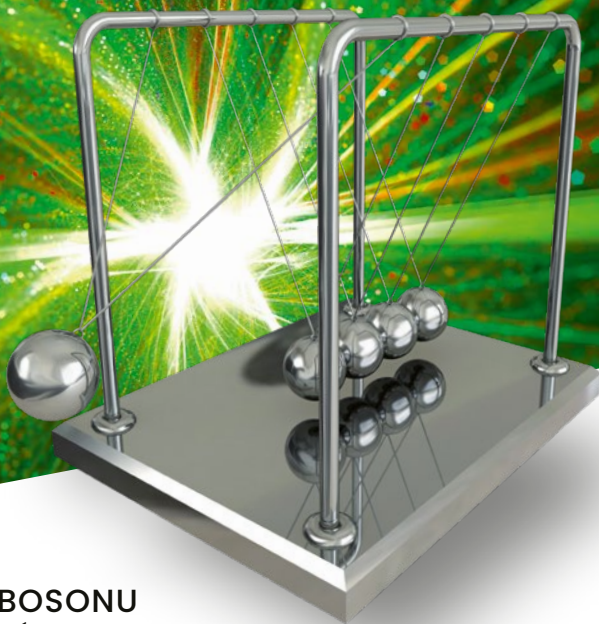


ILJA BOHNET

42

největších hádanek
FYZIKY



OD HIGGSOVA BOSONU
NA OKRAJ VESMÍRU
A ZASE ZPÁTKY

 GRADA®

*„Aristotle said a bunch of stuff that was wrong.
Galileo and Newton fixed things up. Then Einstein broke
everything again. Now, we've basically got it all worked out, except
for small stuff, big stuff, hot stuff, cold stuff, fast stuff, heavy stuff,
dark stuff, turbulence, and the concept of time.”*

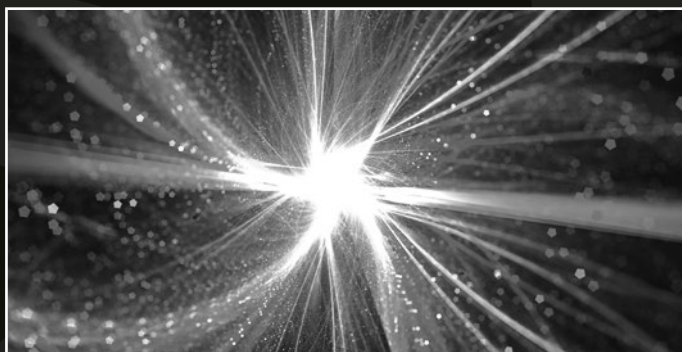
*(„Aristoteles řekl spoustu věcí, ve kterých se mylil.
Galileo a Newton to uvedli na pravou míru. Pak přišel Einstein
a všechno zase zničil. Dnes jsme už v zásadě všechno pochopili,
s výjimkou toho, jak fungují malé věci, velké věci, horké věci,
studené věci, rychlé věci, těžké věci, temné věci,
turbulence a koncept času.“)*

Zach Weinersmith

Ilja Bohnet

42

NEJVĚTŠÍCH HÁDANEK FYZIKY



Od Higgsova bosonu
na okraj vesmíru a zase zpátky

Grada Publishing

Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude trestně stíháno.

Ilja Bohnet

42 NEJVĚTŠÍCH HÁDANEK FYZIKY

Přeloženo z německého originálu knihy Ilji Bohneta **Die 42 größten Rätsel der Physik**, vydaného v roce 2020 nakladatelstvím Franckh-Kosmos Verlags, Německo.

Copyright © 2020 Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. KG, Stuttgart, Germany

Original title: Ilja Bohnet, Die 42 größten Rätsel der Physik

All rights reserved.

Vydala Grada Publishing, a. s.

U Průhonu 22, Praha 7

obchod@grada.cz, www.grada.cz

tel.: +420 234 264 401

jako svou 8395. publikaci

Přeložili Jana Zatloukalová a Václav Zatloukal

Odpovědný redaktor Petr Somogyi

Grafická úprava a sazba Jakub Náprstek

Počet stran 240

První vydání, Praha 2022

Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a. s.

Czech edition © Grada Publishing, a. s., 2022

Cover Photo © Depositphotos/KseniyaOmega, borzaya

Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků.

ISBN 978–80–271–4732–8 (ePub)

ISBN 978–80–271–4731–1 (pdf)

ISBN 978–80–271–3162–4 (print)

