rovnici vyřešit pro nic složitějšího, než je jednoduchá molekula. Složitost řešení závisí na tom, s kolika atomy počítá, a také na komplikovanosti jejich vnitřní struktury (například živá buňka je nepoměrně složitější než pravidelný krystal, tvořený přitom stejným počtem atomů).

A kromě toho, i kdybychom měli k dispozici superpočítač, který by Schrödingerovu rovnici pro složité makroskopické systémy dokázal vyřešit a uměl by reprodukovat jejich chování, nepřinesl by jeho výsledek žádný skutečný poznatek. Poznání, po němž vědci pátrají, vyžaduje zcela jiný přístup. Například proudění vody – víry, vzdouvající se vlny a podobně – můžeme nejlépe popsat pomocí pojmů vlhkosti, míry víření a turbulence. Tyto vlastnosti existují jen v měřítkách dostatečně velkých na to, abychom mohli pracovat s tekutinou jako se spojitým celkem a ignorovat kvantové efekty. Stejně tak bychom mohli říci, že procesy v počítačích jsou jen elektrony, pohybujícími se ve složitých obvodech, ale tato představa nevystihuje podstatu a logiku zakódovanou v oněch signálech. Jak říká Steven Pinker, „chování člověka dává nejvíce smyslu tehdy, je-li vysvětlováno pojmy jako přesvědčení a rozhodování, nikoliv v pojmech voltů a gramů“.

Každá věda, od chemie po sociální psychologii, má své vlastní zásadní a neredukovatelné koncepty a charakteristické druhy výkladů. V makroskopické oblasti vládou obecné „přirodní zákony“, které představují

stejnou výzvu jako cokoli v mikrosvětě a jsou na něm koncepčně nezávislé – například existují obecné matematické zákony, které popisují přechod od uspořádaného chování k chaotickému a lze je použít na fenomény tak málo související, jako jsou kapající kohoutek a zvířecí populace.³

Jednotlivé vědy jsou často přirovnávány k různým poschodím téže budovy – logika v přízemí, matematika v prvním patře, dále částicová fyzika, pak zbytek fyziky a chemie, a tak to pokračuje dále nahoru. Ale analogie s budovou trochu pokulhává, poněvadž superstruktura („vyšší“ věda zabývající se komplexními systémy) není ohrožována vratkými základy.

I kdybychom znali základní zákony, pořád bychom nerozuměli tomu, jak se jejich důsledky odvíjely posledních 13 miliard let. Složité vzory a vzájemná propojení jsou pro nás záhadou – neúplná znalost mikrosvěta přitom však obecně není tou hlavní překážkou.

Tento problém se dostal do centra pozornosti v souvislosti s debatou ohledně Supravodivého superurychlovače (SSC = Superconducting Super-Collider) – obřího a enormně nákladného urychlovače, jehož výstavbu v Texasu zastavil Kongres poté, co na něj byly vynaloženy dvě miliardy dolarů. Zveličování jeho významu ze strany jeho zastánců vyústilo v odmítavou reakci ostatních vědců, a dokonce i některých fyziků, kteří cítili, že složité materiály, proudění tekutin a teorie chaosu představují stejně významnou intelektuální výzvu jako částicová fyzika a že prostředky vynaložené na SSC byly nepřiměřené.⁴

Nicméně jak zdůraznil Steven Weinberg, některé vědy si mohou činit nárok na jedinečný status a výjimečnou „hloubku“.⁵ Když se budete neustále ptát Proč? Proč? Proč?, skončíte u fundamentální otázky buď v částicové fyzice nebo v kosmologii: vědách o velmi malém a velmi velkém. Je to velmi významná vlastnost našeho vesmíru. Hledáme sjednocené teorie kosmu a

mikrosvěta nikoliv proto, že by na nich závisela ostatní věda (dokonce ani ostatní fyzika), ale protože se týkají nejhlubší podstaty naší reality.

Kouzlo „finální teorie“ je velmi mocné. Ambiciózní studenti se odvážně pouštějí do řešení tohoto nej důležitějšího úkolu. Avšak přílišné soustředění na jednu vysoce teoretickou oblast skončí pravděpodobně zklamáním a frustrací pro všechny s výjimkou několika mimořádně nadaných jednotlivců nebo těch, kdo měli štěstí. Svým studentům radím, aby vynásobili závažnost problému nízkou pravděpodobností, že jej vyřeší, a tento výsledek maximalizovali. Také jim připomínám moudrý postřeh Petera Medawara, že „žádný vědec se nedočká ocenění za to, že neuspěl při řešení problému, který přesáhl jeho schopnosti. Může doufat maximálně v blahosklonné opovržení ze strany utopistických politiků.“⁶

Navzdory Einsteinově aforismu o pochopitelnosti světa, který jsem citoval v úvodu této knihy, by bylo docela překvapující, kdyby byl lidský mozek schopen obsáhnout všechny aspekty vnějšího světa. Některé ze složitých tajemství přírody možná neodhalíme nikdy.

11. Zákony a místní vyhlášky v multiverzu

Mnoho vesmírů?

V kapitole 9 jsem popsal, jak se celá ohromná oblast o velikosti 10 miliard světelných let, kterou dnes astronomové pozorují, mohla „nafouknout“ z jediné entity nepatrných rozměrů. A také jak tato inflace mohla vést k vesmíru tak obrovskému, že k vyjádření jeho rozměrů bychom potřebovali číslo o milionech číslic. Jenže dokonce ani takto gigantická rozloha nemusí být vše, co existuje. Oblasti, kde inflace pokračuje, se mohou rozpínat dostatečně rychle na to, aby poskytly matečnou půdu pro další velké třesky. Pokud je to pravda, nebyl náš velký třesk jediný a může být dokonce součástí věčně se

reprodukcujícího vesmíru.

Existence mnohočetných vesmírů vyplývá i z jiných hypotéz. Kdykoliv se například utvoří černá díra, mohou procesy odehrávající se hluboko v jejím nitru vyvolat vznik dalšího vesmíru v odloučeném a samostatném prostoru. Kdyby takovýto nový vesmír byl stejný jako ten náš, vznikaly by v něm také hvězdy, galaxie a černé díry, a ty by zrodily další generaci vesmírů, a tak dále a tak dále, možná ad infinitum. Nebo by zde mohly existovat dodatečné prostorové dimenze, které by nebyly těsně „srolované“ – v takovém případě bychom mohli žít v jednom z mnoha oddělených vesmírů vnořených do prostoru o vyšší dimenzi.

Všechny tyto teorie jsou velmi hypotetické a mělo by jim předcházet něco jako zdravotní varování. Vzbuzují v nás však svůdné a provokativní vize dramaticky rozšířeného pohledu na vesmír. Celá historie našeho kosmu by mohla být jen epizodou, jedním dílkem v nekonečné mozaice všehomíra. Pokud by tomu bylo skutečně tak, byly by některé vlastnosti našeho vesmíru méně překvapivé. Dovolte, abych vám nastínil, proč si to myslím.

Speciální recept?

Vypadá to, že charakteristické rysy našeho vesmíru a všeho, co obsahuje (včetně nás), jsou důsledkem něčeho, co bychom mohli nazvat náhodou. Velikost a tvar Mléčné dráhy a ostatních galaxií naší Místní skupiny jsou výsledkem kvantových fluktuací, které byly vesmíru vštípeny v době, kdy nebyl větší než golfový míček. Plyny, které nakonec utvořily naše Slunce, byly po miliardy let „hněteny“ pohyby naší rotující Galaxie a zpracovávány ve výhních explodujících supernov. Země (společně s ostatními vnitřními planetami, Merkurem, Venuší a Marsem) je seskupením kamenů a asteroidů. Největší srážka vyvrhla do prostoru materiál, z něhož vznikl Měsíc. Zemský

povrch byl utvářen kontinentálním driftem, vulkanickou činností a dalšími srážkami s kosmickými tělesy. Tyto a jiné terestrické události formovaly topografii a klima a podmiňovaly vznik a zánik živočišných druhů. V rámci lokálnějšího měřítka prostoru a času je každý z nás dílem času a náhody – klíčových událostí v životě našich předků. V ještě menším, mikroskopickém měřítku vděčíme za své genetické dědictví téměř nahodilému osudu jedné jediné spermie.

Zjevně nebudeme nikdy schopni objasnit všechny události a náhody, které 13 miliard let po velkém třesku vedly k našemu zrození. Výsledek byl kriticky závislý na receptu, zakódovaném ve velkém třesku, a zdá se, že tento recept byl v lecčems výjimečný. V kapitole 5 jsme si řekli, že vznik tak úžasně spleťtí rozmanitosti z jednoduchého počátku není v rozporu s žádným fundamentálním principem. Vypadá to však tak, že úroveň jemného naladění – v rychlosti rozpínání, materiálovém složení vesmíru a intenzitě základních sil – byly nezbytným předpokladem pro vznik životu příznivého vesmírného domova, v němž přebýváme.

Následuje výčet některých nezbytných předpokladů pro vesmír, obsahující organický život takového druhu, jaký se nachází na Zemi.

Předně musí být v porovnání s jednotlivými částicemi v něm prostorově velmi rozlehlý a v porovnání se základními atomovými procesy velmi dlouhověký. To je ve skutečnosti podmínka nejen našeho, nýbrž jakéhokoliv hypotetického vesmíru libovolného autora science-fiction, jemuž záleží na jeho věrohodnosti. Jsou-li atomy základními stavebními prvky, pak je jisté, že něco tak složitého jako ekosystém může vzniknout pouze tehdy, existuje-li jich ohromné množství. Ve vesmíru, který by existoval příliš krátkou dobu, by zase nemohlo dojít k ničemu významnému – evoluční proces vyžaduje dostatek času a prostoru.

Viděli jsme, že nezbytná je také gravitace. Aby však byl vesmír zajímavý, musí být velmi slabá. Kdyby gravitace nebyla na úrovni atomů nesmírně slabá, pak by hvězdy (gravitačně vázané fúzní reaktory) byly malé a jejich trvání by bylo krátké. Gravitace by totiž rozdrtila cokoli většího než hmyz, a nebyl by dostatek času ke komplexní evoluci. Každý zajímavý recept musí obsahovat alespoň jedno velmi vysoké číslo. To samo o sobě nemá nic společného se zmíněným naladěním – je to zkrátka nutnost. A je zde ještě jedno podobné omezení: kosmické odpuzování prázdného prostoru musí být velmi slabé (čili číslo X musí být velmi malé), jinak by tato ničivá síla zabránila zformování gravitačně svázaných struktur.

Ale i kdyby se nakonec takovéto struktury zformovaly v dostatečně velkém a dlouhověkém vesmíru, jako je náš, mohl by být konečný výsledek k uzoufání nudný. Takový vesmír by mohl obsahovat jen černé díry a inertní temnou hmotu, ale ani jeden jediný atom. Zajímavý vesmír vyžaduje onu asymetrii v zákonech, která připustí existenci přebytečné hmoty nebo antihmoty, takže vznikne dostatečný počet atomů. Atomy nemusejí být z hlediska celkové hmoty dominantní složkou: v našem vlastním vesmíru je temné hmoty 5-10 krát více než atomů. Ale kdyby existovalo řekněme desetkrát méně atomů než ve skutečnosti, zůstaly by v rozptýleném plynu, který by nikdy nezkondenzoval do galaxií a hvězd.

Zajímavý vesmír si žádá, aby i další čísla ležela v poměrně úzkém rozmezí. Jak jsme probrali v kapitole 5, číslo Q , udávající kosmickou texturu, se nesmí příliš odchylovat od hodnoty $1/100\,000$. Kdyby bylo nižší, byla by expanze natolik hladká – bez počátečního čerění či fluktuací – že by se nevyvinula žádná struktura. Kdyby však bylo Q o mnoho vyšší, byl by vesmír tak členitý, že by se zhroutil do obřích černých děr: věru nevlídné prostředí pro jakoukoliv myslitelnou formu života.

Mikrosvět nese rovněž stopy jemného ladění. Jaderná fúze, která dodává energii hvězdám, závisí na rovnováze mezi dvěma silami: elektrickým odpuzováním mezi dvěma protony a silnou jadernou vazbou, která je vzájemně přitahuje (a která rovněž přitahuje elektricky neutrální neutrony). Zákony musejí připustit nejen existenci protonů a neutronů, ale také pestrou škálu atomů nutnou ke komplexní chemii. Kdyby byly jaderné síly jen o trochu slabší, žádný chemický prvek kromě vodíku by nebyl stabilní: neexistovala by žádná periodická tabulka, chemie by byla triviálně snadným předmětem a hvězdy by nepoháněla žádná jaderná energie. Kdyby však byly jaderné síly vůči elektrické síle o něco silnější než ve skutečnosti, držely by dva protony pohromadě tak snadno, že běžný vodík by nikdy nevznikl a hvězdy by se vyvíjely zcela odlišné. Některé detaily jsou ještě choulostivější. V kapitole 3 jsme se zmínili, že uhlík by ve hvězdách nevznikal tak snadno, nebýt jistých jemností ve vlastnostech jeho jádra, jehož závislost na tomto poměru je ještě citlivější.

Co znamená ono jemné ladění?

Pokud naše existence skutečně závisí na speciálním kosmickém receptu, jak bychom měli reagovat na tak jemné a přesné ladění? Jak se zdá, máme tři možnosti: můžeme je zavrhnout jako náhodnou shodu okolností, velebit je jako dílo Prozřetelnosti, nebo (a tomu dávám přednost já) můžeme dojít k závěru, že náš vesmír je mimořádně zvýhodněnou oblastí v mnohem rozlehlejší multiverzu. Pojdme si je postupně rozebrat.

Náhodná shoda okolností

Možná že nějaká sada fundamentálních rovnic, které budou lidé jednou nosit třeba jako potisk na tričku, jednoznačně určuje všechny klíčové

vlastnosti našeho vesmíru. Pak by bylo nevyvratitelné, že právě tyto rovnice umožnily nesmírně složitou evoluci, která vedla k našemu vzniku.

