

EPISTEMOLOGICKÉ OTÁZKY MODERNEJ FYZIKY

Ladislav KVASZ

EPISTEMOLOGICAL QUESTIONS OF MODERN PHYSICS

The aim of the paper is to describe the main epistemological ruptures in the history of modern physics. Our approach is based on the reconstruction of the formal language of physical theories. We examine how particular aspects of the formal language, such as its analytical, expressive, or explanatory power, as well as its analytical and expressive boundaries, have changed in the course of the historical development of physics. In the closing part of the paper we discuss the results of our historical reconstruction from several viewpoints.

Predkladaná stať je pokračovaním štúdie [5], venovanej rekonštrukcii vývinu jazyka fyziky. Za hlavný prínos predošlej časti považujeme vyčlenenie „eulerovskej fyziky“ (ktorú sme nazvali *teória kontinuí a fluíd*) ako samostatného vývojového štádia, zásadne prekračujúceho rámec newtonovskej fyziky. Toto odlišenie umožnilo vyložiť Kantove antinómie konečnosti verzus nekonečnosti priestoru a antinómie konečnej verzus nekonečnej deliteľnosti hmoty ako objav analytických medzí jazyka newtonovskej, resp. eulerovskej fyziky. V tejto druhej časti štúdie chceme doviest' naše historické rekonštrukcie bližšie k súčasnosti analýzou ďalších troch typov fyzikálneho jazyka (*teórie atómov a energií; teória pola; kvantovej fyziky*). Tým získame dostatočne bohatý materiál, aby v ňom bolo možné vypozerovať určité všeobecné tendencie, ktorých diskusii je venovaná záverečná časť state. V nej sa sústreďíme na otázku ako striedanie diskrétného a kontinuálneho opisu, opis zmeny stavu a rôzne spôsoby, ako možno do jazyka zabudovať čas. Kvôli ľahšej orientácii sme sa rozhodli pokračovať v číslovaní paragrafov z predošlej štúdie.

2.5 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 konti-

num, ako si ho predstavovala teória kontínuí a fluíd, ale je to zmes celého radu rôznych látok. Roku 1755 Black objavil kysličník uhličitý (*fixný vzduch*), roku 1766 Cavendish objavil vodík (*horľavý vzduch*). Tieto objavy vyvrcholili roku 1789 Lavoisierovou oxidačnou teóriou horenia, ktorá nahradila teóriu flogistónu a viedli ku vzniku pojmu chemického prvku. Rozvoj kalorimetrie vedúci k Joulovým pokusom o mechanickom ekvivalente tepla a rozvoj teórie materiálov (optického skla, ocele) v priebehu prvej polovice 19. storočia priviedol fyziku za hranice možností teórie kontínuí a fluíd. Lavoisierova teória odstránila flogistón, Joulove pokusy zlikvidovali kalorikum a vznik teórie relativity priviedol zánik posledného fluida – éteru. Pokrok v teórii materiálov zasa zásadne 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.* So zánikom fluíd je spojený vznik novej reprezentácie, ktorá desubstancionalizovala predošlý opis, ale pritom sa snažila zachovať výsledky, ktoré boli pomocou neho dosiahnuté. Fyzika tak prechádza o úroveň hlbšie pri opise štruktúry hmoty. Teória kontínuí a fluíd znamenala *substancionalizáciu makroskopických fenoménov* (ohňa, tepla, elektriny) keď do matematického jazyka preložila zmyslovo prístupné javy. S nárastom presnosti experimentálnych metód fyzika urobila krok za makroskopickú úroveň. Z makroskopických vlastností, ktoré teória kontínuí a fluíd substancionalizovala, sa stávajú štatistické priemery vlastností mikroskopickej úrovne opisu.

a. Analytická sila jazyka teórie atómov a energií

Podobne ako v predošlých jazykoch, aj v prípade jazyka teórie atómov a energií sa prvé náznaky toho, čo bude neskôr tvoriť novú reprezentáciu, objavujú ako technické triky navrhnuté pri riešení problémov, na ktoré štandardné metódy starej reprezentácie nestačia. Henri Navier, ktorý prispel k rozvoju teórie kontínuí a fluíd definíciou modulu pružnosti a experimentálnym určením jeho hodnoty pre železo, predložil roku 1822 spis *Mémoire sur les lois du mouvements des fluides*, v ktorom odvodil *pohybovú rovnicu nestlačiteľnej viskózne kvapaliny*. Aj keď v samotnej rovnici vystupujú iba veličiny charakterizujúce kvapalinu ako kontinuum, Navier odvodil svoju rovnicu na základe predpokladu, že kvapalina sa skladá z molekúl, pričom sily interakcie medzi molekulami sú úmerné ich vzájomnej rýchlosti. Predstava molekúl sa objavuje v teórii kontínuí a fluíd ako trik, umožňujúci odvodiť pohy-

bovú rovnicu kvapaliny (podobne, ako sa u Plancka objavia kvantá alebo ako sa u Taylora objavili vnútromateriálové sily). Navierova predstava však nezapadá do „ortodoxnej“ teórie kontínuí, lebo molekuly sú čímsi zásadne iným, ako boli elementy, na ktoré sa kontinuum delilo v rámci tejto teórie. Vlastnosti kontínua sa neprenášajú na molekuly, ale práve naopak, z vlastností molekúl sa odvodzujú vlastnosti kontínua. 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 elementa kontínua, ale že atómy sa chápu ako reálne častice hmoty.

b. Expresívna sila jazyka teórie atómov a energií

Asi najlepšou ilustráciou expresívnej sily jazyka teórie atómov a energií je chémia. Začiatkom 19. storočia mala chémia za sebou dlhé obdobie empirického výskumu, ale až teória atómov a energií umožnila *postaviť chémiu na pevné základy*. Aj Newton sa intenzívne venoval alchymistickým výskumom. Väčšinou sa tento aspekt jeho aktivít ignoruje alebo sa v ňom vidí iracionálna črta jeho povahy. Podľa nášho názoru sú Newtonove alchymistické výskumy plne racionálne, treba ich len interpretovať na pozadí súdobej pojatia matérie. Hmota, tak ako jej rozumeli Descartes, Newton či Euler, bola čímsi takmer matematickým. Mala síce rôzne vlastnosti ako pružnosť, pevnosť, hustotu, farbu a pod., ale tie sa dali vonkajším pôsobením zmeniť, ako to ilustroval Descartes na príklade vosku. Keď vosk zohrejeme, stratí svoju pevnosť, farbu a krehkosť a získa nové vlastnosti ako priehľadnosť a tekutosť. Atribúty látok nie sú teda pevne dané, neurčujú ich podstatu, ale sú to len akcidence, ktoré sa prípadne môžu aj zmeniť. Na pozadí takéhoto chápania hmoty je viera v možnosť transmutácie racionálna a Newtonovi nemožno vyčítať, že sa o ňu pokúšal. Neúspech pokusov o transmutáciu bol z hľadiska karteziánskej a newtonovskej fyziky, ale aj z pohľadu teórie kontínuí a fluíd nepochopiteľný. Až keď sa v rámci teórie atómov a energií zrodil pojem chemického prvku, stali sa tieto neúspechy pochopiteľnými.

