

## 1. Galileovská fyzika vo svetle Husserlovej fenomenológie

Na úlohu Galilea v dejinách novovekej vedy existuje mnoho protichodných názorov.<sup>25</sup> Historici oscilujú medzi rôznymi výkladmi toho, čo je jadrom Galileovho projektu. Niektorí vidia hlavný prínos Galilea v experimentálnej metóde,<sup>26</sup> iní v matematickom platonizme,<sup>27</sup> ďalší vyzdvihujú jeho spätosť s aristotelovskou deduktív-

<sup>25</sup> Pozri napríklad Mach, E., *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, Brockhaus, Leipzig 1897; Tannery, P., „Galilée et les principes de la dynamique“, *Revue générale des sciences pures et appliquées*, 1901, s. 330–330 (anglický preklad in: E. McMullin (ed.), *Galileo, Man of Science*, c. d., s. 163–177); Koyré, A., *Galileo Studies*, c. d.; Husserl, E., *Krise europäischer věd a transcendentální fenomenologie*, c. d.; Drake, S., *Galileo at Work: His Scientific Biography*, Dover, Chicago 1978; Naylor, R. H., „Galileo’s Theory of Projectile Motion“, *Isis* 71, 1980, s. 550–570; Wallace, W. A., *Galileo and His Sources: The Heritage of the Collegio Romano in Galileo’s Science*, Princeton University Press, Princeton 1984; Wisan, W. I., „Galileo and the Process of Scientific Creation“, *Isis* 75, 1984, s. 269–286; Hill, D. K., „Dissecting Trajectories: Galileo’s Early Experiments on Projectile Motion and the Law of Fall“, *Isis* 79, 1988, s. 646–668; Zając, R., Šebesta, J., *Historické pramene súčasnej fyziky 1. Od Aristotela po Boltzmannu*, Alfa, Bratislava 1990; De Caro, M., „Galileo’s Mathematical Platonism“, in: J. Czermak (ed.), *Philosophie der Mathematik*, Hölder-Pichler-Tempski, Wien 1993.

<sup>26</sup> Drake, S., *Galileo at Work: His Scientific Biography*, c. d.; Hill, D. K., „Dissecting Trajectories: Galileo’s Early Experiments on Projectile Motion and the Law of Fall“, c. d.

<sup>27</sup> Koyré, A., *Galileo Studies*, c. d.; McTighe, T., „Galileo’s Platonism: A Reconsideration“, in: E. McMullin (ed.), *Galileo, Man of Science*, c. d., s. 365 až 387; De Caro, M., „Galileo’s Mathematical Platonism“, c. d.

nou metódou<sup>28</sup> či jeho spojenie experimentu a dedukcie.<sup>29</sup> Pokus poskytnúť vyváženejší obraz Galileovej osobnosti a diela predstavia zborníky *Galileo, Man of Science*,<sup>30</sup> *New Perspectives on Galileo*<sup>31</sup> a *The Cambridge Companion to Galileo*.<sup>32</sup> Naším cieľom nie je vybrať si jednu z uvedených interpretácií, lebo sa domnievame, že jednotlivé interpretácie sa navzájom nevyhlcujú a predstavujú skôr rôzne aspekty Galileovho diela, ktoré existovali vedľa seba a navzájom sa dopĺňali, prípadne rôzne etapy jeho vývinu, ktoré na seba nadväzovali. Pokúsime sa vytvoriť obraz Galileovho diela, ktorý by jednotlivé interpretácie prirodzene integroval. Najprv však musíme objasniť niekoľko nedorozumení.

Výklad Galilea ako platonika nie je presvedčivý. Koyré svoj názor opiera o argument, že:

Nikto nemohol veriť, že by mohla existovať taká presná zhoda medzi experimentom a predpovedaním! Vskutku, napríklad Galileovmu tvrdeniu má človek pokúšenie o tom pochybovať, a to z jednoduchej dôvodu: striktná zhoda ako táto je striktné nemožná.<sup>33</sup>

V skutočnosti však Galileove experimenty boli opakované a zhoda takto získaných výsledkov s údajmi z Galileových poznámok je pomerne dobrá.<sup>34</sup> Okrem toho každý, kto strávil čo i len zopár ho-

<sup>28</sup> Wallace, W. A., *Galileo and His Sources: The Heritage of the Collegio Romano in Galileo's Science*, c. d.

