

Einstein by se divil

Zamyšlení nad knihou Briana Greenea *Elegantní vesmír*

Jiří Chýla

Centrum částicové fyziky, Fyzikální ústav AV ČR

Obsah

1	Prolog	2
2	Jak to bylo doopravdy	3
2.1	Speciální teorie relativity	3
2.2	Obecná teorie relativity	5
2.3	Objev kvanta energie	6
2.4	Hypotéza kvarků	9
2.5	Hypotéza supersymetrie	10
3	Věcné chyby a nedostatky	11
3.1	Rutherfordův pokus	11
3.2	Základy kvantové mechaniky	12
3.3	Čím se liší kvantová teorie pole od kvantové mechaniky	14
3.4	Co znamená, říkáme-li, že kvarky existují	14
3.5	Sjednocování interakcí	15
3.6	Konečná nekonečna	18
3.7	Kalibrační invariance	19
3.8	Spin	20
3.9	Zpomalování času	21
4	Chcete vidět „novou fyziku“? Naučte se pořádně standardní model!	22
5	Matematická krása versus fyzikální relevance	23
6	Čekání na Godota	24
6.1	Dokažte, že to dokážete	24
6.2	Příroda se stydět nemusí	25
6.3	K čemu (ne)jsou superstruny potřeba	26
7	Kdo chvíli stál, už stojí opodál	27
8	Báječný překlad pod psa	29
9	Nadšení a fanatismus	33
10	Vzkaz učitelům a studentům	34
11	Slovo na závěr	35

1 Prolog

Einstein by se divil, kdyby si přečetl knihu Briana Greenea *Elegantní vesmír*, která se v uplynulém roce stala bestsellerem na světovém trhu populárně vědecké literatury a která zaznamenala pozoruhodný čtenářský ohlas a komerční úspěch také u nás. Její překladatel Luboš Motl o ní v úvodním textu na Neviditelném psu říká

Elegantní vesmír je primárně knihou o tzv. superstrunové teorii (včetně jejích nejnovějších poznatků) a jejích příslibech stát se finální a definitivní fyzikální teorií všech částic a sil, jimiž na sebe působí - tedy teorii všeho (TOE), o kterou Einstein neúspěšně usiloval přes 30 let. Zároveň však čtenáře zábavně uvádí do Einsteinovy teorie relativity (podle hlasů mnohých nejpovedenějším způsobem, jaký zatím spatřil světlo světa) i mnoha dalších pilířů moderní fyziky.

Nedivil by se ovšem jen Einstein, ale i další osoby, které sehrály v druhé polovině 19. a ve 20. století klíčové role při budování základů dnešního fyzikálního obrazu světa: Maxwell, Lorentz, Wien, Rayleigh, a ze všech nejvíce asi Planck. Je, ale i řadu dalších experimentátorů a teoretiků, kteří se do knihy Briana Greenea nedostali, by asi překvapilo, jak zkreslený a v mnohém ohledu jednostranný obraz vývoje fyziky v uplynulém století autor čtenářům předkládá, a jak málo, či spíše vůbec ne, jim dává nahlédnout do spletitých, ale nesmírně poučných okolností klíčových okamžiků formulace teorie relativity a kvantové teorie. Druhá věta úvodního citátu je pak silným přeháněním.

Je smutné, ale možná ne až zas tak překvapivé, že takto deformovaný pohled na historii fyziky našel mezi čtenáři značný a prakticky jednohlasně kladný ohlas a to ve světě i u nás. Kdo z nás má v dnešní uspěchané době čas ověřovat zprávy sdělovacích prostředků, přečíst si pár řádků Ústavy, či konfrontovat činy politiků s jejich dřívějšími sliby? Tok vyprávění má na první pohled logiku, a tak naprostá většina čtenářů nemá šanci poznat, že autor si historii vývoje moderní fyziky upravuje ke svému účelu. A tím účelem je přesvědčit čtenáře, že teorie superstrun je přirozeným vyvrcholením vývoje moderní fyziky a práce na ní to jediné, co má dnes ve fyzice částic smysl dělat. Čtenáři je tak předkládán obraz, že hnacím motorem vývoje moderní fyziky byly odvážné teoretické myšlenky, jejichž cílem bylo odstranění nedostatků či paradoxů teorií starších.

Tak tomu ovšem nebylo, není a pravděpodobně nikdy ani nebude. Klíčové okamžiky vývoje fyziky ve 20. století jsou spojeny s neočekávanými experimentálními pozorováními, která se fyzikové snažili vysvětlit. V minulosti měly fyzikální teorie svůj smysl především jako prostředek pro pochopení experimentálně odpozorovaných fyzikálních zákonů a nikoliv jako objekty samy o sobě. Ty patří do matematiky. Místy až sektářsky laděná náruživost stoupců teorie strun jako teorie všeho (TOE), demonstrována knihou *Elegantní vesmír* a kampaně kolem ní, se od tohoto postoje výrazně odklání a čtenářům předkládá tuto teorii jako prakticky hotovou věc. To považuji nejen za nevědecké, ale také za nebezpečné, neboť příroda prostě nemusí teorie strun poslouchat. Co řekne svým čtenářům Brian Greene za 10 let, pokud se na urychlovačích v CERN a FERMILAB nepodaří objevit supersymetrické částice, které hrají v teorii strun nezastupitelnou roli? Nebylo by to poprvé, co by se něco takového stalo, a nejsem sám, kdo prostě neví, zda příroda je supersymetrická či ne. Není si tím jist ani Gerard 't Hooft, laureát Nobelovy ceny za fyziku za rok 1999, jehož úvahu na téma teorie superstrun a budoucnost *Can there be physics without experiments? Challenges and pitfalls* [1] čtenářům vřele doporučuji. Pěstovat v mladé generaci dojem, že teorie superstrun prostě musí být správná, je zcestné a

kontraproduktivní. Autor sám připouští, že teorie strun je tak složitá, že na budování jejich solidních základů bude třeba pracovat i století. Vážně pochybuji o tom, že několik generací mladých lidí bude chtít strávit celý život prací na vývoji teorie, již prakticky nebude možné experimentálně ověřit.

Není to ovšem jen způsob, jakým Greene ve své knize líčí vývoj fyziky v uplynulém století, k čemu mám kritické připomínky. I současný stav našeho chápání mikrosvěta, shrnutý v tzv. *standardním modelu*, je v jeho knize podán chaoticky a nepříliš zdařile. Domnívám se, že řadu jeho důležitých pojmů a myšlenek lze laickému čtenáři přiblížit jednodušeji a lépe, než tak činí Greene. Na několika místech jsou v knize i vysloveně věcné chyby.

Uvědomuji si, že v záplavě nadšených recenzí vyvolá moje výrazně kritické hodnocení knihy *Elegantní vesmír* pravděpodobně nesouhlas či dokonce nevoli. V následujících odstavcích proto svá tvrzení podrobně rozvedu a odůvodním a budu jen doufat, že si čtenář najde čas, aby se nad nimi zamyslel.

V textu, podobně jako Greene ve své knize, používám systém jednotek běžný ve fyzice elementárních částic, v němž jsou numerické hodnoty rychlosti světla c a Planckovy konstanty \hbar rovny jedné, tj. platí $\hbar = c = 1$. V tomto systému jsou pak hmotnosti, hybnosti i energie navíc udávány ve stejných jednotkách GeV (miliarda elektronvoltů), i když bychom měli správně psát GeV/c^2 (u hmotností) a GeV/c (u hybností). Délky je v tomto systému zvykem udávat buď ve *femtometrech* (fm , nazývaných též *fermi*) nebo GeV^{-1} . Vzdálenosti 1 fm přitom odpovídá předané hybnosti přibližně 0.2 GeV. Pokud v textu uvádím čísla stránek *Elegantního vesmíru*, odpovídají prvnímu vydání.

Za velkou většinu toho, co vím o historii vývoje moderní fyziky, vděčím Abrahamu Paisovi a jeho knize *Subtle is the Lord* [2], jež představuje po všech stránkách vynikající pramen informací o osobě a díle Alberta Einsteina i historických okolnostech vzniku teorie relativity a kvantové teorie.

2 Jak to bylo doopravdy

Během několika posledních měsíců jsem si při řadě různých příležitostí uvědomil, jak důležité je vymanit se z obvyklé praxe, kdy člověk jen opakuje zaběhlá „moudra“, aniž si najde čas přemýšlet si, co doopravdy „básník řekl“. V knize Briana Greena je věnováno hodně prostoru popisu okolností vzniku dvou základních teorií, na nichž je založena moderní fyzika; totiž teorie relativity a kvantové teorie. Jsem přesvědčen, že historie vzniku obou teorií je v knize podána velmi zkresleně a pokusím se proto vylíčit, jak tomu bylo ve skutečnosti. Smyslem mé reminiscence není jen připomenout historickou pravdu, ale především ukázat, že klíčové objevy v moderní fyzice vznikaly velmi složitou a klikatou cestou a že nezastupitelnou roli v těchto objevech hrála konfrontace experimentu s teorií.

2.1 Speciální teorie relativity

Podle Greena vznikla speciální teorie relativity z Einsteinovy snahy odstranit rozpor mezi klasickou mechanikou, podle níž rychlost světla závisí na rychlosti pozorovatele vůči zdroji

světla, a Maxwellovou teorií, podle níž je rychlost světla ve všech systémech stejná. Tedy jako lék na konflikt dvou teorií. Hned na začátku Greene říká

Stručně řečeno, běžíte-li dostatečně rychle, můžete podle zákonů Isaaca Newtona dohonit vzdalující se svazek světla, zatímco podle zákonů elektromagnetismu Jamese Clerka Maxwella se vám to nepodaří.

o pár stránek dále

Navíc (a to je rozhodující) ukázala Maxwellova teorie, že elektromagnetické vlny včetně viditelného světla jsou věčnými poutníky. Nikdy se nezastaví, nikdy nezpomalí. Světlo se vždycky pohybuje rychlostí světla.

a na straně 36

Nashromážděné důkazy z experimentů, které začaly už v osmdesátých letech 19. století, stejně jako pečlivé rozborů Maxwellovy elektromagnetické teorie světla, postupně přesvědčily vědeckou veřejnost, že tohle se nestane.

Tak tomu ovšem nebylo. Předně je třeba připomenout skutečnost, že Maxwellova teorie elektromagnetismu byla formulovaná v referenčním systému pevně spojeném s tzv. éterem, jenž byl podle tehdejších představ prostředím, v němž se světlo šíří. Bez éteru si tehdy Maxwell ani jeho současníci šíření světla prostě nedovedli představit. Otázkou, jak vypadá elektromagnetické působení v jiném systému, se koncem předminulého století nikdo teoreticky nezabýval. Byl to teprve Lorentz, kdo si na přelomu 19. a 20. století tuto otázku položil a kdo se zabýval hledáním transformací veličin elektromagnetického pole při přechodu z éteru do libovolného systému, jenž se vůči éteru pohybuje rovnoměrně přímočaře. Jedním z mýtů obklopujícím zrod teorie relativity je tvrzení, že Lorentz tuto transformaci našel a dokázal, že při stejné rychlosti světla ve všech inerciálních systémech jsou vůči ní Maxwellovy rovnice invariantní. Ani to není pravda. O tom, že se Lorentzovi nepodařilo dokázat invarianci jím rozšířené Maxwellovy teorie vůči transformacím, jež nesou jeho jméno, svědčí nejlépe jeho vlastní slova, připojená jako poznámka k reedici [3] jeho práce [4], o níž se obvykle tvrdí, že v ní tato invariance byla dokázána:

Je třeba říci, že v této práci se mi nepodařilo v plné míře odvodit transformaci Einsteinovy teorie relativity. Ani rovnice (7), ani formule (8) nemají tvar, který postuloval Einstein a v důsledku toho se mi nepodařilo v první formuli (9) zbavit se členu $-wu'_x/c^2$ a tím převést rovnici (9) přesně na tvar, který platí v klidovém systému.

Stručně řečeno, Lorentz byl sice první, kdo se zabýval otázkou, jak se intenzity elektrického a magnetického pole transformují při přechodu ze systému pevně spojeného s éterem do libovolného inerciálního systému, ale tyto transformace se mu nepodařilo formulovat správně. O tom, co bylo hlavní příčinou nezdaru říká s obdivuhodnou otevřeností a upřímností Lorentz sám o 10 let později [5] toto:

Hlavní příčinou mého nezdaru byla skutečnost, že jsem lpěl na představě, že pouze proměnná t může být považovaná za skutečný čas a že můj lokální čas t' musí být považován za pouhou pomocnou matematickou veličinu. Na druhé straně v Einsteinově teorii hraje t' stejnou roli jako t .

Není tedy pochyb o tom, že v okamžiku zrodu teorie relativity nebylo nikým dokázáno, že z Maxwellovy teorie nebo jejího Lorentzova rozšíření plyne, že rychlost světla je stejná ve všech inerciálních systémech, ba nikdo ani toto tvrzení nevyslovil. O tom svědčí ostatně i to, že Einstein ve své základní práci [6] jasně říká, že konstantnost rychlosti světla ve všech inerciálních systémech je pro něj jedním ze dvou **předpokladů**, na nichž postavil svou teorii. Tento předpoklad se opíral o záporné výsledky snah prokázat experimentálně vliv pohybu zdroje světla či pozorovatele vůči éteru na rychlost světla. Rozhodující byla ale Einsteinova intuice, neboť záporné experimentální výsledky nebyly s ohledem na obrovskou rychlost světla zase až tak překvapivé. V jistém smyslu základním krokem Einsteinovy teorie bylo přitom jeho odvržení pojmu éteru jako prostředí, v němž se světlo šíří podobně jako zvuk ve vzduchu. Pojmu éter a s ním spojeného absolutního prostoru se dnes mnohý mladý teoretik směje, ale o tom, že vzdát se těchto představ nebylo vůbec jednoduché, svědčí skutečnost, že Lorentz sám o éteru mluvil ještě v roce 1915, deset let po formulaci teorie relativity!

A nakonec ještě poznámka k první z výše uvedených citací: není ani pravda, že světlo nelze za žádných okolností dohonit. To platí jen ve vakuu, ale nikoliv ve hmotném prostředí, jako je například voda. V něm mohou hmotné částice, například elektron, světlo bez problémů dohonit i předhonit a také tak činí. Elektricky nabitě částice při předhánění světla vydávají tzv. Čerenkovovo záření, jež se dnes hojně využívá k detekci částic.

2.2 Obecná teorie relativity

I při popisu Einsteinovy cesty k obecné teorii relativity je v *Elegantním vesmíru* zamlčena důležitá skutečnost, že Einsteinova „nejšťastnější myšlenka“ jeho života, již bylo poznání, že gravitace a rovnoměrný zrychlený pohyb jsou lokálně nerozlišitelné (tzv. princip ekvivalence), byla motivována experimentálním faktem, nikoliv teorií samotnou. Tím experimentálním faktem byla rovnost setrvačné a gravitační hmotnosti všech těles, k jejímuž odhalení přispěl už Galileo svými výstupy na věž v Pise. Tato rovnost, jež byla z hlediska klasické mechaniky nepodstatnou náhodou, se pro Einsteina se stala klíčem k formulaci obecné teorie relativity. Slovy Einsteina samotného [7]

Experimentálně pozorovaná nezávislost zrychleného pohybu padajících těles na jejich hmotnosti je mocným argumentem pro to, abychom rozšířili postulát relativity na vztažné soustavy, které se vůči sobě nepohybují rovnoměrně přímočaře.

či ještě podrobněji při diskusi výsledků stanovení hmotnosti pomocí pohybového zákona (setrvačná hmotnost) a vážením (gravitační hmotnost) ve stále nedostižné knížce *Fyzika jako dobrodružství poznání* [8]

Stanovíme-li poměr dvou hmotností oběma popsányými způsoby, dostaneme týž výsledek? Odpověď, kterou nám dává pokus, je docela jasná. Dojdeme k přesně stejným výsledkům! Tento závěr jsme nemohli předvídat, opírá se o pozorování, nikoliv o usuzování. Pro jednoduchost nazveme hmotnost stanovenou prvním způsobem hmotností setrvačnou, hmotnost stanovenou druhým způsobem hmotností gravitační. V našem světě se rovnají, můžeme si však představit, že tomu tak vůbec nemusí být. A hned se vynořuje jiná otázka: je tato rovnost obou hmotností čistě nahodilá, nebo má hlubší význam? Odpověď klasické fyziky odpovídá, že rovnost obou hmotností je

nahodilá a není třeba přikládat jí hlubší význam. Odpověď moderní fyziky je právě opačná. Podle ní je rovnost obou hmotností podstatná a dává důležitý klíč k hlubšímu porozumění skutečnosti. Byl to vsutku jeden z nejdůležitějších klíčů, který vedl k rozvoji takzvané obecné teorie relativity.

