

MICHAL
ČERNÝ

VYBRANÉ KAPITOLY Z FYZIKY A FILOSOFIE

MASARYKOVA
UNIVERZITA

muni
PRESS



ISAACVS NEWTONVS.

MICHAL ČERNÝ

VYBRANÉ KAPITOLY Z FYZIKY A FILOSOFIE

MASARYKOVA UNIVERZITA
BRNO 2018

Recenzenti:
prof. RNDr. Jan Novotný, CSc.
prof. PhDr. Josef Krob, CSc.

© 2018 Masarykova univerzita
ISBN 978-80-210-9019-4
ISBN 978-80-210-9018-7 (brož. vaz.)

OBSAH

ÚVOD

8 – 11

I. METODOLOGIE

12 – 160

16	VÝSTAVBA FYZIKÁLNÍCH MODELŮ A TEORIÍ
114	EXPERIMENT
127	IDENTITA A INDIVIDUALITA V KVANTOVÉ MECHANICE —PŘÍKLAD INTERPRETAČNÍHO SCHÉMATU VE FYZICE
148	METODOLOGIE NA PŘÍKLADU FORMOVÁNÍ KVANTOVÉ MECHANIKY

II. ANTROPICKÝ PRINCIP

162–283

166	ANTROPICKÝ PRINCIP VE FYZICE
186	ANTROPICKÝ PRINCIP A JEHO VYBRANÉ ZÁKLADNÍ INTERPRETACE
204	KOSMOLOGICKÉ ASPEKTY ANTROPICKÉHO PRINCIPU
226	EPISTEMICKÉ ASPEKTY ANTROPICKÉHO PRINCIPU
259	FINÁLNÍ ANTROPICKÝ PRINCIP
282	ZÁVĚR

III. PROSTOROČAS: DĚJISTĚ VĚDY

284–393

289	ČAS A ZMĚNA
317	PROSTOR A MÍSTO
335	HMOTA
363	ČASOPROSTOR

ZÁVĚR

394–396

BIBLIOGRAFIE

397–420

SUMMARY

421–423

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval především recenzentům předloženého textu, ale také těm, kdo připomínkovali stejnojmennou disertační práci. Na prvním místě prof. Janu Novotnému, za nesmírné množství pečlivých připomínek k obsahu. Také bych mu rád přiznal významné spoluautorství kapitoly o Obecné teorii relativity (381–388). Prof. Josef Krob mne navedl především na téma vztahu temné energie a hmoty k antropickému principu a k hlubšímu promyšlení finálního antropického principu. V neposlední řadě bych rád poděkoval doc. Langerovi za řadu dílčích poznámek a připomínek.

ÚVOD

Kniha nese název *Vybrané kapitoly z fyziky a filosofie*, což je také jejím základním obsahem. Nabízí témata, která se nacházejí na průsečíku mezi přírodními vědami a filosofií, a snaží se o jejich popis a interpretaci. Text je koncipovaný jako monografie, lze jej číst od první do poslední kapitoly, ale také se — v případě zájmu — zaměřit pouze na vybrané kapitoly dle preferencí čtenáře.

Jasně a zřetelně oddělení subjektu a objektu, které souvisí s možností snadné redukce skutečnosti popperovsky orientovaným programem poznávání světa, je pro přírodní vědy přístupem, který má celou řadu zásadních výhod. Newtonova matematizace zákonů přírody umožnila zcela zásadní proměnu světa. Básníci i společenští filosofové se předháněli v tom, jak dostatečně ocenit přístup, který tento Angličan zvolil. Newton je v dobovém kontextu tím, kdo dokázal v záplavě poznatků světa identifikovat to, co lze matematicky popsat a využívat.¹ Svět se díky tomu stal nezávislý na subjektu, byl popsán věčnou a neměnnou matematikou.

Z tohoto pohledu lze říci, že téměř jakákoli filosofie přírodních věd bude těžit z Aristotelova dělení subjektu a objektu, respektive jeho

¹ › Tuto skutečnost pěkně ilustruje báseň Johna Theophiluse Desagulierse (1683–1744): „*Před jeho Rozumem i příroda se vzdává, / Všechna svá tajemství mu bez odmluvy dává. Zákonům matematiky však vzdorovat nemůže / A proti pokusu nic jí nepomůže.*“ Desaguliers dle PRIGOGINE, Ilya; TOFFLER, Alvin. *Řád z chaosu: nový dialog člověka s přírodou*. Vyd. 1. Praha: Mladá fronta, 2001. 316 s. ISBN 8020409106, s. 45.

moderní interpretace vědou 18. a 19. století. Pokud potřebuje řešit otázky bez jakéhokoli vztahu k člověku, není třeba volit paradigma jiné. U většiny filosofických otázek fyziky ale dochází k určité interakci mezi fenoménem antropologickým a objektivním nazíráním na přírodu.²

V knize se snažíme předložit určité smířlivé stanovisko mezi fenomenologickým personalismem a právě zmíněným realismem, který je spojen s přísným subjekt–objektovým schematismem. Můžeme hovořit o vrstvě materiální reality, která sice noosféru tvořenou reflexivním vědomím determinuje, ovlivňuje a interaguje s ní, ale není možné je spolu identifikovat. Chtěli bychom nabídnout pohled respektující klasické přírodovědecké paradigma objektivitu, avšak současně akcentujeme určitý lidský rozměr, který do procesu poznávání přírody integrálně vstupuje. Je to člověk, který žije a poznává v čase a prostoru, přičemž se nemůže oddělit od hmoty a poznávat mimo ni.

Druhá část se věnuje tématu antropického principu jako jednomu ze zajímavých metodologických východisek při studiu kosmologie a teorie vědy. Nově přitom pojednává o tématu vztahu antropického principu a temné hmoty a energie, což je téma, které je doposud v literatuře téměř nereflextované. Nabízí také vlastní verzi antropického principu, která je s tímto konceptem spojená.

Právě čas, prostor či hmota představují jak předmět zkoumání vědy a filosofie, tak také „kulisy“, ve kterých poznání probíhá, jakési minimální předpoklady pro to, aby člověk mohl o světě cokoli vypovídat. Celá fyzika je vystavěna jako disciplína, která popisuje chování hmotných objektů v časoprostoru. Právě tato vzájemná interakce je pro popis těchto fenoménů zcela zásadní.

V tomto ohledu věříme, že předložený text může mít širší význam než prosté ukázání některých zajímavých témat z filosofie a fyziky. Svým způsobem by měla ukazovat určitý širší antropologický kontext, kterého si musíme být při budování vědeckých teorií vědomí. Často se zde setkáváme se dvěma extrémními pozicemi; většinou není lidský faktor vůbec explikován, nebo je naopak dohnán až do krajnosti odsouzení

²

› Tuto skutečnost vyjadřuje Teilhard de Chardin následujícím způsobem: „Z čistě pozitivistického hlediska je člověk tím nejtajemnějším a nejvíce zavádějícím předmětem, s jakým se věda kdy setkala... Fyzika dospěla k prozatímnímu popisu světa pomocí atomů. Biologii se podařilo do konstrukcí života vnést jistý řád... Ale i když se všechny tyto rysy dají dohromady, portrét zřejmě neodpovídá skutečnosti.“ TEILHARD DE CHARDIN, Pierre. *Vesmír a lidstvo*. Praha: Vyšehrad, 1990. ISBN 80-702-1043-5, s. 139.

vědy jako takové, neboť z ní učiní čistě subjektivní výpověď o světě. Ač nepovažujeme vědu za pouhý mýtus nebo jen jednu z mnoha možných postupů k deskripci fenoménů, tak analýza lidského prvku studovaná v celé struktuře přírodovědného bádání je projektem, který vnímáme jako zcela zásadní. Pokud má filosofie dávat limity a metodologická omezení přírodním vědám, nemůže tak efektivně činit zvenčí, nezaujatým soudem, ale musí tyto limity a lidské konstrukty hledat přímo v teoriích speciální vědy.

Tato distinkce se může projevovat různými způsoby. Jedním z nich může být volba antropického principu jako určitého vědeckého programu a návrhu pro interdisciplinární spolupráci. Jiným konceptem může být studium fundamentálních konstant přírody. Planckova délka, energie a čas mohou být stejně fundamentální jako Planckova konstanta, rychlost světla a gravitační konstanta. Jestliže fundamentálnost budeme posuzovat z hlediska fenoménu člověka, pak Planckovy jednotky, které společně utvářejí časoprostor, představují fundamentální východisko, a to i přesto, že běžně se za fundamentální považuje druhá trojice. Jde o jednotky snadno měřitelné (rychlost světla je definitoricky určená), integrované do základních přírodních zákonů a teorií.

Samotný text vznikal postupným pronikáním do témat, která se navzájem prolínala a v daném paradigmatu se jevila jako zajímavá a stimulující. Jsme si vědomi toho, že každá z kapitol by mohla být zpracovaná jako samostatná monografie, že téměř vždy jde spíše o vybrané fragmenty či střípky, jež jsou spojené do alespoň částečně konzistentního celku příběhu, který má omezený rozsah a možnosti textu. Přesto právě ve spojení těchto obsáhlých celků a jejich vzájemné provázanosti vidíme jeden z nejpodstatnějších rysů práce, která může sloužit jako určité diskusní zrcadlo či kompendium pro formování vlastního postoje ke klíčovým partiím filosofických otázek fyziky.

Text knihy navazuje na autorovu diplomovou a rigorózní práci, z nichž čerpá v kapitolách věnovaných času, prostoru, časoprostoru, antropickému principu a paradoxům, byť je v podstatných částech doplněna,

³ › Viz ČERNÝ, Michal. Několik poznámek k roli jazyka ve vědě. *ProInflow*, Brno: Masarykova univerzita, 2014, roč. 6, č. 1. ISSN 1804-2406.

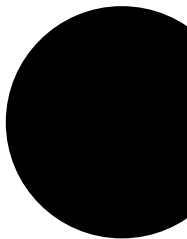
⁴ › Viz ČERNÝ, Michal. Paradoxy (nejen v přírodních vědách) jako cesta poznání. *ProInflow*, Masarykova univerzita, 2014, roč. 6, č. 2. ISSN 1804-2406. Tato část je ale významně přepracovaná, rozšířená a doplněná.

upravena a změněna. Části práce týkající se jazyka³, paradoxů⁴ a finálního antropického principu⁵ byly publikovány v odborných časopisech, ačkoli v práci opět prošly určitou úpravou.