Obsah

Slovo úvodem	9
Předmluva	10

Část 1 KLASICKÁ MECHANIKA..... 19

Když se svět fyziky ještě zdál být v pořádku

HÁDANKA 1 Je vůbec možné popsat přírodu prostřednictvím fyziky?	21
--	----

Část 2 TERMODYNAMIKA 25

Když proti sobě stojí pořádek a chaos

HÁDANKA 2 Jak rozumět našemu turbulentnímu světu?	27
--	----

Část 3 ELEKTRODYNAMIKA..... 33

Když vztah mezi poli hraje velkou roli

HÁDANKA 3 Kde vězí magnetické monopóly?	35
--	----

Část 4 TEORIE RELATIVITY 39

Když mezi vztažnými soustavami vládne absolutní rovnoprávnost

HÁDANKA 4 Co jsou prostor a čas?	41
---	----

HÁDANKA 5 Kolik dimenzí má vesmír?	45
---	----

Část 5 KVANTOVÁ TEORIE..... 49

Když diskrétní skoky a neurčitost kráčí ruku v ruce

HÁDANKA 6 V čem spočívá problém měření v kvantové mechanice?	51
---	----

HÁDANKA 7 Co je kvantová gravitace?	56
HÁDANKA 8 Kvantové počítače – technologie zítřka?	61
HÁDANKA 9 Co je to umělá inteligence a kde leží její hranice?	66

Část 6 ATOMOVÁ FYZIKA.....71

Když mají hlavní slovo elektrony a fotony

HÁDANKA 10 Vznikají částice z ničeho?	73
HÁDANKA 11 Jak konstantní jsou přírodní konstanty?	78
HÁDANKA 12 V čem spočívá tajemství horkého plazmatu?	82

Část 7 FYZIKA KONDENZOVANÝCH LÁTEK..... 87

Když vládne tajemný pořádek

HÁDANKA 13 Jak funguje vysokoteplotní supravodič?	90
HÁDANKA 14 Světélkující bubliny – jak vysvětlit sonoluminiscenci?	96
HÁDANKA 15 Denně používané a přesto ne zcela pochopené: co je vlastně sklo?	100

Část 8 MOLEKULOVÁ FYZIKA A BIOFYZIKA.....105

Když si jsou fyzika, chemie a biologie tak blízko

HÁDANKA 16 Jak se dají vysvětlit kvantové jevy ve vícečásticových systémech?	107
HÁDANKA 17 Je možné fyzikálně obsáhnout dynamiku molekul?	112
HÁDANKA 18 Co je život?	116
HÁDANKA 19 Jak funguje vědomí?	122

Část 9 HADRONOVÁ A JADERNÁ FYZIKA 127

Když pouze ty nejmenší rozestupy vedou k volnosti

HÁDANKA 20 Jak vysvětlit tajemství nukleonů? 129

HÁDANKA 21 Co se děje mezi kvarky a gluony? 135

HÁDANKA 22 Proč jsou magnetické dipólové momenty částic abnormální? 140

HÁDANKA 23 Proč jaderná síla neporušuje žádnou symetrii? 143

HÁDANKA 24 Existuje ostrov stabilních jader?
A kde se nachází? 148

Část 10 ČÁSTICOVÁ FYZIKA 153

Když svět nejmenších stavebních kamenů vypadá jako bizarní zoo

HÁDANKA 25 Jakou roli hraje Higgsovo pole pro hmotnosti částic? 155

HÁDANKA 26 Jakou roli hraje ve vesmíru neutrino? 160

HÁDANKA 27 Proč existují tři generace částic? 164

HÁDANKA 28 Proč existuje více hmoty než antihmoty? 168

HÁDANKA 29 Jak to, že jsou fundamentální interakce různě silné? 172

HÁDANKA 30 Existuje fyzika mimo standardní model? 176

Část 11 ASTROFYZIKA 181

Když poslové z vesmíru přinášejí svědectví o extrémních událostech

HÁDANKA 31 Co je temná hmota? 183

HÁDANKA 32 Jak fungují vesmírné urychlovače? 188

HÁDANKA 33 Gravitační vlny, neutronové hvězdy a černé díry – všechno jasné?.....	193
HÁDANKA 34 Jak vznikají těžké prvky?.....	198
HÁDANKA 35 Existuje kosmická cenzura?	203

Část 12 KOSMOLOGIE 207

Když mají ve hře prsty tajemné síly

HÁDANKA 36 Co je temná energie?	209
HÁDANKA 37 Jaký tvar má vesmír a kam se rozšiřuje?.....	213
HÁDANKA 38 Jak vypadá svět za kosmickým horizontem?	218
HÁDANKA 39 Platí Koperníkův princip?	221
HÁDANKA 40 Co bylo na počátku vesmíru a jak probíhá jeho konec?	223
HÁDANKA 41 Co je cílem a účelem evoluce?	228
HÁDANKA 42 Proč právě 42 hádanek?	233
Poděkování	237
Literatura	239