c. Explanatorická sila jazyka teórie atómov a energií

Jav nevratnosti sa zrodil ešte v rámci teórie kontínuí a fluíd v súvislosti s Fourierovou rovnicou vedenia tepla. Pokiaľ fyzici verili v existenciu tepelného fluida, nevratnosť tepelných procesov sa zdala byť jed-

nou so zvláštností tejto nevážiteľnej substancie. Akonáhle však roku 1843 James Joule ukázal, že nič takého ako kalorikum neexistuje a teplo je energiou neusporiadaného pohybu častíc hmoty, dostáva sa nevratnosť tepelných procesov do rozporu s vratnosťou fyzikálnych zákonov opisujúcich pohyb na mikroskopickej úrovni. Túto námietku sformuloval roku 1876 rakúsky fyzik Joseph Loschmidt. Matematické vyjadrenie nevratnosti dal Rudolf Clausius roku 1865 pomocou pojmu entropie. **Konceptuálne objasnenie nevratnosti** podal Ludwig Boltzmann roku 1877.

d. Integratívna sila jazyka teórie atómov a energií

Integratívna sila jazyka teórie atómov a energií má svoje vyjadrenie v **zákone zachovania energie**. Javy, ktoré predošlá reprezentácia opisovala ako rozdielne a ich rozdielnosť fixovala postulovaním rôznych flúid, sa dostali do jednotného rámca. Jednota mechanistického obrazu sveta bola jednotou formálnou, založenou na tom, že rôzne oblasti fyziky boli opísané rovnakým spôsobom, postulovaním určitého fluida a opisom jeho pohybu pomocou diferenciálnej rovnice. No každý región si uchoval svoju špecifickosť vďaka zvláštnemu fluidu. Tak termodynamika opisovala pohyb kalorika, elektrodynamika pohybu elektrického fluida a teória horenia pohybu flogistónu. Teória atómov a energií rôzne fluidá ruší alebo ich atomizuje, a tým dostáva všetky javy do jednotného rámca. Mechanické, akustické, tepelné, optické, elektrické a chemické javy – to sú všetko procesy premeny energie. Integratívna sila jazyka teórie atómov a energií vytvára možnosť technologickej revolúcie 19. storočia. Kým je pohľad na technológiu založený na jazyku teórie kontínui a flúid, technológia sa rozpadá na parciálne techniky zodpovedajúce jednotlivým fluidám. Až pojem energie predstavuje rámec umožňujúci spojiť parciálne techniky do jednotnej technológie.

e. Analytické medze jazyka teórie atómov a energií

Roku 1820 objavil André Marie Ampère vzájomné silové pôsobenie dvoch elektrických prúdov. Verný duchu teórie kontínui a flúid našiel kvantitatívny zákon opisujúci, ako na seba pôsobia dva *elementy* prúdu. Keď sa roku 1897 ukázalo, že elektrický prúd predstavuje kolektívny pohyb nabitých častíc, z Ampérovho zákona vyplývalo, že elektrický prúd silovo pôsobí na pohybujúce sa náboje. Ak sa obmedzíme na jediný náboj, z Ampérovho zákona môžeme vypočítať, aká sila naň pôsobí zo strany elektrického prúdu. Tu je však skrytý problém. Keď pre-

jdeme do sústavy spojenej 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 toho, v ktorej sústave situáciu opisujeme. Ale sila je merateľná veličina, ktorá existuje nezávisle od voľby sústavy súradníc. To ukazuje, že v teórii atómov a energií *má zámena súradníc externý charakter* a nie je napojená na experimentálne procedúry. Uvedený paradox preto možno pridať k zoznamu Kantových antinómií.

f. Expresívne medze jazyka teórie atómov a energií

Ak látku považujeme za zloženú z atómov a atómy si predstavíme ako nepatrné guľičky, tak niet dôvodu, prečo by tieto guľičky nemohli rôzne 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 sa *všetka energia pohltí vnútornými stupňami voľnosti atómov*, čo protirečí skúsenosti. Možno namietnuť, že nekonečný počet stupňov voľnosti má každé makroskopické teleso, preto tento paradox sa musel objaviť už v rámci teórie kontinuí a fluíd. Nie je to však pravda, lebo teória kontinuí a fluíd 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, odhalila súvis medzi stupňami voľnosti pohybu a rozdelením tepla.

2.6 Teória poľa

Teória poľa vyrástla z prác Michaela Faradaya, ktorý zaviedol na vizualizáciu silového pôsobenia elektrických nábojov, prúdov a magnetov, pojem siločiar. Tento pojem použil pri opise elektromagnetickej indukcie, ktorú objavil roku 1831. Väčšina fyzikov Faradayove siločiarly nebrala príliš vážne, videla v nich len heuristickú pomôcku, ktorá síce môže pomôcť objaviť nové fakty, ale z hľadiska fyzikálneho obsahu týchto faktov je irelevantná. To, že siločiarly nie sú len pomôckou, umožňujúcou predstaviť si procesy prebiehajúce pri experimentoch, ale majú aj fyzikálny obsah, pochopil James Clark Maxwell, ktorý v 60-tych rokoch 19. storočia prepísal Faradayove kvalitatívne úvahy do ma-

tematickej podoby, pričom od siločiar postupne prešiel k pojmu poľa. Maxwell teda Faradayove siločiarly nechápal ako nástroj na **reformuláciu** experimentálnych dát, ale prisúdil im objektívnu skutočnosť, premenil ich na pole. Maxwellovu **objektáciu** rozvinul Hendrik Lorentz, ktorý do Maxwellovej teórie zabudoval opis vzájomného pôsobenia poľa a látky. Lorentz sa ešte usiloval teóriu poľa zladit' s reprezentáciou teórie atómov a energií. S týmto cieľom zaviedol zákony kontrakcie rozmerov atómov pri pohybe, dnes nazývané Lorentzove transformácie. Postupne sa stále jasnejšie ukazovalo, že takéto prepojenie nie je možné, až roku 1905 nezávisle od seba Albert Einstein a Henri Poincaré dospeli k záveru, že teória poľa predstavuje zásadne novú reprezentáciu, vyžadujúcu nové uchopenie kategórií času a priestoru. Rýchlosť svetla, ktorá bola pôvodne veličinou charakterizujúcou šírenie svetelných lúčov a elektromagnetických vln (t. j. vzťahovala sa na pomerne obmedzený okruh javov), zrazu začína vystupovať v definícii hybnosti či v rovniciach opisujúcich transformácie súradníc pri zámene súradnej sústavy. Teória poľa už nie je teóriou opisujúcou jasne vymedzenú triedu objektov a javov, ako ju chápal Maxwell. Stáva sa nástrojom na opis všetkých javov. Maxwellova objektácia poľa tak prerastá na novú, relativistickú **reprezentáciu** sveta fyziky.