Klíčová role rovnosti setrvačné a gravitační hmotnosti není v *Elegantním vesmíru* vůbec zmíněna, ba v knize tyto pojmy nejsou ani zavedeny! Přitom právě tento fakt, jenž je podle Einsteina samotného **výsledkem experimentu, nikoliv teoretické úvahy**, zbavuje pozorovatele v padající zdviži možnosti poznat, že je v gravitačním poli a ne v inerciální soustavě, v níž nepůsobí žádné síly. Pokud by tato rovnost neplatila aspoň pro jediné těleso, například jeho aktovku, stačilo by totiž, aby toto těleso padající pozorovatel upustil, a podle toho, zda se od něj vzdaluje zrychleným pohybem nebo ne, by poznal, zda je nebo není v gravitačním poli. Podobně, samotná skutečnost, že síla, která tlačí záda řidiče auta při zrychlování do sedadla, mu připadá stejná, jako kdyby ho do opěradla tlačila horizontálně působící gravitace, pro formulaci obecné teorie relativity nestačí. Stejný pocit by řidič měl i kdyby setrvačná a gravitační hmotnosti nebyly stejné, ale v tom případě by opět měl možnost poznat, zda je či není v gravitačním poli. Stačilo by, aby rychle sklopil opěradlo a zjistil by, že ona aktovka, kterou měl vedle sebe, se od něj vzdaluje rovnoměrně zrychleným pohybem.

Každému čtenáři, kterého okolnosti vzniku obecné teorie relativity zajímají, doporučuji nechoďit ke kovářičkovi, ale přímo ke kováři a začíst se do výše zmíněné knížky [8], která v loňském roce vyšla znovu v nakladatelství Aurora. Není tam sice Mach se Šebestovou, ani agent FBI, ale zato se tam čtenář o obecné teorie relativity dozví to skutečně podstatné.

2.3 Objev kvanta energie

Jestliže by se Einstein Greeneovu líčení svého objevu asi podivil, Planck by se pravděpodobně vůbec nepoznal. Okolnosti vzniku kvantové teorie, jak jsou popsány v *Elegantním vesmíru*, totiž nemají se skutečností nic společného. Jako dárek ke stému výročí zrození kvanta, během jehož oslav byla historii tohoto objevu věnována spousta zasvěcených a podrobných statí, je to jistě pozoruhodný počín. Greene líčí klíčový okamžik vývoje moderní fyziky v části *Příliš horko v kuchyni* slovy

Cesta ke kvantové mechanice začala jedním matoucím problémem. . . . Na začátku století spočetli fyzici celkovou energii, kterou nese elektromagnetické záření v troubě rozpálené na zvolenou teplotu. Na základě pevně ustanovených výpočtů došli ke směšné odpovědi: že celková energie v troubě je bez ohledu na teplotu nekonečná.

a o pár řádek dál

Aby snížil vypočítanou energii v troubě z nesmyslného nekonečna na konečný výsledek, . . . vyslovil (Planck) smělý předpoklad, že energie uložená do elektromagnetického pole v troubě se shlukuje do balíčků podobných mincím a bankovkám.

Pokusím se nyní ve stručnosti popsat skutečný sled událostí, které vedly Plancka k hypotéze o kvantu energie a zájemcům o podrobnější a v mnohém vzrušující líčení doporučuji klasické monografie [2], [9] či skvělou studii historika fyziky Helge Kragh [10], napsanou speciálně ke stému výročí Planckova objevu a příznačně nazvanou *Max Planck: váhavý revolucionář*. Kragh svou studii začíná slovy

Podle standardního líčení, které lze bohužel stále najít v mnoha učebnicích fyziky, kvantová teorie vznikla, když si fyzikové uvědomili, že klasická fyzika předpovídá rozdělení záření černého tělesa, které je v hlubokém rozporu s experimentem. Na konci 19. století, pokračuje příběh, německý fyzik Wilhelm Wien odvodil výraz, který rozumně souhlasil s experimentem, ale neměl žádné teoretické opodstatnění. Když pak Lord Rayleigh a James Jeans analyzovali záření černého tělesa z hlediska klasické fyziky, výsledné spektrum se lišilo drasticky od experimentu i Wienova zákona. Tváří v tvář této vážné anomálii se Planck pokoušel najít vysvětlení a byl při tom nucen zavést pojem „kvantum energie“. ... Tento příběh je mýtus, blížíci se spíše pohádce než historické pravdě. Kvantová teorie nevděčí za svůj vznik žádnému selhání klasické fyziky, ale Planckovým hlubokým znalostem termodynamiky.

Roli Rayleighova-Jeansova zákona (což byl výsledek oněch Greeneových „pevně ustanovených výpočetních postupů“) při objevu kvanta shrnuje pak Kragh slovy

Ještě předtím, než se dostaneme k tomuto aktu zoufalství (jímž byla právě kvantová hypotéza, pozn. J.Ch.), zmíníme se ještě o Rayleighově-Jeansově zákonu a tzv. „ultrafialové katastrofě“, i když jen proto, abychom ukázali jejich historickou irelevanci ... Navzdory prominentní roli, již zaujímá v učebnicích fyziky, nehrála Rayleighova formule v rané etapě vývoje kvantové teorie žádnou roli. Planck neuznával ekvipartiční teorém jako nějaký fundament, a proto ho ignoroval. Ostatně ani Rayleigh a Jeans ho nepovažovali za obecně platný. „Ultrafialová katastrofa“, výraz, který poprvé použil Ehrenfest v roce 1911, se stal předmětem diskuse až v pozdějších fázích vývoje kvantové teorie.

Ke stejnému hodnocení irelevance "ultrafialové katastrofy" při Planckově objevu docházejí i Pais [2] a Mehra s Rechenbergem [9]. Naprostá Greeneova ignorance historické pravdy ve vztahu k Planckovi se stane ještě zřejmější, uvědomíme-li si následující skutečnost. Wienův zákon, jenž až do jara 1900 skvěle popisoval všechna experimentální data o záření černého tělesa, byl sice Wienem odvozen na základě z dnešního hlediska těžko přijatelných předpokladů, ale Planck si ho během roku 1899 - a to dokonce dvakrát - odvodil sám! Vycházel přitom ze svého přesvědčení o fundamentální roli druhého termodynamického zákonu a s ním související entropie. V prvním odvození [12] dokonce tvrdil, že Wienův zákon je přímým důsledkem zákona růstu entropie, i když v následující práci [13] uznal, že růst entropie sám nestačí a je třeba přidat další předpoklad. Tvrdit, že za těchto okolností mohla Plancka vyvést z míry kratičká Rayleighova práce z jara 1900 [14], v níž Rayleigh dokonce sám připomíná, že Planck Wienův zákon „podpořil“, je možné jen tehdy, předpokládá-li autor, že čtenář o historické pravdě nic neví. Navíc, Rayleigh ve své jednostránkové práci vychází z Wienovy formule, ale považuje ji za "dohad" a pokračuje

Dovolím si předložit modifikaci (Wienovy) formule, která se mi zdá pravděpodobnější. ... Uvažujme pro ilustraci případ napnuté pružiny, vykonávající příčné kmity. Podle Boltzmanova-Maxwellova zákona je energie rozdělena rovnoměrně mezi všemi typy vln, jejichž kmity jsou 1,2,3... Je-li k veličina nepřímo úměrná vlnové délce a tedy úměrná kmity, je energie ležící mezi k a k + dk (při dostatečně velkých hodnotách k) určena jednoduše jako dk.

Zobecněním na kmity ve třech rozměrech dostává Rayleigh místo dk výraz $k^2 dk$ jenž vede přímo na jeho formuli. Označit tuto analogii s kmity mechanické pružiny za „pevně ustanovené

výpočty“ může jen naprosto nekritický člověk. Motivace i okolnosti vzniku kvantové fyziky byly tedy zcela jiné, než jak je líčí Greene. Hlavní nebezpečí Greeneovy pohádky je v tom, že vyvolává falešný dojem, že ke zlomovým krokům ve vývoji moderní fyziky dochází revolučními myšlenkami motivovanými problémy existujících teorií.

Planck byl ve skutečnosti ke své hypotéze doslova dotlačen snahou vysvětlit nová měření spektrální hustoty záření absolutně černého tělesa, která se objevila na jaře roku 1900 a která byla v rozporu s Wienovým zákonem v oblasti vysokých teplot a nízkých frekvencí. Pracoval přitom v rámci svého přístupu, jenž byl založen na vztahu mezi entropií systému oscilátorů emitujících záření a jeho spektrální hustotou. Jak sám říká ve své základní, ani ne dvoustránkové, práci [15]

Nakonec jsem začal konstruovat v podstatě libovolné výrazy pro entropii, jež byly sice složitější než výraz vedoucí k Wieneovu zákonu, ale vyhovovaly všem podmínkám termodynamiky i elektrodynamiky. Mezi těmito výrazy mne zvláště upoutal jeden, který byl z hlediska jednoduchosti nejbliže k Wienovu a který si - s ohledem na to, že Wienův zákon nepopisoval dostatečně přesně pozorování - zasloužil důkladný rozbor.

Podstatou zmíněného zobecnění postupu, jímž Planck v roce 1899 odvodil Wienův zákon, bylo nahrazení výrazu c/U , kde U je spektrální hustota a c konstanta, výrazem $a/(U + b)$, kde a, b jsou konstanty a který na první přechází pro $U \gg b$. V této práci se poprvé objevila Planckova formule, ale ve tvaru

$$\rho(\nu, T) = \frac{c_1 \nu^3}{\exp(c_2 \nu/T) - 1} \quad (1)$$

kde ještě nevystupovala explicitně konstanta, jež později dostala jeho jméno. Konstanty c_1, c_2 vystupovaly již ve Wienovu zákonu, $\rho(\nu, T) = c_1 \nu^3 \exp(-c_2 \nu/T)$, jenž plyne z (1) pro $c_2 \nu/T \gg 1$, tj. pro vysoké frekvence a nízké teploty. Planckova konstanta se objevila až v práci z prosince 1900 [16], kde Planck předložil odvození svého výše zmíněného zobecněného vztahu pro entropii systému oscilátorů, jež se opíralo o hypotézu kvantování energie tohoto systému. Poslední slovo uvádím úmyslně, neboť Planck ve svých prvních pracích vztahoval kvantum energie k systému oscilátorů a nikoliv k jedné částici. Podle Kragha i jiných historiků vědy to byl Einstein, kdo první pochopil dalekosáhlé důsledky Planckovy hypotézy. Byl to také on, kdo ji jako první aplikoval na kvantování energie jedné částice, a to ve své práci o fotoefektu [17], za niž později dostal Nobelovu cenu. O tom, jak těžce se Planck k předpokladu kvantování energie soustavy oscilátorů dopracovával, hovoří nejlépe jeho vlastní slova [18]

Byt to akt zoufalství ... čistě formální předpoklad, jemuž jsem nevěnoval příliš úvah, kromě toho, že jsem za každou cenu musel dostat kladný výsledek.

Tím „kladným výsledkem“ byla jeho fenomenologicky úspěšná formule (1).

Objev kvanta energie má ještě jednu pozoruhodnou a přitom málo zdůrazňovanou stránku: experimentální data, která vedla Plancka k formuli (1), pocházela z oblasti, kde platí klasická, nikoliv kvantová fyzika! Jak dnes víme, jsou kvantové jevy důležité naopak v oblasti nízkých teplot či vysokých frekvencí (přesněji řečeno pro velké hodnoty podílu ν/T), tedy přesně tam, kde platil Wienův zákon! Fyzikové tedy čtvrt století používali, aniž si to uvědomovali, zákon, který má hluboce kvantovou povahu, a teprve odklon od tohoto zákona v oblasti platnosti klasické fyziky je na to upozornil. I to ukazuje, že nelze než souhlasit s Kraghem, když říká

Objev kvantové teorie je nutno chápat jako proces, který trval určitou dobu, a nikoliv jako okamžité vnuknutí, které bylo oznámeno jednoho dne koncem roku 1900.

Věnoval jsem Planckovi a jeho kvantu tolik prostoru proto, že si myslím, že bychom čtenářskému publiku i veřejnosti neměli předkládat vykostěné a zploštělé historiky, které se možná někomu hodí do reklamního krámu, ale které zakrývají to, co je na vědě nejpodstatnější: okamžik překvapení a složitost cesty, kterými se obvykle k objevům dospívá. Příběh "revolucionáře proti své vůli" a jeho kvanta je toho nejlepším příkladem.

2.4 Hypotéza kvarků

Pokud čtenář již četl nějakou knížku o tom, kdy, proč a na základě čeho vznikl pojem kvarku, měl asi dojem, že Greene mluví o jiných kvarcích. Podle něj totiž po objevu atomového jádra a formulaci modelu atomu ve třicátých letech

Na okamžik považovali fyzici protony, neutrony a elektrony za "atomy" starých Řeků. Ovšem v roce 1968 využili experimentátoři na stanfordském lineárním urychlovači vzrůstající kapacity techniky ... a ukázali, že ani protony a neutrony nejsou těmi nejzákladnějšími jednotkami. Zjistili, že každý z nich se skládá ze tří menších částic, z kvarků. Toto zvláštní označení přejal teoretický fyzik Murray Gell-Mann, který už dříve existenci těchto částic předpověděl, z verše ...

Skutečnost byla ovšem zase o poznání jiná. Pojem kvarků jako objektů, z nichž jsou v jistém smyslu složeny protony, neutrony a další silně interagující částice (souhrně nazývané *hadrony*), vznikl jako důsledek snahy pochopit vlastnosti zhruba stovky částic, které byly během padesátých a první poloviny šedesátých let objeveny ve srážkách protonů s protony a piony na urychlovačích v USA a Evropě. Vyvrcholením těchto snah byl tzv. **kvarkový model hadronů**, formulovaný počátkem roku 1964 současně M. Gell-Mannem a G. Zweigem. Připomínám, že Gell-Mann dostal Nobelovu cenu za předpověď (formulovanou v roce 1962) existence hyperonu Ω^- , jenž sehrál při vývoji představ vedoucích ke kvarkovému modelu klíčovou roli.

V experimentech na urychlovači ve Stanfordu nebyly objeveny kvarky, ale byl pozorován jev, jemuž se říká „škálování“. Tento jev byl neočekávaný neboť silně připomínal pozorování učiněné Rutherfordem při objevu atomového jádra, o němž se v dalším zmíním podrobněji. Protony se při nepružném rozptylu na elektronu totiž chovaly jako svazek menších, vzájemně na sebe nepůsobících částíček, Feynmanem později nazvaných *partony*, které měly navíc některé vlastnosti stejné jako již dříve zavedené kvarky. Tento jev se ovšem zdál být v rozporu se skutečností, že se kvarky nikomu nepodařilo z protonu vyrazit, i když se o to řada experimentů pokoušela. Jev škálování Gell-Mann nepředpověděl a trvalo až do poloviny 70. let 20. století, než se ho společným přičiněním řady experimentů a díky pokroku v oblasti teorie podařilo usmířit s neexistencí volných kvarků. Na tomto vývoji neměl ovšem Gell-Mann žádný podíl. Tvrdit, že kvarky byly objeveny ve SLAC a že „jejich existenci“ předpověděl Gell-Mann je tedy hrubé zkreslení skutečnosti.

Název "kvarky" skutečně pochází od Gell-Manna, ale tvrzení že „už dříve existenci těchto částic předpověděl“, by jistě odmítl i Gell-Mann sám, neboť ve všech svých pracích zdůrazňoval, že kvarky v běžném slova smyslu (tj. jako samostatné objekty) neexistují, ale že je třeba je chápat výhradně jako matematické pojmy užitečné pro popis protonů, neutronů a příbuzných částic. K fundamentální experimentální skutečnosti, že kvarky se v přírodě jako samostatné objekty nevyskytují, a tedy k významu pojmu "existence kvarků", se ještě vrátím.

Nechápu, proč se Greene uchýlil ke svému historicky i věcně nepřesnému výkladu „objevu“ kvarků, když stačilo převzít formulaci ze „Stručné historie částicových experimentů“, která je součástí oficiální domácí stránky superstrun [19] a která v několika málo větách podává celkem věrný obraz skutečnosti, shodný s mým podrobnějším líčením. Nemohu se zbavit dojmu, že se nejedná o pouhou neznalost skutečnosti, ale úmysl představit i objev kvarků jako experimentální potvrzení primárně teoretické předpovědi.

2.5 Hypotéza supersymetrie

Je smutnou skutečností, že ani v tomto případě nedokázal autor podat pravdivý obraz zrodu tohoto bezesporu důležitého a pro teorie superstrun klíčového pojmu, ale uchýlil se k účelové polopравdě. Na straně 167 totiž čteme:

V roce 1973 si fyzici Julius Wess a Bruno Zumino uvědomili, že supersymetrii - novou teorii zrozenou z přechodu k nové teorii strun - lze použít i pro teorie založené na bodových částicích.

a na straně 335 znovu: *Připomeňme, že supersymetrie byla objevena při teoretickém zkoumání teorie strun...* Jak je pro autora typické, v poznámce 3 ke kapitole 7 Greene sice připouští, že

Objev a rozvoj supersymetrie má složitou historii. Kromě v textu zmíněných prací přispěli v raných fázích R. Haag, ... a mnoho dalších.

ale tím se dopouští vážného zkreslení skutečnosti, neboť v pracích [20, 21] byly matematické základy supersymetrie formulovány nejméně tak jasně, jako v práci [22], citované Greenem. V pracích [20, 21] ovšem nebyla východiskem, tak jako v případě práce [22], teorie strun v rámci duálních rezonančních modelů. V případě [20] jím byly úvahy čistě matematické povahy a v případě [21] snaha vysvětlit (v té době všeobecně přijímanou) nulovou hmotnost neutrina jako důsledek zobecnění Goldstoneova teorému. Práce [20–22] jsou dnes všeobecně a zcela rovnocenně uváděny jako místa zrodu supersymetrie. Přitom matematicky motivovaná práce [20] vznikla prokazatelně nejdříve. Tento způsob „práce“ s historickými fakty je pro Greenea bohužel typický.

