

JAK VYLOŽIT SVĚT

OBJEVOVÁNÍ MODERNÍ VĚDY



STEVEN WEINBERG

NOSITEL NOBELOVY CENY ZA FYZIKU

JAK VYLOŽIT
SVĚT

KNIHY STEVENA WEINBERGA

Lectures on Quantum Mechanics

Lake Views

Cosmology

Glory and Terror

Facing Up

česky *Tváří v tvář*, AURORA 2004

The Quantum Theory of Fields

Dreams of a Final Theory

česky *Snění o finální teorii*, Alois Hýnek 1999

Elementary Particles and the Laws of Physics

The Discovery of Subatomic Particles

The First Three Minutes

česky *První tři minuty*, Mladá fronta 1982

Gravitation and Cosmology

JAK VYLOŽIT
SVĚT



Objevování moderní vědy

STEVEN
WEINBERG

sloart

Harper
An Imprint of HarperCollinsPublishers
195 Broadway,
New York, NY 10007

Copyright © 2015 by Steven Weinberg
Translation © 2015 Jakub Rozehnal
Czech edition © 2015 Nakladatelství Slovart

All rights reserved

Steven Weinberg
Jak vyložit svět
Z anglického originálu *To Explain the World*. (Harper, 2015)
přeložil Jakub Rozehnal
Design Fritz Metsch
Ilustrace Ron Carboni
Editor Petr Hejný
Vydalo Nakladatelství Slovart, s. r. o., v roce 2016
Vydání první
Sazbu zhotovil ITEM, spol. s r. o., Bratislava.
Tisk v FINIDR, s. r. o., Český Těšín

ISBN 978-80-7529-008-3

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

www.slovart.cz

Věnováno Louise, Elizabeth a Gabrielle

*Už tu přes celé tři hodiny
chodíme sem tam i se stíny,
jež přitom délku zkracovaly si.
Teď ale slunce stojí nad náma,
po stínech nohama
šlapem a vše má jasné obrysy.*

John Donne: „Přednáška o stínu“

přebásnil Zdeněk Hron,
vyšlo ve sbírce *Komu zvoní hrana*,
Československý spisovatel v Praze 1987

Obsah

<i>Předmluva</i>	10
------------------------	----

Č Á S T I.: ŘECKÁ FYZIKA

1. Látka a poezie	17
2. Hudba a matematika	29
3. Pohyb a filozofie	36
4. Helénistická fyzika a technika	45
5. Starověká věda a víra	58

Č Á S T II.: ŘECKÁ ASTRONOMIE

6. Užitečnost astronomie	69
7. Měření Slunce, Měsíce a Země	77
8. Problém planet	91

Č Á S T III.: STŘEDOVĚK

9. Arabové	117
10. Středověká Evropa	138

Č Á S T IV.: VĚDECKÁ REVOLUCE

11. Sluneční soustava v současnosti	161
12. Počátky experimentů	203

13. Nové úvahy o metodě	215
14. Newtonovská syntéza	229
15. Epilog: Velká redukce	270
<i>Poděkování</i>	283
<i>Technické poznámky</i>	285
<i>Závěrečné poznámky</i>	381
<i>Bibliografie</i>	397
<i>Rejstřík</i>	409

Předmluva

Jsem fyzik, ne historik, ale postupem doby mě stále víc fascinuje historie vědy. Jde o mimořádný příběh, jeden z nejzajímavějších v lidských dějinách. Je to současně příběh vědců, kteří stejně jako já osobně riskovali. Dnešní věda je podepřena a vysvětlována znalostmi své minulosti a mnohým vědcům poznání historie vědy pomáhá zdůvodnit jejich současnou práci. Doufáme, že také náš výzkum přispěje alespoň trochu k velké historické tradici přírodovědy.

Tam, kde jsem se ve svých předchozích textech dotýkal historie, šlo nejčastěji o moderní historii fyziky a astronomie, zhruba tak od konce 19. století do současnosti. Ačkoli jsme se v tomto období naučili mnoho nových věcí, cíle a standardy přírodních věd se zásadně neměnily. Pokud by fyziky v roce 1900 někdo učil standardní kosmologický model nebo je seznámil se základy částicové fyziky, naplnilo by je to sice úžasem, ale způsoby hledání matematických vyjádření spolu s experimentálním potvrzováním neosobních principů vysvětlující širokou rozmanitost jevů by jim měly být známy.

