

edice **aliter**

Anthony
Zee

O GRAVITACI

edice **aliter**

edice **aliter** — svazek **69**

Anthony
Zee

O GRAVITACI

**Krátké seznámení
se závažným oborem**

Argo a Dokořán 2019

Přeložil Jan Klíma

On Gravity

Copyright © 2018 by Princeton University Press

Illustration copyright © 2019 LIGO/T. Pyle

Translation © Jan Klíma, 2019

ISBN 978-80-257-2862-8 (váz)

ISBN 978-80-257-3167-3 (e-kniha)

Všem, kdo mě učili gravitaci

OBSAH

Předmluva	9
Historie	13
Prolog: Kosmická píseň	15

ČÁST PRVNÍ

1 Přátelské soutěžení mezi čtyřmi interakcemi	23
2 Gravitace je absurdně slabá	29
3 Detekce elektromagnetických vln	40
4 Od vln na vodě ke gravitačním vlnám	47

ČÁST DRUHÁ

5 Strašidelné působení na dálku	53
6 Genialita a odvaha: na scénu vstupuje pole	56
7 Einstein, likvidátor relativity	67
8 Einsteinův nápad: prostoročas se zakřivuje	73
9 Jak zachytit něco tak éterického, jako jsou vlnky prostoročasu	83

ČÁST TŘETÍ

10 Vybrat si co nejvýhodněji	95
11 Symetrie: Fyzika nesmí záviset na fyzikovi	106
12 Ano, chci si vybrat nejvýhodněji, ale jaká je nabídka?	109

13 Akce pro Einsteinovu gravitaci	118
14 Musí to tak být	120

ČÁST ČTVRTÁ

15 Od zmrzlé hvězdy k černé díře	125
16 Kvantový svět a Hawkingovo záření	133
17 Gravitony a podstata gravitace	141
18 Záhadné zprávy z temné strany	150
19 Nové okno do vesmíru	159

DODATEK: CO TO JE ZAKŘIVENÝ PROSTOROČAS?	163
--	-----

SLOVO NA ZÁVĚR	175
----------------	-----

POZNÁMKY	177
----------	-----

LITERATURA	197
------------	-----

REJSTŘÍK	199
----------	-----

Předmluva

Když jsem napsal rozsáhlou učebnici o Einsteinově gravitaci nazvanou příhodně *Einstein Gravity in a Nutshell* (*Einsteinova gravitace v kostce*, v dalším textu označovaná zkráceně *GNut*), trochu se mě dotklo, když si někdo na Amazonu žertem stěžoval, že se mu sice knížka líbila, ale musel požádat kamaráda, aby mu ji nosil. (Padavka! Cožpak už studenti fyziky nechodí cvičit? Měla by se zavést povinná tělesná výchova jako za mých bakalářských let!) Na druhé straně váha knihy¹ samozřejmě odráží vnitřní krásu a důležitost fyzikálního oboru, který popisuje.

Každopádně když si moje nářky poslechla redaktorka nakladatelství *Princeton University Press* Ingrid Gnerlichová, s níž už řadu let spolupracuji, dostali jsme nápad, že bych pro změnu napsal něco kratšího. Měl jsem pocit, že když jsem napsal o Einsteinově gravitaci tlustý spis, mám nárok na to, abych o ní napsal i stručnou knihu.

O Einsteinově gravitaci jsem v roce 1989 napsal i populární knihu s názvem *An Old Man's Toy: Gravity at Work and Play in Einstein's Universe* (*Hračka starého pána: Gravitace při práci a hře v Einsteinově vesmíru*), která později vyšla s pozměněným názvem *Einsteinův vesmír: gravitace při práci a hře*. Dále se na ni budu odkazovat jako na *Toy*. Tato nejnovější kniha leží svou náročností někde mezi kostkou a hračkou.

Jednou z motivací napsat tuto knihu byla snaha pomoci lidem překlenout propast mezi populárními knihami a učebnicemi Einsteinovy gravitace. Mohli byste přečíst tolik populárních knih, až by vás z toho rozbolela hlava, ale když chcete Einsteinově gravitaci opravdu porozumět, neobejdete se bez skutečné učebnice. Z e-mailů, které dostávám, vím, že je mnoho lidí, kteří by tuto propast rádi překonali. Ti mohou tuto knihu považovat za první krok ke studiu *Gravitace v kostce*.

