

STEPHEN HAWKING
ČERNÉ DÍRY A BUDOUCNOST
VESMÍRU

STEPHEN HAWKING

Černé díry a budoucnost vesmíru

(Black Holes and Baby Universes and Other Essays)

MLADÁ FRONTA, EDICE KOLUMBUS

Copyright 1993 by Stephen Hawking

Translation Jiří Langer, 1995

Epilogue Jiří Langer, 1995

ISBN 80-204-0515-1

Obsah

Na úvod

1.Dětství

2.Oxford a Cambridge

3.Můj život s ALS

4.Veřejnost a věda

5.Stručná historie Stručné historie

6.Můj pohled na svět

7.Konec teoretické fyziky na dohled?

8.Einsteinův sen

9.Počátek vesmíru

10.Kvantová mechanika černých děr

11.Černé díry a zrod vesmírů

12.Je vše determinováno?

13.Budoucnost vesmíru

14.Podmínka "žádná hranice" a směr času

15.Desky pro opuštěný ostrov: rozhovor

Slovo na závěr aneb Vesmírný optimismus Stephena Hawkinga

Rejstřík

Z anglického originálu Black Holes and Baby Universes and Other Essays vydaného nakladatelstvím Bantam Books v New Yorku roku 1993 přeložil a doslov napsal Jiří Langer.

Na přebalu a přední předsádce reprodukce děl Zdeňka Hajného. Přebal a vazbu navrhl a graficky upravil Miloš Jirsa. Vydala Mladá fronta jako svou 5590. publikaci. Edice Kolumbus, svazek 131. Edici řídí Božena Pravdová. Odpovědná redaktorka Věra Amelová. Výtvarný redaktor Pavel Sivko. Technický redaktor Miloš Jirsa. Vytiskla Těšínská tiskárna, Štefánikova 2, Český Těšín. 184 stran. Vydání 1. Praha 1995. 03/5

Knihy Mladé fronty si můžete objednat na adrese:

Mladá fronta - odbyt knih

Chlumova 10, Praha 3

Na úvod

Tato knížka obsahuje sbírku článků a přednášek z let 1976 až 1992. Zahrnuje autobiografické poznámky, přednášky o filozofii vědy i články, v nichž se pokouším podělit se se čtenáři o to vzrušení, které ve mně probouzí věda a vesmír. Soubor zakončuje přepis mého vystoupení v rozhlasovém pořadu Desky pro opuštěný ostrov. Hosté tohoto pořadu, který se za léta své existence stal jakousi britskou celonárodní institucí, si mají představit, že byli vyvrženi na opuštěný ostrov, a zvolit osm gramofonových desek, jimiž by si chtěli krátit čas, než budou zachráněni. Já jsem naštěstí nemusel na návrat do civilizace čekat příliš dlouho. Protože jednotlivé části vznikaly v průběhu šestnácti let, odrážejí stav mých vědomostí v příslušné době, které - jak doufám - se postupně zvětšovaly. Proto vždy uvádím datum a příležitost, ke které články či přednášky vznikly. Jelikož vznikaly samostatně, leccos se v nich opakuje. Částečně jsem sice pro toto vydání některá zdvojení zredukoval, něco však přece jen zůstalo.

Značná část esejů byla původně určena k ústnímu přednesení. Už déle byl můj hlas poškozen, a proto jsem musel proslovovat přednášky a projevy na seminářích

prostřednictvím tlumočnicka, jímž býval obvykle některý z mých studentů, který mi rozuměl či který četl mnou připravený text. V roce 1985 jsem se však podrobil operaci a ta mě zcela zbavila řeči. Nějakou dobu jsem tak zůstal bez veškeré možnosti komunikace. Potom jsem však dostal neobyčejně dobrý hlasový syntetizátor spojený s počítačovým systémem. Ke svému údivu jsem zjistil, že mohu být docela úspěšným veřejným řečníkem před velkým publikem. Rád posluchačstvu vysvětluji vědecké myšlenky a odpovídám na otázky. Víím, že se mám ještě hodně co učit, abych to opravdu uměl, ale doufám, že se vylepšuji. Nakolik je to pravda, můžete posoudit sami při čtení následujících stránek.

Nesouhlasím s představou, že vesmír je tajemný, že o něm můžeme získat jen jakousi intuitivní představu, nikdy však nemůžeme plně postihnout jeho vlastnosti a porozumět mu. Mám pocit, že takový pohled nedoceňuje tu revoluci ve vědě, kterou zahájil téměř před čtyřmi stoletími Galileo Galilei a po něm rozvinul Isaac Newton. Tito vědci ukázali, že alespoň některé části vesmíru se nechovají nahodile, ale že se naopak řídí přesnými matematickými zákony. Během let, která následovala, jsme Galileiho a Newtonovo dílo rozšířili téměř na všechny oblasti vesmíru. Dnes známe matematické zákony, které vládnu všemu, s čím se setkáváme v každodenní zkušenosti. To, že dnes musíme stavět gigantická zařízení za miliardy dolarů, chceme-li urychlit částice na tak vysoké energie, že dosud neumíme předpovídat, co se stane při jejich srážce, svědčí vlastně o úspěšnosti našich vědeckých představ. Částice s tak vysokými energiemi se běžně na Zemi nevyskytují, proto se může zdát, že jde o akademické problémy, na něž je zbytečné utrácet obrovské sumy peněz. Tak energetické částice se však měly vyskytovat v raném vesmíru, takže chceme-li pochopit, jaký je náš původ a jaký byl počátek

vesmíru, musíme se dopátrat toho, co se děje při tak vysokých energiích.

Je toho stále ještě hodně, co o vesmíru nevíme nebo čemu nerozumíme. Ale pozoruhodný pokrok, který jsme na cestě k jeho poznání udělali, jmenovitě během posledního století, nám dodává naději, že plné pochopení toho, co se ve vesmíru děje, nemusí být nad naše síly. Možná že nejsme odsouzeni tápat věčně v temnotách. Možná se propracujeme k úplné teorii vesmíru. Pak se staneme opravdovými "Pány vesmíru".

Všechny eseje této knihy byly napsány ve víře, že vesmíru vládne řád, který zatím vnímáme jen zčásti a jemuž možná v nepřiliš vzdálené budoucnosti porozumíme v celé jeho složitosti. Možná že tato víra je pouhou fatou morgánou. Úplná teorie nemusí existovat, a pokud existuje, nemusíme ji najít. Je však lepší usilovat o úplné pochopení světa než propadat beznaději nad lidskou myslí.

Stephen Hawking 31. března 1993

1. Dětství

Tento a následující esej vycházejí z přednášek, které jsem měl v září 1987 na zasedání Mezinárodní společnosti pro choroby motorického neuronu v Curychu, a na textu sepsaném v srpnu 1991.

Narodil jsem se 8. ledna 1942, přesně tři století po smrti Galilea Galileiho. Ve stejný den se ovšem podle mého odhadu narodilo i na dvě stě tisíc dalších dětí. Nevím, zda se některé z nich později zajímalo o astronomii. Na svět jsem přišel v Oxfordu, třebaže rodiče žili v Londýně. To proto, že za druhé světové války byl Oxford dobrým místem k narození: Němci totiž přistoupili na dohodu, že nebudou bombardovat Oxford a Cambridge, výměnou za to, že Britové nebudou bombardovat Göttingen a Heide lberg. Škoda že se podobné civilizované dohody nedosáhlo i o dalších městech.

Můj otec pocházel z Yorkshiru. Jeho dědeček, můj pradědeček, byl bohatý farmář. Nakoupil však příliš mnoho pozemků a pak během zemědělské deprese na začátku našeho století zbankrotoval. To zanechalo rodiče mého otce v obtížné situaci, ale přesto jej poslali do Oxfordu studovat medicínu. Po ukončení studia se věnoval výzkumu v oblasti tropického lékařství. V roce 1937 odejel do východní Afriky. Když vypukla válka, přešel celý africký kontinent, aby stihl loď do Anglie a přihlásil se jako dobrovolník do vojenské služby. Odmítli ho s poukazem, že bude užitečnější v lékařském výzkumu.

Moje matka se narodila ve skotském Glasgowě jako druhé dítě ze sedmi v rodině lékaře. Když jí bylo dvanáct, rodina se přestěhovala na jih do Devonu. Ani její rodina - podobně jako rodina mého otce - nebyla nijak zámožná. Přesto i oni poslali matku studovat do Oxfordu. Po skončení univerzity zkoušela různá zaměstnání, také daňového inspektora, což se jí nelíbilo. Zanechala toho a začala pracovat jako sekretářka. A právě jako sekretářka se v prvních válečných letech seznámila s mým otcem.

Žili jsme v Highgate v severním Londýně. Moje sestra Mary se narodila osmnáct měsíců po mně. Prý jsem její příchod na svět příliš nevítal. Po celé naše dětství bylo mezi námi určité napětí, k němuž přispíval i náš těsný věkový rozdíl. V dospělosti však zmizelo, protože jsme se vydali různými cestami. Ona se stala lékařkou, což velmi potěšilo otce. Mladší sestra Philippa se narodila, když mi bylo skoro pět a už jsem chápal, co se děje. Pamatuji se, že jsem z jejího narození měl radost, těšil jsem se, že budeme na hraní tři. Philippa byla velmi citlivé a vnímavé děcko; vždy jsem hluboce respektoval její soudy a názory.

Bratr Edward se narodil, až když mi bylo čtrnáct, takže do mého dětství vlastně ani nevstoupil. Byl úplně jiný než my ostatní, ani v nejmenším studijní a intelektuální typ. Ale

pro nás všechny to bylo pravděpodobně užitečné. Bylo to dosti problémové dítě, ale člověk ho musel mít rád.

Moje nejranější vzpomínka je, jak stojím v mateřské školce Byronova domu v Highgate a řvu jako tur. Všude kolem si děti hráli s báječnými hračkami. Chtěl jsem se k nim přidat, jenže mi bylo teprve dva a půl a poprvé mě nechali samotného mezi zcela cizími lidmi. Rodiče patrně moje reakce zaskočila; byl jsem jejich první dítě a oni se řídili výchovnými příručkami, které doporučovaly, že dítě má začít navazovat sociální kontakty ve dvou letech. Po tom hrozném ránu mě však vzali pryč a do Byronova domu mě ještě dalšího půldruhého roku neposílali.

V té době, během války a těsně po ní, bylo Highgate místem, kde žila řada lidí z akademických a vědeckých kruhů. V jiné zemi by se jim říkalo intelektuálové, ale Angličané nikdy nepřipustili, že by měli nějaké intelektuály. Byronův dům byla škola, kam chodily děti ze všech těchto rodin, a byla to škola na svou dobu velmi pokroková. Pamatuji se, jak jsem si rodičům stěžoval, že mě tam ničemu neučí. Odmítali totiž memorování a stálé procvičování, tehdy běžný způsob výuky. Místo toho se vás snažil i naučit číst, aniž jste si uvědomovali, že se něčemu učíte. Nakonec jsem se číst opravdu naučil, ale skoro až osmiletý. Philippa se učila číst konvenčnější metodou a uměla číst už ve čtyřech. Byla ovšem bezpochyby bystřejší než já.

Žili jsme ve vysokém viktoriánském domě, který rodiče koupili velmi levně během války, kdy každý věřil, že bombardování srovná Londýn se zemí. Několik domů od nás také skutečně dopadla raketa V-2. Já i matka a sestra jsme v té době byli pryč, zato otec zůstal doma. Naštěstí vyvázl bez úhony na zdraví a ani dům nebyl vážněji poškozen. Ještě několik let zel po bombě u cesty velký

kráter, místo mých her s kamarádem Howardem, který bydlel o tři domy dále.

Howard byl pro mne pravým požehnáním, protože jeho rodiče na rozdíl od rodičů všech ostatních dětí, které jsem znal, nebyli intelektuálové. Nechodil do Byronova domu, nýbrž do obecné školy a věděl kdeso o fotbalu a boxu, sportech, které by mé rodiče ani ve snu nenapadlo sledovat. Další mou velmi ranou vzpomínkou je, jak jsem dostal první vláčkovou soupravu. Za války se hračky nevyráběly, alespoň ne pro domácí trh. Já měl však vášeň pro železniční modely. Tatínek se mi pokoušel udělat vláčky dřevěné, nebylo to však ono. Toužil jsem po něčem, co opravdu samo jezdí. Otec tedy sehnal z druhé ruky vláček na pero, vzal pájedlo a opravil jej a pak mi ho nadělil k Vánocům. To mi byly tři roky. Vlak moc dobře nefungoval. Hned po válce odplul otec do Ameriky, a když se vrátil zpět na Queen Mary, přivezl matce nějaké nylonky, které tehdy v Británii nebyly, sestře Mary panenku, která zavírala oči, když se položila, a mně vláček, kompletní americký vláček s příslušenstvím a kolejnicemi. Ještě mám v živé paměti to vzrušení, když jsem otevřel krabici.

Vláčky na pero byly pěkné, ale po čem jsem tehdy doopravdy toužil, byl elektrický vláček. Trávil jsem celé hodiny u výkladu klubu vlakových modelářů v Crouch Endu blízko Highgate. Snil jsem o elektrických vláčcích. Nakonec, když byli moji rodiče někde pryč, jsem z poštovní banky vyzvedl všechny své skrovné úspory, našetřené z toho, co jsem při různých příležitostech, například ke křtu, dostal, a elektrický vláček si za ně koupil. K mému velkému zármutku však příliš nefungoval. Dnes známe svá spotřebitelská práva, měl jsem ho vzít zpět a žádat od obchodníka nebo výrobce výměnu. Jenže tehdy to vypadalo tak, že moci si něco koupit se považovalo za výsadu, a když se ukázalo, že věc je vadná, měl člověk prostě smůlu. Takže

jsem vydal další peníze - za opravu elektromotorku -, vláček ovšem stejně nikdy pořádně nefungoval.

Později, to už jsem byl větší, jsem stavěl modely letadel a lodí. Nikdy jsem nebyl na rukodělné práce šikovný, ale pomáhal mi John McClenahan, který byl mnohem zručnější a jehož otec měl v domě dílnu. Mým cílem bylo postavit pohyblivý model, který bych mohl řídit, na tom, jak bude vypadat, mi příliš nezáleželo. Patrně stejné nutkání mě vedlo k tomu, že jsem s dalším kamarádem, Rogerem Ferneyhoughem, vymýšlel řadu komplikovaných her. Například hru, kdy se vyráběly v několika továrnách různobarevné výrobky, převážely se po silnicích a železnicích a obchodovalo se přitom s akcemi. Nebo válečnou hru, která se hrála na plánu se čtyřmi tisíci políčky, či feudální hru, kde každý hráč představoval celou dynastii s genealogickým stromem. Myslím, že ve všech těchto hrách, právě tak jako v zápalu pro vláčky, lodi a letadla, se promítala má touha porozumět tomu, jak věci fungují, a naučit se je řídit. Když jsem potom začal pracovat na své doktorské [Ph. D.] dizertaci, uspokojovala tuto potřebu má práce v kosmologii. Když porozumíte tomu, jak vesmír funguje, získáte nad ním do jisté míry i kontrolu.

V roce 1950 se pracoviště mého otce přemístilo z Hampsteadu blízko Highgate do Mill Hillu na severním okraji Londýna. Než denně jezdit z Londýna, bylo rozumnější přestěhovat se. Rodiče tedy koupili dům v katedrálním městě Saint Albans, ležícím asi patnáct kilometrů od Mill Hillu a třicet od Londýna. Byl to velký viktoriánský dům s určitou elegancí a duchem. Když ho naši koupili, neměli peněz nazbyt, a přitom dům vyžadoval řadu úprav, než jsme se do něj mohli nastěhovat. Potom už otec jako pravý Yorkshiřan odmítl platit za jakékoli další opravy a snažil se udržovat dům v chodu a provádět natěračské práce vlastními silami. Dům byl však rozsáhlý a

tatínek nebyl příliš řemeslně zručný. Nicméně díky své solidní konstrukci dům toto zanedbávání vydržel. Rodiče jej prodali v roce 1985, když byl otec už hodně nemocný (zemřel o rok později). Nedávno jsem náš dům opět viděl, vypadá pořád stejně, nezdá se, že by se na něm udělalo mnoho práce.

Dům byl navržen pro rodinu se služebnictvem, v místnosti pro služebnictvo bylo zařízení, které signalizovalo, ze kterého pokoje se zvonilo. My jsme samozřejmě žádné služebnictvo neměli, ale mou první ložnicí byl malý pokoj ve tvaru L, kdysi patrně určený pro komornou. K tomu, abych o něj požádal, mě navedla sestřenice Sarah, o málo starší než já, kterou jsem tehdy nesmírně obdivoval. Říkala, že si tam užiji. Jednou z atrakcí pokoje totiž bylo, že se odtamtud dalo sešplhat na střechu přístěnku pro bicykly a z ní na zem.

Sarah byla dcera maminčiny nejstarší sestry Janet, lékařky, která si vzala psychoanalytika. Bydleli v dosti podobném domě v Harpendenu, vesnici vzdálené asi sedm kilometrů na sever. To byl také jeden z důvodů, proč jsme se přestěhovali do Saint Albans. Velmi jsem se radoval, že budu bydlet blízko Sarah, a často jsem pak zajížděl do Harpendenu autobusem.

Saint Albans se nachází těsně vedle zbytků starého římského města Verulamium, po Londýně nejdůležitější římské osadě v Británii. Ve středověku zde byl nejbohatší britský klášter, postavený v místě, kde jsou uloženy ostatky svatého Albana, římského centuriona, údajně prvního člověka popraveného v Británii pro křesťanskou víru. Vše, co z opatství zbylo, je rozlehlý a dosti ošklivý klášterní kostel a stará budova s branou k opatství, která je dnes součástí místní školy, do níž jsem chodil.

Ve srovnání s Highgate nebo Harpendenem bylo Saint Albans dosti staromódní a konzervativní místo. Rodiče zde

neměli příliš přátel. Částečně to byla jejich chyba, neboť byli dosti samotářští, hlavně můj otec. Ale způsobil to též rozdílný charakter tamějších obyvatel - rodiče žádného z mých spolužáků v Saint Albans nemohli být pokládáni za intelektuály.

V Highgate se naše rodina zdála zcela normální, v Saint Albans nás myslím pokládali za trochu výstřední. Chování mého otce, který nedal nic na vnější dojem, pokud to ušetřilo peníze, tento názor podporovalo. Když byl mladý, byla jeho rodina velmi chudá a to na něm zanechalo trvalé stopy. Nerad utrácel peníze za vlastní pohodlí, třebaže si to v pozdějších letech mohl dovolit. Odmítal ústřední topení, ačkoliv velmi špatně snášel zimu. Raději si oblékal několik vlněných svetrů a župan přes své normální šaty. K druhým byl však velmi velkorysý.

Když jsme v roce 1950 kupovali auto, nezdálo se mu, že bychom si mohli dovolit nové, a proto koupil předválečný londýnský taxík. Jako garáž se mnou postavil "Nissenovu boudu", jakýsi tunel z vlnitého plechu. Sousedy to rozhořčilo, nic však proti tomu nezmohli. Jako většina chlapců jsem cítil potřebu přizpůsobovat se okolí a jednání rodičů mě uvádělo do rozpaků. Jim to však nevadilo nikdy. Když jsme přišli do Saint Albans, začal jsem chodit do zdejší Dívčí střední školy, která přes svůj název přijímala i chlapce do deseti let. Pobyl jsem tam jedno klasifikační období. [Školní rok je v anglických školách rozdělen do tří klasifikačních období (terms).] Pak ale otec odjel na jednu ze svých prakticky každoročních cest do Afriky, tentokrát však na poněkud delší dobu než obvykle, asi čtyřměsíční. Maminka nechtěla zůstat doma sama, a tak se vypravila s oběma mými sestrami a se mnou na návštěvu své spolužačky Beryl, provdané za básníka Roberta Gravesa. Gravesovi žili ve vesnici Deya na španělském ostrově Mallorca. Od války uběhlo teprve pět let a španělský

diktátor Francisco Franco, spojenec Hitlera a Mussoliniho, byl stále u moci. (Zůstal u moci ve skutečnosti ještě dalších dvacet let; za války ovšem zůstalo Španělsko přes své dobré vztahy s fašistickými režimy neutrální.) Maminka se odhodlala k cestě na Mallorku vlakem a lodí, přestože byla před válkou členkou Ligy mladých komun istů. Najali jsme si v Deye dům a trávili jsme tam nádherné časy. Měl jsem společného domácího učitele s Robertovým synem Williamem. Učitel byl Robertovým chráněncem a mnohem více než vyučování ho pohlcovala hra, kterou psal pro festival v Edinburghu. Nechával nám tedy každý den číst kapitolu z bible a pak o ní psát práci. Měli jsme se tak seznámit s krásou anglického jazyka. Během mého pobytu jsme se prokousali celou Genesí a částí Exodu. Jednou z hlavních věcí, které nám vštěpoval, bylo, že věta nemá začínat "A". Namítal jsem, že většina vět v bibli začíná právě "A", ale bylo mi řečeno, že se angličtina od časů krále Jakuba změnila. "Proč tedy máme bibli číst?" namítal jsem. Bylo to však zbytečné, Robert Graves v té době velice miloval biblický symbolismus a mysticismus. [Tzv. Autorizovaná verze bible z roku 1611 je kolektivním překladem sedmačtyřiceti učenců pověřených k této práci králem Jakubem I; vycházela částečně z překladů starších. Literární věda zdůrazňuje její vliv na vývoj anglického jazyka a literatury.]

Když jsme se vrátili z Mallorky, chodil jsem rok do jiné školy a pak jsem podstoupil zkoušku zvanou jedenáct plus. To byl inteligenční test, který musely podstoupit děti, které chtěly navštěvovat státní školu. Dnes se už od něj upustilo, protože její řada dětí ze středních vrstev nesplnila a musela pak navštěvovat neakademické školy [nepřipravující k vysokoškolskému vzdělání]. Já býval naštěstí vždy úspěšnější v testech a při zkouškách než v běžné práci ve

třídě, a tak jsem "jedenáct plus" uděla 1 a dostal se do místní saintalbanské školy.

Když mi bylo třináct, chtěl otec, abych se pokusil dostat do Westminster School, jedné z nejdůležitějších "veřejných" (public) - to znamená soukromých škol. V té době se ještě velice se hledělo na to, jakou školu kdo absolvoval. Otec sám vždy pociťoval, že v důsledku nedostatku sebejistoty a společenských konexí býval předbíhán lidmi s menšími schopnostmi, ale lepším společenským postavením. Protože rodiče nebyli zámožní, musel bych na školu získat stipendium. V době zkoušek pro udělování stipe ndia jsem však onemocněl a nemohl se jich zúčastnit. Tak jsem zůstal v saintalbanské škole. Získal jsem tam však vzdělání stejně dobré, ne-li lepší, než bych byl získal ve Westminsteru. Také jsem se pak nikdy nesetkal s tím, že by mi horší společenský statut absolvované školy byl někdy na překážku.

Anglický vzdělávací systém byl v té době ještě velmi hierarchický. Nejenže se školy dělily na akademické a neakademické, ale akademické školy ještě dále na oddělení (streams) A, B a C. Takový systém byl výhodný pro žáky z oddělení A, ale už ne tolik pro žáky z oddělení B a měl velmi špatný vliv na ty, kdo se dostali do oddělení C, protože ztráceli chuť k učení. Já jsem se na základě výsledků z "jedenácti plus" dostal do A. Jenže po prvním roce sestupovali ti žáci, kteří se umístili na horším než dvacátém místě ve třídě, do oddělení B. To byla těžká rána pro jejich sebedůvěru, někteří se z ní nikdy nevzpamatovali. Po prvních dvou klasifikačních obdobích v Saint Albans jsem se ocitl na čtyřicátém a třicátém místě, zato ve třetím jsem se si polepšil osmnáctou pozicí. Unikl jsem tedy jen o vlásek.

Nikdy jsem se neumístil lépe než někde ve středu (byla to velmi bystrá třída). Mé práce byly velmi neupravené a

rukopis doháněl učitele k zoufalství. Spolužáci mě však přezdívali Einstein, takže pravděpodobně pozorovali určité lepší signály. Když mi bylo dvanáct, vsadil se jeden můj spolužák s jiným o pytlík bonbonů, že nikdy nic důležitého neobjevím. Nevím, zda o výsledku sázky někdy rozhodli, a pokud ano, tak jak.

Měl jsem v té době šest sedm blízkých přátel, s nimiž se většinou stýkám dodnes. Dlouze jsme diskutovali o všem možném - od modelů řízených rádiem po náboženství a od parapsychologie po fyziku. Často jsme se dostali i k počátku vesmíru a k tomu, zda vesmír musel stvořit a jeho chod seřídít Bůh. Já jsem se doslechl, že světlo ze vzdálených galaxií je posunuto k červenému konci spektra a že se to pokládá za důkaz rozpínání vesmíru (posun k fialovému konci by svědčil o jeho smršťování). Byl jsem v šak přesvědčen, že tento červený posun musí mít jinou příčinu. Možná že světlo se cestou k nám unaví a tím zčervená. Vesmír, který se v podstatě nemění, mi připadal mnohem přirozenější. Teprve po dvou letech práce na své doktorské dizertaci jsem se přesvědčil, že jsem tehdy neměl pravdu.

V posledních dvou letech školy jsem se chtěl zaměřit na matematiku a fyziku. Ve škole jsme měli velmi inspirujícího učitele matematiky pana Tahtu a škola nově zařídila matematickou učebnu; matematické oddělení ji mělo jako svou třídu. Otec se však rozhodně postavil proti tomu. Domníval se, že pro matematiky nebude jiné uplatnění než učitelské. Velmi si přál, abych studoval medicínu, já však nejevím žádný zájem o biologii; připadalo mi, že je příliš popisná a nejde dost do hloubky. V naší škole také neměla příliš dobré postavení. Nejbystřejší chlapci studovali matematiku a fyziku, méně bystrí biologii. Otec pochopil, že biologii dělat nebudu, ale přesvědčil mě, abych si vybral především chemii a jen trochu matematiky. Měl za to, že

tím zůstane mé vědecké zaměření otevřené. Dnes jsem profesorem matematiky, přestože jsem ve skutečnosti od té doby, co jsem v sedmnácti ukončil saintalbanskou školu, neprošel žádnou formální výukou matematiky. Matematiku, kterou umím, jsem tak nějak posbíral po cestě. Jako doktorand v Cambridgi jsem vedl studenty nižších univerzitních ročníků a udržoval jsem se v přednáškách o týden před nimi.

Otec pracoval ve výzkumu tropických nemocí a brával mě s sebou do své laboratoře v Mill Hillu. Velmi se mi tam líbilo, hlavně jsem se rád díval do mikroskopu. Brával mě také do pavilonu hmyzu, kde se chovali komáři infikovaní tropickými nemocemi. Míval jsem tam strach, protože se mi vždycky zdálo, že pár komárů volně poletuje kolem.

Tatínek pracoval velmi tvrdě a výzkumu byl cele oddaný. Cítil se trochu ukřivděný, protože ho v kariéře předstihli lidé, které nepokládal za příliš dobré, kteří však měli dobré společenské postavení a konexe. Často mě před takovými lidmi varoval. Domnívám se, že fyzika se v tomto od medicíny poněkud liší. Nezáleží tolik na tom, do které školy jste chodili či jaké máte příbuzné. Záleží na tom, co jste udělali.

Vždycky mě zajímalo, jak jsou udělány různé "mašinky", a rozebíral jsem je, abych poznal, jak fungují. Horší to bylo, když jsem je měl dát zase dohromady, moje praktická zručnost pokulhávala za teoretickou zvědavostí. Otec mě v mých vědeckých zájmech vždy povzbuzoval, a dokonce usměrňoval mé matematické vzdělání, dokud se nedostalo za hranice jeho znalostí. S takovým rodinným zázemím jsem pokládal vždy za samozřejmé, že se budu věnovat vědecké práci.

Jako malý jsem příliš mezi různými oblastmi vědy nerozlišoval. Ve třinácti nebo čtrnácti mi však už bylo jasné, že bych chtěl pracovat ve fyzice, neboť je to

nejzákladnější z přírodních věd, přestože se mi ve škole fyzika zdála nudná; připadala mi jednoduchá a průhledná. Chemie byla mnohem zábavnější, děly se při ní neočekávané věci, například výbuchy. Ale fyzika a astronomie nabízely šanci pochopit, odkud jsme přišli a proč jsme tu. Přál jsem si prozkoumat hlubiny vesmíru. Možná se mi to přece jen trochu povedlo, stále však zůstává ještě spousta věcí, které bych se rád dozvěděl.

2. Oxford a Cambridge

Otec si velmi přál, abych studoval v Oxfordu nebo v Cambridgi. Sám absolvoval oxfordskou University College, a tak se domníval, že bych se měl přihlásit tam, neboť budu mít větší naději na přijetí. V té době neměla University College žádného učitele matematiky a to byl také jeden z důvodů, proč chtěl, abych se věnoval chemii. Mohl jsem se tak spíš ucházet o stipendium pro studium přírodních věd než matematiky.

Zbytek rodiny tenkrát odjel na rok do Indie, já se však musel učit doma, abych dostal dobré vysvědčení a udělal přijímací zkoušky na univerzitu. Ředitel naší školy usoudil, že jsem ještě příliš mladý na Oxford, já jsem však v březnu 1959 přece jen spolu se dvěma o rok staršími žáky podstoupil zkoušky pro získání stipendia. Měl jsem pocit, že jsem dopadl velmi špatně, a navíc mě velmi deprimovalo, že se při praktické části univerzitní lektoři bavili s ostatními adepty, jen se mnou ne. Za několik dní jsem však dostal telegram, že jsem stipendium získal.

Bylo mi sedmnáct a většina ostatních studentů v mém ročníku měla už za sebou vojenskou službu a byla podstatně starší. V prvním a částečně i druhém roce jsem se proto cítil dost osamocený. Skutečně dobře jsem se tam začal cítit až třetí rok. V Oxfordu tehdy panovala nálada dosti antipracovní. Předpokládalo se, že buď vám vše skvěle jde bez jakéhokoli úsilí, nebo přijmete meze svých

schopností a procházíte vším jen s dostatečnými. Snažit se získat lepší známky usilovnou prací vám vyneslo označení šprt, což bylo v oxfordském slovníku to nejhorší epiteton.

Kurz fyziky byl tehdy v Oxfordu organizován tak, že bylo neobyčejně snadné vyhnout se podstatnější práci. Složil jsem jen jednu postupovou zkoušku a pak jsem měl před sebou tři roky v Oxfordu, po nichž mě teprve čekala závěrečná zkouška. Jednou jsem odhadl, že jsem za ty tři roky pracoval asi tak tisíc hodin, což znamená průměrně hodinu denně. Vůbec se tím nechlubím. Jen chci popsat rozpoložení, v němž jsem se tehdy společně s většinou svých kolegů studentů nacházel - stav naprosté nudy s pocitem, že nic nestojí za větší úsilí. Jedním z důsledků mé nemoci bylo, že se tento můj vztah k životu zgruntu změnil. Když se setkáte s možností brzké smrti, zjistíte, že život zažití stojí a že je řada věcí, které byste chtěli ještě udělat.

Vzhledem k mému neusilovnému studiu jsem si plánoval, že projdu závěrečnou zkouškou řešením problémů z teoretické fyziky a vyhnu se otázkám, které vyžadují hlubší faktické vědomosti. Z nervozity jsem však poslední noc před zkouškou nespál, takže se mi nedělala příliš dobře. Byl jsem na rozhraní mezi jedničkou a dvojkou, a proto měl rozhodnout ještě ústní pohovor se zkoušejícím. Ten se mě ptal i na mé další plány. Řekl jsem, že se chci věnovat výzkumu jako doktorand, a že pokud dostanu jedničku, půjdu do Cambridge, pokud dvojkou, zůstanu v Oxfordu. Dostal jsem jedničku.

V teoretické fyzice byly dvě oblasti, které jsem pokládal za fundamentální a v nichž by mě bavilo pracovat. Jednou z nich byla kosmologie, věda o hodně velkém. Druhou pak fyzika elementárních částic, tedy naopak věda o hodně malém. Elementární částice mě lákaly o něco méně, neboť i když fyzikové objevovali stále nové a nové částice, nenašli pro ně uspokojivou teorii. Vše, co uměli, bylo tříditi částice

do rodin, podobně jako se to dělá v botanice. Zato kosmologie se zakládala na dobré teorii, Einsteinově obecné teorii relativity.

V Oxfordu se v té době nikdo kosmologií nezabýval, ale v Cambridgi byl Fred Hoyle, v té době nejproslulejší anglický astronom. Zažádal jsem tedy o doktorandské studium v Cambridgi u Hoylea. Má žádost byla přijata právě s podmínkou, že dostanu jedničku u závěrečné zkoušky. K mé nelibosti však mým školitelem neměl být Fred Hoyle, ale nějaký Denis Sciama, o kterém jsem do té doby nic neslyšel. Nakonec se ukázalo, že to bylo mnohem lepší. Hoyle pobýval často v zahraničí a já bych se s ním byl asi příliš často neviděl. Sciama se mi hodně věnoval a konzultace s ním byly velmi stimulující, třebaže jsem s jeho myšlenkami často nesouhlasil.

Protože jsem se ve škole ani v Oxfordu příliš matematice nevěnoval, zdála se mi zpočátku obecná teorie relativity velice obtížnou a dlouho jsem ve své práci podstatněji nepokročil. Během posledního roku v Oxfordu jsem také pozoroval, že se mé pohyby stávají jaksi nemotornými. Krátce po mém příchodu do Cambridge se zjistilo, že mám ALS, amyotrofickou laterální sklerózu. Lékaři neznali žádnou léčbu, ani mě nemohli ujistit, že se můj stav nebude zhoršovat.

Zpočátku to vypadalo, že se nemoc rozvíjí velice rychle. Zdálo se, že nemá velký smysl, abych ve své dizertační práci pokračoval; těžko jsem totiž mohl předpokládat, že budu žít dost dlouho, abych ji dokončil. Časem se však postup nemoci zpomalil. Začal jsem také rozumět obecné teorii relativity a v práci jsem dělal pokroky. Skutečně podstatnou změnu v mém postoji však způsobilo to, že jsem se zasnoubil s dívkou, s níž jsem se seznámil přibližně ve stejné době, kdy u mne zjistili ALS, s Jane Wildeovou. Bylo zde najednou něco, pro co stálo žít.

Abychom se však mohli vzít, musel jsem se něčím živit, a abych práci dostal, musel jsem dokončit svou doktorskou dizertaci. Tak jsem poprvé v životě začal opravdu pracovat. Ke svému údivu jsem zjistil, že se mi to líbí. Možná není zcela fér to nazývat prací. Kdosi jednou řekl, že "vědci a prostitutky jsou placeni za to, že dělají, co jim činí potěšení".

Požádal jsem o místo vědeckého pracovníka na Gonville a Caius (vyslovuje se Keys) College. Doufal jsem, že mi žádost naklepe na stroji Jane, ta však, když mě přijela do Cambridge navštívit, měla ruku v sádře, zlomenou. Musím přiznat, že jsem tehdy projevoval menší účast, než by se patřilo. Naštěstí to byla levá ruka, takže mohla přihlášku podle diktátu napsat; na stroji ji pak naklepal někdo jiný.

V přihlášce jsem měl uvést jména dvou lidí, kteří by mohli posoudit mou práci. Můj školitel navrhl, abych o jeden z posudků požádal Hermanna Bondiho, profesora matematiky na londýnské King's College a odborníka na obecnou relativitu. Setkal jsem se s ním několikrát a byl to on, kdo předložil článek, který jsem napsal, do Proceedings of the Royal Society. [Tento prestižní časopis uveřejňuje jenom články členů, fellows, Královské společnosti, nebo články jimi předložené.] Po přednášce, kterou měl v Cambridgi, jsem ho tedy požádal o napsání posudku, a on roztržitě souhlasil. Jenže si mě zřejmě nepamatoval, takže když ho kolež o posudek požádala, odepsal, že o mně nikdy neslyšel. Dnes se uchází o volná místa vědeckých pracovníků tolik zájemců, že pokud by posuzovatel o některém z kandidátů řekl, že ho nezná, byl by to asi konec jeho nadějí. Tehdy však panovaly idyličtější poměry. Napsali mi o zarážející odpovědi posuzovatele, jehož jsem uvedl, a můj školitel kontaktoval Bondiho a osvěžil jeho paměť. Bondi pak posudek napsal, pravděpodobně

mnohem lepší, než jsem si zasloužil. Dostal jsem tedy místo na Caius College a působím tam dodnes.

Místo znamenalo, že jsme se s Jane mohli vzít, což se také v červenci 1965 stalo. Líbánky jsme trávili v Suffolku, víc jsem si nemohl dovolit. Potom jsme jeli na letní školu o obecné relativitě, pořádanou na Cornellově univerzitě ve státě New York. Nebylo to zrovna nejšťastnější rozhodnutí. Bydleli jsme v ubytovně plné manželských párů s ukřičenými malými dětmi, což mezi námi vyvolalo jisté napětí. Pro mne byla ovšem letní škola neobyčejně užitečná, neboť jsem se setkal s mnoha vedoucími postavami oboru. Až do roku 1970 jsem se zabýval kosmologií, studiem vesmíru ve velkých rozměrech. Má nejdůležitější práce z tohoto období se týká singularit. Pozorování vzdálených galaxií ukazuje, že se galaxie od nás vzdalují - vesmír se rozpíná. Z toho plyne, že v minulosti musely být navzájem blíže. Tím vzniká otázka, zda někdy byly soustředěny v jednom místě a hustota vesmírné hmoty byla nekonečná, nebo zda fázi expanze předcházela fáze smršťování, na jejímž konci se galaxie nějak vzájemně srážce vyhnuly.

Možná že kolem sebe proletěly a začaly se zase vzdalovat. Odpověď na tuto otázku vyžadovala novou matematickou techniku a tu mezi lety 1965 a 1970 rozvinul především Roger Penrose a já. Tehdy Penrose přednášel na londýnské Birkbeck College, nyní působí v Oxfordu. Pomocí této metody jsme ukázali, že pokud je teorie obecné relativity správná, musel být v minulosti vesmíru stav s nekonečnou hustotou.

Tento "singulární" stav nekonečné hustoty se nazývá velký třesk (big bang). Jeho existence znamená, že pokud je obecná relativita zcela přesnou teorií, nelze vědeckými metodami zjistit, jak vesmír započal. Moje pozdější práce však ukazují, že počáteční chování vesmíru určit lze, pokud se vezme v úvahu i kvantová teorie, teorie velmi malého.

Z obecné relativity také plyne, že hvězda, která vyčerpala své nukleární palivo, se pod vlivem vlastní gravitace zhroutí. Z Penroseových a mých prací vyplývá, že tento kolaps bude pokračovat tak dlouho, dokud opět nevznikne singulární stav s nekonečnou hustotou hmoty. Taková singularita představuje konec času, alespoň pro hvězdu a cokoli na ní. Gravitační pole kolem singularity je tak silné, že světlo, ani cokoli jiného, nemůže uniknout z určité oblasti kolem ní, vše je strhováno gravitací zpět. Této oblasti říkáme černá díra a její hranici horizont událostí. Cokoli nebo kdokoli spadne přes horizont událostí do černé díry, dojde na konec času v singularitě.

Černých děr jsem měl plnou hlavu jednoho večera v roce 1970, když jsem uléhal. Bylo to krátce po narození naší dcery Lucy. Náhle jsem si uvědomil, že velká část metody, kterou jsme s Penrosem vyvinuli k důkazu existence singularit, se dá užít i na černé díry. Především - plocha horizontu událostí, hranice černé díry, se nemůže s časem zmenšovat. A jestliže se dvě černé díry srazí a splynou v jedinou černou díru, plocha horizontu výsledné díry bude větší než součet ploch horizontů děr původních.

To klade velice důležité omezení na množství energie, které se může vyzářit při srážce. Tak mě to rozrušilo, že jsem skoro celou noc probděl.

Mezi lety 1970 a 1974 jsem se zabýval především černými dírami. V roce 1974 jsem učinil svůj patrně nejpřekvapivější objev, totiž že černé díry nejsou úplně černé! Vezmeme-li v úvahu chování hmoty v malých rozměrech, částice i záření mohou z černé díry uniknout. Černá díra vysílá záření tak, jako kdyby to bylo horké těleso.

Od roku 1974 jsem usiloval o skloubení obecné teorie relativity a kvantové mechaniky do jedné konzistentní teorie. Jedním z výsledků byla představa, kterou jsme

navrhli společně s Jimem Hartlem z Kalifornské univerzity v Santa Barbaře, že totiž jak prostor, tak čas mají konečné rozpětí, nemají však žádnou hranici či okraj. Je tomu podobně jako s povrchem Země, jenže ve vyšší dimenzi: povrch Země je dvojrozměrný, prostoročas čtyřrozměrný. Povrch Země má sice konečnou velikost, nemá však žádnou hranici - na žádné z mých cest se mi nepovedlo spadnout z okraje Země. Pokud je náš návrh správný, pak neexistují žádné singularity a fyzikální zákony lze aplikovat všude, i na počátek vesmíru. Způsob, jak vesmír začal, by v tom případě určovaly vědecké zákony. Je-li tedy naše teorie správná, podařilo se mi naplnit to, po čem jsem vždy toužil - pochopit, jak vesmír započal. Stále ovšem nevím, proč započal.

3. Můj život s ALS

Prosloveno v říjnu 1987 v Birminghamu na konferenci Britské společnosti pro choroby motorického neuronu.

Často se mě lidé ptávají: "Jak se vyrovnáváte s tím, že trpíte ALS?" Odpovídám, že o tom moc neuvažuji. Snažím se vést tak normální život, jak to jen jde, nemyslet na svůj stav a nelitovat věcí, které mi zabraňuje dělat. Není jich koneckonců zas tak mnoho.

Když jsem se dozvěděl, jakou chorobu mám, to byl pro mne obrovský otřes. Jako dítě jsem nebyl pohybově příliš nadaný. Nešly mi míčové hry a snad proto mě moc nebavil sport a fyzická aktivita vůbec. To se však změnilo, když jsem přišel do Oxfordu. Začal jsem kormidlovat veslici i veslovat, a třebaže jsem nebyl tak dobrý, abych mohl univerzitu reprezentovat, dostal jsem se na úroveň soutěže mezi oxfordskými kolejiemi.

