

SVĚT
PODLE FYZIKY



JIM AL-KHALILI



SVĚT PODLE FYZIKY

S V Ě T
PODLE
FYZIKY

Jim Al Khalili

sloart

Z anglického originálu *The World According to Physics*, vydaného nakladatelstvím Princeton University Press v roce 2020, přeložil Václav Pavlík

© Jim Al-Khalili, 2020

Translation © Václav Pavlík, 2022

Czech edition © Nakladatelství Slovart, s. r. o., Praha, 2022

Odpovědný redaktor Petr Somogyi

Editorka Jana Steinerová

Jazyková korektura Luděk Svoboda

Sazba Agáta Petrisková

Tisk FINIDR, s. r. o., Český Těšín

První české vydání

Všechna práva vyhrazena. Bez písemného povolení vlastníka práv není povoleno publikaci ani žádnou její část použít pro reprodukování, ukládání v rešeršním systému nebo šířit jakýmikoliv prostředky, ať již elektronicky, mechanicky, kopírováním, nahráváním nebo jinak.

Cena uvedená na obálce je nezávazným doporučením pro konečné prodejce.

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

ISBN 978-80-276-0302-2

www.slovart.cz

OBSAH

Předmluva

7

Kapitola 1

Bázeň z pochopení

13

Kapitola 2

Rozměry

27

Kapitola 3

Prostor a čas

45

Kapitola 4

Energie a hmota

64

Kapitola 5

Kvantový svět

80

Kapitola 6

Termodynamika a směr toku času

98

Kapitola 7

Sjednocení

115

Kapitola 8

Budoucnost fyziky

131

Kapitola 9

Užitečnost fyziky

159

Kapitola 10

Myslet jako fyzik

173

Poděkování

187

Literatura k dalšímu studiu

190

Rejstřík

196

PŘEDMLUVA

Tato kniha je něco jako óda na fyziku.

Do fyziky jsem se poprvé zamiloval jako teenager. Musím přiznat, že k tomu částečně přispělo, když jsem si uvědomil, že jsem v ní dobrý. Fyzika mi připadala jako zábavné propojení hádanek a zdravého rozumu. Vyloženě jsem si užíval hraní si s rovnicemi, manipulaci s algebraickými symboly a dosazování čísel, která odhalovala tajemství světa kolem nás. Také jsem si ale uvědomil, že pokud chci dostat uspokojivé odpovědi na celou řadu složitých otázek o povaze vesmíru a smyslu existence, které bouřily v mé dospívající mysli, byla fyzika obor, který jsem musel studovat. Chtěl jsem vědět různé věci: Z čeho jsme složeni? Odkud pocházíme? Má vesmír začátek nebo konec? Je vesmír konečný, nebo se rozpíná donekonečna? Co je přesně kvantová mechanika, o níž se občas zmínil můj otec? Jaká je povaha času? Snaha najít odpovědi na tyto otázky mě dovedla k životu strávenému studiem fyziky. Několik odpovědí už jsem našel. Ty ostatní stále hledám.

Někteří lidé se při hledání odpovědí na záhady života obracejí k víře, náboženství či k nějaké ideologii. Pro mě ale neexistuje nic, co by se vyrovnalo polemizování, testování a odvozování faktů o světě – což jsou charakteristické

znaky vědeckého přístupu. Znalosti, které jsme získali díky vědě (a zejména díky fyzice) a jež nám objasňují, z čeho je svět vytvořen a jak funguje, nejsou podle mého názoru jen jedním z mnoha ekvivalentních způsobů, jak se dozvědět „pravdu“ o realitě. Je to *jediný* spolehlivý způsob, který máme k dispozici.

Není pochyb, že si mnozí fyziku nikdy nezamilovali tak jako já. Možná je studium tohoto oboru odrazovalo, protože usoudili (nebo jim to řekl někdo jiný), že je moc složitý a že budou za exoty. Je pravda, že snaha pochopit i zdánlivé drobnosti v kvantové mechanice může skutečně způsobit pořádnou bolest hlavy. Zázraky našeho vesmíru však mohou (a měli by) ocenit všichni – a získání základního přehledu nezabere roky studia. V této knize vám chci přiblížit, proč je fyzika tak úžasná, proč je základní vědou a proč je pro naše chápání světa tolik zásadní. Rozsah a uplatnění, které má současná fyzika, jsou dechberoucí. Dnes víme, z čeho je téměř všechno kolem nás vytvořeno a jak to drží pohromadě; můžeme zpětně sledovat vývoj našeho vesmíru až do zlomků sekundy poté, co se zrodil samotný prostor a čas; díky našim znalostem fyzikálních zákonů přírody jsme byli schopni vyvinout a nadále rozvíjíme technologie, které doslova mění naše životy – to všechno je zkrátka ohromující. I při psaní těchto řádků mi stále vrtá hlavou: jak může někdo fyziku *nemít* rád?