Já jsem však přesvědčen, že tím bychom ani zdaleka neodhalili všechna tajemství přírody. Nikde není psáno, že jednoduché rovnice vedou ke komplexním výsledkům. Vypůjčíme si analogii z matematiky – vezměte si třeba překrásný ornament, zvaný Mandelbrotova množina. Tento obrazec je definován pouze krátkým algoritmem, má však nekonečně hlubokou strukturu, v níž malé úseky odkrývají nové vzory bez ohledu na to, nakolik je zvětšíme. Lze napsat mnoho podobných algoritmů, z nichž vzejdou jen zcela nudné vzory. Proč by měly fundamentální rovnice definovat něco tak složitého jako náš vesmír namísto pustých vesmírů, k nimž vede tolik jiných receptů?

Jedna praktická odpověď zní, že v nudném vesmíru bychom neexistovali. Očividně jsme zde, a proto se není čemu divit. Já se však obávám, že taková odpověď mne tak docela neuspokojuje. Velký dojem na mne udělala metafora kanadského filozofa Johna Leslieho. Představte si, že stojíte před popravčí četou. Padesát střelců zamíří, ale všichni minou cíl – vás. Kdyby nechybili, nebyli byste zde, abyste se tomu divili. S tímto vysvětlením byste se však nespokojili. Stále byste si s tím lámali hlavu a pátrali byste po důvodech svého nenadálého štěstí. Stejně tak i my bychom měli zcela určitě zkoumat hlouběji a ptát se, proč by měl jedinečný recept na fyzikální svět vést k tak zajímavým důsledkům, jaké vidíme kolem sebe (a díky nimž jsme jako vedlejší produkt vznikli také my).

Prozřetelnost nebo plán

Vesmírný plán je tradiční téma oboru, který dostal přívlastek „přírodní teologie“. Před dvěma staletími přišel William Paley se slavnou metaforou o hodinách a hodináři a dle stejné logiky prohlásil například zrak, palec, jenž

stojí proti ostatním prstům, a další skutečnosti za důkaz existence laskavého Stvořitele. Tento směr myšlení vyšel v postdarwinovské době z módy, dokonce i u mnohých teologů. Dnes pohlížíme na sebevětší biologickou rafinovanost jako na výsledek dlouhotrvajícího procesu evolučního výběru a přizpůsobování se okolí.

Jak jsme viděli v kapitole 10, Paley zahrnul fakt, že gravitace se řídí zákonem převráceného kvadrátu, mezi své argumenty svědčící pro Boží plán. Pro svou zásadní teologickou tezi však nedokázal shromáždit dostatek astronomické munice. Svým půvabně archaickým způsobem řekl, že „astronomie není nejprůhodnějším médiem, skrze něž by bylo lze... prokázati inteligentního Stvořitele, toto však, jak bylo dosvědčeno, dokazuje nade vši pochybnost a nade všechny ostatní vědy velkolepost jeho činů“.

Paley by možná reagoval jinak, kdyby věděl o „Prozřetelnosti vedené“ fyzice, která vedla ke galaxiím, hvězdám, planetám a devadesáti dvěma prvkům periodické soustavy (stabilizovaným přesně vyladěnými silami jaderných vazeb), a o čísle Q , které vyjadřuje kosmickou strukturu. Ohromily by jej i další zdánlivě biofilní vlastnosti základní fyziky a chemie – například ty, které propůjčují vodě neobvyklou schopnost rozpínat se, když se ochlazuje a mrzne.

Tyto vlastnosti nemůžeme zavrhnout tak snadno jako stará tvrzení o plánu obsaženém v živých bytostech. To proto, že elementární zákony, jimiž se řídí hvězdy a atomy, jsou dané a nic biologického na ně nemůže zpětně reagovat ani je modifikovat. Soudobým protějškem Paleyho je John Polkinghorne, cambridgeský profesor fyziky, který se později obrátil k teologii (a také to byl jeden z mých učitelů fyziky). Náš přesně vyladěný vesmírný domov si vykládá jako „výtvar Stvořitele, jehož vůlí je, aby tomu tak bylo“.¹

Speciální vesmír vydělený z celku či multiverza

Pokud nevěříte v plán Prozřetelnosti, ale stejně se domníváte, že ono přesné vyladění si žádá nějaké vysvětlení, pak existuje i jiný pohled – ovšem vysoce spekulativní, takže zde musím znovu zopakovat své zdravotní varování. Je to pohled mně nejbližší, třebaže při současném stavu našeho poznání nemusí být takováto preference ničím víc než zálibou či slabostí. Možná existuje mnoho „vesmírů“ a náš je pouze jedním z nich. V ostatních mohou být některé zákony a fyzikální konstanty zcela odlišné. V tom případě by ale náš vesmír nebyl jen „tak nějaký“. Patřil by do výjimečné podmnožiny, která skýtá prostředí vedoucí ke vzniku komplexity a vědomí. Analogie s hodinářem by pak pozbyla platnosti. Místo toho bychom mohli vesmír přirovnat spíše k obchodu s konfekcí. Pokud by měl dostatečně široký sortiment, neměli bychom být překvapeni, že jsme objevili oblek, který nám padne. Stejně tak, vybíráme-li náš vesmír ze sortimentu multiverza, neměly by nás udivovat jeho zdánlivě „přesné“ vlastnosti.

Může se zdát, že tato hypotéza není „ekonomická“: opravdu to vypadá, že zcela opovrhne výrokem, nyní známým jako Occamova břitva: je jím výzva učence čtrnáctého století Williama Occama „nezmnžovat hypotézy více, než je nezbytné“. Na první pohled se zřejmě nic nejví konceptně extravagantnějším než se opírat o mnohočetné vesmíry. Tento koncept však vyplývá z několika různých teorií (třebaže do jedné spekulativních) a představuje novou vizi našeho vesmíru jako pouhého jednoho atomu, vybraného z nekonečného všehomíra.¹⁵

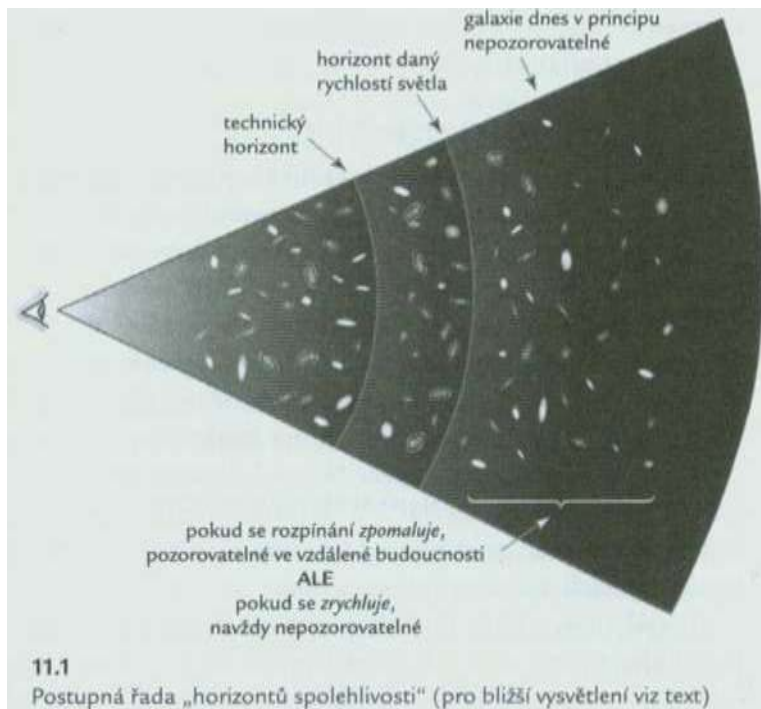
¹⁵ Hrozí zde riziko sémantického nedorozumění. Obvyklá definice vesmíru či „univerza“ přirozeně zní „vše, co je“. Bylo by přesnější redefinovat rozšířený celek jako „univerzum“ a pak přijít s nějakým novým termínem – například „metagalaxie“ – jako názvem oblasti, kterou kosmologové a astronomové

Jsou otázky o jiných vesmírech součástí vědy?

Základními pilíři vědy jsou experimenty a pozorování. Je zcela přirozené, když nás znepokojují tvrzení, která nemohou být empiricky dokázána. Někteří mohou považovat problematiku jiných vesmírů za záležitost metafyziky spíše než fyziky. Já si naopak myslím, že již plně spadá do působnosti řádné vědy. Není absurdní ani nesmyslné ptát se, zda existují vesmíry, které nemůžeme pozorovat, třebaže v dohledu není žádná snadná odpověď. Tato otázka zcela určitě nemůže být zodpovězena přímým pozorováním, *můžeme* však hledat příslušné empirické důkazy, které nás k odpovědi dovedou.

Mezi snadno pozorovatelným a zcela nepozorovatelným ve skutečnosti existuje jen velmi mlhavá hranice, která je spíše jakýmsi širokým šedivým mezilehlým územím. Pro ilustraci této skutečnosti si představme posloupnost čtyř horizontů (viz obr. 11.1), přičemž s každým dalším se vzdalujeme víc a více od přímé zkušenosti:

přímo pozorují. Ale prozatím, dokud jsou tyto teorie vysoce hypotetické, bude lepší nechat pojem „univerzum“ beze změny i se všemi jeho tradičními konotacemi, přestože je pak zapotřebí nového slova „multiverzum“ k označení (stále ještě hypotetického) souboru „univerz“.



1. Meze dnešních teleskopů

Naše současné přístroje mají svá omezení v tom, jak vzdálený prostor mohou prozkoumat. Tato mez není přirozeně nikterak nepřekonatelná: je jen výsledkem úrovně soudobé technologie. V nadcházejících desetiletích nepochybně odhalíme mnoho dalších galaxií pomocí větších teleskopů, které se dnes plánují. Jistě nebudeme tyto galaxie odsouvat ze sféry zájmu řádné vědy jen proto, že je zatím nevidíme. Když se starověcí navigátoři dohadovali, co asi leží za hranicemi tehdy známého světa, nebo když dnes spekulujeme o tom, co ukrývají oceány jupiterových měsíců Evropy a Ganymeda, zamýšlíme se nad čímsi „skutečným“ – pokládáme vědeckou otázku. Stejně tak jsou dohady o vzdálených oblastech našeho vesmíru ryze

vědecké, třebaže si musíme počkat na dokonalejší přístroje, abychom je mohli ověřit.

2. Principiální omezení současné doby

I kdyby neexistovala žádná technická omezení, týkající se výkonu teleskopů, jsou naše pozorování stále ohraničena obzorem, jenž je udán maximální vzdáleností, jakou mohl jakýkoliv signál pohybující se rychlostí světa urazit za dobu od velkého třesku. Tento obzor vymezuje vnější sférický předěl, na němž by byl rudý posuv nekonečný. Na galaxiích, ležících v této vzdálenosti, není nic mimořádného o nic více než na událostech na kruhovém obzoru pozorovatele uprostřed oceánu. Na moři byste viděli dále, kdybyste vyšplhali na stěžeň. Náš kosmický obzor však nelze rozšířit, dokud se vesmír nezmění tak, aby nás dostihlo světlo z galaxií, které nyní leží za ním.

Až náš vesmír bude kupříkladu dvakrát tak starší, než je dnes, bude onen obzor ležet ve dvojnásobné vzdálenosti. Pokud se však rozpínání zpomaluje, budou všechny galaxie ležet v menší než dvojnásobné vzdálenosti (protože zpomalují), takže obzor našich vzdálených potomků bude zahrnovat také galaxie, které jsou dnes mimo náš dosah. Byla by to bezesporu zapeklitá věc, kdybychom měli čekat miliardy let namísto několika desetiletí – možná – technického pokroku, než bychom si mohli své předpoklady ověřit. Mění to ale něco na podstatě věci? Delší „čekací doba“ je jen kvantitativním rozdílem, který nemění gnoseologický status těchto vzdálených galaxií.

3. Galaxie od „našeho“ velkého třesku navždy nepozorovatelné

Ale co ty galaxie, které nikdy neuvidíme bez ohledu na to, jak dlouho budeme čekat? V kapitole 5 jsme probrali důkaz, že žijeme ve zrychlujícím se

vesmíru. I ve zpomalujícím se vesmíru by existovaly galaxie tak vzdálené, že by nás jejich signály nikdy nedostihly. Jenže pokud se rozpínání opravdu zrychluje, pak se od těchto galaxií vzdalujeme ještě rychleji, takže pokud k nám jejich světlo nedorazilo doposud, pak už to nestihne nikdy. Takovéto galaxie nejsou z *principu nepozorovatelné* pouze dnes – za naším obzorem zůstanou navždy. Je-li však galaxie nepozorovatelná nyní, jen stěží záleží na tom, zůstane-li taková navěky, nebo zda ji uvidíme – v případě zpomalujícího se vesmíru – za bilion let. (Ve výše uvedené části 2. jsem uvedl, že s posledně jmenovanou možností musíme počítat jako s „reálnou“.)

4. Galaxie v odloučených vesmírech

Navždy nepozorovatelné galaxie (část 3.) by se vynořily ze stejného velkého třesku jako my. Ale předpokládejme, že namísto kauzálně oddělených oblastí vznikajících z jediného velkého třesku dochází k mnoha samostatným velkým třeskům. Jsou tyto časoprostory, zcela odloučené od našeho, méně skutečné než oblasti, které se nám nikdy nepřiblíží na dohled v oblasti, již tradičně nazýváme naším vesmírem? Zajisté nikoliv. Tyto vesmíry musíme tedy rovněž považovat za řádné součásti našeho kosmu.

Tato postupná argumentace (ti, komu se nelíbí, ji mohou nazývat argumentace na šikmé ploše) dokládá, že otázka, zda jiné vesmíry existují či nikoliv, je otázkou vědeckou. Jak ji tedy zodpovíme?