a. Analytická sila jazyka teórie poľa

Analytickú silu jazyka teórie poľa možno ilustrovat' na Maxwellovom objave posuvného prúdu. Potom, ako zapísal v matematickom tvare všetky dovtedy známe fakty o elektrickom a magnetickom poli, 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 preto, že jeho registrácia si vyžaduje veľmi špeciálne podmienky, na ktoré pri skusmom hľadaní nik neprišiel. Keď takto doplnil rovnice o dodatočný člen, zistil, že majú riešenie v tvare elektromagnetických vln. Maxwell uverejnil svoj objav roku 1873 a roku 1886 Henrich Hertz existenciu elektromagnetických vln experimentálne dokázal. Krátko potom nastúpil technický rozvoj vedúci od telegrafu a rádia cez televízor a radar až po telekomunikačné satelity a mobilné telefóny. Celý tento vývoj sa však začal na papieri, keď Maxwella idea symetrie rovníc priviedla k postulovaniu nového člena, vďaka ktorému rovnice získali riešenie v tvare elektro-

magnetických vln. Maxwellov objav možno považovať za jeden z najkrajších príkladov ilustrujúcich analytickú silu jazyka fyziky. Prepis experimentálnych údajov do matematického jazyka odhalil medzeru v experimentálnych výsledkoch a po jej vyplnení umožnil predpovedať existenciu elektromagnetických vln. Keď Maxwell vypočítal rýchlosť šírenia týchto vln, dostal veličinu zhodnú s rýchlosťou svetla, známou z optiky. To ho priviedlo na myšlienku vyložiť svetlo ako elektromagnetické vlnenie. Maxwellovi sa tak podarilo *odvodiť zákony optiky zo zákonov elektrodynamiky*.

b. Expresívna sila jazyka teórie poľa

Ako ilustráciu expresívnej sily jazyka teórie poľa možno vziať Einsteinovu *teóriu rotácie perihélia Merkúra*. Astronómovia poznali fakt rotácie perihélia Merkúra, ktorá predstavuje 43 uhlových sekúnd za sto rokov, už dávnejšie. Newtonovská teória nedokázala túto hodnotu vysvetliť. Tento rozdiel medzi experimentálnym údajom a teoreticky predpovedanou hodnotou pripomína Newtonovu „chybu“ pri výpočte rýchlosti zvuku. Podobne ako vtedy, aj teraz máme do činenia s expresívnymi medzami jazyka newtonovskej fyziky, a Einsteinovo odvodenie správnej hodnoty pre rýchlosť otáčania perihélia Merkúra tak dokumentuje nárast expresívnej sily jazyka fyziky.

c. Explanatorická sila jazyka teórie poľa

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, skrátiť vzdialenosti medzi kladnými nábojmi kovovej mriežky a predĺžia sa vzdialenosti medzi zápornými nábojmi tvoriacimi elektrický prúd, čo povedie ku vzniku neskompenzovaného náboja na vodiči. Teda v sústave spojenej s letiacim nábojom vodič prestáva byť elektricky neutrálny, preto náboj pocíti elektrostatickú silu. Táto sila vyvolá rovnaké efekty, aké v pôvodnej sústave predpovedal Ampérov zákon. Kontrakcia dĺžky je jedným zo základných aspektov jazyka teórie poľa. Preto uvedené vysvetlenie je ilustráciou explanatorickej sily tohto jazyka.

d. Integratívna sila jazyka teórie poľa

Prejavom integratívnej sily jazyka teórie poľa je odhalenie *súvislosti medzi priestorom a časom*. Z pohľadu klasickej fyziky sú čas a priestor zásadne rozdielne a klasická fyzika tu iba kopíruje rozdiel v spôsobe, ako sú nám čas a priestor odkryté v skúsenosti. Kým priestor zakúšame pri pohybe a je odkrytý nášmu pohľadu, čas je existenciál, ktorý sa týka vedomia a pamäte. Teória poľa však napriek odlišnosti spôsobu danosti času a priestoru odhalila ich hlbokú zviazanosť. Čas a priestor spolu tvoria štvorrozmerné kontinuum, ktoré sa nazýva časopriestor. Takto jazyk teórie poľa vnáša do fyzikálneho obrazu sveta hlbšiu jednotu.

e. Analytické hranice jazyka teórie poľa

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 viacerých 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 preto predstavíme našu časticu obkolesenú malou sférou, v ktorej už niet iných nábojov, tak siločiaru poľa vytvoreného zvyšnými časticami musia pretínať túto sféru v každom jej bode smerom zvonka dnu (aby v prípade, že by chcela opustiť v niektorom smere svoju polohu, sily vrátili častica naspäť). To ale podľa Maxwellových rovníc nie je možné.

Situáciu nemožno zachrániť ani tým, že by sme stabilnú polohu chceli vytvoriť ako dynamický stav. Asi každý pozná detskú hračku – vlčeka – ktorý, keď je v pokoji, nedokáže zotrvať na špičke, ale keď ho roztočíme, tak na špičke ľahko zotrvá. Preto by sme si mohli predstaviť, že aj v prípade atómu stabilná konfigurácia predstavuje určitý dynamický stav. Bohužiaľ, tu nás Maxwellove rovnice rýchle schladia, lebo na to, aby bol elektrón lokalizovaný, jeho pohyb musí prebiehať v uzavretom priestore. To ale znamená, že sa pohybuje po zakrivenej dráhe. No pri pohybe po zakrivenej dráhe musí elektrón podľa Maxwellových rovníc vyžarovať elektromagnetické žiarenie, v dôsledku čoho neustále stráca energiu. Elektrón by tak v krátkom čase padol na jadro. Látku teda musí držať pohromade niečo, čo sa vymyká jazyku teórie poľa. Preto tento jazyk je stabilita hmoty záhadou.

f. *Expresívne medze jazyka teórie poľa*

V priebehu 19. storočia experimentálny výskum tepelného žiarenia dosiahol značné úspechy. Fyzici namerali krivky, udávajúce intenzitu tepelného žiarenia v jednotlivých častiach spektra pre rôzne teploty. Wien sformuloval roku 1894 zákon, ktorý tieto krivky dobre aproximoval pri vysokých frekvenciách tepelného žiarenia, no pri malých frekvenciách viedol k divergencii (infračervená divergencia). 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. **Tepelné žiarenie** tak predstavuje jav charakterizujúci expresívne medze jazyka teórie poľa.

2.7 Kvantová mechanika

Prvá práca, v ktorej sa objavila hypotéza kvánt, pochádza od Maxa Plancka. Vyšla roku 1900 a bola venovaná žiareniu čierneho telesa. Ako sme uviedli pri analýze jazyka teórie atómov a energií, pokusy opísať žiarenie čierneho telesa viedli k divergentným formuliam. 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. Planck dlho považoval kvantovú hypotézu za „nečistý“ trik a dúfal, že sa mu podarí nájsť pre svoju formulu odvodenie, ktoré by nebolo v rozpore s princípmi klasickej fyziky. Roku 1905 Einstein použil Planckovu hypotézu pri vysvetlení fotoefektu a roku 1913 ju Bohr zabudoval do základov svojej teórie atómov. Kým Planck chápal hypotézu kvánt ako **reformuláciu** (veril, že sa mu podarí nájsť odvodenie zákona žiarenia aj bez tejto hypotézy), Bohr s Einsteinom prešli k **objektácii** kvánt. Predpokladali, že okrem atómov a elektrónov existuje nový druh objektov: kvantá žiarenia.