Einsteinova teorie gravitace je popravdě řečeno matematicky mnohem jednodušší než kvantová mechanika. Trochu matematiky, zvláště tu nutnou k popisu zakřiveného prostoru, lze nalézt v dodatku. Tento dodatek je i dobrým testem: pokud ho budete moct bez problémů prostudovat, jste připraveni číst *GNut*.

Na druhé straně pokud se s dodatkem nechcete trápit, můžete tuto knihu číst prostě jako populární knížku o Einsteinově teorii gravitace napsanou na o něco vyšší úrovni, než je obvyklé.

Vzhledem k této poloze mezi kostkou a hračkou mám za to, že si mohu dovolit nejít při vysvětlování problémů tak do hloubky. V opačném případě bych musel použít víc matematiky – více slov by nepomohlo. Pokud by někdo měl zájem o hlubší výklad, najde podrobnosti v *GNut*.

Týden potom, co jsem podepsal smlouvu na tuto knihu, došlo k detekci gravitačních vln, což se přirozeně promítlo do textu knihy, která gravitačními vlnami začíná i končí. Nepouštím se ale do podrobného popisu detektoru a záznamů měření; ne že bych to nepovažoval za důležité, ale protože v tomto směru je nejlépe přečíst si to od lidí, kteří detektory navrhli, sestrojili a měření skutečně provedli.

Místo toho – jak se sluší a patří na profesora teoretické fyziky – se soustřeďuji na myšlenkový rámec Einsteinovy

teorie – a na, bez přehánění, její krásu. Ač nerad, musel jsem vypustit některá témata. Kupříkladu se čtenář nedozví nic o třech klasických testech Einsteinovy gravitace nebo o Arthuru Eddingtonovi², který pozorováním zakřivení světelných paprsků v gravitačním poli přispěl k tomu, že se nová teorie dostala do povědomí veřejnosti. Na druhé straně mluvím o Faradayovi, Maxwellovi a Hertzovi, protože chci zdůraznit, že v teoretické fyzice hrají fundamentální roli pojmy pole, vlny a akce. Po seznámení s elektromagnetickými vlnami můžeme pak přirozeně přejít ke gravitačním vlnám. V případě knihy malého rozsahu si prostě musím vybrat, co uvést, a co zamlčet.

Poděkování

Opět jsem mimořádně vděčný Ingrid Gnerlichové, která byla u všech mých knížek vydaných nakladatelstvím Princeton University Press. Kromě všech dobrých rad svěřila rukopis do schopných rukou redaktorky Cyd Westmorelandové, s níž také dlouhodobě spolupracuji. Rovněž děkuji Karen Carterové, Chrisu Ferrantovi a Arthuru Werneckovi. Tak jako v případě mých ostatních knih byla neocenitelná trpělivá pomoc Craiga Kunimota, jenž mi pomáhal v boji s počítačem. Tuto knihu jsem dopsal v Paříži a jsem neobyčejně vděčný Henrimu Orlandovi, jenž se postaral, aby můj pobyt zde byl příjemný a plodný. Děkuji výzkumnému ústavu v Sacley a École Normale Supérieure za pohostinnost a Jean-Philippe Bouchaudové za financování mého pobytu z prostředků *Foundation of the École Normale Supérieure*. Ani snad nemusím říkat, že jako vždy děkuji za podporu i své manželce Janice.

Shodou okolností jsem krátce po odevzdání rukopisu odjel na přednáškové turné po Izraeli. Na Hebrew University

v Jeruzalémě jsem měl možnost navštívit Einsteinův archiv. Vidět rukopis Einsteinovy práce o gravitaci³ je pro teoretického fyzika téměř náboženská zkušenost.

