

edice aliter

Robert P. **Crease**
Alfred Scharff **Goldhaber**

Kvantový moment

Jak nás Planck, Bohr, Einstein
a Heisenberg naučili milovat neurčitost



edice aliter



edice aliter – svazek 66

Robert P. **Crease**
Alfred Scharff **Goldhaber**

Kvantový moment

**Jak nás Planck, Bohr, Einstein a Heisenberg
naučili milovat neurčitost**

Přeložil Pavel Kreuziger

Argo

**The Quantum Moment: How Planck, Bohr, Einstein and Heisenberg
Taught Us to Love Uncertainty**
Copyright © 2014 by Robert P. Crease and Alfred Scharff Goldhaber
Translation © Pavel Kreuziger, 2018

ISBN 978-80-257-2251-0 (váz.)
ISBN 978-80-257-2490-3 (e-kniha)

*Naším studentům, jejichž duchaplnost a jasnozřivost
oživily náš seminář i tuto knihu*

Předmluva _ _ _ _ _	9
1 Newtonovský moment_ _ _ _ _	16
Mezihra: Velkolepý plán _ _ _ _ _	33
2 Svět z pixelů _ _ _ _ _	39
Mezihra: Max Planck zavádí kvantum _ _ _ _ _	51
3 Kvantové skoky _ _ _ _ _	59
Mezihra: Niels Bohr využívá kvantové skoky, aby rozpohyboval atomy _ _ _ _ _	71
4 Nahodilost _ _ _ _ _	74
Mezihra: Einstein ukazuje, že Bůh hraje kostky _ _ _ _ _	87
5 Problém identity: nenaplněné očekávání kvantového momentu _ _ _ _ _	90
Mezihra: Wolfgang Pauli a vylučovací princip, Šatendranáth Bose a bosony _ _ _ _ _	104
6 Žraloci a tygři: Schizofrenie _ _ _ _ _	112
Mezihra: Mapa Erwina Schrödingera / Mapa Wernera Heisenberga _ _ _ _ _	133
7 Neurčitost _ _ _ _ _	140
Mezihra: Princip neurčitosti_ _ _ _ _	164
8 Roztříštění reality: Kubismus a komplementarita _ _ _ _ _	167
Mezihra: Komplementarita, objektivita a dvouštěrbinový experiment _ _ _ _ _	184
9 Žádné kostky! _ _ _ _ _	189
Mezihra: John Bell a jeho teorém _ _ _ _ _	207

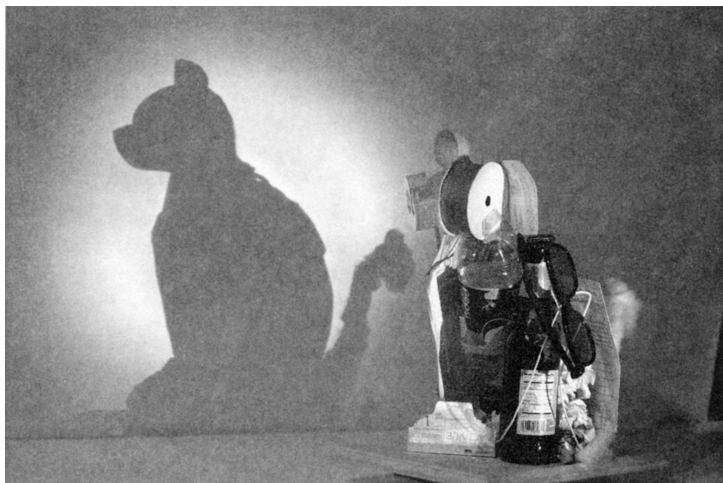
10	Schrödingerova kočka _ _ _ _ _	213
	Mezihra: Pohraniční válka _ _ _ _ _	231
11	Králičí nora: Touha po paralelních světech _ _ _ _ _	236
	Mezihra: Multiverza _ _ _ _ _	253
12	Záchrana fyziky _ _ _ _ _	256
	Závěr: Moment dneška _ _ _ _ _	274
	Poznámky _ _ _ _ _	283
	Poděkování _ _ _ _ _	311
	Prameny ilustrací _ _ _ _ _	315
	Rejstřík _ _ _ _ _	317

