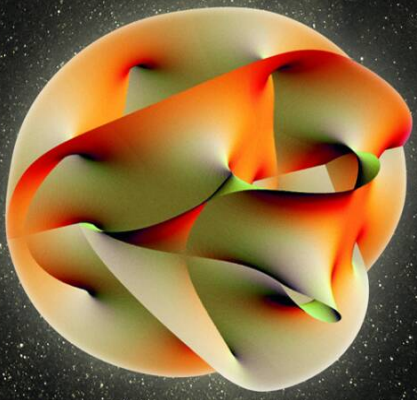
edice **aliter**

Michio
Kaku

a Jennifer
Thompsonová



DÁLE NEŽ EINSTEIN

Hledání teorie vesmíru

edice **aliter**

Ukázka elektronické knihy

edice **aliter** — svazek **79**

Michio
Kaku
a Jennifer
Thompsonová

DÁLE NEŽ EINSTEIN

Hledání teorie vesmíru

Argo a Dokořán 2022

Z angličtiny přeložil Jiří Langer.

Beyond Einstein
Copyright © 1995 by Michio Kaku and Jennifer Thompson
All rights reserved.
Czech edition © Argo, Dokořán, 2022
Translation © Jiří Langer – dědicové, 2009, 2022

ISBN 978-80-257-3785-9 (váz.)
ISBN 978-80-257-4086-6 (e-kniha)

Obsah

Předmluva _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 7

I. Teorie vesmíru _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 11

1. Superstruny: teorie všeho? _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 13
2. Honba za unifikací _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 28
3. Kvantové hádanky _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 48
4. Záhada nekonečen _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 68
5. Top kvark _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 89

II. Supersymetrie a superstruny _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 97

6. Zrod teorie superstrun _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 99
7. Chybějící článek: symetrie _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 118
8. Supersymetrie _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 134

III. Za hranice čtvrtého rozměru _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 149

9. Co bylo před velkým třeskem _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 151
10. Tajemství temné hmoty _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 167
11. Kosmické struny _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 180
12. Cesta k dalším rozměrům _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 189
13. Návrat do budoucnosti _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 206
14. Dále než Einstein _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 221

Poznámky _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 232
Literatura _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 241
Rejstřík _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 243

Ukázka elektronické knihy

Nápad na tuto knihu se zrodil v polovině padesátých let, když byl Michio ještě dítě a vyrůstal v Kalifornii. Tehdy poprvé slyšel o jednotné teorii pole.

Když byl totiž ve čtvrté třídě, dočetl se o smrti velikého vědce, Alberta Einsteina. Dozvěděl se, že Einstein za svůj život učinil řadu velikých objevů, které ho proslavily po celém světě, že však zemřel dříve, než mohl dokončit své největší dílo. Michia jeho příběh okouzlil.

Když to byl tak veliký muž, uvažoval, tak to nedokončené dílo muselo být něco úžasného – koruna jeho vědeckého snažení.

Plný zvědavosti prohledal veřejné knihovny v Palo Alto ve snaze zjistit o jednotné teorii pole více, nenašel však jedinou knihu nebo článek, kde by se o tomto tématu něco dozvěděl. Našel několik vysokoškolských textů o kvantové mechanice, pro osmiletého chlapce však byly téměř zcela nesrozumitelné. A navíc, o jednotné teorii pole v nich nebyla sebemenší zmínka.

Tak se obrátil na své učitele, ale ani od nich se nic nedozvěděl. Ani fyzikové, se kterými se seznámil později, mu na dotaz o Einsteinově poslední teorii nedokázali odpovědět. Většina z nich si myslela, že snaha sjednotit čtyři základní síly vesmíru je předčasná, ne-li navždy odsouzená k neúspěchu.

O léta později, když už Michio pracoval na teorii strun (která byla tehdy navržena jako teorie silné interakce), získal i on k problematice cyničtější přístup a začal věřit, že hledání jednotné teorie pole je honba za chimérou.

V sedmdesátých letech skoro nikdo nebral vážně přesvědčení fyziků Johna Schwarze a Joela Scherka, že důmyslnější verze teorie strun je tou bájnou jednotnou teorií pole, která do té doby unikala Einsteinovi i ostatním fyzikům.

Nakonec však v roce 1984 nastal teoretický průlom, jenž způsobil dramatický obrat v mínění vědců. „Superstruny", jež Schwarz a Scherk navrhli o léta dříve, začaly být pokládány za nejlepšího (a jediného) kandidáta na jednotnou teorii pole.

I když se na detailech teorie stále pracuje, tento objev již otřásl světem fyziky. Michio a Jennifer Thompsonová už napsali společně knihu o jaderné energii, a tak nás lákalo sejít se nad společným dílem znovu a odpovědět na otázku, která pálila Michia o třicet let dříve: „Co je to jednotná teorie pole?"