Během třetího roku v Oxfordu jsem najednou jaksi znemotorněl a několikrát jsem bez zjevného důvodu upadl. Ale až o rok později, to už jsem byl v Cambridgi, si toho povšimla maminka a vzala mě k rodinnému lékaři. Ten mi

doporučil odborné vyšetření v nemocnici, k čemuž došlo krátce po mých jedenadvacátých narozeninách. Pobyl jsem tam dva týdny a podstoupil jsem celou řadu testů a vyšetření. Vzali mi vzorek svalu z paže, připojili na mne elektrody, vstříkli mi do páteře kontrastní tekutinu a sledovali rentgenem, jak se tam pohybuje, když pohupují s postelí. Neřekli, co mi vlastně je, jen mi sdělili, že netrpím roztroušenou sklerózou a že jsem atypický případ. Pochopil jsem však, že očekávají zhoršování mého stavu a že proti tomu nemohou dělat nic jiného než mi dávat vitaminy. Také mi bylo jasné, že si od takové léčby moc neslibují. Nechtělo se mi vyptávat na podrobnosti, zřejmě nevěstily nic dobrého.

Když jsem zjistil, že mám nevléčitelnou nemoc, která mě pravděpodobně během několika málo let zabije, byl to pro mne značný otřes. Jak se něco takového mohlo přihodit právě mně? Proč mám takto předčasně odejít ze světa? Během pobytu v nemocnici jsem však viděl umírat na leukemii chlapce, jehož jsem trochu znal z dřívějšího a který ležel na protější posteli. Nebyl to hezký pohled. Viděl jsem však, že někteří lidé jsou na tom ještě hůře než já. Moje nemoc alespoň nevyvolávala bolesti a nevolnost.

Kdykoliv se mě zmocní pocit sebelítosti, vzpomenu si na toho chlapce.

Protože nebylo jasné, co se mnou bude ani jak rychle bude nemoc postupovat, nevěděl jsem, co dále dělat. Lékaři mi řekli, abych se vrátil do Cambridge a pokračoval v badatelské práci, kterou jsem právě započal v oblasti obecné teorie relativity a kosmologie. Já však s prací ne a ne pohnout; neměl jsem totiž dostatečný matematický základ a kromě toho - vždyť možná nebudu žít tak dlouho, abych doktorskou dizertaci dokončil. Cítil jsem se tak trochu jako postava z tragédie. Začal jsem poslouchat Wagnera; novinové zprávy, podle nichž jsem tehdy hodně pil,

však přehánějí. Potíž je v tom, že když se něco takového objeví v jednom článku, ostatní už to opakují, protože je to čtenářsky vděčné. A když se něco objevuje v tisku tak často, musí to být samozřejmě pravda.

Míval jsem tehdy dost těžké sny. Než jsem se dozvěděl, jak to s mou nemocí je, byl jsem dost znuděný životem. Nenacházel jsem nic, co by opravdu stálo za nějaké úsilí. Krátce poté, co jsem opustil nemocnici, se mi zdálo, že mám být popraven. Náhle jsem si uvědomil, kolik cenných věcí bych mohl udělat, kdyby mě omilostnili. V jiném snu, který se několikrát opakoval, jsem obětoval život pro záchranu jiných. Koneckonců když už musím stejně zemřít, ať z toho mají alespoň prospěch druzí.

Jenže jsem nezemřel. A ačkoli nad mou budoucností stále visel mrak, s údivem jsem zjistil, že se z života raduji více než předtím. Má vědecká práce postupovala kupředu, zasnoubil jsem se a oženil, dostal jsem místo na cambridgeské Caius College.

Místo výzkumného pracovníka na Caius College vyřešilo problém mého zaměstnání. Měl jsem štěstí, že jsem si zvolil teoretickou fyziku, protože to byla jedna z mála oblastí, kde můj fyzický stav nepředstavoval vážný handicap. Bohudíky má vědecká pověst vzrostla právě v době, kdy se má nemoc podstatněji zhoršila. V důsledku toho jsem dostal místo, kde byla mou povinností pouze vědecká práce a nemusel jsem přednášet.

Měli jsme také štěstí s bydlením. Když jsme se vzali, Jane ještě studovala na londýnské Westfield College a musela trávit všední dny v Londýně. Nezbylo nám tedy nic jiného než najít takové bydlení, kde bych se mohl postarat sám o sebe a které by bylo situováno v centru, protože jsem nemohl daleko chodit. Požádal jsem o pomoc vedení koleje. Tehdejší tajemník mi však sdělil, že kolej se ze zásady nestará o ubytování svých zaměstnanců. Přihlásili jsme se

tedy jako zájemci o pronájem jednoho z nových bytů, které se stavěly na tržišti. (Po letech jsem se dozvěděl, že vlastníkem domů byla právě naše kolej, ale to mi tehdy neřekli.) Když jsme se však vrátili do Cambridge po léte stráveném v Americe, byty ještě nebyly dostavěné. Jako velikou výsadu nám tedy tajemník koleje nabídl pokoj v ubytovně doktorandských studentů. Řekl nám tehdy doslova: "Normálně účtujeme za pokoj a noc dvanáct shillingů a šest pencí. Protože ale budete v pokoji dva, budeme vám počítat za noc pětadvacet shillingů." Bydlel i jsme tam všehovšudy tři dny. Pak jsme si našli podnájem v malém domku pouhých sto metrů od mého univerzitního ústavu. Domek patřil jiné z kolejí a ta ho pronajala jednomu ze svých pracovníků. Právě se přestěhoval na předměstí a domek nám přenechal na tři měsíce, které zbývaly do vypršení jeho smlouvy. Během těchto tří měsíců jsme objevili jiný dům, který vypadal prázdný. Sousedka sehnala jeho majitelku v Dorsetu a řekla jí, že je to ostuda, mít prázdný dům, když mladí lidé nemohou sehnat bydlení. Majitelka nám tedy dům pronajala. Po několika letech bydlení jsme ho chtěli koupit. Abychom získali potřebné peníze, požádali jsme kolej o hypotéku. Ta udělala obvyklý průzkum, pokud jde o naše možnosti půjčku splatit, a rozhodla, že je to příliš velké riziko. Hypotéku nám nakonec poskytla stavební společnost a zbytek nám dali moji rodiče. Bydleli jsme tam další čtyři roky, pak už mi dělalo příliš velké potíže chození do schodů. Tehdy už jsem byl v koleji váženější a byl tam také jiný tajemník. Nabídli mi tedy přízemní byt v domě, který koleji patřil. Skvěle mi vyhovoval; měl velké místnosti a široké dveře a byl dostatečně blízko centra, takže jsem mohl jezdit do našeho univerzitního ústavu na elektrickém kolečkovém křesle. Byl skvělý i pro naše tři děti, protože byl obklopen zahradou, opečovávanou kolejnými zahradníky.

Až do roku 1974 jsem se mohl sám najíst a sám se ukládat do postele a vstávat. Jane stačila pečovat o mou osobu i vychovávat naše dvě děti bez cizí pomoci. Pak se můj stav zhoršil, a tak u nás začal bydlet vždy jeden z mých doktorandských studentů. Za bezplatné ubytování a zvýšenou pozornost věnovanou jejich práci mi pomáhali se vstáváním z postele i uléháním. V roce 1980 jsme tento systém zaměnili za péči sociálních pracovníků a soukromých sester, které přicházely na hodinu nebo dvě večer a ráno. Tak to fungovalo až do roku 1985, kdy jsem dostal zápal plic. Musel jsem podstoupit tracheostomii a od té doby jsem potřeboval ošetrovatelskou péči celých čtyřicet hodin. Umožnily to granty od různých nadací.

Už před touto operací se má řeč velmi zhoršila, takže mi rozuměli jen lidé, kteří mě dobře znali. Přece jen jsem však měl jakousi možnost komunikace. Svě vědecké práce jsem diktoval sekretářce a na seminářích jsem přednášel prostřednictvím překladatele, který opakoval srozumitelně má slova. Tracheo-stomie mě však připravila o řeč úplně. Nějakou dobu jsem komunikoval pouze tak, že jsem skládal slova z písmen, která mi někdo postupně ukazoval na tabulce; zvednutím obočí jsem naznačoval, které písmeno mám na mysli. Vést tímto způsobem i běžnou konverzaci je nesmírně obtížné, natožpak napsat vědecký článek. O mých potížích se však dozvěděl jistý Walt Woltoz, počítačový odborník z Kalifornie, a poslal mi svůj počítačový program zvaný Equalizer. Ten mi dovoluje vybrat patřičné slovo z nabídky na obrazovce stisknutím vypínače v ruce, lze jej také ovládat pohybem hlavy nebo očí. Když mám sestaveno, co chci říci, odešlu to do hlasového syntetizátoru.

Nejdříve jsem používal program Equalizer na stolním počítači. Později mi David Mason z Cambridge Adaptive Communications připojil malý osobní počítač s hlasovým syntetizátorem ke kolečkovému křeslu; tento systém mi

umožňuje lepší komunikaci, než jaké jsem byl schopen před operací. S jeho pomocí zvládám asi patnáct slov za minutu. To, co jsem napsal, mohu nechat buď vyslovit, nebo uložit na disk. Potom to mohu nechat vytisknout, nebo znovu vyvolat a nechat vyslovit větu po větě. Pomocí tohoto sy stému jsem už napsal dvě knihy a řadu vědeckých článků. Také jsem proslovil řadu vědeckých a populárních přednášek, které měly velmi příznivou odezvu. Myslím, že důležitou roli zde hraje kvalita hlasového syntetizátoru, který vládne opravdu dobrou řečí. Je opravdu důležité, jak člověk mluví. Pokud špatně vyslovujete, mají lidé sklon vás pokládat za mentálně postiženého. Můj syntetizátor je nejlepší, jaký jsem kdy slyšel, protože mění i intonaci a nemluví jako robot. Jeho jediným nedostatkem je, že m i dává americký přízvuk. Teď se však už s tímto hlasem identifikuji, a kdyby mi nabídli britsky znějící hlas, odmítl bych. Měl bych pocit, že je ze mne jiná osobnost.

Trpím chorobou motorického neuronu prakticky celý svůj dospělý život. Nezabránilo mi to však založit rodinu ani být úspěšný v práci. Mohu za to děkovat své ženě, dětem a řadě dalších lidí i organizací. Měl jsem štěstí, že se můj stav zhoršoval pomaleji, než bývá obvyklé. Můj případ však ukazuje, že člověk nemá ztrácet naději.

4. Veřejnost a věda

Aktualizovaná přednáška, přednesená v říjnu 1989 ve španělském Oviedu při přijetí Ceny harmonie a svornosti, udělované princem asturským.

Ať se nám to líbí nebo ne, svět, v němž žijeme, se za posledních sto let velice změnil a během dalšího století se patrně změní ještě mnohem podstatněji. Mnozí by tyto změny rádi zastavili a vrátili se do dob, které jim připadají čistší a jednodušší. Historie však ukazuje, že minulost nebyla zdaleka tak skvělá. Život nebyl snad špatný pro

privilegovanou menšinu, třebaže i ona se musela obejít bez moderní medicíny, takže například porodit dítě bylo pro ženu velmi riskantní záležitostí. Pro obrovskou většinu lidí byl život nepříjemný, krutý a především krátký.

Přesto kdybychom chtěli posunout hodiny zpět, tak se nám to nepodaří. Znalosti a technické dovednosti se nedají jen tak prostě zapomenout. Právě tak se nedá zabránit jejich dalšímu rozvoji v budoucnu. I kdyby stát úplně zastavil státní financování vědeckého výzkumu (a současná vláda se v tomto ohledu opravdu činí, seč může), technický pokrok by si vynucovala vzájemná konkurence. Nadto nelze zabránit zvědavým jedincům, aby nepřemýšleli o základních vědeckých otázkách, ať už jsou za to placeni ne bo ne. Dalšímu vývoji by snad mohl zabránit jen zcela totalitní stát, potlačující vše nové, avšak lidská iniciativa a vynalézavost by s velkou pravděpodobností patrně překonaly i takto kladené překážky. Diktatura tohoto typu by nanejvýše zpomalila tempo přeměn.

Když už tedy musíme přijmout, že věda a technika budou měnit náš svět i nadále, můžeme se alespoň snažit, aby se tyto změny ubíraly správným směrem. V demokratické společnosti si to žádá, aby veřejnost měla základní přírodovědné vzdělání, a tak mohla činit kompetentní rozhodnutí sama a nemusela je nechávat pouze v rukou odborníků.

V současnosti je postoj veřejnosti k vědě nejednoznačný. Lidé by si sice přáli, aby pokračoval růst životní úrovně, který přinášejí nové objevy, k vědě samé se však často chovají nedůvěřivě, protože jí nerozumějí. Postava šíleného vědce, který ve své laboratoři vyrábí Frankensteina, jak ji známe z obrázkových seriálů, je určitým vyjádřením této nedůvěry, jež hraje svou roli i v podpoře "zelených" stran. O vědu, jmenovitě o astronomii, je však i značný zájem, jak je

patrné z velké sledovanosti televizních pořadů, jako je Cosmos, i z popularity science fiction.

Jak využít tohoto zájmu a poskytnout veřejnosti vědecké zázemí, tak potřebné, má-li odpovědně rozhodovat o jevech, jako jsou kyselé deště, skleníkový efekt, nukleární zbraně nebo genové inženýrství? Základ musí být pokládán samozřejmě ve škole. Přírodovědné předměty se však ve škole často učí suchopárným a nezajímavým způsobem. Děti se je biflují, jen aby dostaly dobré známky a udělaly zkoušky, a málo chápou jejich vztah ke světu, který je obklopuje. Fyzika se navíc učí především ve vzorcích a rovnicích. Rovnice jsou sice stručným a přesným vyjádřením matematických myšlenek, ale spoustu lidí odstrašují. Když jsem nedávno psal populární knihu, řekli mi, že každá rovnice, kterou do ní dám, sníží prodej na polovinu. Nakonec jsem se rozhodl jen pro jednu, známou Einsteinovu rovnici $E = m \cdot c^2$. Možná by se opravdu prodalo dvakrát tolik výtisků, kdybych ji byl vynechal.

Vědci a inženýři vyjadřují své myšlenky v rovnicích, protože potřebují znát přesné hodnoty veličin. Ostatním však stačí kvalitativní smysl vědeckých pojmů a ten se dá často vystihnout slovy či diagramy bez použití rovnic.

Přírodovědné znalosti, které člověk získá ve škole, mohou sloužit jako základní rámeček. Věda se však dnes rozvíjí tak rychle, že za dobu, která uplyne po ukončení školy či univerzity, se objeví obrovské množství nových poznatků. Já jsem se ve škole nikdy neučil o molekulární biologii ani o tranzistorech, přitom však genové inženýrství a počítače v budoucnu pravděpodobně od základu změní náš způsob života. Sledovat nové objevy nám sice umožňují populární knihy a časopisy, ty však čte jen nepatrná část populace. Skutečně masový dopad může mít pouze televize. Britská televize sice vysílá některé velmi dobré vědeckopopularizační pořady, řada z nich však předkládá

vědecké výsledky jako jakousi magii, aniž by je vysvětlila nebo ukázala, jak zapadají do celkového kontextu vědeckého myšlení. Producenti televizních naučných programů by si měli uvědomit svou odpovědnost za vzdělávání veřejnosti a snažit se poskytnout více než kratochvilnou zábavu.

O kterých věcech souvisejících s vědou bude muset veřejnost rozhodnout v nejbližší budoucnosti? Nejnaléhavější je otázka nukleárních zbraní. Ostatní globální problémy, jako je nedostatek potravin či skleníkový efekt, se projevují poměrně dlouhodobě, zatímco jaderná válka může způsobit konec veškerého lidského života na Zemi během několika dnů. Zmírnění napětí mezi Východem a Západem, které přišlo s koncem studené války, způsobilo, že strach z nukleárního konfliktu ustoupil z lidského vědomí. Nebezpečí však stále hrozí, pokud je na světě zásoba jaderných náloží, která by stačila několikanásobně k vyhubení všeho lidstva. V zemích bývalého Sovětského svazu i ve Spojených státech jsou stále rakety zamířeny na největší města severní polokoule. Stačila by počítačová chyba nebo vzpoura některé skupiny, která má zbraně na starosti, a vypukne globální válka. Ještě znepokojivější je, že jaderné zbraně se dnes snaží získat i poměrně slabší státy. Velmoci se chovaly poměrně zodpovědně, ale těžko může mít obdobnou důvěru v země, jako je Libye nebo Irák, Pákistán, či dokonce Ázerbájdžán. Nebezpečí nespočívá ani tak v jaderných zbraních, které tyto státy mají, či mohou v blízké budoucnosti mít, jejich množství bude poměrně malé, i když dostačující k zahubení milionů lidí. Hlavní hrozbou je, že jaderný konflikt mezi dvěma menšími státy by mohl do války vtáhnout i velmoci s jejich obrovskými arzenály.

Je velmi důležité, aby si veřejnost toto nebezpečí uvědomila a přiměla své vlády k podstatné redukci nukleární výzbroje.

Prakticky asi není možné odstranit jaderné zbraně bez zbytku, ale nebezpečí můžeme alespoň zmenšit omezením jejich množství.

Ale i když se vyhneme jaderné válce, existují další nebezpečí, která nás všechny mohou zničit. Žert náležející do oblasti černého humoru říká, že jsme nebyli kontaktováni žádnou cizí civilizací proto, že civilizace se zničí samy, jakmile dosáhnou našeho stupně vyspělosti. Já však přece jen důvěřuji zdravému rozumu veřejnosti, takže věřím, že nám podobná zkáza nehrozí.

5. Stručná historie Stručné historie

Původně publikováno v prosinci 1988 v časopise The Independent.

Stručná historie času se držela na seznamu bestsellerů listu The New York Times třiapadesát týdnů. Ve Velké Británii setrvala mezi nejlépe prodávanými knihami na seznamu The Sunday Times přes dvě stě týdnů. Při dosažení stoosmdesátého čtvrtého týdne se dostala do Guinnessovy knihy rekordů jako kniha nejdéle setrvávající na seznamu bestsellerů. Počet překladů dnes dosáhl téměř čtyř desítek.

Jsem ještě stále celý nespokojen z toho, s jakým ohlasem se setkala moje kniha Stručná historie času. Po sedmatřicet týdnů byla uváděna na seznamu nejlépe prodávaných knih v The New York Times a osmadvacet týdnů na seznamu londýnských The Sunday Times (v Británii vyšla později než ve Spojených státech). Byla přeložena do dvaceti jazyků (či jedenadvaceti, počítáme-li američtinu za další jazyk). Něco takového mi ani ve snu nenapadlo, když jsem se v roce 1982 poprvé začal zabývat myšlenkou napsat p Jsem ještě stále celý nespokojen z toho, s jakým ohlasem se setkala moje kniha Stručná historie času. Po sedmatřicet týdnů byla uváděna na seznamu nejlépe prodávaných knih v The New York Times a osmadvacet týdnů na seznamu londýnských

The Sunday Times (v Británii vyšla později než ve Spojených státech). Byla přeložena do dvaceti jazyků (či jedenadvaceti, počítáme-li američtinu za další jazyk). Něco takového mi ani ve snu nenapadlo, když jsem se v roce 1982 poprvé začal zaobírat myšlenkou napsat populární knihu o vesmíru. Částečně mě k tomu motivovala snaha vydělat peníze na školné mé dcery (knih nakonec vyšla, až když byla dcera v posledním školním roce). Především mě však vedla touha vysvětlit, jak daleko jsme se dostali v našem porozumění vesmíru, že jsme možná velmi blízko nalezení úplné teorie vesmíru a všeho v něm.

Když už jsem věnoval čas a námahu na sepsání knihy, chtěl jsem, aby se dostala k co nejvíce lidem. Mé předchozí knihy vydalo nakladatelství Cambridge University Press a odvedlo opravdu dobrou práci. Nedomníval jsem se však, že by bylo tím nejvhodnějším nakladatelstvím pro knihu určenou co nejširší veřejnosti. Spojil jsem se tedy s literárním agentem Alem Zuckermanem, švagrem mého kolegy. Dal jsem mu rukopis první kapitoly a vysvětlil, že to má být kniha, která by se prodávala v knižních stáncích na letištích. Prohlásil, že něco takového nepřichází v úvahu. Podobnou knihu si koupí tak lidé z univerzity či studenti, těžko vítězně vtrhne na území ovládané populárními detektivy.

Hrubý rukopis knihy jsem Zuckermanovi dal v roce 1984. Poslal jej několika nakladatelstvím a pak mi doporučil přijmout nabídku renomovaného amerického nakladatelství Norton. Já jsem se však rozhodl pro Bantam Books, nakladatelství orientované spíše na populární trh. Bantam se sice nespécializuje na vědecké knihy, jejich knížky se však prodávají právě v těch stáncích na letištích. Hlavní zásluhu na tom, že mi rukopis přijali, měl pravděpodobně Peter Guzzardi, jeden z jejich redaktorů. Kniha ho zaujala a svou redakční práci na ní pak pojímal nesmírně

odpovědně - donutil mě přepsat ji tak, aby byla srozumitelná i laikům jako on. Pokaždé když jsem mu poslal přepracovanou kapitolu, mi předložil dlouhý seznam připomínek a otázek, které by zasluhovaly hlubší vysvětlení. Tehdy jsem si myslel, že úpravy knihy nikdy neskončí. Dávám mu však za pravdu, výsledkem bylo podstatně lepší dílo.

Krátce poté, co jsem se dohodl s Bantamem, jsem dostal zápal plic. Musil jsem se podrobit tracheostomii, což mě připravilo o hlas. Nějakou dobu jsem mohl komunikovat jenom zvedáním obočí, když někdo ukazoval na písmena. Za těchto podmínek by dokončení knihy nepřicházelo v úvahu, nebýt počítačového programu, který jsem dostal. Šlo to sice trochu pomalu, ale já také myslím pomalu, takže mi to docela vyhovovalo. Takto jsem podle Guzzardiho připomínek původní verzi zcela přepsal. S korekturami mi pomáhal Brian Whitt, jeden z mých studentů.

Svého času na mne velmi zapůsobil naučný televizní seriál Jacoba Bronowského Vzestup člověka. Uvědomil jsem si na něm, jakého úžasného úspěchu lidský rod dosáhl, když se za pouhých patnáct tisíc let vyvinul z primitivních divochů k současnému stavu. Chtěl jsem sdělit podobný pocit z našeho pokroku na cestě k úplnému porozumění zákonům, které vládnu vesmíru. Byl jsem přesvědčen, že téměř každého zajímá, jak vesmír funguje, většina lidí ovšem nemůže sledovat vysvětlení podané v matematických rovnicích. Já v podstatě rovnice také příliš nemiluji: jednak proto, že se mi špatně píší, a jednak proto, že pro ně nemám ten pravý intuitivní cit. Přemýšlím spíše v obrázcích a cílem mé knihy bylo popsat tyto mentální obrazy slovy pomocí analogií a několika diagramů. Doufal jsem, že se mi takto podaří podělit se s většinou čtenářů o vzrušení a nadšení, které pociťuji z pozoruhodného pokroku fyziky za posledních pětadvacet let.

I když se vyhneme matematice, některé myšlenky jsou příliš nezvyklé a těžko se vysvětlují. Stál jsem tedy před problémem: Pokusit se o to přesto i za cenu, že čtenáře poněkud zmatu, nebo se raději obtížím vyhnout? Některé skutečnosti, jako například to, že pozorovatelé pohybující se různými rychlostmi měří různé časové intervaly mezi touž dvojicí událostí, nebyly pro celkový obraz, který jsem chtěl nastínit, tak úplně podstatné. Zdálo se mi proto, že se stačí o těchto věcech jen zmínit a nezacházet do detailů. Některým velmi obtížným myšlenkám jsem se však vyhnout nemohl, byly příliš podstatné pro to, co jsem chtěl sdělit. Šlo především o dvě představy. Jednou byl tzv. součet přes historie, myšlenka, že vesmír nemá jen jednu určitou historii. Ve skutečnosti existuje obrovský soubor všech možných historií vesmíru a všechny jsou stejně reálné, ať už toto slovo znamená cokoli. Druhou takovou představou je tzv. imaginární čas, který musíme zavést, má-li mít součet přes historie dobrý matematický smysl. Dívám-li se zpět, mám pocit, že jsem měl vysvětlení těchto dvou obtížných pojmů, a hlavně představě imaginárního času, věnovat přece jen o něco více usilí. Právě s imaginárním časem mívají čtenáři mé knihy největší problémy. Není však skutečně nezbytné přesně rozumět, co imaginární čas znamená, stačí jen mít na mysli, že se liší od naší běžné představy času.

Když se blížil termín vydání knihy, rozhořčil se vědecký recenzent, který dostal předběžný výtisk a psal na ni posudek do Nature, že v ní našel spoustu chyb, včetně špatně umístěných a chybně označených fotografií a grafů. Volal do Bantamu, kde se také strhl poprask a kde vydání okamžitě pozastavili. Následovaly tři týdny intenzivních korektur a kontroly celé knihy a oznámené dubnové datum publikace se nakonec přece jen stihlo. V té době také Time uveřejnil můj profil. Zájem o knihu nakladatele naprosto

překvapil. V Americe vyšla celkem v sedmnácti vydáních a v Británii v deseti (dodnes je to už více než čtyřicet vázaných a dvacet paperbackových vydání ve Spojených státech a více jak čtyřicet vázaných vydání ve Velké Británii).

Proč ji tolik lidí kupuje? Pro mne je obtížné být objektivní, a proto jen okomentuji, co říkají jiní. Většina recenzí je sice pochvalných, ale nemyslím, že vystihují pravý důvod. Většinou postupují po následující linii. Stephen Hawking je nemocný, trpí Lou Gehringovou nemocí (jde-li o americkou recenzi) nebo onemocněním motorického neuronu (je-li to recenze britská). Je vázán na kolečkové křeslo a může pohybovat pouze x prsty (x mění svou hodnotu od jedné do tří, podle toho, který nepřesný člán ek o mně recenzent četl). Přesto napsal knihu o té největší ze všech otázek: odkud přicházíme a kam se ubíráme. Hawking nabízí odpověď, že vesmír nebyl ani stvořen, ani nebude zničen - prostě zde je. Aby mohl tuto myšlenku formulovat, zavádí Hawking představu imaginárního času, kterou já (recenzent) pořádně nechápu. Nicméně pokud má Hawking pravdu a skutečně nalezneme úplnou sjednocenou teorii, budeme znát Boží mysl. (Při korekturách jsem málem vyškrtl poslední větu v knize: "Nalezneme-li odpověď, b ude to znamenat konečné vítězství lidského ducha - protože pak pochopíme mysl Boha."* Pokud bych to byl opravdu udělal, prodej by možná klesl na polovinu.)

Vnímavější, alespoň z mého hlediska, byl článek v londýnském The Independentu, který říkal, že i seriózní vědecká kniha, jakou je Stručná historie času, se může stát kultovní knihou. Mou ženu to zděsilo, zato mně spíše lichotilo, že je má kniha přirovnávána k publikacím jako Zen a umění údržby motocyklu. Stejně jako autoři Zenu i já věřím o svém díle, že dává lidem pocit účasti při hledání odpovědí na velké intelektuální a filozofické otázky.

Není pochyb o tom, že k popularitě mé knihy přispěl lidský zájem o to, jak jsem dokázal pracovat v teoretické fyzice přes své tělesné postižení. Jenže ti, kteří si knihu koupí jen z tohoto pochopitelného lidského zájmu, mohou být zklamáni, protože o mých zdravotních potížích je zde jen několik drobných po-známek. Knihu jsem psal jako historii vesmíru, ne historii mé osoby. To nezabránilo nařčením, že nakladatelství hanebně zneužilo mé nemoci a já že jsem se na tom podílel, když jsem svolil, aby se na přebalu objevila moje fotografie. Pravda je taková, že mě smlouva neopravňovala ke kontrole provedení přebalu. Přesto jsem Bantam přesvědčil, aby pro britské vydání užili lepší fotografie, než byla stará a nevydařená fotografie na obálce vydání amerického.

Také se říkalo, že lidé knihu kupují, protože četli její recenze a protože je na seznamu nejlépe prodávaných knih, že ji však nečtou. Že ji mají jen v knihovně, aby demonstrovali své intelektuální zájmy, nepokoušejí se ji však pochopit. V řadě případů tomu tak jistě bylo, nemyslím si však, že by k tomu docházelo častěji než u jiných vážených knih včetně Shakespeara a bible. Na druhé straně jsem si jist, že alespoň někteří lidé ji číst museli: každý den totiž dostávám hromadu dopisů od čtenářů a mnohé obsahují detailní otázky či komentáře, které ukazují, že ji autoři dopisů četli, třebaže všemu neporozuměli. Na ulici mě zastavují neznámí lidé a sdělují mi, jak se jim kniha líbila. Jsem samozřejmě mnohem snáze identifikovatelný a výjimečnější, i když ne významnější než jiní autoři. Ale těch blahopřání se mi dostává (k velké nelibosti mého devítiletého syna) neobyčejně často. Zdá se tedy, že alespoň značná část těch, kdo si knihu kupuje, ji také čte.

Lidé se mě často také ptají, co připravuji dalšího. Těžko mohu napsat jakési pokračování Stručné historie času. Jak

bych je nazval? Delší historie času? Syn času? Můj agent navrhoval, abych svolil k natočení filmu o svém životě. Ale mně i mé rodině by vzalo všechnu sebeúctu, kdybychom se nechali představovat herci. Stejně by tomu bylo, i když v poněkud menší míře, kdybychom někomu dovolili historii mého života sepsat a pomáhali jsme mu s tím. Nemohu samozřejmě nikomu zakázat, aby o mně psal nez ávisle, pokud to nepředstavuje nactiutrání, snažím se však tomu bránit tvrzením, že napíše autobiografii. Možná že k tomu skutečně někdy dojde. Nijak s tím ovšem nespěchám, je spousta vědeckých otázek, které mají přednost.

6. Můj pohled na svět

Předneseno na Caius College v květnu 1992.

Tento esej se nezabývá tím, zda věřím, nebo nevěřím v Boha. Zamýšlím se v něm, jak a nakolik se dá porozumět vesmíru: jaký je statut a smysl teorie velkého sjednocení, "teorie všeho".

Zkoumání této otázky naráží na vážný problém. Lidé, kteří by si ji měli klást a rozebírat, filozofové, nemají zpravidla dostatečné matematické vzdělání na to, aby mohli držet krok s vývojem teoretické fyziky. Pravda, existuje jejich odrůda zvaná filozofové vědy, která by měla být vybavená lépe. Jenže ji tvoří ze značné části neúspěšní vědci, kteří shledávali příliš těžkým vytvářet nové teorie, a tak místo toho počali psát o filozofii fyziky. Stále se vracejí k rozborům teorií z počátku tohoto s toletí, jako je relativita a kvantová mechanika: nemají totiž kontakt s předními liniemi současné vědy.

Možná jsem byl k filozofům až příliš tvrdý, ale ani oni nebyli příliš laskaví ke mně. Můj přístup popisovali jako naivní a prostoduchý. Postupně jsem dostával nálepky jako nominalista, pozitivista či realista, lepili na mne další i další "-ismy". Takový postup lze nazvat technikou vyvracení pomocí degradace: pokud se podaří opatřit můj názor

nálepkou, není třeba se namáhat s vysvětlováním, co je na něm chybného. Každý přece zná fatální chyby, jichž se všechny tyto "-ismy" dopouštějí.

Lidé, kteří skutečně přispívají k pokroku teoretické fyziky, však nemyslí v kategoriích, které pro ně filozofové a historikové vědy následně vynašli. Jsem si jist, že ani Einstein, Heisenberg či Dirac se netrápili tím, jsou-li realisty, nebo instrumentalisty. Zajímalo je jen to, že existující teorie do sebe nezapadaly. V teoretické fyzice bylo hledání logické bezrozpornosti vždy důležitějším ukazatelem cesty vpřed než experimentální výsledky. Mnohé jinak elegantní a krásné teorie byly sice odmítnuty proto, že nesouhlasily s pozorováním, neznám však žádnou velkou teorii, která by byla vytvořena jen jako přímé zobecnění experimentu. Teorie jako výsledek snahy o vytvoření elegantního a nerozporného matematického modelu vždy přichází první. Z ní pak vyplynou předpovědi, které mohou být ověřovány pokusem. Pokud pozorování s těmito předpověďmi souhlasí, správnost teorie to nedokazuje; teorie však přežívá, na jejím základě vznikají předpovědi další, které jsou opět konfrontovány s pozorováním. Jestliže pozorování s předpověďmi nesouhlasí, teorie se opustí.

Lépe řečeno - takhle by to fungovat mělo. V praxi se ovšem lidé jen velmi zdráhavě vzdávají něčeho, čemu věnovali tolik času a úsilí, a nejinak je tomu i s teoretickými fyziky. Nejdříve se proto snaží zpochybnit přesnost pozorování. Když se to nepodaří, pokoušejí se zachránit teorii ad hoc předpoklady. Tím se ale chrám teorie postupně změní v ošklivou bortící se stavbu. A pak najednou někdo navrhne teorii novou, která všechny ty nepohodlné pozorovací údaje vysvětluje elegantním a přirozeným způsobem. Příkladem je Michelsonův-Morleyho pokus z roku 1887, z něhož vyplývalo, že rychlost světla je vždy stejná bez ohledu na pohyb zdroje či pozorovatele. To se zdálo absurdní. Ten,

kdo se pohybuje proti světlu, by přece měl měřit jinou jeho rychlost než ten, kdo se pohybuje ve stejném směru se světlem. A přesto pokus ukazoval, že oba pozorovatelé měří přesně stejnou rychlost.

Příštích osmnáct let se snažili lidé jako Hendrik Lorentz a George Fitzgerald smířit tato pozorování s přijatými představami o prostoru a času. Zavedli různé ad hoc postuláty, například předpoklad, že se tělesa zkracují, když se pohybují velikými rychlostmi. To však učinilo celou konstrukci fyziky těžkopádnou a ošklivou. A pak Einstein navrhl v roce 1905 mnohem přitažlivější hledisko: podle něho čas neměl být pokládán za veličinu odlišnou od prostoru a nezávislou na něm, nýbrž za veličinu s ním spojenou v čtyřrozměrný objekt zvaný prostoročas. K této představě ho nepřivedl bezprostředně experiment, ale snaha skloubit dvě části teorie v bezrozporný celek. Těmito dvěma částmi byly zákony, jimiž se řídí elektrické a magnetické pole, a zákony, které ovládají pohyb těles.

Nedomnívám se, že by si byl Einstein nebo kdokoli jiný tehdy v roce 1905 plně uvědomoval, jak je jeho nová teorie, teorie relativity, která způsobila skutečnou revoluci v našich představách o prostoru a čase, jednoduchá a elegantní.

Tento příklad dobře ilustruje, jak je obtížné být realistou ve filozofii vědy, protože to, co nazýváme realitou, je závislé na teorii, kterou přijímáme. Jsem přesvědčen, že se Lorentz a Fitz-gerald pokládali za realisty, když vykládali pokusy s měřením rychlosti světla v rámci Newtonových představ o absolutním prostoru a absolutním čase. Tato představa prostoru a času se zdála odpovídat běžné zkušenosti a realitě. A přece zastávají dnes ti, kdo jsou obeznámeni s teorií relativity (což je stále znepokojivě malá menšina), značně jiný názor. Měli bychom lidi seznamovat s

moderním chápáním tak základních pojmů, jakými jsou prostor a čas.

Pokud závisí představa reality na teorii, kterou uznáváme, jak můžeme učinit realitu základem naší filozofie? Já bych se pokládal za realistu v tom smyslu, že předpokládám existenci vesmíru kolem nás, který čeká na to, aby byl zkoumán a pochopen. Solipsistické stanovisko, podle něhož je všechno jen výtvořem naší představivosti, pokládám za maření času. Nikdo v praxi podle něho nepostupuje. Bez teorie však nerozlišíme, co je na vesmíru reálné.

Přijímám proto hledisko, často označované jako prostoduché či naivní, že fyzikální teorie je matematickým modelem, jehož užíváme k popisu výsledků pozorování. Teorie je dobrou teorií, když je elegantním modelem, popisuje širokou třídu pozorování a předpovídá pozorování nová. Nemá smysl klást otázku, zda odpovídá realitě jinak než v tomto smyslu, protože nevíme, co je to realita nezávisle na teorii, s níž pracujeme.

Tento pohled na postavení fyzikálních teorií ze mne může činit pozitivistu nebo instrumentalistu - jak jsem už uvedl, dostalo se mi obou přízvisek. Člověk, který mě pozitivistou nazval, neopomněl připojit, že pozitivismus je, jak je všeobecně známo, zastaralý. Opět příklad vyvracení degradací. Je možné, že pozitivismus byl svého času intelektuální módou a že z ní skutečně vyšel. Já však vidím pozitivistickou pozici chápanou tak, jak jsem ji popsal, jako jediné přijatelnou pro toho, kdo hledá nové zákony, nové způsoby, jak popsat vesmír. Je k ničemu odvolávat se na realitu, když nemáme pojetí reality nezávislé na modelu.

Podle mého názoru je právě víra, byť nevyslovená, v realitu nezávislou na modelu důvodem obtíží, které mají filozofové vědy s kvantovou teorií a principem neurčitosti. Existuje slavný myšlenkový pokus zvaný Schrödingerova kočka. Do zapečetěné schránky je umístěna kočka a také puška, která

na kočku míří a vystřelí, když se rozpadne radioaktivní jádro. Pravděpodobnost, že to nastane [podle kvantové teorie nelze předpovědět tento jev jinak než pravděpodobnostně], je padesát procent. (Dnes by si ni kdo nedovolil navrhnout tento pokus ani jako myšlenkový, ale ve Schrödingerových časech nebyla ještě ochrana zvířat na dnešní úrovni.)

Když se schránka otevře, najdeme kočku buď živou, nebo mrtvou. Před otevřením schránky je však kvantový stav kočky směsí stavu mrtvé kočky se stavem, v němž je kočka živá. To mnozí filozofové vědy pokládají za nepřijatelné. Kočka přece nemůže být napůl zastřelená a napůl nezastřelená, říkají, tak jako žena nemůže být těhotná jen napůl. Jejich námitky však pramení z toho, že mlčky užívají klasickou představu reality, podle níž má objekt určitou jednoznačnou historii. Ale základní myšlenkou kvantové mechaniky je, že realitu je třeba nazírat zcela jinak. Objekt nemá jednu určitou historii, ale všechny možné historie. Ve většině případů se pravděpodobnost určité partikulární historie vyruší s pravděpodobností odpovídající málo odlišné historii; v některých případech se však pravděpodobnosti sousedních historií navzájem zesilují. Je to právě jedna z takovýchto zesílených historií, které vnímáme jako historii objektu.

V případě Schrödingerovy kočky jsou to dvě historie, které jsou zesíleny. V jedné je kočka zastřelená, v druhé živá. Podle kvantové teorie mohou obě možnosti existovat paralelně. Někteří filozofové se však cítí touto situací zaskočení právě proto, že mlčky předpokládají, že kočka může mít pouze historii jedinou.

Povaha času je příkladem jiné oblasti, kde naše teorie fyziky určuje naši představu reality. Kdysi se pokládalo za samozřejmé, že čas plyne věčně, nijak neovlivňován tím, co se děje. Teorie relativity propojila čas s prostorem a řekla,

že mohou být krouceny a vrásněny vlivem hmoty a energie ve vesmíru. Naše představa času se tedy zásadně změnila: z něčeho, co je na vesmíru nezávislé, se stalo něco, co je jím tvarováno. Tím se stalo přijatelným, že čas nemusí být definován před nějakým okamžikem ; postupujeme-li zpět v čase, můžeme narazit na nepřekročitelnou bariéru, singularitu, za níž se nedostaneme. Pokud by tomu tak bylo, nemělo by smysl se tázat, kdo stvořil či co zapříčinilo velký třesk. Mluvit o příčině či stvoření mlčky předpokládá, že před singularitou velkého třesku existoval čas. Víme už celých pětadvacet let, že z Einsteinovy obecné relativity plyne, že před patnácti miliardami let čas musel mít počátek v této singularitě. Filozofové však tuto myšlenku stále nechápou, obdobně jako je doposud znepokojují základy kvantové mechaniky, položené před pětadesáti lety. Neuvědomují si, že frontová linie fyziky se posunula jinam.

Ještě horší je to s matematickou představou imaginárního času, v rámci níž jsme spolu Jimem Hartlem předložili model, podle kterého vesmír časový počátek a ani konec přece jen mít nemusí. Jeden filozof vědy mě divoce napadl, když jsem hovořil o imaginárním čase. Jak prý "může mít matematický trik, jakým je imaginární čas, něco společného s reálným vesmírem"? Domnívám se, že zaměňoval matematické termíny "reálná" a "imaginární čísla" s užíváním slov "reálný" a "imaginární" v běžném jazyce. Tento příklad však opět ilustruje mou myšlenku: Jak můžeme vědět, co je reálné nezávisle na teorii či modelu, pomocí nichž to interpretujeme?

Užil jsem příkladů z teorie relativity a kvantové mechaniky k tomu, abych ukázal, s jakými problémy se setkáváme, chceme-li pochopit vesmír. Ve skutečnosti tolik nezáleží na tom, zda znáte relativitu či kvantovou mechaniku, dokonce ani na tom, zda jsou obě teorie správné. To, co jsem doufal

ukázat, je, že jediným způsobem, jak rozumět vesmíru, alespoň pro teoretického fyzika, je určitý druh pozitivistického přístupu, v němž chápeme teorii jako model. Já chovám silnou naději, že vnitřně bezrozporný model, který by popisoval vše ve vesmíru, se najít podaří. A pokud to dokážeme, bude to skutečný triumf lidstva.

7. Konec teoretické fyziky na dohled?

29. dubna 1980 jsem byl inaugurován jako lucasiánský profesor matematiky [tradiční označení profesorského místa, které kdysi držel i Isaac Newton] v Cambridgi. Tento esej tvoří má inaugurační přednáška, tehdy čtená jedním z mých studentů.

Na těchto stránkách bych se chtěl zamyslet nad možností, zda by mohla teoretická fyzika dosáhnout svého konečného cíle v nepřiliš vzdálené budoucnosti, řekněme do konce století. Tím míním vytvoření úplné, bezrozporné a jednotné teorie fyzikálních interakcí, která popíše všechna možná pozorování. S podobnými předpověďmi musíme být ovšem velmi opatrní. Na prahu konečné syntézy jsme domněle stáli už nejméně dvakrát.

Na počátku našeho století se věřilo, že všemu lze porozumět prostřednictvím mechaniky spojených prostředí. Stačí změřit určitý počet elastických koeficientů, vazkost, vodivost atd., a máme vše, co potřebujeme k popisu světa. [Snaha vybudovat model elektromagnetického pole jako stavu napjatosti hypotetické látky, éteru, který vyplňuje celý prostor, nebyla sice zcela úspěšná, existovaly však slibné náznaky, že takový model půjde vytvořit.] Tato naděje se však zhroutila s objevem atomové struktury a kvantové mechaniky.