Není tomu tak dávno, co jsme oba seděli v učebně a poslouchali závěrečné prezentace svých studentů, které musely sestávat z jejich samostatné práce. Dva ze studentů četli divadelní skeče; jeden vystoupil s hiphopovou písní; jiní vytvořili různé formy uměleckých děl. Jeden student, jež muž byla diagnostikována schizofrenie, vysvětlil – odvážně a nejistě –, jaké to je trpět touto nemocí, a to s využitím termínu superpozice stavů z kvantové mechaniky. Při jeho vystoupení panovalo v jindy hlučné a hovorné třídě hrobové ticho. Další prezentaci provedla dvojice studentů s vědeckou specializací, kteří si nasadili ochranné brýle, na speciální druh magnetu – supravodič II. typu – nalili tekutý dusík a předvedli „kvantovou levitaci“ za současného vysvětlení Abrikosovova-Meissnerova jevu, na němž je založena. Mezitím studenti vtipkovali o odkazech na kvantová témata, jež našli, včetně webových stránek o záležitostech typu „kvantové pivo“ nebo „kvantový jazz“. Jako poslední vystoupil student se specializací na strojírenství. Ten do posluchárny přinesl haldu různých drobností (lahve od Pepsi, brýle, lepicí pásku, pingpongový míček), jež předtím podle svých slov narychlo poslepoval. Třídu pak ohromil tím, že na hromadu z určitého směru posvítí baterkou a na zeď se promítl zřetelný obrázek kočky.

Tyto projekty byly závěrečnými úlohami Kvantového momentu, semináře, který jsme společně po šest let vyučovali. Volitelný seminář určený pro fyziky a filozofy zaujal rozmanitou škálu studentů. Studenty humanitních věd velice zajímá, co znamená slovo „kvantový“. Studenti technických oborů, kteří si předmět zapisují, chtějí vědět,

zda a proč může být vědecký termín opravdu aplikován na lidské chování. Jiné studenty přitáhne chytlavý název nebo zkrátka to, že kurz naplňuje jisté požadavky a zapadá do jejich přečpaného rozvrhu.

Předmět je zaměřen na kulturní dopady *kvanta*. Kvantum, termín pro fakt, že energie existuje v omezených „balíčcích“ a není neomezeně dělitelná, byl zaveden v roce 1900 kvůli vysvětlení zcela nepochopitelných výsledků v odlehklém koutě fyziky, oblasti, která se věnuje vyzařování a pohlcování světla. Následovaly dvě kvantové revoluce. První z nich nastala mezi lety 1900 a 1925, kdy vědci tuto teorii rozebírali a rozvíjeli bez většího zájmu veřejnosti. Poté, v letech 1925–27, byla teorie přetvořena další revolucí, zvanou kvantová mechanika, ze které plynuly bizarní důsledky, jež se staly předmětem pozornosti a veřejné diskuse. I dnes, o více než osmdesát let později, si lidstvo není jisto, co si s touto druhou kvantovou revolucí počít, a považuje ji za nepochopitelnou, vizionářskou a dokonce šokující. Nové knihy o *kvantu* vznikají téměř každý měsíc. Slovo kvantum vstupuje do každodenního života v divadelních hrách, poezii, filmech, malířství, beletrii, hudbě, filozofii, názvech mnohých společností a „populárně-vědeckých“ přístupech k psychologii a neurovědám. Heisenbergův princip neurčitosti, Schrödingerova kočka, paralelní světy a další pojmy a obrazy z kvantové mechaniky se objevují na tričkách, hrncích na kávu, v komiksech, románech, básních i filmech. Lze je nalézt na webu failblog.org s přehlídkou kulturních memů. V americkém televizním seriálovém dramatu *Perníkový táta* je „Heisenberg“ pseudonymem hlavní postavy, středoškolského učitele chemie, který prodává ilegální drogu metamfetamin (pervitin). V březnu 2012 vyšel v deníku New York Times komentář, který tvrdil, že kvantová terminologie je vhodným způsobem popisu kampaně a osobnosti amerického prezidentského kandidáta Mitta Romneyho: „Neboť jsme vstoupili do věku kvantové



