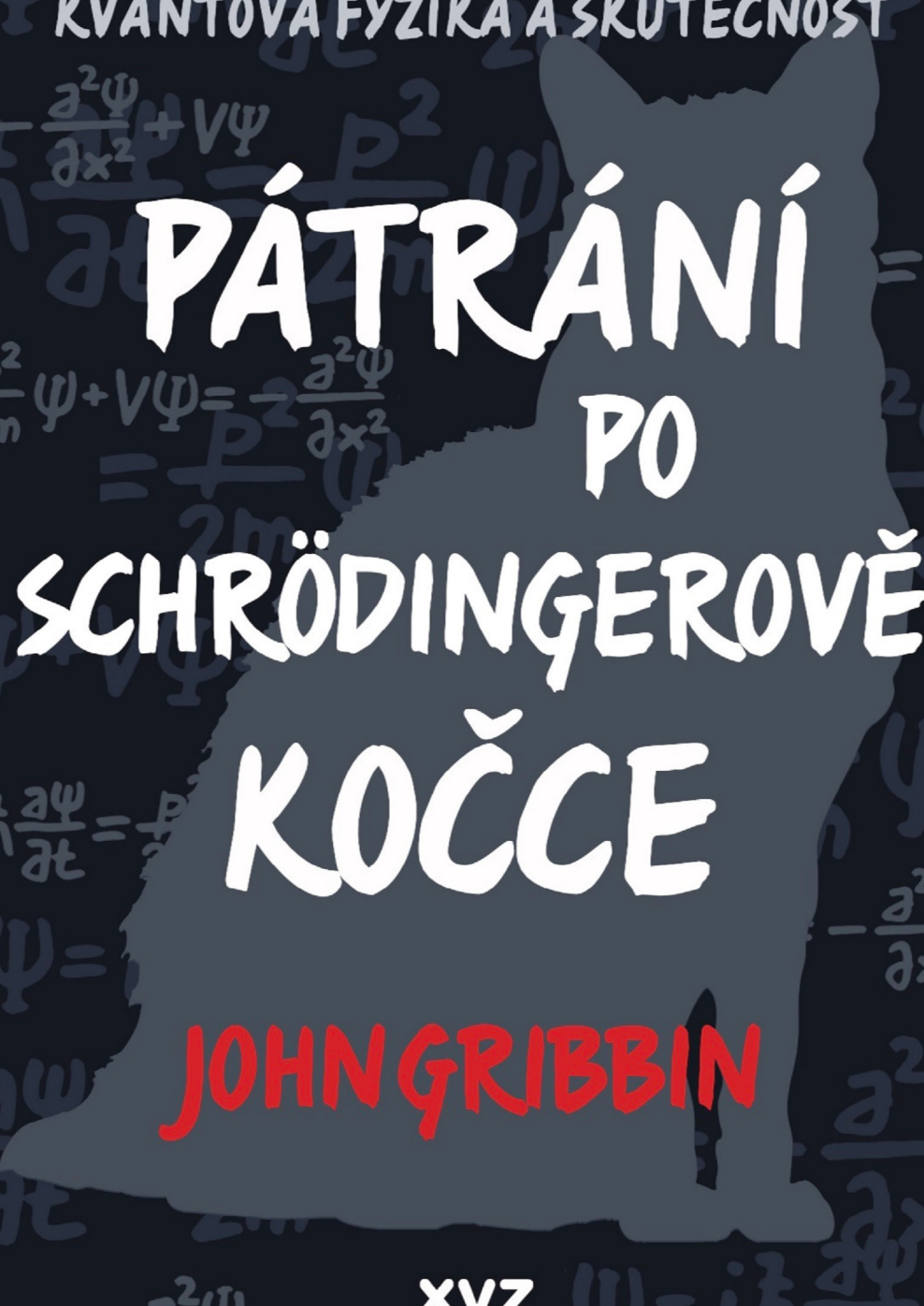


KVANTOVÁ FYZIKA A SKUTEČNOST



PÁTRÁNÍ
PO
SCHRÖDINGEROVĚ
KOČCE

JOHN GRIBBIN

xyz

Pátrání po Schrödingerově kočce

Vyšlo také v tištěné verzi

Objednat můžete na
www.xyz.cz
www.albatrosmedia.cz



John Gribbin

Pátrání po Schrödingerově kočce – e-kniha
Copyright © Albatros Media a. s., 2021

Všechna práva vyhrazena.
Žádná část této publikace nesmí být rozšiřována
bez písemného souhlasu majitelů práv.

ALBATROS  **MEDIA**

xyz



JOHN
GRIBBIN

PÁTRÁNÍ
PO
SCHRÖDINGEROVĚ
KOČCE

KVANTOVÁ FYZIKA A SKUTEČNOST

Přeložil Zdeněk Urban

xyz

IN SEARCH OF SCHRÖDINGER'S CAT © John Gribbin, 1985

Translation © Zdeněk Urban, 2021.

© NAKLADATELSTVÍ XYZ, 2021

ISBN tištěné verze 978-80-7597-922-3

ISBN e-knihy 978-80-7597-924-7 (1. zveřejnění, 2021) (epub)

ISBN e-knihy 978-80-7597-925-4 (1. zveřejnění, 2021) (mobi)

ISBN e-knihy 978-80-7597-923-0 (1. zveřejnění, 2021) (ePDF)

„Celé se mi to nelíbí a lituji,
že jsem s tím vůbec kdy měl co společného.“

ERWIN SCHRÖDINGER (1887–1961)

„Nic není skutečné.“

JOHN LENNON (1940–1980)

PODĚKOVÁNÍ

S kvantovou teorií jsem se poprvé setkal na střední škole. Je to už dávno, přes dvacet let, dodnes si však živě pamatuji, jakým objevem pro mne tehdy byl onen přímo magický způsob, jímž model atomu se slupkou elektronů dokáže vysvětlit periodickou tabulku prvků a prakticky veškerou chemii, s níž jsem zápolil v průběhu tolika únavných a jednotvárných vyučovacích hodin. A zanedlouho po tomto objevu jsem učinil objev druhý. Vděčil jsem za něj knihám, které jsem si půjčoval z knihovny. Vzhledem k mé tehdejší – školácké – úrovni odpovídající skrovné průpravě bezpochyby byly „příliš pokročilé“. Přesto mi odhalily nádhernou jednoduchost, s níž kvantová teorie vysvětluje spektra atomů. Poprvé jsem si názorně uvědomil, že to nejlepší ve vědě je současně krásné a jednoduché. Tuto skutečnost mnozí učitelé před svými studenty skrývají, ať již náhodou nebo úmyslně. Cítil jsem se jako jedna z postav knihy C. P. Snowa *The Search* (Hledání) – tu jsem si však přečetl až mnohem později –, která odhaluje v zásadě tutéž věc:

Spatřil jsem, jak se směsice náhodných faktů náhle uspořádává do jednoho celku... „Ale právě to je pravda,“ říkal jsem si. „Je to velmi krásné. A pravdivé.“ (podle Macmillanova vydání z roku 1963, str. 27).

Zčásti právě díky tomuto poznání jsem se rozhodl studovat fyziku na univerzitě. Když pak čas patřičně dozrál, tato ambice se mi splnila. Začal jsem studovat na Sussexské univerzitě v Brightonu. Jednoduchost a krásu základních myšlenek tam však při studiu překrývalo množ-

ství podrobností a matematických receptů, jak pomocí rovnic kvantové mechaniky řešil specifické problémy. Používání těchto myšlenek ve světě moderní fyziky mi připadalo natolik vzdálené oné skryté základní pravdě a kráse, jako je pilotování Boeingu 747 vzdáleno řízení závěsného kluzáku. Přestože působení onoho počátečního poznání nadále výrazně ovlivňovalo moji kariéru, po dlouhou dobu jsem kvantový svět vcelku zanedbával a namísto toho prozkoumával jiné vědecké pastviny.