Slovo úvodem

42 hádanek fyziky – proč zrovna čtyřicet dva? Možná si vzpomenete na román *Stopařův průvodce po Galaxii*, nebo si také můžete nalistovat poslední hádanku v této knize. S tímto doporučením nás Ilja Bohnet bere na napínavou cestu světem fyziky. Diskutuje při tom s uznávanými vědkyněmi a vědci, kteří mu při cestě po fyzikálním vesmíru vždy chvíli dělají společnost. Ukazují nám nejen známé skutečnosti (i když i ty jsou impozantní), ale také odhalují krásu nerozluštěného, neznámého. Fyzika zkoumá základní jevy přírody a její poznatky představují základ pro mnoho jiných věd. Dospěli jsme k mnoha objevům a získali bezpočet znalostí. Ale každá znalost generuje nové otázky, jejichž zodpovězení nás vždy posune o kousek dál. Právě tato hra na otázky a odpovědi dělá fyziku okouzující, a platí to i pro vědu jako takovou. A přece: najdeme vůbec na všechny otázky odpovědi? Existuje jedna poslední, definitivní odpověď na otázku všech otázek, totiž na otázku „života, vesmíru a vůbec“? Já tomu nevěřím, neboť kdo by měl mít dostatek znalostí, aby na tuto otázku odpověděl? Vypadá to, že si s tím neporadí ani sám superpočítač „Hlubina myšlení“ ve výše zmíněném románu. Čímž jsme opět na začátku: u nepochopitelné odpovědi „čtyřicet dva“, která je překrásným pojítkem této knihy.

Ponořte se tedy nyní do říše neznámého. Budete ohromeni, kolik toho ještě zbývá k rozluštění!

prof. dr. Rolf-Dieter Heuer

*bývalý generální ředitel výzkumného pracoviště CERN
a prezident Německé fyzikální společnosti (DPG)*

Předmluva

Proč vznikla tato kniha? Toto dílo by chtělo poskytnout obsáhlý přehled o největších, fundamentálních hádankách fyziky a širokým tematickým záběrem nadchnout zábavným způsobem čtenáře pro tuto přírodní vědu. Kniha chce zprostředkovat, co přesně „fyzika“ dělá, jak funguje a jaké jsou její základní principy. Nabízí putování po všech oblastech fyziky – od klasické mechaniky až k moderní kosmologii. Dotkne se při tom i vysoce aktuálních témat, například výzkumu klimatu, kvantových počítačů, umělé inteligence, ale také otázky, co je to vlastně „život“.

Autor měl příležitost prodiskutovat nevyřešené hádanky dvanácti „základních“ oblastí fyziky se zhruba 2×42 vědci (s ženami i muži) a získat při tom vhled do zcela aktuálního výzkumu. Na tomto základě se pod drobnohled dostávají hádanky z mikro-, mezo- a makrokosmu (tedy z toho nejmenšího, středního a největšího měřítko) a je představen aktuální stav jejich zkoumání. Kniha začíná třemi klasickými oblastmi fyziky (mechanikou, termodynamikou a elektrodynamikou), po nichž následují dvě návazné velké fyzikální teorie – teorie relativity a kvantová teorie. Ty pak tvoří základ sedmi oblastí fyzikálního výzkumu: atomové fyziky a fyziky plazmatu, fyziky kondenzovaného stavu, molekulové fyziky a biofyziky, hadronové a jaderné fyziky, částicové fyziky, astrofyziky a kosmologie.

V každé kapitole je nejprve krátký úvod do příslušné problematiky, následovaný diskuzemi s odborníky z daného oboru na téma těch nejzajímavějších problémů a otázek. Pro osvětlení jak teoretických, tak experimentálních aspektů jsou témata konzultována většinou s jedním teoretickým fyzikem a s jedním experimentátorem.

Díky tomuto přístupu by měly být rozhovory v knize maximálně srozumitelné. Kapitoly na sebe navzájem navazují, je tedy vhodné číst knihu postupně od té první.

Naše toulky fyzikou a otázkami, které vyvolává, si samozřejmě nečiní žádné nároky na úplnost. Seznam představených „42 největších hádanek fyziky“ se po důkladné analýze ze strany vědecké komunity může zařadit k „nejdůležitějším otázkám fyziky“, přesto představují tato témata pouhý výběr. Napínavé a otevřené fyzikální problémy se neomezují pouze na popsanych 42 případů. Diskutovat by se dalo i o tom, které hádanky směřjí být vůbec označeny jako fundamentální, skutečně základní otázky, a které jsou oproti tomu spíše doplňkové povahy (tedy více či méně ze základních otázek vycházejí). Jako na fundamentální je zde nahlíženo na ty problémy, na něž není možné uspokojivě odpovědět pomocí stávajících konceptů a modelů, a rovněž na ty, které jsou zásadní povahy a vysoké relevance a do jisté míry představují „hádanku světa“.

Pojem hádanky světa není vlastně nový. Snažil se ji formulovat už řecký učenec Aristotelés ve svém díle *Problemata Physica*. Ovšem první vědec, který se výslovně zmínil o hádance světa, byl koncem 19. století lékař a fyziolog Emil Heinrich du Bois-Reymond, spoluzakladatel Německé fyziologické společnosti (DPG). Prokázal při tom velkou prozíravost, neboť oněch sedm hádanek světa, které před více než sto lety formuloval, není dodnes zcela vyřešeno. Tyto hádanky jsou: (1) Co je to hmota a síla? (2) Odkud se bere původ pohybu? (3) Odkud se vzal první život? (4) Odkud se bere účel v přírodě? (5) Odkud pochází vědomý pocit v nevědomých nervech? (6) Kde se bere racionální myšlení a řeč? (7) Odkud se bere „svobodná“ vůle, která se cítí povinná konat dobro? Tyto otázky samozřejmě najdete v této knize nepřímo položené znovu. O něco později je pak shrnul filozof a vědec Ernst Haeckel ve svém díle *Záhady světa*, svého času jedné z nejúspěšnějších populárně-naučných německých knih na toto téma. Od té doby upadl v zapomnění – podle autora této knihy právem. Hlásá totiž všemohoucnost vědy, což se ovšem z dnešního pohledu jeví více než problematické.