5

› Viz ČERNÝ, Michal. Finální antropický princip ve filosofii, pedagogice a informační vědě. *ProInflow*, Brno: Masarykova univerzita, 2016, roč. 8, č. 1, s. 103–116. ISSN 1804-2406. Jde o text, který byl také součástí autorovy rigorózní práce.

I



METODOLOGIE

1 6	VÝSTAVBA FYZIKÁLNÍCH MODELŮ A TEORIÍ	Pojmy Hypotéza Teorie Přírodní zákon Výstavba klasické mechaniky v Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica Tři přístupy k budování fyzikálních modelů — Kepler, Mach a Bohr Symetrie ve fyzice Fyzika a jazyk Struktura vědeckých revolucí Paradoxy (nejen ve fyzice) jako cesta k poznání Závěr	1 8 2 3 2 5 2 6 2 7 3 1 4 9 6 2 8 0 8 3 11 2
114	EXPERIMENT	Postup budování fyzikálních teorií Druhy experimentů Vysvětlení a kritika přírodních věd Charakteristiky experimentu Přístroje a experimentální měření Závěrem	115 118 120 122 124 125
127	IDENTITA A INDIVIDUALITA V KVANTOVÉ MECHANICE — PŘÍKLAD INTERPRETAČNÍHO SCHÉMATU VE FYZICE	Nerozlišitelnost částic v kvantové mechanice Pauliho vylučovací princip Boseho-Einsteinův kondenzát Interpretace kvantové mechaniky Problematika lokálnosti klasické a nelokálnosti kvantové mechaniky Jak je možné, že jsou všechny elektrony stejné?	130 131 132 135 143 143 145
148	METODOLOGIE NA PŘÍKLADU FORMOVÁNÍ KVANTOVÉ MECHANIKY	Jazyk Paradox Experiment Symetrie Paradigma Závěrem	148 151 154 156 158 160

Slovo „metodologie“ (řecky μέθοδος) etymologicky označuje sledování či stopování. Jde v něm tedy o vytyčení určité cesty, které se má člověk držet. Ve vědě jde o definici oborové metodologie, tedy oblasti a přístupů, které konkrétní disciplínu oddělují od disciplín ostatních. Jednou z důležitých charakteristik vědecké práce je určitá struktura tohoto poznání a jeho logická konzistence.⁶

Fyzika představuje z metodologického hlediska jednu z nejzajímavějších možných oblastí lidského bádání. Předně jde o přírodní vědu, která se musí opírat především o induktivní postupy, vědu, která formuluje hypotézy či teorie a pracuje s experimenty. Experiment je v ní nakonec nejvyšším arbitrem, který rozhoduje, zda daný fenomén existuje, případně zda je možné jej vysvětlit způsobem, který navrhuje určitý myšlenkový směr. Jde ale současně o vědu mimořádně silně matematizovanou. Matematika samotná je vědou deduktivní — z axiomů vyvozuje jednotlivá tvrzení, která mohou být vyvrácena jen důkazem chybnosti axiomu nebo špatného postupu.

Ve fyzice se tak z hlediska metodologie zajímavým způsobem snoubí jak deduktivní, tak také induktivní přístupy, aniž by bylo možné říci, že jeden z nich je důležitější než druhý. Jisté pnutí mezi teoretickými fyziky a experimentátory v této vědě bylo přítomné vždy, i když se našly osobnosti, které vynikaly v obojím, např. Ernst Mach (1838–1916) nebo Richard Phillips Feynman (1918–1988).

⁶

› Podrobněji například ve FAJKUS, Břetislav. *Filosofie a metodologie vědy. Vývoj, současnost a perspektivy*. 1. vyd. Praha: Academia. ISBN 80-200-1304-0, 2005.

V této části práce se tedy zaměříme na samotnou metodologii fyziky — na jedné straně na logickou výstavbu teorií a modelů, na straně druhé na téma experimentu a jeho postavení ve fyzice jako vědě zkušenostní. Od běžných úvodů do metodologie přírodních věd se naše pojetí poněkud liší. Předně se do samotného centra studia metod zařazuje téma symetrie, jako jistého základního projevu přírody ve vztahu k lidskému zkoumání. Zajímavé také je, že právě koncept symetrie, respektive jejího drobného narušení, se objevuje jak ve fyzikálním zkoumání antropického principu, tak také v oblasti časoprostorové.

Neobvyklá je také komparace tří metodologických konceptů tvorby fyzikálních teorií, které mají — každá svým způsobem — revoluční charakter. Pojetí vědy u Keplera, Macha i Bohra je na jedné straně hluboce odlišné, ale věříme, že takto vedle sebe postavené dávají pluralitní náhled na to, jak lze k vědě přistupovat. Byť s jistým vědomím dějinného a kulturního kontextu. Tak jako v celé práci budeme přitom za jedno z našich myšlenkových východisek (což je také neobvyklé) řadit přístup Pierra Teilharda de Chardin (1881–1955), který bude jistá témata či pohledy práce rámovat a propojovat.

Druhým specifikem je zařazení tématu paradoxu. To činí sice také například příručka *Jak pracuje věda*⁷, avšak ta k paradoxu přistupuje spíše zkratkovitě a nezaměřuje se ani na vztah paradoxu a budování vědeckého poznání, ani na epistemické aspekty paradoxu. Kapitola věnující se paradoxům je specifická v kontextu běžných metodologických příruček také tím, že se věnuje kognitivním zkreslením. Celkově tak vytváří zcela odlišný pohled na paradoxy. Z hlediska výstavby celé metodologické kapitoly lze tuto kapitolu považovat (také rozsahem) za jistý vrchol a východisko celého myšlenkového zkoumání.

Aplikaci jednotlivých přístupů na konkrétní fyzikální téma lze nalézt v Apendixu III.

⁷

› NOVOTNÝ, Jan a Jindřiška SVOBODOVÁ. *Jak pracuje věda*. Brno: Masarykova univerzita, 2014. 112 s. TeePee. ISBN 978-80-210-6942-8.

VÝSTAVBA FYZIKÁLNÍCH MODELŮ A TEORIÍ

1 / 4

Redukcionismus je na první pohled rozumným přístupem k tomu, jak budovat fyzikální teorie, neboť vše převádí do relativně jednoduchého a jasného světa matematických rovnic, kterým je dáván fyzikální význam. Ukazuje se ale, že biologické problémy jsou aparátem fyziky a její matematiky často neřešitelné a dost možná nebudou takto nikdy popsitelné. Jako příklad je možné uvést samoorganizující se systémy. Přesto fyzikální přístup, který vychází ze snahy matematizovat svět, působí efektivním dojmem a staví na něm jak moderní věda, tak všechny inženýrské obory.

Sir Karl Raimund Popper (1902–1994) byl významným filosofem, který se zabýval mimo jiné tím, jaké podmínky musí splňovat věda, aby mohla být pokládána za vědu. Stanovil proto tři kritéria. Aby byla věda vědou, musí být:

- tematicky redukována,
- metodicky abstraktní,
- empirická.⁸

Popper pak přichází ještě s jednou důležitou myšlenkou. Každá vědecká teorie musí být podle něj falzifikovatelná čili vyvratitelná.⁹ Musí tedy obsahovat návrh (třeba skrytě) experimentu, který by ji umožnil vyvrátit.

⁸ › Srov. např. VÁCHA, Marek. Filosofie vědy. 3. *Lékařská fakulta UK* [online].

⁹ › Podrobněji v POPPER, Karl. *The logic of scientific discovery*. Routledge, 2014, s. 17–20, 57–73. K dispozici je také její český překlad POPPER, Karl. *Logika vědeckého bádání*. Praha: [Institut pro středoevropskou kulturu a politiku], 1997. Oikúmené. ISBN 80-86005-45-3, s. 18–21, 63–80.

Například Albert Einstein (1879–1955) ve všech svých velkých pracích píše na konec návrhy pokusů, které by měly ověřit, či vyvrátit jeho teoretický výsledek.

Fyzika tedy vždy postupuje tak, že vytvoří určitý model skutečnosti, ten pak porovnává s tím, jak vypadá svět kolem nás. Současně ale působí také druhá tendence, kdy pozorujeme svět a jevy v něm a snažíme se je popsat co možná nejlepším modelem. Tak například mechanika Isaaca Newtona (1643–1727) velice dobře funguje pro běžné pozemské rychlosti v makroskopických rozměrech, tedy ve světě, který byl Newtonovi běžně experimentálně dostupný. Při vysokých rychlostech se ale musí uplatnit speciální teorie relativity a jevy s ní spojené — kontrakce délek, dilatace času či nárůst hmotnosti těles.¹⁰

Možností, jak přistoupit k výstavbě ucelených fyzikálních teorií, je více. Jednou z cest je definice pojmů, které umožní formulovat hypotézy, jež jsou postupnou experimentální verifikací začleňovány do širších a obecnějších teorií spolu se zákony, které do tohoto systému přicházejí jako zcela experimentálně ověřené neměnné axiomy. Jinou možností by pak bylo sledovat cestu vývoje myšlenek popperovským způsobem, tedy od idejí přes pojmy, tvrzení, důkazy až po jednoduché věty.