Plameny tohoto mého raného zájmu znovu zažehla kombinace řady faktorů. Na konci sedmdesátých a začátkem osmdesátých let se začaly objevovat knihy a články, které se s větším či menším úspěchem pokoušely přiblížit podivuhodný svět kvanta laickému čtenářstvu. Některé z těchto domnělých „popularizací“ však byly od toho, jak se věci opravdu mají, tak strašně daleko, že jsem si vůbec nedovedl představit, jak by při takové četbě mohl čtenář objevit pravdivost a krásu vědy. Začal jsem pociťovat nutkání udělat to pořádně. V té době přicházely zprávy o výsledcích tehdy probíhající série pokusů, které definitivně potvrdily realitu některých z nejpodivuhodnějších rysů kvantové teorie. A právě tyto novinky mne inspirovaly k tomu, abych se znovu zahrabal do knihoven, občerstvil své poznatky a ověřil si, nakolik oněm podivuhodným myšlenkám rozumím. Nakonec mne jednou o Vánocích požádala společnost BBC, abych v jakémsi rozhlasovém pořadu sehrál roli vědecké protiváhy Malcolma Muggeridgeho, který krátce předtím oznámil, že přestoupil ke katolické víře, a v onom svátečním čase byl hlavním hostem. Když skončil s proslovem, v němž kladl důraz na mystéria křesťanství, obrátil se velký muž ke mně a řekl: „Zde je člověk, který zná všechny odpovědi, nebo tedy alespoň tvrdí, že je zná.“ V omezeném čase, který jsem měl k dispozici, jsem se snažil o jakous takous odpověď, zdůrazňoval jsem hlavně, že věda si nikterak nečiní

nárok na to, že má na všechno patent, a že je to naopak náboženství, nikoli věda, kdo zásadně závisí na absolutní víře a na přesvědčení, že pravdu zná. „Nevěřím ničemu,“ řekl jsem a právě jsem se chystal tuto filozofii trochu rozvést, jenže vtom pořad skončil. Po celé svátky se mi pak od přátel a známých vracela ozvěna těchto mých slov. Dlouhé hodiny jsem strávil vysvětlováním, že můj nedostatek absolutní víry v cokoli mi nezabraňuje vést normální život na základě takových rozumných pracovních hypotéz, jako je očekávání, že Slunce pravděpodobně přes noc nezmizí.

To vše přispělo ke krystalizaci mých názorů na to, co je to vlastně věda. Mnohokrát jsem rozebíral základní realitu – nebo chcete-li nerealitu – kvantového světa, až jsem se přesvědčil, že jsem opravdu připraven napsat knihu, kterou nyní držíte v ruce. V průběhu psaní jsem měl při svých pravidelných přírodovědných příspěvcích k rozhlasové show uváděné Tommym Vancem a vysílané stanicí britských ozbrojených sil (British Forces Broadcasting Service, BFBS) možnost vyzkoušet si mnohé propracovanější argumenty. Tomovy zkoumavé otázky brzy odhalily nedostatky mého výkladu a přivedly mne k tomu, abych si své myšlenky srovnal lépe. Hlavním zdrojem literatury použité při psaní této knihy byla knihovna Sussexské univerzity, která vlastní jednu z nejlepších sbírek knih o kvantové teorii na světě. Některé obskurnější literární odkazy pro mne vyhledala Mandy Caplinová, která umí velmi přesvědčivě stylizovat telexové dotazy. Christine Suttonová mne zase vyvedla z některých nesprávných představ o částicové fyzice a teorii pole. Moje manželka nejenže provedla většinu nezbytných podpůrných prací, jako jsou rešerše a organizace materiálu, ale napravila i nejednu mou stylistickou neobratnost. Profesoru Rudolfovi Peierlsovi jsem zavázán za to, že se obtěžoval podrobně mi vysvětlit některé složitější stránky pokusu s „hodinami v krabici“ a „EPR paradoxu“.

Vše, co je v této knize dobré, je tudíž třeba připsat: „pokročilým“ učebnicím chemie, jejichž názvy jsem již zapomněl a které jsem, když mi bylo šestnáct, našel v knihovně kentského hrabství; dále pak „popularizátorům“ a publicistům píšícím o kvantových myšlenkách a setrvávajícím v omylech, kteří mne přesvědčili, že já bych to dokázal udělat lépe; Malcolmů Muggeridgemu a BBC; knihovně Sussexské univerzity; Tommymu Vanceovi a BFBS; Mandy Caplinové a Christine Suttonové; a zejména Min. Jakékoli stížnosti na případné nedostatky, které by snad i přes všechno v této knize zbyly, je ovšem třeba adresovat pouze a jedině mně.

John Gribbin, červenec 1983

ÚVOD

Kdybychom všechny knihy a články, jež kdy byly o teorii relativity napsány pro laického čtenáře, naskládali vedle sebe, vytvořily by řadu, která by sahala snad až na Měsíc. „Všichni vědí“, že Einsteinova teorie relativity je největším počinem vědy dvacátého století, a všichni se mýlí. Kdybychom ale vedle sebe naskládali veškeré knihy a články napsané pro laiky o kvantové teorii, pokryly by leda tak desku mého psacího stolu. To ovšem neznamená, že mimo sály akademických institucí o kvantové teorii nikdo nikdo neslyšel. V některých kruzích se kvantová mechanika naopak těší značné popularitě a používá se i k vysvětlení takových jevů, jako je telepatie či ohýbání lžiček. Pro některé vědeckofantastické příběhy se stala přímo studnicí životodárných nápadů. V mytologii lidového povědomí se kvantová mechanika ztotožňuje – pokud ji vůbec jde s něčím ztotožnit – s okultními jevy a mimosmyslovým vnímáním, s jakýmsi tajuplným a esoterickým odvětvím vědy, jemuž nikdo nerozumí a které také nikdo neumí prakticky využít.

Tato kniha byla napsána, aby čelila právě takovému přístupu vůči této vlastně nejfundamentálnější a nejdůležitější oblasti vědeckého bádání. Za svůj zrod vděčí několika faktorům, které spolupůsobily v létě roku 1982. Za prvé: dopsal jsem tehdy knihu o teorii relativity *Spacewarps* (Zborcení prostoru) a měl jsem pocit, že by bylo vhodné pokusit se demystifikovat další velké odvětví vědy dvacátého století. Za druhé: právě v té době mne stále více iritovaly četné zpotvořeniny, které pod hlavičkou kvantové teorie obíhaly mezi některými laiky. Skvělá knížka Fritjofa Capry *The Tao of*

Physics (Tao fyziky)¹ se totiž stala podhoubím pro mnohé imitátory, kteří zhola nerozuměli ani fyzice, ani učení tao. Nabyli však dojmu, že by snad na spojování vědy Západu s filozofií Východu šlo vydělat nějaké peníze. A za třetí, v srpnu 1982 přišla z Paříže zpráva, že se členům jistého vědeckého týmu podařilo úspěšně završit důležitý test potvrzující – i pro ty, kdo o tom dosud pochybovali – správnost kvantově-mechanického pohledu na svět.

V této knize tedy prosím nehleďte žádný „východní mysticismus“, žádné ohýbání lžiček ani mimosmyslové vnímání. Hleďte v ní pravdivý příběh kvantové mechaniky. Tato pravda je však daleko podivuhodnější než jakákoli smyšlenka. Věda je totiž právě taková – nepotřebuje se halit do laciné filozofické konfekce někoho jiného, protože sama o sobě je plna vlastních radostí, tajemství a překvapení. Otázka, kterou klade tato kniha, zní: „Co je to vlastně skutečnost?“ Odpověď, případně odpovědi na tuto otázku vás mohou překvapit; nemusíte jim uvěřit. Dozvíte se však přinejmenším to, jak se současná věda dívá na svět.

1 V našich zemích je dostupný stejnojmenný slovenský překlad Anny Rácové, Gardenia, Bratislava 1992– pozn. překl.

PROLOG

NIC NENÍ SKUTEČNÉ

Kočka v titulu naší knížky je mytické zvíře, Schrödinger je naproti tomu osoba skutečná. Erwin Schrödinger byl rakouský vědec, který se výrazně podílel na rozvoji matematického aparátu vědeckého odvětví, jež známe jako kvantovou mechaniku. Vědecké odvětví je nicméně v této souvislosti sotva výstižný výraz, neboť kvantová mechanika dnes slouží jako základní opora veškeré moderní vědy. Příslušné rovnice popisují chování velmi malých objektů – obecně řečeno objektů velikosti atomů nebo ještě menších – a představují jediný způsob, jak dokážeme tomuto světu „miniatur“ porozumět. Bez těchto rovnic by fyzikové nedokázali naplánovat fungující jaderné elektrárny (nebo bomby), sestavit lasery ani vysvětlit, proč Slunce zůstává stále horké. Bez kvantové mechaniky by chemie dosud setrvala v době temna a nebyla by vůbec žádná molekulární biologie – nechápali bychom stavbu a funkci DNA a neexistovalo by genetické inženýrství.

