

EPISTEMOLOGICKÉ OTÁZKY FYZIKY: OD ANTINÓMIÍ ČISTÉHO ROZUMU K EXPRESÍVNÝM MEDZIAM JAZYKA

Ladislav KVASZ

EPISTEMOLOGICAL QUESTIONS OF PHYSICS: FROM THE ANTI-NOMIES OF PURE REASON TO EXPRESSIVE BOUNDARIES OF LANGUAGE

The aim of the paper is to describe the main epistemological ruptures in the history of physics. This description is based on a reconstruction of the formal language of the physical theories. Attention is paid to its various aspects: its *analytical*, *expressive* or *explanatory* power, as well as its *analytical* and *expressive* boundaries. Among the main achievements of this reconstruction is a new interpretation of Kant's antinomies of pure reason. Relativizing Kant's antinomies and applying them to the language of physics instead to reason itself make it possible to show, that the antinomies are still valid. As *expressive boundaries of the language* the antinomies are universal for all physical theories. Thus Kant through his antinomies pointed to a remarkable epistemological matter of fact.

Svet fyziky siaha ďaleko za hranice zmyslového sveta. Obývajú ho obrovské objekty, ktorých rozmery presahujú všetko čo si vôbec vieme predstaviť, nachádzajú sa v ňom nepatrné častice, ktoré odolávajú našej predstavivosti kvôli svojej nesmiernej malosti. Pôsobia v ňom rôzne sily, prehánajú sa ním najrozličnejšie druhy neviditeľného žiarenia. Objekty nášho zmyslovo daného sveta zaberajú nepatrný výsek na nesmiernych škálach fyzikálnych veličín. Rozmery, teploty, tlaky, hustoty či sily, ktoré poznáme z každodennej skúsenosti, sú len malým intervalom na stupnici rozmerov, teplôt, tlakov, hustôt a síl, s ktorými pracuje fyzika. Na rozdiel od fyzikálneho sveta sa svet fyziky mení spolu s tým, ako vedci postupujú v odhaľovaní stále odľahlejších regiónov univerza. Pred Newtonom vo svete fyziky neexistovali sily, pred Toricellim neexistoval tlak, pred Clausiom neexistovala entropia. Samozrejme, vo **fyzikálnom svete** sily, tlaky i entropia existujú odjakživa a ich vlastnosti nezávisia od vývinu nášho fyzikálneho poznania. Naproti tomu **svet fyziky** prešiel celým radom zásadných zmien. Keď Kuhn hovorí, že fyzici zastávajúci rôzne paradigmy žijú v rôznych svetoch, má na mysli rôzne svety fyziky a nie rôzne fyzikálne svety. Cieľom predkladanej state je reflexia najdôležitejších zmien sveta fyziky. Postupovať budeme nepriamo, opierajúc

sa o rekonštrukciu zmien jazyka fyziky, ktoré nazývame re-representáciami. Predkladaná stat' nadväzuje na článok *Changes of Language in the Development of Mathematics* [5], ktorý bol venovaný re-representáciám v matematike.

Re-representáciou vo fyzike rozumieme zmenu odkrytosti sveta fyziky, teda zmenu spôsobu, ako sa sprítomňujú fyzikálne fenomény, objekty a procesy. Re-representácie odlišujeme od objektácií. **Objektácie** prinášajú rôzne spôsoby ontologického ukotvenia toho, čo je už odkryté a tým premieňajú reprezentáciu v obraz. Jedna reprezentácia spravidla zahŕňa celý rad obrazov.¹ Napríklad newtonovská reprezentácia sprítomňujúca svet ako súbor častíc, medzi ktorými pôsobia sily, zahŕňa eulerovský, lagrangeovský a hamiltonovský obraz. Rozdiel medzi re-representáciami a objektáciami možno ukázať na príklade geometrie. Re-representácie spájajú do jednej vývinovej línie syntetickú geometriu, analytickú geometriu a fraktálnu geometriu, a predstavujú zásadné zmeny v chápaní toho, čo je to tvar teda čo sa vôbec ukazuje ako majúce formu. Naproti tomu objektácie spájajú do jednej línie euklidovskú geometriu, projektívnu geometriu a neeuklidovské geometrie. Z pohľadu re-representácií sa celá posledne menovaná línia odohráva v rámci syntetickej geometrie. Predstavu o rozdieli medzi re-representáciami a objektáciami vo fyzike si môžeme utvoriť, keď si všimneme priestor, ktorý fyzikálne teórie používajú. V líni re-representácií sú najdôležitejšie mechanistická, relativistická a kvantová reprezentácia, pričom príslušné typy priestoru sú trojrozmerný euklidovský priestor, štvorrozmerný pseudoeuklidovský časopriestor a nekonečnorozmerný Hilbertov priestor. Na úrovni objektácií v mechanike, teda v rámci prvej z uvedených reprezentácií, sa najdôležitejšie etapy spájajú s Eulerom, Lagrangeom a Hamiltonom a príslušné typy priestoru sú trojrozmerný priestor, $3n$ -rozmerný konfiguračný priestor a $6n$ -rozmerný fázový priestor. Z hľadiska re-representácií sa však celý posledne menovaný vývin odohráva na báze trojrozmerného priestoru. Lagrange a Hamilton iba „zlepili“ jeho viaceré kópie.

Okolnosťou, ktorá sťažuje analýzu zmien jazyka fyziky je mladosť tejto disciplíny. Fyzika si ešte uchovala realistický nárok vypovedať o skutočnosti, a samej sebe rozumie ako vede empirickej. Fyzici sa preto usilujú zmeny vo fyzike interpretovať realisticky, ako zmeny vynútené skúsenosťou. Lingvis-

¹ Bežne sa termíny obraz a reprezentácia nerozlišujú a tak sa možno stretnúť aj so spojením mechanistický obraz sveta. My však budeme tieto termíny používať v upresnenom význame. Svet budeme používať na označenie určitej reprezentácie, obraz na označenie objektácie. Okrem toho rozlišujeme re-representáciu (písanú s pomlčkou), ktorú chápeme ako proces zmeny odkrytosti sveta fyziky a reprezentáciu (písanú bez pomlčky), ktorou rozumieme výsledok tohto procesu, teda určitý konkrétny spôsob odkrytosti.

tickým inováciám, ku ktorým v dejinách fyziky dochádza, buď nevenujú pozornosť, alebo sa snažia vyložiť ich ako dôsledok zmien obsažných. Lingvistický prístup je preto v rozpore so sebainterpretáciou, ktorá je implicitne prítomná v každej fyzikálnej teórii.