Čtenář si nyní možná řekne: Dobře, Greene možná povídá pohádky, ale ty se dobře čtou, tak co? A koho vlastně dnes zajímá, jak to se vznikem teorie relativity, kvantové teorie či hypotézy kvarků opravdu bylo? *Elegantní vesmír* je přece kniha o teorii strun, tak proč šfoulat do nějakých historických detailů, které jsou stejně už dnes passé?

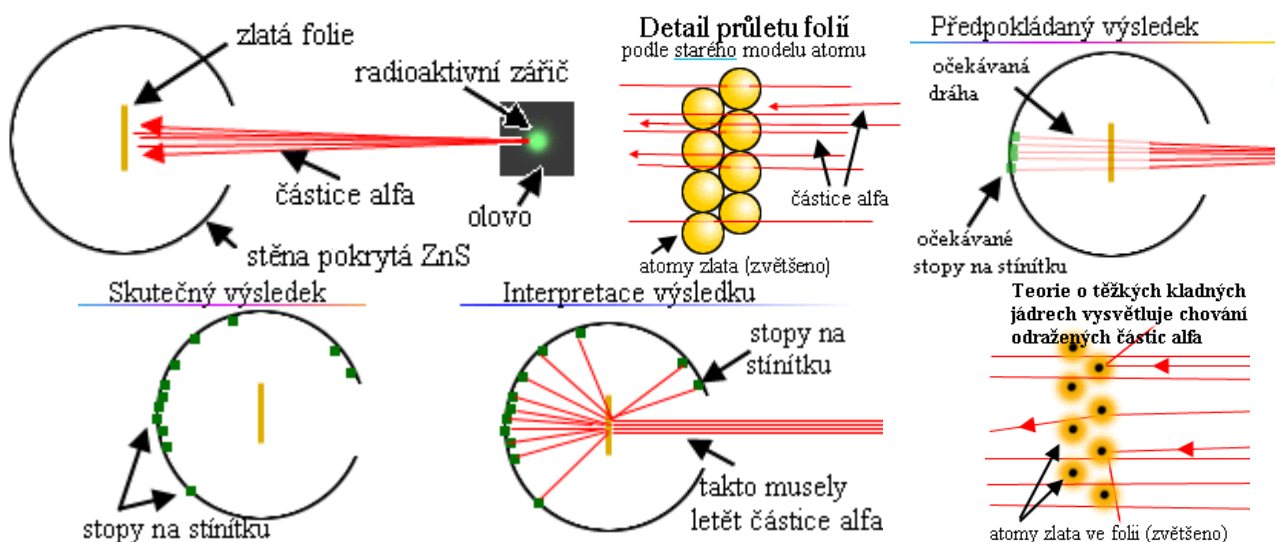
Důvody vidím dva. Jednak jsou skutečné příběhy všech výše zmíněných klíčových objevů mnohem zajímavější, než jejich zploštělé a pokroucené líčení v *Elegantním vesmíru*, ba čtou se skoro jako detektivka. Především by ovšem měli mladí zájemci o fyziku i širší veřejnost chápat, že ve vědě není nic dané předem a jednou provždy, že vývoj jde spleťtými a těžko předvídatelnými cestami, které není dobré předem omezovat ideologickými korzety a že hlavním ukazatelem na cestě k poznání zákonů přírody a jediným kritériem správnosti našich teorií je a zůstane experiment.

3 Věcné chyby a nedostatky

V *Elegantním vesmíru* je podán ne příliš zdařilý popis současného stavu našich poznatků o mikrosvětě. V následujících odstavcích proto upozorním na jeho hlavní nedostatky a čtenáři nabídnu jednodušší výklad některých základních pojmů a jevů.

3.1 Rutherfordův pokus

Domnívám se, že pro pochopení toho, jak probíhají dnešní experimenty se srážkami částic a jak z jejich výsledků fyzikové odhalují nové jevy či struktury, je vhodné nejdříve čtenáři přiblížit klasický Rutherfordův pokus s rozptylem částic α na zlaté fólii, v němž bylo objeveno atomové jádro. Podrobný a velmi dobře zpracovaný popis tohoto experimentu je součástí webového materiálu [23,24], o němž se zmiňuji na konci tohoto textu. Zde připomenu jen základní schéma



Obrázek 1: Schéma Rutherfordova experimentu a interpretace jeho výsledků, jež vedla k objevu atomového jádra.

z něhož je vidět, jakým způsobem lze z rozdělení četnosti rozptylu částic α na velké úhly učinit závěr, že většina hmoty atomu musí být soustředěna ve velmi malém jádře. Podrobnější rozbor a obrázky reálného experimentálního uspořádání Rutherfordova experimentu najde čtenář například v moderní učebnici fyziky [25].

Uvádím zde tento pokus proto, že i dnešní nesrovnatelně složitější experimenty postupují v zásadě stejným způsobem jako Rutherford před 90 lety - jen s tím rozdílem, že místo radioaktivního zářiče je zde mohutný urychlovač, místo částic α obvykle protony či elektrony a místo stínítka detektor vážící tisíce tun a velký jak čtyřpatrový dům. A místo srovnání jednoduché formule pro klasický rozptyl dvou elektricky nabitých bodových částic je třeba analyzovat komplikované konfigurace stovek částic vznikajících ve srážkách protonů a elektronů, pro jejichž popis v rámci standardního modelu se používají složité počítačové programy.

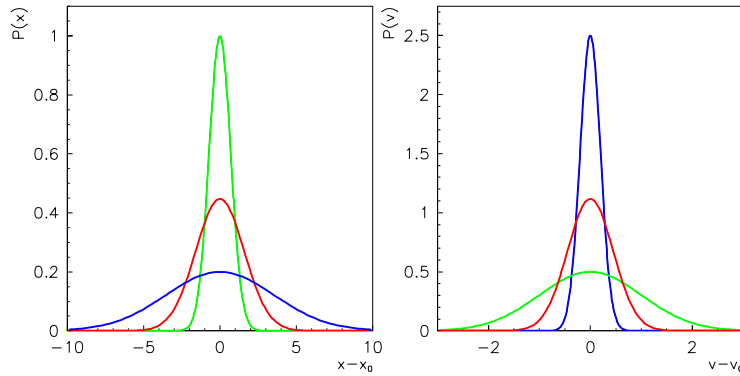
3.2 Základy kvantové mechaniky

V textu na straně 103 Greene tvrdí, že Schrödinger „*Stanovil rovnici, která řídí tvar a vývoj vln pravděpodobnosti.*“. To ovšem není pravda, neboť neexistuje žádná rovnice (ve výše uvedené citaci je jednotné číslo), která by určovala časový vývoj vlnové funkce i její tvar. Protože Greene tuto prostou skutečnost jistě zná, je uvedené tvrzení ilustrací jeho necitlivého přístupu k nezbytnému zjednodušování skutečnosti. Není totiž problém a nezabere to moc místa říci pravdu. V kvantové mechanice existují dvě rovnice nesoucí Schrödingerovo jméno. Jedna určuje časový vývoj vlnové funkce a pro její řešení je proto třeba zadat počáteční podmínky, druhá (často nazývaná „bezčasová Schrödingerova rovnice“) určuje vlnové funkce odpovídající přesným hodnotám energie (tzv. vlastní stavy hamiltoniánu). Ale tato řešení, odpovídající přesným hodnotám energie a nazývaná *stacionární řešení*, nejsou jediné možné stavy. Podle základního principu kvantové mechaniky jsou totiž přípustné i jejich libovolné lineární kombinace, a tak můžeme dostat prakticky libovolný tvar vlnové funkce. Nebezpečnost Greeneova tvrzení je tedy v tom, že může vést nezavěšeného čtenáře (a jemu je přece kniha určena především) k hluboce mylnému dojmu, že tvary vlnových funkcí jsou ve kvantové mechanice určeny nějakou rovnicí, což prostě není pravda.

Za hlavní nedostatek Greeneova výkladu základů kvantové mechaniky považují skutečnost, že tam, kde lze pro kvantové jevy najít jistou ilustraci v klasické mechanice, tak obvykle nečiní, a naopak tam, kde se jedná o fundamentální rozdíl od klasické fyziky, se snaží kvantové jevy „vysvětlit“ klasickou analogií.

Pokud jde o první aspekt, chybí mi především názorná ilustrace souvislosti klasického a kvantového popisu pohybu částic, nejlépe na nejjednodušším příkladu pohybu jedné volné částice. Místo složitého prostorového rozdělení kvadrátu vlnové funkce na straně 102 *Elegantního vesmíru* je užitečné čtenáři tuto souvislost připomenout pomocí obrázku 2, na němž je znázorněno rozdělení pravděpodobnosti nalezení volné částice jako funkce prostorové souřadnice x , či rychlosti v , vše v jednom rozměru a daném časovém okamžiku t_0 . Zatímco v klasické fyzice je úplný popis stavu takové částice zadán dvojicí $x(t), v(t)$, které nabývají současně přesně definovaných hodnot, v kvantové mechanice je stav takové částice zadán vlnovou funkcí v čase t . Tuto vlnovou funkci přitom můžeme chápat buď jako funkci souřadnice x , nebo rychlosti v , nikoliv ovšem obou současně. Vlnové funkce na obr. 2, popisující volnou částici v čase t_0 mohou mít libovolný tvar, ale pro ilustraci postačí tvary znázorněné na tomto obrázku, kterým se obvykle a přiléhavě říká *vlnové balíky*.

Z obrázku je zřejmé, že základní informace o poloze a tvaru vlnového balíku jako funkce prostorové souřadnice $\langle x \rangle$ či rychlosti v jsou dány jeho „středem“ $\langle x \rangle$ a „šířkou“ Δx , resp. $\langle v \rangle$ a Δv . Podle Heisenbergovy relace neurčitosti musí přitom platit $\Delta x \Delta v \geq \hbar/2m$, kde m je klidová hmotnost částice. Čím užší je tedy balík v prostoru, tím širší musí být v rychlosti a naopak. Vezmeme-li řešení časové Schrödingerovy rovnice s počáteční podmínkou danou vlnovým balíkem na obr. 2, zjistíme zajímavou skutečnost, že střed tohoto balíku se pohybuje přesně stejně jako klasická částice s rychlostí v_0 , jež byla v čase t_0 v bodě x_0 . Místo aby Greene připomněl tuto důležitou souvislost klasického a kvantového popisu, snaží se pohádkou o „bankovním mechanismu“ na straně 110 vysvětlit „šokující jev“ známý jako kvantové tunelování. A přitom právě tento jev je příkladem jevu, v němž se projevuje vlnový charakter vlnové funkce skutečně zásadním a klasickými pojmy nepostihnutelem způsobem. Greeneova slova



Obrázek 2: Tvar jednorozměrného vlnového balíku jako funkce prostorové souřadnice (vlevo) a rychlosti (vpravo). Tři zobrazené vlnové balíky, jejichž středy se nacházely v čase t_0 v bodě x_0 a jejichž střední rychlosti nabývaly hodnoty v_0 , se liší šířkami Δx (Δv) vlnových balíků v prostorové souřadnici (rychlosti). Balík, který je „úzký“ v proměnné x je „široký“ v proměnné v a naopak.

Zjednodušeně řečeno to znamená, že energie částice může divoce fluktuovat, pokud se tyto fluktuace omezí na dostatečně krátkou dobu. Tedy stejně jako vám bankovní systém aerolinky dovoluje „půjčit si“ peníze na zaplacení letenky za předpokladu, že je rychle vrátíte, dovoluje kvantová mechanika částici „vypůjčit si“ energii, jen je-li schopna ji vrátit za dobu určenou Heisenbergovým principem neurčitosti.

jsou zavádějící, neboť čtenáři vnucují představu, že částice má v každém okamžiku přesnou energii (jenom my ji neumíme za konečnou dobu určit). Jenom to, co má v každém okamžiku konkrétní hodnotu, může ovšem fluktuovat, jako například kurz koruny vůči dolaru. Ale v daném časovém okamžiku nemá hybnost (a tedy ani energii) volné částice popisované vlnovými balíky přesnou hodnotu. Interpretovat skutečnost, že ve vlnovém balíku je hybnost (a tedy i energie) „rozmazána“, slovy, že energie v čase „fluktuuje“ nemá žádný smysl a nic nevysvětluje. Není náhodou, že se Greene nesnaží odpovědět na přirozenou otázku, od koho si částice tu energii „půjčí“ a komu ji pak „vrátí“.

Abych přiblížil důvody, proč je kvantové tunelování jev ryze vlnové povahy, které nelze vysvětlit klasickými pojmy, připomenu jev jednodušší, kde se ovšem projevuje podobná zásadní odlišnost od klasické fyziky. Představme si, že na jedné částici, třeba protonu, rozptylujeme jinou, řekněme elektron, a to tak, že ho na proton z dálky střílíme. Vzdálenost protonu od přímky, po níž by se elektron pohyboval, kdyby na něj žádná síla nepůsobila, nazvěme srážkový parametr. Klasická fyzika a selský rozum nám říkají, že ať mají energie elektronu i srážkový parametr libovolné hodnoty, elektron se vždy rozptýlí, tj. nikdy se nebude po rozptýlu pohybovat ve stejném směru (a pod stejným srážkovým parametrem) jako před ním. Ne tak ovšem v kvantové mechanice! Řešení časové Schrödingerovy rovnice s počáteční podmínkou popisující vlnový balík (jako například ten na obr. 2) v čase daleko před rozptylem má totiž v časech daleko po rozptýlu tu vlastnost, že dává nenulovou pravděpodobnost, že po rozptýlu najdete částici **přesně** ve stejném směru a se stejnou energií, jako před rozptylem! Tento jev, jenž je s klasickou fyzikou naprosto neslučitelný, je i podstatou kvantového tunelování. „Bankovní mechanismus“ předstírá klasické vysvětlení tam, kde neexistuje. Velmi by mne zajímalo, jak by

Greene vysvětlil skutečnost, že při nárazu vlnového balíku na bariéru, která je nižší - dokonce libovolně malá - než jeho energie, se část vlny odrazí zpět, i když podle klasické fyziky by částice měla bariéru vždy přeskocit. Že by v tomto případě naopak částice „půjčovala“ energii bariéře? Na webu přitom dnes existují počítačové simulace průchodu vlnového balíku překážkou [26], které názorně demonstrují vlnovou podstatu tunelového efektu i efektu odrazu.

3.3 Čím se liší kvantová teorie pole od kvantové mechaniky

V *Elegantním vesmíru* chybí zmínka o tom, jaký je zásadní rozdíl mezi kvantovou mechanikou a kvantovou teorií pole. Greene například hovoří o fluktuacích energie v „prázdné oblasti prostoru“ (tedy v běžné terminologii „vakuum“)

Dokonce i v prázdné oblasti prostoru - například v prázdné krabici - jsou podle principu neurčitosti energie a hybnosti neurčité: fluktuují mezi extrémy, které jsou stále větší, jde-li o krabice stále menší a typický čas, po který prostor sledujeme, kratší a kratší. Oblast prostoru uvnitř krabice se chová jako chronický „vypůjčovatel“ energie a hybnosti, nepřetržitě si od okolního vesmíru vyzvedává „půjčky“ a obratem je „splácí“.

ještě dříve, než se o kvantové teorii pole vůbec zmíní, a to přesto, že pojem vakua má smyslu teprve v kvantové teorii pole a vůbec není jednoduchý (právě proto, že v kvantové teorii pole „prázdný prostor“ není vlastně úplně prázdný). Očekával bych, že se čtenář po přečtení první věty Greenea zeptá: energie a hybnost **čeho** to v krabici fluktuuje? Velmi by mne zajímalo, co by jim odpověděl. Navíc celý jazyk „výpůjček“ energie a hybností je zavádějící, a také zcela zbytečný, neboť navozuje mylný dojem, že v kvantové teorii pole se energie i hybnost nezachovávají. Co měl Greene v poslední větě na mysli slovy „od okolního vesmíru“ zůstává ve hvězdách.

3.4 Co znamená, říkáme-li, že kvarky existují

V knize zcela chybí objasnění důvodů, proč v přírodě neexistují volné kvarky, ale jen jejich určité vázané stavy, jako jsou například proton, neutron či mezony π a K . Tento jev, zvaný **uvěznění kvarků** či přesněji **uvěznění barvy**, má ovšem pro pochopení světa kolem nás klíčový význam. Jde přitom také o jev, který má netriviální ontologické důsledky, neboť pojem „existence kvarků“ má poněkud jiný význam, než na jaký jsme zvyklí z klasické fyziky a jaký přisuzujeme například „existenci“ elektronu, fotonu či neutrin. Jediné místo, kde se o uvěznění kvarků v *Elegantním vesmíru* hovoří, je na straně 118, kde čteme:

Silná síla, která drží kvarky zamčené uvnitř protonu a neutronu, má původ ve výměně gluonů mezi jednotlivými kvarky. Gluony, abychom tak řekli, poskytují „lepidlo“ držící subatomární částice přilepené u sebe.

