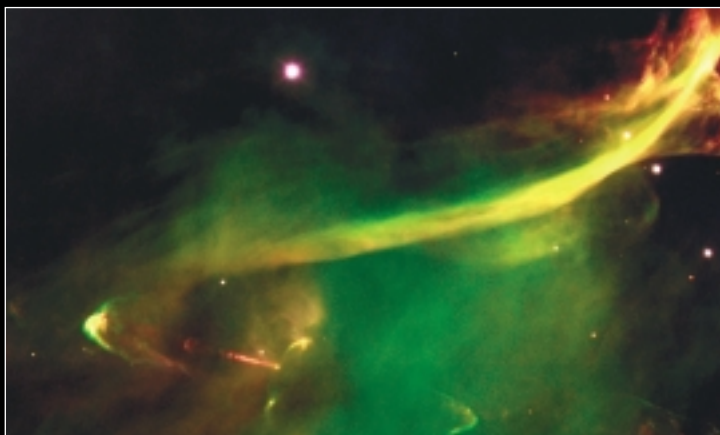


Hvězdy se rodí z mohutných prachoplynných oblaků. Na horním obrázku jsou zachyceny tři „pilíře“ molekulárního vodíku a prachu, dlouhé zhruba jeden světelný rok, v Orlí mlhovině (M16). Zaoblené výběžky, patrné zejména na detailu konce jednoho z pilířů, jsou globule – „hvězdná vejce“. Na dolním snímku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





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.



edice aliter

DOKORÁN

edice aliter

Martin **Rees**

Náš neobyčejný vesmír

Přeložil Aleš Drobek

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).

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

© 2001 Princeton University Press

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage and retrieval system, without permission in writing from the Publisher.

Translation © Aleš Drobek, 2002

ISBN 80-86569-17-9

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	114
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 Neobyčejný kosmolog a člověk (Jiří Bičák)	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)

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 pak J. 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.

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 seznáme-

ní 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 Johanesa 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. Jířímu Podolskému za odborný dohled. Rovněž děkuji prof. Jířímu Bičákovi za jeho přispění ke vzniku této knihy.

Martin Rees, červen 2002

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 mikrosvětlem. 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 nabídlý 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 milionkrát dále, než plane nejvzdálenější viditelná hvězda – ke galaxiím tak odlehkým, 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 ji-

né 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 spleť 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 nejprimitivnějším 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 sešklepily – 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 dekádách?

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 zrunko 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 – dlouhověké 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.

Od velkého třesku k biosférám

1. Planety a hvězdy

Slunce

„Zatímco se tato planeta otáčí ve shodě s neměnným zákonem tíže od nejprostších počátků, vyvinuly 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 stárí 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, prohlašoval, vyzařuje 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 teple 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, vysvětlujících 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 nahloidal důvěryhodnost Kelvinových propočtů dokonce ještě za jeho života. V roce 1896 objevil Henri Becquerel, že uran vyzařuje jakési podivné paprsky – to byl nejen první náznak existence doposud netušené energie, dřímající v atomech, ale také klíč ke skutečné

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 smršťen 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 nesestavili 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 zdání 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. Einsteiny rovnice každopádně rotující vesmíry umožňují. (Na jednom takovém vesmíru bylo založeno řešení, které objevil Gödel 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?*

* 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 deseti-miliardtinu hodnoty za každý rok.

Zajímavá je motivace, která Diraca k jeho myšlence vedla.¹ Povšiml 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.*

Jev takových rozměrů, jaký si představoval Dirac, můžeme dnes s jistotou vyloučit i na základě měření v naší sluneční soustavě. Kdyby měl Dirac pravdu, pak by se všechny

* 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.

oběžné dráhy planet postupně, a to s přesně vypočitatelnou 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 navrhoval Dirac. Nejpřesvědčivější 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 nevypočitatelně 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 mikrofyzika 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 miliontinu 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 miliontinu. 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 desetíně 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 do-

šlo 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 mikrofyzičce.

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 ovládnuty 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 spletené 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 ka-

tastroficky 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 výrokiem, 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 tehdejších 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 siločarách praví, že síla v takovémto poloměru se řídí zákonem převrácené čtvrté mocniny namísto obvyk-

lého převráceného kvadrátu. Ve třídimenziálním 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 třídimenziálním 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 Arthur 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.)*

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 neutrina a radioaktivitu. Takovýchto falešných nadějí bylo ještě ně-

* 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 $2^{256} \times 136$.) Tomu žádný žijící vědec nevěří a jen stěží by někdo projevil snahu proniknout do podstaty Eddingtonových úvah.

kolik. 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, 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 třídídimenzionálním 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 kos-

mologicky 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 počin 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.

edice aliter

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,

dokoran@dokoran.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