

PŘEDMLUVA

Ať už Bůh či bohové existují anebo ne, naše hledání božského je čímsi povznášející. A současně je hluboce lidské. Odráží se to v bohatosti cest, jež lidé objevili, aby dosáhli hlubších úrovní poznání. Někteří hledají transcendentno v meditacích či modlitbách. Jiní ho nalézají ve službě svým bližním. A ještě další, které štěstěna obdařila patřičným talentem, se transcendentna dotýkají provozováním různých druhů umění.

Jinou možnou cestu k nejhlubším otázkám bytí nabízí věda. Ne každý vědec je jejich opravdovým hledačem, ale ve všech vědních disciplínách najdeme jedince hnané vnitřní touhou poznat základní pravdy daného oboru. Jde-li o matematiky, dychtí zjistit, co jsou ve své podstatě čísla anebo jaký druh reality matematika popisuje. Jde-li o biology, snaží se dobrat podstaty života a vyzkoumat, jak započal. Jde-li o fyziky, zajímá je prostor a čas a otázka, jakým způsobem vznikl náš svět. Najít odpovědi na tak fundamentální otázky je velmi obtížné a jen zřídkakdy je dosaženo významného pokroku. Pouze hrstka vědců má trpělivost se takovými problémy zabývat. Je to nejriskantnější druh vědecké práce, současně však slibuje přinést největší možnou odměnu: pokud se někomu podaří dopracovat k nové odpovědi na některou ze základních otázek, může to v daném oboru změnit úplně všechno.

Protože hlavním posláním vědců je rozšiřovat hranice poznání, většinu svého času se potýkají s tím, čemu nerozumí. A ti z nich, kteří se zaobírají fundamentálními problémy, si jsou velice dobře vědomi, že základní stavební kameny našich znalostí o světě nejsou ve skutečnosti tak pevné, jak se někteří jejich kolegové domnívají.

Tato kniha pojednává o lidském úsilí pochopit přírodu na její nejhlubší úrovni. Protagonisty příběhu jsou vědci usilující o rozšíření znalostí základních fyzikálních zákonů. Soustředím se zejména na nedávné období od roku 1975, které zhruba odpovídá mé vlastní profesionální dráze teoretického fyzika. Možná jde o nejpodivnější a také nejvíce frustrující období v dosavadní

historii fyziky od doby, kdy Kepler a Galileo před čtyřmi stoletími položili základy našeho oboru.

Budu vyprávět příběh, který by někomu mohl připadat jako tragédie. Řečeno zcela bez obalu – a také abych jedinou větou vystihl podstatu problému – prohlašuji, že jsme selhali. Dostali jsme do vínku fyzikální vědu, která se tak dlouho a tak rychle a úspěšně vyvíjela, že byla ostatním vědám dávána za vzor. Po více než dvě staletí, až do doby zcela nedávné, se poznání fyzikálních zákonů prohlubovalo a rozšiřovalo závratným tempem. Avšak dnes, i přes naše enormní úsilí, toho o základních zákonech přírody s jistotou nevíme o mnoho více, než bylo známo v 70. letech minulého století.

Je na tom něco zvláštního, že po třech desetiletích nebylo dosaženo hmatatelného pokroku ve fundamentální fyzice? Ano, je to zcela bezprecedentní. A to i tehdy, když se ohlédneme nazpět více než dvě stě let do doby, kdy věda byla ještě doménou zámožných amatérů. Přinejmenším od konce 18. století se totiž vědě dařilo zhruba každých pětadvacet let dosáhnout významného pokroku v zásadních otázkách.

Kolem roku 1780, kdy Antoine Lavoisier kvantitativními chemickými pokusy prokázal zákon zachování hmoty, uplynulo už celé století od doby, co Isaac Newton zformuloval zákony pohybu a gravitace. Newton nám poskytl rámec, v jehož kontextu bylo možné pochopit veškerou přírodu. Hranice nepoznaného však byly viditelné na každém kroku. Lidé teprve začínali chápat a objasňovat základní fakta týkající se hmoty, světla, tepla a též záhadných jevů elektřiny a magnetismu.

Během první čtvrtiny 19. století byly ve všech zmíněných oblastech učiněny zásadní objevy. Uvědomili jsme si, že světlo je vlnění. Popsali jsme charakter sil působících mezi elektricky nabitými částicemi. A díky atomové teorii Johna Daltona jsme provedli obrovský skok v chápání struktury hmoty. Zrodil se pojem energie, pomocí vlnové teorie světla byly objasněny interferenční a difrakční jevy, byl popsán elektrický odpor a prozkoumána souvislost mezi elektřinou a magnetismem.

V následujícím čtvrtstoletí, mezi roky 1830 a 1855, se vynořily nové základní pojmy stojící v základech moderní fyziky. Michael Faraday přišel s představou, že silové působení může být zprostředkováno fyzikálními poli. Tím zásadně rozšířil naše znalosti elektřiny a magnetismu. Ve stejné době byl zformulován princip zachování energie a také druhý termodynamický zákon.

V dalším čtvrtstoletí Faradayovy průkopnické myšlenky o existenci poli dále rozvinul James Clerk Maxwell a vybudoval dnešní moderní teorii elektro-

magnetismu. Maxwell nejen sjednotil elektřinu s magnetismem, ale současně objasnil i to, že světlo je elektromagnetické vlnění. A v roce 1867 kinetickou teorií atomů vysvětlil chování plynů. V téže době Rudolf Clausius zavedl pojem entropie.

V období mezi roky 1880 a 1905 byly objeveny elektrony a rentgenové paprsky. Studium tepelného záření vedlo v několika krocích k objevu Maxe Plancka, který v roce 1900 našel správný vzorec popisující tepelné vlastnosti záření. Jeho nový zákon zažehl kvantovou revoluci.