Kvantová teorie je největším vědeckým počinem, mnohem významnějším a v praxi mnohem využitelnějším než teorie relativity. A přece činí některé velmi podivné předpovědi. Svět kvantové mechaniky je vskutku natolik podivuhodný, že ho považoval za nepochopitelný dokonce i Albert Einstein, který nakonec veškeré důsledky teorie vypracované Schrödingerem a jeho kolegy odmítl přijmout. Einstein a spolu s ním i mnozí další vědci raději věřili, že rovnice kvantové mechaniky jsou jen jakýmsi matematickým trikem, jehož účelem je poskytnout nám smysluplnou pracovní pomůcku, jak pochopit chování

atomových a subatomových částic. Za tímto trikem se však podle nich skrývala nějaká hlubší pravda, lépe odpovídající našemu obvyklému vnímání skutečnosti. Neboť kvantová mechanika nám vlastně říká, že nic není skutečné a že o tom, co se s věcmi děje v době, kdy se na ně právě nedíváme, nemůžeme zodpovědně prohlásit vůbec nic. Schrödingerova mytická kočka byla vymyšlena hlavně proto, aby posloužila k jasnému a názornému zvýraznění rozdílů mezi kvantovým světem a světem naší každodenní zkušenosti.

Fyzikální zákony, jež známe ze světa každodenní zkušenosti, ve světě kvantové mechaniky už neplatí. Namísto toho v něm vládu věcí přebírají pravděpodobnosti. Vezměme si například nějaký radioaktivní atom – může se rozpadnout, přičemž vyžáří řekněme elektron, ale také nemusí. Příslušný experiment lze připravit takovým způsobem, že bude existovat přesně padesátiprocentní šance, že jeden z atomů v hromádce radioaktivního materiálu se v určitém čase rozpadne a že nějaký detektor tento rozpad zachytí, pakliže k němu dojde. Schrödinger, kterého důsledky kvantové teorie vyváděly z míry stejně jako Einsteina, se pokusil prokázat absurdnost těchto důsledků tím, že si představil následující experiment – v uzavřené místnosti nebo v krabici je kromě radioaktivní látky i živá kočka a fiola s jedovatým plynem. Vše je uspořádáno tak, že dojde-li k radioaktivnímu rozpadu, nádobka s plynem se rozbije a kočka uhynie. Ve světě každodenní zkušenosti existuje přesně padesátiprocentní šance, že kočku plyn zabije, a aniž nahlédneme do krabice, můžeme celkem klidně říct, že kočka uvnitř je buď mrtvá, nebo živá. Ale právě v této chvíli vstupuje na scénu podivuhodnost kvantového světa. Podle kvantové teorie totiž žádná z oněch dvou možných cest, jež se otevírají radioaktivnímu materiálu, a tudíž i kočce, vůbec není skutečná, pokud není pozorována. Rozpad atomu nastal-nenastal, kočku jed zabil-nezabil, a to všechno až do té doby,

dokud nenahlédneme do krabice a neuvidíme, co se vlastně přihodilo. Teoretikové přijímající verzi kvantové mechaniky říkají, že kočka existuje v neurčitém stavu – ani mrtvá, ani živá –, dokud pozorovatel do krabice nenahlédne a neuvidí, jak se věci mají. Nic není skutečné, dokud to není pozorováno.

Pro Einsteina byla tato myšlenka přímo anatématem. Ostatně, takový postoj nezaujímal sám. „Bůh nehraje v kostky,“ řekl na adresu teorie, že by podobu světa mělo určovat nakupení výsledků v zásadě náhodných „voleb“ možností na kvantové úrovni. Co se týká neskutečnosti stavu Schrödingerovy kočky, odmítal jej, předpokládal totiž, že v základu věcí musí existovat nějaký „hodinový stroj“, jenž zajišťuje jejich ryzí a nefalšovanou zásadní skutečnost. Po mnoho let se pokoušel vymýšlet testy, kterými by se fungování této základní reality podařilo prokázat, zemřel však dříve, než doba takový test skutečně umožnila. Snad je ale nakonec dobře, že se výsledku rozvoje právě této linie úvah, již svého času inicioval, nedožil.

V létě roku 1982 ukončil na Jihoparážské univerzitě (Université Paris-Sud) tým vedený Alainem Aspectem sérii experimentů, které byly koncipovány tak, aby zachytily případnou základní realitu neskutečného světa kvanta. Základní realita – fundamentální hodinový stroj – byla označena jako „skryté proměnné“. Při těchto experimentech se studovalo chování dvou fotonů neboli částic světla, které se rozlétávají ze světelného zdroje do opačných směrů. V této knize příslušný druh experimentu podrobně popisují až v desáté kapitole, ale v zásadě jej lze považovat za test reality. Dva fotony pocházející z téhož zdroje lze pozorovat dvěma detektory, které měří jejich vlastnost nazývanou polarizace. Podle kvantové teorie tato vlastnost neexistuje, dokud není změřena. Podle myšlenky skrytých proměnných má každý foton „reálnou“ polarizaci již od okamžiku, kdy vznikl. Protože oba fotony jsou

vyzářeny společně, jejich polarizace vzájemně souvisejí. Podstata této vzájemné souvislosti, jak je skutečně změřena, se však v rámci každého z obou rozdílných základních pohledů na realitu liší.

Výsledky těchto zásadních experimentů jsou jednoznačné. Druh vzájemné souvislosti, který předpovídá teorie skrytých proměnných, při nich nebyl zjištěn; prokázán byl naopak onen druh, který předpovídá kvantová mechanika, a co více, měření provedené na jednom fotonu mělo – opět podle předpovědi kvantové teorie – okamžitý účinek na pozorovanou podstatu druhého fotonu. Oba fotony nerozdílně spojoval nějaký druh vzájemného působení, přestože se od sebe rozlétaly rychlostí světla a navzdory tomu, že podle teorie relativity se žádný signál rychleji než světlo šířit nemůže. Zmíněné experimenty dokazují, že ve světě vsutku žádná základní realita neexistuje. „Realita“ ve smyslu naší každodenní zkušenosti není vhodným rámcem, v němž bychom mohli přemýšlet o chování základních částic, z nichž se skládá náš vesmír; a přece se současně zdá, že tyto částice jsou nerozdílně propojeny do jakéhosi společného celku, v němž si každá uvědomuje, co se děje s těmi ostatními.

Pátrání po Schrödingerově kočce bylo pátráním po kvantové realitě. Z uvedeného krátkého nástinu by čtenář mohl nabýt dojmu, že toto pátrání nepřineslo ovoce, neboť žádná realita v obvyklém smyslu tohoto slova neexistuje. Náš příběh ale ještě zdaleka nekončí. Pátrání po Schrödingerově kočce nás může zavést k novému chápání reality, které přesahuje konvenční interpretaci kvantové mechaniky, a přece ji v sobě stále ještě obsahuje. Cesta k tomuto cíli je nicméně dlouhá. Začíná u vědce, jehož by naše nynější odpovědi na otázky, nad nimiž ve své době hloubal už on sám, patrně poděsily ještě víc než blahé paměti Einsteina. Když před třemi stoletími studoval Isaac Newton podstatu světla, nemohl ani tušit, že již kráčí po stezce vedoucí ke Schrödingerově kočce.