Pri analýze re-prezentácií v matematike sme okrem vysokého veku tejto disciplíny mali výhodu aj v tom, že sme mohli čerpať z prác Gottloba Fregeho. V stati *Funktion und Begriff* ([3], 30) Frege opísal vývin časti matematiky (zahŕňajúcej aritmetiku, algebru a diferenciálny a integrálny počet) ako nárast všeobecnosti jazyka. V podstate stačilo rozšíriť Fregeho lingvistický prístup o geometriu ([5], 47-48), aby sa celá matematika dostala do jednotného rámca. Pri opise vývinu aritmetiky Frege jasne povedal o čo pri re-prezentáciách ide, čo sa v jazyku matematiky mení. Ukázal, že zmeny sa týkajú **nárastu všeobecnosti jazyka** pri postupnom prechode od konštantných výrazov k premenným a funkciám. Preto stačilo hľadať analogické zmeny v jazyku geometrie. V línii od syntetickej, cez analytickú k fraktálnej geometrii je viditeľný nárast všeobecnosti postupu, ktorým sú vytvárané geometrické útvary. Syntetická geometria svoje objekty skladá z predom daných foriem (z úsečiek a oblúkov kružníc, t. j. z *konštantných tvarov*), analytická geometria opisuje svoje objekty pomocou premenných (krivka vzniká tak, že sa do súradnej sústavy zakreslia body prislúchajúce rôznym hodnotám nezávislej *premennej*) a fraktálna geometria vytvára svoje útvary pomocou iteratívneho procesu (*funkcie*, ktorá sa v každom kroku aplikuje na celý útvar). Keď sme vývin jazyka geometrie spojili s vývinom symbolického jazyka aritmetiky, ktorý opísal Frege, dospeli sme k pojatiu vývinu matematiky, ako vývinu jej symbolického a ikonického jazyka. Na rozdiel od matematiky vo fyzike však **nevieme, akú zmenu jazyka predstavuje re-prezentácia**. Vo fyzike nemáme k dispozícii analýzu jej jazyka porovnateľnú s Fregeho analýzou jazyka matematiky.²

² Zdá sa, že by sme potrebovali klasifikáciu diferenciálnych rovníc (či dynamických systémov) podobnú Fregeho klasifikácii matematických symbolov na konštanty, premenné, funkcie prvého rádu, funkcie druhého rádu etc. Podobne, ako je v matematike základným krokom prechod od predpokladov k **logickým** dôsledkom, a Fregeho rozlíšenia umožňujú tento prechod presnejšie charakterizovať, tak vo fyzike opisuje diferenciálna rovnica prechod od stavu k jeho **temporálnym** následkom. Jednotlivé typy dynamických systémov by mohli byť charakterizované podľa toho, aké vlastnosti má tento temporálny prechod. Čo chýba, je teda akýsi „*Begriffsschrift* 2“, teda čosi ako „*Eine der physikalischen nachgebildete Formelsprache des reinen Denkens*“.

1. Lingvistický prístup k vývinu fyziky

V stati *Changes of Language in the Development of Mathematics* sme uviedli šesť aspektov jazyka, ktorých zmeny sprevádzajú re-representácie v matematike ([5], 50):

1. **logickú silu**, ktorá ukazuje, nakoľko komplexné formuly je možné v danom jazyku dokázať
2. **expresívnu silu**, ktorá ukazuje, čo nového, čo sa v predošlých štádiách vymykalo vyjadreniu, teraz jazyk umožňuje vyjadriť
3. **explanatorickú silu**, ktorá ukazuje, ako nový jazyk umožňuje vysvetliť zlyhania jazyka, ktoré boli na predošlom štádiu nepochopiteľné
4. **integratívnu silu**, ktorá ukazuje, ako nový jazyk umožňuje uvidieť jednotu a poriadok tam, kde na báze predošlého jazyka sa ukazovali len navzájom nesúvisiace prípady
5. **logické medze**, ktoré sa prejavujú tým, že napriek dodržiavaniu syntaktických pravidiel sa v jazyku začínajú objavovať nezmyselné výrazy
6. **expresívne medze**, ktoré odhaľujú prekvapujúce zlyhania jazyka pri opise určitých situácií

Vývin jazyka matematiky spočíva v náraste logickej a expresívnej sily: jazyk umožňuje dokázať stále viac tvrdení a opísať stále bohatšiu oblasť javov. Postupne narastá aj jeho explanatorická a integratívna sila: jazyk umožňuje stále hlbšie porozumenie svojim metódam a poskytuje stále ucelenejší pohľad na svet. Na prekonávanie logických a expresívnych medzí sa rozpracovávajú stále jemnejšie techniky. Naším cieľom je tieto aspekty jazyka preniesť do fyziky. To je sťažené tým, že vo fyzike zatiaľ chýba formálne uchopenie jej jazyka.

Prenesenie logickej sily jazyka z matematiky do fyziky nepredstavuje problém. Vo fyzike je však primeranejšie hovoriť o **analytickej sile jazyka**, a chápať ju nie vo vzťahu k dokazovaniu, ako je to bežné v matematike, ale vo vzťahu k odvodzovaniu, teda k tomu, aké formuly je možné v jazyku analyticky odvodiť. Analytickou silou jazyka určitej fyzikálnej teórie budeme teda rozumieť súbor všetkých formúl (algebraických, diferenciálnych či integrálnych vzťahov medzi fyzikálnymi veličinami), ktoré je možné v danom jazyku, vychádzajúc z bežne prijímaných postulátov danej teórie, analyticky (t. j. bez použitia dodatočných empirických údajov) odvodiť. Ako ilustrácia môže poslúžiť Newtonovo odvodenie Keplerových zákonov. Pre Keplera bol eliptický tvar dráh planét empirický fakt, teda syntetické tvrdenie. V jazyku

newtonovskej mechaniky ho možno odvodiť z gravitačného zákona. Schopnosť jazyka odvodiť určité zákony ilustruje jeho analytickú silu.

Rovnako zrejماً je aj *expresívna sila jazyka*, predstavujúca schopnosť tematizovať určitý aspekt prírody. V dejinách fyziky existuje celý rad javov, ktoré sa vzpierajú opisu prostriedkami jazyka „starej“ teórie a predstavovali tak anomáliu, kým v jazyku „novej“ teórie ich možno jasne a jednoznačne opísať. Opísanie daného javu potom považujeme za nárast expresívnej sily jazyka fyziky.

Podobne možno vo fyzike nájsť analógiu *explanatorickej sily jazyka*. Ako príklad možno vziať vysvetlenie stability hmoty v kvantovej mechanike. Z pohľadu klasickej fyziky nie je jasné, prečo sa elektróny obiehajúce v atómoch tvoriacich stoličku nerozbehnú do strán, keď si na ňu sadneme. Z princípov klasickej fyziky vyplýva, že nie je možné vytvoriť stabilnú konfiguráciu nábojov, udržiavaných elektromagnetickými silami. Preto porucha systému atómov stoličky vyvolaná tým, že si na ňu sadneme, by mala viesť k veľkým zmenám v trajektóriách elektrónov. Až Heisenbergov princíp neurčitosti umožňuje vysvetliť, prečo je látka stabilná, teda prečo elektróny napriek poruche ostávajú na svojich miestach. Na základe Heisenbergovho princípu sa totiž elektrón môže priblížiť k protónu (t. j. spresniť svoju lokalizáciu v priestore), len za cenu nárastu energie (spojenej s nárastom neurčitosti hybnosti), čo zabezpečuje stabilitu základného stavu atómu voči malým poruchám. Jazyk kvantovej mechaniky tak umožňuje vysvetliť stabilitu atómov, ktorá bola pre klasickejšiu fyziku záhadou.

Prejavom *integratívnej sily jazyka* sú veľké zjednotenia, príkladmi ktorých sú Newtonovo zjednotenie pozemskej a nebeskej mechaniky, alebo Maxwellovo zjednotenie elektrodynamiky a optiky. Frege vyložil nárast integratívnej sily jazyka matematiky ako dôsledok prechodu od používania konštánt, cez zavedenie premenných až po zavedenie funkcií. Vo fyzike nie je jasné, s akou lingvistickou inováciou je spojené Newtonovo či Maxwellovo zjednotenie, takže naša analýza predstavuje iba predbežné úvahy, ktoré snád povedú k hlbšiemu pochopeniu týchto zjednotení.