Koncem dvacátých let řekl Max Born skupině vědců, kteří navštívili Göttingen, že "fyzika, jak ji známe, skončí za šest měsíců". Bylo to krátce poté, co Paul Dirac, můj předchůdce na místě lucasiánského profesora, sestavil

rovnici, později po něm nazvanou, již se řídí chování elektronu. Předpokládalo se, že podobná rovnice popíše i proton, a to byla jediná další v té době známá "elementární" částice.

Pak však byl objeven neutron a jaderné síly a naděje na brzké dovršení vývoje fyziky opět pohasly. Dnes víme, že ani proton, ani neutron nejsou těmi skutečně nejelementárnějšími částicemi, nýbrž že jsou tvořeny částicemi ještě menšími. Nicméně od té doby jsme značně pokročili, a jak ještě uvedu, existují dnes důvody pro opatrný optimismus, že by se někteří ze čtenářů těchto stránek mohli úplně teorie ještě dožít.

I když ovšem nalezneme úplnou jednotnou teorii, budeme schopni dělat detailní předpovědi jen v těch nejjednodušších situacích. Dnes známe fyzikální zákony, jimiž se řídí všechny jevy každodenního života. Jak podotkl Dirac, jeho rovnice "je základem většiny fyziky a celé chemie". Přesně ji však umíme vyřešit jen pro nejjednodušší systém, jakým je vodíkový atom, sestávající z jednoho protonu a jednoho elektronu. U komplikovanějších atomů s více elektrony, a tím spíše u molekul se musíme utíkat k přibližným výpočtům a intuitivním odhadům problematické hodnoty. U makroskopických systémů sestávajících přibližně z 10^{23} částic je třeba užívat statistických metod; naděje nalézt v tomto případě přesné řešení základních rovnic se musíme zcela vzdát. I když v principu známe fundamentální rovnice, kterými se řídí celá biologie, nezdaří se nám redukovat studium lidského chování na odvětví aplikované matematiky.

Co rozumíme úplnou a sjednocenou teorií fyziky? Naše pokusy modelovat fyzikální realitu obvykle sestávají ze dvou částí:

* 1. Ze soustavy lokálních zákonů, jimiž se řídí různé fyzikální veličiny. Ty jsou zpravidla formulovány pomocí diferenciálních rovnic.

* 2. Ze soustavy okrajových podmínek, které popisují stav nějaké oblasti vesmíru v určitém čase spolu s vlivy, jež do ní pronikají ze zbytku vesmíru.

Mnoho vědců se domnívá, že fyzika by dosáhla svého konečného cíle, pokud by se našla úplná soustava lokálních fyzikálních zákonů. Otázku počátečních podmínek vesmíru kladou do oblasti metafyziky či náboženství. Takový přístup se do jisté míry podobná postoji těch, kdo v minulých stoletích bránili vědeckému bádání tvrzením, že všechny přírodní jevy jsou dílem Božím, a proto nemají být zkoumány. Já se domnívám, že počáteční podmínky vesmíru jsou legitimním objektem vědeckého výzkumu právě tak jako lokální fyzikální zákony. Dokud nebudeme umět říci více, než "věci jsou takové, jaké jsou, protože byly takové, jaké byly", nebudeme mít úplnou teorii.

Otázka jednoznačnosti počátečních podmínek je úzce spojena s otázkou libovůle v lokálních zákonech: teorii bychom nepokládali za úplnou, pokud by obsahovala řadu volitelných parametrů, například hmotnosti částic či vazbové konstanty, jimž lze přiřadit libovolné hodnoty. Sledujeme-li však číselné hodnoty těchto veličin ve světě kolem nás, zjišťujeme, že mezi nimi existují jemně vyvážené vztahy. Kdyby se například rozdíl mezi hmotnostmi neutronu a protonu nerovnal přibližně dvojnásobku hmotnosti elektronu, nemohlo by existovat několik stovek stabilních nuklidů, které tvoří prvky a jsou základem chemie a biologie. Obdobně kdyby gravitační hmotnost protonu byla podstatně jiná, neexistovaly by hvězdy, ve kterých se tyto nuklidy vytvářejí. A pokud by počáteční rychlost rozpínání vesmíru byla jen o málo menší nebo větší, vesmír by se buď

znovu zhroutil dříve, než se tyto hvězdy stačily zformovat, nebo by se naopak rozpínal tak prudce, že by se gravitační kondenzací nemohly vytvořit hvězdy.

Někteří badatelé jdou tak daleko, že omezení na počáteční podmínky a parametry povýšili na princip, tzv. antropický princip. Tento princip bychom mohli vyjádřit větou: "Věci jsou takové, jaké jsou, protože jsme zde my." Podle jedné verze tohoto principu existuje obrovské množství různých oddělených vesmírů s různými hodnotami fyzikálních parametrů a různými počátečními podmínkami. Ve velké většině z nich se nevytvoří podmínky nutné ke vzniku komplikovaných struktur, které jsou potřebné pro inteligentní život. Jen v malé části z nich, v těch, v nichž jsou hodnoty parametrů a počátečních podmínek stejné jako v našem vesmíru, mohly vzniknout inteligentní bytosti, jež dovedou klást otázku: "Proč je vesmír takový, jaký pozorujeme?" Odpověď je pak samozřejmě nasnadě: kdyby byl jiný, nebyl by v něm nikdo, kdo by podobné otázky mohl klást.

Antropický princip podává určité vysvětlení řady pozoruhodných číselných vztahů mezi hodnotami různých pozorovaných fyzikálních parametrů. Není to vysvětlení zcela uspokojivé; neubráníme se pocitu, že existuje nějaký výklad hlubší. Vysvětlení také plně nedostačuje pro výklad celého vesmíru. Naše sluneční soustava je jistě nezbytnou podmínkou naší existence, právě tak jako starší generace blízkých hvězd, kde se vytvořily nukleární syntézou těžké prvky. Možná byla nezbytná existence celé naší Galaxie. Nezdá se však, že by musely existovat jakékoli jiné galaxie, a už vůbec ne že by jich musely být biliony, pravidelně rozložené v pozorovaném okolním vesmíru. Je těžké věřit, že tato homogenita ve velkých měřítkách je určena něčím tak bezvýznamným, jako je existence komplikované molekulární struktury na malé planetě, která obíhá kolem

velmi průměrné hvězdy na periferii velmi typické spirální galaxie.

Nechceme-li se odvolávat na antropický princip, potřebujeme nějakou sjednocující teorii pro počáteční podmínky a hodnoty různých fyzikálních parametrů. Je ovšem velmi těžké vymyslet úplnou teorii všeho takřkajíc na jeden pokus (jsou ovšem tací, kteří to dokážou; dostávám dvě až tři sjednocené teorie každý týden poštou). Místo toho nejdříve hledáme teorie částečné, popisující situace, v nichž lze některé interakce zanedbat, nebo je popsat zjednodušeným způsobem, přibližně. Hmotný obsah vesmíru nejdříve rozdělíme do dvou kategorií, na "látku" - částice jako kvarky, elektrony, miony a další - a na "interakce", jako je gravitace, elektromagnetismus apod. Částice tvořící látku jsou popsány pomocí pole s polovičním spinem, takže se řídí Pauliho vylučovacím principem, který zaručuje, že v určitém stavu nemůže být více než jedna částice stejného druhu. Právě díky tomu mohou existovat pevné látky; vylučovací princip zabraňuje tomu, aby se tělesa nezhroutila do bodu nebo nerozprskla do nekonečna. Látkové částice se dále dělí do dvou skupin. Jednu tvoří hadrony, složené z kvarků, do druhé patří částice zbývající, jimž říkáme leptony.

Interakce se fenomenologicky dělí do čtyř kategorií. V sestupném pořadí podle jejich síly jde o:

- * 1. silné jaderné síly, které působí jenom mezi hadrony;
- * 2. elektromagnetismus, působící na nabitě hadrony i leptony;
- * 3. slabé jaderné síly, které působí mezi všemi hadrony i leptony;
- * 4. gravitaci, která ovlivňuje vše.

Interakce popisujeme pomocí polí s celočíselným spinem - Pauliho princip pro ně tedy neplatí. V důsledku toho se mnoho částic může vyskytovat v témž stavu. Gravitace a

elektromagnetismus jsou navíc silami dlouhého dosahu, takže pole složená z velkého počtu částic se sčítají dohromady a vytvářejí pole, jež má účinky měřitelné na makroskopické škále. Proto také jako první vznikly teorie právě těchto polí: gravitačního, o což se zasloužil Isaac Newton v sedmnáctém století, a elektromagnetického, což učinil ve století devatenáctém James Maxwell. Tyto dvě teorie byly však navzájem neslučitelné, protože Newtonova teorie zůstávala ve stejném tvaru, i pokud jsme celému systému udělili určitou stálou rychlost, zatímco Maxwellova teorie definovala privilegovanou rychlost - rychlost světla. Nakonec se ukázalo, že je to Newtonova teorie gravitace, kterou je třeba změnit tak, aby se stala slučitelnou s Maxwellovou teorií. To se podařilo až Einsteinově obecné teorii relativity v roce 1915.

Obecněrelativistickou teorii gravitace a Maxwellovu teorii elektrodynamiky nazýváme klasickými teoriemi. To znamená, že v nich vystupují spojitě proměnné veličiny, které mohou být principiálně změřeny s libovolnou přesností. Když se však vědci snažili sestavit model atomů na základě těchto teorií, narazili na problém: zjistilo se, že atom sestává z malého kladně nabitého jádra a oblaku záporně nabitých elektronů. Jádro elektrony přitahuje obdobně, jako Slunce přitahuje Zemi, takže se zdálo přirozené předpokládat, že elektrony krouží kolem jádra podobně jako Země kolem Slunce. Klasická teorie však předpovídá, že elektrony na kruhové dráze vyzařují elektromagnetické vlny. Tyto vlny by odnášely energii, což by způsobilo zhroucení atomu.

Tento problém odstranil objev, který je bezpochyby největším úspěchem teoretické fyziky tohoto století - objev kvantové mechaniky. Základním předpokladem této teorie je Heisenbergův princip neurčitosti, podle něhož jisté páry veličin, jako jsou například poloha a hybnost částice,

nemohou být současně určeny s libovolnou přesností. V případě atomu to znamená, že elektron ve svém nejnižším energetickém stavu nemůže být v klidu v jádře, protože by pak byla přesně určena jak jeho poloha (je v jádře), tak jeho rychlost (je nulová). Obě veličiny musí být "rozmazány", to znamená, že elektron nemá v žádném okamžiku určitou polohu a rychlost, jak by tomu bylo, kdyby kroužil po určité orbitě. Můžeme jen říci, s jakou pravděpodobností jej nalezneme v jednotlivých bodech okolí jádra a s jakou pravděpodobností zjistíme tu nebo onu hodnotu jeho rychlosti. V takovémto stavu nemůže elektron vyzařovat energii prostřednictvím elektromagnetických vln prostě proto, že neexistuje nižší energetický stav, do něhož by mohl přejít.

V dvacátých a třicátých letech se kvantové teorie podařilo užít pro systémy jako atomy a molekuly, které mají jenom omezený počet stupňů volnosti [počet nezávislých souřadnic, které určí polohu všech bodů], a to s velkým úspěchem. Když se ji však vědci pokoušeli aplikovat na elektromagnetické pole, které má stupňů volnosti nekonečně mnoho, zhruba řečeno dva na každý prostoročasový bod, vynořily se obtíže. Tyto stupně volnosti se dají chápat jako oscilátory, z nichž každý má určitou polohu a hybnost. Oscilátory však nemohou být v klidu, protože by pak měly současně přesně určenou jak polohu, tak hybnost. Každý oscilátor musí mít určitou minimální hodnotu energie, odpovídající tzv. vakuovým fluktuacím. Ale energie odpovídající nekonečnému počtu stupňů volnosti by způsobila, že pozorovaná hmotnost a náboj elektronu by byly nekonečné.

K překonání těchto obtíží byla koncem čtyřicátých let rozvinuta procedura zvaná renormalizace. Tento postup, v němž je určitá libovůle, spočívá v odečtení určitých nekonečných veličin tak, aby zůstal zachován konečný

zbytek. V případě elektrodynamiky je třeba provést taková odečtení dvě, jedno pro hmotnost, druhé pro náboj elektronu. Renormalizační procedura nebyla nikdy položena na opravdu pevné matematické základy, ale v praxi se osvědčovala vcelku dobře. Jejím velkým úspěchem byla předpověď malého posunutí polohy ně-kterých spektrálních čar vodíku, jinak řečeno předpověď malé změny frekvence vyzařovaného světla, čemuž se říká Lambův posun. Z hlediska pokusů o vytvoření konečné úplné teorie však nejde o postup příliš uspokojivý, protože z něho neplyne, jak budou zmíněné konečné zbytky po odečtení nekonečných členů velké. Tak bychom se museli vrátit opět k antropickému principu pro výklad skutečné velikosti hmotnosti a náboje elektronu.

Během padesátých a šedesátých let se obecně věřilo, že slabé a silné jaderné síly nelze renormalizovat; bylo by totiž třeba nekonečně mnoho takových odečtení, aby byl výsledný zbytek konečný. Pak by zůstalo nekonečně mnoho konečných zbytků, jejichž hodnota by nebyla určena teorií. Teorie by tedy neměla žádnou předpovědovací hodnotu, protože bychom nikdy nemohli změřit celý nekonečný počet těchto parametrů a tak jim dát určité hodnoty. V roce 1971 však Gerard 't Hooft ukázal, že sjednocený model elektromagnetické a slabé interakce, navržený už dříve Abdusem Salamem a Stevenem Weinbergem, je renormalizovatelný jen za pomoci konečného počtu nekonečných odečtů.

V Salamově-Weinbergově teorii doprovázejí foton, částici se spinem rovným 1, který je nositelem elektromagnetické interakce, další tři partneři se spinem 1; dostali označení W^+ , W^- a Z^0 . Teorie předpovídá, že při hodně vysokých energiích by se tyto částice měly chovat zcela obdobně. Avšak při nízkých energiích zapůsobí mechanismus zvaný spontánní narušení symetrie, a to takovým způsobem, že si

foton uchová nulovou klidovou hmotnost, zatímco částice W^+ , W^- a Z^0 nabudou klidové hmotnosti značně vysoké. Předpovědi teorie při nízkých energiích podivuhodně souhlasily s experimentem a to vedlo Švédskou akademii věd k tomu, že v roce 1979 udělila Salamovi, Weinbergovi a Sheldonu Glashowovi Nobelovu cenu. (Glashow vytvořil obdobnou teorii, sjednocující elektromagnetismus a slabou interakci.) Sám Glashow k udělení Nobelovy ceny podotkl, že nobelovský komitét vsadil do loterie, protože dosud nemáme tak výkonné urychlovače, aby dovolovaly ověření tohoto sjednocení, tj. aby se v nich došlo do energetického režimu, kde se sjednocení elektromagnetismu, neseného fotonem, a slabé interakce, nesené částicemi W^+ , W^- a Z^0 , skutečně projeví. Dostatečně výkonné urychlovače budou však k dispozici v blízké době a většina fyziků věří, že se předpovědi Salamovy-Weinbergovy teorie potvrdí.*

Úspěch Salamovy-Weinbergovy teorie podnítl hledání podobně renormalizovatelné teorie silné interakce. Záhy se zjistilo, že proton a ostatní hadrony, například mezon pí, nemohou být skutečně elementárními částicemi, nýbrž vázanými stavy "elementárnějších" částic zvaných kvarky. Tyto částice mají podivuhodnou vlastnost: ačkoliv se uvnitř hadronu pohybují prakticky volně, zdá se být nemožné vydělit samostatný kvark. Vždy vystupují ve skupinách po třech (tak je tomu v protonu a neutronu), nebo v párech kvark-antikvark (jako je tomu v případě mezonu pí). K vysvětlení této skutečnosti byla kvarkům přiřazena další charakteristika - barva. Je třeba zdůraznit, že to nemá nic společného s normálním vnímáním barev. Kvark je příliš malý na to, aby mohl být pozorován ve viditelném světle; jde pouze o příhodný název. Předpokládá se totiž, že kvarky vystupují celkem ve třech barvách, červené, zelené a modré, avšak každý izolovaný vázaný stav, jakým je hadron, musí být bezbarvý. Tedy může být - jako je tomu třeba u protonu

- kombinací červené, zelené a modré, "barev", které se v optické analogii kombinují v bílou, nebo směsí červené a antičervené, zelené a antizelené, modré a antimodré, jako je tomu u mezonu pí.

Za nositele silné interakce mezi kvarky se pokládají částice se spinem 1 - zvané gluony -, obdoba částic přenášejících slabou interakci. I gluony mají barvu a spolu s kvarky se řídí renormalizovatelnou teorií, které se říká kvantová chromodynamika. Název je odvozen z řeckého chromos (barva) a pro teorii se běžně užívá zkratky QCD, podle anglické podoby názvu. Důsledkem renormalizační procedury je, že vazbová konstanta vystupující v teorii závisí na energii, při níž se měří, a při hodně vysokých energiích klesá k nule. Takové vlastnosti se říká asymptotická volnost. Jejím důsledkem je, že se kvarky uvnitř hadronu chovají téměř jako volné částice při vysokoenergetických srážkách, a proto lze k výpočtům užít poruchové teorie, která je dobře prostudovaná a dává dobré výsledky v kvantové elektrodynamice. Předpovědi poruchové teorie jsou v dobré kvalitativní shodě s pozorováním, zatím však není možné tvrdit, že by tím byla teorie experimentálně prověřena. Při nízkých energiích vazbová konstanta velice vzroste a poruchová teorie je nepoužitelná. Předpokládá se, že toto "infračervené otroctví" vysvětlí, proč jsou kvarky vždy uzavřeny v bezbarvých vázaných stavech, ale zatím se to nikomu nepodařilo přesvědčivě ukázat.

Když se našla renormalizovatelná teorie pro silnou interakci a jiná pro slabou a elektromagnetickou interakci, bylo přirozené hledat způsob, jak obě teorie sloučit do jedné. Takovým teoriím byl dán značně nadnesený název "teorie velkého sjednocení" nebo zkráceně GUT (grand unified theories, což je mezi fyziky běžně užívaná zkratka). Je to dosti zavádějící, protože tyto teorie nejsou ani tak

docela velké (neobsahují gravitaci), ani plně sjednocené, ani úplné, protože obsahují mnoho neurčených renormalizačních parametrů. Nicméně mohou představovat významný krok směrem k úplné sjednocené teorii. Jejich základní idejí je, že se efektivní vazbová konstanta silné interakce, která je velká při nízkých energiích, v důsledku asymptotické volnosti postupně zmenšuje při vysokých energiích. Na druhé straně je vazbová konstanta Salamovy-Weinbergovy teorie malá při malých energiích a stoupá se vzrůstem energie, protože tato teorie vlastnost asymptotické volnosti nemá. Pokud extrapolujeme rychlost růstu, případně zmenšování obou vazbových konstant, zjistíme, že by se měly navzájem rovnat při energiích okolo 10^{15} GeV. (GeV, gigaelektronvolt, znamená miliardu elektronvoltů. Je to zhruba energie, která by se uvolnila, kdyby se vodíkový atom zcela přeměnil v energii. Pro srovnání - energie uvolňovaná při chemických reakcích, například při hoření, se rovná řádově jednomu elektronvltu na atom. Elektronvolt je definován jako energie, kterou získá elektron při průchodu potenciálovým rozdílem jednoho voltu.) Podle teorií velkého sjednocení jsou nad touto energií silná a elektroslabá interakce sjednoceny, tj. jsou popsány stejným způsobem. Při nižších energiích však nastává spontánní narušení symetrie a jednota obou typů interakcí se rozpadá.

Energie 10^{15} GeV je však o mnoho řádů nad hranicí možností jakéhokoli laboratorního zařízení. Současná generace urychlovačů částic dovoluje dosahovat energie okolo 10 GeV a generace příští zvýší tuto hranici možná na 100 GeV. Bude to hodnota dostatečná k vyšetřování oblasti energií, při nichž se podle Salamovy-Weinbergovy teorie sjednocuje elektromagnetická a slabá interakce, avšak mnohonásobně nižší než energie, při níž by se s nimi měla sjednotit i silná interakce. To však neznamena, že by teorie

velkého sjednocení nedávaly nové předpovědi při nízkých energiích, které lze laboratorně ověřit. Teorie například předpovídají, že proton by neměl být zcela stabilní částicí, že by se měl rozpadat, ovšem s obrovským poločasem rozpadu 10³¹ let. Na základě dnešních experimentů se za spodní hranici pro dobu života protonu považuje 10³⁰ let, což uvedené předpovědi neodporuje; tuto experimentální hodnotu bude možné dále zpřesnit. [Tento poločas rozpadu mnohonásobně převyšuje věk vesmíru; ovšem poločas rozpadu znamená dobu, za niž by se rozpadla právě polovina daného souboru protonů. Některé se mohou rozpadnout mnohem dříve, jiné mnohem později. Experimentálně to tedy znamená, že i při krátkodobém pozorování velikého množství protonů nalezneme nepatrné, ale dnešními prostředky měřitelné množství produktů rozpadu.]

Jinou pozorovatelnou předpovědí teorií velkého sjednocení je poměr baryonů k fotonům ve vesmíru. Zatím se zdá, že pro částice a antičástice platí stejné fyzikální zákony. Přesněji - tvar zákonů se nezmění, pokud zaměníme částice antičásticemi, levotočivost pravotočivostí a obrátíme rychlosti všech částic. Toto tvrzení, nazývané CPT teorém, je důsledkem určitých základních předpokladů, které by měly platit v každé rozumné teorii. [C je zkratka pro charge - náboj; elektricky nabitě částice mají opačný náboj než antičástice. P znamená paritu, symetrii při zrcadlení; levá ruka se nám v zrcadle jeví jako pravá. T označuje čas, time či latinsky tempus. Obrácení směru rychlosti lze chápat jako obrácení směru času; vzpomeňme si, jak vypadají děje ve filmu puštěném pozpátku.] Avšak Země a právě tak celá sluneční soustava je složena pouze z protonů a neutronů, ne z antiprotonů a antineutronů. Taková nevyváženost mezi výskytem částic a antičástic je další podmínkou naší existence, protože pokud by sluneční soustava byla tvořena

směsí stejného počtu částic a antičástic, došlo by k jejich vzájemné anihilaci a vše by se přeměnilo v záření. Protože takové anihilační záření nepozorujeme, můžeme z toho vyvodit závěr, že i celá naše Galaxie je složena pouze z částic, a ne antičástic [takové záření by nutně vznikalo na rozhraní mezi oblastí částic a antičástic]. O složení jiných galaxií nemáme sice přímý experimentální důkaz [záření antiatomu by mělo stejné spektrum jako záření atomu, takže optický obraz jiných galaxií by se nezměnil], zdá se však pravděpodobné, že naše Galaxie sestává výhradně z částic a že ve vesmíru jako celku je veliká převaha částic nad antičásticemi, přičemž na jednu částici připadá asi 108 fotonů. Opět se můžeme obrátit pro vysvětlení k antropickému principu, přijatelný mechanismus vzniku této nerovnováhy poskytují i teorie velkého sjednocení. Přestože jsou všechny interakce pokud známo invariantní (nemění se) vzhledem ke kombinaci operací C (nahradí částici antičásticí), P (zaměň levotočivost pravotočivostí) a T (obráť směr času), existují interakce, které nejsou invariantní k samotné operaci T. Tyto interakce mohly ve velmi raném vesmíru, kde je směr času jasně určen expanzí, vytvořit převahu částic nad antičásticemi. Bohužel přesný poměr částic a antičástic vznikajících v raném vesmíru velice závisí na modelu, takže souhlas s pozorováním nepředstavuje výraznější potvrzení teorií velkého sjednocení.

Sjednocení prvních tří kategorií interakcí, tj. silných a slabých jaderných sil a elektromagnetismu, bylo věnováno hodně úsilí. Čtvrtá a poslední - gravitace - byla opomíjena. To proto, že gravitační interakce je natolik slabá, že efekty kvantové gravitace by se mohly projevit jen při tak obrovských energiích, jakých zdaleka nelze dosáhnout na žádném urychlovači. [Ať nás však nemýlí to, že gravitace je zdánlivě jediná síla, s níž se potýkáme v každodenním

životě, a nezdá se nám vždy slabá. Jak bylo uvedeno, gravitace je síla dlouhého dosahu a makroskopicky se pozoruje spojený účinek obrovského množství částic. Na rozdíl od elektromagnetismu, kde jsou účinky kladných a záporných nábojů opačné, a proto se makroskopické elektromagnetické účinky celkově neutrálního tělesa vyruší, se gravitační účinky všech částic sčítají. Gravitační síla mezi protonem a elektronem je však oproti síle elektromagnetické naprosto zanedbatelná, ještě výraznější je rozdíl mezi gravitací a silnou interakcí hadronů.] Jiným důvodem je, že gravitace se zdá být nerenormalizovatelná; k tomu, abychom se dopídili konečné odpovědi, bychom museli provést nekonečný počet odečtení nekonečen a tím bychom dostali nekonečně mnoho konečných zbytků a ty teorie neumí určit.

Chceme-li však vybudovat úplnou sjednocenou teorii, je nutné zahrnout i gravitaci. Nadto klasická teorie obecné relativity předpovídá, že se nutně vyskytují singularity gravitačního pole, kde se toto pole stává nekonečně silným. Taková singularita musela existovat v minulosti - na počátku současné expanze našeho vesmíru (velkého třesku) - a bude existovat i v budoucnosti - jako výsledek gravitačního zhroucení hvězdy, případně vesmíru jako celku. Výskyt singularit můžeme chápat asi tak, že se zde hroutí klasická teorie. Nicméně není žádný důvod předpokládat, že by měla klasická teorie přestat platit dříve, než se gravitační pole stane tak silným, že kvantové gravitační efekty nabudou na důležitosti. Kvantová teorie gravitace je podstatná, chceme-li popsat velmi raný vesmír a najít nějaké hlubší vysvětlení podmínek na jeho počátku než se jen odvolávat na antropický princip.

Takovou teorii potřebujeme i k tomu, abychom mohli rozhodnout, zda čas má opravdu počátek a možná i konec, tak jak to předpovídá klasická obecná relativita, nebo zda je

počáteční (a případně i konečná) singularita nějak rozmazána kvantovými efekty. Na takovou otázku je velmi obtížné odpovědět. Obtížné je už to, dát jí přesný smysl, jakmile připustíme, že samotná struktura prostoročasu je podrobena principu neurčitosti. Můj osobní pocit je, že singularita prostoročasu zůstanou pravděpodobně zachovány, i když se podaří prodloužit čas za ně v určitém matematickém smyslu. Jakýkoli subjektivní pojem času spojený s vědomím a schopností provádět jeho měření však zde skončí.

Jaké jsou vyhlídky na sestrojení kvantové teorie gravitace a na její sjednocení s ostatními třemi typy interakcí? Největší naději v tomto ohledu se zdá poskytovat rozšíření obecné teorie relativity zvané supergravitace. V této teorii je graviton, částice se spinem 2, která je nositelem gravitační interakce, propojen s řadou dalších polí s nižším spinem prostřednictvím tzv. supersymetrické transformace. Velkou předností této teorie je, že smazává starou dichotomii mezi "látkou", reprezentovanou částicemi s poločíselným spinem, a "interakcemi", reprezentovanými částicemi se spinem celočíselným; částice s poločíselným a celým spinem už tvoří dvě výrazně oddělené třídy. Další výhodou je, že mnohé nekonečné výrazy, které se v kvantové teorii vyskytují, se v supergravitační teorii navzájem vyruší. Zatím ještě nevíme, zda se vyruší všechny, takže zůstane teorie, která je konečná, aniž by se musely odečítat nekonečné výrazy [přímý matematický důkaz je zde velmi obtížný]. Doufáme však, že to skutečně nastává. Lze totiž ukázat, že teorie, která obsahuje gravitaci, je buď konečná, nebo nerenormalizovatelná; jakmile musíme udělat alespoň jedno odečtení nekonečného výrazu, musíme jich odečítat nekonečně mnoho a výsledkem je nekonečný počet neurčených zbytků. Pokud se však všechna nekonečna v supergravitaci navzájem vyruší, máme v ní teorii, která

nejen plně sjednocuje částice a interakce, ale navíc je úplná v tom smyslu, že v ní nezůstávají žádné neurčené renormalizační parametry.

Zatím ovšem nemůžeme tvrdit, že je to skutečně vyhovující teorie. I když zatím plně vyhovující kvantovou teorii gravitace nemáme, máme určitou představu, jaké rysy by taková teorie měla mít. Jeden je spojen se skutečností, že gravitace ovlivňuje kauzální strukturu prostoročasu; tím míníme, že gravitace určuje, které události mohou být příčinou určitých jiných událostí. V klasické teorii gravitace nám markantní příklad poskytuje černá díra - oblast prostoročasu, v níž je gravitační pole natolik silné, že se světlo i každý jiný signál do ní zřítí a nemohou uniknout do vnějšího světa. Silné gravitační pole v blízkosti černé díry způsobuje, že se tvoří páry částice-antičástice. Jedna z částic páru padne do černé díry, druhá unikne do nekonečna. Unikající částice se jeví jako částice emitované černou dírou. Pozorovatel, který se nachází daleko od černé díry, změří pouze tok vycházejících částic a nezjistí žádný vztah mezi těmito částicemi a těmi, které pohltila černá díra; ty totiž nemůže žádným způsobem pozorovat. To však znamená, že vycházející částice mají oproti tomu, co je obvyklým důsledkem principu neurčitosti, jistý stupeň náhodnosti či nepředpověditelnosti navíc. V běžné situaci je důsledkem principu neurčitosti to, že můžeme s určitostí předpovědět buď polohu, nebo rychlost částice, nebo určitou kombinaci polohy a rychlosti. Velmi zhruba řečeno - naše schopnost předpovědi se ve srovnání s klasickou mechanikou stala poloviční. V případě částic emitovaných černou dírou možnost předpovědi ještě poklesne. Protože pozorovatel nemůže vědět, co se děje uvnitř černé díry, není s to předpovědět ani polohu, ani rychlost emitovaných částic. Lze předpovídat jenom pravděpodobnost určitého spektra emitovaných částic.

Z toho se tedy zdá, že i když najdeme sjednocenou teorii, neumožní nám více než jen dělat na jejím základě statistické předpovědi. Nezbude nám než představu, že existuje jeden jediný vesmír, který pozorujeme, opustit. Namísto toho budeme nuceni přijmout představu, že existuje soubor možných vesmírů, které se vyskytují s určitým rozdělením pravděpodobnosti. Takto by se například dalo vysvětlit, proč byl vesmír po velkém třesku v téměř dokonalé tepelné rovnováze, protože tepelná rovnováha odpovídá největšímu počtu mikroskopických konfigurací, a vyskytne se tedy s největší pravděpodobností. Budeme-li parafrázovat Voltairova filozofa Panglose, "žijeme v nejpravděpodobnějším ze všech možných světů".

Jsou nějaké vyhlídky, že nalezneme úplnou sjednocenou teorii v nepřiliš vzdálené budoucnosti? Pokaždé když jsme svá pozorování rozšířili do oblastí menších délkových měřítek a vyšších energií, jsme objevili nové vrstvy struktury. Na počátku století prokázal objev Brownova pohybu [mikroskopického trhavého chaotického pohybu drobných částecek v kapalině, způsobovaného nárazy okolních molekul] existenci částic s typickou energií $3 \cdot 10^{-2}$ eV, že látka není spojitá a tvoří ji atomy. Krátce nato vyšlo najevo, že tyto atomy nejsou nedělitelné, nýbrž jsou tvořeny elektrony, obíhajícími jádro s typickou energií několika elektronvoltů. Dále se ukázalo, že i jádro je složeno z tzv. elementárních částic, protonů a neutronů, držených pohromadě nukleární vazbou, jejíž energie je řádově 106 eV. Poslední epizodu v této historii představuje objev, že proton a neutron se skládají z kvarků, přičemž jejich vazbová energie je řádově 109 eV. Nepříjemným důsledkem pokroku v teoretické fyzice je dnes ovšem to, že máme-li provádět pokusy, jejichž výsledky neumíme předvídat, musíme stavět velká a velice nákladná zařízení.

Dosavadní zkušenost nás může vést k úsudku, že existuje nekonečně mnoho vrstev struktury při vyšších a vyšších energiích. Předpoklad, že existuje nekonečná posloupnost krabiček v krabičkách, byl například oficiálním dogmatem v Číně za vlády "gangu čtyř". Zdá se však, že gravitace by mohla způsobit, že tato posloupnost někde končí, či matematicky řečeno, blíží se k určité limitě, ovšem až při nesmírně malých délkových měřítkách 10-33 cm nebo extrémně vysokých energiích 10²⁸ eV. Předpokládáme, že v měřítkách menších, než je tato mezní délka, přestane být prostoročas spojitý a nabude "pěnové" struktury v důsledku kvantových fluktuací gravitačního pole.

Mezi současnou experimentální hranicí okolo 10¹⁰ eV a gravitačním "oříznutím" při 10²⁸ eV leží ovšem velice rozsáhlá neprozkoumaná oblast. Může se zdát naivní předpokládat - jak to činí teorie velkého sjednocení -, že na celé této rozloze narazíme pouze na jednu nebo dvě další vrstvy. Jsou zde však náznaky opravňující k optimismu. V současné době to vypadá, že jedinou cestu, jak sjednotit gravitaci s ostatními fyzikálními interakcemi, nabízí některý typ supergravitační teorie. Zdá se však také, že takových teorií může existovat jen konečný počet. Jmenovitě - nejširší takovou teorií je tzv. N = 8 rozšířená supergravitace. Podle této teorie existuje jeden graviton, osm částic se spinem 3/2 (gravitin), osmadvacet částic se spinem 1, šestapadesát částic se spinem 1/2 a sedmdesát částic se spinem 0. I když jsou to čísla značně vysoká, nestačí k popsání všech částic, které pozorujeme při silných a slabých interakcích. Například zmíněných osmadvacet částic se spinem 1 stačí k popsání gluonů, které jsou nositeli silné interakce, ale jen dvou ze čtyř částic zprostředkujících interakci slabou. To nás vede k závěru, že mnohé, ne-li většina pozorovaných částic, jako jsou gluony nebo kvarky, nejsou opět skutečně elementární, jak

předpokládáme z hlediska současného "standardního modelu", nýbrž jsou ve skutečnosti vázanými stavy základních částic $N = 8$ supergravitace.

Není pravděpodobné, že bychom měli v dohledné době dostatečně výkonné urychlovače, které by umožnily přímé ověření této kompozitní struktury. Pokud přihlídneme k dnešním ekonomickým trendům, nebudeme je možná mít nikdy. Avšak skutečnost, že teorie $N = 8$ dává vázané stavy, umožňuje řadu předpovědí, které mohou být ověřovány při energiích dosažitelných už dnes nebo dostupných v blízké budoucnosti. Je to obdobná situace jako v případě Salamovy-Weinbergovy teorie sjednocené elektroslabé interakce. Nízkoenergetické předpovědi této teorie jsou v tak dobrém souladu s pozorováním, že je teorie všeobecně přijímána, přestože jsme dosud nedosáhli energií, při nichž sjednocení obou interakcí skutečně nastává.

Teorie popisující celý vesmír musí mít určité zvláštní rysy. Jak by musela vypadat teorie, která by si mohla činit nárok, že skutečně popisuje reálný svět, zatímco jiné matematické modely existují jen v myslích svých objevitelů? Supergravitace $N = 8$ má některé takové význačné rysy. Jako jediná patrně vyhovuje požadavkům, že

- * 1. je formulována ve čtyřech dimenzích;
- * 2. zahrnuje gravitaci;
- * 3. je konečná, aniž musíme odečítat jakékoli nekonečné výrazy.

Už jsem zdůvodnil, že poslední požadavek je nezbytný, chceme-li mít úplnou teorii bez libovolně zadatelných parametrů. Zdůvodnit první a druhý požadavek je obtížné, pokud se nechceme odvolávat na antropický princip, tj. chceme-li argumentovat jenom vnitřní konzistentností teorie. Zdá se totiž, že taková konzistentní teorie vyhovující prvnímu a třetímu požadavku existuje, nezahrnuje však gravitaci. [Víme samozřejmě ze zkušenosti, že gravitace

existuje, ale chtěli bychom ukázat, že za určitých minimálních předpokladů je gravitace nezbytná.] Ve vesmíru vytvořeném na základě takové teorie by však pravděpodobně neexistovaly dostatečně velké přitažlivé síly, aby vytvořily dostatečně velká seskupení hmoty nutná k vzniku komplikovaných struktur.

Proč by prostoročas měl být právě čtyřrozměrný? To je otázka, o níž se obvykle soudí, že nepatří do oblasti fyziky. Pro čtyřrozměrnost prostoročasu však lze uvést dobrý důvod, založený opět na antropickém principu. Tři prostoročasové dimenze - dvě prostorové a jedna časová - zřejmě nestačí pro existenci jakéhokoli složitějšího organismu. Na druhé straně ve více než třech prostorových dimenzích by oběžné dráhy planet kolem Slunce a elektronů kolem jádra atomu byly nestabilní, spirálovitě by se přibližovaly ke středu. Zbývá možnost více než jedné časové dimenze, já si však takový vesmír představit nedovedu.

Až dosud jsem vycházel z nevysloveného předpokladu, že finální teorie existuje. Existuje však opravdu? Zde se zase nabízejí tři možnosti:

- * 1. Úplná sjednocená teorie existuje.
- * 2. Žádná finální teorie neexistuje. Existuje však taková nekonečná posloupnost teorií, že libovolně široký okruh pozorování je předpovídán teorií stojící dostatečně daleko v tomto řetězci.
- * 3. Neexistuje vůbec žádná teorie. Za určitou hranicí nemohou být pozorování ani předpovídána, ani popisována a jejich výsledky jsou nahodilé.

Třetí bod byl rozpracováván jako argument proti vědcům sedmnáctého a osmnáctého století: Jak se mohli odvážit formulovat zákony, které by omezovaly svobodu Boha změnit svůj záměr? Přesto to však činili a prošlo jim to. Třetí možnost byla v moderní době vlastně efektivně vyloučena tím, že byla zabudována do našeho způsobu

popisu světa: kvantová teorie je ve své podstatě teorií toho, co nevíme a ani nemůžeme předpovědět.

Možnost číslo dvě by korespondovala s obrazem nekonečné posloupnosti struktur odpovídajících vyšším a vyšším energiím. Jak jsem už uvedl, je tento obraz nepravděpodobný - dá se totiž očekávat "oříznutí" při Planckově energii 1028 eV.

Zůstává tedy možnost první. V tuto chvíli se jediným vhodným kandidátem v dohledu zdá teorie supergravitace $N = 8$.^{*} Dá se očekávat, že v nejbližších několika letech budou v jejím rámci provedeny detailnější výpočty; ty mohou ukázat, že teorie není správná. I pokud teorie tyto základní testy přežije, bude pravděpodobně potřeba ještě několika let, aby se rozvinuly výpočetní metody, s jejichž pomocí by bylo možné vyvodit určitější předpovědi z ní plynoucí. Teprve potom budeme moci udělat určitější závěry ohledně počátečních podmínek vesmíru i lokálních zákonů. To bude zřejmě jeden z hlavních problémů, které budou řešit teoretičtí fyzikové v nejbližších dvaceti letech.

Závěrem jednu poněkud znepokojivou myšlenku. Možná že o moc víc času mít nebudou, chtějí-li, aby to byli oni, kdo problém vyřeší. Dnes jsou velice důležitým pomocníkem ve vědě počítače, řídí je však lidský rozum. Jestliže však extrapolujeme na základě překotné rychlosti jejich současného vývoje, je docela dobře možné, že časem práci v teoretické fyzice zcela převezmou. Takže i když možná není na dohled konec teoretické fyziky, může být na dohled konec teoretických fyziků.

8. Einsteinův sen

Prosloveno na semináři pořádaném NTT Data Communications Systems Corporation v Tokiu v červenci 1991.

V prvních letech dvacátého století se objevily dvě nové teorie, které zcela změnily nejen náš pohled na prostor a

čas, ale i naši představu reality. Ještě dnes, po více než pětasedmdesáti letech, rozpracováváme jejich důsledky a snažíme se je spojit do jednotné teorie, která popíše všechno ve vesmíru. Řeč je o obecné teorii relativity a kvantové mechanice.

Obecná teorie relativity se zabývá prostorem a časem; popisuje, jak je prostoročas zakřivován a vrásněn hmotou a energií rozloženou ve vesmíru. Tyto efekty se výrazněji projevují na velkých délkových a časových škálách.

Doménou kvantové teorie je naopak svět velmi malých rozměrů. Základním kamenem této teorie je tzv. princip neurčitosti, podle něhož nelze přesně určit současně polohu a rychlost částice. Čím přesněji změříme jednu z těchto veličin, tím ne-určitější se stane naše znalost druhé z nich. V chování hmoty na malých škálách vždy podstatně vystupuje prvek neurčitosti a náhody.

Einstein prakticky sám vytvořil obecnou teorii relativity. Významnou úlohu sehrál i při vzniku kvantové mechaniky; později však k ní pociťoval nelibost a svůj vztah k ní vyjádřil slovy: "Bůh nehraje v kostky." Jenže veškerá svědectví, která máme dnes k dispozici, naznačují, že Bůh je vskutku nenapravitelný hazardní hráč a rozhoduje vrhem kostek při každé možné příležitosti.

Pokusím se vyjádřit základní myšlenky těchto dvou teorií a zároveň vysvětlit, proč Einstein neměl rád kvantovou mechaniku. Naznačím také, s jakými pozoruhodnostmi se setkáváme při snaze spojit obě teorie dohromady. Z obecné teorie relativity vyplývá, že čas sám má svůj počátek před zhruba patnácti miliardami let a možná i konec někdy v budoucnosti. Vyjdeme-li však z určitých myšlenek kvantové mechaniky, můžeme zavést jiný druh času, takový, v němž nemá vesmír ani prostorovou, ani časovou hranici, nebyl stvořen ani nezanikne, prostě je.

Začnu s obecnou teorií relativity. Zákony dané státní legislativou platí pouze v určité zemi, ale fyzikální zákony jsou stejné ve Velké Británii, Spojených státech i Japonsku. Jsou stejné i na Marsu a v mlhovině Andromedy. A nejen to - tyto zákony jsou stejné bez ohledu na to, jakou rychlostí se pohybujete. Jsou stejné pro cestující v expresním vlaku a tryskovém letadle i pro lidi žijící stále na jednom místě. Ve skutečnosti se ovšem i ten, kdo stojí na jednom místě na Zemi, pohybuje rychlostí asi 30 kilometrů za sekundu kolem Slunce a Slunce samo obíhá rychlostí několika set kilometrů za sekundu kolem středu Galaxie atd. Žádný z těchto pohybů však neo-vlivní tvar fyzikálních zákonů, ty jsou stejné pro každého pozorovatele.