Snažili jsme se živým a srozumitelným způsobem napsat knihu, která se obrací na zvědavého laika, knihu o „superstrunové revoluci" podloženou vhledem a znalostmi, které může mít jen vědec pracující v oboru. Jsme přesvědčeni, že kombinace našich zkušeností teoretického fyzika a spisovatelky byla pro tento účel ideální.

Chtěli jsme také čtenářům poskytnout obsáhlý pohled do světa fyziky a zasadit teorii superstrun do kontextu fyziky posledních tří set let. Řada knih se věnuje některé oblasti moderní fyziky – teorii relativity, kvantové mechanice či kosmologii – širší souvislosti fyziky však pomíjejí. Naše kniha je jiná v tom, že se snaží ukázat, jak jednotlivé oblasti výzkumu zapadají do celkového obrazu. Co říká jednotná teorie pole ke kvantové mechanice? V jakém vztahu je k ní Newtonova teorie gravitace? To je jen příklad otázek, které se *Dále než Einstein* snaží zodpovědět.

V této knize jsme se soustředili zejména na jednotný popis *hmoty* pomocí teorie superstrun. Rozebíráme různé vlastnosti subatomárních částic, kvarků, leptonů, Yangových-Millsových částic, gluonů a dalších a naznačujeme,

jak je lze popsat jako různé vibrace superstruny. Jejím sourozencem je kniha *Hyperprostor*, ve kterém se Michio nesoustřeďuje jen na vlastnosti *prostoru a času*, ale hlavně na možnost existence paralelních vesmírů, zakřivení času a desátou dimenzi.

Jsme nadšeni novými průlomy ve fyzice a doufáme, že jsme napsali knihu nejen dostatečně informativní, ale i zajímavou, zkrátka takovou, jakou by si Michio byl rád přečetl ve svém mládí.

New York, N.Y. — Michio Kaku
Williamstown, Ma. — Jennifer Thompsonová

Ukázka elektronické knihy

I.
Teorie vesmíru

1.

Superstruny: teorie všeho?

Základy moderní fyziky otřásá nová teorie, která rychle mění dlouho hýčkané, ale bohužel už zastaralé představy o našem vesmíru a nahrazuje je novou matematikou, ohromující svou krásou a elegancí. Přestože dosud zůstává řada nevyřešených otázek, týkajících se této teorie, nadšení vědců nad ní je téměř hmatatelné. Na celém světě se ozývají hlasy předních fyziků, že jsme svědky zrodu nové fyziky.

Říká se jí „teorie superstrun" a její rozvoj během poslední dekády byl vyvrcholením celé řady průlomů ve fyzice, což naznačuje, že se snad konečně blížíme k jednotné teorii pole – úplnému matematickému popisu, který by obsáhl všechny známé síly ve vesmíru.

Zastánci teorie superstrun dokonce tvrdí, že je to možná konečná „teorie vesmíru".

Při zavádění nových myšlenek bývají fyzikové zpravidla opatrní. Avšak princetonský vědec Edward Witten tvrdí, že teorie strun bude dominovat světu fyziky příštích padesát let. „Superstruny jsou skrz naskrz zázrak," prohlásil nedávno. Na jedné fyzikální konferenci posluchače ohromil prohlášením, že možná zažíváme tak velkou revoluci ve fyzice, jakou byl zrod kvantové teorie. Dodal ještě, že tato revoluce „povede k novému chápání podstaty prostoru a času, jež bude představovat nejdramatičtější vývoj v této oblasti od vzniku obecné teorie relativity."[1]

I časopis *Science*, zpravidla velmi umírněný ve svých komentářích, srovnal zrod teorie superstrun s objevem svatého Grálu. Napsal též, že „tato revoluce může mít stejně

hluboké důsledky, jako měl v matematice přechod od reálných ke komplexním číslům."[2]

Dva z tvůrců této teorie, John Schwarz z Kalifornského technického institutu a Michael Green z Queen Mary College v Londýně, ji označili – trochu provokativně – jako teorii všeho.[3]

Celé toto vzrušení pramení z toho, že teorie superstrun by mohla vysvětlit *všechny* známé fyzikální jevy – od pohybu galaxií až po dynamiku jádra v atomu. Teorie skýtá i udivující předpovědi týkající se původu našeho vesmíru, počátku času a existence mnohadimenzionálních vesmírů.

Představa, že obrovské množství informací o našem fyzikálním vesmíru, které se podařilo obtížně nashromáždit během několika tisíc let pečlivého zkoumání, lze shrnout do jediné teorie, je pro fyzika omamná.

Pro přiblížení uveďme, že němečtí fyzikové svého času vytvořili encyklopedii fyzikálních věd pod názvem *Handbuch der Physik*, obrovské dílo, které shromáždilo existující fyzikální vědomosti. *Handbuch* zabírá v knihovně celou polici, a není divu, vždyť je to vrcholný soubor vědeckého učení. Je-li superstrunová teorie správná, pak se všechny informace obsažené v této encyklopedii dají v principu odvodit *z jediné rovnice*.