Okrem uvedených „pozitívnych“ aspektov jazyka sa pokúsime z matematiky do fyziky preniesť aj *analytické medze* a *expresívne medze jazyka*.³

³ Čitateľa možno prekvapilo, že v epistemologickej rekonštrukcii aspektov jazyka fyziky chýba zmienka o čomsi, čo by sa dalo nazvať *prediktívnou silou jazyka*. V dejinách vedy sme svedkami celého radu spektakulárnych predpovedí, stačí spomenúť predpoveď návratu Halleyovej kométy, Einsteinovu predpoveď zakrivenia svetelných lúčov v blízkosti Slnka či predpovedanie nových častíc v subnukleárnej fyzike. Podľa nášho názoru však vo väčšine prípadov ide o spojenie *epistemologického faktu*, že príslušný jazyk umožňuje existenciu daného javu analyticky odvodiť, s *historickou okolnosťou*, že príslušné teoretické odvodenie bolo dané pred empirickým objavom

Podľa nášho názoru predstavujú tieto medze najzaujímavejšie aspekty jazyka, lebo vrhajú nové svetlo na povahu niektorých Kantových antinómií.

2. Re-prezentácie v dejinách fyziky

Po tom, ako sme stručne opísali aspekty jazyka fyziky od analytickej sily až po expresívne medze, môžeme pristúpiť k historickému materiálu. Pokúsime sa vyložiť vývin fyziky z lingvistického pohľadu ako postupnosť jazykových inovácií, ako proces postupného zdokonaľovania jazyka, pomocou ktorého fyzika sprítomňuje svoj svet.

2. 1 Galileovská fyzika

Galileovská kinematika je väčšinou historikov považovaná za prvú modernú fyzikálnu teóriu. Preto aj my začneme výklad vývinu jazyka fyziky analýzou tejto teórie.

a. analytická sila jazyka galileovskej fyziky

Galileovská fyzika je úzko zviazaná s experimentálnou metódou. Matematický jazyk je pre Galilea iba nástrojom na exaktné vyjadrenie empirických dát. Galileovská fyzika je syntetická a preto možno sotva hovoriť o analytickej sile jej jazyka. Galileo síce majstrovsky používa myšlienkové experimenty, ale tie sa opierajú o logickú argumentáciu a nie o matematické odvodzovanie. Preto ich nemožno považovať za prejav analytickej sily jazyka.

b. expresívna sila jazyka galileovskej fyziky

Expresívnu silu jazyka galileovskej fyziky tvorí schopnosť vyjadriť kvantitatívne vzťahy medzi veličinami, ktoré charakterizujú určitý fyzikálny dej. Ako príklad možno uviesť Galileovu formuláciu zákona voľného pádu, ktorý predstavuje jeden z prvých fyzikálnych zákonov: „*Dráhy, prejdené za ľubovoľné časové úseky telesom, ktoré vyšlo z kľudu a pohybuje sa rovnomerne zrýchleným pádom, sú navzájom v takých pomeroch, ako štvorce pomerov*

Z epistemologického hľadiska je však jedno, či teória príslušný jav predpovie alebo len dodatočne vysvetlí. Podstatná je existencia prepojenia medzi princípmi teórie a príslušným javom v rámci daného jazyka. Z psychologického hľadiska je tu samozrejme veľký rozdiel. Predpovedanie javu má nádyh veštenia a verejnosť ho vníma ako prejav moci. Ale z epistemologického hľadiska to nie je dôležité. Pre epistemológa je podstatný iba fakt odvoditeľnosti určitého javu v danom jazyku. To ukazuje, že keď sa epistemológia zaujíma o vývin poznania, čas, v ktorom vývin poznania rekonštruuje, nie je historickým časom. Epistemológia abstrahuje od historických kontingencií reálneho vývinu a všima si len vzájomnú podmienenosť štádií

časových úsekov“ ([4], 191). Vidno, že jazyk tu slúži na *vyjadrenie vzťahu medzi veličinami*, opisujúcimi fyzikálny proces.

c. explanatorická sila jazyka galileovskej fyziky

Galileo budoval svoju fyziku v opozícii voči scholastickému aristotelizmu, ktorý obsahoval celý rad pseudovysvetlení. Pri kritickom vyrovnávaní sa s aristotelizmom si uvedomil, že vysvetlenia pomocou esenciálnych foriem nie sú vedecké vysvetlenia, lebo postulujú to, čo treba vysvetliť. Galileo sa preto radšej vzdal vysvetľovania javov a úlohu vedy zúžil na ich presný opis. Aj keď je v dôsledku toho *explanatorická sila jazyka galileovskej fyziky nulová*, v odmietnutí pseudovysvetlení aristotelovskej fyziky a renesančného hermetizmu možno vidieť jasné pochopenie toho, čo vysvetlením je a čo ním nie je. Tým, že zmietol zo stola všetky pseudovysvetlenia, Galileo vytvoril priestor, v ktorom sa mohol začať narást explanatorickej sily jazyka fyziky.

d. integratívna sila jazyka galileovskej fyziky

Experimentálna metóda svet skôr rozbíja na izolované javy, než by ho integrovala do nejakého celku. Galileovým mottom bolo merať, čo je merateľné, a spraviť merateľným, čo merateľné nie je. Matematika, ktorú pritom používal (trojuholníky a kružnice, ktorými je napísaná kniha prírody), umožňovala výsledky merania vyjadriť v exaktnom tvare, ale neumožňovala zasaďiť určitú triedu javov do jednotného rámca. Galileo je autorom celého radu analógií, ako napríklad analógie medzi voľným pádom a vodorovným pohybom. Tieto dva druhy pohybu chápal Aristoteles ako zásadne rôzne (jeden je prirodzený, druhý násilný), kým Galileo ich dostal do jednotného rámca ako krajné prípady pohybu po naklonenej rovine (pohyb po „zvisle naklonenej“ rovine a pohyb po „vodorovne naklonenej“ rovine). To ukazuje, že Galileova fyzika má určitý stupeň integrácie, ale na druhej strane treba vidieť, že táto integrácia sa deje pomocou analógií, a teda je syntetického a nie analytického pôvodu. Galilea k nej priviedla intuícia a nie jazyk. Pozoruhodná je aj analógia medzi pohybom kyvadla a pohybom po naklonenej rovine. Galileo si všimol, že v oboch prípadoch je konečná rýchlosť daná iba výškovým rozdielom medzi počiatočným a koncovým bodom dráhy, a nezávisí od sklonu naklonenej roviny či od dĺžky ramena kyvadla. Avšak aj túto analógiu objavil synteticky, experimentovaním, a nie analyticky, vďaka jazyku. Podobne v astronómii Galileo objavil, že nebeské telesá sú z rovnakej matérie ako pozemské telesá. Ale aj zjednotenie nebeských a pozemských javov bolo iba prejavom geniálnej intuície. Galileovým nešťastím bolo, že jazyk, ktorý mal k dispozícii, neumožnil jeho víziu jednoty neba a zeme analyticky uchopiť a

tak sudcovia inkvizície ostávali nepresvedčení. Práve v neschopnosti presvedčiť svojich odporcov o víziu novej jednoty sveta možno vidieť nedostatok integratívnej sily jazyka, ktorý Galileo používal.