<sup>29</sup> Wisan, W. L., „Galileo and the Process of Scientific Creation“, c. d.; Naylor, R. H., „Galileo's Theory of Projectile Motion“, c. d.

<sup>30</sup> McMullin, E. (ed.), *Galileo, Man of Science*, New York, Basic Books Publishers 1967.

<sup>31</sup> Butts, R., Pitt, J. (eds.), *New Perspectives on Galileo*, Reidel, Dordrecht 1978.

<sup>32</sup> Machamer, P. (ed.), *The Cambridge Companion to Galileo*, Cambridge University Press, New York 1998.

<sup>33</sup> Koyré, A., *Galileo Studies*, c. d., s. 107.

<sup>34</sup> Drake, S., „Galileo's Experimental Confirmation of Horizontal Inertia“,

dln v laboratóriu, dobre vie, že pri každom pokuse existujú chyby merania. Tento triválny fakt poznal aj Galileo. Zavrhnúť experimentálnu metódu len z tohto dôvodu je smiešne. Koyré má, samozrejme, pravdu v tom, že fyzikálne zákony nemožno odvodiť z experimentálnych dát, ako si to mysleli zástanci empirizmu. Ale filozofickú polemiku s empirizmom si neslobodno mylíť s výkladom dejin vedy. Galilea nemožno pochopiť, ak v ňom chceme vidieť čisté empiriá, ale rovnako ho nemožno pochopiť, ak v ňom chceme nájsť platoniku. Nepopierame, že platonický motív sa tiaholne Galileovým dielom podobne ako motív empirizmu a aristotelizmu. Obávame sa však, že platonizmus, ako aj každý iný -izmus je len podružný aspekt Galileovho diela. Ak chceme pochopiť Galilea ako spoluzakladateľa novovekej fyziky, musíme predovšetkým pochopiť, čo nové prináša, a teda čím a prečo prekračuje platonizmus, empirizmus a aristotelizmus. Tým novým je podľa nás Galileova koncepcia pohybu ako *geometrického toku*, čo je idea cudzia platonizmu. Keď povieme, že Galileo bol platonik či archimedovec, nevypovedáme o tom, čo je v jeho diele nové, a teda dôležité z hľadiska vzniku novovekej vedy, ale len o tom, čo v jeho diele pretvára z minulosti. Plátón ani Archimedes nevytvorili teóriu volného pádu a Galileo sa od nich odlišuje práve tým, že takúto teóriu vytvoril. V dejinách vedy je užitočné rozlišovať rôzne myšlienkové tradície, pytagorejskú, platoniku, aristotelovskú, archimedovskú či atomistickú. Ale tie samy o sebe nič nevyvyšujú. Treba pochopiť nielen to, z akej tradície niekto vychádza, ale najmä to, v čom túto tradíciu prekračuje. Podľa nášho názoru je Galileo predovšetkým zakladateľom novej tradície, tradície novovekej vedy, ktorá prekonala platonizmus i archimedovskú tradíciu. Nehybné platónske idey sú v nej nahradené zotrvačne sa pohybujúcimi telesami.