Tato kniha má sloužit jako úvod do některých velmi hlubokých a základních myšlenek ve fyzice. Témata, kterým se věnuji, pravděpodobně nejsou stejná jako ta, jež si pamatujete ze školy. Pro některé čtenáře může být kniha první pozvánkou do světa fyziky – snad vás navnadí, abyste se chtěli o ní dozvědět více, možná ji pak budete jako já považovat za celo-

životní cestu studia a objevování. Pro ostatní, kterým třeba fyzika napoprvé nepadla do oka, může kniha posloužit jako nový začátek. A v mnohých může tato kniha vyvolat údiv nad tím, jak daleko se lidstvo na cestě za poznáním už dostalo.

Abych čtenářům předal relevantní znalosti, co fyzika říká o povaze našeho světa, vybral jsem pro tuto knihu soubor nejdůležitějších poznatků moderní fyziky a pokusím se ukázat, jak spolu souvisejí. Prozkoumáme skutečně rozsáhlou oblast tohoto oboru: od makroskopické fyziky na kosmických škálách až po fyziku mikrosvěta na kvantové úrovni; od touhy fyziků sjednotit přírodní zákony až po hledání co nejjednodušších fyzikálních principů, jimiž se řídí život; od teoretických úvah pohybujících se na hranici spekulací až po fyzikální zákony, na nichž jsou postaveny naše každodenní zkušenosti a technologie. Nabídnou čtenářům také několik nových úhlů pohledu na myšlenky, které jsme sice my fyzikové postupně přijali, ale současně jsme zanedbali jejich prezentování lidem mimo nejužší kruh odborníků. Například v subatomárním měřítku dokážou dvě oddělené částice mezi sebou okamžitě komunikovat, přestože jsou od sebe daleko, a navíc způsobem, který odporuje zdravému rozumu. Této vlastnosti říkáme nelokalita a nakonec nás může přinutit revidovat celé dosavadní chápání samotné struktury vesmíru. Bohužel ale mnoho nefyziků (a dokonce i někteří fyzikové) nechápou nebo si špatně vykládají, co tento pojem ve skutečnosti znamená.

Mnoho populárních knih o vědě, v nichž se vysvětlují základní fyzikální pojmy, se často dočká kritiky (obvykle od teoretických fyziků) za to, že laickému čtenáři neumožní vždy pochopit, co tyto pojmy ve skutečnosti znamenají. Podle mého názoru je to proto, že fyzikové, kteří těmto věcem

opravdu rozumějí, píší vědecké články a vymýšlejí nové teorie, nemusejí nutně mít schopnost vlastní nápady nefyzikům vysvětlit. Na druhou stranu ti, kteří možná mají více zkušeností a úspěchů s prezentováním své práce veřejnosti, nemusejí zase chápat určité pojmy dostatečně do hloubky a omezují se jen na jednoduché analogie. I když člověk fyzice rozumí a dokáže uspokojivě (doufám) komunikovat s nefyziky, není zrovna snadné někomu vysvětlit pojmy jako kalibrační invariance, dualita, věčná inflace, holografický princip, konformní polní teorie, anti-de Sitterovy prostory nebo energie vakua takovým způsobem, který by poskytl skutečný vhled do popisované problematiky, aniž by u toho bylo nutné odvolávat se na složitou matematiku. Pokusil jsem se v tomto směru udělat vše, co bylo v mých silách, ale i tak se možná najdou čtenáři, kteří budou mít pocit, že jsem se mohl snažit více. A budou mít samozřejmě pravdu.