e. analytické medze jazyka galileovskej fyziky

To, že sa Galileo striktnie pridržal empirickej skúsenosti a nepúšťal sa do špekulácií, malo za následok, že väčšina zákonov, ktoré sformuloval (zákon voľného pádu, zákon izochrónnosti kyvadla, zákon parabolického tvaru trajektórie projektilu) sú fakticky správne. Alebo aspoň sa nám správnymi zdajú. Táto zdanlivá správnosť Galileových tvrdení zakrýva konceptuálne nedostatky jeho systému. Mnohí historici čítajú Galileov zákon voľného pádu ako zákon opisujúci pád v gravitačnom poli, a teda stotožňujú Galileovu formuláciu s jej newtonovským prekladom. Podľa Galilea však teleso nepadá k zemi so zrýchlením preto, že by ho Zem priťahovala. Reči o príťažlivosti odmietal ako nevedecké. Renesančný hermetizmus bol plný tajomných síl, a podľa Galilea veda by sa nemala púšťať do špekulácií o silách. **Zrýchlený charakter voľného pádu je podľa Galilea vlastnosťou tohto druhu pohybov.** Z dnešného pohľadu je to samozrejme omyl, lebo teleso sa nemôže samé od seba zrýchľovať. Tu vidno základný problém galileovskej fyziky: podľa Galilea existujú rôzne druhy pohybov (to je takpovediac empirický fakt) a úlohou vedy je iba ich opísať. Podobne keď Galileo z toho, že pohyb do kopca je spomalený a pohyb z kopca je zrýchlený, dospel k uzáveru, že pohyb po vodorovnej ploche je zotrvačný, tak v dôsledku guľatosti Zeme to znamenalo, že za zotrvačný považoval pohyb po kružnici. Neuvedomil si, že vodorovný pohyb je pohyb pod vplyvom gravitačnej sily, ktorá je príčinou zakrivenia jeho dráhy. Podľa Galilea je kruhový pohyb zotrvačný sám o sebe. Preto aj keď sa Galileove tvrdenia zdajú byť v poriadku, vidíme, že v jeho systéme sú skryté problémy. Nedostatočná analytická previazanosť tvrdení galileovskej fyziky spôsobuje, že tieto problémy sa nemôžu manifestovať, ale cítime, že tento systém má zásadné medze.

f. expresívne medze jazyka galileovskej fyziky

Na rozdiel od analytických medzí, ktoré sa črtajú iba neostro, expresívne medze jazyka galileovskej fyziky možno presne vymedziť. Všetky systémy, ktoré Galileo skúmal, či už to bolo kyvadlo, voľný pád alebo pohyb po naklonenej rovine, predstavujú pohyb jediného telesa. Galileovskej fyzike teda chýba nástroj na **opis interakcie medzi telesami**.

2. 2 Karteziánska fyzika

Karteziánska fyzika je prvou teóriou, umožňujúcou opísať interakcie medzi telesami. Na rozdiel od Galilea, ktorý obmedzoval úlohu fyziky na opis javov, podľa Descarta veda musí javy nielen opísať, ale aj kauzálne vysvetliť.

a. analytická sila jazyka karteziánskej fyziky

Aj keď karteziánska fyzika dokáže opísať interakcie medzi telesami, chýba jej matematický aparát, umožňujúci spojiť opis interakcií s opisom javov ([7], 238). Descartes vysvetľuje určitý jav tak, že postuluje mechanizmus, ktorý ho kauzálne spôsobuje. Napríklad pre zemskú tiaž postuluje vír jemnej látky, ktorý stláča všetky telesá na Zemi smerom nadol. Dve úrovne opisu, opis fenoménu tiaže a opis pohybu víru jemnej látky, však nie sú analyticky prepojené. Je na čitateľovi, aby nejako nahliadol, že vír skutočne spôsobuje tiaž. O analytickej sile jazyka tak nemôže byť reči.

b. expresívna sila jazyka karteziánskej fyziky

Napriek uvedeným nedostatkom karteziánska fyzika dokáže opísať *pôsobenie medzi telesami*, čím prekračuje hranice galileovskej fyziky. U Galilea sa každé teleso pohybuje izolovane. Keď Galileo opisoval pád, opisoval pád izolovaného telesa, keď hovoril o parabolickej trajektórii šikmého vrhu, hovoril o trajektórii jediného telesa. Galileo nedokázal opísať interakciu. Na tomto pozadí jasne vidieť pokrok, ktorý do fyziky prináša Descartes. Pre karteziánsku fyziku je interakcia, teda stret dvoch telies, ústredným javom, na ktorom sa zakladá reprezentácia sveta. Descartes opisuje interakciu pomocou zákona zachovania množstva pohybu. Keď opíšeme stav systému pred interakciou a stav po interakcii, zákon zachovania umožňuje tieto dva opisy dať do súvisu. Pre najjednoduchší príklad nepružnej centrálnej zrážky dvoch telies je takto možné určiť výslednú rýchlosť pohybu po zrážke. Aj keď pôvodná Descartova formulácia zákonov zrážky mala viaceré nedostatky, Christian Huyghens mnohé z nich odstránil. U Huyghensa sa stretáme s korektnou formuláciou karteziánskeho opisu pôsobenia pomocou zákonov zachovania.⁴ Leibnizovo zavedenie pojmu živej sily je ďalší krok v rozvoji

⁴ Prechod od Descarta k Huyghensovi predstavuje objektáciu, teda zlom menšieho rádu ako reprezentácia. Z hľadiska re-reprezentácií obaja pracujú v tej istej reprezentácii, opisujúcej vzájomné pôsobenie telies pomocou zákonov zachovania. Z hľadiska re-reprezentácií je Huyghensovo dielo zdokonalenou verziou karteziánskej fyziky (Huyghens by s takýmto hodnotením asi nesúhlasil). Huyghens prešiel od perspektivistickej k projektívnej forme jazyka karteziánskej fyziky, keď využitím opisu tej istej zrážky z pohľadu dvoch referenčných sústav (jedna je spojená s loďou, na

karteziánskej fyziky [8]. Leibniz síce chápal pojem živej sily ako alternatívu k Descartovmu pojmu množstva pohybu, ale ako ukázal d'Alembert, zachovávanie sa týchto dvoch veličín sa v skutočnosti nevyklučuje, ale dopĺňa. Tak dostávame opis zrážok, aký uvádzajú Landau a Lifšic ([9], kap. IV) vo svojej slávnej učebnici mechaniky. Tento opis považujeme za fragment karteziánskej fyziky, ktorý sa stal súčasťou štandardného kurzu mechaniky.

c. explanatorická sila jazyka karteziánskej fyziky

Keďže v karteziánskej fyzike nie je prepojená rovina opisu javov s rovinou opisu kauzálnych mechanizmov, pomocou ktorých sa javy vysvetľujú, je väčšina Descartových vysvetlení chybná. Descartes napríklad vysvetľuje gravitačné zrýchlenie pomocou víru jemnej látky. Skutočnosť, že si uvedomil, že zrýchlený pohyb nemôže byť prirodzeným pohybom, ale si vyžaduje vysvetlenie, je veľkým pokrokom v porovnaní s Galileom, ktorý ešte potrebu vysvetľovať zrýchlenie voľného pádu nevidel. Ale vysvetlenie, ktoré Descartes predložil, je iba pseudovysvetlenie. Preto *explanatorická sila jazyka karteziánskej fyziky je nulová*.