Lze tedy vůbec jednou provždy objasnit fundamentální otázky (ve smyslu epistemologie), a to v úplnosti a pro všechny? Je příroda fyzikálně plně popsatelná? Fyziolog a fyzik Herman Helmholtz, spolužák a přítel Emila du Bois-Reymonda, byl v tomto směru jen podmíněčně optimistický: „Bohužel oblast, která může být podrobena bezpodmínečným pravidlům dokonalé vědy, je velmi úzká, a už organický svět tomu do značné míry uniká.“ I Helmholtz prokazuje těmito slovy velikou předvídavost. Toto strážlivé poznání ho stejně neodradilo, aby pomocí vědeckých metod a s velikou horlivostí dále pátral po dalších otázkách. Podobně by to mohlo fungovat i se zde představovanými 42 nevyřešenými hádankami fyziky: mají za úkol probudit v čtenáři zájem a zvědavost. Protože teprve se správnými otázkami dostaneme také správné odpovědi.

Co je fyzika? Než se budeme věnovat největším záhadám, položme si nejprve otázku, které myšlenky stojí za touto přírodní vědou a jak fyzika vlastně funguje. Zcela obecně jde ve fyzice o to, abychom popsali pomocí zákonů a s využitím experimentálních a matematických metod stavu a změny stavů přírody, která nás obklopuje – od mikroskopicky malých fenoménů přes všední jevy našeho prostředí až po vesmír.

Cílem je rozluštit strukturu, dynamiku a funkčnost hmoty, od elementárních částic a jednotlivých atomů až k makromolekulám, a nakonec dešifrovat i základní interakce a stavební kameny vesmíru. Aby bylo možné toto všechno nějak „měřit“, byly zavedeny fyzikální veličiny a pevné jednotky. Obzvláště zajímavé jsou pak vzájemné vztahy mezi fyzikálními veličinami, které jsou vyjádřené rovnicemi. Základem fyziky jsou empirická pozorování a reprodukovatelné experimenty, které musí být s pokračujícím rozvojem znalostí neustále zjemňovány a zpřesňovány. Byly k tomu vyvinuty experimentální metody, jako je například rozptylový experiment. Při něm se vyšetřovaný objekt (terč) ostřeluje „průzkumnými“ částicemi (třeba rentgenovým záře-

ním, elektrony, protony, neutrony nebo ionty), přičemž provedená pozorování pak umožňují učinit závěry o struktuře terče. Fyzika je mimo to založena na souhře experimentu a teorie. Teorie vychází z konceptu a nejprve formuluje tezi, která je následně rozšířena na model a dále může být přezkoumána v rámci simulace, popřípadě empirickými měřeními. Cílem je odvodit tímto způsobem nějakou zákonitost. Současně se úspěšně zavedené teoretické koncepty často dají uplatnit na různé fyzikální situace, čímž se vytvoří nějaký širě použitelný teoretický nástroj pro studování rozmanitých problémů.

Ve fyzice je klíčový pojem „zákon“, stejně jako pojem „platnost“. Zjistíme, že na rozdíl od matematiky (nebo teologie) ve fyzice neplatí žádné absolutní, ale pouze relativní skutečnosti, a že zákonům jsou zpravidla přiřazeny určité meze platnosti. Posouvání hranic je ve fyzice občas spojováno se změnou paradigmatu, tedy s novými koncepty a formulacemi řešení, které se pro popis přírody ukážou jako výstižnější.

Přesto většinou nejsou původní staré zákony jednoduše odsunuty stranou a zapomenuty: mnohem častěji se stává, že se omezí a nově stanoví hranice jejich platnosti. Cílem fyziky je nalézt zákony univerzálního, všeobecně platného charakteru, které splňují kritéria jednoduchosti, efektivity, přirozenosti a symetrie.

Věda žije z debat a vědeckých sporů uvnitř výzkumné komunity. A žije také z komunikace a výměny názorů. Slavným příkladem je mezinárodní konference Solvay, která se od roku 1911 pravidelně koná v Bruselu. Fyzika nezná národní hranice ani kulturní rozdíly a ideologická přesvědčení. Staví na práci mnoha osob, přestože se v popředí pak objevují jednotlivci. Všiml si toho už Isaac Newton v 17. století: „Jestliže jsem viděl dále, tak jen proto, že jsem stál na ramenou velikánů.“

Fyzika mimochodem není pouze mužská záležitost. Fyzice se věnovaly a věnují mnohé geniální ženy jako Maria Mitchellová, Henrietta Swanová Leavittová, Marie Curieová, Lise Meitnerová, Emmi Noetherová nebo

Donna Stricklandová, abychom zmínili jen některé. Navíc můžeme pozorovat aktuální trend moderní vědy, kdy se poměr fyziků a fyziček stále více vyrovnává. Ženy působí jako vědkyně, profesorky, ředitelky výzkumu – v moderní vědě je to vlastně samozřejmost (a jestli někde není, musí se to změnit). V této souvislosti jednu jazykovou poznámku k této knize: záměrně v ní nenajdete genderově korektní výrazy, protože to z pohledu autora podstatně omezuje plynulost textu. Pokud tedy bude v knize zmínka o vědcích a odbornících, jsou tím myšleni jak muži, tak ženy. Jedno totiž musí být jasné: fyzika patří všem – ženám a mužům, děvčatům a chlapcům, bez ohledu na hranice a kultury.