Před nedávnem jsem se rozhodl ponořit se hlouběji do studia nejranějších období historie vědy, do doby, v níž vědecké cíle a standardy ještě nenabýly dnešních obrysů. Pokud se chci o něčem něco naučit, je v akademickém světě přirozené uspořádat k danému tématu kurz. V minulém desetiletí jsem na Univerzitě

v Texasu čas od času vedl kurzy k historii fyziky a astronomie pro studenty, kteří neměli zvláštní průpravu ve vědě, matematice nebo historii. Tato kniha volně vyplynula z přednášek těchto kurzů.

Jak se ale kniha postupně vyvíjela, snad se mi podařilo nabídnout víc než jen jednoduchý příběh: jde o vykreslení práce moderního vědce na podkladu vědy dob předchozích. Tuto možnost jsem objevil díky přirozenosti fyzikální vědy, jež je složitě propletena s vírou, technikou, filozofií, matematikou a estetikou.

Před dnešní vědou přece jen něco bylo. Příroda nám neustále ukazuje rozmanité záhadné děje: oheň, bouřky, pohromy, pohyby planet, světlo, příliv a odliv a jiné další. Pozorování světa nás postupně přivedlo k zevšeobecnování: ohně pálí, bouře přinášejí děšť, přílivy jsou mohutnější v době úplňku nebo novu a tak dále. Tak započala etapa rozvoje lidského myšlení. Na mnoha místech ale lidem nestačilo jen hromadění poznatků. Chtěli světu porozumět, vysvětlit a vyložit jej.

To nebylo jednoduché. Nejenže naši předchůdci nevěděli o světě to, co víme my dnes – mnohem závažnější je, že neměli v našem smyslu ani potuchy, co o světě vědět lze a jak se to naučit. Neustále znovu a znovu jsem byl při přípravě svých přednášek překvapován, jak odlišně věda pracovala v minulých staletích oproti současnosti. Připomenu zde velmi často citovanou pasáž z novely L. P. Hartleyho: „Minulost je zakázaná země, tam vše probíhá odlišně.“ Doufám, že v knize, kterou čtenáři předkládám, nenalezne jen poučení, co se jak v historii exaktních věd odehrálo, ale že nahlédne, jak obtížné to vše bylo.

Tato kniha není toliko o tom, jak jsme přišli na způsob naučit se rozličné věci o světě. Takový je přirozeně záběr jakékoli historie vědy. Můj záměr je nepatrně odlišný – jde o to, jak jsme přišli na způsob, jak se o světě můžeme něco naučit.

Je mi známo, že název knihy může filozofům vědy přivodit jisté problémy. Oni vždy poukazují na nesnáze při snaze přesně odlišit mezi výkladem a popisem. Pokusím se k tomu něco říci v 8. kapitole. Tato práce se ale zabývá více historií než filozofií vědy. Na vysvětlenou, co myslím přípustnou nepřesností, jde

zhruba o totéž jako v běžném životě, když se snažíme vysvětlit, proč kůň vyhrál závod nebo proč havarovalo letadlo.

Výraz „Objevování“ v podtitulku je také problematický. Zamýšlel jsem jako podtitul použít *Vynalézání moderní vědy*. Koneckonců věda nemůže existovat, aniž by ji lidé upotřebili. Rozhodl jsem se ale pro „Objevování“ namísto „Vynalézání“, které podsouvá představu, že věda není nic než množství propojených historických objevů a vynálezů, protože to je přirozený způsob. S vědomím všech těchto nedokonalostí je moderní věda technikou dostatečně dobře sladěnou s tím, jak příroda pracuje – je to metoda, která nám umožňuje dozvědět se o světě věrohodné poznatky. V tomto smyslu jde o techniku, která jen čekala, až ji lidé objeví.

Můžeme tak hovořit o objevování vědy ve stejném smyslu, jako hovoří historik o objevování zemědělství. Se všemi rozmanitostmi a nepřesnostmi je zemědělství podobnou cestou, protože jeho metody jsou dostatečně dobře sladěny se skutečnostmi v biologii a fungují – umožní nám vypěstovat jídlo.

Současně jsem se chtěl podtitulkem distancovat od přežívajících zbytků sociálního konstruktivismu: někteří sociologové, filozofové a historici se snaží vysvětlovat nejen proces, ale často i vědecké výsledky jako produkty určitého kulturního prostředí.