Galileo Galilei (1564–1642) začal svoju kariéru ako stúpenec aristotelizmu na univerzite v Pise, kde v rokoch 1589–1592 napísal

*Isis* 64, 1973, s. 291–305; Naylor, R. H., „Galileo's Theory of Projectile Motion“, c. d.; Naylor, R. H., „Galileo's Method of Analysis and Synthesis“, *Isis* 81, 1990, s. 695–707.

spis *O pohybe (De Motu)*. V ňom sa pokúša o rozvinutie aristotelovskej teórie pohybu tým, že do nej zapracúva prvky Archimedovej hydrostatickej a scholastickej teórie impetu. Akceptuje Aristotelovo delenie pohybov na prirodzené a neprirodzené. V prípade prirodzených pohybov však Aristotelovu klasifikáciu prvkov na ťažké (ich prirodzený pohyb smeruje nadol) a ľahké (ich prirodzený pohyb smeruje nahor) nahrádza archimedovskou relativizáciou, podľa ktorej prvok nie je ľahký ani ťažký v absolútnom zmysle, ale len vo vzťahu k prostrediu. Drevo je teda vo vzduchu ťažké, a preto padá nadol, kým vo vode je ľahké, a preto jeho pohyb smeruje nahor, k hladine. Galileo formuluje princíp, podľa ktorého prirodzené pohyby sú priamočiare a majú konštantnú rýchlosť, úmernú špecifickej ťaži pohybujúceho sa telesa. Archimedovská relativizácia ťaže má za následok, že teleso by sa pohybovalo určitou konečnou rýchlosťou aj vo vákuu. Neprirodzené pohyby vysvetľuje Galileo pomocou tzv. *virtus impressa*, prekladanej ako vložená sila (angl. *impressed force*). Keď dvíhame ťažké teleso nahor, vniká doňho ľahkosť. Keď ho potom pustíme, začne padat nadol, pričom vložená ľahkosť sa postupne miňa, čo sa prejavuje zrýchľovaním pohybu telesa, až nakoniec sa všetka minie a teleso sa ustáli v rovnomernom pohybe s rýchlosťou úmernou jeho špecifickej ťaži.

V spise *O pohybe* Galileo zastreáva názor, že teleso s dvakrát väčšou hustotou bude padat dvakrát rýchlejšie. V tomto kontexte diskutuje o pokusoch s púšťaním telies z veže. Predpokladal, že teleso s dvakrát väčšou špecifickou ťažou bude padat dvakrát rýchlejšie. Pokus však túto predpoveď nepotvrdil. Negatívny výsledok experimentu Galileo dômyselne vysvetľuje pomocou teórie vloženej sily. Keď držíme teleso na vrchole veže, naša ruka mu vtláča *virtus impressa*. Pritom dvakrát ťažšiemu telesu musíme pridať dvakrát takú veľkú *virtus impressa*. Preto keď pustíme dve telesá s rôznymi hmotnosťami, skôr, než sa ustáli ich prirodzený rovnomerný pohyb, pri ktorom sa dvakrát ťažšie teleso bude pohybovať dvakrát rýchlejšie, prebieha zrýchlený pohyb súvisiaci so stratou vloženej sily. Keďže ťažšie teleso má viac *virtus impressa*, trvá mu dlhšie, než sa jej zbaví, a preto podľa Galilea môže ľahké teleso na začiatku pádu dokon-

ca predbehnúť ťažké. Takže dôvodom, prečo sa nám nedarí pozorovať, že dvakrát ťažšie teleso padá dvakrát väčšou rýchlosťou, je podľa Galilea to, že nemáme k dispozícii dostatočne vysokú vežu, pri páde z ktorej by telesá prekonalí prechodnú zrýchlenú fázu pohybu. Po určitom čase Galilea napadlo, že by mohol vplyv *virtus impressa* vylúčiť pomocou naklonenej roviny. Ak je rovina len málo naklonená, tak prevažná časť vloženej sily ostáva počas pohybu bez účinku (pôsobí len jej časť úmerná uhlu sklonu, ako ukázal pomocou dômyselnej úvahy s pákou). Preto počiatočná fáza zrýchleného pohybu, spojená so spotrebovávaním vloženej sily, by mala byť krátka, a tak by sa mohlo podať experimentálne demonštrovať úmernosť medzi rýchlosťou pohybu a ťažou telesa. Pokusy však ukázali, že ani v tomto prípade sa nepodarilo dostať sa za počiatočnú fázu zrýchleného pohybu.<sup>35</sup>

Roku 1604 Galileo v liste Paolovi Sarpimu zastáva úplne inú teóriu voľného pádu. Je presvedčený, že zrýchlenie je základná vlastnosť voľného pádu, a nielen prechodná fáza spojená so stratou *virtus impressa*. Opúšťa preto skúmanie pohybu v prostredí, začína uvažovať o pohybe vo vákuu a formuluje zákon voľného pádu.