Prechod od objektácie kvánt na úroveň kvantovej **reprezentácie** nastal až okolo roku 1923, keď Louis de Broglie dospel k názoru, že kvantová hypotéza sa netýka iba žiarenia, ale podobne, ako možno spojiť vlnu žiarenia priradiť diskretné kvantá, možno aj diskretným časticiam priradiť vlny. Tieto vlny matérie ešte nik nepozoroval, čo je spôsobené tým, že ich vlnová dĺžka je nesmierne malá. Takto kvantá predstavujú byť zvláštnym druhom objektov, ako to bolo v rozmedzí rokov 1905 – 1923. Z kvantovej hypotézy sa stáva univerzálny princíp, kto-

rému podliehajú všetky druhy objektov, stáva sa z nej základ novej reprezentácie. Všetky systémy sa vyznačujú korpuskulárno-vlnovým dualizmom. Tepelné žiarenie bolo oblasťou, kde fyzici na túto univerzálnu vlastnosť po prvý raz narazili. Po de Broglieho práci nasledujú v rýchlym slede práce Heisenberga, Borna, Jordana, Schrödingera, Diraca, Pauliho, až nakoniec roku 1927 John von Neumann vytvára štandardnú matematickú formuláciu kvantovej mechaniky, založenú na pojme Hilbertovho priestoru.

a. Analytická sila jazyka kvantovej mechaniky

Analytickú silu jazyka kvantovej mechaniky možno ilustrovať na *odvodení Planckovho zákona žiarenia absolútne čierneho telesa*. Túto formulu, ktorá je v dobrej zhode s pozorovaním a používa sa v astronómii pri určovaní povrchových teplôt hviezd (aj keď to znie čudne, jasne žiariace hviezdy radí fyzika medzi absolútne čierne telesá, pozri napríklad ([1], 28)), nemožno odvodiť bez hypotézy kvánt. Divergencie vo Wienovom a v Rayleigh-Jeansovom zákone nie sú prejavom matematickej nešikovnosti ich autorov. V jazyku klasickej fyziky nemožno odvodiť formulu opisujúcu žiarenie čierneho telesa. Preto jej odvodenie ilustruje analytickú silu jazyka kvantovej mechaniky.

b. Expresívna sila jazyka kvantovej mechaniky

Asi najväčším úspechom kvantovej mechaniky bol opis elektrónového obalu atómov a s tým súvisiacich javov, ako sú *atómové spektrá a chemické reakcie*. Pre klasickejšiu fyziku bola existencia čiarového spektra, ktoré je charakteristické pre každý chemický prvok či zlúčeninu, záhadnou vecou. Jazyk kvantovej mechaniky poskytol aparát, ktorý pre atómy s malým počtom elektrónov umožnil ich spektrá teoreticky vypočítať, a pre zložitejšie systémy aspoň s dobrou presnosťou aproximovať. Podobne sa podarilo vypočítať väzobnú energiu najjednoduchších molekúl a pre zložitejšie molekuly vytvoriť teoretický rámec, v ktorom bolo možné chemické reakcie opísať. Teóriu atómových spektier a chemických reakcií možno tak považovať za ilustráciu expresívnej sily jazyka kvantovej mechaniky.

c. Explanatorická sila jazyka kvantovej mechaniky

V súvislosti s analytickými medzami jazyka teórie pol'a sme uviedli, že v rámci jazyka teórie pol'a nie je možné opísať *stabilný systém nábojov*. V kvantovej mechanike existuje tzv. Heisenbergov princíp neurčitosti, ktorý práve to umožňuje. Princíp neurčitosti hovorí, že súčin ne-

určitosti súradnice Δx a neurčitosti hybnosti Δp 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 nemôžu vytvoriť stabilnú priestorovú konfiguráciu, lebo elektrón by 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 preto o stabilnom atóme vodíka nemôže byť ani reči. A tu sa dostáva k slovu princíp neurčitosti, ktorý elektrónu zabráni obiehať príliš blízko protón. Potom by totiž bola jeho súradnica veľmi presne lokalizovaná (v atómoch 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. Ale veľká neurčitosť hybnosti 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, princíp neurčitosti ho zas z týchto malých oblastí priestoru vytláča. Ako kompromis vzniká stabilný základný stav atómu.

d. Integratívna sila jazyka kvantovej mechaniky

Celými dejinami fyziky sa tiahne protiklad korpuskulárneho a vlnového pohľadu na svetlo. Descartes chápal svetlo ako (pozdĺžne) vlnenie, analogické zvukovým vlnám. Newton naproti tomu vykladal svetlo ako prúd korpuskúl. Young a Fresnell sa v rámci teórie kontinuí a fluíd vrátili opäť k predstave svetla ako vlnenia, ale tentoraz to bolo priečne vlnenie, čo predpokladalo pružný éter. Ako priečne vlnenie funguje svetlo aj v Maxwellovej teórii, no v rámci teórie poľa sa postupne oslobodí od predpokladu materiálneho nosiča v podobe éteru a stane sa z neho vlnenie poľa. Pri výklade fotoefektu Einstein opäť obnovil starú korpuskulárnu predstavu, keď svetlo vyložil ako tok kvánt energie. Integratívnu silu jazyka kvantovej mechaniky možno vidieť v tom, že sa jej podarilo prekonať po stáročia sa tiahnući rozpor medzi korpuskulárnym a vlnovým výkladom svetla. Aj keď je *protiklad diskrétného a spojitého* asi hlboko zakotvený v ľudskom myslení, formalizmus kvantovej mecha-

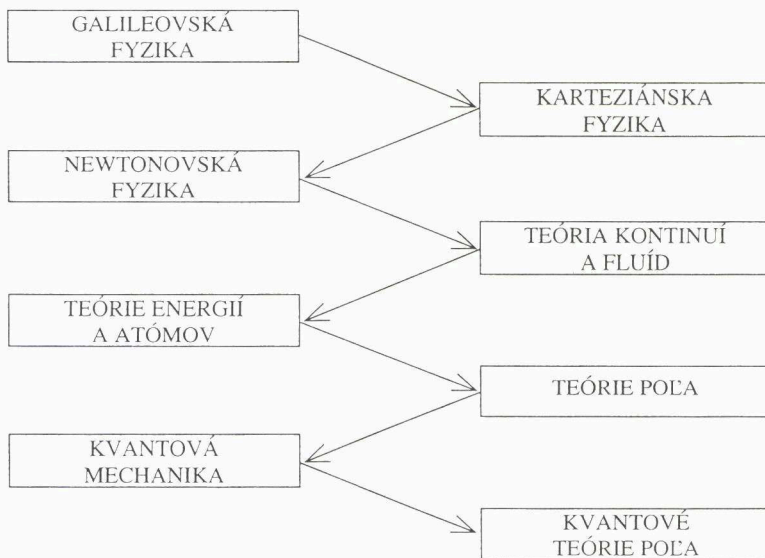
niky umožňuje oba tieto obrazy zjednotiť do jednotného teoretického rámca.

e. a f. Analytické a expresívne medze jazyka kvantovej mechaniky

Hovoriť o analytických a expresívnych medziach jazyka kvantovej mechaniky si netrúfam. Všeobecne je známa kritika kodaňskej interpretácie kvantovej mechaniky z rôznych pozícií, ale nie je jasné, či je nespokojnosť so základmi kvantovej mechaniky vyvolaná iba jej neobvyklosťou, alebo ide o skutočné nedostatky tejto teórie. V predošlých príkladoch sme analytické a expresívne medze jazyka určitej reprezentácie charakterizovali jej konfrontáciou s neskoršou reprezentáciou, ktorá tieto medze prekonala a vďaka tomu ich dokázala presne vytýčiť. V prípade kvantovej mechaniky v role neskoršej reprezentácie prichádza do úvahy iba kvantová teória poľa, ktorej formalizmus a konceptuálne základy sa ešte nezdajú zrelé na filozofickú reflexiu.

