

## Paradoxy vo vedeckých teóriách a medze jazyka vedy

LADISLAV KVASZ

Filosofický ústav. Akademie věd ČR, v.v.i.  
Jilská 1. 110 00 Praha 1. Česká republika  
ladislavkvasz@gmail.com

ZASLANÝ: 05-10-2013 • AKCEPTOVANÝ: 11-03-2014

ABSTRACT: The aim of the paper is to study the *analytical* and the *expressive boundaries* of the language of physics. We try to bring these boundaries into a relation with Kant's theory of antinomies of pure reason. It seems that Kant's theory can be interpreted as the discovery of the expressive boundaries of the language of science. If this interpretation is tenable, Kant's discovery is important for the contemporary philosophy of science.

KEYWORDS: Analytical boundaries – antinomies of pure reason – expressive boundaries – Kant.

Predkladaný príspevok rozvíja niektoré myšlienky týkajúce sa zmien hraníc jazyka vedy zo štúdií Kvasz (2004; 2005). V nich možno nájsť podrobnejší výklad historických súvislostí zmien jazyka fyziky. V predkladanom príspevku sa sústreďíme na analytické a expresívne medze tohto jazyka a pokúsime sa obhájiť dve tézy, ktoré sú ozvenou Kantovej filozofie: 1. Vedecké teórie majú v každom období svojho rozvoja jasne rozpoznateľné *medze*. 2. Pokus o prekročenie týchto medzí sa prejavuje prítomnosťou *antinómií* alebo paradoxov.<sup>1</sup> Naš výklad sa od kantovského bude líšiť v tom,

---

<sup>1</sup> Významy slov 'antinómia' a 'paradox' sa do istej miery prekrývajú. Slovník slovenského jazyka vymedzuje antinómiu ako „<filoz.> protirečenie medzi dvoma vzájomne sa vylučujúcimi tézami, ktoré sú uznávané za rovnako správne; <práv.> protirečenie v ustanoveniach zákona“, kým paradox ako „1. protirečiace spojenie myšlienok, protizmyselné

že tieto medze považujeme za dané jazykovým rámcom, v ktorom je sformovaná daná teória. Zmenou jazykového rámca možno medze predchádzajúcej teórie prekonať, čím antinómie zanikajú. Príkladom takéhoto *zániku antinómie* je odstránenie antinómie konečnosti verzus nekonečnosti priestoru a času, ku ktorému došlo pri prechode od Newtonovej koncepcie času a priestoru k časopriestoru všeobecnej teórie relativity. Zo špekulatívneho problému konečnosti či nekonečnosti priestoru a času sa stala empirická otázka hustoty rozloženia hmoty vo vesmíre.

Naviazanie antinómií na historicky existujúci jazykový rámec nie je jedinou zmenou oproti Kantovmu chápaniu. Ďalšia zmena sa týka pojmu skúsenosti, čo možno vybadať z toho, že hustotu rozloženia hmoty vo vesmíre považujeme za empirickú otázku. Opustíme Kantovo karteziánske chápanie skúsenosti ako vnímania určitého druhu v prospech jej newtonovského chápania.<sup>2</sup> Fakt, že pre každý jazykový rámec sa podarí nájsť antinómie, ktoré sa v prípade Newtonovho rámca (kap. 2.1.2) a rámca teórie kontinuí a fluid (kap. 2.1.2) zhodujú s antinómiami, ktoré uvádza Kant, možno chápať ako uznanie vecnej správnosti Kantových analýz. Náš text tak zdôrazňuje aktuálnosť určitých aspektov Kantovej filozofie, a nadväzuje na články Kvasz (2007; resp. 2011), venované Kantovi.

## 1. Prehľad hlavných jazykových rámcov v dejinách fyziky

Aby sme mohli zaviesť pojem *analytických* a *expresívnych medzí* jazyka fyzikálnej teórie v presnom technickom zmysle, je užitočné najprv objasniť dva príbuzné, ale menej kontroverzné pojmy, a to pojem *analytickej sily* a po-

---

tvrdenie, filoz. antinómia; 2. jav, ktorý zdanlivo odporuje prostému názoru“. Slovo paradox má širší význam než antinómia. Aj keď antinómu zahŕňa (vo svojom prvom význame), jeho druhý význam zahŕňa aj situácie, ktorých opis nemusí obsahovať dve vzájomne sa vylučujúce tézy, ale stačí keď sú nezvyklé, prekvapivé a odporujúce vžitým predstavám, t. j. idú proti bežnej mienke (doxa).

<sup>2</sup> Vlastne aj prvý bod, teda prechod od antinómií rozumu k medziam jazyka možno vylážiť ako prechod od Kantovho karteziánskeho chápania teórie ako konštrukcie rozumu k jej newtonovskému chápaniu. Newtonovo nahradenie Princípov (filozofie) Matematickými princípmi (prírodnej filozofie) možno, vo svetle Galileovho chápania matematiky ako jazyka vedy, chápať ako prechod od špekulatívnych princípov karteziánskej fyziky k matematickým, teda jazykovým princípom, t. j. ako ukotvenie vedy v pevnom jazykovom rámci matematiky.

jem expresívnej sily jazyka (alebo jazykového rámca) príslušnej teórie. *Analytickú silu* jazyka možno charakterizovať systémom vzorcov, ktoré je možné v danom jazyku analyticky odvodiť.<sup>3</sup> Teda analytickou silou jazyka určitej fyzikálnej teórie rozumieme súbor vzorcov (t. j. algebraických, diferenciálnych a integrálnych vzťahov medzi fyzikálnymi veličinami), ktoré možno v danom jazyku odvodiť bez použitia empirických údajov alebo *ad hoc* hypotéz. Ako ilustráciu analytickej sily jazyka newtonovskej mechaniky možno uviesť odvodenie Keplerových zákonov. Kým pre Keplera bol eliptický tvar planetárnych orbit empirickým faktom, t. j. v kantovskej terminológii syntetickým súdom, v jazykovom rámci newtonovskej mechaniky ho možno analyticky odvodiť z gravitačného zákona. Súbor všetkých takýchto odvodení uskutočniteľných v určitom jazyku charakterizuje jeho analytickú silu.

Druhým dôležitým pojmom je *expresívna sila* jazyka, ktorú možno definovať ako schopnosť v jazyku reprezentovať určitý aspekt fyzikálneho sveta.<sup>4</sup> V histórii fyziky existuje veľa prípadov, kedy jav, ktorý sa vzpiera opis prostredníctvom jazykového rámca „starej“ teórie a bol preto vnímaný ako určitá anomália, sa podarilo popísať prostriedkami jazyka „novej“ teórie. Napríklad vedenie tepla nebolo možné opísať v jazyku newtonovskej mechaniky. Odvodenie rovnice vedenia tepla si vyžiadalo prechod k jazykovému rámcu teórie kontinuí a fluid (a zavedenie kalorika ako nezávitelného fluida). Takéto prípady považujeme za ilustrácie nárastu expresívnej sily jazyka.