Nezávislost pohybových zákonů na rychlosti, kterou se pohybuje vztažná soustava, objevil Galileo Galilei. Ten se ovšem zabýval takovými objekty, jako jsou dělové koule či planety. Když se lidé snažili rozšířit tuto nezávislost na rychlosti pozorovatelů i na zákony, jimiž se řídí šíření světla, byl tu problém. Na sklonku sedmnáctého století se zjistilo, že světlo nedoletí od zdroje k pozorovateli okamžitě, nýbrž se šíří konečnou rychlostí přibližně 300 000 kilometrů za sekundu. Avšak rychlostí vzhledem k čemu? Soudilo se, že existuje jakési látkové prostředí vyplňující prostor, v něm se světelné vlny šíří. Takovému prostředí se říkalo éter. "Základní" rychlost světla, stejnou ve všech směrech, by tedy naměřili pozorovatelé nacházející se v klidu vzhledem k éteru. Pozorovatel, který se vzhledem k éteru pohybuje, by naměřil buďto rychlost větší, nebo menší.

Rychlost světla by proto měla být ovlivňována ročním pohybem Země kolem Slunce. Velice přesný pokus, který v roce 1887 uskutečnil Michelson s Morleym, však ukázal, že k tomu nedochází. Pozorovatel vždy naměří stejnou rychlost

světla, tj. přibližně 300 000 kilometrů za sekundu, bez ohledu na to, jak se sám pohybuje.

Jak něco takového může platit? Proč pozorovatelé pohybující se různou rychlostí naměří vždy stejnou rychlost světla? Odpověď zní, že by tomu tak opravdu nemohlo být, pokud by naše obvyklé představy o prostoru a čase byly správné. Ein-stein však ve svém proslulém článku z roku 1905 ukázal, že všichni pozorovatelé naměří stejnou rychlost světla tehdy, opustíme-li představu univerzálního času. Každý pozorovatel má svůj individuální čas, jehož přírůstek měří hodiny, které si nese s sebou. Čas naměřený různými hodinami bude souhlasit takřka přesně, pokud je rychlost jejich vzájemného pohybu malá; při velkých relativních rychlostech je však rozdíl v přírůstku času na různých hodinách podstatný.

V naší době se tento efekt skutečně bezprostředně pozoroval. Porovnával se přírůstek času na hodinách umístěných na pozemské základně a na hodinách, které obletěly Zemi [ve směru na východ, tedy souhlasně se zemskou rotací] po běžných komerčních leteckých linkách. Hodiny na palubě letadel šly o něco pomaleji než hodiny na Zemi; při běžných rychlostech letu jde však o rozdíl zcela nepatrný. Kdybyste si tímto způsobem chtěli prodloužit život o jednu sekundu, museli byste oblétnout svět čtyřistamilionkrát; jídla, jež letecké společnosti předkládají, by vám život zkrátila jistě podstatněji.

Jak souvisí skutečnost, že každý pozorovatel má svůj individuální čas, s faktem, že všichni zjistí stejnou rychlost světla? Rychlost pulzu světla je podíl vzdálenosti mezi dvěma událostmi - vysláním a přijetím signálu - a časového intervalu mezi nimi. (Událostí v tomto smyslu je něco, co nastane v jednom bodu prostoru v určitém čase.) Pozorovatelé pohybující se různou rychlostí se neshodnou na tom, jaká je vzdálenost mezi oběma událostmi. Sledují-li

auto jedoucí po silnici, řeknu například, že urazilo za určitou dobu kilometr. Pozorovatel na Slunci však bude trvat na tom, že urazilo 1 800 kilometrů, protože je unášeno pohybující se Zemí. Protože lidé pohybující se různými rychlostmi měří různé vzdálenosti mezi událostmi, musí naměřit i různé časové intervaly mezi nimi, mají-li se shodnout na rychlosti světla, která nezávisí na jejich relativním pohybu.

Původní Einsteinovu teorii relativity, kterou předložil ve svém článku v roce 1905, dnes nazýváme speciální teorií relativity. Tato teorie popisuje, jak se objekty pohybují v prostoru a čase, a jedním z jejích úhelných kamenů je, že čas není univerzální veličinou existující odděleně od prostoru a nezávisle na něm. Budoucnost a minulost jsou do značné míry analogií směrů jako nahoru a dolů, vlevo a vpravo v něčem, co se nazývá prostoročas. V čase se sice můžete pohybovat jenom směrem do budoucnosti, ale můžete poněkud změnit "úhel", pod nímž se v čase pohybujete. Proto také může čas ubíhat různě rychle.

Speciální teorie relativity sice propojila prostor s časem, avšak prostor a čas i nadále zůstaly pevným jevištěm, na kterém se události odehrávají. Podle ní se sice můžete pohybovat prostoročasem po různých drahách, ale nijak toto prostoročasové pozadí neovlivníte. Tato představa však podstatně změnila svou podobu v roce 1915, kdy Einstein formuloval obecnou teorii relativity. Vyšel z revoluční myšlenky, že gravitace není pouhou silou, která působí na pevném prostoročasovém pozadí, nýbrž že představuje zakřivení prostoročasu samého, vyvolané rozložením hmotnosti a energie v něm. Objekty jako dělové koule a planety se snaží pohybovat prostoročasem po přímkách. Prostoročas však není plochý, nýbrž zakřivený, zvrásněný, proto se jejich dráhy jeví jako ohnuté. Země se snaží pohybovat prostoročasem po přímce, ale zakřivení

prostorochasu vyvolané hmotností Slunce ji nutí kroužit kolem Slunce. Obdobně se světlo snaží sledovat přímou dráhu, ale zakřivení prostorochasu v okolí Slunce způsobuje ohyb paprsků světla ze vzdálených hvězd procházejících v jeho blízkosti.

Za běžných okolností nevidíme hvězdy, které se nacházejí na obloze v těsné blízkosti Slunce. Během zatmění Slunce však většinu jeho světla zadrží Měsíc, a proto můžeme tyto hvězdy pozorovat. Einstein dokončil svou obecnou teorii relativity za první světové války, kdy nebyly příznivé podmínky pro vědecká pozorování. Hned po válce - v roce 1919 - však britská expedice pozorovala zatmění a potvrdila předpověď obecné teorie relativity: že prostorochas není plochý, zakřivuje ho hmota a energie v něm rozložené.

To byl největší Einsteinův triumf. Jeho objevem se zcela změnilo naše nazírání na prostor a čas. Podle nového obrazu už není prostor pasivním jevištěm, na němž se odehrávají události. Čas neběží věčně kupředu, netečný k tomu, co se děje ve vesmíru. Prostor a čas se staly dynamickými veličinami, které jak události ovlivňují, tak jsou událostmi ovlivňovány.

Hmota a energie mají jednu důležitou vlastnost - jsou vždy kladné. Proto je vzájemné gravitační působení těles vždy přitažlivé. Zemská gravitace nás kupříkladu přitahuje i na druhé straně zeměkoule, proto lidé v Austrálii neodpadnou od Země. Podobně gravitace Slunce udržuje na oběžné dráze planety a nedovolí Zemi odletět do temnot mezihvězdného prostoru. Skutečnost, že hmotnost je vždy kladná, znamená podle obecné teorie relativity, že prostorochas je zakřivován sám do sebe (podobně jako povrch koule); v tomto případě mluvíme o kladné křivosti. Záporná hmotnost by vyvolala záporné zakřivení, podobné zakřivení povrchu v horském sedle. Kladné zakřivení prostorochasu, vyjadřující přitažlivost gravitace, však

představovalo pro Einsteina vážný problém. Tehdy se totiž věřilo, že vesmír jako celek je statický. Jak však může setrvávat ve víceméně stejném stavu, jako je dnes, jestliže se hmotné objekty navzájem gravitačně přitahují?

Z původních Einsteinových rovnic obecné relativity plyne, že se vesmír buď rozpíná, nebo smršťuje. Einstein proto přidal k těmto rovnicím, které vyjadřují vztah mezi zakřivením prostoročasu a rozložením hmoty a energie, další člen. Tento - tzv. kosmologický - člen efektivně způsobuje gravitační re-pulzi. Tím gravitační přitažlivost hmoty vyvážila odpuzování v důsledku kosmologického členu. Jinými slovy - negativní křivost prostoročasu vyvolaná kosmologickým členem se může vyrušit s pozitivní křivostí vytvářenou hmotou a energií vesmíru. Tak se podařilo vytvořit model vesmíru, který navěky zůstává ve stejném stavu. Kdyby byl Einstein zůstal u svých původních rovnic, byl by předpověděl, že vesmír se buď rozpíná, nebo smršťuje. Takto myšlenka časově proměnného vesmíru zvítězila až v roce 1929, kdy Edwin Hubble objevil, že se vzdálené galaxie pohybují od nás [ačkoli už v roce 1924 našel Alexandr Fridman řešení původních Einsteinových rovnic odpovídající dynamicky proměnnému vesmíru]. Vesmír se tedy rozpíná. Později Einstein nazval zavedení kosmologického členu "největším omylem svého života".

Ať už platí Einsteinovy rovnice s kosmologickým členem nebo bez něho, skutečnost, že hmota může zakřivit prostoročas natolik, až se uzavře sám do sebe, s sebou přináší jeden podstatný problém. Je pravda, že dosti dlouho nebyla jeho závažnost v plné míře chápána.

Co si představovat pod tím, že hmota může zakřivit okolní prostoročas "sám do sebe"? To, že v důsledku svého zakřivení je určitá oblast odříznuta od zbytku vesmíru. Oblast se stane tím, co nazýváme černou dírou. Objekty do

ní mohou padat, nic ji však nemůže opustit. Uniknout z černé díry by totiž vyžadovalo pohybovat se rychleji než světlo a to teorie relativity nedovoluje. Hmota je tedy uvnitř černé díry uvězněna a nezadržitelně se hroutí do jakéhosi neznámého stavu s extrémně vysokou hustotou.

Důsledky takového kolapsu Einsteina velice znepokojovaly a odmítal uvěřit, že v přírodě skutečně nastává. V roce 1939 však ukázal Robert Oppenheimer, že stará hvězda, jejíž hmotnost více než dvakrát převyšuje hmotnost Slunce, se musí nutně takto zhroutit poté, co se vyčerpá její nukleární palivo. Přišla válka, Oppenheimera zcela pohltila práce na projektu atomové bomby a o problému gravitačního kolapsu ztratil zájem. Většina ostatních vědců se zajímala spíše o fyziku, která se dala studovat v pozemských podmínkách. Předpovědím týkajícím se dalekého vesmíru příliš nedůvěřovali, nezdálo se jim totiž, že by je bylo možné ověřovat experimentálně.

Šedesátá léta však přinesla značné zpřesnění astronomických pozorování a to obnovilo zájem o gravitační kolaps a raný vesmír. Co přesně předpovídá obecná relativita pro tyto situace, nebylo jasné, dokud jsme - Roger Penrose a já - nedokázali řadu obecných teorémů, z nichž vyplynulo, že zakřivení prostoru do sebe vede ke vzniku singularit. Singularity v této souvislosti znamenají "místa", kde prostoročas má svůj počátek nebo konec. Jeho počátek by měl být představován "velkým třeskem", který nastal asi před patnácti miliardami let, a na jeho konec by došla hvězda, která zkolabovala, a cokoli, co spadne do černé díry, kterou kolabující hvězda za sebou zanechala.

Skutečnost, že Einsteinova obecná teorie relativity předpovídá existenci singularit, vyvolává určitou krizi ve fyzice. Einsteinovy rovnice, které spojují zakřivení prostoročasu s rozložením hmoty a energie, ztrácejí totiž v singularitách smysl. To znamená, že obecná teorie relativity

není s to předpovídat, co se vynoří ze singularity. Speciálně nemůže popsat samotný počátek vesmíru ve velkém třesku. Obecná teorie relativity není tedy úplnou teorií. Chceme-li určit, jak svět začal a co se stane, zhroutí-li se hmota v důsledku vlastní gravitace, musíme k ní něco dodat.

Tím nezbytným "něčím" se zdá být kvantová mechanika. V roce 1905, kdy napsal základní článek o speciální teorii relativity, zveřejnil Einstein i práci o tzv. fotoelektrickém jevu. Bylo známo, že dopadá-li světlo na některé kovy, uvolňují se z nich nabitě částice. Z hlediska elektromagnetické teorie světla bylo nepochopitelné, proč když se zmenší intenzita dopadajícího světla určité vlnové délky, se sice zmenší i počet emitovaných částic, zato jejich rychlost, a tedy i energie zůstanou stejné. Einsteinovi se podařilo tento jev vysvětlit předpokladem, že světlo nepřichází v libovolně dělitelném množství, jak se tehdy obecně předpokládalo, nýbrž v jakýchsi "balíčcích" s energií určité velikosti. Myšlenku, že je světlo vysíláno v "balíčcích" zvaných kvanta, vyslovil už o několik let dříve německý fyzik Max Planck. Jeho představu lze přirovnat k tomu, že v obchodě nemůžeme koupit cukr jinak než v kilogramovém balení. Planck ji užil k objasnění skutečnosti, proč do červena rozžhavený kus železa nevyzařuje nekonečné množství tepla. Kvanta však pokládal jen za matematický trik, jemuž neodpovídá nic fyzikálně reálného (ani cukr se vždy nevyskytuje jen v kilogramových dávkách, i když se tak prodává).

Einsteinův článek ukázal, že individuální kvanta můžeme přímo pozorovat. Každá uvolněná částice odpovídá právě jednomu kvantu světla, které zasáhlo kov. Tento jeho příspěvek ke kvantové teorii došel všeobecného uznání a právě za něj získal v roce 1922 Nobelovu cenu. (Ta mu měla být udělena na prvním místě za obecnou teorii relativity, ale představa zakřiveného prostoročasu byla pro tehdejší vědu

příliš spekulativní a rozporná. Vysvětlení fotoefektu si ovšem ocenění bezesporu zasloužilo také.)

Plné důsledky fotoelektrického jevu však byly rozpoznány až roku 1925; tehdy Werner Heisenberg ukázal, že existence světelných kvant znemožňuje pozorovat přesně polohu částice. Abychom částici viděli, musíme na ni nechat dopadat světlo. Ale podle Einsteinovy teorie fotoefektu nemůžeme užít libovolně malého množství světla. Na částici musí dopadnout alespoň jedno celé kvantum. Tento "balíček" světla postrčí částici a udělí jí rychlost v určitém směru. Čím přesněji chceme určit polohu částice, tím větší energii musí balíček mít a tím více tedy naruší pohybový stav částice. Ať měříme polohu částice jakýmkoli způsobem, nejistota v určení její polohy vynásobená nejistotou v její rychlosti je vždy větší než určitá minimální hodnota.

Protože podle tohoto Heisenbergova principu neurčitosti nemůžeme změřit přesně stav systému, nemůžeme ani přesně předpovídat jeho budoucnost. Vše, co udělat můžeme, je připsat určité pravděpodobnosti různým možným výsledkům měření. A právě tento prvek náhodnosti, libovůle, Einsteina velice dráždil. Odmítal uvěřit, že by fyzikální zákony nebyly s to dát jednoznačnou předpověď toho, co se stane v budoucnosti. Všechno však svědčí pro to, že kvantové jevy a princip neurčitosti nezbytně vystupují ve všech odvětvích fyziky.

Einsteinova obecná teorie relativity patří k tzv. klasickým teoriím, to znamená, že v ní není zabudován princip neurčitosti. Je na vědcích, aby našli teorii novou, která by obecnou relativitu s principem neurčitosti spojila. V běžných situacích by rozdíl mezi takovou novou teorií a obecnou relativitou byl velmi malý. Jak jsme už uvedli, neurčitosti vyvolané kvantovými efekty jsou záležitostí velmi malých rozměrů, zatímco obecná relativita je naopak

podstatná při popisu struktury prostoročasu v nesmírně obrovských rozměrech. Z vět o singularitách, dokázaných Rogerem Penrosem a mnou, však plyne, že na velmi malých rozměrech bude prostoročas velice zakřivený, a proto princip neurčitosti získá podstatný význam. A zdá se, že z této skutečnosti vyplynou velice pozoruhodné výsledky.

Část Einsteinových problémů s kvantovou mechanikou a principem neurčitosti pocházela z toho, že setrval na obvyklém stanovisku běžné zkušenosti, podle něhož má systém určitou přesně určenou historii. Částice buď někde je, nebo tam není - nemůže být napůl na jednom a napůl na druhém místě. Obdobně událost jako přistání astronautů na Měsíci buď nastala, nebo nenastala. Nemohla nastat jen napůl, tak jako není možné, aby člověk byl jen trochu mrtvý nebo žena jen zčásti těhotná - buď jsou, nebo nejsou. Předpokládáme-li však, že systém má jen právě jednu určitou historii, vede princip ne-určitosti k takovým paradoxům, jako že částice je zároveň na dvou místech nebo že astronauti byli na Měsíci jen napůl.

Elegantní způsob, jak se zbavit takových paradoxů, jaké trápily Einsteina, objevil americký fyzik Richard Feynman. Proslavil se v roce 1948 prací o kvantové teorii světla. Za svůj příspěvek v této oblasti byl potom v roce 1965 odměněn Nobelovou cenou - spolu s jiným Američanem, Julianem Schwingerem, a japonským fyzikem Šiničiro Tomonagou. Byl to fyzik s opravdu hlubokým fyzikálním myšlením, navazující na tutéž tradici jako Einstein. Nenáviděl pompu a humbuk; vystoupil například z Národní akademie věd, protože se tam podle něj marní většina času rozhodováním, kteří další vědci mají být do akademie přijati.

Feynman, který zemřel v roce 1988, se zapsal do dějin teoretické fyziky řadou významných objevů. Jedním z nich jsou po něm nazvané diagramy, základ téměř všech výpočtů

ve fyzice částic. Ještě významnější je však jeho formulace kvantové teorie pomocí součtu přes historie. Vychází z představy, že systém tvořený soustavou částic či polí nemá pouze jednu historii v prostoročase, jak zdánlivě samozřejmě předpokládáme v klasické nekvantové teorii, ale že naopak projde všemi možnými historiemi.

Vezměme částici, která se nachází v určitém čase v bodě A a na niž nepůsobí žádná síla. Normálně bychom předpokládali, že částice se bude pohybovat z bodu A po přímce. Podle přístupu "součtu přes historie" se může pohybovat po libovolné dráze, která vychází z bodu A. Něco podobného se děje, když na piják kápneme trochu inkoustu. Částice inkoustu se budou rozpíjet po pijáku po všech možných drahách. Když jim zablokujeme přímou dráhu k některému bodu tím, že papír rozřízneme, dostanou se k němu kolem okraje řezu.

Každé dráze či historii je však přiřazeno číslo, které závisí na tvaru dráhy. Pravděpodobnost, že částice přejde z bodu A do bodu B, se dostane ze součtu čísel příslušejících možným spojnicím. Pro většinu drah se jejich příspěvky téměř vyruší s příspěvky jiných blízkých drah. [Čísla sdružená s jednotlivými drahami nejsou pouze kladná, proto se mohou jejich součty vyrušit. Pravděpodobnost, že se částice dostane z A do B, která musí být dána kladným číslem, není přímo rovna popsanému součtu, ale druhé mocnině jeho absolutní velikosti.] Proto při-spějí k celkové pravděpodobnosti přechodu částice z A do B jen velmi málo. Zato čísla příslušející přímé spojnici se budou sčítat s čísly, která příslušejí téměř přímým spojnicím. Hlavní příspěvek k celkové pravděpodobnosti pochází právě od těchto téměř přímých drah. Proto se také dráha částice procházející mlžnou komorou jeví téměř jako přímka. Postavíte-li však částici do cesty něco jako stěnu s úzkou štěrbinou, částice pronikne i do bodů, kam by se podle klasické mechaniky

nikdy dostat nemohla. Přesněji řečeno - pravděpodobnost nalezení částice v bodech, které neleží na přímé spojnici bodu A se štěrbinou, může být velká.

V roce 1973 jsem se začal zabývat účinkem principu neurčitosti na částici v zakřiveném prostoročase v blízkosti černé díry. Dospěl jsem k pozoruhodnému závěru: černá díra nebude nikdy úplně černá. V důsledku principu neurčitosti bude z černé díry díry unikat stálý proud částic a záření. Výsledek mě i všechny ostatní dokonale překvapil a setkal se s obecnou nedůvěrou. Při zpětném pohledu mi však připadá jako naprosto zřejmý. Černá díra je taková oblast prostoročasu, z níž neunikne nic, pokud se to pohybuje rychlostí menší, než je rychlost světla. Feynmanův přístup ke kvantové teorii pomocí součtu přes historie však předpokládá, že se částice může pohybovat prostoročasem po libovolné "světočáře", tedy i nadsvětelnou rychlostí. [To není v rozporu s klasickou teorií relativity!] Pravděpodobnost, že se dostane na dlouhou vzdálenost nadsvětelnou rychlostí, je velice malá; částice se však může pohybovat nadsvětelně dostatečně daleko, aby se dostala ven z černé díry, a pak se už pohybovat podsvětelnou rychlostí. Takto dovolí princip neurčitosti částicím uniknout z oblasti, kterou jsme dříve pokládali za jejich doživotní vězení. Že by částice unikla z černé díry o hmotnosti odpovídající Slunci, je velice nepravděpodobné, protože by typická částice musela cestovat nadsvětelnou rychlostí několik kilometrů. Mohly by však existovat malé černé díry, které se vytvořily ve velice raném vesmíru. Tyto černé díry by mohly mít rozměr atomového jádra, a přesto hmotnost několik miliard tun, srovnatelnou třeba s hmotností hory Fudži. Energie z nich uniká natolik vydatně, že to odpovídá výkonu velké elektrárny. Kdybychom je tak našli v blízkém okolí a mohli tuto energii čerpat! Naneštěstí se zdá, že je jich ve vesmíru poskrovnu.

Předpověď záření černých děr byla prvním netriviálním výsledkem získaným kombinací Einsteinovy teorie obecné relativity s kvantovým principem. Ukázala, že gravitační kolaps nepředstavuje tak bezvýchodný konec, jak se soudilo. Historie částic uvnitř černé díry nemusí skončit v singularitě. Částice mohou z černé díry uniknout a žít dále mimo ni. Možná že kvantový princip umožňuje zbavit se i historií, které mají počátek v čase a bod "stvoření" ve velkém třesku.

To je otázka mnohem obtížnější, protože vyžaduje aplikovat kvantový princip na strukturu samotného prostoru a času, nejen na dráhy částic v daném prostoročasovém pozadí. Musí se definovat součet přes historie nejen pro částice, ale i pro různé možné prostoročasy. Dnes ještě nevíme, jak tento součet správně nalézt, známe však některé rysy, které musí mít. Jednou známou skutečností je, že je mnohem snazší tento součet sestavit, jestliže necháme historii vyvíjet se nikoliv v reálném, nýbrž v tzv. imaginárním čase. Imaginární čas je pojem poměrně nesnadně pochopitelný; právě tento pojem působil asi největší potíže čtenářům mé knihy. Za užívání imaginárního času na mne také spadla pořádná sprška kritiky od filozofů. Jak může mít imaginární čas něco společného s reálným vesmírem? Domnívám se, že se filozofové dostatečně nepoučili z historie. Kdysi se pokládalo za zcela samozřejmé, že Země je plochá či že Slunce obíhá kolem Země. Po Koperníkovi a Galileim jsme si museli zvyknout na myšlenku, že Země je kulatá a obíhá kolem Slunce. Podobně se zdálo zřejmé, že čas ubíhá stejně pro každého pozorovatele; po Einsteinovi jsme však museli přijmout, že čas plyne pro různé pozorovatele různou rychlostí. Právě tak jsme považovali za samozřejmé, že vesmír má jen jednu jedinou historii, po objevu kvantové teorie jsme však museli přistoupit na to, že prochází nejrůznějšími možnými historiemi. Myslím si, že

myšlenka imaginárního času je něco, co také budeme muset přijmout. Je to podobný intelektuální skok jako pochopení toho, že Země je kulatá. Jsem přesvědčen, že časem se nám představa imaginárního času bude zdát stejně přirozenou jako dnes kulatost Země. Zastánců plochosti Země v dnešním intelektuálním světě už moc nezůstává.

Obyčejný reálný čas si můžeme zobrazit horizontální čarou běžící zleva doprava. Ranější časy jsou nalevo, pozdější okamžiky leží napravo. Můžeme si také představit jiný směr času, zezdola stránky nahoru. To je imaginární směr času, v pravém úhlu k směru času reálného.

Má to vůbec nějaký smysl, zavádět imaginární čas? Proč nezůstaneme u obyčejného reálného času, jemuž rozumíme? To proto, že - jak už jsem se zmínil - hmota a energie zakřivují prostoročas sám do sebe. V reálném čase to nevyhnutelně vede k singularitám, místům, kde prostoročas končí. V singularitách ztrácejí fyzikální rovnice smysl; nelze tedy předpovídat, co nastane. Imaginární čas však směřuje kolmo na čas reálný a v důsledku toho má podobné vlastnosti jako směry odpovídající posunům v prostoru. Zakřivení prostoročasu pak způsobí, že tři prostorové směry a imaginární časový směr se uzavřou samy do sebe. Vytvářejí uzavřený povrch, podobný povrchu Země. Tři prostorové směry a imaginární čas vytvářejí do sebe uzavřený prostoročas bez hranic či okraje. Není v něm žádný bod, který bychom mohli nazvat počátkem nebo koncem, tak jako nenajdeme žádný počátek nebo konec na zem-ském povrchu.

Společně s Jimem Hartlem jsme v roce 1983 rozvinuli myšlenku, že součet přes historie se pro vesmír nemá provádět přes historie v reálném čase, nýbrž právě přes historie v čase imaginárním, uzavřené do sebe podobně jako zemský povrch. Protože tyto historie nemají žádné

singularities ani počátek či konec, určují jejich běh plně fyzikální zákony. To, co se přihodí v imaginárním čase, lze tedy spočítat. A znáte-li historii vesmíru v imaginárním čase, můžete spočítat, jak se chová v čase reálném. Je to cesta, která dovoluje doufat ve vytvoření úplné sjednocené teorie, jež by předpověděla vše ve vesmíru.

Einstein strávil hledáním takové teorie poslední léta svého života. Nenašel ji, protože nedůvěřoval kvantové mechanice. Nebyl připraven přijmout, že vesmír může mít alternativní historie, jak se předpokládá ve feynmanovském sčítání přes historie. Stále ještě neumíme udělat součet přes historie pro vesmír zcela korektně, jsme si však jisti, že správný postup bude obsahovat pojem imaginárního času a představu do sebe uzavřeného prostoročasu. Jsem přesvědčen, jak už jsem uvedl, že tyto myšlenky se budou zdát příštím generacím stejně přirozené jako představa kulaté Země. Imaginární čas se už stal běžnou rekvizitou science fiction. Je to však více než sci-fi nebo jen matematický trik. Je to něco, co formuje vesmír, v němž žijeme.

9. Počátek vesmíru

Předneseno na konferenci konané v červnu 1987 v Cambridgi pod názvem Tři sta let gravitace k třisetletému výročí vydání Newtonova díla Principia mathematica philosophia naturalis (Matematické principy přírodní filozofie).

Problém počátku vesmíru se podobá prastaré otázce, byla-li dříve slepice, nebo vejce. Jinými slovy - jaké jsoucno stvořilo vesmír a kdo naopak stvořil toto jsoucno. Možná že vesmír existoval odjakživa, nebo odjakživa existovalo jsoucno, které jej stvořilo. Až donedávna se vědci odpovědím na takové otázky vyhýbali, měli pocit, že náležejí spíše do metafyziky či náboženství než do vědy. V posledních několika letech se však ukazuje, že je vědecké

zákony možné užívat i k popisu samotného počátku vesmíru. Pak by byl vesmír soběstačný a plně určený zákony vědy.

Otázku, zda vesmír někdy započal a jak k tomu došlo, si kladlo lidstvo celou svou historií. V zásadě existovaly dvě myšlenkové školy. Podle řady starých tradic právě tak jako podle židovského, křesťanského a muslimského náboženství byl svět stvořen poměrně nedávno. (V sedmnáctém století vypočetl biskup Ussher, že svět byl stvořen v roce 4004 před Kristem. K tomuto údaji došel tak, že sčítal věky starozákonních postav.) Jedním z argumentů pro poměrně krátkou existenci lidstva byla skutečnost, že lidstvo se zjevně vyvíjí kulturně i technicky. U většiny významných děl a vynálezů známe jejich tvůrce. Z toho tedy plyne, vyvozovalo se, že zde nejsme příliš dlouho, jinak bychom už byli mnohem dále ve vývoji, než jsme. Je pravda, že biblické datum stvoření není příliš daleko od konce poslední ledové doby, kdy se objevil, jak se soudí, člověk dnešního typu.

Některým myslitelům, například řeckému filozofu Aristotelovi, se však představa počátku vesmíru nelíbila. Pociťovali, že předpokládá božský zásah. Dávali přednost myšlence, že vesmír existoval odjakživa a bude existovat věčně. Něco, co je věčné, jim připadalo dokonalejší než něco, co bylo stvořeno. Na argument, že málo pokročilý vývoj lidstva svědčí proti dlouhé existenci, odpovídali tak, že periodické záplavy a jiné přírodní pohromy opětovaně vracejí lidstvo k počátku vývoje.

Obě tyto školy ovšem předpokládaly, že se vesmír v podstatě nemění. Buď byl stvořen ve své současné formě, nebo ji měl od věčnosti. Jejich víra byla přirozená, protože lidský život je natolik krátký, že během něho k pozorovatelné změně vesmíru jako celku nedochází. Ve statickém, neměnném, vesmíru je otázka, zda existoval

věčně, nebo byl stvořen před konečnou dobou, opravdu metafyzickým či náboženským problémem - obě teorie popisují takový vesmír stejně dobře. V roce 1781 vydal německý filozof Immanuel Kant monumentální a dosti těžko srozumitelné dílo Kritika čistého rozumu. Došel v něm k závěru, že existují právě tak dobré argumenty pro to, že vesmír měl časový počátek, jako naopak pro to, že žádný neměl. Jak naznačuje název díla, jeho argumentace byla založena čistě na rozumovém uvažování, nijak se neodvolávala na pozorování. Koneckonců co se dá pozorovat v neměnném vesmíru?

V devatenáctém století se však počaly hromadit důkazy, že se vesmír ve skutečnosti vyvíjí. Geologové zjistili, že vytvoření hornin a fosilí vyžadovalo stovky či tisíce milionů let. Tedy dobu nesrovnatelně delší, než bylo stáří Země vypočtené kreacionisty. Dalším náznakem byla tzv. druhá věta termodynamická, formulovaná německým fyzikem Ludwigem Boltzmannem. Podle tohoto zákona celková neuspořádanost vesmíru (měřená veličinou zvanou entropie) s časem neustále roste. To ukazuje na totéž jako argument s lidským pokrokem - vesmír existuje jenom konečnou dobu, jinak by už zdegeneroval do stavu dokonalé neuspořádanosti, kde by vše mělo stejnou teplotu. K jiné potíži, pokud jde o představu statického vesmíru, vede gravitace. Podle Newtonova gravitačního zákona by se všechny hvězdy ve vesmíru měly navzájem přitahovat. Pokud tomu tak je, proč zůstávají nehybné v konstantních vzdálenostech od sebe? Proč na sebe nepadnou?

Newton si byl tohoto problému dobře vědom. V dopise Richardu Bentleymu, vůdčímu filozofu své doby, uvádí, že konečný soubor hvězd by nezůstal v klidu, všechny by se zhroutily do nějakého centrálního bodu. Vyslovil však přesvědčení, že nekonečný soubor hvězd by zkolabovat nemusel, protože takový nekonečný soubor žádný centrální

bod, do něhož by se mohl zhroutit, nemá. Taková argumentace však názorně ukazuje nástrahy, do nichž nás vláká naše intuice, uvažujeme-li o nekonečných soustavách. Ve skutečnosti záleží na tom, jaký postup při sčítání účinků sil jednotlivých hvězd na ostatní hvězdy nekonečného souboru volíme. Dnes víme, že správný postup je takový, při kterém nejdříve bereme v úvahu konečnou oblast vyplněnou hvězdami a pak k nim přidáváme další, ty, které vyplňují přibližně rovnoměrně vnějšek této oblasti. Konečný soubor hvězd se účinkem vlastní gravitace zhroutí a přidání hvězd do vnější oblasti tomu podle Newtonova gravitačního zákona nezabrání. Ani nekonečný soubor hvězd tedy nemůže zůstat v klidu. I když se v jednom okamžiku jedna vzhledem k druhé nepohybují, jejich vzájemná přitažlivost způsobí, že začnou na sebe padat. Mohou se však od sebe i vzdalovat, přičemž gravitace brzdí jejich relativní rychlosti.

Přes tyto obtíže s představou statického, neměnného, vesmíru nikdo během sedmnáctého, osmnáctého, devatenáctého, ba ani počátkem dvacátého století nepřišel na myšlenku, že by se vesmír mohl v čase vyvíjet. Jak Newton, tak i Einstein propásli příležitost předpovědět, že vesmír se musí buď hroutit, nebo rozpínat. Newtonovi to nemůžeme vyčítat, žil přece o dvě stě padesát let dříve, než byla expanze vesmíru objevena na základě astronomických pozorování. Einstein však tento závěr udělat mohl. Obecná teorie relativity, jak ji původně formuloval v roce 1915, totiž expanzi vesmíru předpovídala. Byl však natolik v zajetí představy staticčnosti vesmíru, že k rovnicím své teorie přidal dodatečný člen, který vyrovnával přitažlivý účinek gravitace a připouštěl statický vesmír.

Objev expanze vesmíru, o nějž se zasloužil Edwin Hubble v roce 1929, zcela pozměnil charakter diskuse o počátku vesmíru. Vezmeme-li dnes pozorovaný pohyb galaxií a

obrátime jeho směr, dojdeme k názoru, že všechny byly někdy před deseti až dvaceti miliardami let nakupeny v jednom bodě. O tomto počátečním stadiu mluvíme jako o singularitě zvané big bang či velký třesk, kdy hustota vesmírné hmoty i křivost prostoročasu byly nekonečné. Za těchto podmínek se všechny fyzikální zákony zhroutí. Taková situace je pro vědu přímo katastrofální. Zbavuje ji možnosti vyvodit, jak vesmír začal. Věda může jen konstatovat, že vesmír je dnes takový, jaký je, protože byl takový, jaký byl někdy předtím. Neumí však vysvětlit, proč byl takový, jaký byl těsně po velkém třesku.

Není divu, že řadu vědců takový stav věcí neuspokojoval. Objevilo se několik pokusů vyhnout se závěru, že existovala singularita velkého třesku, a tudíž i počátek času. Jedním z nich byla tzv. teorie stacionárního vesmíru. Její základní myšlenkou bylo, že jak se galaxie navzájem vzdalují, tvoří se mezi nimi nové z hmoty, která spojitě vzniká "z ničeho". Vesmír vždy existoval a bude existovat věčně ve více méně stejném stavu, v jakém je dnes.

K tomu, aby obecná teorie relativity připouštěla, že vesmír se rozpíná a zároveň se spojitě tvoří hmota, se musela poněkud upravit. Model však vyžadoval, aby se hmota tvořila velmi pomalu - v jednom krychlovém kilometru měla za rok vzniknout jedna částice -, a takovýto efekt by se přímým měřením vůbec nedal zjistit. Z této teorie však plynulo, že by průměrná hustota galaxií a podobných objektů měla být konstantní jak v prostoru, tak v čase. Martin Ryle a jeho cambridgeská skupina vypracovali přehled zdrojů rádiových vln ležících mimo naši Galaxii a z něho vyplývalo, že existuje mnohem více slabých zdrojů než silných. Dá se předpokládat, že zdroje, které jsou či se jeví jako slabší, jsou vzdálenější než zdroje silné. Takže zde byla dvojí možnost: buď žijeme v takové oblasti vesmíru, kde jsou silnější zdroje méně časté, než je tomu ve vesmíru v

průměru, nebo byla hustota radiozdrojů v minulosti větší, než je dnes. [Rádiové záření ze vzdálenějších zdrojů bylo vysláno před časem, který potřebuje k tomu, aby doletělo k nám. Pozorujeme-li tedy vzdálenější zdroje, pozorujeme stav vesmíru v minulosti.] Ani jedna z těchto možností nebyla v souladu s teorií stacionárního vesmíru, podle níž měla být hustota radiozdrojů stálá v prostoru i čase. Konečnou ránu zasadil teorii stacionárního vesmíru objev reliktového záření, o nějž se v roce 1964 přičinili Arno Penzias a Robert Wilson. Toto záření přichází z oblastí velmi vzdálených od naší Galaxie. Má spektrum, které má charakter spektra záření emitovaného horkým tělesem, i když v daném případě termín horký není příliš vhodný, protože jde o teplotu 2,7 K nad absolutní nulou, tedy asi 270 0C pod bodem mrazu. Vesmír je studené a temné místo! Teorie stacionárního vesmíru neposkytovala žádnou možnost vysvětlit existenci záření s takovýmto spektrem, a proto musela být opuštěna.

Jinou možnost, jak se vyhnout singulárnímu velkému třesku, zkoumali v roce 1963 dva ruští vědci, Jevgenij Lifšic a Isaak Chalatinikov. Ti došli k názoru, že v minulosti vesmíru by nastal stav nekonečné hustoty jen tehdy, kdyby se galaxie pohybovaly přímo jedna od druhé; jen v tom případě by jejich dráhy procházely v minulosti jedním bodem. Pokud by měly i určitou boční složku rychlosti, pak možná dnešní fázi vývoje vesmíru předcházela jeho kontrakce, kdy se sice galaxie dostaly neobyčejně blízko jedna k druhé, vyhnuly se však vzájemné srážce. Nato se začaly opět vzdalovat, vesmír se začal rozpínat, nikdy však nevznikl stav nekonečné hustoty.

Když Lifšic a Chalatinikovem přišli s touto myšlenkou, jsem byl doktorandským studentem a hledal jsem téma pro svou rigorózní práci. Otázka, zda byl, či nebyl velký třesk, mě nadmíru přitahovala, byla klíčovou otázkou k pochopení

problému počátku vesmíru. Společně s Rogerem Penrosem jsme vyvinuli matematickou metodu vhodnou k řešení tohoto i dalších problémů. Ukázali jsme, že pokud je správná obecná teorie relativity, musí každý rozumný (tj. slučitelný s pozorováním) model vesmíru začínat singularitou. [Galaxie soustředěné v malé oblasti se přitahují natolik silně, že se v žádném případě vzájemné srážce vedoucí k nekonečné hustotě hmoty nevyhnou.] To tedy znamenalo, že věda může jednoznačně tvrdit, že vesmír musel mít počátek, ale jaký tento počátek byl, už říci neumí. Chceme-li nějakou odpověď, musíme se odvolat na Boha.

Bylo zajímavé sledovat, jak se měnilo názorové klima v pohledu na singularity. Když jsem byl ještě v magisterském studiu, skoro nikdo je nebral vážně. Poté, co se objevily věty o singularitách, už skoro každý věří, že vesmír započal singularitou, kde fyzikální zákony ztrácejí použitelnost. Já si však dnes myslím, že i přes existenci singularity mohou fyzikální zákony předpovědět, jak vesmír započal.

Obecná teorie relativity je tzv. klasickou teorií - nebere v úvahu skutečnost, že částice nemají přesně určené polohy a rychlosti. Podle principu neurčitosti kvantové mechaniky, který zapovídá současné přesné určení poloh i rychlostí částic, jsou však tyto veličiny poněkud "rozmazány". V normálních situacích, které pozorujeme kolem sebe, to nehraje roli, protože poloměr křivosti prostoročasu je obrovský ve srovnání s neurčitostí v polohách částic. Z vět o singularitách však plyne, že prostoročas byl na počátku současné expanzní fáze vesmíru velice zakřivený, s nepatrným poloměrem křivosti. Za takových podmínek nabývá princip neurčitosti na důležitosti. Když tedy obecná teorie relativity předpovídá singularity, předpovídá svůj vlastní pád v těchto situacích. Abychom mohli studovat

počátek vesmíru, potřebujeme teorii, která by kombinovala obecnou teorii relativity s kvantovou mechanikou.

Takovou teorií je kvantová gravitace. Dnes ještě nevíme, jak přesně bude výsledná teorie kvantové gravitace vypadat. Nejlepším kandidátem je zatím tzv. teorie superstrun, ovšem stále ještě naráží na spoustu nevyjasněných obtíží. Můžeme však jmenovat určité prvky, které lze očekávat u každé životaschopné teorie. Jedním je Einsteinova myšlenka, že účinky gravitace jsou popsány strukturou prostoročasu, který se "zakřivuje" či "vrásní" v něm rozloženou hmotou a energií. Objekty se pohybují po křivkách, které se příliš neliší od přímky, což dovoluje zakřivený prostoročas. Právě toto zakřivení však způsobuje, že se nám jeví ohnuté, jako by byly pod vlivem gravitačního silového pole.

Jiným prvkem, který lze očekávat ve finální teorii, je myšlenka Richarda Feynmana formulovat kvantovou teorii jako "součet přes historie". Ve své nejjednodušší podobě tato formulace předpokládá, že každá částice má všechny možné dráhy - historie - v prostoročase. Každá dráha či historie se vyskytuje s určitou pravděpodobností, která závisí na jejím tvaru. Aby však tato idea matematicky fungovala, musíme předpokládat, že historie částic se odvíjí v imaginárním čase, který není totožný s reálným, námi vnímaným časem. Imaginární čas se může zdát jako pojem ze science fiction, je to však dobře definovaný matematický koncept. V jistém smyslu na něj můžeme pohlížet jako na proměnnou, jejíž směr je kolmý ke směru reálného času. V uvedeném postupu se pak sčítají pravděpodobnosti pro všechny historie částic, jež mají určité společné vlastnosti (například procházejí společnými body v určitých časech). Výsledek se potom extrapoluje zpět do reálného času, v němž žijeme. Toto není sice ten nejnámější přístup ke kvantové teorii, dává však stejné výsledky jako jiné metody.

