

Niekoľko poznámok k používaniu teoretických modelov v histórii prírodných vied

Miroslav Karaba

KARABA, M.: Several Remarks on the Use of the Theoretical Models in the History of Science. *Studia Aloisiana*, 2019.

Every scientific attempt to explain nature includes a model that usually means a purposely simplified construct built with the aim to understand a certain particular phenomenon. In the presented paper, we focus on theoretical models that represent new mental constructions combining the approach of analogy with familiar and creative imagination in the area of inventing of new things. Therefore, the models are open-ended, extensible and suggestive of new hypotheses. Critical realism recognizes that models are selective; they only allow us to deal with a limited circle of aspects. Such models are neither pictures of reality nor useful fiction; they are partial and inadequate ways of imagining of what is not observable.

Keywords: scientific theories, theoretical models, billiard-ball model, model properties

Každý pokus vedcov o vysvetlenie prírody zahŕňa model, pod ktorým sa zvyčajne rozumie zámerne zjednodušený konštrukt, postavený s cieľom pochopenia nejakého javu. Formálnejšie možno termín „model“ definovať ako zjednodušenú a hypotetickú prírodu. Modely sú v samom srdci vedeckej metódy a prichádzajú v rôznych formách a druhoch. V ostatných dekádach sa môžeme stretnúť so značným záujmom o teórie vytvárania modelov v rámci rôznych vedeckých oblastí. Modely, akými sú napr. biliardový model plynu, Bohrov model atómu, dvojzávitnicový model DNA, ekonomický model všeobecnej rovnováhy či model Lotka-Volterra interakcie medzi predátorom a korisťou sa stali v rámci príslušných vedeckých disciplín kľúčovými. Vedci trávajú veľa času vytváraním, testovaním, porovnávaním a revíziou najrôznejších modelov a veľa priestoru vo vedeckých časopisoch je venovaného práve

zavádzaniu, aplikácii a interpretácii týchto cenných nástrojov. Inak povedané, modely sa stali jedným z hlavných nástrojov modernej vedy. Túto dôležitosť modelov uznali aj filozofi a s rastúcim záujmom sa začali venovať rozličným úlohám, ktoré modely zohrávajú vo vedeckej praxi. Výsledkom bolo neuveriteľné rozšírenie rôznych typov modelov a ich analýza vo filozofickej literatúre. Výpočtové modely, fenomenologické modely, heuristické modely, vývojové modely, testovacie modely, teoretické modely, modely modelov atď., to sú len niektoré z pojmov, ktoré sa používajú na kategorizáciu modelov. Cieľom tohto príspevku je poukázať na niektoré vybrané aspekty používania teoretických modelov vo vede, špeciálne v prírodných vedách. Zameriame sa pritom najmä na vzájomný vzťah medzi teóriami a modelmi, ktorý je často veľmi nejasný.

Základná klasifikácia modelov používaných vo vede

Pre začiatok bude užitočné rozlišovať medzi abstraktnými a empirickými modelmi – abstraktný model je úplne oddelený od prírody, zatiaľ čo empirický model nie je. Abstraktné modely zahŕňajú napr. matematické alebo počítačové modely. Situácia je o niečo komplikovanejšia v prípade grafických a slovných opisov abstraktných ideí, ale zvyčajne bývajú aj tieto chápané ako abstraktné modely.¹ Empirické modely môžu byť definované ako určité podmnožiny prírody spolu s postupmi, ktoré vedci využívajú na zaznamenávanie a manipuláciu s týmito podmnožinami. Zahŕňajú napr. modely organizmov a systémov, experimenty a empirické pozorovania. Hoci je toto prvé rozlíšenie užitočné, nie je v žiadnom prípade absolútne a existuje mnoho komplikovaných modelov, ktoré zahŕňajú tak empirické, ako aj abstraktné prvky.

Prvým typom modelov, s ktorým sa vo vede môžeme stretnúť, sú experimentálne modely, ktoré bývajú zvyčajne konštruované a používané v laboratóriách. Tieto modely zahŕňajú repliky alebo modely v mierke, reprezentujúce časopriestorové vzťahy, a pracovné modely, reprezentujúce príslušné časové sekvencie. Merania síl pôsobiacich na model lietadla umiestneného do aerodynamického tunela nám umožňuje odhadnúť, ako by sa správalo lietadlo v skutočnej veľkosti. Intuícia nás vedie k presvedčeniu, že model v mierke je prirodzenou replikou alebo pravdivým zrkadlovým obrazom daného predmetu, a preto sú tieto modely niekedy označované ako „pravé modely“. Avšak neexistuje nič také ako dokonale verný model v mierke, pretože vernosť zobrazenia je vždy obmedzená na konkrétne aspekty. Drevený model lietadla poskytuje síce verné zobrazenie jeho tvaru, ale už nie materiálu, z ktorého je skutočné lietadlo vyrobené. Modely v mierke sa javia ako špeciálne prípady širšej kategórie reprezentácií, ktoré Peirce nazvali ikony – reprezentácie, kto-

1 Porov. PEASE, C. M. and BULL, J. J.: Is Science Logical? In: *BioScience*. Vol. 42, No. 4, (Apr., 1992), s. 293.

ré predstavujú niečo iné, pretože sa na to podobajú.² V tomto type modelov možno simulovať určité vlastnosti jedného systému prostredníctvom správania sa iného systému v úplne odlišnom kontexte. Napr. princípy hydrauliky možno využiť v modeloch elektrických obvodov alebo dokonca v ekonomických systémoch. Takéto modely sa používajú najmä tam, kde je experimentovanie na primárnom systéme príliš náročné alebo v rámci daných možností úplne nerealizovateľné, alebo tam, kde zatiaľ nemáme k dispozícii príslušné matematické formulácie. V takýchto prípadoch je jeden materiálny systém vytvorený tak, aby slúžil ako model iného materiálneho systému.