Scénáře pro multiverzum

K mnohočetným vesmírům může vést mnoho různých scénářů. Andrej Linde, Alex Vilenkin a jiní provedli počítačové simulace modelující „věčnou“ inflační fázi, kde se ze samostatných velkých třesků rodí mnoho různých vesmírů do odloučených časoprostorových oblastí. Alan Guth a Lee Smolin z různých úhlů pohledu přednesli návrh, že nový vesmír by mohl vzejít z nitra

černé díry a expandovat do nové, námi nedosažitelné oblasti časoprostoru. A Lisa Randallová a Raman Sundrum přišli s domněnkou, že jiné vesmíry mohou existovat odděleně od našeho v jiné prostorové dimenzi. Tyto odloučené vesmíry na sebe mohou vzájemně působit svou gravitací, anebo se také nemusí ovlivňovat vůbec. V otřepané analogii, kde povrch balonu představuje dvourozměrný vesmír zasazený do našeho třírozměrného prostoru, by tyto další vesmíry byly symbolizovány povrchy jiných balonů. Brouk, který by neměl ani ponětí o nějaké třetí dimenzi a jehož pohyb by byl omezen pouze na jeden balon, by si nebyl vědom svých protějšků, lezoucích po ostatních balonech. Ostatní vesmíry by byly oddělenými oblastmi prostoru a času. Dokonce bychom ani nedokázali odpovědně říci, zda vznikly před, po, či společně s našim, neboť takovéto úvahy mají smysl pouze v případě, že můžeme vztáhnout jedno časové měřítko na všechny z nich.

Guth a Edward Harrison dokonce přišli s hypotézou, že vesmíry můžeme stvořit v laboratoři, pokud necháme implodovat malý kousek materiálu tak, aby vznikla miniaturní černá díra. Není náhodou celý náš kosmos jen výsledkem jakéhosi experimentu, uskutečněného v jiném vesmíru? Smolin si myslí, že dceřinný vesmír by se mohl řídit zákony ovlivněnými těmi, které vládou v mateřském vesmíru. Pokud ano, mohlo by to vzkřísit teologické argumenty pro Boží plán v novém a neotřelém hávu, což by ještě více zamlžilo hranici mezi přirozenými a nadpřirozenými jevy.

O koncept paralelních vesmírů se rovněž opírají řešení některých paradoxů kvantové mechaniky, jež v padesátých letech dvacátého století poprvé uveřejnili Hugh Everett a John Wheeler v rámci své teorie „mnoha světů“. Tento koncept předeslal Olaf Stapledon popsáním jednoho ze sofistikovanějších výtvorů svého Tvůrce hvězd: „Kdykoliv stál tvor na rozcestí několika možností dalšího postupu, vydal se všemi cestami najednou,

a tím stvořil mnoho... různých historií kosmu. Jelikož v každé vývojové etapě vesmíru existovalo mnoho bytostí a každá z nich se neustále ocitala na oné křižovatce rozhodnutí a různé kombinace jejich postupů byly nesčetné, z každého okamžiku každé časové sekvence se odlupoval nekonečný počet odlišných vesmírů.“

Žádný z těchto scénářů nespádl jen tak z nebe: každý je podložen seriózní, třebaže spekulativní teoretickou konstrukcí. Správný však může být nejvýše jeden z nich a dost možná, že žádný: existují alternativní teorie, které připouštějí pouze jediný vesmír.

K podložení každého z výše uvedených návrhů bude třeba teorie, která konzistentně popíše extrémní fyziku velmi vysokých hustot, podobu struktur v dalších dimenzích a tak dále. Konzistence však nevystačí: musíme mít pádný důvod k přesvědčení, že takováto teorie není jen pouhou matematickou konstrukcí, nýbrž že ji lze vztáhnout také na vnější realitu. Toto přesvědčení by posílilo, kdybychom pomocí zmíněné teorie mohli vysvětlit věci, které lze pozorovat, ale které jinak vysvětlit neumíme. V současnosti máme k dispozici znamenitý teoretický rámec – „standardní model“, jehož prostřednictvím můžeme objasnit téměř všechny subatomární jevy, které byly pozorovány. Ale vzorce standardního modelu počítají s celkem asi osmnácti čísly, která nemůžeme odvodit teoreticky, ale musíme je dosadit z výsledků experimentů. Každá teorie, která by přinesla objasnění konkrétních skupin částic a podstaty elektrických a jaderných sil, by si zasloužila důvěru. Pak bychom museli věnovat seriózní pozornost i ostatním důsledkům, které z ní vyplývají, přestože bychom je nemohli přímo ověřit.

Einsteinova teorie gravitace či obecná relativita se datuje do roku 1916. Trvalo více než padesát let, než byly změřeny důsledky této teorie s vyšší než 10 % přesností. Nyní je však rozsah a přesnost empirických testů velký. Ty

poskytly natolik úplné a přesné důkazy Einsteinových úvah, že by bylo třeba vskutku průkazného objevu, aby otřásl naším přesvědčením, že obecná relativita je tou správnou klasickou teorií gravitace. V důsledku toho jsme si nyní jisti dokonce i tím, co nám teorie říká o oblastech, které zatím nejsme schopni prozkoumat – například o nitru černé díry. Stejně tak dnes bereme vážně teorie o jaderných reakcích uvnitř hvězd a ve žhavém raném vesmíru, neboť jsou založeny na poznatcích o chování atomů a jejich jader, které byly zevrubně experimentálně potvrzeny.

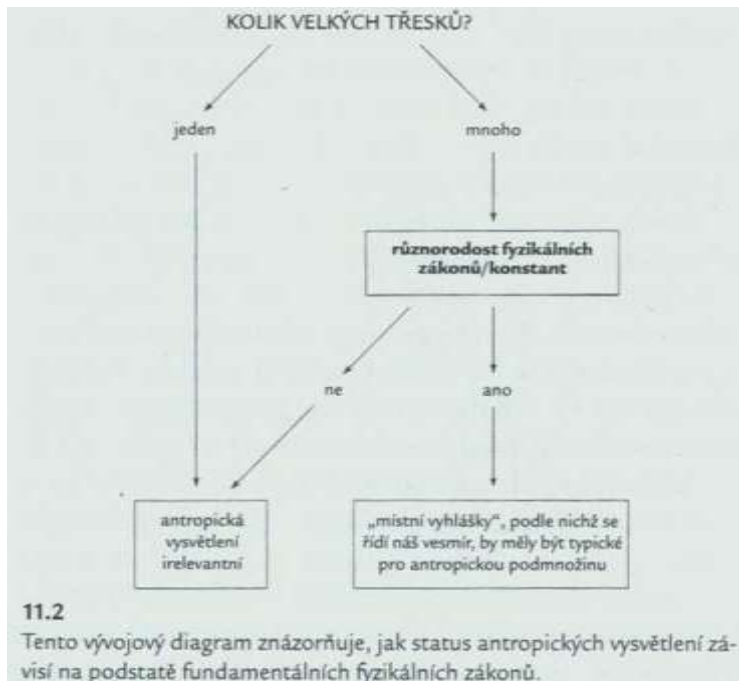
Možná ve dvacátém prvním století přijdou fyzikové s teorií, která si bude vědět rady se zpětnou extrapolací až k Planckovu času a vyslouží si naši důvěru tím, že objasní doposud nevysvětlené fenomény. Pokud by takováto teorie předpokládala mnohonásobné velké třesky, pak bychom měli stejný důvod věřit v samostatné vesmíry, jako máme dnes důvod věřit ve výroky týkající se černých děr nebo vzniku helia v prvních minutách po velkém třesku. Možná tedy, že jednoho dne získají podklady pro své přesvědčení buď ti, kteří v mnohočetné vesmíry věří, nebo naopak jejich odpůrci.

Univerzální zákony, či pouhé místní vyhlášky?

Pokud jiné vesmíry skutečně existují, může teorie poskytnout klíč i k další zásadní otázce: jak velkou rozmanitostí se vyznačují? Někteří teoretikové jako například Frank Wilczek považují otázku, zda jsou fyzikální zákony jedinečné, za poněkud méně poetickou parafrázi Einsteinovy otázky z úvodu této knihy – za hlavní vědecký úkol nového století. Pokud by recept na náš vesmír byl něčím jedinečný a nezměnitelný, pak by se z kteréhokoliv velkého třesku zrodil vesmír, který by byl pouhou kopií toho našeho. Ovšem daleko zajímavější je možnost (při naší dnešní neznalosti základních zákonů bez problémů obhajitelná), že *elementární zákony ovládající celé multiverzum*

připouštějí různorodost jednotlivých vesmírů. Tím, co nazýváme přírodními zákony, se řídí celá námi pozorovatelná oblast vesmíru, ale z celkového pohledu to nemusejí být více než jen místní vyhlášky, které jsou ve shodě s nějakou globální teorií, nejsou s ní však nijak pevně svázány. Mnohé aspekty našeho kosmického prostředí – například přesné uspořádání planet a asteroidů v naší sluneční soustavě – jsou dílem náhody. Stejně tak náhodný mohl být i recept na celý náš vesmír.

Stejnou rovnováhu mezi nahodilostí a nutností pozorujeme v biologii. Naš základní vývoj – z embrya v dospělého člověka – je zakódován v našich genech, ale do značné míry jsme také formováni okolím a zkušenostmi. Mohli bychom uvést daleko jednodušší příklady této dichotomie – například sněhové vločky. Jejich všudypřítomná šestinásobná symetrie je přímým důsledkem vlastností a tvaru vodních molekul. Ovšem jejich nesmírná rozmanitost závisí na jejich okolí – nahodilých změnách v teplotě a vlhkosti během utváření každé z nich. Kdybychom měli fundamentální teorii, věděli bychom, který aspekt přírody přímo vyplývá ze základní teorie (tak jako symetrická šablona sněhové vločky vyplývá ze struktury vodní molekuly) a který je dílem náhody (jako nezaměnitelný vzor každé jednotlivé vločky). Nahodilé vlastnosti mohl vesmír získat během fáze ochlazování, která následovala po velkém třesku, stejně jako když



žhavé železo při chladnutí zmagnetizuje v nahodilých směrech, které závisejí na nepředvídatelných faktorech. V úvahu připadají i jiné příčiny, například vliv dalšího blízkého vesmíru, existujícího odděleně v páté dimenzi.

Kosmologická čísla v našem vesmíru, Ω , Q , λ a možná ještě některé z takzvaných konstant laboratorní fyziky, by mohla být libovolná, a nikoliv pevně stanovená nějakou finální teorií. Pokud by tomu tak skutečně bylo, pak bychom díky analogii obchodu s konfekcí – kde je široký sortiment vesmírů – neměli žádný důvod být překvapeni evidentním přesným naladěním těchto čísel v našem domovském vesmíru.

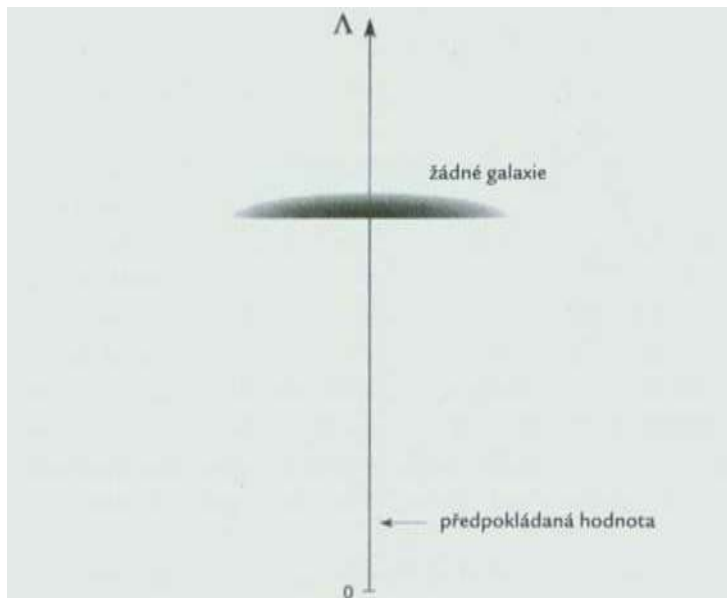
Některé vlastnosti našeho vesmíru by pak byly vysvětlitelné pouze pomocí „antropického“ argumentu (viz obr. 11.2). Tento způsob vysvětlení sice u některých vědců vzbuzuje nevoli, ale podobnou logikou se při svých měřeních

řídí i pozorovatelé a experimentátoři, když připouštějí výběrový efekt: pokud existuje mnoho vesmírů, z nichž většina je neobyvatelná, pak bychom neměli být překvapeni, že jsme se ocitli zrovna v jednom z těch obyvatelných.

Ověřování teorií o multiverzu tady a teď

Jednoho dne se možná dobereme přesvědčivé teorie, která nám řekne, zda multiverzum existuje a zda některé z takzvaných přírodních zákonů nejsou jen provinciálními nařízeními v naší části vesmíru. Zatímco však na ni čekáme – a možná se ještě načekáme – mohli bychom podrobit zkoušce analogii s obchodem s konfekcí. Není vyloučeno, že tato teorie bude vyvrácena: k tomu by došlo, pokud by se ukázalo, že náš vesmír je ještě pečlivěji vyladěn, než je třeba.

Abychom uvedli příklad této argumentace, vezměme si jedno zřejmě přesně nastavené kosmické číslo: latentní



11.3

Omezení vztahující se na lambda: kdyby bylo kosmické odpuzování příliš silné, nevznikly by žádné galaxie. Je náš vesmír typickým příkladem „antropického“ vesmíru, nebo je v něm λ daleko menší, než je nezbytné pro naši existenci?

energii v prázdném prostoru, která vyvolává kosmické odpuzování a je označována řeckým písmenem lambda (λ). Dalo by se očekávat, že hodnota λ bude vysoká, protože je důsledkem velmi spletité mikrostruktury vakua. Jenže nízká λ je nezbytným předpokladem naší existence: přespříliš silné kosmické odpuzování by rozbilo a rozptýlilo galaxie. Možná že vesmíry, kde λ leží pod prahem, který umožňuje zformování galaxií a hvězd, se vyskytují nesmírně vzácně (pod rozmazanou čarou na obr. 11.3). Hodnota λ v našem vesmíru musí být evidentně pod tímto prahem. Pokud je však náš vesmír jen součástí velkého souboru vesmírů, v nichž může λ nabývat libovolné hodnoty se stejnou pravděpodobností, pak by neměla ležet příliš hluboko pod ním.

