

„V kosmologii zažíváme revoluci stejně úžasnou, jako byla ta, kterou kdysi zahájil Koperník. Tady je k ní strhující a poutavý průvodce.“

IAN MCEWAN

**PROČ EXISTUJE NĚCO,
MÍSTO ABY NEEXISTOVALO NIC**

**VESMÍR
V
Z NICÉHO**

Lawrence M. Krauss

s doslovem **Richarda Dawkinse**

UNIVERSUM

VESMÍR Z NIČEHO

Lawrence M. Krauss

KNIŽNÍ KLUB

Z anglického originálu *A Universe from Nothing*, vydaného nakladatelstvím Free Press, A Division of Simon & Schuster, Inc., v New Yorku v roce 2011, přeložil Jiří Langer

Translation © Jiří Langer, 2013
Copyright © 2012 by Lawrence M. Krauss

ISBN 978-80-242-4145-6

Na tomto místě se v roce 1897 nic nepříhodilo.
– PAMĚTNÍ DESKA NA HOSTINCI WOODY CREEK TAVERN
WOODY CREEK, COLORADO

Tuto knihu věnuji Thomasovi, Patty, Nancy a Robinovi,
kteří mne inspirovali, abych vytvořil z ničeho něco...

LAWRENCE M. KRAUSS

Napsali o knize:

„Nic není nic. Nic je něco. Tak se vesmír mohl zrodit z
prázdnoty – *Vesmír z ničeho* tlumočí tuto hlubokou
myšlenku, která někoho znepokojuje, zatímco jiní ji
považují za osvícenou. Prozatím představuje program
dalšího pracovního dne fyzika Lawrence Krausse.“

NEIL DEGRASSE TYSON, *astrofyzik*
Americké přírodovědné muzeum

„Lidé říkají, že z ničeho nemůže povstat nic jiného než zase
nic. Lawrence Krauss naštěstí neposlouchal. Když čtete
jeho knihu o kosmickém nic, nutně se s vámi stane něco
velkého – vaše mysl se začne rozpínat tak rychle jako raný
vesmír.“

SAM KEAN, *americký popularizátor vědy*

Obsah

Předmluva.....	7
PŘÍBĚH KOSMICKÉHO TAJEMSTVÍ: ZAČÁTEK.....	16
PŘÍBĚH KOSMICKÉHO TAJEMSTVÍ: VÁŽENÍ VESMÍRU	38
SVĚTLO Z POČÁTKU ČASU	52
MNOHO POVYKU PRO NIC.....	68
SPLAŠENÝ VESMÍR.....	87
OBĚD ZDARMA NA KONCI VESMÍRU.....	101
NAŠE BÍDNÁ BUDOUCNOST.....	114
VELIKÁ NÁHODA?	130
NIC JE NĚCO.....	148
NIC JE NESTABILNÍ.....	160
NOVÉ LEPŠÍ SVĚTY	179
Doslov.....	189
Doslov Richarda Dawkinse	193

Předmluva

Ať je to sen, nebo noční můra, naši zkušenost musíme prožívat takovou, jaká je. Žijeme ve světě, který je prostoupený skrz naskrz vědou, a ta je jak úplná, tak reálná. Nemůžeme jej proměnit ve hru jednoduše jen tím, že si zvolíme klub, kterému budeme fandit.

– JACOB BRONOWSKI*

Hned na začátku musím uvést, že nejsem nakloněn přesvědčení, které je základem všech světových náboženství, totiž že stvoření vyžaduje Stvořitele. Každý den se náhle objevují krásné a zázračné věci, ať už jsou to sněhové vločky v zimním ránu či jasná duha po letní odpolední přeháňce. Přesto nikdo, kromě těch nejzarytějších fundamentalistů, nebude tvrdit, že tyto jednotlivé věci s láskou a péčí a hlavně za určitým účelem stvořila božská inteligence. Řada vědců i laiků má radostný pocit z toho, že existenci věcí kolem nás umíme vysvětlit na základě fyzikálních zákonů.

Můžeme se samozřejmě ptát, a řada lidí to dělá, jaký je původ fyzikálních zákonů. Nabízí se sugestivní otázka: „Kdo stvořil tyto zákony?“ I když podobné otázky zodpovíte na první úrovni, stále budou někteří klást otázky typu „Odkud se to vzalo?“ či „Kdo stvořil to a to?“ a podobně.

Řadě přemýšlivých lidí se zdá, že je třeba se ptát po první příčině, jak to formulovali Platon, Aristoteles či svatý Tomáš Akvinský a jak problém vidí i moderní katolická církev. Představa první příčiny vede k představě Stvořitele

* Britský vědec a popularizátor polského původu (1908-1974).

všeho, co existuje či existovat bude, někoho, kdo je věčný a všudypřítomný.

Jenže vyhlášení nutnosti první příčiny otevírá další otázku: „Kdo stvořil Stvořitele?“ Konec konců, jaký je rozdíl v uznání věčně existujícího Stvořitele a věčně existujícího vesmíru bez Stvořitele?

Tyto argumenty mi vždy připomenou známou historku o učenci přednášejícím o původu vesmíru (někdy je ztotožňován s Bertrendem Russellem, jindy s Williamem Jamesem), kterému oponuje jedna z posluchaček, že svět spočívá na veliké želvě, která stojí na další želvě a ta zase na další... a tak pořád dál! Nekonečná regrese nějakých tvořivých sil, ve které jedna postupně tvoří druhou, i mnohem mohutnějších sil, než jsou želvy, nás nepřivede blíže k řešení problému, kdo či co dalo vznik vesmíru. Nicméně metafora nekonečné regrese může být blíž reálnému procesu, jenž dal vznik vesmíru, než představa jediného Stvořitele.

Může se zdát uspokojivé, že věčný Bůh odstraňuje potřebu nekonečné regrese. Zde bych ale vyhlásil svoji mantru: vesmír je takový, jaký je, bez ohledu na to, jestli se nám to líbí, nebo ne. Existence nebo neexistence Stvořitele je nezávislá na našich touhách. Vesmír bez Boha a účelu se může zdát krutý a nesmyslný, z toho samotného však ještě neplyne, že Bůh skutečně existuje.

Naše mysl může mít problém s pochopením nekonečen, i když výplod lidské mysli – matematika – si s nimi dovede docela dobře poradit. To však ještě neznamená, že nekonečna neexistují. Náš vesmír může mít nekonečnou prostorovou i časovou rozlohu. Nebo může platit, jak to jednou formuloval Richard Feynman, že fyzikální zákony jsou jako cibule s nekonečně mnoha slupkami a další slupka se dostává ke slovu tehdy, když přejdeme na nová měřítka. *Prostě nevíme.*

Po více než dva tisíce let byla otázka „Proč něco existuje, místo aby neexistovalo nic?“ chápána jako argument proti představě, že se náš vesmír – který obsahuje obrovský počet hvězd, galaxií, lidských bytostí a kdo ví čeho ještě – vynořil bez nějakého plánu, záměru či cíle. Obvykle bývá pokládána za otázku filosofickou či náboženskou, ale je to především a hlavně otázka týkající se přírodního světa. Je proto na místě pokusit se ji vyřešit především a hlavně na základě přírodovědy.

Záměr této knihy je jednoduchý. Chci ukázat, jakým způsobem se moderní věda může zabývat a jak se skutečně zabývá otázkou „Proč něco existuje, místo aby neexistovalo nic?“, byť tato otázka často vystupuje v různém převleku. Odpovědi na různé její aspekty, které až dosud byly nalezeny na základě úchvatně krásných experimentálních pozorování, vedou bez rozdílu k závěru, že získat něco z ničeho není problém. Ve skutečnosti se zdá, že náš vesmír *mohl* opravdu vzniknout procesem, který se dá popsat jako „něco z ničeho“ – a navíc to možná bylo *nezbytné*.

Zvýraznil jsem slovo „mohl“, protože nikdy nemůžeme mít dostatek empirických informací, abychom tuto otázku dokázali zodpovědět zcela jednoznačně. Ale to, že vesmír z ničeho se zdá být věrohodná konstrukce, je určitě významné, alespoň pro mě.

Než pokročíme dále, chci věnovat pár slov pojmu „nic“, což je téma, ke kterému se později vrátím podrobněji. Když jsem totiž na toto téma mluvil na veřejnosti, moje „nic“ velice dráždilo filosofy a teology, kteří namítali, že já jako vědec pojmu „nic“ vůbec nerozumím. (Svádí mě to k poznámce, že nic je předmět, na který jsou právě teologové experti.)

Trvají na tom, že „nicota“ není nic z toho, o čem já mluvím. Nic podle nich znamená neexistenci, jenže je to neexistence v jakémsi vágním a špatně definovaném

smyslu. Připomíná mi to moje snahy začít diskusi s kreacionisty tím, že je požádám o definici „inteligentního plánu“. Jenže taková snaha skončí zjištěním, že jasnou definici nemají, nanejvýše řeknou, co takovým plánem není. Inteligentní plán je prostě jednotící deštník, pod který se skryje vše, co oponuje evoluci. Podobně někteří filosofové a mnozí teologové definují a redefinují „nic“ takovým způsobem, aby to bylo něco jiného, než co přírodovědci pod tímto pojmem chápou.

Zde ale podle mého názoru tkví příčina intelektuálního bankrotu většiny teologie a části moderní filosofie. Protože „nic“ je každým coulem právě tak fyzikální jako „něco“, jmenovitě je-li definováno jako „absence něčeho“. Sluší se tedy přesně rozumět fyzikální povaze obou těchto veličin. A bez vědy jsou všechny definice pouhá slova.

Když se před sto lety řeklo, že „nic“ je to, co je ve zcela prázdném prostoru, v němž se nenachází žádné materiální jsoouco, asi nikdo moc neodporoval. Jenže za posledních sto let jsme se poučili, že prázdný prostor má daleko k neporušené nicotě, jak se předpokládalo až do doby, kdy jsme se více poučili o tom, jak příroda funguje. Religiózní kritici mi nyní vytýkají, že nemám mluvit o prázdném prostoru jako o „ničem“, nýbrž jako o „kvantovém vakuu“, a odlišit tak prázdný prostor od filosoficky a nábožensky idealizovaného „nic“.

Tak dobře. Co ale když chceme pod „nicotou“ chápat i nepřítomnost samotného prostoru a času? Stačí to? Opět, domnívám se, že by to stačilo – v určitém okamžiku. My si ale dále ukážeme, že i prostor a čas se mohou spontánně objevit. Moji oponenti by na to řekli, že ani toto „nic“ není to opravdové „nic“. Jsou přesvědčení, že utéci z toho skutečného „nic“ vyžaduje Boží zásah, a tak „nic“ je definováno jako to, „z čeho jen Bůh může ‚něco‘ stvořit“.

Řada oponentů, s nimiž jsem o tom debatoval, mi řekla, že když existuje „potencialita“ něco vytvořit, není to stav

pravé nicoty. A je pravda, že když existují přírodní zákony, které v sobě mají takovou potencialitu, vyvádí nás to ze skutečného království neexistence. Když pak ale argumentuji, že možná i přírodní zákony vznikly spontánně – a zdá se, že zde taková možnost je –, zase to není to pravé, protože stav, ve kterém se mohou vynořit přírodní zákony, není to pravé „nic“.

Nekonečně mnoho želv na sobě? Jistěže tomu nevěřím. Příklad se želvami má ale svůj půvab, protože věda mění hříště poznání způsobem, který v mnoha lidech budí nepříjemné pocity. I to je samozřejmě jedním z cílů vědy (v sokratovských časech bychom řekli „filosofie přírody“). Necítíme-li se dobře, je to znamení, že jsme na prahu něčeho nového. Dovolávat se však Boha, kdykoli narazíme na obtížné otázky „jak“, je intelektuální lenost. Vždyť kdyby neexistovala potenciální možnost něco stvořit, „nic“ by nemohl stvořit ani Bůh. Tvrdit, že možnosti nekonečné regrese se vyhneme zavedením představy Boha, protože Bůh existuje mimo přírodu, a proto sám „potenciál“ existence není součástí nicoty, ze které se existence vynořila, to je jen sémantický hokus-pokus.

Mým pravým cílem je ukázat, že věda skutečně *změnila* hříště, takže na místo abstraktních a neužitečných debat o povaze nicoty nastoupilo užitečné, na zkušenosti založené vědecké zkoumání, jak mohl vesmír opravdu vzniknout. Vysvětlím také možné důsledky tohoto obrazu pro naši současnost i budoucnost.

Zdůrazněme ještě jednu velmi důležitou skutečnost. Pro pochopení vývoje vesmíru jsou náboženství a filosofie přinejlepším irelevantní. Často kalí vody, například když se soustředí na diskusi pojmu „nic“, aniž tento termín nějak definují pomocí empiricky přístupných veličin.

I když vzniku našeho vesmíru ještě plně nerozumíme, není žádný důvod, proč by se mělo uvažování v tomto směru změnit. Jsem navíc osobně přesvědčen, že cesta,

kteřou jde v tomto směru věda, se ukáže správnou pro zkoumání oblastí, jež náboženství dnes pokládá za své výhradní teritorium. Příkladem takového teritoria je lidská morálka a její původ.

Věda je v prohlubování našeho porozumění tak efektivní, protože vědecký étos je založen na třech klíčových principech: (1) jít po empirických stopách, ať vedou kamkoli; (2) přijde-li někdo s novou teorií, musí být právě tak ochoten prokázat její nesprávnost, jako chce dokázat její správnost; (3) konečným arbitrem pravdy je experiment, ne uspokojení, které se získá z apriorních přesvědčení, nebo krása a elegance teoretického modelu.

Budu zde popisovat výsledky experimentů, které nejen že se objevily v pravou chvíli, nýbrž byly i neočekávané. Tapiserie, kterou věda tká při popisu vývoje našeho vesmíru, je mnohem bohatší a fascinuje více než výpravné obrazy a imaginativní příběhy, které kdy lidstvo vytvořilo. Příroda nám chystá mnohem větší překvapení, než na která je schopna přijít lidská představivost.

Za poslední dvě desetiletí série nových poznatků v kosmologii, fyzice částic a gravitaci zásadně změnila náš pohled na vesmír. Nové poznatky mají udivující a hluboké důsledky pro naše porozumění, jak vesmír začal a jaká bude jeho budoucnost. Dovolíte-li mi slovní hříčku, nic není tak zajímavé, jako psát o ničem.

Skutečnou inspirací pro tuto knihu nebyla potřeba rozbít mýty nebo útočit na víru, nýbrž snaha oslavit lidské poznání a spolu s tím načrtnout obraz udivujícího a překvapujícího vesmíru, ve kterém žijeme.

Naše hledání nás zavede na spletitou cestu k těm nejvzdálenějším pozorovatelným končinám na okraji našeho rozpínajícího se vesmíru od raných okamžiků po velkém třesku až do daleké budoucnosti a zahrne i ta možná nejpřekvapivější odhalení za posledních sto let.

Přímým podnětem pro napsání této knihy byl významný objev, ke kterému jsem v posledních třech desetiletích přispěl svým vlastním vědeckým výzkumem. Teoretická i experimentální bádání vedla k závěru, že většina energie v našem vesmíru má záhadnou podobu a její přítomnost všude v prostoru neumíme dnes plně vysvětlit. Prostupuje i jinak zcela prázdný prostor a nelze ji z něho odčerpat. Tímto objevem se zcela změnil charakter moderní kosmologie.

Jedním z jeho důsledků je, že poskytl novou podporu představě vesmíru vzniklého z dokonalého nic. Donutil nás též znovu promyslet jak procesy, jimiž se řídí vývoj vesmíru, tak i otázku, zda to, co pokládáme za základní přírodní zákony, jsou skutečně ty fundamentální zákony. Díky obojímu je dnes otázka „Proč něco existuje, místo aby neexistovalo nic?“ mnohem méně obtížná, ne-li dokonce snadná – později vyložím proč.

Záměr napsat tuto knihu se zrodil v říjnu 2009, kdy jsem měl v Los Angeles přednášku se stejným názvem. Tam vznikl videozáznam mé přednášky, který na YouTube zpřístupnila nadace Richarda Dawkinse a který vzbudil tak trochu senzaci. Shlédl ji téměř milion zájemců a početné kopie některých částí byly využity v debatách skupin ateistů i věřících.

Živý zájem o přednášku a na druhé straně některé zavádějící komentáře, jež se k ní objevily v mediích, mě přivedly k tomu, abych myšlenky v ní obsažené rozvedl podrobněji. Výsledkem je tato knížka. Přidal jsem některé další argumenty, protože tehdejší přednáška se soustředila téměř výhradně na současnou revoluci v kosmologii a změnu, kterou přinesla pro náš obraz vesmíru, jmenovitě na nové poznatky o energii a geometrii vesmíru, jež probírám v prvních dvou třetinách knihy.

Od té doby jsem hodně uvažoval o myšlenkách, které tvořily mé hlavní argumenty, i o tom, co jim předcházelo, a

diskutoval jsem je s řadou kolegů, kteří reagovali s nakažlivým entusiasmem. Do větší hloubky jsem promýšlel dopad pokroku v částicové fyzice na otázku vzniku našeho vesmíru a na jeho povahu. A také jsem o některých svých argumentech debatoval s jejich přesvědčenými oponenty, a tím jsem získal určitý vhled, jenž mi pomohl mé ideje rozvinout dále.

Při propracování myšlenek, které zde předkládám, mi neobyčejně pomohly diskuse s těmi nejhlobavějšími z mých fyzikálních kolegů. Především bych chtěl poděkovat Alanu Guthovi a Franku Wilczekovi, kteří nelitovali času na rozsáhlou korespondenci a dlouhé diskuse se mnou. Díky jim se mi podařilo zbavit se některých nejasností, jež mne trápily, a v některých případech naopak posílit moji interpretaci.

Povzbuzen zájmem Leslieho Mereditha a Dominicka Anfusa z nakladatelství Free Press, Simon & Schuster o knihu na toto téma jsem kontaktoval svého přítele Christophera Hitchense, kterého pokládám za jednoho z nejvzdělanějších a nejbystřejších lidí, co znám, a který používal některé argumenty z mé přednášky ve své pozoruhodné sérii debat o vědě a náboženství. Christopher se přes své veliké zdravotní potíže laskavě, šlechetně a odvážně uvolil napsat ke knize úvod. Za tento projev přátelství jsem mu byl neskonale vděčen. Bohužel choroba jej nakonec přemohla natolik, že se mu přes veškerou jeho snahu nepodařilo už úvod dokončit. Tragicky odešel těsně před tím, než se objevilo první vydání této knihy. Chybí mi a svět bez něj mi připadá prázdnější. Naštěstí už dříve přislíbil známý vědec Richard Dawkins, můj výmluvný a neobyčejně bystrý přítel, že ke knize napíše doslov. Když jsem dokončil její první náčrt, velmi rychle jej skutečně napsal. Zůstal jsem v úžasu nad krásou, srozumitelností a současně skromností jeho textu. Christopherovi, Richardovi i kolegům, které jsem zmínil výše, patří můj nejhlubší dík

za jejich podporu a povzbuzení i za to, že mne motivovali,
abych si zase sedl k počítači a začal psát.

PŘÍBĚH KOSMICKÉHO TAJEMSTVÍ: ZAČÁTEK

V každé cestě se skrývá počáteční tajemství: jak se poutník dostal do výchozího bodu?

– LOUISE BOGAN,
Cesta kolem mého pokoje

Byla temná a bouřlivá noc

Po desetiletí intenzivního intelektuálního úsilí Albert Einstein dokončil v roce 1915 své největší životní dílo – novou teorii gravitace, kterou nazval obecná teorie relativity. Nebyla to však jen nová teorie gravitace, byla to současně nová teorie prostoru a času. A byla to i jediná teorie, která dovedla popsat nejen pohyb těles vesmírem, nýbrž i vývoj vesmíru jako celku.

Byl v tom ovšem přece jen háček. Když Einstein užil svou teorii na vesmír jako celek, ukázalo se, že jeho model vesmíru nepopisuje ten vesmír, ve kterém zřejmě žijeme.

Dnes, téměř po sto letech, je těžké plně ocenit, jakými hlubokými změnami prošel obraz vesmíru za jediný lidský život. V roce 1917 si vědecké společenství představovalo, že vesmír je neproměnný a věčný a sestává z jediné galaxie, jež je obklopena nekonečným temným a prázdným prostorem. Tuto galaxii, ve které žijeme, nazýváme Mléčná dráha. K podobnému názoru koneckonců dojdete, když se díváte na noční nebe jen prostým okem nebo malým dalekohledem, a vědci na počátku dvacátého století neměli dostatečné důvody, aby soudili jinak.

Stejně jako v teorii Newtonově, i v teorii, kterou Einstein v roce 1915 předložil, byla gravitace mezi tělesy vždy přitažlivá. Proto se v prostoru nemůže nacházet nějaký soubor těles, jenž by byl věčně v klidu, vzájemná přitažlivost těles způsobí jeho zhroucení a vesmír proto nemůže být neměnný, statický.

Obecná teorie relativity zdánlivě neposkytovala správný obraz vesmíru, a to se Einsteina dotklo víc, než bychom si na první pohled mohli myslet. Zde si dovolím silně oponovat mýtu o Einsteinovi a obecné relativitě, který mne vždy popuzoval. Podle něj Einstein pracoval po léta v izolaci, užíval jen čistého rozumu a nakonec přišel s obdivuhodnou teorií, která nebyla bezprostředně svázaná s realitou. (Takto možná dnes pracují někteří teoretici strun!) To je ale představa velmi vzdálená skutečnosti.

Einstein se vždy nechával experimenty a pozorováním významně vést. Provedl řadu „myšlenkových experimentů“, po řadu let se lopotil, učil se novou matematiku a několikrát podlehl falešným teoretickým vábením, než došel ke konečné, matematicky krásné teorii. Jeden velice důležitý moment na této cestě však měl co dělat s pozorováním. V posledních hektických týdnech, kdy dokončoval svou teorii a předháněl se s německým matematikem Davidem Hilbertem, kdo dříve nalezne konečný tvar, užil své rovnice k vysvětlení fenoménu, jenž podle Newtonovy teorie byl obskurní. Jednalo se o anomální posuv perihélia Merkura. (Perihélium je bod na dráze planety, který je Slunci nejbližší.)

Astronomové si všimli již dlouho předtím, že dráha Merkuru se lehce liší od Newtonovy předpovědi. Nebyla to dokonalá do sebe uzavřená elipsa: po jednom oběhu se Merkur nevracel do téhož bodu, nýbrž do bodu velmi blízkého. Tento bod ležel o něco dále ve směru oběhu. Dráha Merkuru tedy vytvářela jakousi růžici, i když po každém oběhu byla odchylka od přesné elipsy jen nepatrná.

Za celé století se perihélium posunulo jen o 43 úhlových vteřin, tedy asi o setinu stupně.

Když Einstein spočítal dráhu Merkuru podle své teorie, toto číslo mu s velikou přesností vyšlo. Einsteinův životopisec Abraham Pais tvrdí: „Tento objev byl snad nejsilnějším emotivním zážitkem Einsteinova vědeckého života, možná celého jeho života.“ Prý se mu rozbušilo srdce, „jako by něco uvnitř prasklo“. O měsíc později, když jednomu svému příteli vysvětloval, že „teorie má neobyčejnou matematickou krásu“, jeho nadšení matematickou formou teorie bylo zjevné, ale bušení srdce je neprovázelo.

Zdánlivý nesouhlas mezi obecnou teorií relativity a stacionaritou vesmíru netrval dlouho. Einstein totiž pozměnil svou teorii úpravou, kterou později nazval největším omylem svého života – o tom však později. S výjimkou některých škol ve Spojených státech dnes každý uznává, že vesmír statický není, nýbrž že se rozpíná a že jeho expanze začala neobyčejně horkým a hustým velkým třeskem před zhruba 13,72 miliardy let. Neméně důležité je, že podle našich dnešních vědomostí je naše galaxie jen jednou ze 400 miliard galaxií v pozorovatelném vesmíru. Jsme v pozici raných pozemských kartografů: teprve začínáme s mapováním vesmíru na těch největších škálách. Není divu, že poslední desetiletí byla svědky revolučních změn našich představ o vesmíru.

Objev, že vesmír není neměnný, ale rozpíná se, měl hluboké filosofické i náboženské důsledky, protože naznačoval, že náš vesmír měl počátek v čase. Počátek naznačuje stvoření a představa stvoření rozvířila emoce.

Trvalo několik desetiletí, než po objevu rozpínání vesmíru v roce 1929 se představě velkého třesku dostalo nezávislého empirického potvrzení, v roce 1951 jej však papež Pius XII. pojal jako důkaz pravdivosti sdělení biblické knihy *Genesis*. Jeho slovy:

„Zdá se, že se současná věda dokázala jedním pohybem vrátit o staletí zpět a najít svědectví o primordiálním *Fiat lux* (Budiž světlo), o okamžiku, kdy spolu s hmotou vytrysklo z ničeho moře světla a záření, z jehož vírů se vydělily prvky a vytvořily miliony galaxií. A tak, s konkrétností charakteristickou pro fyzikální důkazy, [věda] potvrdila vznik vesmíru a dobře podloženou dedukci epochy, kdy svět vyšel z rukou Stvořitele. Bylo tedy stvoření. My říkáme: Stvořitel existuje. Existuje tedy Bůh!“

Celá historie je ovšem o něco zajímavější. První, kdo předložil hypotézu velkého třesku, byl ve skutečnosti belgický kněz a fyzik Georges Lemaître, který v sobě kombinoval řadu schopností. Původně studoval inženýrství a za první světové války se mu dostalo vyznamenání jako dělostřelci. Potom přesešel na matematiku a současně studoval na kněze, načež se začal věnovat kosmologii jako žák proslulého britského astrofyzika sira Arthura Eddingtona. Přešel na Harvardovu univerzitu a nakonec svůj druhý doktorát, tentokrát z fyziky, získal na Massachusettském technickém institutu (MIT).

V roce 1927, ještě než svůj druhý doktorát získal, našel řešení Einsteinových rovnic obecné teorie relativity, které předpovídalo existenci nestatického vesmíru a naznačovalo, že vesmír, ve kterém žijeme, se rozpíná. Tento návrh se zdál šokující a sám Einstein jej barvitě odmítl slovy: „Vaše matematika je v pořádku, ale vaše fyzika je ohavná.“

Lemaître se však nenechal odradit a v roce 1930 přišel s představou, že náš vesmír začal jako infinitesimální bod, kterému říkal „primordiální atom“, a že tento počátek, možná s narážkou na *Genesis*, představoval „den bez včerejška“.

Takže velký třesk, o kterém hovořil papež Pius, byl poprvé navržen knězem. Mohli bychom si myslet, že papežovo ocenění i potěšilo, ten už se ale dávno předtím zbavil představy, že vědecká teorie může mít teologické důsledky, a již z článku o velkém třesku z roku 1931 nakonec odstranil odstavec, který něco takového naznačoval.

K papežovu tvrzení, že velký třesk potvrzuje genezi, vyslovil v roce 1951 výhrady (i proto, že pokud by se teorie velkého třesku ukázala nesprávnou, zpochybňovalo by to katolický přístup ke genezi). V té době byl zvolen za člena Vatikánské akademie věd a později se stal jejím předsedou. K teorii velkého třesku se vyjádřil takto: „Jak já to vidím, tato teorie zůstává stranou jakýchkoli metafyzických či náboženských otázek.“ Papež už pak nikdy svůj původní názor veřejně nepřednesl.

Z této historiky plyne cenné poučení. Jak Lemaître tvrdil, je vědeckou, a nikoli teologickou otázkou, zda k velkému třesku došlo nebo nedošlo. Dnes existuje mnoho důkazů, že velký třesk skutečně nastal. Stále to ale můžeme interpretovat různě podle svého metafyzického či náboženského přesvědčení. Pokud vám to vyhovuje, můžete přijmout stanovisko, že velký třesk napovídá, že existuje Stvořitel, nebo můžete zdůrazňovat skutečnost, že matematika obecné teorie relativity umí vysvětlit vývoj vesmíru od velkého třesku bez jakéhokoli zásahu božské bytosti. Ale takové metafyzické spekulace vůbec nezávisí na tom, zda představa velkého třesku je fyzikálně správná, a nijak nepřispívají k našemu porozumění jeho mechanismu. Jdeme-li ovšem za samotnou existenci rozpínání vesmíru a snažíme se pochopit fyzikální principy, jež by mohly počátek vesmíru vysvětlit, fyzika nám může ozřejmit řadu věcí – a já dále zdůvodním, že to opravdu dělá.

Každopádně to nebyl ani Lemaître, ani papež Pius, kdo přesvědčil vědecký svět, že se vesmír skutečně rozpíná. Jak je tomu v dobré vědě vždy, důkaz přinesla pečlivá pozorování. V tomto případě je vykonal Edwin Hubble, jehož životní dráha mne naplňuje vírou v lidstvo – začal jako právník a pak se stal astronomem.

Už v roce 1925 udělal Hubble průlomový objev s novým třímetrovým Hookerovým dalekohledem na Mount Wilsonu, v té době největším teleskopem na světě. (Pro srovnání, dnes se staví dalekohledy s průměrem více než desetkrát větším a se stokrát větší plochou.) Pomocí dalekohledů, jež byly k dispozici dříve, zaznamenávali astronomové na obloze mlhovité objekty, které zjevně nebyly hvězdami podobnými ostatním hvězdám v galaxii. Dali jim jméno „mlhoviny“, latinsky *nebulae*. Již dříve se vedly diskuse, zda tyto objekty leží v naší Galaxii nebo mimo ni.

Protože tehdy převládal názor, že naše galaxie je vše, co ve vesmíru existuje, většina astronomů patřila do „vnitrogalaktického“ tábora, jehož vůdcem byl proslulý astronom Harlow Shapley z Harvardovy univerzity. Shapley opustil školu v páté třídě, pak se vzdělával soukromě a nakonec absolvoval Princetonskou univerzitu. První obor, který tam našel v seznamu přednášek, byla astronomie, a tak studoval astronomii. Ve své diplomové práci ukázal, že Mléčná dráha je podstatně větší, než se původně myslelo, a že Slunce neleží v jejím středu, nýbrž v jednom z jejích celkem nezajímavých zákoutí. Byl v astronomii velice vlivný, a proto jeho názory na povahu mlhovin měly velmi silný dopad.

Na Nový rok 1925 uveřejnil Hubble výsledky svého studia takzvaných spirálních mlhovin, ve kterých se mu povedlo identifikovat jistý typ proměnných hvězd zvaných cefeidy. Mezi mlhovinami, které sledoval, byla i mlhovina v souhvězdí Andromedy.

Cefeidy jsou hvězdy, jejichž jas se periodicky mění. Poprvé byly pozorovány v roce 1784. V roce 1908 pracovala na harvardské observatoři výpočtářka Henrietta Swan Leavittová, která si velmi přála být astronomkou. (V té době ženy nesměly pracovat s teleskopem, „výpočtářky“ zanašely do katalogu jas hvězd zaznamenaných dalekohledem na fotografických deskách.) Byla dcerou pastora, jednoho z přímých potomků otců poutníků. Podařil se jí podivuhodný objev, který ještě dále podpořila v roce 1912. Všimla si, že mezi jasem cefeid a jejich periodou platí úměrnost. To znamenalo, že všechny cefeidy se stejnou periodou mají stejný absolutní jas. Porovnáním pozorovaného jasu různých cefeid se stejnou periodou se pak dal určit relativní rozdíl jejich vzdáleností.

Pozorovaný jas hvězd totiž klesá přímo úměrně druhé mocnině vzdálenosti od hvězdy. Každou kulovou plochou opsanou kolem hvězdy totiž prochází za stejnou dobu stejné celkové množství světla. Protože povrch koule roste úměrně druhé mocnině poloměru, intenzita světla, tedy energie, která proteče jednotkovou ploškou, klesá na opsaných koulích stejně rychle, jako roste jejich povrch. Protože u cefeid lze určit skutečné množství vyzařované energie, porovnáním jejich skutečného jasu s pozorovanou intenzitou získáme jejich vzdálenost.

Určování vzdáleností nebeských objektů bylo vždy jedním z velkých problémů astronomie. Objev Leavittové představoval revoluční průlom. (Hubble, který sám nikdy nedostal Nobelovu cenu, často prohlašoval, že práce Leavittové by si ji zasloužila. Byl v tom možná i kus sobeckého zájmu, protože on by byl přirozeným kandidátem na sdílení ceny s ní, protože jeho přelomové práce vycházely z jejího objevu.) V roce 1924 skutečně začaly administrativní přípravy pro nominaci Leavittové na Nobelovu cenu, jenže se zjistilo, že už o tři roky dříve zemřela na rakovinu. Silou své osobnosti, schopností

sebepropagace a pozorovatelskou zručností se stal Hubble proslulým, zatímco jméno Leavittové znají jen odborníci.

Pomocí vztahu mezi svítivostí a periodou, který objevila Leavittová, Hubble na základě svého pozorování prokázal, že cefeidy v mlhovině Andromedy a v několika dalších mlhovinách jsou příliš vzdálené na to, aby mohly patřit k Mléčné dráze. Ukázalo se, že mlhovina Andromedy je jiným ostrovním vesmírem, jinou spirální galaxií téměř shodnou s galaxií naší. Dnes víme, že takových galaxií je v pozorovatelném vesmíru alespoň 100 miliard. Hubbleovy výsledky byly natolik jednoznačné, že astronomické společenství – včetně Shepleyho, který shodou okolností byl v té době ředitelem Harvardské univerzitní observatoře, kde Leavittová učinila svůj převratný objev – rychle přijalo skutečnost, že Mléčná dráha neobsahuje vše, co je kolem nás. Rozměr známého vesmíru jediným skokem mnohonásobně vzrostl proti tomu, jaký se mu připisoval po staletí. Podstatně se změnila i celková představa o vesmíru.

Po tomto dramatickém objevu by si Hubble mohl dopřát odpočinku na vavřínech. On však byl na lovu větší ryby, pátral po ještě vzdálenějších galaxiích a měřeními stále méně zřetelných cefeid se snažil mapovat vesmír na větších a větších měřítkách. A přitom objevil něco mnohem pozoruhodnějšího – že se vesmír rozpíná!

K tomuto závěru dospěl porovnáním svých měření vzdáleností galaxií s měřeními jiného druhu, prováděnými americkým astronomem Vestem Slipherem. Ten měřil spektra světla přicházejícího z těchto galaxií. Abychom pochopili význam spektrálních měření, musíme se vrátit k samým začátkům moderní astronomie.

Jedním z nejdůležitějších objevů astronomie bylo, že hvězdy jsou složeny ze zhruba stejného materiálu jako Země.

Podobně jako řada dalších základních poznatků je tento objev spjat s Isaacem Newtonem. Ten v roce 1665, tedy

ještě jako mladý vědec, uskutečnil experiment, při němž do zatemněné místnosti pronikal tenký svazek světla malým otvorem v okenici a dopadal na optický hranol. Zjistil, že světlo se rozkládá na barvy známé z duhy. Usoudil proto, že všechny tyto barvy jsou ve slunečním světle obsaženy, a měl pravdu.

O sto padesát let později studoval podrobněji světlo rozložené hranolem další vědec, který zjistil, že barevné spektrum je přerušováno temnými čarami. To znamenalo, že není přítomno světlo některých vlnových délek. Dospěl k závěru, že temné čáry jsou důsledkem pohlcení světla některých barev materiálem ve vnější atmosféře Slunce. Podobné „absorpční čáry“ vznikají v pozemských laboratořích při průchodu světla různými látkami. Ve slunečním spektru byly čáry odpovídající pohlcení světla vodíkem, kyslíkem, železem, sodíkem a vápníkem.

V roce 1868 fyzik Joseph von Fraunhofer objevil v žluté části slunečního spektra dvě čáry, které neodpovídaly žádnému prvku v té době známému na Zemi. Prohlásil, že odpovídají nějakému neznámému prvku, a dal mu podle řeckého názvu Slunce jméno helium. Na Zemi byl tento prvek izolován až o generaci později.

Pozorování spekter záření přicházejícího z jiných hvězd se stalo důležitým vědeckým nástrojem pro studium složení, teploty a vývoje těchto hvězd. Už od roku 1912 Slipher systematicky zkoumal spektra přicházející z různých mlhovin. Zjistil, že jsou podobná spektrům z blízkých hvězd až na to, že absorpční čáry jsou posunuty o stejnou hodnotu vlnové délky.

Tomuto úkazu se později porozumělo na základě známého „Dopplerova jevu“ který v roce 1842 objevil rakouský fyzik Christian Doppler.* Vlny, které přicházejí ze vzdalujícího se zdroje, jsou roztaženy, zatímco vlny z

* Christian Doppler byl v době tohoto objevu profesorem pražského Polytechnického ústavu, předchůdce ČVUT. Pozn. překl.

přibližujícího se zdroje, jsou stlačeny. Tento jev známe dobře ze zkušenosti. Já si vždy vzpomenu na kreslený vtip Sidneyho Harrise, na němž se dva kovbojové na koních dívají za vzdalujícím se vlakem, a jeden říká druhému: „Miluji houkání vlaku ujíždějícího pustinou, fascinuje mě, jak se jeho frekvence mění Dopplerovým jevem!“ Houkání vlaku nebo sanitky zní vyšším tónem, když se k nám vozidlo blíží, a nižším, když se vzdaluje.

Co platí pro vlny zvukové, platí pro všechny vlny, a tedy i světelné, i když detailně jsou zde určité rozdíly. Vlnová délka světla, jehož zdroj se vzdaluje, bude roztažená, ať už v důsledku lokálního pohybu zdroje prostorem, nebo v důsledku rozepnutí prostoru mezi jím a vámi. Světlo se tedy bude jevit „červenější“, než když je pozorujete ze zdroje v klidu vůči vám (červené světlo má největší vlnovou délku ve viditelném spektru). Naopak vlny z přibližujícího se zdroje budou zkrácené – světlo bude „modřejší“.

Slipher si v roce 1912 všiml, že světlo skoro ze všech spirálních galaxií je posunuto směrem k větším vlnovým délkám (i když u některých, například právě u mlhoviny v Andromedě, bylo posunuto ke kratším). Jeho závěr byl, že se většina těchto objektů od nás vzdaluje, a to poměrně vysokou rychlostí.

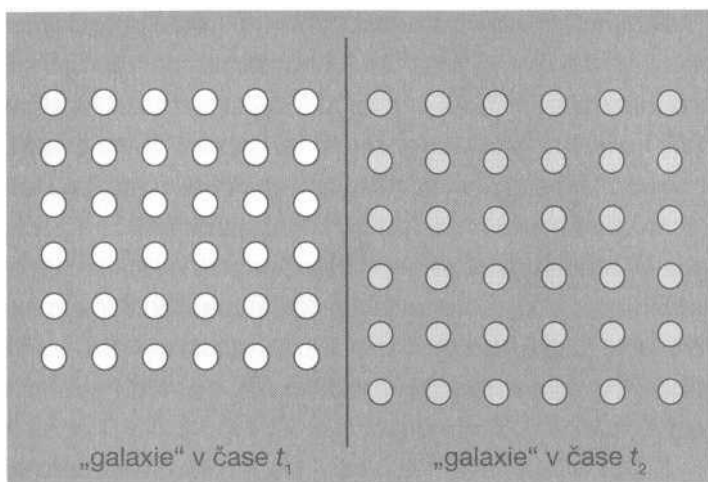
Hubble rozpoznal, že tyto „mlhoviny“ jsou spirální galaxie. Díky svým měřením uměl určit jejich vzdálenosti, jež dal do vztahu se Slipherovými měřeními rychlostí, kterými se od nás vzdalují. V roce 1929, za vydatné pomoci člena týmu na Mount Wilsonu Milтона Humasona, jenž pro svou technickou zručnost získal místo na observatoři, ačkoliv neměl ani maturitu, oznámil objev pozoruhodného empirického vztahu, kterému se dnes říká Hubbleův zákon: mezi vzdáleností galaxií a rychlostí jejich vzdalování je lineární vztah. Čím jsou tedy galaxie vzdálenější, tím větší rychlostí se vzdalují.

Když zveřejnil svůj výsledek – téměř všechny galaxie se od nás vzdalují a ty, které jsou dvakrát vzdálenější, utíkají dvakrát rychleji, třikrát vzdálenější se vzdalují třikrát rychleji atd. –, zdálo se, že z toho plyne, že *jsme ve středu vesmíru*.

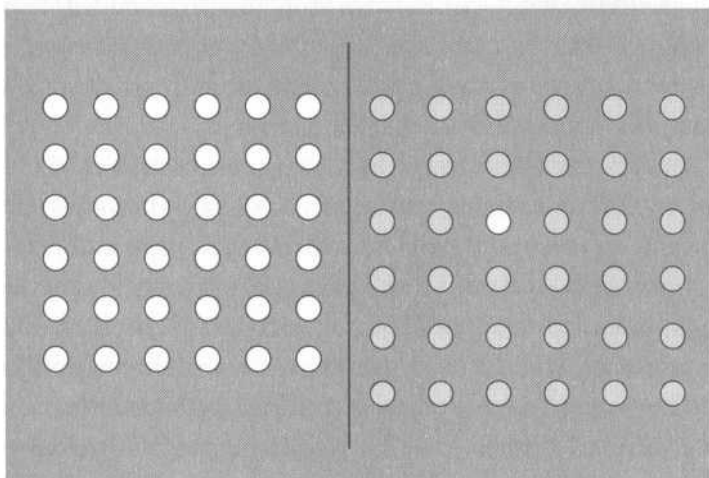
Někteří přátelé na mne naléhají, abych znovu a znovu zdůrazňoval, že *tomu tak není*.

Je to přesně v souladu s Lemaîtreovou předpovědí – náš vesmír se skutečně rozpíná, nemá však žádný střed.

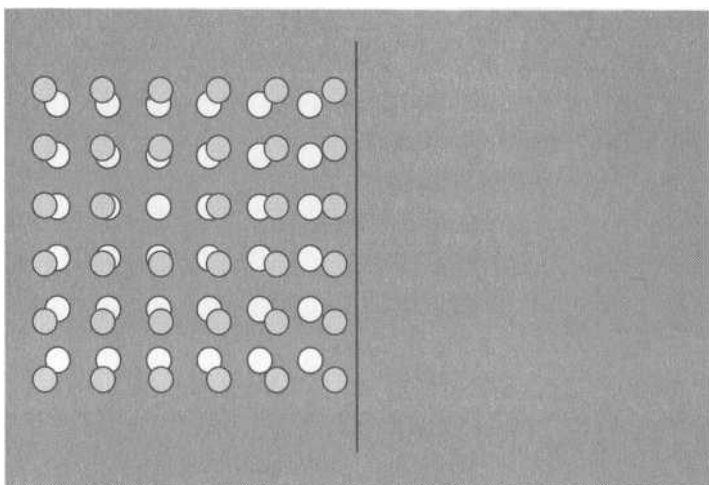
Pokoušel jsem se to vysvětlit různými způsoby a upřímně si myslím, že to nejde, pokud se na vše nepodíváte jakoby zvnějšku, v tomto případě z univerzálního vnějšku. Chcete-li pochopit důsledky Hubbleova zákona, musíte opustit pohled z místa v naší galaxii a pokusit se představit si pohled na vesmír „shora“. Postavit se mimo třírozměrný vesmír je těžké, je ale snadné představit si pohled ze třetího rozměru na vesmír dvourozměrný. Zachycují jej následující obrázky. Na prvním jsem nakreslil jeden takový rozpínající se vesmír ve dvou různých časech. Vidíme, že v onom pozdějším čase jsou galaxie dále od sebe.



Nyní si představte, že žijete na jedné galaxii v čase t_2 – na dalším obrázku ji v čase t_2 kreslím bíle.

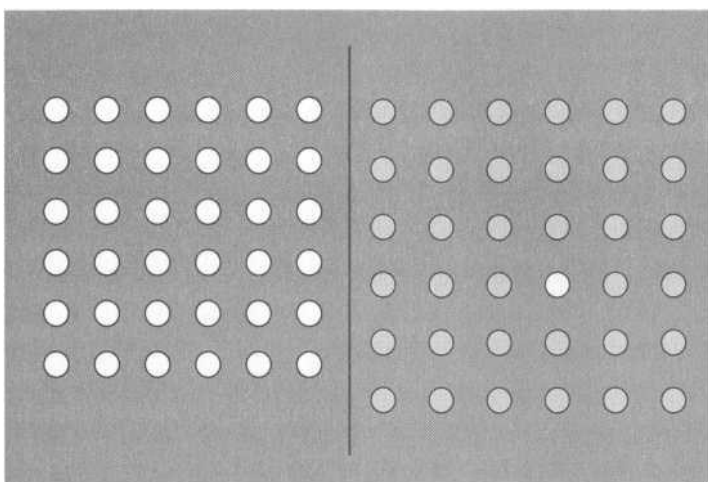


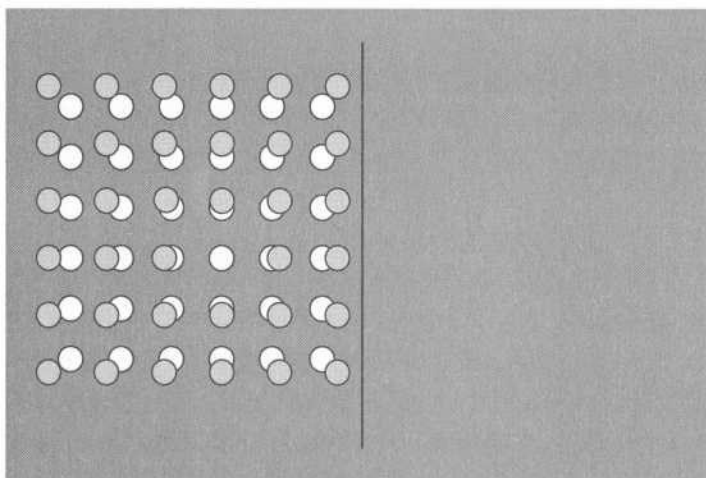
Abychom viděli, jak vypadá vývoj vesmíru z referenčního bodu na jedné galaxii, přeložil jsem prostě levý obrázek na pravý.