Mezi nejružnějšími vědními obory bude tato kniha klást důraz na fyziku a astronomii. Bylo to ve fyzice, zejména v její užitečnosti pro astronomii, kdy se věda poprvé dotkla své moderní podoby. Pravdaže, jsou zde určitá omezení věd jako biologie, jejíž historie závisí více na náhodách, jež lze či mohly by být fyzikálně modelovány. Přitom ale směr, kterým se vědecká biologie stejně tak jako chemie v 19. a 20. století ubíraly, navazuje na převratnou fyziku 17. století.

Dnes je věda mezinárodní, možná jde o nejmezinárodnější tvářnost naší civilizace, ale objev moderní vědy se udál v regionu, který volně nazýváme Západem. Moderní věda se vyučila svým metodám z výzkumů prováděných v Evropě v období vědecké revoluce, jež postupně vyrostla na středověkých pracích prováděných v Evropě a Arábii, a ty mají svůj prapůvod v předchozí

vědě Řeků. Západ si vypůjčoval mnohé vědecké znalosti odevšad – geometrii z Egypta, astronomická data z Babylonu a z Indie, magnetický kompas z Číny a tak dál – ale pokud mé znalosti sahají, nevím o importu moderních vědeckých *metod*. Proto tato kniha bude zdůrazňovat Západ (včetně středověkého islámu) ve stejném duchu, jako zalitovali Oswald Spengler a Arnold Toynbee: O vědě mimo západ toho jsem schopen říci jen velmi málo a téměř zhola nic o zcela izolovaném vývoji v předkolumbovské Americe.

Při vyprávění tohoto příběhu se často přiblížím nebezpečné oblasti, jíž se současní historikové opatrně vyhýbají, a sice posuzování minulosti standardy přítomnosti. V tom je historie neutivá; nezdráhám se posuzovat metody a teorie minulých dob z současných hledisek. Často jsem měl radost při odhalení drobných omylů, jichž se velikáni vědy dopustili, které však historikové opominuli.

Historik věnující roky studiu práci některé významné osobnosti doby minulé může přehánět a tvrdit, že jeho hrdina byl dokonalý. Zažil jsem to zvláště u prací o Platónovi, Aristotelovi, Avicenu, Grossetestovi a Descartovi. Určitě ale nemám zájem usvědčovat dávné přírodní filozofy z hlouposti. Spíše chci na příkladu, jak daleko takto vysoce inteligentní osobnosti byly od našeho současného vědeckého konceptu, ukázat, jak obtížné bylo objevování moderní vědy a jak vzdálené jsou nám dnes jejich pokusy a standardy. Současně je to také upozorněním, že věda nemůže nabýt konečné podoby. Na několika místech této knihy vyslovuji přesvědčení, že i přes současný obrovský vzmach vědeckých metod můžeme také dnes opakovat některé omyly minulosti.

Někteří vědečtí historikové se řídí heslem nenahlížet dávné vědecké poznatky prizmatem dnešního poznání. Já se namísto toho snažím pomocí dnešních znalostí vědu minulou osvětlit. Například, ačkoli by mohlo být zajímavým intelektuálním cvičením porozumět, jak helénističtí astronomové Apollónios a Hipparchos dospěli k teorii, dle níž planety postupují kolem Země po smyčkách epicyklických drah, s využitím jenom tako-

vých dat, která měli v tehdejší době k dispozici, je to nemožné, neb mnoho jejich pozorování je nenávratně ztraceno. My ale víme, že ve starověku kroužila Země spolu s planetami okolo Slunce v kruhům podobných drahách stejně jako v současnosti, a s použitím této znalosti jsme schopni porozumět, jak pozorování umožnilo starověkým astronomům navrhnout jejich teorii s epicykly. Na druhou stranu, jak by dnes bylo možné při četbě o starověké astronomii zapomenout naše současné znalosti o tom, co se kolem čeho ve sluneční soustavě točí?

Pro čtenáře, kteří chtějí porozumět skutečně do hloubky a ve velkém detailu, jak se práce minulých vědců přiblížila tomu, co skutečně v přírodě existuje, jsou určeny „Technické poznámky“ na konci knihy. Není nezbytné je číst souběžně s hlavním textem, ale připravil jsem je pro čtenáře, kteří se chtějí o fyzice a astronomii dozvědět něco navíc.