Na druhej strane spektra sa nachádza druhý typ modelov, ktoré sa zvyknú označovať ako logické modely. V rámci logiky alebo čistej matematiky sa začína axiómami alebo teorémami určitého deduktívneho systému. Logický model je konkrétnym súborom entít, ktoré vyhovujú týmto axiómam a teorémam. Napr. súbor bodov a čiar v geometrii je logickým modelom pre Euklidove axiómy. Tento typ modelov sa využíva najmä na zobrazenie abstraktných systémov a ich možnú interpretáciu.

Niekde medzi týmito extrémami sa nachádza tretia skupina modelov – matematické modely, ktoré sú symbolickými reprezentáciami kvantitatívnych premenných vo fyzikálnych alebo sociálnych systémoch (napr. modely kvantitatívneho vývoja populácie v čase). Základnou črtou tohto druhu modelov je, že sa na primárne systémy podobajú výlučne na úrovni formálnej štruktúry a neexistujú medzi nimi materiálne podobnosti. Sú symbolickými reprezentáciami špecifických aspektov systému a ich hlavnou úlohou je predpovedať ich správanie v konkrétnom čase. Do tejto skupiny modelov sú zaradované aj rôzne typy rovníc, používaných najmä v ekonómii, ako napr. Blackov-Scholesov model, ktorého základom je parciálna diferenciálna rovnica určená na oceňovanie európskych opcíí, alebo Mundellov-Flemingov model všeobecnej makroekonomickej rovnováhy v malej otvorenej ekonomike.³

Poslednou skupinou modelov sú teoretické modely. Tieto imaginačné mentálne konštrukty sú vytvárané s cieľom vysvetliť pozorované javy. Takýto model je zvyčajne vykonštruovaným mechanizmom alebo procesom, ktorý sa zakladá na analógii s nejakým známym mechanizmom alebo procesom. Pri používaní týchto modelov nejde podľa Barboura iba o predpovede stavu systému v určitom čase, ale aj o ambíciu porozumieť svetu ako celku.⁴ Podobne ako matematické modely, aj tento typ modelov je symbolickou reprezentáciou materiálneho systému, ale odlišuje sa práve snahou o porozumenie štruktúr

2 „The third case is where the dual relation between the sign and its object is degenerate and consists in a mere resemblance between them. I call a sign which stands for something merely because it resembles it, an icon. Icons are so completely substituted for their objects as hardly to be distinguished from them.“ PEIRCE, Ch. S.: *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*. HARTSHORNE, CH. – WEISS, P. and BURKS, A. (eds.) Cambridge, MA: Harvard University Press, 1931 – 1935, 1958, Vol. 3, Para. 362.

3 Tento typ rovníc je však spojený s viacerými problémami. Rovnakú situáciu totiž možno opísať s použitím rôznych súradníc, čoho výsledkom sú rôzne rovnice, bez toho, aby sme získali iný model. Po druhé, model má niektoré vlastnosti odlišné od rovnice, napr. oscilátor je trojrozmerný, ale rovnica popisujúca jeho pohyb nie je.

4 BARBOUR, I. G.: *Myths, Models, and Paradigms*. New York, London : Harper Row, Publishers, 1976, s. 30.

sveta.⁵ Vytváranie takýchto modelov si vyžaduje špeciálny druh kreatívnej predstavivosti a smeruje ku rozvoju teórie, ktorá vysvetľuje nejaký jav alebo súbor javov.

Teoretické modely

V našej štúdii sa budeme bližšie zaoberať iba posledným zo zmienených typov – teoretickými modelmi. Ako východisko nám poslúži Achinsteinova charakteristika tohto typu modelov, v ktorej uvádza päť rozlišujúcich znakov teoretického modelu:⁶

1. Je to súbor predpokladov o určitom objekte alebo systéme.
2. Tieto predpoklady vytvárajú vnútornú štruktúru, zloženie alebo mechanizmus, ktorý sa prejavuje v iných vlastnostiach, vykazovaných daným objektom alebo systémom.
3. Tieto predpoklady sú považované za zjednodušené aproximácie, užitočné pre určité príležitosti.
4. Model je navrhnutý v rámci niektorej základnej teórie alebo skupiny teórií.
5. Model môže zobrazovať analógiu medzi popísaným objektom alebo systémom a iným objektom alebo systémom.

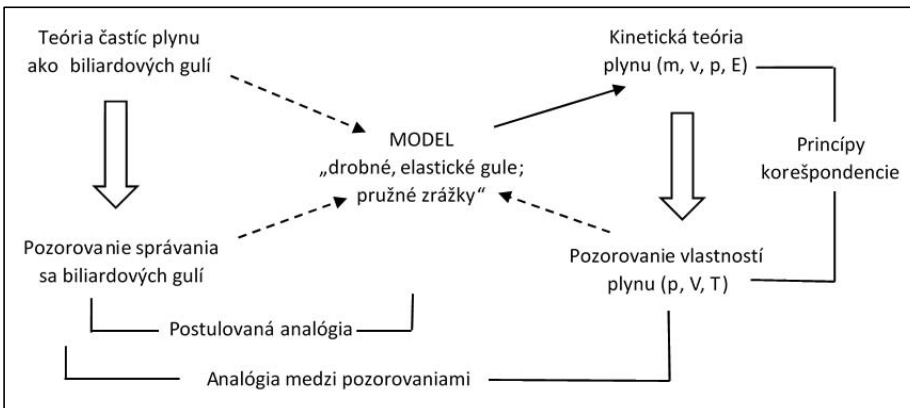
V kontexte realistického pohľadu na teórie, ktorý Achinstein zastáva, je prvé kritérium nevyhnutnou podmienkou pre charakterizáciu teórie, zatiaľ čo druhá podmienka síce nie je pre teóriu nevyhnutná, predsa však pre mnohé teórie platí. Teoretický model je imaginačný mechanizmus alebo proces, postavený na analógii s nám už známym (pochopeným) mechanizmom alebo procesom, ktorého cieľom je vytvorenie teórie, ktorá by korelovala súbor získaných pozorovaní. Cieľom teoretického modelu je vytvorenie teórie, ktorá by vysvetlila správanie pozorovaného systému.