Ejhle! Z tohoto vztažného bodu pozorujeme, že všechny ostatní galaxie se od nás vzdalují a ty původně dvakrát vzdálenější než jiné se za stejnou dobu pohnuly o dvojnásobnou vzdálenost. Ty třikrát vzdálenější se pohnuly o trojnásobnou vzdálenost, a tak dále. Protože zde není žádný okraj oblasti, ve které jsou galaxie rozloženy, pozorovatelé na každé z galaxií mají dojem, že leží ve středu veškerého rozpínání.

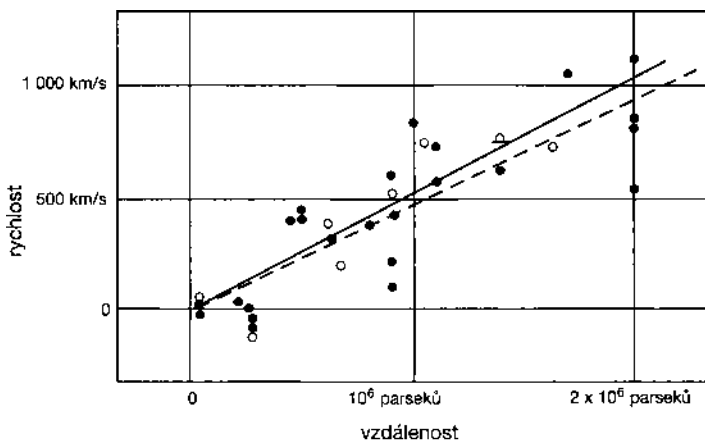
Nezáleží však na tom, kterou galaxii zvolíme. Vyberme jinou a opakujme postup:





Můžeme to popsat buď tak, že *každé* místo je středem vesmíru, nebo že *žádné* není jeho středem – to je věc vkusu. Při obojím pohledu však platí Hubbleův zákon rozpínání.

Když Hubble a Humason v roce 1929 zveřejnili své výsledky, nejen že konstatovali lineární závislost mezi vzdáleností galaxií a rychlostí, kterou se vzdalují, nýbrž uvedli i kvantitativní odhad skutečných rychlostí. Jejich výsledky jsou na dalším obrázku.



Vidíte, že není zcela jednoznačné, jak proložit přímkou body, které odpovídají měřením. Hubble tedy musel tak trochu hádat. Je sice vidět, že zde určitá závislost je, ale není vůbec jasné, která přímkou vystihuje naměřená data nejlépe. S Humasonem z grafu odhadli, že galaxie ve vzdálenosti jednoho milionu parseků, tedy asi 3 milionů světelných let, se vzdalují v průměru rychlostí 500 kilometrů za sekundu. Tento odhad ovšem nebyl příliš přesný.

Je poměrně snadné si uvědomit proč. Jestliže se dnes všechny galaxie vzdalují od sebe touto rychlostí, v minulosti musely být blíže u sebe. Gravitace je přitažlivá síla, takže by měla rychlost expanze vesmíru brzdit. Je-li dnes rychlost vzdalování galaxií 500 kilometrů za sekundu, v minulosti se musely navzájem vzdalovat rychleji.

Předpokládejme však na chvíli, že rychlost expanze by byla vždy taková, jaká je dnes. Pak můžeme snadno spočítat, před jakou dobou byly všechny galaxie u sebe. Protože dvakrát vzdálenější galaxie se vzdalují dvakrát rychleji, snadno zjistíme, že všechny galaxie by byly na stejném místě v tomtéž čase. Celý vesmír by byl stlačen do jediného bodu v události, které říkáme velký třesk, a od této události uběhla doba, jejíž určení jsme naznačili.

Jenže popsaným postupem odhadnutý čas je nanejvýš horním odhadem věku vesmíru – uvedli jsme, že dříve se galaxie vzdalovaly od sebe rychleji, takže skutečné stáří vesmíru musí být menší než to, které jsme vypočetli na základě předpokladu, že rychlost rozpínání byla stále stejná.

Podle odhadu založeného na Hubbleově analýze měl velký třesk nastat přibližně před 1,5 miliardy let. Ale už v roce 1929 existovaly pádné důkazy, že naše Země je stará nejméně 3 miliardy let (neuznávali to jen někteří

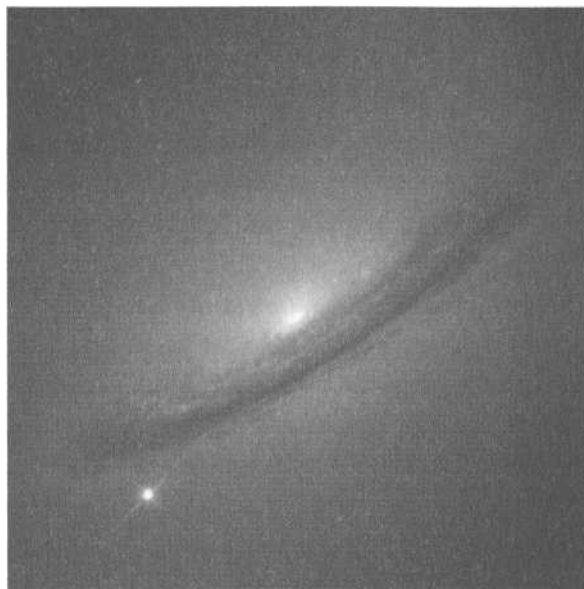
fundamentalističtí vykladači Bible v Tennessee, Ohio i jinde).

Skutečnost, že by Země měla být starší než vesmír, uváděla samozřejmě vědce do rozpaků. Bylo zřejmé, že s analýzou pozorování je něco v nepořádku.

Zdrojem tohoto zmatku byla systematická chyba v určování vzdáleností cefeid v naší galaxii. Vzdálenosti galaxií se určovaly podle „žebříku vzdáleností“ založeném na vzdálenostech cefeid v naší galaxii, a tento žebřík nebyl správný.

Historie odstraňování těchto systematických chyb je dlouhá a příliš komplikovaná, než abychom ji zde popisovali, a navíc dnes již celý problém určování vzdáleností pomocí cefeid není tak zajímavý – známe už lepší indikátory vzdáleností.

Na dalším obrázku vidíme jeden z mých nejoblíbenějších snímků pořízených Hubbleovým teleskopem.



Ukazuje velice vzdálenou galaxii před velice dlouhou dobou, protože světlu, které vyslala, trvalo více než padesát milionů let, než nás dostihlo. Podobné spirální galaxie připomínají tu naši a skládají se z asi 100 miliard hvězd, přičemž jasné jádro v jejich centru obsahuje asi 10 miliard hvězd. Všimněme si, že hvězda v levém dolním rohu svítí téměř tak intenzivně, jako všech 10 miliard hvězd v jádře. Na první pohled by se zdálo, že se do snímku připletla nějaká hvězda, která je mnohem blíže, ale není tomu tak.

Tato hvězda je situována v téže galaxii, tedy dále než padesát milionů světelných let od nás.

Není to ovšem jen tak obyčejná hvězda, nýbrž hvězda, která právě explodovala – supernova. Supernovy jsou jedny z nejzářivějších ohňostrojů ve vesmíru. Při jejich výbuchu se uvolní tolik světla, že po krátkou dobu asi jednoho měsíce svítí ve viditelném spektru tak intenzivně jako 10 miliard běžných hvězd.

Naštěstí pro nás nedochází k takovým výbuchům příliš často, v každé galaxii průměrně jednou za sto let. Kdyby supernova vybuchla někde v naší blízkosti, mělo by to pro nás nepříjemné důsledky. Na druhou stranu, kdyby k výbuchům supernov nedocházelo vůbec, bylo by to ještě horší – pak bychom tu totiž nebyli. Za jeden z nejpoetičtějších objevů o vesmíru pokládám skutečnost, že prakticky každý atom v našem těle byl kdysi uvnitř hvězdy, která vybuchla. Navíc atomy ve vaší levé ruce pocházejí pravděpodobně z jiné hvězdy než atomy ve vaší pravé ruce. Jsme doslova dětmi hvězd a naše těla jsou z hvězdného prachu.

Jak to víme? Náš obraz vývoje vesmíru umíme prodloužit do doby, kdy byl vesmír stár pouhou jednu sekundu. Výpočet ukáže, že tehdy všechna hmota, kterou kolem sebe pozorujeme, byla ve formě hustého plazmatu, jehož teplota byla kolem 10 miliard kelvinů (stupňů na

Kelvinově stupnici). Při této teplotě probíhají mezi protony a neutrony nukleární reakce, při nichž se tyto částice spojují a vytvořené útvary se zase rozpadají, načež dochází k dalším srážkám. Sledujeme-li tyto procesy během chladnutí vesmíru, můžeme vypočítat, jak často dochází k vytvoření jader těžších než vodík (tedy jader helia, lithia a dalších prvků).

Tato analýza však ukazuje, že se v horkém vesmíru krátce po velkém třesku nevytvořily v podstatě žádné prvky těžší než lithium, které je třetím nejlehčím prvkem. O správnosti těchto výpočtů nás přesvědčuje to, že pozorovaný vesmírný výskyt těch nejlehčích prvků velmi dobře souhlasí s předpovědí. Ve vesmíru je nejvíce vodíku a jeho izotopu deuteria, jehož jádro obsahuje oproti „běžnému“ vodíku i jeden neutron. Asi 25 procent všech protonů a neutronů skončí v jádrech helia, zatímco lithia se vytvoří mnohem méně – v jeho jádře skončí jen jeden z deseti miliard protonů. I když předpověděné množství vodíku, deuteria, helia a lithia se od sebe liší o několik řádů, odpovídá to velice dobře pozorování.

Právě tato nejslavnější a nejdůležitější předpověď je tím nejsilnějším potvrzením toho, že velký třesk v minulosti skutečně nastal. *Jen horký velký třesk předpovídá pozorovaný výskyt lehkých prvků a je přitom konzistentní s pozorovanou expanzí vesmíru.* Nosím při sobě kartičku, na které jsou uvedena přesná srovnání pozorovaných a předpověděných hodnot výskytu lehkých prvků, abych ji mohl ukázat, kdykoli se setkám s někým, kdo vyslovuje pochybnosti o existenci velkého třesku. Jenže málokdy dojde diskuse tak daleko, aby k tomu byla příležitost. Na ty, kteří se předem rozhodli, že s vědeckým obrazem vesmíru není něco v pořádku, empirická data většinou moc nezapůsobí. Přesto kartičku s sebou nosím a později vám ji v této knize ukážu.

Pro kosmology je lithium důležité, pro nás všechny je však mnohem důležitější existence jader atomů těžších prvků, především uhlíku, dusíku, kyslíku, železa a dalších, jež jsou nezbytné pro život. Tato jádra ale *nevznikla* krátce po velkém třesku – jediná místa, kde se mohla utvořit, jsou žhavá nitra hvězd. A za to, že se atomy těžších prvků mohly dostat do našich těl, vdčíme tomu, že jejich mateřské hvězdy byly tak laskavé, že vybuchly a vyvrhly svůj materiál do okolního prostoru. Tento rozptýlený hvězdný prach se nakonec zkoncentroval v malé modré planetě a jejím okolí v blízkosti hvězdy, které říkáme Slunce. Během historie naší galaxie v ní explodovalo asi 200 milionů hvězd. Můžeme říci, že tyto hvězdy se obětovaly, abyste se jednoho dne mohli narodit. To jim podle mého mínění dává nárok na roli spasitele.

Studie prováděné především v devadesátých letech minulého století ukázaly, že jeden druh supernov, označovaný jako supernovy typu Ia, má podivuhodnou vlastnost: ty supernovy, které mají větší skutečnou svítivost, září déle. Teoreticky tomu ještě plně nerozumíme, ale empiricky platí tato závislost velmi přesně. To znamená, že supernovy jsou výbornými „standardními svíčkami“. Tím míníme, že můžeme dobře určovat jejich vzdálenosti, protože jejich skutečná svítivost se dá určit na základě vlastnosti, jež na vzdálenosti nezávisí. Pozorujeme-li supernovu typu Ia ve vzdálené galaxii – a to se daří díky jejich obrovské jasnosti –, můžeme určit její skutečnou svítivost z toho, jak dlouho září. Když ji porovnáme s jejím zdánlivým jasnem neboli hvězdnou velikostí, kterou pozorujeme pomocí teleskopu, můžeme dosti přesně určit její vzdálenost a tím i vzdálenost její mateřské galaxie. Změříme-li pak ještě „červený posun“ spektrálních čar světla, jež hvězdy této galaxie vysílají, určíme rychlost jejího vzdalování a porovnáním s

její vzdáleností pak zjistíme koeficient určující rychlost rozpínání vesmíru.

To je sice pěkné, ale řekli jsme, že v galaxii exploduje jedna supernova průměrně jednou za sto let. Jak je tedy pravděpodobné, že nějakou supernovu uvidíme? Vždyť poslední supernovu v naší galaxii pozoroval Johannes Kepler v roce 1604!

Říkává se, že supernovy v naší galaxii vybuchují jen za života velkých astronomů, a Kepler je jistě toho skvělým příkladem.

Začínal jako nízko postavený učitel matematiky v Rakousku, pak se stal asistentem Tychona Brahe, který sám pozoroval dřívější supernovu v naší galaxii a dostal za to od dánského krále celý ostrov.* Na základě Tychonových dlouholetých pozorování pohybu planet Kepler odvodil na začátku 17. století své tři známé zákony jejich pohybu:

1. Planety se pohybují kolem Slunce po elipsách.
2. Čára spojující planetu a Slunce opíše za stejnou dobu vždy stejnou plochu.
3. Druhá mocnina *oběžné doby* planety je přímo *úměrná třetí mocnině* velké poloosy její dráhy (tedy velké poloosy elipsy, po které se planeta pohybuje, polovině velikosti jejího největšího průměru).

O téměř sto let později tyto zákony poskytly základ pro Newtonovo odvození zákona všeobecné gravitace. Kromě těchto svých vynikajících příspěvků k astronomii Kepler úspěšně hájil před soudem svou matku, nařčenou z

* V roce 1600 přišel za Tychonem do Prahy, kde zůstal dvanáct let a kde odvodil své první dva zákony. Na supernovu v souhvězdí Hadonoše jej v roce 1604 upozornil český učenec Jan Brunovský. Pozn. překl.

čarodějnictví a napsal asi první vědeckofantastickou povídku o cestě na Měsíc.

Dnes by se daly supernovy hledat tak, že vždy jeden graduovaný student by sledoval jednu galaxii. Z kosmického hlediska není koneckonců sto let zase tak rozdílná doba od průměrné doby, jakou zabere získání titulu Ph.D. a graduovaní studenti se vyskytují hojně a jsou levní. Naštěstí se ale k tak extrémnímu plýtvání studenty nemusíme uchýlit, protože vesmír je starý a veliký, takže události řídké v jedné galaxii se v něm *někde* vyskytují často.

Vyjděte si někdy v noci do lesa nebo pouště, kde můžete dobře vidět hvězdy, udělejte z palce a ukazováku malé kolečko asi velikosti koruny a napřáhněte ruku směrem k místu na nebi, kde nevidíte žádné hvězdy. V té malé tmavé skvrnce bychom pomocí dnešních velkých teleskopů odhalili kolem 100 000 galaxií, z nichž každá obsahuje několik miliard hvězd. To znamená, že vybuchnuli v jedné galaxii jedna supernova za sto let, viděli bychom na tomto malém úseku oblohy vzplanout tři supernovy každou noc.

A tak postupují astronomové. Zažádají o pozorovací čas u teleskopu a některou noc se jim poštěstí vidět jeden hvězdný výbuch, jindy dva a někdy, je-li zamračeno, žádný. Tímto způsobem se několika skupinám podařilo určit Hubbleovu konstantu s přesností větší než 10 procent. Její dnes uznávaná velikost říká, že galaxie ve vzdálenosti 3 milionů světelných let se vzdalují rychlostí 70 kilometrů za sekundu, což je hodnota desetkrát menší, než odvodili Hubble s Humasonem. To znamená, že věk vesmíru je okolo 13 miliard let, a nikoliv nepřijatelných půl druhé miliardy let.

Později se zmíním, že to zcela souhlasí s věkem nejstarších hvězd, stanoveným jiným, nezávislým způsobem. Období čtyř set let moderní vědy

reprezentované osobnostmi, jako byli Brahe, Kepler, Lemaître, Einstein a Hubble, přineslo podivuhodný a bezrozporný obraz rozpínajícího se vesmíru. Ten je empiricky podložený pozorováním kosmického výskytu lehkých prvků a spekter hvězd. A existují i další důkazy, vše do sebe zapadá. Obraz velkého třesku vypadá úplně v pořádku.

PŘÍBĚH KOSMICKÉHO TAJEMSTVÍ: VÁŽENÍ VESMÍRU

Existuje známé známo. Jsou věci, o kterých víme, že je známe. Existuje známé neznámo. To jest, jsou věci, o kterých víme, že je neznáme. Existuje ale také neznámé neznámo. Jsou věci, o kterých nevíme ani to, že je nevíme.

– DONALD RUMSFELD

Když jsme zjistili, že vesmír má počátek a že tento počátek nastal před konečnou a měřitelnou dobou, je přirozené se zeptat, jak vesmír skončí.

Právě tato otázka mě přiměla, abych opustil své domácí teritorium, částicovou fyziku, a vypravil se na území kosmologie. V sedmdesátých a osmdesátých letech minulého století detailní měření pohybu hvězd i pohybu galaxií ve velkých skupinách zvaných kupy galaxií stále jasněji ukazovala, že ve vesmíru je toho více, než pozorujeme prostým okem nebo dalekohledem.

Na velkých měřítkách odpovídajících galaxiím a jejich seskupením je hlavní působící silou gravitace. Měřením pohybu galaxií či hvězd v galaxiích můžeme určit působící gravitační sílu, jež tento pohyb vyvolává. Taková měření prováděla v sedmdesátých letech americká astronomka Vera Rubinová se svými spolupracovníky a tehdy to byly vskutku průkopnické práce. Rubinová získala doktorát v Georgetownu. Účastnila se večerních kurzů a její manžel na ni musel čekat v autě, protože neuměla řídit. Hlásila se na doktorské studium do Princetonu, ale tam až do roku 1975 nepřijímali k tomuto studiu ženy. Z Rubinové ale vyrostla vědkyně, která jako teprve druhá žena získala

zlatou medaili Královské astronomické společnosti. Této ceny, tak jako řady dalších zasloužených poct, se jí dostalo za pečlivá měření oběžné rychlosti hvězd naší galaxie. Pozorováním hvězd a oblaků horkého plynu hodně vzdálených od centra naší galaxie Rubinová zjistila, že se pohybují podstatně rychleji, než kdyby na ně působila gravitace jen od viditelných objektů v naší galaxii. Díky její práci víme, že tento pohyb se nedá vysvětlit jen sečteným gravitačním působením všech hvězd a prachu, jež kolem sebe pozorujeme.

Jenže zde byl veliký problém. Z výpočtů, které tak dobře předpovídají výskyt lehkých prvků ve vesmíru (vodíku, helia a lithia), zároveň více méně vyplývá, kolik je ve vesmíru protonů a neutronů, tedy stavebních kamenů standardní hmoty. Při jaderném vaření – tak jako při každém vaření – závisí totiž množství finálního produktu na množství výchozích ingrediencí. Když jejich množství zdvojnásobíte, dáte například čtyři vejce místo dvou, bude i výsledná omeleta dvakrát větší. Ve vesmíru, který se vynořil z velkého třesku, nejlépe odpovídá pozorovanému výskytu vodíku, helia a lithia asi dvojnásobný počáteční počet protonů a neutronů, než se jich nachází ve hvězdách a v horkém plynu. Kde jsou ty chybějící částice?

Je snadné si představit, kam skrýt protony a neutrony, například do sněhových koulí, planet, kosmologů... Nic z toho nezáhá. Proto se řada vědců domnívá, že v neviditelných objektech se skrývá zhruba stejné množství částic jako v hmotě viditelné. Jenže když odhadneme množství hmoty potřebné k udržení pozorované rotace galaxií a kup galaxií, zjistíme, že nám nestačí dvojnásobek pozorované hmoty, že jí potřebujeme asi desetinásobek. Pokud není v pozorování a výpočtech nějaká chyba, temnou hmotu nemohou tvořit protony a neutrony – prostě jich není dost.

Když jsem se jako mladý částicový fyzik na počátku osmdesátých let minulého století dozvěděl o možnosti existence exotické temné hmoty, velice mne to vzrušilo. Vždyť to doslova znamená, že dominujícími částicemi ve vesmíru nejsou osvědčené staromódní protony a neutrony (elektronů musí být přibližně tolik jako protonů a jejich hmotnost je o tolik menší, že pro tyto úvahy nehrají roli). Musí to být něco, co dnes na Zemi neumíme vytvořit, něco tajemného, rozprostřeného v kosmickém prostoru, co svými gravitačními účinky ovládá pohyb galaxie!

Ještě pozoruhodnější, alespoň pro mne, byla skutečnost, že se zde rýsovaly tři možné cesty výzkumu, jež mohly vrhnout nové světlo na povahu reality.

1. Jestliže tyto částice vznikly při velkém třesku, pak bychom měli být schopni aplikovat myšlenky o interakcích mezi elementárními částicemi na získání představy o výskytu těchto nových, exotických částic v dnešním vesmíru. Podobně jsme úspěšně postupovali u již zmíněných lehkých prvků, kde jsme uvažovali různé jaderné interakce.

2. Jestliže bychom uměli určit výskyt těchto částic na základě myšlenek teoretické částicové fyziky nebo bychom tento výskyt uměli určit experimentálně, věděli bychom, kolik hmoty ve vesmíru celkově je, a tím také, jaká je jeho geometrie ve velkých měřítkách. Úkolem fyziky není vymýšlet něco, co nemůžeme vidět, abychom Vysvětlili chování věcí, které vidět můžeme, nýbrž ukázat, jak pozorovat to, co až dosud bylo neviditelné. Každá nová částice navržená jako kandidát na temnou hmotu s sebou přináší nové možnosti experimentů, jež by exotické částice rozptýlené v Galaxii dovolily sledovat přímo, když se Země na své dráze s nimi setkává. Nemusíme pátrat teleskopy někde v dálce – jsou-li částice temné hmoty rozptýleny v galaxiích, jsou i kolem nás právě teď a pozemské detektory by měly jejich přítomnost odhalit.

3. Kdybychom uměli určit povahu temné hmoty a její výskyt, dovedli bychom říci, jak vesmír skončí.

Poslední bod vypadá nejzajímavěji, a proto s ním začnu. Je také pravda, že jsem se začal kosmologií zabývat proto, že jsem chtěl být první, kdo bude vědět, jak vesmír skončí.

Tehdy mě tato představa velmi přitahovala.

Jádrem Einsteinovy obecné teorie relativity byla myšlenka, že hmota a energie zakřivuje okolní prostor. Tato teoretická myšlenka přestala být jen spekulací v roce 1919, kdy dvě expedice během zatmění Slunce studovaly, jak se světlo hvězd v poli Slunce ohýbá. Výsledek byl v dobré shodě s Einsteinovou předpovědí, jak hmotnost Slunce zakřivuje prostor ve svém okolí. Einstein se stal přes noc světoznámým v široké veřejnosti (dnes si většina lidí myslí, že Einsteinovu popularitu způsobila rovnice $E = mc^2$, na kterou přišel o patnáct let dříve, tak tomu ale nebylo).

Když ale prostor může být zakřivený geometrie celého vesmíru se stává rázem zajímavější. Podle toho, jaká je ve vesmíru průměrná hustota hmotnosti, může být tato geometrie trojího typu: *otevřená*, *uzavřená* nebo *plochá*.

Není snadné názorně vysvětlit, jak vypadá zakřivený trojrozměrný prostor. Protože jsme třírozměrné bytosti, je to pro nás podobně obtížná představa, jakou byla ve známé knize *Rovina* od Edwina Abbota pro tam popisované dvojrozměrné bytosti představa zakřivení povrchu koule, které ze svého pohledu jasně vidí třírozměrný pozorovatel. Navíc je-li toto zakřivení velmi malé, je těžké vymyslet způsob, jak bychom se o něm mohli přesvědčit v každodenním životě. Ve středověku si řada lidí myslela, že Země je plochá, protože kolem sebe nepozorovali známky jejího zakřivení.

Zakřivený trojrozměrný prostor se těžko popisuje. Vypadá jako povrch čtyřrozměrné koule – to ale naší

představivosti zase tak moc nepomůže. Některé jeho vlastnosti se však dají popsat docela názorně. Například to, že díváte-li se v uzavřeném vesmíru dostatečně daleko, uvidíte týl vaší vlastní hlavy.*

Taková exotická geometrie působí docela zábavně a úvahy o ní jsou pro většinu lidí fascinující. Z čistě operacionalistického hlediska by její existence měla velmi závažné důsledky. Z obecné relativity totiž jednoznačně plyne, že uzavřený vesmír, jehož materiální náplň tvoří nejen hmota ve formě hvězd a galaxií, ale i hypotetická temná hmota, se jednou *musí* přestat rozpínat a musí se zhroutit zpět do opaku velkého třesku – hovoří se o *velkém křachu* (*Big Crunch*). Otevřený vesmír by se naopak rozpínal stále nějakou konečnou rychlostí. Právě tak by se stále rozpínal i vesmír plochý, jen jeho rychlost rozpínání by se blížila více a více nule, i když by přesně na nulu nikdy neklesla.

Určení množství temné hmoty ve vesmíru by tedy přineslo odpověď na starou otázku, datující se přinejmenším od doby T. S. Eliota, zda svět skončí výbuchem, nebo sténáním.** Sága o určení množství temné hmoty se odvíjí přinejmenším padesát let a dá se o ní napsat celá kniha (já ji skutečně napsal pod názvem *Quintessence*). I v tomto případě však platí, že jeden obrázek je cennější než tisíc (možná i sto tisíc) slov, a proto se to pokusím vysvětlit i graficky.

* Je to proto, že paprsek šířící se v opačném směru, než se díváte, vesmír oběhne a vy ho uvidíte přicházet zepředu, tak jako se letadlo, které letí stále na západ, vrátí do výchozího bodu z východu. Jenže tento oběh trvá velice dlouho. I v případě, že náš vesmír je uzavřený, byste se museli dožít mnoha miliard let, abyste viděli týl své hlavy v době, kdy jste byli batolaty. Příklad je zábavný, ale zcela nerealistický. Pozn. překl.

** Narážka na závěrečný verš básně T. S. Eliota *The Hollow Men* (*Dutí lidé*) z roku 1925. Pozn. překl.

Největší gravitačně vázané objekty ve vesmíru jsou *nadkupy galaxií*. Mohou sestávat z tisíců individuálních galaxií a mít průměr desítek milionů světelných let. V nadkupách se nachází většina galaxií. I naše galaxie je členkou nadkupy, nazvané podle souhvězdí Panny, kam se promítá její hlavní část a jejíž centrum je od nás vzdáleno téměř 60 milionů světelných let (průměr disku naší galaxie je kolem 100 tisíc světelných let).

Protože nadkupy jsou tak mohutné a hmotné, prakticky vše, co někam padá, se řítí do nějaké nadkupy. Kdybychom mohli zvážit nadkupy galaxií a pak odhadnout průměrnou hustotu takových nadkup ve vesmíru, uměli bychom „zvážit vesmír“, a to včetně temné hmoty v něm obsažené. Rovnice obecné teorie relativity by nám pak řekly, je-li dost hmoty na to, aby se vesmír uzavřel.

To je sice pěkné, jak ale zvážit objekty, jejichž průměr představuje desítky milionů světelných let? Jednoduše – pomocí gravitace.

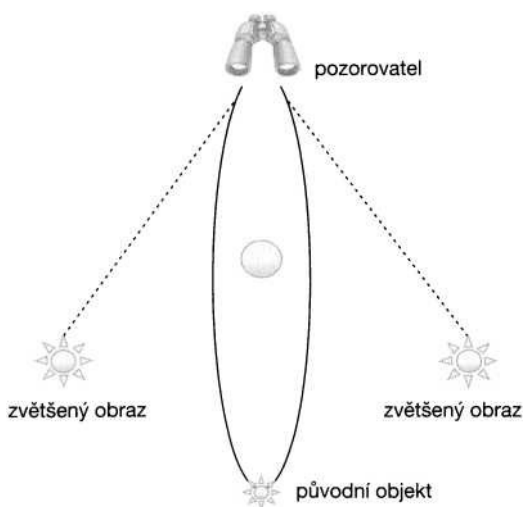
V roce 1936 uveřejnil Albert Einstein v časopise *Science* krátký článek *Účinek hvězd jako čoček v důsledku ohybu světla gravitačním polem*, který napsal na popud [českého] amatérského astronoma Rudiho Mandla. V krátké poznámce poukázal na pozoruhodnou skutečnost, že sám prostor může působit jako čočka, protože ohýbá světelné paprsky, což vede ke zvětšení pozorovaného objektu podobně, jako zvětšují text čočky v brýlích na čtení. V roce 1936 panovaly laskavější a jemnější časy než dnes. Je zajímavé si přečíst neformální úvod Einsteinova článku, který vyšel ve význačném vědeckém časopise: „Před nějakou dobou mne navštívil pan R. W. Mandl a poprosil mne, abych zveřejnil malý výpočet, který jsem na jeho popud udělal. Touto poznámkou vyhovuji jeho přání.“ Možná tato neformálnost byla důsledkem toho, že šlo právě o Einsteina, já však dávám přednost výkladu, že byla

produktem doby, kdy vědecké výsledky nebyly ještě zveřejňovány způsobem vzdáleným běžnému vyjadřování.

V každém případě bylo to, že v zakřiveném prostoru se světlo nepohybuje po přímce, prvním významným důsledkem obecné teorie relativity, a jak jsme už uvedli, jeho ověření založilo Einsteinovu světovou slávu. Einstein již v roce 1912, tedy ještě dost dlouho před tím, než dokončil obecnou teorii relativity, ve snaze přesvědčit astronomy, aby testovali jeho myšlenky, udělal výpočty, které byly téměř identické s jeho výpočty z roku 1936 uskutečněnými na popud Rudyho Mandla. Tyto staré poznámky se objevily teprve nedávno. V roce 1912 práci nezveřejnil, možná proto, že už tehdy dospěl ke stejnému závěru, jaký uvedl v článku z roku 1936, totiž že „není velká naděje, že by se tento jev dal pozorovat“. Když prostudujeme jeho deníky z obou období, není vůbec jasné, zda si v roce 1936 své čtyřiaadvacet let staré výsledky pamatoval.*

V obou případech si ale Einstein uvědomil, že světelné paprsky procházející kolem objektu mezi zdrojem a pozorovatelem se mohou ohnout tak, že k sobě konvergují, jako kdyby procházely normální optickou čočkou. V důsledku toho se zdrojový objekt může jevit zvětšený nebo se může vytvořit několik jeho pokroucených kopií (viz následující obrázek).

* V roce 1912 však Einstein ještě nepracoval s úplnou teorií obecné relativity a ohyb paprsků mu proto vycházel poloviční, než je správná hodnota. Pozn. překl.



Když ale spočítal efekt, který vyvolá takové zobrazení vzdálené hvězdy jinou hvězdou, která působí jako čočka, zjistil, že efekt je tak malý, že jej to vedlo k výše uvedenému závěru. Proto se domníval, že jeho článek má malou praktickou hodnotu. V průvodním dopisu redakci *Science* napsal: „Dovolte mi také vám poděkovat za spolupráci při publikaci tohoto článku, který ze mne pan Mandl vymáčkl. Má sice malou hodnotu, ale udělá tomu chlapíkovi radost.“

Einstein však nebyl astronom – a jen astronom by si mohl uvědomit, že efekt jím předpověděný by mohl být nejen měřitelný, nýbrž i prakticky užitečný. Jeho užitečnost se projeví tehdy, když jako gravitační čočka vystupují mnohem větší objekty než hvězdy – celé galaxie nebo kupy galaxií. Měsíc potom, co Einsteinův článek vyšel, zaslal skvělý astronom Fritz Zwicky z Caltechu (Kalifornského technologického institutu) do *Physical Review* článek, který právě na tuto možnost poukazoval. (Nepřímo zde Einsteina kritizuje za to, že si neuvědomil možnost užít jako gravitačních čoček galaxií místo hvězd.)

Zwicky, osobně velmi popudlivý člověk, jenž ne vždy dobře vycházel se svými kolegy, v mnohém směru značně předstihl svou dobu. Už v roce 1933 analyzoval relativní pohyby galaxií v kupě ve Vlasech Bereniky. Na základě Newtonova gravitačního zákona zjistil, že galaxie se pohybují příliš rychle, než aby se kupa gravitačně udržela pohromadě jen vzájemným gravitačním působením hvězd v jednotlivých galaxiích. K tomu, aby se kupa nerozpadla, by bylo třeba hmotnosti asi stonásobně vyšší. Měl by tedy být pokládán za objevitele temné hmoty, i když v té době se zdál jeho závěr natolik podivný, že většina astronomů věřila, že existuje nějaké méně exotické vysvětlení jeho pozorování.

Zwickyho článek z roku 1937 je neméně pozoruhodný. Navrhl v něm tři rozdílná použití efektu gravitačních čoček. Prvním bylo ověřování obecné teorie relativity, druhým možnost využít galaxií k zvětšení objektů za nimi, což by mohlo umožnit pozorování i těch objektů, jež by byly pozemskými teleskopy jinak nepozorovatelné. A konečně poukázal na to, že tak by se dalo vysvětlit tajemství, proč se kupy galaxií jeví hmotnější, než by odpovídalo hmotnosti hvězd, ze kterých se skládají: „*Pozorování ohybu světla mlhovinami může vést k tomu nejprímějšímu určení jejich hmotnosti a vysvětlit tak výše zmíněné diskrepance.*“

Zwickyho článek je dnes více než sedmdesát let starý, čte se však jako moderní projekt na užití gravitačních čoček ke zkoumání vesmíru. Všechny jeho návrhy byly od té doby realizovány a ten poslední je vůbec nejdůležitější. Čočkový efekt galaxií mezi námi a velmi vzdálenými kvasary byl poprvé pozorován v roce 1987. V roce 1998, šedesát jeden rok po tom, co vyšla Zwickyho práce, byla tímto způsobem určena hmotnost veliké nadkupy.

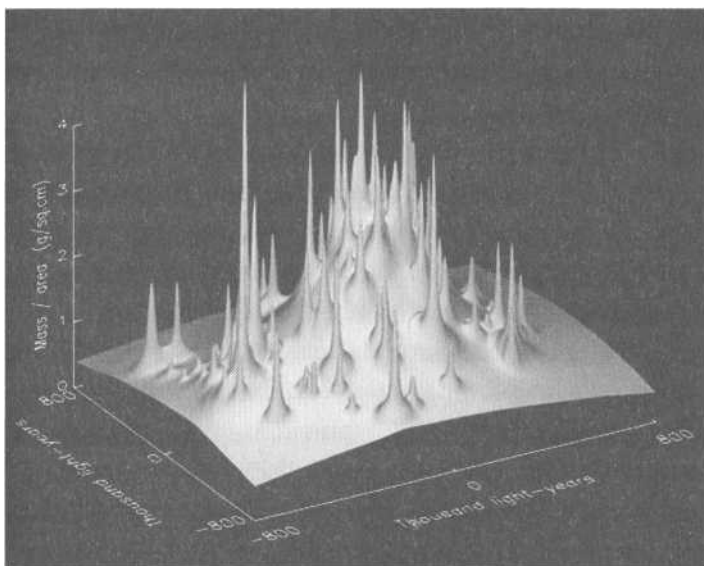


Tehdy fyzik Tony Tyson a jeho kolegové z Běhových laboratoří pozorovali velkou kupu galaxií s označením CL 0024 + 1654, vzdálenou asi 5 miliard světelných let. (Bellovy laboratoře v New Jersey se mohou chlubit tradicí vrcholné vědy, byl tam například objeven tranzistor i reliktní záření.) Na jeho fotografii pořízené Hubbleovým teleskopem vidíte působivý násobný obraz vzdálené galaxie, situované ještě dalších 5 miliard světelných let za kupou. Oproti více méně kruhovým galaxiím kupy, jež slouží jako čočka, jsou jednotlivé obrazy pozorované vzdálené galaxie protáhlé a pokroucené.

Pohled na tento obrázek probouzí naši fantazii. Především kterákoli zobrazená světlá skvrna není hvězda, nýbrž galaxie. Každá z galaxií sestává asi ze 100 miliard hvězd, kolem kterých krouží nejméně stejný počet planet a na některých možná existovaly dávné civilizace. Říkám „dávné“, protože obraz ukazuje, jak něco vypadalo před 5 miliardami let, tedy dříve, než se vytvořily Slunce a Země. Řada hvězd na fotografii už neexistuje, své jaderné palivo vyčerpaly už před miliardami let. Další fascinující věcí je,

že zde dochází přesně k tomu, co předvídal Zwicky. Velké protáhlé skvrny nalevo od středu fotografie jsou zvětšenými (a v jednom směru protaženými) verzemi obrazu jediné galaxie, která by pravděpodobně jinak nebyla vůbec pozorovatelná.

Určit z tohoto snímku hmotnost kupy, která zde hraje úlohu čočky, je komplikovaná a zdoluhavá matematická úloha. Tyson musel vytvořit počítačový model kupy, pak sledovat cestu jednotlivých paprsků v jejím gravitačním poli podle zákonů obecné relativity a měnit parametry tak dlouho, až dosáhl co nejlepší shody mezi výpočtem a pozorováním. Tímto způsobem Tysonova skupina nakonec dostala obraz přesného rozložení hmoty v kupě na původní fotografii.



Na obrázku je cosi podivného – jehlovité útvary zobrazují hmotu v galaxiích. Nejvíce hmoty není však soustředěno přímo v nich, nýbrž v prostoru mezi nimi. Tam je hmota rozložena spojitě a není přímo pozorovatelná. Je jí

však ve skutečnosti čtyřicetkrát více než v galaxiích (a dokonce 300 krát více než ve hvězdách a viditelném horkém plynu kolem nich). Temná hmota není ukryta jen v galaxiích, ale i v mezigalaktickém prostoru v kupě.

Částicové fyziky, ke kterým jsem patřil i já, příliš neudivilo, že temná hmota dominuje i v kupách galaxií. Dá se říci, že nás to spíše potěšilo. I když jsme totiž pro to neměli žádný přímý důkaz, doufali jsme, že množství temné hmoty bude dostatečné, aby vesmír jako celek byl plochý – to ovšem vyžadovalo, aby jí bylo stokrát více než hmoty viditelné.

Důvod byl jednoduchý – jenom plochý vesmír je matematicky opravdu půvabný vesmír. Proč? Zatím si na vysvětlení počkejte.

I když dosud nebylo jasné, zda celkové množství hmoty odpovídá ploché geometrii vesmíru jako celku, výsledky pozorování gravitačních čoček a další důkazy ukazovaly na to, že ve vesmíru je mnohem více hmoty, než by vyplývalo z výskytu lehkých prvků vzniklých v raném vesmíru. (Podotkněme, že efekt gravitační čočky je důsledkem zakřivení prostoru v okolí masivních objektů, ale jde o zakřivení lokální. Mluvíme-li o plochosti vesmíru jako celku, takové lokální vrásky na jeho tváři zanedbáváme.) Dnes panuje silné přesvědčení, založené i na dalších podpůrných astrofyzikálních důkazech, že temná hmota je něco úplně jiného než hmota standardní, složená z protonů a neutronů – něco, co ze Země zatím neznáme. Nejsou z ní složeny ani hvězdy, ani Země. Ale něco to je!

První důkazy existence temné hmoty v naší galaxii probudily experimentální úsilí o její prokázání a já jsem šťastný, že jsem k tomuto vývoji přispěl. Jak jsem už uvedl, částice temné hmoty by měly být všude – v místnosti, kde buším do počítače, i venku za okny. Mělo by tedy být možné je nějakým experimentem prokázat – jde ovšem o nový a neznámý typ částic.

Experimenty tohoto typu se už dlouho konají v podzemních tunelech a dolech. Proč v podzemí? Protože na povrchu Země nás neustále bombardují částice kosmického záření, pocházející ze Slunce i vzdálenějších zdrojů. Už z jejich názvu vyplývá, že částice temné hmoty neinteragují elektromagneticky, takže neprodukují světlo. Se standardní hmotou mohou interagovat jen velmi slabě, a proto je neobyčejně obtížné je zachytit. I v případě, že nás ve dne v noci bombardují miliony částic temné hmoty, většina z nich projde Zemí i námi, aniž si nás všimne. Existují výjimky z tohoto pravidla, částice temné hmoty se občas na atomu rozptýlí, jenže k tomu dochází jen velice vzácně. Chceme-li zaznamenat temnou hmotu, musíme být schopni registrovat velice vzácné události. Abychom je uměli identifikovat, musíme mít dobrý štít proti kosmickému záření, a proto se s experimenty uchylujeme do podzemí.

V době, kdy toto píšete, se ovšem objevila další vzrušující možnost. V CERNu u Ženevy byl právě uveden v činnost LHC (*Large Hadron Collider*), největší urychlovač elementárních částic na světě. Máme mnoho důvodů věřit, že zde půjde dosáhnout podmínek srovnatelných s podmínkami ve vesmíru krátce po velkém třesku, i když jenom v mikroskopické oblasti. Stejně reakce, které kdysi stvořily temnou hmotu ve vesmíru, by teď mohly vytvořit temnou hmotu v laboratoři! Jsme svědky velikého závodu. Kdo prokáže temnou hmotu jako první – fyzici pracující s podzemními experimenty, nebo experimentátoři na LHC? Je dobré, že nikdo neprohraje, ať už bude v cíli první kdokoli. Zvítězíme všichni, odměnou nám bude poznání, co temná hmota skutečně je.

Astronomická pozorování, která jsem popsal, nám neodhalují podstatu temné hmoty, říkají nám ale, kolik jí celkem ve vesmíru je. Poslední přímý důkaz existence temné hmoty přinesla kombinace „gravitačního čočkování“ a pozorování rentgenového záření z kup galaxií. Teplota

vysílaného rentgenového záření je úměrná hmotnosti zářícího systému, takže lze udělat nezávislý odhad hmotnosti kupy. Výsledek byl udivující a řada vědců jím byla zklamána. Když se dokončily všechny rozборы, ukázalo se, že celkové množství hmoty v kupách galaxií a jejich okolí by mělo představovat jen asi třicet procent hmotnosti nutné k tomu, aby dnešní vesmír byl plochý. (Je to ovšem pořád čtyřicetkrát více, než odpovídá viditelné hmotě, která tedy nese jen jedno procento hmotnosti nutné pro to, aby vesmír byl plochý.)

Einstein by byl jistě okouzlen tím, že jeho „drobná publikace“ zdaleka není neužitečná. Vždyť v ní popsaná metoda poskytla pozoruhodné teoretické i experimentální nástroje, jež vedly k novému teoretickému vývoji. To by ho jistě potěšilo a objev temné hmoty by mu asi zvedl krevní tlak. Einsteinův malý krůček do zakřiveného prostoru se nakonec proměnil ve veliký skok. Na začátku devadesátých let minulého století byl svatý grál kosmologie zřejmě nalezen. Pozorování prokázala, že žijeme v otevřeném vesmíru, který se bude věčně rozpínat. Ale prokázala to doopravdy?

SVĚTLO Z POČÁTKU ČASU

... jako bylo na počátku, i nyní i vždycky a na věky věků.

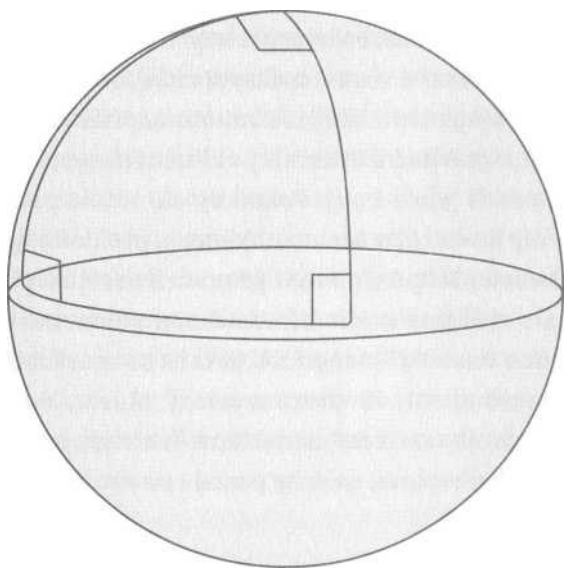
– GLORIA PATRI (SLÁVA OTCI, MODLITBA)

Popsali jsme, jak měřit zakřivení prostoru nepřímou, totiž tak, že určíme průměrnou hustotu hmotnosti v něm a pak použijeme rovnice obecné teorie relativity k určení geometrie vesmíru. Když se ale nad touto metodou zamyslíme, zjistíme, že skrývá hluboké problémy. Nutně nás napadne, jestli hmota není ve vesmíru ukryta způsobem, který znemožňuje její odhalení. Skrytou hmotu například hledáme zkoumáním gravitační dynamiky viditelných systémů, jako jsou galaxie či jejich kupy. Pokud by ale sídlila podstatná část hmoty jinde než v těchto objektech, přehlédli bychom ji. Mnohem lepší by bylo měřit geometrii vesmíru přímo.

Jak ale můžeme měřit třírozměrnou geometrii celého viditelného vesmíru? Jednodušší je začít se snazší otázkou: Jak můžeme zjistit, že dvourozměrný objekt, například povrch Země, je zakřivený, nemůžeme-li z nějakých důvodů Zemi objet či obeplout, nebo se posadit na družici a dívat se na Zemi z výšky?