V roce 1905 bylo Albertu Einsteinovi šestadvacet let. Přestože jeho první práce týkající se fyziky tepelného záření byly velmi přínosné, nepodařilo se mu najít zaměstnání na akademické půdě. Pro něj to však byl pouhý začátek. Cíleně se zaměřil na nejzávažnější fyzikální otázky. Především: Jak uvést relativitu mechanického pohybu do souladu s Maxwellovými zákony elektřiny a magnetismu? To nám Einstein ukázal ve své speciální teorii relativity. Měli bychom na chemické prvky pohlížet jako na newtonovské atomy? Einstein dokázal, že ano. Jak navzájem usmířit teorii světla s existencí atomů? I to se mu zdařilo a navíc přitom dokázal, že světlo je současně vlněním i proudem částic. To vše zvládl v jediném roce – roce 1905. Pracoval přitom jen ve volném čase, který mu vybyl při zaměstnání na patentovém úřadě.

Rozpracování Einsteinových hlavních myšlenek zabralo další čtvrtstoletí. Do roku 1930 byla zformulována obecná teorie relativity, jejímž hlavním obsahem bylo revoluční tvrzení, že geometrie prostoru není pevná, ale že se vyvíjí v čase. Vlnově-částicový dualismus objevený Einsteinem v roce 1905 byl plně zakomponován do kvantové teorie. Ta nám poskytla podrobný popis atomů, chemických vazeb, hmoty a záření. Do roku 1930 jsme už také věděli, že se vesmír skládá z ohromného množství galaxií podobných naší Mléčné dráze, které se navzájem vzdalují. Všechny důsledky této skutečnosti nebyly ještě známy, bylo však už jisté, že žijeme v rozpínajícím se vesmíru.

Poté, co byly kvantová teorie a obecná relativita všeobecně přijaty za základ moderního chápání světa, skončila první fáze revoluce, jež ve 20. století změnila tvář fyziky k nepoznání. Řada profesorů, kterým se permanentní revoluce probíhající v jejich milovaných oborech nezamlouvaly, se konejšila představou, že vývoj fyziky se vrátí zpět do normálních kolejí a bude probíhat poklidnějším způsobem. Jejich naděje se však nenaplnily.

V závěru dalšího čtvrtstoletí v roce 1955 zemřel Einstein. V té době jsme už věděli, jak spojit kvantovou teorii se speciální relativitou. Byl to vskutku velkolepý úspěch, jehož dosáhla generace Freemana Dysona a Richarda Feynma-

na. Objevili jsme neutron, neutrino a stovky dalších elementárních částic. Přišli jsme i na to, že celá plejáda přírodních jevů je ovládána jen čtyřmi fyzikálními silami: elektromagnetickou, gravitační, silnou jadernou (držící atomová jádra pohromadě) a slabou jadernou (zodpovědnou za radioaktivní rozpady).

Dalších pětadvacet let nás posouvá do roku 1980. Tehdy jsme již úspěšně dobudovali teorii objasňující výsledky všech známých experimentů s elementárními částicemi. Dnes ji nazýváme standardním modelem částicové fyziky. Dokáže mimo jiné přesně popsat, jak jsou protony a neutrony složeny z kvarků zásluhou gluonů, jež zprostředkovávají silnou jadernou interakci. Poprvé v historii fundamentální fyziky se teorii podařilo zcela vyrovnat se všemi známými fakty. Od té doby nikdo neprovedl průkazný experiment, který by byl v rozporu se standardním částicovým modelem anebo s obecnou relativitou.

Naše fyzikální znalosti tak obsáhly vše od nejmenších známých entit až po celý pozorovaný vesmír. Zrodila se vědecká kosmologie, jejímž jádrem je všeobecně přijímaná představa velkého třesku. Uvědomili jsme si, že náš svět obsahuje nejen hvězdy a galaxie, ale také exotické objekty, jako jsou neutronové hvězdy, kvasary, supernovy a černé díry. Stephen Hawking předložil fantastickou předpověď, že i černé díry září. Astronomové však rovněž zjistili, že vesmír obsahuje obrovské množství temné hmoty, která nevyzařuje ani neodráží žádné světlo.

V roce 1981 přišel kosmolog Alan Guth s překvapivým scénářem velmi raného vesmíru zvaným inflace. Podle jeho teorie, zjednodušeně řečeno, vesmír krátce po svém zrodu prošel obdobím nesmírně rychlé expanze. Díky ní dnes vypadá v libovolném směru zhruba stejně. Inflační teorie učinila předpovědi, které se zprvu zdály podezřelé. Přibližně před deseti lety se však situace začala měnit. Nová pozorování přinesla některé argumenty ve prospěch inflačního modelu. Pořád ještě zbývá vyřešit několik hádanek, ale důkazů ve prospěch inflace nyní přibývá.

Jak je vidět, po celá dvě staletí až do roku 1981 se fyzika neustále vyvíjela, a to velice svižným tempem. Jeden objev za druhým čím dál více prohluboval naše porozumění přírodním zákonitostem, protože teoretická a experimentální fyzika kráčely ruku v ruce. Nové myšlenky byly zpravidla velmi rychle ověřeny a potvrzeny. A naopak, nové experimentální objevy byly vždy po jisté době teoreticky objasněny. Ale pak se na začátku 80. let minulého století doposud slibný a dlouhodobý vývoj zastavil.