Věda již dnes není tím, čím byla, když to vše začalo. Její výsledky jsou neosobní. Inspirace a estetické zákonitosti jsou důležité při vyvíjení vědeckých teorií, ale ověřování těchto teorií závisí nakonec na nestranných experimentálních testech jejich předpovědí. I když se matematika používá při formulaci fyzikálních teorií a při rozpracování jejich důsledků, věda není jen rozšířenou matematikou a vědecké teorie nelze redukovat na čisté matematické myšlení. Věda a technika se navzájem podporují, ale na základní úrovni není věda nedotknutelnou z jakéhokoli praktického důvodu. Ačkoli věda neumí říci jakýmkoli způsobem nic o existenci Boha nebo o posmrtném životě, jejím cílem je vysvětlení přírodních dějů, což je přirozené. Věda je kumulativní; každá nová teorie úspěšně zahrnuje teorie předchozí jako méně přesné a současně umí vysvětlit, proč tyto aproximace fungují, když fungují.

Nic z toho nebylo starověkým a ani středověkým vědcům zřejmě a tohle vše jsme se naučili teprve díky obrovským obtížím při vědecké revoluci v 16. a 17. století. Počátky si nekladly za cíl nic takového, jako je moderní věda. Jak se nám podařilo dospět až k vědecké revoluci a kde se nacházíme dnes? Právě to se můžeme dozvědět, jestliže prozkoumáme objevování moderní vědy.

Č Á S T I .

Ř E C K Á F Y Z I K A



V průběhu či ještě před rozkvětem řecké vědy přispěli významně k technice, matematice a astronomii Babylóňané, Číňané, Egypťané, Indové a jiné národy. Nicméně bylo to Řecko, odkud nasála Evropa model a inspiraci a teprve v Evropě započala moderní věda, čímž Řekové sehráli mimořádnou úlohu při objevování vědy.

Bylo by možné donekonečna rozebírat, proč byli Řekové tak dokonalí. Mohlo by být příznačné, že řecká věda vznikla v době, kdy Řekové žili v malých nezávislých městských státech, z nichž mnohé byly demokraciemi. Ale jak teprve uvidíme, Řekové dosáhli svých nejimpozantnějších úspěchů až teprve v době, kdy byly drobné státy pohlceny velkými mocnostmi: Helénským královstvím a posléze Římským impériem. Řekové v helénistických a římských dobách přispěli vědě a matematice natolik, že to nebylo překonáno až do vědecké revoluce 16. a 17. století v Evropě.

Tato část textu věnovaná řecké vědě se zabývá fyzikou a záměrně pomíjí řeckou astronomii, které je věnována Část II. Část I. jsem rozdělil na pět kapitol, věnujících se víceméně chronologicky duchovním oblastem tak, jak se postupně objevovaly: poezie, matematika, filozofie, technika a víra. Téma vztahu vědy k těmto pěti intelektuálním sousedům se bude v knize objevovat neustále.

1

Látka a poezie

Nejprve predestřeme scénu. V 6. století př. n. l. bylo západní pobřeží oblasti, která je dnešním Tureckem, osídleno Řeky hovořícími především iónským dialektem. Nejbohatším a nejmocnějším iónským městem byl Milétos, založený v přírodním přístavu poblíž místa, v němž se řeka Meander vlévá do Egejského moře. Právě v Milétu začali Řekové již víc než století před dobou Sókratovou přemýšlet o základní substanci, z níž je stvořen svět.

Poprvé jsem se o Miléťanech dozvěděl jako student na Cornellu, v kurzu historie a filozofie vědy. Na přednáškách jsem slyšel, že Miléťané se nazývali „fyziky“. V téže době jsem také navštěvoval přednášky z fyziky včetně moderní atomární teorie. Tehdy se mi zdálo, že Miléťané mají velmi málo společného s moderní fyzikou. Ani se mi tak nezdálo, že by se Miléťané v přirozenosti látky mýlili, jako jsem spíš nerozuměl, jak dokázali dospět ke svým závěrům. Historické záznamy řeckého myšlení před dobou Platónovou jsou útržkovité, ale byl jsem si do jisté míry jistý, že v průběhu archaické a klasické éry (popořadě zhruba 600–450 a 450–300 př. n. l.) žádný Miléťan a ani žádný jiný řecký student přírodních věd neuvažoval způsobem podobajícím se uvažování dnešních vědců.