Nejdříve se zeptejte středoškolského studenta, jaký je součet úhlů v trojúhelníku. (Opatrně se ho ale zeptejte, do které školy chodí – je-li to škola v Evropě, můžete se dočkat správné odpovědi.) Řekne vám, že tento součet je 180 stupňů, protože se bezpochyby učil euklidovskou geometrii, tedy geometrii, jež se uplatňuje na rovných listech papíru. Ovšem na zakřivené dvourozměrné ploše,

jakou je například povrch globusu, snadno nakreslíte trojúhelník, jenž má součet úhlů podstatně větší než 180 stupňů. Nakreslete například čáru podél rovníku od nultého poledníku až k zeměpisné délce 90 stupňů, pak zamiřte podle poledníku k severnímu pólu a odtud zpět do výchozího bodu. Strany vašeho trojúhelníku jsou na sebe kolmé, všechny úhly v něm tedy mají 90 stupňů. Jejich součet je tedy třikrát devadesát, což je 270 stupňů, mnohem více než 180 stupňů. *Voilà!*



Dvojměrná úvaha se dá snadno rozšířit na trojrozměrnou a není zde vlastně žádný rozdíl, protože když matematici poprvé zavedli představu třírozměrné, tak zvané neuklidovské geometrie, zjistili, že to vypadá stejně i ve třech rozměrech. Nejslavnější matematik 19. století Carl Friedrich Gauss byl natolik fascinován možností, že by náš vesmír mohl mít zakřivenou trojrozměrnou geometrii, že vzal data z map pořizovaných na základě geodetického měření v dvacátých a třicátých letech 19.

století a zjišťoval, jestli trojúhelník s vrcholy na kopcích Hoher Hagen, Inselberg a Brocken neukazuje na křivost prostoru. Skutečnost, že kopce existují na dvourozměrném zakřiveném povrchu Země, by komplikovala určení případného zakřivení trojrozměrného prostoru, ve kterém se Země nachází. To si ovšem Gauss určitě uvědomoval. Domnívám se, že chtěl tento efekt odečíst od možného výsledku a zjistit, zda do výsledku nějak významně přispívá zakřivení trojrozměrného prostoru.

Prvním, kdo se opravdu pokoušel změřit zakřivení prostoru, byl matematik Nikolaj Ivanovic Lobačevskij, který působil ve vzdálené ruské Kazani. Na rozdíl od Gausse byl Lobačevskij jedním ze dvou matematiků, kteří měli tu odvalu vydat tiskem možnost existence takzvané hyperbolické zakřivené geometrie, ve které vzdálenost dvou paralelních přímek může růst. Svou představu hyperbolické geometrie, která odpovídá představě vesmíru se zápornou křivostí čili vesmíru „otevřenému“, zveřejnil v roce 1830.

Krátce poté, co se zabýval myšlenkou, zda by vesmír, ve kterém žijeme, nemohl mít zápornou křivost, Lobačevskij navrhoval „prozkoumat trojúhelník tvořený hvězdami, aby se otázka rozhodla experimentálně“. Navrhoval přesně určit polohu nejjasnější hvězdy Siria v okamžiku, kdy Země je ve svých extrémních polohách na dráze kolem Slunce, tedy v polohách, jež od sebe dělí časový interval šesti měsíců. Ze svých pozorování došel k závěru, že poloměr křivosti našeho vesmíru musí být *nejméně* 166 000krát větší, než je poloměr dráhy Země kolem Slunce.

To je sice obrovské číslo, ale z hlediska kosmických měřítek je velice malé. Lobačevskij měl sice dobrou myšlenku, jenže byl bohužel omezen technikou své doby. O sto padesát let později byl však jím navržený postup neobyčejně zdokonalen díky rozvinuté technice měření

reliktního záření, jež se stalo jedním z nejdůležitějších zdrojů informací pro kosmologii.

Reliktní záření není ničím jiným než zářením z velmi raného vesmíru. Pokud vás nepřesvědčily zatím předložené důkazy o existenci velkého třesku, toto je další. Reliktní záření nám dovoluje sledovat povahu velmi raného horkého vesmíru, ze kterého se vynořily všechny kosmické struktury, jež jsou dnes kolem nás.

Zajímavé je, že reliktní záření objevili dva vědci v New Jersey, kteří je vůbec nehledali. Pozoruhodné je i to, že jsme je měli doslova před nosem po dlouhou dobu, kdy už bylo technicky možné je pozorovat, nikdo si toho však nepovšiml. Někteří ze čtenářů jsou možná dost staří na to, aby si pamatovali dobu, kdy televize ještě nebyla přenášena kabely a kdy její vysílání končilo v časných ranních hodinách. Na konec vysílání se objevil monoskop a potom se obrazovka pokryla zrnitou strukturou, která byla obrazem elektromagnetického šumu. Asi jedno procento tohoto šumu mělo původ právě v reliktním záření, pozůstatku velkého třesku.

Důvod existence reliktního záření je poměrně snadno pochopitelný. Vesmír má konečný věk (připomeňme si, že vznikl před 13,72 miliardy let), a když se díváme do větších a větších vzdáleností, díváme se do vzdálenější a vzdálenější minulosti, protože světlu to trvalo stále delší dobu, aby k nám od pozorovaných objektů dorazilo. Kdybychom se tedy podívali dostatečně daleko, měli bychom vidět velký třesk. Teoreticky to není nemožné, prakticky to však nejde, protože mezi námi a velmi raným vesmírem leží stěna. Ne fyzická zeď, jakou je například stěna místnosti, ve které píšete, ale překážka, která má podobný účinek.

Skrze stěny svého pokoje nevidím, protože jsou neprůhledné – pohlcují světlo. Vesmír v raném stadiu byl velmi horký a po celou dobu od velkého třesku chladne.

Díváme-li se tedy do hluboké minulosti, díváme se do velmi horkého vesmíru. Když se podíváme do doby, kdy byl vesmír asi 300 000 let starý, vidíme vesmír o teplotě asi 3 000 kelvinů. Při tak vysoké teplotě má ale záření takovou energii, že rozbije vazby, které poutají elektrony k jádrům atomů, rozbije i ty nejbohatěji se vyskytující atomy, tedy atomy vodíku, na jejich stavební kameny, tedy protony a elektrony. Při této teplotě (i při teplotě vyšší, která panovala předtím) není hmota složena z neutrálních atomů. Standardní hmota ve vesmíru existovala ve formě plazmatu, směsi nabitých částic, které interagují se zářením.

Plazma je však neprůhledné, protože nabité částice světlo pohlcují a znovu vyzařují a fotony se nemohou nerušeně šířit podél paprsků. To znamená, že do doby, kdy byl vesmír naplněn plazmatem, se nelze podívat. Je to stejný problém jako dívat se skrz mlhu.

A opět je zde podobnost se stěnami mého pokoje. Ty vidím díky tomu, že atomy na jejich povrchu absorbují světlo, jež na ně dopadá, vzápětí je však znovu vyzáří a světlo se pak nerušeně šíří průhledným vzduchem, jímž je místnost naplněna, až do mého oka. Podobně je tomu ve vesmíru. Díváme-li se do jeho minulosti, vidíme v něm vše v podstatě nerušeně až k „povrchu posledního rozptylu“. To jsou ta místa ve vesmíru, kde teplota poklesla už natolik, že protony a elektrony se mohly zkombinovat v neutrální atomy vodíku. Mezi těmito místy a námi je vesmír průhledný a vidíme záření vyslané plazmatem těsně před tím, než se z něho stal neutrální vodík.

To, že ze všech stran k nám přichází záření ze „sféry posledního rozptylu“, je jednou z předpovědí teorie velkého třesku. Protože od vyslání světla, které k nám dnes přichází, se vesmír asi 1 000krát rozepnul, záření na cestě k nám zchladlo a dnes má teplotu asi 3 kelvinů, tedy tři stupňů nad absolutní nulou. A přesně tento signál se

poštětilo nalézt zmíněným dvěma vědcům z New Jersey – později za tento objev dostali Nobelovu cenu.

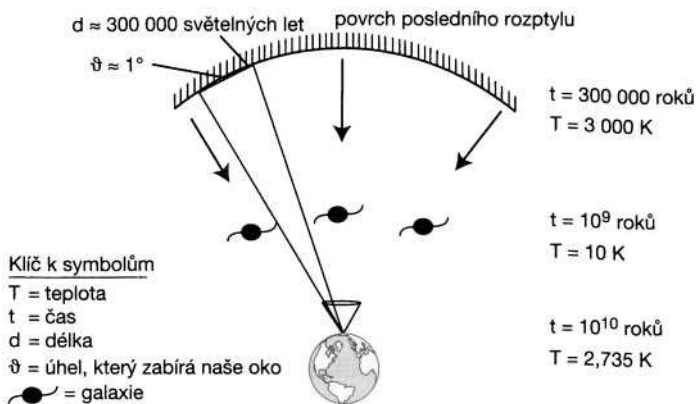
Za měření reliktního záření byla udělena v nedávné době ještě jedna Nobelova cena, a to z velmi dobrého důvodu. Když pořídíme snímek sféry posledního rozptylu, je to snímek vesmíru v jeho raném dětství. Tehdy mu bylo „jen“ 300 000 let – porovnáme-li to s věkem člověka, šlo o novorozeně. Můžeme ale na něm vidět struktury, jejichž zhroucením pod vlivem gravitace se později vyvinuly objekty jako galaxie, hvězdy, planety, případně mimozemšťané. Co je důležité, tyto struktury ještě nejsou poznamenány pozdější dynamickou evolucí, která mohla zakrýt povahu a původ prapůvodních malých perturbací, jež pravděpodobně vznikly exotickými procesy v nejranějších okamžicích po velkém třesku.

Pro náš účel je však nejdůležitější ta skutečnost, že na povrchu posledního rozptylu nalezneme charakteristickou škálu, kterou tam zanechal sám čas. Tomuhle tvrzení rozumějme tak, že když si spočteme, jaké délce na sféře posledního rozptylu odpovídá úsek, který pozorovatel ze Země vidí v rozmezí jednoho úhlového stupně, zjistíme, že je to asi 300 000 světelných let. Tato sféra ovšem představuje obraz vesmíru v okamžiku, kdy byl sám starý 300 000 let. Už v prvních letech 20. století nás ale Einstein poučil, že žádná informace se nemůže vesmírem šířit rychleji než světlo. Těch 300 000 světelných let je právě vzdálenost, kterou mohl za dobu existence vesmíru urazit nějaký signál.

Představme si nyní chuchvalec hmoty o průměru menším než 300 000 světelných let. Takový chumáč hmoty by se měl začít hroutit pod vlivem vlastní gravitace. Chumáč o průměru větším by se hroutit nezačal, protože by vlastně ani „nevěděl“, že je chumáčem. Sama gravitace se šíří právě rychlostí světla a neměla by čas se rozšířit od jednoho kraje našeho kusu hmoty ke druhému. Ten by

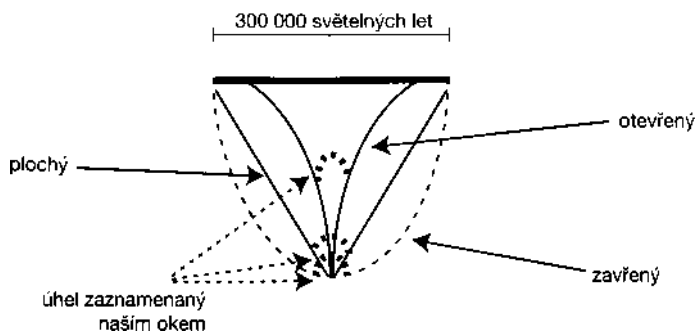
musel čekat tak dlouho, až gravitace vyvede z klidu všechny jeho části.

To nám ve vesmíru vymezuje speciální trojúhelník, jehož jedna strana leží na sféře posledního rozptylu a měří 300 000 světelných let a jeho protilehlý vrchol leží u Země. Ukazuje ho následující obrázek:



Velké shluky hmoty, které právě začaly kolabovat, budou pokrývat právě takto velkou oblast a na obrázku mikrovlnného reliktního záření se zobrazí jako nepravidelně ohraničené skvrny. Jestliže se nám tedy podaří získat snímek povrchu posledního rozptylu, je rozumné předpokládat, že horké skvrny na něm jsou právě tyto shluky hmoty a v průměru jsou to ty největší útvary, které tam pozorujeme.

Protože ale vyplňují právě jeden úhlový stupeň, říká nám obrázek něco podstatného o geometrii vesmíru. V plochem vesmíru se světlo šíří po přímkách. V otevřeném vesmíru jsou však světelné paprsky prohnuté. Když sledujeme dráhy světla k našemu oku zpět v čase, vidíme, že se rozbíhají. Takže skutečný úhel, pod kterým naše oko vidí pravítko 300 000 světelných let dlouhé, umístěné ve vzdálenosti určené polohou povrchu posledního rozptylu, závisí na geometrii vesmíru, jak ukazuje obrázek:



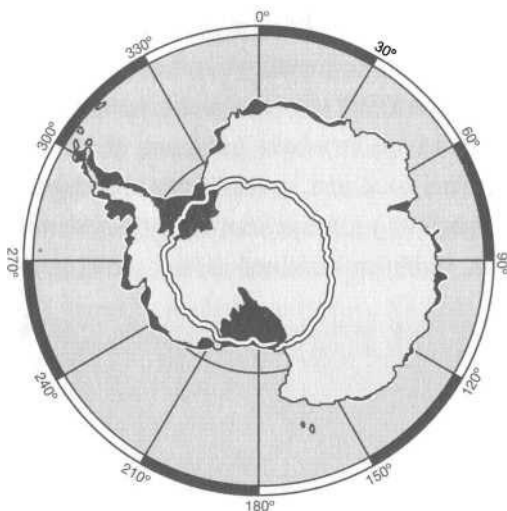
Nabízí se nám tak přímý test geometrie vesmíru. Rozměr těch největších horkých či chladných skvrn v obrazu reliktního záření závisí jen na kauzalitě. Protože se gravitace šíří rychlostí světla, největší oblasti, jež mohou účinkem vlastní gravitace začít kolabovat, mají průměr odpovídající dráze, kterou mohlo světlo až do příslušného okamžiku urazit. Úhlový rozměr pravítka dané délky v dané vzdálenosti je určen jen křivostí vesmíru ve velkých měřítkách a změření příslušného úhlu nám dovolí ji určit.

První experiment, který to měl udělat, se uskutečnil pomocí zařízení vynesenoého v roce 1997 balonem v Antarktidě – pokus se jmenoval BOOMERANG. Název je možno vykládat jako akronym plného názvu *Balloon Observation of Millimetric Extragalactic Radiation and Geophysics* (balonové pozorování milimetrového mimogalaktického záření a geofyziky), skutečný důvod pro toto označení byl však přímočařejší. Radiometr pro měření milimetrových vln byl připoután k výškovému balonu – vidíme ho na obrázku na následující straně.



Balon byl vyslán na cestu kolem světa, což v Antarktidě není časově tak náročná záležitost. Přímo na jižním pólu je to obzvláště jednoduché, stačí, když se otočíme kolem své osy. Balon byl ovšem vyslán z McMurdovy stanice, která leží na pobřeží Antarktidy, a tak cesta balonu kolem světa, podporovaná antarktickými větry, trvala dva týdny. Po této době se balon vrátil do startovního bodu – podobně jako bumerang.

Důvod volby balonu jako nosiče a místa provedení je jednoduchý. Chceme získat obraz reliktního záření, které má teplotu necelých 3 kelvinů, dle možnosti nekontaminovaného mnohem teplejším materiálem a civilizačním šumem na Zemi. I když antarktické teploty jsou více než o dvě stě stupňů vyšší než teplota reliktního záření, stále je okolí jižního pólu to nejvhodnější místo. Abychom omezili vliv Země, potřebujeme radiometr vynést co nejvýše, alespoň na pomezí zemské atmosféry. Nejvhodnějším nosičem je samozřejmě umělá družice, ale i stratosférický balon může odvést dobrou práci – a podstatně levněji.

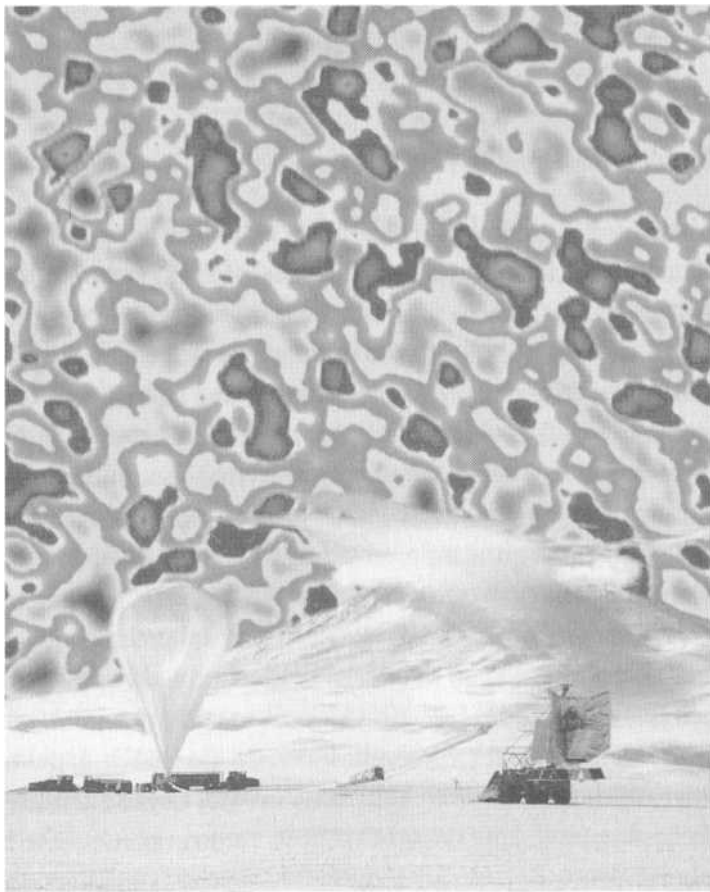


Cesta BOOMERANGU kolem Antarktidy

BOOMERANG se vrátil za dva týdny se snímkem malé části oblohy, na němž byly vidět horké a chladné skvrny na sféře posledního rozptylu, jak je zobrazuje mikrovlnné reliktní záření, jehož intenzitu radiometr snímal. Na následující stránce vidíme obrázek jedné oblasti, kterou BOOMERANG proměřil, překopírovaný na obrázek uvedený na str. 66. Horké skvrny jsou na něm tmavé a chladné skvrny jsou světlé.

Zařazení obrázku má dvojí účel. Předně dovoluje porovnat skutečné fyzikální rozměry horkých a chladných skvrn, jak je na nebi viděl BOOMERANG, s rozměry pozemských objektů, jež vidíme v pozadí. Ilustruje ale i další aspekt, který bych nazval kosmickou slabozrakostí. Když se za slunného dne podíváme na nebe, vidíme modrou oblohu. To je ale jen proto, že jsme se vyvinuli tak, abychom viděli jen to světlo, jemuž říkáme viditelné. Došlo k tomu bezpochyby proto, že světlo vyzařované povrchem Slunce má v této oblasti vlnových délek výrazné maximum, a také proto, že část slunečního spektra byla pohlcena atmosférou. (To je pro nás šťastná okolnost, protože značná

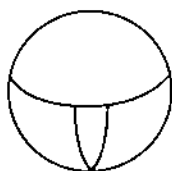
část pohlceného záření je škodlivá.) Kdybychom se byli vyvinuli tak, abychom mohli „vidět“ mikrovlnné záření, viděli bychom obraz sféry posledního rozptylu na celé obloze v noci i ve dne, pokud bychom se nedívali přímo do slunce. Obraz ovšem vznikl před více než 13 miliardami let, ale je to ten obraz, jehož malou část, pokrývající jen omezený úsek oblohy, viděl detektor BOOMERANGU.



První let BOOMERANGU byl výjimečně šťastný. V Antarktidě je drsné a nepředvídatelné prostředí. Poslední

let v roce 2003 skončil téměř katastrofou. Na balonu se objevila závada a pak se ještě přihnala bouře. Nasbíraná vědecká data až na poslední chvíli zachránilo rozhodnutí odříznout přístroj se záznamníkem dat od balonu, než bude odnesen na nějaké nepřístupné místo.

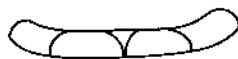
Než se pustím do rozboru obrázku z BOOMERANGU, ještě jednou zdůrazním, že zatímco skutečné velikosti zaznamenaných horkých a chladných skvrn se dají určit jednoduchou fyzikální úvahou, jejich *pozorovaná* velikost je určena geometrií našeho vesmíru. Pochopit výsledek nám pomůže jednoduchá dvourozměrná analogie. Ve dvou dimenzích má *uzavřenou geometrii* povrch koule, zatímco *otevřenou geometrii* připomíná povrch sedla. Když na těchto površích nakreslíme trojúhelník, pozorujeme ten efekt, o němž jsem už hovořil: na povrchu koule se strany k sobě sbíhají, na sedle se rozbíhají a v rovině samozřejmě zůstávají přímé.



uzavřený

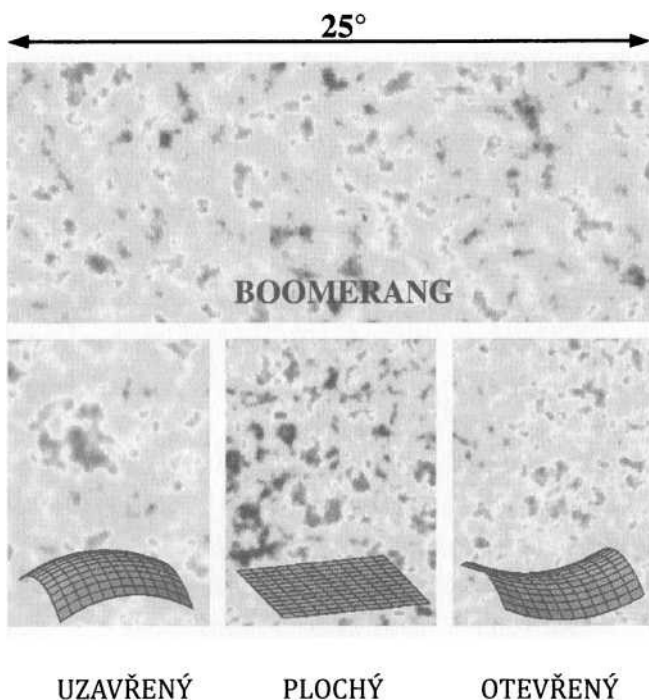


plochý



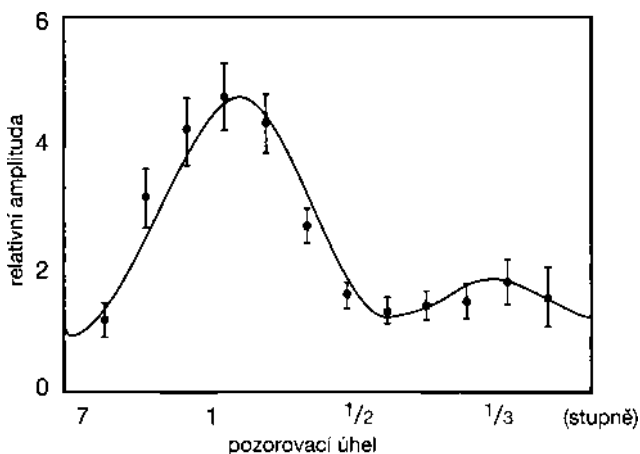
otevřený

A nyní otázka za milion dolarů: jak velké se skutečně jeví horké a chladné skvrny na obrázku z BOOMERANGU? K jejímu zodpovězení připravili na tomto projektu spolupracující vědci několik obrázků simulovaných na počítači, které ukazují, jak by měl snímek vypadat v uzavřeném, otevřeném a plochém vesmíru. Na dalším obrázku jsou tyto simulace porovnány s obrázkem z BOOMERANGU:



Když si prohlédnete obrázek nalevo, kde je simulovaný pohled v uzavřeném vesmíru, zjistíte, že skvrny jsou větší než na snímku skutečného vesmíru, a naopak napravo, kde je simulace otevřeného vesmíru, jsou menší. Zkusíte-li ale obrázek prostřední, můžete říci jako Mášenka ve známé pohádce, když si vyzkoušela lůžko nejmenšího medvídka: „To je akorát!“ Matematicky hezký vesmír, po kterém toužili teoretici, byl tak potvrzen pozorováním, zdál se však být v silném rozporu s výsledky „vážení“ kup galaxií.

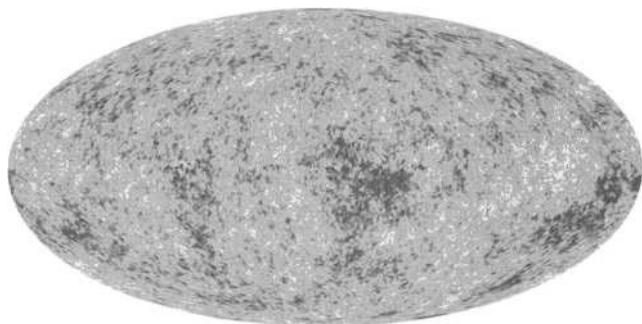
Souhlas předpovědi v plochém vesmíru a dat zjištěných BOOMERANGem je až podivuhodný. Skupina BOOMERANGU vynesla svá měření skvrn na sféře posledního rozptylu do následujícího grafu:



Zde jsou zakresleny ty největší skvrny, představující hmotné útvary, jež už začaly významně kolabovat. Puntíky představují naměřená data, kolem nich je vyznačena chyba měření. Souvislá křivka pak vyznačuje předpověď pro plochý vesmír. Vidíme, že kolem jednoho stupně je výrazný vrchol.

Krátce potom, co byla zveřejněna první data z BOOMERANGu, vyslala NASA na oběžnou dráhu družici, jejíž přístroje mohly měřit mikrovlnné pozadí podstatně citlivěji. Satelit byl pojmenován *Wilkinson Microwave Anisotropy Probe* (Wilkinsonova sonda anizotropie mikrovln, WMAP) na počest Davida Wilkinsona, jednoho z princetonských fyziků, kteří mohli objevit reliktní záření, kdyby je byli nepředběhli vědci z Bellových laboratoří. WMAP byla vypuštěna v červnu 2001 a umístěna na oběžnou dráhu vzdálenou asi milion šest set tisíc kilometrů od Země do určitého bodu nad stranou Země odvrácenou od Slunce. Zde nebylo sledované záření kontaminováno slunečním zářením. Po dobu sedmi let snímala mikrovlnné záření z celé oblohy, nejen z malého úseku, jako to činil BOOMERANG, protože ten musel respektovat přítomnost Země pod sebou. Detektor sondy navíc pracoval s

neobyčejně přesným rozlišením. Na dalším obrázku je celá obloha promítnuta do roviny, tak jako promítáme globus na rovinnou mapu. Rovina naší Galaxie zde leží na rovníku, devadesát stupňů nad ní je severní pól a devadesát stupňů pod ní je jižní pól. Rádiový obraz Galaxie byl však ze snímku odstraněn, aby na něm zůstal jen samotný obraz povrchu posledního rozptylu.



Pomocí těchto skvělých měření se dá udělat mnohem lepší odhad geometrie vesmíru. Podobný rozbor dat z WMAP, jaký jsme popsali u dat z BOOMERANGU, dovoluje závěr, že s přesností jednoho procenta je geometrie vesmíru plochá. Očekávání teoretiků se tedy ukázalo jako správné. Nesmíme ovšem ignorovat zdánlivou neshodu mezi tímto výsledkem a výsledkem, který jsem popsal v předchozí kapitole. Tam jsme viděli, že vážení vesmíru pomocí měření hmotností galaxií a kup galaxií vedlo k třikrát menší celkové průměrné hmotnosti, než je třeba k tomu, aby byl vesmír plochý. Oba výsledky je třeba dostat do souladu.

Teoretici si tedy mohli poklepávat na ramena a gratulovat si k odhadu, že vesmír je plochý. Téměř nikdo však nebyl připraven na překvapení, které pro nás příroda měla v záloze a které vyřešilo rozpor mezi odhadem hmotnosti vesmíru získaným měřením hmotnosti kup galaxií a přímým měřením geometrie vesmíru. Ukázalo se,

že chybějící energie potřebná k tomu, aby vesmír byl plochý, se nám skrývá doslova před nosem.

MNOHO POVYKU PRO NIC

Méně je více.

– LUDVIG MIES VAN DER ROHE
PODLE ROBERTA BROWNINGA

Vypadá to, jako kdybychom při naší cestě za porozuměním vesmíru a pochopením jeho povahy udělali jeden krok kupředu a pak dva kroky zpět. I když pozorování nakonec potvrdila dlouhotrvající teoretické podezření, že prostorová křivost vesmíru je nulová, zůstal zde problém s množstvím hmoty ve vesmíru. K tomu, aby geometrie vesmíru nebyla záporně zakřivená, nýbrž plochá, chyběla hmota nejen ve formě standardní hmoty, ve formě protonů a neutronů, ale nebylo jí dost, ani když se započítala hmotnost hypotetických částic temné hmoty. Přímá měření geometrie vesmíru ukazovala, že vesmír je plochý, to ale znamenalo, že chybí 70 procent hmoty, respektive energie, mají-li být splněny vztahy plynoucí z obecné teorie relativity pro geometrii vesmíru. Tato chybějící hmota nemohla být v galaxiích nebo kupách galaxií ani v jejich blízkosti.

Celá záležitost ale nebyla tak dramatická, jak jsem ji vylíčil. Už před přímým změřením geometrie vesmíru a určením celkové hmotnosti v kupách galaxií, které jsme popsali ve druhé kapitole, existovaly náznaky, že konvenční teoretický obraz vesmíru není v souladu s pozorováním. Souhlasu by se nedosáhlo ani tehdy, kdyby hmoty bylo tolik, kolik je třeba pro plochost vesmíru, tedy třikrát více, než ukazují pozorování. Už v roce 1995 jsme spolu s kolegou Michaelem Turnerem z Chicagské univerzity napsali heretický článek, ve kterém jsme

ukazovali, že konvenční obraz vesmíru nemůže být správný. Argumentovali jsme, že plochost vesmíru, ve kterou jsme věřili na základě teoretických úvah, se dá sladit s pozorovaným shlukováním galaxií pomocí podivné teoretické myšlenky, se kterou přišel Albert Einstein v roce 1917, když se snažil ukázat, že podle obecné teorie relativity může existovat statický vesmír, který se nerozpíná. Einstein ovšem tuto myšlenku později odvrhl.

Pokud se pamatuji, naši motivací tehdy bylo spíše ukázat, že s uznávaným většinovým názorem není něco v pořádku, než navrhnout konečné řešení problému. Návrh se zdál příliš bláznivý, než aby byl důvěryhodný, takže si nemyslím, že někdo byl překvapenější než my, když se o tři roky později ukázalo, že naše heretická myšlenka je správná!

Vraťme se do roku 1917. Připomeňme, že když Einstein objevil obecnou relativitu, srdce se mu rozbušilo radostí, když zjistil, že umí vysvětlit anomální posuv perihélia Merkuru. Trápilo ho však, že jeho teorie nepřipouštěla existenci statického vesmíru, protože věřil, že v takovém vesmíru žijeme.

Kdyby byl ve svých úvahách odvážnější, mohl *předpovědět* rozpínání vesmíru. Jenže to neudělal. Všiml si ale, že v jeho teorii se dá udělat malá změna, která je plně v souladu s matematickou argumentací, jež ho dovedla k obecné teorii relativity, a tato změna dovoluje existenci statického vesmíru. (Později se však ukázalo, že tento vesmír by nebyl stabilní.)

I když detaily obecné teorie relativity jsou složité, její obecná struktura je poměrně přímočará. Levá strana Einsteinových rovnic popisuje zakřivení vesmíru a tím také sílu, kterou gravitace působí na hmotu a záření. Toto zakřivení je určeno veličinami na pravé straně rovnic, jež charakterizují rozložení hustoty všech druhů energie a hmoty ve vesmíru.

Einstein si uvědomil, že přidání malého konstantního členu na levou stranu je ekvivalentní přidání slabé *repulzivní* síly, která vede k vzájemnému odpuzování těles, na rozdíl od přitažlivé gravitace. Pro gravitační přitažlivost je charakteristické také to, že její velikost klesá s rostoucí vzdáleností mezi tělesy. Je-li dodatečný člen hodně malý, odpudivá síla se neuplatní v našem nejbližším okolí ani například na měřítkách sluneční soustavy, kde Newtonův gravitační zákon funguje tak skvěle. Protože je ale konstantní všude v prostoru, jeho efekt se bude kumulovat a v opravdu velkých vzdálenostech může odpudivá síla vyvážit vliv přitažlivé gravitace. Einstein tak došel k názoru, že díky tomuto dodatečnému členu vesmír statický být může.

Dodatečný výraz Einstein nazval *kosmologický člen*. Protože jeho velikost je konstantní, mluví se dnes o *kosmologické konstantě*.

Když se ale ukázalo, že vesmír se skutečně rozpíná, Einstein kosmologický člen odvrhl jako zbytečný. Jeho zavedení dokonce prohlásil za svůj největší životní omyl.

Zbavit se ho ale není tak jednoduché: je to podobné, jako se snažit vrátit zubní pastu do tuby, když jsme ji vytlačili ven. Dnes se totiž na kosmologickou konstantu díváme zcela jiným způsobem. Kdyby ji byl Einstein do svých rovnic nevložit, nutně by to někdo udělal později.

Převést kosmologický člen z levé strany Einsteinových rovnic na stranu pravou je malý krok pro matematika, ale velký krok pro fyzika, jako matematická úprava je to triviální, jakmile se ale tento člen ocitne na pravé straně, kde jsou výrazy popisující rozložení energie ve vesmíru, představuje fyzikálně něco jiného – jakýsi nový příspěvek k celkové energii. Jenže energii *čeho* může tento člen představovat?

Odpověď zní, že *ničeho*.

Pod pojmem *nic* ovšem nerozumím nic, nýbrž *nic* – to nic, kterému říkáme prázdny prostor. Tedy: jestliže z nějaké oblasti prostoru odstraním všechno, co v ní je – prach, plyn, lidi, dokonce i záření, které danou oblastí prochází, tedy opravdu *všechno* – a když zbývající *nic*, tedy prázdnota, něco váží, pak to přesně odpovídá Einsteinovu kosmologickému členu.

Tato interpretace kosmologické konstanty však vypadá ještě bláznivěji. Každý žák základní školy vám řekne, kolik energie obsahuje dokonalá prázdnota, a to i tehdy, když neví, co to energie je – odpověď jasně musí být, že žádnou.

Jenže na základní škole se neprobírá ani kvantová mechanika, ani teorie relativity. Když aplikujeme v kvantovém vesmíru Einsteinovu speciální teorii relativity, prázdnota se stane velice podivným objektem. Jeho vlastnosti jsou tak zvláštní, že dokonce i fyzikové, kteří je první odhalili a detailně analyzovali, si nebyli jisti, zda něco takového skutečně existuje v reálném světě.

Prvním vědcem, který úspěšně spojil speciální teorii relativity s kvantovou mechanikou, byl britský teoretický fyzik první velikosti Paul Dirac, proslulý svým lakonickým vyjadřováním. Dirac sehrál významnou roli i při budování nerelativistické kvantové mechaniky.

Kvantová mechanika se rozvinula mezi lety 1912 a 1927, a to především zásluhou legendárního dánského fyzika Nielse Bohra a dvou skvělých mladíků – rakouského fyzika Erwina Schrödingera a německého fyzika Wernera Heisenberga. V kvantovém světě navrženém Bohrem a díky Schrödingerovi a Heisenbergovi vybaveném rafinovanou matematickou strukturou jsou všechny základní pojmy definovány pomocí pojmů, jež známe z každodenního života. Bohr nejdříve předpokládal, že elektrony v atomech krouží kolem jader tak jako planety kolem Slunce. Ukázal ale, že pozorovaným zákonitostem atomových spekter, tedy frekvencím záření, které atomy

vysílají, lze porozumět pouze tak, že elektrony se pohybují jen na určitých drahách. Tyto „kvantové hladiny“ jsou stabilní a elektrony, které se na nich nacházejí, se nemohou zřítit po spirále do jádra, jak by vyplývalo z nekvantové teorie. Mezi jednotlivými hladinami mohou elektrony přeskakovat jen tehdy, když atomy pohlcují nebo vyzařují kvanta záření zcela určitých kmitočtů. Jsou to obdobná kvanta, jaká zavedl v roce 1901 Max Planck, aby vysvětlil spektrum záření horkých těles.

Bohrova „kvantová pravidla“ však byla zavedena v podstatě *ad hoc*. V roce 1920 Schrödinger a Heisenberg nezávisle na sobě ukázali, že tato pravidla mohou být odvozena z fundamentálnějších principů, podle kterých se elektrony chovají jinak než makroskopické objekty, například tenisové míčky. Elektrony se mohou chovat buď jako částice, nebo jako vlny rozprostřené v prostoru (proto Schrödinger zavedl termín „vlnová funkce“), a výsledek měření různých vlastností elektronu se dá předpovědět jen pravděpodobnostně. Navíc platí Heisenbergův princip neurčitosti, podle kterého existují kombinace základních vlastností, jež se nedají současně přesně změřit.

Dirac ukázal, že matematický popis kvantového systému, který navrhl Heisenberg a za který v roce 1932 získal Nobelovu cenu, se dá rozvinout v analogii se známými zákony klasické dynamiky makroskopických systémů. Ukázal také, že se tak dá odvodit i matematický popis Schrödingerovy „vlnové mechaniky“ a že je ekvivalentní popisu Heisenbergovu. Dirac si ale také uvědomoval, že jakkoli fascinující je kvantová mechanika formulovaná Bohrem, Heisenbergem a Schrödingerem, dá se použít jen na systémy, které se na klasické úrovni řídí pohybovými zákony Newtonovými, ne zákony Einsteinovy teorie relativity. Tak byla v té době kvantová mechanika vybudována v analogii s klasickou a ne relativistickou dynamikou.

Dirac přemýšlel raději v matematických rovnicích než v obrázcích. Když svou pozornost obrátil na to, aby kvantovou mechaniku sladil s Einsteinovou teorií relativity, hrál si s mnoha různými druhy rovnic. Mezi nimi byly složité matematické systémy funkcí s mnoha složkami, jež bylo nutno uvážít, aby popis elektronu zahrnoval i skutečnost, že elektron má spin. Spin se dá chápat tak, že se elektron točí kolem své osy jako malý vlček, má tedy určitý moment hybnosti. Otáčet se může na obě strany, tedy ve směru i proti směru hodinových ručiček, a to kolem libovolně zvolené osy.

V roce 1929 objevil něco skutečně důležitého. Schrödingerova rovnice krásně a přesně popisuje chování elektronů, které se pohybují rychlostí mnohem menší, než je rychlost světla. Dirac zjistil, že když Schrödingerovu rovnici modifikuje tak, že použije popis pomocí veličin zvaných matice, získá složitější rovnici, jež vlastně určitým způsobem kombinuje čtyři různé rovnice. A tento matematický vztah konzistentně propojuje kvantovou mechaniku částice se speciální teorií relativity. To znamená, že může popsat systémy, kde se elektrony pohybují velikými rychlostmi.

S touto teorií byl ale spojen problém. Rovnice, kterou Dirac sestavil, měla popisovat chování elektronů interagujících s elektrickým a magnetickým polem. Jenže z ní navíc vyplývalo, že by měly existovat částice ve všem stejné jako elektron, jen s opačným, tedy kladným nábojem.

V té době byla známa jediná částice s opačným nábojem, než má elektron, totiž proton. Jenže proton se elektronu moc nepodobá. Například je asi 2 000krát těžší, uvedeme-li jen ten nejvýznačnější rozdíl.

Dirac z toho byl zmatený. Ze zoufalství se uchýlil k tvrzení, že chybějící nové částice jsou ve skutečnosti totožné s protony, jenom jejich interakce způsobí, že se jeví

těžší. Záhy však ukázali někteří další fyzikové, mezi nimiž byl i Heisenberg, že tento názor není správný.

Příroda ale přišla na pomoc, a to poměrně rychle. Dva roky poté, co Dirac napsal svoji rovnici, a pouhý rok poté, co kapituloval a přijal nezbytnost existence dosud neznámé částice, má-li být jeho teorie správná, objevili takovou částici experimentátoři sledující kosmické záření. V tomto záření, které neustále bombarduje Zemi, skutečně našli částici ve všem přesně stejnou jako elektron, jenom s kladným nábojem – dostala název pozitron.

Dnes o pozitronu mluvíme jako o „antičástici“ k elektronu – ukázalo se totiž, že Diracův objev má obecný důsledek. Stejný fyzikální argument, na základě kterého musí existovat antičástice k elektronu, se dá uplatnit i u ostatních elementárních částic, jež v přírodě existují. Kromě protonu se vyskytuje i antiproton a antičástice existují dokonce i k částicím, jež jsou neutrální, například k neutronu. Když se částice setká se svojí antičásticí, anihilují – promění se v záření.

To vše zní jako science fiction (ve *Star Treku* antičástice skutečně mají důležitou úlohu), ale antičástice neustále vyrábíme všude po světě na urychlovačích částic. Protože částice mají kromě náboje stejné vlastnosti jako antičástice, svět vytvořený z antihmoty by se nijak podstatně nelišil od světa z hmoty – antimilenci by seděli v antiautech a milovali se pod anti-Měsícem. Je to do jisté míry náhoda (i když ještě ukážeme, že zde snad hlubší důvod existuje), že žijeme ve vesmíru z hmoty a ne ve vesmíru z antihmoty nebo ve vesmíru, kde by bylo stejně hmoty jako antihmoty. Mám rád přirovnání, že antihmota se zdá být podivná, ale ve skutečnosti je podivná podobně, jako jsou podivní Belgičané. Oni vlastně nijak podivní nejsou, jenom je zřídka kdy potkáváme.

Existence antičástic dělá z pozorovatelného světa mnohem zajímavější místo už tím, jak komplikuje představu prázdného prostoru.

Byl to legendární fyzik Richard Feynman, kdo podal intuitivní důvod, proč teorie relativity vynucuje existenci antičástic, a podal i grafické vysvětlení, proč prázdný prostor nikdy není docela prázdný.

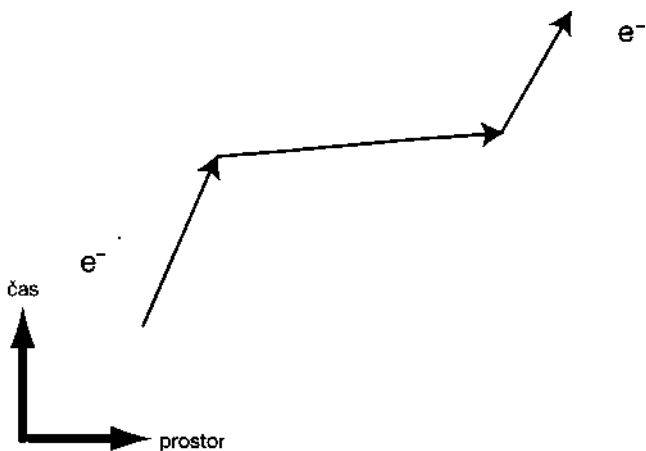
Feynman vyšel z toho, že podle speciální teorie relativity dostávají pozorovatelé pohybující se různou rychlostí různé výsledky měření prostorových a časových intervalů. Například čas měřený hodinami, jež se vzhledem k nám velice rychle pohybují, poběží pomaleji. Kdyby se nějaký předmět mohl pohybovat rychlostí větší, než je rychlost světla, pak by se pro některé pozorovatele pohyboval zpět v čase. To je jeden z důvodů, proč se rychlost světla pokládá za nejvyšší možnou rychlost, které cokoli může dosáhnout, za nejvyšší povolenou rychlost ve vesmíru.

Hlavním dogmatem kvantové mechaniky je ovšem Heisenbergův princip neurčitosti, o kterém jsme se už zmínili. Podle něho je pro určité dvojice veličin nemožné současně určit obě naprosto přesně, například současně určit přesně polohu a hybnost částice. Podobně provádíme-li na nějakém systému měření po určitý konečný čas, nemůžeme určit přesně jeho energii.

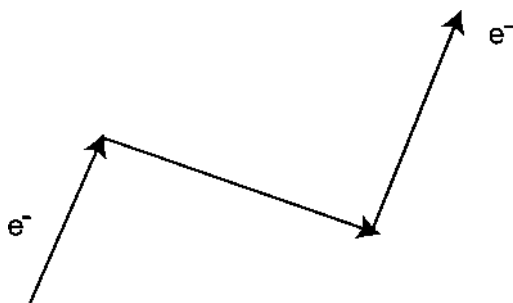
Z toho ale plyne, že po určitý velice krátký čas, tak krátký, že nemůžeme měřit rychlost částice dostatečně přesně, se tato částice může pohybovat nadsvětelnou rychlostí. Jestliže se ale v nějakém vztažném systému něco pohybuje nadsvětelnou rychlostí, pak se to podle Einsteinovy teorie pohybuje z hlediska některých pozorovatelů zpět v čase!

Feynman měl odvahu vzít tuhle na první pohled bláznivou myšlenku vážně a zkoumat její důsledky.

Nejdříve nakreslil diagram pro elektron, který periodicky přepíná svou rychlost na nadsvětelnou hodnotu.

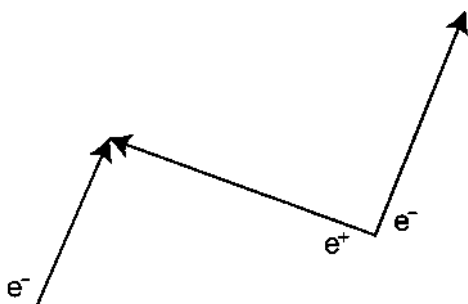


Pak uvážil, že v takovém případě jiný pozorovatel naměří to, co vidíme na dalším grafu – elektron se pohybuje dopředu v čase, pak zpět v čase a pak opět dopředu.

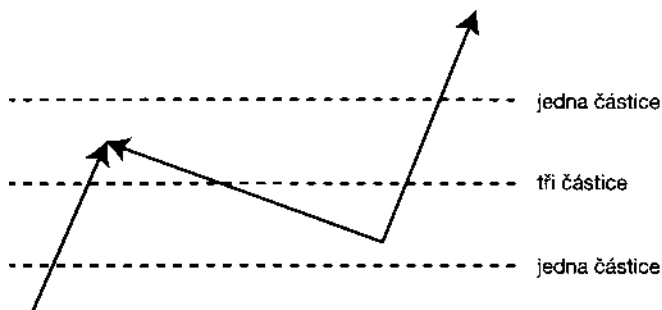


Avšak záporně nabitá částice, která se pohybuje zpět v čase, je fyzikálně ekvivalentní kladně nabitě částici, jež se pohybuje v čase kupředu. Teorie relativity tedy vyžaduje existenci kladně nabitých částic se stejnou hmotností a dalšími vlastnostmi, jaké mají elektrony.