Následující část se proto pokouší analyzovat dva důležité aspekty vzniku vědeckých teorií. Předně usiluje o výklad základních pojmů, ze kterých je možné konzistentní teorie konstruovat, a nabízí jejich aplikaci na příkladu vzorovém — Newtonových *Principiích*,¹¹ které jsou téměř „školskou“ ukázkou toho, jak by se mělo přesně a systematicky postupovat. Neméně zajímavé je studovat také další aspekt vzniku fyzikálních teorií, totiž motivaci a filosofické rámce, ze kterých jednotliví autoři vycházejí. Příklady tří osobností vědy — Johannese Keplera (1571–1630), Ernsta Macha a Nielse Bohra (1885–1962) — ukazují, že lze postupovat zcela odlišnými cestami, respektovat odlišné hodnoty a přístupy, a přesto dojít k cíli, tedy funkčnímu modelu vysvětlujícímu část problémů přírodních

¹⁰

› Zajímavé poznámky k newtonovské kosmologii poskytuje například COOPER-STOCK, F. I.; TIEU, S. Galactic dynamics via general relativity: a compilation and new developments. *International Journal of Modern Physics A*, 2007, 22.13: 2293–2325. Úvodem do speciální teorie relativity může být například NOVOTNÝ, Jan, Jana JURMANOVÁ, Jan GERŠL a Marta SVOBODOVÁ. *Základy teorie relativity*. Elportál, Brno: Masarykova univerzita, 2006. ISSN 1802-128X.

¹¹

› Viz NEWTON, Isaac. *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*, Sv. 1. London: B. Motte, 1729.

věd, jestliže klademe důraz na vztah mezi teorií a experimentem. Právě on je kruciólním bodem, okamžikem, který rozhoduje, zda cesta, po které jsme se vydali, může vést k cíli, nebo jde jen o slepou uličku. V tom spočívá určitá psychologická krutost přírodních věd, kterou pod pojmem falzifikovatelnosti chápe Popper. Není možné říci, že když se věci chovají podle našeho modelu, popisujeme skutečné vlastnosti přírody. I když v řadě experimentů či předpovědí uspějeme, stačí jeden jediný neúspěšný a dojde ke zřícení celého konstruktů.¹²

Jiří Langer (*1939) uvádí, že fyzika má jen sametové revoluce.¹³ Model, který fungoval a nyní s experimentem nekoresponduje, omezíme na určitou oblast a hledáme jeho — více či méně konzervativní — vysvětlení jakýmsi principem korespondence.¹⁴ To jistě platí při přechodu z newtonovské mechaniky na relativistickou, avšak setkáme se i s příklady, kdy je teorie odvržena jako celek — éter vyplňující vesmír¹⁵ nebo tepelné fluidum zajišťující termodynamické vlastnosti látek byly opuštěny zcela.

Pojmy

Základními stavebními prvky všech fyzikálních teorií či zákonů a hypotéz jsou pojmy. Velice často jde o koncepty, které se běžně vyskytují v našem jazyce, používáme je, aniž bychom se zamýšleli nad tím, jak jsou definována. Příkladem tak může být pojem hmotnost, elektrický náboj, síla či energie. Je signifikantní, že je často používáme, aniž bychom znali jejich dobrou definici. Pojem budeme chápat jako spojení slova (majícího formu „označujícího symbolu“) a jeho přesného významu, který je závislý na fyzikální interpretaci či vědeckém paradigmatu.

Z hlediska fyziky je přitom podstatné, na jakých principech bychom měli tyto pojmy stavět. Většinou se může zdát, že se dostáváme do definice kruhem — tak jako Newton, když definoval hmotnost pomocí

¹² › Podrobněji v POPPER, Karl. *The logic of scientific discovery*. Routledge, 2014, chap. 4.

¹³ › Výrok zazněl na sympoziu ke stému výročí Bohrova modelu atomu v Pardubicích.

¹⁴ › Srov. GAO, Bo. Breakdown of Bohr's correspondence principle. *Physical review letters*, 1999, 83.21: 4225.

hustoty. Ukazuje se, že jednou z možností, kterou doporučoval například Mach, je experiment.

Fyzika, na rozdíl od matematiky, je jen málo axiomatickou disciplínou a většinu svého poznání odvozuje od experimentu.¹⁶ V samostatné kapitole ukazujeme, jakým způsobem je vybudován pojem síly u Macha. Obecně je možné říci, že lze dobře předpokládat možnost popisu pomocí kinematických veličin — rychlosti, polohy či času. Z nich lze odvodit hmotnost a hybnost. Ty mohou posloužit pro budování dalších pojmů z klasické mechaniky.

Jestliže přichází nová fyzikální teorie, která potřebuje využívat nových pojmů (ať již za užití nově vytvořených slov nebo změny či prohloubení významu již zaužívaných slov), měla by důsledně dbát na jejich definici. Právě dobrá znalost základních pojmů by měla stát na počátku budování jakýchkoli fyzikálních teorií či modelů.

Je přitom mimořádně zajímavé identifikovat, které pojmy můžeme v rámci modelů a teorií budovat a které nikoli. Například Tomáš Garrigue Masaryk (1850–1937) ve svém spisku o Pascalově¹⁷ přístupu k budování teorií píše, že jednoduché pojmy, jako jsou čas a pohyb, není možné definovat. Existovala představa, že těmito jednoduchými pojmy míní všichni lidé totéž.¹⁸

Definovat se mají — podle Pascala — pojmy podle následujících pravidel:

1. *„Každý jen poněkud nejasný nebo mnohoznačný název budiž definován.*
2. *V definicích se mají používat jen pojmy již vyložené nebo zcela jasné.*
3. *Za axiomy lze považovat jen výroky, které jsou dokonale zřejmé.*
4. *Důkazy výroků mají být prováděny z předpokladů buď zcela zřejmých, nebo pomocí axiomů, ovšem jen takových, které splňují pod-*

¹⁵ › Einstein se problematice věnuje například v EINSTEIN, Albert. *Ether and the Theory of Relativity*. In: *The Genesis of General Relativity*. Springer Netherlands, 2007. p. 1537–1542, s. 614.

¹⁶ › Srov. MCALLISTER, James W. The evidential significance of thought experiment in science. *Studies In History and Philosophy of Science Part A*, 1996, 27.2: 233–250, s. 233–234.

¹⁷ › Blaise Pascal (1623–1662).

¹⁸ › Viz MASARYK, Tomáš Garrigue. *Blaise Pascal, jeho život a filosofie*, Praha:1883. § 3. V tomto díle Masaryk vnímá Pasvalův přístup jako jistý ideální způsob vědecké práce a komunikace.

mínku výše uvedenou. Případně je možné užít již dříve vytvořených důkazů.

5. *Nikdy se nemá užívat víceznačných či nejasných pojmenování, tedy pracovat s pojmy tak, aby neměly svůj výklad a definici. Ve své myslí má člověk při konstrukci věty či důkazu vždy nahrazovat slova, pro přehlednost a zkratku na papír napsaná, jejich přesným výkladem či definicí.*¹⁹

Vybudování pojmu hmotnost

Na tomto místě se poněkud více pozastavíme u příkladu pečlivého vybudování pojmu hmotnost, neboť jde o oblast, která bývá v běžné vědecké práci většinou více či méně bagatelizovaná či odbývaná. Zatímco formulace hypotéz či teorií je vnímána jako opravdová vědecká činnost, tak vybudování pojmů v humanitních či společenských vědách má silně subjektivizující postavení a v přírodních vědách se mu často nevěnuje dostatečný prostor.

Mach správně upozorňuje na skutečnost, že Newton sice rozlišuje mezi tíhou a hmotností, avšak definici síly zavádí kruhem. Také to je důvod, proč se Mach rozhodl přikročit k definici hmotnosti způsobem sobě vlastním — totiž na základě experimentu, třebaže myšlenkového.²⁰

Mějme soustavu dvou těles A a B, která spolu interagují prostřednictvím pružiny. Počáteční konfiguraci systému zvolme tak, že tělesa jsou v klidu a pružina je napjatá. Sledujme závislost zrychlení těles na čase. Experimenty potvrzují, že poměr zrychlení je pro daná tělesa na čase nezávislý na čase, tedy:²¹

$$a_A(t) = -k a_B(t)$$

v kterémkoli okamžiku pohybu. Lze tedy přiřadit každé dvojici těles konstantu k_{AB} . Podle třetího Newtonova zákona je

¹⁹ MASARYK, Tomáš Garrigue. *Blaise Pascal, jeho život a filosofie*, Praha: 1883.

²⁰ Tento Machův postup je zde zpracován formálně podle ČERNOHORSKÝ, Martin. *Podklady k předmětu F3400*.

²¹ Pro zjednodušení budeme vždy uvažovat pohyb jen v přímce, nemusíme tedy zapisovat rovnice vektorovým způsobem. Symbol k značí zatím neznámou konstantu umělosti.

$$m_A a_A = m_B a_B,$$

tedy

$$k_{AB} = \frac{m_B}{m_A} = \left| \frac{a_A}{a_B} \right|.$$

Poměr hmotností je tedy převrácenou hodnotou poměru zrychlení a zvolíme-li m_A za jednotku, můžeme druhému tělesu přiřadit hmotnost m_B . Tento výsledek není vázán na tělesa spojená pružinou, ale má univerzální platnost pro všechny interakce a užívá se například pro určení hmotností interagujících nebeských těles. Proto třetí axiom, který se v Principiích mohl jevit jako nahodilý a méně důležitý, ukazuje být podstatnou součástí systému, protože dovoluje připsat hmotnosti přesný význam a měřitelnou hodnotu.

Ačkoliv je Machův postup vrcholným dílem budování základních pojmů v rámci klasické mechaniky, je stále málo využíván v učebnicích a pro většinu technicky orientovaných lidí zůstává hmotnost jen určitou veličinou, která vystupuje v pohybových rovnicích a jejíž jednotka je určována konkrétním makroskopickým etalonem. Jednotka hmotnosti se tím za současného stavu věcí nepříznivě odlišuje od jiných základních jednotek, které jsou definovány fundamentálnějším způsobem. Navíc nelze přehlížet, že každé použití daného etalonu jeho hmotnost poněkud pozmění.