3. Zhrnutie reprezentácií vo fyzike

Keď sa pokúsime postupnosť reprezentácií vo fyzike znázorniť pomocou diagramu, podobne ako v matematike, dostávame nasledovnú schému:



3.1 Striedanie diskkrétneho a kontinuálneho spôsobu reprezentácie

Zmeny zobrazené v uvedenom diagrame možno interpretovať z viacerých hľadísk. Ako prvá sa otvára možnosť vyložiť dynamiku re-reprezentácií ako striedanie diskkrétneho a kontinuálneho spôsobu reprezentácie. Karteziánska fyzika, teória kontinuí a fluíd a teória poľa reprezentujú svet ako vyplnený určitým spojitým prostredím, kým na opačnom póle stoja reprezentácie, ktoré svet uchopujú na pozadí prázdna, do ktorého umiestňujú diskkrétne, v priestore ohraničené objekty. Pritom medzi týmito dvoma spôsobmi reprezentácie existuje určité epistemologické napätie, lebo ani jeden z nich nedokáže konzistentne opísať všetky fyzikálne javy. Napríklad Newton používal korpuskulárny výklad sveta, ale pri javoch ako vytekanie vody z nádoby, rýchlosť zvuku či usporiadanie slnečnej sústavy narazil na hranice korpuskulárneho prístupu. Na druhej strane sa teória poľa pokúsila o kontinuálny opis sveta, ale divergencie vo vzorcoch opisujúcich žiarenie čierneho telesa, ako aj nemožnosť vysvetliť stabilitu látky vyznačovali hranice tohto prístupu. Vo fyzike možno vypozerovať epistemologické napätie medzi diskrétnymi a kontinuálnymi reprezentáciami, ktoré bráni definitívnemu presadeniu niektorej z reprezentácií. Toto napätie zakladá dynamiku re-reprezentácií, ktorá vykazuje kolísanie medzi týmito pólmi. Predstava harmonického a jednotného fyzikálneho obrazu skutočnosti, s ktorou sa možno stretnúť v literatúre, je zjednodušením skutočnosti. Na krátke časové obdobie sa môže niektorá reprezentácia presadiť, ale jej vláda nikdy nie je úplná a zakladá sa na neznalosti alebo ignorovaní javov, ktoré presahujú jej analytické a expresívne medze. Reálnejší pohľad na fyziku ukazuje, že v každej dobe je fyzikálny obraz sveta nezavŕšený a vlastne nezavŕšiteľný. V každej reprezentácii sveta fyziky, či už je diskrétna, alebo kontinuálna, existuje určité rozhranie (analytické a expresívne medze jazyka), vymedzujúce oblasť javov, ktorá sa danej reprezentácii vymyká. Táto oblasť javov je spravidla miestom, kde sa formujú zárodky novej reprezentácie, reprezentácie patriacej k opačnému pólu. Takto je vlastne úplný obraz sveta nesený viacerými reprezentáciami.

Ak je tento obraz fyzikálneho poznania správny, tak predstava, podľa ktorej je vedecké poznanie jediným koherentným súborom tvrdení je neudržateľná. Problém je v tom, že jazyky, v ktorých sú sformulované dve reprezentácie, ktoré spoločne pokrývajú celú oblasť fyzikálnej skutočnosti, existujú vo vzájomnom napätí, sú navzájom neprevoditeľné. Poznanie je tak skôr koexistenciou dvoch nekompatibilných

fragmentov než jednotným koherentným súborom tvrdení. Pritom uvedené fragmenty sú nekompatibilné nie v logickom zmysle, teda nie tak, že by jeden z nich obsahoval empiricky verifikovateľné tvrdenie, ktorého negácia by bola obsiahnutá v druhom. Ich nekompatibilita má formálny charakter. Pravidlá syntaxe, na základe ktorých je vybudovaný kontinuálny fragment, nemožno *plne* zladíť s pravidlami syntaxe diskrétného fragmentu. Silnejšia teória nie je konzervatívnym rozšírením predošlej, ale teóriou, ktorej jazyk je založený na úplne iných princípoch ako jazyk teórie slabšej. Nekompatibilita sa netýka logiky, ale *spôsobu reprezentácie*, ktorý sme charakterizovali parametrami ako analytická, expresívna, explanatorická a integratívna sila jazyka. Treba však podotknúť, že napriek *čiasťočnej* nekompatibilite, súvisiacej s rozdielnym princípom výstavby jazyka diskrétnych a kontinuálnych reprezentácií, sa jednotlivé reprezentácie do veľkej miery vzájomne prekrývajú. Napriek nekompatibilite princípov nejde teda o nejaké vylučujúce sa obrazy. To, čo v týchto jazykoch odvodíme o empirických faktoch, sa pri zmene reprezentácie spravidla nemení.

Asi najkrajším príkladom tejto kompatibility dôsledkov teórií s nekompatibilnými základnými princípmi je Fourierova rovnica vedenia tepla. Fourier odvodil svoju rovnicu (ktorá opisuje široké spektrum javov) v rámci spojitkej reprezentácie *teórie kontínui a fluid*. Predpokladal, že teplo je nevážiteľná substancia, ktorú nazýval kalorikum, a rovnica vedenia tepla udáva, ako sa kalorikum šíri cez jemné póry rôznych telies. Keď sa neskôr ukázalo, že predstava kalorika je chybná, fyzika prešla k diskrétnej reprezentácii *teórie atómov a energií* a Fourierovo odvodenie rovnice vedenia tepla stratilo svoj základ. Podľa teórie atómov a energií žiadne kalorikum neexistuje, a preto nemá zmysel opisovať, ako sa šíri telesami. Ale napriek tomu si Fourierova rovnica vedenia tepla zachovala platnosť aj v rámci teórie atómov a energií v rovnakej podobe, akú jej dal Fourier. A to aj napriek tomu, že predpoklad, z ktorého vychádzal, je v rozpore s princípmi tejto novej reprezentácie.

Vo filozofii vedy sa nezohľadňuje skutočnosť, že *jazyk* každej fyzikálnej teórie má svoje (analytické a expresívne) medze. Filozofii majú vo zvyku teórie konfrontovať iba s empirickou skutočnosťou, takže zlyhania teórií pri opise určitých javov považujú za ich empirickú neadekvátnosť. Postupujú tak, akoby teórie nemali *vlastné vnútorné obmedzenia*, akoby vo formálnej rovine mohli byť rozvíjané donekonečna a akoby jediné medze, na ktoré narážajú, mali empirickú povahu. Naše

rekonštrukcie však ukazujú, že to tak nie je, že fyzikálne teórie majú zásadné vnútorné obmedzenia, ktorých prekonávanie zakladá dynamiku ich rozvoja. Keď Kant objavil svoje antinómie, narazil podľa nášho názoru práve na tieto vnútorné medze rozvoja fyzikálnych teórií. Problém však spočíval v tom, že tento epistemologický fenomén prvoradého významu nezakotvil v jazyku vedy (kde má svoje prirodzené zakotvenie), ale snažil sa ho vyložiť ako dôsledok štruktúry ľudského rozumu. Neskôr, keď sa formovala pozitivistická filozofia vedy, zahrnutím Kantovej teórie štruktúry ľudského rozumu odmietla automaticky aj jeho antinómie. Keď Kantovu teóriu antinómií zakotvíme lingvisticky, možno oddeliť vecné (epistemologické) jadro jeho objavu od jeho historicky podmieneného výkladu. Takto rekonštrukcia dejín fyziky môže priniesť nové podnety aj na rozmýšľanie o Kantovej filozofii, keď ukáže, že to, čo Kant nazval antinómiami čistého rozumu, má v podobe expresívnych medzí jazyka univerzálnu platnosť. Takto aspoň niektoré aspekty Kantovej filozofie získavajú relevantnosť aj pre súčasnú (inak pomerne antikantovsky založenú) analytickú filozofiu vedy.