Rozoberme si situáciu na konkrétnom príklade takéhoto modelu, používaného v rámci fyziky – na ideálnom plyne. Predstavme si nádobu s pevnými stenami, ktorá je naplnená nejakým plynom, napr. obyčajným vzduchom. Častice takéhoto plynu musia spĺňať vopred stanovené podmienky, ako napr., že rozmery týchto častíc sú vzhľadom ku vzdialenostiam medzi nimi zanedbateľné, že okrem zrážok na seba častice nepôsobia a že celková kinetická energia častíc sa pri ich vzájomných zrážkach nemení, teda že sú dokonale pružné. Model predpokladá, že vzájomné zrážky jednotlivých častíc plynu sa odohrávajú podobne, ako je tomu v známej situácii do seba narážajúcich

5 „To znamená, že model je vždy viazaný na určité pamäťové funkcie, na schopnosť uchovávať alebo prenášať informáciu, t. j. znižovať pôvodnú neurčitost (úroveň entropie) toho, kto je schopný daný model adekvátne interpretovať.“ TONDL, L.: Epistemická funkce modelů a technické projektování. In: STACHOVÁ, J. (ed.): *Model a analogie ve vědě, umění a filozofii*. Praha : Filosofia, 1994, s. 117.

6 Porov. ACHINSTEIN, P.: *Concepts of Science: A Philosophical Analysis*. Baltimore : Johns Hopkins Press, 1968.

biliardových gúľ. Dôsledkom splnenia týchto podmienok je dokonalá stlačiteľnosť a dokonalá tekutosť ideálneho plynu. Na základe tejto analógie mohla byť v prvej polovici 19. storočia vypracovaná kinetická teória plynu. Táto teória dokázala úspešne spojiť klasickú termodynamiku s mechanikou a považuje plyn za sústavu veľkého počtu nepatrných hmotných častíc, ktoré sú v neustálom neusporiadanom pohybe. S pomocou mechanických vlastností týchto častíc (hmotnosť, rýchlosť, hybnosť, energia) vysvetľuje termodynamické veličiny plynu (tlak, teplota, vnútorná energia). Celková mechanická energia (každej) molekuly je tvorená iba jej kinetickou energiou a vnútorná energia systému je daná celkovou kinetickou energiou všetkých častíc daného plynu. Na základe týchto predpokladov bolo možné odvodiť viaceré zákony pre správanie sa ideálneho plynu, ako napr. Boylov-Mariottov zákon, z ktorého vyplýva, že ak objem plynu zredukujeme na polovicu, tak jeho tlak bude dvojnásobný.⁷ Model tak viedol k teórii, ktorá následne vysvetlila pozorované experimentálne dáta. Rámčovo je tento vzťah vyjadrený v nasledujúcej schéme:⁸



Predstavený model ideálneho plynu (biliardový model) nám poslúži ako paradigmatický príklad teoretického modelu, na ktorom si predstavíme tri základné črty tohto typu modelov. Budeme pritom vychádzať z analýzy, tak ako ju predstavil Ian G. Barbour.⁹ Prvým znakom, pri ktorom sa pristavíme, je analogickosť modelov. Analogickosť v sebe zahŕňa podobnosti so známym stavom (pozitívna analógia), ako aj rozdiely vyjadrené v iných aspektoch modelu (negatívna analógia). Preto sa napr. v biliardovom modeli predpokladá, že častice plynu sa podobajú na biliardové guľe v tom, že majú svoju hmotnosť a rýchlosť a ich zrážky sú dokonale pružné, ale nie sú im podobné napr. v tom, že by každá mala svoju farbu. Analogické postuláty teda môžu byť

7 Boylov-Mariottov zákon je však platný iba pre ideálny plyn. Pri reálnom plyne môžu (najmä pri nízkych alebo naopak veľmi vysokých teplotách) nastať značné odchýlky od tohoto zákona, najmä vzhľadom na to, že v ideálnom plyne sa neuvažuje o žiadnych medzimolekulových silách ani zmenách chemického zloženia spôsobených teplotou (napr. disociácia molekúl pri vysokých teplotách).

8 Schéma je vypracovaná podľa BARBOUR, I. G.: *Myths, Models, and Paradigms*, s. 31.

9 Porov. BARBOUR, I. G.: *Myths, Models, and Paradigms*, s. 32 – 34.

materiálne (pružnosť a hmotnosť) a nie iba formálne, ako je tomu v prípade logických alebo matematických modelov. Vedec pracujúci na novej teórii môže navrhnúť model, ktorý zahŕňa analógie z viacerých známych situácií spolu s radikálne novými predpokladmi. Na našej schéme sú všetky šípky vstupujúce do modelu zobrazené prerušovanou čiarou, pretože ich pôvod spočíva v akte tvorivej imaginácie a nie v čisto logickom závere.¹⁰ Pri vytváraní modelu je prítomný implicitný a/alebo explicitný odkaz na to, čo je známe a predtým zrozumiteľné, ale prítomná je aj značná novosť a sloboda. Modelu, resp. jeho častiam môžeme priradiť akékoľvek vlastnosti, o ktorých sa domnievame, že by mohli obohatiť príslušnú teóriu. V histórii vedy nájdeme veľa príkladov takejto kombinácie analógie a inovácie v procese tvorby modelov. Bohrov model atómu opisuje elektróny pohybujúce sa okolo jadra ako planéty obiehajúce okolo Slnka. Analógia so Solárnym systémom je zameraná na jeho dynamické vlastnosti. Avšak kľúčové predpoklady Bohrovho modelu – stabilita atómu a kvantovanie momentu hybnosti nemali žiadnu paralelu v klasických systémoch. Podobná situácia nastáva v prípade kvapkového modelu jadra atómu, navrhnutého Bohrom a von Weizsäckerom v roku 1935. Bol to jeden z prvých modelov štruktúry jadra, ktorý ho opisuje ako semiklasickú tekutinu tvorenú neutrónmi a protónmi s vnútornou odpudivou elektrostatickou silou, ktorá je úmerná počtu protónov. Tento hydrodynamický model vychádza z analógie medzi kvapkou kvapaliny a atómovým jadrom. Jadro je chápané ako kvapka nukleónovej kvapaliny (hustota všetkých jadier je približne rovnaká), v ktorej sa prejavujú objemové aj povrchové sily. Pomocou tohto modelu možno objasniť niektoré členy opisujúce väzbovú energiu. Model sa ukázal ako veľmi vhodný pre názornú predstavu priebehu jadrových reakcií, napr. štiepenia a syntézy. Naopak, jeho nedostatky vyplývajú z nedokonalosti analógie medzi kvapkou klasickej kvapaliny a atómovým jadrom, resp. z ignorovania zákonitostí kvantovej mechaniky.