Mach se ve své definici omezil na setrvačnou hmotnost. Moderní fyziku obrátila pozornost ke druhé podobě hmotnosti — hmotnosti gravitační. Zatímco setrvačná hmotnost vystupuje ve 2. Newtonově zákonu (ve zjednodušené podobě) jako

$$F = ma,$$

gravitační hmotnost vystupuje v Newtonově gravitačním zákonu jako

$$F = k \frac{m_A m_B}{r_{AB}^2}.$$

Albert Einstein postuloval ve své práci o obecné teorii relativity ekvivalenci setrvačných a gravitačních hmotností²² a tato rovnost byla mnohokrát s velkou přesností experimentálně ověřena. Můžeme tedy hovořit i o ekvivalenci obou hmotností. Obecná teorie relativity řeší problém dvojí hmotnosti tím, že zavádí pro popis výplně prostoročasu tenzor energie-hybnosti, který vystupuje jak v pohybových rovnicích „hmoty“, tak v Einsteinových rovnicích určujících vliv této hmoty na gravitaci (popsanou zakřivením prostoročasu). Pohybové rovnice a Einsteinovy rovnice jsou vzájemně těsně provázány. Setrvačná i gravitační hmotnost systémů se počítají z tenzoru energie-hybnosti a za určitých okolností vycházejí jako stejné, i když jisté problémy tu přetrvávají.

Jelikož je hmotnost popisována na základě svého vnějšího projevu (gravitačního působení či setrvačnosti), je třeba říci, že s narůstající rychlostí pohybu hmoty roste také její hmotnost:²³

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

označením m_0 pak myslíme klidovou hmotnost tělesa. Z hlediska definice hmotnosti je také klíčový vztah ekvivalence mezi hmotou a energií:

$$E = mc^2.$$

Ten také umožňuje novou definici hmotnosti i její velikosti ve spojení s Planckovým kvantem energie:

$$E = hf = mc^2,$$

tedy

$$m = \frac{hf}{c^2}.$$

²² › Viz EINSTEIN, Albert. Über das Relativitätsprinzip und die aus demselben gezogenen Folgerungen. *Jahrbuch der Radioaktivität*. 1907(4), 411–462.

²³ › Moderní přístupy ve speciální teorii relativity dnes opouštějí kontext klidové a „pohybové“ hmotnosti a pracují pouze s hmotností klidovou. Tento přístup má své opodstatnění například při studiu částic, kde m_0 hraje roli charakteristické vlastnosti částice.

Taková definice hmotnosti dává do jednoho vztahu dvě fundamentální konstanty a frekvenci, což je veličina, kterou lze různými způsoby velice dobře měřit. Ostatně přechod od etalonu k této definici se zdá být z hlediska Mezinárodního úřadu pro míry a váhy nezbytný.²⁴ Hmotnost by mohla být definována jako ekvivalent energie vyzářené atomem při přechodu v hyperjemné struktuře.

Taková definice hmotnosti je na jedné straně z hlediska fundamentální fyziky přesná a zdá se být praktická, ale současně naráží na problém s praktickou použitelností. Měření (respektive experimentální dostupnost) frekvence u makroskopických komplexních systémů je nesnadná. Takový úskok směrem k přesnější a praktičtější definici hmotnosti tedy může být spojený s obtížemi nemožnosti jejího důsledného aplikování do běžných fyzikálních situací — od měření hmotnosti závaží až po hmotnost hvězd.

Tak jako Mach převedl definici hmotnosti na měření času a polohy, tak dnešní metrologie se snaží učinit krok směrem k měření frekvence, což je fyzikální veličina, kterou lze měřit s mimořádnou přesností. Tím by došlo k výraznému zpřesnění měření hmotnosti.

Hypotéza

Hypotézou (z řeckého *ὑπόθεσις* hypo-thesis, tj. pod-ložit — stavět) označujeme v budování vědeckých teorií myšlenku, která se snaží navrhnout řešení nějakého problému vědy. Z hlediska konstrukce vědecké teorie je důležité, aby hypotéza splňovala dva základní principy: jednak je to soulad s fakty, pro jejichž objasnění je hypotéza určená, a také její ověřitelnost.²⁵

Zatímco první požadavek lze chápat v kontextu obecného aristotelovského požadavku na záchranu jevů — totiž tvořit takové vědecké koncepty, které nebudou v rozporu s pozorovanými jevy, tak druhý

²⁴ › Viz HENSON, Andy; KÜHNE, Michael; ERARD, Luc. The European metrology research programme in action. NCSLI Measure, 2009, 4.4: 26-33, s 28, respektive podrobněji v článku JABBOUR, Z.J. a Yaniv, S.L. The Kilogram and Measurements of Mass and Force. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*. 2001. Vol. 106, No. 1, p. 25–46. ISBN 1044-677X.

²⁵ › Srov. What is a Scientific Hypothesis? | Definition of Hypothesis. *Livescience* [online]. 2012

stojí na obecné myšlence pozitivismu či machovského empiriokriticismu.²⁶ Je přitom třeba říci, že hypotézy, které nejsou vědecky ověřitelné (vyvratitelné), jsou bezcenné. Hypotéza není obvykle jen nějakou domněnkou všedního typu, ale odvážným vědeckým předpokladem, který stojí na určité zkušenosti a erudici toho, kdo ji vyslovuje. V oblasti newtonovské fyziky lze uvést například hypotézu o tom, že světlo je tvořeno částicemi s elipsoidním tvarem.²⁷

Toto tvrzení umožňovalo vysvětlit například polarizaci či průchod světla prostředí opticky hustšími, než je vzduch, a příslušné změny jeho barvy či směru pohybu. Sám Newton uvádí jako hypotézu také skutečnost, že se Země pohybuje. Je si vědom toho, že této skutečnosti nasvědčuje mnohé, ale není schopen to exaktním způsobem prokázat. Dalším příkladem může být planetární model atomu, který umožňoval vysvětlení kvantování energie elektronů, Rydbergovu konstantu či objasnění existence spektra atomů.

V metodologii vědy jsou obvykle uváděna další kritéria pro formulování hypotéz, jako je širší spektrum použitelnosti, objasnění souvislosti s širším vědeckým rámcem atp. Obecně lze říci, že existují tři základní možnosti potvrzení hypotézy:²⁸

1. Předpokládaný jev se stane dostupný empirii — například: planeta, která byla předpovězená na základě znalosti Newtonova gravitačního zákona, byla pozorována; hypotetické atomy, o kterých mluví ještě Mach, byly fakticky potvrzeny brilantní experimentální i teoretickou prací Jeana Baptista Perrina (1870–1942) atp.
2. Důkaz *modu tollendo ponens* rozlučovacího sylogismu, který znamená, že ze všech konkurenčních hypotéz zbude jen jedna pravdivá. Příkladem může být model atomu, kdy se jednotlivá řešení ukázala (každé z jiných důvodů) neudržitelná — ať již šlo o dynamický, pudinkový, či planetární model — a zůstal nakonec jen kvantově mechanický popis. Experiment, jenž vede k rozhod-

²⁶ › Podrobněji v ZOUHAR, Jan. Ernst Mach a evropská filosofie přelomu 19. a 20. století. *Ernst Mach — Fyzika — Filosofie — Vzdělávání*. Masaryk University Press, 2010, s. 220–223. DOI: 10.5817/CZ.MUNI.M210-4808-2011-220, s. 221–223.

²⁷ › Různé velikosti a tvary elipsoidů by měly odpovídat chování světla s různou vlnovou délkou.

²⁸ › Volně podle RICHTERK, Lukáš. *Filozofické problémy přírodních věd*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2008, 154 s. ISBN 978-80-244-2009-7, s. 65–66.

nutí, která z hypotéz je pravdivá, bývá označován jako kruciální. Problémem může být, že nemusí existovat jistota, že byly zvažovány všechny možné hypotézy a že byla touto cestou identifikována ta (v určitém ohledu) nejméně špatná.

3. Začlenění hypotézy do širší, obecnější teorie představuje další možnost potvrzení správnosti hypotézy. Příkladem může být Planckův popis vyzařování černého tělesa, který se ukázal být speciálním případem kvantové teorie.

Je přitom třeba zdůraznit, že hranice mezi hypotézou a teorií nejsou nikterak ostré a často se můžeme setkat s řadou nepřesných pojmů. Může se také stát, že určitá hypotéza se v části svých závěrů ověří, ale v jiné bude vyvrácena. V takovém případě se pak může hovořit o pravidle, což se také ve fyzice objevuje (například Neumannovo-Koppovo pravidlo, které vysvětluje tepelnou kapacitu jen v určitém oboru teplot, na základě špatných předpokladů a jen přibližně).

Teorie

Jestliže můžeme jako hypotézu chápat jakýsi kvalifikovaný odhad, tak v případě teorie jde o hypotézu, jež je zásadním způsobem podepřena experimentálními výsledky, které se ji neúspěšně snaží falzifikovat. Například Einsteinova obecná teorie relativity prošla (a stále prochází) velkým množstvím testů, v nichž vždy uspěla. Stupeň jistoty je tak podstatně vyšší než u hypotézy, ale přesto nemůžeme hovořit o jistotě.

Teorie nabízí často ucelenější, logicky provázaný celek, který disponuje také souborem experimentů, jimiž je možné jej testovat. Einstein u svých článků z roku 1905 důsledně uvádí matematicky i fyzikálně podpořenou hypotézu, aby na konci nabídl experimenty, které by ji mohly potvrdit, či vyvrátit.²⁹

²⁹

› Viz například EINSTEIN, Albert. Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik*. 1905, Vol. 322, No. 10, p. 891-921. DOI: 10.1002/andp.19053221004.

Míra ověření přitom závisí na současných možnostech vědy. Z: Míra ověření přitom závisí na současných možnostech. Zatím nemáme doklady, že Newtonův gravitační zákon platí přesně i na mikroskopických vzdálenostech, některé teorie však předvídají, že tomu tak není, i když to zatím nejsme schopni ověřit. Také na velkých vzdálenostech (sondy za hranicemi Sluneční soustavy) se objevily anomálie zrychlení, které se zatím podařilo vysvětlit bez narušení planosti Newtonova gravitačního zákona, existuje však teorie MOND³⁰ (modifikovaná newtonovská dynamika), která předpokládá významné odchylky.³¹

Pojmem teorie je také ve fyzice označován logicky provázaný celek pojmů, axiomů, zákonů a hypotéz, které jsou tematicky spojené. Můžeme tak hovořit o teorii pole, kvantové teorii, teorii relativity atp.