Patřím k první generaci fyziků vychovaných poté, co byl ustaven standardní model částicové fyziky. Potkám-li některého ze svých bývalých spolužáků, často se ptáme jeden druhého: „Objevili jsme něco, na co by naše generace fyziků mohla být pyšná?“ Máme-li na mysli zcela nové fundamentální objevy potvrzené nezávislými experimenty a vysvětlené vhodnou teorií, tedy objevy srovnatelné s těmi, které byly učiněny v uplynulých dvou staletích, pak nám nezbyvá než si přiznat: „*Neobjevili!*“ Mark Wise, jeden z předních teoretiků zabývajících se částicovou fyzikou mimo rámec standardního modelu, při nedávném semináři na kanadském Perimeterském ústavu pro teoretickou fyziku ve Waterloo, kde působím, hovořil o problému, jak vysvětlit hmotnosti jednotlivých elementárních částic. „V řešení tohoto problému jsme zatím pozoruhodně neúspěšní,“ prohlásil. „Kdybych měl dnes mluvit o původu hmotnosti fermionů, nejspíš bych nemohl říct nic víc, než jsme o této problematice věděli už v 80. letech.“¹ A Wise vyprávěl o sobě a Johnu Preskillovi, jiném významném teoretikovi, který stejně jako on přišel v roce 1983 na Caltech. „Seděli jsme s Johnem Preskillem v jeho pracovně a povídali si. ... Víte, že fyzikální bohové tenkrát sídlili na Caltechu, a my jsme tam byli s nimi! John řekl, že nechce nikdy zapomenout nejdůležitější témata, kterými by se měl zabývat. A tak dal dohromady vše, co bylo tehdy známo o hmotnostech kvarků a leptonů, napsal to na list žlutého papíru a přilípl ho na svou pracovní nástěnku ... Měl mu připomínat, že na nich má pracovat. Patnáct let nato jsem zase vstoupil do jeho pracovny. ... O něčem jsme spolu mluvili, já se koukl na jeho nástěnku a ten kus papíru tam pořád ještě visel. Sluníčko už ale vyšisovalo všechno, co na něm bylo napsáno. Takže problémy zmizely!“

Ano, v minulých letech jsme učinili dva velké experimentální objevy, totiž že neutrino mají nenulovou klidovou hmotnost a že ve vesmíru nejspíš převládá tajuplná temná energie, která zrychluje jeho expanzi. Vůbec ale netušíme, *proč* mají neutrino (či kterékoli jiné částice) hmotnost anebo jak vysvětlit jejich přesné hodnoty. A žádná dnešní teorie nedokáže vysvětlit ani původ temné energie. Její objev proto nemůže být pokládán za úspěch, neboť ukazuje, že cosi velmi podstatného nám ve fyzikálním obraze světa chybí. Navíc (pomíne-li temnou energii) jsme v poslední době neobjevili žádný nový druh elementárních částic, žádnou novou fyzikální interakci ani žádný nový fundamentální jev, který by nebyl znám a popsán už před více než čtvrt stoletím.

Abyste mě špatně nechápali: celých těch pětadvacet let jsme strašně usilovně pracovali. Dosáhli jsme ohromného pokroku v aplikaci dosavadních teorií

PŘEDMLUVA

v mnoha různých oborech, od speciálních vlastností materiálů přes molekulární fyziku biologických systémů až po dynamiku velkých hvězdných uskupení. Pokud ale hovoříme o našem poznání fundamentálních zákonů přírody, ve skutečnosti jsme nikam dál nepokročili. Prozkoumali jsme spoustu krásných nápadů, realizovali pozoruhodné experimenty na urychlovačích a provedli překvapivá kosmologická pozorování. Většinou však posloužily jen k tomu, aby potvrdily dosud známé a zavedené teorie. Učinili jsme sice pár krůčků vpřed, ale žádný z nich neměl takovou důležitost a nebyl tak nesporný jako ty, které byly provedeny v uplynulých dvou stech letech. Přihodí-li se něco takového ve sportu anebo v podnikání, říká se tomu neúspěch.

Proč má fyzika najednou problémy? A co s tím můžeme dělat? To jsou základní otázky mé knihy.

Jsem ve své podstatě optimista. Dlouho jsem se bránil otevřeně si přiznat, že by nedávné období vývoje fyziky – období mé vlastní profesionální kariéry – mohlo být tak neobyčejně neplodné. Pro mě osobně i mnohé kolegy, kteří jsme do vědy vstupovali s nadějí, že významně přispějeme k jejímu tehdy rychlému vývoji, je to šokující a nemilé poznání. Oproti předchozím generacím fyziků se nám zřejmě nepodařilo dosáhnout ničeho, o čem bychom mohli s jistotou tvrdit, že nás přežije. Toto smutné konstatování dovedlo některé do osobní krize. Co je však důležitější, do krize se dostala i sama fyzika.

Hlavním úkolem teoretické částicové fyziky v uplynulých třiceti letech bylo vysvětlit standardní model do větší hloubky. Na tomto aktivním poli výzkumu bylo předloženo mnoho nových teorií a některé z nich byly velmi podrobně analyzovány. Žádná z nich však nebyla experimentálně potvrzena. Právě v tom spočívá jádro problému: má-li jakákoli přírodovědná teorie být hodnověrná, musí učinit novou předpověď, se kterou žádná dosavadní teorie nepřišla. Musí předložit konkrétní návrh realizovatelného experimentu, který tuto předpověď dokáže ověřit, anebo vyvrátit. Takový experiment má jasný smysl, jedině pokud dává jednoznačný výsledek, který s teoretickou předpovědí buď bude souhlasit, anebo ne. Existuje-li experiment, který jistotou teorii může vyvrátit, říkáme o ní, že je *vyvratitelná*. Taková teorie se otevřeně vystavuje možnosti být popřena. Teorie musí být ale také *ověřitelná*. To znamená, že musí být v principu možné ověřit platnost unikátních předpovědí, které činí pouze ona. Teprve když je teorie prověřena pozorováními a když její předpovědi souhlasí s realitou, je povýšena do stavu platných a správných teorií.

Dnešní krize částicové fyziky spočívá v tom, že teorie zobecňující standardní model, jež byly zformulovány v uplynulých třiceti letech, spadají do dvou hlavních kategorií. Některé teorie byly vyvratitelné a byly také vyvráceny. Ostatní teorie nebyly dosud prověřeny. Buď z toho důvodu, že neposkytly žádné jednoznačné předpovědi, anebo proto, že jejich předpovědi není možné ověřit dnešními technologiemi.

V posledních třech desetiletích teoretikové přišli s více než tuctem nových úžasných nápadů. Každý vychází z jisté velice pěkné hypotézy, ani jeden však neuspěl. V oboru částicové fyziky sem patří například technikolorová teorie, preonové modely anebo myšlenka supersymetrie. V oblasti studia prostoročasu jde především o teorii twistorů, kauzálních množin, supergravitaci, dynamickou triangulaci a smyčkovou kvantovou gravitaci. Některé z těchto hypotéz jsou tak exotické jako samy jejich názvy.