Nacházíme-li se skutečně ve zrychlujícím se vesmíru, jak současná

pozorování naznačují, je hodnota λ pět až desetkrát nižší než hodnota prahu. Tím by se náš vesmír řadil mezi deset až dvacet procent vesmírů, kde se galaxie mohou zformovat. Jinými slovy, náš vesmír není o nic více výjimečný, co se týká λ , než je nezbytné k naší existenci. Předpokládejme však, že by se proti současným předpokladům v budoucnu ukázalo, že λ tempo rozpínání nijak významně neovlivňuje a je nikoliv pouze pět až desetkrát, nýbrž tisíckrát nižší než hodnota prahu. Tato „přehnaná přesnost“ by vzbudila pochybnosti o hypotéze, že lambda může se stejnou pravděpodobností nabývat libovolné hodnoty, a znamenala by, že její hodnota je z nějakých fundamentálních důvodů nulová (nebo že může nabývat jen určitých diskrétních hodnot, přičemž všechny ostatní leží nad prahem).²

Uvedl jsem λ pouze jako příklad. Stejným způsobem bychom mohli analyzovat i další důležitá fyzikální čísla, abychom si ověřili, zda je náš vesmír typickým exemplářem podmnožiny, v níž se může vyvinout komplexní život. Z metodologického hlediska je třeba, abychom rozhodli, které hodnoty připouštějí naši existenci. Potřebovali bychom také specifickou teorii, která stanoví pravděpodobnost každé jednotlivé hodnoty. Jsou například v případě λ všechny hodnoty stejně pravděpodobné, nebo se řídí podle nějakého složitějšího vzorce? Teprve se znalostí této informace bychom se mohli ptát, zda je náš vesmír „typickým“ členem podskupiny vesmírů, v nichž jsme se mohli zrodit. Pokud by byl i v této podskupině (nikoliv v celém multiverzu) členem atypickým, byla by naše hypotéza vyvrácena.

Jako další příklad toho, jak ověřit teorie „multiverza“, vzpomeňme na Smolinovu domněnku, že nové vesmíry se rodí v nitru černých děr a že fyzikální zákony dceřinného vesmíru si uchovávají vzpomínky na zákony vesmíru mateřského. Jinými slovy, existuje zde jistá dědičnost. Smolinovu myšlenku zatím nepodpořilo žádné konkrétní vysvětlení toho, jak by mohla

být nějaká fyzikální informace (či dokonce směr časové osy) přenesena z jednoho vesmíru do druhého. Má však tu výhodu, že na jejím základě můžeme vytvořit předpověď o našem vesmíru, již lze ověřit.

Pokud má Smolin pravdu, pak mají vesmíry s velkým počtem černých děr reprodukční výhodu, kterou následně předají další generaci. Proto by měl mít náš vesmír, je-li opravdu výsledkem tohoto procesu, téměř optimální tendenci utvářet černé díry, neboť jakákoliv nepatrná změna zákonů nebo konstant by způsobila, že tyto procesy by byly méně pravděpodobné.³

V našem vesmíru vznikají černé díry v konečné fázi života masivních hvězd a vyskytují se také v galaktických jádrech. Bylo by tedy zapotřebí pouze astronomických pozorování a astrofyzikálního pochopení těchto formovacích procesů, abychom zjistili, zda by nějaká změna ve fyzice atomů, atomových jader nebo galaxií zvětšila tendenci ke vzniku černých děr. Osobně se domnívám, že Smolinova předpověď pravděpodobně nebude potvrzena, ale její autor si zaslouží náš dík za uvedení příkladu, který ukazuje, jak může být specifická teorie multiverza zranitelná vůči pozorování.

Tyto příklady dokládají, že některá tvrzení o jiných vesmírech mohou být vyvratitelná stejně, jak by měla být vyvratitelná každá dobrá vědecká hypotéza. Nemůžeme s jistotou tvrdit, že došlo k mnoha velkým třeskům – o velmi raných fázích našeho vlastního vesmíru toho zkrátka ještě nevíme dost. Ale fyzika ultrahusté hmoty, aplikována na velký třesk, by mnohočetnost vesmírů mohla předpovědět. Kromě toho by ze stejné teorie mohlo vyplynout, že každý vesmír se ochlazuje jinak, což ústí v různé modely rychlosti rozpínání, materiálového složení, dimenzionality a mikrofyziky.

Úkolem fyziků ve dvacátém prvním století bude objasnit, zda elementární zákony jsou skutečně takto shovívavé. Pokud vyjde najevo, že ano, stanou se

takzvaná antropická vysvětlení zcela legitimními – ve skutečnosti by pak byly jedinými vysvětleními, jaká kdy budeme mít pro některé významné vlastnosti našeho vesmíru.⁴ Snahy o nalezení fundamentálních vzorců pro některá klíčová čísla fyziky by byly stejně pomýlené jako Keplerovy pokusy uvést rozměry planetárních oběžných drah do souvislosti s platónskými tělesy (krychlemi, čtyřštěny a podobně).

Vzpomínka na sedmnácté století

Kepler znal pouze naši sluneční soustavu. Mimoto byl zprvu přesvědčen, že oběžné dráhy planet jsou kružnice v přesných matematických poměrech. Dnes si to již nemyslíme. Naše Země vykresluje pouze jednu elipsu z nekonečného počtu možností, které připouštějí Newtonovy zákony – přesná velikost je výsledkem její komplikované historie a původu. Její oběžná dráha je výjimečná pouze proto, že umožnila vznik prostředí příznivého pro evoluci života. (Kdyby se dostala příliš blízko Slunce, voda na povrchu by začala vřít. V opačném případě by byla věčně zamrzlá.)

Není vyloučeno, že náš tradiční pohled na vesmír a zákony, jimiž se řídí, stihne stejný osud jako Keplerovu představu zemské oběžné dráhy. To, co běžně nazýváme „vesmír“, může být výsledkem pouze jednoho velkého třesku z mnoha, stejně jako naše sluneční soustava je jen jednou z mnoha planetárních soustav v Galaxii. Tak jako jsou obrazce ledových krystalků na zamrzajícím jezeře dílem rozmaru přírody, a nikoliv elementárních vlastností vody, tak některé ze zdánlivých konstant přírody mohou být jen náhodnými detaily, namísto aby byly jednoznačně definovány nějakou hlubší teorií.

Náš vesmír – náš kosmický domov – je sestaven podle jednoduchého receptu, ovšem není zase tak úplně jednoduchý, jak by mohl být. Obsahuje temnou hmotu i atomy. A aby to bylo ještě složitější, temná energie v

prázdném prostoru vyvolává odpuzování, které je v kosmickém měřítku silnější než gravitace. U některých teoretiků vzbuzují tato zjištění nelibost, protože se vzpírají jejich touze po maximální jednoduchosti. Myslím, že kosmologické rozpravy sedmnáctého století pro nás mohou být v lecčems poučné. Galileiho a Keplera rozčilovalo, že se planety pohybují po eliptických oběžných drahách, a ne v dokonalých kruzích. Newton však později dokázal, že všechny eliptické orbity lze vysvětlit jedinou sjednocenou teorií gravitace. Stejně tak náš vesmír může být jen jedním ze souboru všech možných vesmírů, omezený pouze podmínkou, že musí umožnit evoluci života. Ovšem pokládat takovýto pohled za nehezký může být stejně scestné jako Keplerova počáteční záliba v kruhových orbitách. Newton byl možná největší vědeckou osobností druhého tisíciletí. Jeho protějšek tisíciletí třetího snad objeví matematický systém, jímž se řídí celý multivesmír.

Nakonec si dovoluji připomenout Hubbleova slova z jeho klasické knihy z roku 1936 *The Realm of Nebulae* (Říše mlhovin): „Teprve až vyčerpáme empirické zdroje, uchýlíme se do snově říše spekulací.“ I v dnešní době sníme a spekulujeme. Od Hubbleových dob jsme však učinili ohromující empirický pokrok nejen díky obřím pozemským teleskopům, ale také díky úžasnému vesmírnému přístroji nesoucímu jeho jméno a jiným technickým vymoženostem.

Na území vědy leží tři významné hraniční oblasti: velmi *velké*, velmi malé a velmi komplexní. Kosmologie obsahuje všechny tři. Kosmologové musejí nejprve stanovit základní čísla jako například Ω a zjistit, co je zač temná hmota. Domnívám se, že jsme na dobré cestě dosáhnout tohoto cíle do deseti let. Dále musejí teoretikové objasnit exotickou fyziku nejranějších fází vesmíru, což znamená vypracovat novou syntézu kosmu a mikrosvěta. Zde si netroufám dělat žádné prognózy. Ale kosmologie je také nejvelkolepější

environmentální vědou a jejím třetím úkolem je pochopit, jak se velký třesk, popsaný pomocí jednoduchého receptu, za 13 miliard let vyvinul v náš komplexní vesmírný domov: vláknité uspořádání galaxií v prostoru, galaxie samotné, hvězdy, planety a další nezbytné předpoklady pro vznik života. Není v kosmologii záhady, která by byla pro vědce větší výzvou, než přesné pochopení toho, jak se atomy zde na Zemi a snad i na jiných světech seskupily v živé bytosti natolik složité, že dokáží hloubat nad svým původem.

Dodatek

Měřítko struktur

Náš vesmír zahrnuje ohromné rozpětí měřítek – od menších než atomy po větší než galaxie. Každý z nás se skládá z 10^{28} až 10^{29} atomů. Lidské měřítko je z číselného hlediska někde na půli cesty mezi atomy a hvězdami. Ve skutečnosti není náhodou, že příroda dosahuje v tomto mezilehlém měřítku maximální složitosti. Čemukoliv většímu, co by se vyskytovalo na obyvatelné planetě, by hrozilo rozdrcení vlastní vahou.

I ty nejbližší hvězdy jsou miliónkrát dále než Slunce. Naše Galaxie obsahuje sto miliard hvězd. V dosahu našich teleskopů se nachází minimálně tolik galaxií, kolik je v každé z nich hvězd, a celkem tyto viditelné galaxie obsahují 10^{78} atomů.

Mezi nejmenší subatomovou částicí, objevenou pomocí urychlovačů, a největšími měřítky, pozorovanými obřimi teleskopy, je více než 10^{40} násobný rozdíl ve velikosti. A skutečné rozpětí mezi měřítky je nepochybně ještě daleko širší. Teoretikové kalkulují s mikroměřítky 10^{20} krát menšími než

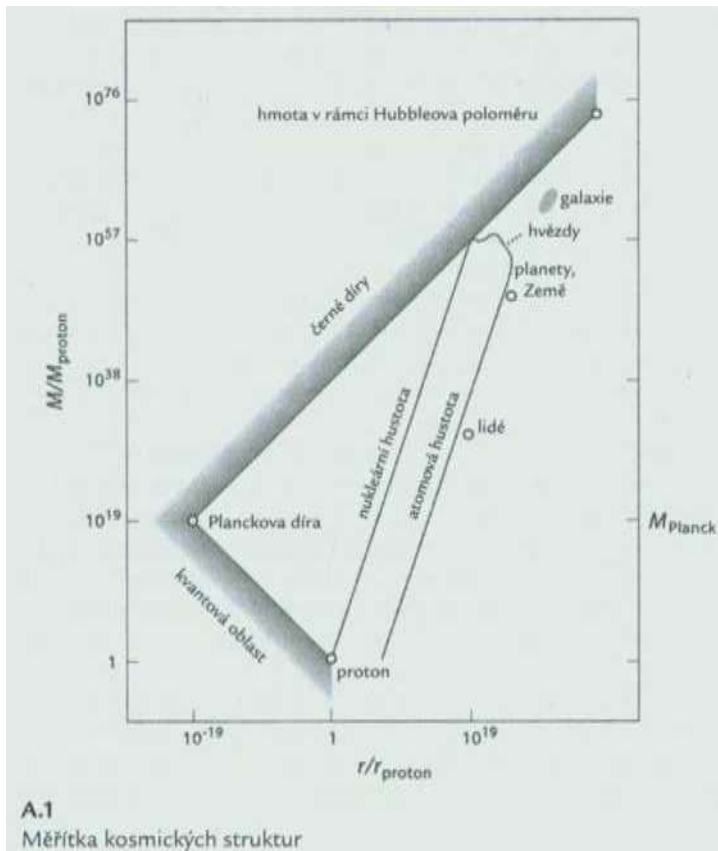
atomové jádro – velikostí až někde na úrovni Planckovy délky.

Obrázek A.1 znázorňuje toto rozpětí měřítek na diagramu, v němž je na logaritmické stupnici zakreslena závislost mezi hmotou a poloměrem. Přímka se sklonem 1 znázorňuje rozměry a hmotnosti černých děr. Všimněte si, že minidíra o velikosti protonu představuje hmotu asi 10^{46} protonů. Protože je gravitace tak slabá, musí být tento ohromný počet protonů natěsnán v prostoru, jaký normálně zabírá jeden proton – teprve tehdy gravitace získá navrch nad jadernými a elektrickými silami.

Běžná pevná tělesa – zrnka písku, lidé, asteroidy – leží na přímce se sklonem 3, kde hmotnost je úměrná třetí mocnině poloměru. Ale jakmile nabudou takové hmotnosti, že obsáhnou 10^{54} atomů (hmotnost Jupitera), začnou se vlastní vahou hroutit. Nad touto hranicí se nacházejí hvězdy.

Černá díra vážící 10^{19} násobně více než proton má také 10^{19} menší poloměr než proton. Tato hodnota se rovná Planckově délce. V důsledku kvantových efektů je neurčitost polohy této černé díry stejně velká jako celý její rozměr.