Druhý Feynmanův diagram můžeme interpretovat i jiným způsobem. Na začátku máme jeden elektron. Pak v určitém bodě vznikne z ničeho elektron-pozitronový pár, načež vzniklý pozitron se setká s původním elektronem a anihiluje s ním. Nakonec zůstane jeden elektron, jenž se pohybuje dále.



Podívejme se na to ještě z jiného hlediska. I když vše začalo s jednou částicí a nakonec máme také jen jednu částici, po určitou krátkou dobu existují částice tři.



Po krátký mezičas, na nepatrnou chvíli, se objevilo něco z ničeho! Feynman krásně popisuje tento zdánlivý paradox ve svém článku „Teorie pozitronů“ z roku 1949. Uvádí tam analogii vzpomínající na válečné časy:

„Je to, jako když bombometčík sleduje cestu pod sebou průhledem zaměřovače nízko letícího letadla a najednou vidí místo jedné cesty tři. Teprve když se dvě z nich spojí a pak zmizí, uvědomí si, že prostě letěl nad protáhlou esovitou zatáčkou na jediné cestě.“

Jestliže je příslušný časový interval nad tím „S“ tak krátký, že jednotlivé částice nemůžeme měřit přímo, z kvantové mechaniky a teorie relativity plyne nejen to, že podobné podivné situace mohou nastat, nýbrž i to, že nastat musí. Částice, které se objevují na časové škále příliš krátké, než aby se daly zaměřit, se jmenují *virtuální částice*.

Objev souboru nových částic, které existují tak krátce, že se nedají zaměřit, tak trochu připomíná tvrzení, že na špendlíkové hlavičce sedí obrovské množství andělů. Metafora o andělech na špendlíkové hlavičce se užívá pro problémy nulové praktické hodnoty. Představa virtuálních částic k nim však nepatří, protože má měřitelné důsledky. Virtuální částice sice nejsou přímo pozorovatelné, mají však důsledky *nepřímé* a jsou zodpovědné za ty nejcharakterističtější rysy dnešního vesmíru. A nejen to – výpočty jejich vlivu patří k nejpřesnějším predikcím ve vědě.

Vezměme jako příklad atom vodíku, jehož spektrum nejprve vyložil Bohr na základě kvantovacích podmínek a později podal jeho hlubší vysvětlení Schrödinger na základě své proslulé vlnové rovnice. Krása kvantověmechanického výkladu spočívala v tom, že uměl určit specifické barvy světla, které vodíkové atomy vyzařují při zahřátí, a to na základě představy, že elektron může obíhat jádro jen na drahách, na nichž má určité diskrétní hodnoty energie, a světlo vysílá či absorbuje jen tehdy, přeskočí-li z jedné dráhy na druhou. Proto se může vyzařovat jen světlo se zcela určitými hodnotami

frekvence. Tyto frekvence jednoznačně vyplynou ze Schrödingerovy rovnice a jsou určeny se značnou přesností správně.

Ale ne naprosto správně.

Při bližším experimentálním zkoumání je výsledek o něco komplikovanější, než předpovídá Schrödingerova rovnice. Na pozorovaných energetických hladinách se dá rozlišit jejich jemné rozštěpení na podhladiny velice blízko u sebe – mluví se o „jemné struktuře spektrálních čar“. Toto jemné štěpení bylo známo už v době, kdy Bohr budoval svou teorii atomu, a panovalo podezření, že má co dělat s relativistickými efekty. Dokud však neexistovala plně relativistická kvantová teorie, nebylo možno udělat v tomto směru jasný závěr. Relativistická Diracova rovnice naštěstí upřesnila výsledky Schrödingerovy rovnice a vyložila spektrum vodíkového atomu včetně jemné struktury spektrálních čar.

Vše vypadalo velmi dobře, ale v roce 1947 američtí experimentální fyzici Willis Lamb a jeho student Robert C. Retherford zjistili, že jsou schopni měřit strukturu energetických hladin vodíku s přesností jedné stomiliontiny.

Proč to ale dělat? Jistě, kdykoli experimentátoři objeví metodu, jejíž pomocí mohou něco změřit s větší přesností, než se to umělo dříve, je to pro ně dostatečnou motivací, aby experiment provedli. Takový přístup často otevřel zcela nové světy. Když se v roce 1676 holandský vědec Antonie Philips van Leeuwenhoek poprvé podíval mikroskopem na kapku čiré vody, zjistil, že překypuje životem. V případě Lambova experimentu však byla motivace k provedení přesnějších měření silnější. Až do té doby totiž přesnost měření nedovolovala plné porovnání s předpovědí plynoucí z Diracovy rovnice.

Diracova rovnice předpovídala obecnou strukturu nových pozorování, Lamb však chtěl zjistit, zda vystihuje

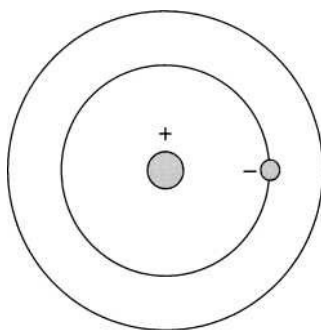
všechny detaily. Hledání co nejpřesnější shody s experimentem je jediná cesta, jak potvrdit teorii. A zdálo se, že zde určitá nepatrná diskrepance mezi teorií a pozorováním je, i když šlo o opravdu nepatrný rozdíl.

Zdálo by se, že tak malý rozdíl se dá ignorovat, jenže Diracova rovnice, alespoň při své nejjednodušší interpretaci, dávala výsledek naprosto jednoznačný. Právě tak se zdál spolehlivý experiment – a přesto mezi předpovědí a měřením byl ten malý rozdíl.

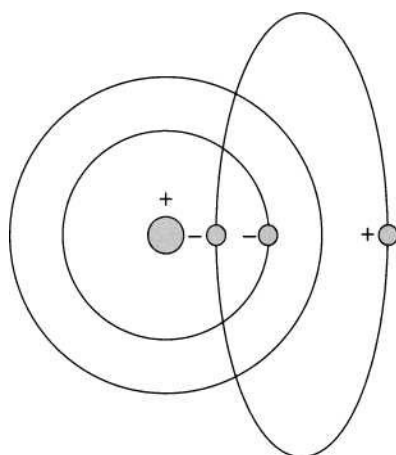
Po několik dalších let se nejlepší teoretické mozky ve fyzice soustředili na rozluštění příčiny tohoto rozdílu. Po dlouhé úmorné práci se zjistilo, že Diracova rovnice dává odpověď v naprosto přesném souladu s experimentálními daty, musí se však zahrnout i efekty virtuálních částic. Lze tomu porozumět na základě následující úvahy.

V učebnicích chemie se vodíkový atom zpravidla zobrazuje jako elektron obíhající kolem protonu s vyznačením drah, na které může elektron přeskočit.

Jakmile ale vezmeme v úvahu možnost, že z nicoty vyskakují elektron-pozitronové páry, které vzápětí anihilují



a zase zmizí, na krátký okamžik vypadá vodíkový atom například takto:



Na pravé straně jsem nakreslil takový pár, který vnikl dole a anihiloval nahoře. Virtuálnímu elektronu, který je záporně nabitý, se líbí pobývat v blízkosti protonu, zatímco pozitron se snaží setrvávat dále od něj. Z obrázku je každopádně patrné, že rozložení náboje ve vodíkovém atomu není v žádném okamžiku dáno jen jediným protonem a elektronem.

Je pozoruhodné, že my fyzici jsme se naučili (díky usilovné práci Feynmana a dalších vědců) zahrnout do výpočtu na základě Diracovy rovnice vliv virtuálních částic v okolí atomu vodíku na jeho spektrum, a to s libovolně vysokou přesností. A když to uděláme, *dostáváme ty nejlepší, nejpresnější předpovědi ve vědě vůbec*. Všechny ostatní vědecké předpovědi ve srovnání s touto blednou. V astronomii se dnes dají současná pozorování reliktního záření srovnávat s teoretickou předpovědí s přesností asi jedné stotisíciny. To je jistě velmi pozoruhodné, ale parametry atomů vypočtené na základě Diracovy rovnice se zahrnutím vlivu virtuálních částic se shodují s pozorováním s přesností lepší než jedna miliardtina!

Máme tedy dobré důkazy, že virtuální částice skutečně existují.

Úžasné přesnosti výpočtů v atomové fyzice se dá jen stěží konkurovat. Je však ještě jedna oblast, kde virtuální částice hrají velmi podstatnou roli – a tato jejich úloha je důležitější pro otázky, jimiž se v této knize chceme ještě zabývat. Ukazuje se, že jsou zodpovědné za většinu hmotnosti vaší i všeho, co ve vesmíru vidíme.

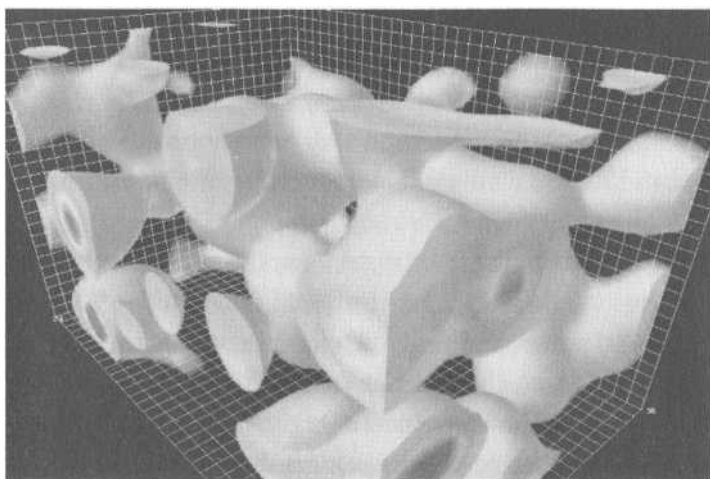
Jedním z velikých úspěchů sedmdesátých let minulého století na cestě k porozumění fundamentálním vlastnostem hmoty byl objev teorie interakce kvarků, ze kterých se skládají protony a neutrony. Už víme, že tyto částice nesou většinu hmotnosti standardní hmoty, tedy všeho, co kolem sebe běžně vidíme. Matematika s tím spojená je značně složitá a trvalo několik desetiletí, než se vyvinuly metody dovolující s kvarky pracovat, jmenovitě v režimu, kde je důležitá silná interakce působící mezi nimi. Stálo to herkulovské úsilí, jež zahrnovalo stavbu a využití komplikovaných paralelních procesorů, v nichž simultánně pracují desítky i tisíce procesorů individuálních, než se na základě teorie kvarků podařilo vypočíst fundamentální vlastnosti protonů a neutronů, tedy částic, jež jsou přístupné přímému měření.

Po veškeré této práci však máme vcelku jasno, jak to uvnitř protonů a neutronů vypadá. Stavebními kameny těchto částic jsou tři kvarky, je tam ale ještě spousta „malty“. Z nicoty neustále vyskakují virtuální částice odpovídající částicím a polím, jež zprostředkují silnou interakci mezi kvarky. Ukažme si snímek toho, jak by to uvnitř protonu mělo vypadat.

Není to samozřejmě reálná fotografie, nýbrž umělecké ztvárnění matematických zákonů, jež vládnu dynamice kvarků a polí, jež je navzájem vážou. Podivné tvary a různé stínování odrážejí sílu polí interagujících navzájem i s kvarky v protonu, tak jak virtuální částice spontánně vznikají.

Proton je těchto virtuálních částic plný. Když zjišťujeme, co a jak přispívá k jeho pozorované hmotnosti, dojdeme k výsledku, že samotné kvarky k ní přispívají jen málo. Největší příspěvek k jejich klidové energii, a tedy i klidové hmotnosti pochází právě od virtuálních částic. Totéž platí i pro neutrony a v důsledku toho i pro nás, protože se z protonů a neutronů skládáme!

Když tedy dovedeme tak úspěšně spočítat vliv virtuálních částic na prázdný prostor v atomu a kolem něho i efekty virtuálních částic uvnitř protonu, uměli bychom určit i vliv virtuálních částic na zcela prázdný prostor?



Tenhle výpočet je ve skutečnosti obtížnější než ty předchozí. Je to proto, že když počítáme účinek virtuálních částic na atom nebo na hmotnost protonu, v prvním kroku počítáme energii atomu či protonu *včetně* virtuálních částic. V druhém kroku pak určíme, jak by energie virtuálních částic přispívala, kdyby v prostoru žádné atomy či protony nebyly, tedy kdyby byl prostor prázdný; potom obě veličiny od sebe odečteme a tím získáme netto dopad na atom či proton. Postupujeme tak proto, že když vyřešíme

příslušné rovnice, budou obě veličiny nekonečné, ale jejich odečtením dostaneme konečné číslo, které souhlasí s experimentálně měřenou hodnotou.

Když však chceme spočítat účinek virtuálních částic na prázdný prostor, nemáme co odečíst, takže výsledek je nekonečno.

Nekonečno není moc příjemná veličina, alespoň pro fyziky, kteří se jí snaží zbavit, kdykoli je to jen možné.

Energie prázdného prostoru zjevně nemůže být, podobně jako jiné fyzikální veličiny, nekonečná. Musíme tedy najít cestu, jak bychom dostali konečný výsledek.

Snadno pochopíme, proč energie vakua vychází nekonečná. Když vezmeme v úvahu všechny virtuální částice, jež se mohou objevit, jejich energie je určena Heisenbergovým principem neurčitosti. Už víme, že podle něho je neurčitost v energii nějakého systému tím větší, čím kratší je doba, po kterou jej pozorujeme. Virtuální částice budou mít tedy tím větší energii, na čím kratší dobu se objeví. Částice mohou tedy nést téměř nekonečnou energii, jestliže zase zmizí po téměř nekonečně krátkém časovém intervalu.

Jenže na fyzikální zákony, na jejichž základě tuto úvahu děláme, se můžeme spolehnout jen tehdy, pracujeme-li na vzdálenostech či časových intervalech větších, než na kterých by se měly uplatnit kvantové efekty na gravitaci, tedy na samotný prostoročas. Dokud nebudeme mít uspokojivou teorii „kvantové gravitace“, nemůžeme naše úvahy prodlužovat pod takzvanou Planckovu délku a Planckův čas.

Můžeme doufat, že nová fyzika spojená s kvantovou gravitací nějak vyřeší problém s energií částic, jež žijí kratší dobu, než je Planckův čas. Když uvážíme kumulativní efekt jenom těch virtuálních částic, jež žijí po dobu delší než Planckův čas, pak jejich příspěvek k energii vakua bude konečný.

na hodnotu, která by byla slučitelná s pozorováním. To by chtělo odečíst od obrovského kladného čísla jiné obrovské kladné číslo tak, aby se vyrušilo sto dvacet prvních číslic a zůstal jen drobný zbytek. Ale takové odečtení obrovských čísel, kde nakonec zbude něco nepatrného, nemá ve fyzice precedent.

Na druhé straně nula se dá opatřit snadno. Symetrie přírody často způsobí, že určitý příspěvek se přesně vyruší s příspěvkem jiným, který pochází z jiné části výpočtu. Oba veliké členy se vyruší, takže nezbude nic, přesněji zbude Nic.

My teoretici jsme tedy mohli v noci klidně spát. Věděli jsme, jak má konečná odpověď vypadat, i když jsme nevěděli, jak se k ní dopracovat.

Příroda ale přemýšlela jinak.

SPLAŠENÝ VESMÍR

Přemýšlet v současné době o původu života je nesmysl, to bychom už mohli uvažovat i o původu hmoty.

– CHARLES DARWIN

To, co jsme v roce 1995 s Michaellem Turnerem navrhovali, bylo extrémně heretické. Jen na základě teoretického předpokladu jsme předpokládali, že vesmír je plochý. (Znovu připomínám, že termín „plochý“ neznamená, že vesmír je placka, nýbrž že má intuitivní vlastnosti euklidovského prostoru, ve kterém světelné paprsky jsou přímkami.) Protože dostupná pozorovací data v té době ukazovala, že hmota v kupách galaxií a jejich okolí včetně temné hmoty nese jen 30 procent hmotnosti, respektive energie nutné k tomu, aby vesmír mohl být plochý, vyvodili jsme z toho, že zbývajících 70 procent celkové energie ve vesmíru nenese žádná forma hmoty, nýbrž sám prázdný prostor.

Naše myšlenka byla bláznivá podle všech měřítek. Hodnota kosmologické konstanty, která byla v souladu s našimi požadavky, musela být o 120 řádů menší než ta, o níž jsme mluvili v předchozí kapitole jako o vakuové energii podle kvantové teorie, ale přece jen ne nulová. To naznačovalo nutnost toho nejjemnějšího vyladění fyzikální veličiny s jakým jsme se v přírodě kdy setkali – a my jsme neměli ponětí, jak to udělat.

To byl jeden z důvodů, proč mé přednášky o dilematu plochého vesmíru proslovené na různých univerzitách budily nejvýše zdvořilé úsměvy. Mnoho lidí asi nebralo naši myšlenku vážně, ostatně nejsem si jistý, zda jsme ji

brali vážně my s Turnerem. Důvodem pro sepsání našeho článku bylo, že jsme chtěli jasně ilustrovat to, co trápilo nejen nás, ale i řadu dalších kolegů teoretiků, že totiž hmotnost nutná k tomu, aby podle obecné teorie relativity mohl být vesmír plochý, je nesena především temnou hmotou (okořeněnou trochou baryonů, jež tvoří například nás pozemšťany, hvězdy a viditelné galaxie).

Nedávno mi jeden kolega připomněl, že během dvou let po publikaci byl náš článek citován jen párkrát, navíc některé citace byly v mých nebo Turnérových článcích. Jakkoli překvapivý náš vesmír je, většina vědecké komunity nevěřila, že by mohl být tak bláznivý, jak jsme s Turnerem navrhovali.

Nejjednodušší cestou, jak vyhovět pozorovacím datům, bylo uznat, že vesmír není plochý, nýbrž otevřený, to znamená, že světelné paprsky sledované směrem do minulosti se rozbíhají od sebe. Bylo to ovšem ještě předtím, než měření reliktního záření potvrdila, že model otevřeného vesmíru není životaschopný. Ale i tehdy měla tato možnost svá úskalí, i když vše bylo velmi nejasné.

Každý středoškolák vám řekne, že gravitace se snaží vše stahovat dohromady, že mezi tělesy panuje všeobecná přitažlivost. Jak se ale ve vědě často stává, ukázalo se, že své představy musíme rozšířit, protože příroda je nápaditější než my. Předpokládejme na chvíli, že gravitace expanzi vesmíru stále zpomaluje, a vzpomeňme si, že máme způsob, jak stanovit horní mez věku vesmíru. Kdyby rychlost expanze, tedy rychlost, jíž se od sebe vzdalují galaxie, byla stále stejná po celou dobu od velkého třesku, jednoduše bychom určili dnešní vzdálenosti galaxií. Jestliže ovšem rychlost jejich vzájemného vzdalování stále klesala, pak se v minulosti vzdalovaly rychleji, a proto k zaujetí současných poloh potřebovaly kratší čas, než kdyby se pohybovaly stále tou rychlostí, jakou se pohybují dnes. Při stejné rychlosti expanze, kterou dnes měříme, by v

otevřeném vesmíru, ve kterém dominuje hmota, zpomalování expanze bylo pomalejší než ve vesmíru plochém, a proto odhadnutý věk vesmíru by byl větší než věk vesmíru plochého, ve kterém dominuje hmota. Byl by ve skutečnosti mnohem blíže hodnotě, kterou odhadneme z předpokladu, že expanze probíhala po celou dobu stejně rychle.

Vzpomeňme, že nenulová energie prázdného prostoru má stejný účinek jako kosmologická konstanta, která má odpudivý účinek. Rychlost vesmírné expanze by proto klesala pomaleji – dokonce by mohla růst, kdyby odpudivý účinek kosmologické konstanty převážil nad gravitační přitažlivostí. Pak by se galaxie v minulosti vzdalovaly pomaleji než dnes. Na hodnotě kosmologické konstanty a dnešní hustotě viditelné a temné hmoty závisí odhad maximálního možného věku vesmíru.

V roce 1996 jsme se s Brianem Chaboyerem ve spolupráci s Pierrem Demarquem z Yale a jedním postdoktorandem z univerzity Case Western Reserve snažili stanovit nejnižší možný věk nejstarších hvězd v naší galaxii – došli jsme k hodnotě 12 miliard let. Byl to výsledek modelování vývoje milionů různých hvězd na superrychlých počítačích a následného porovnávání našich modelů s barvou a jasnou skutečných hvězd v kulových hvězdokupách, jež jsou už dlouho pokládány za nejstarší objekty v naší galaxii. Když jsme předpokládali, že vytvoření galaxie trvalo kolem jedné miliardy let, náš odhad nejnižšího věku vesmíru na tomto základě prakticky vyloučil plochý vesmír naplněný jen hmotou a byl naopak v souladu s představou vesmíru s kosmologickou konstantou. (I to byl jeden z faktorů, které podporovaly naše závěry v dřívějším článku s Turnerem). Otevřený vesmír stál na samé hranici přípustnosti.

Jenže určení věku nejstarších hvězd vyžaduje dělat závěry z dat, která v té době byla na samé hranici přesnosti

měření. V roce 1997 nás nová pozorování donutila snížit odhadnutý věk o dvě miliardy let, což dovolovalo poněkud mladší vesmír. Situace se tak stala mnohem zamotanější a najednou byly životaschopné všechny tři kosmologie.

Vše se ale změnilo v roce 1998, náhodou ve stejném roce, kdy měření BOOMERANGu potvrdila plochost vesmíru.

Po dobu sedmdesáti let, která uplynula od chvíle, kdy Edwin Hubble poprvé změřil rychlost rozpínání vesmíru, astronomové tvrdě pracovali na co nejpresnějším určení této rychlosti. Vzpomeňme, že v devadesátých letech minulého století konečně našli tu správnou „standardní svíčku“, tedy objekt, jehož skutečnou svítivost pozorovatelé znali a z jehož zdánlivého jasu pak dovedli určit jeho vzdálenost. Tato standardní svíčka vypadala spolehlivě a dala se pozorovat do velkých prostorových, a tím i časových vzdáleností.

Šlo o určitý typ explodujících hvězd, zvaný supernovy typu Ia, u kterých existuje přesný vztah mezi jejich absolutní svítivostí a dobou života. Určení, jak dlouho supernova typu Ia zůstává jasná, je komplikováno tím, že se musí vzít v úvahu efekty dilatace času, jež způsobí, že supernova při pozorování ze Země září déle než ve svém klidovém systému. Nicméně se podařilo skutečný jas supernov Ia určit a porovnat jej se zdánlivým jasnem pozorovaným teleskopy, a tím stanovit vzdálenost k mateřským galaxiím, ve kterých supernovy explodovaly. Měření červeného posuvu světla z těchto galaxií se naopak určí rychlost jejich vzdalování. Kombinací těchto dvou veličin pak dostaneme s velmi dobrou přesností rychlost rozpínání vesmíru.

Protože supernovy jsou velmi jasné, představují nejen výborný nástroj pro měření Hubbleovy konstanty, ale můžeme je sledovat i v tak velkých vzdálenostech, že světlo z nich k nám letělo po podstatnou část věku vesmíru.

Najednou tu byla nová vzrušující možnost – měřit, jak se Hubbleova konstanta měnila v průběhu času.

Měřit, jak se mění konstanta – to zní jako protimluv. A také by to protimluv byl, kdybychom měli na mysli časové úseky srovnatelné s délkou lidského života. V takových časových měřítkách se Hubbleova konstanta skutečně nemění, ale už jsme si řekli, že na kosmické časové škále se rychlost expanze, tedy i ji charakterizující Hubbleova konstanta, mění v důsledku působení gravitace.

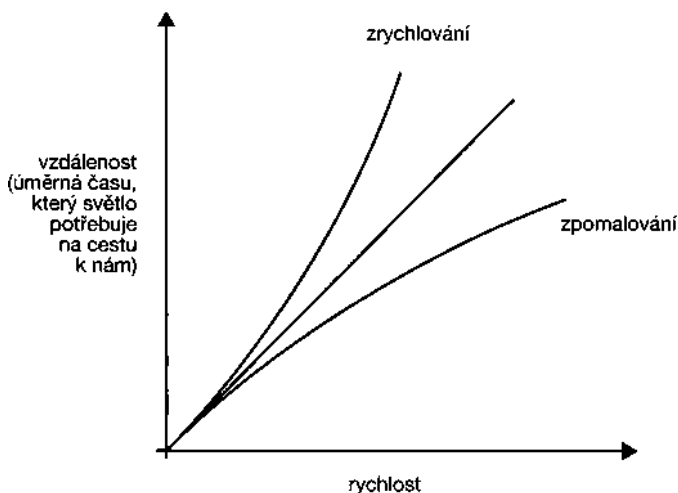
Astronomy lákala možnost měřit rychlost a vzdálenost supernov, které se nacházejí v opravdových dálavách, až na okraji pozorovatelného vesmíru. Pak by totiž mohli zjistit, jak se expanze vesmíru zpomalovala (předpokládali, že se vesmír chová rozumně a gravitace je přitažlivá, takže rozpínání se musí zpomalovat). Rychlost tohoto zpomalování by zase pomohla určit, zda je geometrie vesmíru otevřená, plochá nebo uzavřená, protože pro tyto tři typy geometrií se rychlost expanze mění různě.

V roce 1996 jsem šest týdnů pobýval v Lawrenceově laboratoři v Berkeley, kde jsem přednášel o kosmologii a diskutoval s kolegy o různých vědeckých tématech. Také jsem hovořil o možnosti, že prázdný prostor by mohl nést určitou energii. Po přednášce za mnou přišel mladý fyzik Saul Perlmutter, který pracoval na pozorování vzdálených galaxií, a řekl mi: „My ukážeme, že nemáte pravdu!“

Saulovo prohlášení se týkalo důsledku naší myšlenky, že 70 procent veškeré energie vesmíru je energií prázdného prostoru. Připomeňme si, že tato energie je ekvivalentní kosmologické konstantě, která vede k odpudivé síle v celém prostoru, a toto odpuzování by časem převládlo, takže rozpínání vesmíru by se nezpomalovalo, nýbrž *zrychlovalo*.

Už jsme uvedli, že kdyby se po značnou část věku vesmíru rozpínání zrychlovalo, pak by byl vesmír starší, než bychom soudili za předpokladu, že se rozpínání

zpomaluje. To znamená, že světlo z galaxií s velkým červeným posuvem k nám cestovalo z větší vzdálenosti. Supernovy v galaxiích s určitou hodnotou červeného posuvu by se jevíly slabší, než kdyby bylo světlo vysláno bližším objektem. Základní schéma úvahy je takové, že když změříme podíl rychlosti a vzdálenosti poměrně blízkých galaxií, zjistíme tím dnešní rychlost rozpínání vesmíru. Když postoupíme do větších vzdáleností, můžeme sledovat, jestli se křivka udávající závislost vzdálenosti galaxií na čase začne pro vzdálené galaxie stáčet vzhůru nebo dolů. Z toho zjistíme, zda se rychlost rozpínání vesmíru v kosmické časové škále zvětšuje nebo zmenšuje.



Dva roky po tomto setkání Saul se svými spolupracovníky z mezinárodního týmu, který se nazýval *Supernova Cosmology Project*, tedy Projekt kosmologie založené na supernovách, uveřejnil článek založený na předběžných výsledcích. Z něho skutečně vyplývalo, že já a Turner jsme pravdu neměli. (Autoři však ani nezmiňovali, že výsledky vyvracejí moji a Turnérovu hypotézu, protože jako většina pozorovatelů jí nepřikládali

velkou váhu.) Jejich data naznačovala, že křivka, která mapuje vztah vzdálenost *versus* červený posuv, se stáčí dolů, a z toho plynula pro hustotu vakuové energie mnohem nižší horní mez. Podle tohoto výsledku tedy energie vakua nepředstavovala podstatnou část celkové energie vesmíru.

Nicméně ve vědě se často stává, že první měření dobře nereprezentují úplná data. Může dojít k tomu, že jste statisticky měli smůlu, nebo se do měření vloudila systematická chyba – a ta se odhalí až tehdy, když máte mnohem větší soubor dat. A tak tomu bylo také v případě prvních publikovaných výsledků Perlmuttera a jeho spolupracovníků – později se ukázalo, že nejsou správné.

Podobný program měl i jiný mezinárodní projekt, zvaný *High-Z Supernova Search Team*, tedy Tým pro hledání supernov s velkým Z, tj. s velkým červeným posuvem. Tato skupina, vedená Brianem Schmidtem z observatoře v Mount Stromlo v Austrálii, došla k jinému závěru. Brian mi nedávno prozradil, že poté, co uskutečnili svá první pozorování supernov s velkým červeným posuvem, z nichž plynulo, že se expanze vesmíru urychluje, jim byl zkrácen pozorovací čas. Odpovědní pracovníci prohlásili, že měření Schmidtova týmu musí být chybná, protože *Supernova Cosmology Project* už prokázal, že vesmír je plochý a dominuje v něm hmota.

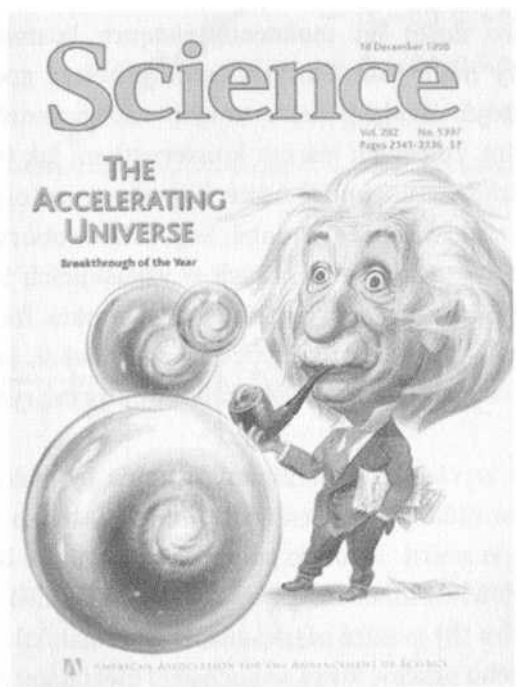
Detailní historie soupeření mezi oběma skupinami bude určitě ještě mnohokrát popsána, obzvláště dostanou-li za svůj objev Nobelovu cenu, a tu určitě dostanou.* Toto není místo, kde bychom se měli starat o to, komu náleží priorita. Stačí jen konstatovat, že začátkem roku 1999 Schmidtova skupina uveřejnila článek, který ukazoval, že vesmír se urychluje. O šest měsíců později oznámil Perlmutterův tým

* V době, kdy tato kniha už šla do tisku, jsem se dozvěděl, že Saul a Brian, spolu s Adamem Riessellem, který též patřil k *High-Z Supernova projektu*, dostali Nobelovu cenu za fyziku pro rok 2011.

obdobný výsledek a přiznal předchozí chybu. Tím se podstatně zvýšila důvěryhodnost urychlujícího se vesmíru, ve kterém dominuje energie prázdného prostoru, nebo, jak se dnes obecně říká, temná energie.

Rychlost, s jakou vědecká obec tyto závěry přijala – navzdory tomu, že to znamenalo dalekosáhlou revizi přijatých představ o vesmíru –, je zajímavá z hlediska sociologie vědy. Nový obraz byl přijat téměř přes noc, i když, jak zdůrazňuje Cari Sagan: „Mimořádné představy potřebují mimořádné důkazy.“ A představa urychlujícího se vesmíru bezpochyby mimořádná byla.

Udivilo mě, když v prosinci 1998 časopis *Science* nazval objev urychlování vesmíru „průlomem roku“ a na obálce příslušného čísla uveřejnil obrázek šokovaného Einsteina.

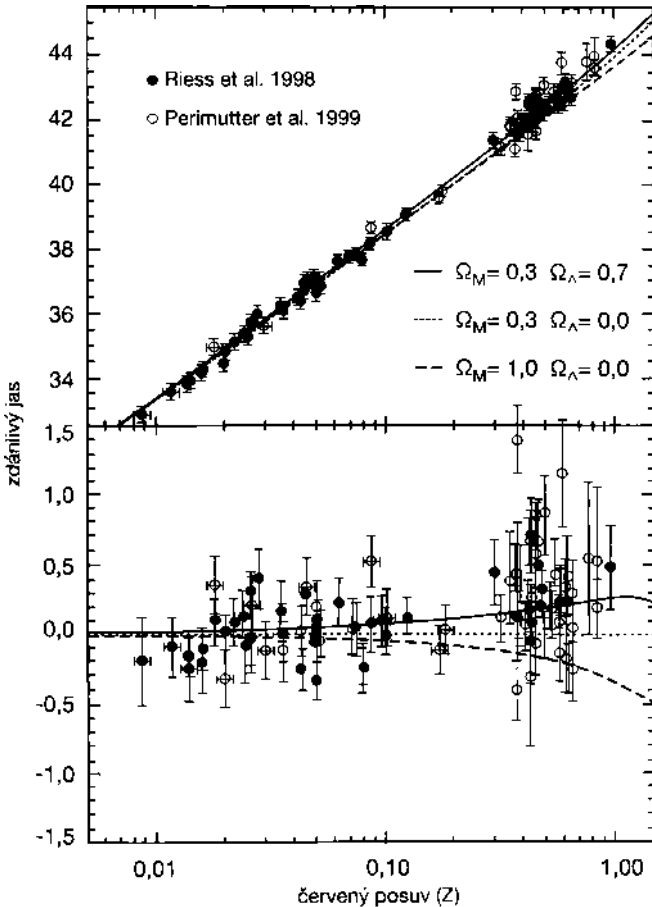


Ne že bych se domníval, že si tento objev reklamu na obálce nezaslouží. Právě naopak. Byl-li správný, tak to byla jedna z největších astronomických senzací naší doby. Data však sice pro urychlování silně svědčila, ještě jsem je ale nepokládal za zcela nezvratná. Vyžadovala se zde tak velká změna v našem obrazu vesmíru, že se mi zdálo na místě provést detailnější analýzu měření obou skupin, která by vyloučila jakékoli jiné možné příčiny naměřených hodnot. Teprve potom by se měla uznat realita kosmologické konstanty. Jak jsem v té době řekl nejméně jednomu novináři: „O kosmologické konstantě jsem začal poprvé pochybovat v okamžiku, kdy pozorovatelé ohlásili její objev.“

Můj bonmot se může zdát neupřímný, když jsem předtím skoro deset let možnost existence kosmologické konstanty hájil. Jako teoretik jsem přítelem spekulací, zvláště když otevírají cestu novým experimentům. Ale také věřím, že člověk má být konzervativní, jak je to jen možné, když zkoumá nové údaje, hlavně asi proto, že jsem vědecké zralosti dosáhl v době, kdy v mém oboru – částicové fyzice – mnoho lákavých a vzrušujících hypotéz rychle vyšumělo. Senzační objevy jako páta interakce, různé nové elementární částice či pozorování, jež měla prokazovat rotaci vesmíru jako celku, odešly tak rychle, jak přišly.

Objev zrychleného rozpínání vesmíru byl založen na tom, že se vzdálené supernovy jeví méně jasné, než by se jevily ve vesmíru, jehož expanze se zpomaluje. Bylo ale třeba vyloučit možnosti, že buď (a) jsou *opravdu* méně jasné, nebo (b) je stíní nějaká oblaka mezigalaktického či galaktického prachu, která se nacházejí mezi námi a jimi.

Během dalších deseti let však důkazy pro zrychlování expanze vesmíru získaly tolik na průkaznosti, že se daly označit za téměř nezvratné. Předně se změřilo mnohem více supernov s velkým červeným posuvem. Z kombinované analýzy obou skupin vznikl tento graf:



Pro větší názornost autoři zakreslili do grafu tečkovanou přímku od levého dolního k pravému hornímu rohu, která splývá s údaji pro blízké supernovy. Ta nám usnadňuje určit, zda křivka propojující údaje o vzdálených supernovách se stáčí směrem nahoru či dolů. Sklon tečkované čáry reprezentuje rychlost expanze dnes.

Přehlednější je dolní graf, kde je tečkovaná čára horizontální. Kdyby se expanze vesmíru zpomalovala, jak se předpokládalo v roce 1998, vzdálené supernovy se Z

blízkým jedné by padly pod horizontální přímku. Ale jasně vidíme, že většina jich je umístěná nad ní. To může mít jeden ze dvou důvodů:

1. data jsou chybná, nebo
2. expanze vesmíru se zrychluje.

Přijmeme-li na chvíli druhou z hypotéz, můžeme se zeptat, kolik energie by muselo být v prázdném prostoru, aby to vyvolalo pozorované urychlování. Odpověď je pozoruhodná. Plná čára, která odpovídá pozorování nejlépe, souhlasí s představou plochého vesmíru, v němž je 30 procent energie v částicích různých druhů (především temné hmoty) a 70 procent energie prázdného prostoru. Je to právě tolik, aby byla plochost vesmíru v souladu se skutečností, že v kupách galaxií a jejich okolí skutečně existuje jen těch 30 procent potřebného množství hmoty, a to je pozoruhodné. Dosáhlo se tedy souladu mezi pozorováními různého typu.

Protože však představa, že 99 procent vesmíru je neviditelných (1 procento viditelné hmoty v moři temné hmoty obklopené temnou energií), patří do kategorie fantastických představ, měla by se přece jen brát vážně i první možnost, totiž že výsledky měření jsou chybné. V následujícím desetiletí však také ostatní kosmologická pozorování podporovala obraz plochého vesmíru, ze kterého je viditelné jen jedno procento jeho obsahu a kde hmota, kterou vidět nemůžeme, se skládá z nějakého dosud neznámého druhu elementárních částic.

Předně se zpřesnily údaje o vývoji hvězd díky novým satelitům, které poskytly informace o výskytu prvků ve starých hvězdách. Na jejich základě se mi spolu s kolegou Chaboyerem v roce 2005 povedlo dokázat, že neurčitost odhadu věku vesmíru založeného na těchto úvahách je tak malá, že zcela vylučuje dobu života kratší než 11 miliard

let, a to je nekonzistentní s každým vesmírem, který neobsahuje významné množství energie prázdného prostoru. Protože si nejsme jisti, zda tato energie pochází skutečně z kosmologické konstanty, užívá se nyní neurčitější jméno „temná energie“ v analogii s termínem „temná hmota“.

Odhad věku našeho vesmíru neobyčejně zlepšila kolem roku 2006 nová přesná měření reliktního záření pomocí družice WMAP – ta dovolují přímo určit dobu, která uplynula od velkého třesku. Dnes víme jistě, že vesmír je starý 13,72 miliardy let.

Nikdy jsem nesnil o tom, že ještě za mého života se podaří dosáhnout takové přesnosti. Dnes jsme jí ale kupodivu dosáhli, a tak můžeme potvrdit, že tak starý vesmír nemůže bez temné energie existovat. Navíc platí i to, že její účinek je takový, jaký by byl účinek kosmologické konstanty. Jinými slovy, hustota temné energie se s časem nemění, zůstává stálá.

Novým vědeckým průlomem bylo i to, že vědci dokázali přesně měřit, jak hmota vytvářela galaxie a dále se kupila v průběhu času. Při tomto procesu spolu soutěží dva vlivy – expanze vesmíru, která se snaží hmotu ředit, a vzájemná gravitační přitažlivost. Čím větší je vakuová energie, tím dříve její účinek ve vesmíru převládne a nakonec zastaví hroucení hmoty na každé škále.

Měření shlukování hmoty pod vlivem gravitace znovu potvrdilo, že vesmír je plochý a obsahuje 70 procent temné energie. Jenom v takovém vesmíru se totiž mohly vytvořit struktury na velkých měřítkách, které pozorujeme. A znovu se v této souvislosti ukazuje, že se temná energie chová jako kosmologická konstanta.

Nezávisle na těchto nepřímých studiích historie expanze vesmíru udělali pozorovatelé hluboké rozborů svých pozorování s cílem odhalit, zda v nich není nějaká systematická chyba. Například by se zde mohlo projevit

případně zaclonění vzdálených supernov prachem. To se jim podařilo vyloučit, podobně jako další možné chyby.

Jedním z nejdůležitějších testů bylo podrobné sledování minulosti vesmíru.

V rané historii vesmíru měla oblast, kterou dnes pozorujeme, mnohem menší rozměr a hustota hmoty v ní byla proto mnohem větší. Na druhé straně hustota energie prázdného prostoru zůstává stále stejná, alespoň pokud se chová jako kosmologická konstanta. Proto do okamžiku, kdy rozměry vesmíru byly asi poloviční než dnes, převyšovala hustota energie hmoty hustotu vakuové energie. Byla tedy dominantní a gravitační přitažlivost převažovala nad odpudivostí spojenou s kosmologickou konstantou. Rozpínání vesmíru se tedy zpomalovalo tak dlouho, dokud nepřevážil účinek temné energie.

V klasické mechanice se změně zrychlení říká „jerk“ (český termín je „ryv“). V roce 2003 jsem na naší univerzitě organizoval konferenci o perspektivách kosmologie. Pozval jsem na ni jednoho z členů týmu *High-Z Supernova* Adama Riese, který mi slíbil, že tam přednese důležité sdělení. A skutečně to udělal. O konferenci příští den přinesly zprávu *New York Times*. Doprovázela ji fotografie Adama s titulkem „Kosmický ryv odhalen“. Foto jsem si schoval a občas se na ně rád dívám.

Detailní mapování historie rozpínání vesmíru, jež ukázalo změnu od periody decelerace k akceleraci, dodalo další váhu původním pozorováním, ze kterých vyplynula existence temné energie. Se všemi dalšími důkazy, které dnes máme k dispozici, se lze jen těžko domnívat, že nás něco svedlo na falešnou cestu. Ať se nám to líbí nebo nelíbí, temná energie zde zůstane, alespoň tak dlouho, než se nějak změní.

Původ a povaha temné energie je bezpochyby největší záhadou současné základní fyziky. Nerozumíme do hloubky, jak vzniká a proč má právě takovou hodnotu,

jakou má. Nemáme proto ponětí, proč začala vládnout expanzi vesmíru až poměrně nedávno, asi před 5 miliardami let: má-li to hlubší důvod, nebo je to pouhá náhoda. Je přirozené se domnívat, že její povaha je nějakým hlubokým způsobem spojena s počátkem vesmíru. A vše napovídá tomu, že bude určovat i jeho budoucnost.

OBĚD ZDARMA NA KONCI VESMÍRU

Vesmír je velký. Fakticky velký. To byste nevěřili, jak je hrozivě obrovitánsky velký, že z toho zůstává rozum stát. Myslíte si třeba, že drogerie ve vaší ulici je daleko, ale proti vesmíru je to úplný houby.

– DOUGLAS ADAMS, STOPAŘŮV PRŮVODCE PO GALAXII

Udělat ze dvou jedno není tak špatné. My kosmologové jsme uhádli, a jak se ukázalo, tak správně, že vesmír je plochý, takže nás už nepohoršilo šokující zjištění, že prázdný prostor nese energii a že je jí dokonce tolik, že už ovládla mechanismus rozpínání vesmíru. Existence této energie se jevila jako podivná, ještě podivnější však je to, že jí není tolik, aby udělala vesmír neobyvatelným. Kdyby totiž byla energie prázdného prostoru tak velká, jak naznačoval odhad na základě kvantové teorie, rychlost rozpínání by byla tak obrovská, že by vše bylo odneseno velice rychle za horizont. Z vesmíru by se stala chladná temná prázdnota ještě dříve, než by se stačily vytvořit hvězdy a než by mohla vzniknout naše Země.

Ze všech důvodů, jež vedou k představě plochého vesmíru, je nejvážnější ten, že je dnes téměř plochý, jak víme z pozorování. Dříve, ještě před objevem temné hmoty, se vědělo, že viditelný materiál kolem galaxií nese jen jedno procento hmotnosti potřebné k tomu, aby vesmír byl přesně plochý.

Jedno procento se zdá být velmi málo, ale musíme si uvědomit, že náš vesmír je velmi starý, řádově miliardy let. Kdyby expanzi ovlivňoval jen gravitační účinek hmoty a záření, jak si fyzikové dříve mysleli, jeho odchylka od plochosti by se v důsledku rozpínání stále zvětšovala.

Otevřený vesmír by se rozpínal rychleji než vesmír plochý. Proto by rychleji klesala i hustota hmoty v něm a za dobu existence vesmíru by klesla na nepatrný zlomek hodnoty nutné pro plochý vesmír.

Kdyby byl vesmír naopak uzavřený, rychlost jeho expanze by klesala rychleji, až by se rozpínání zastavilo a přešlo ve smršťování. Hustota hmoty by klesala pomaleji než ve vesmíru plochem a v kolabujícím vesmíru by pak naopak vzrůstala. Odchylka od hustoty odpovídající plochému vesmíru by opět s časem narůstala.

Od okamžiku, kdy byl vesmír jednu sekundu starý, se objemy všech jeho podoblastí zvětšily řádově bilionkrát. Kdyby v tomto okamžiku hustota hmoty nebyla téměř přesně rovna hustotě odpovídající plochému vesmíru, kdyby se lišila řekněme o deset procent, dnešní hustota by se musela lišit nejméně bilionkrát od hodnoty odpovídající plochému vesmíru – a to je mnohonásobně více, než odpovídá dnes pozorované hustotě viditelné hmoty – ta je rovná jedné setině hodnoty pro plochý vesmír.

Tento problém byl dobře známý a v sedmdesátých letech minulého století se mu začalo říkat „problém plochosti“. Úvahy o možné geometrii vesmíru jsou analogické úvahám o rovnováze tužky postavené na hrot. Je to sice rovnovážná poloha, ale sebemenší výchylka způsobí, že tužka začne padat na jednu stranu. Podobně je to s plochým vesmírem – jakkoli drobná odchylka od plochosti rychle narůstá. Ptáme se tedy, jak by mohl být dnes vesmír plochý přibližně, kdyby nebyl plochý *přesně*?

Nejpřirozenější odpovědí samozřejmě je, že skutečně přesně plochý je.