Jedna teorie však na sebe přitáhla daleko více pozornosti než všechny ostatní dohromady: teorie strun. Není těžké pochopit důvod její obrovské popularity. Prohlašuje o sobě, že dokáže správně popsat svět ve velkém i malém měřítku, tedy současně gravitaci působící na velké vzdálenosti i elementární částice. Dociluje toho zásluhou opravdu smělé hypotézy: tvrdí, že svět skrývá dosud nespátné dodatečné dimenze a také mnohem více druhů částic, než se nám dosud podařilo zaznamenat. Současně prohlašuje, že všechny elementární částice se dají chápat jako specifické vibrace jedné jediné entity zvané struna, jejíž vývoj se řídí jednoduchými a krásnými pravidly. Činí si nárok být onou unikátní teorií sjednocující *všechny* částice a *všechny* síly přírody. Jako taková slibuje poskytnout jasné a nesporné předpovědi každého experimentu, který kdy byl vykonán, i toho, který bude proveden kdykoli v budoucnosti. V posledních dvaceti letech bylo rozpracování strunové teorie věnováno ohromné úsilí. Dodnes ale nevíme, zdali je správná. Navzdory obrovskému nasazení tato teorie zatím nedokázala předložit žádnou novou předpověď, kterou bychom mohli otestovat dnešními - anebo alespoň dnes myslitelnými - experimenty. A těch pár jasných předpovědí, které předkládá, byly už předtím učiněny jinými dobře zavedenými teoriemi.

Jeden z důvodů, proč strunová teorie dosud nebyla schopna poskytnout žádnou novou předpověď, spočívá v tom, že ji můžeme zformulovat prakticky v nekonečném množství různých verzí. I když se omezíme jen na takové teorie, které souhlasí s některými nejzákladnějšími skutečnostmi pozorovanými v našem skutečném vesmíru, například s jeho velkým rozměrem a přítomností temné energie, pořád nám zbude 10^{500} různých strunových teorií. Jde

PŘEDMLUVA

o číslo, ve kterém po číslici 1 následuje 500 nul. To je mnohem víc než najdeme atomů v našem vesmíru. Při tak nepředstavitelně velkém množství různých teorií máme téměř nulovou šanci, že by se nám mohlo podařit najít experiment, jehož výsledek by jednoznačně předpovídala pouze jedna jediná teorie. Ať už tedy experimenty dopadnou jakkoli, strunovou teorii nebude možné prakticky vyvrátit. Platí to ale i naopak: žádný experiment nejspíš nikdy nebude moci jednoznačně prokázat, že konkrétní strunová teorie je správná.

Současně toho o většině strunových teorií víme jen pramálo. A z těch nemnoha, které jsme podrobněji probádali, ani jediná není v souladu s dnes známými experimentálními fakty.

Ocitli jsme se tedy v paradoxní situaci. Strunové teorie, které dokážeme popsat a analyzovat, jsou evidentně chybné. A těch teorií, které popsat a prostudovat neumíme, je nejspíš tak ohromné množství, že žádný myslitelný experiment mezi nimi nedokáže rozhodnout.

To však není jediný problém. Teorie strun vychází z několika klíčových hypotéz, které se sice zdají oprávněné, matematicky ale nebyly prokázány. Přes obrovské nasazení velikého počtu vědců dokonce stále ještě nevíme, zdali vůbec existuje nějaká úplná a vnitřně bezrozporná teorie, jež by byla hodna názvu „teorie strun“. Ve skutečnosti dnes nemáme žádnou strunovou teorii, jen velké množství aproximativních výpočtů a k tomu soubor hypotéz, které je dávají do vzájemných souvislostí. Jsou-li tyto hypotézy správné, pak ukazují na možnou existenci hlubší teorie. Ta však ještě nebyla nalezena a konkrétně popsána. Naznáme její základní principy. Nevíme, v jakém matematickém jazyce bychom ji měli vyjádřit. Možná k tomu budeme potřebovat zavést úplně nový matematický formalismus. Když neznáme ani výchozí principy ani je-jí matematický zápis, nemůžeme spolehlivě říci, co vlastně strunová teorie tvrdí.

Významný strunový teoretik Brian Greene ve své nejnovější knize *Struktura kosmu* nastalou situaci líčí takto: „I dnes, více než tři desítky let po zrodu strunové teorie, je většina aktivních strunařů přesvědčena, že zatím nedokážeme dát úplnou odpověď na elementární otázku, co vlastně strunová teorie je. ... Většina strunových teoretiků cítí, že současná formulace strunové teorie stále postrádá jistý základní princip, jaký najdeme v srdci každé významné a úspěšné fyzikální teorie.“²

Gerard 't Hooft, který získal Nobelovu cenu za svůj přínos k částicové fyzice, charakterizuje současný stav teorie strun těmito slovy: „Ve skutečnosti bych strunovou teorii prozatím nenazýval ‚teorií‘, ale spíše ‚modelem‘. A možná ani

to ne, prostě jen jakýmsi tušením. Teorie by koneckonců měla poskytovat jasný návod, jak s ní zacházet a jak v ní rozpoznat objekty z reálného světa, které hodláme popsat, což jsou v daném případě elementární částice. Také bychom měli být schopni, alespoň v principu, zformulovat pravidla pro výpočet vlastností těchto částic a získat o nich nové předpovědi. Představte si, že vám nabídnu křeslo, ale zároveň vám budu vysvětlovat, že mu ještě chybí nohy a že sedadlo, opěradlo i područky budou nejspíš dodány v nejbližším možném termínu. Domnívali byste se, že cosi takového mohu právem nazývat křeslem?“³

David Gross, jiný nositel Nobelovy ceny za významný příspěvek ke standardnímu modelu částic, nyní naopak patří mezi nejagresivnější a nejobávanější strunové propagátory. Ale i on uzavřel nedávnou konferenci, jejímž cílem bylo oslavit úspěchy teorie strun, slovy: „Nevíme, o čem vlastně hovoříme. ... Stav dnešní fyziky připomíná období, kdy se před námi poprvé zjevilo tajemství radioaktivity. ... Tehdejší fyzikům cosi zásadního unikalo. A nám nejspíš uniká cosi stejně podstatného, jako jim tenkrát.“⁴