Druhým znakom tohto typu modelov je ich príspevok k rozšíreniu príslušnej teórie. Použitie modelu môže viesť k postulovaniu nových korešpondenčných pravidiel a aplikácii teórie na nové druhy javov. Preto boli rovnice kinetickej teórie plynu aplikované na nové experimentálne oblasti (napr. difúzia plynu, viskozita, vedenia tepla), zahŕňajúce typy pozorovaní veľmi odlišné od tých, ktoré sú prítomné pri skúmaní správania plynov. Model tiež môže zohrať dôležitú úlohu pri modifikácii samotnej teórie. Bol to model, nie formalizmus teórie, ktorý viedol k hypotéze navzájom sa priťahujúcich častíc s konečnou veľkosťou. Až takto upravená teória viedla k odvodeniu Van der Waalsovej stavovej rovnice, ktorá na rozdiel od stavovej rovnice ideálneho plynu zohľadňuje skutočnosť, že pri výpočtoch nemožno zanedbať samotný objem častíc

¹⁰ „The main point that emerges from such a description of theories is that there can be no set of rules given for the procedure of scientific discovery – a hypothesis is not produced by a deductive machine by feeding experimental observations into it: it is a product of creative imagination, of a mind which absorbs the experimental data until it sees them fall into a pattern, giving the scientific theorist the sense that he is penetrating beneath the flux of phenomena to the real structure of nature.“ HESSE, M. B.: *Models in Physics*. In: *British Journal for the Philosophy of Science*. Vol. 4, No. 15, (Nov., 1953), s. 198.

tvoriacich plyn a že prítlačivé sily medzi časticami ovplyvňujú ich pohyb. Tento model sa odlišuje od pôvodného jednoduchého modelu biliardových guľí, ale bez neho by nikdy nevznikol. Až na jeho základe bolo možné opísať správanie reálneho plynu, ktorý má vnútorné trenie a nedá sa dokonale stlačiť. Ako poukazuje Mary Hesse, kľúč k modifikácii teórie sa často objavuje pri vyjasňovaní „neutrálnej analógie“, teda črt známej situácie, ktorých zaradenie do modelu nebolo ani explicitne potvrdené, ani odmietnuté.¹¹

Tretím znakom teoretických modelov, zdôrazneným Barbourom, je to, že im možno rozumieť ako jednotným celkom. Poskytujú totiž mentálny obraz, ktorého jednota je zrejmejšia a ľahšie uchopiteľná ako v prípade súboru abstraktných rovníc. Model sa uchopuje ako celok poskytujúci súhrn komplexných vzťahov daného systému. Barbour to nazýva „epistemologickou bezprostrednosťou“ alebo „priamou prezentáciou významu“.¹² Kvôli svojej jasnosti a zrozumiteľnosti sa preto často používa na účely výučby, aby pomohol študentom porozumieť teórii. Avšak podľa niektorých autorov dokonca aj v kritických fázach vedeckého skúmania prevažuje vizuálna predstavivosť nad verbálnym alebo matematickým myslením.¹³ Obrazy sú kreatívne vyjadrenia ľudskej predstavivosti v prírodných, ako aj humanitných vedách. Prirodzene, že neexistujú žiadne pravidlá pre tvorivosť, ale bolo poukázané na to, že analógie, modely a metafory sú bežné pri hľadaní nových druhov spojenia a nových spôsobov nazerania na javy.¹⁴ Treba však dodať, že samotné modely nie sú zárukou pravdivosti teórie, ale používajú sa v procese vytvárania hodnoverných hypotéz, ktoré sú až následne testované. Empirický model je teda súbor pozorovaní určených na extrapoláciu experimentálnych údajov alebo ďalšie pozorovanie prírody. Keď sa deduktívne závery empirického modelu, resp. jeho dát aplikujú na nové prostredie, stávajú sa hypotézami.

Vzťah medzi modelmi a teóriami

Ako sme už povedali, modely sú prostriedkami na poznávanie sveta. Signifikantná časť vedeckého výskumu sa realizuje skôr na modeloch ako na

11 „The theoretical model carries with it what has been called ‘open texture’ or ‘surplus meaning’, derived from the familiar system. The theoretical model conveys associations and implications that are not completely specifiable and that may be transferred by analogy to the explanandum (the phenomenon to be explained); further developments and modifications of the explanatory theory may therefore be suggested by the theoretical model. Because the theoretical model is richer than the explanandum, it imports concepts and conceptual relations not present in the empirical data alone.“ HESSE, M. B.: *Models and Analogy in Science*. In: EDWARDS, P. (ed.): *Encyclopedia of Philosophy*. Vol 5, Collier-Macmillan, 1967, s. 356.

12 Porov. BARBOUR, I. G.: *Myths, Models, and Paradigms*, s. 33.

13 „Reading any work, I instinctively arrange the facts or arguments in some visual pattern and I am as likely to think in terms of this pattern as I am to think in words, and the better the work suits such a pattern, the better it is understood.“ HADAMARD, J.: *An Essay on the Psychology of Invention in the Mathematical Field*. New York : Dover Publications, 1954, s. 98.