Roku 1609 si Galileo zhotovil ďalekohľad, pomocou ktorého uskutočnili sériu astronomických objavov, ktoré otriasli aristotelovskou teóriou sveta. Svoje astronomické objavy uverejnil roku 1610 v spise *Hviezdny posol*.<sup>36</sup> Roku 1613 vydáva spis *Listy o snečných škvrnách*, v ktorom argumentuje, že slnečné škvrny vznikajú a zanikajú priamo na povrchu Slnka, čo odporuje aristotelovskej doktríne o dokonalosti a nemennosti neba. Roku 1623 Galileo vydáva ďalší astronomický spis *Skrúšač zlata*,<sup>37</sup> v ktorom ostro napáda peripate-

<sup>35</sup> Výklad spisu *O pohybe* možno nájsť v Settle, T., „Galileo's use of experiment as a tool of investigation“, in: E. McMullin (ed.), *Galileo, Man of Science*, c. d., 1967, s. 319–334.

<sup>36</sup> Galilei, G., *The Starry Messenger*, in: S. Drake, *Discoveries and opinions of Galileo*, Doubleday Company, New York 1957, s. 21–58.

<sup>37</sup> Galilei, G., *The Assayer*, in: S. Drake, *Discoveries and opinions of Galileo*, c. d., s. 229–280.

tickú fyziku. Kým bola kniha v tlači, nastúpili na pápežský stolec Kardinál Barberini ako pápež Urban VIII. Roku 1624 odchádza Galileo do Ríma, aby od pápeža získal povolenie vydať dávno zamýšľaný spis, venovaný diskusi teórií o stavbe sveta. Pápež však povolil diskutovať o príslušných teóriách iba hypoteticky. Znamenalo to, že Galileo smel vyloužiť Kopernikovu teóriu len ako matematickú hypotézu, ktorá si nerobí žiaden nárok na pravdivosť. Za fyzikálne skutočný považoval pápež geocentrický systém Aristotelovej fyziky. Galileo sa vrátil do Florencie a pustil sa do písania *Diálogo o dvoch systémoch sveta*, ktorý vyšiel roku 1632.<sup>38</sup> Pravdepodobne si myslel, že dodržal sľub daný pápežovi, viacerí cirkevní hodnostári boli však iného názoru. Preto bol Galileo roku 1633 predvolaný pred Inkvizíciu do Ríma, kde musel svoje učenie odvolať, jeho spisy boli zakázané a Galileo bol odsúdený na domáce väzenie.<sup>39</sup> V samote domáceho väzenia napísal svoje najvýznamnejšie dielo *Pojednanie o dvoch nových vedách*, ktoré vyšlo v Leidene roku 1638.

Z tohto náčrtu vidno, že vývin Galileových názorov sledoval v hrubých rysoch líniu *objektáčia, re-prezentácia, idealizácia*.<sup>40</sup> Galileo začína svoju dráhu snahou o *objektáciu prostredia* (nadväzujúcu na Archimeda) a *objektáciu zotrvačnosti* (nadväzujúcu na teóriu impetu Jeana Buridana). Usiloval sa zachovať celkový aristotelovský obraz sveta ako hierarchického systému s pevným stredom. Chcel len do tohto obrazu zabudovať nové prvky (*virtus impressa*) a nové rozlíšenia (relativizáciu ťažeľ), ktoré by umožnili vysvetliť voľný pád a šikmý vrh, ktoré aristotelovská teória vysvetľuje neuspokojivo. Neúspech viacerých pokusov vytvoriť teóriu týchto javov pomocou objektácie viedol Galilea k radikalizácii jeho názorov.