Ale i přesto, že teorie strun zůstává zatím tak neúplná, že sama její existence je jen neprokázanou hypotézou, řada jejích stoupenců je opravdu hluboce přesvědčena, že právě ona je tou jedinou správnou cestou vpřed ve vývoji teoretické fyziky. Nedávno požádali prominentního strunového teoretika Josepha Polchinského z Kavliho ústavu pro teoretickou fyziku na Kalifornské univerzitě v Santa Barbaře, aby proslovil přednášku na téma „Alternativy k teorii strun“. Jeho bezprostřední reakce byla, že „to je směšný název, protože žádné alternativy neexistují ... Všechny dobré nápady jsou součástí strunové teorie.“⁵ Luboš Motl, český docent na Harvardu, ve svém blogu nedávno uvedl, že „nejpravděpodobnějším důvodem, proč ... se zatím nikomu nepodařilo přesvědčit ostatní lidi o alternativě ke strunové teorii, je skutečnost, že nejspíš žádná alternativa ke strunové teorii neexistuje.“⁶

Co se to tu děje? Pojem *teorie* ve vědě označuje cosi zcela konkrétního. Lisa Randallová, vlivná teoretička v oboru částicové fyziky a Motlova kolegyně z Harvardu, definuje teorii jako „jednoznačný fyzikální rámec vtělený do soustavy základních předpokladů o charakteru světa - a současně velmi efektivní rámec zahrnující širokou třídu jevů. Teorie poskytuje specifický soubor rovnic a předpovědí, jejichž oprávněnost je postavena na dosažené shodě s experimentálními skutečnostmi.“⁷

Teorie strun takové definici neodpovídá. Rozhodně ne dnes. Jak je tedy možné, že někteří odborníci si jsou tak jisti, že ke strunové teorii neexistuje

žádná alternativa, když sami přesně nevědí, co strunová teorie vlastně je? A k čemu přesně, podle nich, neexistuje žádná alternativa? Právě takové otázky mě dovedly k rozhodnutí napsat tuto knihu.

Teoretická fyzika je těžká. Velice těžká. Nejde o to, že ke svému popisu vyžaduje spoustu matematiky, nýbrž že její vývoj je hodně riskantní. Historie moderní fyziky nám stále znovu ukazuje, že úspěšnou vědu není možné provozovat bez značné míry rizika. Jestliže velké množství lidí mnoho let řeší jistý problém a pořád se jim nedaří najít správnou odpověď, může to znamenat, že dosáhnout správné odpovědi je opravdu nesmírně obtížné. Anebo že zkoumaný problém nemá vůbec žádné řešení.

Teorie strun, soudě podle toho co o ní teď víme, tvrdí, že svět je ve své podstatě velice odlišný od toho, který známe z běžné zkušenosti. Má-li strunová teorie pravdu, pak svět skrývá daleko více dimenzí a obsahuje mnohem více druhů částic a sil, než se nám dosud podařilo zaznamenat. Hodně strunařů mluví i píše takovým způsobem, jako by existence těchto dodatečných rozměrů a druhů částic byla prokázaným faktem, o němž by žádný slušný vědec neměl pochybovat. Nejednou jsem od strunových teoretiků v rozhovoru zaslechl řečnickou otázku typu: „Vy si snad myslíte, že by dodatečné dimenze *nemusely* existovat?“ Ve skutečnosti dosud žádná teorie ani žádný experiment neposkytly jediný důkaz ve prospěch existence vyšších dimenzí. Jedním z cílů této knihy je vyjasnit některá tvrzení teorie strun. Obecné ideje, z nichž vychází, jsou nádherné a dobře opodstatněné. Abychom však porozuměli, proč se strunařům dosud nepodařilo dosáhnout většího pokroku, musíme zcela jasně a bez předsudků popsat, co přesně teoretická i experimentální fakta prokazují a co zatím ne.

Strunová teorie představuje velice riskantní podnik, který dosud nebyl popřehán žádným experimentem, zato je ale štědře podporován akademickou a vědeckou komunitou, a proto může její příběh skončit jen dvěma způsoby. Jestliže se teorii strun podaří prokázat, stanou se ze strunařů největší hrdinové v dějinách vědy. Na základě pouhé hrstky elegantních předpokladů, z nichž žádný není zcela jednoznačný, by dokázali, že realita je daleko bohatší, než se nám doposud jevilo. Kolumbus objevil úplně nový kontinent, který byl španělskému králi a královně neznámý (stejně jako byli obyvatelům Nového světa v oné době naopak neznámí španělští panovníci). Galileo objevil nové hvězdy a měsíce a později astronomové odhalili nové neznámé planety. To vše by se stalo podružným ve srovnání s objevem zcela nových dimenzí vesmíru. Mnoho strunařů se navíc domnívá, že tyto myriády jiných světů popsané ne-

představitelně velkým počtem strunových teorií opravdu reálně existují, i když je nemůžeme přímo spatřit. Mají-li pravdu, pozorujeme ze skutečné reality mnohem méně, než kolik viděli naši jeskynní předkové z vlastní Země. V dějinách lidstva se ještě nikdo neodvážil tak ohromným způsobem rozšířit hranice poznání světa.

Jestliže se však strunoví teoretikové mýlí, pak se mýlí zásadně. Pokud dodatečné dimenze ani nové symetrie ve skutečnosti neexistují, zařadí se strunaři mezi největší zkrachovalce v dějinách vědy. Budou se podobat někomu, kdo pokračuje v rozvíjení ptolemaiovských epicyklů i poté, co Kepler a Galileo již prorazili cestu vpřed. Stanou se exemplárním příkladem toho, jak se věda dělat nemá. Toho, jak zavádějící může být, když dovolíme, aby se teoretické hypotézy vydaly daleko za hranice racionální argumentace do říše fantazie.