Než ale přejdeme k věci, vydáme se ještě na krátkou procházku po dějinách fyziky – protože její minulost je skoro stejně tak napínavá jako fyzika sama.

Jak se fyzika vyvíjela? Systematická pozorování oblohy prováděli už pravěcí lidé. Teprve ve starověkém Řecku ale začali zkoumat přírodu zkoumat přírodu skrze formulování fyzikálních zákonitostí s využitím matematických metod. Bylo to možné i díky matematicko-filozofickým základním kamenům, které položil v 5. století př. n. l. Platón. O něco později formuloval Démokritos tezi, že se svět skládá ze základních, dále nedělitelných stavebních kamenů – atomů. Empedoklés zase přišel s myšlenkou, že se všechno skládá ze čtyř základních komponent (voda, oheň, země, vzduch) spojených pomocí dvou interakcí (lásky a nenávisť) – mohli bychom to označit za antický standardní model fyziky. Obvod Země určil jako první Eratosthenés, a to s úžasnou přesností. Nejvlivnějším přírodovědcem ale po dlouhou dobu zůstává Aristotelés. Tento myslitel byl, stejně jako všichni starověcí Řekové, přesvědčený o tom, že člověk může zákony vesmíru objevovat sám pouhým myšlením. Proto necítil příliš silnou potřebu potvrdit své teorie také experimentálně.

Vývoj fyziky se tímto způsobem posouval s určitými přerušeními kupředu, aniž by až do 16. a 17. století došlo k významnější změně paradigmatu. Situace se ovšem pomalu začala měnit s myšlenkami Mikuláše Koperníka o heliocentrickém obrazu světa. Tycho Brahe, Johannes Kepler a Galileo Galilei pak konečně formulovali základy mechaniky vesmírných těles i pozemské mechaniky, které odvodili na základě pozorování a experimentů. Jejich metodické postupy se už velmi blížily moderní fyzice.

Teprve Isaacu Newtonovi (který se držel principu „jak na nebi, tak na Zemi“) se v rámci jeho newtonovské mechaniky podařilo jednotně popsat Galileiho pohybové zákony a Keplerovy zákony planet. Formulováním svého gravitačního zákona – prvního univerzálního zákona síly – vybuodoval rozsáhlé základy pro klasickou fyziku a připravil půdu pro pozdější elektrodynamiku. Krátce na to vznikla moderní optika, která se zabývá vlastnostmi světla. Současně s tím byla matematika, jež tvoří formální základ fyziky, podstatně rozšířena o diferenciální a integrální počet. S teorií elektřiny pak v 18. století vznikla další nová oblast fyziky. Současně začala termodynamika (tedy teorie tepla) zkoumat vlastnosti plynů a tekutin a položila tím základy pro nastupující dobu parních strojů a pro průmyslovou revoluci.

V 19. století vědci učinili epochální objevy týkající se struktury hmoty, které moderní fyzika ještě dodnes do jisté míry uznává: (1) Všechny formy známé hmoty sestávají z pouhých 92 chemických prvků. (2) Teplo není nic jiného než neuspořádaný pohyb těchto chemických elementů a jejich spojení. (3) Elektrické, magnetické a optické jevy jsou projevem téhož, totiž elektromagnetických polí, která jsou generována elektricky nabitými částicemi a šíří se v prostoru v podobě světla a jiných elektromagnetických vln. Zavedení pojmu „pole“ Jamesem Clerkem Maxwellem se ostatně považuje za jeden z nejvýznamnějších milníků 19. století a tvoří do jisté míry závěr klasické fyziky.

S objevením elektronů, rentgenového záření a radioaktivity na konci 19. století započala další, nejzásadnější etapa rozvoje fyziky: na scéně se objevil nový objekt zkoumání, atom.

Krátce na to pak byly učiněny objevy, které vedly k vybudování dvou teoretických směrů, jež se opírají o základy klasické fyziky – teorie relativity a kvantové teorie.

Teorie relativity Alberta Einsteina je založena na poznatku, že rychlost světla představuje univerzální a nepřekročitelnou hranici. Z toho Einstein odvodil princip relativity, podle kterého mají přírodní zákony ve všech vztažných soustavách (je jedno, jestli na Zemi, v pohybujícím se výtahu nebo v nějakém kolem Země kroužícím satelitu) vždy stejnou podobu a nic nemůže být rychlejší než světlo.