Proč a jak, to se čtenář ovšem již nedozví. O tom, že volné nejsou v přírodě ani gluony, nenajdeme v knize ani slovo. A přitom kvarky a leptony (a podobně i fotony a gluony) jsou dávány do jedné tabulky a v mnohém ohledu s nimi zachází stejně. Podobně není zmíněn zásadní rozdíl mezi významem hmotnosti fotonu a gluonu, které jsou podle tabulky 1.2 na straně 21 obě rovny nule. Důvěřivý čtenář musí dojít k mylnému závěru, že dosah elektromagnetických

a silných sil je stejný. Domnívám se, že těmto dvěma důležitým a zajímavým otázkám měla být věnována aspoň jedna stránka textu a jednoduchý obrázek, ilustrující zásadní rozdíl mezi silami elektromagnetickými a silnými, který podstatu uvěznění kvarků názorně vysvětluje. V následující poznámce k sjednocování sil čtenáři takový obrázek nabízím.

3.5 Sjednocování interakcí

Slabý výkon podal Greene i při výkladu základní myšlenky sjednocování elektromagnetických, slabých a silných sil, jež je nejen jedním z pilířů standardního modelu, ale také východiskem při snahách zahrnout do hry také gravitaci. Je proto nepochopitelné, že většina recenzentů sdílí nadšení M. Fabingera [27], jenž autora chválí slovy:

Všechny fyzikální pojmy a myšlenky vysvětluje tak jednoduše a srozumitelně, že je pochopí i člověk bez jakéhokoliv technického vzdělání.

Rád bych viděl neodborníka, dokonce třeba i fyzika z jiného oboru, který porozuměl Greeneovu výkladu sjednocení elektromagnetických a slabých sil na stránkách 116-117, především pak ústřednímu „vysvětlení“

Glashow, Salam a Weinberg v podstatě ukázali, že při dostatečně vysoké teplotě a energiích, které vládly zlomek vteřiny po velkém třesku, se elektromagnetické a slabé silové pole rozpouští jedno do druhého a jejich vlastnosti se stávají nerozeznatelnými - je proto lepší je nazývat elektroslabými poli. Když teplota klesá, což se od velkého třesku děje neustále, elektromagnetická a slabá síla krystalizují do formy odlišné od jejich vysokoteplotního chování, a to procesem známým jako narušení symetrie, o kterém promluvíme později, a proto se ve studeném vesmíru, který obýváme, jeví odlišně.

Aby toto tvrzení mělo pro neodborníky vůbec smysl, musel by Greene nejdříve říci, **čeho** teplotu má na mysli, co znamená „rozpuštění“ a „krystalizace“ a **proč** mají charakteristiky sil vůbec na nějaké teplotě záviset. Na stranách 162-167 pak při popisu sjednocení všech tří negravitačních sil Greene pokračuje slovy

Zatímco elektromagnetická a slabá síla se vykrystalizují z jejich souměrného sjednocení, pokud teplota poklesne pod asi milion miliard stupňů kelvina, Georgi a Glashow ukázali, že sjednocení se silnou silou lze pozorovat až při teplotách asi desetbilionkrát vyšších, tedy asi při desítkách miliard miliard kelvinů.

a klíčový efekt **stínění elektrického náboje** elektronu kvantovými fluktuacemi slovy

Fyzici vyjadřují kvantověmechanický vzrůst síly spojený s přibližováním se k elektronu obratem, že charakteristická síla elektromagnetické interakce roste na krátkých vzdálenostech, aby tento růst odlišili od vzrůstu známého už klasické fyzice.

Dám kartón šampaňského tomu z čtenářů laiků, kdo bude schopen aspoň zhruba vysvětlit, co znamená „charakteristická síla interakce“ a co vyjadřují obrázky 7.1 a 7.2 *Elegantního vesmíru*, které mají výše citované výroky ilustrovat. Obzvláště by mne pak zajímalo, co si čtenář myslí, že je vyneseno na osách x a y . Autor čtenáře přitom zřejmě i zkouší, když veličinu na ose x označuje jinak na obr. 7.1 a 7.2. Jejich nelehký úkol jim Luboš Motl svým nevhodným překladem ještě komplikuje (viz poznámka k překladu). To, že význam veličiny vynášené na ose y , jež má

pro pochopení obrázků 7.1 a 7.2 klíčový význam, zmiňuje Greene jen v poznámce 6 (a tam zase jen odkazuje na kapitolu 12) je nepochopitelné. Na následující stránce a půl nabízím čtenáři své vysvětlení podstaty sjednocení elektromagnetických, slabých a silných sil a ponechám na něm, aby sám rozhodl, z kterého výkladu se poučil více.

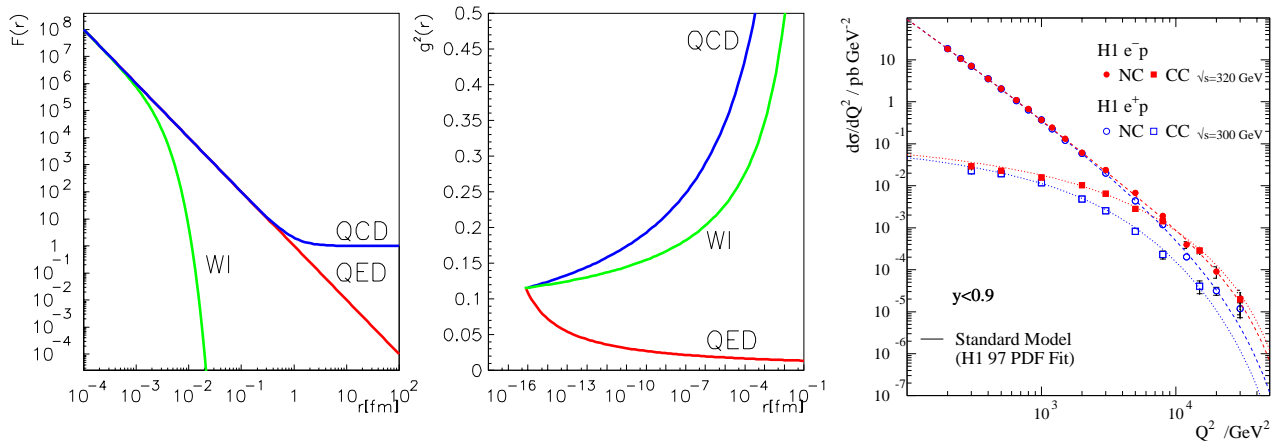
Všechny důležité myšlenky sjednocení elektromagnetických, slabých a silných sil lze jednoduše vysvětlit na příkladu působení těchto sil mezi párem kvark-antikvark, mezi nimiž všechny tři síly působí. Velikosti těchto sil závisí v kvantové teorii pole na dvou základních veličinách: **nábojích** (elektrickém - jehož klasickou analogii známe ze školy - slabém a silném) a **vzdálenosti** mezi těmito částicemi ¹. Uvažujme nejdříve případ jednotkových nábojů. V tomto případě je

- velikost elektromagnetické síly nepřímo úměrná kvadrátu vzdálenosti r mezi kvarkem a antikvarkem, což víme již ze základní školy. Skutečnost, že tato závislost platí na všech vzdálenostech, od nuly až do nekonečna, se obvykle vyjadřuje slovy, že elektromagnetická síla má nekonečný dosah, neboť ten je v kvantové teorii nepřímo úměrný hmotnosti částice zprostředkující danou sílu, v tomto případě fotonu.
- Slabá síla má na vzdálenostech podstatně menších než je asi tisícina poloměru protonu (označme tuto hodnotu r_W) zcela stejné chování, ale jakmile vzdálíme kvark od antikvarku na vzdálenosti větší než r_W , začne slabá síla s růstem vzdálenosti ubývat výrazně rychleji než elektromagnetická (potlačení oproti elektromagnetické síle je exponenciální). Síly mající takové chování se nazývají síly konečného dosahu, přičemž hodnota r_W je úměrná převrácené hodnotě hmotnosti zprostředkujících částic slabých sil, tj. bosonů W a Z.
- Silná síla klesá s rostoucí vzdáleností mezi kvarkem a antikvarkem stejně jako elektromagnetická, a to až do vzdálenosti zhruba poloměru protonu r_p , pak se ale pokles velikosti silné síly mezi kvarkem a antikvarkem zastaví a je dále zhruba konstantní. Tato skutečnost znamená, že kvark nelze dodáním konečné energie od antikvarku odtrhnout, a je kvalitativním vysvětlením skutečnosti, že kvarky ani antikvarky neexistují v přírodě jako volné částice. Skutečnost, že velikost silné síly neklesá jako $1/r^2$ až do nekonečna také znamená, že tvrzení „hmotnost gluonu je nula“ nemá stejný význam jako podobné tvrzení o hmotnosti fotonu, ale je ho nutno chápat pouze jako konstatování o charakteru silných sil na vzdálenostech menších než je poloměr protonu.

Výše uvedené chování všech tří sil je graficky znázorněno na obrázku 3 vlevo. Skutečnost, že všechny tři síly mají stejné chování na malých vzdálenostech souvisí s tím, že spin všech zprostředkujících bosonů (fotonu, bosonů W, Z a gluonů) je roven 1 a je také výchozím bodem pro jejich sjednocení.

Vezmeme-li v úvahu skutečné hodnoty elektrického, slabého a silného náboje kvarků, je třeba závislost velikosti všech tří typů sil na vzdálenosti mezi kvarky, znázorněnou na obrázku 3 vlevo, vynásobit kvadráty příslušných nábojů. Zásadním rozdílem mezi obsahem pojmu „náboj“ v klasické a kvantové fyzice je přitom skutečnost, že v kvantové fyzice závisí tyto náboje na vzdálenosti, v našem případě mezi kvarkem a antikvarkem, tj. stávají se funkcí této vzdálenosti. Proto se někdy nazývají **efektivní náboje** na vzdálenosti r (v odborné terminologii též „renormalizované náboje“). Závislosti kvadrátů efektivních elektromagnetických, slabých

¹Pro následující výklad není nutná přesná definice pojmů „velikost síly“ či „vzdálenost mezi kvarky“ v kvantové teorii pole, klasický obsah těchto pojmů pro pochopení podstaty sjednocení postačí.



Obrázek 3: Kvantitativní ilustrace mechanismu sjednocení elektromagnetických (QED), slabých (WI) a silných (QCD) sil. Na obrázku vlevo je vynesena závislost velikosti sil mezi kvarkem a antikvarkem na vzdálenosti mezi nimi, udané ve femtometrech ($1 \text{ fm} = 10^{-13} \text{ cm}$), ve všech případech pro jednotkové náboje. Obrázek uprostřed ukazuje závislost kvadrátů efektivních nábojů příslušných jednotlivým silám na vzdálenosti mezi barevnými náboji. Připomínám, že na obrázcích 7.1 a 7.2 *Elegantního vesmíru* je na ose x vynesena převrácená hodnota této vzdálenosti. Na obrázku vpravo jsou vyneseny závislosti pravděpodobností rozptylu elektronu na protonu na proměnné Q^2 , jež je úměrná úhlu rozptylu elektronu v klidové soustavě protonu ($Q^2 \propto \sin^2(\theta/2)$), pro procesy vyvolané elektromagnetickými silami (označované NC) a slabými silami (CC). Zatímco pro malé úhly je mezi příslušnými křivkami obrovský rozdíl, pro velké úhly, odpovídající velkým hodnotám Q^2 , jsou obě křivky velmi blízké.

a silných nábojů na vzdálenosti mezi kvarky jsou znázorněny na obrázku 3 uprostřed. Tento obrázek nese v zásadě stejnou informaci jako obr. 7.1 Greenovy knihy, až na to, že na obr. 3 není čtenář maten tvrzením, že na ose y jsou vynášeny „velikosti síly“, když velikosti sil jsou dané teprve podílem kvadrátů příslušných efektivních nábojů a kvadrátu vzdálenosti mezi kvarky. Sjednocení třech typů sil pak znamená, že na vzdálenostech menších než zhruba $r_U = 10^{-30} \text{ cm}$, tedy asi 10^{-17} menších než je poloměru protonu, jsou velikosti efektivních nábojů elektromagnetických, slabých a silných sil, a tedy i velikosti těchto sil, stejné. Přitom je dobré mít na paměti, že závislost efektivních nábojů na vzdálenosti je ve srovnání se závislostí znázorněnou na obrázku 3 vlevo velmi slabá.

Ptá-li se čtenář, proč až dosud nebyla řeč o teplotě (čeho?), krystalizaci či rozpouštění jedné síly v druhé, je odpověď prostá. Tyto pojmy k vysvětlení sjednocení sil nejsou ve skutečnosti potřeba. Teplota, o níž mluví Greene, je teplota systému kvarků a gluonů v termodynamické rovnováze. Protože vyšší teplota znamená kratší střední vzdálenost mezi kvarky a gluony, lze při určité teplotě dosáhnout toho, že tato vzdálenost je rovna právě r_U . Malých vzdáleností mezi kvarky či leptony lze ovšem dosáhnout i tak, že vezmeme dvě částice, srazíme je s dostatečnou energií a vybereme jen takové případy, kdy došlo k „tvrdé“ srážce, tj, srážce s velkou předanou hybností. Tyto srážky jsou sice relativně velmi řídké, ale zato nemusíme pro demonstraci sjednocení sil uvažovat situaci, kterou nejsme schopni v pozemských podmínkách vytvořit. V případě sjednocení elektromagnetických a slabých sil ² byly takové experimenty skutečně již

²Sjednocení elektromagnetických a slabých interakcí v rámci Glashowova-Salamova-Weinbergova modelu nepředstavuje úplné sjednocení, takže efektivní náboje elektromagnetických a slabých sil se ještě liší a to faktorem zhruba $1/2$.

provedeny. Na obr. 3 vpravo je vynesena závislost pravděpodobnosti rozptylu elektronu na protonu na proměnné, která je úměrná úhlu rozptylu elektronu v klidové soustavě protonu. Vidíme, že zatímco pro „měkké“ srážky je pravděpodobnost procesu způsobeného slabými silami asi 1000 krát menší než pravděpodobnost rozptylu způsobeného silami elektromagnetickými, pro „tvrdé“ srážky jsou tyto pravděpodobnosti téměř stejné. Není tedy pravda, jak tvrdí na straně 164 Greene, že „tyto interakce mají na vzdálenostech dosažitelných dnešní technikou velmi odlišnou sílu.“

3.6 Konečná nekonečna

Na mnoha místech knihy Greene své čtenáře úporně přesvědčuje, že mikrosvět je plný „kvantového šilenství“³, z něhož se lze vymanit jedině věříme-li v supersymetrii či ještě lépe rovnou v superstruny. I v tomto ohledu říká Greene jen polopravdu. V rodině neabelovských kvantových teorií pole, založených na principu lokální kalibrační invariance (jejichž roli Greene sám zdůrazňuje), konkrétně například v kvantové chromodynamice, která popisuje silné interakce kvarků a leptonů, totiž žádná nekonečna ve skutečnosti nejsou. Přesněji řečeno, jsou, ale jen používáme-li při výpočtech nevhodné nástroje, mezi něž patří standardní poruchová teorie. Protože toto tvrzení možná někoho překvapí, vysvětlím nyní podrobněji, o co jde.

Procedura renormalizace kvantové elektrodynamiky, tak jak ji koncem 40. let 20. století formulovali Feynman, Schwinger, Dyson a Tomonaga, vedla sice k udivujícímu souhlasu s experimentem, ale opírala se o formální matematické operace, jimž chyběla jasná fyzikální interpretace. O tu se pokusili počátkem 50. let Landau a jeho spolupracovníci, kteří si položili následující otázku: co se stane, vložíme-li do vakua kuličku o poloměru r_0 , na níž je elektrický náboj e_0 , a poté zmenšujeme r_0 až k nule⁴? Pro konečné hodnoty poloměru r_0 a náboje e_0 kuličky dojde k „polarizaci vakua“, jež má za následek částečné odstínění vloženého náboje e_0 . Na pevně zvolené vzdálenosti r lze pak výsledné působení popsat pomocí efektivního elektrického náboje $e(r)$, který závisí netriviálním způsobem na vzdálenosti r . Co se stane, pošleme-li poloměr kuličky k nule, závisí na tom, co přitom uděláme s vloženým nábojem e_0 . Landau a jeho spolupracovníci zjistili, že pokud s klesajícím r_0 zůstane náboj e_0 konstantní, půjde efektivní elektrický náboj $e(r)$ k nule, a to pro každé konečné r ! Tento efekt, zvaný **nulový náboj**, znamenal, že takto zkonstruovaná teorie je triviální, tj. popisuje neinteragující elektron. Chceme-li, aby byl na konečných vzdálenostech r efektivní elektrický náboj $e(r)$ nenulový, musíme při zmenšování r_0 vložený náboj e_0 zvětšovat a to tak, že pro určitou konečnou, byť velmi malou hodnotu r_0 ⁵, označovanou r_L , půjde $e_0(r_0)$ v absolutní hodnotě do nekonečna! Právě skutečnost, že v kvantové elektrodynamice nelze provést popsanou proceduru zmenšování poloměru kuličky až do nuly, byla pro Landaua a jeho spolupracovníky mocným argumentem pro odmítnutí kvantové teorie pole jako takové. Na druhé straně tento problém nebránil tomu, aby na vzdálenostech mnohem větších než r_L byl efektivní elektrický náboj $e(r)$ formálně definován pomocí procedury „odečítání nekonečen“, kterou tak důrazně odmítal Dirac (viz. část 5). Problém s konsistentní definicí efektivního elektrického náboje $e(r)$ má svůj odraz v tom, že jeho absolutní hodnota

³Nesprávnost tohoto překladu anglického termínu „Quantum weirdness“ podrobněji rozebírám v poznámkách k překladu.