---

<sup>3</sup> Odvodenie chápeme ako majúce konečnú dĺžku, ktorá nepresahuje určitú hodnotu danú možnosťami ľudského intelektu. Z hľadiska tejto state nie je dôležité maximálnu dĺžku odvodenia presne vymedzovať, stačí vziať číslo dostatočne veľké, aby obsiahlo všetky reálne možné odvodenia, teda napríklad  $10^{100}$  krokov. Analytická sila jazyka sa dá prakticky vymedziť z pohľadu neskoršieho jazyka, ktorý má väčšiu analytickú silu, a ktorého prostriedkami možno exaktne ukázať hranicu, ktorú odvodenia predošlého jazyka nemôžu prekročiť. Analytická sila je tak vlastnosťou samotného jazyka a nezávisí od toho, kto jazyk používa.

<sup>4</sup> Expresívna sila jazyka je určená súborom syntaktických pravidiel, a možno ju chápať ako mieru komplexnosti deskripcií, ktoré jazyk umožňuje utvoriť. To určuje, aké jemné rozlíšenia jazyk dokáže urobiť, a teda aké zložité situácie dokáže reprezentovať. To, ktoré z týchto situácií sú reálne, ako aj to, ako sa jazyk k nim vzťahuje, (t. j. ktorým z výrazov, ktoré expresívna sila jazyka umožňuje vytvoriť, teória priradí denotáty), to je úplne iný problém, ktorým sa v tejto stati nezaobráme. Tu sa snažíme charakterizovať iba syntaktickú stránku jazyka.

Je zaujímavé, že okrem analytickej a expresívnej sily jazyka možno každý jazykový rámec charakterizovať aj jeho analytickými a expresívnymi medzami. *Analytické medze* určitého jazykového rámca vyjadrujú skutočnosť, že existuje celý rad zákonov, vzťahov a parametrov, ktoré v danom rámci *je možné vyjadriť* (t. j. rámec disponuje veličinami a konštantami, nutnými na zápis príslušného zákona, vzťahu či parametra), ale v tomto rámci ich *nie je možné odvodiť*. Ako príklad ilustrujúci existenciu analytických medzí jazykového rámca newtonovskej fyziky môžeme uviesť Newtonovo odvodenie rýchlosti zvuku. Je jasné, že zvuk má konečnú rýchlosť a Newton ju bol schopný odmerať s dostatočnou presnosťou. Teda v jazyku newtonovskej mechaniky je možné zaviesť výraz označujúci rýchlosť zvuku, ktorý má jasný zmysel i referenciu. Keď sa však Newton pokúšal hodnotu rýchlosti zvuku teoreticky odvodiť, dostal nesprávny výsledok. Nesprávny výsledok tohto odvodenia však nebol dôsledkom Newtonovho omylu, ale šlo o zlyhanie jazyka.<sup>5</sup> V jazykovom rámci newtonovskej fyziky sa hodnota rýchlosti zvuku nedá odvodiť, leží za jeho analytickými medzami. Analytické medze jazyka určitej teórie tvoria všetky prvky (zákony, vzťahy či veličiny), ktoré, podobne ako rýchlosť zvuku v rámci newtonovskej fyziky, možno v danom rámci vyjadriť (t. j. existuje *empirická procedúra*, určujúca referenta výrazu a aj súbor *lingvistických pravidiel*, vymedzujúcich jeho syntax), ale nie je možné analyticky odvodiť jeho hodnotu či tvar.

Druhým druhom medzí jazyka sú *expresívne medze*. Týkajú sa vzťahov alebo faktov, ktoré prostriedkami daného jazykového rámca nemožno ani len vyjadriť. Ako príklad môžeme vziať vzťah  $E = m \cdot c^2$ , ktorý dáva do súvisu hmotnosť telesa s jeho celkovou energiou. Hoci hmotnosť aj energia sú pojmy vyskytujúce sa v newtonovskej fyzike, v jej jazykovom rámci je uvedený vzťah nevyjadriteľný, lebo rýchlosť svetla tam nie je univerzálnou konštantou, ktorá by mohla takýto vzťah sprostredkovať. V newtonovskom rámci je rýchlosť svetla rýchlosťou pohybu hmotných častíc a jej hodnota závisí od vzájomnej rýchlosti svetelných korpuskúl a pozorovateľa. Pre rôznych pozorovateľov by tak rýchlosť svetla mala rôzne hodnoty. Pre niektorých pozorovateľov by tak uvedený vzťah platil, pre iných nie. Až v jazykovom rámci teórie relativity sa rýchlosť svetla stala (v dôsledku zmeny syntaktických pravidiel sčítania rýchlostí) fundamentálnou konštantou, ktorej

---

<sup>5</sup> Nešlo o zlyhanie použitia jazyka, lebo nech by sme jazyk Newtonovej fyziky používali akokoľvek, pokiaľ by sme postupovali podľa pravidiel jeho syntaxe, hodnotu rýchlosti zvuku by sme nemohli analyticky odvodiť.

hodnota je rovnaká pre všetkých pozorovateľov, čím sa uvedený vzťah v tomto rámci stáva vyjadriteľným.<sup>6</sup>

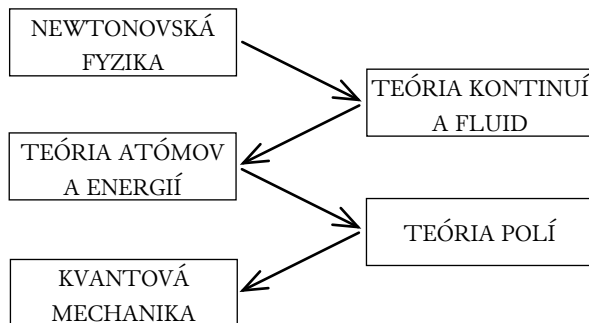
Analytické a expresívne medze jazyka, a predovšetkým ich neustále posúvanie, sú jedným z najzaujímavejších aspektov dejín fyziky. V našom príspevku opíšeme postupné zmeny analytických a expresívnych medzí jazyka fyziky. Ale prv, než prejdeme ku štúdiu týchto medzí, uvedieme prehľad jazykových rámcov, ktoré boli v dejinách fyziky vytvorené:

---

<sup>6</sup> Jazykom (či jazykovým rámcom) určitej fyzikálnej teórie rozumieme súbor znakov, umožňujúci reprezentovať určitý aspekt fyzikálnej skutočnosti, spolu so systémom syntaktických pravidiel, ktoré umožňujú formovať zložené výrazy a tieto výrazy transformovať (teda odvodzovať výrazy, ktoré sú s pôvodnými výrazmi vo vzťahoch synonymie, vyplývania, upresnenia, popierania a pod.) a so systémom sémantických pravidiel, ktoré umožňujú výrazy jazyka dať do súvisu so skutočnosťou. Vo fyzike majú odvodzovacie pravidlá často podobu diferenciálnych rovníc, pomocou ktorých je možné zo stavu systému v okamihu  $t$  odvodiť jeho stav v neskoršom okamihu  $t+b$  (t. j. pohybové rovnice považujeme za súčasť syntaxe jazyka, vnímame ich ako gramatické pravidlá). Odvodenie prebiehajúce v danom jazykovom rámci bez použitia dodatočných empirických údajov či ad hoc hypotéz, považujeme za analytické odvodenie.