Ta největší měřítka (v pravé horní části obrázku) odpovídají námi pozorovanému vesmíru. Ovšem celou roztahem knihou se vine hlavní myšlenka, že mezi velmi velkým a velmi malým – mezi vnitřním a vnějším vesmírem – existují úzké vztahy a že náš vesmír se rozprostírá za hranice i těch největších zde zobrazených měřítek, přičemž tento přesah bychom mohli vyjádřit daleko vyšší mocninou deseti, než kolik činí celý rozsah našeho diagramu.



Poznámky

Kapitola 1 Planety a hvězdy

1. Tato citace lorda Kelvina (tehdy Williama Thomsona) pochází z

časopisu Macmillan's Magazine (5. března 1862), s. 288. Své argumenty později zopakoval v několika dalších článcích.

2. Tyto přístroje by sestávaly ze čtyř nebo pěti teleskopů umístěných ve vesmíru a uspořádaných jako interferometr tak, aby se světlo mateřské hvězdy vyrušilo interferencí (vrcholky vln z jednoho teleskopu vyruší dna ze druhého) ale nepotlačilo by mnohem slabší světlo vyzařované planetou.

Kapitola 2 Život a inteligence

1. Toto vyjádření Conwaye-Morrise pochází z konference, konané v roce 2000 na půdě Papežské akademie věd. Viz také jeho kniha *Crucible of Creation: The Rurgess Shale and the Rise of Animals* (Výheň stvoření: Burgess Shale a vzestup zvířat), Cambridge University Press, 1998.

Stejně jako můžeme diskutovat na téma nahodilost versus konvergence přirozeného výběru, vedou se spory ohledně toho, zda by jiné biosféry byly založené na stejné chemické bázi jako život na Zemi. Proteiny jsou tvořeny asi dvaceti různými aminokyselinami a počet všech možných proteinů, složených ze sta aminokyselin – i kdyby jen malá část z nich byla rozpustná ve vodě a měla chemicky aktivní povrch – je určitě obrovský ve srovnání s tím, kolik se jich vyskytuje v naší biosféře. Pokud je tomu skutečně tak, mohl by mimozemský život – i kdyby byl založený na uhlíku jako náš – zahrnovat nesmírně rozmanitou biochemii.

Někteří však namítají, že existuje jen omezený rozsah možných chemických šablon, stejně jako může existovat jen omezený počet různých tělesných staveb. Harvardský biolog George Wald v *Origins of Life* (Původ života), 5:[1974] 7, vyvodil toto omezení z vlastností chlorofylu, molekuly využívající slunečního světla a vyskytující se ve všech zelených rostlinách. Tato molekula je poněkud neefektivní, neboť zachycuje pouze malý zlomek sluneční energie a je lhostejná k té části slunečního spektra, kde je záření nejintenzivnější.

Právě skutečnost, že tato molekula prošla přirozeným výběrem zemské biosféry, přestože je zřejmě nedokonalá, vedla Walda k domněnce, že žádná lepší neexistuje. Chlorofyl by pak mohl být, jak tvrdí, běžně se vyskytujícím prvkem života na planetách okolo hvězd všech typů.

2. Planety pozemského typu způsobují posun pouze asi centimetr za sekundu. Takové pomalé tempo by bylo v případě běžné hvězdy nezachytitelné. Je-li však hvězda pulsarem, je její pohyb měřen na základě periody pulsu. Pokud se k nám hvězda přibližuje, dorazí signál dříve; vzdaluje-li se, dorazí později. Čas zachycení můžeme změřit s přesností daleko vyšší než milisekunda – dostatečně přesně na to, abychom byli schopni odhalit pohyby vyvolané obíhajícími hvězdami menšími než Merkur.

3. Pulsar v Krabí mlhovině vyzařuje kromě rádiových vln také viditelné světlo a můžeme jej pozorovat prostřednictvím kteréhokoliv velkého teleskopu. Ale frekvence jeho pulsování – třicet pulsů za sekundu – je tak vysoká, že oko jej vnímá jako klidový objekt. Kdyby byl stejně jasný, ale rotoval by pomaleji – řekněme deset obrátek za sekundu – pozoruhodné vlastnosti drobné hvězdy v Krabí mlhovině by byly objeveny již před sedmdesáti lety. Jakým směrem by se ubírala fyzika dvacátého století, kdyby byla superhustá hmota objevena již ve dvacátých letech, tedy dříve než neutrony? Netroufám si odhadnout, snad jen že důležitost astronomie pro elementární fyziku by byla rozpoznána daleko dříve.

4. Není jisté, kolik by činil jejich náskok. Některé hvězdy v naší galaxii se zformovaly o 5 miliard let dříve než Slunce. Byly však tvořeny téměř panenským materiálem. První planetární systémy pravděpodobně nevznikly dříve, než množství kyslíku a křemíku nevzrostlo alespoň na úroveň jedné třetiny současného množství ve Sluneční soustavě. Nicméně i tak se některé planety zformovaly nejméně o 2 miliardy let dříve než Slunce, což je delší

čas, než za který se na Zemi objevily první mnohobuněčné organismy.

Kapitola 5 Předgalaktická historie

1. Citát pochází z Lemaitrovy slavné knihy *The Primordial Atom* (Prapůvodní atom), Kluwer, 1953.

2. Co se děje se zářením nejlépe pochopíme, když si představíme vesmír rozdělený mřížovým průhledných stěn do krychlových buněk. Jak se vesmír rozpíná, stěny se od sebe vzdalují a všechny buňky expandují. Je-li vesmír homogenní, pak do každého boxu průhlednými stěnami vstupuje stejné množství radiace, jaké vychází ven. Obsah každého boxu by tedy byl stejný, kdybychom průhledné stěny nahradili zrcadly. Pak si můžeme představit jednodušší jev: rozpínání boxu, v kosmickém měřítku nevelké, s radiací, která se odráží od zrcadlových stěn. Vlastnosti vesmíru určují tempo rozpínání, ale jinak můžeme pohlížet na fyziku jako na lokální záležitost.

3. K procentuálnímu zastoupení helia a deuteria (těžkého vodíku), které vzešlo z velkého třesku, se váže jedno důležité vodítko. Z pozorování známe podíl těchto atomů v současném vesmíru. Mix, který vznikl po velkém třesku, můžeme vypočítat v závislosti na hustotě atomů. Teorie a pozorování by se v tomto bodě sympaticky shodovaly, pokud by ve vesmíru bylo stejné množství atomů, kolik ve skutečnosti vidíme ve hvězdách a plynu. Pokud by však skutečné množství atomů ve vesmíru bylo pět až desetkrát vyšší, byl by předpokládán mix vzešlý z velkého třesku v rozporu s pozorováním. Při vyšších hustotách by reakce probíhaly rychleji. Vznikalo by příliš mnoho helia a zůstalo by jen málo deuteria (jakýsi „polotovár“). Dodatečné „exotické“ částice, které se na jaderných reakcích nepodílejí, by mohly zvýšit hmotnost, aniž by to vyvolalo rozpor mezi vypočítaným a pozorovaným množstvím těchto typů atomů.

4. Pozorování by mohla vyvrátit teorii velkého třesku čtyřmi dalšími

způsoby:

a) Podle teorie obsahoval raný vesmír neutrina – těžko zachytitelné částice bez elektrického náboje, které jsou produkovány radioaktivním rozpadem. Neutrina by se ve žhavých raných fázích skutečně dostala do rovnováhy s fotony, a tím pádem by stejně jako fotony početně převýšila běžné atomy asi miliardkrát. To znamená, že by dnes byla převládající hmotou ve vesmíru, i kdyby měla jen několik miliardtin váhy protonu. Fyzikové objevili, že neutrina mohou mít hmotnost, ovšem velmi nízkou – pravděpodobně tak nepatrnou, že by jich bylo třeba 100 miliard, aby vyvážila hmotnost jednoho protonu. Co kdyby se však ukázalo, že mají jen milióntinu hmotnosti protonu – stále nízkou, avšak větší, než se dnes zdá? Teorie velkého třesku by pak předpovídala, že neutrina představují příliš mnoho temné hmoty. Byli bychom tedy nuceni přijít s jinou teorií, podle níž by bylo reliktní záření generováno mnohem později v kosmické historii bez souběžné produkce neutrin.

b) Jak jsem uvedl v poznámce č. 3, pozorované množství deuteria se přesně shoduje s předpokládaným množstvím, které přetrvalo z velkého třesku, za předpokladu, že hustota atomů je rovna hustotě viditelné hmoty a temná hmota je zcela odlišným druhem materiálu. Kdyby však astronomové objevili daleko více deuteria – například kdyby jej nebylo 50 000 krát, nýbrž jen 5 000 krát méně než běžného vodíku – pak bychom měli problém. Takto velké množství by mohlo z velkého třesku přetrvat pouze tehdy, kdyby reakce, při nichž se přeměňuje na helium, probíhaly mnohem pomaleji. To by vyžadovalo dokonce ještě nižší hustotu atomů, než jakou pozorujeme ve hvězdách a plynu.

c) Kdyby pátrání po úhlových fluktuacích mikrovlnného záření nepřinesla žádný výsledek a záření by bylo řekněme desetkrát hladší, než jak

bylo zjištěno, znamenalo by to, že hodnota Q v raném vesmíru byla příliš nízká na to, aby byla slučitelná s dnešní existencí tak velkých struktur, jako jsou například kupy galaxií.

a) Podle teorie velkého třesku by měla být teplota v minulosti vyšší. Když se světlo z nejbzdálenějších pozorovatelných galaxií vydalo na cestu, bylo omýváno zářením o teplotě 15 kelvinů (tzn. 15 stupňů nad absolutní nulou). Bylo zjištěno, že atomy a molekuly ve vzdálených mezigalaktických mračnech plynu jsou zahřívány na tuto teplotu. Teorie by byla vyvrácena, kdybychom zjistili, že plyn s významným rudým posuvem má pouze 3 kelviny.

Kapitola 6 Černé díry a stroje času

1. Stopy klíčových teoretických pokroků v gravitační fyzice od šedesátých let dvacátého století vedou ke spolupráci a výměně informací mezi úzkou skupinou předních pracovníků. Téměř všichni tito lidé vyšli ze tří výzkumných ústavů – z moskevského, vedeného Jakovem Zeldovičem, princetonského Johna Wheelera a cambridgeského Dennise Sciama (jenž byl nejen mým učitelem, ale také Stephena Havkinga a mnoha jiných, kteří významně přispěli k rozvoji teorie relativity). Spolupráce mezi těmito třemi skupinami byla téměř ve všech ohledech vstřícná a konstruktivní. *Black Holes and Time Warps (Černé díry a zborcený čas)*, kniha amerického teoretika Kipa Thorna, nabízí sice individualistický, ale zasvěcený pohled na tuto vědeckou komunitu. V tomto ohledu je atypická: věda obvykle postupuje více trnitými a méně souvislými cestami.

2. Citát pochází z článku J. A. Wheelera v časopise *American Scientist*, 56, 1 (1969).

3. Citát z přednášky S. Chandrasekhara z roku 1975, přetištěné v *Truth and Beauty (Pravda a krása)*, University of Chicago Press, 1987, s. 54.

4. Penroseovy názory na černé díry a jiná zde uvedená témata jsou shrnuty v jeho knize *The Emperor's New Mind* (Císařova nová mysl), Oxford University Press, 1988.

Kapitola 7 Zpomalování, či zrychlování?

1. Gravitační přitažlivost nezávisí jen na hustotě, nýbrž na vztahu (hustota) + 3 (tlak/ c^2). Kdyby byl vesmír plný materiálu o vysokém negativním tlaku (tj. tenzi), pak by druhá veličina převážila první a zapříčinila významnou kvalitativní změnu: namísto zpomalování by expanze zrychlovala. Následující prostý argument vysvětluje, proč tlak energie vakua musí být negativní. Pokud pohybem pístu expanduje běžný plyn, jeho teplota klesne – jinými slovy, skončí s nižší tepelnou energií. Rozdíl představuje energii, kterou jsme využili při pohybu pístu. Je-li však ve vakuu energie, pak expanze určitého úseku by vyprodukovala více energie. To znamená, že místo toho, abychom píst stlačili, a tím mu dodali energii, musel by on sám energii poskytnout. Píst bychom tudíž museli potáhnout, jako by pracoval proti tenzi či negativnímu tlaku. Tento poněkud neočekávaný důsledek má velký význam nejen pro ranou inflační fázi vesmíru, ale také pro fázi současnou, pokud dynamice vesmíru vévodí energie prázdného prostoru (λ) nebo kvintesence.

2. Fyzikové nemají k dispozici konkrétní teorii kvintesence, ale pojmají ji jako dodatečné pole, prostupující vesmír. Poněkud exotičtější myšlenka říká, že kvintesence je projevem dalších dimenzí. Kdyby v třírozměrném prostoru jiné dimenze, oddělené od naší, existoval paralelní vesmír, pak by vzájemné gravitační působení generovalo pole o vlastnostech kvintesence, přičemž jeho síla by závisela na vzdálenosti obou vesmírů.

3. K podobnému posunu došlo v problematice zastoupení prvků (viz kapitola 2). Před rokem 1920 nebylo známo, že v těžkých prvcích se

nacházejí pouze 2 % všech atomů. Uvědomění tohoto klíčového faktu trvalo tak dlouho, neboť ani vodík, ani helium se ve světle hvězd viditelně neprojevovaly, zatímco pro jiné prvky vykazovala hvězdná spektra velmi silné čáry. A také samozřejmě proto, že tyto prchavé prvky jsou zde na Zemi i na ostatních vnitřních planetách zastoupeny jen velmi vzácně.

Kapitola 8 Dlouhodobá budoucnost

1. Omezení množství uložených informací ve skutečnosti závisí na plošném obsahu. Tato závislost značí, že černá díra určité velikosti obsahuje množství informací, které závisí na druhé mocnině její hmotnosti. Taktéž maximální objem informací obsažený ve zrychlujícím vesmíru závisí na ploše jeho horizontu.