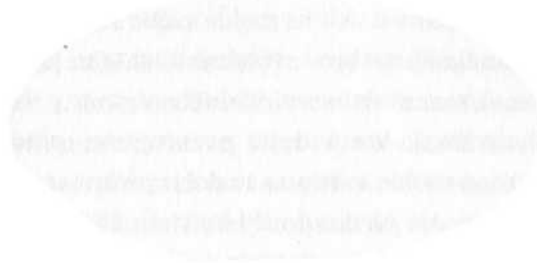
To není ale tak docela uspokojivé řešení, protože hned vede k další otázce: „Proč se počáteční podmínky nastavily právě tak, aby vesmír plochý byl?“

Na tuto obtížnější otázku existují dvě odpovědi. První vznikla v roce 1981 a dal ji mladý teoretický fyzik s

čerstvým doktorátem Alan Guth. Ten přemýšlel o problému plochosti a o dvou problémech příbuzných, ke kterým vedl standardní obraz velkého třesku, zvaných „problém horizontu“ a „problém monopolů“. Všimneme si jen prvního z nich, protože problém monopolů se automaticky vyřeší spolu s problémem plochosti a problémem horizontu.

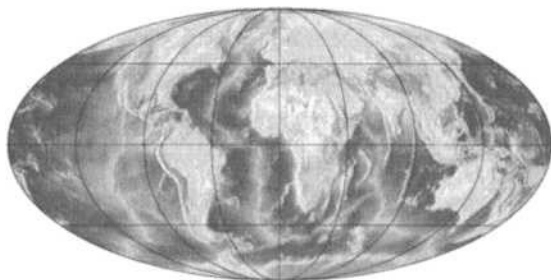
Problém horizontu pramení ze skutečnosti, že reliktní záření je podivuhodně izotropní: ze všech stran k nám přichází se stejnou intenzitou. Už jsme se zmínili o jeho drobných nepravidelnostech, ty jsou však neobyčejně malé – odchylky teploty (respektive intenzity) jsou menší než jedna desetitisícina průměrné teploty. Předtím jsem se soustředil na důležitost těchto drobných odchylek, ale palčivější otázka byla: „Proč byl vesmír takto homogenní v době, ze které reliktní záření pochází?“

Na mapě reliktního záření na nebeské sféře, kterou jsme už viděli, byly odchylky teploty vyznačeny výraznými rozdíly v barvách, resp. stínech. Když je vyznačíme lineárně, tedy tak, že rozdíl v tmavosti opravdu odpovídá rozdílům $\pm 0,03$ kelvinu na pozadí 2,72 kelvinu, tedy se liší o jednu setinu, dostaneme tento obrázek:



Prakticky nic na něm nerozlišíme. Srovnajme ho s mapou Země na dalším obrázku, kde jsou podobným způsobem vyznačeny variace nadmořské výšky dokonce s o něco větší citlivostí – vidíme, že variace v teplotě oblohy

jsou mnohem menší než variace nadmořské výšky zemského povrchu.



Na velkých měřítkách je vesmír *neuvěřitelně stejnorodý*. Proč tomu tak je? Předpokládejme prostě, že v těch nejranějších okamžicích byl vesmír horký, hustý a v tepelné rovnováze. To znamená, že byly-li v něm nějaké horké skvrny, měly tendenci postupně chladnout, a naopak chladné skvrny se zahřívaly tak dlouho, až primordiální polévka dosáhla všude stejné teploty.

Jenže je v tom háček. Už jsme si řekli, že ve vesmíru starém jen několik set tisíc let mohlo světlo urazit od velkého třesku jen několik set tisíc světelných let, a to je zanedbatelný zlomek rozměrů dnes viditelného vesmíru. Na obrazu reliktního záření, který dnes pozorujeme, představuje oblast, kterou mohlo světlo za tu dobu překonat, jen jeden úhlový stupeň. Ale jak nás poučil Einstein, žádná informace se nemůže šířit rychleji než světlo, takže neexistuje způsob, jak by mohla teplota látky v nějaké oblasti ovlivnit teplotu v jiné oblasti vesmíru, jejíž úhlová velikost je větší než jeden stupeň. Prostě si nedovedeme představit způsob, kterým se mohla vyrovnat teplota v celém vesmíru.

Částicový fyzik Guth přemýšlel o procesech v raném vesmíru, které by dovolily tento problém vysvětlit, a přišel se skvělým nápadem. Když se voda mění v led nebo když se chladnoucí železo zmagnetuje, říkáme, že dochází k

fázovému přechodu. Kdyby v chladnoucím vesmíru došlo k něčemu podobnému, jako je fázový přechod, měli bychom vysvětlení nejen pro problém horizontu, ale i problému plochosti. (Řešilo by to i problém monopólů, který jsme jen zmínili bez podrobnějšího vysvětlení.)

Pijete-li rádi hodně chladné pivo, máte možná následující zkušenost. Dáte láhev do mrazáku, pak ji vyndáte a otevřete. Když v pivu po otevření poklesne tlak, celý obsah lahve najednou zmrzne a vzniklý led může láhev dokonce roztrhnout. Za vysokého tlaku totiž pivo upřednostňuje být v tekutém stavu, protože jeho celková energie je nižší, zatímco při tlaku nižším má nižší energii ve fázi tuhé. Během fázového přechodu se může určitá energie uvolnit, protože nejnižší energetický stav jedné fáze může mít nižší energii než nejnižší energetický stav fáze druhé. Uvolněné energii říkáme „latentní teplo“.

Guth si uvědomil, že když rozpínající se vesmír chladl při expanzi velkého třesku, mohl se „zaseknout“ v nějakém metastabilním stavu. Když vesmír chladl dále, proběhl náhle fázový přechod do energeticky výhodnějšího stavu s hmotou a zářením. Energie obsažená ve stavu „falešného vakua“ před dokončením fázového přechodu – „latentní teplo“ vesmíru, chcete-li – mohla dramaticky ovlivnit rozpínání vesmíru v období před fázovým přechodem.

Energie falešného vakua má stejné vlastnosti jako energie prázdného prostoru, tedy jako kosmologická konstanta, takže expanze vesmíru by se stále urychlovala. To, z čeho se časem stal pozorovatelný vesmír, by se nakonec rozpínalo nadsvětelnou rychlostí. To je v teorii obecné relativity dovoleno, i když se to zdá být v rozporu s Einsteinovou speciální teorií relativity. Musíme být však opatrní a jako dobří právníci podrobněji zkoumat, co příslušné zákony přesně říkají. Podle speciální teorie relativity nic nemůže *cestovat prostorem* rychlostí větší než světlo. Ale *prostor sám* si může dělat, co chce, alespoň

podle obecné teorie relativity. A jak se prostor rozpíná, může objekty pevně v něm sedící vzdalovat jeden od druhého rychlostí větší, než je rychlost světla.

V této periodě, které se říká inflační, se vzdálenosti mezi objekty mohly zvětšit více než 10^{28} krát. To je obrovské číslo, a přitom k tomuto neuvěřitelnému rozepnutí raného vesmíru mělo dojít za zlomek sekundy. Důsledkem je, že celý náš pozorovatelný vesmír byl před inflací obsažen v oblasti tak malé, že se do začátku inflace stačila tepelně vyrovnat, vše v ní mělo přesně stejnou teplotu.

Jestliže inflace v raném vesmíru skutečně nastala, mělo to ještě jeden závažný důsledek. Když se balon více a více nadouvá, křivost jeho povrchu se zmenšuje. Něco podobného se děje ve vesmíru, jehož rozměry během inflační periody exponenciálně narůstají vlivem velké energie falešného vakua. Tato energie si zachovává konstantní hustotu. Když inflace skončí, je křivost vesmíru nepatrná, i když na jejím počátku byla nenulová. Spolu s problémem horizontu tedy inflace řeší také problém plochosti.

V současné době je inflace jediným životaschopným vysvětlením homogenity a plochosti našeho vesmíru. Její mechanismus je založen na procesech, jež mohou být zdůvodněny výpočtem v rámci teorie elementárních částic a jejich interakcí. A to není všechno – inflace má další a možná ještě důležitější důsledek. Jak jsme už zdůvodnili dříve, podle základních zákonů kvantové mechaniky je prázdný prostor naplněn jakousi vroucí a bublající polévkou virtuálních částic a polí, jež se objevují na neobyčejně krátký čas a pak zase mizí. Tyto „fluktuace vakua“ jsou důležité při určování vlastností protonů a atomů, ale na velkých měřítkách se neprojevují – proto se nám jejich existence zdá tak tajemná.

Při procesu inflace však mohou tyto kvantové fluktuace určit, kdy skončí inflace původně mikroskopicky malých skvrn. I když se oblast, jež se rozepnula v dnes pozorovaný vesmír, tepelně vyrovnala, takže její teplota je všude s velikou přesností stejná, kvantové fluktuace způsobí, že se inflace v rozdílných bodech této oblasti zastaví v poněkud rozdílných okamžicích, a proto se uvolní trochu rozdílná množství latentního tepla. V různých místech budou proto v teplotě malinké rozdíly. Výpočet ukazuje, že rozdíly v teplotě, které by v homogenním vesmíru v důsledku kvantových fluktuací – zdůrazňuji, že v jinak prázdném prostoru – měly vzniknout, jsou v dobré shodě s pozorovanými teplejšími a chladnějšími skvrnami na mapě reliktního záření. Samotná shoda ještě není samozřejmě důkazem, ale mezi kosmology sílí přesvědčení, že když něco vypadá jako kachna a kváká jako kachna, asi to opravdu je kachna. A je-li inflace opravdu zodpovědná za malé rozdíly v hustotě hmoty a záření, jejichž gravitační hroucení nakonec vedlo ke vzniku galaxií, hvězd a nakonec i nás, můžeme bez nadsázky říci, že jsme zde v důsledku kvantových fluktuací *ničeho*.

To je tak pozoruhodná věc, že ji chci znovu zdůraznit. Kvantové fluktuace, jež by jinak byly nepozorovatelné, během inflace zamrzly a nakonec se vynořily jako fluktuace v hustotě hmoty, ze kterých vzniklo vše, co kolem sebe pozorujeme. Už jsem konstatoval, že všichni pocházíme z hvězdného prachu. Pravda je ale i to, že pokud vesmír skutečně prošel inflačním obdobím, vylíhli jsme se doslova z ničeho.

To je tak neintuitivní představa, že skoro zavání magií. Je zde ale nejméně jeden aspekt inflačního kouzelnického triku, jenž vypadá obzvláště znepokojivě. Především, odkud pochází všechna potřebná energie? Jak může mikroskopicky malá oblast skončit jako veškerý dnes

pozorovatelný vesmír, ve kterém je tolik hmoty a záření, aby to vysvětlovalo všechny jeho vlastnosti?

Obecněji se můžeme ptát, jak může v rozpínajícím se vesmíru zůstat konstantní hustota energie odpovídající falešnému vakuu či kosmologické konstantě? Řekli jsme, že při inflaci se prostor vesmíru exponenciálně nadouvá. Jestliže v něm zůstává konstantní *hustota* energie, znamená to, že celková energie určité oblasti prudce narůstá, protože narůstá její objem a hustota energie je energie v jednotkovém objemu. Jak je to tedy se zákonem zachování energie?

Je to příklad efektu, který Guth pojmenoval „oběd zdarma“. Když totiž do energetických úvah o vesmíru zahrneme i gravitaci, objekty mohou mít jak „kladnou“, tak i „zápornou“ energii. Tento aspekt gravitace vede k tomu, že kladná energie spojená se vzniklou hmotou a zářením může být vykompenzována negativní gravitační energií jejich konfigurace. V důsledku toho vesmír může započít jako prázdný a skončit naplněný hmotou a zářením.

To může vypadat podezřele, ale je to ten nejdůležitější důvod, proč řada z nás fyziků je tak fascinována plochým vesmírem. A ve skutečnosti něco podobného možná znáte ze středoškolské fyziky.

Představte si míč hozený svisle vzhůru. Za normálních podmínek spadne po chvíli zase dolů na zem. Nyní ho vyhodte větší silou (samozřejmě to nedělejte v místnosti). Míč vyletí výše a na zem se vrátí později. A kdybyste měli opravdu obří sílu, mohli byste ho vyhodit tak prudce, že by se zpět už nikdy nevrátil. Utekl by ze zemského gravitačního pole a letěl by pryč do vesmíru.

Jak zjistíme, kdy míč opravdu ulétne pryč? K tomu stačí jednoduchá energetická úvaha. Pohybující se předmět v zemském gravitačním poli má dva druhy energie. S jeho pohybem je spojena *kinetická energie*, nazvaná podle řeckého slova pro pohyb. Tato energie závisí na rychlosti

předmětu a je vždy kladná. Druhá část jeho energie je spojená s polohou a nazývá se *potenciální energie* – název souvisí s tím, že představuje schopnost či *potenci* konat nějakou práci, a ta je obecně záporná.

Je to proto, že celkovou gravitační energii soustavy těles klademe rovnou nule v případě, že jednotlivá tělesa jsou od sebe nekonečně vzdálena – to se zdá být rozumné. Jsou-li navíc v klidu, pak je jejich kinetická energie rovna nule, a proto je nulová i jejich celková energie.

Nejsou-li tělesa nekonečně vzdálená, začnou na sebe padat díky vzájemné gravitační přitažlivosti. Například kámen v blízkosti Země padá směrem k jejímu středu. Čím déle padá, tím větší je jeho rychlost. Setká-li se na své dráze s jiným předmětem (například s vaší hlavou), může vykonat nějakou práci (například vám hlavu rozbít). Z čím menší výšky nad zemským povrchem kámen pustíte, tím menší práci může vykonat, když na něj dopadne. Potenciální energie padajícího předmětu se tedy *zmenšuje*, když je předmět blíže Zemi. Protože ale v nekonečné vzdálenosti je jeho potenciální energie nulová, musí klesat do *záporných* velikostí s větší a větší absolutní hodnotou, protože se stále zmenšuje.

Popsal jsem situaci podle klasické newtonovské mechaniky, v níž je volba nulové hladiny potenciální energie libovolná. Mohli bychom ji volit nulovou na zemském povrchu a pak čím více bychom se od něj vzdalovali, tím více by rostla – v nekonečnu by byla dána velikým kladným číslem. To, že ji klademe rovnou nule v nekonečnu, nemá přímý fyzikální význam, je to jen užitečná konvence, alespoň v rámci naší diskuse.

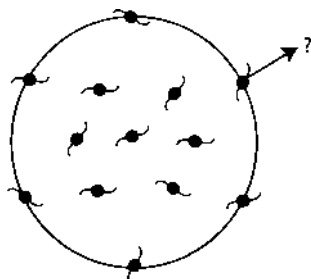
Podstatné ale je, že ať už volíme nulovou hladinu potenciální energie kdekoli, pro předměty, na něž působí jen gravitace, zůstává *součet* kinetické a potenciální energie konstantní. Když míč padá, jeho potenciální energie se mění v kinetickou, tedy pohybovou, energii, a když se od

zemského povrchu odrazí a začne zase stoupat, jeho kinetická energie se mění zpět v potenciální.

To nám dává skvělý účetnický nástroj, jak vyhodnotit, jakou rychlostí musím vyhodit předmět, aby se už nevrátil na Zemi. Klademe-li potenciální energii nulovou v nekonečnu, pak jeho celková energie musí být nulová nebo kladná. Protože se tato celková energie zachovává, musí být nulová nebo kladná i v okamžiku, kdy předmět opouští mou ruku. Protože mohu ovlivňovat jen jednu její složku, tedy kinetickou energii, jež je určena rychlostí, kterou jsem předmět vrhl, stačí určit magickou rychlost, pro kterou se kladná kinetická energie předmětu právě rovná velikosti jeho záporné potenciální energie na zemském povrchu. Navíc platí, že jak kinetická, tak potenciální energie závisí stejným způsobem na hmotnosti předmětu, proto je „úniková rychlost“ na zemském povrchu pro všechna tělesa stejná – něco přes 11 kilometrů za sekundu. Při této rychlosti je součet kinetické a potenciální energie roven nule.

Co má ale tohle společného s vesmírem obecně a speciálně s vesmírem, který se inflačně rozpíná? Všechny výpočty, které jsem naznačil pro kámen nebo míč vyhozený ze zemského povrchu, platí i pro každý jiný předmět v našem rozpínajícím se vesmíru.

Představme si kulovou oblast našeho vesmíru, jejíž střed leží u nás, tedy v galaxii Mléčné dráhy, a která je tak velká, aby obsahovala mnoho galaxií, ale přece jen natolik malá, že její povrch leží blíže než ty nejbzdálenější dnes pozorovatelné objekty:



Je-li oblast dost veliká, ale ne zase příliš veliká, galaxie na jejím okraji se budou od nás vzdalovat rovnoměrně podle Hubbleova zákona, jejich rychlost však bude mnohem menší, než je rychlost světla. V takovém případě platí Newtonovy pohybové zákony a efekty speciální a obecné teorie relativity lze zanedbat. Jinými slovy, galaxie se budou řídit stejným zákonem, jaký jsme popsali pro pohyb míče vystřeleného od Země.

Sledujme galaxii označenou na předchozím obrázku šípkou a ptejme se, zda může uniknout z gravitačního pole ostatních objektů v naznačené kouli stejně jako míč vržený ze Země. Matematický zákon, kterým se pohyb této galaxie řídí, je přesně stejný jako pro pohyb zmíněného míče. Stačí spočítat celkovou energii galaxie složenou z kladné kinetické energie jejího radiálního pohybu a záporné potenciální energie dané přitažlivostí jejích sousedů. Je-li tato energie nezáporná, pak galaxie unikne do nekonečna, je-li kladná, pak se její vzdalování časem zastaví a galaxie začne opět padat obráceným směrem.

Je pozoruhodné, že se jednoduché Newtonovy pohybové rovnice pro celkovou energii této galaxie dají přepsat *přesně* do tvaru, který vyplývá z Einsteinových rovnic obecné teorie relativity pro rozpínající se vesmír. Navíc ale platí, že člen, který odpovídá hodnotě celkové energie sledované galaxie, určuje též křivost vesmíru.

K čemu jsme tedy došli? V plochem vesmíru je celková průměrná energie každého objektu, který se pohybuje s

expandujícím vesmírem, *přesně rovna nule!* A to platí právě jen v plochém vesmíru.

A právě tato skutečnost činí plochý vesmír tak výjimečným. V tomto vesmíru se kladná pohybová energie přesně vyruší se zápornou energií gravitační přitažlivosti.

Když celý obraz zkomplikujeme tím, že připustíme existenci energie prázdného prostoru, tedy kosmologické konstanty, newtonovská analogie s vrženým míčem už bude nepřesná. Závěr důkladnějšího rozboru je ale v podstatě stejný. V plochém vesmíru je newtonovská gravitační energie, sdružená s každým objektem v něm, rovna nule i v případě, že jeho pohyb je určován i malou kosmologickou konstantou, jestliže se pohybujeme v tak malých měřítkách, že všechny rychlosti jsou mnohem menší než rychlost světla.

Je-li přítomna vakuová energie, Guthův „oběd zdarma“ se ve skutečnosti projeví ještě dramatičtěji. Jak se každá oblast prostoru rozpíná do větších a větších rozměrů, její geometrie se stává stále plošší. To má za následek, že vakuová energie se přemění v právě takové množství hmoty a energie, aby celková newtonovská energie byla přesně nulová.

Pořád se ale můžete ptát, odkud se bere to množství energie, jež má během inflace udržet hustotu vakuové energie konstantní. Protože objemy ve vesmíru se rozpínají exponenciálně, musí se vyprodukovat značné množství energie. Za toto kouzlo může jiný aspekt obecné teorie relativity. Nejenže gravitační energie může být záporná, ale záporný může být tlak, který v prostoru působí.

Představit si záporný tlak je ještě těžší než představit si zápornou energii. Máme-li například plyn v balonu, molekuly plynu působí tlakem na jeho stěny. Tento tlak se snaží balon rozepnout a při tom koná práci. Práce, která se vykoná, se děje na úkor vnitřní energie plynu v balonu, což se projeví tím, že plyn chladne. Jenže energie prázdného

prostoru je gravitačně odpudivá právě proto, že v prostoru způsobuje záporný tlak. Rozpínající se oblast prázdného prostoru tedy koná zápornou práci, což se projeví *zvýšením* energie uvnitř ní. A tento záporný tlak je právě tak veliký, aby hustota energie v určité oblasti zůstávala konstantní.

Důsledkem kvantových vlastností hmoty a záření je, že sebemenší oblast prázdného prostoru je v těch nejranějších okamžicích naplněna energií, která ji nutí se rozpínat, a při této expanzi se její geometrie více a více blíží geometrii plochého prostoru. Když inflace skončí, je prostor naplněn hmotou a zářením a tohoto materiálu je právě tolik, že jeho celková newtonovská energie se liší od nuly nejvýše o nepředstavitelně malou hodnotu.

Takže po stoletém úsilí se nám podařilo změřit křivost vesmíru a zjistili jsme, že je rovna nule. Na základě toho, co jsme si řekli, pochopíte, proč řada teoretiků – a já k nim patřím – shledává tuto situaci nejen uspokojivou, ale i fascinující.

Můžeme skutečně říct: náš vesmír vznikl z ničeho!

NAŠE BÍDNÁ BUDOUCNOST

Budoucnost už není, co bývala.

– YOGI BERRA

V jednom smyslu je pozoruhodné a vzrušující nacházet se ve vesmíru ovládaném nicotou. Struktury, které vidíme, jako jsou galaxie a hvězdy, byly stvořeny z ničeho kvantovými fluktuacemi a průměrná newtonovská gravitační energie každého objektu v našem vesmíru je rovna nule. Jestliže se vám tato představa líbí, užijte si jí, dokud můžete. Je-li totiž správná, žijeme vtom nejhorším možném vesmíru, alespoň co se týče jeho budoucnosti.

Vzpomeňte si, že obecnou teorii relativity Einstein rozvinul asi před sto lety. Tehdy se věřilo, že vesmír je neměnný a věčný. Einstein se nejen vysmíval Lemaîtreově myšlence velkého třesku, ale zavedl kosmologickou konstantu, aby existenci statického vesmíru umožnil.

Dnes, skoro o století později, můžeme se my vědci holedbat, že jsme objevili rozpínání vesmíru, kosmické mikrovlnné pozadí, temnou hmotu a temnou energii.

Co nám ale přinese budoucnost?

Něco poetického – svým způsobem.

Připomeňme si, jak jsme zjistili, že převládající energií v našem vesmíru je energie zdánlivě prázdného prostoru. Usoudili jsme tak z toho, že rychlost rozpínání vesmíru se zvyšuje. Pomalu ale jistě se blížíme k mezi, za kterou se vesmír začne rozpínat nadsvětelnou rychlostí ve stejném smyslu jako v průběhu inflace, což jsme si objasnili v předchozí kapitole. A s rostoucím časem to bude horší a horší.

Znamená to, že v budoucnosti bychom toho kolem sebe viděli méně a méně. Galaxie, které dnes pozorujeme, se jednou budou od nás vzdalovat rychlostí větší, než je rychlost světla, takže přestanou být viditelné. Světlo, které vyzařují, nebude moci soutěžit s rychlostí expanze prostoru a nikdy nás nedostihne. Všechny cizí galaxie z našeho horizontu zmizí.

Sled událostí, které nastanou, je ale trochu jiný, než bychom si mohli myslet. Galaxie nezmizí z nočního nebe nějakým náhlým bliknutím. Jak se rychlost jejich vzdalování začne blížit rychlosti světla, červený posuv světla, jež vyzařují, začne prudce narůstat. Vlnová délka pozorovaných světelných vln se posune nejdříve do infračervené oblasti, potom do mikrovlnné a pak do oblasti radiových vln, až nakonec překročí rozměr pozorovaného vesmíru. Tím galaxie zcela zmizí ze světa.

Můžeme spočítat, za jak dlouho to nastane. Protože galaxie v naší lokální kupě jsou poutány vzájemnou gravitační interakcí, nebudou se od nás vzdalovat univerzální rychlostí expanze vesmíru, kterou objevil Hubble. Nejbližší galaxie mimo naši lokální kupu jsou asi v 1/5 000 vzdálenosti, ve které se rychlost vzdalování objektů blíží rychlosti světla.

Aby se dostaly do této vzdálenosti, ve které budou posunuty do červena s faktorem 5 000, bude jim to trvat zhruba 150 miliard let, což je více než desetinásobek dnešního věku vesmíru. Na to, aby se jejich vlnová délka zvětšila na průměr viditelného vesmíru, a tím okolní vesmír zcela zmizel, bude potřeba dvou bilionů let.

Dva biliony let nám připadají jako pořádně dlouhý čas a také to pořádně dlouhý čas je. Z kosmického hlediska však má ještě hodně daleko k věčnosti. Hvězdy, které mají podobný vývoj jako naše Slunce, se nazývají hvězdy hlavní posloupnosti a doba jejich života závisí na jejich hmotnosti. Slunce má před sebou ještě asi 5 miliard let života, existují

však hvězdy hlavní posloupnosti, které se dvou bilionů let dožijí. A tak v daleké budoucnosti může být na planetách obíhajících tyto hvězdy nějaký život založený na vodě a organickém materiálu, jenž čerpá energii z těchto sluncí. Možná tam budou i astronomové s dalekohledy. Když se ale podívají do vesmíru kolem sebe, neuvidí obraz podobný tomu, který pozorujeme my – zhruba 400 miliard galaxií, jež osidlují náš vesmír, bude pryč!

Zkusil jsem užít tento argument v Kongresu, když jsem žádal o podporu dnešní astronomie, aby se využila doba, kdy je ještě co pozorovat. Jenže členovi Kongresu připadají jako dlouhá doba i dva roky. Dva biliony let jsou už zcela mimo možnost jeho chápání.

Astronomy daleké budoucnosti by jistě trápilo, kolik je jim toho skryto, kdyby si to ovšem uvědomovali. Jenže oni by nevěděli, že něco postrádají. Nejen že by pro ně totiž zmizel skoro celý vesmír, jak jsem před lety ukázal spolu s kolegou Robertem Scherrerem z Vanderbiltovy univerzity, ony by zmizely i skoro všechny důkazy o tom, že žijeme v rozpínajícím se vesmíru, jenž započal velkým třeskem. Ztratily by se i důkazy o existenci samotné temné energie, která tuto důkazní nouzi způsobila.

Ještě před stoletím panovalo přesvědčení, že sice vznikají a zanikají hvězdy a planety, v průměru však vesmír zůstává stále stejný. V daleké budoucnosti, dlouho po tom, co se naše planeta i civilizace octnou v propadlišti dějin, se zase triumfálně vrátí iluze, která panovala do roku 1930.

Empirické potvrzení existence velkého třesku spočívá na třech pilířích, které by nás donutily přijmout skutečnost, že vesmír začal v horkém a hustém stavu i v případě, že by se Einstein a Lemaître nikdy nenarodili. Prvním je Hubbleova expanze, kterou by astronomové nutně časem odhalili. Podobně by fyzikové objevili pozadí mikrovlnného reliktního záření. Konečně třetím důkazem je

výskyt lehkých prvků – vodíku, helia a lithia –, jenž se nedá vysvětlit jinak, než že je to výsledek procesů, jež proběhly v horkém a hustém vesmíru několik minut po jeho vzniku. Postupně je proberme.

Začněme s Hubbleovou expanzí. Jak víme, že se vesmír rozpíná? Z měření rychlosti, kterou se od nás vzdalují vesmírné objekty a která je úměrná jejich vzdálenosti. Jakmile by ale zmizely z dohledu všechny objekty kromě galaxií lokální kupy, ve které jsme spolu s nimi gravitačně vázáni, nebylo by na čem expanzi měřit. Nebyly by vidět hvězdy, galaxie, kvazary ani velká plynová mračna a nebyl by tedy žádný prostředek, jak všeobecné rozpínání určit. Toto rozpínání by bylo totiž tak efektivní, že by odneslo z našeho dohledu všechny od nás se vzdalující objekty.

Navíc v průběhu asi bilionu let ode dneška by se všechny galaxie naší lokální kupy spojily v jednu velkou metagalaxii. Pozorovatelé budoucnosti by viděli více méně totéž, co pozorovatelé v roce 1915, jen ve větším měřítku – jedinou galaxii, jež hostí hvězdy a planety, kolem které se rozprostírá do obrovských vzdáleností prázdný statický prostor.

Vzpomeňme si také, že všechny důkazy o existenci energie prázdného prostoru jsou založeny na pozorování rychlosti rozpínání našeho expandujícího vesmíru. Takže opět: bez objektů, na nichž můžeme toto rozpínání měřit, bychom účinek energie prázdného prostoru neuměli prokázat. Je to tak, že zvláštní náhodou žijeme v takové fázi vývoje vesmíru, kdy je přítomnost temné energie pozorovatelná. Je pravda, že tato éra trvá několik stovek miliard let, ale ve věčně se rozpínajícím vesmíru to není více než mžiknutí kosmického oka.

Předpokládáme-li, že hustota energie prázdného prostoru je přibližně konstantní, jak je tomu v případě kosmologické konstanty, pak kdysi dávno byla menší než hustota ostatních forem energie, tedy energie odpovídající

hmotě v podobě částic i energie záření. Je to proto, že hustota těchto energií se mění s expanzí. Jak roste objem nějaké oblasti, hustota energie částic klesá, protože celková energie v této oblasti se nemění a energie záření v dané oblasti se dokonce zmenšuje. V raném vesmíru, řekněme před pěti nebo deseti miliardami let, byla hustota hmoty a záření podstatně větší, než je dnes. V té době dominovala gravitační přitažlivost energie hmoty a záření, jež zpomalovala rychlost expanze vesmíru, zatímco odpudivý efekt energie prázdného prostoru byl nepozorovatelný. V naší době však už repulzivní účinek energie prázdného prostoru převažuje.

V daleké budoucnosti, kdy vesmír bude už několik stovek miliard let starý, poklesne hustota hmoty a záření ještě mnohem více. Snadný výpočet ukáže, že hustota energie vakua bude mnohonásobně větší, než je hustota energie hmoty a záření. Vakuová energii bude více než tisícmiliardkrát větší než ostatní formy energie. Proto dynamika vesmíru bude ovládána téměř výhradně energií vakua či temnou energií. Jenže expanze vesmíru v té době už nebude v podstatě pozorovatelná. V tomto smyslu samotná povaha temné energie způsobuje, že je pozorovatelná jenom po konečný časový interval – a my kupodivu žijeme právě v tomto období.

Jak to bude s dalším pilířem teorie velkého třesku – reliktním mikrovlnným zářením, které nám poskytuje fotografii vesmíru v jeho dětských letech? Předně je třeba si uvědomit, že jak se vesmír bude stále rychleji rozpínat, teplota mikrovlnného záření bude stále klesat. Až bude průměr dnes pozorovatelného vesmíru stokrát větší než teď, bude teplota reliktního záření stokrát menší a hustota jeho energie stomilionkrát menší, takže bude stomilionkrát těžší ji změřit, než je tomu dnes.

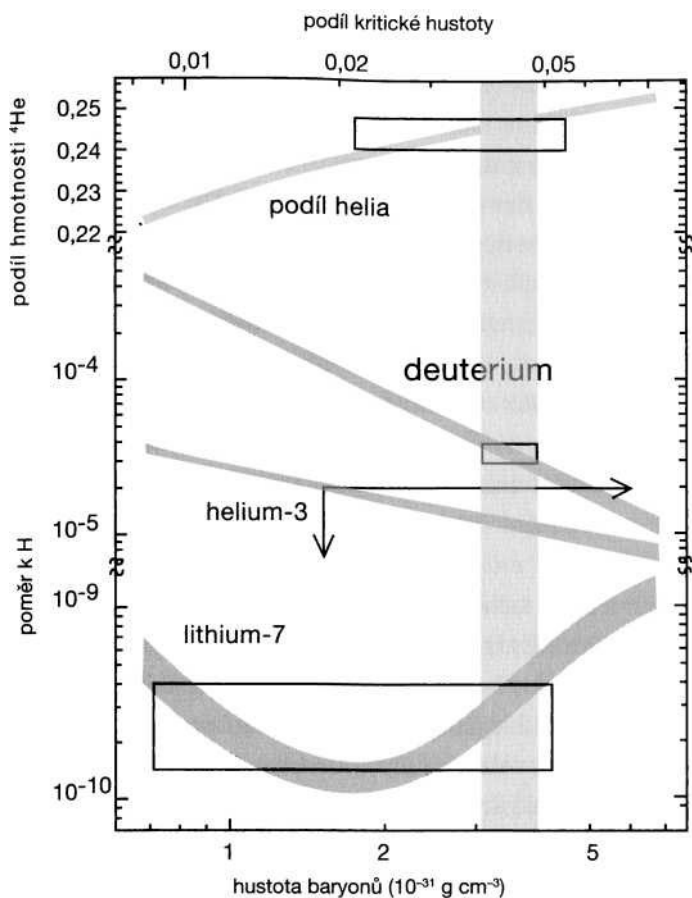
Můžeme si ovšem říci, že i dnes se nám daří rozlišit reliktní záření v moři elektronického šumu na Zemi a

věříme, že experimentátoři budoucnosti budou stomilionkrát šikovnější než ti dnešní, takže nemusíme ztrácet naději. Ale bohužel i ten nejohroženější pozorovatel s těmi nejcitlivějšími přístroji v budoucnosti narazí na nepřekročitelnou překážku. V naší Galaxii je v prostoru mezi hvězdami horký plyn a stejně tomu bude i v metagalaxii, která vznikne spojením galaxií v našem sousedství, Galaxií v Andromedě počínaje. Tento plyn je ionizovaný, obsahuje volné elektrony, jež mají vlastnosti plazmatu. A už dříve jsme uvedli, že plazma je pro určité druhy elektromagnetického záření neprůhledné.

Existuje veličina, které se říká „plazmová frekvence“, jež představuje nejnižší frekvenci, kterou může mít elektromagnetické záření, aniž by se v plazmatu absorbovalo. Z pozorované dnešní hustoty volných elektronů můžeme určit plazmovou frekvenci pro naši galaxii i budoucí metagalaxii. Zjistíme, že až vesmír dosáhne padesátinásobku svého dnešního věku, vlnové délky reliktního záření budou tak roztažené, a proto vlnové frekvence tak nízké, že plazma bude pro toto záření neprůhledné. Takže sebepečlivější pozorovatel v naší metagalaxii nebude moci reliktní záření pozorovat – i to v budoucím vesmíru zmizí.

Rozpínání vesmíru nebude tedy pozorovatelné a záře velkého třesku se také ztratí. Jak to bude s výskytem lehkých prvků – vodíku, helia a lithia? I ten nám dnes slouží jako důkaz velkého třesku.

V první kapitole jsem se zmínil o kartičce, kterou nosím v peněžence a mám ji připravenou pro případ, že se setkám s pochybovačem o velkém třesku. Ukážu mu graf na ní a řeknu: „Vidíš – velký třesk skutečně nastal!“



Vím, že to vypadá trochu komplikovaně. Je zde zobrazen relativní podíl výskytu helia, deuteria, helia-3 a lithia k vodíku, který předpovídá standardní teorie velkého třesku. Horní křivka, která běží zleva doprava směrem nahoru, udává výskyt helia, které je druhým nejhojnějším prvkem ve vesmíru. Je zde vyznačen poměr jeho celkové hmotnosti k hmotnosti vodíku, kterého je ve vesmíru nejvíc. Další dvě křivky, jež běží zleva doprava směrem dolů, udávají relativní výskyt deuteria a helia-3 vzhledem k vodíku. Zde se poměry netýkají celkové hmotnosti, nýbrž

počtu atomů jednotlivých prvků, podobně jako na třetí křivce, která reprezentuje počet atomů lithia k počtu vodíkových atomů.

Křivky vystihují předpovídaný výskyt jednotlivých prvků v závislosti na celkové hustotě normální hmoty složené z atomů v dnešním vesmíru. Kdyby žádná hodnota této veličiny nevedla k hodnotám, které by odpovídaly pozorovanému výskytu, byl by to silný argument proti teorii horkého velkého třesku. Všimněte si, že předpovídané výskyty se pro jednotlivé lehké prvky liší o více než deset řadů.

Rámečky bez stínování udávají rozmezí primordiálního výskytu jednotlivých prvků, která plynou z pozorování starých hvězd a horkého plynu uvnitř i vně naší galaxie. Tato pozorování ovšem nejsou pro všechny prvky stejně přesná.

Stínovaný svislý sloupec ale ukazuje oblast, ve které *jsou* jednotlivé předpovědi i pozorování v souladu. Těžko si představíme lepší podporu teorie horkého velkého třesku než tento souhlas mezi teorií a pozorováním u veličin, které se svou velikostí liší o víc než 10 řadů. Na základě těchto výsledků dospíváme k závěru, že tyto lehké prvky se opravdu vytvořily v raném vesmíru.

Shrňme naši diskusi ještě jednou. Reakce, při kterých mohou z vodíku vznikat další lehké prvky, vyžadují vysokou teplotu a vysokou hustotu hmoty. Pozorovaný výskyt helia a jeho izotopů, jakož i deuteria a lithia, je ve velmi dobré shodě s hodnotami, které jsou výsledkem výpočtů předpokládajících takovou hustotu hmoty, jež odpovídá hmotě v galaxiích a jejich okolí dnes. Nukleární reakce, při nichž se lehké prvky tvoří, mohou probíhat jen při zcela určité teplotě. Celkově lze říci, že obraz tvoření prvků, jež představují hlavní složku dnes pozorovaných hvězd na obloze, je v dobré shodě s pozorováním jejich výskytu i s dnešní teplotou reliktního záření.

Jak by řekl Einstein, jen velmi zlomyslný (a proto pro něj nepředstavitelný) Bůh by mohl vytvořit vesmír, který by s takovou určitostí ukazoval na to, že pochází z velkého třesku, aniž by k němu opravdu došlo.

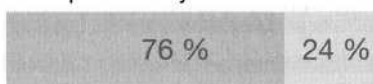
Vskutku, již první hrubé odhady množství helia ve vesmíru v šedesátých letech dvacátého století byly tím rozhodujícím argumentem, který přinesl vítězství modelu vesmíru s velkým třeskem nad tehdy velmi populární teorií stacionárního vesmíru, kterou propagoval Fred Hoyle se svými spolupracovníky.

V daleké budoucnosti však bude vše jiné. Hvězdy vytvářejí helium spalováním vodíku. Z dnes pozorovaného helia se ho během pozdějšího života vesmíru mohlo vytvořit jen 15 procent, velká většina tohoto lehkého prvku musí tedy pocházet už z raného vesmíru. To je opět silný argument ve prospěch velkého třesku. V daleké budoucnosti to už ale nebude pravda, do té doby se „narodí“ a „zemře“ mnoho generací hvězd, které budou během svého života helium produkovat.

Až bude vesmír například bilion roků starý, množství helia, které se vytvořilo ve hvězdách, bude podstatně větší než to, které vzniklo při samotném velkém třesku. Ukazuje to následující diagram:

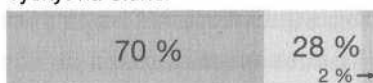
velký třesk

těsně po nukleosyntéze



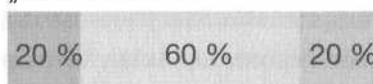
dnes

výskyt na Slunci



1 bilion let

„těžká“ budoucnost



vodík helium

prvky těžší než helium

Protože 60 procent viditelné hmoty bude tvořit helium, nebude snadné rozpoznat, kolik helia vzniklo v horkém velkém třesku.

Pozorovatelé a teoretici v nějaké civilizaci daleké budoucnosti však budou moci z těchto dat usoudit, že vesmír má konečný věk. Protože helium vzniká hořením vodíku ve hvězdách, existuje horní mez, jak dlouho hvězdy mohly existovat, aby se zásoby vodíku ještě více neztenčily. Budoucí vědci tedy usoudí, že vesmír, ve kterém žijí, není starší než bilion let. Bude ale chybět jasná známka, že počátek nastal velkým třeskem a ne nějakým jiným způsobem spontánního stvoření jejich jediné (meta) galaxie.

Vzpomeňme však, že Lemaître došel ke své představě velkého třesku čistým uvažováním nad Einsteinovými rovnicemi obecné teorie relativity. Můžeme předpokládat, že pokročilá civilizace daleké budoucnosti bude znát zákony elektromagnetismu, kvantové mechaniky a obecné teorie relativity. Najde se tedy nějaký Lemaître

budoucnosti, který přijde se stejnou myšlenkou jako jeho předchůdce?

Lemaîtreův závěr, že náš vesmír začal velkým třeskem, byl nevyhnutelný, ale byl založen na předpokladu, který nebude platit pro pozorovatelný vesmír daleké budoucnosti. Vesmír naplněný hmotou, který se rozpíná ve všech směrech a je homogenní a izotropní, nemůže být statický z důvodů, které rozpoznal Lemaître a nakonec i Einstein. Jenže Einsteinovy rovnice mají zcela vyhovující řešení pro hmotný systém obklopený prázdným statickým prostorem. Kdyby takové řešení neexistovalo, obecná teorie relativity by neuměla popsat izolované systémy, jako jsou neutronové hvězdy a nakonec i černé díry.

Velké hmotné systémy jako naše (meta) galaxie jsou nestabilní, nakonec se zhroutí a vytvoří velmi hmotnou černou díru. Ta je popsána statickým řešením Einsteinových rovnic, kterému se říká Schwarzschildovo řešení. Jenže čas potřebný k tomu, aby taková galaxie zkolabovala do černé díry, je mnohem delší než čas, za který zbytek vesmíru zmizí z dohledu pro pozorovatele v ní. Pro budoucí vědce bude tedy přirozené předpokládat, že naše Galaxie mohla existovat po biliony let v prázdném prostoru, aniž by začal její kolaps a aniž by musela být obklopena rozpínajícím se vesmírem.

Úvahy o budoucnosti jsou ovšem neobyčejně obtížné. Ve švýcarském Davosu se pravidelně schází fórum ekonomů, kteří předpovídají budoucí chování trhů. Když se jejich předpovědi ukážou být katastrofálně špatné, své předpovědi opraví. Já pokládám obecně jakoukoli předpověď o daleké budoucnosti vědy a techniky nebo i o jejich nedaleké budoucnosti za ještě nejistější než věštby davoských ekonomů. Když se mě někdo ptá, jak se věda bude vyvíjet nebo jak bude vypadat další revoluce ve vědě, odpovídám, že kdybych to věděl, pracoval bych v té oblasti, kde je největší naděje na úspěch!

Takže obraz, který jsem nastínil v této kapitole, pokládám za podobný obrazu budoucnosti, jaký předkládá třetí duch v Dickensově *Vánoční koledě*. Tak by budoucnost *mohla* vypadat. Protože však nemáme nejmenší ponětí, jaká je povaha temné energie, která prostupuje prázdný prostor, nemůžeme si být jisti, že se chová jako Einsteinova kosmologická konstanta a že její hustota zůstává neměnná. Pokud by tomu tak nebylo, budoucnost vesmíru by mohla být naprosto jiná. Rozpínání by se nemuselo stále zrychlovat, mohlo by se po čase zase zpomalit a ke zmizení vzdálených galaxií by nemuselo dojít. Anebo se naopak mohou v budoucnu objevit jiné pozorovatelné veličiny, které dnes neumíme zaznamenat, a ty by mohly budoucím astronomům poskytnout důkaz o existenci velkého třesku v dávné minulosti.

Nicméně jestliže vycházím z toho všeho, co dnes o vesmíru víme, budoucnost, kterou jsem načrtl, je ta nejpravděpodobnější. A je fascinující rozmyšlet, zda logika, rozumové uvažování a empirická data mohou vést budoucí vědce k odhalení skutečné povahy vesmíru, nebo zda pro ně zůstane beznadějně skryta za horizontem. Některý skvělý budoucí vědec zabývající se základními silami mezi částicemi by snad mohl vytvořit teorii, ze které by vyplynulo, že k inflaci muselo kdysi dojít. Nebo by mohl odhalit energii prázdného prostoru a najít pravý důvod, proč je jeho metagalaxie v prázdném prostoru opuštěná a proč před horizontem nejsou vidět žádné galaxie. Já však nejsem v tomto ohledu příliš optimistický.

Fyzika je koneckonců empirická věda, kterou ženou kupředu experimenty a pozorování. Pochybuji, že kdybychom nemuseli přijmout temnou energii na základě pozorování, nějaký teoretik by odvážně usoudil na její existenci. Lze si představit, že z některých náznaků by budoucí fyzici mohli získat podezření, že s obrazem jedné galaxie ve statickém vesmíru něco není v pořádku,

například na základě některých anomálií ve výskytu prvků. Obávám se však, že by na základě Occamovy břitvy usoudili, že správný je ten nejjednodušší obraz, a diskrepance v pozorováních by se snažili vysvětlit nějakým lokálním efektem.

S Bobem Scherrerem jsme začali propagovat myšlenku, že budou-li budoucí vědci vycházet z vyvratitelných modelů a pozorování, což se pokládá za správný vědecký postup, dojdou k chybnému obrazu vesmíru. Od té doby řada vědeckých kolegů začala hledat cesty, jak by se rozpínání vesmíru dalo prokázat i v daleké budoucnosti. I já si dovedu představit možné experimenty, které by k tomu mohly posloužit. Nemyslím si však, že by se pro ně našla motivace.

Budoucí civilizace by například mohla nějak z naší Galaxie vystřelit do prostoru jasnou hvězdu, počkat miliardu let, než hvězda exploduje, a snažit se určit rychlost, jakou se od nás vzdaluje. To by mohlo odhalit, jestli k jejímu pohybu nějak přispívá celková expanze prostoru. Dovedu si představit, že by to někdo mohl navrhnout, ale nedovedu si představit budoucí státní grantovou agenturu, která by takový nákladný experiment financovala, kdyby chyběl nějaký jiný náznak, že se vesmír opravdu rozpíná. A kdyby z naší galaxie byla vymrštna hvězda nějakým přirozeným způsobem a astronomové by zjistili anomálii v rychlosti, kterou se vzdaluje, pochybují, že by se snažili tento jev vysvětlit tak podivným způsobem, jakým by se zdála hypotéza expanze prostoru, ve kterém dominuje temná energie.