14 Porov. KOESTLER, A.: *The Act of Creation*. London : Hutchinson & Co., 1964.

samotnej skutočnosti, pretože štúdiom modelu môžeme objaviť črty a zistiť fakty o systéme, ktorý model zastupuje. Napr. povahu atómu vodíka, dynamiku populácie alebo správanie polymérov skúmame štúdiom príslušných modelov. Táto kognitívna funkcia modelov je široko uznávaná a v literatúre sa môžeme stretnúť s tvrdeniami, že modely vedú k vzniku tzv. modelového myslenia.¹⁵ Ako konkrétne však súvisia modely s teóriami? Vo vedeckej praxi je rozlíšenie medzi modelmi a teóriami často veľmi nejasné a samotní vedci ho považujú za ťažké, ak nie úplne nemožné. Dostávame sa tak k otázke, či existuje rozdiel medzi modelmi a teóriami, a ak áno, ako navzájom súvisia. V bežnom jazyku možno základné rozlíšenie postaviť na miere potvrdenosti, teda slovo model niekedy označuje skôr predbežnú a neoverenú hypotézu, zatiaľ čo slovo teória označuje niečo, čo si už získalo určitý stupeň všeobecnej akceptácie. Tento bežný spôsob rozlíšenia však nie je pre systematický výklad modelov dostatočný.

Pozrime sa teraz bližšie na možnosti chápania vzájomného vzťahu medzi modelmi a teóriami. Jeden extrém predstavuje syntaktické chápanie teórií. Tento prístup je neoddeliteľnou súčasťou logického pozitivizmu, ktorý teórie interpretuje ako súbor viet v axiomatizovanom systéme predikátovej logiky prvého rádu. Pre skorých pozitivistov je teória súhrnom údajov, formula vyjadrujúca záver získaný zo skúsenosti. Teoretické koncepty sú len kategórie, vhodné pre klasifikáciu pozorovaní. V anglosaskom myslení existuje dlhá empiristická tradícia, počínajúc Baconom, cez Huma až k Millovi, ktorá zdôrazňovala experimentálnu a pozorovaciu stránku vedy. Keď boli fyzici na začiatku dvadsiateho storočia nútení používať koncepcie stále vzdialenejšie od priamo pozorovaných objektov, pozitivistickí filozofi vedy (Carnap, Bridgman) sa na tieto abstraktné koncepcie začali pozeráť ako na čisto matematické symboly, používané na získanie korelácie pozorovaní. Prijímali iba tie teoretické koncepcie, ktoré by mohli byť definované v observačných pojmoch.

Základom každej vedeckej činnosti je podľa logických pozitivistov pozorovanie a experiment. Laboratórne protokoly obsahujú pozorovateľné dáta a predstavujú záznam alebo opis pozorovaných objektov a procesov. „Najjednoduchšie vety v protokolárnom jazyku sú protokolárne vety, t. j. vety, ktoré nepotrebujú nijakú justifikáciu a slúžia ako základ pre všetky ostatné vety vyskytujúce sa vo vede.“¹⁶ Tieto tzv. protokolárne vety sú za predpokladu použitia a dodržania korektných experimentálnych postupov pokladané za úplne objektívne a pravdivé, teda nezávislé od pozorovateľa a, ako naznačil Carnap, sú pre svoju pravdivosť základom hodnotenia pravdivosti všetkých ostatných tvrdení vyskytujúcich sa v rámci vedy. Pozorované výsledky predstavujú dané, teda to najjednoduchšie a nesporné.¹⁷ Základným problémom

15 Porov. MAGNANI, L. and NERSESSIAN, N. J. (eds.): *Model-Based Theory: Science, Technology, Values*. New York : Springer Science, 2002.

16 CARNAP, R.: Protocol Statements and the Formal Mode of Speech. In: HANFLING, O. (ed.): *Essential Readings in Logical Positivism*. Oxford : Basil Blackwell Publisher, 1981, s. 153.

17 Schlick v tomto kontexte varuje pred neporozumením a nesprávnou interpretáciou „daného“: „This very term “the given” is already an occasion for grave misunderstandings. “To give”, of course, nor-

logického empirizmu bola otázka, ako skombinovať empiristické dedičstvo filozofujúcich vedcov, ako boli napr. Ernst Mach a Pierre Duhem, s nárokmi modernej logiky a matematiky. Hilbert bol predstaviteľom axiomatického prístupu, ktorý prišiel so všeobecne prijímaným riešením otázky teórie pre matematické teórie, zatiaľ čo Duhem bol filozofujúcim prírodovedcom, ktorý tvrdil, že štruktúra empirických teórií je podstatne odlišná od matematických alebo formálnych teórií, pritom však nepopieral dôležitosť a nevyhnutnosť matematiky pre empirické vedy. Hilbertova axiomatizácia matematických teórií, predovšetkým geometrie, priniesla uspokojivú odpoveď na otázku teórie v oblasti matematických teórií. Výzvou pre empiristickú filozofiu vedy bolo prispôbiť Hilbertovu odpoveď aj na prípady empirických teórií. Hilbert videl možné riešenie práve v prístupe, ktorý chápe fyziku ako vedu toho istého druhu, ako je geometria. Aj keď väčšina logických empirikov s Hilbertovým axiomatizačným programom v matematike súhlasila, v otázke axiomatizácie prírodných vied neprejavovali taký optimizmus. Vzhľadom na fakt, že čistá matematická axiomatizácia nebola uspokojivou odpoveďou na otázku teórie vo vzťahu k empirickým teóriám, došlo v logickom pozitivizme k rozvoju iných modelov štruktúry empirických teórií navrhnutých síce tak, aby obsahovali axiomatické matematické systémy, ale iba ako jeden z komponentov oveľa zložitejšieho aparátu empirickej teórie (model štruktúry empirických teórií, založený na „voľne plávajúcom“ (free-floating) systéme pojmov).¹⁸

V tomto kontexte sa termín model používa v širšom a užšom zmysle slova. V širšom zmysle je modelom len systém sémantických pravidiel, ktoré interpretujú abstraktný kalkul a štúdium modelu zahŕňa skúmanie sémantiky vedeckého jazyka. V užšom zmysle je model alternatívnou interpretáciou určitého kalkulu.¹⁹ Ak sa vrátíme k vyššie analyzovanému modelu a pozrieme sa na matematiku používanú v kinetickej teórii plynov a následne reinterpretujeme termíny tohto kalkulu takým spôsobom, aby odkazovali na biliardové gule, tie sa stanú modelom kinetickej teórie plynov. Zástancovia syntaktického pohľadu

mally signifies a three-termed relation: it presupposes in the first place someone who gives, secondly someone given to, and thirdly something given. For the metaphysician this is quite in order, for the giver is transcendent reality, the receiver is the knowing consciousness, and the latter appropriates what is given to it as its "content". But the positivist, from the outset, will obviously have nothing to do with such notions; the given, for him, is to be merely a term for what is simplest and no longer open to question." SCHLICK, M.: *Positivism and Realism*. In: HANFLING, O. (ed.): *Essential Readings in Logical Positivism*, s. 85.