Jedním z důsledků nedávného vzestupu teorie strun je, že společenství lidí zabývajících se fundamentální fyzikou je nyní rozpolcené. Mnoho vědců pokračuje v práci na strunové teorii a každoročně se k nim přidává dalších asi padesát nových doktorandů. Současně však existuje řada fyziků, kteří tento vývoj sledují s notnou dávkou skepse. Teorie strun jim buď nikdy nepřišla přesvědčivá, anebo se už vzdali naděje, že se ji v dohledné době podaří konzistentně zformulovat či že přijde s jasnou a realizovatelnou experimentální předpovědí. Zmíněné rozštěpení komunity teoretických fyziků není zrovna přátelské. Na obou stranách padají uštěpačné poznámky na adresu profesionálních schopností a etických zásad panujících v opačném táboře. Udržovat přátelství přetrvávající demarkační linii stojí často spoustu práce.

Podle školních pouček neměla takováto situace ve vědě nikdy nastat. Učili nás, že moderní věda se opírá o metodu, jež zaručuje neustálý pokrok v poznávání přírody. Neshody a rozpory jsou samozřejmě nevyhnutelné, ba žádoucí. Panovalo však přesvědčení, že se vždycky podaří najít způsob, jak je vyřešit experimentem nebo matematickou argumentací. V případě strunové teorie však zmíněný mechanismus nejspíše selhal. Mnozí strunařští stoupenci i kritikové jsou tak hluboce přesvědčeni o své pravdě, že je takřka nemožné vést s nimi na toto téma upřímnou a přátelskou debatu. A to i mezi blízkými přáteli. „Nevidíte snad krásu celé teorie? Jak by teorie mohla dosáhnout tolika úspěchů, kdyby nebyla správná?“ prohlašují mnozí strunaři. To vyvolává stejně emotivní reakce na druhé straně. Skeptikové reagují otázkami typu: „Cožpak jste úplně ztratili rozum? Jak můžete věřit v *jakoukoli* teorii, když neexistuje jediný experiment, který by ji otestoval? To jste zapoměli, jak by věda měla

fungovat? Jak si můžete být jisti svou pravdou, když ani pořádně nevíte, jak vaše teorie vlastně vypadá?“

Tuto knihu jsem napsal s nadějí, že napomůže upřímné a otevřené diskusi jak mezi odborníky, tak v širším okruhu čtenářů. I přes to, co se v posledních letech v teoretické fyzice odehrává, dál věřím v sílu a schopnosti vědy. Věřím, že se vědecká komunita dokáže povznést nad dnešní animozity a podaří se jí nastalý problém vyřešit racionálními argumenty podloženými zjevnými fakty, které máme před očima. Jsem si dobře vědom, že už samo otevření tohoto tématu vyvolá hněvivou reakci některých mých přátel a kolegů, kteří se strunovou teorií zabývají. Nezbyvá mi než znovu zopakovat, že jsem knihu nenapsal proto, abych zaútočil na teorii strun nebo její stoupence. Mám pro ně pochopení a chovám k nim obdiv. Především jsem ale hluboce přesvědčen o tvořivé síle fyzikální komunity.

Není to tedy kniha o „nás“ a o „nich“. Během své profesní dráhy jsem se zabýval teorií strun i ostatními přístupy ke kvantování gravitace (jež se snaží navzájem usmířit Einsteinovu obecnou teorii relativity s kvantovou teorií). Přestože jsem většinu svého úsilí věnoval alternativním přístupům, i já jsem v určitém období horlivě prosazoval strunovou teorii, a proto jsem se pustil do zkoumání některých jejich základních problémů. Nepodařilo se mi je vyřešit, ale napsal jsem na dané téma osmnáct vědeckých článků. Omyly, které budu v této knize popisovat, jsou tedy i mými vlastními omyly. Budu mluvit o hypotézách, o jejichž pravdivosti skoro nikdo nepochybuje, ačkoli dosud nebyly dokázány. I já jsem však patřil mezi věřící a na základě své víry v ně jsem si volil výzkumná témata, jimiž jsem se zabýval. Budu hovořit o tlaku vyvíjeném na mladé vědecké adepty, aby se v zájmu své kariéry zabývali pouze otázkami, které byly schváleny a posvěceny hlavním výzkumným proudem. I já jsem na sobě tyto tlaky pocítil a byly doby, kdy jsem jim v zájmu svého kariérního postupu podléhal. Také jsem prožil osobní konflikt mezi potřebou pronášet nezávislé soudy o vědeckých otázkách a současně si nepopudit vlivné osoby zastávající všeobecně přijímané názory. Tuto knihu nepíšu s úmyslem kritizovat konkrétní vědce, kteří se kdysi rozhodli jinak než já, ale abych prozkoumal důvody, proč vůbec museli tato obtížná rozhodnutí učinit.

Popravdě řečeno mi dost dlouho trvalo, než jsem se do psaní této knihy pustil. Osobně nemám rád konflikty a konfrontace. V našem vědním oboru je koneckonců každý zásadní výzkum velmi riskantní. Skutečně záleží vlastně jenom na tom, co budou studenti našich studentů někdy za padesát let pova-

žovat za tak významné, aby to sdělovali svým vlastním studentům. Dlouho jsem doufal, že se mezi prominentními strunaři najde někdo, kdo napíše objektivní a kritické zhodnocení, čeho se strunové teorii opravdu podařilo dosáhnout a čeho ne. Bohužel marně.

Jedním z důvodů, proč své názory předkládám veřejnosti, byla rozsáhlá debata o podstatě a fungování vědy, která se před několika lety odehrála mezi přírodovědci a „sociálními konstruktivisty“ či „postmodernisty“. Šlo o skupinu humanitně zaměřených profesorů, kteří tvrdili, že vědecká komunita není o nic racionálnější ani objektivnější než kterékoli jiné lidské společenství. S něčím takovým většina vědců rozhodně nesouhlasí. Učíme naše studenty, že důvěra v kteroukoli vědeckou teorii musí být vždy podložena objektivním zhodnocením faktů. Naši oponenti však argumentovali, že náš popis fungování vědy je z velké části pouhá propaganda, jejímž cílem je zastrašit lidi a získat nad nimi moc. Že veškeré vědecké snažení je ovládáno stejnými politickými a sociálními silami, jaké najdeme kdekoli jinde ve společnosti.