Určitý jazyk môže obsahovať dostatočné bohatstvo výrazov, aby mohol reprezentovať určité situácie, ale tieto výrazy nemusia stačiť na reprezentovanie iných situácií. Klasickým príkladom je jav nesúmerateľnosti strany a uhlopriečky štvorca, ktorý ukazuje, že jazyk aritmetiky umožňuje reprezentovať racionálne veličiny, ale neumožňuje reprezentovať veličiny, ako je  $\sqrt{2}$ . Expresivitu jazyka považujeme za jeho syntaktickú vlastnosť, za schopnosť vygenerovať dostatočne bohatú štruktúru výrazov, aby pomocou nich bolo možné reprezentovať určitú oblasť skutočnosti. To, akým spôsobom sa toto reprezentovanie deje, v tejto stati neskúmame.

Medzi jazykové výrazy, hrajúce vo výstavbe fyzikálnych teórií obzvlášť dôležitú úlohu, patria fyzikálne veličiny. Tieto veličiny získavame v procese merania. Na prvý pohľad sa môže zdať zvláštne vykladať fyzikálne veličiny ako syntaktické objekty a tým ich oddeliť od fyzikálnej reality podobne, ako vykladať pohybové rovnice ako odvodzovacie pravidlá jazyka. Tu však iba rozvíjame prístup, ktorý sme navrhli pre jazyk geometrie v knihe *Patterns of Change*. Tam sme geometrické obrázky interpretovali ako výrazy jazyka čím sa z postulátov euklidovskej geometrie stali formačné pravidlá jazyka. Keď chceme tento prístup aplikovať na jazyk fyziky, je prirodzené považovať meracie prístroje za čosi analogické pravítku a kružidlu v geometrii, teda za generátory jazykových výrazov. Fyzikálne veličiny, ktoré sú výsledkom procesu merania, musíme potom považovať za paralelu úsečiek a oblúkov kružníc, teda za jazykové výrazy.



## 2. Analytické a expresívne medze jazyka v dejinách fyziky

Po prehľade základných jazykových rámcov vytvorených v dejinách fyziky pristúpime k opisu ich analytických a expresívnych medzí. Naším cieľom je ukázať, že expresívne medze jazyka sú zdrojom *antinómií*, kým analytické medze sa prejavujú prítomnosťou *čiastočne správnych odvodení*.

### 2.1. Newtonovská fyzika

Newton opisuje interakcie pomocou síl pôsobiacich na diaľku. K pôsobeniu jedného telesa na druhé nie je nutný ich kontakt. Príkladom pôsobenia na diaľku je gravitačná sila.

#### 2.1.1. Analytické medze jazyka newtonovskej fyziky

Ilustráciou analytických medzí jazyka newtonovskej fyziky je tých niekoľko prípadov, kedy Newton dospel k výsledkom odporujúcim experimentálnym dátam. Na myslí máme výpočet rýchlosti zvuku (Prop. L, Prob. XII druhej knihy *Princípií*), kde dostal 968 stôp za sekundu, t. j.  $295 \text{ ms}^{-1}$ , čo je o 17 % menej ako skutočná hodnota. Jeho vlastné experimenty na Trinity College dali hodnotu ležiacu značne nad touto teoretickou predpoveďou, a tak sa Newton pustil do vylepšovania svojho odvodenia, ktoré Richard Westfall nazval „*neslýchaným podvodom*“ (por. Westfall 1971, 497). Podobne problematický je výpočet času, za ktorý vytečie tekutina cez diery v dne nádoby (Prop. XXXVI, Prob. VIII. druhej knihy, druhého vydania *Princípií*), kde dostal dvojnásobnú hodnotu nameranej veličiny. K tomuto problému zas Westfall poznamenáva, že tu „*jeho dynamika úplne zlyhala*“ (por. Westfall 1971, 501).

V týchto príkladoch okrem mechanického aspektu, ktorý Newton uchoopil správne, vystupuje aj dodatočný aspekt (termodynamický, resp. hydrodynamický). Tento aspekt však Newton neberie do úvahy, a práve on je zodpovedný za odchýlky od správneho výsledku. Plné porozumenie týmto dodatočným aspektom bolo možné až po prechode k jazykovému rámcu teórie kontinuí a fluid. Preto uvedené príklady nepredstavujú „neslýchaný podvod“ či „úplné zlyhanie“ Newtonovej dynamiky, ale skôr narazenie na analytické medze jej jazyka. Na uvedených odvodeniach nie je prekvapujúce, že zlyhali, veď v jazyku newtonovskej fyziky sa rýchlosť zvuku a doba vytekania tekutín nedá vypočítať. Pozoruhodné je skôr to, že napriek tomu Newton dostal aspoň približne správny výsledok.

### 2.1.2. *Expresívne medze jazyka newtonovskej fyziky*

Newtonovská fyzika ani zďaleka nie je úplná teória. Ako prvý si to uvedomil pravdepodobne Kant, ktorý sformuloval rad antinómií odhaľujúcich hranice newtonovského opisu sveta. Kant považoval tieto antinómie za vlastnosti rozumu. Nevzťahoval ich ku konkrétnej fyzikálnej teórii, ale videl v nich prejav medzí, ktorými je obmedzená naša schopnosť vôbec nejaké teórie vytvárať. Ak by to bola pravda, boli by tieto antinómie neprekonateľné. Ako však ukázal vývin fyziky, Kantove antinómie sa dajú prekonať. Napríklad všeobecná teória relativity odstránila antinómiu konečnosti verzus nekonečnosti priestoru, keď od euklidovského priestoru prešla k zakrivenému časopriestoru, v ktorom už Kantova antinómia nefunguje. Napriek tomu však podľa nás Kantove antinómie nestrácajú svoj význam. Treba ich iba relativizovať vzhľadom k jazyku, v ktorom je sformulovaná teória, o ktorej antinómiu tvrdíme. Antinómiu konečnosti verzus nekonečnosti priestoru navrhujeme interpretovať ako poukaz na *externý charakter priestoru v newtonovskej fyzike*. Podľa nás táto antinómia nie je vlastnosťou ľudského rozumu, ale jazyka. Nie však jazyka ako takého, ale jazyka newtonovskej mechaniky. V jazyku newtonovskej fyziky neexistuje možnosť fyzikálne, t. j. pomocou experimentálne ukotvených pojmov, sformulovať otázku konečnosti či nekonečnosti priestoru.<sup>7</sup> Nekonečný priestor sa jednoducho postuluje.