Okolo roku 1604 opúšťa aristotelovský obraz sveta. Snaha reformovať aristotelovskú teóriu pomocou *objektácie* sa mení na úsilie nahradiť aristotelovský obraz sveta novou *reprezentáciou* skutoč-

<sup>38</sup> Galilei, G., *Diálogo o dvoch systémoch sveta*, preložil M. Pažitka, Vydavateľstvo SAV, Bratislava 1962.

<sup>39</sup> McMullin, E., „The Galileo affair: two decisions“, *Journal for the History of Astronomy*, xl, 2009, s. 192–212.

<sup>40</sup> Kvasz, L., *Gramatika zmeny*, Chronos, Bratislava 1999.

nosti. Séria astronomických objavov vyvolala nádej, že jadrom tejto novej reprezentácie, ktorá by mohla nahradiť starý aristotelovský obraz, môže byť kopernikанизmus. Preto vyše dvadsať rokov života venuje rozvíjaniu tejto koncepcie. Kopernikovská *re-prezentácia* nepriňaša len nejaké nové prvky či rozlíšenia, ktoré by zapadli do pevného rámca starého obrazu sveta, ako to robí objektácia. Práve naopak, rozvracia celý tento rámec a stavia ho na hlavu. Pohyby telies na Zemi už nemožno vysvetľovať ako smerovanie na prirodzené miesta, lebo všetky miesta na Zemi sa neustále pohybujú (okolo Slnka). Teóriu pohybu už nezachráni žiadna nová *virtus impressa*, ktorá by umožnila presmerovať pohyb. Zmysel stráca samotné aristotelovské chápanie pohybu ako smerovania niekam. Navyše, keďže stred Zeme prestal byť nehybným stredom vesmíru, stráca zmysel aj aristotelovské delenie telies na ľahké a ťažké. Ťažké teliesá nesmerujú nadol, lebo vo vesmíre neexistuje žiadne absolútne dole. Opäť tu nepomôže relativizácia v duchu archimedovskej hydrostatiky, ktorá by umožnila ťažkým telesám správať sa za určitých okolností ako ľahké (drevo plávať na vode). Zmysel stráca samotný pojem dole, nielen niektoré prípady jeho použitia. Celý konceptuálny rámec výkladu miestneho pohybu sa rozpadá, základné rozlíšenia na ťažké a ľahké, hore a dolu, pozemské a nebeské strácajú zmysel.<sup>41</sup>

Galileo sa usiloval nahradiť starú rozpadávajúcu sa reprezentáciu sveta ako usporiadaného systému prirodzených miest novým obrazom sveta ako sústavy zotrvačných pohybov. Nie konečné spochýbnutie na prirodzenom mieste, ale vecné obíhanie po kruhovej dráhe je podľa Galilea princípom stavby univerza. Určité napätie v Galileovom diele však vyvoláva skutočnosť, že naraz prebiehali dve *re-prezentácie*. Jednak *re-prezentácia pozemského pohybu*, podľa ktorej pohyb nie je smerovaním na vopred dané nelybné miesto, ale práve naopak, pohyb je zotrvačným, nikdy nekončiacim plynutím. Paralelne s touto zmenou prebiehala *re-prezentácia univerza*, v súla-

<sup>41</sup> Je samozrejme možné pokúsiť sa časti aristotelovského obrazu zachrániť, ako sa o to pokúsil napríklad Tycho Brahe. Zdá sa však, že Galileo v možnosti takejto záchrany neveril.