Na superstrunové teorii vzrušuje fyziky nejvíce ta skutečnost, že nás nutí podstatně revidovat naše chápání podstaty hmoty. Od časů starých Řeků panovala ve vědě představa, že základními stavebními kameny vesmíru jsou drobounké částice, v nedávné teorii chápané jako bodové. Démokritos pro ně vytvořil slovo *atomos* (nedělitelné), aby zdůraznil jejich povahu jako základních, nezničitelných částeček hmoty.

Podle teorie superstrun jsou však těmi základními stavebními prvky drobounké vibrující strunky. Je-li tomu tak, pak všechno na světě, od protonů a neutronů přes naše vlastní těla až po nejvzdálenější hvězdy, je složeno z těchto droboulinkých kmitajících strunek. Nikdo je nikdy neviděl,

na to, aby se daly pozorovat, jsou příliš drobné – jsou ještě sto × miliarda × miliarda drobnější než protony. Svět se pouze jeví jako složený z bodových částic proto, že naše přístroje jsou příliš hrubé na to, aby nepatrné strunky odhalily.

Na první pohled se může zdát divné, že tak jednoduchý trik – náhrada bodových částic strunkami – může vysvětlit bohatou rozmanitost částic a sil (které vznikají výměnou částic), s níž se v přírodě setkáváme. Teorie superstrun je vskutku tak elegantní a široká, že z ní plyne možná existence miliard a miliard různých typů částic a substancí ve vesmíru, jež mají překvapivě rozdílné vlastnosti.

Teorie superstrun může poskytnout koherentní všezahrnující obraz přírody podobným způsobem, jako lze použít strunu houslovou k „sjednocení" všech hudebních tónů a zákonů harmonie. Historicky vznikla hudební pravidla po tisíciletém zkoumání různých hudebních zvuků metodou pokusu a omylu. Dnes tyto rozličné zákony umíme odvodit z jednotného obrazu, totiž z toho, že struna může znít na různých frekvencích, z nichž každá představuje určitý tón hudební stupnice. Tóny vytvářené kmitající strunou, jako například jednou čárkované C, nejsou samy o sobě fundamentálnější než tóny jiné. Jako základní se ale jeví skutečnost, že jedna jediná představa, představa kmitající struny, může vysvětlit zákony harmonie.

Znalost fyziky houslové struny tedy poskytuje vyčerpávající teorii hudebních tónů a umožňuje předpovídat harmonie a akordy nové. Podobně jsou podle teorie superstrun základní síly a částice, které v přírodě nacházíme, jen rozdílnými mody kmitů vibrujících strun. Například gravitační interakce odpovídá nejnižšímu vibračnímu modu kruhové uzavřené struny (smyčky). Vyšší excitace struny vytvářejí různé formy hmoty. Z hlediska teorie superstrun není žádná síla či částice fundamentálnější než ty druhé – všechny jsou jen různými vibračními rezonancemi strun. Právě proto tento jediný rámec, teorie superstrun, dokáže

v principu vysvětlit, proč je vesmír zabydlen tak bohatou populací rozdílných částic a atomů.

Odpovědí na prastarou otázku „Co je to hmota?“ tedy je, že hmota sestává z částic, jež jsou různými vibračními mody strun, tedy analogiemi například tónů popsaných notami D a G. „Hudba“ vytvářená strunou je sama hmota.

Hlavním důvodem, proč fyziky na celém světě nová teorie vzrušuje, je to, že se zdá řešit fundamentální fyzikální problém století: jak jednotně popsat čtyři základní síly přírody. Skutečnost, že tyto čtyři síly lze pokládat za různé projevy jedné sjednocené síly, kterou vládne superstruna, to je důvod k nadšení.

Čtyři síly

Síla je obecně něco, co může pohybovat nějakým objektem. Magnetismus je silou, protože hýbe magnetickou střelkou. Elektřina působí silově, protože díky ní nám mohou vstávat vlasy na hlavě. Během posledních dvou tisíc let jsme nakonec došli k tomu, že existují jen čtyři fundamentální síly: gravitace, elektromagnetismus a dvě síly nukleární, silná a slabá. Ostatní síly, které lidé rozpoznali už pradávno, jako je síla větru či oheň, se dají vyložit pomocí těchto sil základních. Jednou z největších záhad vesmíru se dlouho zdálo, proč se tyto síly projevují tak rozdílně. Během posledních padesáti let se fyzikové potýkali s problémem, jak tyto síly popsat jednotným způsobem.

Aby čtenář pochopil důvod všeho vzruchu nad teorií superstrun, povíme si nejdříve něco o jednotlivých silách a ukážeme, jak rozdílně se jeví.