<sup>7</sup> Mienime tým – sformulovať túto otázku podobne ako Newton sformuloval otázku rotácie Zeme. Predovšetkým treba rozlíšiť sformulovanie danej otázky od jej zodpovedania. Newton si uvedomil, že v dôsledku rotácie Zeme voľný pád telesa neprebíha po zvislej priamke, ale odchyľuje sa od zvislého smeru. Tento efekt je v princípe možné namerať a Newton sa so svojim priateľom Ch. Wrenom pokúšal namerať ho púšťaním

Antinómii konečnosti verzus nekonečnosti priestoru preto navrhujeme interpretovať ako poukaz na *expressívne medze jazyka newtonovskej fyziky*.<sup>8</sup>

## 2.2. Teória kontinuí a fluid

V Newtonovom univerze je pôsobenie sprostredkované silami pôsobiacimi na diaľku a pohybové rovnice majú podobu obyčajných diferenciálnych rovníc. V roku 1713 pri snahe opísať kmitanie struny Brook Taylor hypoteticky vyčlenil element struny a skúmal sily, ktoré naň pôsobia zo strany okolitých elementov. V zásade len aplikoval na element struny Newtonov pohybový zákon, a preto si myslel, že postupuje v duchu newtonovskej ortodoxie. O niečo neskôr, v roku 1736 Euler sformuloval program výskumu, ktorý už systematicky uvažoval sily pôsobiace vo vnútri látky (pozri Euler 1736, 89). Prvým náznakom uvedomenia si skutočnosti, že tento program opustil medze Newtonovskej fyziky, je Eulerova práca *Objav nového princípu mechaniky* z roku 1750, kde Euler formuluje princíp, podľa ktorého rovnice opisujúce pohyb voľného telesa ostávajú v platnosti, aj keď ich použijeme nie na opis telesa ako celku, ale na opis elementu daného telesa alebo kvapaliny. V priebehu 18. storočia sa postupne rodí teória kontinuí a fluid,

---

kamienkov z kopule katedrály sv. Pavla v Londýne (ktorú Wren projektoval). Aj keď sa im efekt nepodarilo namerať, a teda otázku rotácie Zeme nedokázali empiricky zodpovedať (to sa podarilo o viac než sto rokov neskôr Foucaultovi pomocou kyvadla, ktoré používa rovnaký efekt ako Newtonov pokus (t. j. Coriolisovu silu); pri pohybe kyvadla sa však v dôsledku neustáleho opakovania periodického pohybu malé odchýľky sčítavajú a výsledný efekt je tak dost' veľký na jednoznačné preukázanie rotácie Zeme). Napriek tomu, že Newton nedokázal otázku rotácie Zeme rozhodnúť, sformuloval ju empiricky relevantným spôsobom, teda našiel experimentálnu situáciu (púšťanie kamienkov z vysokej veže), v ktorej sa rotácia Zeme prejaví merateľným efektom. Možno teda povedať, že rotáciu Zeme experimentálne ukotvil.

<sup>8</sup> V jazykovom rámci Newtonovej fyziky otázka konečnosti či nekonečnosti priestoru vedie k antinómii práve preto, lebo v tomto rámci pojem konečnosti priestoru nie je empiricky ukotvený. Nevieme navrhnúť fyzikálny experiment, ktorý by dal jeden výsledok v prípade, keď je priestor konečný a iný v prípade, keď je nekonečný. Práve túto empirickú neukotvenosť využíva Kant, keď uvádza plauzibilné (avšak špekulatívne) argumenty pre obe možnosti a tak konštruuje svoju antinómiu. Akonáhle všeobecná teória relativity prepojí zakryvenosť priestoru s rozložením hmoty vo vesmíre, stane sa otázka konečnosti versus nekonečnosti priestoru empirickou otázkou o rozložení hmoty vo vesmíre. Môže sa síce stať, že sa nám, podobne ako Newtonovi v prípade rotácie Zeme, túto otázku nepodarí rozhodnúť. Keď však Kantove antinómie preložíme do kontextu určovania hustoty rozloženia hmoty vo vesmíre, jeho argumentácia sa rozpadne a antinómia zaniká.



ktorá chápe teleso ako zložené z častí – elementov kontinua – ktoré sú *vyčlenené hypoteticky*. Tieto elementy majú rovnaké vlastnosti ako kontinuum (hustotu, pružnosť, tvrdosť), ale sú také malé, že umožňujú prejsť k diferenciálom. Z matematického hľadiska to znamená, že vedľa obyčajných diferenciálnych rovníc newtonovskej mechaniky, ktoré opisujú pohyb telesa ako celku, sa objavujú parciálne diferenciálne rovnice, ako napríklad rovnica kmitania struny, rovnica prúdenia tekutín či rovnica vedenia tepla, ktoré opisujú *šírenie pôsobenia v spojitom médiu*. Toto šírenie opisujú buď tak, že jedna časť kontinua silovo pôsobí na susednú (a vedľa síl pôsobiacich na diaľku sa objavujú kontaktné sily), alebo tak, že médiom sa rozlieva určité fluidum (elektrické fluidum, magnetické fluidum, kalorikum, flogistón). Jazyk teórie kontinuí a fluidum umožňuje odvodiť diferenciálne rovnice pre celý rad fyzikálnych procesov, od kmitania strún až po šírenie tepla. Snáď najspektakulárnejším úspechom bolo Fourierovo *odvodenie rovnice vedenia tepla* roku 1822. Fourier odvodil svoju rovnicu z predpokladu existencie fluida, ktoré nazývali kalorikom.