V případě kvantové gravitace by se podle Feynmanovy myšlenky sčítalo přes všechny možné historie vesmíru, tj. přes nejružnější zakřivené prostoročasy. Ty by představovaly historii vesmíru a všeho v něm. Je ovšem třeba určit, jaká třída možných zakřivených prostoročasů má být do součtu přes historie zahrnuta. Volba této třídy pak určuje stav, v němž se vesmír nachází. Pokud třída zakřivených prostoročasů, které určují stav vesmíru, zahrnuje prostory se singularitou, pak pravděpodobnost výskytu takovýchto prostorů nebude teorií určena. Tyto pravděpodobnosti se musí předeepsat určitým, do značné míry však libovolným způsobem. To by znamenalo, že vědecký postup nemůže předpovědět pravděpodobnost takovýchto singulárních historií prostoročasu. Nemůže tedy předpovědět ani chování vesmíru. Je však možné, že vesmír je ve stavu, který je definován součtem obsahujícím pouze nesignulární zakřivené prostoročasy. Pak by fyzikální zákony určovaly vesmír plně. Nemuseli bychom tedy zavádět do svých úvah něco mimo vesmír, aby se jednoznačně určilo, jak započal.

Návrh zahrnout do součtu určujícího stav vesmíru jenom nesignulární historie tak trochu připomíná chování opilce hledajícího ztracený klíč pod lampou: klíč tam sice nemusí být, ale je to jediné místo, kde by ho mohl nalézt. Obdobně vesmír nemusí být ve stavu definovaném součtem přes nesignulární historie, ale jen v takovém případě je fyzika schopna určit, jaký by vesmír měl být.

V roce 1983 jsme s Jimem Hartlem navrhli, že stav vesmíru by měl být dán součtem přes určitou třídu historií. Tato třída sestávala z nesignulárních prostoročasů, které mají konečný objem, nemají však hranici nebo okraj. Takový prostoročas je geometrickou analogií povrchu Země, jenom má o dvě dimenze více. Povrch Země má konečnou plochu, nemá však žádné singularity, hranice nebo okraj. Zkoušel

jsem to experimentálně. Oblétl jsem svět, a nikam jsem z něj nespádl.

Hartleův a můj návrh bychom mohli parafrázovat tak, že hraniční podmínkou pro vesmír je, že žádnou hranici nemá. Pouze stav vesmíru určený podmínkou "žádná hranice" dovoluje určit z fyzikálních zákonů pravděpodobnost každé možné historie. Tedy jen v tomto případě dovolují známé vědecké zákony určit, jak se má vesmír chovat. V každém jiném stavu vesmíru zahrnuje třída zakřivených prostorů v součtu přes historie i singulární prostory. Abychom určili pravděpodobnosti takových singulárních historií, museli bychom známé zákony doplnit o nějaký další princip. A takový princip by byl něčím vnějším z hlediska našeho vesmíru, nemohli bychom jej nalézt čistě v jeho rámci. Na druhé straně, je-li vesmír ve stavu určeném podmínkou "žádná hranice", můžeme v principu úplně - až na omezení daná principem neurčitosti - určit, jak se má vesmír chovat. Zřejmě by tedy bylo pěkné, kdyby vesmír ve stavu "žádná hranice" byl, jak však zjistit, je-li v něm opravdu? Z podmínky "žádná hranice" plyne zcela určitá předpověď, jak by se vesmír měl chovat. Pokud by tato předpověď nesouhlasila s pozorováním, věděli bychom, že v takovém stavu není. Tedy navržená podmínka "žádná hranice" je dobrou vědeckou teorií ve smyslu definovaném filozofem Karlem Popperem: může být vyvrácena pozorováním.

Nebudou-li pozorování ve shodě s předpovědí naší teorie, budeme vědět, že do třídy možných historií musíme zahrnout i historie singulární, ale pak nebudeme schopni plnou historii vesmíru určit. Může se zdát, že na této nepředpověditelnosti zas tolik nezáleží, když se týká pouze okamžiku velkého třesku; koneckonců došlo k tomu už před deseti či dvaceti miliardami let. Jenže pokud vědecká předpovídatelnost přestává fungovat při velkém třesku, nemusí fungovat ani tehdy, když se gravitačně zhroutí

hvězda. K podobné události dochází možná jen v naší Galaxii několikrát za týden. Naše předpovědní schopnost by byla ubohá i podle standardů kladených na předpověď počasí.

Jistě, můžeme říci, že nás nemusí trápit ztráta prediktivní schopnosti vědy, jde-li o nějakou velmi vzdálenou hvězdu. Jenže podle kvantové teorie cokoli není z fyzikálních důvodů zakázáno, to může nastat a také občas nastane. Pokud tedy třída přípustných vesmírů zahrnuje prostoročasy se singularitami, mohou se tyto singularity vyskytnout kdekoli, nejen při velkém třesku nebo kolapsu hvězdy. To by znamenalo, že ve skutečnosti nejsme s to předpovídat cokoli. A naopak skutečnost, že fyzika je v předpovídání událostí tak úspěšná, lze pokládat za experimentální svědectví proti singularitám a ve prospěch podmínky "žádná hranice".

Co tedy teorie s podmínkou "žádná hranice" předpovídá pro vesmír? Předně si všimněme skutečnosti, že vzhledem ke konečnému rozsahu všech možných historií vesmíru bude mít jakákoli veličina, kterou uijeme jako míru času, svou největší a nejmenší hodnotu. Vesmír tedy bude mít svůj počátek a konec. Počátek v reálném čase bude právě singularita velkého třesku. Avšak tento počátek v imaginárním čase singulární nebude. Bude spíše analogií severního pólu na Zemi. Vezmeme-li za analogii míry času stupně zeměpisné šířky, můžeme říci, že Země má počátek na severním pólu. Přesto je severní pól zcela obyčejným bodem zemského povrchu - platí tam stejné zákony jako kdekoli jinde na Zemi. Právě tak událost, kterou můžeme označit jako "počátek vesmíru v imaginárním čase", bude obyčejným bodem prostoročasu tak jako každý jiný. Fyzikální zákony budou platit v tomto počátku tak jako kdekoli jinde.

V analogii se zemským povrchem bychom mohli předpokládat, že konec vesmíru bude analogický jeho počátku (jako se jižní pól nijak podstatně neliší od severního). Nicméně v naší analogii odpovídá severní a jižní pól počátku a konci historie vesmíru v imaginárním, ne v reálném čase, který vnímáme. Jakmile extrapolujeme výsledky součtu přes historie z imaginárního času do reálného, zjistíme, že konec vesmíru v reálném čase se může podstatně lišit od jeho počátku.

Jonathan Halliwell a já jsme udělali přibližný výpočet, co z předpokladu "žádná hranice" plyne. Vzali jsme vesmír jako dokonale hladké a homogenní pozadí, na kterém se vyskytují malé perturbace, tj. odchylky hustoty. V reálném čase bude situace taková, že se vesmír začne rozpínat z neobyčejně malého poloměru. Expanze bude nejprve takzvaně inflační: vesmír za zanedbatelný zlomek sekundy vždy zdvojnásobí svůj objem, tak jako se v některých zemích každý rok zdvojnásobují ceny. Světového rekordu v inflaci dosáhlo pravděpodobně Německo po první světové válce, kdy cena bochníku chleba vzrostla během několika měsíců z jedné marky na několik milionů marek. Takový inflační index je však zcela zanedbatelný ve srovnání s tím, co se dělo v raném vesmíru. Ten zvětšil svůj objem milionkrát milionkrát milionkrát milionkrát [tj. kvadrilionkrát] za malý zlomek sekundy. Tenkrát ovšem ještě nebyla u moci současná vláda.

Inflace byla blahodárná v tom, že vytvořila vesmír, který byl homogenní a izotropní ve velkých měřítkách a rozpínal se kritickou rychlostí, právě postačující k tomu, aby se nepočal znovu smršťovat. Byla blahodárná i v tom ohledu, že vytvořila celou materiální náplň vesmíru doslova z ničeho. Když byl vesmír jediným bodem analogickým severnímu pólu, nic v něm nebylo. Zato dnes je jen v té části vesmíru, kterou můžeme pozorovat, řádově 10⁸⁰ (v

běžném zápisu jednička, za níž stojí osmdesát nul) částic. Odkud se všechny tyto částice vzaly? Teorie relativity a kvantová teorie totiž dovolují, aby se z energie tvořily páry částice-antičástice. A odkud pochází energie, na jejíž úkor se částice tvořily? Odpověď zní, že ji zapůjčila gravitační energie vesmíru. Vesmír má obrovský dluh negativní gravitační energie, která právě přesně vyrovnává kladnou energii hmoty. Během inflační fáze si vesmír těžce vypůjčoval od své gravitační energie, aby mohl financovat tvorbu většího a většího množství hmoty. Výsledek byl triumfem keynesiánské ekonomie: průbojný a rozrůstající se vesmír, naplněný materiálními objekty. Poskytnutý úvěr gravitační energie bude vesmír splácet až ke konci svého života.

Raný vesmír nemohl být zcela homogenní ani hladký, to by odporovalo principu neurčitosti. Musely zde být odchylky od rovnoměrné hustoty. Z předpokladu "žádná hranice" plyne, že tyto nehomogenity se začaly vyvíjet ze svého základního stavu, to znamená, že na počátku byly tak malé, jak jen to bylo možné s ohledem na princip neurčitosti. Během inflační expanze se začaly zvětšovat a po jejím ukončení se vesmír v některých oblastech rozpínal o něco rychleji než v jiných. V oblastech pomalejší expanze zbrzdila gravitační přitažlivost hmoty toto rozpínání ještě podstatněji. Nakonec se tyto oblasti rozpínat přestaly a začaly se naopak smršťovat. V nich rozprostřená látka začala vytvářet galaxie a hvězdy. Předpoklad "žádná hranice" je tedy s to vysvětlit vznik všech komplikovaných struktur, které vidíme kolem nás. Nedává ovšem jednoznačnou předpověď vývoje vesmíru. Předpovídá ve skutečnosti celou třídu jeho možných historií, z nichž každé připisuje určitou pravděpodobnost. Je mezi nimi třeba i historie, ve které Labour party zvítězila v posledních volbách v Británii, i když její pravděpodobnost je malá.

Teorie založená na předpokladu "žádná hranice" má hluboké důsledky pro roli Boha ve vesmírných záležitostech. Dnes se všeobecně uznává, že vesmír se vyvíjí podle dobře definovaných zákonů. Tyto zákony se mohou řídit Boží vůlí, ale zdá se, že On nezasahuje do vesmírného vývoje a zákony neporušuje. Ještě nedávno se však soudilo, že tyto zákony ztrácejí svou platnost v samém počátku vesmíru. Bylo na Bohu, aby natáhl hodinový stroj a nařídil vesmír tak, aby běžel podle jeho přání. Dnešní stav vesmíru by tedy byl výsledkem Boží volby počátečních podmínek.

Jiná situace nastává, platí-li něco podobného jako náš předpoklad "žádná hranice". Pak platí fyzikální zákony i v samém počátku vesmíru a Bůh nemá volnost ve volbě počátečních podmínek. Má samozřejmě pořád volnost ve volbě zákonů, jimiž se vesmír řídí. Ale možná ani tady není příliš z čeho volit. Možná že existuje jen velmi omezený počet bezrozporných zákonů, které vedou ke vzniku takových složitých bytostí, jako jsme my lidé, které se mohou tázat: "Jaká je podstata Boha?"

Třebaže je jedna jediná sada možných zákonů, jde jen o soustavu rovnic. Co vdechuje oheň do rovnic a vytvoří vesmír, kterým by vládly? Je konečná sjednocená teorie tak podmanivá, že vynucuje svou vlastní existenci? Věda sice snad vyřeší problém, jak vesmír začal, nezodpoví však otázku, proč se vesmír obtěžuje existovat. Na to odpověď neznáme.

10. Kvantová mechanika černých děr

Zveřejněno v časopise Scientific American v lednu 1977.

Prvních třicet let tohoto století bylo svědkem vzniku tří teorií, které radikálně pozměnily náš pohled na fyziku a realitu samu. Fyzikové ještě stále zkoumají jejich různé důsledky a snaží se je sloučit v jediný celek. Těmito teoriemi jsou speciální teorie relativity (1905), obecná teorie relativity (1915) a kvantová mechanika (okolo 1926).

Albertu Einsteinovi přísluší z velké části zásluha za první z nich, zcela jeho dílem je druhá a hrál velkou roli i při vytváření třetí. Einstein však kvantovou mechaniku nepřijal vzhledem k prvkům náhodnosti a nejistoty v ní obsažených. Své námitky vyjádřil často citovaným výrokiem: "Bůh nehraje v kostky!" Většina fyziků však ochotně přijala jak speciální teorii relativity, tak kvantovou teorii, protože popisovaly přímo pozorovatelné efekty. Na druhé straně se obecné teorii relativity věnovala mnohem menší pozornost, protože je matematicky příliš komplikovaná, není bezprostředně ověřitelná v laboratoři a je to čistě klasická teorie, která se zdála neslučitelná s kvantovou mechanikou. Obecná teorie relativity tak skoro celých padesát let zůstávala v ústraní.

Zájem o obecnou teorii relativity oživil veliký rozmach astronomických pozorování počátkem šedesátých let. Řada nových objektů v té době objevených - kvazary, pulzary a kompaktní rentgenové zdroje - svědčila totiž o existenci silných gravitačních polí. A taková pole mohla popsat právě jen obecná teorie relativity.

Kvazary jsou objekty podobné hvězdám, které však musí vyzařovat mnohonásobně více energie než celá galaxie, pokud se nacházejí v takových vzdálenostech, jak to naznačuje červený posuv jejich spekter. Pulzary jsou rychle periodicky blikající pozůstatky exploze supernov; předpokládá se, že jde o rychle rotující superhutné neutronové hvězdy. Kompaktními rentgenovými zdroji, odhalenými přístroji umístěnými na umělých družicích, mohou být i neutronové hvězdy či hypotetické zdroje o ještě větší hustotě - černé díry.

Jedním z problémů, s nimiž se potýkali fyzikové snažící se aplikovat obecnou teorii relativity na tyto nově objevené či hypotetické objekty, bylo dostat ji do souladu s kvantovou mechanikou. V několika posledních letech došlo k

takovému pokroku v teorii, že dává naději, že zanedlouho budeme mít plně konzistentní kvantovou teorii gravitace, tj. takovou teorii, která bude v souladu s výsledky obecné teorie relativity pro makroskopické objekty a přitom nebude zatížena nekonečny, která jsou vadou na kráse kvantové teorie jiných polí. Tento vývoj má něco společného s nedávno objevenými kvantovými efekty spojenými s černými dírami, které ukazují na pozoruhodnou souvislost mezi černými dírami a zákony termodynamiky.

A teď v krátkosti, jak může černá díra vzniknout. Představme si hvězdu, jejíž hmotnost dosahuje přibližně desetinásobku hmotnosti Slunce. Většinu svého života, to znamená asi miliardu let, produkuje ve svém centru teplo tím, že přetváří vodík v helium. Uvolněná energie vyvolává tlak dostatečný k tomu, aby zabránil hvězdě zhroutit se účinkem vlastní gravitace. Takovýto rovnovážný objekt bude mít asi pětinašobný poloměr Slunce. Úniková rychlost na povrchu takového tělesa je kolem 1 000 kilometrů za sekundu. To znamená, že objekt vystřelený z povrchu hvězdy přímo vzhůru rychlostí menší než 1 000 kilometrů za sekundu na ni nakonec znovu spadne účinkem jejího gravitačního pole, zatímco objekt vystřelený větší rychlostí unikne do nekonečna.

Když hvězda vyčerpá své jaderné palivo, nemá v ní už co udržovat spád tlaku směrem vzhůru a začne se hroutit účinkem vlastní gravitace. Jak se hvězda smršťuje, gravitační pole na jejím povrchu sílí a úniková rychlost roste. V okamžiku, kdy její poloměr klesne na pouhých 30 kilometrů, vzroste úniková rychlost na 300 000 kilometrů za sekundu, tedy na rychlost světla. Po tomto okamžiku se světlo vyslané z povrchu hvězdy nemůže vzdálit do nekonečna, nýbrž je gravitačním polem vtaženo zpět. A protože podle speciální teorie relativity se nic nemůže

pohybovat rychleji než světlo, nic také nemůže z hvězdy uniknout.

Výsledkem takového procesu bude černá díra: oblast prostoročasu, z níž nic nemůže uniknout do nekonečna. Hranice černé díry se nazývá horizont událostí. Představuje vlastně čelo vlny, která nemůže uniknout do nekonečna a vznáší se na Schwarzschildově poloměru $2GM/c^2$, kde G je Newtonova gravitační konstanta, M hmotnost hvězdy a c rychlost světla. Pro hvězdu s hmotností rovnou desetinásobku sluneční hmotnosti je Schwarzschildův poloměr roven asi 30 kilometrům.

Dnes jsme získali přesvědčivé experimentální důkazy, že černé díry těchto rozměrů existují ve dvojhvězdách. Příkladem je rentgenový zdroj v souhvězdí Labutě označovaný jako Cygnus X-1. Ve vesmíru může být také celá řada velmi malých černých děr, které nevznikly kolapsem hvězd, nýbrž kolapsem vysoce stlačené látky, která - jak se soudí - naplňovala vesmír krátce po velkém třesku. Tyto tzv. primordiální (prvotní) černé díry jsou velmi zajímavé z hlediska kvantových efektů. Černá díra o hmotnosti miliardy tun (což je tak přibližně hmotnost hory) by měla poloměr asi 10-13, tedy řádově rozměr neutronu či protonu. Mohla by obíhat buď kolem Slunce, nebo kolem centra Galaxie.

Prvním náznakem, že by mohla být souvislost mezi fyzikou černých děr a termodynamikou, byl matematický objev z roku 1970, že plocha horizontu událostí vždy vzrůstá, pokud do černé díry padá nějaká dodatečná hmota. Navíc pokud se dvě černé díry srazí a spojí se v jednu novou, velikost plochy horizontu kolem výsledné černé díry bude větší než součet ploch horizontů obou objektů původních. To ukazuje na určitou podobnost mezi plochou horizontu a pojmem entropie v termodynamice. Entropie je mírou neuspořádanosti systému - charakterizuje neznalost jeho

přesného stavu. Slavná druhá věta termodynamická říká, že entropie uzavřeného systému s časem vždy vzrůstá.

Tuto analogii mezi vlastnostmi černých děr a zákony termodynamiky rozšířili James M. Bardeen z Washingtonské univerzity, Brandon Carter, působící dnes na observatoři v Meudonu, a já. První věta termodynamická říká, že malou změnu entropie systému provází úměrná změna energie systému. Koeficient úměrnosti se nazývá teplota. Bardeen, Carter a já jsme zjistili, že obdobný zákon svazuje změnu hmotnosti černé díry s plochou horizontu událostí. Zde koeficient úměrnosti obsahuje veličinu zvanou povrchová gravitace, která je mírou síly gravitačního pole na horizontu událostí. Pokud přijmeme, že plocha horizontu událostí je analogií entropie, pak nás napadne, že povrchovou gravitaci lze chápat jako analogii teploty. Tuto podobnost ještě podtrhuje skutečnost, že povrchová gravitace je stejná ve všech bodech horizontu událostí, podobně jako je v celém systému v termodynamické rovnováze stejná teplota.

I když se zjevně nabízela podobnost mezi entropií a plochou horizontu událostí, nebylo nám jasné, jak obsah této plochy skutečně s entropií ztotožnit. Co může znamenat pojem entropie černé díry? Základní pokrok představovala myšlenka Jacoba D. Bekensteina, studenta Princetonské univerzity (nyní působícího na Negevské univerzitě v Izraeli), z roku 1972.

Když se gravitačním kolapsem vytvoří černá díra, rychle se ustálí ve stacionárním stavu určeném pouze třemi veličinami: hmotností, elektrickým nábojem a momentem hybnosti, charakterizujícím její rotaci. Kromě těchto tří charakteristik si černá díra neuchová žádnou z detailních vlastností původního objektu, který zkolaboval. Tento závěr, označovaný jako teorém "černá díra nemá vlasy", dokázali

ve svých pracích Carter, Werner Israel z univerzity v Albertě, David C. Robinson z londýnské King's College a já. Věta "černá díra nemá vlasy" znamená, že při gravitačním kolapsu se ztrácí velké množství informací. O konečném stavu černé díry například vůbec nerozhoduje, zda vznikla zhroucením objektu tvořeného hmotou nebo antihmotou, nebo jestli bylo původní těleso sféricky symetrické či velmi nepravidelné. Jinými slovy - černá díra o dané hmotnosti, elektrickém náboji a momentu hybnosti mohla vzniknout kolapsem velice rozličných hmotných konfigurací. Pokud se zanedbají kvantové efekty, je počet všech možných konfigurací nekonečný, protože černá díra dané hmotnosti se může vytvořit kolapsem nekonečného množství částic s nekonečně malou hmotností.

Avšak z kvantověmechanického principu neurčitosti plyne, že částice hmotnosti m se chová jako vlna o vlnové délce h/mc , kde h je Planckova konstanta (jejíž hodnota je dána nepatrným číslem $6,62 \times 10^{-27}$ erg . s) a c je rychlost světla. Aby mohl oblak částic zkolabovat a vytvořit černou díru, musí jít o vlnovou délku kratší, než je poloměr černé díry, která se vytvoří. Z toho vyplývá, že počet konfigurací, z nichž se může vyvinout černá díra dané hmotnosti, náboje a momentu hybnosti, bude konečný, i když nesmírně veliký. Bekenstein navrhl, aby se entropie černé díry definovala logaritmem tohoto čísla. Tato veličina pak bude mírou množství informací, které se nenávratně ztratí, když se černá díra vytvoří.

Zdálo se však, že Bekensteinův návrh má fatální nedostatek. Má-li černá díra konečnou entropii danou obsahem plochy horizontu událostí, měla by mít také konečnou teplotu, úměrnou povrchové gravitaci. Z toho by však plynulo [pokud chceme udržet analogii s obvyklou termodynamikou], že černá díra by měla být v rovnováze s termálním zářením nenulové teploty. Podle klasické

představy však taková rovnováha není možná, protože černá díra by podle své definice pohlcovala všechno na ni dopadající záření a žádné by nevydávala zpět - a takový stav rovnovážný není.

Tento paradox byl překonán až počátkem roku 1974, kdy jsem zkoumal, jak by se hmota měla chovat v blízkosti černé díry podle zákonů kvantové mechaniky. K svému obrovskému údivu jsem zjistil, že by černá díra měla vyzařovat stálý proud částic. Tak jako každý v té době jsem přijímal jako nezvratnou skutečnost danou samou její definicí, že černá díra nemůže vyzařovat vůbec nic. Věnoval jsem proto nemálo úsilí tomu, abych se zbavil podivného efektu, který z mých výpočtů vycházel. Vytrvale však vzdoroval, a tak mi nezbylo než jej přijmout. Nakonec mě o jeho reálnosti přesvědčila skutečnost, že spektrum vyzařovaných částic vycházelo přesně termální: černá díra tvoří a vyzařuje částice tak, jako kdyby to bylo obyčejné horké těleso, přičemž je její teplota přímo úměrná povrchové gravitaci a nepřímo úměrná její hmotnosti. Tím se Bekensteinova myšlenka dostala zcela do souladu s obecnou termodynamikou: ukázalo se totiž, že černá díra opravdu může být při určité nenulové teplotě v termodynamické rovnováze.

Od té doby ověřovala matematický důkaz, že černá díra emituje záření, různými metodami celá řada lidí. Jeden ze způsobů, jak toto vyzařování můžeme chápat, je následující. Z kvantové teorie plyne, že prostor vyplňují páry "virtuálních" částic a antičástic, které se neustále materializují v párech, částice páru se separují a pak zase setkávají a anihilují. Částicím se říká virtuální proto, že je na rozdíl od částic skutečných nelze bezprostředně pozorovat pomocí detektorů částic. Lze však měřit jejich nepřímé vlivy a jejich reálná existence byla potvrzena malým posunem ve spektru světla vyzařovaného

vodíkovými atomy (Lambův posun). V poli černé díry může jedna z částic virtuálního páru spadnout do vnitřku díry, takže druhá už nemá partnera, s nímž by anihilovala. Opuštěná částice či antičástice může také následovat svou partnerku v pádu do černé díry, může však i odletět do nekonečna; pak ji zaregistrujeme jako záření vysílané černou dírou.

Na proces můžeme pohlížet i jinak. Člena páru, který padá do černé díry, dejme tomu antičástici, můžeme pokládat za částici, která se pohybuje zpět v čase. Tedy na antičástici padající do černé díry můžeme pohlížet jako na částici, která se pohybuje ven, jenže obráceně v čase. Když dosáhne bodu, v němž se pár materializuje, je rozptýlena gravitačním polem, takže cestuje vpřed v čase.

Kvantová mechanika tedy částicím dovoluje uniknout z černé díry, což klasická mechanika striktně zakazuje. Podle kvantové teorie však existuje i řada dalších situací v atomové a jaderné fyzice, kde se částice mohou "protunelovat" určitou bariérou, nepřekročitelnou z hlediska klasické mechaniky. [Tzv. tunelový jev je typickým příkladem odlišnosti zákonů klasické a kvantové mechaniky. Ze základní školské fyziky víme, že klasická hmotná částice nemůže překonat bariéru určité výšky, nemá-li větší pohybovou energii, než je rozdíl její potenciální energie v zemském gravitačním poli na úpatí a vrcholu překážky. Lyžař nepřejede kopeček na své dráze, nemá-li dostatečnou rychlost. Pro mikročástici v obdobné situaci však existuje určitá pravděpodobnost, že se ocitne na druhé straně "kopečku" i tehdy, má-li energii menší, jako kdyby prošla jakýmsi tunelem - odtud název jevu. Tento tunel ovšem reálně neexistuje. Jev je dobře experimentálně ověřen. Vysvětluje například mechanismus alfa rozpadu jádra a má i řadu technických aplikací, například v tzv. tunelových diodách.]

Tloušťka bariéry kolem černé díry je úměrná jejím rozměrům. Z černé díry té velikosti, jakou by měla mít předpokládaná černá díra ve zdroji Cygnus X-I, může uniknout jen nepatrné množství částic; z menších černých děr však mohou unikat částice velice rychle. Podrobný výpočet ukazuje, že částice mají termální spektrum odpovídající teplotě, která prudce vzrůstá s klesající hmotností díry. Černá díra o hmotnosti Slunce má teplotu rovnou pouze desetimiliontině kelvina nad absolutní nulou. Toto záření by se zcela ztrácelo v pozadí ostatního vesmírného záření. Ale černá díra o hmotnosti pouze miliardy tun - a taková by mohla být primordiální černá díra z počátku vesmíru, jejíž rozměry by zhruba odpovídaly rozměrům protonu - by měla teplotu asi 120 miliard kelvinů, což odpovídá střední energii vyzařovaných částic rovné asi 10 milionům elektronvoltů. Při takové teplotě by černá díra byla schopna vytvářet elektronové a pozitronové páry a částice s nulovou klidovou hmotností, jako jsou fotony, neutrina a gravitony (předpokládané nositele gravitační energie). Primordiální černá díra by měla energetický výkon asi 6 000 megawatů, tedy výkon odpovídající šesti velkým jaderným elektrárnám.

Jak černá díra vyzařuje částice, její hmotnost a rozměr postupně klesají. Tím je pro větší počet částic snadnější prodrat se ven, a tak černá díra září stále víc a více, až se nakonec celá vyzáří. Po hodně dlouhé době se takto nakonec vypaří každá černá díra ve vesmíru. Velkým černým dírám to ovšem trvá velice dlouho; černá díra hmotnosti Slunce vydrží 1066 let. Na druhé straně by se primordiální černá díra téměř úplně vypařila za těch řádově 10 miliard let, které uplynuly od velkého třesku, počátku našeho vesmíru. Takové černé díry by nyní vyzařovaly tvrdé gama částice o energii okolo 100 milionů elektronvoltů.

Spolu s Donem N. Pagem, tehdy působícím na Kalifornském technickém institutu, jsme vypočetli, že z měření kosmického gama záření prováděného družicí SAS-2 vyplývá, že průměrná hustota primordiálních černých děr ve vesmíru je menší než 200 děr na krychlový světelný rok. Lokální hustota černých děr v naší galaxii by mohla být i milionkrát větší, pokud by primordiální černé díry nebyly rozesety po vesmíru homogenně, nýbrž se koncentrovaly především v galaktických halech, řídkých oblacích rychle se pohybujiících hvězd obklopujících každou galaxii. I při tom neoptimističtější odhadu slučitelném s pozorovaným zářením gama je nejbližší primordiální černá díra od Země pravděpodobně nejméně tak daleko jako planeta Pluto.

Závěrečná fáze vypařování černé díry by probíhala tak prudce, že by skončila obrovskou explozí. Její mohutnost by závisela na tom, kolik různých druhů elementárních částic by bylo přítomno. Pokud - jak se dnes obecně věří - jsou elementární částice složeny z šesti druhů kvarků, představovala by závěrečná exploze ekvivalent výbuchu deseti milionů megatunových vodíkových bomb. Podle konkurenční teorie Rolfa Hagedorna z CERN, Evropského centra pro jaderný výzkum v Ženevě, by mělo existovat nekonečně mnoho různých elementárních částic s větší a větší hmotností. Jak se černá díra zmenšuje a zároveň narůstá její teplota, měla by produkovat stále větší a větší počet druhů elementárních částic. Pak by výsledná exploze byla možná až stotisíckrát mohutnější, než odpovídá výpočtu na základě kvarkové hypotézy. Pozorování výbuchů černých děr by tedy mohlo poskytnout velmi důležité informace o fyzice elementárních částic, které možná nepůjde získat jiným způsobem.

Explozi černé díry by provázal obrovský výtrysk vysokoenergetického gama záření. Toto záření by sice mohlo být pozorováno z družic nebo stratosférických balonů,

instalovat však na tato zařízení detektory dostatečně velké, aby zachytily významnější množství fotonů gama, by bylo obtížné. Jednou z možností by bylo zbudovat pomocí raketoplánu speciální laboratoř na oběžné dráze. Jiná a podstatně levnější možnost, která se nabízí, je užít jako detektoru horní vrstvy samotné atmosféry. Vysokoenergetické gama paprsky vstupující do atmosféry zde dají vzniknout elektronovým-pozitronovým párům, které se v atmosféře zpočátku budou pohybovat rychleji než světlo. (Světlo je v atmosféře zpomalováno interakcí s molekulami vzduchu, takže jeho rychlost je o něco málo menší, než je rychlost ve vakuu, podle teorie relativity maximální rychlost čehokoli.) Takto se pohybující elektrony a pozitrony vyvolají elektromagnetickou analogii zvukové rázové vlny buzené nadzvukovým letadlem. Tuto rázovou elektromagnetickou vlnu zvanou Čerenkovovo záření bychom pozorovali na Zemi jako záblesky viditelného světla. Předběžné pokusy prováděné Neilem A. Porterem a Trevorem C. Weekesem z University College v Dublinu naznačují, že pokud černé díry explodují tak, jak předpovídá Hagedornova teorie, nastávají v naší oblasti Galaxie méně než dvě exploze na krychlový světelný rok za století. Citlivost těchto měření lze podstatně zvýšit. I kdyby nepřinesla pozitivní důkaz existence primordiálních černých děr, budou velmi cenná. Pokud totiž bude horní hranice pro výskyt primordiálních černých děr nízká, bude to prokazovat, že raný vesmír musel být velmi hladký a bez turbulencí.

Samotný velký třesk připomíná explozi černé díry, jenomže v mnohonásobně větších rozměrech. Můžeme tedy doufat, že porozumíme-li, jak se tvoří částice kolem černé díry, porozumíme i tomu, jak velký třesk porodil vše ve vesmíru. V černé díře hmota kolabuje a navždy se ztrácí, místo ní se

však tvoří nová. Možná měl vývoj vesmíru fázi, kdy hmota kolabovala a byla znovu stvořena při velkém třesku.

Pokud látka, která kolabuje, nese určitý celkový elektrický náboj, bude mít výsledná černá díra stejný náboj. To znamená, že taková černá díra bude přitahovat ty partnery z páru částice--antičástice, kteří nesou opačný náboj, a naopak odpuzovat ty s nábojem souhlasným. Černá díra bude proto vyzařovat především částice se stejným nábojem, jako má sama, a bude tak svůj celkový náboj rychle ztrácet. Obdobně nese-li kolabující hmota nějaký celkový moment hybnosti, bude přednostně emitovat částice, které ho odnášejí. Černá díra si "pamatuje" svůj původní elektrický náboj, celkovou hmotnost kolabující hmoty a moment hybnosti, protože tyto tři veličiny jsou svázány s poli dlouhého dosahu, elektrický náboj s polem elektromagnetickým, hmotnost a moment hybnosti s polem gravitačním.

Experimenty Roberta H. Dickeho z Princetonské univerzity a Vladimira Braginského z Moskevské státní univerzity naznačují, že žádné pole dlouhého dosahu není spojeno s veličinou zvanou baryonové číslo. (Baryony jsou třída částic, do které patří proton a neutron.) Proto černá díra vzniklá kolapsem látky tvořené baryony své baryonové číslo "zapomene" a bude vyzařovat stejný počet baryonů jako antibaryonů. Když tedy černá díra zmizí, naruší to jeden z nejhýčkanějších zákonů fyziky elementárních částic - zákon zachování baryonového čísla.

I když Bekensteinova hypotéza, že černé díry mají konečnou entropii, vyžaduje pro svou logickou soudržnost, aby vyzařovaly termálně, na první pohled vypadá jako zázrak, že stejný výsledek vykazuje i detailní kvantověmechanický výpočet. Vysvětlením této pozoruhodné skutečnosti je fakt, že emitované částice vycházejí prostřednictvím tunelového jevu z černé díry, oblasti, o níž vnější pozorovatel neví nic

víc, než jaký je její celkový elektrický náboj, hmotnost a moment hybnosti. To znamená, že všechny kombinace či konfigurace částic, které mají stejnou celkovou energii, moment hybnosti a elektrický náboj, jsou stejně pravděpodobné. Černá díra by ve skutečnosti mohla ze sebe vyzářit televizní přijímač nebo v kůži vázané Proustovo dílo v deseti svazcích, jenže konfigurace, které odpovídají těmto exotickým možnostem, jsou zanedbatelně malé. Daleko největší počet konfigurací odpovídá záření, které má téměř termální spektrum.

Oproti běžné neurčitosti, která je normálně svázána s kvantověmechanickým popisem, má záření z černé díry jeden stupeň neurčitosti či nepředpověditelnosti navíc. V klasické mechanice můžeme předpovědět jak výsledek měření polohy, tak rychlosti částice. V kvantové teorii princip neurčitosti říká, že předpovědět lze jen jedno z těchto měření; pozorovatel může předpovídat buď polohu, nebo rychlost částice, ne však obojí najednou. Místo toho může též předpovědět nějakou (ale pouze jednu) kombinaci rychlosti a polohy. Prediktivní schopnost pozorovatele je tedy snížena na polovinu. U černých děr je však situace ještě horší. Protože vyzařované částice vycházejí z oblasti, o níž toho pozorovatel ví jen málo, nemůže předpovědět ani jednu z obou veličin, tj. ani polohu, ani rychlost či nějakou jejich kombinaci. Jediné, co může předpovídat, je pravděpodobnost, s jakou se vyzáří určité částice. Zdá se tedy, že Einstein chyboval dvojnásobně, když prohlašoval, že Bůh nehraje v kostky. Úvahy o tom, že černá díra emituje částice, nasvědčují, že Bůh nejenže v kostky hraje, ale občas je hází i tam, kde je nikdo nemůže vidět.

11. Černé díry a zrod vesmírů

Předneseno na Kalifornské univerzitě v Berkeley v dubnu 1988.

Pád do černé díry se stal jedním ze sci-fi hororů. Ale černé díry jsou dnes opravdu závažným vědeckým problémem, nejen rekvizitou vědecké fantastiky. Jsou dobré důvody věřit v správnost teoretické předpovědi jejich existence a observační fakta naznačují, že je jich jak v naší, tak i v ostatních galaxiích dokonce značný počet.

Autoři vědecko-fantastických děl si skutečně přijdou na své, když popisují, co se stane, když člověk do černé díry spadne. Často se líčí, že pokud černá díra rotuje, proletěl by malou prostoročasovou dírou a vynořil by se v nějaké jiné části vesmíru. To poskytuje samozřejmě nebývalé možnosti pro kosmické cestování. Něco podobného skutečně potřebujeme, pokud cesty k jiným hvězdám, nemluvě už o jiných galaxiích, mají být prakticky proveditelným projektem budoucnosti. Víme totiž, že se nic nemůže pohybovat rychleji než světlo ve vakuu. To však znamená, že okružní cesta k nejbližší hvězdě by trvala přinejmenším osm let - to je trochu nepohodlné, pokud bychom chtěli strávit víkend na alfě Centauri. [Hvězdy se označují jménem souhvězdí, v němž se nacházejí, a písmeny řecké abecedy postupně podle své hvězdné velikosti, to znamená pozorovaného jasů; alfa Centauri je tedy nejjasnější hvězdou v souhvězdí Kentaura. Je to hvězda nejbližší sluneční soustavě, vzdálená "pouhé" čtyři světelné roky, proto se nazývá též Proxima (nejbližší) Centauri.] Kdyby však bylo možné proletět černou dírou, mohli bychom se vynořit na nějakém velmi vzdáleném místě vesmíru. Jen není zcela jasné, jak se dostat k předem určenému cíli - člověk se rozhodne pro výlet do souhvězdí Panny, a skončí někde v Krabí mlhovině!

Je mi líto, že zklamání zájemce o podobný způsob vesmírné turistiky, ale takový scénář by nefungoval. Skočíte-li do černé díry, roztrhá vás to na kusy. Je pravda, že v určitém smyslu budou částice tvořící vaše tělo přeneseny do jiného

vesmíru. Asi vás však neuspokojí, že částice vašeho těla přežijí, pokud z vás černá díra udělá špagetu.

Přes lehce uštěpačný tón, s nímž jsem začal, je tento esej založen na solidní vědě. S velkou částí toho, co řeknu, souhlasí většina ostatních vědců pracujících v tomto oboru, i když se shody dosáhlo poměrně nedávno. Poslední část eseje je však založena na velmi čerstvých výsledcích, které si ještě nevysloužily obecný souhlas, budí však značný zájem a rozruch.

I když předpověď existence objektů, o kterých dnes hovoříme jako o černých dírách, má více než dvoustoletou historii, zavedl název černá díra až v roce 1967 americký fyzik John A. Wheeler. Byl to záblesk génia. Jméno zaručilo nejen to, že černé díry vstoupily do mytologie sci-fi, ale podnítilo i vědecký výzkum. Objekt, doposud bezejmenný, dostal zajímavý název. Důležitost vhodného jména nesmí být ve vědě podceňována. [V této souvislosti stojí za povšimnutí reklamní prvky a humor v moderní fyzikální terminologii. Termín "kvark", s nímž jsme se setkali v předchozích esejích, byl přejat z díla Jamese Joyce Finnegan's Wake, které je samo určitým literárním žertem. Humorný nádech má zvukomalebné označení "big bang" pro počáteční "výbuch" vesmíru, pro něž se ujalo české "velký třesk", protože v této souvislosti nemá smysl hovořit o zvukových efektech, tak jako kvarky nemají barvu v obvyklém smyslu. Podobně je tomu i s teorémem zvaným "no hair theorem" ("černá díra nemá vlasy") a autorovým termínem "baby universes" v tomto eseji, pro něž se obtížně hledá adekvátní překlad; užívám "kosmická mimina", doufám však, že toto označení nezdomácní a někdo najde lepší, pokud si "baby universes" uhájí trvalé postavení ve fyzice.]

Pokud je mi známo, byl prvním, kdo se zmiňoval o černých dírách, cambridgeský učenec jménem John Michell: napsal

o nich článek v roce 1783. Vycházel z následující myšlenky. Představme si dělovou kouli vystřelenou z povrchu Země kolmo vzhůru. Pohyb koule bude brzděn gravitací. Nakonec dosáhne nejvyššího bodu, zastaví se a začne opět padat. To ovšem platí, pokud je počáteční rychlost koule menší než určitá kritická rychlost. Je-li větší, nikdy se nepřestane vzdalovat a nezačne nikdy padat zpět. Takové rychlosti se říká úniková. Pro Zemi je rovna asi 11 kilometrům za sekundu, na Slunci má hodnotu kolem 160 kilometrů za sekundu. V obou případech jde o rychlosti vyšší než u reálných dělových koulí, ale mnohem nižší, než je rychlost světla, tedy 300 000 kilometrů za sekundu. To naznačuje, že vliv gravitace na světlo bude u Země i Slunce malý - světlo snadno unikne ze Země i ze Slunce. Michell zvažoval i možnost existence hvězdy dostatečně hmotné a zároveň s tak malými rozměry, že by úniková rychlost z jejího povrchu byla vyšší než rychlost světla. Takovou hvězdu bychom nemohli vidět, protože by nás světlo z jejího povrchu nikdy nedostihlo: zadrželo by je gravitační pole hvězdy. Existenci hvězdy bychom ovšem mohli zjistit prostřednictvím účinků jejího gravitačního pole na okolní hmotu.

Chápat šíření světla jako přesnou analogii pohybu dělových koulí ovšem tak úplně nejde. Velmi přesné experimenty [například slavný Michelsonův pokus zmiňovaný podrobněji na jiných místech] dokazují, že se světlo šíří vždy touž konstantní rychlostí. Jak tedy gravitace může světlo zpomalovat? Bezrozporná teorie popisující účinek gravitace na světlo se objevila až v roce 1915, kdy Einstein předložil svou obecnou teorii relativity. Jaké jsou její důsledky pro staré hvězdy a jiná velmi hmotná tělesa, se však začalo hlouběji chápat až v šedesátých letech.

Podle obecné teorie relativity tvoří prostor a čas jeden objekt, čtyřrozměrný prostor zvaný prostoročas. Tento

prostor není plochý, jeho geometrie není čtyřrozměrnou obdobou geo-metrie roviny. Hmota a energie v něm rozložené jej "deformují" či "zakřivují", dávají mu vlastnosti analogické geometrii zvlněné plochy. Projevem tohoto zakřivení je ohyb světelných paprsků, které na cestě k nám procházejí v blízkosti Slunce. Odklon světelného paprsku míjejícího Slunce je ovšem nepatrný. Kdyby se však Slunce smrštilo tak, že by jeho průměr činil pouhých několik kilometrů, ohyb by byl tak veliký, že by světlo nemohlo Slunce opustit a bylo by jeho gravitačním polem uvězněno. Podle teorie relativity se však nic nemůže pohybovat rychleji než světlo, takže by existovala oblast, ze které nemůže uniknout vůbec nic. A právě takové oblasti se říká černá díra a její hranici horizont událostí. Tuto hranici vytváří světlo, které už nemůže z černé díry uniknout a vznáší se na jejím okraji.