My vědci jsme ve zmíněné debatě tvrdili, že naše komunita je výjimečná, protože naše chování se řídí velice přísnými pravidly, která mají velmi vysoký etický standard a nedovolují nám slepě přijmout teorii, dokud není prokázána zveřejněnými matematickými výpočty či experimentálním měřením, o jejichž přesvědčivosti nemůže žádný kompetentní odborník pochybovat. Jak se pokusím podrobněji popsat, v případě strunové teorie tato elementární zásada tak docela neplatí. Teorie strun nebyla zatím podpořena žádným experimentem, a dokonce ještě nebyla ani matematicky přesně zformulována. Přesto jsou o ní někteří její stoupenci skálopevně přesvědčeni. Jejich sebejistota však není racionální, ale má spíše emocionální povahu.

Agresivní propagace teorie strun způsobila, že se z ní stal hlavní nástroj zkoumání nejzávažnějších fyzikálních problémů. Téměř každý částicový teoretik zaměstnaný v prestižním princetonském Ústavu pro pokročilá studia, včetně jeho ředitele, je dnes strunař. Výjimku tvoří osobnosti, jež byly přijaty před mnoha a mnoha lety. Totéž platí i o Kavliho ústavu pro teoretickou fyziku. Osm z devíti stipendií udělených MacArthurovou nadací částicovým fyzikům od vzniku příslušného programu v roce 1981 rovněž připadlo strunovým teoretikům. A dvacet z dvaadvaceti profesorů částicové fyziky, kteří získali doktorát po roce 1981 a mají trvalé místo na některé z prestižních fyzikálních kateder ve Spojených státech (Berkeley, Caltech, Harvard, MIT, Princeton a Stanford), se věnovalo teorii strun a souvisejícím výzkumným oborům.

Dnes má strunová teorie v akademické komunitě tak výsadní postavení, že mladý teoretický fyzik se v podstatě dopustí kariérní sebevraždy, jestliže se k ní nepřipojí. Dokonce i v oborech jako kosmologie či fenomenologie částic, kde teorie strun neposkytuje vůbec žádné předpovědi, se stalo běžné uvádět přednášky a odborné články větami vyjadřujícími naději, že příslušná práce bude někdy v budoucnu odvozena ze strunové teorie.

Existuje řada dobrých důvodů, proč bychom strunovou teorií měli brát vážně. Je to pozoruhodná hypotéza o podstatě světa. To ale samo o sobě ještě nezaručuje její správnost. Do teorie strun jsem investoval několik let svého života, neboť jsem o ní byl natolik přesvědčen, že jsem zatoužil přispět k řešení jejích klíčových problémů. Také jsem si myslel, že nejsem oprávněn vytvořit si o ní vlastní názor, dokud se s ní dopodrobna neseznámím. Současně jsem však pracoval na ostatních přístupech slibujících najít odpověď na fundamentální otázky. Dopadlo to tak, že na mě lidé z obou táborů hledí s jistou nedůvěrou. Někteří strunoví teoretikové mě pokládají za „antistrunaře“. To je na prostý omyl. Nikdy bych nevěnoval tolik času a úsilí výzkumné práci na teorii strun ani sepisování tří knih, jež byly z velké části motivovány právě problémy strunové teorie, kdyby mě nefascinovala a kdybych si myslel, že by nemohla obsahovat kus pravdy o světě kolem nás. Ani nejsem stoupencem *něčeho*, vyjma vědy, a zrovna tak nejsem *proti něčemu*, vyjma toho, co vědu ohrožuje.

V sázce je ale mnohem víc než moje přátelské vztahy ke kolegům. Fyzikové pro svoji práci potřebují ohromné množství finančních i jiných prostředků. Ty nám z velké části poskytují naši spoluobčané prostřednictvím daní a grantů. Na oplátku za to žádají jen právo koukat nám přes rameno, když se usilovně snažíme posunout vpřed hranice našich znalostí o světě. My fyzikové, kteří s veřejností komunikujeme pomocí novinových článků, přednášek, televizních rozhovorů či internetu, máme povinnost referovat o skutečnosti správně a objektivně. Musíme být velmi opatrní a vedle úspěchů prezentovat i naše neúspěchy. Poctivě hovořit o chybách a omylech může situaci spíše pomoci, než aby ji zhoršilo. Lidé, kteří nás podporují, ostatně žijí v reálném světě. Moc dobře vědí, že dosažení pokroku v kterémkoli lidském oboru je riskantní podnik a že občas přicházejí i neúspěchy.

V posledních letech byla napsána řada populárně-naučných knih a článků, které líčí množství pozoruhodných nových myšlenek, jimiž se teoretičtí fyzikové dnes zabývají. Některé z nich nevynikaly přílišnou objektivitou při popisu toho, které z nových idejí byly podpořeny experimentálním anebo alespoň matematickým důkazem. Hawking získal věhlas i profit z touhy veřejnosti

dozvědět se, jak funguje svět. Já se cítím zodpovědný za to, aby skutečnosti líčené v této knize co nejvíce odpovídaly faktům a skutečnému stavu věcí. Doufám, že se mi podaří objektivně vyložit různé problémy, s nimiž se prozatím neúspěšně potýkáme, jasně vysvětlit, co dosavadní experimenty potvrzují a co ne, a odlišit fakta od pouhých spekulací či intelektuálních módních trendů.