Ako sme uviedli, jedným z omylov v *Princípiách* bolo odvodenie hodnoty rýchlosti zvuku. Newton vypočítal rýchlosť zvuku pomocou dômyselného triku, keď stláčanie a rozpínanie vzduchu vo zvukovej vlne prirovnal k mechanickému kyvadlu (nutnosť použiť takýto trik ukazuje, nakoľko sa opis šírenia zvuku vymyká jazyku newtonovskej mechaniky). Správnu hodnotu rýchlosti zvuku odvodil Laplace v roku 1816, keď si uvedomil, že vo zvukových vlnách nedochádza k izotermickému stláčaniu vzduchu, ako to implicitne predpokladal Newton, ale pri kompresii vo zvukovej vlne sa vzduch zahrieva a toto zahriatie spôsobuje nárast rýchlosti zvukových vln. Teoretické zdôvodnenie Laplaceovho odvodenia podal v roku 1823 Poisson, ktorý predpokladal, že množstvo tepla obsiahnuté v určitom objeme vzduchu ostáva pri kmitaní konštantné. Takýto proces sa nazýva adiabatický. Pojem adiabatického procesu je pojem spadajúci do teórie kontinuí a fluid. Keď si vzduch predstavíme ako špongiu nasiaknutú kalorikom, tak izotermické stláčanie vzduchu zodpovedá pomalému stláčaniu špongie, pri ktorom nadbytočné kalorikum zo špongie vytečie. Stlačená špongia zaberá menší objem a do tohto menšieho objemu sa zmestí menšie množstvo kalorika. Nadbytočné kalorikum však treba odtransportovať. Keď je stláčanie špongie príliš rýchle, a pri zvukovej vlne kompresia a roztáhovanie sa striedajú aj 1000 krát za sekundu, kalorikum nestihne opustiť špongiu, a je stlačené spolu s ňou. Stláčanie kalorika – teda zvyšovanie množstva kalorika v jednotke objemu – nie je nič iné ako nárast teploty. Poisson si uvedomil, že pri zvuko-

vých vlnách prebiehajú kmity tak rýchlo, že kalorikum je stláčané spolu so vzduchom, a podmienka izotermickosti je porušená. Predstava tepla ako fluida umožňuje opísať termické procesy prebiehajúce pri kmitaní vzduchu a tak dospieť k správnej hodnote pre rýchlosť šírenia zvukových vln. Schopnosť vyjadriť rozdiel medzi izotermickým a adiabatickým procesom je jednou z ilustrácií expresívnej sily jazyka teórie kontinuí a fluid.

### 2.2.1. Analytické medze jazyka teórie kontinuí a fluid

Teória kontinuí a fluid opisuje tepelné javy tak, že postuluje existenciu nevážiteľnej substancie, kalorika. Vedeniu tepla potom zodpovedá prúdenie kalorika pórmí látky, kým narastanie teploty spočíva v hromadení kalorika v danom objeme. Joule určil v roku 1843 mechanický ekvivalent tepla, čím ukázal, že mechanická práca sa môže premieňať v teplo. Vznik tepla z práce odporuje predstave, že teplo je fluidum. Joulove pokusy tak ukazujú analytické medze jazyka teórie kontinuí a fluid – *generovanie tepla pomocou mechanickej práce sa v tejto teórii nedá opísať*.

### 2.2.2. Expresívne medze jazyka teórie kontinuí a fluid

Podobne ako Kantova antinómia konečnosti či nekonečnosti priestoru predstavuje expresívne medze newtonovskej fyziky, antinómia konečnej verzus nekonečnej deliteľnosti látky predstavuje expresívne medze jazyka teórie kontinuí a fluid. Kantova antinómia poukazuje na to, že *pojmem objemového elementu je v teórii kontinuí a fluid externý*. Delenie matérie sa tu postuluje (podobne ako sa v newtonovskej fyzike postulovala nekonečnosť priestoru), ale nie je experimentálne fixované. Keď z kontinua vyčleníme element objemu, je to matematická operácia, ktorej vo fyzikálnom zmysle nezodpovedá žiadna experimentálna procedúra, ktorá by mohla vlastnosti látky na danej úrovni malosti určiť. Jednoducho sa predpokladá, že látka je homogénna, a teda element má rovnaké vlastnosti ako celok. Kant tu poukázal na zásadný problém. Avšak ani táto antinómia nie je neodstrániteľná. Kvantová mechanika prekonala Kantovu antinómiu konečnej verzus nekonečnej deliteľnosti hmoty, keď ukázala, že v dôsledku princípu neurčitosti je zmenšovanie delenia spojené s nárastom energie, takže určite nemôže prebiehať donekonečna. Zo *špekulatívnej otázky nekonečnej deliteľnosti hmoty sa tak stáva empirická otázka dostupnosti stále vyšších a vyšších energií, ktorá nakoniec vyúsťuje do technickej otázky stavby stále väčších urýchľovačov*.

### 2.3. Teória atómov a energií

Teória atómov a energií sa zrodila z krízy mechanistického obrazu sveta, ktorú priniesol pokrok viacerých disciplín. V chémii došlo v polovici 18. storočia k objavu, že vzduch nie je jednoduché pružné kontinuum, ako si ho predstavovala teória kontinuí a fluid, ale je to zmes celého radu rôznych látok. Tieto objavy vyvrcholili v roku 1789 Lavoisierovou oxidačnou teóriou horenia, ktorá nahradila teóriu *flogistónu*. Rozvoj kalorimetrie viedol k Joulovým pokusom o mechanickom ekvivalente tepla a spôsobil zánik teórie *kalorika*. Rozvoj teórie materiálov (optického skla, ocele) v prvej polovici 19. storočia zmenil predstavu o štruktúre hmoty. *Okolo polovice 19. storočia nastáva prechod od hypotetického postulovania matematického kontinua či nevážiteľného fluida k fyzikálnemu skúmaniu stavby materiálov a procesov, ktoré v nich prebiehajú.*

Teória kontinuí a fluid znamenala *substancionalizáciu makroskopických fenoménov* (ohňa, tepla, elektriny), keď postulovala fluidá, ktoré zodpovedali makroskopickým javom (ohňu, teplu alebo elektrine) a vytvorila matematický jazyk, ktorý umožnil opísať ich správanie. Fourierova rovnica vedenia tepla bola odvodená z predpokladu existencie *kalorika*, kým Maxwellove rovnice boli odvodené na základe predpokladu o existencii éteru. S nárastom presnosti experimentálnych metód fyzika urobila krok poza makroskopickú úroveň. Makroskopické vlastnosti, ktoré teórie kontinuí a fluid jednoducho premenili na hypotetické fluidá, sa zmenili na štatistické priemery vlastností reálnych častíc tvoriacich mikroskopickú úroveň opisu. So zánikom fluid je tak spojený vznik nového jazykového rámca, ktorý desubstancionalizoval predošlý opis, ale snažil sa zachovať výsledky, ktoré boli pomocou neho dosiahnuté. Fyzika tak prešla o úroveň hlbšie v opise štruktúry hmoty.