Kočka Juana Mesy

politiky; a Mitt Romney je prvním kvantovým politikem.“¹ Prezident Barack Obama, jenž ve volbách v listopadu 2012 Romneyho porazil, v rozhovorech zmiňoval Heisenbergův princip, když vysvětloval, jak vyhledává pomoc u svých poradců. Ve 21. století se ptáme svých studentů, proč v *lidské* doméně stále myšlenka kvanta působí jako metafora – divoká a záhadná, naplněná tvořivou silou?

Naše četba se semestr od semestru liší, zahrnuje však knihy a články o historii, filozofii a sociologii, několik divadelních her (mimo jiné *Kodaň* Michaela Frayna), a patřila do ní i beletristická díla (například *Anatém* Neala Stephenson). Hledáme pozadí procesu, kterým z myšlenky kvanta vzešly rozličné koncepty a obrazy – princip neurčitosti, Schrödingerova kočka, paralelní vesmíry. Žádáme studenty, aby důkladně přemýšleli o tom, jak jsou užívány (a zneužívány) kvantový jazyk a obrazy. Jak odkaz na kvantovou mechaniku v názvu článku „Jak chápete tento příběh: Heisenbergův princip neurčitosti a literatura na téma

vietnamské války“ přispívá k pochopení žurnalistiky? Je užívání paralelních světů ve filmech typu *Jiná Země* nebo *Králičí nora* chytrým jakoby vědeckým zvratem v ději, nebo jeho rušivou ozdobou?

Závěrečné projekty studentů zahrnují individuální nebo skupinovou vlastní tvorbu inspirovanou kvantem. Kromě již zmíněných vystoupení studenti také psali písně, vytvářeli multimediální prezentace, zdobili oblečení a prováděli „umělecké“ performance, při nichž omílali a parodovali kvantové nesmysly. Jednoho roku vytvořili studenti video o studentovi druhého ročníku fyziky (jehož hrál student druhého ročníku fyziky), který se snaží pochopit význam kvantové mechaniky. Jde tedy do studovny pro doučování fyziky na univerzitě Stony Brook (ta studovna skutečně existuje!), doufaje, že tam ten den bude k ruce dobrý lektor. Přispěchá k němu studentka angličtiny (již hrála studentka angličtiny):

STUDENTKA ANGLIČTINY. „Díky Bohu, že jsi tu! Musím to někomu říct! Právě jsem četla článek o kvantové mechanice – tomu nikdy neuvěříš – u Newtona bylo všechno jisté, ale s kvantovou mechanikou už není jisté vůbec nic! Máme tu ten Heisenbergův princip neurčitosti a víš, já můžu jít ven a tam *nebude ani ten venek*... dnes jsem odešla z koleje a svítlo slunce a teď (ukazuje na svůj deštník) pravděpodobně prší.“

STUDENT FYZIKY, *rozhořčeně*. „Přísahám, že je venku krásný den.“

STUDENTKA ANGLIČTINY. „Všechno je teď nejisté. S Newtonem bylo všechno v pohodě, ale teď už nic v pohodě není... Jsem částice nebo vlna? A ty... existuješ vůbec?“

STUDENT FYZIKY, *podrážděně*. „Ty jsi v pohodě, já jsem v pohodě, tvůj křeček je v pohodě, tvoje kolej je v pohodě.“

STUDENTKA ANGLIČTINY, *náhle vytřeští oči*. „Můj křeček! Moje kolej! ... nevím, co můj křeček dělá právě teď... všechno je chaos –“

Student fyziky si do svého poznámkového bloku zapíše „PROČ JÁ?“, vstane a opustí místnost.