18 Porov. KARABA, M.: *Vedecký pokrok ako filozofický systém*. Varšava : Rhetos, 2012, s. 37 – 41.

19 „In this perspective, accordingly, the fundamental assumptions of a theory constitute a set of abstract or uninterpreted postulates, whose constituent nonlogical terms have no meanings other than those accruing to them by virtue of their place in the postulates, so that the basic terms of the theory are "implicitly defined" by the postulates of the theory. Moreover, insofar as the basic theoretical terms are only implicitly defined by the postulates of the theory, the postulates assert nothing, since they are statement-forms rather than statements (that is, they are expressions having the form of statements without being statements), and can be explored only with the view to deriving from them other statement-forms in conformity with the rules of logical deduction. In short, a fully articulated scientific theory has embedded in it an abstract calculus that constitutes the skeletal structure of the theory." NAGEL, E.: *The structure of Science. Problems in the Logic of Scientific Explanation*. New York : Harcourt, Brace & World, 1961, s. 91.

sú presvedčení, že takéto modely sú pre vedu irelevantné. Predstavujú iba nadbytočné dodatky, ktoré majú prinajlepšom pedagogickú, estetickú alebo psychologickú hodnotu.²⁰

Na opačnej strane spektra nájdeme sémantický pohľad na teórie. Aj tento prístup obsahuje celé spektrum postojov, ktoré sa odvíjajú od chápania modelov. Jedna verzia sémantického pohľadu, ktorá stavia na matematickom chápaní modelov predpokladá, že model a jeho cieľ musia byť navzájom izomorfné²¹ alebo aspoň čiastočne izomorfné.²² Iná verzia sémantického pohľadu znižuje formálne požiadavky smerom ku podobnosti. Tento prístup má výhodu v porovnaní s požiadavkou izomorfizmu v tom, že je menej reštriktívny a zohľadňuje prípady nepresných a výrazne zjednodušujúcich modelov. Avšak, ako zdôrazňuje Giere, táto perspektíva zostáva prázdna, pokiaľ nie sú špecifikované relevantné hľadiská a stupne podobnosti.²³ Špecifikácia týchto hľadísk a stupňov závisí od širšieho kontextu príslušného problému a nemožno ju robiť čisto na základe filozofických úvah.

Modely ako entity nezávislé na teóriách

Jednou z najčastejších námietok voči sémantickému pohľadu je nesprávne umiestnenie modelov v rámci celej stavby vedy. Modely nie sú v tomto pohľade konštituované teóriou, ale sú chápané ako relatívne nezávislé na teórii. Analýza vedeckej praxe viedla k tvrdeniam, že modely nie sú odvodené ani z dát, ani z teórií. Teórie nám neposkytujú algoritmy pre konštrukciu modelu, nie sú to predajné automaty, do ktorých je možné vhodiť problém a vypadne nám z nich model.²⁴ Druhým aspektom nezávislosti modelov je, že vykonávajú

20 Porov. HEMPEL, C. G.: *Aspects of Scientific Explanation and other Essays in the Philosophy of Science*. New York : Free Press, 1965.

21 Porov. SUPPES, P.: *Representation and Invariance of Scientific Structures*. Stanford, CA : CSLI Publications, 2002, s. 51 – 96.

22 NEWTON, C. A. da Costa and FRENCH, S.: *Science and Partial Truth: A Unitary Approach to Models and Scientific Reasoning*. Oxford : Oxford University Press, 2003.

23 „Scientists construct theoretical models that they intend to be at least partial representations of systems in the real world. [...] ...the primary relationship between models and the world is not truth, or correspondence, or even isomorphism, but similarity. A theoretical hypothesis asserts the existence of a similarity between a specified theoretical model and a designated real system. But since anything is similar to anything else in some way or other, the claim of similarity must be limited (as least implicitly) to a specified set of respects and degrees.“ GIERE, R.: *Explaining Science: A Cognitive Approach*. Chicago, London : University of Chicago Press, 1990, s. 92 – 93.

24 „The theory is a vending machine: you feed it input in certain prescribed forms for the desired output; it gurgitates for a while; then it drops out the sought-for representation, plonk, on the tray, fully formed, as Athena from the brain of Zeus. This image of the relation of theory to the models we use to represent the world is hard to fit with what we know of how science works.“ CARTWRIGHT, N.: *The Dappled World. A Study of the Boundaries of Science*. Cambridge : Cambridge University Press, 2005, s. 184.

funkcie, ktoré by nemohli vykonávať, ak by boli súčasťou teórií alebo by boli od nich silne závislé. Aj pri relatívnej nezávislosti modelov na teórii existujú rôzne podoby vnímania ich vzájomného vzťahu.