Přírodní zákon

Přírodním zákonem³² rozumíme tvrzení, které popisuje chování přírody v určitých podmínkách. Lze říci, že se příroda v daných okolnostech nemůže chovat jinak. Přírodní zákony nejsou teoriemi či hypotézami, i když ty je mohou vysvětlovat, ale jsou primárně zjištěny empiricky. Často se ukazuje, že přírodní zákony jsou projevem některých širších přírodních úkazů, které jejich význam ještě více podtrhují. Jde především o zákony zachování a symetrie, které jsou s těmito zákony často spojeny. Abychom o nějakém popisu fyzikální reality mohli prohlásit, že jde o zákon, musí být jistota (do té míry, do jaké ji přírodní vědy mohou podat), že zákon platí a bude platit.

Na rozdíl od hypotéz a teorií (které mají komplexnější charakter) nevysvětlují zákony fenomény nebo jevy, jen je popisují. Mezi nejznámější přírodní zákony patří tři Newtonovy pohybové zákony, termodynamické zákony, zákon zachování hybnosti, energie či momentu hybnosti.

³⁰ › K jejímu podrobnějšímu popisu se dostaneme ještě později.

³¹ › Je také třeba uvážit korekce působené užitím obecné teorie relativity, pro velké vzdálenosti se však stávají zanedbatelnými.

³² › Někdy je možné setkat se s tvrzením, že přírodní zákon neexistuje. Příroda ve svém chování vykazuje určité zákonitosti a ty člověk matematicky popisuje. Zákony ale ve vlastním slova smyslu v přírodě obsažené nejsou. Od této názorové distinkce si ale dovolíme odhlédnout.

Oproti axiomům v matematice jsou zde podstatné rozdíly. Axiom nelze dokázat ani vysvětlit, ale slouží pro budování teorie. Zákon lze experimentálně testovat, může být vysvětlen teorií (například zákon zachování energie je spojen s homogenitou času, tedy s invariancí vůči časovému posunutí³³) a také slouží jako základní stavební kámen fyzikálních teorií. Není postulován, ale vychází z experimentu.

Výstavba klasické mechaniky v *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*

Struktura Newtonovy mechaniky je poměrně přehledná, a to především proto, že sám autor se snažil psát *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*³⁴ jako logicky strukturované a snadno pochopitelné dílo. Akcent na jednoduchou matematiku a geometrii, který činil současníkům knihu pochopitelnější, můžeme dnes vnímat jako jisté břemeno, protože řadu geometrických důkazů či úvah by bylo možné pořídit jednodušším matematickým zápisem diferenciálním počtem, který měl Newton k dispozici.

Celá struktura, kterou se pokusíme naznačit, je složena ze dvou hypotéz (o existenci absolutního prostoru a času), které nejsou explicitní a ani číslované. Newton je vnímá jako zcela přirozené apriorní podmínky pro to, aby mohl postulovat tři pohybové zákony a k nim připojit šestici korolárů.

V první části se tedy snaží pomocí osmi definic vybudovat pojmy, které bude v následujících partiích knihy používat.

1. „*Množství hmoty se měří z její hustoty a objemu. – Toto množství budeme v dalším textu nazývat tělesem nebo hmotností a je známo skrze jeho váhu. (...)*“

³³ › Podrobně o zákonech zachování v moderní fyzice pojednává kniha KOSMANN-SCHWARZBACH, Yvette, SCHWARZBACH, Bertram Eugene a NOETHER, Emmy. The Noether theorems: invariance and conservation laws in the twentieth century. New York: Springer, 2011, xiii, 205 p. *Sources and studies in the history of mathematics and physical sciences*. ISBN 03-878-7868-8.

³⁴ › Moderní obsáhlý komentář k *Principiím* lze najít u CHANDRASEKHAR, Subrahmanyan. *Newton's Principia for the common reader*. New York: Oxford University Press, 1995, xix, 593 p. ISBN 01-985-1744-0.

2. *Velikost pohybu se měří spojením (součinem) jeho rychlosti a množství hmoty.*
3. *Hmota má vlastnost odporu; proto setrvává každé těleso (...) ve stavu klidu nebo rovnoměrného přímočarého pohybu.*
4. *Síla je snaha změnit stav tělesa, na které působí, buďto stav klidu, nebo rovnoměrného přímočarého pohybu.*
5. *Dostředivá síla působí, že je těleso přitahováno k jistému bodu coby centru nebo k němu směřuje jakýmkoliv způsobem.*
6. *Absolutní veličina dostředivé síly je větší či menší měrou téže, podle poměrů působící příčiny, která se od středu šíří k okolním částicím.*
7. *Velikost urychlující dostředivé síly je úměrná rychlosti dosažené v daném čase.*
8. *Velikost hnací dostředivé síly je úměrná velikosti pohybu (hybnosti), která je dosažena v dané době.“³⁵*

Problematických míst v těchto definicích je možné nalézt více. Předně je v prvním bodě definovaná hmotnost pomocí objemu a hustoty, což není nic jiného než definice kruhem. Podle Macha je také definice číslo tři nadbytečná, protože plyne z definic číslo 4–8.³⁶

Hned za definicemi jsou pak uvedeny dvě hypotézy, o nichž jsme se zmínili již výše, které postupují existenci relativního a absolutního prostoru a času:³⁷

1. *„Absolutní, pravý a matematický čas, sám v sobě, o sobě a ze své vlastní povahy, bez vztahu k čemukoliv vnějšímu, plyne rovnoměrně a jinak se mu říká trvání. Relativní, zdánlivý a běžně užívaný čas je*

³⁵ › Překlad přejímáme z OBDRŽÁLEK, Jan. Machovy výhrady k Newtonovým Principiím — tehdy a dnes. In: DUB, Petr a Jana MUSILOVÁ. *Ernst Mach — Fyzika — Filosofie — Vzdělávání*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2010, s. 227–234. ISBN 978-80-210-4808-9. DOI: 10.5817/CZ.MUNI.M210-4808-2011-227, s. 230.

³⁶ › Tamtéž, s. 230.

³⁷ › Podle MACH, Ernst. *Die Mechanik in ihrer Entwicklung: Historisch-kritisch dargestellt*. Akademie-Verlag, 1988. nebo vybrané kapitoly v českém překladu MACH, Ernst a Jan KADRNOŠKA (trans.). *Ernst Mach: Mechanika ve svém vývoji, líčeno kriticky* [online]. 2007, níže využít jazykově kvalitnější překlad o Jana Novotného.

*každá smyslově dostupná a vnější míra (ať už přesná, či nepřesná) trvání daná pohybem; taková míra — například hodina, den, měsíc či rok — se běžně užívá v roli času.*³⁸

2. „Absolutní prostor ze své vlastní povahy bez vztahu k čemukoliv vnějššímu vždy zůstává homogenní a nehybný. Relativní prostor je každá pohyblivá míra či rozměr tohoto absolutního prostoru; taková míra či rozměr jsou stanoveny našimi smysly ze vztažení prostoru k tělesům a běžně se užívají, jako by šlo o nehybný prostor, což je případ prostoru pod zemí, v ovzduší či na nebesích, kde míra je určena ze vztažení prostoru k zemi...“³⁹

Na základě těchto definic a hypotéz jsou pak uvedeny tři pohybové zákony. Je přitom třeba zdůraznit, že Newton usiloval o pochopitelnost. Každý z nich doprovodil poměrně obsáhlým komentářem s řadou příkladů. Tak například můžeme vidět, že v případě prvního zákona uvažuje i rotaci (pohyb kola či planety), což bylo až do nedávna předmětem nejrůznějších sporů.

1. Každé těleso setrvává ve svém stavu klidu nebo pohybu v daném směru, jestliže není nuceno působícími silami tento stav změnit.⁴⁰
2. Změna pohybu je úměrná působící hybné síle a děje se podél přímky, podél níž ona síla působí.⁴¹
3. Akci je reakce vždy protisměrná a je stejně velká jako ona; vzájemná působení dvou těles jsou vždy stejně velká, avšak mají opačný směr.⁴²

³⁸ › NOVOTNÝ, Jan. *Prostor a čas*. Nevydáno, s. 3.

³⁹ › Tamtéž.

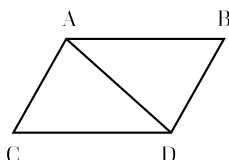
⁴⁰ › V originále: „*Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare.*“ Podle NEWTON, Isaac, translated into english by Andrew Motte in 1729, a the translations rev. and supplied with a historical and explanatory appendix, by Florian Cajori. The translations rev., and supplied with a historical and explanatory appendix, by Florian Cajori. *Sir Isaac Newton's Mathematical principles of philosophy and his System of the world*. Berkeley: Univ. of California Press, 1962. ISBN 9780520009271, s. 644.

⁴¹ › V originále: „*Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.*“ Tamtéž.

⁴² › V originále: „*Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem; sive: corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi.*“ Tamtéž.

Mimo to připojuje ještě šest korolárů, což jsou pravidla, která umožňují praktické používání tří pohybových zákonů pro vlastní predikci pohybu. Především první z nich, který se věnuje skládání sil, je možné vnímat jako mimořádně důležitý. Již Ernst Mach poukazoval na to, že bez něj by celá newtonovská mechanika neměla dostatečný smysl a význam. Zde je uvádíme:

1. *„Těleso opíše při působení sloučených sil úhlopříčku rovnoběžníku za stejnou dobu, za jakou opíše strany při působení jednotlivých sil.*
2. *Proto složky síly směřující podél AD vyplývají z libovolných šikmých sil AB a BD, a tím i sílu směřující podél AD je možné rozložit do libovolných šikmých sil AC a CD. Toto skládání a rozklad je potvrzeno hojnými příklady z mechaniky.*



> Obr. 1 Skládání sil.