část první

KVANTUM

„Koho kvantová teorie nešokuje, ten ji nepochopil.“

NIELS BOHR (1885–1962)

KAPITOLA PRVNÍ

SVĚTLO

Samotnou fyziku v jistém smyslu vynalezl až Isaac Newton. Veškerá ostatní věda přitom závisí na fyzice. Newton zajisté stavěl na výsledcích práce jiných, jenže teprve zveřejnění jeho tří pohybových zákonů a teorie gravitace – což se odehrálo téměř přesně před třemi sty lety – nasměrovalo vědu na cestu, která nás posléze přivedla ke kosmickým letům, laserům, atomové energii, genetickému inženýrství, k pochopení chemických zákonů a ke všemu ostatnímu. Newtonovská fyzika (to, čemu se dnes říká „klasická“ fyzika) svrchovaně vládla po dvě stě let. Ve dvacátém století posunuly nové revoluční poznatky fyziku mnohem dále, než kam svého času dospěl Newton. Bez předcházejících dvou staletí rozvoje vědy by však k těmto poznatkům ani nemuselo dojít. Tato kniha ovšem není historií vědy. Zabývá se spíše novou fyzikou – kvantovou fyzikou – než oněmi klasickými myšlenkami. Už před třemi sty lety však byly v Newtonových výsledcích patrné známky změn, které měly nastat – nevěšly ale z jeho zkoumání pohybů planet a jejich oběžných drah ani z jeho slavných tří pohybových zákonů, nýbrž z jeho úvah o podstatě světla.

Newtonovy úvahy o světle přitom v mnoha ohledech vycházely z jeho představ o chování pevných těles a o oběžných drahách planet. Uvědomoval si, že každodenní zkušenost, kterou máme s chováním těles, může být zavádějící. Těleso, částice, na kterou nepůsobí žádný vnější vliv, se přece musí chovat úplně jinak, než jak se chová na zemském povrchu. Zde na Zemi nám naše každodenní zkušenost říká, že věci proje-

vují sklon setrvávat namísto, dokud je něco nepostrčí. Jakmile na ně toto něco působit přestane, brzy se opět zastaví. Proč se tedy nebeská tělesa, jako jsou planety nebo Měsíc, na svých oběžných drahách nezastaví? Postrkuje je něco? Vůbec ne. Právě planety se totiž nacházejí v přirozeném stavu, v němž na ně nepůsobí žádné vnější vlivy,² kdežto tělesa na zemském povrchu jsou naopak vnějším vlivům vystavena. Když se pokusím přešounout pero po desce psacího stolu, tlaku, který na pero vyvinu, bude klást odpor tření pera o stůl. Právě tato síla pohyb pera zastaví, jakmile ho přestanu postrkovat. Kdyby neexistovalo tření, pero by se pohybovalo dále. To je Newtonův první zákon: každé těleso setrvává v klidu nebo se pohybuje přímočaře stálou rychlostí, dokud na něj nezačne působit nějaká vnější síla. Jeho druhý zákon nám říká, jak velký účinek tato vnější síla – ono postrkování – na těleso vyvíjí. Taková síla změní rychlost tělesa. Změna rychlosti se nazývá zrychlení. Jestliže velikost síly vydělíte hmotností tělesa, na něž tato síla působí, výsledkem bude zrychlení, které tato síla u daného tělesa vyvolala. Tento druhý zákon bývá obvykle vyjadřován trochu jinak: síla se rovná hmotnost krát zrychlení. A Newtonův třetí zákon nám říká cosi o tom, jak těleso reaguje na postrkování vlivem vnější síly: ke každé akci existuje stejně velká, avšak opačně orientovaná reakce. Když udeřím raketou do tenisového míčku, pak sílu, kterou raketa postrčí tenisový míček, přesně vyrovná stejně velká zpětná síla působící na raketu; na pero, jež gravitace přitlačuje k desce mého psacího stolu, působí přesně stejně velká reakce vyvíjená samotným povrchem stolu; síla explozivního procesu vytlačující plyny ze spalovací komory raketového motoru vyvolává stejně velkou, avšak opačně orientovanou sílu, která raketu odstrkává do opačného směru.

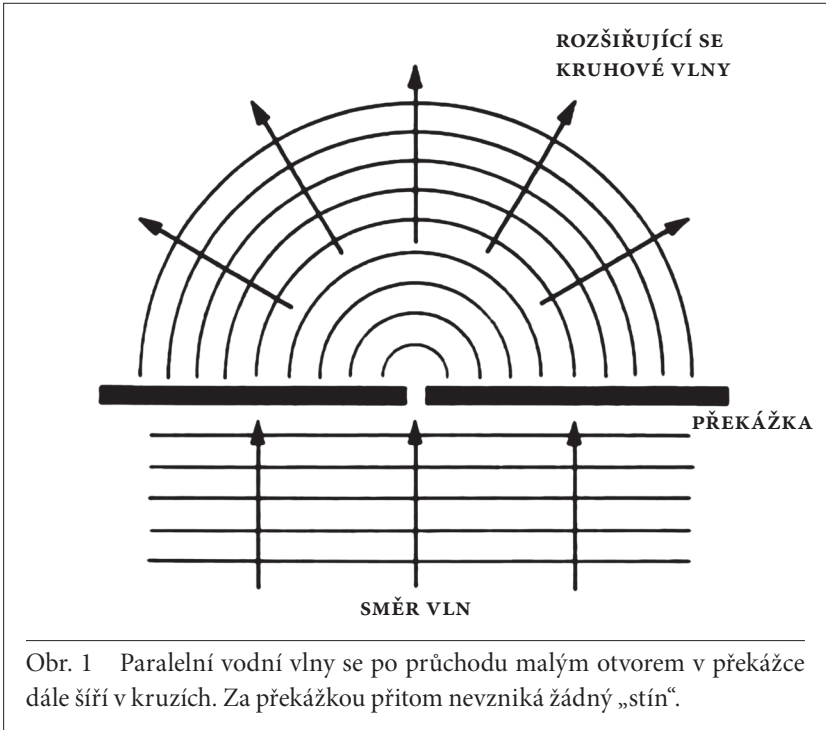
2 To je bezpochyby idealizace, v daných souvislostech však není třeba zacházet do podrobností – pozn. překl.

Tyto pohybové zákony společně s Newtonovým gravitačním zákonem umožnily vysvětlit oběžné dráhy planet kolem Slunce a Měsíce kolem Země. Když bylo patřičně vzato v úvahu tření, bylo jimi možné vysvětlit rovněž chování těles na zemském povrchu – a tyto zákony se staly základem mechaniky. Měly ovšem i znepokojivé filozofické důsledky. Pokud byly známy interakce dané částice s částicemi jinými a síly, které na ni působí, pak totiž bylo podle Newtonových zákonů možné přesně předpovědět, jak se ona částice bude chovat. Pokud bychom někdy poznali polohu a rychlost každé částice ve vesmíru, pak bychom dokázali naprosto přesně stanovit budoucnost každé z nich, a tudíž i budoucnost vesmíru. Mělo to znamenat, že vesmír funguje jako hodinový stroj, natažený a spuštěný Stvořitelem, aby se ubíral (a přitom – jako každý takový natažený a spuštěný stroj – dobíhal) zcela předpovědatelnou cestou? Newtonova klasická mechanika takovýto deterministický pohled na vesmír všemožně podporovala. Byl to obraz věcí, který lidské svobodné vůli či náhodě ponechával sotva jaké místo. Je to doopravdy tak, že nejsme než loutkami pohybujícími se po předem určených životních drahách, aniž máme jakoukoli reálnou možnost volby? Vést hluboké debaty o takových záležitostech, to v té době většina vědců spokojeně přenechávala filozofům. Předmětná otázka se však s plnou naléhavostí vynořila znovu přímo v jádře nové fyziky dvacátého století.

VLNY, NEBO ČÁSTICE?