d. integratívna sila jazyka karteziánskej fyziky

Integratívnu silu jazyka karteziánskej fyziky možno ilustrovať na opise jednoty univerza. Descartes postuluje okolo Zeme neviditeľný vír jemnej látky, ktorý spôsobuje tiaž. Odvoláva sa pritom na jednoduchý pokus. Keď zamiešame kávu v šálke, rotujúca kvapalina stláča penu do stredu. Podľa Descarta vír jemnej látky stláča rovnako do svojho stredu všetky predmety, a my jeho tlak pociťujeme ako tiaž. Analogický vír ako Zem, má podľa Descarta aj Slnko, pričom slnečný vír sa prejavuje vysokou pravidelnosťou v stavbe slnečnej sústavy (planéty obiehajú tým istým smerom, ich dráhy ležia približne v jednej rovine). Takto sa tiaž na povrchu Zeme a pravidelná stavba slnečnej sústavy, ktoré sú v galileovskej fyzike prítomné ako náhodné, nijako spolu nesúvisiace javy, dostávajú do jednotného rámca. Táto jednota vo vysvetľovaní pozemských a nebeských javov je asi najprítlačivejšou stránkou karteziánskeho systému. Nemožno ju však prehlásiť za integratívnu silu jazyka, lebo je syntetického pôvodu. Do karteziánskeho systému ju nevnaša jazyk, ale Descartov špekulatívny génus. Preto *integratívna sila jazyka karteziánskej fyziky je nulová*.

ktorej sa robí pokus, a druhá je spojená s brehom) a šikovým prechádzaním z jednej sústavy do druhej bol schopný korigovať Descartove omyly a dať Descartovu teóriu zrážok do poriadku

e. analytické medze jazyka karteziánskej fyziky

Chýb je v karteziánskej fyzike toľko, že niektorí historici Descarta úplne vylúčili z dejín fyziky. Mnohé z týchto chýb sú opraviteľné v rámci karteziánskej reprezentácie a boli opravené Huyghensom. Preto svedčia o počiatočných ťažkostiach, na ktoré naráža každý, kto sa pohybuje na novom území. V karteziánskej fyzike však okrem opraviteľných chýb (ako sú nesprávne formulácie zákonov opisujúcich zrážky telies) existujú aj problémy, ktoré v jej rámci nemožno opraviť, a ktoré tak odкрývajú medze jazyka tohto systému. Jedným z takýchto fundamentálnych problémov je stotožnenie hmoty s priestorom. Descartes potom nemá nezávislý referenčný systém, voči ktorému by mohol definovať smer pohybu či tvar trajektórie. Descartes definuje pohyb čisto relatívne, ako „*premiestňovanie jednej časti hmoty alebo jedného telesa zo susedstva tých telies, ktoré sa ho bezprostredne dotýkajú a ktoré chápeme, akoby boli v pokoji, do susedstva iných telies*“ ([1], 93). Tento prístup **neumožňuje definovať priamočiary pohyb**. Voči čomu je pohyb telesa priamočiary, keď sa všetky telesá v jeho okolí hýbu? Pojem priamočiareho pohybu však patrí medzi základné pojmy karteziánskej fyziky a vystupuje vo formulácii druhého zákona prírody. Túto nekonzistentnosť karteziánskeho systému odhalil Newton a v spise *De Gravitatione* [10] ju podrobil kritike. Neschopnosť konzistentne zaviesť základné pojmy predstavuje analytické medze jazyka karteziánskej fyziky.

f. expresívne medze jazyka karteziánskej fyziky

Ďalšia zásadná chyba karteziánskeho systému, ktorej objasneniu sa Newton venoval v druhej knihe *Princípií*, súvisí s trením. Newton ukázal, že keby gravitáciu spôsoboval vír jemnej látky tak, ako si to predstavoval Descartes, tak behom krátkej doby by sa celý mechanizmus slnečnej sústavy zastavil. Na to, aby vír jemnej látky mohol spôsobovať obrovské zmeny hybnosti, spojené s pohybom nebeských telies (za pol roka Zem zmení smer svojho pohybu na opačný, čo vzhľadom na jej hmotnosť a rýchlosť, ktorou sa okolo Slnka pohybuje, znamená obrovskú zmenu hybnosti) musí s týmito telesami intenzívne interagovať. Gravitáciu teda nemôže spôsobovať vír riedkeho éteru, ale musí to byť tekutina prenášajúca veľké hybnosti. Ak je tomu tak, potom by pohyb cez ňu musel byť spojený so značným odporom, ktorý by pohyb Zeme behom krátkeho času zastavil. To, že Descartes vo svojich úvahách zabudol na trenie, však nie je náhoda. Do jeho obrazu interakcie sa trenie nedá zabudovať. Trenie totiž narušuje zákon zachovania množstva pohybu, lebo trením sa istá časť množstva pohybu stráca. Keďže Descartes opisoval interakciu pomocou zákona zachovania množstva pohybu, **nemohol uchopiť trenie**,

ktoré tento zákon narúša. Preto Newtonova kritika odhalila nie Descartov omyl či nedôslednosť, ale expresívne medze jazyka karteziánskej reprezentácie.

2.3 Newtonovská fyzika

Newton prináša opis interakcie pomocou síl pôsobiacich na diaľku. K tomu, aby jedno teleso mohlo pôsobiť na druhé, nie je nevyhnutný ich kontakt. Telesá môžu pôsobiť na seba, aj keď sú od seba vzdialené. Príkladom pôsobenia na diaľku je gravitačná sila. Oproti Descartovi, pre ktorého bolo pôsobenie pasívnou zrážkou spojenou s prechodom určitého množstva pohybu z jedného telesa na druhé, je pre Newtona silové pôsobenie aktívny proces. **Sily dokážu generovať pohyb.** Preto celkové množstvo pohybu (pokiaľ ho uvažujeme ako Descartes, teda ako skalárnu veličinu mv) sa nezachováva. Keď teleso padá k Zemi, vzniká nový pohyb. Zrýchlenie telesa nie je dôsledkom toho, že by dostávalo pohyb od víru jemnej látky (v ktorom by pohyb ubúdala tak, aby celkové množstvo ostávalo nemenné). Podľa Newtona celkové množstvo pohybu (skalárna veličina mv) pri voľnom páde narastá.⁵

a. analytická sila jazyka newtonovskej fyziky

Ilustráciou analytickej sily jazyka newtonovskej fyziky je **odvodenie Keplerových zákonov zo zákona všeobecnej gravitácie**. Pre Keplera bolo tvrdenie o eliptickom tvare dráh planét empirickým zákonom, ktorý objavil analýzou údajov o pohybe Marsu. V Newtonovej mechanike možno tento zákon odvodiť z gravitačného zákona. Historicky to bolo samozrejme naopak – Newton použil Keplerove zákony ako východisko pri odvodení gravitačného zákona. Ale smer, v ktorom od gravitačného zákona prechádzame ku Keplerovým zákonom, je nepodstatný. Čo je dôležité je existencia prepojenia týchto dvoch tvrdení, ktorá ilustruje analytickú silu jazyka newtonovskej fyziky.