3. *Množství pohybu, které je shromažďováno tím, že součet pohybů zaměřených jedním směrem a rozdíl těch, které jsou směřovány opačným směrem, nepodléhá změně.*
4. *Společné těžiště dvou nebo více těles nemění svůj stav pohybu a klidu působením těles mezi sebou, a proto společné těžiště všech těles působících na sebe (kromě vnější akce a překážky) je buď v klidu, nebo se pohybuje rovnoměrně přímočaře.*
5. *Pohyby těles v daném prostoru jsou stejné mezi sebou, bez ohledu na to, zda je místo v klidu, nebo se pohybuje rovnoměrně přímočaře vpřed bez kruhového pohybu.*
6. *Jestliže se tělesa vzájemně pohybovala a bude-li na ně působit ve směru rovnoběžek stejná urychlující síla, budou se i nadále vzájemně pohybovat stejným způsobem, jako by na ně žádná síla nepůsobila.“⁴³*

Jaké místo zaujímají ve výstavbě klasické mechaniky koroláry, není úplně zřejmé. Dnešní čtenář v nich snadno objeví Galileiho princip relativity a superpozici, stejně jako větu o těžišti, která je pro praktické použití zákonů v mechanice tuhých těles stěžejní. První a druhý korolár je navíc možné vnímat jako zákon, který bychom mohli bez uzardění připojit ke třem pohybovým. Obecně bychom je snad mohli označit jako teorii, která stojí na zákonech a definicích, jež jsou uvedeny výše.

Podobným způsobem, jakým jsme ukazovali možnosti budování teorie klasické mechaniky v podání Isaaca Newtona, bychom mohli postupovat také v případě dalších oblastí fyziky. Je přitom třeba říci, že zatímco některé oblasti by měly skladbu podobně přehlednou — jako je například klasická elektrodynamika či mechanika kontinua — řada moderních oblastí vědy je již natolik složitá a fragmentovaná, že vybudovat podrobný popis všech principů, zákonů, hypotéz a teorií by bylo úkolem velice nesnadným.

Tři přístupy k budování fyzikálních modelů — Kepler, Mach a Bohr

Budování fyzikálních modelů je spojeno s požadavkem co možná největší podobnosti realitě. Ten, kdo fyzikální model sestavuje, by si měl být vědom toho, že nejde o popis světa kolem nás, ale o vysvětlení principů, které v něm probíhají.

Fyzika tak pracuje s modely, které se snaží na jedné straně co možná nejlépe popsat způsob fungování světa kolem nás, ale současně si je vědoma toho, že netvoří hermeneutiku tohoto světa, že její výpověď o celku je neúplná.

V následujícím popisu se pokusíme podívat na tři velikány vědy a jejich způsob práce s fyzikálními modely a poznáním, především v kontextu jejich myšlenkového zázemí, a to Keplera, který hledal dokonalou harmonii světa, Bohra, který usiloval o spojení experimentu a teorie i za cenu případné dočasné nekonzistence teorie, a v neposlední řadě Macha, jenž postupoval přísně empiricky a axiomatically.

Keplerovo hledání dokonalé sluneční soustavy

Jak uvádí Horský, Johannes Kepler si ještě během svého pedagogického působení ve Štýrském Hradci povšiml, že počet mezer mezi sférami tehdy známých planet se shoduje s počtem pravidelných těles, jejichž úplný seznam znal již Platon. Je tedy možné vložit pět těles mezi sféry šesti planet tak, každému tělesu bude vnější sféra opsána a vnitřní vepsána.⁴⁴ Tento objev Keplera uchvátil,⁴⁵ neboť mu nabízel pohled do dokonalosti vesmíru, který chápal jako dokonalý stroj. Tak jako je jeho Stvořitel dokonalý, musí i výtvar být jeho reflexí. Kepler zprvu nepochyboval o tom, že správným vložením těles mezi sféry odhalí harmonii přírody. Bylo ovšem třeba seřadit tělesa tak, aby výsledné poloměry sfér odpovídaly pozorované skutečnosti. Přitom bylo zřejmé, o jaká tělesa musí jít — již od dob Platona (427–347 př. Kr.) existoval seznam pěti dokonalých těles⁴⁶ — čtyřstěn, krychle, osmistěn, dvanáctistěn a dvacetistěn.⁴⁷ Nebylo pochyb o tom, že právě těchto pět těles může být vloženo mezi šest známých planet a tak dotvořit harmonii přírody.⁴⁸

Bylo nutné rozhodnout, které z těles bude umístěno mezi jednotlivé sféry tak, aby byl pohyb planet možný a odpovídal pozorování. Keplerovo vlastní řešení bylo následující:

- „mezi sféru Saturnu a Jupiteru je umístěná krychle;
- mezi sféru Jupiteru a Marsu čtyřstěn;
- mezi sféru Marsu a Země dvanáctistěn;

⁴⁴ › Podrobněji HORSKÝ, Zdeněk. *Kepler v Praze*. Praha: Mladá fronta, 1980, s. 85. Jak uvádí Zdeněk Horský (viz kapitola *Mladý Kepler*), geneze objevu je mnohem složitější. Původně počítal s tím, že bude možné mezi sféry (které chápal jako hmotné, fyzicky existující) vložit rovinné mnohoúhelníky. Tento prvotní nápad se ukázal být jako ne realizovatelný, a proto se rozhodl mezi trojrozměrné sféry vkládat trojrozměrná tělesa, v té době všeobecně známá a Platonem považovaná za ideální a dokonalá.

⁴⁵ › Srov. tamtéž, s. 89.

⁴⁶ › Srov. KEPLER, Johannes, E AITON, A DUNCAN a J FIELD. *The harmony of the world*. Philadelphia, Pa.: American Philosophical Society, 1997, xli, 549 p. ISBN 08-716-9209-0, s. xiv-xv.

⁴⁷ › Více o významu platonských těles a jejich vlastnostech pojednává kniha MACLEAN, Kenneth James Michael. *A geometric analysis of the platonic solids and other semi-regular polyhedra: with an introduction to the phi ratio : for teachers, researchers and the generally curious*. Ann Arbor, MI: Loving Healing Press, 2007, 153 p. ISBN 19-326-9099-9, part I.

⁴⁸ › Tak se také jmenuje stěžejní Keplerovo dílo — *Harmonices Mundi*. Viz. HORSKÝ, Zdeněk. *Kepler v Praze*. Praha: Mladá fronta, 1980, s. 87.

- mezi sféru Země a Venuše dvacetistěn;
- mezi sféru Venuše a Merkuru osmistěn.⁴⁹

Tato představa umožnila⁵⁰ Keplerovi pokračovat ve výpočtech. Rozměry planetárních sfér bral Kepler — jinak ani nemohl — od Mikuláše Koperníka (1473–1543), který na tuto skutečnost často upozorňuje,⁵¹ což ale byla v té době unikátní a poměrně dobrá data.⁵² Kepler vytvořil takový model sfér, aby se mezi ně nejen vešla dokonalá tělesa, ale aby rozměry odpovídaly tabulkovým údajům takovým způsobem, aby do jejich rozměrů mohla být zahrnuta jak jejich největší, tak také nejmenší naměřená vzdálenost od Slunce.⁵³ Výsledky výpočtu využívajícího známých geometrických vztahů porovnal s daty Mikuláše Koperníka, jak na to sám vícekrát upozorňuje. Tato data byla v době jeho práce unikátní a i dnes poměrně dobře souhlasí s výsledky současné astronomie. Porovnání Keplerova modelu s Koperníkovými a dnešními daty zachycuje následující tabulka:⁵⁴

	<u>Koperník v <i>Oběžích</i></u>	<u>Kepler v <i>Mystériu</i></u>	<u>Dnešní astronomie</u>
MERKUR	0.395	0.429	0.387
VENUŠE	0.719	0.762	0.723
ZEMĚ	1.000	1.999	1.000
MARS	1.512	1.440	1.534
JUPITER	5.210	5.261	5.203
SATURN	9.321	9.163	9.539

⁴⁹ › Srov. HORSKÝ, Zdeněk. *Kepler v Praze*. Praha: Mladá fronta, 1980, s. 87. Proč Kepler zvolil právě toto pořadí vložených těles? Seřadíme-li poloměry sfér podle velikosti a uspořádá ve stejném pořadí poměry poloměrů kružnic vepsaných a opsaných tělesům podle geometrických vztahů, které lze snadno odvodit či najít. Toto přiřazení však není jednoznačné, protože pro šestistěn a osmistěn je poměr stejný. Zajímavé je srovnání s Titiovou-Bodeho řadou.

⁵⁰ › Podrobněji viz tamtéž, s. 87.

⁵¹ › Viz KEPLER, Johanes. *Harmonices Mundi*. s. 59, 103 či 170.

⁵² › Ještě mnohem přesnější data měl později od Braha. Více se problematice přesnosti těchto dat věnuje například publikace DOBRZYCKI, Jerzy. *The reception of Copernicus' heliocentric theory: proceedings of a symposium organized by the Nicolas Copernicus Committee of the International Union of the History and Philosophy of Science, Toruń, Poland*, 1973. Boston: D. Reidel Pub. Co, c1972, 367 p. ISBN 90-277-0311-6.

⁵³ › Viz KEPLER, Johanes. *Harmonices Mundi*. Kapitola De Motibus Planetarum, od s. 180.

⁵⁴ › Převzato od HORSKÝ, Zdeněk. *Kepler v Praze*. Praha: Mladá fronta, 1980, s. 88.

Je všeobecně známo, že Kepler u těchto představ neskončil. Díky svému pobytu na dvoře císaře Rudolfa II. (1552–1612) získal přístup k datům, která za léta pozorování nashromáždil Tycho Brahe (1546–1601).⁵⁵ Jeho cílem bylo vypočítat přesné vzdálenosti planet, což byl ostatně úkol, kterým si lámala hlavu celá tehdejší astrologie i astronomie.⁵⁶

Podle Horského se možnosti využití pravidelných těles ještě nevzdával, dokud nezjistil, že planety se pohybují po elipsách a žádné sféry jim tedy nelze přiřadit. Byl při svém hledání — stejně jako Koperník — veden primárním přesvědčením, že Ptolemaiův model je i po snahách o vylepšení rostoucím počtem kružnic a epicyklů příliš složitý a neodpovídající skutečnosti,⁵⁷ než zjistil, že tvary sfér jsou elipsy, pročež není možné nalézt ideální tělesa, která by mohla být současně opsána i vepsána. Přesto byl — stejně jako Koperník — veden primární základní představou toho, že Ptolemaiův model, který byl postupně zdokonalován rostoucím množstvím kružnic a epicyklů, jež měly zajistit lepší soulad teorie s pozorováním, je příliš složitý a nedokonalý.⁵⁸

Naopak elipsa poskytla podle Thea Koupeise⁵⁹ — spolu s několika jednoduchými zákony, které dodnes nesou Keplerovo jméno — jednoznačný a jednoduchý popis toho, jakým způsobem planety kolem Slunce obíhají. Rudolfínské tabulky, které dvorní astrolog a matematik dokončil až po smrti císaře, byly z tohoto pohledu pro vědu klíčové. Zatímco Kepler z naměřených dat vytvořil model, nyní mohl být model konfrontován s novými daty a měřeními, která jej jen potvrdila. Ač nešlo o experiment v pravém slova smyslu, Keplerova snaha pravdivým způsobem verifikovat své modely, nikoli usilovat o další záplatování polofunkčních názorů (jak činil Brahe a další), představovala zásadní stimul pro vývoj vědy a astronomie, což vyzdvihuje Bruce Stephenson.⁶⁰ Pro samotnou heliocentrickou představu šlo o klíčový argument, který

⁵⁵ › Viz KEPLER, Johannes. *Harmonices Mundi*, od s. 187.