Hlavní zodpovědností nás fyziků totiž je budoucnost našeho vlastního oboru. Jak zdůrazním později, vědecké bádání stojí na přísných etických principech. A etika není možná bez dobré víry svých stoupenců. Vyžaduje také, aby každý vědec individuálně posuzoval vše, čemu uvěří. Každá neprokázaná hypotéza musí čelit velké dávce skepticismu a kritiky. K tomu je však nutné, aby vědecká komunita podporovala a vítala rozmanitost přístupů k řešení otevřených problémů. Široký výzkum probíhá proto, že ani ti nejchytřejší z nás nikdy neznají všechny správné odpovědi. Ty se často najdou úplně jinde, než kudy se ubírá většina badatelů sledujících hlavní proud. Pro zdravý vývoj vědy je užitečné podporovat vědce, kteří zastávají jiné názory, i pokud hlavní proud míří správným směrem.

Věda ke svému fungování potřebuje zdravou rovnováhu mezi konformitou a různorodostí. Protože lze snadno podlehnout sebeklamu a protože konečné odpovědi neznáme, ani nejchytřejší a nejschopnější odborníci se neshodnou, který výzkumný směr nakonec přinese slibované plody. Má-li se tedy věda posunout kupředu, musí vědecké společenství podporovat odlišné přístupy k řešení problémů.

Existuje řada důkazů, že zmíněné elementární principy vědeckého bádání dnes již nejsou ve fundamentální fyzice striktně dodržovány. Nejspíš jen málo lidí by oponovalo názoru na užitečnost podpory odlišných pohledů na danou tematiku, ve skutečnosti je však takováto rozmanitost praktikována čím dál méně. Někteří mladí strunaři mi prozradili, že cítí nutnost pracovat na teorii strun bez ohledu na své osobní názory, protože je všeobecně pokládána za vstupenku k získání univerzitní profesury. A mají plnou pravdu: teoretici fyzikové zabývající se alternativami ke strunové teorii mají ve Spojených státech takřka nulovou šanci na akademickou kariéru. V uplynulých patnácti letech byly na amerických výzkumných univerzitách uděleny všehovšudy tři docentury v oboru nestrunového kvantování gravitace, přičemž všechny směřovaly do jedné jediné výzkumné skupiny. Ačkoli po vědecké stránce se teorie strun stále potýká s obtížemi, na akademické půdě už převládla.

Taková situace vědu poškozují, neboť se tím pozastavil výzkum alternativních přístupů, z nichž mnohé jsou velice slibné. Přestože jsou daleko méně fi-

nancovány, některým se už podařilo teorii strun předhonit a dospět do bodu, kdy jsou schopny předložit jednoznačné předpovědi proveditelných experimentů, jež se nyní připravují.

Jak je možné, že teorie strun, na jejímž rozvíjení pracuje více než tisícovka nejchytřejších a nejvzdělanějších odborníků, nyní čelí hrozbě totálního neúspěchu? Dlouho to pro mě byla záhada, ale myslím, že už znám odpověď. Podle mě neselhává ani tak konkrétní teorie, nýbrž spíše samotný styl, jakým je věda provozována. Ten byl vhodný pro řešení specifických fyzikálních problémů v půlce dvacátého století, je ale zcela nepatřičný pro řešení fundamentálních otázek, před nimiž stojíme dnes. Nalezení standardního modelu částicové fyziky bylo obrovským triumfem specifického stylu bádání, který od 40. let minulého století získal navrch. Jde o pragmatický a ryze technický styl upřednostňující virtuózní zvládnání složitých výpočtů před filozofujícími úvahami o fundamentálních koncepčních otázkách. Je tedy diametrálně odlišný od stylu vědecké práce, který byl vlastní Albertu Einsteinovi, Nielsi Bohrovi, Werneru Heisenbergovi, Erwinu Schrödingerovi a dalším velkým revolucionářům z počátku minulého století. Jejich teorie se zrodily z hlubokých úvah o nezákladnějších otázkách prostoru, času a hmoty. Své vědecké snažení vnímali jako součást širší filozofické tradice, do níž se zařadili.

Naproti tomu v přístupu k fyzice elementárních částic, který zavedli a rozvinuli Richard Feynman, Freeman Dyson a další, není pro hluboké úvahy o fundamentálních problémech místo. To je osvobodilo z nekonečných debat o smyslu kvantové fyziky, do nichž zabředli protagonisté předchozí generace teoretických fyziků, a umožnilo jim zahájit třicetiletou éru neustálého a dramatického pokroku v poznávání struktury mikrosvěta. Přesně tak by tomu mělo být: k řešení různých druhů problémů je třeba odlišných typů výzkumu. Odvodit překvapivé důsledky a aplikace dané teorie vyžaduje úplně jiný styl práce a uvažování než samo její zformulování – a také jiné myslitele.

Jak ale podrobněji vysvětlím v následujícím textu, poučení z vývoje posledních třiceti let zní, že problémy, před nimiž dnešní teoretická fyzika stojí, není možné vyřešit zmíněným pragmatickým přístupem k vědeckému bádání. Aby se vývoj naší vědy nezastavil, budeme se muset znovu pustit do řešení zásadních otázek o podstatě prostoročasu, kvantové teorie a kosmologie. Opět potřebujeme ten typ osobností, které dokážou objevit úplně nová řešení dlouho přetrvávajících fundamentálních problémů. Jak uvidíme, směry, v nichž dnes dochází k pokroku a jež opět uvádějí teorii do kontaktu s experimenty, rozvíjejí lidé, kteří dávají přednost objevování zcela nových nápadů před pouhým

sledováním populárních trendů. A do značné míry provozují vědu hloubavým stylem pionýrů teoretické fyziky z počátku dvacátého století.

Rád bych zdůraznil, že moje znepokojení se netýká strunových teoretiků jako jednotlivců. Někteří z nich patří mezi nejnadanější a nejlepší fyziky, které znám. A byl bych jeden z prvních, kdo by hájili jejich právo věnovat se výzkumu, který sami pokládají za nejslibnější. Velice mě ale znepokojuje trend, kdy je štedře vyživován pouze jediný výzkumný směr, zatímco jiné slibné přístupy trpí hladu.

Ukáže-li se (jak se pokusím vysvětlit), že správné řešení problémů nyní spočívá v radikálním přehodnocení našich představ o podstatě prostoru, času a kvantování světa, pak by tento soudobý trend měl vskutku tragické důsledky.