Jednou z možností je chápanie modelov ako doplnkov teórií. Teória môže byť neúplne špecifikovaná v tom zmysle, že predpisuje určité všeobecné obmedzenia, ale nehovorí o detailoch konkrétnych situácií. Úlohou modelu je špecifikácia práve týchto detailov.²⁵ Špeciálnym prípadom takejto situácie je stav, keď je známa kvalitatívna teória a model umožňuje zaviesť kvantitatívne merania. Ako príklad takto určenej teórie možno spomenúť axiomatickú teóriu kvantového poľa, ktorá len kladie určité všeobecné obmedzenia na kvantové polia, ale neposkytuje popis konkrétnych polí.²⁶ Zatiaľ čo Redhead považuje takéto prípady za špeciálne, Nancy Cartwrightová tvrdí, že ide skôr o pravidlo ako o výnimku. Z jej pohľadu nereprezentujú základné teórie, akými sú napr. klasická alebo kvantová mechanika nič, pretože nepopisujú žiadnu reálnu situáciu vo svete. Zákony sú v takýchto teóriách schémami, ktoré je potrebné konkretizovať a doplniť podrobnosťami o konkrétnej situácii, čo je úloha, ktorú plní model.²⁷

Iný prístup vidí uplatnenie modelov tam, kde sa teórie ukážu ako príliš zložité na uchopenie. V takomto prípade môže byť použitý zjednodušený model, ktorý umožňuje dospieť k približnému riešeniu. Napr. kvantová chromodynamika nemôže byť jednoducho použitá na štúdium hadrónovej štruktúry jadra, aj keď je to pre tento problém základná teória. Aby fyzici tento problém obišli, konštruujú plastické fenomenologické modely (napr. MIT-Bag model), ktoré dokážu efektívne opísať príslušné stupne voľnosti uvažovaného systému. Výhoda týchto modelov spočíva v tom, že prinášajú výsledky aj tam, kde teórie mlčia. Ich nevýhodou je, že často nie je jasné, ako porozumieť vzťahu medzi teóriou a modelom.²⁸ Extrémnejším prípadom je použitie modelu v prípade, keď nie sú k dispozícii žiadne teórie. S takouto situáciou sa stretávame v rôznych vedeckých oblastiach, ale najmä v oblasti biológie a ekonómie, kde často chýbajú zastrešujúce teórie. Modely, ktoré vedci potom konštruujú, aby zachránili situáciu, sú niekedy označované ako „náhradné modely“.

Ďalšou možnosťou je chápať modely ako predbežné teórie. Takéto chápanie modelu úzko súvisí s pojmom „vývojového modelu“, ktorý zaviedol Jarrett Leplin. Leplin poukázal na to, ako boli použité niektoré modely pri formulácii skorej kvantovej teórie a teraz sa používajú ako zastrešujúce

25 „If a theory T is too complicated to work with in producing precise empirical predictions we are faced with what may be called the computation gap. This can only be bridged by means of some approximation which will yield predictions for comparison with experiment. We pursue the case, although this is clearly not essential to the argument, where the approximation is equivalent to a model.“ REDHEAD, M.: *Models in Physics*. In: *British Journal for the Philosophy of Science*. Vol. 31, No. 2, (Jun, 1980), s. 156.

26 Porov. REDHEAD, M. and WAGNER, F.: *Unified Treatment of EPR and Bell Arguments in Algebraic Quantum Field Theory*. In: *Foundations of Physics Letters*. Vol. 11, No. 2, (Apr., 1998), s. 111 – 125.

27 Porov. CARTWRIGHT, N.: *How the Laws of Physics Lie*. Oxford : Oxford University Press, 1983.

28 Porov. HARTMANN, S.: *Models and Stories in Hadron Physics*. In: MORGAN, M. S. and MORRISON, M. (eds.): *Models as Mediators. Perspectives on Natural and Social Science*. Cambridge : Cambridge University Press, 1999, s. 326 – 346.

pojmy pokrývajúce prípady, v ktorých sú modely predbežnými cvičeniami k teórii.²⁹ Úzko súvisiacim pojmom je skupina modelov nazývaných „študijné modely“ alebo niekedy označované ako „hračkárske modely“. Ide o modely, ktoré nevykonávajú zobrazujúcu funkciu a od ktorých sa neočakáva, že nás budú informovať o niečom, čo presahuje samotný model. Účelom týchto modelov je otestovať nové teoretické nástroje, ktoré sa neskôr používajú na vytváranie zobrazovacích modelov. Napríklad v teórii polí sa tzv. φ^4 model (model kvartickej samointerakcie) neštudoval podrobne preto, že by predstavoval niečo reálne, ale preto, že poslužil viacerými heuristickými funkciami. Jednoduchosť φ^4 modelu umožňuje fyzikovi získať cit pre to, čo sú kvantové teórie poľa, a vybrať niektoré všeobecné vlastnosti, ktoré tento jednoduchý model zdieľa s komplikovanými modelmi. Možno si tak jednoducho vyskúšať oveľa komplikovanejšie techniky (napr. renormalizácia) a je možné sa oboznámiť s mechanizmami (v tomto prípade narušenie symetrie), ktoré sa môžu použiť neskôr. Tieto mechanizmy sa neuplatňujú iba vo fyzike, ale aj v iných vedeckých oblastiach. Napr. William Wimsatt analyzuje, ako môžu v rámci genetiky pomôcť tzv. „nesprávne modely“. Tieto modely môžu podľa neho (1) viesť k zisťovaniu a odhadu ďalších relevantných premenných; (2) pomôcť odpovedať na otázky o realistickejších modeloch; (3) viesť nás k tomu, aby sme iné modely považovali za spôsob, ako klásť nové otázky o modeloch, ktoré už máme; (4) určujú účinnosť síl, ktoré nemusia byť zahrnuté v rámci skúmaného systému, ale môžu zohrávať úlohu pri formovaní daného systému.³⁰

Záver

Modely hrajú vo vede nepochybne dôležitú úlohu. Napriek tomu, že medzi filozofmi vzbudila ich analýza značný záujem, stále existujú významné nedostatky v chápaní toho, aké modely sú a ako vo vede fungujú. Max Born vo svojom článku o fyzikálnej realite napísal: „Všetky veľké objavy v experimentálnej fyzike boli spôsobené intuíciou ľudí, ktorí slobodne používali modely, ktoré pre nich neboli produktmi predstavivosti, ale reprezentantmi skutočných vecí. Ako by mohol experimentátor pracovať a komunikovať so svojimi spolupracovníkmi a jeho súčasníkmi bez použitia modelov zahŕňajúcich elektróny, nukleóny, fotóny, neutrína, polia a vlny, teda pojmy, ktoré sú odsúdené ako irelevantné a zbytočné?“³¹

Snažili sme sa ukázať, že modely sú selektívne, teda že nám umožňujú narábať iba s obmedzeným okruhom aspektov reality. Modely majú rozličné

29 LEPLIN, J.: The Role of Models in Theory Construction. In: NICKLES, T. (ed.): *Scientific Discovery, Logic, and Rationality*. Dordrecht, Boston, London : Reidel Publishing Company, 1980, s. 267 – 283.