⁵⁶ › Srov. KEPLER, Johannes, E AITON, A DUNCAN a J FIELD. *The harmony of the world*. Philadelphia, Pa.: American Philosophical Society, 1997, xli, 549 p. ISBN 08-716-9209-0, s. xxii.

⁵⁷ › Viz HORSKÝ, Zdeněk. *Kepler v Praze*. Praha: Mladá fronta, 1980, s. 92.

⁵⁸ › Srov. DREYER, Johan Ludwig Emil. *History of the planetary systems from Thales to Kepler*. New York: Cosimo Classics, 2007. ISBN 978-160-2064-416, chap. VII.

⁵⁹ › Viz KOUPELIS, Theo. *In quest of the universe*. 6th ed. Sudbury, Mass.: Jones and Bartlett Publishers, c2011, xxii, 614 p. ISBN 07-637-6858-8, s. 57–62.

⁶⁰ › Podrobněji STEPHENSON, Bruce. *Kepler's physical astronomy*. Princeton, N.J.: Springer, 1994, 216 p. ISBN 06-910-3652-7.

již nebylo možné snadno smést ze stolu tím, že jiný model dává stejně dobré (či dokonce ještě lepší) výsledky, jako v případě původního Koperníkova modelu.

Spor vedený o dokonalost světa byl jedním ze základních motivů, které se v této diskusi objevovaly,⁶¹ ač ne vždy byly vyřčeny — hledání dokonalých matematických zákonů pro kinematiku vesmírných těles jsou toho přesvědčivým důkazem.⁶² Pokud se podíváme na Koperníkovy výpočty, nebyly o nic lepší či přesvědčivější než výpočty konkurenční (viz tabulka výše). Rozhodujícím argumentem se tak stala (nejen pro Koperníka) krása a jednoduchost. Jistě není bez zajímavosti, že stejný argument užil také Newton o několik let později.⁶³

Ernst Mach a jeho mechanika

Dílo brněnského rodáka Ernsta Macha je možné považovat v dějinách vědy, jak soudí Martin Černohorský (*1923), Langer i další, za mimořádné hned z několika důvodů. Byl především skvělým experimentátorem a pedagogem, ale také fyzikem, filosofem, psychologem. Jeho vliv na myšlení lidí, kteří patřili do okruhu jeho přátel a kolegů, byl mimořádný. Za všechny lze uvést obdiv, který k němu měl Albert Einstein, jenž Machovu principu přikládal klíčový význam během budování teorie relativity.⁶⁴

Přínos Macha byl hned v několika oblastech, které se úzce vztahují k budování fyzikálních teorií a modelů. Předně svoji *Mechaniku* (dost možná nejslavnější učebnici fyziky všech dob), ale i další díla, začíná co možná nejpečlivějším budováním pojmů. Existují-li pojmy, jako jsou hybnost, síla, hmotnost či energie, mělo by být prvořadým zájmem fyziky, aby usilovala o jejich vysvětlení a popis. Je s podivem, že se v žádné středoškolské učebnici mechaniky student nedozví, co to je síla či hmotnost.⁶⁵ Neznalost

⁶¹ › Srov. HORSKÝ, Zdeněk. *Kepler v Praze*. Praha: Mladá fronta, 1980, s. 167. uvádí řadu zajímavých citátů z Keplerovy korespondence, které toto tvrzení dosvědčují.

⁶² › Je asi otázkou osobního vkusu, zda za dokonalejší budeme považovat dokonalá tělesa, elipsy nebo soubor kružnic.

⁶³ › Srov. NEWTON, Isaac. *Opticks, or, a treatise of the reflections, refractions, inflections & colours of light*. Courier Corporation, 1979J, s. 375–380.

⁶⁴ › Srov. NORTON, John D. How Hume and Mach Helped Einstein Find Special Relativity. In: *Discourse on a New Method: Reinvigorating the Marriage of History and Philosophy of Science*. Open Court Chicago and La Salle, IL, 2010. p. 359–386, s. 2 a 18–20.

⁶⁵ › Stačí se podívat do libovolné učebnice fyziky pro první ročník středních škol.

těchto pojmů přitom vede — dle našeho soudu⁶⁶ — k chybné fyzikální intuici a problémům s pochopení fyzikálních zákonů jako takových. Na to upozorňuje sám Mach, když píše:

*„Na prvním místě, nemůžeme prohlásit pojem ‚množství materie‘ za dostatečný k vysvětlení pojmu hmoty, protože sám výraz neobsahuje dostatečnou srozumitelnost. Mnozí autoři se obvykle spokojují s vysvětlením pojmu hmoty jako prostým vyčíslením množství hypotetických atomů. Tím ale jen přidáváme další pojmy, které samy potřebují vysvětlení. Při spojení několika naprosto stejných, chemicky homogenních těles můžeme s ‚množstvím materie‘ samozřejmě spojit ještě jasnou představu a třeba také zjistit, že odpor ke zrychlení s touto veličinou vzrůstá.“*⁶⁷

Mach tedy vychází (dle výstavby své knihy) z potřeby pokusit se definovat základní fyzikální pojmy (první část páté kapitoly začíná kritikou apriorních nevysvětlených pojmů).⁶⁸ Zvláště slavný je jeho rozbor hmotnosti, která je současně pěknou ukázkou toho, jak fyzikální pojmy budovat. Mach se ptá, z čeho by měl vlastně fyzik ve své práci vycházet. Odpověď nachází v experimentu. Tak hmotnost zavádí na základě studia pohybu těles během kmitů na vodorovné pružině:⁶⁹

$$F = -kx$$

$$z = ma$$

Na jedné straně tedy stojí Hookův zákon, na straně druhé vztah pro zhybnění.⁷⁰ V rámci experimentu tak můžeme sledovat, co se bude dít se zrychlením, budeme-li měnit tělesa. Ukazuje se, že jeho velikost bude záležet na specifické fyzikální veličině, která charakterizuje těleso – totiž

⁶⁶ › Podobně se k problému staví také Černohorský a většina tuzemských fyzikálních didaktiků.

⁶⁷ › MACH, Ernst a Jan KADRNOŠKA (trans.). *Ernst Mach: Mechanika ve svém vývoji, líčeno kriticky* [online]. 2007, kap. 5.

⁶⁸ › Viz tamtéž.

⁶⁹ › Viz kapitola *Vybudování pojmu hmotnost*.

⁷⁰ › Dovolujeme si vypůjčit pojem zhybnění od Martina Černohorského — tak jako je změna rychlosti zrychlení, je změnou hybnosti zhybnění. Zatímco zhybnění je charakteristika pohybujícího se tělesa, síla je výsledkem vnějšího působení, například prostřednictvím pole. Mají stejnou velikost, směr, ale jsou fundamentálně jiné kvality.

na hmotnosti. Tím překonává jeden z velkých problémů klasické fyziky – Newtonovu definici hmotnosti, která je provedena kruhem.⁷¹ Současně Černohorský upozorňuje na to, že ne vše se Newtonovi podařilo definovat správně. Newton kupříkladu tvrdí, že síla je součin hmotnosti a zrychlení, což je spíše definicí zhybnění⁷², nikoli síly.⁷³

S tím souvisí také druhý prvek budování fyzikálních teorií v podání Macha, a to radikální vyžadování zkušeností a experimentů, ze kterých lze vyvozovat teoretické závěry.⁷⁴ Mach byl představitelem empiriokriticismu,⁷⁵ který se snažil ve všech svých poznatcích důsledně uplatňovat. Odmítal koncept atomu, protože nebyl k dispozici žádný přesvědčivý důkaz pro jeho existenci v podobě experimentu.⁷⁶ Podobně nepřijal závěry teorie relativity, což možná ale souviselo také s jeho špatným zdravotním stavem.⁷⁷ Slavný Machův princip, který lze označit za předchůdce teorie relativity, je právě onou snahou o odmítnutí pojmů absolutního prostoru, se kterým operoval Newton.⁷⁸

Přístupy Newtona a Macha se v žádném případě nemohly shodnout v názoru na existenci absolutního prostoru (je zajímavé, že Mach nijak neřeší otázku absolutního času, v tomto ohledu jeho přístup dokončí až Einstein). Newtonovo jeviště, vystavěné Bohem, který je dárce řádů,

⁷¹ › MACH, Ernst a Jan KADRNOŠKA (trans.). *Ernst Mach: Mechanika ve svém vývoji, líčeno kriticky* [online]. 2007, kap. 6. 1.

⁷² › Korektně je zhybnění definováno jako $z = \frac{d(mv)}{dt}$, při konstatní hmotnosti lze rovnici zapsat jako $z = \frac{d(mv)}{dt} = ma$.

⁷³ › Srov. ČERNOHORSKÝ, Martin. *Podklady k předmětu F3400*.

⁷⁴ › Machův návrh formulace pohybových zákonů, včetně základní diskuse lze najít například u OBDRŽÁLEK, Jan. Machovy výhrady k Newtonovým Principiím – tehdy a dnes. In: DUB, Petr a Jana MUSILOVÁ. *Ernst Mach — Fyzika — Filosofie — Vzdělávání*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2010, s. 227–234. ISBN 978-80-210-4808-9. DOI: 10.5817/CZ.MUNI.M210-4808-2011-227, s. 231-234.