Může se nám zdát nesmyslné představit si Slunce smrštěné tak, že má průměr pouze několik kilometrů. Zdálo by se, že hmota se nedá takto stlačit. Kupodivu se ukazuje, že to možné je.

Slunce je tak obrovské proto, že je žhavé. "Spaluje" se v něm vodík na helium, podobně jako ve vodíkové bombě, či lépe tak, jak by měl "hořet" při řízené termonukleární reakci [nejde samozřejmě o hoření v běžném smyslu, tj. slučování s kyslíkem]. Teplo uvolněné tímto procesem vytváří tlak, který dovoluje hmotě Slunce vzdorovat přitažlivosti vlastní gravitace, jež se ho snaží zmenšit.

Zásoby slunečního termonukleárního paliva se však nakonec vyčerpají. Nebude to dříve než za pět miliard let, takže s nákupem letenky k nějaké jiné hvězdě nemusíte zase tak příliš pospíchat. Jenže hvězdy, které jsou hmotnější než Slunce, hoří rychleji, a proto se jejich termonukleární palivo vyčerpá dříve, třebaže ho měly původně více. Když k tomu dojde, začnou chladnout a

smršťovat se. Je-li jejich hmotnost menší než zhruba dvojnásobek hmotnosti Slunce, jejich smršťování se nakonec zastaví a hvězdy se ustálí ve stabilním stavu. Jedním typem takových hvězd v konečném stabilním stavu jsou bílé trpaslíci. Jejich poloměr činí několik tisíc kilometrů, je tedy srovnatelný s poloměrem Země, hustota jejich hmotnosti však dosahuje stovek tun na krychlový centimetr. Jiným typem jsou neutronové hvězdy. Ty mají poloměr jen pár desítek kilometrů a jejich hustota dosahuje dokonce milionů tun na krychlový centimetr.

Bílé trpaslíky známe už dlouho z pozorování našeho bezprostředního okolí v Galaxii. Neutronové hvězdy unikaly pozorování až do roku 1967; tehdy Jocelyn Bellová a Antony Hewish z Cambridge objevili pulzary, hvězdy vysílající pravidelné pulzy rádiových vln. V první chvíli si dokonce pohrávali s myšlenkou, že navázali spojení s mimozemskou civilizací. Ještě mám v živé paměti, jak byla seminární místost, v níž o svém objevu přednášeli, vyzdobena obrázky "malých zelených mužíčků". Nakonec však někdo jiný přišel s méně romantickým vysvětlením: jde o rychle rotující neutronové hvězdy. To byla sice špatná zpráva pro spisovatele píšící vesmírné westerny, zato skvělá novina pro nás, kdo jsme v té době věřili (a nebylo nás zas tak mnoho) v černé díry. Pokud se hvězda skutečně může smrštit tak, že se z ní stane neutronová hvězda, lze očekávat, že se jiné hvězdy mohou zhroutit natolik, že vytvoří černou díru.

Hvězda s hmotností dvakrát větší, než je hmotnost Slunce, se ve stavu bílého trpaslíka nebo neutronové hvězdy usadit nemůže. Někdy exploduje a odmrští přitom dostatečně hmoty, aby se pod uvedenou mez dostala. Tak tomu však nebývá ve všech případech. Některé hvězdy se opravdu zmenší natolik, že jejich gravitační pole ohýbá světlo zpět k

hvězdě. Žádné světlo ani cokoli jiného už z této hvězdy neunikne. Hvězda se stane černou dírou.

Základní fyzikální zákony jsou však časově symetrické. To v daném případě znamená, že pokud existují objekty zvané černé díry, do nichž mohou věci padat, ale nemohou se dostat ven, musí existovat i jiné objekty, ze kterých mohou věci vycházet, ale nemohou se dostat dovnitř. Můžeme jim říkat bílé díry. Bylo by tedy možné, aby někdo skočil na jednom místě do černé díry a aby se na druhém místě dostal ven dírou bílou. To by byla ta ideální metoda pro dálkové kosmické lety, jak jsme se o tom už zmiňovali. Jediné, co bychom k tomu potřebovali, by bylo najít někde blízko černou díru.

Na první pohled se zdá, že je takový způsob cestování v principu možný. Taková řešení Einsteinových rovnic obecné relativity, kdy lze spadnout do černé díry na jednom a vyletět bílou dírou na druhém místě, skutečně existují. Pozdější práce však ukázaly, že jsou to řešení velmi nestabilní. Sebemenší porucha, v daném případě třeba přítomnost kosmické lodi, tento tunel mezi černou a bílou dírou, tzv červí díru, zničí. Ve výsledném poli kosmickou loď roztrhají nekonečně velké síly. Proplout Niagarou v sudu by proti tomu bylo nesrovnatelně snazší.

Naděje na využití černých děr k turistickým účelům se tedy rozplynula vniveč. Zdálo se, že by šly prakticky použít nanejvýš k dokonalé likvidaci odpadků, případně některých přátel, protože jsou skutečnou "zemí, z níž není návratu". Jenže vše, co jsem až doteď řekl, vycházelo z výpočtů založených na Einsteinově obecné teorii relativity. Tato teorie je sice ve skvělém souhlasu se vším, co až dosud známe z pozorování, přesto nemůže být zcela správná, protože v sobě nezahrnuje princip neurčitosti kvantové mechaniky. Podle něho nemohou být poloha a rychlost částice přesně určeny současně. Čím přesněji měříte její

polohu, tím nepřesnějším se stává určení její rychlosti a naopak.

V roce 1973 jsem začal studovat, jakou změnu vlastností černých děr může přinést princip neurčitosti. K svému velikému údivu - a nejen svému - jsem zjistil, že černé díry nejsou úplně černé, že z nich vytéká stálý proud částic a záření. Když jsem své výsledky poprvé oznámil na konferenci konané blízko Oxfordu, setkaly se s obecnou nedůvěrou. Předsedající prohlásil, že je to nesmysl, a napsal o tom článek. Mé výpočty však zopakovali jiní vědci a došli ke stejnému závěru. Nakonec mi i zmíněný předsedající dal za pravdu.

Jak může záření z gravitačního pole černé díry unikat? Náznorněji lze tento jev popsat několika způsoby, které jsou ve skutečnosti ekvivalentní, třebaže se na první pohled zdají velice rozdílné. Jeden způsob spočívá v tom, že princip neurčitosti umožňuje částicím cestovat na krátkou vzdálenost nadsvětelnou rychlostí. Proto se může částice a záření dostat zpod horizontu událostí a uniknout tak z černé díry. Černou díru tedy lze opustit; ovšem to, co se dostane ven, je něco zcela jiného než to, co spadlo dovnitř. Zachová se jen energie.

Vysíláním částic a záření ztrácí černá díra hmotnost. Tím se zmenšuje a vyzařuje stále silněji. Nakonec její hmotnost poklesne až na nulu, což znamená, že černá díra úplně zmizí. Co se tedy stane s objekty (i s případnou kosmickou lodí), které spadnou do černé díry? Jedna má nedávná práce ukazuje, že se znovu objeví ve svém vlastním malém kosmickém miminu (baby universe). Tento malý samostatný vesmír se odštěpuje od naší oblasti vesmíru, může se však s ní opět spojit. Pak by se nám jevil jako černá díra, která se vytvořila a nakonec se vypaří. Částice, které spadly do jedné černé díry, se objeví jako částice emitované jinou černou dírou a naopak.

Opět se tedy zdá, že jsme našli to, co potřebujeme pro kosmické cestování černou dírou. Stačí jen zamířit s kosmickou lodí do vhodné černé díry. Musí být hodně veliká, jinak by z nás gravitační síly udělaly špagetu dříve, než bychom se dostali dovnitř. [I podle newtonovské teorie gravitace působí na hlavu parašutisty padajícího volným pádem o něco menší síla než na jeho nohy, protože gravitace se vzdáleností slábne a tato "slapová síla" natahuje jeho tělo. Při pádu v poli Země je ovšem nepatrná a ani v blízkosti horizontu obří černé díry nebude nijak velká. U horizontu černé díry s hmotností srovnatelnou s hmotností Slunce však bude rozdíl mezi gravitační silou na hlavu a nohy kosmonauta, tedy slapová síla, obrovský. Právě slapové síly jsou zodpovědné za rozpad například komet v blízkosti hmotných těles.] Pak byste mohli doufat, že znovu vyletíte z nějaké jiné černé díry, i když si nebudete moci vybrat kde.

I v tomto schématu mezigalaktického transportu je však háček, dokonce pořádný. Novorozený vesmír, do něhož se dostane částice pohlcená černou dírou, se objeví v tzv. imaginárním čase. V našem běžném reálném čase by se kosmonaut vtažený do černé díry dočkal neblahého konce. Slapová síla, rozdíl v gravitační síle na jeho hlavu a nohy, by ho roztrhala, a to tak dokonale, že by to nevydržely ani částice tvořící jeho tělo. Jejich historie by skončila v reálném čase v singularitě. Ale v imaginárním čase by historie částic pokračovala. Prošly by do kosmického minima a znovu se objevily jako částice emitované černou dírou. V tomto smyslu bude tedy kosmonaut přenesen do jiné části vesmíru. Ale to, co bude vyzařováno černou dírou, nebude ani trochu vypadat jako kosmonaut, budou to prostě nové částice. Ve chvíli, kdy se náš kosmonaut v reálném čase dostane k singularitě, ho asi moc neutěší, že částice jeho těla přežijí v imaginárním čase. Heslem

každého, kdo padá do černé díry, tedy musí být "Mysli imaginárně".

Co určuje, kde se částice znovu vynoří? Počet částic v novorozeném vesmíru bude odpovídat počtu částic, které do černé díry spadly, plus počtu částic, které díra vyzáří během svého vypařování. Znamená to, že částice, jež spadly do černé díry, vyjdou z černé díry s přibližně stejnou hmotností. Mohli bychom se tedy pokusit určit, kde se částice opět objeví, takže bychom hledali černou díru stejné hmotnosti, jako byla ta původní. Jenže z této černé díry mohou vycházet zcela jiné částice, jen jejich celková energie zůstane zachována. A i když bude černá díra vyzařovat správný druh částic, stejně nemůžeme říci, že jde o tytéž částice, které do původní černé díry spadly. Částice nemají občanské průkazy, všechny částice stejného druhu jsou nerozlišitelné.

Z toho všeho tedy vyplývá, že se cesta černou dírou těžko stane populární metodou kosmického cestování. Předně by nám nesmělo vadit, že cestujeme v imaginárním čase a v reálném čase že se dočkáme nepříjemného konce. Za druhé bychom si nemohli vybrat cílové místo. (Co se druhého bodu týče, bych ovšem mohl jmenovat letecké společnosti, s nimiž je cestování podobné.)

I když nejsou kosmická mimina moc užitečná pro vesmírné cestování, jejich existence má důležité důsledky pro pokusy najít úplnou sjednocenou teorii, která by měla popsat vše ve vesmíru. Současné teorie obsahují množství podobných veličin, jako je velikost elektrického náboje částic. Hodnoty těchto veličin z dnešních teorií nevyplývají, musí se volit tak, aby souhlasily s pozorováním. Většina vědců však věří, že existuje jakási hlubší jednotná teorie, která by hodnoty všech takových veličin předpovídala.

Je docela dobře možné, že taková teorie opravdu existuje. Nadějným kandidátem na tento statut je tzv. teorie

superstrun. Předpokládá, že prostoročas je naplněn malými smyčkami vytvořenými jakoby z kousků struny. To, čemu říkáme elementární částice, jsou ve skutečnosti tyto různě kmitající malé smyčky. Tato teorie neobsahuje žádná neurčená čísla, jejichž hodnoty by bylo nutné dodatečně zadávat. Lze tedy předpokládat, že by tato jednotná teorie mohla být schopna určit všechny veličiny typu elektrického náboje částic, které současné teorie určit nedovedou. Ve skutečnosti to zatím nedovedeme vzhledem k matematické komplikovanosti celého schématu ani na základě teorie superstrun. Celá řada odborníků však věří, že se to jednou přece jen podaří.

Je-li však náš obraz novorozených vesmírů správný, bude naše schopnost předpovídat tyto veličiny snížena. To proto, že nijak nemůžeme poznat, kolik kosmických mimin čeká na to, aby se s naší oblastí vesmíru spojilo. Mohou existovat novorozeňata obsahující pouze několik částic. Tyto vesmíry jsou tak malé, že jejich připojení nebo odštěpení bychom ani nezaznamenali. Jenže tím, že se propojí s naší oblastí vesmíru, způsobí změnu hodnot veličin, jako je elektrický náboj částice. Nebyli bychom tedy schopni určit, jaké mají být pozorované hodnoty těchto veličin, protože bychom nevěděli, kolik novorozených vesmírů čáp ještě přinese. Mohla by nastat například vesmírná populační exploze. Na rozdíl od analogie ze světa lidí se však nezdá, že by působily nějaké omezující faktory, jako je nedostatek potravy či obytného prostoru. Kosmická mimina mohou existovat ve svém vlastním království. Ptát se na omezení jejich počtu se poněkud podobá otázce, kolik že andělů může tančit na špičce jehly.

Zdá se, že existence kosmických mimin vnáší jistou, třebaže pranepatrnou neurčitost do předpovědí hodnot řady veličin. Mohou však poskytnout vysvětlení hodnoty jedné velice důležité veličiny - tzv. kosmologické konstanty. To je

parametr v Einsteinových gravitačních rovnicích, který dává prostoročasu vnitřní tendenci smršťovat se nebo se rozpínat. Einstein původně zavedl velice malou kosmologickou konstantu: doufal, že vyváží tendenci hmoty smršťovat svou gravitační přitažlivostí vesmír. Tato motivace zmizela, jakmile se ukázalo, že se vesmír rozpíná. Zbavit se kosmologické konstanty není nijak snadné. Ukazuje se, že kvantověmechanické "fluktuační vakua" by mohly vést k obrovské hodnotě kosmologické konstanty. Jenže z toho, jak se rozpínání vesmíru mění s časem, vyplývá, že hodnota kosmologické konstanty může být jen velmi malá. Donedávna neexistovalo žádné vysvětlení, proč je hodnota kosmologické konstanty tak nepatrná. Ale odštěpování a připojování novorozených vesmírů ovlivní pozorovanou hodnotu kosmologické konstanty. Protože nevíme, kolik takových kosmických mimin je ještě "na houbách", můžeme dostat různé hodnoty pozorované kosmologické konstanty. Ukazuje se, že nejpravděpodobnější je právě její téměř nulová hodnota. A to je obrovské štěstí, protože jenom při nepatrné hodnotě kosmologické konstanty může existovat vesmír, v němž mohou žít bytosti, jako jsme my.

Zdá se tedy, že částice mohou spadnout do černé díry a ta se pak vypaří a zmizí z naší oblasti vesmíru. Tyto částice se pak dostanou do kosmického mimina, které se od našeho vesmíru odštěpí, ale může se s naší oblastí prostoročasu spojit na jiném místě. Existence podobných vesmírků není sice užitečná pro vesmírné cestování, vyplývá z ní však, že i když najdeme úplnou sjednocenou teorii, budeme ve skutečnosti moci předpovídat méně, než se předpokládalo. Na druhé straně můžeme díky schématu s kosmickými miminy dát vysvětlení naměřených hodnot takových fyzikálních veličin, jako je kosmologická konstanta. V posledních letech se kosmickými miminy zabývá celá řada

vědců. Nemyslím, že by někdo z nich vydělal jmění na tom, že by si je dal patentovat jako způsob vesmírné přepravy, je to však velmi vzrušující oblast vědy.

12. Je vše determinováno?

Předneseno v dubnu 1990 na semináři Sigma klubu cambridgeské univerzity.

Ve hře Julius Caesar říká Cassius Brutovi: "Člověk bývá někdy pánem svého osudu." Ale můžeme být opravdu pány svých osudů? Nebo je vše, co děláme, determinováno a předurčeno? Argumentem pro predestinaci bylo, že Bůh je všemohoucí a stojí mimo čas, takže musí vědět předem, co se stane. Jak však potom můžeme mít svobodnou vůli? A nemáme-li svobodnou vůli, jak můžeme zodpovídat za své činy? Je-li někdo předurčen, aby vyloupil banku, je to těžko jeho chyba. Proč by tedy měl být za to trestán?

V dnešní době jsou argumenty pro determinismus podkládány vědou. Zdá se, že existují dobře definované zákony, které určují, jak se vesmír a vše v něm vyvíjí v čase. I když jsme zatím přesný tvar těchto zákonů nenalezli, víme toho dost, abychom uměli určit, co se stane ve všech situacích kromě těch nejextrémnějších. Zda najdeme ty zbývající zákony v blízkém čase, je věcí názoru. Já jsem optimista. Domnívám se, že je šance jedna ku jedné, že je nalezneme v nejbližších dvaceti letech. Ale i když se tak nestane, na argumentu to nic podstatného nemění. V něm je podstatný předpoklad, že soustava zákonů, které plně určují vývoj vesmíru z jeho počátečního stavu, skutečně existuje. Tyto zákony mohl ustanovit Bůh. Ale zdá se, že On (nebo Ona) nezasahuje do chodu vesmíru a zákony nenarušuje.

Počáteční konfigurace vesmíru mohla vzniknout buď Boží volbou, nebo se mohla ustavit sama podle fyzikálních zákonů. V obou případech se však zdá, že vše ve vesmíru

pak bylo determinováno vědeckými zákony, takže pak bychom mohli těžko být pány svých osudů.

Myšlenka, že existuje určitá velká jednotná teorie, která určuje vše ve vesmíru, vyvolává řadu problémů. Především bychom o teorii velkého sjednocení předpokládali, že bude kompaktní a matematicky elegantní. Jak však může nějaký malý počet rovnic určovat všechnu tu složitost a rozmanitost, kterou vidíme kolem sebe? Lze opravdu věřit, že teorie velkého sjednocení určuje, že se Sinead O'Connorová tento týden ocitne na špičce hitparády nebo že Madonna bude na obálce Cosmopolitanu?

Druhým problémem spojeným s myšlenkou všeurčující teorie velkého sjednocení je, že potom by teorie určovala i všechno to, co říkáme. Proč by však naše výroky měly být determinovány právě tak, aby byly pravdivé? Není mnohem pravděpodobnější, že jsou nepravdivé, protože na každý pravdivý výrok připadá celá řada možných výroků nepravdivých? Každý týden dostávám poštou od nejrůznějších lidí spoustu teorií. Každá je jiná a jsou navzájem neslučitelné. A přece podle našeho předpokladu teorie velkého sjednocení určila, že je jejich autoři pokládají za správné. Proč by tedy mělo mít větší platnost cokoli, co říkám já? Což nejsem právě tak determinován teorií velkého sjednocení?

Třetím problémem spojeným s představou dokonalého determinismu je skutečnost, že máme pocit svobodné vůle, pocit, že můžeme sami rozhodovat, uděláme-li to či ono. Ale je-li vše předurčeno zákony vědy, pak je naše svobodná vůle iluzí, a nemáme-li svobodnou vůli, jak můžeme být zodpovědní za své činy? Duševně choré netrestáme za jejich zločiny, protože jsme dospěli k názoru, že se nemohli ovládnout a jednat jinak. Ale jsme-li všichni determinováni teorií velkého sjednocení, nikdo z nás nemůže jednat jinak,

než jak jedná, takže proč by měl být volán za své činy k zodpovědnosti?

Tyto problémy determinismu jsou středem pozornosti už celá staletí. Až dosud šlo ovšem o diskusi dost akademickou, protože jsme byli na hony daleko od úplné znalosti fyzikálních zákonů a nevěděli jsme, jak byl určen počáteční stav vesmíru. Dnes je to problém mnohem aktuálnější, neboť úplnou jednotnou teorii budeme mít možná za pouhých dvacet let. A dnes se zdá, že fyzikálními zákony může být určen i sám počáteční stav. Následující úvahy představují můj osobní pokus se s těmito problémy vyrovnat. Netvrdím, že je příliš originální či hluboký, ale lépe to v tomto okamžiku neumím.

Začněme s prvním problémem: Jak může poměrně jednoduchá a kompaktní teorie vysvětlit vytvoření tak složitého vesmíru, jaký kolem sebe pozorujeme, se všemi jeho triviálními a nedůležitými detaily? Klíčem k tomu je princip neurčitosti kvantové mechaniky, podle něhož nemůžeme současně přesně měřit polohu a rychlost částice. Čím přesněji určíme polohu, tím nepřesnější je určení rychlosti a naopak. Tato neurčitost není tak důležitá dnes, když věci jsou od sebe značně vzdáleny, takže malá neurčitost v poloze nehraje velikou roli. Ve velmi raném vesmíru však bylo všechno navzájem velmi blízko, takže zde bylo mnoho neurčitosti a vesmír se mohl nacházet v mnoha různých stavech. Tyto možné rané stavy se mohly vyvinout v celou třídu možných historií vesmíru. Většina těchto historií byla velmi podobná, porovnáváme-li vlastnosti ve velkých měřítkách. Odpovídají vesmíru, který je hladký a homogenní a rozpíná se. Liší se však v takových detailech, jako je rozmístění hvězd, a tím spíše v obrázcích na obálkách časopisů, pokud tyto historie časopisy obsahují. Složitost světa kolem nás a jeho detailní strukturu tedy zapříčinil princip ne-určitosti v raných stadiích vesmíru.

Princip neurčitosti založil celý soubor různých historií vesmíru. Bude se v něm patrně nacházet i historie, v níž nacisté zvítězili v druhé světové válce, i když s nízkou pravděpodobností. My náhodou žijeme právě v té historii, ve které válku vyhráli Spojenci a Madonna se ocitla na obálce Cosmopolitanu.

A teď k druhému problému: Pokud je to, co činíme, určeno nějakou teorií velkého sjednocení, proč by měla tato teorie předurčovat, že naše závěry o vesmíru jsou správné, a ne naopak chybné? Proč by to, co řekneme, mělo mít vůbec nějakou platnost? Moje odpověď je založena na darwinovské myšlence přírodního výběru. Vycházím z předpokladu, že život na Zemi vznikl spontánně z náhodného uspořádání atomů. Touto ranou formou života byla pravděpodobně velká molekula. Patrně ještě ne DNA, protože pravděpodobnost vzniku DNA náhodnou kombinací je velice malá.

Tato raná forma života se reprodukovala. Ale kvantový princip neurčitosti a náhodný tepelný pohyb atomů způsobovaly, že se v replice vždy vyskytl určitý počet chyb. Většina z nich byla pro organismus a jeho schopnost reprodukce osudná. Tyto chyby se nepřenesly na další generace, nýbrž vedly k vyhynutí postižených organismů. Avšak nepatrné množství takových chyb bylo pro organismus naopak blahodárné. Takto pozměněný organismus naopak přežíval a dále se úspěšně reprodukoval, takže postupně vytlačoval původní, nevylepší organismus.

Vznik dvojité spirální struktury DNA mohl být jedním z takových vylepšení v raných stádiích. Šlo pravděpodobně o takový pokrok, že DNA nahradila předchozí formu života, ať už byla jakákoli. Pokračující vývoj vedl k vytvoření centrálního nervového systému. Stvoření schopná rozpoznávat správné důsledky dat shromažďovaných jejich

smyslovými orgány a na tomto základě usměrňovat svou činnost měla větší šanci přežít a reprodukovat se. Vznik člověka zahájil další fázi tohoto procesu. Stavbou našeho těla i naší DNA se velmi podobáme lidoopům, malá variace v DNA nám však umožnila vyvinout řeč. To znamenalo, že jsme si byli schopni odkazovat informace z generace na generaci, a tak hromadit svou zkušenost v mluvené a nakonec i psané formě. Původně mohly být výsledky zkušenosti přenášeny do dalších pokolení jen pomalým procesem zakódování do DNA náhodnými chybami v reprodukci. Prostředek vzájemné komunikace znamenal dramatické urychlení vývoje.

Trvalo více než tři miliardy let, než se objevili lidé. Během posledních deseti tisíc let jsme však vyvinuli psaný jazyk. To nám umožnilo pokročit z úrovně jeskynních lidí do stadia, kdy se můžeme tázat, jak vypadá konečná teorie vesmíru.

Za posledních deset tisíc let nedošlo k žádné podstatné evoluci v biologické stavbě člověka, ani v struktuře jeho DNA. Naše inteligence, naše schopnost činit správné závěry ze smyslových dat musí mít tedy počátek v době jeskynních lidí, či spíše v době ještě starší. Vedl k ní výběr na základě schopnosti zabíjet určitá zvířata pro potravu a naopak se jiným zvířatům ubránit. Je pozoruhodné, že duševní schopnosti, které se vytríbily pro takové účely, nám tak dobře slouží i za velmi změněných podmínek dnešní doby. Objevení se teorie velkého sjednocení nebo zodpovězení problému determinismu pravděpodobně nijak nezvyšuje naši schopnost přežít. Přesto inteligence, která se vyvinula pro tyto účely, může zajistit, abychom na tyto otázky našli správnou odpověď.

A teď se podívejme na třetí otázku, na otázku svobodné vůle a odpovědnosti za své činy. Subjektivně cítíme, že jsme schopni rozpoznat, kdo jsme a co činíme. Ale to může být

jenom iluze. Mnozí lidé se pokládají za Ježíše Krista nebo Napoleona, ale ne všichni mohou mít pravdu. To, co potřebujeme, je objektivní test, který můžeme aplikovat zvnějšku, chceme-li rozhodnout, zda má organismus skutečně svobodnou vůli. Představme si například, že nás navštíví "malý zelený mužíček" z jiné hvězdy. Poznáme vůbec, zda se může svobodně rozhodovat, nebo zda je to jen robot naprogramovaný tak, aby odpovídal, jako by nám byl podobný?

Konečným objektivním testem svobodné vůle by bylo, zda můžeme, nebo nemůžeme chování organismu předpovědět. Pokud ano, pak tento jedinec zřejmě svobodnou vůli nemá, je predeterminován. Na druhé straně, pokud jeho chování předpovědět nemůžeme, lze to chápat jako operacionalistickou definici svobodné vůle [tedy definici založenou na pozorování zvnějšku, ne na tom, co nám jedinec sděluje o svých pocitech].

Proti této definici můžeme namítnout, že pokud najdeme skutečně úplnou jednotnou teorii, pak budeme schopni předpovídat, co lidé udělají. I lidský mozek je ovšem podřízen principu neurčitosti. V lidském chování se tedy prvek náhodnosti spojuje s kvantovou mechanikou. Jenže energie vystupující v mozkových procesech jsou nízké, takže kvantověmechanická neurčitost je jen malý efekt. Skutečným důvodem, proč nemůžeme předpovídat lidské chování, je, že je to prostě příliš obtížné. Dnes už známe základní rovnice, jimiž se aktivita mozku řídí, a jsou to rovnice relativně jednoduché. Jenže vyřešit je v případě, že se na procesu podílí více než několik částic, je příliš obtížný úkol. Dokonce i v jednoduché newtonovské teorii gravitace lze rovnice přesně vyřešit jen v případě dvou částic. Pro tři nebo více částic se už musíme uchýlovat k přibližným metodám a s větším počtem částic obtíže prudce vzrůstají. Lidský mozek obsahuje 10²⁶ neboli sto milionů miliard

miliard částic [sto kvadrilionů]. To je příliš mnoho na to, abychom měli kdy naději spočítat chování mozku z jeho počátečního stavu a vstupujících nervových podnětů. Ve skutečnosti nedovedeme určit ani počáteční stav mozku - k tomu bychom ho museli rozebrat na kousky. A i kdybychom se k tomu přece jen odhodlali, je tam prostě příliš mnoho částic, které by musely být zaregistrovány. Mozek je navíc pravděpodobně velice citlivý na změnu počátečního stavu - i nepatrná změna způsobí obrovský rozdíl v následném chování. Takže třebaže známe základní rovnice, jimiž se mozek řídí, je naprosto nemožné jich užít k předpovědi lidského chování.

S obdobnou situací se ve fyzice setkáváme vždy, když se zabýváme makroskopickým systémem. Počet částic je příliš velký, než abychom mohli vyřešit základní rovnice. V takovém případě se uchylujeme k efektivním teoriím, k přiblížením, ve kterých veliký počet částic nahrazujeme jen několika veličinami. Příkladem může být mechanika tekutin. Kapalina, například voda, sestává z obrovského množství molekul, tvořených elektrony, protony a neutrony. Přesto je dobrým přiblížením pokládat kapalinu za spojitě prostředí, charakterizované pouze rychlostí, hustotou a teplotou. Předpovědi mechaniky tekutin nejsou přesné - stačí poslouchat předpovědi počasí -, jsou však dostatečné pro konstrukci lodí nebo potrubí ropovodu.

Já si myslím, že představa, že máme svobodnou vůli a morální zodpovědnost za své činy, je podobně efektivní teorií jako například mechanika tekutin. Možná že všechno je předurčeno, a pokud je nám souzeno umřít na šibenici, neutopíme se. Jenže člověk si musí být hrozně jist, že ho čeká popraviště, aby se pokusil uniknout za bouře na moři v malém člunu. Všiml jsem si, že i ti lidé, kteří hlásají, že všechno je předem dáno a že nemůžeme udělat nic, abychom to změnili, se rozhlízejí, než přejdou silnici. Možná

že ten, kdo to nedělá, nepřežije a pak už ani nic podobného hlásat nemůže.

Člověk nemůže zakládat své chování na představě, že vše je předurčeno, protože neví, co je předem dáno. Musí proto přijmout efektivní teorii, že má svobodnou vůli a je za své činy odpovědný. Není to teorie příliš vhodná k předpovídání lidského chování, ale přijímáme ji, protože není žádná šance vyřešit rovnice popisující fundamentální zákony. Pro víru ve svobodnou vůli mluví i darwinovský důvod: ve společnosti, v níž jedinci cítí zodpovědnost za své činy, se bude spíše rozvíjet jejich spolupráce a tato společnost má větší naději na přežití a rozšiřování svých hodnot. Samozřejmě i mravenci spolupracují, jejich společnost je však statická, nemůže odpovídat na nezvyklá protivenství nebo vyvíjet nové možnosti. Soubor svobodných jedinců, kteří sdílejí jistý společný cíl, může na uskutečnění svého záměru spolupracovat, a nadto je dostatečně flexibilní, aby vytvářel inovace. Taková společnost má proto větší naději prosperovat a dále šířit svůj hodnotový systém.

Představa svobodné vůle patří do jiné arény než základní fyzikální zákony. Pokoušíme-li se dedukovat lidské chování z vědeckých zákonů, uvízneme v osidlech logického paradoxu systému, který vypovídá sám o sobě. Jestliže to, co někdo udělá, může být předem vyvozeno z fundamentálních zákonů, pak skutečnost, že jsme udělali předpověď, může změnit to, co se stane. S podobnými problémy bychom se setkávali, pokud by šlo cestovat v čase, o čemž se ovšem nedomnívám, že kdy možné bude. Kdyby nám bylo dopřáno vidět, co se má stát v budoucnosti, mohli bychom to změnit. Pokud byste věděli předem, který kuň vyhraje Velkou národní cenu, mohli byste na něj vsadit a zbohatnout. Tato akce by však změnila sázkový poměr. Stačí zhlédnout film Zpět do

budoucnosti, abychom si uvědomili, jaké problémy by to mohlo přinést.

Paradox s možností předpovídat něčí činy je těsně svázán s jiným problémem, o němž jsem se zmínil dříve. Bude konečnou teorií determinováno, že dojdeme k správnému závěru o konečné teorii? Argumentoval jsem, že správnou odpověď může dát Darwinova myšlenka o přírodním výběru. Možná není na místě užívat slova "správná", ale přírodní výběr by nás měl přivést přinejmenším k soustavě fyzikálních zákonů, které dobře fungují. My je však nemůžeme užít k dedukci lidského chování ze dvou důvodů. Předně - nejsme s to vyřešit rovnice. Za druhé - i kdybychom to zvládli, fakt, že jsme udělali předpověď, by narušil systém. Zdá se však, že přírodní výběr nás vede k přijetí efektivní teorie svobodné vůle. Pokud přijmeme, že lidské činy jsou věci svobodné volby, nemůžeme pak argumentovat, že v některých případech jsou určovány vnějšími silami. Představa "téměř svobodné vůle" nedává příliš smysl. Lidé zaměňují skutečnost, že můžeme být někdy schopni odhadnout, co některé individuum udělá, s představou, že v tom případě není jeho volba svobodná. Odhaduji, že většina z vás bude dnes večer večeřet, je však na vašem svobodném rozhodnutí jít spát hladoví. Vezměme myšlenku snížené odpovědnosti, představu, že lidé by neměli být trestáni za své činy, pokud je páchali pod nátlakem. Pravděpodobnost, že někdo spáchá protispolečenský čin pod nátlakem, bychom neměli ještě zvyšovat tím, že snížíme trest.

Studium základních fyzikálních zákonů a studium lidského chování se musí držet ve dvou různých rovinách. Užívat základních fyzikálních zákonů k výkladu lidského chování nemůžeme z důvodů, které jsem vysvětlil. Můžeme však užívat své inteligence a síly logického myšlení, které v nás vypěstoval přírodní výběr. Bohužel přírodní výběr v nás

vypěstoval i jiné vlastnosti, například agresivitu. Agresivita poskytovala jeskynnímu člověku i jeho předchůdcům výhodu v boji o přežití, a proto byla přírodním výběrem upřednostňována. Obrovský nárůst našich destruktivních schopností, který s sebou přinesla moderní věda a technika, však udělal z agresivity velice nebezpečnou vlastnost, ohrožující přežití lidstva. Problém je v tom, že naše agresivní instinkty se zdají být zakódovány v naší DNA. Struktura DNA se při biologické evoluci mění pouze v časové škále milionů let, zatímco destruktivní síly rostou v časové škále vývoje informací, kde je dnes dost dlouhou dobou dvacet nebo třicet let. Jestliže naše inteligence nedokáže kontrolovat naši agresivitu, nemá lidstvo velkou šanci. Pokud však žijeme, je tu i naděje. Podaří-li se nám přežít příštích sto let, osídlíme jiné planety, možná i u jiných hvězd. To podstatně sníží pravděpodobnost, že celé lidstvo zahubí podobná katastrofa, jako je nukleární válka. Abych vše zrekapituloval. Poukázal jsem na některé problémy, na něž narážíme, pokud věříme, že vše ve vesmíru je determinováno. V této souvislosti není tak důležité, zda je tento determinismus dílem všemohoucího Boha, nebo fyzikálních zákonů. Koneckonců vždycky můžeme říci, že vědecké zákony jsou projevem Boží vůle. Zabýval jsem se třemi otázkami. Za prvé, jak může být tak něco tak složitého, jako je vesmír se všemi svými detailními rysy, určeno jednoduchou sadou rovnic? Nebo jinak - můžeme skutečně věřit, že Bůh zvolil i tak triviální detaily, jako je obálka Cosmopolitanu? Zdá se, že odpověď je taková, že v důsledku principu neurčitosti kvantové mechaniky nemá vesmír jen jednu, nýbrž celou řadu možných historií. Tyto historie se mohou navzájem podobat ve velkých měřítkách, ale budou se podstatně lišit v běžných, každodenních měřítkách. My žijeme v jedné určité historii, historii s danými vlastnostmi a danou detailní

stavbou. Ale existují velmi podobné inteligentní bytosti, které žijí historie lišící se v takových detailech, jako kdo vyhrál válku a kdo je vítězem hitparády. Detailní rozmanitost našeho vesmíru je tedy důsledkem toho, že fundamentální zákony v sobě zahrnují kvantovou mechaniku s prvkem neurčitosti a libovůle.

Druhý problém: Jestliže je vše předurčeno základní teorií, musí být předem dáno i to, co o ní říkáme. Proč by měla tato teorie determinovat spíše správné výroky o sobě samé než výroky nesprávné nebo irelevantní? Má odpověď se dovolávala darwinovské teorie přírodního výběru. Jenom ti jedinci, kteří byli schopni dělat správné závěry o světě kolem sebe, byli schopni přežít a reprodukovat se.

Třetí otázka byla taková: Je-li vše determinováno, kam se poděje svobodná vůle a odpovědnost za naše činy? Ovšem jediným objektivním testem, zda má organismus svobodnou vůli, je, zda jeho jednání může být předpovídáno. V případě lidských bytostí nemůžeme užít fundamentálních zákonů k predikci lidského chování ze dvou důvodů. Jednak neumíme řešit základní rovnice vzhledem k obrovskému počtu částic, které jsou ve hře, a jednak i kdybychom to dovedli, učiněná předpověď by narušila systém a mohla by vést k jinému výsledku. Protože tedy neumíme předpovídat lidské chování, můžeme právě tak dobře přijmout efektivní teorii, že lidé jsou svobodnými činiteli, kteří si mohou zvolit, co učiní. Zdá se, že víra ve svobodnou vůli a odpovědnost za své činy poskytuje výhody v boji o přežití. To znamená, že byla posilována přírodním výběrem. To, zda smysl pro odpovědnost, přenášený řečí, stačí udržet pod kontrolou instinkt agresivity, přenášený DNA, se musí ještě ukázat. Pokud ne, pak by lidský rod byl jednou ze slepých uliček evoluce. Možná se nějakému jinému druhu inteligentních bytostí někde v Galaxii podaří dosáhnout lepší vyváženosti mezi inteligencí a agresivitou. Existuje-li podobná civilizace,

mohli bychom očekávat, že se s námi spojí, nebo že alespoň zachytíme její rádiové signály. Možná si je naší existence vědoma, ale nechce se nám prozradit. Vzhledem k naší historii to může být moudré.

Tento esej nesl ve svém názvu otázku, zda je vše determinováno. Odpověď zní - ano. Ale právě tak dobře by tomu tak být nemuselo, protože nikdy nemůžeme vědět, co je předurčeno.

13. Budoucnost vesmíru

Předneseno na cambridgeské univerzitě v lednu 1991.

Tento esej pojednává o budoucnosti vesmíru, či spíše o tom, jak si vědci tuto budoucnost představují. Předpovídat budoucnost je samozřejmě nesmírně složitá věc. Svého času jsem uvažoval o sepsání knihy s názvem Zítřek včerejška: Historie budoucnosti. Mělo jít o dějiny předpovídání budoucnosti. Skoro všechny zaznamenané předpovědi se strefily velmi špatně. Přes všechny tyto neúspěšné pokusy věstců nejrůznějšího druhu si vědci stále myslí, že budoucnost předpovídat lze.

V dávných časech bylo předpovídání budoucnosti záležitostí věštíren a věštkyň. Ženy byly uvedeny do transu nějakou drogou nebo vdechováním vulkanických výparů a jejich blouz-nění pak vykládali naslouchající kněží. To skutečné umění spočívalo právě v interpretaci. Proslulá delftská věštírna ve starém Řecku byla pověstná tím, že sázela vždy na dvě strany, její předpovědi byly mnohoznačné.

Když se Sparťané dotázali, co se stane, napadnou-li Peršané Řecku, věštba říkala, že buď bude Sparta zničena, nebo její král zabit. Kněží, předpokládám, počítali s tím, že pokud nedojde ani k jednomu, budou Sparťané Apollonovi natolik vděční, že nebudou reklamovat nenaplnění věštby. Tehdy král opravdu padl při obraně thermopylského průsmyku, a ta přispěla k záchraně Sparty i konečné porážce Peršanů.

Jindy se zase dotázal Kroisos, král Lýdie a nejbohatší člověk světa, co se stane, vtrhne-li do Persie. Odpověď zněla, že padne veliká říše. Kroisos si to vyložil tak, že padne Persie, jenže byla zničena jeho vlastní říše a on sám pak podle pověsti upálen na hranici.

Dnešní proroci zkázy bývají často ochotnější nastavovat hrud' a předpovídat zcela určitá data konce světa. Taková proroctví dokonce občas způsobí pokles kurzů na trhu s akcemi, i když moc nechápu, proč by se měl ten, kdo očekává konec světa, snažit prodávat akcie. Pravděpodobně by si s sebou nikdo nemohl vzít ani akcie, ani utržené peníze.

Až dosud však všechna data stanovená jako poslední dny světa minula bez incidentu. Proroci ovšem často mívají po ruce i vysvětlení pro případ neúspěchu své předpovědi. Například William Miller, zakladatel sekty adventistů sedmého dne, předpověděl Kristův druhý příchod na dobu mezi 21. březnem 1843 a 21. březnem 1844. Když se tak nestalo, bylo závěrečné datum posunuto na 22. říjen 1844. Ani tento den se však předpověď nesplnila, a tak byl výklad změněn. V roce 1844 prý druhý příchod opravdu započal, nejdříve je však třeba sečíst všechna jména v Knize života a pak teprve nastane den posledního soudu pro ty, jejichž jména tam nejsou. Naštěstí jde sčítání zřejmě pomalu.

Vědecké předpovědi nebývají někdy o nic spolehlivější než předpovědi věštíren či proroků - stačí si vzpomenout na předpovědi počasí. Jsou však určité situace, za nichž lze, jak se domníváme, spolehlivé předpovědi dělat, a budoucnost vesmíru jako celku je jedním z takových případů.

Za poslední tři století jsme objevili zákony, kterými se řídí hmota za všech obvyklých situací. Dodnes však neznáme přesný tvar zákonů, podle nichž se chová hmota za velmi extrémních podmínek; jsou sice důležité k pochopení

chování vesmíru na počátku, neovlivňují však jeho budoucí vývoj, dokud se vesmír opět nezhroutí do stavu s obrovskou hustotou (pokud k tomu vůbec dojde). Právě proto, že dnešní vesmír je zákony platnými za extrémních podmínek ovlivňován jen nepatrně, jsme nuceni vydávat obrovské sumy peněz na stavbu velkých urychlovačů částic, chceme-li tyto zákony testovat.

Ovšem i pokud chápeme správně všechny rozhodující zákony, jimiž se vývoj vesmíru řídí, nemusíme ještě umět předpovídat na jejich základě budoucnost. Řešení fyzikálních rovnic totiž mohou vést k chaotickému chování či stručně k chaosu. Mohou být totiž nestabilní: přičiníme-li se v určitém čase o nepatrnou změnu stavu, v němž se systém nachází, může se systém během krátké doby vyvinout naprosto rozdílně. Roztočíte-li například kolo rulety nepatrně jinak než v předchozím pokusu, padne kulička na velmi rozdílné číslo. Nikdy se vám nepodaří roztočit je přesně stejně a nepatrná změna počátečních podmínek způsobí velikou změnu výsledku. [Kulička sice může padnout dvakrát po sobě na stejné číslo, pokud byste však podrobně sledovali její dráhu, zjistili byste, že je obecně jiná než v předchozím případě, a pravděpodobnost, že dvakrát po sobě bude stejný výsledek, se řídí statistickými zákony.] Je prakticky nemožné předpovědět s jistotou číslo, na které padne, jinak by fyzikové bohatli v kasinech.