Newton se svojí fyzikou částic zaznamenal řadu úspěchů, a proto nepřekvapovalo, že když se následně pokusil vysvětlit rovněž chování světla, učinil tak právě v pojmech částic. Světelné paprsky koneckonců budí dojem, že se pohybují přímočaře, a odraz světla od zrcadla také

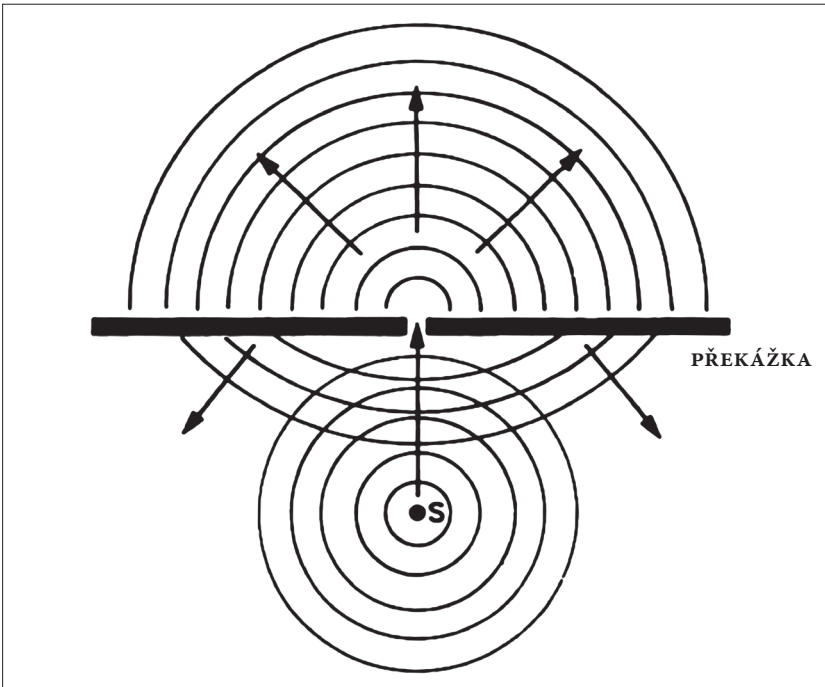
velmi připomíná odraz míče ode zdi. Newton postavil první zrcadlový dalekohled. Vysvětlil bílé světlo jako skládanku všech barev duhy. V optice dosáhl ještě mnoha dalších objevů. Jeho teorie však vždy spočívaly na předpokladu, že světlo se skládá z proudu drobných částic, které nazýval korpuskule. Pokaždé když světelné paprsky procházejí rozhraním dvou látek, které se liší hustotou, třeba rozhraním vzduchu a vody či vzduchu a skla, dochází k jejich lomu (a právě proto se například koktejlové brčko v džinu s tonikem jeví jako „zlomené“). V rámci korpuskulární teorie lze lom světla pohotově vysvětlit předpokladem, že v té z obou látek, která je „opticky hustší“, se korpuskule pohybují



Obr. 1 Paralelní vodní vlny se po průchodu malým otvorem v překážce dále šíří v kruzích. Za překážkou přitom nevzniká žádný „stín“.

rychleji. Ale již v době Newtonově bylo k mání i alternativní vysvětlení tohoto jevu.

Holandský fyzik Christiaan Huygens byl Newtonovým o třináct let starším současníkem. Narodil se roku 1629. Světlo nepovažoval za proud částic, nýbrž za vlnu. Domníval se, že tato vlna vcelku připomíná vlny na hladině moře či jezera, šíří se však neviditelnou látkou zvanou „světelný éter“. Předpokládal dále, že v onom éteru se světelné



Obr 2. Také kruhové vlnky, jež vznikají, když vhodíte kámen třeba do rybníka, se po průchodu malým otvorem v překážce dále šíří jako kruhové vlny se středem v tomto otvoru (vlny, které na překážku narážejí, se samozřejmě odrážejí zpátky).

vlny ze svého zdroje šíří rovnoměrně do všech stran přesně tak, jako se po hladině rybníka rozbíhají vlnky, když do něj vhodíme oblázek. Vlnová teorie vysvětlovala odraz a lom světla stejně dobře jako teorie korpuskulární. Podle vlnové teorie světla se však světelné vlny – na rozdíl od částic v korpuskulární teorii – v opticky hustší látce pohybují naopak pomaleji. V sedmnáctém století však ještě nikdo nedovedl změřit rychlost šíření světla v nějaké látce s dostatečnou přesností. Spor mezi dvěma tak diametrálně odlišnými teoriemi světla proto tehdy nešlo na tomto základě rozhodnout. Předpovědi obou teorií se však lišily i v jiném důležitém ohledu, který byl už v oné době přístupný přímému pozorování. Šíří-li se světlo přes nějaký předmět s ostrými hranami, tento předmět vrhá stejně ostře ohraničený stín. Přesně to bychom očekávali, jestliže je světlo proudem přímočaře se pohybujících částic. Šíří-li se však vlna a narazí přitom na něco, ohýbá se kolem překážky do stínu za ní – dochází k takzvané difrakci (představte si třeba vlnky na hladině rybníka, jak narážejí na kámen a ohýbají se kolem něj). Před třemi sty lety to všechno jasně svědčilo ve prospěch korpuskulární teorie světla. Z tohoto důvodu byla tehdy vlnová teorie světla zavržena, i když se na ni úplně nezapomnělo. Na začátku devatenáctého století však došlo ke vskutku radikálnímu obratu. V jeho důsledku se postavení obou teorií ve fyzice výrazně změnilo – v zásadě si vyměnily místo.

V osmnáctém století bralo vlnovou teorii světla vážně jen málo lidí. K těm, kdo ji nejenže brali vážně, nýbrž se jí i veřejně zastávali ve svých spisech, patřil také Švýcar Leonard Euler. Byl předním matematikem své doby. Významně přispěl k rozvoji geometrie, matematické analýzy a trigonometrie. Vztahy mezi jednotlivými objekty, jakož i fyzikální procesy, se v moderní matematice popisují rovnicemi, v nichž vystupují zvláštní matematické pojmy. Přitom větší část postupů, na nichž se takový aritmetický popis zakládá, vyvinul již Euler. Právě on zavedl

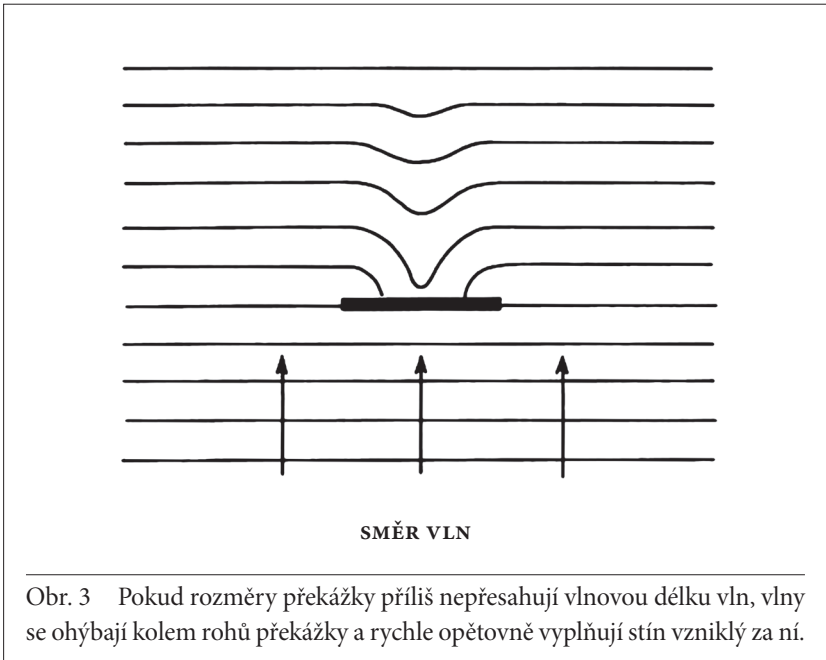
systematiku zkráceného zápisu, který je používán až dodnes – název „pí“ pro poměr obvodu kruhu k jeho průměru, písmeno i jako označení druhé odmocniny minus jedné (s tímto symbolem, stejně jako s „pí“, se ještě setkáme) i symboly používané matematiky k označení operace integrování. V heslu o Eulerovi v *Encyclopaedia Britannica* však kupodivu nenalzáme sebemenší zmínku o jeho názorech na vlnovou teorii světla. Jistý moderní historik vědy se v této souvislosti vyjádřil, že podobné názory tehdy nezastával „ani jediný význačný fyzik“.³ Snad jediným známějším Eulerovým současníkem, jenž s ním tyto názory na povahu světla sdílel, byl Benjamin Franklin. Etablování fyzikové té doby je vcelku klidně ignorovali. Tato situace pak přetrvávala až do začátku devatenáctého století, kdy byly zveřejněny výsledky nových, zásadních experimentů se světlem. Provedli je Angličan Thomas Young a krátce po něm Francouz Augustin Fresnel. Najednou bylo všechno jinak.