⁵ V Newtonovej mechanike sa zachováva hybnosť namiesto karteziánskeho množstva pohybu. Hybnosť je vektorová veličina, kým množstvo pohybu bola skalárna. Je tu však ešte jeden rozdiel. Karteziánske množstvo pohybu je substanciou, v prírode je podľa Descarta práve toľko pohybu, koľko doňho Boh pri stvorení vložil. Hybnosť naproti tomu nie je substancia, ale stavová veličina, ktorá súvisí so symetriami systému. Jej konštantné množstvo nie je dané tým, že by niekto do Vesmíru vložil na začiatku určité množstvo hybnosti, a potom už ani nepridal, ani neubral, ale tým, že v dôsledku zákona akcie a reakcie sa vždy súčasne generujú rovnaké množstvá hybnosti v opačných smeroch, takže celková hybnosť sa nemení. Pri páde telesa na Zem sa zrýchľuje aj Zem (smerom k telesu), a tak celková hybnosť sústavy, obsahujúcej teleso a Zem, ostáva nemennou.

b. expresívna sila jazyka newtonovskej fyziky

V súvislosti s karteziánskou fyzikou sme povedali, že jej jazyk neumožňuje opísať trenie. Pre newtonovskú fyziku **opis trenia** nepredstavuje problém. Newton interakcie telies opisuje pomocou zákona sily (ktorý je diferenciálnou rovnicou) a nie pomocou zákona zachovania (ktorý je algebraickou rovnicou), ako to robil Descartes. Ak na systém pôsobí trenie, znamená to iba, že do pohybovej rovnice doplníme ďalší člen. To jasne ukazuje prevahu expresívnej sily jazyka newtonovskej fyziky.

c. explanatorická sila jazyka newtonovskej fyziky

Ilustráciou explanatorickej sily jazyka newtonovskej fyziky je **vysvetlenie prílivov a odlivov**. Newtonovská mechanika vysvetľuje príliv a odliv ako dôsledok gravitačného pôsobenia Mesiaca na vodu v moriach a oceánoch. To predstavuje veľký pokrok v porovnaní s Galileom, ktorý príčinu prílivu a odlivu hľadal v skladaní zemskej rotácie s pohybom Zeme okolo Slnka. Galileovo vysvetlenie je o to absurdnejšie, že pohyb po kružnici bol podľa neho zotrvačným pohybom, teda pohybom, ktorého existenciu nemožno zistiť žiadnym fyzikálnym pokusom. A zrazu zložením dvoch zotrvačných pohybov majú vzniknúť príliv a odliv.

d. integratívna sila jazyka newtonovskej fyziky

Prejavom integratívnej sily jazyka newtonovskej fyziky je **zjednotenie pozemskej a nebeskej mechaniky**. Predchodcu tohto zjednotenia možno vidieť v Galileovi, ktorý vo svojom ďalekohľade zahliadol na povrchu Mesiaca pohoria a dospel k záveru, že Mesiac je tvorený rovnakou látkou ako Zem. Descartes pokročil v tomto smere ďalej, keď tiaž na povrchu Zeme a kruhový pohyb Mesiaca vysvetľoval ako pôsobenie víru jemnej látky. Takto rozšíril jednotu medzi nebom a Zemou na rovinu príčin, ktoré spôsobujú nebeské aj pozemské javy. Avšak u Galilea aj u Descarta bolo zjednotenie neba a Zeme *syntetické*, bol to geniálny intuitívny vhl'ad. Ani jeden nedisponoval formálnym jazykom, ktorý by umožnil vytušenú jednotu analyticky vyjadriť. To urobil až Newton.

e. analytické medze jazyka newtonovskej fyziky

Newtonovská fyzika vie zodpovedať mnoho otázok ohľadom dynamiky slnečnej sústavy. Zďaleka však nie je teóriou úplnou. Ako prvý si to uvedomil Immanuel Kant, ktorý sformuloval rad antinómií odhaľujúcich hranice newtonovského opisu sveta. Kant považoval antinómie za vlastnosti rozumu. Nevzťahoval ich ku konkrétnej fyzikálnej teórii, ale videl v nich prejav

medzí, ktorými je obmedzená naša schopnosť vôbec nejakej 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, pre ktorý už antinómia nefunguje. Napriek tomu však podľa nás Kantove antinómie nestrácajú svoj význam. Treba ich ale relativizovať vzhľadom k jazyku, v ktorom je sformovaná 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. A to nie jazyka ako takého, ale jazyka newtonovskej mechaniky. Antinómiu konečnosti verzus nekonečnosti priestoru navrhujeme interpretovať ako poukaz na analytické medze jazyka newtonovskej fyziky.⁶

f. expresívne medze jazyka newtonovskej fyziky

Expresívne medze jazyka newtonovskej fyziky možno jasne vidieť na otázke *usporiadania slnečnej sústavy*. Stavba slnečnej sústavy vykazuje vysoký stupeň pravidelnosti: planéty obiehajú okolo Slnka v rovnakom smere a ich dráhy ležia zhruba v jednej rovine. Descartes vysvetľoval tento poriadok existenciou víru jemnej látky. Keď Newton ukázal nemožnosť existencie víru, pravidelnosť usporiadania planetárnej sústavy ostala nepochopiteľná. Newton ju interpretoval ako prejav Božieho zámeru. Použil tak teologický argument tam, kde fyzikálne argumenty nestačili. Podľa nášho názoru v tomto vysvetlení možno vidieť prejav expresívnych medzí jazyka newtonovského systému.

O niečo menej spektakulárny prejav expresívnych medzí jazyka newtonovskej mechaniky možno vidieť v príkladoch, kde Newton dospel k výsled-

⁶ Keď antinómiu konečnosti či nekonečnosti priestoru prehlasujeme za prejav expresívnych medzí jazyka newtonovskej fyziky, ktoré relativistická fyzika prekonáva, tým netvrdíme, že relativistická fyzika dokáže otázku konečnosti či nekonečnosti priestoru definitívne zodpovedať. Tvrdíme len, že pre ňu to už prestala byť špekulatívna otázka. Pri tejto interpretácii, keď ako predmet Kantových antinómii nevidíme ľudský rozum, ale jazyk konkrétnej fyzikálnej reprezentácie, možno Machovu kritiku pojmov absolútneho priestoru a času považovať za prehĺbenie a radikalizáciu Kantovej pozície. Mach odhalil externý charakter priestoru v newtonovskej fyzike. Tým presmeroval osten Kantovej kritiky z medzí čistého rozumu na medze konkrétnej fyzikálnej teórie. Našu interpretáciu možno potom chápať ako ďalšie rozvinutie Machovej kritiky, keď tvrdíme, že takéto problémy nie sú špecifikom Newtonovho systému, ale systematickou črtou jazyka ľubovoľnej fyzikálnej teórie. Teda je to aspekt úplne univerzálny, presne ako hovoril Kant, ale viaže sa nie na rozum, ale na jazyk konkrétnej teórie, ako to videl Mach.

kom odporujúcim experimentálnym dátam. Na mysli máme výpočet rýchlosti zvuku (Prop. L, Prob. XII z druhej knihy *Principií*), kde dostal 968 stôp za sekundu, t. j. 295 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“ ([14], 497). Podobne problematický je Newtonov výpočet času, za ktorý vytečie tekutina cez diery v dne nádoby (Prop. XXXVI, Prob. VIII. druhej knihy, druhého vydania *Principií*), kde dostal dvojnásobnú hodnotu nameranej veličiny. K tomuto problému zas Westfall poznamenáva, že tu „jeho dynamika úplne zlyhala“ ([14], 501). V týchto príkladoch okrem čisto mechanického aspektu, ktorý Newton uchoopil správne, vystupuje aj dodatočný aspekt (termodynamický resp. hydrodynamický), ktorý Newton neberie do úvahy, a ktorý je zodpovedný za odchýlky od správneho výsledku. Plné porozumenie týchto dodatočných aspektov bolo však možné až po prechode od newtonovskej fyziky k teórii kontinuí a fluíd. Preto podľa nás uvedené neúspechy nepredstavujú ani tak „neslýchaný podvod“ či „úplné zlyhanie“ Newtonovej dynamiky ako skôr narazenie na expresívne medze jej jazyka. Na uvedených odvodeniach nie je pozoruhodné, že zlyhali, veď v jazyku newtonovskej fyziky sa rýchlosť zvuku či doba vytekania tekutín nedá vypočítať.⁷ Pozoruhodné je skôr to, že napriek nevhodnosti jazyka newtonovskej fyziky na opis tepelných či hydrodynamických javov, Newton dostal kvalitatívne správny výsledok. To ukazuje neuveriteľnú prenikavosť jeho intelektu.