Můžeme tedy být šťastni, že žijeme právě v dnešní době. Nebo jak jsme s Bobem napsali v jednom článku: „Žijeme ve velmi speciálních časech... jediných časech, kdy můžeme experimentálně prokázat, že jsou to velmi speciální časy!“

Šlo nám sice především o žert, ale je zajímavé si uvědomit, že v mnohem pozdějších dobách se dá dojít k naprosto chybnému obrazu vesmíru ve velkých měřítkách, i když se budou používat ty nejlepší teoretické a experimentální nástroje.

Jedno je ale třeba zdůraznit. Naznačili jsme, jak můžeme z neúplných pozorovacích dat získat mylný obraz světa. To ale nelze klást na roveň s obrazy světa vytvářenými těmi, kdo empirická data prostě ignorují, aby mohli zastávat představy o stvoření, jež jsou v rozporu s realitou. Příkladem jsou fundamentalistické kreacionistické teorie, podle kterých pozemský život trvá mnohem kratší dobu, než vyplývá z empirických zjištění. Nebo kreacionistické obrazy, ve kterých se předpokládá existence něčeho (například božské inteligence), pro co nejsou vůbec žádné důkazy na základě pozorování. Nebo ještě hůře, víra v pohádky, jež dávají odpovědi ještě dříve, než je položena jasná otázka. Vědci budoucnosti budou zakládat své teorie na těch nejlepších svědectvích, jež budou mít k dispozici, a tak jako my, nebo alespoň jako vědci naší doby, si budou vědomi, že nová pozorování mohou jejich představu reality podstatně změnit.

A v této souvislosti je třeba uvést, že možná i dnes nám chybí některá empirická zjištění, jež bychom měli, kdybychom žili o deset miliard let dříve, nebo která bychom pozorovali, kdybychom žili o sto miliard let později. Ale chtěl bych znovu zdůraznit, že představa velkého třesku je v tak dobrém souhlasu s daty získanými z velice různých oblastí fyziky, že zpochybnění jejích hlavních rysů není moc pravděpodobné. Lze však očekávat, že detaily vývoje vesmíru v hodně vzdálené minulosti či hodně vzdálené budoucnosti se s novými daty budou dále upřesňovat. Dojdeme k lepšímu poznání, jak a proč k velkému třesku došlo, jde-li o jedinečnou událost v prostoru atd. Já doufám, že tomu tak bude. Život a

inteligence v našem vesmíru možná jednou zmizí – a z toho je třeba čerpat jakousi kosmickou pokoru, i když pro kosmologie je to někdy těžké.

Scénář, který jsem zde načrtl, má určitou poetickou symetrii, i když s jistou tragickou příchutí. V hodně daleké budoucnosti vědci dojdou k obrazu vesmíru, který bude velmi podobný tomu, který měli jejich předchůdci na začátku dvacátého století. Ten tehdy posloužil jako katalyzátor bádání, jež vedla k revoluci v kosmologii. Kosmologie tak opíše plnou kružnici. Já to pokládám za velmi pozoruhodné, i když to lze chápat jako potvrzení marnosti našeho krátkého pobytu na světě.

Základním problémem kosmologie jako vědy, jenž její možný vývoj ilustruje, je skutečnost, že zkoumat můžeme jen jeden vesmír, a to ten, ve kterém žijeme. Musíme ho důkladně propátrávat, chceme-li mít vůbec nějakou naději pochopit, jak vzniklo to, co dnes pozorujeme, ale jsme přitom omezeni možnostmi měření i naší interpretací naměřených dat.

Kdyby existovalo mnoho vesmírů a my jsme mohli zkoumat více než jeden z nich, měli bychom větší naději rozpoznat, která pozorování jsou skutečně fundamentálně důležitá a která jsou jen důsledkem náhodných jevů v našem vesmíru.

Naděje na pozorování v jiných vesmírech reálná není, ale jak uvidíme dále, pro jejich samotnou existenci jsou dobré důvody. A vědci stále přicházejí s novými myšlenkami a návrhy experimentů, jež by nám mohly pomoci porozumět nepředvídaným a podivným rysům vesmíru.

Než ale postoupíme dále, uvedu jiný, literárněji vyslovený názor na budoucnost vesmíru, který se úzce dotýká hlavního tématu této knížky. Je to komentář Christophera Hitchense* ke scénáři, který jsem v této

* Americký publicista, autor knihy *Bůh není velký*, která vyšla i

kapitole popsal: „Ti, kteří pokládají za pozoruhodné, že žijeme ve vesmíru Něčeho, ať si jen počkají. Čeká nás čelná srážka s Nicotou!“

VELIKÁ NÁHODA?

Jakmile předpokládáte existenci Stvořitele a plánu, dává to lidem úlohu obětí krutého experimentu, ve kterém jsme stvořeni k tomu být nemocní a je nám přikázáno být zdraví.

– CHRISTOPHER HITCHENS

V naší mysli je pevně zakotveno, že cokoli se nám přihodí, je důležité a má nějaký smysl. Zdálo se nám, že přítelkyně si zlomí ruku – a druhý den se dozvíme, že si podvrtna kotník. Úžasné! Je to jasnovidectví?

Fyzik Richard Feynman rád lidem říkal: „Nebudete věřit, co se mi dnes stalo! Prostě tomu nebudete věřit!“ A když se vyptávali, co to bylo, prohlásil: „Vůbec nic.“ Chtěl tím poukázat na to, že když se stane něco neobvyklého, třeba se částečně vyplní sen, který jsem popsals, lidé tomu připíší důležitost. Zapomenou ale přitom na spousty nesmyslných snů, které nepředpověděly vůbec nic. Protože zapomínáme, že se po většinu dnů nic výjimečného nestane, špatně vyhodnotíme pravděpodobnost, že se stane něco zvláštního.

V dostatečně dlouhé řadě událostí se musí občas čistě náhodou objevit něco neobvyklého.

Jak to funguje pro náš vesmír?

Až do objevu, že z nevysvětlitelných důvodů energie prázdného prostoru sice není nulová, ale na druhé straně je o 120 řádů menší, než vyplývá z odhadů založených na fyzice částic, se mezi fyziky obecně věřilo, že hodnoty různých parametrů, které v přírodě měříme, *jsou* nějak důležité. Tím myslím, že vládlo přesvědčení, že jednou budeme umět na základě fundamentálních principů

vysvětlit, proč je gravitace o tolik slabší než ostatní přírodní síly, proč je proton dvoutisíckrát hmotnější než elektron, proč existují právě tři rodiny elementárních částic a tak dále. Řečeno jinak, že až porozumíme základním zákonům, které v přírodě platí na těch nejmenších měřítkách, všechna tajemství přírody se objasní jako přímý důsledek těchto zákonů.

Na druhé straně čistě náboženský přístup dovádí význam věcí do extrému. Každá základní konstanta má takovou hodnotu, jakou má, protože Bůh určil její místo v božském plánu našeho vesmíru. Pak skutečně nic není náhoda, jenže na druhé straně se nic nevysvětluje ani nepředpovídá. Vše se vysvětluje tím, že jde o příkaz. Tento přístup nám neříká nic užitečného o zákonech vládnoucích vesmíru. Přináší však uspokojení věřícím.

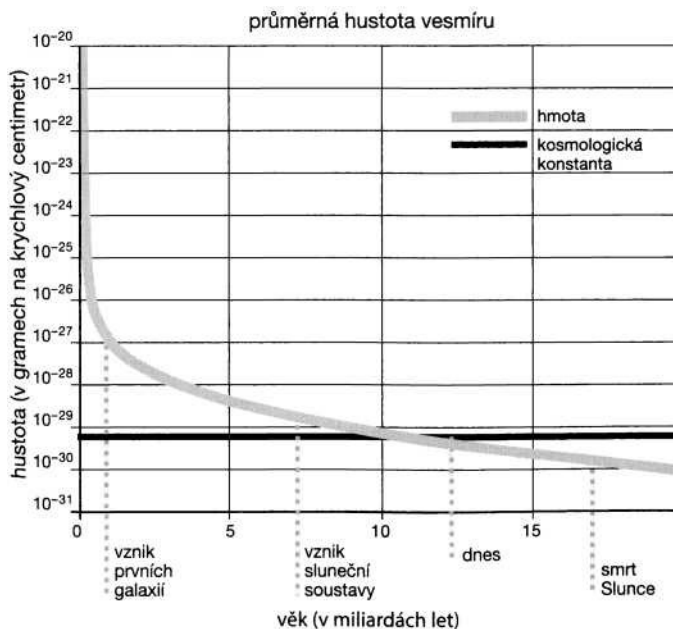
Objevem energie prázdného prostoru se však začal měnit názor mnoha fyziků na to, co je v přírodě nutné a co může být náhodné.

Katalyzátorem nového přístupu byly argumenty toho typu, jaké jsem užil v předchozí kapitole. Ukázal jsem tam, že temná energie je dnes měřitelná proto, že „dnes“ je jediné období, kdy je její hustota srovnatelná s hustotou hmoty.

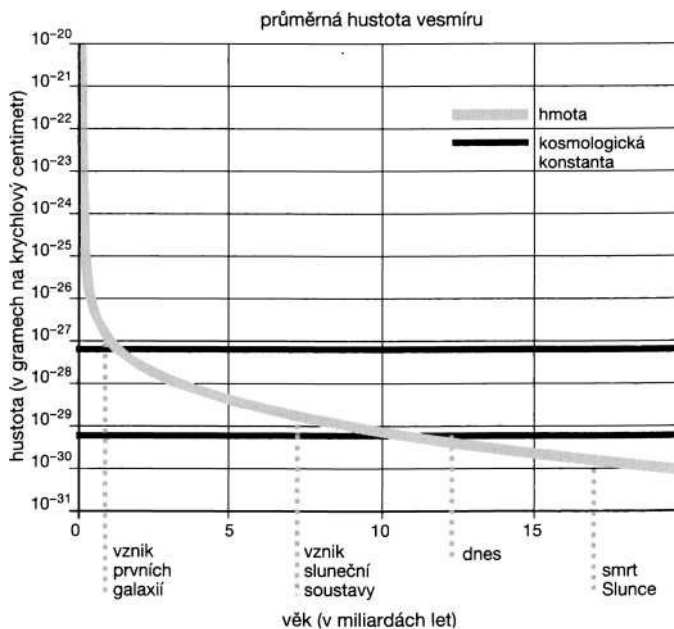
Proč ale žijeme v tak speciálním období ve vývoji vesmíru? Jde to proti všemu, na co jsme si ve vědě zvykli od Koperníkovy doby. Odhalili jsme, že Země není středem vesmíru, že Slunce je běžná hvězda na okraji galaxie, která je jednou ze 400 miliard galaxií v pozorovatelném vesmíru. Přijali jsme „koperníkovský princip“, podle kterého není význačné ani místo, kde ve vesmíru žijeme, ani čas, kdy v něm žijeme.

Ale to, že energie prázdného prostoru je taková, jaká je, naznačuje, že *žijeme* ve speciálním čase. Nejlépe to vidíme na následujícím diagramu, jenž zachycuje „stručnou historii času“.

V tomto diagramu zahnutá křivka znázorňuje hustotu energie veškeré hmoty ve vesmíru v závislosti na čase a vodorovná přímka hustotu energie prázdného prostoru (za předpokladu, že je neměnná, lze ji tedy ztotožnit s kosmologickou konstantou). Vidíte na něm, že hustota hmoty se v důsledku rozpínání vesmíru zmenšuje, protože vzdálenosti mezi galaxiemi stále rostou a hmota se proto ředí. Hustota energie prázdného prostoru však zůstává konstantní – na prázdném prostoru není co ředit. (Nebo, jak jsem sice méně žertovně, ale zato podstatně přesněji, vyložil dříve, vesmír koná na prázdném prostoru práci.) Obě čáry se protínají poměrně blízko současného času.



Nyní si představme, co by se stalo, kdyby energie prázdného prostoru byla řekněme 5 Okrát větší, než dnes odhadujeme. Pak by se obě čáry protnuly v jiném, dřívějším, okamžiku, jak ukazuje další graf.



Bod, ve kterém se protíná křivka hustoty hmoty s grafem zvětšené kosmologické konstanty, odpovídá času, kdy vznikly první galaxie, tj. asi miliardy let po velkém třesku. Jenže pamatujeme, že energie prázdného prostoru je repulzivní. Kdyby začala být dominantní složkou energie ve vesmíru dříve, než se galaxie začaly tvořit, její odpudivý účinek by převážil nad normálním gravitačním působením, jež nutí oblaka hmoty ke shlukování. Galaxie by se nikdy nevytvořily!

Kdyby se ale nejprve nevytvořily galaxie, nevznikly by ani hvězdy. A bez hvězd by zase nebyly planety a bez planet by nevznikli astronomové!

Kdyby tedy hustota energie prázdného prostoru byla jen padesátkrát větší, než jakou pozorujeme, dnes by zde nikdo nebyl a nikdo by se tedy nemohl pokoušet tuto energii měřit.

Sděluje nám to něco závažného? Krátce po objevu zrychlujícího se vesmíru přišel fyzik Steven Weinberg s myšlenkou, která jej ve skutečnosti napadla už deset let před empirickým objevem temné energie. Předložil názor, že „problém koincencí“ se vyřeší, když si uvědomíme, že měřená hodnota kosmologické konstanty byla možná vybrána „antropický“. Zhruba řečeno, jestliže existuje mnoho vesmírů a v každém je nějaká jiná náhodně vybraná hustota temné energie na základě nějakého pravděpodobnostního rozdělení mezi všemi možnými hodnotami této veličiny, ne ve všech může existovat život, jak ho chápeme. Ten se mohl vyvinout jen v těch vesmírech, kde jsou pro něj příznivé podmínky, mezi jiným i to, že příznivou hodnotu má temná energie. Možná je to tedy tak, že žijeme ve vesmíru, v němž je kosmologická konstanta malá, prostě proto, že ve vesmíru, kde by její hodnota byla velká, bychom se nemohli vyvinout. Řečeno ještě jednodušeji, nemělo by nás udivovat, že jsme v takovém vesmíru, v jakém můžeme žít!

Tento argument má ovšem matematicky dobrý smysl jen tehdy, může-li existovat řada různých vesmírů. Mluvit o různých vesmírech může znít jako protimluv, protože tradičně za vesmír považujeme „vše, co existuje“.

V poslední době se však slovo *vesmír* začalo užívat v užším významu. „Naším vesmírem“ rozumíme vše, co kolem sebe můžeme pozorovat či někdy budeme moci pozorovat. Fyzikálně řečeno, náš vesmír zahrnuje vše, co na nás kdy působit mohlo nebo na nás ještě bude moci mít vliv v budoucnu.

Při takovém chápání pojmu „vesmír“ má představa jiných vesmírů dobrý smysl, alespoň v principu. Vesmíry si můžeme představovat jako ostrovy v oceánu prostoru, které spolu nemohou nijak komunikovat, a jsou tedy od sebe kauzálně zcela odříznuty.

Náš vesmír je neobyčejně rozlehlý a poskytuje spoustu možností. Už jsem zdůrazňoval, že můžeme pokládat za zaručené, že se v něm někde vyskytne něco, co není nemožné. Každou chvíli se někde přihodí událost, kterou v našem okolí pokládáme za vzácnou. Můžeme tedy spekulovat, zda něco podobného platí i pro možný soubor mnoha různých vesmírů, pro které se zavedl termín *multiverzum*. Silné teoretické argumenty ukazují, že multiverzum je více než jen možnost. Řada důležitých myšlenek, které v současné době hýbají fyzikou elementárních částic, existenci multiverza přímo vyžaduje.

Toto zdůrazňuji pro ty, kterým je blízká představa Stvořitele, a proto se dívají na představu multiverza jako na únikový manévr fyziků, kterým se vyhýbají jasným odpovědím – a možná i jasným otázkám. Třeba se jednou ukáže, že tomu tak opravdu je, dnes ale situace takto nestojí. Téměř všechny logické možnosti, jak rozšířit dnes známé fyzikální zákony až na ty nejmenší rozměry a jak vybudovat úplnou teorii postihující veškerou fyzikální realitu, naznačují, že náš vesmír není určen jednoznačně.

Prvním a možná nejlepším důvodem je jev inflace. Podle inflačního obrazu během periody, kdy je v nějaké části prostoru dominantní velká vakuová energie, se tato část prostoru exponenciálně rozpíná. V určitém okamžiku se může exponenciální rozpínání zastavit v nějakých menších oblastech, v nichž dojde k „fázovému přechodu falešného vakua“ – tyto oblasti přejdou do nižšího energetického stavu pravého vakua. Ale *mezi* těmito oblastmi bude exponenciální rozpínání pokračovat. Dokud není fázový přechod dokončen v celém prostoru, většina prostoru leží v inflační oblasti a inflace vzdálí ty jeho části, ve kterých už byla dokončena, do nepředstavitelných vzájemných vzdáleností. Podobá se to lávě proudící ze sopky. Některé partie vychladnou a ztuhnou, ale žhavé proudící magma je roznese daleko od sebe.

Situace může být ještě dramatičtější. Spolu s Alanem Guthem byl hlavním architektem moderní inflační teorie Andrej Linde. Ten v roce 1986 představil a začal rozvíjet její obecnější scénář, který v jistém smyslu předvídal také Alex Vilenkin, další nápaditý ruský kosmolog žijící ve Spojených státech. Linde a Vilenkin mají společný povahový rys, možná typický pro velké ruské fyziky – značnou sebedůvěru. Jejich životní dráhy byly hodně rozdílné. Linde pracoval v sovětských vědeckých institucích a do Spojených států emigroval až po pádu Sovětského svazu. Je suverénní, brilantní a zábavný a po dlouhá léta představuje vedoucí osobnost v teoretické částicové kosmologii. Vilenkin emigroval do Spojených států dříve, než dokončil své fyzikální vzdělání. Zde dostudoval a na studium si vydělával v různých zaměstnáních, například jako noční hlídač. Ačkoli ho vždy lákala kosmologie, nezvolil si vhodnou školu pro tuto disciplínu a studium zakončil doktorskou prací z oboru fyziky kondenzovaného stavu – fyziky materiálů. Pak získal místo postdoktoranda na Case Western Reserve, univerzitě, kde jsem se já později stal profesorem. V té době požádal svého školitele Philipa Taylora, zda by mohl současně s projektem, který mu byl stanoven, několik dní v týdnu pracovat také na problémech kosmologie. Philip mi později řekl, že ač na jeho projektu pracoval jen na částečný úvazek, byl to nejplodnější „postdok“, jakého kdy měl.

Linde si všiml, že i když kvantové fluktuace během inflace mohou přivést pole, jež je její hnací silou, do nejnižšího energetického stavu, v němž toto pole vymizí, je zde vždy i ta možnost, že kvantové fluktuace přivedou pole do stavu s vyšší energií. To znamená, že inflace neskončí, nýbrž bude neoslabeně pokračovat dál. A protože tato inflace potrvá déle, prostor, jenž se inflačně rozpíná, bude mnohem rozsáhlejší než ty oblasti, kde inflace skončila. V

nadouvajícím se prostoru kvantové fluktuace způsobí, že v některých podoblastech inflace skončí, takže se přestanou exponenciálně rozpínat. Jinde ale v důsledku těchto fluktuací inflace bude trvat ještě déle. A tak pořád dál.

Tento obraz Linde nazval „chaotická inflace“ – a celý mechanismus vsutku připomíná chaotické procesy, které známe na Zemi. Příkladem je třeba kypící ovesná kaše. Z každého bodu na jejím povrchu může uniknout bublina plynu, protože právě tam došlo k fázovému přechodu – tekutina se změnila v páru. Ale mezi jednotlivými bublinami kaše proudí a převaluje se. Máme-li té kaše veliký kotel, vypadá to v průměru všude stejně – všude se objevují bubliny. Lokálně jsou zde ale velké rozdíly, záleží na tom, do kterého místa se právě díváte. Stejně tomu má být ve vesmíru, v němž probíhá chaotická inflace. Nacházíte-li se v „bublině“, ve které už inflace skončila, protože přešla do pravého základního stavu, váš vesmír vypadá podstatně jinak než velká většina prostoru, ve kterém inflace dosud probíhá.

Podle této teorie je inflace věčná. V některé oblasti, ve skutečnosti ve většině prostoru, bude probíhat stále. Z těch oblastí, kde inflace skončila, se stanou oddělené, kauzálně nezávislé vesmíry. Zdůrazňuji, že nastává-li věčná inflace, je vznik multiverza *nevyhnutelný* a věčná inflace je tou nejpravděpodobnější možností ve většině inflačních scénářů, ne-li ve všech. Linde to popsal v článku z roku 1986 takto:

„Starou otázku, proč je náš vesmír jediným možným vesmírem, dnes nahradila otázka, v jaké teorii může vesmír našeho typu vzniknout. Najít na ni odpověď je stále obtížné, ale je to snazší než zodpovědět otázku původní. Podle našeho názoru je změna pohledu na globální strukturu vesmíru a na naše postavení v něm tím nejdůležitějším důsledkem scénářů inflačního vesmíru.“

Linde tehdy zdůraznil – a od té doby se vyjasnilo mnoho detailů v tomto ohledu –, že tento obraz poskytuje možnost existence jiné fyziky, odlišné od té, jež platí v našem vesmíru. V přírodě může existovat mnoho možných nízkoenergetických stavů vesmíru, do kterých se po skončení inflace může vesmír rozpadnout. Protože konfigurace kvantových stavů jednotlivých polí může být v různých oblastech/vesmírech různá, základní fyzikální zákony v nich mohou mít různý charakter.

Tím získáváme první představu „krajiny“, ve které hraje důležitou roli dříve zmíněný antropický argument. Existuje-li mnoho různých stavů, v nichž se náš vesmír může po inflaci usadit, ten, v němž žijeme, je jen jeden z mnoha. Není divu, že na zkoumavé vědce vyšel právě takový vesmír, ve kterém má vakuová energie tu správnou velikost, aby v něm mohly vzniknout galaxie, hvězdy, planety a život.

Termín „krajina“ však nevznikl v tomto kontextu. Realita plná různých možností, jež se dá svou pestrostí připodobnit ke krajině, se objevila v souvislosti s koncepcí, která je nejvíce popularizovaným předmětem studia částicové fyziky v posledním čtvrtstoletí – s teorií strun. Tato teorie spočívá na představě, že základními stavebními kameny v přírodě nejsou elementární částice, nýbrž objekty, které se chovají jako kmitající strunky. Tak jako kmitající struna houslí může vydávat různé tóny, vibrace elementárních strun by mohly vyprodukovat různé objekty, jejichž vlastnosti by byly shodné s vlastnostmi elementárních částic, které nacházíme v přírodě. Háček je ovšem v tom, že teorie strun není matematicky dobře formulovaná v pouhých čtyřech rozměrech – třech prostorových a jednom časovém.

Aby byla bezrozporná, vyžaduje to podstatně více dimenzí a není okamžitě zřejmé, jaký fyzikální význam tyto dodatečné dimenze mají. Není také jasné, zda jedinými

základními objekty jsou struny nebo ještě něco jiného, a zůstává zde nevyřešena řada dalších obtížných problémů. To vše utlumilo počáteční nadšení nad teorií strun.

Zde nemáme prostor pro podrobnější přehled teorie strun. Vlastně ho ani není možné podat, protože během posledních dvaceti pěti let se vyjasnilo, že koncepce, která dostala jméno teorie strun, je o hodně komplikovanější, než se původně soudilo, a že si žádá mnohem hlubšího rozpracování. Přitom její základy i důsledky zůstávají stále tajemstvím.

Pořád nemáme nejmenší ponětí, zda tato pozoruhodná teoretická konstrukce má něco společného s reálným světem. Avšak žádné jiné teorii se nepodařilo vstoupit tak úspěšně do širokého povědomí fyzikálního společenství jako teorii strun, přestože nedokázala vyřešit tajemství přírody způsobem, jenž by dovoľoval experimentální potvrzení.

Mnozí vezmou poslední větu jako kritiku teorie strun, ale i když jsem si v minulých letech vysloužil označení jejího pomlouvače, můj výrok nebyl tak myšlený. Nesnažil jsem se ji odsuzovat ani v mnoha svých přednáškách či dobře míněných veřejných debatách, které jsem o ní vedl se svým přítelem a skalním stoupencem teorie strun Brianem Greenem. Jen se domnívám, že realita se musí oddělit od mediálního humbuku. Teorie strun vychází z fascinujících myšlenek a bezpochyby vrhá určité světlo na jeden z těch nejzákladnějších rozporů teoretické fyziky, že totiž neumíme spojit Einsteinovu obecnou teorii relativity s kvantovou teorií tak, abychom dostali rozumné předpovědi o chování vesmíru na těch nejmenších měřítkách.

O tom, jak se tento problém snaží teorie strun vyřešit, jsem napsal celou knihu. Zde se musíme spokojit jen se stručným shrnutím. Základní myšlenka se vysloví snadno, je ji však těžké prakticky realizovat. Na těch nejmenších rozměrech, tam, kde se dají očekávat projevy kvantových

efektů i pro gravitaci, se elementární struny mohou svinout a vytvořit uzavřené smyčky. Mezi řadou excitací těchto uzavřených smyček se vždy vyskytnou takové, které mají vlastnosti částice, jež by měla přenášet gravitaci – „gravitonu“. Kvantová teorie těchto strun tedy přináší základ, na kterém by se měla vybudovat kvantová teorie gravitace.

Teorie nabízí velmi elegantní způsob, jak se zbavit nepříjemných nekonečen, jež se objevují při standardním přístupu ke kvantové gravitaci. Už jsme se však zmínili o háčku, který strunový přístup v sobě nese. V té nejjednodušší formě teorie se zmíněná nekonečna dají odstranit jen za předpokladu, že struny nekmitají jen ve třech rozměrech prostoru a jedné dimenzi času, na které jsme zvyklí z každodenního života i standardní fyziky, nýbrž celkem v dvaceti šesti rozměrech!

Mohlo by se vám zdát, že takový obrovský skok ve složitosti (a možno říci i ve vědecké metodice) většinu fyziků od podobné teorie odradí. Jenže v polovině osmdesátých let minulého století se díky nádherným matematickým pracím řady vědců, mezi nimiž vynikal Edward Witten z Institutu pro pokročilá studia v Princetonu, podařilo dokázat, že teorie strun toho může poskytnout mnohem víc než jen kvantovou teorii gravitace. Úspěchem bylo i to, že zavedením nových symetrií, jmenovitě mocného matematického nástroje „supersymetrie“, se podařilo snížit počet dimenzí potřebných pro bezrozpornost teorie z dvaceti šesti na „pouhých“ deset.

Důležitější však byla jiná skutečnost. Zdálo se, že v rámci strunové teorie by se mohlo podařit spojit gravitaci s ostatními základními přírodními interakcemi v jedinou teorii, která by dokázala předpovědět existenci a vlastnosti všech elementárních částic v přírodě! Vypadalo to, že konečně stojíme před objevem jednotné teorie v deseti

rozměrech, která je jednoznačně určená a která dokáže vysvětlit vše, co v čtyřrozměrném prostoročase pozorujeme.

Tato nová teorie všeho měla široký ohlas nejen ve vědecké literatuře, ale i v literatuře populární. Výsledkem je, že pojem „superstruna“ zná asi mnohem více lidí než pojem „supravodivost“. Přitom supravodivost je jev běžně pozorovaný a technicky důležitý: spočívá v tom, že při velmi nízkých teplotách mohou některé látky vést elektrický proud bez jakéhokoli odporu. Je to jeden z nejpozoruhodnějších fyzikálních jevů a zásadně přispěl k transformaci našich představ o kvantové stavbě látek.

Následujících dvacet pět let však k teorii strun nebylo příliš laskavých, přestože se na ni upnuly nejlepší teoretické mozky na světě. Objevilo se mnoho nových výsledků i nových matematických metod (například Ed Witten získal za práci z oboru teorie strun tu nejprestižnější cenu za matematiku). Postupně se ale ukázalo, že „struny“ teorie strun nemohou být nejzákladnějšími objekty. Teorii pravděpodobně řídí složitější struktury zvané „brány“. Název vznikl zkrácením slova „membrána“, protože ty nejjednodušší jsou dvourozměrné a jejich funkce se dá připodobnit k buněčné membráně. Brány ovšem mohou mít i vyšší dimenzi.

Horší bylo, že se začala vytrácet jedinečnost teorie. Víme, že prostoročas naší zkušenosti není desetirozměrný, nýbrž jen čtyřrozměrný. Těch zbývajících šesti dimenzí se musíme nějak zbavit. Standardní vysvětlení je, že jsou nějakým způsobem „kompaktifikovány“ – na malých měřítkách se svinou tak, že jsou pro nás nerozlišitelné nejen na měřítkách běžné zkušenosti, ale i na těch nejmenších škálách, které lze zkoumat pomocí nejjvýkonnějších dnes užívaných urychlovačů částic.

Na první pohled by se mohlo zdát, že není velký rozdíl mezi těmito skrytými oblastmi reality a neviditelnými

oblastmi duchovna a náboženství, ale to by byl omyl, obojí se liší velmi podstatně. Skryté dimenze jsou především v principu prozkoumatelné, ale museli bychom postavit opravdu hodně výkonné urychlovače částic. Výkonnost takových urychlovačů sice snad leží za hranicí současné praktické uskutečnitelnosti, ne však za hranicemi možného. Druhou podstatnou skutečností je, že existence skrytých dimenzí se může projevit nějakými nepřímými efekty, které ovlivňují dění v našem čtyřrozměrném prostoročasu. Něco podobného jsme viděli v případě virtuálních částic. Krátce řečeno, protože dodatečné dimenze byly zavedeny jako součást teorie, jejímž cílem je vysvětlit vesmír, ne ho jen odůvodnit, jejich existence může být v principu empiricky ověřitelná, i když to může být neobyčejně obtížné.

Avšak možná existence těchto dodatečných dimenzí není v souladu s představou, že vesmír je jedinečný. Kdybychom měli i jen jednu jedinou teorii v desetirozměrném prostoročasu (znova opakujeme, že zatím nevíme, zda taková teorie opravdu existuje), pak různé možné způsoby kompaktifikace dodatečných dimenzí vedou k různým typům čtyřrozměrného prostoru, ve kterých mohou platit různé fyzikální zákony, působit různé síly, vyskytovat se různé částice a uplatňovat se různé symetrie. Někteří teoretici odhadli, že z jedné desetirozměrné strunové teorie může vyplynout snad i 10^{500} různých možných a v principu realizovatelných čtyřrozměrných vesmírů. Můžeme říct, že z „teorie všeho“ se najednou stala „teorie čehokoli“.

Líbil se mi komiks, který situaci pěkně vystihuje. Někdo tam říká: „Mám úžasnou myšlenku. Co když veškerá hmota a energie nejsou než drobounké vibrující strunky?“ Jeho kolega mu odpoví: „V pořádku. A co z toho plyne?“ A ten první přizná: „Nemám nejmenší ponětí!“

Trochu podobným vtípem situaci charakterizoval laureát Nobelovy ceny Frank Wilczek. Řekl, že nová

fyzika, kterou zavedla teorie strun, mu připomíná soutěž ve vrhání šipek podle nových pravidel. Někdo hodí šipku proti holé dřevěné stěně a kolem místa, kde se zabodla, pak namaluje terč. Ať hodí jakkoli, vždy může oznámit vítězství!

Frankův komentář ironizuje především humbuk, který se kolem teorie strun nadělal. Je ale třeba zdůraznit, že fyzikové, kteří pracují v této teorii, se poctivě snaží odkrýt principy, kterými se řídí svět, ve kterém žijeme. Nicméně neuvěřitelný nadbytek možných čtyřrozměrných vesmírů, který strunové teoretiky zpočátku děsil, se najednou stal jednou ze ctností teorie. Lze si představit, že v deseti-rozměrném „multiverzu“ je vnořeno obrovské množství čtyřrozměrných (nebo pěti-rozměrných, šesti-rozměrných atd.) vesmírů, ve kterých platí různé fyzikální zákony a v každém z nich může být jiná hodnota energie prázdného prostoru.

Může to znít jako účelová smyšlenka, ale zdá se, že je to automatický důsledek strunové teorie. Získáváme tak přirozený rámec pro rozvíjení antropického chápání energie prázdného prostoru. V tomto případě nepotřebujeme představu nekonečně mnoha možných vesmírů oddělených od sebe v tří-rozměrném prostoru. Místo toho si můžeme představovat nekonečně mnoho vesmírů naskládaných nad jediným bodem našeho prostoru, jež jsou pro nás neviditelné, ale každý z nich má podstatně jiné vlastnosti.

Znovu ale zdůrazňuji, že to nemá mnoho společného s teologickými úvahami svatého Tomáše Akvinského, zda několik andělů může zaujímat totéž místo v prostoru. Problém, kolik andělů se vejde na špičku jehly nebo do špendlíkové hlavičky, pozdější teologové zavrhovali jako symbol neplodných spekulací. Tomáš Akvinský otázku nakonec zodpověděl sám a tvrdil, že určité místo v prostoru nemůže zaujímat více než jeden anděl, samozřejmě pro to ale neměl žádné teoretické, tím méně experimentální,

zdůvodnění. (Navíc by neměl pravdu, kdyby andělé byli z bosonů.)

Jestliže takový obraz přijmeme a disponujeme adekvátní matematikou, můžeme doufat, že na jeho základě budeme moci dělat nějaké předpovědi, alespoň v principu. Dá se třeba studovat rozdělení pravděpodobnosti toho, že najdeme čtyřrozměrný vesmír určitých vlastností vnořený v mnohorozměrném multiverzu. Například by se mohlo zjistit, že ve většině vesmírů s malou vakuovou energií existují také právě tři rodiny elementárních částic a čtyři základní interakce. Nebo by se mohlo ukázat, že jen ve vesmíru s malou vakuovou energií může existovat elektromagnetická interakce dlouhého dosahu. Každý takový výsledek by rozumně ukazoval na to, že pravděpodobnostní antropické vysvětlení energie prázdného prostoru má dobrý fyzikální základ. Jinými slovy, že vesmír, jenž vypadá jako náš a nese malou vakuovou energii, není nepravděpodobný.

Jenže tak daleko se to matematikům ještě nezdařilo dovést – a je možné, že se jim to nepodaří nikdy. Ale naše teoretická neschopnost ještě neznamená, že se v přírodě tato možnost opravdu nerealizuje.

Zatím se částicové fyzice podařilo rozvést antropické uvažování alespoň o krok dále.

Co se týče záhad, částicová fyzika kosmologii předbíhá. Kosmologie vyprodukovala jednu naprosto záhadnou veličinu, které v podstatě vůbec nerozumíme – energii prázdného prostoru. Částicová fyzika však nerozumí celé řadě veličin, které v ní vystupují, a to už velmi dlouho.

Například: Proč existují právě tři rodiny elementárních částic? Elektron má dva těžší bratrance mion a tauon, šest kvarků je spárováno do tří skupin. Jedna „rodina“, dva nejlehčí kvarky a elektron, tvoří skoro všechnu hmotu, kterou na Zemi najdeme. Proč? Proč je gravitace tolikrát

slabší než ostatní interakce, například elektromagnetismus? Proč je proton 2 000krát hmotnější než elektron?

Někteří částicoví fyzici podleli dnes antropickému módnímu trendu extrémním způsobem, možná proto, že pokusy vysvětlit tyto záhady tradičním fyzikálním přístupem nikam nevedly. Vycházejí z toho, že je-li jedna ze základních konstant výsledkem náhodného vlivu prostředí, proč by tomu tak nemohlo být i s ostatními fundamentálními parametry?

Možná všechna tajemství a všechny problémy teorie elementárních částic může vyřešit stejná mantra: Kdyby byl vesmír jiný než je, nedalo by se v něm žít.

Můžeme se ptát, zda takové řešení záhad přírody je opravdu řešením, a co je ještě důležitější, jestli je přípustné ve vědě, alespoň v takové vědě, jak jsme ji až dosud chápali. Vždyť cílem vědy a jmenovitě fyziky v posledních 450 letech bylo vysvětlovat, proč je vesmír takový, jaký je, i když by přírodní zákony možná připouštěly, aby vypadal jinak.

Snažil jsem se vysvětlit, proč má antropický princip ve vědě své místo, proč se k němu obrací řada uznávaných vědců. Mnoho z nich vyvinulo velké úsilí, aby zjistili, zda nám o vesmíru může povědět něco nového.

Teď mi dovoluňte jít trochu dále a vysvětlit, proč existence vesmírů, které nikdy nebudeme moci pozorovat, může být přese všechno empiricky testovatelná. Jak vesmírů, které jsou od nás prakticky nekonečně vzdálené, tak těch, které sice možná máme hned u nosu, ale jsou od nás odděleny nepatrnou mezerou ve vyšší dimenzi.

Představme si například, že jsme objevili teorii, která sjednocuje tři nebo čtyři základní interakce v nějaké teorii velkého sjednocení, což je stále v popředí zájmu těch badatelů ve fyzice částic, kteří se nevzdali programu najít základní teorie ve čtyřech dimenzích. Taková teorie by předpovídala řadu vlastností základních interakcí, jež v

přírodě můžeme měřit, a dávala by i spektrum elementárních částic, které dovedeme zkoumat pomocí urychlovačů. Kdyby z takové teorie vyplynula velká řada předpovědí, jež bychom potom ověřili pomocí experimentů, měli bychom dobré důvody soudit, že je v ní alespoň zárodek pravdy.

Představme si dále, že teorie předpovídá také inflaci v raném vesmíru a plyne z ní, že naše inflační perioda byla jen jedna z mnoha epizod, jež se odehrávají ve vesmíru s věčnou inflací. I kdybychom nemohli přímo zkoumat oblasti, které prošly inflací a utvořily separátní vesmíry – jak jsem už jednou říkal: co chodí jako kachna a kváká jako kachna... Víte, co mám na mysli.

Najít možnou empirickou podporu myšlenek spojených s vyššími dimenzemi je obtížnější, ale není to nemožné. Řada bystrých mladých teoretiků věnuje svou profesionální kariéru snaze rozvinout teorie spojené s více rozměry tak daleko, aby z nich plynuly nějaké experimentální důkazy správnosti, i když nepřímé. Jejich naděje mohou být marné, ale oni se nevzdávají. Možná nějaké dosud skryté okno do nové fyziky otevře Velký hadronový collider v CERNu u Ženevy.

Po stovce let pozoruhodného bezprecedentního pokroku v našem porozumění přírodě jsme dnes schopni zkoumat vesmír v dříve naprosto nepředstavitelných měřítkách. Porozuměli jsme povaze rozpínání z velkého třesku a umíme je vysledovat do nejranějších mikrosekund, objevili jsme stovky miliard nových galaxií se stovkami miliard nových hvězd. Zjistili jsme, že 99 procent náplně vesmíru je pro nás ve skutečnosti neviditelných, protože je tvoří temná hmota, pravděpodobně složená z nějakých dosud neznámých elementárních částic, a temná energie, jejíž povaha a původ je v současné době velikým tajemstvím.

A po tom všem se najednou zdá, že se z fyziky stane věda o „životním prostředí“. Základní konstanty přírody,

done dávna pokládané za parametry, jež mají speciální důležitost, se najednou zdají být náhodnými produkty prostředí.

My vědci máme sklon brát příliš vážně nejen naši vědu, nýbrž i sebe samé. Možná bereme příliš vážně i náš vesmír. Možná je to opravdu mnoho povyku pro nic, a to jak metaforicky, tak doslovně. Přinejmenším možná přeceňujeme význam nicoty, která v našem vesmíru dominuje! Možná je náš vesmír jen kapkou v obrovském oceánu multiverza možností. Možná nikdy nenalezneme teorii, která by vysvětlovala, proč je vesmír takový, jaký je. Možná ji ale najdeme.

Nějak takhle tedy vypadá ten nejpřesnější obraz reality, který jsem schopen namalovat. Je založen na práci desítek tisíc nadšených hlav uplynulého století, které navrhly ty nejsložitější přístroje, jaké kdy byly postaveny, a rozvinuly ty nejkrásnější myšlenky, s kterými lidstvo kdy zápasilo. Je to obraz, jenž zdůrazňuje to nejlepší, proč je krásné být člověkem – naši schopnost představit si široké možnosti existence a smysl pro dobrodružství, jenž nás nutí se s těmito představami statečně utkávat – aniž bychom se spoléhali na představu Stvořitele, jenž je podle definice navždy nepochopitelný. Jsme sami sobě povinováni získat z této zkušenosti poučení, jinak bychom se zachovali nevděčně ke všem těm skvělým a odvážným jedincům, kteří nám pomohli dosáhnout současného stupně poznání.

Chceme-li udělat nějaký filosofický závěr o naší existenci, o našem významu a smyslu vesmíru, naše vývody musí být založeny na empirických vědomostech. Skutečně otevřít mysl znamená uvést naši představivost do shody s realitou a ne naopak, bez ohledu na to, zda se nám výsledek líbí, nebo ne.

NIC JE NĚCO

Nevadí mi, že něco nevím. To mě neděsí.

– RICHARD FEYNMAN

Isaac Newton, pravděpodobně vůbec největší fyzik všech dob, v mnoha směrech zásadně změnil náš pohled na vesmír. Jeho nejdůležitějším příspěvkem asi bylo, že ukázal na možnost celý vesmír vysvětlit. Svým zákonem všeobecné gravitace poprvé demonstroval, že i nebesa se musí sklonit před silou přírodních zákonů. Že vesmír nemusí být podivný, nepřátelský, hrozivý a rozmarný, jakým se zdál být před ním.

Pokud by vesmíru vládly neměnné zákony, mytičtí bohové Řeků a Římanů by nemohli uplatnit svou moc. Nemohli by volně manipulovat se světem a vystavovat lidstvo nepříjemným problémům. A totéž co pro Dia by platilo i pro Boha Izraelitů. Jak by se mohlo uprostřed dne zastavit na obloze Slunce, když Slunce neobíhá Zemi, ale jeho pohyb po obloze je zapříčiněn otáčením Země? Kdyby se Země náhle zastavila, vznikly by na jejím povrchu síly, které by zničily všechny lidské struktury a celé lidstvo spolu s nimi.

Podstatou zázraků samozřejmě jsou nadpřirozené jevy. Jako zázraky se označují právě takové události, které se přírodním zákonům vymykají. O Bohu, který přírodní zákony stvořil, se také předpokládá, že je může podle své vůle obejít. Určitý podiv ovšem budí, proč je mohl tak snadno obcházet před tisícovkami let, když ještě neexistovaly moderní komunikační nástroje, jež by mohly informace o takových dějích předávat dále, a proč k tomu nedochází dnes.

Ale i ve vesmíru prostém zázraků, ovládaném hlubokým jednoduchým řádem, můžete udělat dva filosoficky různé závěry. Jeden je ten, který učinil sám Newton a který propagoval i Galilei a řada vědců té doby, totiž že tento řád byl stvořen božskou inteligencí, jež je zodpovědná nejen za vesmír, ale i naši vlastní existenci. Lidské bytosti byly stvořeny podle Božího obrazu (další složitě a krásné bytosti zřejmě ne). Jiný závěr ale je, že tyto zákony jsou vše, co skutečně existuje. Tyto zákony vynutily existenci vesmíru i jeho další vývoj a my jsme nutným vedlejším produktem tohoto vývoje. Tyto zákony mohou být věčné, nebo mohou samy začít existovat v důsledku zatím neznámého, ale čistě fyzikálního procesu.

Filosofové, teologové a někdy i vědci pokračují v diskusích o těchto možnostech. S jistotou nevíme, a možná ani nikdy vědět nebudeme, který z pohledů na náš vesmír je správný. Jak jsem ale zdůraznil na samém začátku této knihy, konečným arbitrem této otázky nemůže být naděje, touha, zjevení, ani čisté myšlení. Pokud dojde k nějakému rozhodnutí, bude to na základě studia přírody. Sen nebo noční můra, jak se říká v citátu z Jacoba Bronowského v úvodu této knihy. Chtěl tím říci, že to, co pro jednoho může být snem, pro jiného může být noční můrou – naše zkušenosti musíme prožívat takové, jaké jsou, a s otevřenými očima. Vesmír je takový, jaký je, ať se nám to líbí nebo nelíbí.

A zde je podle mého názoru *výjimečně důležité*, že představa vesmíru z ničeho – ve smyslu, který se pokusím vysvětlit –, vesmíru, který vzniká přirozeně a nevyhnutelně, je v souladu se vším, co jsme se o světě zatím dozvěděli, a další informace, které se dovídáme, tento souhlas jen posilují. Toto přesvědčení nevzešlo z filosofického nebo teologického hloubání o morálce či jiných spekulacích o podmínkách lidského života. Je založeno na vzrušujícím vývoji experimentální kosmologie

a částicové fyziky, o kterém jsme hovořili v předchozích kapitolách.

Ted' se chci vrátit k otázce, kterou jsem položil na začátku knihy: „Proč existuje něco, místo toho, aby neexistovalo nic?“ Nyní když jsme nastínili moderní vědecký obraz vesmíru a jeho historie, jsme už v lepším postavení, abychom se jí zabývali. Pomůže nám i náčrt budoucnosti vesmíru a operacionalistický popis toho, z čeho „nicota“ může sestávat. I tato otázka, stejně jako v podstatě všechny podobné filosofické problémy, byla ovlivněna vědou. Dnes to už není argument pro existenci Stvořitele. Význam slov v ní obsažených se natolik změnil, že věta ztratila značnou část svého původního významu – to není nic neobvyklého, empirické vědomosti často vrhají nové světlo do dříve temných zákoutí naší představivosti.

Zároveň si uvědomme, že ve vědě musíme být při formulaci otázek velmi opatrní. Když se ptáme „Proč?“, často tím vlastně míníme „Jak?“. Když umíme zodpovědět tu druhou otázku, obvykle nám to stačí. Vezměme jako příklad, co míníme otázkou: „Proč je Země přibližně 150 milionů kilometrů od Slunce?“ Vlastně nás zajímá „Jak se stalo, že je Země 150 milionů kilometrů od Slunce?“ Chceme znát fyzikální proces, který vedl k tomu, že Země skončila na své současné dráze. Otázka „Proč?“ navozuje, že se ptáme na účel něčeho, a když se snažíme popsat vědecky sluneční soustavu, zpravidla jí žádný účel nepřisuzujeme.