Chaotičnost systému se zpravidla charakterizuje dobou, za kterou se malá změna počátečního stavu zdvojnásobí. V případě zemské atmosféry je tato doba přibližně pět dnů. Počasí můžeme proto předpovídat s rozumnou přesností asi na pět dnů dopředu; dlouhodobější předpověď by vyžadovala nejen velmi přesnou znalost současného stavu, ale i nemožně komplikovaný výpočet. Neexistuje způsob,

jak předpovědět počasí na šest měsíců, jediné že udáme sezonní průměry.

Známe i základní zákony chemie a biologie, proto bychom měli být v principu schopni určit, jak pracuje mozek. Jenže rovnice, jimiž se řídí funkce mozku, vedou s největší pravděpodobností k chaotickému chování, takže nepatrná změna počátečního stavu vede k velmi rozdílnému výsledku. V praxi tedy nemůžeme předpovídat lidské chování, i když známe rovnice, jimiž se řídí. Věda nemůže předpovědět budoucnost lidské společnosti, dokonce ani to, zda vůbec nějakou budoucnost má. Hlavní nebezpečí spočívá v tom, že naše schopnost poškozovat či zničit životní prostředí roste rychleji než naše moudrost, jak s touto schopností nakládat.

Ať se na Zemi stane cokoli, zbytek vesmíru si toho sotva povšimne. Zdá se, že i pohyb planet kolem Slunce má ve skutečnosti chaotický charakter, i když v neobyčejně dlouhých časových měřítkách. Znamená to, že chyby v předpovědích narůstají s narůstajícím časem. Je nemožné předpovědět detaily pohybu planet po uplynutí hodně dlouhé doby. Se značnou jistotou můžeme určit, že hned tak nedojde k blízkému setkání Země s Venuší, ale nemůžeme vyloučit, že se jisté malé poruchy drah nesečtou způsobem, který ode dneška za miliardu let vyvolá srážku. Pohyb Slunce a ostatních hvězd kolem centra Galaxie a pohyb naší Galaxie v lokální skupině galaxií je také chaotický.

Pozorujeme však, že jiné galaxie se od nás vzdalují, a to tím rychleji, čím jsou vzdálenější. Z toho plyne závěr, že vesmír se v našem okolí rozpíná - vzdálenost mezi jednotlivými galaxiemi s časem roste. V tomto případě, zdá se, nejde o chaotický pohyb. O jeho hladkosti svědčí pozadí mikrovlnného záření, které k nám přichází z vnějšího prostoru. Existenci tohoto záření, spolehlivě prokázaného

pozorováním, můžete zjistit sami. Naladíte-li televizi na neobsazený kanál, pak určitý počet skvrn, které se na obrazovce objeví, pochází právě od mikrovln přicházejících z oblastí vně sluneční soustavy. Je to záření stejného charakteru jako v mikrovlnné troubě, jen mnohem slabší. Zahřálo by jídlo jen na 2,7 K nad absolutní nulu, tj. na necelých -270 0C; kuře by se jeho účinkem zmrazilo, místo opeklo.

Toto záření se pokládá za zbytek, reliktní, horkého raného stadia vesmíru. Jeho pozoruhodnou vlastností je, že ho ze všech směrů přichází prakticky stejné množství. Záření proměřovala s vysokou přesností družice COBE (Cosmic Background Explorer, tedy "výzkumník kosmického pozadí"). Mapa sestavená na základě těchto měření ukazuje sice v různých místech oblohy nepatrně rozdílnou teplotu, to znamená, že se teplota záření poněkud liší, změníme-li směr pozorování o malý úhel, jde však o změny skutečně velice malé. Rozdíl v teplotách je roven jen jedné stotisícině průměrné teploty.

Takové malé nepravidelnosti lze očekávat, ve vesmíru jsou lokální nehomogenity - například hvězdy a z nich seskupené galaxie či kupy galaxií. Jenže naměřené variace teploty oblohy jsou tak malé, jak jen je slučitelné právě s pozorovanými lokálními nehomogenitami - mikrovlnné pozadí ve všech směrech je na 99,999 procenta stejné. [Zde se mluví o variaci teploty při malé změně pozorovacího úhlu. Přes ně se překládá efekt na velkých úhlech, způsobený Dopplerovým jevem, který má původ v pohybu Země vzhledem k mikrovlnnému pozadí.]

Kdysi lidé věřili, že Země je středem vesmíru. Tehdy by je tedy ani nepřekvapilo, že kosmické pozadí je stejné ve všech směrech. Počínaje Koperníkem však byla Země postupně degradována na malou planetu obíhající kolem průměrné hvězdy na vnějším okraji tuctové galaxie, jakých dnes

pozorujeme stovky miliard. To nás donutilo být poněkud skromnějšími; nemůžeme si dnes už činit nárok na nějaké výsadní postavení ve vesmíru. Musíme tedy předpokládat, že mikrovlnné pozadí je stejné ve všech směrech i z hlediska každé jiné galaxie. To sice může být pravda, ale jen tehdy, jsou-li průměrná hustota hmoty a rychlost rozpínání stejné ve všech bodech vesmíru. Jakékoli variace průměrné hustoty nebo rychlosti rozpínání na větší oblasti by zapříčinily rozdílný charakter mikrovlnného pozadí v různých směrech. To však také znamená, že ve velkých měřítkách je chování vesmíru jednoduché, ne chaotické, a lze je tedy předpovědět daleko do budoucnosti.

Protože je expanze vesmíru tak stejnoměrná, můžeme ji popsat jediným číslem, vzdáleností mezi dvěma vybranými galaxiemi v určitém čase. Tato vzdálenost dnes roste, ale jak se dá předpokládat, rozpínání je zpomalováno vzájemnou gravitační přitažlivostí galaxií. Je-li průměrná hustota vesmíru větší než určitá kritická mez, gravitační přitažlivost nakonec rozpínání zastaví a vesmír se začne naopak smršťovat. Nakonec se zhroutlí opět do stavu s nekonečnou hustotou, stavu podobného tomu, v němž byl na svém počátku ve velkém třes-ku. Tento finální stav představuje opět singularitu, stav, kdy fyzikální zákony ztrácejí smysl. To znamená, že i kdyby existovaly nějaké události po tomto "velkém krachu", nebylo by je možné předpovědět. Pokud však mezi dvěma událostmi není kauzální spojení, nemá žádný smysl říkat, že k jedné události došlo později než ke druhé. Mohli bychom právě tak dobře tvrdit, že náš vesmír v konečné singularitě zanikl a všechny události, které nastaly "potom", náležejí do jiného, odděleného vesmíru. Trochu to připomíná reinkarnaci. Jaký smysl má říkat, že nějaké dítě je týž člověk, co umřel, pokud po něm nezdědí žádné charakteristické vlastnosti ani si nepamatuje prožitky z

minulého života? Stejně dobře můžeme říkat, že jde o dvě rozdílná individua.

Je-li průměrná hustota menší než kritická, vesmír se znovu hroutit nezačne, nýbrž se bude rozpínat věčně. Po určité době hustota poklesne natolik, že gravitační přitažlivost už nebude expanzi podstatněji zpomalovat a galaxie se budou od sebe nadále vzdalovat prakticky konstantní rychlostí.

Základním parametrem rozhodujícím o budoucnosti vesmíru je tedy průměrná hustota hmoty. Pokud je její hodnota menší než kritická, bude se vesmír rozpínat věčně. Je-li větší, začne se vesmír znovu hroutit a sám čas zanikne ve "velkém krachu". Oproti jiným prorokům zkázy světa mám ovšem tu výhodu, že i kdyby se vesmír měl jednou zhroutit, současná expanze se nezastaví dříve než za deset miliard let. Nepředpokládám, že tu v té době ještě budu, aby mě někdo mohl usvědčit z omylu, pokud by k tomu nedošlo.

Střední hustotu hmoty můžeme odhadnout z pozorování. Pokud sečteme hmotnosti viditelných hvězd, dostaneme méně než jedno procento kritické hustoty a tento odhad se jen málo zvýší, připočteme-li hmotnost plynových oblaků, které ve vesmíru též pozorujeme. Dnes však víme, že vesmír musí kromě této viditelné hmoty obsahovat i tzv. temnou hmotu, která není pozorovatelná přímo. Jeden z důkazů její existence plyne z pozorování spirálních galaxií.

Spirální galaxie jsou obrovská seskupení hvězd a plynu. Z pozorování víme, že rotují kolem svého středu; jejich rotace je však tak rychlá, že pokud by obsahovaly pouze hvězdy a plyn, které vidíme, rozletěly by se. Musí tam být navíc nějaká neviditelná hmota, jejíž gravitační přitažlivost udržuje rovnováhu s odstředivou silou.

Jiný důkaz existence skryté hmoty poskytuje pozorování kup galaxií. Galaxie nejsou rozloženy ve vesmíru stejnoměrně, shlukují se do kup tvořených několika málo

až několika miliony galaxií. Předpokládá se, že tyto kupy drží pohromadě vzájemná přitažlivost jednotlivých galaxií. V řadě případů však umíme měřit rychlosti, kterými se jednotlivé galaxie v kupě pohybují. Obecně opět zjišťujeme, že jsou příliš vysoké, než aby kupa držela pohromadě jen gravitační přitažlivostí pozorovaných galaxií, odstředivá síla by je rozházela. Hmotnost potřebná k udržení rovnováhy kupy je mnohem větší než součet hmotností jednotlivých galaxií, které ji tvoří, a to i tehdy, když za hmotnost galaxií považujeme hmotnost potřebnou k udržení jejich rovnováhy s odstředivými silami, jak jsme o tom už hovořili. Odtud vyplývá závěr, že i v prostoru mezi jednotlivými galaxiemi, které vidíme, musí být dodatečná temná hmota.

Takto lze vcelku spolehlivě odhadnout, jak velké je v galaxiích a kupách galaxií množství temné hmoty, o jejíž existenci máme jasný důkaz. Ale celkové množství hmoty, které odtud dostaneme, zvýší průměrnou hustotu pouze asi na deset procent hodnoty potřebné k tomu, aby se vesmír začal v budoucnosti znovu smršťovat. Vycházíme-li tedy pouze z přímých pozorovacích svědectví, dojdeme k závěru, že vesmír se bude rozpínat věčně. Ode dneška za pět miliard let vyčerpá Slunce zásobu svého nukleárního paliva. Důsledkem bude, že se nejdříve rozepne v objekt zvaný rudý obr, který pohltí Zemi i ostatní planety. Potom se opět smrští a vytvoří stabilní hvězdu o poloměru pouhých několik tisíc kilometrů, tedy hvězdu s rozměry srovnatelnými se Zemí, tzv. bílého trpaslíka. Vidíte tedy, že předpovídám konec světa, ovšem nepříliš brzký. Tato předpověď stěží stlačí ceny akcií na burze, svět čeká pár mnohem méně vzdálených závažných problémů. V době, kdy Slunce vybuchne, bychom měli mít už zvládnutou techniku mezi- hvězd-ného cestování, pokud se ovšem dříve nezničíme sami.

Přibližně za deset miliard let už všechny hvězdy ve vesmíru spálí své nukleární palivo a vyhasnou. Hvězdy, jejichž hmotnost se řádově rovná hmotnosti Slunce, se stanou buď bílými trpaslíky, nebo neutronovými hvězdami, objekty s ještě menšími poloměry, a tedy i hutnějšími než bílí trpaslíci. Z hmotnějších hvězd se vytvoří černé díry, které jsou ještě menší, a proto kolem sebe vytvářejí tak silné gravitační pole, že z něho nemůže uniknout ani světlo. Tyto hvězdné pozůstatky budou však nadále kroužit kolem center galaxií s typickou periodou sta milionů let. Jejich občasná blízká setkání způsobí, že některé odletí z galaxie, ostatní budou postupně přecházet na oběžné dráhy bližší středu a nakonec se v něm shluknou a vytvoří gigantickou černou díru. Ať už tvoří temnou hmotu v galaxiích cokoli, lze předpokládat, že i to nakonec spadne do těchto olbřímích černých děr.

Lze tedy předpokládat, že většina hmoty galaxií a kup galaxií nakonec skončí v černých dírách. Už před pár lety jsem však objevil, že černé díry nejsou ve skutečnosti tak černé, jak se dříve myslelo. Princip neurčitosti kvantové mechaniky říká, že částice nemohou mít zcela určitou polohu ani zcela určitou rychlost zároveň. Čím přesněji je určena poloha částice, tím nepřesnější je určení její rychlosti a naopak. Pokud je částice v černé díře, je její poloha omezena rozměry černé díry. To potom znamená, že její rychlost nemůže mít zcela určitou hodnotu. A je tedy možné, že se částice pohybuje rychlostí větší, než je rychlost světla, což jí umožní uniknout z černé díry. Obří černé díry v centrech galaxií mají průměry miliony kilometrů, takže neurčitost v polohách částic v jejich nitru je velmi velká, a tedy neurčitost jejich rychlostí naopak velmi malá. Částici bude trvat neobyčejně dlouho, než z černé díry unikne, nakonec se jí to přece jen podaří. Gigantické černé díře v jádru galaxie to může trvat řádově

1090 let, než se zcela vypaří a zmizí. To je mnohem a mnohem delší doba, než představuje současný věk vesmíru, který je "jen" 1010 let. Pokud se ovšem vesmír má rozpínat věčně, je času dostatek.

Vesmír, který by se stále rozpínal, by čekala dosti nudná budoucnost. Ale není vůbec jisté, že se bude opravdu rozpínat věčně. Je pravda, že máme důkaz o existenci pouhé jedné desetiny hmoty, které by bylo zapotřebí, aby způsobila opětné smršťování vesmíru. Možná však existují další druhy temné hmoty, námi dosud nezaregistrované, které mohou zvednout střední hustotu ke kritické hodnotě nebo i nad ni. Tato dodatečná hmota by ovšem musela být rozprostřena mimo galaxie, případně kupy galaxií, jinak bychom pozorovali její účinek na pohyb hvězd v galaxiích a galaxií v kupách.

Je však nějaký důvod předpokládat, že je ve vesmíru dostatek hmoty k tomu, aby vesmír nakonec rekolaboval? Proč se nespokojit s tou hmotou, o níž máme přímé důkazy? Jedním z důvodů je, že desetina kritické hustoty dnes vyžaduje neuvěřitelně přesnou volbu počáteční hustoty a rychlosti expanze. Kdyby byla sekundu po velkém třesku hustota vesmíru jen o jednu biliontinu větší, byl by vesmír rekolaboval už po deseti letech. Kdyby na druhé straně byla v té době hustota hmoty ve vesmíru o stejnou hodnotu menší, byl by vesmír na konci svého desátého roku prakticky prázdný, hustota hmoty by byla mnohem menší, než skutečně pozorujeme.

Jak to, že byla zvolena počáteční hustota vesmíru tak pečlivě? Možná existuje nějaký důvod, proč má být hustota vesmíru právě rovna kritické hustotě. Jedno vysvětlení dává tzv. antropický princip, říkající, že vesmír je takový, jaký je, protože kdyby byl jiný, pak bychom v něm nebyli a nemohli jej ani pozorovat. Základní myšlenka tohoto argumentu je taková, že by mohly existovat různé vesmíry s různými

hustotami. Ale pouze ty, jejichž hustota je blízká hustotě kritické, žijí dostatečně dlouho a obsahují dostatek hmoty, z níž by se mohly tvořit hvězdy a planety. Tedy pouze v takových vesmírech mohou žít inteligentní bytosti, které se ptají, proč je hustota hmoty blízká hodnotě kritické. Pokud je to jediné vysvětlení současné hustoty hmoty ve vesmíru, pak není důvod předpokládat, že vesmír ve skutečnosti obsahuje více hmoty, než jsme až dosud zjistili pozorováním, desetina kritické hustoty k vytvoření galaxií a hvězd stačí.

Řada vědců však nemá antropický princip příliš v lásce, protože se jim zdá, že přikládá přílišnou důležitost naší existenci. Hledalo se proto jiné vysvětlení, proč je hustota hmoty tak blízká kritické, a to vedlo k teorii inflace v raném vesmíru. Podle této teorie se rozměry vesmíru vždy zdvojnásobí po uplynutí určitého pevného časového intervalu, tak jako se v zemích postižených extrémní inflací vždy po několika měsících zdvojnásobují ceny. Jenže inflace vesmíru měla být mnohem a mnohem rychlejší a extrémnější. Tento inflační vývoj se sice uplatňoval jen během velmi krátkého období těsně po velkém třesku, na jeho konci se však hustota tak přiblížila hodnotě kritické, že vesmír má téměř kritickou hodnotu i dnes. Pokud je tedy inflační teorie správná, musí vesmír obsahovat tolik temné hmoty, že se jeho hustota blíží hodnotě kritické, případně ji nepatrně převyšuje. To tedy znamená, že se vesmír v budoucnu opět zhroutí; dojde k tomu po době srovnatelné s dobou, po níž se až dosud rozpíná, to znamená asi za patnáct miliard let.

Co tvoří tuto temnou hmotu, která musí ve vesmíru být, pokud je inflační teorie správná? Zdá se, že se pravděpodobně značně liší od "normální" látky, z níž jsou složeny hvězdy a planety. Na základě modelu expandujícího vesmíru umíme vypočítat množství lehkých prvků, které

měly vzniknout v horkém raném stadiu vesmíru, v prvních třech minutách po velkém třesku. Vzniklé množství těchto prvků závisí na množství "normální" hmoty, která tvoří atomy, tj. protonů, elektronů a neutronů. Nakreslíme-li graf, kde na horizontální osu vynášíme různé hodnoty hustoty normální hmoty a na vertikální osu jim odpovídající hodnoty výskytu lehkých prvků, zjistíme, že teoretické hodnoty jsou v dobrém souladu s pozorováním tehdy, představuje-li hustota normální látky jednu desetinu hustoty kritické. Možná že naše výpočty nejsou zcela správné, pozoruhodné však je, že dostáváme dobrý souhlas pro několik různých prvků.

Pokud má hmota opravdu kritickou hustotu, pak hlavním kandidátem na temnou hmotu, představující největší část materiální náplně vesmíru, jsou zbytky z jeho raného stadia. Jednou z možností jsou elementární částice. Několik hypotetických kandidátů představují částice, o kterých se soudí, že by mohly existovat, zatím však nebyly pozorovány. Nejslibnějšími kandidáty jsou však dobře známé částice, totiž neutrina. O těch se dlouho soudilo, že mají nulovou vlastní hmotnost, současná pozorování však naznačují, že by malou klidovou hmotnost mohla mít. Pokud se to potvrdí a jejich hmotnost bude mít správnou velikost, neutrina by mohla přispět svou celkovou hmotností k zvednutí velikosti hustoty na kritickou hodnotu.

Jinou možností jsou černé díry. Je možné, že v raném vesmíru proběhl proces zvaný fázový přechod. Příkladem fázového přechodu je var nebo mrznutí vody. Při takovém přechodu se v původně homogenním prostředí, jakým je například voda, vytvoří nejprve nehomogenity, tzv. kondenzační jádra - v případě vody jsou to kousičky ledu či bubliny páry. Analogické nehomogenity mohly v prostředí vyplňujícím raný vesmír zkolabovat a vytvořit černé díry. Pokud by tyto černé díry byly velmi malé, mohly by se právě

v dnešní době prudce vypařovat kvantověmechanickými procesy, které jsme popsali dříve. Byla-li však jejich hmotnost několik miliard tun, což je tak hmotnost hory, pak jsou stále kolem nás a jsou velice obtížně pozorovatelné.

Temnou hmotu rozprostřenou stejnoměrně ve vesmíru bychom mohli zjistit jedině prostřednictvím jejího účinku na rozpínání vesmíru. Měřením rychlosti, jíž od nás ubíhají vzdálené galaxie, můžeme v principu určit, jak se expanze vesmíru zpomaluje. Pozorujeme totiž vlastně galaxie v dávné minulosti, v okamžiku, kdy je opustilo světlo, které dnes přichází k nám. Nakreslíme-li graf, ve kterém vynášíme rychlost galaxií proti jejich zdánlivé svítivosti (či hvězdné velikosti, jak se v astronomii říká), která je mírou jejich vzdálenosti od nás, můžeme z něho toto zpomalování expanze s časem v zásadě vyčíst. Grafy sestavené na základě dosavadních pozorování spíše naznačují, že se vesmír začne znovu smršťovat. Potíž je ovšem v tom, že zdánlivá svítivost není nejlepším indikátorem skutečné vzdálenosti galaxií. Nejenže se od skutečné svítivosti jednotlivých galaxií navzájem výrazně liší, ale navíc se prokázalo, že se mění s časem. Protože nevíme, jak přesně korigovat změnu svítivosti galaxií, nemůžeme z těchto pozorování udělat jednoznačný závěr, tj. rozhodnout, zda se vesmír bude rozpínat i nadále, nebo zda se počne v budoucnu opět smršťovat. S tím musíme počkat, až se nalezne přesnější metoda určování vzdálenosti galaxií. Můžeme si však být jisti, že se expanze vesmíru nezpomaluje natolik, že by se vesmír počal hroutit v nejbližších několika miliardách let.

Ani věčné rozpínání, ani opětovný kolaps vesmíru po uplynutí stamilionů let nebo tak nějak není příliš vzrušující perspektiva. Nemůžeme nějak udělat naši budoucnost zajímavější? Jedna taková možnost by byla, kdybychom si

to namířili do černé díry. Musela by to být opravdu gigantická černá díra [jinak bychom díky slapovým silám nepřežili samotný vstup do ní], hmotnější než milion hmotností Slunce. Je však dost pravděpodobné, že se taková černá díra nachází v centru naší Galaxie.

Co se děje uvnitř černé díry, s tím si nejsme tak zcela jisti. Existují taková řešení rovnic obecné teorie relativity, která dovolují spadnout do černé díry a vystoupit z bílé díry někde jinde. Bílá díra představuje časově převrácenou černou díru. Je to tedy objekt, ze kterého mohou objekty vycházet, nic se však nemůže dostat do nich. Taková bílá díra by se mohla nacházet v jiné části vesmíru; zdálo by se tedy, že se zde nabízí možnost rychlého mezigalaktického cestování. Potíž je v tom, že by probíhalo až příliš rychle. Kdyby totiž byla taková cesta skrze černou díru možná, nic by nebránilo tomu, abychom se nevrátili nazpět dříve, než jsme odstartovali. Mohli bychom tedy udělat něco, co by začátku naší cesty zabránilo, třeba sprovodit svou matku ze světa dříve, než jsme se narodili.

Naštěstí pro naši možnost přežití i přežití našich matek se zdá, že fyzikální zákony takové cesty v čase nedovolují. Existuje patrně jakási chronologická bezpečnostní agentura, která bdí nad bezpečností světa z hlediska historiků a cesty nazpět v čase nedovoluje. Do hry totiž vstupuje princip neurčitosti kvantové mechaniky a v jeho důsledku by při popsání cesty do minulosti vznikalo obrovské množství záření. Toto záření by buď zakřivilo prostoročas natolik, že by pohyb zpět v čase nebyl možný, nebo by vedlo dokonce k vytvoření singularity podobné velkému třesku či velkému krachu, v níž prostoročas končí. Obojí zaručuje bezpečnost naší minulosti před zlovolnými osobami. Hypotézu o chronologické bezpečnostní agentuře potvrzují některé nedávné výpočty moje i jiných vědců.

Nejlepším důkazem její platnosti je ovšem sám fakt, že nás zatím nezaplavily hordy turistů z budoucna.

Nakonec tedy shrňme. Vědci věří, že vesmír se řídí dobře definovanými zákony, které v principu dovolují předpovídat budoucnost. Pohyb těmito zákony předpovídaný bývá často chaotický, což znamená, že nepatrná změna určité individuální situace vyvolá následné změny v chování systému, a ty velice rychle narůstají. V důsledku toho můžeme přesné předpovědi do budoucna často prakticky dělat jen na velice krátkou dobu. Nicméně se zdá, že vesmír jako celek se chová jednoduše, ne chaoticky. Je tedy možné předpovědět, zda se bude věčně rozpínat, nebo zda se jeho expanze po čase změní v kontrakci. Který z obou případů nastane, závisí na současné hustotě hmotnosti ve vesmíru. Zdá se, že tato hustota je velice blízká hustotě kritické, která oba případy odděluje. Je-li správná inflační teorie, balancuje vesmír právě na této kritické hodnotě. Takže jsem přece jen skončil podle staré dobré tradice věšeb a proroctví a pojistil si svou výhru sázkou na oba favority.

14. Podmínka "žádná hranice" a směr času

Tento esej autor přidal pro další vydání; půjde tedy pravděpodobně o jeho první knižní představení. Svým charakterem se poněkud vymyká ostatním vědeckým esejům sbírky: vznikl z přednášky pro matematicky lépe připravené posluchače, a proto hovoří podrobněji o výpočtech, které vedly k uváděným závěrům. I přes poznámky a určitá zjednodušení textu, jimiž se překladatel pokusil některé části zpřístupnit, zůstane pravděpodobně mnoha čtenářům řada podrobností nejasných. I pro ně však snad bude zajímavé zjištění, že otázka směru času představuje nelehký problém, který se v teoretické fyzice už značně dlouho rozebírá a jehož všechny aspekty se dosud nepodařilo vyřešit. Nadto esej poskytuje hlubší "pohled do dílny" teoretické fyziky a naznačuje, kolik zdlouhavých a

obtížných výpočtů se skrývá za myšlenkami a slovními formulacemi vyslovenými v této knize populárním způsobem.

Snad neuškodí drobný komentář k samotné formulaci problému směru času. Představme si, že se díváme na film, který promítač pustil pozpátku. Poznáme to na první pohled, protože lidé chodí dozadu, a je-li zde dvakrát záběr na hodiny, vidíme, že běží zpět. Při hlubším zamyšlení však znejistíme, zda nás tvůrce filmu úmyslně neklame, zda nenechal herce skutečně chodit pozpátku, auta jezdit na zpátečku a neužil hodin, kde se ručičky pohybují obráceně. To vše lze technicky zvládnout a žádné základní fyzikální zákony tomu nebrání. Scény, kdy někdo udeří Chaplina palicí do hlavy, se skutečně často natáčely tak, že se palice z jeho hlavy zvedala a film se pak pouštěl obráceně; i na radnici pražského židovského města jsou opravdu hodiny se zpětným chodem ručiček.

Jistotu však získáme, jakmile se objeví scéna, kdy se z hromádky drobných střepin na podlaze složí neporušený hrníček či kdy míček dopadající na podlahu vyskočí při každém odrazu výše - víme, že film běží obráceně. Rozbití hrníčku či přeměna kinetické energie uspořádaného pohybu molekul padajícího míčku v energii neuspořádaných tepelných kmitů molekul míčku a podložky představují onen nevratný vzrůst neuspořádanosti - entropie - systému, který určuje směr času, o němž autor hovoří jako o "termodynamickém".

Představme si film, který zobrazuje rozpínající se a znovu se hroutící vesmír. Na filmu zachycujícím Fridmanův model vesmíru, popisovaný dříve, kdy náplň vesmíru jsou jen gravitačně interagující hmotné body, také nepoznáme, zda běží v jednom či druhém směru - hroucení je časově obráceným obrazem expanze. Reálný vesmír má ovšem složitější materiální náplň, rozbíjejí se v něm hrníčky a

vnitřní energie hvězd se mění v energii záření; je v něm tedy definován termodynamický směr času. Hlavní část článku, historie Hawkingova omylu a jeho odvolání, je věnována právě otázce, zda "kosmologický" a "termodynamický" směr času spolu souhlasí, jinak řečeno, zda umíme rozeznat při promítnutí nafilmované historie reálného vesmíru, běží-li film v jednom, či druhém směru. [Pozn. překl.]

Když jsem téměř před třiceti lety začínal s vědeckou prací, zadal mi můj školitel Denis Sciama téma "Směr času v kosmologii". Pamatuji se, jak jsem tehdy v univerzitní knihovně v Cambridgi hledal knihu Směr času od německého filozofa Hanse Reichenbacha. Zjistil jsem však, že ji má vypůjčenou spisovatel John Boynton Priestley, který psal divadelní hru o času s názvem Čas a Conwayovi. Protože jsem myslel, že tato kniha zodpoví všechny mé otázky, vyplnil jsem příslušný formulář, aby knihovna požadovala na Priestleym její vrácení.

Když jsem ji však nakonec získal, značně mě zklamala. Byla dost nejasná a její logika jako by postupovala v kruhu. Při rozlišování mezi směrem času do budoucnosti a do minula kladla veliký důraz na příčinnost. Ve fyzice však věříme, že platí zákony, které určují vývoj vesmíru jednoznačně. To však znamená, že pokud se stav A vyvine do stavu B, můžeme sice říci, že A je příčinou B, můžeme se však také na celou situaci dívat v druhém směru času a tvrdit, že B je příčinou A. Sama příčinnost tedy směr času neurčuje.

Můj vedoucí mi doporučil, abych se podíval na článek jednoho Kanadana, jmenoval se Hogarth. V něm se aplikovala na kosmologii elektrodynamika formulovaná jako přímá interakce na dálku. Autor tvrdil, že odvodil vztah mezi rozpínáním vesmíru a "elektromagnetickým" směrem času, rozlišeným tím, zda jsou přípustná retardovaná (zpožděná), nebo avancovaná (předbíhavá) řešení

Maxwellových rovnic. Podle něho retardovaná řešení [tj. pole určená rozložením náboje v minulosti, jak tomu musí být při běžném kauzálním uvažování] existují pouze ve stacionárním vesmíru, zatímco ve vesmíru rozpínajícím se - s velkým třeskem - existují pouze řešení avancovaná [určená budoucím rozložením náboje]. Tohoto argumentu se chopil Fred Hoyle s Jayantem Narlikarem jako dalšího důkazu o správnosti stacionární kosmologie (i když podle jejich názoru byl samozřejmě jakýkoli důkaz zbytečný). Jenže dnes už nikdo kromě Hoylea nevěří, že vesmír je ve stacionárním, tj. časově neproměnném, stavu, a to nás i bez hlubšího zkoumání vede k závěru, že v základních předpokladech článku muselo být něco v nepořádku.

Krátce poté, v roce 1964, se na Cornellově univerzitě konala konference o směru času. Mezi účastníky byl jistý pan X, jemuž zřejmě připadaly výsledky konference natolik bezvýznamné, že nechtěl, aby se s nimi spojovalo jeho jméno. (Bylo veřejným tajemstvím, že tímto panem X byl Richard Feynman.) Dotyčný pan X zde řekl, že elektromagnetický směr času nemá svůj původ v elektrodynamice formulované pomocí přímé interakce na dálku, nýbrž v obyčejné statistické fyzice. [Byl to právě Feynman, kdo ve čtyřicátých letech elektrodynamiku s přímým působením na dálku vytvořil. Teorie se vracela k představě působení na dálku mezi náboji bez prostřednictví elektromagnetického pole; ovšem toto působení se přenáší rychlostí světla.]

Veden jeho poznámkami jsem došel k následujícímu chápání, čím je určen směr času. Důležitou roli hraje okrajová podmínka, že dráhy bodů představujících fyzikální soustavu procházejí v určitém čase malou oblastí fázového prostoru. Potom obecně platí, že v důsledku evolučních rovnic fyziky se dráhy rozšíří na podstatně větší oblast fázového prostoru. [Fázový prostor je matematický

prostředek k popisu soustavy hmotných bodů. Soustava n bodů je v daném okamžiku charakterizována jejich polohami a hybnostmi. Poloha každého bodu je určena třemi souřadnicemi, pro n bodů je to tedy $3n$ čísel, hybnost každého bodu je opět určena třemi čísly; k určení okamžitého stavu soustavy je tedy třeba celkem $6n$ čísel. Je proto účelné přiřadit soustavě n hmotných bodů jediný bod, ale v abstraktním $6n$ -rozměrném fázovém prostoru.]

Předpokládejme, že okrajová podmínka omezující dráhy na malou oblast je podmínka počáteční. To pak znamená, že soustava je na počátku v uspořádaném stavu a vyvíjí se ke stavu neuspořádanému. S časem tedy roste entropie, jak požaduje druhý základní zákon termodynamiky.

Předpokládejme naopak, že uvedená okrajová podmínka je podmínkou finální namísto počáteční. Potom budou dráhy rozprostřeny po velké oblasti fázového prostoru v minulé době a s rostoucím časem se budou sbíhat do malé oblasti. Tedy neuspořádanost a tím i entropie [matematická míra neuspořádanosti, již lze charakterizovat právě objemem oblasti ve fázovém prostoru, po kterém jsou rozprostřeny dráhy bodů] se budou s rostoucím časem zmenšovat, ne růst. Pak ovšem každá inteligentní bytost, která pozoruje takovéto chování, žije ve vesmíru, jehož entropie se s časem zmenšuje. Nevíme sice, jak přesně pracuje lidský mozek, ale umíme popsat operace počítače. Uvažme všechny možné dráhy reprezentující vývoj stavu počítače interagujícího s okolím. Lze ukázat, že pokud $n \gg 9$ a tyto dráhy klademe finální okrajovou podmínku, je korelace mezi pamětí počítače a okolím menší v pozdějším čase než v čase dřívějším. Jinými slovy - počítač si pamatuje budoucnost, ale nepamatuje si minulost.

K témuž závěru dojdeme i z poněkud jiného hlediska. Pokud počítač uloží něco do paměti, celková entropie vzroste. Počítač si pamatuje věci v tom směru, ve kterém

entropie roste. Ve vesmíru, jehož entropie klesá s časem, pracuje paměť počítače zpětně. Bude si pamatovat budoucnost a zapomínat minulost.

I když zatím přesně nerozumíme činnosti mozku, zdá se rozumné předpokládat, že si pamatujeme věci ve stejném směru času, jako to činí počítače. Kdyby tomu bylo naopak, člověk by mohl přijít k bohatství s počítačem, který by si pamatoval zítřejší dostihy. To pak znamená, že psychologická šipka času, náš subjektivní směr času, směřuje stejně jako šipka termodynamická, to znamená ve směru, v němž roste entropie. Tedy ve vesmíru s entropií klesající s časem bude směřovat obráceně i subjektivní čas všech inteligentních bytostí. Druhá termodynamická věta je tedy ve skutečnosti tautologie: entropie roste s časem proto, že jako směr rostoucího času definujeme ten, v němž entropie roste.

Existují však dvě netriviální otázky, které o směru času můžeme klást.

První z nich je, proč by měla být okrajová podmínka kladena jen na jednom konci času, a ne na druhém. Zdálo by se přirozenější, kdyby okrajovou podmínkou byly omezeny buď oba konce času, nebo nebyl omezen ani jeden. Dále uvidíme, že první možnost znamená, že dochází k obrácení směru času, zatímco druhá možnost dobře definovaný směr času vylučuje.

Druhá otázka zní takto: Je-li dána okrajová podmínka na jednom konci času, a tedy - jak jsme viděli - směr času je dobře určen, proč směr růstu času souhlasí se směrem času, ve kterém se vesmír rozpíná? Je zde nějaká hlubší souvislost, nebo jde jen o náhodu?

Už tehdy jsem si uvědomil, že otázka po směru času by měla být kladena popsáním způsobem. V té době, tj. v roce 1964, jsem však nemohl přijít na žádný dobrý důvod, proč by měla existovat okrajová podmínka na jednom konci

času. Potřeboval jsem mít také nějaký určitější, méně mlhavý problém, než je směr času pro mou doktorskou tezi. Přešel jsem tedy k otázce singularit a černých děr. Zájem o problém směru času jsem však neztratil; vystoupil opět na povrch v roce 1981, když jsme s Jimem Hartlem navrhli teorii vesmíru bez okrajových podmínek. Podle naší představy má být kvantový stav vesmíru určen dráhovým integrálem přes všechny pozitivně definitní metriky na uzavřených prostoročasových varietách. Jinak řečeno - hraniční podmínka pro vesmír zní: vesmír žádnou hranici nemá, je uzavřený v prostoru i v čase.

Podmínka neexistence hranice vesmíru určovala jeho kvantový stav, a tedy vše, co se v něm děje. Měla by tedy i určovat, zda existuje směr času a kam čas míří. V článku, který jsme napsali s Hartlem, jsme aplikovali podmínku neexistence hranice na modely s kosmologickou konstantou a na konformně invariantní skalární pole. Žádný z modelů nepředstavoval vesmír podobný tomu, v němž žijeme. Ale model omezený na minisuperprostor s minimálně vázaným skalárním polem předpovídal inflační periodu, období prudkého rozpínání, která mohla trvat libovolně dlouho. Po ní by následovala období s dominujícím zářením a látkou obdobně jako v chaotických inflačních modelech. Zdálo se proto, že podmínka neexistující hranice může vysvětlit pozorované rozpínání našeho vesmíru. Vysvětlí i pozorovaný směr času? Budou odchylky od homogenního a izotropního rozpínání malé, když je vesmír malý, a budou se zvětšovat spolu s jeho růstem? Nebo bude podmínka neexistující hranice předpovídat opačné chování, tj. že tyto odchylky jsou malé, když je vesmír velký, a jsou velké, když je malý? V tomto případě by s růstem vesmíru klesala jeho neuspořádanost. Znamenalo by to, že termodynamická směřovka času ukazuje opačně než kosmologická směřovka. Lidé žijící v

takovém vesmíru by tedy tvrdili, že se vesmír smršťuje, a ne že se rozpíná.

Abychom ff9 zodpověděli otázku, co podmínka neexistující hranice říká o směru času, musíme porozumět, jak se chovají perturbace [malé odchylky od základního stavu] v Fridmanovském vesmíru. Tento problém studoval Jonathan Hallivell spolu se mnou. Rozvinuli jsme perturbace, tj. odchylky od přesné homogenity, v minisuperprostorovém modelu do sférických funkcí a rozvedli hamiltonián do druhého řádu. Získali jsme Wheelerovu-DeWittovu rovnici pro vlnovou funkci vesmíru. Nalezli jsme její řešení ve tvaru součinu funkce reprezentující minisuperprostorové pozadí a funkce popisující perturbace. Vlnová funkce pro perturbace vyhovovala Schrödingerově rovnici, kterou jsme dovedli vyřešit přibližně. Podmínku neexistence hranice jsme užili pro tuto Schrödingerovu rovnici v poloklasickém přiblížení. Představme si geometrii prostoru, tedy trojrozměrnou geometrii, která se jen málo odchyluje od geometrie trojrozměrné kulové plochy, a skalární pole lišící se jen málo od konstantního skalárního pole. Odchylky geometrie a skalárního pole pak představují malé perturbace na daných pozadích, tj. homogenní geometrii a konstantním poli. O souboru těchto veličin hovoříme jako o bodu v superprostoru; vlnová funkce v tomto bodě bude dána dráhovým integrálem přes všechny euklidovské geometrie a skalární pole, jež mají tuto jedinou hranici. Lze předpokládat, že hlavní příspěvek k dráhovému integrálu bude pocházet od sedlového bodu, to znamená od komplexního řešení rovnic pole, které má danou geometrii a pole na jedné hranici, a nemá žádnou jinou hranici. Vlnovou funkcí pro perturbaci bude potom exponenciální funkce, v jejímž exponentu stojí akce příslušející komplexnímu řešení pro perturbaci.

Tímto způsobem jsme s Halliwellem vypočetli spektrum perturbací, které měly platit v tom případě, pokud by platila podmínka neexistence hranice. Z hlediska otázky směru času na přesném tvaru tohoto spektra nezáleží. Důležité však je to, že je-li poloměr vesmíru malý a sedlový bod představuje komplexní řešení, které monotónně narůstá, jsou amplitudy perturbací malé. To znamená, že když je vesmír malý, všechny trajektorie odpovídající různým možným historiím vesmíru procházejí malou oblastí fázového prostoru. Jak vesmír roste, narůstají i amplitudy některých perturbací. Protože je však vývoj vesmíru diktován hamiltoniánem, nemění se objem fázového prostoru. Pokud tedy perturbace zůstávají lineární, oblast prostoru, kterou zaujímají, se mění jen účinkem nějaké matice s jednotkovým determinanem. Jinak řečeno - počáteční sférická oblast se vyvine v elipsoidální oblast stejného objemu. Časem však perturbace vzrostou natolik, že se stanou nelineárními. Vývoj ponechává objem fázového prostoru sice stále neměnný, ale obecně se původní sférická oblast deformuje v dlouhá tenká vlákna. Tato vlákna se rozprostírají na větší a větší oblast, až zaujmou značnou část fázového prostoru. Tím dostáváme směr času. Vesmír je téměř homogenní a izo-tropní, pokud je malý, je však mnohem nepravidelnější, když je veliký. Zkrátka a dobře - jeho neuspořádanost roste, když se rozpíná. Termodynamický a kosmologický směr času tedy spolu souhlasí a obyvatelé vesmíru budou říkat, že se rozpíná, a ne smršťuje.

V roce 1985 jsem napsal článek, v němž jsem poukazoval na to, že tyto výsledky o chování perturbací vysvětlují jednak to, že ve vesmíru působí termodynamický směr času, a jednak to, proč tento směr souhlasí s kosmologickým směrem času. Pak jsem se však dopustil, jak dnes vím, velké chyby. Domníval jsem se, že si

podmínka "žádná hranice" vynucuje malé perturbace, pokud je malý i poloměr vesmíru. To by znamenalo, že perturbace by byly malé nejen v raných stádiích rozpínání, ale i v pozdním stadiu, když vesmír dospěl na konec fáze opětného smršťování. Trajektorie systému by potom ležely v malé oblasti fázového prostoru na počátku i konci času, byly by však rozprostřeny po mnohem větší oblasti v čase mezi tím - neuspořádanost by rostla během expanze vesmíru, ale zmenšovala by se během jeho kontrakce. Termodynamická šipka času by pak ukazovala kupředu ve fázi rozpínání, avšak zpět v období smršťování, v obou fázích by tedy obě - termodynamická i kosmologická časová šipka - ukazovaly stejným směrem. V okolí okamžiku maximálního rozepnutí by byla maximální i entropie vesmíru. To by pro inteligentní obyvatele vesmíru, kteří spolu s ním přecházejí z fáze rozpínání do fáze smršťování, znamenalo, že by obrácení směru času nepozorovali. I jejich subjektivní vjem času by byl v období smršťování vesmíru v obráceném směru, takže by si nepamatovali, že pocházejí z období rozpínání. Pro ně by maximální expanze [kdy panuje maximální neuspořádanost] ležela v jejich subjektivní budoucnosti.

Pokud by se termodynamický směr času v období smršťování vesmíru obracel, dalo by se očekávat jeho obrácení i při gravitačním kolapsu, kdy se tvoří černá díra. Tím by vznikala možnost ověřovat experimentálně platnost podmínky "žádná hranice". Pokud by k převrácení směru času došlo pouze pod horizontem událostí, nebylo by to z tohoto hlediska k velkému užítku: i kdyby to někdo pozoroval, nemohl by to sdělit zbytku světa nad horizontem. Byla tu ovšem jistá naděje, že by se malé efekty mohly projevit i vně horizontu.