Henri Navier predložil v roku 1822 spis *Mémoire sur les lois du mouvements des fluides*, v ktorom odvodil *pohybovú rovnicu nestlačiteľnej viskóznej kvapaliny*. Aj keď v samotnej rovnici vystupujú iba veličiny charakterizujúce kvapalinu ako kontinuum, Navier svoju rovnicu odvodil na základe predpokladu, že kvapalina sa skladá z molekúl, pričom sily interakcie medzi molekulami sú úmerné ich vzájomnej rýchlosti. Tento predpoklad nezapadal do ortodoxnej teórie kontinuí. Molekuly sú čímsi zásadne iným, než boli elementy, na ktoré sa kontinuum delilo v rámci tejto teórie. Vlastnosti kontinua sa neprenášajú na molekuly, ale práve naopak, z vlastností molekúl sa odvodzujú vlastnosti kontinua. Atómy či molekuly, z ktorých je zložená kvapalina, nie sú *hypotetické* elementy, ale *fyzikálne reálne* objekty, aj keď o ich rozmeroch, počte a vlastnostiach sa vie zatiaľ málo. *Fyzikálne reálny* tu

znamená, že vyčlenenie atómov nie je hypotetický čin definície elementu kontinua. Atómy, na rozdiel od elementov kontinua, nevyčleňujeme my, ale sama príroda.

### 2.3.1. Analytické medze jazyka teórie atómov a energií

Ak látku považujeme za zloženú z atómov, pričom atómy si predstavíme ako nepatrné guľôčky, tak niet dôvodu, prečo by tieto guľôčky nemohli rotovať a kmitať. Ak predpokladáme, že zákony mechaniky platia aj na atomárnej úrovni, tak atómu ako každému tuhému telesu prislúcha nekonečný počet stupňov voľnosti vnútorných kmitov. V stave tepelnej rovnováhy pri teplote  $T$  každému stupňu voľnosti prislúcha energia  $kT$ . Keďže energia kmitov je úmerná amplitúde, vnútorné kmity sa môžu vybudíť pri ľubovoľne malej energii. Z toho, že vnútorných stupňov voľnosti je nekonečne mnoho, vyplýva, že nakoniec by sa *všetka energia mala pohltiť vnútornými stupňami voľnosti atómov*, čo protirečí skúsenosti. Možno namietnuť, že nekonečný počet stupňov voľnosti má aj každé makroskopické teleso, preto tento paradox sa musel objaviť už v rámci teórie kontinuí a fluid. Nie je to však pravda, lebo teória kontinuí a fluid chápe teplo ako fluidum, takže *tepelná rovnováha* s kmitmi telesa nesúvisí. Až keď teória atómov a energií teplo vyložila ako energiu neusporiadaného pohybu častíc hmoty, mohol sa vynoriť *paradox nekonečnej energie vnútorných stupňov voľnosti látky*.

### 2.3.2. Expresívne medze jazyka teórie atómov a energií

V roku 1820 Ampère objavil vzájomné silové pôsobenie dvoch elektrických prúdov. Verný duchu teórie kontinuí a fluid našiel kvantitatívny zákon opisujúci, ako na seba pôsobia dva *elementy* prúdu. Keď sa v roku 1897 ukázalo, že elektrický prúd predstavuje kolektívny pohyb nabitých častíc, z Ampèrovho zákona vyplývalo, že elektrický prúd silovo pôsobí na pohybujúce sa náboje. Ak sa obmedzíme na jediný náboj, z Ampèrovho zákona môžeme vypočítať, aká sila naň pôsobí zo strany elektrického prúdu. Tu je však skrytý problém. Keď prejdeme do sústavy spojennej s pohybujúcim sa nábojom, v tejto sústave bude náboj v pokoji. Na náboj nachádzajúci sa v pokoji však elektrický prúd nepôsobí žiadnou silou. Teda to, či na náboj pôsobí sila zo strany prúdu, závisí od sústavy, v ktorej situáciu opisujeme. Sila však existuje nezávisle od voľby súradníc. To ukazuje, že v teórii atómov a energií *má zámena súradníc externý (t. j. matematický) charakter* a nie je napojená na experimentálne procedúry. Uvedený rozpor tak možno pri-

dať ku Kantovým antinómiám, keďže má podobnú štruktúru – ukazuje externý charakter určitého prvku. Poukazuje na expresívne medze jazyka teórie atómov a energií.

#### 2.4. Teórie polí

Teória elektromagnetického poľa vyrástla z prác Faradaya, ktorý zaviedol na vizualizáciu pôsobenia elektrických nábojov, prúdov a magnetov pojem siločiar, a použil ho aj pri opise elektromagnetickej indukcie, ktorú objavil v roku 1831. Väčšina fyzikov Faradayove siločiar nebrala vážne, videla v nich len pomôcku, ktorá síce môže pomôcť objaviť nové fakty, ale z hľadiska fyzikálneho obsahu týchto faktov je irelevantná. To, že siločiar majú aj fyzikálny obsah, pochopil Maxwell, ktorý v 60-tych rokoch 19. storočia prepísal Faradayove kvalitatívne úvahy do matematickej podoby, pričom od Faradayových siločiar postupne prešiel k pojmu poľa. Maxwell tak Faradayovým siločiarom prisúdil objektívnu skutočnosť. Maxwellovu teóriu ďalej rozvinul Hendrik Lorentz, ktorý do Maxwellovej teórie zabudoval opis vzájomného pôsobenia poľa a látky. Lorentz sa ešte usiloval teóriu poľa zasadiť do jazykového rámca teórie atómov a energií. S týmto cieľom zaviedol zákony kontrakcie rozmerov atómov pri pohybe, dnes nazývané Lorentzove transformácie. Postupne sa ukázalo, že takéto zasadenie nie je možné, a v roku 1905 Einstein dospel k záveru, že teória poľa predstavuje zásadne nový jazykový rámec, vyžadujúci nové uchopenie kategórií priestoru a času. Rýchlosť svetla, ktorá bola pôvodne veličinou charakterizujúcou šírenie svetelných lúčov a elektromagnetických vln (vzťahovala sa na obmedzený okruh javov), začína vystupovať v definícii hybnosti či v rovniciach opisujúcich transformácie súradníc pri zmene súradnej sústavy.

Analytickú silu jazyka teórie poľa možno ilustrovať na Maxwellovom objave posuvného prúdu. Potom, ako zapísal v matematickom tvare všetky známe fakty o elektrickom a magnetickom poli, Maxwell zistil, že rovnice, ktoré dostal, sú nesymetrické. Premennivé magnetické pole vytvára elektrické pole (Faradayov zákon elektromagnetickej indukcie), no premenlivé elektrické pole nemalo analogický účinok. Vedený ideou symetrie Maxwell postuloval existenciu magnetického účinku premenlivého elektrického poľa. Tento efekt nebol objavený, lebo jeho registrácia vyžaduje veľmi špeciálne podmienky, na ktoré pri skusmom hľadaní nik neprišiel. Keď takto doplnil rovnice elektromagnetického poľa o dodatočný člen, zistil, že majú riešenie v tvare elektromagnetických vln. Maxwell uverejnil svoj objav v roku 1873 a v roku 1886 Hertz existenciu týchto vln experimentálne do-

kázal. Maxwellov objav je jednou z najkrajších ilustrácií analytickej sily jazyka fyziky.