Takže já otázku reformuluji do tvaru „Jak k tomu došlo, že je zde něco, a ne nic?“ Studium přírody můžeme dostat určitou odpověď zpravidla právě jen na dotaz začínající „Jak“, ale v běžné řeči „jak“ a „proč“ často zaměňujeme, a tak mi odpustíte, že občas i já upadnu do pastí, že budu zdánlivě diskutovat otázku v její běžnější formulaci s „proč“, i když budu mít vlastně na mysli onu přesnější formulaci.

Chceme-li dosáhnout správného porozumění, stejně musíme zpravidla i otázku s „jak“ dále upřesnit. Budeme se tedy ve skutečnosti ptát: „Co mohlo způsobit, že vesmír má takové vlastnosti, které ho dnes typicky charakterizují?“ A také, což je důležitější z hlediska, jemuž říkám operacionalistické, „Jak to můžeme zjistit?“

Zde opět něco zdůrazním – a přál bych si, aby to bylo zbytečné. Otázky kladené tímto způsobem vedou k získání nových znalostí a porozumění. To je odlišuje od čistě teologických otázek, u kterých se většinou očekává, že odpověď je známa předem. Oslovil jsem řadu teologů a žádal je, aby mne přesvědčili o nesprávnosti předpokladu, že za posledních pět set let, od rozbřesku vědy, teologie k lidskému poznání ničím nepřispěla. Až dodnes mi nikdo neuvedl žádný protipříklad. Dotázaní mi nanejvýše odpověděli otázkou: „Co rozumíte poznáním?“ Z epistemologického hlediska to sice může být ožehavý problém, ale jsem přesvědčen, že kdyby existovala lepší odpověď, někdo by ji uvedl. Kdybych se stejným způsobem obrátil na biology, psychology, historiky či astronomy, určitě bych je neuvedl do rozpaků.

Plodné otázky toho druhu, o nichž zde hovořím, se týkají teoretických předpovědí, jež se dají testovat experimentálně, jejichž pomocí se rozvíjí přímočařeji naše operativní znalost vesmíru. Částečně z toho důvodu jsem se v této knize soustřeďoval právě na ně. Ale problém „něčeho z ničeho“ je natolik populární, že je asi nezbytné se jím zabývat.

Newtonovo dílo dramaticky zredukovalo možnou oblast Boží působnosti, bez ohledu na to, zda vesmíru přisoudíme nějakou vnitřní racionalitu, nebo ne. Newtonovy zákony nejen silně omezily volnost božského působení, ony svět zbavily i potřeby nadpřirozeného zásahu. Newton objevil, že planety na svých drahách kolem Slunce nemusí být neustále podél nich postrkovány, nýbrž se pohybují pod

vlivem síly směřující ke Slunci, což nesouhlasilo s běžnou intuicí. Tím se zbavil nutnosti zásahů andělů, o kterých se před ním často mluvilo jako o hybatelích planet. Tím, že andělům odejmul tuto jejich specifickou funkci, nenarušil ochotu lidí v ně věřit (výzkumy ukazují, že ve Spojených státech věří v anděly více lidí než v evoluční teorii). Nicméně pokrok vědy od Newtonových dob dále podstatně zúžil možnosti pro zásah Boží ruky, jenž by se projevoval v dílu jemu připisovaném.

Vývoj vesmíru umíme nyní popsat do těch nejranějších okamžiků po velkém třesku, aniž k tomu potřebujeme něco jiného než známé fyzikální zákony. Nastínili jsme také pravděpodobnou budoucí historii vesmíru. Je zde jistě stále řada hádanek týkajících se vesmíru, budu ale předpokládat, že čtenář této knihy není nakloněn představě „Boha mezer“, tedy dovolávání se Božího zásahu, kdykoli narazíme na nějaká pozorování, pro která nemáme okamžité vysvětlení nebo kterým plně nerozumíme. I teologové si ostatně uvědomují, že takový přístup umenšuje velikost jejich nejvyšší bytosti a navíc podkopává nutnost její existence nebo ji odsunuje na okraj, jakmile nové práce takové mezery vyplní.

V tomto smyslu argumenty kolem problému „něco z ničeho“ se snaží zaměřit na akt původního stvoření a tázat se, zda vědecké vysvětlení může být někdy logicky úplné a plně uspokojivé.

Ukazuje se, že z hlediska našeho běžného chápání přírody se otázce „Může vzniknout něco z ničeho?“ dají připisat tři různé významy. Krátká odpověď na všechny tři varianty otázky je „velmi pravděpodobně ano“ a ve zbytku knihy budu rozebírat každou z variant zvlášť.

Occamova břitva říká, že jestliže je nějaká událost fyzikálně věrohodná, nemusíme se utíkat k nějakému dalšímu vysvětlení její existence. Představa, že k existenci vesmíru je třeba všemohoucího božstva, které nějak

existuje mimo něj nebo mimo multiverzum a zároveň řídí, co se ve vesmíru děje, je z tohoto hlediska nadbytečným vysvětlením. Mělo by být posledním, ne prvním útočištěm.

V předmluvě jsem už argumentoval, že jenom definice „nicoty“ jako „neexistence“ nestačí k tvrzení, že fyzika, či obecněji přírodověda, není schopná se s otázkou vzniku vypořádat. Dovolte mi zde vyslovit ještě jeden, určitější argument. Představme si elektron-pozitronový pár, který v blízkosti jádra atomu spontánně vyskočí z prázdného prostoru a po kratičkou dobu své existence ovlivňuje vlastnosti atomu. V jakém smyslu tento elektron a pozitron existovaly předtím? Podle jakékoli smysluplné definice neexistovaly. Jistě, byl zde *potenciál* pro jejich existenci, ale to neznamena *bytí* o nic více než existence potenciální lidské bytosti, dokud nepředám sperma ze svých varlat ovulující ženě, která se stala mou partnerkou. Nejlepší odpověď, kterou jsem kdy slyšel na otázku, jak se budeme cítit, až budeme mrtví, tedy neexistující, je, že si máme vzpomenout, jaké to bylo, než jsme byli počati. Každopádně kdyby potencialita existovat byla totéž jako existence, pak by masturbace byla podobně ožehavé téma, jako je dnes potrat.

V rámci projektu „Počátek“ na Arizonské státní univerzitě, který vedu, jsme nedávno organizovali pracovní setkání na téma „Počátek života“, a mne to nutí dívat se na současnou kosmologickou debatu právě v tomto kontextu. Stále přesně nevíme, jak na Zemi vznikl život. Nicméně známe nejen vhodný chemický mechanismus, kterým by to bylo vysvětlitelné, nýbrž se i každým dnem blížíme víc a více k určitým představám o cestách, které mohly dovolit přirozený vznik biomolekul včetně RNA. Navíc Darwinova vývojová teorie, založená na přírodním výběru, dává působivě přesný návod, jak se na této planetě mohl objevit komplexní život, ať už první sebereprodukující buňky s metabolismem schopným přijímat energii z okolí vznikly

jakýmkoli chemickým procesem. (Pro tuto chvíli to vezměme za dostatečnou definici života.)

Darwin odstranil nutnost Boží intervence, aby se vyvinul současný živý svět překypující různými formami života v různých koutech planety, i když trochu váhavě, protože nechal pootevřené dveře možnosti, že Bůh pomohl vdechnout život těm nejranějším organismům. Naše současné znalosti o vesmíru, o jeho minulosti i jeho budoucnosti, činí věrohodným, že „něco“ se může vynořit z ničeho bez potřeby božského zásahu. Získat podrobná pozorovací data a jasně je teoreticky interpretovat v detailu je velmi obtížné, takže neočekávám, že někdy budeme moci udělat určitější závěr, než že je to věrohodná, plauzibilní, možnost. Ale i plauzibilita je podle mého názoru velký krok kupředu, máme-li odvahu k smysluplnému životu ve vesmíru, který pravděpodobně začal existovat a může přestat existovat, aniž mu byl vytčen nějaký cíl a my určitě nejsme jeho centrem.

Vraťme se nyní k jednomu z nejpozoruhodnějších rysů našeho vesmíru: jeho geometrie se tak blíží ploché geometrii, jak jen jsme schopni změřit. Připomeňme si význačnou vlastnost plochého vesmíru, alespoň v období, kdy v něm dominuje hmota ve formě galaxií a platí tam newtonovské přiblížení: v plochém vesmíru a jen plochém vesmíru je průměrná newtonovská gravitační energie každého objektu přesně rovna nule.

Zdůrazňuji, že je to falzifikovatelný postulát. Nemuselo by tomu tak být. Dokud nebyla plochost vesmíru empiricky ověřená, svědčily pro tuto možnost jen teoretické spekulace založené na úvahách o tom, jak se vesmír mohl vynořit z ničeho, nebo alespoň *téměř z ničeho*.

Jakmile se do úvah o přírodě zahrne gravitace, celkovou energii systému už nemůžeme definovat libovolně. Důležitost této skutečnosti nelze nadsadit, právě tak jako důležitost toho, že příspěvky k celkové energii mohou být

kladné i záporné. V určení celkové gravitační energie objektů, které jsou unášeny expandujícím vesmírem, už *není* libovůle, její hodnota je pevně určena, právě tak jako geometrické zakřivení vesmíru. Podle obecné teorie relativity je to vlastnost samotného prostoru, která je určena hustotou hmoty-energie ve vesmíru obsažené.

Zdůrazňuji to proto, že lze slyšet tvrzení opačná, totiž že nulovost průměrné newtonovské gravitační energie galaxií v rozpínajícím se plochém vesmíru je věcí definice, že by ji bylo možno položit rovnou i jiné konstantě a že vědci ji volí nulovou proto, aby měli argument proti Bohu. Tvrdil to přinejmenším Dinesh D'Souza* ve svých debatách s Christopherem Hitchensem o existenci Boží.

Nic však nemůže být dále od pravdy. Řada vědců, kteří po půl století věnovali své životy úsilí stanovit prostorovou křivost vesmíru, byla hnána touhou zjistit, jaká je skutečnost, ne snahou přizpůsobit vesmír svým přáním. I po tom, co byly vzneseny silné teoretické argumenty ve prospěch plochosti vesmíru, se řada mých kolegů – pozorovatelů snažila prokázat opak. Vždyť ve vědě dosáhne největších úspěchů zpravidla (a často i největších novinových titulků) ten, kdo nejde v hlavním proudu, nýbrž z něho vybočuje.

Poslední slovo měly výsledky pozorování, a ty hovoří jasně. Náš vesmír je tak blízký plochému, jak jen jsme schopni měřit. Newtonovská gravitační energie galaxií rozpínajících se Hubbleovou expanzí je rovna nule, ať se nám to líbí nebo ne.

Nyní se pokusím vyložit, proč máme očekávat, že vesmír, který se vynořil z ničeho, bude plochý a bude mít celkovou newtonovskou gravitační energii nulovou. Argument v tomto směru je jemný a důmyslný a vyžaduje trochu delší argumentaci. Ve svých populárních

* Americký publicista indického původu, autor několika křesťanských apologetik. Pozn. překl.

přednáškách na toto téma jsem měl potíže ho stručně vysvětlit, proto jsem rád, že zde mám prostor udělat to trochu obsírněji.

Předně musím vyjasnit, jaký typ „ničeho“ mám v tomto okamžiku na mysli. Je to ta nejjednodušší varianta ničeho, totiž prázdný prostor. Na chvíli budu tedy předpokládat, že prostor existuje a existují i fyzikální zákony. Znovu opakuji, že tato představa „nicoty“ neuspokojí ty, kteří stále pozměňují definici „ničeho“ tak, že nakonec není vědecky nijak uchopitelná. Nicméně se domnívám, že v dobách, kdy Platon a později sv. Tomáš Akvinský vedli úvahy nad tím, proč něco existuje místo toho, aby neexistovalo nic, byl prázdný prostor dobrým přiblížením toho, co měli na mysli.

Jak jsme viděli v 6. kapitole, Alan Guth přesně vysvětlil, jak můžeme něco získat z tohoto druhu nicoty – mluvili jsme o tom jako o „obědu zdarma“. Prázdný prostor může mít nenulovou energii i při dokonalé nepřítomnosti hmoty a záření. A obecná relativita předpovídá, že v takovém případě se prostor exponenciálně rozpíná, takže celý dnes pozorovatelný vesmír vznikl roztažením oblasti, která v nejranějších dobách byla nepatrně malá.

Tam jsem také vyložil, proč při takovémto prudkém rozpínání se bude oblast, ze které se nakonec vyvine náš pozorovatelný vesmír, stávat plošší a plošší, a to přesto, že celková energie prázdného prostoru v ní obsažená s expanzí roste. Tento jev se uskuteční bez potřeby nějakých hokus-pokusů nebo zázračného zásahu. Je to důsledkem toho, že s touto energií je nerozlučně spjat *záporný* gravitační tlak.

Důsledkem je, že záporný tlak koná při rozpínání zápornou práci, takže do prostoru se neustále pumpuje energie, místo aby z něho mizela, jak je tomu v případě kladného tlaku, například tlaku záření.

Podle tohoto obrazu se energie uložená v prázdném prostoru na konci inflace přemění v energii reálných částic

a záření, a tím efektivně stvoří vysledovatelný počátek současné expanze z velkého třesku. Říkám vysledovatelný počátek, protože inflace prakticky zcela vymaže všechny stopy o tom, jak vesmír vypadal před inflací. Všechny složitější struktury a nepravidelnosti velkých rozměrů (jež existovaly, byl-li předinflační vesmír velký, a on byl možná nekonečně velký) se vyhladily, respektive byly odneseny za dnešní horizont. Měla-li inflace dostatek času, budeme vždy kolem sebe pozorovat téměř homogenní vesmír.

Říkám téměř homogenní, protože v 6. kapitole jsme se též dozvěděli, že v důsledku kvantové mechaniky vzniknou malé zbytkové nehomogenity v hustotě a ty v průběhu inflace zamrznou. A to je další ohromující důsledek inflace: z těchto nehomogenit, vzniklých v důsledku kvantověmechanických efektů, se časem vytvoří všechny struktury, které dnes ve vesmíru pozorujeme. Takže my sami, právě tak jako vše, co kolem sebe pozorujeme, jsme výsledkem kvantověmechanických fluktuací v něčem, co se dá označit v podstatě za nicotu v období těsně po začátku času, jmenovitě během inflačního rozpínání.

Když se vše trochu zklidnilo, výsledkem byl v podstatě plochý vesmír naplněný zářením a hmotou, přičemž průměrná newtonovská gravitační energie všech objektů byla rovna nule. Takto skončí inflační proces téměř vždy, s výjimkou případů, kdy jsou parametry inflace velmi jemně vyladěny.

Náš pozorovatelný vesmír se tedy mohl vyvinout z mikroskopicky malé oblasti prostoru, jež byla prakticky prázdná a rozrostla se do obrovských rozměrů. Dnes pozorujeme, že je naplněna značným množstvím hmoty a záření, a přesto to nestálo ani krápek energie!

V tomto krátkém shrnutí inflační dynamiky, kterou jsme diskutovali podrobněji v 6. kapitole, ještě jednou zdůrazněme, že něco může vzniknout z prázdnoty *právě* proto, že energetika prázdného prostoru vypadá v

přítomnosti gravitace jinak, než bychom přepokládali na základě intuitivní úvahy, než jsme odhalili příslušné přírodní zákony.

Nikdo ale nemá důvod tvrdit, že vesmír se má řídit něčím, co nám v našem útulném koutku vesmíru připadá v důsledku naší krátkozrakosti jako rozumné. Intuitivně nám jistě připadá jako správná představa, že hmota nemůže povstat z prázdného prostoru, tedy že *něco* nemůže vzniknout z *ničeho*. Když ale vezmeme v úvahu gravitační dynamiku a kvantovou mechaniku, zjistíme, že naši intuici musíme poopravit, že neplatí to, co nám připadalo jako přirozené. V tom je *krása* vědy a nesmí nás to zarážet. Věda nás nutí revidovat naše představy tak, aby byly v souladu s vesmírem, ne naopak.

Abychom to tedy shrnuli. Protože na základě pozorování jsme zjistili, že vesmír je plochý a že jeho lokální gravitační energie je v podstatě nulová, silně to napovídá, že náš vesmír vznikl procesem podobným inflaci. Tedy procesem, při kterém se energie prázdného prostoru, tedy nicoty, promění v energii něčeho a při kterém se geometrie vesmíru více a více posouvá ke geometrii téměř ploché na všech měřítkách.

Inflace ukazuje, jak vše, co kolem sebe vidíme, spolu s neuvěřitelně obrovským plochým vesmírem, v němž je vše umístěno, mohlo vzniknout z energie prázdného prostoru. Právě proto by ale bylo nepoctivé tvrdit, že prázdný prostor je *nicota*, když je v něm skryta vakuová energie, která je hybnou silou inflace. V tomto obrazu prostě předpokládáme od začátku, že prostor existuje a může nést určitou energii, a pak na základě fyzikálních zákonů, jaké předkládá například obecná teorie relativity, zkoumáme důsledky. Kdybychom tedy zastavili náš výklad v tomto okamžiku, mohli by nám odpůrci vytknout, že moderní věda je daleko od vysvětlení, jak něco může vzniknout z ničeho. Udělali jsme ale zatím jen první krok. Až své

vědomosti rozšíříme, uvidíme, že inflace představuje jen špičku ledovce nicoty.

NIC JE NESTABILNÍ

Fiat iustitia ruat caelum.

(Staň se spravedlnost a nebesa ať se zřítí.)

– STAROŘÍMSKÉ ÚSLOVÍ

Hybnou silou procesu inflace je energie prázdného prostoru. Kosmologické důsledky existence této energie však jen posílily to, co jsme o kvantovém světě věděli a měli potvrzeno laboratorními pokusy. Prázdný prostor je komplikovaný pojem. Tak, jak ho chápe kvantová teorie, je to kypící pěna virtuálních částic, vznikajících a zase zanikajících po tak krátké době, že je přímo nemůžeme pozorovat.

Virtuální částice jsou demonstrací základní vlastnosti kvantového systému. Je to pravidlo, jímž se někdy řídí politici nebo výkonní ředitelé společností – pokud se nikdo nedívá, může se všechno. Systém se pohybuje, i když jen okamžitě, mezi všemi možnými stavy, a to i těmi, které by nebyly přípustné, kdybychom skutečně prováděli měření. Tyto „kvantové fluktuace“ nám říkají o kvantovém světě něco velmi podstatného: nic vždycky produkuje něco, i když jen na okamžik.

Je v tom ale háček. Ze zákona zachování energie vyplývá, že kvantové systémy se mohou takto nepřístojně chovat jen po kratičkou dobu. Jsou na tom jako nepoctiví burzovní makléři. Když stav, do kterého se systém fluktuací dostane, odebere nějakou energii prázdnému prostoru, systém ji musí zase vrátit za tak krátkou dobu, že nikdo, kdo na něm provádí měření, nemůže zaregistrovat, že k výpůjčce došlo.

Zdálo by se tedy, že „něco“ stvořené kvantovou fluktuací je efemérní, pomíjivé – není to měřitelné, na rozdíl od vás, mne nebo Země, na které žijeme. Jenže toto efemérní stvoření ovlivňuje podmínky našeho měření. Vezměme například elektrické pole vytvářené nabitým objektem. To je zcela určitě reálné. Elektrostatickou sílu, která vám ježí vlasy, dobře cítíte, podobně jako pozorujete, jak se pod jejím vlivem lepí papírky k ebonitovému hřebenu. Ale podle kvantové teorie elektromagnetismu je toto elektrostatické pole vytvářeno právě virtuálními fotony vyzářovanými nabitými částicemi a celková energie těchto virtuálních fotonů je nulová. Tyto virtuální fotony se mohou šířit prostorem, aniž zmizí, právě proto, že jejich energie je nulová, avšak výsledné pole, které vzniká superpozicí mnoha fotonů, je zcela reálné, protože je můžeme registrovat.

Někdy jsou podmínky takové, že z prázdného prostoru mohou beztravně vyskakovat reálné hmotné částice. Takových podmínek například dosáhneme, když k sobě přiblížíme dvě nabitě desky. Je-li elektrické pole mezi nimi dostatečně silné, pro reálné páry částice-antičástice je energeticky výhodné „vyskočit“ z vakua, přičemž kladně nabitá částice směřuje k záporně nabitě desce a záporně nabitá částice zamíří ke kladné desce. Tím se zmenší náboje na deskách a v důsledku toho poklesne i energie elektrostatického pole mezi nimi. Může se stát, že tento pokles je větší než energie, které bylo zapotřebí k vyprodukování hmotnosti dvou reálných částic. Tím se zaplatí „energetický dluh“ vzniklých částic. Aby však toto nastalo, musí být pole mezi deskami velice silné.

Skutečně existuje i situace, kdy silné pole jiného druhu – jde o gravitační pole – způsobí jev podobný tomu, který jsme popsali. Uvědomil si to v roce 1974 Stephen Hawking a to ho mezi fyziky proslavilo. Ukázal totiž, že černé díry, ze kterých bez uvážení kvantověmechanických efektů

nemůže nic uniknout, mohou podobným mechanismem vyzařovat reálné fyzikální částice.

Tento jev se dá popisovat mnoha různými způsoby, ale jeden z nich až podivuhodně připomíná efekt, který jsem popsal v případě elektricky nabitých desek. Černá díra je ohraničena plochou, která se označuje jako „horizont událostí“. Z míst pod tímto horizontem nic nemůže podle klasické teorie uniknout, protože úniková rychlost je větší než rychlost světla. (Klasickou teorií se míní nekvantová teorie.) Nad horizont se tedy nedostane ani světlo emitované pod ním.

Nyní si představme, že v těsné blízkosti horizontu vznikne z vakua v důsledku kvantové fluktuace pár částice-antičástice. Může se stát, že jedna z částic padne pod horizont událostí a pádem do černé díry získá více gravitační energie, než je dvojnásobek klidové energie každé z obou částic páru. To má za důsledek, že druhá částice může odletět do nekonečna a stát se pozorovatelnou, aniž se tím naruší zákon zachování energie. Celková získaná kladná energie vyzářené částice je bohatě kompenzována ztrátou energie její partnerské částice, jež padá do černé díry. Proto může černá díra vyzařovat částice.

Celá situace je však ve skutečnosti ještě zajímavější, protože ztráta energie padající částice je větší než energie odpovídající její klidové hmotnosti. V důsledku jejího pádu do černé díry je tedy celková energie černé díry spolu s touto částicí menší, než byla předtím, než do ní částice začala padat. Když tedy černá díra částici pohltí, je *lehčí*, a to právě o energii vyzářené částice, která unikne do nekonečna. Černé díry snad nakonec mohou vyzářit veškerou svou hmotnost. Tím si ale nejsme zcela jisti, protože konečné stadium vypařování černých děr zahrnuje fyziku tak malých rozměrů, že samotná obecná teorie relativity nám nemůže dát jednoznačnou odpověď. K tomu

bychom museli znát plnou kvantovou teorii gravitace – a tu zatím nemáme. Proto s jistotou nevíme, jak proces vypařování černé díry skončí.

Tyto jevy však ukazují nejen to, jak se z ničeho může stát něco, nýbrž i to, že za určitých podmínek je to nezbytné.

Jedním z nejstarších příkladů toho, že „nic“ může být nestabilní a může se z něho něco vytvořit, je spojen s úvahami, proč žijeme ve vesmíru naplněném jen hmotou.

Úvahy o tomto problému vás asi neruší ze spaní, ale to, že vesmír obsahuje jen hmotu bez podstatné příměsi antihmoty, je velmi pozoruhodné. Už víme, že podle kvantové teorie a speciální teorie relativity ke každé částici v přírodě existuje její antičástice se stejnou hmotností, ale opačným nábojem. Zdálo by se tedy, že každý rozumný vesmír by měl na svém počátku obsahovat stejné množství částic jako antičástic. Částice a antičástice mají nejen stejnou hmotnost, ale i jejich další vlastnosti jsou si podobné. Vznikly-li v určitém raném období částice, měly by se stejně snadno vytvořit i antičástice.

V našem vesmíru antihmota není. Můžeme si však představit vesmír jenom z antihmoty, ve kterém by všechny částice tvořící hvězdy a galaxie byly nahrazeny svými antičásticemi. Takový vesmír by byl téměř identický s tím vesmírem, ve kterém žijeme, a pozorovatelé v něm (také z antihmoty) by bezpochyby říkali antihmotě hmota. Na jménu nezáleží.

Jenže kdyby náš vesmír započal rozumně se stejným množstvím hmoty a antihmoty a chtěl takto pokračovat, nebyli bychom v něm a nemohli klást otázky s „proč?“ a „jak?“ Částice a antičástice by totiž už v raném vesmíru spolu anihilovaly a zbylo by po nich jen čisté záření. Nezůstala by žádná hmota, ze které by se mohly vytvořit hvězdy a galaxie, ani milenci a antimilenci, jež by si jednoho dne mohli ležet v náručí a obdivovat nádheru

hvězdného nebe. Nedělo by se nic dramatického. Historie by sestávala z prázdnoty, ve které by pomalu chladla lázeň záření a nakonec by se vesmír stal chladným a temným. Vlády by se ujala nicota.

V sedmdesátých letech minulého století však vědci pochopili, že v horkém velkém třesku se dá začít se stejným množstvím hmoty a antihmoty a vhodný kvantový proces může dát vzniknout „něčemu z ničeho“ tím, že způsobí drobnou asymetrii mezi částicemi a antičásticemi – hmota získá malinkou převahu nad antihmotou. Nedojde tedy k úplné anihilaci částic a antičástic, jejímž výsledkem by bylo čisté záření, jež by v budoucnu naplňovalo vesmír – veškeré antičástice, které jsou k dispozici, sice anihilují se stejným počtem částic, ale určité množství hmoty zůstane. A z této nadbytečné hmoty se později utvoří hvězdy a galaxie, jež dnes ve vesmíru vidíme.

Ve výsledku tedy zdánlivě malá událost v tom nejranějším vesmíru, vznik malé asymetrie mezi hmotou a antihmotou, může být považována za okamžik stvoření. Jakmile se totiž jednou asymetrie mezi hmotou a antihmotou ustaví, nic ji už nemůže zvrátit – směr budoucí historie vesmíru plného hvězd a galaxií je tak určen. Podle tohoto scénáře antičástice anihilovaly s částicemi velice brzy a zbývající nadbytečná hmota přežila až do dnešních dob. Tato zbytková hmota je odpovědná za charakter viditelného vesmíru, který pozorujeme, obýváme a máme rádi.

Asymetrie může být velice malá – stačí, aby na miliardu antičástic připadla miliarda a jedna částice. Ve skutečnosti potřebujeme přibližně právě takový poměr hmoty a antihmoty, protože v současné době připadá ve vesmíru na každý proton zhruba miliarda fotonů. Podle tohoto obrazu jsou fotony reliktního záření zbytkem procesu anihilace hmoty s antihmotou v nejranějším vesmíru krátce po počátku času.

Konečný popis procesu, který k asymetrii mezi hmotou a antihmotou vedl, zatím neznáme, protože jsme až dosud empiricky plně neprozkoumali detailní strukturu mikrofyzikálního světa na těch měřítkách, v nichž k němu mělo dojít. Zkoumala se ale řada pravděpodobných scénářů založených na našich nejlepších znalostech fyziky na těchto škálách. Tyto scénáře se sice drobně liší, jejich všeobecné charakteristiky jsou však stejné. Kvantové procesy ovládající elementární částice v primordiální tepelné lázni posouvají prázdný vesmír (nebo ekvivalentně vesmír, ve kterém je rovnováha mezi hmotou a antihmotou) nezadržitelně, i když velice jemně, ke stavu, kde převládá buď hmota, nebo antihmota.

Když může dojít k vychýlení na obě strany, stalo se to jen náhodou, že v našem vesmíru převládá právě hmota, a ne antihmota? Představme si, že klopytneme na ostrém horském hřebenu. Předem nikdo neusoudí, na kterou stranu spadneme, záleží to na tom, v jakém směru jsme klopytli, což je v podstatě náhoda. Možná je náš vesmír také takový – i když jsou fyzikální zákony pevně dány, směr, ve kterém se rovnováha mezi hmotou a antihmotou poruší, je určen nějakými náhodnými počátečními podmínkami. V našem příkladu klopytnutí na vrcholu je tomu podobně. Pevně daný gravitační zákon přesně ovládá náš další pád, jakmile jsme opustili bezpečí hřebenu, ale původní směr pádu je určen náhodným nepatrným šokbrtnutím. Výsledek pádu však bude značně rozdílný podle toho, na kterou stranu jsme se zřítily – skončíme v jedné ze dvou dolin, jež jsou od sebe velmi vzdálené.

Bez ohledu na tuto nejistotu je však pozoruhodné, že základní fyzikální zákony dovolují kvantovým procesům, aby vytrhly vesmír z beztvárnosti. Nositel Nobelovy ceny za fyziku Frank Wilczek, jeden z prvních teoretiků, kteří tuto možnost studovali, mi připomněl svůj článek o asymetrii mezi hmotou a antihmotou ve vesmíru, který

napsal v roce 1980 pro časopis *Scientific American*. Zde argumentoval velmi podobně jako já v této kapitole. Když nastínil, jak pravděpodobně v raném vesmíru vznikla asymetrie mezi hmotou a antihmotou, přidal poznámku, že to dává nový směr přemýšlení nad otázkou „Proč něco existuje, místo aby neexistovalo nic?“. Odpovědí může být, že *nic* je nestabilní.

Frank ve zmíněném článku zdůraznil, že měřený přebytek hmoty nad antihmotou se na první pohled zdá překážkou, jež nedovoluje představit si vznik vesmíru z nestability prázdného prostoru, ve kterém není nic, co by mohlo zapříčinit velký třesk. Může-li ale tato asymetrie vzniknout dynamicky až po velkém třesku, je tato překážka odstraněna. Jeho slovy:

„Představme si, že vesmír vznikl v tom nejsymetričtějším možném stavu a že v tomto stavu neexistovala žádná hmota – vesmír byl prostě vakuem. Mohl existovat ještě jiný stav, a v něm hmota existovala. Ten druhý stav měl o něco nižší symetrii, měl ale také nižší energii. Objevila se skvrna méně symetrické fáze, jež začala prudce růst. Energie, která se uvolňovala při přechodu z jednoho stavu do druhého, dala vznik částicím. Právě tento okamžik můžeme identifikovat s velkým třeskem... A tak na starou otázku „Proč něco existuje, místo aby neexistovalo nic?“ můžeme odpovědět, že ‚nic‘ je nestabilní.“

Dřív než budu pokračovat, připomenu ještě jednou podobnost mezi mou argumentací o asymetrii hmoty a antihmoty a diskusí na našem nedávném pracovním semináři o „počátku“, kde jsme zkoumali naše současné vědomosti o povaze života ve vesmíru a jeho vzniku. Tam jsem užil sice jiných slov, ale závěr, ke kterému jsem směřoval, byl obdobný: Jakým specifickým fyzikálním procesem mohly vzniknout první replikující se molekuly a metabolismus? Podobně jako došlo v sedmdesátých letech

20. století k velkému pokroku ve fyzice, poslední desetiletí bylo ve znamení neuvěřitelného pokroku v molekulární biologii. Nalezli jsme například způsoby, kterými za vhodných podmínek mohly vzniknout ribonukleové kyseliny, o nichž se už dlouho předpokládá, že stály na začátku našeho organického světa, založeného na DNA. Až donedávna se myslelo, že žádná přímá cesta k jejich vzniku nevede a že klíčovou roli musel sehrát nějaký mezistupeň.

Dnes jen pár biochemiků a molekulárních biologů pochybuje o tom, že život může přirozeně vzniknout z neživé látky, i když detaily ještě nejsou známy. Když jsme ale na semináři o této otázce diskutovali, ve vzduchu stále visela velká neznámá: Musel život, jenž na Zemi vznikl, mít *právě* tu chemickou strukturu, jakou má, nebo existuje více možností, jež se mohly uskutečnit se stejnou pravděpodobností?

Einstein svého času položil jednu základní otázku o přírodě – a přiznávám, že odpověď na ni by chtěli znát mnozí z nás, protože je opravdu zásadní. Einsteinovými slovy: „Chtěl bych vědět, jestli *Bůh* [*sic*] měl při tvoření světa nějakou volnost.“

Zdůraznil jsem doslovnost Einsteinova výroku, protože Einstein slova *Bůh* sice často užíval, jeho Bůh však nebyl bohem biblickým. Pro Einsteina byla existence řádu ve vesmíru něco tak udivujícího, že k tomuto řádu cítil silnou spirituální vazbu a inspirován Spinozou jej nazýval Bohem. Co měl Einstein na mysli v tomto případě, to jsem už dříve demonstroval na příkladech a různě formulovaných otázkách: Jsou přírodní zákony jednoznačné? Je vesmír, ve kterém žijeme, jednoznačně určen těmito zákony? Kdybychom jakkoli málo změnili jen jeden detail vesmíru, například jednu konstantu, zhroutila by se celá budova? Je biologie života jednoznačná? A konečně, jsme ve vesmíru jedineční? K této nanejvýš důležité otázce se později ještě vrátíme.

Taková diskuse nás donutí ještě zpřesnit a zobecnit pojmy „nic“ a „něco“. Zatím udělám jen mezikrok ve své argumentaci ve prospěch nutného stvoření „něčeho“.

Až dosud jsem bral jako vhodné „nic“, ze kterého se mělo zrodit „něco“, prostě prázdný prostor. Jakmile ale předpokládáme, že dojde k úspěšnému propojení kvantové teorie a obecné teorie relativity, můžeme předchozí argumentaci rozšířit a tvrdit, že spojení obou teorií vynucuje i vznik samotného prostoru.

Obecná teorie relativity je teorií gravitace, ale ve své podstatě je teorií prostoru a času. Jak jsem vysvětlil na začátku této knihy, znamená to, že byla první teorií, která nejen popisuje dynamiku objektů, tedy proč a jak se pohybují v prostoru, nýbrž určuje i to, jak se vyvíjí sám prostor.

Ať už bude úplná teorie kvantové gravitace vypadat jakkoli, pravidla kvantové teorie se budou muset aplikovat i na samotný prostor, nejen na objekty pohybující se v prostoru, jak je tomu v konvenční kvantové mechanice.

Rozšířit kvantovou mechaniku tak, aby se mohla aplikovat i na vývoj samotného prostoru, je obtížné. Vhodným nástrojem se však zdá být formalismus rozvinutý Richardem Feynmanem, který vedl k modernímu porozumění vzniku antičástic. O Feynmanově metodě jsem se už zmínil na začátku této kapitoly. Spočívá na představě, že kvantově mechanický systém při svém časovém vývoji prochází všemi možnými trajektoriemi, i těmi, které jsou v klasické fyzice zakázané.

Pro vyjádření této myšlenky Feynman rozvinul matematický formalismus, jehož pomocí dokázal vyjádřit „součet přes všechny historie“. Ve Feynmanově postupu se vezmou všechny možné trajektorie částice mezi dvěma body, nejen takové, které vyhovují klasickému pohybovému zákonu. Každé této trajektorii je podle přesného pravidla předepsaná jakási pravděpodobnostní

váha. Když se udělá celkový součet přes všechny dráhy, výsledkem je veličina určující pravděpodobnost přechodu částice z počátečního bodu do cíle.

Tuto metodu aplikoval na kvantovou mechaniku prostoročasu ve zjednodušeném případě jako první Stephen Hawking. (Už víme, že prostoročasem se míní sjednocení trojrozměrného prostoru a času – výsledný čtyřrozměrný prostor vybavený určitou strukturou je pak výborným nástrojem pro formulaci speciální teorie relativity. Obecná teorie relativity pak připisuje prostoročasu určitou složitější geometrickou strukturu, jež charakterizuje jeho „zakřivení“.) Jak se dá dokázat, výsledek nezávisí na prostorových a časových „značkách“, tedy prostoročasných souřadnicích bodů v určité vztažné soustavě, jimiž jednotlivé trajektorie procházejí. To je velkou předností Feynmanovy metody. Je to důležité, protože podle teorie relativity různí pozorovatelé připisují jednotlivým prostoročasným bodům různé souřadnice.

Závažné je to především v obecné teorii relativity, kde v označení jednotlivých prostoročasných bodů panuje velká libovůle. Různí pozorovatelé různě měří v gravitačním poli vzdálenosti a časové rozdíly mezi prostoročasnými body, kterým se říká „údálosti“. Z těchto údajů se však dají určit geometrické veličiny plně charakterizující křivost prostoročasu, jež už na zvolených souřadnicích nezávisí.

Jak už jsem mnohokrát uvedl, zatím neexistuje plně vyhovující propojení kvantové teorie s obecnou teorií relativity, a proto také neexistuje zcela jednoznačný způsob, jak definovat Feynmanovy součty přes historie. Nezbyvá tedy, než v určitých případech udělat přijatelné hypotézy, jakým způsobem postupovat, a pak se podívat, jestli výsledky dávají dobrý smysl.

Chceme-li užít Feynmanův formalismus pro studium dynamiky prostoročasu, musíme uvážit, jaké rozdílné geometrie by prostoročas mohl mít v oblastech, kde by se

kvantové efekty měly uplatnit, a ty všechny zahrnout do Feynmanova součtu přes všechny historie. To znamená představovat si prostoročasy, jež v nepatrně malých prostorových oblastech po nepatrně krátké časové intervaly mají libovolně velké zakřivení. Zmíněné oblasti jsou tak malé a časové intervaly tak krátké, že je nemůžeme experimentálně zkoumat, a tak kvantové podivnosti mají volné pole působnosti. Makroskopičtí pozorovatelé, kteří měří vlastnosti prostoru na větších vzdálenostech, si jich tedy vůbec nevšimnou.

Všimněme si ale ještě podivnější možnosti. Vzpomeňme, že v kvantové teorii elektromagnetismu se mohou částice vynořovat z prázdného prostoru a zase mizet, přičemž doba, po kterou existují, je určena Heisenbergovým principem neurčitosti. Lze tedy analogicky usoudit, že ve Feynmanově kvantovém součtu přes všechny možné prostoročasové konfigurace se mají uvážit i příspěvky od malých, možná kompaktních, prostorů, které se vynoří a zase rychle zmizí? A obecněji, co prostory, které v sobě mají „díry“ nebo vypadají jako pneumatiky? Mohou se objevovat i takové útvary?

To jsou stále otevřené otázky. Nikdo ale ještě nenašel žádný dobrý důvod, alespoň pokud vím, proč by měly být takové konfigurace z feynmanovského součtu vyloučeny. A ve fyzice se osvědčuje obecné pravidlo, podle kterého nastane vše, co fyzikální zákony nezakazují. Než se tedy najde nějaký hluboký důvod, proč nejsou výše uvedené konfigurace dovoleny, je rozumné je připustit.

Stephen Hawking důrazně formuloval, že kvantová teorie gravitace dovoluje stvoření samotného prostoru, třebaže jen na krátký okamžik, i v situaci, kdy předtím žádný prostor neexistoval. Ve své vědecké práci se sice přímo nezabýval záhadou stvoření „něčeho z ničeho“, ale kvantová gravitace k tomuto problému bezpochyby mnoho říká.

„Virtuální“ vesmíry – jmenovitě kompaktní prostory, jež mohou vzniknout a zaniknout na dobu tak krátkou, že je nelze přímo pozorovat – jsou fascinující teoretické konstrukce. Nezdá se ale, že by mohly vysvětlit, jak vzniklo něco z ničeho na dlouhou dobu, tak jako virtuální částice nemohou zaplnit jinak prázdný prostor.

Vzpomeňme si ale, že reálné elektrické pole s nenulovou intenzitou pozorovatelné na velkých vzdálenostech může vzniknout tehdy, když elektrický náboj koherentně vyzařuje mnoho virtuálních fotonů s nulovou energií. To proto, že emise virtuálních fotonů s nulovou energií nenarušuje zákon zachování energie. Protože tyto virtuální částice mají nulovou energii, Heisenbergův princip neurčitosti je nenutí, aby byly po krátkém čase znovu absorbovány a přestaly existovat. (Připomeňme si, že podle Heisenbergova principu neurčitosti je nejistota, se kterou měříme energii částice, nepřímo úměrná době, po kterou měření provádíme. To znamená, že této době je nepřímo úměrná i možná malá změna energie při emisi a absorpci virtuální částice. Virtuální částice nesoucí nulovou energii mohou existovat bez omezení a urazit libovolně dlouhou dráhu, než jsou znovu absorbovány – to poskytuje možnost interakce dlouhého dosahu mezi nabitými částicemi. Kdyby fotony měly nenulovou energii díky určité klidové hmotnosti, z Heisenbergova principu neurčitosti by plynulo, že elektrické pole musí být krátkého dosahu, protože virtuální fotony by mohly do okamžiku, kdy budou znovu absorbovány, urazit jen krátkou dráhu.)

Napadne nás, že podobně si můžeme představit určitý typ vesmíru, který by se mohl spontánně objevit a nemusel téměř okamžitě opět zmizet, protože ho k tomu nutí princip neurčitosti a zákon zachování energie. Je to kompaktní vesmír s nulovou celkovou energií.

Nic bych teď neudělal raději, než prohlásil, že je to právě ten vesmír, ve kterém žijeme – to by byla

nejjednodušší cesta, jak bych dosáhl svého proklamovaného cíle. Chci ale být poctivý a raději ukázat, co o našem vesmíru opravdu bezpečně víme, než se za každou cenu snažit vybudovat co nejpřesvědčivější argumenty pro stvoření z ničeho.

Doufám, že jsem přesvědčivě vložil, proč je průměrná newtonovská gravitační energie každého objektu v plochém vesmíru rovna nule. Skutečně je, to ale není celý příběh. Gravitační energie totiž není úplná energie každého z objektů – musíme ještě přidat jejich klidovou energii, jež odpovídá jejich klidové hmotnosti. Řekněme si to ještě jinak. Celková gravitační energie nějaké částice v klidu, která je izolována od všech ostatních, protože leží v nekonečné vzdálenosti od nich, je nulová. Tomu už rozumíme – protože je částice v klidu, je její kinetická energie nulová, a protože je nekonečně vzdálená od ostatních částic, působí na ni nulová gravitační síla, která koná při pohybu práci, takže vymizí i její potenciální energie. Jenže Einstein nás poučil, že celková energie není určena jen gravitací, ale zahrnuje i energii spojenou s hmotností částice. Množství této klidové energie určuje proslulá Einsteinova rovnice $E = mc^2$, kde c je rychlost světla ve vakuu a m je hmotnost částice v klidu.

Abychom zahrnuli účinek klidové energie, musíme přejít od Newtonovy teorie gravitace k obecné teorii relativity. Jedním ze základů této teorie je speciální teorie relativity, protože jsou v ní zahrnuty všechny její důsledky včetně rovnice $E = mc^2$. A v obecně relativistické teorii gravitace je vše rafinovanější a trochu matoucí. Pohybují-li se částice na vzdálenosti, které jsou malé ve srovnání s možným poloměrem křivosti vesmíru, a jejich rychlost je malá ve srovnání s rychlostí světla, pak se jejich obecně relativistická energie neliší od energie newtonovské. Situace se ale podstatně změní, nejsou-li tyto podmínky splněny.

Část problému spočívá v tom, že energie, která je základním pojmem všude jinde ve fyzice, není v obecné teorii relativity na vesmírných měřítkách úplně dobře definovaná. Celkovou gravitační energii nelze definovat tak, aby nezávisela na způsobu, kterým různí pozorovatelé označují prostorové a časové události, odborně řečeno na „vztažných soustavách“. V důsledku toho není energie systému jednoznačně určena. Abychom se těchto problémů zbavili, musíme pojem energie zobecnit, a kromě toho stanovit způsob, jak udělat součet celkové energie vesmíru, který se může rozprostírat do nekonečných vzdáleností.

Mezi vědci se vedou rozsáhlé diskuse, jak to zvládnout, a na toto téma byla napsána řada článků s řadou názorů, jež si mnohdy odporují.

Jedna věc je ale jistá. Existuje jeden typ vesmíru, ve kterém je celková energie dobře určena a její hodnota je rovna nule. Není to ale plochý vesmír, jehož prostorová rozlehlost je nekonečná, a proto se výpočet jeho celkové energie stává problematickým. Je to uzavřený vesmír, to znamená vesmír, kde hustota hmoty a energie je dost velká, aby se jejím účinkem vesmír dostatečně zakřivil a uzavřel se sám do sebe. Jak už jsem popsals, toto uzavření do sebe znamená, že díváte-li se dosti dlouho dopředu, uvidíte týl své hlavy.

Důvod, proč je energie uzavřeného vesmíru nulová, je poměrně jednoduchý. K tomuto výsledku nejsnadněji dojdeme na základě analogie s elektrickým nábojem, jehož celková hodnota musí být v uzavřeném vesmíru také nulová.

Od časů Michaela Faradaye chápeme elektrický náboj jako zdroj elektrického pole. (Jak jsem vyložil výše, v moderní kvantové řeči to znamená, že náboj je zdrojem emise virtuálních fotonů.) Zobrazit to můžeme tak, že z elektrického náboje radiálně vycházejí „silové čáry“, přičemž jejich počet je úměrný velikosti náboje. Čáry

můžeme opatřit šipkami, které ukazují orientaci elektrického pole. Jak vidíme na obrázku, silové čáry vystupují ven z kladných nábojů a noří se do nábojů záporných.



Představujeme si, že tyto čáry lze prodloužit do nekonečna. Čím dále jsme od náboje, tím dále jsou čáry od sebe, což naznačuje, že pole slábne se vzdáleností od náboje a v nekonečnu jde intenzita pole k nule. V uzavřeném vesmíru je však situace jiná. Je-li v nějakém bodě umístěn kladný náboj, ze kterého vycházejí silové čáry, tyto čáry se nejdříve rozbíhají od sebe skoro stejně jako v euklidovském nekonečném prostoru. Záhy se však začnou vzdalovat jedna od druhé pomaleji a v určité vzdálenosti se začnou dokonce opět k sobě přibližovat, podobně jako se přibližují jeden k druhému poledníky vycházející ze severního pólu, když překročily rovník. A podobně jako se poledníky znovu všechny sejdou v jižním pólu, i elektrické siločáry se všechny setkají v bodě protilehlém k náboji, ze kterého vycházejí. Můžeme se na to dívat tak, že pole má v tomto bodě dostatek energie, aby v něm stvořilo záporný elektrický náboj, který „pohltní“ přicházející siločáry.