⁷⁵ › Empiriokriticismus je myšlenkový směr, který vychází čistě z fenoménů, odmítá jakoukoli další metafyziku a redukuje vědu na popis vztahů mezi fenomény. Podrobněji například MACH, Ernst. *Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Psychischen zum Physischen*. Verlag von Gustav Fischer, Jena, 1903.

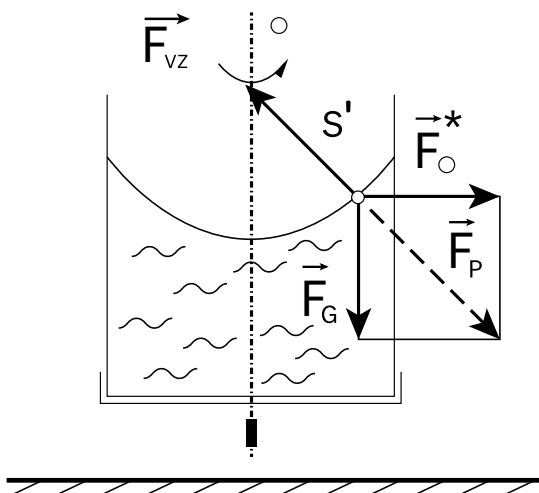
⁷⁶ › Podrobnější diskusi problematiky vztahu atomismu a experimentu u Macha nabízí FISCHER, Jan. Machův atomismus, Occamova břitva a teorie fundamentálních částic a sil. In: DUB, Petr a Jana MUSILOVÁ. *Ernst Mach — Fyzika — Filosofie — Vzdělávání*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2010, s. 173–178. ISBN 978-80-210-4808-9. DOI: 10.5817/CZ.MUNI.M210-4808-2011-173.

⁷⁷ › Srov. LANGER, Jiří. Mach a Einstein. In: DUB, Petr a Jana MUSILOVÁ. *Ernst Mach — Fyzika — Filosofie — Vzdělávání*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2010, s. 179–187. ISBN 978-80-210-4808-9. DOI: 10.5817/CZ.MUNI.M210-4808-2011-179, s. 185.

⁷⁸ › MACH, Ernst a Jan KADRNOŠKA (trans.). *Ernst Mach: Mechanika ve svém vývoji, líčeno kriticky* [online]. 2007, kap. 6. a zvláště pak 6. 8.

nemohlo být vnímáno jinak než jako metafyzický předpoklad, jenž nemůže najít žádnou oporu v experimentu. Můžeme ve fyzice počítat s něčím, co nelze dokázat, jako jsou absolutní čas a prostor? Mach jednoznačně odpovídá, že nikoli.⁷⁹

Machův princip tak není nic jiného než racionálně podloženým pokusem o vysvětlení setrvačnosti, která by se měla vysvětlit jinak než absolutním prostorem. Jistě není bez zajímavosti, že sám Mach zahrnuje Newtona kritikou nejen pro jeho metafyzické předpoklady, ale také pro různou nedůslednost, se kterou zakladatel moderní mechaniky běžně pracoval. Příkladem za všechny může být definice pojmu hmotnosti kruhem, kterou můžeme nalézt v *Principiích*.



> Obr. 2 Popis rotujícího vědra jako kamene sporu Macha a Newtona.

Máme-li nějak stručně charakterizovat celé vědecké počínání Macha, tak bychom mohli říci, že na základě počitků a experimentálních dat je možné budovat vědeckou teorii skutečně fundovaně a fyzikálně. V opačném případě opouštíme pole fyziky a dostáváme se do oblasti metafyziky, filosofie

⁷⁹

> Srov. LANGER, Jiří. Mach a Einstein. In: DUB, Petr a Jana MUSILOVÁ. *Ernst Mach — Fyzika — Filosofie — Vzdělávání*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2010, s. 179–187. ISBN 978-80-210-4808-9. DOI: 10.5817/CZ.MUNI.M210-4808-2011-179, s. 181.

či teologie, kde je fyzika zjevně metodologicky nepoužitelná a přirozeně selhává. Její doménou tak jsou právě hmotná jsoucna, fenomény, které mohou být podrobeny experimentu.

Bohrův model atomu

Tak jako Kepler vstupoval do doby, která se zdála být pro fyziku více než problematická, Bohr vstupuje do fyzikálního světa sice ve zcela jiné době a kontextu, ale stejně tak v obtížné situaci. Teorie, která byla složitě a precizně vybudována na kamenech klasické elektrodynamiky Jamese Clerka Maxwella (1831–1879) a jeho rovnic, se sice v řadě oblastí skvěle osvědčovala, ale to nijak neumenšovalo skutečnost, že vznikala stále širší třída fyzikálních problémů, ve kterých se experiment rozcházel s teorií.

Je to vždy experiment, který je tím nejvyšším arbitrem nad fyzikálním poznáním světa.⁸⁰ Rutherfordovy pokusy přinesly nezvratné zjištění, že veškerý kladný náboj je koncentrován ve velice malé oblasti s rozměrem $3,6 \cdot 10^{-14}$ m a v tomto prostoru je koncentrována téměř všechna hmotnost atomu.⁸¹ Oproti tomu hmota nesoucí záporný náboj tvoří pouhý zlomek hmoty (podle Rutherforda — pokud nějaký, tak nesmírně malý vůči centrálnímu náboji⁸²) a je rozložen v oblasti o průměru řádově 10^{-10} m.

Jak ukazuje Ernest Rutherford (1871–1937), tyto experimenty s sebou přinesly také další významné zjištění, totiž že částice jsou v jádře přitahovány coulombovskou interakcí. Díky tomu se mohlo zdát jasné, že řešení popisu atomu bude možné provést klasickou fyzikou.⁸³ To s sebou ale přinášelo také významnou otázku, jak je možné zajistit stabilitu takového systému.

Elektron a jádro jsou totiž přitahovány značnou silou a z elektrodynamiky vyplývá závěr, že elektron pohybující se po zakřivené dráze

⁸⁰ › Autor se domnívá, že jde o všeobecné přesvědčení většiny fyziků. K problematice se vyjadřuje také například HUTTEN, Ernest Hirschlauff. The role of models in physics. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 1954, 4.16: 284–301.

⁸¹ › RUTHERFORD, Ernest. Atomic projectiles and their collisions with light atoms. *Science*, 1919, 467–473, s. 469.

⁸² › RUTHERFORD, Ernest. LXXIX. The scattering of α and β particles by matter and the structure of the atom. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 1911, 21.125: 669–688, s. 686, respektive již diskuse výsledků od strany 680.

⁸³ › Viz výše uvedený článek.

(tedy se zrychlením) musí nutně vyzařovat záření. To má ale za následek úbytek energie a pokles rychlosti, což by vedlo ke zřícení elektronu. Planetární model, který se nabízel jako přirozené řešení, se tak ukázal být značně problematický. Mezi přitahujícími se planetami a atomem je totiž rozdíl přinejmenším právě v onom vyzařování energie.⁸⁴ K pádu elektronu do jádra v takovém systému by došlo zřejmě přibližně za 10^{-10} s, což neodpovídá realitě, neboť stabilní částice pozorujeme, na což upozorňuje Bohr.⁸⁵

Model s elektronem, který se řítí do jádra, je také v rozporu s dalšími dvěma zjištěními z experimentální fyziky – atomová spektra jsou čárová, ne spojité (jak by napovídal spirálně padající náboj) a jimi emitované záření je výrazně menší než v případě pádu elektronu do jádra. Současně se ukázalo, že všechny atomy, bez ohledu na svůj původ a způsob přípravy, mají stejné spektrum, což opět neodpovídá teoretickým předpovědím.⁸⁶ Další zjištění uvádí Aleš Lacina (*1947), totiž že atomy regenerují do téže podoby, jakou měly v nevybuzeném stavu, a chladné plyny nezáří. Obě zjištění jsou přitom v přímém rozporu se starými teoretickými předpověďmi.⁸⁷

A právě do této situace vstupuje Bohr, který se snaží svým fyzikálním modelem situaci zachránit. Postupuje přitom tak, že zavádí dva postuláty, které měly dalekosáhlé dopady. Jako východisko mu slouží především Rutherfordův model atomu a také jím odhadnutá velikost. Bohr ukazuje, že takto vypočítaná hodnota přitom koresponduje s experimentálním výsledkem.⁸⁸

⁸⁴ › V současné době lze vidět ještě jednu zajímavou analogii — planety obíhající kolem hvězdy by měly také (podle obecné teorie relativity) vyzařovat energii. Zkoumání tohoto jevu je spojené s gravitačními vlnami, které byly nedávno potvrzeny pozorováním. Máme dnes řadu dat o sblížování astronomických objektů v důsledku vyzařování gravitačních vln. U velmi kompaktních dvojic těles (černé díry, neutronové hvězdy, ale dokonce i velmi si blízké hvězdy podobné Slunci) bylo dokonce pozorováno jejich splynutí. Einstein si již brzy po vzniku obecné teorie relativity uvědomil problém, zda by to nemělo vést i k nestacionárnosti mikroskopických objektů v delší časové perspektivě — v zásadě tedy k něčemu podobnému, co by plynulo z Maxwellovy teorie pro elektron obíhající kolem jádra. Takovému kolapsu v mikrosvětě by mohly zabránit zákonitosti kvantové teorie, zatím však o tom nemáme žádné teoretické ani experimentální doklady.

⁸⁵ › Srov. HOYER, Ulrich. *Niels Bohr: Collected Works*. Amsterdam: North-Holland, 1981. ISBN 0-72104-18002-X, s. 378–379. „[klasická fyzika] nemůže být použita k vysvětlení pohybu jednoho elektronu v krátkém časovém intervalu.“

⁸⁶ › Viz LACINA, Aleš. Bohrov model atomu. *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Praha: Jednota českých matematiků a fyziků, 2008, roč. 53, č. 2, s. 125–151. ISSN 0032-2423, s. 131.

⁸⁷ › Tamtéž.

⁸⁸ › Viz BOHR, Niels. I–III. On the constitution of atoms and molecules. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 1913, 26, s. 5.