⁴Velmi pěkný popis těchto úvah určený pro širší fyzikální obec lze najít v přehledném článku jednoho z Landauových žáků [28].

⁵Zhruba o 40 řádů menší než je sama Planckova vzdálenost 10^{-33} cm.

s klesajícím r roste a pro $r = r_L$ diverguje. Ani po renormalizaci není tedy kvantová elektrodynamika schopná dát smysluplné odpovědi na libovolně malých vzdálenostech. Diracův záporný postoj k renormalizaci měl tedy v případě kvantové elektrodynamiky jisté opodstatnění.

Situace se dramaticky změnila v roce 1973, kdy dva mladí doktorandi, Frank Wilczek a David Politzer, prakticky současně ukázali ⁶, že v neabelovských kvantových teoriích pole, jako je například kvantová chromodynamika, je vztah mezi vloženým a efektivním *barevným nábojem* (jenž je analogem elektrického náboje v kvantové elektrodynamice) **obrácený**. Chceme-li, aby byl efektivní barevný náboj $g(r)$ na konečné vzdálenosti r konečný, musí jít vložený barevný náboj $g_0(r_0)$ se zmenšujícím se poloměrem $r_0 \rightarrow 0$ až k **nule**! Odezva vakua neabelovských teorií na vložený barevný náboj tedy vede k jeho *antistínění*, přičemž efektivní barevný náboj $g(r)$ klesá s klesající vzdáleností r mezi dvěma kvarky (či jinými barevnými objekty) v limitě $r \rightarrow 0$ až k nule. Tato vlastnost, zvaná **asymptotická volnost**, má řadu dalekosáhlých důsledků, které zásadně změnilý náš pohled na kvantovou teorii pole. Předně znamená, že Landaův přístup k renormalizaci kvantové teorie pole lze dovést konsistentně až do konce a samotné renormalizaci tak dát jasný fyzikální obsah. Protože kvantové efekty plynoucí z odezvy vakua na vložený barevný náboj jsou v limitě $r_0 \rightarrow 0$ konečné, **žádná nekonečna** pocházející z chování kvantových efektů na malých vzdálenostech v asymptoticky volné teorii pole ve skutečnosti **neexistují**! Zhruba řečeno, pro každé konečné r_0 jsou tyto kvantové efekty dány výrazem úměrným $g_0^2(r_0) \ln(1/r_0)$, který má pro $r_0 \rightarrow 0$ **konečnou hodnotu**! Nekonečna se v našich výpočtech objeví jenom tehdy, pokud pracujeme v rámci standardní poruchové teorie. Ta nás totiž nutí vyjadřovat výpočty jako řady v mocninách efektivního barevného náboje $g(r)$ pro konečné r , neboť mocninný rozvoj v mocninách nuly nemá matematicky dobrý smysl. Připomínám, že na Landauově proceduře konstrukce kvantové teorie pole je postavena celá moderní konstruktivní teorie pole a představuje také základní metodu výpočtů v kvantové teorii pole na mřížce.

Rozdílné chování efektivního elektrického a silného náboje jako funkce vzdálenosti mezi dvěma kvarky je schématicky znázorněna na obr. 3 uprostřed. Závislosti $e^2(r)$ a $g^2(r)$ jsou vyneseny jen do vzdálenosti řádově 10^{-16} fm, kde jejich hodnoty přibližně splývají.

3.7 Kalibrační invariance

Nedovedu si představit, jak si čtenář, jemuž je *Elegantní vesmír* určen, může z Greeneovy knihy odnést aspoň tu nezákladnější představu, co je podstatou tohoto klíčového pojmu moderní teorie pole. Výklad je v důležitém aspektu věcně chybný a snaha přiblížit čtenáři pojem kalibrační invariance jen změní slova. Na straně 120 Greene říká:

Dospíváme k nejdůležitějšímu bodu našeho výkladu. Právě jako rovnoprávnost všech hledisek v obecné teorii relativity vyžaduje zavedení gravitační síly, ukázal pokrok odvíjený od prací Hermana Weyla v dvacátých letech a Chen-Ning Yanga a Roberta Millse v padesátých letech, že si kalibrační symetrie vynucují existenci dalších sil. . . . V případě kalibrační symetrie spojené s proměnami barev kvarků není požadovanou silou nic jiného než silná síla. Bez silné síly by se tedy po výše načrtnuté proměně barevných nábojů fyzika změnila.

⁶Podrobné a zasvěcené vylíčení okolností tohoto objevu lze najít v výborné historické reminiscenci D. Grosse, Wilczekova školitele a spolupracovníka [29].

Tvrzení poslední věty je chybné, neboť zaměňuje fyziku s matematikou. Pokud by totiž silná síla neexistovala, neexistoval by ani žádný způsob, jak na kvarky působit, ba dokonce by nemělo smysl o jejich barvách vůbec mluvit. Skutečnost, že pohybové rovnice neinteragujícího fermionového (ať už elektronového či kvarkového) pole nejsou invariantní vůči (lokálním) kalibračním transformacím, nemá žádný fyzikální důsledek, neboť jedině prostřednictvím interakce s jinými částicemi se o samotné fyzikální existenci tohoto pole a jeho vlastnostech můžeme něco dozvědět! Požadavek (lokální) kalibrační invariance pohybových rovnic fermionových polí je čistě matematické povahy, motivovaný určitými dobrými vlastnostmi výsledné teorie (především renormalizovatelností), ale v žádném případě ho nelze srovnávat s požadavkem rovnoprávnosti všech referenčních systémů v teorii relativity. Podstata samotného pojmu kalibrační invariance je v textu přiblížena slovy:

V duchu citlivé klimatizační soustavy, která udržuje tlak, teplotu a vlhkost v oblasti zcela beze změn dokonalou kompenzací všech vnějších vlivů, poskytují jisté druhy silových polí podle Yanga a Millse dokonalou kompenzací proměn příslušných nábojů, čímž udržují interakce mezi částicemi v naprosto nezměněné podobě.

Nevím, jakou představu si na základě těchto slov udělal čtenář o podstatě kalibrační symetrie, nabízím mu proto následující ilustraci. Představme si gumový míč. Pokud každý bod jeho povrchu otočíme kolem nějaké osy o stejný úhel, vůbec nic nepoznáme. Pokud ovšem různé body na povrchu gumového míče pootočíme o různé úhly, budou některá místa na jeho povrchu natažená a jiná naopak stlačená a výsledek operace bude proto rozeznatelný od původního stavu míče. Tímto způsobem lze přiblížit smysl kalibrační transformace veličin popisujících kvarková či leptonová pole, jež jsou výchozími pojmy teorie. Další kroky vedoucí ke kalibračně invariantní teorii jsou následující

- zavedeme další pole, zvaná kalibrační, která s kvarkovými či leptonovými poli vzájemně interagují,
- definujeme transformaci (kterou nazveme také kalibrační) těchto nových polí, která doprovází kalibrační transformaci kvarkových či leptonových polí, a to tak, aby se pohybové rovnice teorie při současné transformaci fermionových a kalibračních polí nezměnily.

Přiblížit tyto kroky je bez matematiky prakticky nemožné, přesto je třeba říci, že část výše uvedeného tvrzení, konkrétně slova „. . . poskytují jisté druhy silových polí podle Yanga a Millse dokonalou kompenzací proměn příslušných nábojů“ je zavádějící, neboť to, co kompenzuje „proměny příslušných nábojů“ kvarků či leptonů nejsou síly samotné, ale jejich transformační vlastnosti.

3.8 Spin

Také tento důležitý pojem kvantové mechaniky je v knize vysvětlen způsobem, který může čtenáře laika spíše zmást, neboť z něj není jasné, čeho je spin mírou v klasické fyzice a jak se obsah tohoto pojmu mění v teorii kvantové. Greene přibližuje tento pojem tentokrát na standardním příkladu krasobruslařky, která krouží v piruetě. Správně konstatuje, že „*Když přitáhne ruce k tělu, točí se rychleji, roztažením rukou přejde na nižší rychlost*“, ale jeho další tvrzení

Dříve nebo později, v závislosti na energii, kterou vložila do svého roztočení, ovšem zpomalí a zastaví. To ale neplatí pro spin objevený Uhlenbeckem a Goudsmitem. Podle jejich práce i podle následného výzkumu rotuje každý elektron ve vesmíru, pořád a navždy, pevnou a nikdy se neměnicí rychlostí. Spin elektronu není přechodným stavem jeho pohybu, jak tomu je v případě běžných objektů, které se náhodou z toho, či jiného důvodu právě otáčejí.

podstatu spinu spíše zatemňuje, než objasňuje. Uvedené tvrzení předně neříká nic o tom, **proč** se krasobruslařka na ledě dříve nebo později zastaví, ba nezasvěcený čtenář může mít dojem, že jediné, co ovlivňuje dobu trvání piruety je energie, kterou do ni krasobruslařka vložila. Tak tomu samozřejmě není: krasobruslařka se zastaví proto, a jenom proto, že na její brusle působí tření ledu a ni samu i odpor vzduchu. Pokud by tyto vlivy neexistovaly, točila by se i ona do nekonečna a mohla by přitom roztahovat ruce jak by se jí zachtělo a bez ohledu na to, kolik energie do otáček vložila.

V textu není také řečeno, **proč** se vlastně rychlost otáček krasobruslařky zvětšuje, když přitahuje ruce a naopak, ačkoliv právě při objasnění této skutečnosti se přirozeně dostáváme ke kvantitativní stránce pojmu spin v klasické fyzice. A přitom vysvětlení je velmi jednoduché: podle klasické fyziky se při rotační pohybu tělesa (bez tření) zachovává součin úhlové rychlosti rotace a tzv. momentu setrvačnosti, což je veličina charakterizující rozložení hmotnosti rotujícího tělesa v závislosti na vzdálenosti od osy rotace. Pro vysvětlení chování krasobruslařky pak stačí vědět, že čím blíže k ose rotace je hmotnost soustředěna (když přitahuje ruce), tím menší je moment setrvačnosti a obráceně a vše je jasné. V klasické fyzice je spin rotujícího tělesa definován jako zmíněný součin dvou dobře definovaných veličin, momentu setrvačnosti a úhlové rychlosti. Může nabývat libovolné velikosti, ale v nepřítomnosti vnějších vlivů se zachovává, tj. nemění v čase.

Kvantová teorie mění na obsahu pojmu spinu dva klíčové aspekty. Předně, u bodových částic, jako je elektron, je spin elementární veličinou, kterou nelze vyjádřit tak jako v klasické fyzice součinem veličin charakterizujících rozložení hmotnosti a úhlovou rychlost otáček. Tyto pojmy nemají samy o sobě v kvantové fyzice smysl, a proto nemá smysl ani tvrzení, že „rotuje každý elektron ve vesmíru, pořád a navždy, pevnou a nikdy se neměnicí rychlostí.“ To, co má smysl i v kvantové teorii, je spin samotný, základní míra rotačního pohybu. Předchozí tvrzení neplatí ostatně ani v klasické fyzice, neboť rychlost otáček krasobruslařky přece **není konstantní**, jak ostatně říká Greene sám! Za tento protimluv může čtenář poděkovat překladateli, který Greeneovo opatrnější a vágnější „spins at never changing rate“ (anglické „rate“ znamená „míra“) přeložil jako konkrétnější, ale zato věcně chybné „rotuje s neměnicí se rychlostí“.

Druhým aspektem pojmu spinu, který kvantová teorie mění, je skutečnost, že na rozdíl od klasické fyziky může spin nabývat v kvantové fyzice jen hodnot rovných celočíselným nebo celočíselným násobkům Planckovy konstanty. Tento klíčový rozdíl od klasické fyziky je v Greeneově knize zmíněn pouze v hesle „spin“ ve *Slovníčku fyzikálních termínů* na konci knihy.

3.9 Zpomalování času

Za zbytečně složitý považuji způsob, jakým Greene ilustruje zpomalování času pohybujících se pozorovatelů. Standardní příklad vychází z experimentálního faktu, známého již více než 60 let, že na povrch Země dopadají miony. Tyto miony vznikají ve vyšších vrstvách atmosféry,

zhruba 10 kilometrů a výše, při srážkách protonů a jiných částic kosmického záření s protony a neutrony jader atmosferického dusíku a kyslíku. Doba života mionu v souřadné soustavě, vůči níž je v klidu, je zhruba 2 milióntiny vteřiny, poté se rozpadne na elektron a dvě neutrina. I doba života mionu je známá již více než půlstoletí z měření doletu mionu v jaderných emulzích. Bez zpomalení času by mion před rozpadem uletěl typicky méně než 600 metrů a na Zemi tedy prakticky nikdy nedopadl. Experimentální fakt, že ve skutečnosti uletí z pohledu pozorovatele na povrchu Země dráhu v průměru dvacetkrát delší, je jasnou a přesvědčivou ilustrací zpomalování toku času.

Výše uvedený výklad je poněkud zjednodušený, neboť v primárních srážkách vznikají nejdříve piony, které se během asi pětadvaceti miliardtin vteřiny rozpadnou na zmíněné miony. I při tomto rozpadu se samozřejmě projevuje zpomalování času, ale vzhledem k tomu, že doba života pionu je podstatně (zhruba 80 krát) kratší než doba života mionu, je rozhodující pro dopad mionu na povrch Země zpomalování doby života mionu. Místo této názorné a historicky podložené ilustrace nabízí Greene následující:

V poklidné laboratoři se miony rozpadají ... průměrně za dobu asi dvou milióntin vteřiny. Tento rozpad je ... Vyberou-li si ale miony místo klidu laboratoře k životu zařízení známé jako urychlovač částic, které je roztlačí téměř až k rychlosti světla, očekávaná střední doba jejich života, měřená v laboratoři, dramaticky vzroste. Tohle se opravdu děje.

Velmi by mne zajímalo, zda-li z tohoto líčení čtenář získal aspoň rámcovou představu, jaký konkrétní experimentální fakt v experimentech na urychlovačích svědčí o zpomalování času pohybujícího se mionu. Mám obavu, že čtenář si z tohoto líčení odnese především mylný dojem, že existují urychlovače mionů, kde se miony „roztlačují“, ačkoliv žádné takové urychlovače neexistují. Miony na skutečných urychlovačích vznikají stejným způsobem, jako ve srážkách kosmického záření s jádru v atmosféře, tj. především rozpadem pionů, jež předtím vznikly ve srážkách protonů či elektronů - to jsou částice, které se skutečně urychlují. V principu by tedy bylo možné i na urychlovači pozorovat zpomalení času rozpadajícího se mionu, ale vyžadovalo by to umístit detektory těchto rozpadů několik kilometrů od samotného urychlovače.

Nepochopitelné je na Greeneově výkladu i to, že si pro ilustraci efektu zpomalování běhu času v prostředí urychlovačů vybral právě miony a ignoroval výše zmíněnou skutečnost, že miony vznikají téměř vždy rozpadem pionů. Protože piony mají daleko kratší dobu života, je efekt zpomalování běhu času v případě rozpadu pionů jednoduše a bezprostředně pozorovatelný i na urychlovačích. Dokonce se prakticky využívá při vytváření svazků pionů, jež lze využít k dalším účelům. Bez zpomalení toku času by totiž piony uletěly typicky několik metrů, zatímco v reálných experimentálních zařízeních se rozpadají na vzdálenostech zhruba stokrát větších, a během letu jsou fokusovány.

4 Chcete vidět „novou fyziku“? Naučte se pořádně standardní model!

To je v kostce poučení pro fyziky, kteří se snaží a budou snažit nalézt v experimentech ve Fermilab a CERN svědectví o „nové fyzice“, ať jí bude cokoliv. To, co případně v těchto experimentech uvidíme, budou výsledky srážek protonů s protony, resp. antiprotony, které se nebudou

žádným zásadním způsobem lišit od „běžných“ srážek, pochopitelných v rámci standardního modelu. Hlavním úkolem fyziků bude ukázat, že bez „nové fyziky“ by četnost takových srážek byla podstatně jiná, než bude případně pozorována. Jinými slovy, bude se opakovat základní scénář Rutherfordova pokusu, v němž bylo před 90 lety objeveno atomové jádro: experimentální data srovnáváme s existující teorií a z případného rozdílu usoudíme na nové jevy či objekty. Drobný rozdíl je jen v tom, že spočítat předpovědi standardního modelu pro jevy, v nichž budou hledány projevy nové fyziky, je věc velmi složitá, vyžadující nejen dokonalou znalost odezvy detektorů, ale také zvládnutí všech kvantitativních aspektů standardního modelu. „Vidět“ nové jevy zkrátka nebude žádná legrace, ale pořádná dřina.