de s ktorou nebo nie je tvorené vecnou a nemennou kvintesenciou, ako tvrdil Aristoteles, ale pozostáva z rovnakej látky ako Zem. Pozemské a nebeské javy podliehajú tým istým zákonom. Tieto dve prezentácie sa u Galilea často dostávali do rozporu. Vo svojej teórii pozemského pohybu Galileo prehlásil *kruhový pohyb* za zotrvačný. Na obranu pohybu Zeme uviedol, že keď sa loď pohybuje zotrvačným pohybom, pasažier zavretý v kajute v podpalubí lode nemôže experimentálne určiť, či sa loď pohybuje, alebo stojí zakotvená v prístave. Na druhej strane v teórii prílivu a odlivu na zotrvačnosť kruhového pohybu a na svoj argument s loďou zabúda a prílivovú vlnu vysvetľuje ako dôsledok zloženia dvoch kruhových pohybov (rotácie Zeme a jej obehu okolo Slnka), čo nedáva zmysel.<sup>42</sup>

Ak je kruhový pohyb naozaj zotrvačný, tak by jeho vplyvom k žiadnym prílivom dochádzať nemalo. Keď je pasažier zavretý v kajute malej lode, ktorá je celá umiestnená v podpalubí obrovského tankera, napustenom vodou tak, aby malá loď mohla v podpalubí plávať, pasažier zavretý v kajute malej lode nemôže určiť, či sa niektorá z lodí pohybuje. A presne to sa deje s nami na Zemi – teda aspoň podľa Galilea: dochádza tu k zloženiu dvoch zotrvačných pohybov. Preto argument, ktorý Galileo považuje za definitívny dôkaz pohybu Zeme, je v rozpore s jeho vlastnou teóriou zotrvačnosti. Chybnosť Galileovho výkladu prílivu a odlivu si všimol už Descartes.<sup>43</sup> V snahe zmierniť toto napätie medzi teóriou pohybu a teóriou nebeských javov Galileo pochopil, že na vytvorenie teórie pohybu nestačí zmeniť obraz sveta. Potrebná je omnoho zásadnejšia zmena. Treba zmeniť jazyk, pomocou ktorého svet opisujeme. Inými slovami, treba prejsť k *idealizácii pohybu*.

O dve generácie neskôr Newton vytvoril obraz vesmíru ako acen-trického systému vzájomne interagujúcich telies. Nahradil ním geocentrické aj heliocentrické systémy izolovaných, neinteragujúcich planetárnych pohybov. Newtonov obraz sveta stojí na novom

<sup>42</sup> McMullin, E., „The Conception of Science in Galileo’s Work“, in: R. Butts, J. Pitt (eds.), *New Perspectives on Galileo*, c. d., s. 248.

<sup>43</sup> Shea, W. R., „Descartes as Critic of Galileo“, in: R. Butts, J. Pitt (eds.), *New Perspectives on Galileo*, c. d., s. 140.

druhu idealít: nie na idealizácii tvaru, na ktorej stáli aristotelovský aj kopernikovský obraz, ale na idealizácii pohybu. Newton vo vesmíre nehladá geometrické usporiadanie, ale dynamické zákony. Galileo bol od Newtonovho obrazu vesmíru vzdialený, ba možno mal v mnohých aspektoch bližšie k Aristotelovi ako k Newtonovi (hládal geometrické usporiadanie, a nie dynamické zákony, jeho vesmír mal stred, a teda nebol acen-trický). Ale nemožno popierať, že otvoril mnohé zo zásadných otázok idealizácie pohybu. Preto výklad procesu idealizácie pohybu začneme Galileom.