3.2 Fyzikalizácia formálneho

Druhý možný pohľad na uvedenú tabuľku odкрýva proces postupnej fyzikalizácie formálnych trikov a postupov. Kým pre Descarta bola hmotnosť len akási formálna vlastnosť spojená s veľkosťou telesa, Newton ju zavedením hustoty premieňa na empiricky definovanú fyzikálnu veličinu. Podobne čas a priestor, ktoré sú u Newtona postulované formálne, sa u Einsteina menia na empiricky definované veličiny. Teória kontinuí a fluíd má proces delenia kontinua na objemové elementy pojatý formálne ako matematickú operáciu, kým teória atómov a energií robí z otázky zloženia hmoty empirickú záležitosť. V teórii atómov a energií je proces merania fyzikálnych veličín pojatý ako formálny akt, kým v kvantovej mechanike je proces merania zabudovaný do formalizmu teórie v podobe redukcie stavu. V procese re-prezentácií takto stále viac aspektov sveta fyziky, ktoré boli pôvodne *postulované iba formálne*, dostáva empirický zmysel. Pojem hmotnosti, priestoru, delenia hmoty či merania hybnosti sa stávajú súčasťou reprezentácie sveta.

Ak je tento pohľad na vývin fyziky správny, tak poskytuje silný argument proti klasickému pohľadu na vývin vedy ako procesu hromadenia a zovšeobecňovania empirickej skúsenosti. Ukazuje, že okrem empirickej skúsenosti vo vývine vedy hrá dôležitú úlohu aj jazyk, ktorý

prináša lingvistické inovácie v podobe formálneho postulovania určitých fyzikálnych veličín. Tieto postulované veličiny sa darí empiricky zakotviť iba dodatočne, a to spravidla prostredníctvom úplne iného jazyka, než v ktorom boli postulované. Descartova veľkosť telesa, Newtonov absolútny čas, Eulerov element kontína, Daltonov pojem atómu – to všetko boli pôvodne iba formálne triky, ktoré získali empirické zakotvenie až omnoho neskôr. Napriek tomu, že tieto veličiny boli postulované iba formálne, už ich formálna prítomnosť v jazyku umožnila zásadným spôsobom zvýšiť jeho analytickú, expresívnu, explanatorickú a integratívnu silu. Syntaktické inovácie jazyka fyziky predstavujú významný faktor rozvoja poznania. Podľa nášho názoru tento faktor dopĺňa, a v spomenutých príkladoch dokonca predbieha, možnosti empirickej skúsenosti. Analytická filozofia vedy je ostrým oddeľovaním kontextu objavu od kontextu zdôvodnenia nútená tieto aspekty fyzikálneho poznania ignorovať, lebo sa nedajú jednoznačne zaradiť do jej schémy. Je odvodenie rovnice umožňujúcej opísať dovtedy neopísateľný jav (napríklad odvodenie Planckovho zákona žiarenia čierneho telesa) súčasťou kontextu objavu alebo kontextu zdôvodnenia? Nové tvrdenie nemožno analyticky odvodiť pomocou pravidiel starého jazyka, keďže toto tvrdenie pravidiel starého jazyka protirečí. Planck si konflikt medzi svojím odvodením a princípmi klasickej fyziky plne uvedomoval. Keď zaviedol kvantum žiarenia, zásadným spôsobom porušil princípy teórie poľa, v rámci ktorej sa dovtedy javy týkajúce sa žiarenia vysvetľovali. Vďaka tomuto porušeniu postupne vznikol nový jazyk, jazyk kvantovej mechaniky, ktorý má podstatne väčšiu analytickú a expresívnu silu ako jazyk teórie poľa.

Podľa nášho názoru Planckovo *odvodenie* zákona žiarenia čierneho telesa nemožno zaradiť do kontextu zdôvodnenia. Planck totiž porušil štandardy, pomocou ktorých sa pred ním vo fyzike zdôvodňovali tvrdenia týkajúce sa žiarenia. Jeho odvodenie však nemožno zaradiť ani do kontextu objavu, lebo ide o odvodenie, teda o postupnosť argumentov, ktorú odvtedy možno nájsť na stránkach mnohých učebníc kvantovej mechaniky a ktorá sa stala do istej miery štandardom odvodzovania, typickým pre túto disciplínu. Fakt, že Planck bol prvý, kto odvodenie tohto nového druhu napísal, je vedľajší. Myslieť si, že k otázke správnosti Planckovho odvodeniu môžu povedať psychológovia či sociológovia, je absurdné. Planck predložil rad formálnych krokov, a ide o to, aby sa posúdila ich obsahová správnosť nezávisle od psychológie

tvorcu či sociológie vedeckého spoločenstva. Okolnosť, že to bolo prvé odvodenie v rámci rodiaceho sa jazyka kvantovej mechaniky, je vedľajšia okolnosť, ktorá nijako nevplýva na správnosť jednotlivých krokov. Planckove kroky boli nelegitímne z pohľadu fyziky jeho čias, ale z pohľadu dnešnej kvantovej fyziky sú úplne štandardné.

Tu sa obnažuje istý predpoklad, hlboko zakorenený v analytickej filozofii. Je to predpoklad, že všetky kroky v zdôvodnení nejakého vedeckého tvrdenia majú logickú povahu, a hranica oddeľujúca kontext objavu od kontextu zdôvodnenia je teda súčasne hranicou oddeľujúcou psychológiu, sociológiu a históriu na jednej strane od logiky na strane druhej. Kontext zdôvodnenia je teda automaticky kontextom logiky a kontext objavu automaticky spadá do sféry psychológie, sociológie a histórie. Domnievam sa však, že medzi týmito dvoma oblasťami, ktoré sa v analytickej filozofii od seba tradične ostro oddeľujú, existuje rozsiahla oblasť nikoho, oblasť lingvistických inovácií, oblasť zmien formálneho jazyka vedy. Filozofi si lingvistické inovácie spravidla predstavujú ako otázku voľby konštant, primitívnych predikátov a funkcií jazyka. Postupujú tak, akoby štruktúra formálneho jazyka bola pre všetky fyzikálne teórie rovnaká a akoby sa jednotlivé teórie líšili iba v tom, že ich tvorcovia si zvolili rôzne sústavy konštant, predikátov a funkcií. Toto presvedčenie je dôsledkom nechute analytických filozofov analyzovať matematickú štruktúru fyzikálnych teórií, k čomu ich zväzda mylné presvedčenie, že tvrdenia matematiky sú analytické. Keďže fyzik logiku meniť nemôže a matematika je (údajne) súborom analytických tvrdení, ktoré sú preto rovnako záväzné ako logika, jediné, čo zostáva keď je nevyhnutné zmeniť jazyk, je zmena konštant, predikátov a funkcií jazyka. Všetko ostatné je už zdanlivo determinované logikou, a preto nezmeniteľné. Neadekvátnosť tejto predstavy je zjavná. Fyzik pri voľbe jazyka rozhoduje:

- či bude teóriu budovať v rámci kontinuálnej alebo diskkrétnej reprezentácie;
- ktoré veličiny mieni iba formálne postulovať a ktoré chce definovať empiricky;
- akú mieru všeobecnosti stavu zvolí (pozri kapitolu 3.3);
- aký typ temporality jazyka vyberie (pozri kapitolu 3.4);

Preto navrhujeme okrem *kontextu objavu* a *kontextu zdôvodnenia* odlíšiť *jazykový kontext* týkajúci sa otázok formálnej stavby teórií. Táto stat'

je venovaná analýze tohto lingvistického kontextu. Postupovali sme pritom historicky, lebo sme chceli pozorovať, ako sa prvky jazykového kontextu menia. To je totiž najjednoduchší spôsob, ako ich objaviť. Ale preto naše analýzy ešte nepatria do kontextu objavu; ich cieľom nebolo skúmať, ako boli určité teórie objavené, ale iba to, aké formálne nástroje boli pri ich objave použité. Aspekty ako analytická, expresívna, explanačná a integratívna sila jazyka sú prvky jazykového kontextu.