2. 4 Teória kontinuí a fluíd

V Newtonovom univerze je pôsobenie sprostredkované silami pôsobiacimi na diaľku, pričom pohybové rovnice majú podobu sústavy obyčajných diferenciálnych rovníc. 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

⁷ Termín „newtonovská fyzika“ tu chápeme o niečo užšie, než je to bežne zvykom vo fyzikálnej komunite. Z nášho pohľadu je dôležité, že Newton nepoužíval parciálne diferenciálne rovnice. Súčasní fyzici považujú ich zavedenie za „technický detail“ a bagatelizujú konceptuálne zmeny, ktoré s tým súvisia. Tu však možno citovať slová samotného Newtona z listu Halleyovi: „*Matematici objavujúci a určujúci všetko, sa majú uspokojiť s tým, že sú iba suchí počtári a slabí pracovníci a ktosi iný, ktorý nič neurobil, ale ktorý si robí nárok na všetko, a všetko uchvacuje, bude zberať všetky objavy pre seba.*“ ([13], 95) Newton tu mal na mysli Hookea, ktorý si robil nárok na objav gravitačného zákona. Jeho slová však majú hlbší zmysel, a ukazujú, že Newton nepovažoval matematickú stránku fyziky v žiadnom zmysle za vedľajšiu

Newtonov pohybový zákon, a preto si myslel, že postupuje v duchu newtonovskej ortodoxie. O niečo neskôr, roku 1736 Euler sformuloval program výskumov, ktorý už systematicky uvažoval sily pôsobiace vo vnútri látky, a ktorý viedol ku zrodu novej reprezentácie ([2], 89). Prvým náznakom uvedomenia si skutočnosti, že tento program opustil medze newtonovskej fyziky, je nadpis Eulerovej práce *Objav nového princípu mechaniky* z roku 1750, kde Euler formuluje princíp, podľa ktorého diferenciálne 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 fluíd, ktorá chápe teleso ako zložené z častí – elementov kontinua – ktoré sú *vyčlenené hypoteticky*. Tieto elementy majú rovnaké vlastnosti ako kontinuum ako celok (hustotu, pružnosť, tvrdosť) avšak sú natoľko 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),⁸ alebo tak, že médiom sa rozlieva určité fluídum (elektrické fluídum, magnetické fluídum, kalorikum, flogistón). Tieto teórie pripomínajú karteziánsku fyziku, a viacerí historici vidia v Eulerovi pokračovateľa karteziánskeho programu, alebo dokonca skrytého karteziánca. Podľa nášho názoru je to omyl. Euler opisuje pôsobenie síl diferenciálnymi rovnicami, presne ako Newton. Nerobí teda krok späť, k Descartovi, ale práve naopak, Euler smeruje vpred k novej reprezentácii.

a. analytická sila jazyka teórie kontinuí a fluíd

Jazyk teórie kontinuí a fluíd umožňuje odvodiť diferenciálne rovnice pre celý rad fyzikálnych procesov, od kmitania strún a tečenia vody až po šírenie tepla či odpor elektrického prúdu. Snáď najspektakulárnejším úspechom je Fourierovo *odvodenie rovnice vedenia tepla*, publikované roku 1822 v knihe

⁸ „Vnútromédiové“ sily pôsobiace medzi elementmi kontinua predstavujú matematický opis karteziánskej idey pôsobenia ako dotyku. Sú to lokálne sily, ich pôsobenie je dané priamym kontaktom jedného elementu média na susedný element. Tým sa dost' zásadne líšia od newtonovských síl. Ich zavedenie však nemožno považovať za návrat ku karteziánskej reprezentácii, lebo v teórii kontinuí a fluíd sily vystupujú v diferenciálnej rovnici, analogickej Newtonovej pohybovej rovnici. To znamená, že celková schéma opisu pôsobenia už nie je karteziánska (zakladajúca sa na zákonoch zachovania) ale nadväzuje na Newtonovu ideu diferenciálnej rovnice

Théorie analytique de la chaleur a Carnotovo odvodenie vzťahu pre účinnosť tepelných strojov publikované roku 1824 v knihe *Réflexioin sur la puissance motrice de feu*. Fourier odvodil svoju rovnicu a Carnot dokázal svoj vzťah za predpokladu existencie tepelného fluída, ktoré nazývali kalorikom. Zhruba 20 rokov po vydaní Carnotovej knihy Joule experimentálne ukázal, že kalorikum neexistuje. Avšak aj napriek tomu, že kalorikum odišlo, Fourierova rovnica a Carnotov vzťah ostali a podnes platia. Tento príklad ilustruje, čo rozumieme reprezentáciou vo fyzike. Pri reprezentácii nejde o to, či objekt opísaný určitou rovnicou existuje alebo nie. Otázka ontológie je záležitosťou objektív. Nezávisle od toho, či kalorikum existuje alebo nie, Fourier odvodil rovnice, opisujúce tepelné fenomény s vysokou presnosťou, čo ilustruje analytickú silu jazyka teórie kontinuí a fluíd.

b. expresívna sila jazyka teórie kontinuí a fluíd

Jedným z mála omylov v Newtonových *Princípiách* je odvodenie rýchlosti zvuku. Newton vypočítal rýchlosť zvuku pomocou dômyselného triku, keď kmitanie 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 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 zohrieva a toto zohriatie spôsobuje nárast rýchlosti zvukových vln. Teoretické zdôvodnenie Laplaceovho odvodenia podal 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 fluíd. Keď si vzduch predstavíme ako špongiu nasiaknutú kalorikom, tak izotermické stláčanie vzduchu zodpovedá 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 máme do činenia so striedaním kompresie a rozťahovania 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 iného ako nárast teploty. Poisson si tak uvedomil, že pri zvukových vlnách prebiehajú kmity tak rýchlo, že kalorikum je stlačené spolu so vzduchom, a podmienka izotermickosti je porušená. Tu vidíme, ako predstava tepla ako fluída 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 mnohých ilustrácií expresívnej sily jazyka teórie kontínú a fluíd. Pre technické aplikácie je dôležitejšia jeho schopnosť opísať proces deformácie pri zaťažení nosníka alebo pri zrážke dvoch telies. Kým newtonovská fyzika opisuje proces deformácie pri zrážke vcelku, pomocou celkovej sily pružnosti, teória kontínú a fluíd dokáže opísať proces šírenia sa vlny deformácie po telese, a umožňuje vytvoriť si predstavu o relatívnom namáhaní jednotlivých bodov telesa.