Skvělou ilustrací tohoto faktu byla situace kolem náznaku projevů existence Higgsova bosonu, které se objevily na podzim roku 2000 na konci provozu urychlovače LEP v CERN. Bylo pozorováno několik případů, které vypadaly velmi sugestivně jako případ produkce Higgsova bosonu s hmotností okolo 115 GeV, doprovázeného intermediálním vektorovým bosonem Z. Několikaměsíční přísná analýza však nakonec vedla k závěru, že u většiny kandidátů na Higgse nelze jeho přítomnost přesvědčivě prokázat. Analyzovat srážky na urychlovači LHC bude přitom nesrovnatelně obtížnější, než jako tomu bylo na LEP.

5 Matematická krása versus fyzikální relevance

Fyzikální zákony mají mít matematickou krásu.

bylo krédo, s nímž přistupoval P. A. M. Dirac, otec kvantové teorie pole, k hledání fyzikálních zákonů. Přesto, že sám položil základy kvantové elektrodynamiky, nikdy se nesmířil s procedurou renormalizace, která z ní odstraňovala nekonečné výrazy vznikající při použití standardních metod poruchového počtu. Dirac sice chápal, že takto provedené výpočty dávají výsledky, které souhlasí s experimentem, ale jeho odmítavý postoj k renormalizaci to nezměnilo [30]:

Většina fyziků je s touto situací spokojena. Říkají: „Kvantová elektrodynamika je dobrá teorie a nemusíme se o to více starat.“ Musím říci, že já jsem s touto situací velmi nespokojen, protože takzvaná „dobrá teorie“ zanedbává nekonečna, která se objevují v jejích rovnicích, a to zcela libovolným způsobem. To prostě není smysluplná matematika. Smysluplná matematika zanedbává veličiny, které jsou malé, a ne ty, které jsou nekonečně velké, ale vy je nechcete!

Jeho postoj byl nesmlouvavý:

Nemohu tolerovat odklon od standardních pravidel matematiky. Jediný správný závěr je, že základní rovnice nejsou v pořádku. Je nutné je drasticky změnit, a to tak, aby se nekonečna v teorii vůbec nevyskytovala a bylo tedy možné její rovnice řešit podle běžných pravidel, aniž bychom se starali o obtíže, které tato nekonečna způsobují. Tento požadavek si vyžádá skutečně drastické změny; jednoduché modifikace nepostačí.

Toto přesvědčení si Dirac zachoval až do své smrti v roce 1984. Skutečnost, že se kvantová elektrodynamika ukázala fenomenologicky neobyčejně úspěšnou teorií, Diracův postoj neovlivnila. Z dnešního hlediska se Dirac mýlil jak v diagnóze nemoci kvantové teorie pole, tak v otázce její terapie. Hlavní překážku pochopení fyzikálního smyslu renormalizace si přitom Dirac vystavěl sám, a to právě svým nesmlouvavým požadavkem matematické krásy fyzikálních

teorií. Renormalizace v podobě v jaké byla vyvinuta koncem 40. let a jak se v praxi používá dodnes, je skutečně „špinavá matematika“, v níž je navíc řada nepříjemných nejednoznačností. V moderním pojetí, jehož počátky lze vystopovat až k Landauovi a za jehož jasnou formulaci vděčíme především Kennethu Wilsonovi ⁷, žádná nekonečna ve skutečnosti nejsou, aspoň ne v asymptoticky volných teoriích, jako je kvantová chromodynamika. O moderním pohledu na renormalizaci, v němž v této proceduře nejde primárně o odstraňování nekonečen, se podrobněji zmiňuji v odstavci ***Konečná nekonečna***, zde ho připomínám jen jako ilustraci nebezpečí, které může přinést přílišný důraz na matematickou dokonalost našich teorií.

6 Čekání na Godota

9. kapitola je věnována otázce experimentálního ověřování základních myšlenek teorie superstrun. Tento problém lze rozdělit do několika bodů:

- a) Které charakteristické rysy teorie superstrun byly dosud experimentálně potvrzeny?
- b) Které dosud pozorované experimentální jevy aspoň nepřímo teorii strun podporují?
- c) Jaké kvantitativní předpovědi pro měřitelné veličiny byly již z teorie superstrun získány?
- d) Které charakteristické rysy teorie superstrun bude možno v budoucnosti reálně ověřit?
- e) Jaké kvantitativní předpovědi pro měřitelné veličiny lze z teorie superstrun získat?
- f) Které experimentální jevy by představovaly aspoň nepřímý důkaz její správnosti?
- g) Jaké další argumenty pro teorie superstrun existují?

Přívlastek „charakteristické“ jsem použil proto, abych odlišil ty rysy teorie superstrun, které jí jasně odlišují od jiných teorií a jejichž potvrzení by tedy představovalo přesvědčivý argument ve prospěch správnosti jejího základního předpokladu, totiž, že elementárním objektem mikrosvěta je superstruna o rozměrech řádově 10^{-33} cm. Tuto teorii budu v dalším nazývat „ortodoxní teorie superstrun“.

Odpovědi na první čtyři otázky, které plynou z pozorné četby kapitoly 9 a informací v části Teorie strun a experiment, které nalezne čtenář na oficiální webové stránce teorie superstrun [19], lze shrnout do jednoho slova: **žádné**. Většina 9. kapitoly je pak věnována odpovědím na otázky d)-g). K tomu bych rád připojil pár poznámek.

6.1 Dokažte, že to dokážete

O potenciálních schopnostech ortodoxní teorie superstrun říká Greene v závěrečné kapitole na stranách 335-336 toto

⁷Ten za svůj příspěvek k moderní formulaci renormalizace a nalezení jejího vztahu k fázovým přechodům získal v roce 1982 Nobelovu cenu za fyziku. Kromě jeho nobelovské přednášky [31] mohou čtenáři vřele doporučit skvělý článek [32] zaměřený na širší fyzikální veřejnost.

Za třetí, na rozdíl od obvyklejších teorií, jako je standardní model, jehož 19 volných parametrů musíme nastavit tak, abychom dosáhli shody s experimentem, teorie strun žádné měnitelné parametry neobsahuje. Její důsledky by tedy v principu měly být naprosto definitivní - a měla by tedy představovat jednoznačný test toho, zda teorie odpovídá skutečnosti.

ale sám připouští, že

„Cesta od takového uvažování ‘v principu‘ k uskutečnění ‘v praxi‘ je zatarasena mnoha překážkami.“

Protože za „asi nejvýznamnější milník pro teorii strun“ považuje potvrzení existence supersymetrie, končí Greene svou úvahu na téma experimentálního ověření teorie strun slovy

Před strunovými teoretiky by pak stál úkol zjistit, zda takovou realizaci může teorie strun vysvětlit. Můžeme být samozřejmě i optimističtější a doufat, že v následujícím desetiletí - třeba i před spuštěním urychlovače LHC v Ženevě - pokročí naše chápání teorie natolik, že budeme moci detailně předpovídat vlastnosti superpartnerů už před jejich případným objevením. Potvrzení takových předpovědí by bylo monumentálním okamžikem v dějinách vědy.

Nikdo jistě strunařům nechce brát jejich optimismus, ale ten sám o sobě není žádný kumšt. I poslední věta citátu je jistě pravdivá, stále v ní je ovšem ono „by“. Na druhé straně nepopíratelným faktem je, že zatím teorie strun nebyla schopná spočítat jedinou experimentálně známou veličinu ani cokoliv měřitelného předpovědět. Ambice lze mít vysoké, ale to, co nakonec rozhoduje, jsou skutečné výsledky. Přiznám se, že si nedovedu představit, že by z nějaké rovnice TOE mohly plynout numerické hodnoty **všech** experimentálních veličin, ale to může být můj problém. Říkám tedy na adresu příznivců ortodoxních superstrun: buďte optimističtí, ale přijďte, až něco opravdu spočítáte. Stačilo by mi, kdyby to byly tak základní veličiny, jako jsou hmotnosti a elektrické náboje elektronu a mionu či hmotnost a poloměr protonu. Tyto veličiny rozhodují o tom, jak svět, jehož jsme součástí, vypadá.

6.2 Příroda se stydět nemusí

Nezbytnou součástí teorie superstrun je existence supersymetrických partnerů kvarků, leptonů a kalibračních částic standardního modelu. Aby čtenáře přesvědčil o přirozenosti této symetrie, uvádí Greene na straně 161 následující argument

Za prvé, z estetických důvodů je pro fyziky těžké uvěřit, že svět respektuje většinu matematicky možných symetrií, ale nikoliv všechny. Samozřejmě je možné, že se příroda rozhodla využít jen některých symetrií, ale byla by to velká ostuda.

Tím ovšem Greene může čtenáře spíše zmást, obzvláště ty, kteří vědí, že příroda měla tu drzost a rozhodla se **nerespektovat** i tak základní symetrie jako je pravolevá symetrie (prostorová parita P), symetrie mezi částicemi a antičásticemi (nábojová parita C), ba dokonce i kombinovanou prostorově-nábojovou symetrii (CP parita)! Kromě toho i Greene přiznává, že supersymetrie, pokud skutečně hraje v přírodě roli, musí být narušena, minimálně tím, že hmotnosti superpartnerů jsou velmi odlišné.

To, co chce Greene říci, je, že i přibližné symetrie, jako je pravolevá symetrie, nebo symetrie mezi protonem a neutronem, mohou hrát v přírodě důležitou roli, pokud tyto symetrie jsou

respektovány aspoň jistým okruhem jevů. Například pravolevé symetrie je respektována jevy, které jsou způsobeny elektromagnetickými a silnými silami, zatímco její narušení se projevuje jen v jevech vyvolaných silami slabými. V případě supersymetrie jde primárně o to, že jejím důsledkem by měla být existence supersymetrických partnerů fundamentálních částic standardního modelu.

Greeneův argument je ovšem pochybný ve své samé podstatě, neboť „matematických možných“ symetrií si lze představit prakticky neomezené množství. Tak například, proč by neměla v přírodě existovat symetrie vycházející z existence osmi (nebo jakéhooliv jiného počtu) vůní kvarků, místo známých šesti? Odpovídající symetrie silných sil, založená na grupě SU(8), je jistě také „matematicky možná“ a stejně jako supersymetrie postuluje existenci dalších, dosud nepozorovaných částic. Je očividné, že samotná „matematická možnost“ nemůže být argumentem pro fyzikální relevanci té které symetrie. Tím je a zůstane pouze experiment.

6.3 K čemu (ne)jsou superstruny potřeba

Jako jeden z argumentů ve prospěch teorie strun uvádí Greene kvantování elektrického náboje kvarků, tj. skutečnost, že kvarky nesou zlomky ($2/3$, či $-1/3$) náboje positronu. To ovšem není pravda, neboť tato základní vlastnost kvarků je obecným důsledkem teorií velkého sjednocení, jejichž základním předpokladem je skutečnost, že leptony a (anti)kvarky jsou členy téhož fundamentálního multipletu příslušné prosté grupy. Tak například v nejjednodušší teorii, založené na grupě SU(5), je fundamentální pětičet tvořen elektronem, jeho neutrinem a třemi barevnými stavy antikvarku \bar{d} . Protože součet elektrických nábojů členů tohoto multipletu musí být nula (jde o prostou grupu), dostáváme automaticky náboj antikvarku \bar{d} rovný $1/3$. Teorie velkého sjednocení přitom nepracují se strunami, ani v principu nevyžadují supersymetrii. Autor o této skutečnosti bezpochyby ví, a proto v textu na straně 203 pro jistotu dodává

...v žádné bodověčásticové teorii není pro existenci exotických zlomků náboje elektronu přesvědčivý důvod. Do bodověčásticové teorie je sice lze nacpat, ale je to asi tak přirozené jako příslovečný slon v porcelánu.

Vzhledem k obvyklému použití této fráze v českém jazyce představuje vazba „přirozený jako slon v porcelánu“ pozoruhodné obohacení českého (a myslím i anglického) jazyka. Je jen škoda, že se Greene, či aspoň překladatel, nenamáhal čtenáři sdělit, čím si bodověčásticové teorie toto přirovnání vysloužily, a mohl tak sám posoudit, zda to superstruny dělají elegantněji.

Podobně by nebyl žádným svědectvím pro supersymetrii či superstruny případný experimentální důkaz rozpadu protonu. Stejně jako v případě kvantování elektrického náboje jde o obecnou vlastnost teorií velkého sjednocení, a to opět jako důsledek skutečnosti, že v těchto teoriích jsou kvarky a leptony součástí jednoho fundamentálního multipletu prosté grupy.

V knize je věnováno mnoho místa argumentaci, že teorie superstrun je potenciálně schopná vysvětlit, proč existují právě tři rodiny základních fermionů. Zde je vhodné připomenout, že experiment nám neříká, že existují tři rodiny fermionů, ale pouze to, že existují tři rodiny **lehkých** fermionů, tj. takových, které lze produkovat na dnešních urychlovačích. Nelze ovšem vyloučit možnost, že existují i další rodiny s hmotnostmi řádově stovky GeV.

Ani nalezení supersymetrických partnerů dnes známých částic by nepředstavovalo, jak uznává i Greene, přímé svědectví o superstrunách, byť by samozřejmě bylo silným nepřímým argumen-

tem. Greeneův postoj k roli experimentu v jejich boji za TOE nejlépe charakterizují jeho slova, vyřčená právě v souvislosti s hledáním superpartnerů na urychlovači LHC:

Pokud LHC superpartnery nenajde, nebude tím teorie superstrun ještě vyvrácena, protože na produkci superpartnerů by mohla být nezbytná ještě větší energie, než jakou bude mít LHC k dispozici. Jestliže však superpartnery nalezneme, bude to rozhodně silný a vzrušující argument pro teorii strun.

Tento svérázný přístup k roli experimentu v lidském poznávání je v ostrém protikladu k postoji Karla Poppera, přírodovědce a filosofa vědy, který již ve svých 17 letech dospěl k tomuto názoru [33]

Tak jsem ke konci roku 1919 dospěl k závěru, že vědecký postoj je postojem kritickým, který nehledá verifikaci, ale stěžejní testy ověřující, zda je možné teorii vyvrátit, přestože ji nikdy nemohou prokázat.

O co méně skutečných argumentů ve prospěch teorie superstrun Greene čtenáři předkládá, o to více cituje výroky E. Wittena a dalších vojevůdců superstrunového vojska, vyjadřující jejich nadšení nad superstrunami a nešetřícími odvážnými předpověďmi, jako je tato, pocházející od jednoho z otců superstrun J. Schwarze:

Supersymetrie by měla být objevena v dohledné době. A když se tak stane, bude to drama.

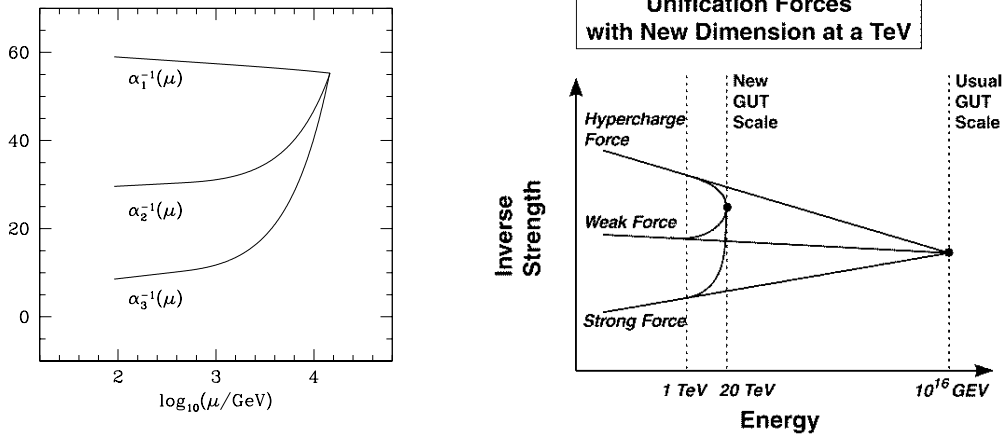
Jistě, řekne kritický čtenář, ale co, když se tak nestane, to bude konec světa? Tuto prostou a přirozenou otázku si Greene ani Schwarz ovšem nekladou. Čtenář si ji ovšem položí určitě.

7 Kdo chvíli stál, už stojí opodál

Vzájemné ujišťování se o vlastní jedinečnosti, či jedinečnosti svého počínání, není nikdy dobrou strategií rozvoje, ať už jde o podnikatelské aktivity, politickou stranu či vědu. Měli bychom mít stále na paměti slova našeho literárního klasika, jež jsem zvolil jako název této části. Zdá se, že obec superstrunařů na tuto moudrou radu zapoměla. Ve výše zmíněné kapitole o hledání důkazů správnosti ortodoxní teorie superstrun Greene říká, že pokud věříte, že fyzikální zákony by měly zahrnovat jevy na velkých i malých vzdálenostech, je teorie strun jediným řešením, „jedinou hrou v městě“.