3.3 Opis zmeny stavu

Na celú uvedenú dynamiku je možný aj tretí pohľad, ktorý nás vráti späť k Fregeho výkladu vývinu matematiky ako narastania *logickej všeobecnosti jazyka*. Keď Frege abstrahoval od geometrie a sústredil sa len na symbolické jazyky, teda na aritmetiku, algebru, diferenciálny a integrálny počet a nakoniec na predikátový počet, tak v tejto historickej postupnosti odhalil prechod od manipulácie s konštantnými symbolmi (aritmetika), premennými (algebra), funkcionálnymi symbolmi (diferenciálny a integrálny počet) až k funkcionálnym symbolom vyšších rádov (predikátový počet). Zdá sa, že vo fyzike možno nájsť podobný *nárast všeobecnosti jazyka*. Podobne ako Frege v stati *Funktion und Begriff* zúžil svoj pohľad na matematiku tým, že pustil zo zreteľa geometriu, aj my vynecháme „kontinuálne“ reprezentácie a sústredíme sa na vývin „diskrétnych“ reprezentácií. Pritom si budeme všímať opis zmeny stavu.

U Galilea je opis zmeny „stavu“ (Galileo ešte o stave nehovorí) daný vzťahom

$$v = g.t,$$

ktorý opisuje narastanie rýchlosti pri voľnom páde. Rýchlosť lineárne rastie s časom, pričom koeficientom úmernosti je *konštanta* gravitačného zrýchlenia. Newton má opis zmeny stavu v tvare zákona opisujúceho nárast hybnosti pri silovom pôsobení:

$$dp = F.dt.$$

Zmena hybnosti je úmerná dĺžke časového intervalu dt , počas ktorého sila pôsobí, pričom koeficientom úmernosti je *funkcia* udávajúca silu F v rôznych bodoch priestoru. Ďalšiu diskrétnu reprezentáciu, t. j. teóriu atómov a energií ponecháme bokom, lebo zatiaľ nevieme konceptuálne zachytiť jej opis zmeny stavu, a prejdeme ku kvantovej mechanike, kde je zmena stavu opísaná Schrödingerovou rovnicou, v ktorej zmena stavu je opísaná pomocou Hamiltonovho *operátora* \hat{H} :

$$\frac{d\psi}{dt} = \hat{H}\psi.$$

Vidíme, že v uvedenej postupnosti reprezentácií sa mení spôsob opisu zmeny stavu, pričom tieto zmeny spočívajú v náraste všeobecnosti spojenia starého stavu s novým. Galileo používa na opis zmeny rýchlosti *konštantu*, Newton prináša do opisu zmeny stavu *funkciu* a v kvantovej mechanike sa prechádza k *operátorom*, teda k funkciám druhého rádu (funkciám ktorých argumentmi a funkčnými hodnotami sú opäť funkcie). Samozrejme, tento výklad má jednu chybu krásy, menovite vynechanie teórie atómov a energií. Nie je však vylúčené, že pri podrobnejšej analýze sa podarí aj opis zmeny stavu v štatistickej fyzike zabudovať do celkovej schémy. Nie je však podstatné, aby schéma fungovala dokonale, veď schémy nie sú ničím iným ako predbežným utriedením materiálu, ktoré má uľahčiť konceptuálnu analýzu. Preto za hlavný prínos týchto analýz považujeme preukázanie skutočnosti, že *aj jazyk fyziky sa mení v línii nárastu všeobecnosti*, podobne, ako to pre jazyk matematiky ukázal Frege. Galileova konštanta gravitačného zrýchlenia, Newtonova funkcia sily a Hamiltonov operátor v kvantovej mechanike sú príbuzné s konštantným symbolom v aritmetike, premennou v algebre a funkciou vyššieho rádu v analýze, pomocou ktorých Frege charakterizoval jednotlivé štádiá vo vývine matematiky. Oproti Fregemu je rozdiel v tom, že konštanta, funkcia a operátor tu nevystupujú ako prvky *konštrukcie termov jazyka*, ale ako prvky pri *opise zmeny stavu*. Preto možno povedať, že re-representácie vo fyzike sú sprevádzané *nárastom všeobecnosti opisu zmeny stavu*.

3.4 Temporalita jazyka

Ako štvrtý pohľad na vývin jazyka fyziky navrhujeme určité prehĺbenie predošlého pohľadu – sústredíme sa na opis času v jednotlivých reprezentáciách. Čas v galileovskej fyzike je *kinematický parameter*, ktorý parametrizuje trajektóriu pohybu. Je to akási niť, na ktorú sú postupne navlečené jednotlivé stavy telesa tak, ako nasledujú jeden za druhým. U Newtona je čas *dynamický parameter*: je to parameter vystupujúci v diferenciálnej rovnici. Newtonov čas nielenže parametrizuje trajektóriu pohybu jediného izolovaného telesa, ako je to u Galilea, ale zjednocuje interakcie telies. Čas sa teda stáva formou, ktorá zjednocuje pôsobenie s jeho účinkom (čo formálne vyjadruje diferenciálna rovnica). Teória atómov a energií (ktorá pri predošlom pohľade vypadla) dopĺňa

dynamický čas, ktorý riadi interakcie na mikroskopickej úrovni, o *nevratný makroskopický čas*. Nevratný čas je však, podobne ako u Galileia, len parameter, ktorý parametrizuje rast entropie. K prepojeniu mikroskopického a makroskopického času dochádza v kvantovej mechanike pri opise procesu merania.