Analytické medze jazyka teórie atómov a energií sme ilustrovali nasledovným paradoxom: Keď pri opise pohybu letiaceho náboja prejdeme do sústavy s ním spojenej, na náboj prestane pôsobiť sila zo strany vodiča s elektrickým prúdom. Tento paradox možno vysvetliť až v rámci teórie poľa. Trik je v tom, že keď prejdeme do sústavy, spojenej s letiacim nábojom, bude vodič voči nám v pohybe. V dôsledku relativistickej kontrakcie dĺžky sa v pohybujúcom sa vodiči, ktorým tečie prúd, skrátia vzdialenosti medzi kladnými nábojmi kovovej mriežky, a rovnako aj vzdialenosti medzi zápornými nábojmi tvoriacimi elektrický prúd. Miera skrátienia však bude v oboch prípadoch rôzna. To povedie ku vzniku neskompenzovaného náboja na vodiči. Teda v sústave spojenej s letiacim nábojom vodič prestáva byť elektricky neutrálny a náboj pocíti elektrostatickú silu. Táto sila vyvolá rovnaké efekty, aké v pôvodnej sústave predpovedal Ampèrov zákon. Takže paradox je odstránený.

#### 2.4.1. Analytické medze jazyka teórií polí

Experimentálny výskum tepelného žiarenia dosiahol v 19. storočí značné úspechy. Fyzici namerali krivky, udávajúce intenzitu tepelného žiarenia v jednotlivých častiach spektra pre rôzne teploty. Wien sformuloval v roku 1894 zákon, ktorý tieto krivky dobre aproximoval pri vysokých frekvenciách tepelného žiarenia, no pri malých frekvenciách viedol k divergencii (infračervená divergencia). V roku 1900 Rayleigh a Jeans odvodili iný zákon, ktorý verne opisoval žiarenie pri malých frekvenciách, ale viedol k divergencii pri veľkých frekvenciách (ultrafialová divergencia). Tieto asymptotiky sa nedarilo spojiť. Infračervená resp. ultrafialová divergencia predstavujú *paradoxné výsledky a tepelné žiarenie* vytyčuje analytické medze jazyka teórie poľa. Jazykový rámec umožňuje odvodiť vzorce, ktoré iba čiastočne súhlasia s dátami, podobne ako v prípade Newtonovho odvodenia rýchlosti zvuku.

#### 2.4.2. Expresívne medze jazyka teórií polí

Teória poľa nedokáže vysvetliť, ako je možné, že telesá okolo nás sú stabilné a nemenia svoj tvar. Elektrické a magnetické sily majú totiž jednu zaujímavú vlastnosť – nemôžu vytvoriť *stabilnú konfiguráciu nábojov*. Príčina je nasledovná: Predpokladajme že by sme chceli vytvoriť konfiguráciu nabitých častíc tak, aby bola stabilná. To by znamenalo, že ak uvažujeme jednu

z týchto častíc, tak ostatné častice vytvoria v jej okolí také pole, že pri malom vychýlení častice z jej rovnovážneho stavu ju tieto sily vrátia späť (to je zmyslom pojmu stability). Ak si teda predstavíme našu časticu obkolesenú malou sférou, v ktorej už niet iných nábojov, tak siločiaru poľa vytvoreného zvyšnými časticami musia pretínať túto sféru smerom zvonka dnu (aby v prípade, že by častica chcela opustiť svoju polohu, sily ju vrátili naspäť). To však podľa Maxwellových rovníc nie je možné.

Situáciu nemožno zachrániť ani snahou stabilnú polohu vytvoriť ako dynamický stav. Na to, aby bol elektrón lokalizovaný v telese, jeho pohyb musí prebiehať v uzavretom priestore. To znamená, že sa pohybuje po zakrivenej dráhe. Pri pohybe po zakrivenej dráhe však podľa Maxwellových rovníc elektrón vyžaruje elektromagnetické žiarenie, v dôsledku čoho neustále stráca energiu. Elektrón by tak v krátkom čase padol na jadro. Látku preto musí držať pohromade niečo, čo sa vymyká jazyku teórie poľa. Pre tento jazyk je stabilita hmoty záhadou.

## 2.5. Kvantová mechanika

Prvá práca, v ktorej sa objavila hypotéza kvánt, je od Plancka, vyšla v roku 1900 a bola venovaná žiareniu čierneho telesa. Ako sme uviedli pri výklade teórie atómov a energií, pokusy opísať žiarenie čierneho telesa viedli k divergentným formulám. Planckovi sa podarilo dospieť k uspokojivému výsledku, no za cenu predpokladu, že čierne teleso nevyžaruje spojito, ako to vyžaduje klasická fyzika, ale v malých diskretných porciách, ktoré nazval kvantami. Roku 1905 Einstein použil Planckovu hypotézu pri vysvetlení fotoefektu a roku 1913 ju Bohr zabudoval do teórie stavby atómov.

V roku 1923 prišiel Louis de Broglie s myšlienkou, že kvantová hypotéza sa netýka iba žiarenia, ale podobne, ako možno spojiť vlnu žiarenia priradiť diskretné kvantá, možno aj diskretným časticám priradiť vlny. Tieto vlny matérie ešte nik nepozoroval, čo je spôsobené tým, že ich vlnová dĺžka je nesmierne malá. Takto sa z kvantovej hypotézy stal univerzálny princíp, ktorému podliehajú všetky druhy objektov, stal sa z nej základ nového jazykového rámca. Všetky systémy sa vyznačujú korpuskulárno-vlnovým dualizmom. Tepelné žiarenie bolo oblasťou, kde fyzici na túto vlastnosť po prvý raz narazili. Po de Broglieho práci nasledujú v rýchlom slede práce Heisenberga, Borna, Jordana, Schrödingera, Diraca, Pauliho, až nakoniec v roku 1927 John von Neumann vytvoril štandardnú formuláciu kvantovej mechaniky, založenú na pojme Hilbertovho priestoru.