První Miléťan, který vešel v obecnou povědomost, byl Thalés, který žil asi dvě století před Platónem. Údajně prý předpo-

věděl sluneční zatmění, jedno se událo v roce 585 př. n. l. a bylo z Milétu viditelné. Je nepravděpodobné, že by Thalés mohl provést předpověď zatmění s využitím babylónských záznamů zatmění, jelikož každé sluneční zatmění je viditelné pouze z omezené geografické oblasti, avšak skutečnost, že Thalés je spojován s touto předpovědí, poukazuje nezpochybnitelně na rozkvět 6. století. Nevíme, zda Thalés svěřil některé své myšlenky písmu. V každém případě, i kdyby nic nenapsal, přežil citacemi u pozdějších autorů. Byl legendární postavou, jedním z těch (stejně jako jeho současník Solón, který proslul sestavením athénské ústavy), kteří byli v pozdějších Platónových časech označováni za „sedm mudrců“ Řecka. Jako příklad uveďme, že Thalés je znám provedením důkazu slavného geometrického teorému (viz Technickou poznámku 1). Náš úžas vzbuzuje, že o Thalétovi se říkalo, že zastával názor, že veškerá látka je složena z jediné základní substance. Podle Aristotelovy *Metafyziky*: „První filozofové, hluboce promyšlejší přírodní principy, určili látku jako jedinou podstatu všech věcí... Thalés, zakladatel této filozofické školy, pravil, že základem je voda“¹. Mnohem později Diónenés Laertios (žil kolem roku 230 křesťanské éry), životopisec řeckých filozofů, napsal: „Jeho učením bylo, že voda je univerzální základní podstatou a svět je oživován a prostoupen božstvy.“²

Myslel Thalés touto „univerzální základní podstatou“, že je veškerá látka tvořena vodou? Pokud ano, neznáme způsob, jakým dospěl k takovému závěru, avšak pokud je někdo přesvědčen, že veškerá látka sestává z jediné společné podstaty, není voda až tak špatný kandidát. Voda se vyskytuje jako tekutina, ale je snadné ji převést zmrazením do pevného stavu nebo varem na páru. Voda je zřetelně také neodmyslitelná pro život. My ale nevíme, zda Thalés myslel, že například skály jsou skutečně tvořeny obyčejnou vodou, či zda jen něco prostupuje skály a jiné pevné látky a spojuje je to se zmrazenou vodou.

Thalés měl žáka či společníka Anaximandra, který přišel s odlišným závěrem. Také byl přesvědčen, že je zde nějaká jedi-

ná základní podstata, ale nespojoval ji s žádným běžným materiálem. Raději ji určil jako tajemné neomezení či nekonečno. O jeho názorech víme od novoplatonika Simplikia, který žil zhruba o tisíc roků později. Simplikius zahrnuje část vypadající jako přímá citace Anaximandra. Zde je vyznačená kurzívou:

Z těch, již říkají, že [podstata] je jedna a v pohybu a neomezená, Anaximandros, syn Praxiada, Miléťan, jenž začal jako Thalétův následovník a žák, řekl, že neohraničenost je společným základem a pralátkou věcí, které existují. Říká, že to není voda a ani žádný jiný takzvaný prvek, ale nějaká jiná neomezená přirozenost, z níž nebe a světy povstaly; z níž věci povstávají v bytí existujících věcí a v níž se po jejich zániku opět navracejí v souladu s nutností. *Pro jejich spravedlivost a odškodnění sobě navzájem, pro jejich provinění ve shodě s řádem času* – jeho řeč je v takto poetických slovech. A je jasno, po pozorování proměn čtyř prvků jednoho v druhý, že nemyslel způsob jednoho z nich v podřadnou látku, ale něco jiného, na nich nezávislého.³

O trochu později se jiný Miléťan, Anaximenes, vrátil k myšlence, že vše je tvořeno jedinou běžnou podstatou, avšak pro Anaximena to nebyla voda, nýbrž vzduch. Napsal jednu knihu, z níž přežila jen jediná věta: „Duše, jejíž podstatou je vzduch, nám vládne a dýchání spolu se vzduchem obklopuje celý svět.“⁴

Spolu s Anaximenesem se přispění Miléťanů blíží ke konci. Milétoš a spolu s ním další íónská města v Malé Asii podlehly okolo roku 550 př. n. l. rozpínání Perské říše. Milétoš se roku 499 vzbouřil a byl Peršany vypleněn. Později znovu ožil jako důležité řecké město, avšak nikdy se už nestal střediskem řecké vědy.

Zájem o podstatu látky pokračoval mimo Milét mezi íónskými Řeky. Máme stopu, že na prazáklad všeho byla Xenofanem, který se narodil okolo roku 570 př. n. l. v Kolofónu v Iónii a odešel do jižní Itálie, nominována země. V jedné z jeho básní je řádek: „Pro všechny věci je země počátkem a v zemi všechny