Myšlenka, že se časová směrovka při smršťování obrací, měla uspokojujivý ohlas. Avšak krátce poté, co byl můj

článek na toto téma přijat do časopisu Physical Review, mě přesvědčily diskuse s Raymondem Laflammem a Donem Pagem, že jsem se mýlil. V korekturách jsem proto přidal poznámku, že i ve fázi kontrakce entropie poroste. Než jsem však stačil na-psat článek, kde jsem chtěl celou otázku řádně vysvětlit, onemocněl jsem zápalem plic. Chci tedy využít této příležitosti a vysvětlit, jak můj omyl vznikl a jaký je správný výsledek.

Jeden z důvodů mého mylného uvažování spočíval v tom, že jsem se nechal zavést řešeními Wheelerovy-DeWittovy rovnice pro minisuperprostorový model vesmíru, získanými na počítači. V těchto řešeních vlnová funkce tzv. zakázané oblasti kolem velmi malého poloměru neoscilovala. Dnes vím, že tato řešení měla špatně zvolené okrajové podmínky. Tehdy jsem to však interpretoval tak, že lorentzovské čtyřgeometrie, které odpovídají tzv. WKB aproximaci, nezkolabují do nulového poloměru, nýbrž odrazí se a znovu rozepnou. [WKB aproximace (podle autorů Wentzela, Krammera a Brillouina) je standardní "poloklasické přiblížení" užívané v kvantové mechanice. Je to analogie postupu v optice, kdy se například při studiu optických soustav využívá popisu pomocí paprsků, čili tzv. přiblížení geometrické optiky, a plná vlnová teorie se uplatní jen jako oprava získaných výsledků.] V tomto výkladu mě utvrdilo i zjištění, že existuje třída odpovídajících klasických řešení, která oscilují. Počítačové řešení se zdálo být superpozicí těchto řešení. Oscilující řešení byla kvaziperiodická. Zdálo se mi tedy přirozené klást na perturbace okrajovou podmínku, že jsou velmi malé, kdykoli je poloměr vesmíru malý. A to vedlo k závěru, jak jsem už vysvětlil, že časová šipka směřuje kupředu v období rozpínání a nazpět v období smršťování. Svého studenta Raymonda Laflammea jsem vybídl, aby se zabýval směrem času v obecnějších situacích, než je případ homogenního a izotropního

Fridmanova vesmíru jako kosmologického pozadí. Velmi brzy však našel základní námitku proti této myšlence. Pouze velmi málo řešení se může chovat tak jako sféricky symetrický Fridmanův model, tj. odrazit se v závěrečné fázi kolapsu, a vlnová funkce něčeho, jako je černá díra, nemůže být koncentrována na nesingulárních řešeních. A tím jsem si uvědomil, že mezi počátkem expanze a koncem kontrakce bude rozdíl. V obou případech bude hlavní příspěvek k vlnové funkci pocházet od sedlového bodu, který odpovídá komplexnímu řešení rovnic pole.

Takovými řešeními se detailně zabýval můj student Glenn Lyons. Pokud je poloměr vesmíru malý, existují dva druhy řešení. Jedním je téměř euklidovské komplexní řešení, které se na počátku podobá severnímu pólu zeměkoule a monotónně se rozpíná k určitému danému poloměru. Toto řešení odpovídá počátku expanze. Závěr smršťování však odpovídá řešení, které začíná obdobným způsobem, pak má však dlouhé období téměř lorentzovské expanze, po níž následuje kontrakce k danému poloměru. Vlnová funkce pro perturbace na pozadí prvního řešení bude silně tlumená, pokud perturbace nejsou malé a lineární. Naproti tomu vlnová funkce perturbací kolem řešení, které odpovídá expanzi následované kontrakcí, může být velká i pro velké amplitudy perturbací. To tedy znamená, že perturbace budou malé na jednom konci času, ale velké a nelineární na konci druhém. Neuspořádanost a nelinearita tedy vzrůstají během expanze a jejich nárůst pokračuje i v průběhu následné kontrakce. V okamžiku, který odpovídá maximálnímu rozepnutí vesmíru, se tedy směr termodynamicky definovaného času neobrací.

Glenn Lyons spolu se mnou studoval, jak se směr času projevuje v různých modech perturbací. [Perturbace lze matematicky popsat jako nekonečný součet "modů", periodických funkcí o určité "délce vlny".] Mluvit o směru

času má smysl pouze v případě modů, které jsou kratší než průměr kosmologického horizontu v daném okamžiku, tedy oblasti, jejíž body spolu mohly do daného času navzájem interagovat. Mody delší než horizont se jeví pouze jako homogenní pozadí. Chování perturbací uvnitř horizontu je dvojího typu. Mohou buď oscilovat, nebo narůstat či zanikat s mocninou času. Oscilující mody jsou buď tenzorové, odpovídající gravitačním vlnám, nebo skalární; ty představují perturbace hustoty o vlnové délce menší, než je Jeansova délka. Perturbace o vlnové délce větší než Jeansova délka rostou či zanikají s mocninou času. Amplituda oscilujících modů se mění adiabaticky jako převrácená hodnota poloměru vesmíru. To znamená, že tyto perturbace budou prakticky časově symetrické kolem okamžiku maximální expanze - amplituda těchto perturbací bude v okamžiku, kdy má vesmír určitý poloměr během expanze, stejná, jako když se k němu vrátí během kontrakce. Pokud byly malé, když se objevily v horizontu během expanze - a to jako důsledek podmínky "žádná hranice" -, zůstanou malé navždy. Nikdy se nestanou nelineárními a nebudou ukazovat směr času. Na druhé straně perturbace o vlnové délce větší, než je Jeansova délka, budou mít obecně rostoucí amplitudu. Když se objeví v horizontu během expanze, budou malé. Budou však narůstat jak během následujícího rozpínání, tak i během období kontrakce. Nakonec se stanou nelineárními a od tohoto okamžiku se začnou rozprostírat po velké oblasti fázového prostoru.

Podmínka "žádná hranice" tedy předpovídá, že vesmír je téměř hladký a uspořádaný na jednom konci času, ale malé nepravidelnosti narůstají, když se vesmír rozpíná a opět smršťuje. Tyto nepravidelnosti vedou k vzniku hvězd a galaxií, a tedy i k vzniku inteligentního života. Tento život bude mít subjektivní časovou šipku, která ukazuje směrem

nárůstu neuspořádanosti. Zbývá otázka, z jakého důvodu tento psychologický směr času souhlasí s kosmologickou časovou směrůvkou. Jinými slovy - proč pozorujeme, že žijeme v rozpínajícím se, a ne smršťujícím se vesmíru.

Odpověď dává inflace v raném vesmíru kombinovaná se slabým antropickým principem. Pokud by se vesmír začal smršťovat před několika miliardami let, skutečně bychom dnes pozorovali, že se smršťuje. Protože však vesmír prošel inflačním stadiem, musí být hustota hmoty v něm tak blízká kritické, že se jeho expanze nezmění v kontrakci ještě dlouho. V době, kdy k tomu dojde, už budou všechny hvězdy vyhaslé. Vesmír se změní na chladné temné místo, kde všechen život už dávno zanikl. Takže ta skutečnost, že my zde jsme a pozorujeme svět, znamená, že musíme žít ve fázi rozpínání, a ne smršťování vesmíru. Takové je tedy vysvětlení, proč směr psychologického času souhlasí se směrem času kosmologického.

Až dosud jsem hovořil o směru času na makroskopické škále, tedy v měřítkách, kdy vystačíme s popisem v rámci dynamiky tekutin. Inflační model však závisí na existenci směru času na mnohem menší, mikroskopické škále. Během inflační fáze je prakticky veškerá energie obsažena v jediném, homogenním, modu skalárního pole. Jeho amplituda se mění s časem jen pomalu a energie a hybnost spojené s tímto 79f modem udělují vesmíru zrychlení, které vede k exponenciální expanzi. Ke konci inflačního období začne velikost homogenního modu oscilovat a tyto koherentní homogenní oscilace skalárního pole povedou podle představy inflačního modelu ke vzniku částic. Částicím přísluší podle kvantové teorie určitá vlnová délka; popsaným mechanismem vznikají částice o malé délce vlny se spektrem odpovídajícím termálnímu záření. Ve vesmíru tedy vzniká látka "obvyklých" vlastností a jeho další vývoj se

řídí modelem s horkým velkým třeskem, který byl popsán v kapitole "Počátek vesmíru".

Inflační scénář velmi raného vesmíru však mlčky předpokládá existenci termodynamického směru času, který míří směrem rozpínání; kdyby směřoval obráceně, scénář by nefungoval. O předpokladu směru času se obvykle nehovoří. V tomto případě však umíme ukázat, že mikroskopická šipka času také vyplývá z podmínky "žádná hranice". Skalární pole můžeme doplnit dalšími hmotnými poli, které se skalárním interagují. Když je rozvineme do sférických funkcí, dostaneme sadu Schrödingerových rovnic s oscilujícími koeficienty. Podmínka "žádná hranice" říká, že hmotová pole se začínají vyvíjet ze svého základního stavu. Zjistíme, že oscilace skalárního pole uvedou hmotová pole do vzbuzeného stavu. Dá se předpokládat, že reakce na tuto excitaci utlumí oscilace skalárního pole a vesmír přejde do fáze ovládané zářením. Zdá se tedy, že naše podmínka "žádná hranice" vysvětluje směr času jak na makroskopické, tak mikroskopické úrovni.

Vypověděl jsem, jakým způsobem jsem svého času došel k chybnému závěru a jaký důsledek podmínky "žádná hranice" pro směrovku času pokládám za správný dnes. Původní myšlenka byla mým největším životním omylem, či alespoň mým největším omylem ve vědě. Kdysi jsem uvažoval o tom, že by měl existovat speciální časopis, kde by se vědci přiznávali k chybám, jichž se dopustili. Možná by však měl jen hrstku příspěvatelů.

15. Desky pro opuštěný ostrov: rozhovor

Pořad BBC Desky pro opuštěný ostrov se vysílá od roku 1942. Je to program rámuující rozhlasové přehrávky gramofonových desek, který má velmi dlouhou tradici. Ve Velké Británii představuje opravdu celonárodní kulturní instituci, v níž se za tak dlouhou dobu vystřídal obrovský počet hostů. V pořadu vystupovali spisovatelé, herci,

hudebníci, filmové hvězdy a režiséři, sportovci, komici, manažeři, zahradníci, učitelé, tanečníci, politici, členové královské rodiny, malíři - i vědci. "Trosečníci", jak jsou hosté pořadu označováni, si mají možnost vybrat osm desek, které by si vzali s sebou, kdyby byli vyvrženi na opuštěný ostrov. Mají také jmenovat nějakou věc pro potěšení (neživou) a knihu, které by chtěli mít s sebou. Přitom se předpokládá, že vhodný náboženský text - bible, korán či nějaký ekvivalent - už na ostrově je, stejně jako sebrané Shakespearovy spisy. Právě tak je zajištěno vhodné přehrávací zařízení. Dříve se při uvádění programu říkalo: "Předpokládá se, že na místě je gramofon s nekonečnou zásobou jehel." Dnes je to CD přehrávač na sluneční baterie.

Program se vysílá jednou týdně. Během rozhovoru se přehrávají desky, které si host zvolil; běžná délka pořadu je čtyřicet minut. Rozhovor se Stephenem Hawkingem se vysílal na Boží hod vánoční 1992 a trval výjimečně déle. Rozhovor vedla Sue Lawleyová.

SUE:

Vám, Stephene, už v jistém smyslu není neznámé, jaké je to žít na izolovaném ostrově, odříznutý od normálního života a bez možnosti užívat běžných komunikačních prostředků. Jak opuštěný se cítíte?

STEPHEN:

Já se odříznutý od normálního života necítím a myslím, že se tak na mne nedívají ani lidé z nejbližšího okolí. Necítím se jako invalida. Tak jako je někdo barvoslepý, mně prostě špatně fungují pohybové neurony. Můj život jistě není obvyklý, já ho však pociťuji jako ve své podstatě normální.

SUE:

Přece jenom jste už sám sobě dokázal, na rozdíl od jiných hostů našeho pořadu, že jste duševně a intelektuálně

soběstačný, že máte dostatek vlastních teorií a inspirace, abyste dokázal sám sebe zaměstnat.

STEPHEN:

Jsem od přírody tak trochu introvert a moje komunikační potíže mě donutily spoléhat sám na sebe. Jako chlapec jsem byl pořádně upovídaný. Diskuse s jinými lidmi mě stimulovaly. Dnes mi velmi pomáhá, když se snažím své myšlenky vysvětlit jiným. I když mi moji potenciální čtenáři či posluchači neodpovídají a nedávají mi přímé podněty, samotná skutečnost, že musím své myšlenky utřídit tak, abych je mohl vysvětlit jiným, mi ukazuje směr další cesty.

SUE:

A co váš citový život, Stephene? I skvělý fyzik k němu snad potřebuje jiné lidi.

STEPHEN:

Fyzika je výborná věc, ale zcela chladná. Nemohl bych žít, kdybych neměl nic jiného než fyziku. Tak jako každý jiný i já potřebuji vřelost, lásku a náklonnost. Ale zde jsem měl veliké štěstí, mnohem větší než mnoho lidí podobně postižených jako já, neboť mě obklopuje spousta lásky a náklonnosti. I hudba je pro mne neobyčejně důležitá.

SUE:

Co vás těší víc, fyzika, nebo hudba?

STEPHEN:

Musím přiznat, že radost, kterou pociťuji, když mi ve fyzice všechno vychází, je mnohem intenzivnější než potěšení, které jsem kdy měl z hudby. Jenže takové úspěchy se dostávají jen párkrát během celoživotní kariéry a disk si můžete přehrát kdykoli chcete.

SUE:

Tak tedy první nahrávka, kterou byste si poslechl na opuštěném ostrově?

STEPHEN:

Gloria od Poulenca. Poprvé jsem tuto skladbu slyšel loni v létě v Aspenu v Coloradu. Aspen je především lyžarské centrum, ale v létě se tam pořádají fyzikální konference. V sousedství fyzikálního centra stojí obrovský stan, ve kterém se koná hudební festival. A když tak sedíte a pracujete, třeba na problému, co se děje při vypařování černé díry, můžete slyšet zkoušky. Je to ideální, kombinuje to mé dvě hlavní radosti, fyziku a hudbu. Kdybych měl na svém opuštěném ostrově obojí, snad bych ani nechtěl být zachráněn. Alespoň ne do té doby, než bych udělal v teoretické fyzice objev, který bych chtěl všem sdělit. Předpokládám, že mít tam i satelitní přijímač, abych mohl komunikovat elektronickou poštou, by bylo proti pravidlům.

SUE:

Rozhlasové vysílání zakrývá tělesné vady, ale ve vašem případě odhaluje něco jiného. Před sedmi lety jste, Stephene, doslova ztratil hlas. Můžete mi říct, co vás tehdy potkalo?

STEPHEN:

V létě 1985 jsem byl v ženevském CERN, kde mají veliký urychlovač částic. Chtěl jsem odtamtud odjet do Německa, do Bayreuthu, abych si poslechl Wagnerův operní cyklus Prsten Nibelungův. Dostal jsem ale zápal plic a musel jsem rychle do nemocnice. V ženevské nemocnici mé manželce řekli, že nestojí za to, nechávat mě na dýchacím přístroji. Ona se s tím však nesmířila a zařídila můj převoz do Addenbrookeovy nemocnice v Cambridgi, kde chirurg Roger Grey provedl tracheostomii. Operace mi zachránila život, ale připravila mě o hlas.

SUE:

Vaše řeč už ovšem v té době postižena byla, bylo vám těžko rozumět. Nebyl byste ji nakonec ztratil tak jako tak?

STEPHEN:

I když můj hlas byl poškozen a moje řeč těžko srozumitelná, moji blízcí mi rozuměli. Mohl jsem přednášet na seminářích prostřednictvím tlumočnicka, mohl jsem diktovat vědecké články. Po operaci jsem se cítil jako ztracený. Říkal jsem si, že pokud se mi hlas nevrátí, nestojí za to žít dál.

SUE:

A tehdy se dočetl o vašem zoufalém stavu jistý kalifornský počítačový odborník a poslal vám nový hlas. Jak to vlastně funguje?

STEPHEN:

Jmenuje se Walt Woltosz. Jeho tchyni postihl stejný osud jako mě, proto vytvořil počítačový program, který jí měl umožnit komunikaci. Po obrazovce se pohybuje kurzor. Když přijde na vaši volbu, sepnete vypínač pohybem hlavy nebo očí, v mém případě rukou. Takto volíte slova zobrazená v dolní polovině obrazovky. Když dáte dohromady větu, kterou chcete sdělit, pošlete ji do hlasového syntetizátoru nebo ji uložíte na disk.

SUE:

To je ale pěkně pomalé.

STEPHEN:

Je to pomalé, rychlost odpovídá zhruba jedné desetině rychlosti normální řeči. Na druhé straně syntetizátor mluví mnohem zřetelněji, než jsem já mluvil předtím. Britové považují jeho přízvuk za americký, Američané za skandinávský, případně irský. Každopádně, ať už je jakýkoli, každý mu rozumí. Můj starší syn se mému zhoršenému přirozenému hlasu přizpůsobil, zato mladší syn, jemuž bylo v době mé tracheostomie šest let a nikdy předtím mi nerozuměl, nemá teď žádné problémy. A to je pro mne moc důležité.

SUE:

To také znamená, že když s vámi někdo dělá interview, musí vám pokládat otázky s dostatečným předstihem, a vy odpovídáte, až když jste dobře připraven, že?

STEPHEN:

Je to jistě velmi užitečné při dlouhém programu, jaký je tento, který se nahrává. Jinak bych spotřeboval mnoho hodin nahrávacího času a metry magnetické pásky. V jistém smyslu mi to dává i lepší pozici a vůdčí úlohu v rozhovoru. Ve skutečnosti raději odpovídám přímo - tak jako na fyzikálních seminářích nebo přednáškách pro širší veřejnost.

SUE:

Ale jak sám říkáte, připravený rozhovor vám poskytuje vůdčí roli a já vím, že to je pro vás dost důležité. Vaše rodina a přátelé říkají, že býváte někdy umíněný a pánovitý. Doznáváte vinu?

STEPHEN:

Každý člověk s určitými schopnostmi je někdy nazýván umíněným. Já sám bych se spíše považoval za cílevědomého a houževnatého. Pokud bych takový nebyl, nesešel bych dnes tady.

SUE:

Byl jste vždycky takový?

STEPHEN:

Chci jen řídit svůj život ve stejné míře, jako to činí jiní lidé. Život invalidních lidí je velice často ovládán jinými. To by nesnesl žádný zdravý člověk.

SUE:

Pustíme si vaši druhou nahrávku.

STEPHEN:

Bude to Brahmsův houslový koncert. Je to první LP, které jsem si kdy koupil. Bylo to v roce 1957; tehdy se dlouhohrající desky poprvé v Británii objevily. Otec by byl pokládal za rozmařilost do nebe volající koupit nový

gramofon, ale přesvědčil jsem ho, že jej dokážu postavit ze součástek, takže to vyjde celkem lacino. A to se zase líbilo jeho yorkshirskému duchu. Tak jsem zasadil talíř a zesilovač do skříně starého gramofonu - kdybych jej byl uchoval, mohl dnes být velmi cenný.

Když jsem už postavil přehrávací zařízení, chtěl jsem mít také co přehrávat. Kamarád ze školy mi doporučil Brahmsův houslový koncert, v podstatě proto, že jej nikdo z našeho okruhu ve škole neměl. Pamatuji se, že deska stála pětatřicet shillingů, tehdy pěknou sumu peněz. Ceny desek vzrostly jako ceny všeho, ale relativně jsou dnes desky levnější.

Když mi jej v obchodě přehráli, zdál se mi trochu divný a nebyl jsem si jist, zda se mi opravdu líbí. Zdálo se mi ale, že musím říct, že ano. Během let ale začal pro mne znamenat opravdu mnoho. Prosil bych zahrát začátek pomalé části.

SUE:

Starý přítel vaší rodiny mi řekl, že za vašich chlapeckých časů byla vaše rodina - "velice inteligentní, velmi bystrá a velmi výstřední". Když se ohlédnete zpátky, myslíte, že to sedí?

STEPHEN:

Nemohu komentovat, zda naše rodina byla inteligentní, jistě jsme se však za výstřední nepokládali. Mohli jsme se ovšem tak jevit podle měřítek Saint Albans, protože to bylo v těch dobách hodně konzervativní místo.

SUE:

Váš otec byl specialista na tropické nemoci.

STEPHEN:

Zabýval se výzkumem v oblasti tropické medicíny. Velmi často jezdil do Afriky, aby zkoumal účinek nových léků přímo v terénu.

SUE:

Takže na vás měla větší vliv vaše matka? Pokud ano, tak v čem především spočíval?

STEPHEN:

Ne, myslím, že jsem byl spíše pod vlivem otce. Rozhodně jsem se podle něho stylizoval. Protože byl vědcem, připadalo mi, že vědecký výzkum je jediná přirozená činnost, kterou člověk může dělat, když vyroste. Rozdíl byl jen v tom, že mě nepřitahovala medicína ani biologie, připadaly mi příliš neexaktní a popisné. Toužil jsem po něčem základnějším a našel jsem to ve fyzice.

SUE:

Vaše matka vyprávěla, že jste měl vždy něco, co nazývala velkým smyslem pro tajemno. "Viděla jsem, že ho přitahují hvězdy," říkala. Pamatujete se na to?

STEPHEN:

Vzpomínám si, jak jsem jednou přijel z Londýna pozdě v noci. Tehdy vypínali z úsporných důvodů pouliční osvětlení o půlnoci. Viděl jsem hvězdné nebe tak jasně jako nikdy předtím, napříč oblohou se táhla Mléčná dráha. Na mém opuštěném ostrově patrně pouliční osvětlení nebude, takže krásně uvidím hvězdy.

SUE:

Byl jste zřejmě bystré dítě a při hrách doma se sestrou i velmi soutěživý. Přesto jste prý patřil k horším ve třídě a ani vám to tehdy moc nevadilo. Bylo to tak?

STEPHEN:

To bylo během mého prvního roku ve škole v Saint Albans. Jednak musím říct, že to byla velmi bystrá třída, jednak je pravda, že jsem byl mnohem úspěšnější při zkoušení než při běžné školní práci. Byl jsem si tehdy jist, že bych mohl mít lepší výsledky - nízké hodnocení ovlivnil především můj rukopis a celková nepečlivost.

SUE:

A jaká bude třetí deska?

STEPHEN:

V prvních letech mých studií v Oxfordu jsem četl román Kontrapunkt od Aldouse Huxleyho. [Point Counterpoint, 1928. Literární kritika jej povětšinou hodnotí mnohem lépe než Stephen Hawking.] Román byl zamýšlen jako portrét doby kolem roku 1930 a vystupuje v něm spousta postav. Většina z nich je papírová, ale jedna je přece jen lidštější; Huxley ji zřejmě modeloval podle sebe. Tento muž zabije vůdce britských fašistů, jehož prototypem byl sir Oswald Mosley. Pak straně oznámí, co udělal, a začíná si přehrávat Beethovenův smyčcový kvartet opus 132. Uprostřed třetí věty někdo zvoní, jde tedy otevřít - a fašisté ho zastřelí.

Je to opravdu špatný román, ale Huxley velmi dobře zvolil hudbu. Kdybych věděl, že se na můj ostrov řítí přílivová vlna a zatopí jej, hrál bych si třetí větu tohoto kvarteta.

SUE:

V Oxfordu jste studoval na University College matematiku, fyziku, a jak jste sám odhadl, pracoval jste tak hodinu denně. Jinak jste vesloval, popíjel pivo a rád tropil různé kanadské žertíky, podle toho, co jsem o vás četla. Proč tomu tak bylo? Proč se vám nechtělo pracovat?

STEPHEN:

Byl to konec padesátých let a většina mladých lidí byla znechucena tím, čemu se říkalo "establishment" [vládnoucí třída, společenský řád, oficiální instituce]. Zdálo se, že se není na co těšit, kromě na větší a větší nadbytek. Konzervativci tehdy vyhráli volby pod heslem "Nikdy jste se neměli tak dobře". Já i většina mých vrstevníků jsme byli znuděni životem.

SUE:

Přesto jste ale stačil v několika hodinách vyřešit úlohy, které vaši kolegové nedokázali zvládnout ani během mnoha týdnů. Oni říkají, že vás už tehdy pokládali za mimořádně nadaného. Vy sám sebe také?

STEPHEN:

Kurz fyziky v Oxfordu byl v těch dobách nesmyslně snadný. Člověk jej mohl absolvovat, aniž chodil na přednášky, stačilo zajít na jednu až dvě konzultace týdně. Nemusel si pamatovat mnoho faktů, jen pár rovnic.

SUE:

To v Oxfordu jste si poprvé všiml, že vás ruce a nohy úplně neposlouchají. Jak jste si to tehdy vysvětloval?

STEPHEN:

První, čeho jsem si všiml, bylo, že mi dobře nejde veslování na skulu. Pak jsem ošklivě spadl ze schodů klubovny. Šel jsem ke kolejnímu doktorovi, protože jsem se bál, že jsem si mohl poranit mozek, on se však domníval, že nejde o nic vážného, a zakázal mi pít pivo. Po závěrečných zkouškách v Oxfordu jsem jel na léto do Íránu. Když jsem se vrátil, cítil jsem se slabší, ale přikládal jsem to žaludečním potížím, kterými jsem tam trpěl.

SUE:

V kterém okamžiku jste si konečně připustil, že jde o něco skutečně vážného, s čím musíte vyhledat lékařskou pomoc?

STEPHEN:

Až když už jsem byl v Cambridgi a přijel domů na Vánoce. Zima mezi lety 1962 a 1963 byla velmi tuhá. I když jsem se na to moc necítil, přesvědčila mě matka, abych si šel v Saint Albans zabruslit. Upadl jsem a měl jsem velké potíže postavit se na nohy. Matka si uvědomila, že něco není v pořádku, a vzala mě k rodinnému lékaři.

SUE:

A pak po třech týdnech v nemocnici vám sdělili to nejhorší?

STEPHEN:

Bylo to v Bartsově nemocnici v Londýně, protože otec k ní příslušel. Dva týdny mi dělali testy, ale nikdo mi vlastně neřekl, co mi schází, jen že to není roztroušená skleróza a že jsem atypický případ. Neřekli mi, jaké mám vyhlídky, ale

vytušil jsem, že patrně velmi špatné, tak jsem se raději neptal.

SUE:

Nakonec vám ale přece jen oznámili, že máte před sebou pár let života. Přerušme váš příběh v tomto okamžiku a poslechněme si další desku.

STEPHEN:

Bude to Valkýra, první jednání. To byla také jedna z raných LP desek, s Melchiorem a Lehmannovou, původně nahraná před válkou na rychlost 78 a počátkem šedesátých let pak přehraná na LP. Když jsem se v roce 1963 dozvěděl, jak je to s mou nemocí, začal jsem poslouchat Wagnera. Vyhovoval mé tehdejší ponuré a apokalyptické náladě. Bohužel můj hlasový syntetizátor nemá dobré vzdělání a vyslovuje jeho jméno špatně. Musel jsem mu to spelovat V-A-R-G-N-E-R, aby to vyslovil alespoň přibližně.

Čtyři opery cyklu Prsten Nibelungův jsou největší Wagnerovo dílo. V roce 1964 jsem se na ně jel podívat do Bayreuthu spolu se sestrou Philippou. V té době jsem Prsten dobře neznal a Valkýra, druhá opera cyklu, na mne udělala obrovský dojem. Provedení režíroval Wolfgang Wagner a scéna byla téměř úplně temná. Je to milostný příběh dvojčat, Siegmunda a Sieglindy, která byla v dětství od sebe odloučena. Setkají se znovu, když Siegmund hledá útočiště v domě Hundinga, Sieglindina manžela a Siegmundova nepřítele. Úryvek, který jsem zvolil, je Sieglindino vyprávění o sňatku s Hundingem, k němuž byla donucena. Uprostřed obřadu vstoupil do síně starý muž. Orchester hraje motiv Valhaly, jedno z nejvznešenějších témat Prstenu, protože ten stařec je Wotan, vládce bohů a Siegmundův a Sieglindin otec. Zatkne do kmenu stromu meč, určený pro Siegmunda. Na konci dějství Siegmund vytrhne meč ze stromu a společně se Sieglindou odcházejí do lesů.

SUE:

Když člověk čte váš příběh, Stephene, má téměř dojem, že rozsudek smrti, odložený jenom o pár let, vás probudil, či chcete-li, zkoncentroval na život.

STEPHEN:

Nejdříve mě uvrhl do naprosté deprese. Zdálo se, že se můj stav zhoršuje velmi rychle. Připadalo mi, že nemá žádný smysl, abych pracoval na své doktorské práci; nevěděl jsem totiž, zda budu žít dost dlouho na to, abych ji dokončil. Pak se ale věci ukázaly v lepším světle. Můj stav se zhoršoval pomaleji, a já jsem udělal ve své práci podstatný pokrok - podařilo se mi dokázat, že vesmír musel začít velkým třeskem.

SUE:

V jednom rozhovoru jste řekl, že se dnes cítíte šťastnější než před propuknutím nemoci.

STEPHEN:

Určitě jsem dnes šťastnější. Než mě zasáhla zákeřná choroba, byl jsem otrávený životem. Ale tváří v tvář blízké smrti jsem si uvědomil, že stojí za to žít. Je mnoho věcí, které člověk může udělat, mnoho věcí, které každý člověk může udělat. Mám skutečný pocit úspěchu, že jsem přispěl sice skromně, ale přece jen nezanedbatelně k lidskému poznání, a to i přes svůj stav. Jistě v tom hrálo roli veliké štěstí, ale každý může něčím přispět, když se o to opravdu snaží.

SUE:

Troufal byste si to, co jste dokázal, přičítat právě své nemoci? Že bez ní byste možná tolik nedokázal? Nebo je to příliš velké zjednodušení?

STEPHEN:

Ne, nemyslím si, že by onemocnění motorického neuronu bylo nějakou výhodou pro kohokoli. Ale bylo pro mne menší překážkou než pro jiné lidi, protože mi nezabránilo dělat to,

co jsem dělat chtěl, snažit se porozumět, jak je zařízen vesmír.

SUE:

Vaší další inspirací, když jste se snažil vyrovnat se svou nemocí, byla mladá žena jménem Jane Wildeová, s níž jste se setkal na večírku, zamiloval se do ní a nakonec se s ní i oženil. Nakolik vděčíte za své úspěchy právě jí, Jane?

STEPHEN:

Bez ní bych to zcela jistě nezvládl. Zasnoubení s ní mě vytáhlo z trudnomyslnosti, do níž jsem upadl. A když jsme se chtěli vzít, potřeboval jsem zaměstnání, a proto jsem musel dokončit svou dizertační práci. Začal jsem tvrdě pracovat a zjistil jsem, že se mi to líbí. Když se můj stav začal zhoršovat, Jane se o mne starala bez veškeré cizí pomoci. Tehdy nám ani nikdo pomoc nenabízel a my jsme si samozřejmě ani nemohli dovolit za ni platit.

SUE:

A společně jste vzdorovali rozsudku lékařů. Nejen tím, že jste žil dále, ale měli jste dokonce i děti. Robert se narodil v roce 1967, Lucy v roce 1970 a Timothy v roce 1979. Co na to doktoři?

STEPHEN:

Lékař, který původně stanovil diagnózu, si nade mnou myl ruce. Měl pocit, že se nic nedá dělat. Od původní diagnózy jsem se s ním neseťkal. Mým lékařem se prakticky stal otec; k němu jsem se také obracel o rady. Řekl mi, že nic nenasvědčuje tomu, že by nemoc byla dědičná. Jane se dokázala starat o mne i dvě děti. Pomoc zvenčí jsme si museli opatřit jen tehdy, když jsme v roce 1974 odjeli do Kalifornie: nejdříve studenta, který s námi bydlel, potom ošetřovatelky.

SUE:

Teď ale s Jane už nežijete.

STEPHEN:

Od tracheostomie potřebuji čtyřicetihodinovou ošetrovatelskou péči. To vystavovalo naše manželství stále většímu tlaku. Nakonec jsem se odstěhoval a teď žiji v novém bytě v Cambridgi. Žijeme odděleně.

SUE:

Pusťme si opět trochu hudby.

STEPHEN:

Beatles, Please Please Me. Čtyřikrát jsem volil z vážného repertoáru a teď něco oddychovějšího. Pro mne a celou řadu jiných byli Beatles závanem svěžího vzduchu na poněkud zatuchlou a nudnou pop scénu. Poslouchával jsem v sobotu večer "top twenty" na Radiu Luxembourg.

SUE:

Přes všechny pocty, jichž se vám dostalo, Stephene Hawkingu - zmíním se jen o tom, že jste se stal lucasiánským profesorem matematiky v Cambridgi, což je post, který svého času zastával i Isaac Newton -, jste se rozhodl napsat populární knihu o vašem oboru z velmi přízemního důvodu - myslím pro peníze.

STEPHEN:

I když jsem doufal, že za napsání populární knihy nějakou sumu peněz získám, hlavním důvodem, proč jsem psal Stručnou historii času, bylo, že mě to bavilo. Objevy posledních pětadvaceti let mě vzrušovaly a chtěl jsem o nich lidem povědět. Nikdy jsem nedoufal, že mi vynesou tolik, kolik mi pak opravdu vynesla.

SUE:

Skutečně, kniha zlomila všechny rekordy, dostala se do Guinnessovy knihy rekordů délkou období, po které byla na seznamu nejlépe prodávaných knih - a pořád tam ještě je. Nikdo neví, kolik výtisků se vlastně po celém světě prodalo, ale jistě to překračuje deset milionů. Lidé ji zřejmě kupují. Ale čtou ji vůbec?

STEPHEN:

Vím, že Bernard Levin se zasekl na devětadvacáté straně, ale znám řadu lidí, kteří se dostali dále. Na celém světě za mnou lidé chodí a říkají mi, jak se jim líbila. Někteří ji možná nedočetli, nebo neporozuměli všemu. Přinejmenším z ní ale získali povědomí, že žijeme ve vesmíru ovládaném racionálními zákony, které můžeme odhalit a pochopit.

SUE:

Byla to představa černých děr, která tak zapůsobila na lidskou představivost a oživila zájem o kosmologii. Díváte se někdy na některé ze všech těch Star Treks, hvězdných poutí, "abyste hrdě šel tam, kde nikdo předtím nebyl", a pokud ano, líbí se vám?

STEPHEN:

Četl jsem hodně sci-fi ještě na střední škole. Dnes ale, když sám pracuji v kosmologii, se mi zdá většina sci-fi poněkud povrchní. Je snadné psát o hyperprostoru nebo přenášení lidí, pokud to nemusíte udělat součástí vnitřně nerozporného obrazu. Skutečná věda je mnohem více vzrušující, protože se týká něčeho, co je skutečné. Autoři vědecko-fantastických románů nepřišli s představou černé díry, dokud ji nevymysleli fyzikové. Dnes ale máme dobré důkazy o existenci celé řady černých děr.

SUE:

Co se stane, když člověk spadne do černé díry?

STEPHEN:

Každý čtenář sci-fi ví, co se stane, když spadne do černé díry. Udělá to z vás špagetu. Zajímavější je, že černé díry nejsou úplně černé. Vysílají stálý proud částic a záření. To způsobuje, že se pomalu vypařují; co se s černou dírou a jejím obsahem nakonec stane, zatím nikdo neví. Je to zajímavá oblast výzkumu, té se ale autoři sci-fi zatím ještě nezmocnili.

SUE:

A tomu záření, o kterém jste se zmínil, se ovšem říká Hawkingovo. Nebyl jste to sice vy, kdo objevil černé díry, ale vy jste ukázal, že nejsou vlastně úplně černé. Právě tento objev vás inspiroval k přemýšlení o počátku vesmíru, mám pravdu, ne?

STEPHEN:

Kolaps hvězdy, který vytváří černou díru, je v mnoha ohledech časově obráceným obrazem expanze vesmíru. Hvězda se hroutí ze stavu s malou hustotou do stavu s obrovskou hustotou. Vesmír se naopak rozpíná z velké hustoty do stavu s hustotou nižší. Je zde ale podstatný rozdíl. Jsme vně černých děr, ale uvnitř vesmíru. Pro obojí je však charakteristické termální záření.

SUE:

Říkáte, že se neví, co se nakonec s černou dírou a jejím obsahem stane. Já jsem si ale představovala, že podle dnešní teorie cokoli - včetně astronautů - , co zmizí v černé díře, bude recyklováno v Hawkingovo záření.

STEPHEN:

Astronautova hmotnost a energie budou recyklovány jako záření vycházející z černé díry. Ale astronaut sám, ba ani částice, ze kterých byl vytvořen, z černé díry nevyjdou. Takže co se s nimi stane? Budou zničeni, nebo se dostanou do jiného vesmíru? To je něco, co bych chtěl moc vědět, i když se zrovna nechystám do černé díry skočit.

SUE:

Pracujete, Stephene, intuitivně, to znamená, že když dojdete k teorii, která by se vám líbila a která vás přitahuje, snažíte se ji pak dokázat? Nebo jako vědec musíte vždy probouvat cestu k závěru logickými prostředky a nesmíte zkoušet dopředu hádat?

STEPHEN:

Na intuici se spoléhám velmi mnoho. Pokouším se uhodnout výsledek, pak jej ovšem musím dokázat. A v

tomto stadiu často zjistím, že to, co jsem si myslel, není správné, a že platí něco, co mě nikdy nenapadlo. Takto jsem objevil, že černé díry nejsou úplně černé, třebaže jsem chtěl dokázat něco jiného.

SUE:

Tak opět nějakou hudbu.

STEPHEN:

K mým favoritům vždycky patřil Mozart. Vytvořil neuvěřitelné množství muziky. K mým padesátým narozeninám, které připadly na začátek tohoto roku, jsem dostal jeho souborné dílo na CD discích, více než dvě stě hodin hudby. Stále ještě se jím pracuji. Jedním z největších děl je Rekviem. Mozart zemřel dříve, než je stačil dokončit, dopracoval je jeho žák ze zanechaných fragmentů. Introit, který uslyšíme, je jednou z mála částí plně napsaných i instrumentovaných Mozartem.

SUE:

Doufám, že mi odpustíte, když vaši teorii velmi zjednoduším, ale dříve jste se domníval, že existoval okamžik stvoření, velký třesk, dnes si to ale už nemyslíte. Věříte, že nebyl žádný počátek a nebude ani žádný konec, že vesmír je uzavřený prostorově i časově. Znamená to tedy, že nebylo žádné stvoření a že pro Boha není místo?

STEPHEN:

Příliš jste to zjednodušila. Pořád věřím, že vesmír v reálném čase započal velkým třeskem. Existuje ale představa imaginárního času, s osou kolmou na osu reálného času, ve kterém vesmír nemá žádný počátek ani konec. To znamená, že způsob, jak vesmír započal, určovaly fyzikální zákony. Podle této představy nemůžeme říct, že Bůh nařídil vesmíru vyvíjet se nějakým nahodilým způsobem, kterému nemůžeme rozumět. Neříká se zde nic o tom, zda Bůh existuje nebo ne - pouze, že On není nahodilý.

SUE:

Pokud ale je zde možnost, že Bůh neexistuje, umíte vysvětlit všechny ty věci, které leží mimo vědu - lásku a důvěru, které k vám cítili a cítí vaši blízcí, a také vaši inspiraci?

STEPHEN:

Láska, víra a morálka patří do jiné kategorie než fyzika. Z fyzikálních zákonů nemůžete vydedukovat, jak se má kdo chovat. Můžeme ale doufat, že nás logické myšlení obsažené v matematice a fyzice povede i k lepšímu mravnímu chování.

SUE:

Většina lidí má asi pocit, že se podle vás bez Boha zcela dobře obejdeme. Popíráte, že je to váš názor?

STEPHEN:

Má práce ukazuje jen to, že nemusíme přijímat představu vesmíru, který vznikl jako výsledek Boží myšlenky. Ale pořád zbývá otázka, proč se vesmír obtěžuje vůbec existovat. Chcete-li, můžete definovat Boha jako odpověď na tuto otázku.

SUE:

Myslím, že je čas na desku číslo sedm.

STEPHEN:

Mám velice rád operu. Původně jsem myslel, že celý můj výběr bude operní, že začne Gluckem a Mozartem a půjde přes Wagnera k Verdimu a Puccinimu. Nakonec jsem to však omezil jen na dvě díla. Jedním byl Wagner a má druhá volba nakonec padla na Pucciniho. Turandot je jeho daleko největší opera, a opět je to dílo, které nestačil před smrtí dokončit. Úryvek, který jsem vybral, je Turandotino vyprávění o princezně ve staré Číně, která byla znásilněna a unesena Mongoly. Za tento zločin se Turandot mstí tak, že každému nápadníkovi dává tři hádanky; kdo neuhodne, je popraven.

SUE:

Co pro vás znamenají Vánoce?

STEPHEN:

Je to tak trochu jako americký Den díkůvzdání, čas, kdy má člověk být s rodinou a děkovat za uplynulý rok. Je to také čas, kdy bychom se měli těšit na rok před námi, jak to symbolizuje dítě narozené ve chlévě.

SUE:

A teď trochu materialismu - jaké dárky byste si přál? Nebo jste na tom dnes tak dobře, že máte všechno?

STEPHEN:

Dávám přednost překvapení. Když si řeknete o něco určitého, nedáváte dárci možnost, aby ukázal nebo ukázala svou vlastní nápaditost. Ale nevadí mi, když se o mně ví, že mám rád čokoládové lanýže.

SUE:

Zatím jste, Stephene, dokázal žít o třicet let déle, než vám bylo předpovídáno. Jste otcem dětí, o nichž říkali, že je nikdy nebudete mít, napsal jste bestseller, převrátil jste na hlavu staré představy o prostoru a čase. Co ještě plánujete, než opustíte tuto planetu?

STEPHEN:

To všechno bylo možné jen proto, že se mi dostalo velké pomoci. Mám radost z toho, co se mi podařilo, ale než odejdu, chtěl bych toho udělat ještě mnohem více. Nechtěl bych mluvit o svém soukromém životě, ale ve vědě bych se rád dozvěděl, jak se dá sjednotit gravitace s kvantovou mechanikou a ostatními silami přírody. Speciálně se chci dozvědět, co se stane s černou dírou, když se vypaří.

SUE:

A je čas na poslední desku.