2. Citát pochází z článku J. Ostriker a P. Steinhardta ve Scientific American, leden 2001.

3. Tento dokument vypracovali W. Busza, R. L. Jaffe, J. Sandweiss a F. Wilczek, Reviews of Modern Physics 72 (2000): 1125-37. Viz také A. Dar, A. de Rujula a U. Heinz, Phys. Lett. B 470 (1999): 142-48. Promyšlenou kritiku vznesených témat vypracoval F. Calogero v Interdisciplinary Science Reviews 25 (2000): 191-202. Stejnou problematikou se zabývá i román Grega Benforda COSM (1998).

Kapitola 9 Jak všechno začalo

1. Byly to právě tyto pokusy s těžkými ionty, které vyvolaly obavy (viz kapitola 8) z možného rizika nekontrolovatelné přeměny veškeré hmoty na hmotu podivnou.

2. V nejjednodušším případě by to znamenalo, že hodnota Q , kterou označujeme hustotu vesmíru, by byla přesně 1. Ovšem jak už jsem se zmínil dříve, ve vesmíru existuje zřejmě jen tolik atomů a temné hmoty, kolik

odpovídá hodnotě Ω zhruba 0,3. Proto všichni tak nadšeně přijali teorii nenulové X či kvintesence. Tyto exotické formy energie mohou dohnat deficit a naplnit předpovědi o plochosti.

Kapitola 10 Kosmos a mikrosvět

1. Pohnutky, které Diraca vedly k domněnce, že G může neustále klesat, se nám z dnešního moderního pohledu jeví v každém případě scestné. Jak jsem uvedl v kapitole 3, Robert Dicke si uvědomil, že délka života i velikost hvězd závisí na velmi vysokém čísle, které odráží malou sílu gravitace na atomové úrovni. Poukázal na to, že čas našeho objevení se na vesmírné scéně není náhodný. Je zcela přirozené, že pozorujeme vesmír v éře, kdy se již zrodily hvězdy, ale ne všechny ještě zanikly – jinými slovy, kdy stáří vesmíru zhruba odpovídá délce života hvězd. V této epoše by mohl být Hubbleův rádius roven stáří typické hvězdy vynásobenému rychlostí světla, a tím by se vysvětlila podobnost, již si Dirac povšiml. V přírodě se objevuje jedno číslo zásadního významu – 10^{66} – vztahující se na malou sílu gravitace, přičemž ostatní s ním přímo souvisí.

2. Kvantitativní implikace přírodního reaktoru v Oklo hovořící pro neměnnost různých fyzikálních „konstant“ byly přezkoumány a vytříbeny F. J. Dysonem a T. Damourem v *Nuclear Physics B480* (1996): 3754. Tento článek odkazuje také na předešlé práce.

3. Klasickou ukázkou tohoto pohledu na věc je článek Philipa Andersona *More Is Different*, *Science* 177 (1972): 393-96.

4. Zrušení SSC znamenalo, že CERN, mezinárodní laboratoř v Ženevě, která byla desítky let evropským centrem výzkumu elementárních částic, se stala laboratoří světovou a významným působištěm vědců ze Spojených států, Japonska, Ruska a dalších zemí. Tato nedávno získaná evropská hegemonie na poli částicové fyziky nápadně kontrastuje s tradiční situací v kosmickém

výzkumu, který se v Evropě oproti NASA odehrává v poněkud skromnějším rozsahu, a Evropská kosmická agentura vystupovala v největších projektech, jakým byl například Hubbleův vesmírný teleskop, spíše jako minoritní partner. Ve dvou „velkých vědách“, kosmickém výzkumu a částicové fyzice, dnes tedy vládne – třebaže spíše náhodou než díky nějakému záměru – utěšená transatlantická komplementarita, jelikož příslušná výzkumná zařízení jsou tak nákladná, že jejich duplikace by byla plýtváním penězi.

5. Viz *Dreams of a Final Theory* (Snění o finální teorii) Stevena Weinberga (Pantheon, 1993, česky Hynek, 1996).

6. Citát z *Medawarova Advtce to a YoungScientiit* (Rada mladému vědci), Oxford University Press, 1979.

Kapitola 11 Zákony a místní vyhlášky v multiverzu

1. Citát z *Quarks, Chaos and Christianity* (Kvarky, chaos a křesťanství) Johna Polkinghorna, SPCK Triangle Press, 1994.

2. Zde uvedená argumentace – předpoklad, že náš vesmír je speciální jen do té míry, nakolik vyžaduje naše existence, nikoliv však více – mohla být použita před sto lety k vyvrácení „hypotézy fluktuace“ Ludwiga Boltzmannova. Boltzmann si lámal hlavu nad směrem toku času a byl přesvědčen, že vše je jen fluktuací v nekonečném vesmíru, kde v globálním pohledu neexistuje rozdíl mezi minulostí a budoucností. Kdyby měl pravdu, pak by bylo daleko pravděpodobnější, že krátká fluktuace dala vzniknout jedinému mozku se všemi vzpomínkami a vjemy spíše než celé struktuře vesmíru. Pokud tedy nejsme solipsisty, kteří věří, že ohromné rozlohy kosmu jsou pouhou iluzí, pak skutečná fluktuace se zdá být daleko větší (a nepravděpodobnější), než naše existence nutně vyžaduje. Podobné argumenty by Boltzmannovu hypotézu spolehlivě pohřbily.

3. Dříve, než si budeme moci Smolinovu domněnku prověřit, bude ji

muset více specifikovat, zejména co se týče přesné definice „optimální tendence“. Například: měly by být optimalizovány veličiny jako rychlost formování, prostorová hustota nebo celkový počet děr?

4. Zdaleka nejkomplexnějším a nejvíce vyčerpávajícím pojednáním na toto téma je The Anthropic Cosmological Principle (Antropický kosmologický princip) J. D. Barrowa a F. Tiplera (Oxford University Press, 1986). Pojem „antropický princip“ je podle mého názoru nešťastný, protože nabízí poněkud pompézní konotace. Vhodnějším slovním spojením by byla „antropická úvaha“. Mnozí teoretikové znevažují antropické argumenty a pokládají je za nouzové řešení či zbabělý útěk, způsob mírnění naší zvědavosti, když nemáme k dispozici žádné „náležité“ vysvětlení. Je nasnadě, že musíme usilovat o nalezení fundamentálních vzorců k tolika aspektům fyzikálního světa, kolik jen budeme moci. Úspěch však není zaručen. Některá zásadní čísla mohou být ve skutečnosti dílem pouhé kosmické environmentální náhody a nemusejí spočívat na elementárním základě o nic více než osobité tvary sněhových vloček či přesné uspořádání planetárních oběžných drah.

Doslov

Neobyčejný kosmolog a člověk

„Myslím, že každá věda je kosmologií,“ napsal v roce 1959 sir Karl Popper v předmluvě k prvnímu anglickému vydání svého stěžejního filozofického díla Logika vědeckého bádání (The Logic of Scientific Discovery). Kosmologii chápe jako problém porozumění světu, jehož součástí jsme i my a naše

metody poznávání. Pro Poppera by věda a filozofie ztratily smysl, kdyby ve vytváření obrazu světa přestaly vidět svůj hlavní cíl. Reesův Náš neobyčejný vesmír je příkladnou „kosmologií“ v Popperově smyslu.

Sir Martin Rees, jeden z nejznámějších žijících astrofyziků, vede čtenáře od problémů fyzikálního světa až k otázkám typu, jakými cestami se ubírala za třináct miliard let evoluce od jednoduchého „předpisu“ (fyzikálního zákona) až ke komplexnímu vesmíru, v němž se některé atomy seskupily do formy tvorů, kteří jsou schopni uvažovat nad svým původem... Věnuje se procesům probíhajícím od první milisekundy vesmíru k tvorbě galaxií, hvězd a biologických struktur, až k vědeckým vizím nejbližší budoucnosti. Ve výkladu se objevují i úvahy o ekonomii vědy, sociologii a vědní politice. Za všemi těmito pohledy je osobnost Martina Reese, tak jak ji známe z jeho textů, z přednášek a z mnoha osobních setkání. Mimořádná inteligence a přehled se pojí s přirozenou rychlostí a lehkostí. Jasný názor vyslovovaný nepompézně, a jestliže kriticky, jistě ne arogantně. Pohled noblesního humanisty a skeptického optimisty: „Až budou založeny soběstačné kolonie – na Měsíci, Marsu nebo ve volném vesmíru, bude náš druh jako celek nezranitelný jakýmkoli globálními katastrofami a v následujících pěti miliardách let bude mít šanci rozvinout celý svůj potenciál, ať už je jakýkoliv.“ Na rozdíl od Stephena Hawkinga, svého kolegy na univerzitě v Cambridgi, který ve svých popularizačních knížkách vyslovuje vlastní hypotézy, o nichž je přesvědčen především on a jeho apoštolově, se stejnou jistotou jako píše o již běžně ověřených fyzikálních zákonech, Martin Rees uvažuje i o jiných možnostech. Přijímá například jako úspěšnou a přirozenou teorii inflačního rozpínání těsně po velkém třesku, poznamenává však, že tato teorie nemusí být „posledním slovem“ a zmíní se i o tom, že jeden z neoriginálnějších matematických fyziků současnosti, Roger Penrose, ji

považuje jen za „módu, kterou fyzikové vysokých energií trestají kosmology“. Když rozvíjí své oblíbené téma „multiverza“, připouští, že otázka existence jiných vesmírů může být považována za „nevědeckou“. A je třeba říci, že ačkoliv se dnes k myšlence multiverza kloní další významní kosmologové jako Steven Weinberg či John Barrow, samotný pojem multiverza zůstává opravdu zatím mlhavý: není jasné, jak jej matematicky řádně definovat, jak observačně testovat, zda je jednoznačný atd.

Pojem multiverza je ovšem tím nejspekulativnějším, s čím nás Rees seznamuje. Než nás k němu v závěru dovádí, poznáváme mnoho lokalit v kosmu, jejichž neobyčejnost je podobně zajímavá, jejich existence je však neporovnatelně prokázанější a naše znalosti o nich hlubší. Neutronové hvězdy, supernovy, galaxie, kvazary, černé díry, reliktní záření – to jsou entity, stojící v popředí současné astrofyziky. K jejich objasnění významně přispěl i Martin Rees – vlastními pracemi, společnými pracemi s britskými a zahraničními kolegy a s mnoha svými studenty. Jako zcela výjimečný typ „komunikativního vědce“ – během jednoho týdne dokáže přednášet a diskutovat ve třech zemích – podnítl řadu dalších výzkumných programů.

Narodil se 23. června 1942. Vystudoval matematiku a astrofyziku na Cambridgeské univerzitě, později pracoval jako hostující profesor v prestižních vědeckých centrech, např. v Princetonu, na Caltechu (California Institute of Technology), na Harvardu. Kromě dvou let (1971-73) na univerzitě v Sussexu působil však stále v Astronomickém ústavu (Institute of Astronomy, IOA) Cambridgeské univerzity. Jako jednatřicetiletý zde získal titul „Plumian profesor astronomie a experimentální filozofie“ a zaujal tak místo tradičně obsazované vynikajícími vědci. Zastávali je např. sir George Darwin, druhý syn Charlese Darwina, známý důležitými přínosy k fyzice sluneční soustavy, nebo sir Arthur Eddington, o němž v roce 1983 napsal

nositel Nobelovy ceny S. Chandrasekhar, jeden z největších astrofyziků 20. století, knížku „Největší astrofyzik své doby“. Po dvacet let se Martin Rees střídal s Donaldem Lynden-Bellem na místě ředitele IOA. Brzy byl zvolen do dvou známých učených společností: v roce 1972 do britské Royal Society, v roce 1982 do americké National Academy. Později se stal členem řady dalších akademií (nedávno přednášel v Praze na konferenci, kterou pořádala Academia Europae), získal množství vědeckých ocenění, vedl vědecké organizace, předsedal výborům, konferencím, byl pozván ke stovkám prestižních přednášek (ze Scribnerových přednášek v Princetonu ostatně vznikla tato knížka). V roce 1992 byl povýšen do šlechtického stavu (titul sir), v roce 1995 se stal britským královským astronomem (Astronomer Royal). Vloni v Bernu získal Gruberovu cenu, jedinou cenu, udělovanou za práci v kosmologii, se zdůvodněním: „za mnoho zásadních příspěvků k našemu chápání vesmíru“.

První návštěvu Martine Reese v Praze v roce 1967, o níž se zmiňuje v předmluvě k tomuto překladu, si bohužel nevybavuji. V Rudolfinu a na právnické fakultě se scházelo ke dvěma tisícům astronomů ze všech končin světa a mě tehdy přitahovali především koryfejové londýnské relativistické školy Hermann Bondi a William Bonnor, a ovšem i nezapomenutelné diskuse mezi Jakovém Zeldovičem z Moskvy a sedmadvacitiletým Kipem Thornem z Caltechu. Kip byl novým objevem princetonské relativistické školy Johna Archibalda Wheelera. Zeldovič a Wheeler, dva giganti fyziky, zanechali uprostřed 50. let výzkumu kolem vývoje vodíkové bomby a soustředili se na nový, „mírumilovnější“ obor – relativistickou astrofyziku. Po objevu kvasarů bylo zřejmé, že při tak energetických jevech v kosmu musí být přítomna velmi silná gravitační pole, k jejichž správnému pochopení a popisu klasická Newtonova teorie nevyhovuje, a že je třeba vycházet z Einsteinovy obecné

teorie relativity. Další zásadní astronomické objevy (reliktní záření, pulsary, rentgenové a gamma zdroje atd.) nutnost používání speciální a obecné teorie relativity pro popis vysokoenergetických jevů ve vesmíru jen netušené zvýšily. Astrofyzice vysokých energií věnoval celý život své hlavní úsilí i Martin Rees.