Tento docela jednoduchý princip však v sobě skrývá důsledky, které někdy výrazně odporují naší každodenní zkušenosti a vedou k tomu, že se klasická fyzika otřásá v základech: (1) Neexistuje žádná významnější vztažná soustava. Prostor a čas tak tvoří fundamentální jednotu. (2) Z tohoto důvodu neexistuje žádný absolutní čas ani žádný absolutní prostor. Obojí je relativní. Z toho plyne (3) ekvivalence energie a hmoty ($E = m \cdot c^2$). V obecné teorii relativity zachází Einstein ještě dále, tvrdí v ní, že (4) hmota zakřivuje časoprostor a gravitace je důsledkem časoprostorového zakřivení způsobeného hmotou. Tvzení teorie relativity jsou formálně podobná tvrzením klasické elektrodynamiky: zatímco zde jsou urychlené náboje zdrojem elektromagnetických vln, v teorii relativity vysílají urychlené hmotnosti vlny gravitační – oboje se pohybuje maximálně rychlostí světla. Teorie relativity poskytuje rámec pro pozorované rozpínání vesmíru, který musí vycházet z jednoho singulárního výchozího stavu – velkého třesku.

Vesmír a výbuch. Už tohle samo o sobě je silná káva. A přesto skutečný zlom pro klasickou fyziku přišel až krátce poté, díky kvantové teorii a jejímu popisu mikroskopického světa.

Kvantová teorie se musela vzdát přísného determinizmu klasické fyziky, podle kterého jsou fyzikální děje v principu jednoznačně určeny počátečními podmínkami: jednak objevením diskrétních (tedy přírodou určených) změn stavů v atomární oblasti, které tvoří výchozí bod pro Bohrovův model atomu, jednak objevem vlnově-částicového dualizmu atomových částic, který je v klasickém pojetí nepředstavitelný. Kvantové částice jsou zároveň obojí: vlny i částice. Nakonec to vedlo k Heisenbergovu principu neurčitosti, podle kterého jisté vlastnosti konkrétní atomové částice (jako například její místo a její hybnost) nejsou současně určitelné s libovolnou přesností – neurčitost je tedy přírodní princip!

S teorií relativity a kvantovou fyzikou, stojícími na základech klasické fyziky, se v 20. století poprvé otevírá obsáhlý fyzikální obraz světa, který se rozprostírá od mikrokosmu až k makrokosmu – od nekonečně malého až k nekonečně velkému. Tento obraz světa vysvětluje strukturu hmoty – atomy, atomová jádra a elementární částice, stejně jako vesmír a planety, sluneční soustavu a galaxie. Zahrnuje i ty nejvzdálenější astrofyzikální objekty v kosmu a popisuje tak nepředstavitelné jevy, jako jsou neutronové hvězdy a černé díry.

S fyzikou pevných látek vznikla další samostatná fascinující oblast fyziky, která zkoumá a vyrábí různé materiály. Její aplikace ovlivňují podstatnou část našeho života. Vývoj v elektronice a v oblasti výpočetní techniky (včetně internetu) by byl zcela nemyslitelný bez výše popsaných fantastických fyzikálních objevů. V rámci materiálového výzkumu vznikají nové „zázračné“ látky jako například polovodiče, světelné diody (LED), krystaly pro pevnolátkové lasery, „kvazikrystaly“ jako agregáty pro vysoce kvalitní ocel nebo topologické izolanty (zvnějšku vodivé, uvnitř izolující) – abychom jmenovali jen některé z nich.

Přechody od základního výzkumu k aplikacím jsou někdy pozvolné a je přirozené, že budoucí úspěšné aplikace nejsou vždy předem rozpoznatelné. Anglický fyzik Michael Faraday, průkopník studia elektřiny, údajně

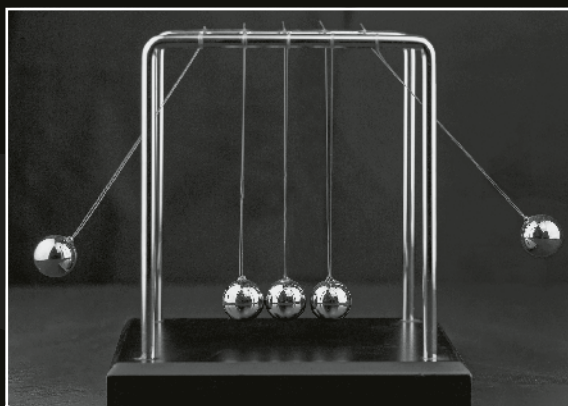
na otázku britského ministra financí ohledně využití jeho výzkumů odpověděl: „Nemám ponětí, pane, ale jsem si jistý, že za to už brzy budete vybírat daně.“

Odvrácenou stranu fyzikálního výzkumu však ukázaly nejen atomové bomby svržené na konci druhé světové války na města Hirošima a Nagasaki. Vyčerpání přírody, masová produkce, konzumní společnost a klimatická změna stále více ukazují, za co vše jsou průmyslové podniky odpovědné: za dosažení udržitelného světa, v němž stojí za to žít – a za jeho zachování.