c. explanatorická sila jazyka teórie kontínú a fluíd

Expresívne medze newtonovskej fyziky sme opísali ako neschopnosť vyložiť pravidelnosť usporiadania slnečnej sústavy. Pre teóriu kontínú a fluíd nie je problém túto pravidelnosť vysvetliť. Stačí predpokladať, že slnečná sústava vznikla kondenzáciou prachového mračna (ako predpokladal Kant roku 1755 v spise *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels*) alebo sa vytvorila oddelením sa hmoty od Slnka (ako predpokladal roku 1796 Laplace v spise *Exposition du système du monde*). Možno namietnuť, že predpokladať pri **výklade usporiadania slnečnej sústavy** Boží zásah alebo rotujúcu plynovú guľu je rovnako dobré, veď ani o plynovej guli nevieme, odkiaľ sa nabrala. To je síce pravda, každé vysvetlenie, ktoré sa nechce pohybovať v kruhu, musí vychádzať z predpokladov, ktoré sa už nevysvetľujú. Avšak rozdiel medzi Newtonovým vysvetlením usporiadania slnečnej sústavy Božím zásahom a vysvetleniami Kanta či Laplacea je v tom, že predpoklady, na ktorých svoje vysvetlenia zakladá Kant a Laplace sú sformulované v jazyku fyziky, a tak ich vysvetlenie prebieha v rámci tohto jazyka. Newtonovo vysvetlenie naproti tomu je vysvetlenie faktu vyjadreného v jazyku fyziky príčinou, ktorá nie je v jazyku fyziky vyjadriteľná. Preto v prechode od Newtona ku Kantovi a Laplaceovi vidíme nárast explanatorickej sily jazyka fyziky.

d. integratívna sila jazyka teórie kontínú a fluíd

Integratívna sila jazyka teórie kontínú a fluíd našla svoje vyjadrenie v mechanistickom obraze⁹ sveta. **Mechanistický obraz sveta** sa často pripisuje Newtonovi, avšak newtonovská fyzika nedisponovala bohatstvom teoretických nástrojov, ktoré by umožnili vytvoriť mechanistický obraz sveta.

⁹ V tomto odstavci sme upustili od striktného používania termínu obraz pre objektácie, lebo slovné spojenie „mechanistický obraz sveta“ je zaužívaný. Z pohľadu našej terminológie to nie je obraz, ale reprezentácia, prislúchajúca teórii kontínú a fluíd

Okrem toho sám Newton, ako dosvedčujú jeho práce z oblasti alchýmie, v mechanistický obraz sveta neveril. Preto pripisovanie tohto obrazu Newtonovi je omyl. Mechanistický obraz sveta nie je obrazom newtonovskej fyziky, (tá oplývala celým radom nemechanických afinít medzi prvkami) ale je to prejav integratívnej sily jazyka teórie kontínú a fluíd. Je to obraz, v ktorom nachádzajú všetky javy, ako mechanické, tak aj tepelné, elektrické, akustické či optické jednotný opis.

e. analytické medze jazyka teórie kontínú a fluíd

Podobne ako Kantova antinómia konečnosti či nekonečnosti priestoru predstavuje analytické medze newtonovskej fyziky, antinómia konečnej verus nekonečnej deliteľnosti látky predstavuje analytické medze jazyka teórie kontínú a fluíd. Kantova antinómia poukazuje na to, že **pojmem objemového elementu je v teórii kontínú a fluíd externý**. Delenie matérie sa tu postuluje (podobne ako sa v newtonovskej reprezentácii postuluje nekonečnosť priestoru), ale nie je experimentálne fixované. Keď z kontínua 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 podobne ako v predošlom prípade, ani túto antinómiu nepovažujeme za vlastnosť rozumu ako takého. Kvantová mechanika totiž odstránila Kantovu antinómiu konečnej verus nekonečnej deliteľnosti hmoty, keď ukázala, že v dôsledku princípu neurčitosti je zmeňšovanie delenia spojené s nárastom energie. Zo *špekulatívnej* otázky deliteľnosti hmoty sa tak stáva *empirická* otázka dostupnosti stále vyšších a vyšších energií, ktorá nakoniec vyúsťuje do *technickej* otázky stavby stále väčších urýchľovačov. To ukazuje, že Kantova antinómia sa netýka rozumu, ale vytyčuje analytické medze jazyka.

f. expresívne medze jazyka teórie kontínú a fluíd

Teória kontínú a fluíd 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. Roku 1843 Joule určil mechanický ekvivalent tepla, ukázal teda, že mechanická práca sa môže premieňať v teplo. Vznik tepla z práce však odporuje predstave, že teplo je fluídum. Joulove pokusy tak ukazujú expresívne medze jazyka teórie kontínú a fluíd – **proces generovania tepla pomocou mechanickej práce** sa v tejto teórii nedá opísať.

Katedra algebry, geometrie a didaktiky matematiky MFF UK, Bratislava
Kvasz@fmph.uniba.sk

LITERATÚRA

- [1] DESCARTES, R (1644): **Princípy filozofie** Pravda, Bratislava 1986.
- [2] EULER, L. (1736): **Mechanica sive motus scientia analytice exposita**. Ruský preklad **Mechanika**, GRITL, Moskva 1938.
- [3] FREGE, G. (1891): Funktion und Begriff. Jena. Reprint in **Funktion, Begriff, Bedeutung**. Göttingen, Vandenhoeck & Ruprecht, 1989, s 17-39.
- [4] GALILEI, G (1638) **Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno a due nuove scienze; attenenti alla mecanica i movimenti locali**. Citované podľa maďarského prekladu G. Dávida **Matematikai érvelések és bizonyítások**. Európa könyvkiadó, Budapest 1986.
- [5] KVASZ, L. (2000a): Changes of Language in the Development of Mathematics. In **Philosophia Mathematica**, Vol. 8, s 47-83.
- [6] KVASZ, L. (2000b): Galileovská fyzika vo svetle Husserlovej fenomenológie In **Filosofický časopis** 2000/3, s 373-399.
- [7] KVASZ, L. (2001a): Descartovská fyzika vo svetle Husserlovej fenomenológie. In **Filosofický časopis** 2001/2, s 213-240.
- [8] KVASZ, L. (2001b): Leibniz's criticism of the Cartesian physics In: **Nihil sine ratione – VII. Internationaler Leibniz-Kongress**. Berlin 2001, ed. H. Poser, s. 669 – 676.
- [9] LANDAU, L. D. a LIFŠIC, E. M. (1957): **Mechanika**. Moskva, Nauka 1973.
- [10] NEWTON, I. (1670): **Über die Gravitation...** Frankfurt, Vittorio Klostermann, 1988.
- [11] NEWTON, I. (1687). **Philosophiae Naturalis Principia Mathematica**. Nemecký preklad: **Die mathematischen Prinzipien der Physik**. De Gruyter, Berlin 1999.
- [12] SZABÓ, I (1977). **Geschichte der mechanischen Prinzipien und ihrer Anwendungen**. Birkhäuser, Basel 1979
- [13] VAVILOV, S. I (1945) **Izák Newton**. Nakladateľstvo Slovenskej akadémie vied a umení, Bratislava 1952.
- [14] WESTFALL, R. S. (1971) **Force in Newton's Physics**. Macdonald, London.
- [15] ZAJAC, R – ŠEBESTA, J (1990): **Historické pramene súčasnej fyziky, od Aristotela po Boltzmannu**. Alfa, Bratislava

Pod'akovanie

Ďakujem Nadácii Alexandra von Humboldta za udelenie štipendijného pobytu na Technickej univerzite v Berlíne, v rámci ktorého vznikla táto stať. Ďakujem tiež Vladovi Balekovi, Pavlovi Bónovi a Martinovi Mojžišovi za celý rad pripomienok, ktoré prispeli ku spresneniu a zjasneniu textu. Tento príspevok vznikol na KH-FMFI-UK ako súčasť grantového projektu číslo 1/0223/03.