Velmi podobný argument můžeme užít i v případě energie. Teď však nebudeme sledovat „tok“ siločar, nýbrž „tok“ energie v uzavřeném vesmíru. Dospějeme k závěru, že celková energie zahrnující i klidovou energii částic musí být plně kompenzována negativní gravitační energií tak, aby celková energie byla přesně rovna nule.

Je-li tedy celková energie uzavřeného vesmíru rovna nule a je-li správné užít feynmanovské sčítání přes historie i na kvantovou gravitaci, pak se takový vesmír může beztréstně spontánně objevit, protože nenese žádnou energii. Zdůrazňuji ale, že tento vesmír by byl kompletně samostatný a byl by zcela oddělen od vesmíru našeho.

Přece jen je v tom však háček. Uzavřený expandující vesmír naplněný hmotou se obecně rozepne do svého maximálního rozměru a pak se stejně rychle znovu zhroutí do singularity. Okolí singularity je *terra incognita* kvantové gravitace a dnes nedovedeme s jistotou říct, jaký bude konečný osud hroučícího se vesmíru. Charakteristická doba života nepatrného uzavřeného vesmíru bude zřejmě mikroskopická, možná řádu „Planckova času“, jenž představuje charakteristickou časovou škálu, na které by se měly projevat efekty kvantové gravitace, to znamená kolem 10^{-44} sekund.

Z tohoto dilematu však existuje nadějná cesta. Pokud konfigurace polí vyvolá v titěrném vesmíru inflační rozpínání dříve, než vesmír stačí znovu zkolabovat, nepatrný vesmír se začne exponenciálně rozpínat a rozroste se tak, že se stane téměř nerozpoznatelným od nekonečného plochého vesmíru. Přibližně po stovce inflačních zdvojnásobení bude plochému vesmíru tak blízký, že může existovat mnohem déle, než podle našich pozorování existuje vesmír kolem nás. Protože jde o uzavřený vesmír, jednou by se měl zhroutit, ale až za předlouhou dobu.

Existuje ještě další možnost, na kterou vzpomínám s lehkou nostalgií, ale i s trochou závisti. Kdysi jsem z ní načerpal důležité poučení pro svou další vědeckou práci. Když jsem nastoupil jako postdoktorand na Harvardu, hrál jsem si s možnostmi kvantování gravitačního pole, a tehdy jsem se dozvěděl o výsledcích svého dobrého přítele z magisterského univerzitního studia Iana Afflecka. Byl to

Kanaďan, který studoval na Harvardově univerzitě v době, když já jsem byl na MIT. Affleck byl vynikající student, stal se členem *Society of Fellows** pár let přede mnou. Jeho práce se týkala kvantové mechaniky elementárních částic a polí, ve které používal dnes běžnou Feynmanovu matematickou metodu, takzvanou kvantovou teorii polí. Konkrétně počítal produkci částic a antičástic v silném magnetickém poli.

Všiml jsem si, že takzvané instantony, jež vystupovaly v lanově řešení, velmi připomínají vesmíry, ve kterých probíhá inflace, jestliže se jeho metoda aplikovala na gravitaci. Jenže to vypadalo jako nadouvající se vesmíry, jež začínají z ničeho. Chystal jsem se své výsledky sepsat do článku, ale nejdříve jsem si chtěl vyjasnit, co takovému řešení fyzikálně odpovídá. Brzy jsem zjistil, že zatímco jsem nad problémem přemýšlel, jeden velice kreativní kosmolog zveřejnil článek, ve kterém popisoval právě tento způsob vzniku vesmíru z ničeho. Byl to Alex Vilenkin, o kterém jsem se už zmínil a jenž se později stal mým dobrým přítelem. Předběhl mě, ale popravdě řečeno jsem si nemohl moc stěžovat, a to ze dvou důvodů. Předně jsem v detailu nerozuměl tomu, co můj výsledek znamená, a za druhé Alex tuto myšlenku publikoval a mně k tomu tehdy chyběla kuráž. Od té doby jsem se poučil, že není nutné rozumět všem důsledkům určité myšlenky, než ji zveřejníme. Několika svým nejdůležitějším článkům jsem plně porozuměl až nějakou dobu poté, kdy vyšly v časopise.

I když Stephen Hawking a jeho spolupracovník Jim Hartle navrhli velmi rozdílné okrajové podmínky pro vesmír, který může začít z naprosto ničeho, obecná důležitost

* *Harvard Society of Fellows* sdružuje nejlepší studenty na začátku jejich další profesní kariéry. Jde o prestižní záležitost, členové jsou vybíráni zvláštní komisí. Pozn. překl.

fakta týkající se problémů počátku vesmíru jsou především tato:

1. V kvantové teorii gravitace se vesmír může, a ve skutečnosti musí, spontánně vynořit z ničeho. Takový vesmír nemusí být prázdný, může obsahovat hmotu a záření, jestliže jeho celková energie, včetně negativní energie, jež je sdružená s gravitací, je nulová.

2. Aby takový vesmír mohl existovat déle než po infinitezimální dobu, musí nastoupit nějaký mechanismus podobný inflaci. Důsledkem je, že takový dlouho žijící vesmír, tedy vesmír podobný tomu, ve kterém žijeme, se po určité době začne jevit jako plochý. To platí i o vesmíru, ve kterém žijeme.

Poučení z toho plynoucí je jasné. Kvantová gravitace nejen že dovoluje stvoření vesmíru z ničeho – zřejmě je dokonce i vynucuje. Znovu uveďme, že v tomto případě pojem „nic“ neznámá jen nepřítomnost hmoty, ale i neexistenci prostoru a času. A taková „nicota“, tedy nepřítomnost prostoru, času i čehokoli jiného, je nestabilní.

Navíc se dá očekávat, že obecné charakteristiky vesmíru, který žije po dostatečně dlouhou dobu, budou zřejmě podobné vlastnostem vesmíru, který dnes pozorujeme.

Dokazuje to, že náš vesmír opravdu povstal z ničeho? Samozřejmě že ne. Ale rozhodně jsme učinili velký krok k tomu, aby takový scénář mohl být přijatelný. Zároveň jsme odstranili některé námitky proti stvoření z ničeho, jež jsme podrobně popsali v předchozí kapitole.

Tam „nic“ znamenalo prázdnotu, ale prázdnotu již existujícího prostoru, ve kterém jsou už pevně zadány fyzikální zákony. A teď jsme odstranili i požadavek předem existujícího prostoru.

Zajímavé je, že možná není nutný ani předpoklad, že jsou nějak předem dané fyzikální zákony. To rozebereme v kapitole následující.

NOVÉ LEPŠÍ SVĚTY*

Byla to ta nejlepší doba. Byla to ta nejhorší doba.

– CHARLES DICKENS

Ústředním problémem úvah o stvoření je, že vznik měl vyžadovat nějaký zásah zvnějšku uvažovaného systému, zásah něčeho *již dříve existujícího*, který vytvoří podmínky nutné k tomu, aby systém začal existovat. Právě zde zpravidla vstupuje do hry představa Boha, jakéhosi vnějšího činitele, který existuje mimo prostor, čas i samotnou fyzikální realitu a na němž spočívá konečná zodpovědnost. Jenže takto pojatý *Bůh* mi připadá jako poměrně jednoduché sémantické řešení hluboké otázky stvoření. Příklad z trochu jiné oblasti, otázka vzniku morálky, možná dobře vysvětluje, co tím myslím. O tomto problému se mi dostalo poučení od mého přítele Stevena Pinkera.

Je morálka vnější a absolutní, nebo se vyvinula jen v kontextu naší biologie a vlivu okolí, pročež se může stát předmětem vědeckého vysvětlení? Během debaty na toto téma organizované na Arizonské státní univerzitě Pinker poukázal na následující hádanku.

* V originálu se kapitola jmenuje *Brave New Worlds* podle slavného románu z budoucnosti *Brave New World* od Aldouse Huxleyho. Huxley si název vypůjčil od Shakespearovy *Mirandy* z *Bouře*, která „brave“ užívá ve smyslu „lepší“, na rozdíl od ní ho však miní ironicky - jeho nový svět totiž vůbec nevypadá jako lepší. Román vyšel česky pod názvem *Konec civilizace* a i to by byl vhodný název kapitoly, protože, jak se dočteme, představa antropického výběru z multiverza jde tak trochu proti základním myšlenkám „fyzikální civilizace“ posledních čtyř set let. Pozn. překl.

Řada hluboce věřících lidí tvrdí, že bez Boha neexistuje jasný pojem dobra a zla. Domnívají se, že je to právě Bůh, kdo určuje, co je dobré a co je špatné. Pak se ale můžeme tázat: Co kdyby Bůh rozhodl, že vražda a znásilnění jsou morálně přijatelné? Opravdu by se tyto činy staly správnými?

Někteří by možná odpověděli kladně, ale já jsem přesvědčen, že podle většiny věřících by Bůh takové rozhodnutí nikdy neučinil. Proč ale ne? Pravděpodobně proto, že Bůh má nějaký důvod něco takového nepřipustit. Vždyť podle zdravého rozumu vražda a znásilnění nejsou morálně přijatelné. Jestliže ale i Bůh se musí odvolávat na rozum, proč ho zcela neodstranit jako zprostředkující článek?

Podobnou úvahu bychom možná rádi uplatnili i na stvoření našeho vesmíru. Všechny příklady, jež jsem zatím uvedl, ukazovaly na možnost vzniku něčeho z toho, co jsme zvyklí označovat jako „nic“, ať už je to prostor bez hmoty, nebo to dokonce zahrnuje i nepřítomnost samotného prostoru. Jak je to ale s *pravidly*, podle kterých ke vzniku něčeho dochází, tedy s fyzikálními zákony? Musí být nějak předem dané alespoň ty? A pokud ne, odkud se berou?

Naskýtají se dvě možnosti. Jednou je, že je určuje Bůh nebo nějaká božská bytost. Tato bytost žije mimo ně, není jimi vázaná a uvádí je v život na základě rozmaru či s nějakým zámyslem. Druhou alternativou je, že vznikají nějakým méně nadpřirozeným mechanismem.

Problém s představou Boha, který stanoví zákony přírody, je v tom, že vás to svádí k dotazu, kdo stanovil pravidla, jimiž se řídí sám Bůh. Tradiční odpovědí je, že jedním z pozoruhodných božských atributů je to, že je – v jazyce současné římskokatolické církve – *příčinou všech příčin*. Nebo je *první příčinou*, jak to formuloval sv. Tomáš

Akvinský, či – jazykem Aristotelovým – hybnou silou prvního hybatele.

Je zajímavé, že Aristoteles si uvědomoval problém, který vzniká s představou první příčiny, a proto tvrdil, že vesmír musí být věčný. Sám Bůh, kterého identifikuje s čistou sebestřednou ideou, jehož láska motivuje prvotního hybatele k pohybu, musí být také věčný. Bůh není příčinou pohybu v tom smyslu, že by jej stvořil, ale tím, že určuje jeho konečný cíl – i ten je podle Aristotela věčný.

Aristoteles cítil, že identifikovat první příčinu s Bohem není vůbec uspokojivé a že platonská představa první příčiny má nedostatky. Domníval se totiž, že každá příčina musí mít svého předchůdce, a to ho vedlo k představě věčného vesmíru. Jestliže prohlásíme za příčinu všech příčin Boha, který je věčný, i když náš vesmír věčný není, pak posloupnost „proč“, která vede k *reductio ad absurdum*, je-li nekonečná, skutečně nekonečná není. Jak jsem už ale zdůrazňoval, dosáhne se toho za cenu zavedení pozoruhodného všemocného jsoucna, pro které chybí jakýkoli další důkaz.

V této souvislosti chci podtrhnout další důležitý bod. Pro každý vesmír s časovým počátkem se první příčina zdá být logickou nezbytností. Na základě samotné logiky nelze zamítnout deistický pohled na přírodu. Ale i když přijmeme představu stvoření, za něž zodpovídá nějaká božská bytost, nevede to k žádné logické nezbytnosti identifikovat ji s osobním bohem velkých světových náboženství, i když ta užívají představu stvoření k odůvodnění své představy Boha. Deista, který pro odůvodnění řádu v přírodě hledá představu nějaké nadpřirozené inteligence, není nutně veden k představě biblického Boha.

Tuto otázku po tisíciletí rozebírala řada skvělých – i méně skvělých – mozků. Řada z těch, jejichž intelekt patřil do té druhé kategorie, si udělala z těchto debat zdroj obživy. Přesto je na místě se k těmto debatám vrátit,

protože dnes máme mnohem více znalostí o fyzikální realitě. Aristoteles ani sv. Tomáš Akvinský nevěděli o existenci naší galaxie, tím méně o velkém třesku či kvantové mechanice. Proto problémy, se kterými se potýkali filosofové pozdního středověku, musí být znovu rozebrány s ohledem na nové poznatky.

Uvažme například z hlediska našeho moderního obrazu kosmologie Aristotelovu představu, že neexistuje žádná první příčina, nýbrž že příčiny tvoří nekonečnou posloupnost zpět i kupředu, do nekonečna ve všech směrech. Neexistuje tedy žádný počátek, žádné stvoření, žádný konec.

Když jsem zatím popisoval, jak skoro vždy může „něco“ vzniknout z „ničeho“, soustřeďoval jsem se na vznik „něčeho“ z předem existujícího prázdného prostoru nebo na vznik prázdného prostoru ze stavu, kdy neexistoval ani prostor. Oba typy počátečních podmínek mi pomáhají, když hledám význam představy „neexistence býtí“, a jsou tedy dobrým kandidátem na „nicotu“. Přímo jsem ale nehovořil o tom, co – pokud vůbec něco – mohlo existovat před takovým stvořením. Řečeno obecněji, neuvažoval jsem o otázce první příčiny. Jednoduchou odpovědí na tuto otázku samozřejmě je, že prázdný prostor pre-existoval, že je věčný. Stejně se můžeme vyrovnat s fundamentálnější „nicotou“, ze které mohl prázdný prostor vzniknout. Jsme-li ovšem poctiví, přiznáme, že to vyvolává další otázku, na kterou samozřejmě nemusí existovat odpověď: Co, pokud vůbec něco, určilo pravidla, kterými se mechanismus stvoření řídil?

Jedno je ale jisté. Metafyzické „pravidlo“, o jehož správnosti jsou mnozí, s nimiž jsem na téma stvoření diskutoval, skálopevně přesvědčeni, totiž že „z ničeho nemůže nic vzniknout“, nemá vědecký základ. Argumentovat, že je to samozřejmé, neochvějné a nenapadnutelné, je chybné. Podobně chybně uvažoval

Darwin, když tvrdil, že původ života je mimo předmět vědy – jeho argument se zakládal na analogii s tvrzením, že ani hmotu nelze stvořit nebo zničit. Podobné výroky jen odhalují neochotu uznat, že příroda může být chytřejší než filosofové a teologové.

Řada myslitelů přesvědčených o tom, že z „ničeho“ nemůže vzniknout nic jiného než zase „nic“ současně věří, že Bůh může toto železné pravidlo nějak obejít. Ale znovu, jestliže někdo zastává názor, že opravdová „nicota“ neobsahuje ani *potencialitu* existence, tak ani Bůh nemůže konat své zázraky – má-li být příčinou vzniku existence z neexistence, musí zde být alespoň možnost existence. Tvrdit pak, že Bůh může udělat to, co příroda učinit nemůže, je totéž, jako říkat, že *nadpřirozený* potenciál existence je nějak rozdílný od přirozené možnosti existence. To se však zdá být jen účelově zvoleným sémantickým rozdílem určeným těm, kteří se už předem rozhodli (a to je případ teologů), že nadpřirozeno

(tedy Bůh) musí existovat. Proto své filosofické uvažování (zcela zbavené jakéhokoli empirického základu) směřují tak, aby vyloučili vše, kromě existence Boží.

Často se pak tvrdí, že Bůh, který je řešením problému, musí existovat vně vesmíru a je buď mimo čas, nebo je věčný – toto už jsem zdůraznil vícekrát.

Naše moderní porozumění vesmíru nabízí jiné přijatelné řešení, které je více fyzikální, i když nese určité rysy vnějšího Stvořitele. Jak uvidíme, je také logicky konzistentnější.

Mám na mysli multiverzum – obrovský, možná nekonečně početný soubor různých vesmírů, navzájem od sebe kauzálně oddělených. V jednotlivých vesmírech mohou být základní aspekty fyzikální reality rozdílné, což otvírá obrovské nové možnosti pro pochopení naší existence.

Už jsem řekl, že jedním z nejodpudivějších důsledků této představy je, že na určité základní úrovni se fyzika redukuje na vědu o životním prostředí. Ale možná je obraz multiverza správný. Odpuzuje mne, protože jsem vyrostl v přesvědčení, že úkolem vědy je vysvětlit, proč vesmír je takový, jaký je, a proč se tak vyvinul. Jsou-li ale přírodní zákony jen jakousi náhodou korelovanou s naší existencí, tak se původní cíl vytratil. Jestliže se ovšem myšlenka „krajiny možností“ ukáže jako správná, budu se muset svých předsudků vzdát. Podle této představy nejsou zákony základních přírodních sil a hodnoty přírodních konstant o nic fundamentálnější než například velikost vzdálenosti Země od Slunce. Žijeme na Zemi a ne například na Marsu ne proto, že na průměru zemské dráhy kolem Slunce je něco fundamentálního, nýbrž proto, že kdyby byla Země v jiné vzdálenosti, nemohl by se na ní vyvinout život, jak jej známe.

Tyto antropické argumenty jsou ovšem ve své podstatě těžko uchopitelné. Na jejich základě se nedají dělat žádné předpovědi, jestliže neznáme pravděpodobnost výskytu jednotlivých typů vesmíru s různými konstantami a základními silami. Potřebovali bychom znát i možné hodnoty, kterých mohou určující konstanty nabývat, a potrebovali bychom vědět, nakolik jsme v našem vesmíru „typičtí“ my sami. Pokud my nejsme typickou formou života, antropická selekce může probíhat podle jiných kritérií, než nám připadají důležitá.

Multiverzum může tvořit krajina vesmírů existujících v nadbytku extradimenzí nebo, jak to předpokládá teorie věčné inflace, replikující se sada vesmírů v trojrozměrném prostoru. V obou případech se podstatně mění jeviště, na němž by se měl odehrát zrod našeho vesmíru, čímž se mění i podmínky, za kterých by k tomu mělo dojít.

Především ztratí na významu otázka, co určilo zákony, podle kterých se vyvíjel náš vesmír. Jsou-li samotné

přírodní zákony náhodné a jejich výběr je jen statistickou záležitostí, náš vesmír nepotřebuje mít nějakou předepsanou „příčinu“. Podle obecného pravidla, že dojde ke všemu, co není zakázáno, máme za těchto předpokladů jistotu, že občas musí vzniknout takový vesmír, jaký pozorujeme, ve kterém platí zákony, jež zjišťujeme. Nepotřebujeme žádný mechanismus ani žádné jsoucno určující přírodní zákony, které pozorujeme. Ty mohou být v principu téměř jakékoli. Protože zatím nemáme základní teorii, jež by určovala detaily krajiny multiverza, nemůžeme říci, co vše v něm je a co není dovoleno. (Abychom ovšem byli poctiví, přiznejme, že k tomu, abychom mohli zvažovat různé možnosti, musíme předpokládat nějaká obecná pravidla, například platnost základních principů kvantové mechaniky. Nenapadá mě, jak bychom se tomu mohli vyhnout, ani nevím o žádné úspěšné práci v tomto směru.)

Možná žádná skutečně fundamentální teorie neexistuje. Přiznávám, že jsem se stal fyzikem právě proto, že jsem v existenci takové teorie věřil a doufal jsem, že se mi podaří nějak přispět k jejímu odhalení. Ale jak jsem si už stěžoval, tyto naděje se mohou ukázat lichými. Útěchou je mi výrok Richarda Feynmana, ze kterého jsem už citoval, ale zde ho chci uvést v plné šíři:

„Lidé se mě ptávají: ‚Hledáte konečné zákony fyziky?‘ Ne, nehledám. Jen se snažím dozvědět se o světě něco více, a ukáže-li se, že existuje nějaký jednoduchý základní zákon, tím lépe. Bylo by krásné ho objevit. Ukáže-li se, že příroda je jako cibule s miliony slupek, takže nás už přestává bavit únavně bez konce odlupovat nové a nové, tak také dobře... Mým zájmem ve vědě je dovidat se více o světě, a čím více toho zjistím, tím lépe. Prostě mě baví hledat.“

Předchozí argumentaci lze rozvinout dále v jiném směru, což má své důsledky pro hlavní téma této knížky. Ve všech typech multiverza, o kterých jsme mluvili, platí, že může existovat nespočetně oblastí nekonečně velkých i nekonečně malých, ve kterých není nic, tedy je „nic“, a mohou existovat oblasti, ve kterých je „něco“. Pak odpověď na otázku „Proč něco existuje, místo aby neexistovalo nic?“ je téměř banální: tam, kde nic není, nemůžeme být ani my.

Chápu, že je trochu frustrující spokojit se s tak triviální odpovědí na otázku, která byla po staletí pokládána za velmi hlubokou. Věda nás ale naučila, že hranice mezi hlubokým a triviálním leží často jinde, než ji očekáváme.

Vesmír je mnohem divnějším a mnohem bohatším – mnohem podivuhodnějším podivným –, než si naše ubohá lidská fantazie dokáže představit. Moderní kosmologie nás dovedla k myšlenkám, jež by před sto lety nemohly být ani formulovány. Velké objevy dvacátého a jednadvacátého století změnily svět svými technickými aplikacemi. Způsobily však i revoluci v našem porozumění světu, který existuje kolem nás, i světům, které možná máme těsně před nosem. Získali jsme představu o realitě, která zůstává skrytá, dokud nenajdeme odvahu ji hledat.

To je důvod, proč filosofie či teologie nejsou nakonec schopné zabývat se skutečně fundamentálními otázkami naší existence, nad kterými nám zůstává rozum stát. Dokud neotevřeme oči co nejvíce a nebudeme pozorně sledovat pokyny přírody, nepronikneme dostatečně do hloubky.

Proč tedy vůbec něco existuje? Nakonec se zdá, že otázka nemusí být hlubší, než ptáme-li se, proč jsou některé květiny červené a některé modré. „Něco“ může vždy vzniknout z „ničeho“. To můžeme předpokládat nezávisle na povaze reality, která je za tím. Nebo možná „něco“ nemusí být něco zvláštního, dokonce ani něco moc běžného v multiverzu. Na každý pád není zase tak důležité se

zamýšlet právě nad touto otázkou. Daleko významnější je účastnit se vzrušující cesty za poznáním, jak se vyvinul a vyvíjí vesmír, ve kterém žijeme, a jak vypadají procesy, které vládou naší existenci. Kvůli tomu máme vědu. Takové porozumění můžeme doplnit reflexí a nazvat to filosofií. Ale skutečně užitečné pochopení našeho místa v kosmu přinese jen to, že pečlivě prozkoumáme každé zákoutí a každou škvíru v nám dostupném vesmíru.

Na závěr této kapitoly mi připadá vhodné dotknout se ještě jednoho aspektu otázky existence, o které jsem dosud nehovořil. V otázce „Proč něco existuje, místo aby neexistovalo nic?“ je implicitně obsaženo solipsistické očekávání, že „něco“ bude věčně přetrvávat. Jaksi se cítíme vrcholem tvoření. Z toho, co víme o vesmíru, však spíše vyplývá, že v budoucnu, možná nekonečně vzdáleném budoucnu, se opět ujme vlády nicota.

Žijeme-li ve vesmíru, kde dominuje energie ničeho, tedy energie vakua, jak jsme o tom hovořili, budoucnost je spíše pochmurná. Nebe se časem stane velmi studeným, temným a prázdným. Situace je ale ještě horší. Vesmír, ve kterém převládá energie prázdného prostoru, je ten nejhorší z vesmírů pro budoucnost života. V takovém vesmíru musí vyhynout každá civilizace, protože vyhladoví katastrofálním nedostatkem energie. Po nepředstavitelně dlouhé době může nějaká kvantová fluktuace nebo termální excitace dát vznik lokální oblasti, ve které život opět vznikne a bude se úspěšně rozvíjet. Ale bude to zase jen přechodná záležitost. Budoucnost bude obecně patřit vesmíru, ve kterém nebude nikdo, kdo by mohl obdivovat jeho tajemnost.

Jinak řečeno, jestliže hmota, z níž jsme utvořeni, vznikla na počátku času nějakým kvantovým procesem, odsuzuje ji to zároveň k opětnému zániku. Fyzika je dvojsměrná ulice, počátek a konec jsou navzájem spjatý. Hovořili jsme o procesech, které proběhly v raném

vesmíru. Podobně v daleké budoucnosti se protony a neutrony rozpadnou, hmota zmizí a vesmír se bude čím dál více blížit stavu maximální jednoduchosti s tou nejvyšší symetrií.

To je sice stav matematicky krásný ale chybí v něm veškerá substance. V trochu jiném kontextu říká Herakleitos z Efesu: „Homér chyboval, když napsal: ‚Kéž skončí ten zápas mezi bohy a lidmi!‘ Neuvědomoval si, že se modlí za zničení vesmíru, protože kdyby jeho modlitba byla vyslyšena, vše ze světa by zmizelo.“ Jinak tuto myšlenku vyjádřil Christopher Hitchens: „Nirvána je nicota.“

Možná je nevyhnutelný ještě extrémnější sestup do nicoty. Někteří strunoví teoretici tvrdí – na základě složité matematické teorie –, že vesmír, jako je náš, s kladnou energií prázdného prostoru, *nemůže* být stabilní. Nakonec se musí rozpadnout do stavu, ve kterém je energie prázdného prostoru negativní (ta působí přitažlivě, ne odpudivě). Náš vesmír se pak zhroutlí do bodu a vrátí se do kvantové pěny, ze které snad započala naše existence. Je-li jejich argument správný pak náš vesmír jednou zmizí tak náhle, jako pravděpodobně započal.

V tom případě k otázce „Proč existuje něco, místo aby neexistovalo nic?“ můžeme podotknout: „Není to nadlouho!“

Doslov

Brát zažitě zkušenosti jako zdroj pravdy je hlubokým principem a hlavní hybnou silou naší civilizace od renesance.

– JACOB BRONOWSKI

Tuto knihu jsem začal jiným citátem Jacoba Bronowského:

„Ať je to sen, nebo noční můra, naši zkušenost musíme prožívat takovou, jaká je. Žijeme ve světě, který je prostoupený skrz naskrz vědou, a ta je jak úplná, tak reálná. Nemůžeme jej proměnit ve hru jednoduše jen tím, že si zvolíme klub, kterému budeme fandit.“

Také jsem argumentoval, že co je pro někoho pěkným snem, pro jiného může být noční můrou. Někomu se může zdát, že nemá-li vesmír nějaký účel a nikdo ho neřídí, bere to životu veškerý smysl. Pro jiné, ke kterým patřím i já, je takový obraz vesmíru naopak povzbudivý. Činí naši existenci ještě více ohromující a motivuje nás k tomu, abychom čerpali nějaký smysl jen z našich vlastních činů. Abychom vytěžili co nejvíce z našeho pobytu na slunci prostě proto, že jsme zde, obdařeni vědomím, a že se nám dostalo k tomu příležitosti. Bronowski ovšem zdůrazňuje, že nezáleží na našich pocitech a přáních, jaký by vesmír měl být. Cokoli se stalo, to se stalo, a stalo se to v kosmických dimenzích. A co se na této škále stane, nebude ovlivněno tím, zda se nám to líbí, nebo ne. Nemůžeme ovlivnit minulost a je nepravděpodobné, že bychom mohli ovlivnit kosmickou budoucnost.

Co však dělat můžeme, je snažit se porozumět okolnostem naší existence. V této knize jsem popsal jednu z nejpozoruhodnějších cest za poznáním, kterou kdy lidstvo podniklo za celou historii svého vývoje. Je to epická

výprava za porozuměním vesmíru na měřítkách, která ještě před sto lety byla nedostupná. Její uskutečnění bylo mezním nasazením lidského ducha. Řada vědců věnovala celý život výzkumům, u kterých hrozilo riziko, že nikam nepovedou. Pátrání vyžadovalo kombinovat tvořivost s úmornou prací nad složitými soustavami rovnic a potýkání se s nekonečnou řadou překážek stavících se do cesty komplikovaným experimentům.

Vždy mě poutala pověst o Sisyfovi. Vědecká práce mi připomíná jeho nekonečné úsilí vyvalit na vrchol hory kámen, který se vždy znovu skutálí do údolí, když už Sisyfos skoro dosáhne cíle. Camus ve svém filosofickém eseji vyslovil názor, že Sisyfos je vlastně šťastný. Tak to musíme brát i my – naše cesta za poznáním nese v sobě odměnu, ať už je výsledek jakýkoli.

Fenomenální pokrok ve vědě, který jsme udělali za poslední století, nás dovedl do značných výšin. Vědci umí úspěšně řešit ty nejhlubší otázky, které si lidstvo kladlo od okamžiku, kdy udělalo první nesmělé krůčky k pochopení toho, kdo jsme a z čeho pocházíme.

V této knize jsem se snažil rozebrat smysl řady otázek, jež vznikly v průběhu naší snahy porozumět vesmíru.

Otázka „Proč něco existuje, místo aby neexistovalo nic?“ získala přesnější smysl, než mívala dříve. V kontextu dnešních znalostí se rozplývá ostrý rozdíl mezi „něčím“ a „ničím“, když víme, že přechod mezi oběma stavy nejen může nastávat, nýbrž dokonce snad i nutně nastává.

Význam otázky samé ustoupil v našem úsilí o poznání do pozadí. Naším cílem se stalo především porozumět procesům, jež vládou přírodě, tak abychom uměli předpovídat vývoj světa a tam, kde je to možné, ovlivňovat naši budoucnost. Objevili jsme, že žijeme ve vesmíru, kde prázdný prostor, který byl dříve pokládán za nicotu, má novou dynamiku, jež ovládá dnešní vývoj vesmíru. Zjistili jsme, že podle všech náznaků se vesmír mohl zrodit a

pravděpodobně se i zrodil z hlubší „nicoty“, která znamená neexistenci i samotného prostoru, a že se pravděpodobně do ní zase znovu vrátí. A učiní to procesem, který je pochopitelný a navíc nevyžaduje žádný vnější zásah či řízení. Jak to vyjádřil fyzik Steven Weinberg, věda sice neznemožňuje věřit v Boha, ale umožňuje v něj nevěřit. Bez vědy je všechno zázrak. S vědou je zde možnost, že nic zázračné není. Náboženská víra se tak stává méně a méně nutnou a také méně a méně významnou.

Je volbou každého z nás, jestli přijmeme přesvědčení o božském stvoření. Myslím, že debaty na toto téma v blízké budoucnosti neutichnou. Ale jak jsem zdůrazňoval, chceme-li být intelektuálně poctiví, musíme udělat výběr na základě informací, ne na základě zjevení.

To byl účel této knihy – poskytnout informačně bohatý obraz vesmíru a ukázat, jak dalece jsme mu porozuměli. Popsali jsme i teoretické spekulace, jež ženou fyziku kupředu, a naznačili i způsob, jakým se vědci snaží oddělit zrno od plev ve svých pozorováních a teoriích.

Jasně jsem formuloval i názor, kterému dávám přednost já a jenž mne naplňuje uspokojením: náš vesmír se zrodil z ničeho. To se mi zdá dnes jako ta intelektuálně nejpritažlivější alternativa. Vy si ovšem můžete udělat vlastní závěr.

Diskusi zakončím tím, že se vrátím k problému, jenž mi připadá daleko více fascinující než vznik „něčeho z ničeho“. Mám na mysli Einsteinovu otázku, zda Bůh měl nějakou volnost při tvoření vesmíru, která dává základní motivaci pro téměř veškerý výzkum fundamentální struktury hmoty, prostoru a času. To byly problémy, jež mě zaměstnávaly po většinu mé profesionální kariéry.

Myslel jsem si, že se na tuto otázku dá jednoznačně odpovědět, ale během psaní této knihy jsem názor změnil. Kdyby existovala jen jediná teorie, ze které by plynula jednoznačná množina přírodních zákonů, jež by popisovaly

vznik vesmíru a jeho vývoj – a najít takovou teorii bylo cílem fyziků od Newtona či Galilea –, odpověď by samozřejmě zněla: „Ne, Bůh volnost neměl, svět musí vypadat tak, jak vypadá a jak vypadal v minulosti.“

Co ale když náš vesmír jednoznačný není, když je jen jednou z možností v nekonečně bohatém multiverzu vesmírů? Bude pak odpověď na Einsteinovu otázku „Ano, pro existenci je mnoho možných voleb“?

Nejsem si jistý. Předpokládejme, že existuje nekonečně mnoho kombinací zákonů a řada možných částic, substancí a sil, a multiverzum se proto skládá z nepřehledného množství rozličných vesmírů. Přesto však může platit, že jen určitá velmi omezená kombinace vyústí v takový vesmír, ve kterém žijeme, nebo jemu velmi podobný, jenž bude podporovat vývoj bytostí, jež mohou klást takové otázky. Pak by odpověď na Einsteinovu otázku zůstala negativní. Jestliže Bůh či příroda měli k dispozici multiverzum, byli při tvoření vesmíru, ve kterém Einstein mohl položit svou otázku, stejně omezeni, jako kdyby existovala jen jedna bezrozporná fyzikální realita.

Pocituji zvláštní uspokojení nad tím, že ani v jednom z uvedených scénářů nezbývá všemohoucímu Bohu mnoho volnosti při tvoření vesmíru, jako je ten náš. Samozřejmě proto, že to je další ukazatel ve směru, že Bůh je zbytečný – nebo v nejlepším případě nadbytečný.

Doslov Richarda Dawkinse*

Nic tak nerozpíná mysl jako rozpínající se vesmír. Hudba sfér je dětská písnička, zvonění v kontrapunktu ke galaktické symfonii. Nebo jiná metafora – mlhy, kterým říkáme historie starověku, lehce odvane stálá eroze větru geologických věků. Věk samotného vesmíru je, jak nás Lawrence Krauss ujišťuje – s přesností na dvě desetinná místa 13,72 miliardy let, ale i toto úctyhodné stáří je jen nepatrný časový úsek ve srovnání s tím, co má ještě přijít.

Kraussova vize kosmologie vzdálené budoucnosti je však paradoxní a děsivá. Přirozeně si myslíme, že budou-li na světě v roce 2 biliony našeho letopočtu nějakí kosmologové, jejich obraz vesmíru bude bohatší, než je ten náš. Není to ale pravda, což je jedno z mnoha otřesných poučení, které jsem si odnesl z četby této knihy. Éra příznivá kosmologům začala před několika miliardami let a za pár miliard let zase skončí. Už za dva biliony let se vesmír rozepne natolik, že všechny galaxie kromě té, ve které budou žít nějakí kosmologové (a je jedno, která galaxie to bude), utečou za einsteinovský horizont tak absolutně a tak dokonale, že je naši kosmologové nejen neuvidí, ale nebudou je moci odhalit ani pomocí nepřímých stop. Nemusí ani existovat. Všechny stopy po velkém třesku s velkou pravděpodobností navždy zmizí bez možnosti obnovy. Kosmologové budoucnosti budou na rozdíl od nás od minulosti vesmíru odříznuti a nebudou ani vědět, jaké je jejich místo v okolním vesmíru.

My víme, že jsme obklopeni asi 100 miliardami galaxií. Víme i o velkém třesku, protože důkazy jsou všude kolem

* Současný britský evoluční biolog, autor řady populárních knih, z nichž několik vyšlo česky, například *Slepý hodinář*, *Sobecký gen* a další. Pozn. překl.

nás: červený posuv spektra záření ze vzdálených galaxií svědčí o Hubbleově rozpínání, obraz současného vesmíru můžeme extrapolovat zpět v čase a výborně se nám to daří. Privilegiu vidět tyto důkazy se těšíme proto, že se díváme na vesmír, který je stále ještě v mladistvém věku, kdy světlo ještě může putovat od galaxie ke galaxii. Krauss a jeho kolegové to vtipně vyjadřují: „Žijeme ve speciální době... v jediné době, kdy pozorování dovolují prokázat, že v takové speciální době žijeme!“ Kosmologové časů budoucích na tom budou podobně jako astronomové z počátku 20. století: budou vědět jen o jejich vlastní galaxii, v níž jsou uzavřeni a kterou na základě všeho, co vědí, mají tendenci identifikovat s celým vesmírem.

Plochý vesmír se nakonec nevyhnutelně změní v nicotu, jež bude zrcadlovým obrazem jeho počátku. Nejen že v něm nebudou žádní kosmologové – i kdyby se v něm nějakým zázrakem objevili, neměli by se na co dívat. Nebylo by tam nic, žádné atomy, prostě vůbec nic.

Zdá-li se vám to pochmurné a neradostné, máte prostě smůlu. Realita není povinna dávat nám uspokojení. Když Margareta Fullerová řekla: „Vesmír beru!“ což podle mého názoru bylo jakési vyjádření spokojenosti, Thomas Carlyle* poznamenal s nádechem kritičnosti: „Och, to by opravdu měla!“ Osobně si myslím, že věčný odchod ze života do nekonečně ploché nicoty má v sobě majestátnost, které stojí za to čelit přinejmenším s odvahou.

Jestliže se ale něco může zploštit do nicoty, nemůže naopak nic být aktivní a dát zrod něčemu? Neboli proč, abychom citovali ořepanou teologickou frázi, existuje něco, místo aby neexistovalo nic?

Zde se dostáváme asi k tomu nejpozoruhodnějšímu poučení, které si odneseme z knihy Lawrence Krausse. Fyzika nám popisuje nejen to, jak něco může vzniknout z

* Margareta Fullerová (1810-1850) - americká žurnalistka a kritička, Thomas Carlyle (1795-1881) - skotský filosof a spisovatel. Pozn. překl.

ničeho, ale jde ještě dále. Ukazuje, že nicota je nestabilní – je stále připravená dát něčemu vzniknout. Jestliže Kraussovi dobře rozumím, děje se to neustále. Princip vypadá jako fyzikova verze pravidla, že dvě chyby po sobě se vyruší. Částice a antičástice se objevují a zase mizí jako subatomární světlušky, navzájem se anihilují a pak obráceným procesem zase vystupují z nicoty.

Spontánní geneze něčeho z ničeho nastala grandiózním způsobem na počátku prostoru a času v singularitě zvané velký třesk. Následovalo období zvané inflační, kdy se vše ve vesmíru během zlomku sekundy nepředstavitelně rozepnulo, každý rozměr narostl o dvacet osm řádů – zkuste si představit, že každou vzdálenost vynásobíte číslem, v němž za jedničkou následuje dvacet osm nul!

To vypadá opravdu bizarně a bláznivě! Ti vědci! Připomínají středověké scholastiky, kteří počítali anděly v špendlíkové hlavičce a diskutovali o „tajemství“ transsubstanciace.

Ne, neberte to tak extrémně. Je toho spousta, co věda stále neví, a vědci na tom pracují s plným nasazením. Ale některé věci, které dnes známe, neznáme jen přibližně. Známe je naopak s velikou přesností. Neříkáme, že vesmír je mezi několika miliony a několika miliardami let starý. Už jsem se zmínil, že čtyři první číslice ve věku vesmíru jsou určeny s jistotou. To je jistě fascinující, ale není to nic proti přesnosti některých předpovědí, kterými nás Lawrence Krauss a jeho kolegové dokážou ohromit. Kraussův hrdina Richard Feynman uvádí příklad, že některé předpovědi kvantové teorie jsou ověřeny s přesností, která odpovídá určení vzdálenosti mezi určitým bodem v New Yorku a v Los Angeles s nepřesností odpovídající tloušťce lidského vlasu. Přitom kvantová mechanika je založená opět na předpokladech, jež se zdají být bizarnější než cokoli, o čem snili ti nejjobskurnější teologové.

Může se zdát, že fyzikové mají podobné starosti jako teologové počítající anděly na špendlíkové hlavičce – že i fyzikové mají své anděly a své vlastní špendlíkové hlavičky: kvanta a kvarky, „půvab“, „podivnost“ a „spin“ elementárních částic. Rozdíl je v tom, že své anděly opravdu počítat umějí – dovedou přesně určit každého jednotlivého anděla z deseti miliard a nespлетou se ani o jednoho. Fyzika je snad tajemná a nepochopitelná, dokonce tajemnější a nepochopitelnější než všechny teologie, ale funguje. Dává výsledky. Řekne nám, jak letět na Saturn a jak se po cestě nechat katapultovat Venuší a Jupiterem. A i když nerozumíme kvantové teorii (třeba já jí opravdu nerozumím), musí nás okouzlit, že předpovídá reálný svět na deset desetinných míst a nemůže být tedy zcela špatně. Teologie nejenže neposkytuje výsledky přesné na deset desetinných míst, nýbrž chybí jí i jakákoli souvislost s reálným světem. Jak prohlásil Thomas Jefferson, když zakládal Virginskou univerzitu: „V naší instituci není pro profesuru teologie místo.“

Pátráte-li mezi věřícími, proč věří v Boha, můžete narazit na některého z mála „sofistikovaných“ teologů, kteří označí Boha za „základ veškerého bytí“, pokládají ho za „metaforu mezilidského přátelství“ nebo se nějak podobně vyhnou běžnému názoru. Většina věřících však upřímně použije napadnutelných argumentů o prvotním plánu či první příčině. Filosofové kalibru Davida Humea se ani nepotřebovali zdvihnout z křesla, aby ukázali slabost těchto důkazů – prostě se zeptali, jak vznikl Bůh. Charles Darwin se musel vydat na cestu na lodi *Beagle*, aby objevil jednoduchou alternativu k představě velkého plánu, která nutně nevyvolává další otázky. Odkryl ji samozřejmě na poli biologie, která bývala nejoblíbenějším lovištěm přírodních teologů, než je odtud Charles Darwin vypudil. Neudělal to rád, protože to byl neobyčejně jemný a laskavý člověk. Když už biologie nebyla tím, čím bývala, lidé

argumentující velkým plánem a první příčinou utekli na exotické pastviny fyziky a původu vesmíru – a tam teď narazili na Lawrence Krausse.

Že fyzikální zákony a hodnoty přírodních konstant vypadají jako jemně vyladěný mechanismus, navržený tak, abychom mohli vzniknout? Domníváte se, že nějaká bytost musela být příčinou, díky které se vše rozběhlo? Čtěte Victora Stengera, chcete-li pochopit, co je na podobných argumentech chybné. Čtěte i Stevena Weinberga, Petera Atkinse, Martina Reese a Stephena Hawkinga. A teď máme před sebou knihu Lawrence Krausse, jež je podle mého názoru konečným knock-outovým úderem, jenž přebíjí i poslední trumf teologů „Proč něco existuje, místo toho, aby neexistovalo nic?“. Při čtení knihy jsme viděli, jak se nám síla tohoto trumfu ztrácela před očima. Bylo-li Darwinovo dílo *O původu druhů* tím nejtěžším úderem supernaturalismu, Kraussův *Vesmír z ničeho* je jeho ekvivalentem v kosmologii. Název přesně odpovídá tomu, o čem kniha je. A to, co říká, je ohromující.

Lawrence M. Krauss

Vesmír z ničeho

Proč existuje něco, místo aby neexistovalo nic

Z anglického originálu *A Universe of Nothing. Why There Is Something*

Rather than Nothing, vydaného nakladatelstvím Free Press,
A Division of Simon & Schuster v Londýně v roce 2012,

přeložil Jiří Langer

Doslov napsal Richard Dawkins

Obálku s použitím fotografie Nancy Dahl-Tacconi

zhotovila Gabriela Janovská

Redigoval Ivan Boháček

Korekturu provedl Marek Chvátal

Odpovědná redaktorka Jitka Zykánová

Technický redaktor Jiří Staněk

Počet stran 224

Vydala Euromedia Group, k. s. – Knižní klub v edici Universum

Nádražní 32,150 00 Praha 5

v roce 2013 jako svou 6982. publikaci

Sazba Cadis, Praha

Tisk TBB, a. s., Banská Bystrica

Vydání první

Naše knihy na trh dodává Euromedia – knižní distribuce

Nádražní 32,150 00 Praha 5

Zelená linka: 800 103 203

Tel.: 296 536111

Fax: 296 536 246

objednavky-vo@euromedia.cz

Knihy lze zakoupit v internetovém knihkupectví www.bux.cz

O Vesmíru z ničeho napsali:

„Krauss obratně proplouvá hlubokými intelektuálními vodami a na této plavbě nás seznamuje se současnými myšlenkami o povaze vesmíru a našem místě v něm. Je to fascinující čtení.“

MARIO LIVIO, astrofyzik, autor knihy *Zlatý řez*

„V posledních letech otřásla našimi představami o vesmíru řada ohromujících objevů i teorií a Lawrence Krauss se na tom aktivně spolupodílel. S energií a nápaditostí sobě vlastní nám předkládá pozoruhodný příběh pozoruhodně srozumitelnou formou. Jeho vyvrcholením je odvážná vědecká odpověď na velikou otázku existence: Proč existuje něco, místo aby neexistovalo nic?“

FRANK WILCZEK, nositel Nobelovy ceny za fyziku, autor knihy *Lehkost bytí aneb bytí jako světlo*

„V této jasně a svěže napsané knize předkládá Lawrence Krauss přesvědčivé důkazy, že náš složitý vesmír se vyvinul z horkého hustého stavu, a ukazuje, jak pokrok v kosmologii podnítl teoretiky k fascinujícím spekulacím o původu všeho, co existuje.“

MARTIN REES, astrofyzik, autor knihy *Náš neobyčejný vesmír*

„S charakteristickým vtípem a elegancí podává Lawrence Krauss podivuhodně jasný výklad toho, jak věda zachází s jednou z největších otázek všech dob: Jak mohl vesmír vzniknout z ničeho? Je to otázka, kterou přebírají teologie i filosofie. Krauss však krásně ukazuje, že věda na ni umí dát skutečné odpovědi. To je triumf fyziky nad metafyzikou, rozumu a zkoumání nad mlčením a mýty. Krauss nám to vysvětluje brilantním způsobem.“

A. C. GRAYLING, filosof, autor knihy *Obklopení mrtvými městy*

ISBN 978-80-242-4145-6



9 788024 241456

www.euromedia.cz