30 WIMSATT, W.: False Models as Means to Truer Theories. In: NITECKI, N. and HOFFMAN, A. (eds.): *Neutral Models in Biology*. Oxford : Oxford University Press, 1987, s. 28.

31 BORN, M.: Physical reality. In: *The Philosophical Quarterly*. Vol. 3, No. 11, (Apr., 1953), s. 140.

funkcie, ktoré možno zhrnúť do dvoch základných skupín – praktické a teoretické funkcie. Teoretické modely sú nové mentálne konštrukcie, ktoré pramenia v kombinácii analógie so známym a tvorivou predstavivosťou pri vynachádzaní nového. Preto sú otvorené, rozširiteľné a naznačujúce nové hypotézy. Sú to skrátka čiastočné a nie vždy adekvátne spôsoby, ako si predstaviť to, čo nie je pozorovateľné. Pokiaľ ide o skúmanie teórií, diskusia o modeloch používa argument z analógie, t. j. ak sa model a teória zhodujú v mnohých ohľadoch, argumentuje sa, že sa môžu zhodovať aj v ďalších, niekedy problematických aspektoch. Takéto tvrdenia nemožno samozrejme považovať za nezvratné a v najlepšom prípade možno povedať, že zvyšujú pravdepodobnosť záveru. To môže slúžiť na ospravedlnenie vedcov, ktorí vychádzajú z možnosti, že správanie modelu sa prejavuje aj v celej teórii. Ale mali by si byť vždy vedomí potenciálnej mylnosti, prítomnej v tomto spôsobe uvažovania.

Použitá literatúra

- ACHINSTEIN, P.: *Concepts of Science: A Philosophical Analysis*. Baltimore : Johns Hopkins Press, 1968.
- BARBOUR, I. G.: *Myths, Models, and Paradigms*. New York, London : Harper Row, Publishers, 1976.
- BORN, M.: Physical reality. In: *The Philosophical Quarterly*. Vol. 3, No. 11, (Apr., 1953), s. 139 – 149.
- CARTWRIGHT, N.: *How the Laws of Physics Lie*. Oxford : Oxford University Press, 1983.
- CARTWRIGHT, N.: *The Dappled World. A Study of the Boundaries of Science*. Cambridge : Cambridge University Press, 2005.
- GIERE, R.: *Explaining Science: A Cognitive Approach*. Chicago, London : University of Chicago Press, 1990.
- HADAMARD, J.: *An Essay on the Psychology of Invention in the Mathematical Field*. New York : Dover Publications, 1954.
- HANFLING, O. (ed.): *Essential Readings in Logical Positivism*. Oxford : Basil Blackwell Publisher, 1981.
- HARTMANN, S.: Models and Stories in Hadron Physics. In: MORGAN, M. S. and MORRISON, M. (eds.): *Models as Mediators. Perspectives on Natural and Social Science*. Cambridge : Cambridge University Press, 1999.
- HEMPEL, C. G.: *Aspects of Scientific Explanation and other Essays in the Philosophy of Science*. New York : Free Press, 1965.
- HESSE, M. B.: Models and Analogy in Science. In: EDWARDS, P. (ed.): *Encyclopedia of Philosophy*. Vol 5, Collier-Macmillan, 1967.
- HESSE, M. B.: Models in Physics. In: *British Journal for the Philosophy of Science*. Vol. 4, No. 15, (Nov., 1953), s. 198 – 214.
- KARABA, M.: *Vedecký pokrok ako filozofický systém*. Varšava : Rhetos, 2012.
- KOESTLER, A.: *The Act of Creation*. London : Hutchinson & Co., 1964.

- LEPLIN, J.: The Role of Models in Theory Construction. In: NICKLES, T. (ed.): *Scientific Discovery, Logic, and Rationality*. Dordrecht, Boston, London : Reidel Publishing Company, 1980, 267 – 283.
- MAGNANI, L. and NERSESSIAN, N. J. (eds.): *Model-Based Theory: Science, Technology, Values*. New York : Springer Science, 2002.
- MORRISON, M.: Modelling Nature: Between Physics and the Physical World. In: *Philosophia Naturalis*. Vol. 35, No. 1, (1998), s. 65 – 85.
- NAGEL, E.: *The structure of Science. Problems in the Logic of Scientific Explanation*. New York : Harcourt, Brace & World, 1961.
- NEWTON, C. A. da Costa and FRENCH, S.: *Science and Partial Truth: A Unitary Approach to Models and Scientific Reasoning*. Oxford : Oxford University Press, 2003.
- PEASE, C. M. and BULL, J. J.: Is Science Logical? In: *BioScience*. Vol. 42, No. 4, (Apr., 1992), s. 293 – 298.
- PEIRCE, Ch. S.: *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*. HARTSHORNE, CH. – WEISS, P. and BURKS, A. (eds.) Cambridge, MA : Harvard University Press, 1931 – 1935, 1958.
- REDHEAD, M.: Models in Physics. In: *British Journal for the Philosophy of Science*. Vol. 31, No. 2, (Jun, 1980), s. 145 – 163.
- SUPPES, P.: *Representation and Invariance of Scientific Structures*. Stanford, CA : CSLI Publications, 2002.
- TONDL, L.: Epistemická funkce modelů a technické projektování. In: STACHOVÁ, J. (ed.): *Model a analogie ve vědě, umění a filozofii*. Praha : Filosofia, 1994, s. 106 – 124.
- WIMSATT, W.: False Models as Means to Truer Theories. In: NITECKI, N. and HOFFMAN, A. (eds.): *Neutral Models in Biology*. Oxford : Oxford University Press, 1987, s. 23 – 55.

doc. PhDr. Miroslav Karaba, PhD.
Teologická fakulta Trnavskej univerzity
Kostolná 1, P. O. Box 173
814 99 Bratislava
miroslav.karaba@truni.sk