## 1.1 Galileova inštrumentálna idealizácia plynutia

Pojmy *objektácie*, *re-prezentácie* a *idealizácie*, ktorými sme sa pokúsili zachytiť rôzne etapy vo vývine Galileovej vedeckej aktivity, možno použiť aj na roztriedenie rôznych interpretácií Galileovho diela, s ktorými sa stretáme v odbornej literatúre. Galileov prínos možno interpretovať ako objektáciu, ako re-prezentáciu alebo ako idealizáciu.<sup>44</sup> V Galileovom diele možno nájsť *objektácie* (objektáciu zotrváčnosti a objektáciu prostredia), ako aj *re-prezentácie* (re-prezentáciu pohybu ako geometrického plynutia a re-prezentáciu univerza ako harmonického usporiadania zotrváčnych kruhových pohybov). My sa pri výklade Galilea sústredíme na *idealizáciu*, lebo až z tejto perspektívy možno pochopiť všetky aspekty Galileovho diela v ich jednote. Nadviažeme pritom na Husserlov výklad galileovskej fyziky z *Krisis*. Husserlovi sa podarilo na Galileovom diele ukázať významný epistemologický posun, ktorý oddeluje svet fyziky od žitého sveta. Aj keď z historického hľadiska sú viaceré Husserlove tvrdenia problematické, poukázanie na rozdiel medzi žílym svetom a svetom fyziky má zásadný význam. Historici vedy väčšinou tento rozdiel prehliadajú, fyzikálny obraz sveta neproblematizujú a fyziku vysvetľujú ako upresňovanie prirodzenej skúsenosti. Prístup historikov teda ignoruje proces idealizácie, ktorý je podľa Husserla jadrom zrodu novovekej vedy, a upriamuje pozornosť na ruptúry nižšieho rádu. Preto sa väčšina historických analýz Galileovho diela

sústreduje na re-prezentácie alebo objektácie, kým procesy idealizácie sa venuje iba marginálna pozornosť.<sup>45</sup>

Mnohí si idealizáciu myšľa s abstrakciou. K omylu zvädza predtáva, že ideálnu geometrickú guľu môžeme dostať z reálnej guľe, keď si odmyslíme nerovnosti a drsnosť jej povrchu, jej farbu, teplotu, prípadne aj chuť a vôňu. Čo zostane, je geometrická guľa. Teda na prvý pohľad sa zdá, že ideálna guľa vzniká abstrahovaním z reálnej. Ale v procese abstrahovania nás niečo vedie, smerujeme k ideálnej guľi. Ideálna guľa musí preto existovať skôr než začneme s abstrahovaním, aby sme vedeli, čo máme zanedbať. Jasne to ukáže porovnanie geometrickej idealizácie s fyzikálnou idealizáciou, v procese ktorej si guľa ponechá svoju hmotnosť, tvrdosť a pružnosť. Ideálne objekty fyziky majú hmotnosť, tvrdosť a pružnosť, ideálne objekty geometrie tieto vlastnosti nemajú. Teda to, čo má zostať pri abstrakcii zachované, nezávisí od našej ľubovôle. Abstraktný objekt musí zapadnúť do jazykového rámca, v našom príklade do rámca geometrie či fyziky. *Abstrakcia je jazyková redukcia*, je to nahradenie skutočnosti jej jazykovou deskripciou. Syntax jazyka nás vedie v procese abstrahovania a hovorí, ktoré vlastnosti si môžeme odmyslieť, a ktoré nie. *Konštitutívna idealizácia je konštrukcia nového jazyka*, je to tvorba novej syntaxy, ktorá nás v budúcnosti povedie v procesoch abstrahovania. *Abstrakcia tak predpokladá idealizáciu, preto ju nemôže vysvetliť.*

### 1.1.0 Matematizácia prírody ako Galileov program

Edmund Husserl v *Krisis* opisuje hlavný Galileov prínos do európskej vedy ako matematizáciu prírody, ako premenu sveta kvalitatívnych fenoménov na svet matematických veličín. Aristoteles vo

<sup>44</sup> V knihe *Gramatika zmeny* (c. d.) sme zaviedli rozlíšenie medzi *konštitutívnu idealizáciou* (ktorú sme nazývali *ideácia*) a *substitutívnu idealizáciou* (ktorú sme nazývali *idealizácia*). *Konštitutívna idealizácia* je procesom vzniku nového formálneho jazyka, ktorý konštituuje nový druh ideálnych objektov. Naproti tomu *substitutívna idealizácia* je procesom uchopenia určitej oblasti javov žitého sveta pomocou už existujúcich ideálnych objektov. Hranica medzi týmito procesmi je pomerne neostrá. Napríklad tomu sa však budeme usilovať byť v ich používaní čo najpresnejší. Teda pokiaľ budeme mať na myslí zmenu jazyka, budeme hovoriť o *konštitutívnej idealizácii*, ak však budeme mať na myslí matematické uchopenie určitej oblasti javov (napríklad pohybu, pôsobenia, farieb...), budeme hovoriť o *substitutívnej idealizácii*.