Pokud se však chcete hlouběji zabývat některými konkrétními tématy, kterých se zde dotknu jen krátce, připomínám, že existuje mnoho knih, jež k tomuto účelu poslouží naprosto skvěle. Na konci této knihy jsem vyjmenoval některé práce, o nichž se domnívám, že by vás mohly zajímat a dále rozvíjet vaše znalosti. Mnoho knih v tomto seznamu popisuje cestu vědeckého pokroku – jak se od dob starověkých Řeků fyzika po tisíciletí vyvíjela, jak se přišlo na nové objevy nebo jak vznikaly a zanikaly teorie a hypotézy. Dále se knihy často zaměřují na revoluce a historické události, které přetvořily dříve zastávané názory na fungování vesmíru, a vypravují o jejich hlavních aktérech. V této stručné knize se však nebudu tolik ohlížet do minulosti ani nebudu věnovat příliš mnoho času zkoumání toho, jak dlouhá cesta nám zbývá (jednak to nevím a jednak mám podezření, že bude

ještě hodně dlouhá). Nicméně v osmé kapitole se zaměřím na to, co *víme*, že nevíme.

Osobně se nehlásím k žádné teorii, kterou bych preferoval. Jde-li například o sladění kvantové mechaniky s obecnou teorií relativity (tedy o svatý grál moderní teoretické fyziky), nejsem skalní zastávce ani jednoho ze dvou hlavních táborů, jež na dosažení tohoto cíle pracují: neobhajují teorii strun ani nejsem fanoušek smyčkové kvantové gravitace,¹ protože ani jedna z těchto teorií nespadá do mé specializace. Pokud jde o vysvětlení významu kvantové mechaniky, nejsem obdivovatel ani kodaňské interpretace, ani mnoha světů.² Nemůže mi to však zabránit, abych o těchto problémech tu a tam něco polemického nepoznamenal.

Budu se také snažit, abych se příliš nezaplétal do filozofických nebo metafyzických úvah, ačkoliv toto pokušení je často velmi silné, pokud člověk diskutuje o různých klíčových myšlenkách, které stojí v popředí dnešní fyziky, ať už jde o povahu prostoru a času, různé interpretace kvantové mechaniky, nebo dokonce o význam samotné reality. Nechci, aby to vyznělo, že fyzika nepotřebuje filozofii, naopak. Pravděpodobně vás překvapí, že filozofie se mísí s fyzikou na úplně základní úrovni. Vězte, že vědci se stále nedokážou shodnout ani na tom, jestli je úkolem fyziky přijít na to, *jaký je svět ve skutečnosti* (v což věřil Einstein), tedy dosáhnout nějaké konečné pravdy, která čeká na objevení, nebo jestli jde jen o to, abychom vytvářeli modely světa a zaměřili se pouze na to, *co jsme schopni říci o realitě* (tedy o realitě, kterou možná nikdy opravdu nepoznáme). V této otázce se příkláním k Einsteinovi.

1 Samozřejmě později vysvětlím, čeho se tyto koncepty týkají.

2 I k tomuto tématu se dostaneme později.

Zjednodušeně by se dalo říci, že nám fyzika dává nástroje k pochopení celého vesmíru. Studium fyziky je tedy hledání vysvětlení – abychom se však mohli do takového pátrání pustit, musíme si nejprve položit správné otázky. A v tom jsou filozofové velmi dobří.

Vydejme se tedy na cestu s pokorou v mysli, kterou známe a sdílíme všichni, kdo jsme k sobě upřímní, děti, dospělí, minulé i budoucí generace: je to nevědomost. Pokud přemýšlíme o tom, co ještě nevíme, můžeme se soustředit na to, jak to nejlépe zjistit. Právě takhle vznikly všechny otázky, jež si lidé v průběhu dějin kladli a jež nám nakonec umožnily získat stále se zpřesňující obraz světa, který známe a milujeme.

Takhle tedy vypadá svět podle fyziky.