Pojem „teorie strun“ je poměrně široký, ale pokud měl autor ve své tvrzení na mysli skutečně jen její ortodoxní verzi, v níž mají superstruny rozměr typicky 10^{-33} cm (a to měl), pak je vedle. Možná, že toto tvrzení platilo do jara 1998, ale dnes už neplatí! V roce 1998 se totiž objevila zcela nová myšlenka [34–38], jak problém hierarchie (tj. to, co Greene označuje jako „neslučitelnost jevů na velkých i malých vzdálenostech“) vyřešit. A činí tak způsobem vskutku revolučním: žádný problém hierarchie neexistuje, protože škála gravitačních sil není oněch 10^{-33} cm, ale je stejná jako škála slabých interakcí, tedy zhruba 10^{-16} cm! Tím, že zmizí problém hierarchie, zmizí také hlavní (byť ne jediný) důvod pro existenci supersymetrie. Slovy samotných autorů práce [34], jež nese příznačný název *Problém hierarchie a extra dimenze milimetrové velikosti*,

Navrhujeme nový rámec pro řešení problému hierarchie, který se neopírá o supersymetrii či technicolor. V tomto rámci se gravitační a kalibrační interakce sjednocují



Obrázek 4: Vliv nové fyziky (konkrétně v tomto případě extra dimenzí) na sblížení efektivních nábojů podle [37]. Na obrázku vlevo je znázorněno sjednocení efektivních nábojů bez supersymetrie za předpokladu, že poloměr jedné extra dimenze je (v jednotkách $\hbar = c = 1$) 1 TeV^{-1} , což odpovídá zhruba desetitisícině poloměru protonu. Na obrázku vpravo je schématické srovnání s velkým sjednocením bez extra dimenzí. V obou případech je na ose x vynesena převrácená hodnota vzdálenosti a to v logaritmické škále. Hodnotě 10^{16} GeV odpovídá vzdálenost zhruba 10^{-17} femtometrů, tj 10^{-30} cm .

na škále slabých interakcí, jež je jedinou fundamentální škálou v přírodě. Slabost gravitačních sil na vzdálenostech $\geq 1 \text{ mm}$ je důsledkem existence $n \geq 2$ nových kompaktních prostorových dimenzí, které jsou velké ve srovnání se slabou škálou.

Tedy škála elektroslabých interakcí, zhruba 300 GeV , je podle této teorie **jedinou fyzikální** škálou a všechny ostatní, včetně Planckovy škály, jsou od ní odvozeny! Slabost gravitačních sil na vzdálenostech typických pro současné experimenty není výrazem „opravdové“ slabosti gravitačních sil, ale důsledkem toho, že tyto síly jako jediné působí ve všech n dimenzích.

Podobná myšlenka se objevila současně i v práci [37] nesoucí název *Extra dimenze jako zdroj velkého sjednocení při intermediálních hmotových škálách*.⁸

V této práci ukážeme, že škála velkého sjednocení může být významně snížena (snad až do oblasti TeV) jako důsledek přítomnosti extra prostoročasových dimenzí. Takové extra dimenze jsou přirozeným důsledkem teorií strun s velkým poloměrem kompaktifikace Nakonec tyto výsledky rozšíříme na teorie bez supersymetrie ... Naše výsledky tedy představují nový přístup k pochopení fyziky velkého sjednocení..

V pracech [37, 38] je také ukázáno, jak se může přítomnost extra dimenzí projevit změnou závislosti efektivních nábojů silných, slabých a elektromagnetických sil na vzdálenosti oproti standardnímu scénáři teorií velkého sjednocení, v němž tyto tři parametry splývají až na vzdálenostech řádově 10^{-30} cm , odpovídajících energetické škále řádově 10^{16} GeV . Přítomnost extra dimenzí vede k závislostem, znázorněným na obrázku 4. Srovnání s obrázkem 14.2 v *Elegantním vesmíru*, na němž je znázorněno sjednocení elektromagnetických, slabých, silných a gravitačních sil v rámci ortodoxní teorie superstrun, včetně efektů M-teorie, ukazuje dramatickou změnu celého mechanismu sjednocení všech čtyř interakcí, jež vyplývá z myšlenky velkých extra dimenzí.

⁸V textu používám nepěkný termín „extra dimenze“, i když překlad anglického „extra dimensions“ jako „dodatečné“ či „nové“ dimenze je možná vhodnější.

Nejpodstatnějším aspektem této myšlenky je skutečnost, že extra dimenze jsou „svinuty“ do trubek, jejichž prostorové rozměry jsou podstatně větší než dosah slabých sil, a v některých variantách této teorie nejsou dokonce svinuty vůbec! Extra dimenze, ale i samotné struny, tedy hrají v těchto teoriích podstatně jinou roli, než v ortodoxní teorii superstrun, jak naznačuje i název další práce [35]: *Nové dimenze od milimetru do femtometru a superstruny na škále TeV*.

Výše zmíněný nový přístup k problému hierarchie samozřejmě neznamena, že supersymetrii a superstrunám je odzvoněno, ale jejich role v nové teorii bude jiná než ta, již popisuje Greene. Slovy autorů samotných [34]

Je zajímavé, že v našem rámci není supersymetrie třeba z hlediska nízkých energií pro stabilizaci hierarchie. Je ovšem možné, že supersymetrie bude hrát klíčovou roli pro konzistenci teorie kvantové gravitace nad škálou m_W .

Je otázkou, do jaké míry se tato nová myšlenka ukáže plodná a já sám nejsem kompetentní k tomu, abych čtenáře o ní poučoval. Považuji ji však za velmi zajímavou a vskutku revoluční, neboť se opírá o hypotézu fyzikální povahy (existuje jen jedna škála) a navíc dává možnost řady jasných experimentálních testů, jež již probíhají ve Fermilab a jsou plánovány i na LHC v CERN. Právě možnost bezprostředního potvrzení nebo vyvrácení této myšlenky, a to v dohledné době, ji činí mimořádně přitažlivou.

V *Elegantním vesmíru* je o výše zmíněné nové myšlence zmínka jen v poznámce 2 ke kapitole 8 a to jen v souvislosti s tím, že v tomto případě by velikosti svinutých extra dimenzí mohly být až makroskopicky velké. O hlavních rozdílech od ortodoxní teorie superstrun, tj. skutečnosti, že v tomto přístupu hrají extra dimenze zcela jinou roli a odpadá i hlavní argument pro zavedení supersymetrie (problém hierarchie totiž neexistuje) ani slovo. Informace o tomto novém směru vývoje nenajdete ani na oficiální webové stránce superstrun či na hojně a pravidelně zásobované webové stránce překladatele. A přitom ohlas na práce [34–38] je obrovský.

8 Báječný překlad pod psa

Překladatel *Elegantního vesmíru* říká v informaci o knize na Neviditelném psu

Český překlad, pořízený Lubošem Motlem, je podle hlasů několika prvních čtenářů, kteří knihu doslova shtli během dvou dní, „skutečně výborný“ a překladatel „si dobře poradil i s americkými reáliemi“.

Luboši Motlovi by neškodilo trochu skromnosti a přeji mu, aby se k ní časem ve vlastním zájmu dopracoval. S americkými reáliemi stop, palců apod. si možná poradil dobře, dobrý je i nápad s Machem a Šebestovou, huře ovšem dopadlo jeho zpracování reálií obecně kulturních a v řadě případů i překlad odborných pasáží.

Na jeden z dvou překladatelských prohřešků, za něž by se měl červenat až po uši, ho upozornil Jan Novotný v Literárních novinách a je proto v dotisku již odstraněn (záměna Pána za lorda Eddingtona). Druhý nalezne čtenář na straně 24 i v dotisku a může tak hádat, co měl autor, resp. překladatel, na mysli výrokem

Einstein jednoduše předběhl dobu. Po více než půlstoletí se jeho sen o jednotné teorii stal svatým zaklínadlem moderní fyziky.

Zajímalo by mne, kdo z čtenářů vytušil, že ono „svaté zaklínadlo“ vzniklo z anglického „Holy Grail“, výrazu, pro nějž nemáme lepší krátký český ekvivalent než „svatý grál“ a jehož význam nelze v žádném případě přeložit jako Luboš Motl. Jeho překlad je o to nepochopitelnější, že v úvodní části 9. kapitoly přeložil Holy Grail ve vazbě *Holy Grail of modern science* správně jako *svatý grál moderní vědy*.

Nesdílím nadšení většiny recenzentů českého překladu ani pokud jde o překlad fyzikálních pojmů. V té části, kde se cítím nejvíce doma, tj. asi třetině textu věnovaného standardnímu modelu, je spousta míst, která jsou přeložena zcela mechanicky, bez potřebných úprav, které by českému čtenáři přiblížily obsah výroků. Co si například čtenář představí ve výroku

Oušem v roce 1968 využili experimentátoři na stanfordském urychlovači vzrůstající kapacity techniky ke zkoumání mikroskopických hlubin hmoty...

pod slovy „vzrůstající kapacita techniky“? Pochybuji, že mohutnější urychlovač elektronů, jimiž byly ostřelovány protony, a vylepšený detektor, s jehož pomocí bylo měřeno, podobně jako v Rutherfordově pokusu, úhlové rozdělení rozptýlených elektronů.

Velmi také pochybuji, že z výroku na straně 193

Jestliže sdílíte víru, že zákony fyziky by neměly být rozpolceny na zákony ovládající velké a zákony ovládající malé, a jestliže také věříte, že ...je teorie strun jediným řešením.

čtenář okamžitě pochopí, jaké zákony má autor na mysli a v co že to tedy má věřit. Tak to stojí i v originále, ale od dobrého překladatele bych očekával, že text doplní na „velké vzdálenosti“ a „malé vzdálenosti“, aby bylo vše jasné.

Podobně mechanickým překladem anglických pojmů „atom smasher“ a „collider“ vznikly v češtině neusazené výrazy „drtič atomů“ a „srážkostroj“. Obzvláště první je velmi zavádějící, neboť na urychlovačích (což jsou právě ony „drtiče atomů“) se ve skutečnosti atomy vůbec nesrážejí! Zatímco v angličtině je „atom smasher“ celkem zavedený pojem, v českém jazyce nikoliv a proto prostý výraz „urychlovač“ by byl jistě vhodnější. I pro anglický „collider“ existuje v češtině vhodnější překlad a to „srážec“.

V některých případech překladatel prokázal knize službu vskutku medvědí a zavlekl do ní věcné chyby. Například v překladu poslední věty druhého odstavce na straně 18 čteme

Pokud přijdou do styku, hmota s antihmotou anihilují, vzájemně se „zničí“ a přemění na čistou energii ve formě záblesků světla...

zatímco v originále chybí dodatek „ve formě záblesků světla“. Tento výrok je věcně chybný, neboť při styku hmoty s antihmotou nevzniká obvykle světlo (tedy fotony), ale v případě anihilace nukleonů a antinukleonů (které tvoří převážnou většinu hmoty viditelného vesmíru) především piony. Ty sice také nepředstavují „čistou“ energii, neboť mají nenulovou klidovou hmotnost, ale v odborné hantýrce se za ní často považují, protože nesou nulový baryonový náboj. Podstatou pojmu „anihilace“ je totiž právě **vzájemné vyrušení aditivních vnitřních kvantových čísel** - jako jsou elektrický náboj, baryonový náboj, projekce izospinu, podivnost, půvabnost apod. - při srážkách částic a antičástic. To také znamená, že bychom vlastně měli správně mluvit o anihilaci baryonového náboje, podivnosti, elektrického náboje atd. separátně. Jestliže se například srazí proton s antiprotonem, může vníknout pár elektricky nabitých mezonů K^+K^- .

Je to anihilace - protože mezony K^+ , K^- mají nulový baryonový náboj a tedy baryonové náboje protonu a antiprotonu se skutečně vyrušily - nebo není, neboť tyto mezony mají nenulové podivnosti $+1$ a -1 , které se naopak v tomto procesu teprve rodí? Navíc, a to je také velmi důležité, ne vždy musí při srážce částice a její antičástice k anihilaci dojít! Například proton se může na antiprotonu jen pružně rozptýlit. Je ovšem pravda, že anihilační procesy jsou velmi časté. Smyslem této poznámky je upozornit čtenáře na to, že pojem anihilace je daleko jemnější, než jak o něm hovoří Greene. Tím, že Luboš Motl přeložil „pure energy“ jako „čistou energii ve formě záblesků světla“, nejen že zavedl do textu hrubou chybu, ale prokázal také povážlivou neznalost tohoto klíčového pojmu kvantové teorie pole.

Podobně „vylepšil“ Motl nevhodným překladem slova „rate“ jako „rychlost“ (místo opatrnějšího „míra“) pasáž o spinu a způsobil tak, že v překladu je vecně chybný výrok (viz moje poznámka o spinu) „*rotuje každý elektron ve vesmíru, pořád a navždy, pevnou a nikdy se neměnicí rychlostí.*“

Na řadě míst přispěl Luboš Motl svým překladem k zbytečně agresivnímu tónu knihy. Velmi mne zarazila například věta v části 9. kapitoly, nazvané *V křížové palbě*, v níž se připomínají námitky významných fyziků k teorii strun

Například harvardský fyzik Sheldon Glashow, nositel Nobelovy ceny, spolu se svým tehdejšíím kolegou z Harvardu Paulem Ginspargem veřejně zneuctili experimentální nedostupnost teorie strun.

a to jen proto, že si dovolili říci následující

Místo tradiční konfrontace mezi teorií a experimentem hledají teoretici superstrun vnitřní harmonii, v níž jsou elegance, jedinečnost a krása měřítkem pravdivosti. Existence teorie závisí na magických shodách okolností, zázračných kompenzacích a na souvislostech mezi zdánlivě nesouvisejícími (a občas i neobjevenými) matematickými obory. Máme kvůli těmto vlastnostem přijmout superstruny jako fakt? Může matematika a estetika předčít a vytlačit holý experiment?

Co je na předchozí úvaze „zneuctující“? To, že tito dva významní fyzikové nesdílejí nadšení pro superstruny a dovolují si trvat na experimentu jako základním měřítkem fyzikální relevance a užitečnosti teorie? V originále je použit výraz „disparaged“, jenž má řadu významů, mimo jiné i ono „veřejně zneuctit“. Ale také „zlehčovat“, či „podceňovat“, což jsou výrazy, které podle mého názoru odpovídají obsahu citované úvahy daleko lépe.

Podobně knize neprospěla ani úporná snaha o vykreslení kvantových jevů jako „šíleného“ chování. V originále Greene používá při diskusi kvantových fluktuací různých přívlastků (frenzy, obstreperous, weird), které Luboš Motl všechny přeložil právě tímto termínem. Přeložit například název 4. kapitoly *Quantum Weirdness* jako *Kvantové šílenství* může ovšem jen nezkušený překladatel, který navíc nemá o fyzice ani páru, neboť jeho smysl je *Kvantová tajemnost* (či záhadnost apod.).

Vrcholem „tvůrčího“ přístupu Luboše Motla k překladu je pak následující věta na straně 335:

Neměli bychom pouštět ze zřetele možnost, že nalezneme některý z bombastických důkazů teorie strun, o nichž byla řeč v 9. kapitole.

Vždy jsem se domníval, že bombastická bývají tvrzení (příkladů je v *Elegantním vesmíru* přehršel), ale že může existovat také „bombastický důkaz“, o tom jsem neměl ani tušení, a proto jsem hned při prvním čtení zpozorněl. Když jsem pak získal originál, zjistil jsem, že ona „*možnost, že nalezneme některý z bombastických důkazů*“ je překladem vazby „*the long-shot possibilities for finding evidence of string theory*“, tedy „*nejistou (vzdálenou, otevřenou) možností, že nalezneme svědectví ve prospěch teorie strun*“. Tedy žádný „bombastický důkaz“, naopak docela střízlivé a opatrné konstatování. Jen těžko hledám důvod, jenž mohl vést Luboše Motla k tak absurdnímu a na první čtení podezřelému zkomolení originálu.

Další místo, kde překlad zhoršuje originál, ba činí ho téměř nesrozumitelným, je popis veličin vynášených na osách x a y na obrázcích 7.1 a 7.2, které mají dokumentovat sjednocování tří typů neregulárních sil. Místo, aby překladatel opravil nepochopitelnou dvojnásobnost popisu veličiny na ose x v obr. 7.1 a 7.2, která je již v originále, ještě k ní přidal nevhodný překlad termínu „shorter distance“ jako „kratší vzdálenost“. Vzhledem k tomu, že na obr. 7.2 je jen „vzdálenost“, může čtenář hádat co je vlastně na ose x vyneseno. Správný překlad je přitom „klesající vzdálenost“, vystihující skutečnost, že na ose x je vynesena převrácená hodnota vzdálenosti. Ještě horší je ovšem překlad anglického výrazu „force strength“, veličiny vynášené v obr. 7.1 a 7.2 na ose y , jako „velikost síly“ (to by muselo být v originále „force magnitude“). Obávám se, že v tomto případě nejde jen o jazykovou nešikovnost, ale o zjevné nepochopení samé podstaty věci ze strany překladatele. Výraz „velikost síly“ má v českém jazyce natolik jasný a jednoznačný význam, že ho ani při sebe větší snaze nelze chápat ve smyslu kvadrátu efektivního náboje (viz moje poznámka ke sjednocování sil), což je ve skutečnosti veličina na ose y vynášená. Jako na řadě jiných míst textu, je i výraz „force strength“ použitý v originále natolik vágní, že připouští i správnou interpretaci, překlad „velikost síly“ ovšem již nikoliv.