V súvislosti s analytickými medzami jazyka teórie poľa sme uviedli, že v rámci jazyka teórie poľa nie je možné opísať *stabilný systém nábojov*. V kvantovej mechanike Heisenbergov princíp neurčitosti niečo také umožňuje. Podľa tohto princípu súčin neurčitosti súradnice  $\Delta x$  a neurčitosti hybnosti  $\Delta p$  musí byť väčší ako Planckova konštanta  $h$ . Keď si predstavíme sústavu vytvorenú z dvoch častíc, kladne nabitého protónu a záporne nabitého elektrónu, tak z pohľadu klasickej teórie poľa by elektrón pri obiehaní okolo protónu vyžaroval elektromagnetické žiarenie, čím by strácal energiu a postupne by v dôsledku týchto strát po špirále padal na protón. Sústava by teda podľa klasickej teórie poľa mala skolabovať, a tak o stabilnom atóme vodíka nemôže byť ani reč. A tu sa dostáva k slovu princíp neurčitosti, ktorý elektrónu zabráni obiehať príliš blízko protónu. V tom prípade by totiž bola jeho súradnica veľmi presne lokalizovaná (v atómech je polomer jadra stotisíckrát menší ako polomer elektrónového obalu, teda pád na jadro znamená zvýšenie presnosti lokalizácie elektrónu o päť rádov). Presná lokalizácia v priestore podľa princípu neurčitosti znamená veľkú nepresnosť v určení hybnosti. Stotisícnásobné spresnenie polohy by viedlo ku stotisícnásobnému znepresneniu hodnoty hybnosti. Veľká neurčitosť hybnosti však znamená, že elektrón opustí svoju „dráhu“, po ktorej má podľa klasickej teórie padať na protón. Takže Heisenbergov princíp neurčitosti pôsobí proti kolapsu systému. Elektrická príťažlivosť má tendenciu systém stláčať do čo najmenších oblastí priestoru, kým princíp neurčitosti ho z týchto malých oblastí vytláča. Ako kompromis vzniká stabilný základný stav atómu.

### *2.5.1. Analytické a expresívne medze jazyka kvantovej mechaniky*

Opísať analytické a expresívne medze jazyka kvantovej mechaniky si netrúfame. V predošlých príkladoch sme analytické a expresívne medze určitého jazykového rámca charakterizovali jeho konfrontáciou s neskorším rámcom, ktorý tieto medze prekonal a vďaka tomu ich umožnil vytýčiť. V prípade kvantovej mechaniky v roli neskoršieho jazykového prichádza do úvahy kvantová teória poľa, ktorej formalizmus presahuje možnosti autora tejto state.

## **3. Záver**

Naše analýzy ukazujú, že fyzikálne teórie majú vnútorné obmedzenia, ktorých prekonávanie zakladá dynamiku ich rozvoja. Keď Kant objavil anti-



nómie, narazil podľa nášho názoru práve na tieto vnútorné medze rozvoja fyzikálnych teórií. Takto rekonštrukcia dejín fyziky ukazuje, že to, čo Kant nazval antinómiami čistého rozumu, je relevantné aj pre súčasnú filozofiu vedy. Na príkladoch z dejín fyziky sme ukázali, že Kantove antinómie čistého rozumu úzko súvisia s *expresívnymi medzami jazyka*. Tieto medze sa prejavujú tým, že určitý pojem má voči jazykovému rámcu danej fyzikálnej teórie externý charakter – nie je naviazaný na experimentálnu prax daného jazykového rámca, ale je zavedený čisto matematicky. To bol prípad *absolútneho priestoru* v newtonovskej fyzike, *elementu kontinua* v teórii kontinuí a fluid, či *zmeny súradníc* v teórii atómov a energií. Takto ku Kantovej dvojici antinómii – konečnosti verus nekonečnosti priestoru a konečnej či nekonečnej deliteľnosti hmoty – možno pridať *antinómiu konečnej verus nekonečnej rýchlosti svetla*. Problém, ktorý vyriešila teória relativity, má rovnakú epistemologickú štruktúru, ako antinómie, spomínané Kantom.

*Analytické medze jazyka* neprinášajú antinómie, ale paradoxy. V jazyku už nemožno proti sebe postaviť dve rovnako plauzibilné tézy, ktoré si protirečia. Jazyk umožňuje sformulovať základné princípy opisu situácie a vylúčiť ich negácie. Príslušný opis je však iba čiastočne správny. Obsahuje vecné chyby, ktoré vedú k paradoxným výsledkom. Tieto chyby ale nemožno pripísať na vrub autora opisu. Nie sú to omyly, nespočívajú v porušení pravidiel jazyka. Ich charakter je systematický. Zlyhanie Newtonovho odvodenia rýchlosti zvuku nebolo omylom. Podobnú odchýlku od nameranej hodnoty by obsahovalo asi každé odvodenie tejto rýchlosti v jazykovom rámcu klasickej mechaniky. Je to tak preto, lebo v prípade analytických medzí príslušný výraz, rovnica, či hodnota už *je napojená na experimentálnu prax* príslušného rámca, čo umožňuje tento výraz či formulu experimentálne testovať. Toto napojenie však nie je úplné, spravidla chýba teoretická reprezentácia určitého aspektu skúmaného javu. Tak jazykový rámec Newtonovej fyziky dokázal zachytiť mechanický aspekt zvukovej vlny (t. j. že ide o pozdĺžne kmity zvuku), ale nedokázal zachytiť jej termodynamický aspekt (t. j. že ide o adiabatický proces). Príslušné odvodenie zohľadňuje iba niektoré aspekty javu, a vedie k chybným výsledkom. Pri konfrontácii teoretických výsledkov s experimentom dospievame k *paradoxu* – teoretický výsledok odporuje meraniu. Už to ale nie je logický rozpor v obraze skutočnosti ako v prípade antinómii, ktoré charakterizujú expresívne medze jazyka. V prípade analytických medzí ide o paradox, o výsledok, „ktorý zdanlivo odporuje prostému názoru“.

## PodĎakovanie

Stať vznikla v rámci programu *Fellowship Jana Evangelisty Purkyně* vo Filozofickom ústave AV ČR.

## Literatúra

- EULER, L. (1736): *Mechanica sive motus scientia analytice exposita*. Ruský preklad (1938): *Mechanika*. Moskva: GRTTL.
- KANT, I. (1781/1990): *Kritik der reinen Vernunft*. Hamburg: Felix Meiner.
- KVASZ, L. (2004): Epistemologické otázky fyziky: od antinómií čistého rozumu k expresívnym medziam jazyka. *Organon F* 11, č. 4, s. 362-381.
- KVASZ, L. (2005): Epistemologické otázky modernej fyziky. *Organon F* 12, č. 1, 40-61.
- KVASZ, L. (2007): Kantova filozofia exaktných disciplín a Fregeho argument z veľkých čísel. In: Havlík (ed.): *Meze formalizace, analytičnosti a prostoročasu*. Praha: Filosofia, 129-149.
- KVASZ, L. (2008): *Patterns of Change*. Basel: Birkhäuser.
- KVASZ, L. (2011): Kant's Philosophy of Geometry – On the Road to a Final Assessment. *Philosophia Mathematica* 19, 139-166.
- MACH, E. (1893/1902): *The Science of Mechanics*. Chicago: The Open Court.
- NEWTON, I. (1687/1999): *The Principia*. Berkeley: University of California Press.
- WESTFALL, R. S. (1971): *Force in Newton's Physics*. London: Macdonald.