KAPITOLA 1

Bázeň z pochopení

Příběhy budou vždy neodmyslitelnou součástí lidské kultury, včetně vědy, a naše životy by bez nich byly chudší. Mnoho starověkých mýtů a s nimi spojenou víru i pověřivost dnes však nahradila moderní věda. V našem přístupu k porozumění světu jsme se od nich oprostili – dobrým příkladem jsou legendy o stvoření světa. Lidé od pradávných dob vymýšleli příběhy o počátcích našeho světa a o božstvech, která se o něj přímo zasloužila: od sumerského boha Anu neboli vládce nebes přes řeckou bohyni Gaiu, jež povstala z Chaosu, až po biblické mýty popsané v *Genesis*, jež přijala abrahámovská náboženství a které jejich stoupenci v mnoha částech světa stále považují za doslovnou pravdu. Mnoha lidem, pokud se vědou nezabývají, může připadat, že naše moderní kosmologické teorie o počátcích vesmíru nejsou o nic lepší než náboženské mýty, jež nahrazují – a pokud se podíváte na některé spekulativní myšlenky moderní teoretické fyziky, možná jim dáte za pravdu. Vědci ale používají racionální analýzu a pečlivé pozorování (tedy náročný proces založený na získávání vědeckých důkazů a jejich testování, ne na víře a slepém přijímání příběhů či vysvětlení). My dnes můžeme s velkou jistotou tvrdit, že toho o našem vesmíru víme dost. Můžeme si také být

jisti, že i záhady, které zatím nemají vysvětlení, nemusíme přičítat nadpřirozeným jevům. Naopak jde o jevy, jejichž vysvětlení teprve musíme objevit a kterým, doufejme, jednoho dne porozumíme díky rozumu, racionálnímu zkoumání a... fyzice.

Někteří lidé by sice mohli tvrdit opak, ale vědecká metoda *není* jen jiný způsob pohledu na svět, není to ani jen další kulturní ideologie nebo náboženský systém. Je to způsob, jak poznáváme přírodu metodou pokusů a omylů, pomocí experimentů a pozorování. Jsme odhodlaní nahradit myšlenky, které se ukážou jako špatné nebo neúplné, lepšími. Odhalujeme vzory, které vidíme v přírodě, a krásu skrytou v matematických rovnicích, jež tyto vzory popisují. Neustále tak prohlubujeme naše poznání a přibližujeme se „pravdě“ o tom, jaký svět ve skutečnosti je.

Netvrdím, že vědci nemají stejné sny a předsudky jako všichni ostatní a že někdy nezastávají názory, které nemusejí být zcela objektivní. Jedna skupina vědců něco vnímá jako „konsenzus“, pro ostatní je to ale „dogma“. Jedna generace něco považuje za neochvějný fakt, další generace v tomtéž vidí naivní nedorozumění. Ani věda – stejně jako náboženství, politika nebo sport – se neobejde bez vypjatých debat. Často se stává, že vědecký problém zůstává nevyřešen (nebo jsou proti nabízeným řešením alespoň vznášeny pádné argumenty), ale postoje soupeřících stran jsou natolik pevné, že začínají připomínat spíše nějakou ideologii. Může se jednat o zásadní rozpory nebo jen o jemné nuance, ale jejich obhájci mohou trvat na svém stejně neotřesitelně jako v libovolné jiné ideologické debatě. A stejně jako v případech společenských debat o náboženství, politice, kultuře, barvě pleti nebo pohlaví občas potřebujeme novou generaci, která nám pomůže setřást okovy minulosti a nabídne na problém nový pohled.

Přírodní vědy se od ostatních oborů liší v jedné zásadní věci. Jediné přesné pozorování nebo výsledek experimentu má totiž moc označit dřívější vědecké stanovisko či dlouho obhajovanou teorii jako zastaralé a nahradit je novým pohledem na svět. Znamená to tedy, že nejvíce důvěřujeme teoriím a vysvětlením přírodních jevů, které přežily zkoušku časem. Právě u těchto teorií máme největší jistotu. Země obíhá kolem Slunce, ne naopak. Vesmír se rozpíná, není statický. Rychlost světla ve vakuu je vždy stejná bez ohledu na to, jak rychle se ten, kdo ji měří, pohybuje... a podobně. Objeví-li se nový a důležitý vědecký objev, který změní způsob, jakým pohlížíme na svět, ne všichni vědci jej pokaždé okamžitě přijmou, to je ovšem *jejich* problém. Vědecký pokrok je nezadržitelný, což je mimochodem správné za *každých* okolností: znalosti a osvěta jsou vždy lepší než nevědomost. Začínáme v nevědomosti, ale snažíme se objevovat... a i když se na této cestě třeba pohádáme, nemůžeme ignorovat, co zjistíme. Jde-li o naše vědecké chápání podoby světa, nemá v něm „sladká nevědomost“ co dělat. Jak kdysi řekl Douglas Adams: „Osobně bych vždycky upřednostnil bázeň z pochopení před bázní z nevědomosti.“³