Vrcholnou ilustrací slabé úrovně překladu je druhá věta části nazvané *Kvantové šílenství*

Pokud jste se ještě nestali obětí stavů závratě, o nichž mluvil Bohr, po výkladu o kvantovém šílenství se vám v hlavě možná rozsvítí.

Zajímalo by mně, zda se někdo z nadšených obdivovatelů překladatelova výkonu pozastavil nad smyslem této věty, jež v originálu zní

If you have not as yet fallen victim to Bohr's dizziness dictum, the quantum weirdness we now discuss should at least make you feel a bit lightheaded.

a jejíž správný (a v první části i jazykově lepší) překlad je v druhé části opačný

Pokud jste zatím nedostali z toho, co říkal Bohr, závrať, z kvantových záhad, o nichž teď bude řeč, vám půjde hlava aspoň trochu kolem.

nebo ještě jednodušeji: *Pokud jste zatím nedostali . . . , z kvantových záhad . . . ji asi dostanete..* Luboš Motl si zjevně neověřil, že „lightheaded“ nemá se světlem v hlavě nic společného, ale že se nad tím, co napsal, nezamyslel, je zarážející. Doufám, že se mu aspoň teď v hlavě rozsvítí.

Podobných příkladů nevhodného či vysloveně chybného překladu je v textu více, zmínil jsem se jen o těch, které mne na první pohled zarazily svým podezřelým obsahem nebo jazykem. Jako poslední uvádím první větu posledního odstavce knihy, která v originálu zní

As we fix our sight on the future and anticipate all the wonders yet in store for us, . . .

což v střízlivém překladu znamená

V okamžicích, kdy své zraky upíráme k budoucnosti a představujeme si všechny ty úžasné věci které nás čekají,...

Motlův překlad

Když své zraky upíráme na budoucnost a předpovídáme zázraky, které na nás čekají,....

zní nejen nabubřele, ale prozrazuje také malý cit pro český jazyk.

9 Nadšení a fanatismus

Chápu nadšení strunařů pro krásu jejich teorie, přesto se domnívám, že i oni by si měli od své práce zachovat určitý kritický odstup. Slova, která čteme na straně 128

Tak vše vypadalo do roku 1984. V památném článku ... ukázali Green a Schwarz, že teorie strun tento jemný konflikt s kvantovou mechanikou řeší do té doby opomíjeným efektem ryze strunné povahy, jemuž se dnes říká Greenův-Schwarzův mechanismus. Ukázali navíc, že výsledná teorie má dostatečnou kapacitu, aby obsáhla všechny čtyři síly, stejně jako veškerou hmotu. S tím, jak se evangelium tohoto úspěchu šířilo mezi fyziky celého světa, opouštěli částicoví fyzikové po stovkách své projekty, aby se vši energií zahájili útok na nejnovější frontě odvěké války lidstva za porozumění nejhlubším zákonitostem fungování vesmíru.

mně zní cize a nabubřele. Chápu, že v dnešní době je hlavním cílem autora svoji knihu prodat, ale slova poslední věty mně silně připomínají doby, kdy naši zemědělci obilí nesklízeli, ale svou práci bojovali za mír.

Elegantní vesmír je plný citací výroků Edwarda Wittena a dalších guru teorie superstrun, z nichž dýchá na můj vkus až příliš velká jistota, že „jdou správnou cestou“. Nebylo by to totiž poprvé v nedlouhé historii fyziky částic, kdy tento pocit po určitou dobu panoval. Příkladem může být dnes již zapomenutá myšlenka tzv. „bootstrapu“, která v druhé polovině 60. let a vlastně až do zrodu kvantové chromodynamiky v roce 1973 byla řadou významných teoretiků považována za teoretický základ „finální teorie“ silných interakcí. V rámci přístupu zvaného *duální resonanční modely*, do něhož patřila i v textu zmíněná Venezianova formule, byly považovány všechny hadrony za stejně elementární a veškeré jejich vlastnosti i interakce měly být přímým důsledkem požadavku analytičnosti matice rozptylu a vnitřní konzistence teorie. „Přirozenost“ myšlenky „demokracie mezi částicemi“ a „krása“ požadavku analytičnosti matice rozptylu se zdály být dostatečným fundamentem pro vybudování úplné teorie silných interakcí. Ještě v létě roku 1972, pár měsíců před objevem asymptotické volnosti a formulací kvantové chromodynamiky, zakončil Gel-Mann na konferenci v Chicagu svou závěrečnou řeč slovy [39]

Na závěr jsem si nechal pár slov o vzrušujících výsledcích teoretického výzkumu silných interakcí, jimiž jsou snahy zkonstruovat duální resonanční teorii hadronů. Tento přístup je velmi blízký přístupu založeném na „bootstrapu“, až na to, že v něm existuje jeden zjevně volný parametr. Všechny existující verze duálních

teorií mají defekty, obzvláště pokud jde o zahrnutí fermionů, přítomnost nehmotných vektorových bosonů, a především v důsledku toho, že rozvoje v duálních smyčkách nedávají dobrý smysl pro jiné než nefyzikální počty dimenzí. Lze ovšem doufat, že až budou do teorie správně zavedeny spin a veličiny popisující v rámci SU3 kvarky, budou problémy odstraněny.

Předchozí slova, obzvláště pak poslední věta, mi připomínají některé pasáže v *Elegantním vesmíru*. Neuplynul ovšem ani rok a vše bylo jinak: bootstrap a duální resonanční modely byly zapomenuty a začala éra renesance kvantové teorie pole, postavené na principu kalibrační invariance. Veneziano zahodil svou formuli a vydatně pomáhal při rozvoji poruchových metod kvantové chromodynamiky.

Podobně jako on, i Witten, Gross, Schwarz, Susskind a další vůdčí osobnosti dnešní teorie superstrun prošli ve své vědecké kariéře dlouhým vývojem od základů standardního modelu, jež sami pomáhali budovat, a teorie superstrun je pro ně přirozeným vyvrcholením celoživotního úsilí. Ukáže-li se v následujícím desetiletí, že superstruny jsou slepá ulička, nebude to pro ně žádná katastrofa. V jiné situaci se ovšem mohou ocitnout ti z mladé generace, kteří neznají nic jiného než superstruny a kteří navíc ztratili kontakt s experimentem. Nadšení pro superstruny je v pořádku, ale fanatická víra v jejich správnost je nebezpečná.

10 Vzkaz učitelům a studentům

V zmíněném úvodním textu na Neviditelném psu varuje Luboš Motl čtenáře

Elegantní vesmír není jednoduché čtení; jeho poselství opravdu pochopí asi jen ti nadanější na fyziku. Ač to mnozí slyší neradi, dílo vytváří jakési dělítko mezi lidmi zvědavými a inteligentními a lidmi ostatními.

a o pár řádků níže dodává na adresu učitelů a studentů

Nechci říct, že bez Elegantního vesmíru nelze žít, kniha je však téměř nezbytnou literaturou pro učitele fyziky, kteří chtějí zůstat v obraze, jakož i pro studenty středních a vyšších škol (a také všech ostatních) se zájmem o fyziku.

Skutečnost, že Luboš Motl dělí lidi na „zvědavé a inteligentní“ a „ostatní“ podle toho zda pochopí a přijmou poselství *Elegantního vesmíru*, je projevem ztráty soudnosti a s tím spojené schopnosti sebekritiky. Souhlasím s první částí jeho druhého citátu, na rozdíl od něj však tvrdím, že bez této knihy mohou klidně žít nejen učitelé středních a vysokých škol, ale i všichni zájemci o fyziku, a to hned z několika důvodů.

Předně, to, o čem kniha především vypráví, tedy teorie superstrun, má s fyzikou jen velmi málo společného. Jde a pravděpodobně ještě velmi dlouho půjde o matematiku, která je jistě krásná, ba možná i fascinující, ale její relevance pro objasnění fyzikálních jevů kolem nás je, aspoň prozatím, nulová. To, že teorie superstrun je potenciálně schopná řadu těchto jevů vysvětlit, resp. spočítat dnes volné parametry standardního modelu, je sice slibné, ale dokud tak aspoň v jednom případě opravdu neučiní, a dokud se nestane experimentálně vyvratitelnou, zůstane tím, čím je dnes.

Teorie strun by v žádném případě neměla ve vědomí studentů a učitelů zatlačit do pozadí potřebu modernější výuky standardních oblastí moderní fyziky, a to právě teorie relativity

a kvantové teorie. Nesouhlasím s názory některých nadšených čtenářů, že i v tomto ohledu je *Elegantní vesmír* skvělým zdrojem informací. Pokud někdo tvrdí, že teprve z této knihy pochopil teorie relativity či kvantovou teorii, znamená to, že jim nerozumí dodnes. Existuje řada daleko lepších populárně-vědeckých knih či jiných zdrojů informací o těchto oborech. Pokud jde o relativitu, dodnes je nepřekonaná knížka Einsteina a Infelda *Fyzika jako dobrodružství poznání* [8]. V případě kvantové teorie a jejich souvislostech mohu vřele doporučit krásnou knihu *Hledání nekonečna* [40], jejíž český překlad je sice již rozebrán, ale originál vyšel loni znovu. Moderně napsaná je i učebnice *Fyzika kolem nás* [25]. Koho zajímá, jak se dělají experimenty na urychlovači v CERN a jinde, může se o tom přístupnou formou poučit z webového materiálu [41]. Pro mladou generaci je pak nejlepším zdrojem informací, a to nejen o standardním modelu, ale i o jednotných teoriích pole, hypertextový materiál *Particle Adventure* [23], jenž existuje také v českém překladu [24]. Historie vývoje standardního modelu je zasvěcenou a poutavou formou popsána v článku J. Hořejšího [42].

A konečně, svět kolem nás nám předkládá řadu zajímavějších otázek, než je konstrukce teorie strun, otázek, na něž těžko hledáme odpověď a které jsou přitom dostupné experimentálnímu zkoumání. Mám na mysli především oblast astrofyziky, nebo jak se dnes stále častěji říká astročásticové fyziky. Otázka původu a složení tzv. tmavé hmoty a tmavé energie ve vesmíru je patrně ta největší hádanka, na jejímž řešení se podílejí experimentální i teoretičtí fyzikové z částicové fyziky i astrofyziky, ale existuje i řada dalších: původ gigantických výronů fotonů z mimogalaktických zdrojů, původ a složení vysokoenergetického kosmického záření apod. I v rámci standardního modelu a jeho přímých rozšíření existuje několik důležitých nedorozřešených problémů: původ a mechanismus narušení CP invariance, (ne)nulovost hmotností neutrin, matematicky striktní důkaz uvěznění kvarků a gluonů a podobně.

Suma sumárum: pokud někdo neví, co to je heterotická struna, Calabi-Yauova varieta, či jak se žije ve světě bez času a prostoru, ale ví, proč je atom vodíku stabilní, proč svítí sluníčko, nebo proč kvarky neexistují jako izolované částice, může klidně spát. Bude v obraze, i když ne podle Luboše Motla.

11 Slovo na závěr

Cílem této kritické úvahy není čtenáře od četby *Elegantního vesmíru* odradit. Naopak, domnívám se, že při zachování kritického pohledu a zdravé skepse může být četba knihy užitečná jako podnět k podrobnějšímu studiu řady otázek v knize rozebíraných. Tak to bylo i v mém případě: nesouhlas s některými autorovými tvrzeními, podložený často jen nejasným pocitem nesprávnosti, mne přiměl k podrobnějšímu studiu originálních pramenů a v případě extra dimenzí mi dokonce otevřel oči.

Hlavním důvodem pro její sepsání je moje přesvědčení, že styl, jakým je kniha napsaná, i kampaň kolem jejího vydání, je příkladem toho, jak by věda popularizována být neměla. Vědu bychom prostě neměli prodávat jako oplatky či prací prášky. Měřit úspěch populárních knih o vědě srovnáním se Spice Girls je nejen pochybné, ale i nebezpečné. Popularizace vědy je velmi důležitá, ale rozhodující není, tak jako u oplatek či pracích prášků, kolik exemplářů se té či oné knihy prodá, ale kolik mladých lidí přivede k rozhodnutí vědě se věnovat. A také do jaké míry přesvědčí daňové poplatníky, že stojí za to ji financovat. V obou případech je předpokladem

úspěchu serióznost. A právě tu v *Elegantním vesmíru* postrádám.

Poděkování

Děkuji Jiřímu Dolejšimu, Jiřímu Dvořákovi, Jiřímu Formánkovi, Jiřímu Hořejšimu, Jiřímu Chudobovi, Jiřímu Mašíkovi, Jiřímu Ramešovi, Kamilu Sedlákovi a Stanislavu Němečkovi za cenné připomínky k textu a Jiřímu Ramešovi a Pavlu Kolářovi za pomoc s jeho redakcí.

Literatura

- [1] G. 't Hooft: Int. J. Mod. Phys. A (2001), 2895
- [2] A. Pais: *Subtle is the Lord*, Oxford University Press, 1982
- [3] H. A. Lorentz: ve sborníku *Staryje a novyje problemy fyziky*, Nauka, Moskva 1970, ed. J. Frankfurt, str. 33
- [4] H. A. Lorentz: Proc. K. Ak. Amsterdam 6 (1904), 809, též v H. A. Lorentz: *Collected Papers*, Nyhof, the Hague, 1936, Vol. 5, str. 172
- [5] H. A. Lorentz: *The theory od electrons*, Dover Publications, New York, 1952, str. 321
- [6] A. Einstein; Ann. Phys. 17 (1905), 891
- [7] A. Einstein citován v ref. [2], str. 178
- [8] A. Einstein, L Infeld: *Fyzika jako dobrodružství poznání*, Aurora, Praha, 2000
- [9] J. Mehra, H. Rechenberg: *Historical Development of Quantum Theory*, vol. 1, Springer Verlag, 1982
- [10] H. Kragh: *Max Planck: the reluctant revolutionary*, Physics World, prosinec 2000, str. 31
- [11] H.-G. Schöpf: *Von Kirchhoff bis Planck*, Akademie Verlag, Berlin, 1978
- [12] M. Planck: Ann. Phys. 3 (1900), 719
- [13] M. Planck: Ann. Phys. 3 (1900), 730
- [14] Lord Rayleigh, Philos. Mag. 49 (1900), 539, též v [11], str. 164
- [15] M. Planck: *Verhandlungen DPG 2* (1900), 202, též v [11], str. 167
- [16] M. Planck: Ann. Phys. 4 (1901), 553, též v [11], str 170
- [17] A. Einstein; Ann. Phys. 17 (1905), 132
- [18] A. Hermann: *Frühgeschichte der Quantenteorie*, Mosbach, Baden, str. 32, též v [2], str. 370
- [19] <http://www.supestingtheory.com>

- [20] Yu. Golfand, E. Likhtman: JETP Lett. 13 (1971), 323
- [21] D. Volkov, A. Akulov: Phys. Lett. 46B (1973), 109
- [22] J. Wess, B. Zumino: Phys. Lett. 49B (1974), 52
- [23] <http://particleadventure.org>
- [24] <http://www-hep.fzu.cz/adventure>
- [25] M. Rojko, J. Dolejší, K. Kuchař, D. Mandlíková: Fyzika kolem nás, Scientia, Praha, 1995
- [26] <http://www-hep.fzu.cz/dalnice/QuantumScattering/wave-sim.html>
- [27] M. Fabinger: LN 7.7. 2001
- [28] V. Beresteckij: Nulový náboj, Čs. čas. fyz.A
- [29] D. Gross: Twenty five years of asymptotic freedom, Nucl.Phys.Proc.Suppl. 74 (1999), 426, hep-ph/9809060
- [30] P. A. M. Dirac: Directions in Physics, John Wiley, New York, 1978, str. 36
- [31] K. Wilson: Rev. Mod. Phys. 55 (1983), 583
- [32] K. Wilson: Scientific American 241 (1979), 158, český překlad v Pokroky matematiky, fyziky a astronomie 31 (1986), 1
- [33] K. Popper: Věčné hledání, Prostor, Praha, 1995, str. 38
- [34] N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos, G. Dvali: Phys. Lett. B429 (1998), 263
- [35] I. Antoniadis, N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos, G. Dvali: Phys. Lett. B436 (1998), 257
- [36] N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos, J. Russel: Phys. Rev. D63 (2001), 064020
- [37] K. Dienes, E. Dudas, T. Gherghetta: Nucl. Phys. B537 (1999), 47
- [38] K. Dienes, E. Dudas, T. Gherghetta: Phys. Lett. B436 (1998), 55
- [39] M. Gell-Mann: Sborník konference v FNAL 1972
- [40] G. Fraser, E. Lillestol, I. Sellevag: The Search for Infinity, Read Consumer Books Ltd., London, 1994, český překlad: Hledání nekonečna, Columbus, 1996, přeložil J. Rameš
- [41] J. Rameš: Fyzika na urychlovači LEP v CERN
<http://www-hep.fzu.cz/~rames/outreach/text.html>, též v J. Rameš: příspěvek do sborníku *Nápaditá fyzika*, ed. J. Kluiber, ARSCI, Praha, 2000
- [42] J. Hořejší: Historie standardního modelu mikrosvěta, dostupné na <http://www-hep.fzu.cz/~rames/outreach/>