Je to závazek také pro fyziku. Jediné, co lidi odlišuje od zvířat, je jejich rozum, spojený s ohromnou zvědavostí. Díky fyzice můžeme totiž přírodu poznat. Možná by se takto také dala chápat výzva Immanuela Kanta, když řekl: „Měj odvahu využít své vlastní porozumění!“ Měli bychom si to dobře zapamatovat, protože teď už jdeme přímo na věc.

Část 1

KLASICKÁ MECHANIKA



Když se svět fyziky ještě
zdál být v pořádku

Klasická mechanika je část fyziky, která popisuje pohyb těles pod vlivem vnějších sil, a to od setrvačníků a kyvadel až po obíhání planet okolo Slunce. Opírá se o základní fyzikální veličiny, jako je prostor, čas, hmota a síla. Základem klasické mechaniky jsou tři Newtonovy zákony. První z nich je zákon setrvačnosti, který říká, že pokud na těleso nepůsobí žádná vnější síla nebo je výslednice sil nulová, pak těleso zůstává v klidu nebo se jeho směr a rychlost pohybu nemění. Druhý Newtonův zákon je zákon síly, který popisuje základní vztah mezi silou, hmotou a zrychlením: síla je hmota krát zrychlení. Třetí Newtonův zákon říká, že každá síla vyvolává stejně velikou, ale opačně působící reakci. Výstřel koule z katapultu vyvolá stejně veliký zpětný ráz. To je princip „akce a reakce“.

Anglickému přírodovědci Isaacu Newtonovi se v 17. století jevil vesmír jako vynikající (nebo také „výjimečný“) fyzikální systém, jako absolutní prostor, který zůstává vždy stejný a nepohyblivý. Čas v něm plyne všude a pro každého pozorovatele vždy stejně. Newton formuloval i gravitační zákon, podle něhož gravitační síla mezi dvěma hmotnými tělesy kvadraticky klesá s jejich vzájemnou vzdáleností – při dvojnásobné vzdálenosti klesne síla na čtvrtinu původní hodnoty. Přestože Newton uměl gravitační sílu popsat, zůstal mu způsob, jakým se přenáší její působení, utajen. Teprve ve 20. století odvodil Albert Einstein z Newtonových sebekritických myšlenek správné závěry – ale k tomu více až později.

HÁDANKA 1

Je vůbec možné popsat přírodu prostřednictvím fyziky?

O podstatě fyziky a o tom, že problém tří těles předpovídá svobodu.

Otázka vypadá nejprve trochu filozoficky, ale odkazuje na jednu praktickou úlohu. Chtěli bychom vědět, jak dalece a jak přesně jsou fyzikální zákonitosti schopné vykreslit realitu. Do jaké míry představují fyzikální zákony idealizaci, která skutečnosti vůbec neodpovídá? Nebo je to ještě horší? Fyzika se totiž za idealizovaných předpokladů sama rychle ocitne u svých hranic. Pro vysvětlení se podrobněji podíváme na takzvaný problém dvou těles v klasické mechanice: pohyb dvou hmotných bodů, které na sebe navzájem působí gravitační silou. Díky Newtonovu gravitačnímu zákonu má tento problém přesné řešení. Trik spočívá v tom, že je nutné položit počátek vztažné soustavy do těžiště obou hmotných bodů, brát v úvahu odděleně relativní pohyb a pohyb těžiště, a tím problém dvou těles v podstatě redukovat na problém jednoho tělesa. Příkladem takové úlohy dvou těles je pohyb planety okolo Slunce. Nicméně i úloha dvou těles v podobě dvou hmotných, kolem sebe se pohybujících bodů představuje určitou idealizaci skutečnosti. Navíc se svět skládá převážně ze systémů s více než dvěma tělesy (vzpomeňme si jen na naši sluneční soustavu s jejími osmi planetami a bezpočtem planetek). Na konci 19. století dokázal francouzský matematik Henri Poincaré, že už v případě tří vzájemně se ovlivňujících těles žádné úplné matematické řešení neexistuje. Fyzikální popis problému tří těles není exaktní, ale pouze numerický, a tím pádem jen přibližně řešitelný. Tečka.

Experimentálního fyzika Thomase Naumanna z Německého elektro-
nového synchrotronu DESY v Hamburku to nechává chladným. Problém tří
těles je pro něj překrásný příklad toho, že dokonce i klasická mechanika
způsobuje zásadní zmatek. „To, jestli se systém nachází ve stavu stability,
opakovatelnosti a kvazi-deterministického (tedy pevně daného) chování,
nebo ve fundamentálně chaotickém stavu, závisí na hmotnostech, roze-
stupech a hybnostech těchto tří těles.“ Jakékoliv libovolně malé narušení
může vést k úplně rozdílným reakcím systému. Tato nepředvídatelnost zna-
mená nestabilitu a chaos. S tím spojené nelinearity a z nich plynoucí kom-
plexní souvislosti jsou sice numericky popsatelné, ale prostě to není možné
pomocí jednoduché, stručné rovnice.