Co nevíme

Je také pravda, že neustále odhalujeme, kolik existuje toho, co ještě nevíme. S rostoucími znalostmi rostou především znalosti o naší nevědomosti! V jistých ohledech, jak vysvětlím později, je toto popis situace, kterou zažíváme

³ Douglas Adams: *Ještě jednou a naposledy stopem po Galaxii aneb Losos pochybnosti*, překlad Hana Březáková, Praha, Aurora, 2003.

ve fyzice právě dnes. Aktuálně se nacházíme v době, kdy mnozí fyzikové pociťují ve svém oboru zvyšující se napětí, ne-li přímo krizi. Zdá se, jako by se něco muselo zborit. Před několika dekadami, kdy to vypadalo, že „teorie všeho“ je možná na dosah ruky, se uznávání fyzikové jako Stephen Hawking ptali: „Je konec teoretické fyziky v dohlednu?“⁴ Mysleli, že už bude jen třeba vychytat poslední mouchy, ale mýlili se. A ne poprvé. Fyzikové zastávali podobný názor již na konci 19. století. Přišla však doslova exploze nových objevů (elektron, radioaktivita a rentgenové záření), které nemohly být vysvětleny žádnou v té době známou fyzikální teorií a jež vedly ke zrodu moderní fyziky. Mnoho fyziků má dnes pocit, že se možná nacházíme na začátku další fyzikální revoluce, která by se svou velikostí vyrovnala příchodu relativity a kvantové mechaniky před sto lety. Nenaznačují, že objevíme nějaký zásadní nový fenomén jako rentgenové záření nebo radioaktivitu, ale možná potřebujeme dalšího Einsteina, který by prolomil současnou patovou situaci.

Velký hadronový urychlovač (LHC) dosud nenavázal na svůj úspěch z roku 2012, kdy detekoval Higgsův boson, čímž potvrdil existenci Higgsova pole (budu se mu věnovat později). Mnoho fyziků už začalo doufat, že by mohly být objeveny další nové částice, které by pomohly vyřešit některé dlouhotrvající záhady. Stále nerozumíme povaze temné hmoty, která drží pohromadě galaxie, a temné energii, která se snaží vesmír roztrhat na kusy. Nemáme odpovědi ani na základní otázky typu, proč existuje více hmoty než

⁴ Hawking napsal článek s tímto názvem v roce 1981: Hawking, S. W.: „Is the end in sight for theoretical physics?“, *Physics Bulletin* 32/1, 1981, s. 15–17.

antihmoty, proč jsou vlastnosti vesmíru tak jemně vyladěny, aby umožnily existenci hvězd, planet a života, jestli existují paralelní vesmíry nebo zda před velkým třeskem bylo něco, co stvořilo vesmír, který vidíme. Stále je tolik věcí, které nedokážeme vysvětlit. A přesto je těžké se *nenechat* naším dosavadním úspěchem oslnit. Zatímco u některých vědeckých teorií se může zjistit, že jsou vzájemně propojené na mnohem hlubší úrovni, než jsme si mysleli, jiné se mohou ukázat jako zcela mylné. Nikdo však nemůže popřít, jak daleko jsme se dostali.

Někdy si díky novým empirickým důkazům uvědomíme, že jsme se celou dobu nacházeli ve slepé uličce. Jindy jednoduše zdokonalíme myšlenku, která se ukáže jako ne úplně špatná, ale je spíše jen hrubým přiblížením, jež vyžaduje úpravu, abychom získali přesnější obraz reality. Existují i oblasti fundamentální fyziky, se kterými nemusíme být úplně spokojeni – víme totiž, že zde ještě nebylo vyřčeno poslední slovo, ale přesto na ně dále spoléháme, protože jsou užitečné. Dobrým příkladem je Newtonův gravitační zákon. Stále se o něm velkolepě hovoří jako o „zákonu“, protože tehdejší vědci si byli natolik jistí, že jím bylo dané téma uzavřeno, a povýšili ho nad pouhou „teorii“. Nadále tedy používáme slovo „zákon“, i když nyní víme, že jejich sebevědomí nebylo na místě. Newtonův zákon nahradila Einsteinova obecná teorie relativity (všimněte si, že se jí říká „teorie“), protože poskytuje lepší a přesnější vysvětlení gravitace. Přesto však stále používáme Newtonovy rovnice k výpočtu trajektorií při letech do vesmíru. Předpovědi newtonovské mechaniky nemusejí sice být tak přesné jako předpovědi Einsteinovy relativity, ale stále jsou dost dobré pro téměř jakékoliv každodenní použití.