Jeden z nás je fyzik, druhý filozof. Fyzik (Goldhaber) vyučuje úvodní kurz základů kvantové mechaniky: nyní již vcelku komplexní a dostatečně pochopené teorie o hmotě a energii založené na objevu, že energie na subatomární úrovni existuje v množstvích o konečné velikosti. V rámci této pozoruhodné teorie dosud nebyla vyřčena předpověď, jež by byla následně důkazy vyvrácena. Filozof (Crease) pak vede cyklus přednášek, jež zkoumají potenciální dopady této teorie na pojmy, jako je prostor, čas, kauzalita a objektivita. Náš předmět vznikl proto, že jsme spolu často rozebírali, jak nás překvapuje, když se v akademické i lidové mluvě tu a tam vyskytnou zmínky o „kvantovém tom“ a „kvantovém onom“, někdy ve formě originálních poznatků, jindy jako nesmyslné módní výrazy, jejichž cílem je zapůsobit či ohromit.

Zpočátku jsme předpokládali, že kulturní vliv kvanta je z velké části bezvýznamný a že povětšinou narazíme jen na pojmy a obrazy používané šarlatány, aby zapůsobili na důvěřivé lidi, a také umělci se špetkou vědecké gramotnosti, kteří si přivlastňují kulturní autoritu vědy. Zjistili jsme, že kvantový jazyk a obrazy jsou skutečně často využívány humorně, namyšleně, potrhle i vykořisťovatelsky. Všimli jsme si však také toho, že kvantum podle všeho nabízí důležité nové pojmy a možnosti, jak přemýšlet o lidských bytostech a světu, který bereme jako samozřejmost. Byli jsme překvapeni, když jsme zjišťovali, kolika různými způsoby kvantový jazyk a obrazy prostupují náš svět. *Quantum* (latinsky „kolik“) a jeho množné číslo *quanta* se neustále objevují v různých obvyklých formách vycházejících z původního významu slova; příkladem budiž titul dodnes často citované papežské encykliky z roku 1864 „*Quanta Cura*“, sepsané papežem Piem IX. dávno před kvantovou mechanikou. Tento název pochází z několika prvních latinských slov dokumentu a znamená „S jakou péčí“. Ovšem poté, co se rozvinula kvantová mechanika, začalo kvantový jazyk

a obrazy vynalézavě využívat mnoho spisovatelů i básníků. *Fun Home*, komiksové vzpomínky Alison Bechdelové na její vztah s otcem a *coming out* – a jedna z nejlepších knih roku 2006 (česky vyšlo pod názvem *Rodinný ústav* o dva roky později) – obsahuje fantastickou scénu, kdy ji otec vezme do New Yorku jen pár týdnů po proslulých Stonewallských nepokojích, jež zvěstovaly počátek hnutí za osvobození gayů. „Uznávám sice, že je absurdní hledat spojitost s oním legendárním kulminačním bodem,“ píše Bechdelová nostalgicky, „nemohl ale přece jen v tom vlhkém vzduchu přetrvat záchvěv, kvantová částice vzbouření?“²

Jaká roztržštěná historicko-lingvistická dráha může spojovat významy Pia IX. a Alison Bechdelové? Jak je vůbec možné, že se jazyk fyziky takto šíří do umění, literatury a filozofie? Mělo to vliv ve společenské oblasti, změnilo to naše návyky a postoje? A naopak, ovlivnily nějak aspekty kultury jako celku vývoj kvantové mechaniky? Existuje rezonance mezi vývojem v oblasti umění a kultury obecně na jedné straně a kvantové fyziky na straně druhé? Proč je kvantová mechanika, objevená před více než stoletím vědci, kteří ji nyní berou jako samozřejmost, považována každou generací spisovatelů a umělců za něco zcela nového? Zjistili jsme, že interpretace kvantové mechaniky je něco na způsob hermeneutického Rorschachova testu, v jehož rámci se můžeme mnohé naučit zkoumáním toho, proč někteří lidé spojují kvantovou mechaniku s východním mysticismem a jiní její vznik přisuzují obavám ve společnosti, které v té době panovaly.