TRIUMF VLNOVÉ TEORIE

Youngův přístup k problému byl založen na poznacích o tom, jak se pohybují běžné vlny na hladině rybníka. Naplánoval experiment, jehož cílem bylo prověřit, zdali se stejným způsobem šíří také světlo, či nikoli. Jak vypadá vlna postupující po vodní hladině, to zřejmě víme všichni. Má-li však být v této souvislosti analogie vlny na vodě přesná, je třeba, abychom si pod pojmem vlny představovali nikoli nějakou valící se vodní stěnu, nýbrž spíše malou vlnku. Vlna na vodě při svém průchodu mírně zvedá hladinu, hned nato ji stlačuje dolů, opět zvedá a zase stlačuje a tak dále. Výška hřebenu vlny nad neporušenou vodní

3 Citováno podle str. 2 knihy Ernesta Ikenberryho *Quantum Mechanics*; viz seznam literatury

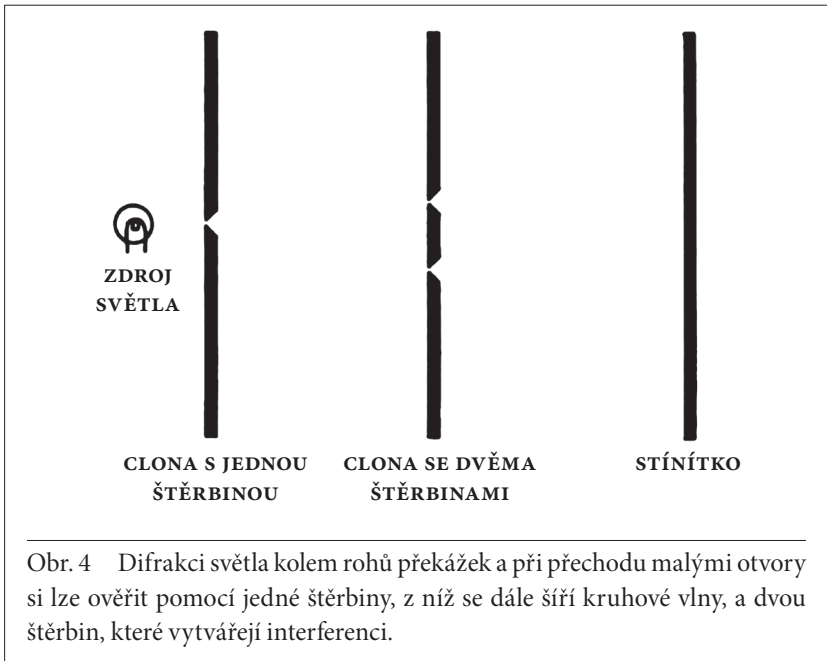
hladinou udává takzvanou amplitudu vlny. Ta se v případě idealizované dokonalé vlny rovná hloubce stlačení vodní hladiny pod úroveň neporušené hladiny v další fázi průchodu té samé vlny. Jednotlivé vlnky šířící se po hladině rybníka třeba tehdy, když do něj vhodíme oblázek, přicházejí v pravidelném rozestupu. Jejich rozestup určuje takzvanou vlnovou délku – tu měříme od jednoho hřebenu vlny ke hřebenu vlny následující. Vlny kolem bodu dopadu našeho oblázku na hladinu rybníka se šíří kruhovitě. Vlny na mořské hladině nebo vlnky na větrem zčeřeně hladině jezera se naopak šíří v zásadě jako sada prakticky rovnoběžných přímk. Lze je považovat za paralelní vlny, které postupují jedna za druhou. Buď jak buď, počet vlnových hřebenů, které projdou kolem nějakého vztažného bodu – jako je třeba kámen – za jednu



Obr. 3 Pokud rozměry překážky příliš nepřesahují vlnovou délku vln, vlny se ohýbají kolem rohů překážky a rychle opětovně vyplňují stín vzniklý za ní.

sekundu, určuje takzvanou frekvenci vlny. Udává-li tedy frekvence počet vlnových délek, které projdou kolem za jednu sekundu, pak vlastní rychlost šíření vlny, rychlost postupu každého hřebenu, lze určit prostým vynásobením vlnové délky frekvencí.

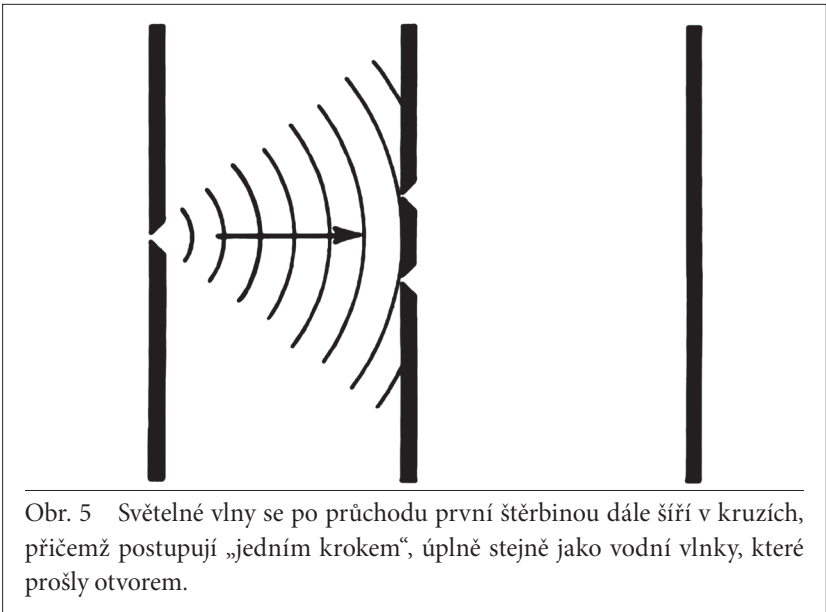
Youngovi při plánování jeho klíčového experimentu se světlem posloužil jako východisko právě pojem paralelních vln. Paralelní vlny si znázornil přímkami a ty pak ztotožnil s hřebeny vln na vodní hladině, jak postupují k pláži, aby se o ni posléze roztříštily. O takových vlnách si můžete myslet, že vznikly někde velmi daleko pádem velkého předmětu do vody. Jako paralelní (nebo rovinné) se vám však mohou jevit také „vlnky“, které se rozšiřují v neustále se zvětšujících kruzích. Musíte ovšem stát dostatečně daleko od jejich zdroje. Stojíte-li totiž



Obr. 4 Difrakce světla kolem rohů překážek a při přechodu malými otvory si lze ověřit pomocí jedné štěrbin, z níž se dále šíří kruhové vlny, a dvou štěrbin, které vytvářejí interferenci.

na obvodě velmi velkého kruhu, ze středu kterého se příslušný vzruch šíří, zakřivení tohoto kruhu vůbec nemusíte rozpoznat. Co se bude dít s rovinnými vlnami šířícími se vodní nádrží, narazí-li na nějakou překážku? To můžeme zjistit vcelku snadno. Umístíme-li vlnám do cesty malou překážku, budou se kolem ní ohýbat a vyplní prostor za ní vlivem difrakce. Za překážkou zůstane jen velmi malý „stín“. Jestliže však jde o překážku, jejíž rozměry značně přesahují vlnovou délku vlnek, pak se vlnky do prostoru za ní ohýbají jen mírně a vzniká v něm oblast klidné vody. Stejně tak kdyby světlo bylo vlnou, stále ještě můžeme získat ostře ohraničené stíny – pokud je ovšem vlnová délka světla velmi malá ve srovnání s rozměry předmětu, který vrhá stín.