Gravitace je přitažlivá síla, která drží pohromadě sluneční soustavu, udržuje Zemi a planety na oběžných drahách a brání tomu, aby hvězdy explodovaly. V našem vesmíru je dominující silou. Působí na nepředstavitelných vzdálenos-

tech miliard světelných let, až k nejvzdálenějším hvězdám, a zodpovídá za pohyb galaxií vesmírem, právě tak jako za pád jablka ze stromu či za skutečnost, že se naše nohy udrží na podlaze.

Elektromagnetická síla drží pohromadě atom a způsobuje, že negativně nabité elektrony krouží kolem pozitivně nabitého jádra. A protože elektromagnetická síla určuje strukturu atomů, je i silou, která vládne chemii.

Na Zemi je elektromagnetická síla někdy natolik silná, že převáží nad gravitací. Třeme-li hřeben, povede se nám s ním posbírat ze stolu útržky papíru. Elektromagnetická síla je v tomto případě silnější než dolů působící síla gravitační a nad zbývajícími dvěma silami vítězí při vzájemném působení částic tak dlouho, dokud je vzdálenost mezi nimi větší než 0,0000000000001 cm, což je zhruba rozměr jádra.

(Asi nejznámějším projevem elektromagnetického působení je světlo. Při vybuzení atomu se pohyb elektronů kolem atomů stává neregulárním a elektrony vyšlou světlo a další formy záření. Takto vznikají různé formy elektromagnetického záření, jako jsou rentgenové paprsky, viditelné světlo, tepelné záření, mikrovlny produkované radarem či vlny radiové. Rádio a televize demonstrují různé projevy elektromagnetické síly.)

Uvnitř atomového jádra převažují nad elektromagnetickou silou silná a slabá (jaderná) interakce. Silná interakce – či silná síla – drží protony a neutrony uvnitř jader. Protony mají všechny stejný kladný náboj, takže ponechány jen elektromagnetickému působení by se rozběhly od sebe a jádro by se roztrhalo. Silné síly tedy musí přebít odpudivou elektrickou sílu mezi protony. Zhruba řečeno, jemná rovnováha mezi odpudivými a přitažlivými silami se v jádře udrží jen u poměrně mála různých jader, to je důvodem, proč v přírodě existuje jen okolo sta prvků. Jestliže jádro obsahuje více než zhruba sto protonů, odpudivé elektromagnetické síle neodolá ani silná jaderná interakce.

Ukázka elektronické knihy

Uvolnění silné jaderné interakce může mít katastrofické důsledky. Když se rozbije jádro uranu v atomové bombě, uvolní se explozivně obrovská energie vázaná v jádře a dojde k jadernému výbuchu. Energie uvolněná z určitého množství uranu více než milionkrát převyšuje energii uvolněnou při výbuchu dynamitu stejné váhy. Silná jaderná síla může poskytnout mnohem více energie než chemická exploze, při které se uplatňuje síla elektromagnetická.

Existence silné jaderné síly také vysvětluje, proč svítí hvězdy. Hvězda je vlastně obrovská nukleární pec, v níž se uvolňuje nukleární energie v atomových jádrech. Kdyby se sluneční světlo získávalo místo termonukleární reakce spalováním uhlí, produkovala by se ho jen nepatrná část a Slunce by se rychle celé proměnilo v popel. Bez slunečního světla by Země vychladla a život by vymizel. Bez silné nukleární interakce by nesvítily hvězdy, nebylo by žádné Slunce a na Zemi by neexistoval život.

Kdyby byla ve hře jen silná nukleární síla, byla by většina jader stabilních. Ze zkušenosti ale víme, že některá jádra, například jádro uranu s 92 protony, stabilní nejsou, samovolně se rozpadají na menší fragmenty a nějaký zbytek. Mluvíme o radioaktivitě. To naznačuje, že zde působí ještě nějaká další síla, odpovědná právě za radioaktivitu a rozpad velmi těžkých jader. Té se říká slabá interakce nebo slabá síla.

Slabá interakce je tak jemná a prchavá, že na ni v běžném životě nenarazíme. Pociťujeme však její efekty nepřímé. Když vedle kusu uranu postavíme Geigerův-Müllerův počítač, slyšíme kliknutí, vyvolaná radioaktivitou jader, již působí slabá interakce. Energie uvolněná při radioaktivním rozpadu, tedy energie produkovaná slabou interakcí, se projeví jako teplo. Za vysokou teplotu zemského jádra je částečně zodpovědný rozpad radioaktivních prvků. Uvolní-li se toto teplo blíže povrchu, má to za následek divoké vulkanické jevy, jež se odehrávají na zemském povrchu. Podobně se slabá interakce ruku v ruce se silnou podílí na

Ukázka elektronické knihy