Naumann v tom vidí krásný rozpor s tvrzením klasické mechaniky
a matematiky rozvíjející se za časů francouzské revoluce. Vědci si tehdy
určili ambiciózní cíl: vypočítat oběžné dráhy planet se stejnou přesností
jako dráhy dělostřeleckých granátů – a právě kvůli problému více těles
se jim to nepodařilo. „Samozřejmě to zanechalo na objevitelském opti-
mizmu osvícenců v končícím 18. století a na francouzské revoluci, která
byla v těchto věcech nesmírně progresivní, hluboké šrámy. Traduje se, že
na Napoleonovu otázku, kde tedy Bůh ve svých matematických rozvahách
selhal, měl Pierre-Simon Laplace sebevědomě odpovědět, že Bůh takovou
hypotézu nepotřeboval.“ Matematik Laplace zastával názor, že pokud by
někdo důkladně znal polohy a hybnosti všech objektů ve vesmíru, mohl
by přesně dopočítat stav celého světa od minulosti až do daleké budouc-
nosti. Pro Thomase Naumanna má tento Laplaceův determinizmus jednu
osudově pesimistickou složku. „Bylo by přece strašlivé,“ říká Naumann,
„kdyby všechno vlastně bylo takovýmto způsobem předurčeno. Teprve
chaos, nestabilita a nepředvídatelnost činí naši budoucnost zásadně ote-
vřenou. Tolik se obáváme chaosu – je to ale zdroj svobody. Jen z něho
může vzejít něco nového.“

Ale jakou roli tedy hrají fyzikální zákony, když jsou platné jen v určitém rozsahu a za určitých předpokladů? Na tuto otázku odpovídá Thomas Naumann zcela pragmaticky: „Ve fyzice neexistuje žádná absolutní pravda. Existují jen relativní pravdy. Relativní ke svým oblastem platnosti.“ Nechápe to ovšem jako nedostatek. Pro Naumanna musí fyzikální zákon, teorie nebo předpis dobře fungovat ve svém oboru platnosti. „Zákon přitom musí být co nejjednodušší, efektivní a minimální. A musí přicházet s minimálním množstvím předpokladů a informací. Pěkná rovnice má být krátká, má zahrnovat co nejméně znaků. To je objektivní kritérium jednoduchosti a elegance. Ve fyzice, stejně jako v umění a estetice, totiž hraje důležitou roli i symetrie. Jednoduchost, funkčnost a symetrie jsou úzce spjaté s pravdivostí a krásou.“ Pojem zákon má ve fyzice podle Naumannova názoru zvláštní význam. „Pro fyzikální zákon je důležité jeho experimentální ověření a jeho opakovatelnost. Meze zákona leží především v mezích přesnosti.“ Navíc ve fyzice občas docházelo ke změnám paradigmatu, při kterých byly celé fyzikální teorie postaveny na hlavu, protože mimo určitou oblast prostě nebyly platné, jako například v případě přechodu od klasické mechaniky a elektrodynamiky k teorii relativity. „Není to ale problém, protože se pravdě blížíme stále jen asymptoticky, tedy docela pomalu.“

Myšlenka zákona se podle Thomase Naumanna formovala ve starověkém judaizmu. „V Bibli dal Bůh Mojžíšovi na hoře Sinaj desky se zákony. Tehdy to byly zákony morální. Filozof Immanuel Kant tyto dva druhy zákonů od sebe úhledně oddělil, když řekl, že jeho mysl naplňují obdivem a úctou dvě věci: hvězdné nebe nade mnou a mravní zákon ve mně.“ Podle Naumanna se nejprve v judaizmu a později v křesťanství rozvinula myšlenka, že za fenomény vesmíru musí být zákon. Řecký učenec Aristoteles se oproti tomu omezoval na výrok, že „věci jsou, jaké jsou“. Podle Thomase Naumanna jde o typický postoj experimentálního fyzika: „Myšlenka, že za věcmi existuje zákon, je idealistická a reprezentoval ji Aristotelův učitel

Platón.“ Fyzikové se pokoušeli tento zákon za věcmi rozpoznat. A epistemologie se ptá, jestli je možné přírodu vůbec fyzikálně popsat. Podle Naumanna to vede k otázce, jaká je role lidí v přírodě. „V nás, v našich hlavách, naší vědě, naší kultuře odráží příroda sebe samu. Vytváří svou vlastní věrnou podobu, otisknutou v abstraktní formě zákona.“ Podle Naumanna si myšlenka zákona našla cestu do naší západní kultury přes starověký Izrael. Řecká kultura přispěla filozofií a matematikou. Následovala renesance a osvícenství, kdy jednotlivci začali svobodně uvažovat, a pak přišla matematika od éry francouzské revoluce až po dnešní moderní technologickou kulturu, ze které (a ve které) dnes žijeme. „Rozhodující recept na úspěch,“ říká Thomas Naumann, „je podle mého názoru myšlenka, že za prvé za věcmi existuje nějaký zákon, a že jsme za druhé schopni tento zákon rozpoznat.“ A právě tato myšlenka nás bude provázet ve zbytku této knihy.