Další příklad teorie, na níž stále pracujeme, je tzv. standardní model částicové fyziky. Jde o spojení dvou samostatných matematických teorií (zvaných teorie elektroslabé interakce a kvantová chromodynamika), jež společně popisují vlastnosti všech známých elementárních částic a sil, které mezi nimi působí. Někteří fyzikové považují standardní model jen za určité dočasné řešení, než objevíme přesnější a jednodušší teorie. Přesto je ale pozoruhodné, že nám v současné podobě může standardní model říci vše, co potřebujeme vědět o povaze hmoty: jak a proč jsou elektrony uspořádané kolem atomových jader, jak na sebe atomy působí a jak vznikají molekuly, jak se tyto molekuly spojují, aby vytvořily vše kolem nás, a jak hmota interaguje se světlem (čímž lze vysvětlit téměř všechny jevy). Jediná část standardního modelu – kvantová elektrodynamika – popisuje celou chemii na úplně základní úrovni.

Standardní model však nemůže mít poslední slovo o povaze hmoty, protože nezahrnuje gravitaci a nevysvětluje temnou hmotu ani temnou energii, které dohromady tvoří většinu hmoty a energie ve vesmíru. Odpovědi na některé otázky přirozeně navozují další otázky, vědci proto ve snaze vyřešit tyto stávající a zásadní neznámé pokračují v hledání fyziky „nad rámec standardního modelu“.

Kudy dál

Fyzika postupuje kupředu prostřednictvím hledání neustálého souladu mezi teorií a experimentem a platí to pro ni více než pro kteroukoliv jinou vědeckou disciplínu. Teorie mohou přežít zkoušku časem pouze tehdy, jsou-li jejich předpovědi v souladu s výsledky experimentů. Každá dobrá

teorie vytváří nové předpovědi, které lze testovat například v laboratoři. Pokud jsou s ní výsledky pokusů v rozporu, musí být teorie upravena, nebo dokonce zavržena. Experimenty naproti tomu mohou poukazovat na dosud nevysvětlitelné jevy, které vyžadují nový teoretický přístup. V žádné jiné vědě tak krásnou souhru nenajdeme. V matematice jsou věty a domněnky dokazovány čistou logikou, dedukcí a s použitím axiomů. Nevyžadují ověření v reálném světě. Naproti tomu geologie, etologie nebo behaviorální psychologie jsou vědní disciplíny založené na pozorování, v nichž dosáhneme pokroku v našem chápání díky pečlivému sběru dat z přírody a světa kolem nás nebo důkladně navrženými laboratorními testy. Fyzika však může postupovat kupředu *jen* tehdy, když jdou teorie s experimentem ruku v ruce, přičemž si navzájem pomáhají při zdolávání fyzikálního útesu a cestou si ukazují, kde se čeho chytit.

Práce fyziků, kteří rozvíjejí své teorie a modely nebo navrhují experimenty, jimiž budou testovat jistý aspekt fungování světa, je doslova pátrání v neznámu. Dalo by se říci, že ve fyzice obecně existují dva typy vědců. Liší se způsobem hledání nových myšlenek. Představte si, že jdete za temné bezměsíčné noci domů a najednou si uvědomíte, že máte v kapse kabátu díru, kterou vám někde po cestě vypadly klíče. Víte, že musejí ležet kdesi na chodníku, po kterém jste právě šli. Vydáte se tedy po svých stopách zpět. Máte na výběr. Budete hledat pouze v místech, kam na chodník dopadá světlo pouličních lamp? Ačkoliv je osvětlen jen zlomek chodníku, pokud klíče někde v těchto místech skutečně leží, tak je uvidíte velmi dobře. Nebo budete tápat i ve tmě mezi ostrůvky světla? Je pravděpodobnější, že tam vaše klíče budou, ale bude také o dost obtížnější je najít.