Teraz by sme sa mohli pokúsiť medzi tieto zmeny v chápaní času vložiť ako sprostredkujúce medzistupne chápania času v rámci kontinuálnych jazykov podobne, ako sme v matematike vložili medzi Fregeho štádiá vývinu symbolického jazyka ako sprostredkujúce medzistupne štádiá geometrie (pozri [4]). Descartovo pojetie interakcie ako zrážky a jej opis pomocou zákona zachovania možno chápať ako medzistupeň medzi galileovským kinematickým pojatím času a Newtonovým dynamickým časom. Descartes už hovorí o interakcii, ale interakciu opisuje pomocou zákona zachovania, porovnaním stavu pred a stavu po interakcii, pričom nezáleží na tom, aký časový interval tieto dva stavy oddeľuje. Descartes teda kvôli interakcii rozbil spojitý galileovský čas na diskrétné momenty, na okamih pred a okamih po kolízii, a medzi nimi (akoby mimo času, teda rozhodne mimo času uchopeného vo formalizme) sa odohráva zrážka. Descartov čas pri opise interakcie má tak skôr podobu *indexu* P_t umožňujúceho odlíšiť stav pred od stavu po zrážke, než podobu *samostatného parametra* t , ako čas vystupuje u Galileiho. Samostatným parametrom rozumiem parameter, ktorý nie je argumentom žiadnej funkcie, ale sa ním iba násobia alebo delia rôzne veličiny. Do vzťahov vstupuje teda akosi zvonka, zachovávajúc si pritom svoju samostatnosť. U Descarta čas tým, že sa z neho stáva index, práve túto samostatnosť stráca. Newton vnoril Descartovu ideu interakcie do spojitého toku času, čím z Descartovho indexu spravil *argument stavových veličín* $P(t)$, argument ktorý vystupuje v pohybovej rovnici ako parameter v operátore derivácie $\frac{d}{dt}$.

Podobne teóriu kontínui a fluíd možno chápať ako medzistupeň medzi vratným časom newtonovskej fyziky a nevratným časom štatistickej fyziky. Kým v newtonovskej fyzike sa pôsobenie šíri okamžite, teória kontínui a fluíd prináša opis procesu šírenia sa pôsobenia v telese, ako napríklad pri opise šírenie tepla pomocou Fourierovej rovnice. Tu sa už objavuje jav nevratnosti, ale nevratný čas šírenia tepla je ešte oddelený od vratného času dynamiky tým, že prvý platí pre kalorikum a druhý pre hmotné telesá. Až teória atómov a energií zlikviduje kalorikum, a tým

dostáva oba časy, vratný aj nevratný, do jednotnej schémy. A nakoniec v teórii poľa, ktorá zavádza pojem lokálneho času, možno vidieť medzistupeň medzi termodynamickým časom a časom, ako sa s ním stretávame v kvantovej mechanike. V teórii poľa sa čas berie ešte stále ako vonkajší parameter, ktorého meranie nie je vo formalizme vyjadrené, ale pojem lokálneho času už aspoň implicitne spája proces merania času s formalizmom teórie.

Tieto úvahy chcú len naznačiť problémy, ktoré pred nás stavia vývin fyziky. Sme presvedčení, že jazyk fyziky potrebuje podobnú analýzu, ako bola Fregeho analýza jazyka matematiky. Pred Fregem logiku ovládala aristotelovská teória sylogizmov, a dokonca ešte aj Boole veril, že to, čo robia matematici, možno týmto aparátom opísať. Frege prišiel s pozoruhodným objavom, že už také jednoduché tvrdenie ako $3 + 4 = 7$ nemožno v rámci Aristotelovho systému adekvátne rekonštruovať. Preto si vytýčil cieľ formálne rekonštruovať spôsob argumentácie, ktorý sa v matematike skutočne používa. Domnievame sa, že vo fyzike sa nachádzame v podobnej situácii, aká bola v matematike pred Fregem. Filozofi fyziky dnes veria, že fregeovská formálna logika adekvátne vystihuje spôsob argumentácie vo fyzike (podobne ako si Fregeho predchodcovia mysleli, že aristotelovská logika zachytáva spôsoby argumentácie v matematike). Podľa nás tu ide o ten istý problém. Aparát úspešný v jednom obore sa nekriticky prenáša do iného. To má za následok, že nemáme adekvátny logický aparát, ktorý by umožnil konceptuálne vyjadriť rozdiel v tom, ako s časom pracuje newtonovská fyzika a ako kvantová mechanika. Frege vytvoril logiku podľa vzoru aritmetiky a v aritmetike čas nefiguruje. Namiesto snáh zabudovať čas do fregeovského formalizmu v tvare temporálnej logiky by bolo možno lepšie nanovo a nepredpojaté preskúmať úlohu času v jazyku fyziky, podobne, ako Frege nepredpojaté a nanovo preskúmal spôsob vyjadrenia všeobecnosti v jazyku aritmetiky. Zdá sa, že by sme potrebovali klasifikáciu diferenciálnych rovníc (či dynamických systémov), podobnú Fregeho roztriedeniu matematických symbolov na konštanty, premenné, funkcie prvého rádu, funkcie druhého rádu atď. V matematike je základným krokom prechod od predpokladov k *logickým* dôsledkom, pričom Fregeho rozlíšenia umožňujú tento prechod presnejšie charakterizovať. Podobne vo fyzike opisuje diferenciálna rovnica prechod od stavu k jeho *temporálnym* následkom, pričom jednotlivé typy dynamických systémov by mohli byť charakterizované

podľa toho, aké vlastnosti má tento temporálny prechod. Chýba teda akýsi „*Begriffsschrift 2*“, čosi ako „*Eine der physikalischen nachgebildete Formelsprache des reinen Denkens*“.

*Katedra algebry, geometrie a didaktiky matematiky
Fakulty matematiky, fyziky a informatiky UK
Mlynská dolina, 842 48 Bratislava
e-mail: kvasz@fmph.uniba.sk*

LITERATÚRA

- [1] BALEK, V. (1986): *Prečo svietia hviezdy?* Alfa, Bratislava.
- [2] EINSTEIN, A. – INFELD, L. (1938): *Fysika jako dobrodružství poznání*. Orbis, Praha 1958.
- [3] FREGE, G. (1891): Funktion und Begriff. Jena. Reprint in: *Funktion, Begriff, Bedeutung*. Göttingen, Vandenhoeck & Ruprecht, 1989, 17 – 39.
- [4] KVASZ, L. (2000a): Changes of Language in the Development of Mathematics. *Philosophia Mathematica*. Vol. 8, 47 – 83.
- [5] KVASZ, L. (2004): Epistemologické otázky fyziky: od antiinómií čistého rozumu k expresívnym medziam jazyka fyziky. *Organon F* 2004/4, 362 – 381.
- [6] SIMONYI, K. (1978): *A fizika kultúrtörténete*. Budapest, Gondolat 1986.
- [7] SZABÓ, I. (1977): *Geschichte der mechanischen Prinzipien und ihrer Anwendungen*. Birkhäuser, Basel 1979.
- [8] WEIZSÄCKER, C. F. von (1964): *Die Tragweite der Wissenschaft*. S. Hirzel, Stuttgart, 1990.
- [9] ZAJAC, R. – ŠEBESTA, J. (1990): *Historické pramene súčasnej fyziky 1, od Aristotela po Boltzmannu*. Alfa, Bratislava.
- [10] ZAJAC, R. – PIŠÚT, J. – ŠEBESTA, J. (1997): *Historické pramene súčasnej fyziky 2, od objavu elektrónu po prah kvantovej mechaniky*. Alfa, Bratislava.
- [11] ZELEDVIČ, Ja. B. – CHLOPOV, M. Ju. (1988): *Drama idej v poznavanii prírody*. Moskva, Nauka.

POĎAKOVANIE

Ďakujem Nadácii Alexandra von Humboldta za udelenie štipendijného pobytu na Technickej univerzite v Berlíne, v rámci ktorého vznikla táto stať. Ďakujem tiež Vladovi Balekovi a Pavlovi Bónovi za rad pripomienok, ktoré prispeli k spresneniu textu. Tento príspevok je súčasťou grantového projektu číslo 1/0223/03.