První jasné vzpomínky na setkání s ním se váží na jaro 1971, kdy jsem mohl (kupodivu) strávit několik měsíců na Caltechu v relativistické skupině Kipa Thorna; Martin byl tehdy na Caltechu „u astronomů“. V několika diskusích mě, přicházejícímu z teritoria matematické relativity, nezištně vykládal o různých problémech moderní astrofyziky. V polovině 70. let jsme s několika mladšími kolegy v Praze začali publikovat práce z relativistické astrofyziky. K mému překvapení přišlo někdy v roce 1977 od Martina, tehdy již ředitele IOA, pozvání k návštěvě Cambridge. Cesta byla povolena v roce 1979. Po 3 měsících v prostředí kouzelném jak zajímavými astronomy, tak letitými stromy, které kdysi sázel objevitel Neptuna John Adams, jsem dokončil práci o pohybu černých děr. Martin mi nabídl, že ji doporučí k publikaci v Proceedings of the Royal Society, kde tehdy každá práce musela být předložena („komunikována“) členem společnosti. Byla to jeho první „komunikace“, protože do Royal Society byl tehdy právě zvolen. Po tomto mém pobytu se mi podařilo dohodnout návštěvy IOA i pro některé mé kolegy. Od roku 1992 začala naše pravidelná spolupráce s Donaldem Lynden-Bellem, umožněná vlastně původním Martinovým pozváním a Martinem stále dále podporovaná. Martin však již v 70. letech zval pracovníky z jiných, tehdy lidově demokratických, leč nedemokratických zemí, zvláště ze skupiny J. Zeldoviče, polské astronomy a další. Snažil se umožnit nám, abychom získali přehled o tom, „co se děje“, seznámili se s u nás nedostupnou literaturou a

nedostupnými lidmi. Z mnoha setkání s nejrůznějšími badateli v Cambridgi, které Martin zprostředkoval, si snad nejzřetelněji vzpomínám na to, jak Martin a další jeho host trpělivě při večeři sledovali moji více než půlhodinovou „diskusi“ s S. Chandrasekharem, v níž mi Chandra podrobně vykládal o matematických detailech perturbací nabitých černých děr, jimiž jsem se tehdy také bavil.

Martinovo vyzařování směrem k druhým se pojí s nadhledem na sebe sama. Jako začínající student matematiky uvažoval o studiu ekonomie, neboť v matematice byl sice výborný, nepatřil však v Cambridgi k nejlepším. Kolem padesátky chtěl změnit obor, protože astrofyzika, podobně jako teoretická fyzika a matematika, jsou především polem mladých. Neustával v tvořivé práci, začal však mnohem více energie věnovat popularizaci. Z vlastní iniciativy se v roce 1991 zřekl plumianské profesury, aby na toto místo mohl být přijat Richard Ellis, vynikající pozorovatel. Stal se profesorem Royal Society, což je pozice významná, ne však trvalá. Když jsem mu o rok později gratuloval k titulu „sir“, s úsměvem pravil, že není příliš významný – že je to „něco jako Leninův řád“. V roce 1995 přišel od profesora Ernesta Gellnera,¹⁶

¹⁶ Prof. Ernest (Arnošt) Gellner (1925-1995), významný sociální antropolog, pocházel z Čech. V letech 1992-1994 přednášel na Středoevropské univerzitě v Praze, před vedením katedry v Cambridgi působil na London School of Economics, spolu s Karlem Popperem. (Když v roce 1994 dvaadvadesátiletý Popper těsně před svou smrtí navštívil Prahu, byl zde často provázen E. Gellnerem.) Martin Rees se s Ernestem Gellnerem často stýkal, protože oba byli v Cambridgi členy (Fellows) King's College (Martinovi zde patřily místnosti, které kdysi obýval John Maynard Keynes); nadto Martinova manželka prof. Caroline Humphreyová pracovala na katedře sociální antropologie a prof. Gellnera.

vedoucího katedry sociální antropologie v Cambridge, pohled s poznámkou, že Martin se stal královským astronomem, že ale nemusí chodit královně hlásit zatmění Slunce v sametových kalhotách... Titul Astronomer Royal, tradičně označoval ředitele Královské observatoře v Greenwichi, od roku 1972 je však udělován jako symbolická pocta vždy jedinému britskému astronomovi.

V poslední době se Martin vyjadřuje častěji k veřejným otázkám. Je humanista a liberál, tradičně se klonící k labouristům, baronka Thatcherová k jeho hrdinům nepatří. Vzpomínám, jak po mém příjezdu do Cambridge v roce 1990 vítal naši svobodu a našeho nového prezidenta, trochu se však podivoval, že jeho první zahraniční cesta vedla do Německa. Martin je vyznavačem velké, globální vědy, staví se však proti vědecké hegemonii Spojených států. Do Ameriky je ovšem velmi často zván, má zde mnoho přátel, někteří z jeho bývalých studentů jsou dnes špičkami americké astrofyziky.

Recenzent Financial Times jednu z předchozích popularizačních knížek Martina Reese doporučoval slovy: „Nenapadá mě kultivovanější a podnětnější způsob, jak uniknout všedním starostem každodenního života...“. Naš neobyčejný vesmír je nejnovější medicínou proti všedním dnům, kterou nám Martin Rees nabízí.

Jiří Bičák

Rejstřík

A

Allen, Woody 118 Alpher, Ralph 75 Andromeda 60, 61, 66, 71, 73, 80, 106, 109, 115, 119 antihmota vs. hmota 127 antropický argument 166, 167, 171, 183 Armstrong, Neil 45 asteroid 35, 44, 59, 88, 106, 116, 144, 152, 165, 175 astroláby 67
astronomie 35, 46, 52, 66, 69, 70, 88, 103, 123, 157, 178 acohy
 a gravitace 59 jaderné vazby v 56 jejich zrod v explodujících hvězdách 54
 množství/počet 127, 145, 153 poloha 57 rozpad 118 složení 21 světelné
 spektrum 48 změny ve fyzice 140, 141

B

Babyloňané 103, 104 baryony 113, 128 baryum 53 Becquerel, Henri 20
Bentley, Richard 87
Bethe, Hans 22 Binney, James 71 Boltzmann, Ludwig 183 Bondi, Hermann
75 Brookhavenská národní laboratoř 122, 126 Brownlee, Donald 35 Bruno,
Giordano
 On the Infinite Universe and Worlds 33 budoucnost
 pozorování 100 předpovídání 105, 108 budoucnost; dlouhodobá 40, 43, 44,
66, 84, 100, 102, 106, 108, 109, 114, 115, 119, 120, 134, 181
budoucnost; dlouhodobá; a budoucnost života 115, 116, 117
budoucnost; dlouhodobá; a zánik hvězd 82, 115 budoucnost; dlouhodobá;
temnota 114 budoucnost života 43, 66 Bunsen, Robert 48 Burbidge, Geoffrey
54 Burbidgeová, Margaret 54 Butler, Paul 26, 29

C

Cameron, Alastair 54
Cassini, výprava 32 Cat's Cradle 121 CERN 126, 182 cestování blízké

99 Clarke, Arthur Charles 45 Clinton, Bili 32 COBE 77,89,91,94

Č

čas 143,146 čas; cestování v 100, 102 čas; stroj 95, 100, 101, 102

časoprostorová deformace 95, 96, 99,100, 101 částicová fyzika 149, 150, 183

černá díra 95, 96 černá díra; a gravitační přitažlivost 96, 181 černá díra; a

multiverzum 151, 162, 170 černá díra; deformace časoprostoru 95, 100 černá

díra; formování 97 černá díra; objev/porozumění 97,98

černá díra; počet/rozměry 98, 99 černá díra; první použití pojmu 95

černá díra; rozpad 116 červené světlo 25, 26, 69

D

Darwin, Charles 19,24, 44 Darwin, projekt 28 Deep Impact 44 deuterium 58,

78, 79, 93, 126,

141, 179 Dicke, Robert 58, 76, 182 dimenze, jiné 142,143,144, 146,

147

dinosauři 36

Dirac, Paul 139, 140, 182

DNA 57

Dopplerův efekt 25, 26, 80, 97, 98 druhý zákon termodynamiky 85

dvourozměrný prostor 132, 142, 146, 162 Dyson, Freeman 117,118

E

Eddington, Arthur 145 Eddington, vesmírná mise 27 Einstein, Albert 138

Einstein, Albert; neeuclidovská geometrie 146 Einstein, Albert; rovnice

$E=mc^2$ 21,110, 137 Einstein, Albert; sjednocená teorie, hledání 145 Einstein,

Albert; teorie ustáleného vesmíru 109 elektrický náboj 21,58,82,96, 107, 111,

121, 128,140, 141, 179

elektromagnetické spektrum 68, 69

elektrony 21, 57, 58, 79, 118, 139, 140,141, 144, 149 energetický deficit 137
energie vakua 110, 111, 112, 114, 181 entropie 85 Evropa 32, 160 Everitt,
Hugh 163 evoluce, biologická 19,35,88,

115

Evropa, kosmický program 27,

28, 183

Evropská kosmická agentura 32, 94, 183

expanze/rozpínání vesmíru 62, 66 expanze/rozpínání vesmíru; a gravitace 130

expanze/rozpínání vesmíru; problém elegantního ukončení 131

expanze/rozpínání vesmíru; rozrušující účinek 119 expanze/rozpínání

vesmíru; rychlost/tempo 85, 129,

130

expanze/rozpínání vesmíru;

zpomalování 85, 103,108,

129,181 expanze/rozpínání vesmíru;

zrychlování/akcelerace 103, 108, 109, 110, 111,112,115, 119,120,132,

181 exploze 21, 39, 54, 70, 94, 108,

129

exploze v kambriu 36 extragalaktická perspektiva 60 extragalaktická

perspektiva; a historie Mléčné dráhy 71, 73 extragalaktická perspektiva; a jiné

galaxie 61 extragalaktická perspektiva; a teleskopy 66 extragalaktická

perspektiva;

velkorozměrová struktura/ expanze 62, 63, 64, 65

F

Faraday, Michael 143, 144 Fermi, Enrico 40 Forward, Robert 40 fotony 68,

69, 80, 98, 127, 179 Fowler, William 54 fraktálovité vesmíry 62, 64

Fraunhofer, Josef von 48

Freudental, Hans 41 fundamentální teorie, numerologická 145 fyzika 94, 149 fyzikální zákony jedinečné 165 měnící se 139, 182

G

galaxie

kupy/rozložení 61, 62, 63, 66,80,81,85,87,89, 90,

94, 107, 112, 124, 129, 133, 134, 180 navždy nepozorovatelné 159, 161

objevování 66 plyn recyklovaný v 55, 71 temná hmota v 61 počet

61,175 porozumění 61 růst vs. evoluce 88 světlo 68,141

světlo z 14,65,66,71,72,119, 140, 141, 160,161, 180 Galileo Galilei 33,

70,172 gama paprsky 128,129 Gamow, George 22, 57, 58, 75 Ganymedes

32,160 genom 41

geometrie, neeuklidovská 146 Giacconi, Riccardo 70 gluony 56, 147 Godel,

Kurt 100, 101, 138 Gold, Thomas 75 Goldin, Dan 28 Gott, Richard 12, 100,

101 gravitace

a anigravitace 110 a atomy/hvězdy 58, 59

a předgalaktická komplexita 84, 86

gravitační fyzika, badatelé 95, 180

gravitační konstanta 139, 140, 182

gravitační přitažlivost 59,61, 80, 100, 110, 181 gravitační vlny 134

gravitační vyzářování 116 Newtonova zákon 81 Newtonův zákon 82, 124,

139, 172

Guth, Alan 162, 163 **H**

Halley, Edmund 104 Halleyova kometa 104 Harrison, Edward 163 Hawking,

Stephen 180 Hayashi, Sitoru 76 Heisenbergův princip neurčitosti 57, 126

helium 21,22,49,50,53,56,58, 80, 89,91,93, 126,165,179, 180

helium; a stelární spektra 181 helium; vzniklé při velkém třesku 55, 58, 78,

79, 141, 179 Hermann, Robert 75 Herschel, William 34 hmotnost pevných

těles 175 hodiny 67

Hoyle, Fred 53,54, 56, 75, 91 Hoyle, Fred; The Black Cloud 118 Hubble, Edwin 65, 66, 110, 172 Hubble Deep Field, snímky 72 Hubbleův poloměr 139,182 Hubbleův vesmírný teleskop 14, 50, 67, 68, 72, 73, 94,183 Hubbleův zákon 65 Huggins, William 48 Huygens, sonda 32 hvězdy 19

plyny recyklované v 54 hvězdy; a gravitace 58,59 hvězdy; definice 58 hvězdy; formování 178 hvězdy; fotografie využívané při studiu světla z 48 hvězdy; hvězdokupy 50, 61 hvězdy; obeznámenost s 61 hvězdy; plyny recyklované v 54, 55

hvězdy; růst vs evoluce 88 hvězdy; složení 47,140 hvězdy; srážky 35, 94,115 hvězdy; zánik 115 hvězdy; zastoupení prvků v 48, 50,53,55, 181 hvězdy; životní cykly a hmotnost 49,51,61,71,74 hypotéza fluktuace 183

Ch

Chamberlain, Thomas 20 Chandrasekhar, Subrahmanyan 97, 180 Charlier, Carl V. L. 64 chemie 17, 74, 149,154,157 chlorofyl 177,178

I

inflační teorie 111, 114, 130, 132, 133, 134, 137, 141, 151, 162, 181

informace, omezení objemu uložených 119, 181 infračervená 30, 68, 69, 79

Inkvizice 33

Institut vesmírného teleskopu 72 Israel, Werner 135

J

jaderná fúze 21,22,55, 78, 154 jednoduchost 172 John Barrow 122 Jupiter 14, 25, 26, 27,29, 32, 35, 160, 175