Nyní to celé obrátíme naruby. Představte si, jak se naší vodní nádrží šíří úhledná řada rovinných vln. V cestě jim stojí nikoli nějaká



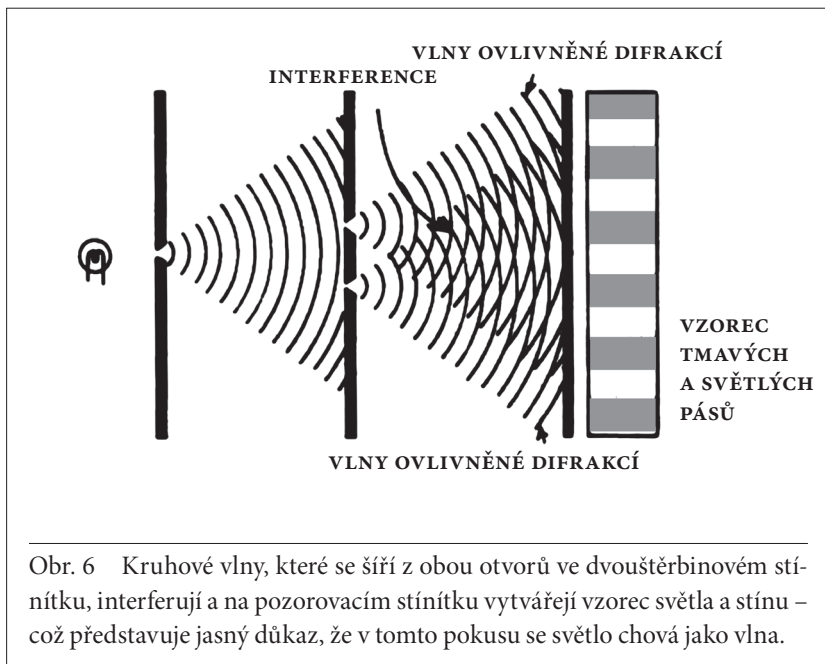
Obr. 5 Světelné vlny se po průchodu první štěrbinou dále šíří v kruzích, přičemž postupují „jedním krokem“, úplně stejně jako vodní vlnky, které prošly otvorem.

menší překážka obklopená vodou, nýbrž hráz, napříč celou nádrží. Ve středu hráze je propust. Jestliže je šířka propusti mnohem větší než vlnová délka vln vyvolaných příslušným vzruchem, propustí projde pouze ta část vlny, která k ní přichází ze směru přesně naproti jejímu otvoru. Tato část vlny se po průchodu propustí mírně rozšíří, avšak většina vody na druhé straně překážky zůstane klidná – podobně jako když bránou ve hrázi obklopující přístavní bazén pronikají dovnitř vlny. Jestliže je však otvor ve hrázi velmi malý, stává se novým zdrojem kruhových vln. Vypadá to, jako by někdo právě na tom místě vrazil do vody oblázek. Na druhé straně hráze za tímto otvorem se tyto kruhové (nebo přesněji řečeno půlkruhové) vlny volně šíří dál po hladině. V klidu přitom nezůstává žádná část vodní plochy.

Zatím je to celé v naprostém pořádku. Teď ale přistoupíme k vlastnímu Youngovu experimentu. Představte si stejné uspořádání, jako je to, o němž jsme právě hovořili, tedy vodní nádrž, v níž se šíří paralelní vlny, které posléze dospívají k překážce. Tentokrát jsou však v překážce dva malé otvory. V oblasti nádrže za hrází oba tyto otvory fungují jako nové zdroje polokruhových vln. Protože oba takto vznikající soubory polokruhových vln pocházejí z těchto paralelních vln na druhé straně hráze, jejich pohyb je dokonale sladěný – říkáme, že vlny jsou sfázovány. Nyní se tedy hladinou vody za hrází šíří dva soubory vln. To na hladině vytváří složitější vzorec, Tam, kde obě vlny zvedají vodní hladinu, vzniká výraznější hřeben než obvykle: tam, kde jedna vlna vytváří hřeben a druhá zase údolí, se obě vlny vzájemně zruší a hladina vody je klidná. Fyzikové tyto jevy nazývají konstruktivní a destruktivní interference. Obojí můžeme snadno pozorovat i v rámci běžné každodenní zkušenosti, i když zajisté nikoli v tak čisté podobě jako při pokusu v laboratorní nádrži. Postačí, když do rybníka vhodíte najednou dva oblázky. Jedná-li se v případě světla rovněž o vlny, výsledkem

analogického experimentu se světlem by měla být interference světelných vln. A právě tu také Young objevil.

Před stínítko, které v jeho experimentu sehrálo roli překážky, umístil zdroj světla. Ve stínítku byly dvě úzké štěrbininy. Kužele světla prošlého oběma štěrbinami se za překážkou rozšiřovaly a vzájemně interferovaly. Pakliže by analogie s vodními vlnami byla správná, za překážkou by se měl objevit interferenční vzorec střídajících se oblastí jasného světla a stínu vzniklý konstruktivní a destruktivní interferencí vln vycházejících z obou štěrbin. Když tedy Young posléze za stínítko se štěrbinami umístil stínítko jiné, tentokrát bílé, objevil na něm přesně to – střídající se pásy světla a stínu, které vytvářely pruhovaný vzorec.



Obr. 6 Kruhové vlny, které se šíří z obou otvorů ve dvouštěrbinovém stínítku, interferují a na pozorovacím stínítku vytvářejí vzorec světla a stínu – což představuje jasný důkaz, že v tomto pokusu se světlo chová jako vlna.

Nelze však říci, že by Youngovy experimenty tehdejší vědecký svět nějak zvlášť vzrušily. Zejména to platilo o Británii. Etablované vědecké kruhy se tam na opozici vůči kterékoli Newtonově myšlence dívaly jako na kacířské, a tudíž nepochybně nevlastenecké konání. Vždyť od Newtonovy smrti tehdy ještě neuplynula příliš dlouhá doba; ze soudobého pohledu zemřel poměrně nedávno, roku 1727. Newton se navíc roku 1705 – necelé století předtím, než Young veřejně oznámil, co objevil – stal prvním člověkem, který byl za svoji vědeckou práci povýšen do šlechtického stavu. Ne, na to, aby byl tento idol v Anglii svržen z trůnu, bylo tehdy ještě příliš brzy. V oné době napoleonských válek bylo tudíž příhodné, že to byl právě Francouz, Augustin Fresnel, kdo se takové „nevlastenecké“ myšlenky chopil a nakonec vlnové vysvětlení povahy světla ve vědeckém povědomí přece jen zavedl. Fresnelovy výzkumy, přestože proběhly až několik let po Youngových, byly úplnější a nabízely vlnové vysvětlení prakticky všech aspektů chování světla. Kromě jiného se Fresnelovi podařilo vysvětlit jev, který dnes známe všichni, totiž překrásně zbarvené odrazy, jež vznikají, když světlo dopadá na tenkou vrstvu motorového oleje. Tento jev má opět „na svědomí“ interference vln. Část světla se odráží od povrchu olejové vrstvy, ale jiná část touto vrstvou prochází a odráží se od jejího dna. Vznikají tak dva odlišné odražené paprsky a ty spolu interferují. Protože každá barva světla odpovídá specifické vlnové délce a bílé světlo je skládankou všech barev duhy, odrazy bílého světla od vrstvy oleje vytvářejí množství barev, jak některé vlny (barvy) interferují destruktivně a jiné zase konstruktivně, což závisí pouze na tom, odkud tuto hru barev pozorujete.

Když v polovině devatenáctého století francouzský fyzik Leon Foucault – jinak se proslavil hlavně kyvadlem nesoucím dnes jeho jméno – experimentálně určil, že světlo se v rozporu s předpověďmi

Newtonovy korpuskulární teorie ve vodě pohybuje pomaleji než ve vzduchu, nebylo to už nic, co by kterýkoli renomovaný vědec neočekával. V té době už totiž „všichni věděli“, že světlo je forma vlnového pohybu, která se šíří éterem, ať již tímto éterem bylo cokoli. Aby však výslednému úhlednému obrázku nic nechybělo na kráse, bylo třeba se ještě dozvědět, co se to vlastně ve světelném paprsku „vlní“. Když pak v šedesátých a sedmdesátých letech devatenáctého století velký skotský fyzik James Clerk Maxwell stanovil, že měnící se elektrická a magnetická pole vytvářejí vlny, zdálo se, že budování teorie světla tím bylo završeno. Maxwell předpověděl, že toto takzvané elektromagnetické záření se skládá ze vzorců střídajících se silnějších a slabších elektrických a magnetických polí, stejně jako se vlny na vodní hladině skládají z hřebenů a údolí. V roce 1887 – přibližně před pouhým stoletím – se Heinrichu Hertzovi podařilo vyslat a přijmout elektromagnetické záření ve formě rádiových vln, které se od světelných vln liší mnohem větší vlnovou délkou. Vlnová teorie světla tak konečně byla kompletní – právě včas, aby ji mohla vyvrátit největší revoluce ve vědeckém myšlení od dob Newtona a Galilea. Na konci devatenáctého století by už jenom génius nebo blázen tvrdil, že světlo je korpuskulární. A přece se někdo takový našel. Jmenoval se Albert Einstein. Abychom však dobře pochopili, co jej vlastně přivedlo k tomu, že se odvážil učinit tak smělý krok, potřebujeme se nejdříve dozvědět trochu více o základních představách fyziky devatenáctého století.