Pochopení významu kvantové mechaniky – toho, jak ji propojit se známým světem a jeho záležitostmi – bylo jedním z velkých intelektuálních problémů počátku 20. století. Přestože je asi nemožné poučit laiky o fyzice a matematice kvantové mechaniky bez dosti dlouhé průpravy, je možné nastínit problémy a záhady celé koncepce a sledovat souvislosti, do jakých je uváděli umělci a spisovatelé.



**PROFITIP: MŮŽETE
BEZPEČNĚ IGNOROVAT
KAŽDOU VĚTU OBSAHUJÍCÍ
OBRAT „PODLE KVANTOVÉ
MECHANIKY“.**

V následujících kapitolách za pomoci stručné rekapitulace vývoje kvantové teorie vysvětlujeme, jak se pojmy a obrazy z tohoto oboru začaly objevovat v umění, literatuře a každodenním jazyku; jeden po druhém a každý svým vlastním způsobem. Kniha se rozvíjí jako jeden dlouhý příběh poskládaný z řady vzájemně souvisejících povídek. Po každé kapitole a před započítím té následující jsme připravili mezihru, která obsahuje odborné detaily nebo zmiňuje příbuzná témata, jež nejsou pojednána v hlavním textu. Někteří čtenáři tyto výklady možná budou chtít vynechat, a mohou tak bez úhony učinit.

Newtonovský moment

„Hele, já prostě absolutně miluju Možná mrtvý kočky,“ prohlásím.

„Jo, nejsou špatný. Kapku pseudointelektuální, ale to jsme všichni, ne?“

„Podle mě ten jejich název je narážka na toho chlápka, na toho fyzika,“ řeknu. Tedy, já si to nemyslím, já to *vím*. Zrovna jsem si tu kapelu vyhledal na Wikipedii.

„Jo,“ potvrdí ona. „Na Schrödingera. Akorát že to jméno je úplně vedle, protože Schrödinger se proslavil tím, že poukázal na jeden paradox v kvantové fyzice, kde za jistých okolností může kočka, kterou nevidíš, být zároveň živá i mrtvá. Ne *možná* mrtvá.“¹

– Will Grayson, *Will Grayson*

Rakouský fyzik Erwin Schrödinger předložil svou dnes slavnou metaforu kočky napůl z legrace v roce 1935. Komentoval tak neschopnost svých kolegů proniknout do kvantové mechaniky. Asi těžko by si dokázal představit, že jeho kočka pevně zakotví v popkultuře, dostane se do románů a komiksů a bude se tisknout na hrnky na kávu a na trička. Jeden z nejnovějších příkladů se objevuje v knize *Will Grayson, Will Grayson*, románu pro mládež od Johna Greena a Davida Levithana (2010, česky 2016). V něm se ptá Will Jane – dívky, k níž chová smíšené a nevyjádřené pocity – na Schrödingerovu kočku. Jane popisuje slavný myšlenkový experiment rakouského fyzika a dodává, že Schrödinger „neschvaloval zabíjení koček nebo něco takového... jen říkal, že se mu zdálo trochu nepravděpodobné, že by kočka mohla být v jednu chvíli zároveň živá i mrtvá“.

Will o tom chvíli uvažuje. Přemýšlí o svých vlastních smíšených pocitech – Jane ho opravdu přitahuje, přesto však