K

Kalifornský technologický institut 54 Keckovy teleskopy 67, 94 Kelvin, lord 20, 177 Kennedy, John 45 Kepler, Johann 171, 172 Kerr, Roy 96, 97 Kirchoff, Gustav 48 komplexita

a gravitace 84 omezení 119 pochopitelnost 150 kosmické struny 100 kosmologické rozpravy, sedmnáctého století 172 kosmologie

a náboženství 125, 144, 156, 157

budoucnost 134, 173 kredit 123 kosmos a mikrokosmos 137 kosmos a mikrokosmos; dimenze, jiné 142 kosmos a mikrokosmos; fyzikální zákony, mění se 139 kosmos a mikrokosmos; neúplná znalost 149 kosmos a mikrokosmos; rotující vesmíry 138

kosmos a mikrokosmos; sjednocené teorie 142, 145, 146, 147

kosmos a mikrokosmos; teoretické meze 147 kosmos a mikrokosmos; vesmír jako vzniknuvší z ničeho 137

Krabí mlhovina 38, 39, 52, 69, 178 kvantová teorie 16, 17, 21, 22,

126, 133, 142, 146, 148 kvantová vibrace/řešení 16, 89, 112, 133, 134, 152, 154 kvark Š6, 121, 126, 127, 128, 147, 183

kvintesence 111, 112, 114, 120, 181, 182

kyslík 14, 30, 50, 52, 53, 54, 74, 79, 178

L

Lemaître, Georges 75, 76 Leslie, John 156 Li, Li-Xin 101 lidstvo, hrozby 44, 45 lincos 41 Lindě, Andrei 162 lithium 55, 58, 78 logaritmický čas 126 logika 42, 149

M

M-teorie 17, 146, 147 Mach, Ernst 138 Machův princip 138

Mandelbrotova řada 155 MAP sonda 94 Marcy, Geoffrey 26, 29 Mars 14, 31, 32, 45, 47, 152 matematické zákony 149

Mather, John 77 Mayor, Michel 25, 26 Medawar, Pecer 150, 183 Mendělejev, Dimitrij 21 měrné teplo 88 měřítka struktur 175, 176 Měsíc 23, 29, 35, 45, 46, 47, 70, 72, 103, 104, 152 metan 30 meteority 32, 33 Mezinárodní kosmická stanice 28,46
mikrovlny 69, 76, 79, 84, 94, 128, 134, 180
Místní skupina 61, 115, 118, 152 Mléčná dráha historie 71, 73 budoucnost 115,119 černá díra v 96 velikost/tvar 60, 71, 175 mlhovina v Orionu 25 modré světlo 25, 26, 68, 117 Morris, Simon Conway 37, 177 multiverzum 151 multiverzum; a černá díra 151, 170, 183 multiverzum; a černé díry 162 multiverzum; a ověřování teorie 167, 183 multiverzum; a pojetí v sedmnáctém století 171 multiverzum; a pozorovatelnost 160 multiverzum; definice 158 multiverzum; náhodná shoda okolností 155 multiverzum; náš vesmír jako podmnožina 155, 157 multiverzum; nezbytné předpoklady 153 multiverzum; pozorovatelnost 159 multiverzum; prozřetelnost/plán 156 multiverzum; scénáře pro 162 multiverzum; univerzální zákony vs. místní vyhlášky 18,151, 165, 183 multiverzum; velké třesky, jiné 133, 151, 162, 171

N

náboženství 125, 144, 156, 157 nahodilost vs. nezbytnost 165 náhodná shoda okolností 155 NASA 28, 30, 31, 32, 70, 94, 98, 183
neutrino 146, 179 neutron 21,50,53,56,57,121,
126,154,178 neutronová hvězda 14, 38, 39, 40, 53, 57,99,100, 115, 118, 140 Newton, Isaac 105 Newton, Isaac; gravitační zákon 81,82, 124, 139, 172 Newton, Isaac; hranol, pokus 47 Newton, Isaac; náboženské reakce na 125 Newton, Isaac; o oběžných drahách planet 124 Newton, Isaac; o původu kosmické struktury 87 Newton, Isaac; o rotaci 138 Newton, Isaac; vliv 144

Novikov, Igor 95, 102

O

obecná relativita a černá díra 96 a potvrzení platnosti během zatmění 147
estetický půvab 147 měření důsledků 164 o deformaci časoprostoru 70, 100
o tlaku 111
vs. newtonovská fyzika 81, 82, 147
obzor 95, 119, 120,132, 160, 161 Occamova břitva 158 Ohromně velký
teleskop 68 Oklo, důl 141 omega 107,167 Orlí mlhovina 50 Orwell, George
45 ozón 30

P

Paley, William 144, 156, 157 Panna, kupa galaxií v 61, 62 Payneová, Cecilia
49 Peebles, James 76 Penrose, Roger 98, 133, 180 Penzias, Arno 76, 78
periodická soustava prvků 17,21, 53, 54, 55,56,71,79,89, 154, 157 Pinker,
Steven 149 plán (Boží), argumenty pro 144, 163
Plaňek, Max 91 Planck-Surveyor, sonda 94 Planckova délka 126,127,132,
142, 144, 145, 164, 175,176 planety 19
planety; joviánského typu 27, 29 planety; oběžné dráhy 26, 28, 29,
35,39,45,80,81, 116, 124, 140, 143, 148,171, 172, 184 planety; objeiování 24,
37, 73, 98, 177, 178 planety; podobné Zemi 38 planety; pozemského typu 27,
35, 98, 178 planety; vznik 24 plochost vesmíru 111,132,182 počátek vesmíru
123
a experimenty s těžkými ionty 126,182 a Heisenbergův princip neurčitosti
126 a hmota vs. antihmota 127 a logaritmický čas 126 a zpět po stopách sledu
příčinných souvislostí 123, 137 nejasnosti v základní fyzice 93
příčiny rozpínání 129 zpětná extrapolace k první milisekundě 125, 131
počátek vesmíru; postulovaný počáteční okamžik 130 počítačová technologie,

pokroky v 94,135 podivná hmota 122 pokusy s těžkými ionty 126, 182
Polkinghorne, John 157, 183 pozorovatelnost 158, 159 prázdný prostor
110,121,153, 168,172, 181 proplyd 25
proton 21, 50, 56, 57, 58, 121,
126, 127,128, 139, 154, 155,
175,176,179 Prožetelnost/plán 155, 157 prožetelnost/plán 124, 144, 156
průzkum vesmíru 27, 32, 45, 47, 177, 183 prvek 21, 56, 181 prvky 79,114
předgalaktická historie 75
předgalakrická historie; a gravitace/komplexita 84, 86 předgalakrická
historie; a textura vesmíru 89, 90, 125, 154 předgalakrická historie; éry 93
předgalakrická historie; gravitace v 80,81 předgalaktická historie; plán
(Boží), argumenty pro 156 předgalaktická historie; prvky vyskytující se
v prvních minutách 79 předgalaktická historie; radiace v 76, 77, 90, 178, 180
předgalaktická historie; temná hmota v 80 předgalaktická historie; teplota
během prvních minut 78 předpovědi počasí 104, 105 přírodní teologie 156
přírodní zákony 149, 165 přirozený výběr 19, 34, 44, 88,
115, 156, 177, 178 pulsar 39, 178

Q

Queloz, Didier 25, 26 **R**

radiace 69

radiace; gravitační 116 radiace; v předgalaktická historii 76, 77, 91, 180

radiace; z černých děr 98 radioaktivita 146 radiové pásmo 69 Randallová, Lisa
162 rentgenové záření 39, 68, 69, 70, 98

Reviews of Modern Physics 117, 182

Riemann, Georg Friedrich Bernhard 146 Roli, Paul 76

rotace 24, 35, 95, 96,138, 143 rudý posuv 26, 63, 65, 94, 160, 180

Russel, Henry Norris 49 rychlost světla 99 rychlost světla, cestování blízce

S

Sagan, Carl 30 Sacharov Andrej 127 Salpeter, Edwin 56 samarium 141

Sciama, Dennis 180 SETI 41,42

Schrodingerovy rovnice 148 silná jaderná vazba 145 siločáry, pojetí 143, 145

sjednocené teorie 16, 17, 141, 142, 145, 146, 147, 150, 172 slabá jaderná

vazba 146 Sloan Digital Sky Survey 62 Slunce

oběžná dráha 60 předpokládaný zánik 106 světelné spektrum 47, 48, 178

teplota jádra 22 výpočet fúze v 22 životní cyklus 20,21,22,23 sluneční

soustava

katastrofické teorie 24 stáří 72

teorie proplyd 25, 124 sluneční soustavy, jiné 24 Smolin, Lee 162, 163,
169, 170, 183

sněhové vločky 166, 184

Spojené státy, vesmírný program 28, 46, 183 SSC 149,150, 182 standardní
model 164 Stapledon, Olaf

Star Maker 7, 143, 163 Steinhardt, Paul 120, 181 Sundrum, Raman 162

supernova 38, 39, 52, 53, 54, 108, 109,111,112, 129, 152 světelné spektrum

30, 47, 48, 69, 77,91,98, 114, 140, 178, 181 svobodná vůle 102

T

teleskop 14, 25, 26, 27, 30, 32, 42, 43, 46, 48, 50, 61, 62, 63,

66, 67, 72, 73, 80, 94, 109, 132, 135,160, 172, 175, 177, 178, 183

teleskopy 72

temná energie 111, 113, 130, 134, 172

temná hmota 61,80,81,82,83,84, 85,87,90, 93,106,107,108, 110,112,113,118,

119, 125, 134,154,172,173, 179, 182 teorie konstantního třesku 91 teorie

superstrun 17, 144, 146 teorie ustáleného stavu 75, 76,
91, 109

teplota pozadí 89, 94, 112, 133

Terrestrial Planet Finder 28, 30,98

textura vesmíru 89, 125, 154

thorium 53

Tipler, Frank 122, 183

Titan 14, 32

Tremaine, Scott 71

třírozměrný prostor 142, 143,
162,181

U

uhlík 14, 31, 52, 53, 54, 56, 74, 79, 155,177 ultrafialová 68, 69 Uran 34

uran 20,21,52,53, 141 **V**

vědecké vysvětlení 104 velká stěna 61, 62 velké třesky, jiné 133, 162, 170

velký křach 106, 117,122, 129, 130 vztažná soustava 138

W

Wheeler,John 180 **Z**

Zeldovič,Jakov 95, 180 Zwicky, Fritz 81

Čísla

51 Persey 25

edice a liter

Martin Rees

Náš neobyčejný vesmír

První vydání v českém jazyce.

Z anglického originálu Our cosmic habitat přeložil ing. Aleš Drobek.

Doslov napsal prof. RNDr. Jiří Bičák, DrSc.

Redakce Daniela Pilařová,

odborná revize překladu doc. RNDr. Jiří Podolský, CSc. Obálka, grafická úprava a sazba Martin

Radimecký. Vydalo nakladatelství DOKOŘÁN s.r.o.,

Kováků 10/788, Praha 5, [dokorandokoran.cz](http://www.dokorandokoran.cz), <http://www.dokoran.cz>, jako svou 16. publikaci.

Vytiskla Akcent tiskárna Vimperk s.r.o.,

Špidrova 49, Vimperk.

Doporučená cena 225,- Kč

ISBN 80-86569-17-9

Nakladatelství Dokořán Praha 2002

Ilustrace na obálce a v příloze pocházejí z Hubbleova vesmírného teleskopu (HST – s laskavým svolením STScI – Space Telescope Science Institute) a z Very Large Telescope (VLT – s laskavým svolením ESO – European Southern Observatory).

Je náš vesmír skutečně nekonečný?

Jaká je pravděpodobnost vzniku života?

Jak hluboko lze nahlédnout do budoucnosti vesmíru?

Vznikl celý náš vesmír skutečně z jediné nepatrné částičky?

Zdá se, že náš vesmír je podezřele „biofilní“, až nepravděpodobně příznivý pro vznik a zachování života. Jde o náhodu nebo o dílo Prozřetelnosti? Existuje však třetí možnost, jejíž fascinující důsledky rozvíjí v této knize Martin Rees, jeden z nejvýznamnějších astrofyziků současnosti. Albert Einstein kdysi vznesl otázku: „Mohl Bůh stvořit svět jinak?“ Kladná, avšak z hlediska moderní fyziky přijatelná odpověď otevírá na první pohled bizarní představu našeho vesmíru jako pouhé části ohromného „multiverza“, množiny souběžných vesmírů, z nichž většina je zcela bez života. To, co dnes nazýváme univerzálně platnými přírodními zákony, by pak nebylo ničím víc než jen pouhými místními vyhláškami, nastolenými v důsledku našeho konkrétního velkého třesku. A náš vesmír je podle Reese nejen méně mimořádnou, možná dokonce je méně zvláštní, než se zdá. Přírodní zákony umožnily vznik a vývoj života.

BEŽNÁ CENA 349,00 Sk

7520

M. Rees (ku)

0178

Meze předvídatelnosti

V srpnu 1999 byla jihozápadní část Anglie svědkem úplného zatmění Slunce. V Cornwallu, odkud jsem je sledoval, bylo zrovna polojasno. Pro mne bylo zatmění jen přírodním úkazem, jež jsem pozoroval společně s tisíci vyznavači New Age, astrologie a jim podobných. Tato podívaná byla však odjakživa zdrojem nejrůznějších naivních a prostoduchých představ.

Nejdřív ze všeho jsem si uvědomil, že astronomie je zdaleka nejstarší kvantitativní vědou. Zatmění Slunce uměli lidé alespoň přibližně předpovídat již v prvním tisíciletí př. n. l. Po několik staletí zaznamenávali Babyloňané nebeské události klínovým písmem na hliněné tabulky a tisíce těchto záznamů jsou dnes vystaveny v Britském muzeu. Zápisy zahrnovaly dostatečně dlouhá časová rozpětí, aby odhalily jisté pravidelnosti – zejména osmnáctiletý opakující se cyklus – díky nimž bylo možno předpovědět, kdy asi dojde k dalším zatměním. Tyto předpovědi byly snadno proveditelné i pro případ zatmění Měsíce, které je viditelné na polovině zemského povrchu – na rozdíl od zatmění Slunce, kde k „totalitě“ dochází pouze podél úzkého pásu.