KAPITOLA DRUHÁ

ATOMY

Představa o atomech se podle řady populárních výkladů historie vědy zrodila již velmi dávno – u starých Řeků, tedy v době, kdy sama věda teprve vznikala. Příslušní autoři nešetří obdivem vůči starověkým myslitelům za to, v jak časném stadiu rozvoje lidských úvah o okolním světě už dokázali postihnout pravou podstatu hmoty. Ale takové líčení věcí poněkud přehání. Pravda, již Démokritos z Abdér (zemřel někdy kolem roku 370 před Kristem) vysvětloval složitost uspořádání hmotného světa tím, že všechny věci se skládají z různých druhů takzvaných atomů, které se nemění. O těchto atomech dále předpokládal, že každému jejich druhu přísluší význačný tvar, jakož i velikost a že se neustále pohybují. „Počátky všeho jsou atomy a prázdný prostor, všechno ostatní je pouhá domněnka,“⁴ napsal a tuto myšlenku později přijali za svou také další Řek Epikuros ze Samu a Říman Lucretius Carus. Je však třeba říci, že za oněch dávných dnů se tato představa netěšila postavení přední teorie vysvětlující podstatu světa, jaké zaujímá dnes. Aristotelův názor, že všechno ve vesmíru se skládá ze čtyř „prvků“ – ohně, země, vzduchu a vody –, se tehdy projevil jako značně populárnější a nakonec také přetrvál po mnohem delší dobu. Zatímco na představu o atomech se v zásadě zapomnělo už v době Kristově, Aristotelovy čtyři prvky lidé přijímali a učení o nich jakožto o základu světa dále rozšiřovali téměř po dva tisíce let.

4 Citováno podle překladu Karla Svobody, *Řečtí atomisté*, Antická knihovna, svazek 43, Svoboda, Praha 1980 – pozn. překl.

V sedmnáctém století vycházel z pojmu atomu při svém chemickém bádání Angličan Robert Boyle. Přemýšlel o nich také Newton v rámci různých svých výzkumů, které patřily do oblasti obecné fyziky a optiky. Přesto se atomy staly seriózním předmětem vědeckých úvah až v druhé polovině osmnáctého století, když francouzský chemik Antoine Lavoisier začal hledat odpověď na otázku, proč vlastně věci hoří. Lavoisierovi se podařilo z velkého množství látek vyskytujících se v přírodě vydělit řadu skutečných prvků, to jest čistých chemických látek, které již dále nešlo rozdělit na jiné chemické látky. Záhy si uvědomil, že hoření je jednoduše proces, při němž se kyslík ze vzduchu spojuje s jinými prvky. V prvních letech devatenáctého století pak Angličan John Dalton konečně přiřkl atomům v chemii pevné místo. Stanovil, že veškerá hmota se skládá z atomů, jež jsou samy o sobě nedělitelné; že všechny atomy téhož prvku jsou totožné, avšak že různé prvky mají různé druhy atomů (odlišných velikostí či tvarů); že atomy nelze stvořit ani zničit, takže v průběhu veškerých chemických reakcí se jedná pouze o jejich „přeuspořádávání“; a že chemická sloučenina, kterou tvoří dva či více prvků, se skládá z molekul, z nichž každá obsahuje pevně určený malý počet atomů každého z těchto prvků. Představa, že hmotný svět se skládá z atomů, tudíž ve své dnešní učebnicové podobě vznikla před necelými dvěma sty lety.

PŘEDSTAVY DEVATENÁCTÉHO STOLETÍ O ATOMECH

V devatenáctém století nicméně myšlenka atomů získávala u chemiků podporu jen velmi zvolna. Francouz Joseph Gay-Lussac na základě řady pokusů určil, že zkombinujeme-li dvě plynné látky do jednoho celku, pak objem, který v takto vzniklé směsi zabírá jeden plyn, vždy

bude v jednoduchém poměru k objemu, který v ní zabírá plyn druhý. Bude-li výsledná sloučenina také plynem, objem tohoto třetího plynu rovněž bude v jednoduchém poměru k objemům obou výchozích plynů. Všechno to dobře zapadalo do rámce představy, že každou molekulu takové sloučeniny tvoří jeden či dva atomy jednoho plynu zkombinované s několika atomy plynu druhého. V roce 1811 se těchto výsledků pokusů chopil Ital Amadeo Avogadro a na jejich základě odvodil svoji slavnou hypotézu, že pro jakékoli pevně zadané hodnoty teploty a tlaku stejné objemy plynu vždy obsahují stejné počty molekul, ať už je chemická podstata příslušného plynu jakákoli. Později správnost Avogadrovy hypotézy dokázaly výsledky četných dalších pokusů: při tlaku jedné atmosféry a teplotě 0 °C každý litr plynu vskutku obsahuje zhruba 27 000 miliard miliard (27×10^{21}) molekul. Až v padesátých letech devatenáctého století se však Avogadrovu krajanu Stanislau Cannizzarovi podařilo celou teorii zdokonalit natolik, že ji začal brát vážně větší počet chemiků. Přesto se ještě v devadesátých letech devatenáctého století našli jednotlivci, kteří Daltonovy a Avogadrovy představy nepřijímali. Tehdy však už tyto představy byly překonány. Mezitím totiž ve fyzice došlo k pokrokům, díky nimž se podařilo vysvětlit podrobnosti chování plynů právě na základě pojmu atomů. Zasloužili se o to zejména Skot James Clerk Maxwell a Rakušan Ludwig Boltzmann.

Tito dva průkopníci v šedesátých a sedmdesátých letech devatenáctého století rozvinuli představu, že plyn se skládá z velkého množství atomů nebo molekul (z kolika, to je zřejmé z Avogadrovy hypotézy). Na atomy či molekuly se přitom můžeme dívat jako na drobná tvrdá kulovitá tělíska, která se odrážejí sem a tam a víří všude kolem při vzájemných srážkách a nárazech na stěny nádoby, v níž se plyn nalézá. To přímo souviselo s myšlenkou, že teplo je formou pohybu –

jestliže plyn zahřejeme, molekuly se začnou pohybovat rychleji, což vede ke zvýšení tlaku na stěny nádoby. Kdyby tyto stěny nebyly pevné a nekladly tlaku plynu účinný odpor, plyn by se volně rozpínal do okolního prostoru. Klíčovým rysem těchto nových myšlenek bylo, že chování plynu vysvětlovaly prostřednictvím aplikace zákonů mechaniky – Newtonových zákonů – ve statistickém smyslu na velký počet atomů nebo molekul. Zaměříme-li se v libovolně zvoleném okamžiku na nějakou jednotlivou molekulu, může se uvnitř plynu pohybovat v zásadě kterýmkoli směrem. Souhrnný účinek mnoha molekul, které neustále narážejí na stěny nádoby, však vytváří stálý tlak. Na tomto základě byl vytvořen matematický popis fyzikálních procesů probíhajících v plynech – takzvaná statistická mechanika. Zbývalo však vyřešit vážný problém. V té době totiž stále ještě neexistoval žádný přímý důkaz, že atomy jako takové vůbec existují. Někteří přední fyzikové tehdy vystupovali proti atomové hypotéze vskutku ostře. Sám Boltzmann se dokonce ještě v devadesátých letech považoval (patrně již poněkud neopodstatněně) za osamělého bojovníka, který vytrvale vzdoruje přívalu negativního vědeckého mínění. Když roku 1898 uveřejnil výsledky svých podrobných výpočtů týkajících se této problematiky, vyslovil naději, „že když takto začíná opětovně ožít teorie plynů, snad již nebude třeba znovuobjevovat mnoho dalšího“.⁵ Posléze onemocněl a upadl do hluboké deprese. Nešťastný byl především z pokračující opozice řady předních vědců vůči jeho kinetické teorii plynů. Nakonec Boltzmann spáchal roku 1906 sebevraždu, aniž se předtím dozvěděl, že před pouhými několika měsíci jakýsi tehdy ještě obskurní vědec jménem Albert Einstein uveřejnil odborný člá-

5 Zmínka na str. 16 prvního dílu knihy Jagdish Mehra a Helmuta Reichenberga *The Historical Development of Quantum Theory* (Historický vývoj kvantové teorie).