Historie

Galileo Galilei	1564–1642
René Descartes	1596–1650
Pierre Fermat	1601 nebo 1607/08–1665
Robert Hooke	1635–1703
Isaac Newton	1642–1726/27
Edmond Halley	1656–1742
Leonhard Euler	1707–1783
John Michell	1724–1793
Joseph Louis de Lagrange	1736–1813
Pierre-Simon de Laplace	1749–1827
Thomas Young	1773–1829
Michael Faraday	1791–1867
Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz	1821–1894
Bernhard Riemann	1826–1866
James Clerk Maxwell	1831–1879
Loránd Eötvös de Vásárosnamény	1848–1919
Hendrik Lorentz	1853–1928
Heinrich Rudolf Hertz	1857–1894
David Hilbert	1862–1943
Hermann Minkowski	1864–1909
Karl Schwarzschild	1873–1916
James Jeans	1877–1946
Albert Einstein	1879–1955
Fritz Zwicky	1898–1974

John Archibald Wheeler	1911–2008
Richard Feynman	1918–1988
Joseph Weber	1919–2000
Vera Rubinová	1928–2016

Kosmická píseň

Pár slabých tónů

Konečně, konečně je to dlouhé čekání za námi: my, lidská rasa na planetě Zemi, jsme uslyšeli kosmickou píseň. * Ano, my, poněkud nesnášenlivý, ale docela chytrý druh, teď můžeme hrdě prohlásit, že jen pár miliard let po tom, co z prapůvodního bahna vznikl život, jsme zachytili vlnění prostoročasu.

Tím jsme vstoupili do klubu zasvěcených, jejichž civilizace dokážou naslouchat vesmírným písním. Je to o to úžasnější, že to je teprve pár set let, co jsme porozuměli gravitaci a fyzici hodili do smetí aristotelovský výklad, že „jablko padá, protože chce domů“.

Einstein opět triumfuje.

Dvě černé díry sestupovaly po spirále, aby se nakonec objaly.

V tichu hlubokého vesmíru, 1,3 miliardy světelných let daleko od nás, se začaly osudově přitahovat dvě černé díry. Přibližovaly se, otáčely kolem sebe, aby se nakonec objaly a splynuly v jedinou černou díru. Během toho všeho vyzařovaly ohromné množství energie v podobě gravitačních vln.

* Jak jsme se dozvěděli 11. února 2016.

A tenhle konkrétní poryv gravitačních vln se šířil dál a dál vesmírem, jako když hodíte kámen na hladinu rybníka a vzniknou kruhové vlny šířící se ke břehu. To všechno se odehrálo před 1,3 miliardy let, dávno předtím, než se objevili dinosauři¹, v době, kdy lidé se objevovali leda ve snech trilobitů.

Jak plynuly miliony a miliony let, mrak gravitonů² pokračoval rychlostí světla v cestě nepředstavitelně rozsáhlými hlubinami vesmíru a dostával se blíž a blíž k planetě Zemi. Dorazil k ní 14. září 2015, kdy ho zachytily dva mohutné detektory dlouhé několik kilometrů a vybavené tou nejdokonalejší a nejcitlivější měřicí technikou, jakou lidstvo zná – jeden se nacházel v Livingstonu v Louisianě, druhý v Richlandu, ve státě Washington.³ Jelikož jsou od sebe tato místa tak vzdálená, zachytila pulz s odstupem milisekundy. A tak jako dokážeme určit směr, odkud přichází zvuk, díky nepatrnému časovému rozdílu, s nímž ho zachytí naše dvě uši, dokázali fyzici zhruba určit směr k místu, v němž ke splnutí oněch dvou černých děr došlo.

Prostoročas ožívá

V roce 1915, zatímco naše gravitony letěly k Zemi – po 1,3 miliardách let jim už zbývalo k cíli jen pouhých sto let – jeden pozemšťan jménem Albert Einstein (1879–1955) konečně skončil práci na své teorii gravitace, která vešla ve známost jako teorie obecné relativity. Šokoval fyzikální komunitu tvrzením, že žádná gravitace vlastně neexistuje, jen zakřivený prostoročas.

Fyzici se dozvěděli šokující tajemství: co nazýváme gravitací, je vlastně prostoročas tančící s energií, jeden se kroutí chvíli tak a chvíli onak, druhý sem a tam. *Pas de deux* prostoročasu a energie: energie ve všech podobách, třeba jako vy a já.