<sup>45</sup> Rozšíreným neudhom filozofie vedy je snaha redukovať vedu na *jediný princíp*. Či už ide o experimentálnu, deduktívnu, alebo o indukčívnu metódu, filozof si myslia, že vedu možno redukovať na jediný mechanizmus. Podľa nášho názoru je veda komplexným a mnohourovňovým súborom činnosti. Namiesť toho, aby sme vybrali jednu z nich a prehľadsi ju za podstatu vedeckej metódy, pokúsime sa opísať, ako sú navzájom prepojené.

svojej filozofii oddelili svet nebeských telies od sveta pozemského.<sup>46</sup> Svet nebeských telies považoval za matematizovateľný – príkladom takejto matematizácie je Ptolemaiova sústava. Naproti tomu pozemský svet umožňuje podľa Aristotela iba kvalitatívny opis a matematizácii sa vymyká. Proti aristotelizmu vystupuje Galileo s koncepciou matematizácie prírody. Podľa nej má každý prírodný jav povahu matematických ideáľi. U niektorých javov ako dĺžka alebo tvar sme schopní priamo nahliadnuť ideálne matematické objekty, ktoré tvoria ich podstatu. U iných javov ako teplo alebo pohyb nijaký ideálny objekt bezprostredne nevidíme. To však nie je podstatné. Galileo je presvedčený, že aj tieto javy majú ideálnu podstatu. Rozdiel je len v tom, že ich ideálna podstatu je skrytá. Galileo tak matematickému opisu prikladá univerzálnu platnosť. Mení svet na matematické univerzum. Každý jav má ideálnu podstatu, kniha prírody je napísaná jazykom matematiky.

Filozofia je napísaná v tejto veľkej knihe, univerze, ktorá je stále otvorená nášmu pohľadu. Ale tejto knihe nemôžno porozumieť, ak sa nenaučíme chápať jazyk a čítať písmená, pomocou ktorých je napísaná. Napísaná je v jazyku matematiky, a jej písmenami sú trojuholníky, kružnice a ostatné geometrické útvary, bez ktorých nemožno porozumieť jedinému slovu.<sup>47</sup>

### 1.1.1 Inštrumentalizácia pozorovania javov a Galileove astronomické objavy

Na jeseň roku 1606 holandský výrobcovia okuliarov zostrojili zariadenie schopné zväčšovať vzdialené predmety. Správa o novom zariadení sa dostala aj do Talianska. Galileo si v januári 1610 sám

<sup>46</sup> Husserl, E., *Križe evropských vied a transcendentálnej fenomenologie*, c. d., s. 43–49.

<sup>47</sup> Galilei, G., *The Assayer*, c. d., s. 237–238.

vyrobil ďalekohľad, pomocou ktorého uskutočnil rad závažných astronomických objavov. Objavil pohoria na povrchu Mesiaca, Jupitrove mesiáčky, fázy Venuše, slnečné škvrny ako aj množstvo nových hviezd. Tak sa behom jediného mesiaca (januára 1610) udialo v astronómii viac než za celé predošlé storočie. Galileove objavy zohrali významnú úlohu pri obhajobe Kopernikovej teórie.<sup>48</sup> Naším cieľom tu nie je výklad týchto objavov ani analýza argumentov v prospech kopernikovskej teórie; založených na týchto objavoch.<sup>49</sup> Chceme upozorniť na iba jednu okolnosť, ktorá ukazuje rozdiel medzi Galileovým pojmám pozorovania a pojmám pozorovania rozšíreným v akademických kruhoch Galileových čias.

<sup>48</sup> Swerdlow, N., „Galileo’s discoveries with the telescope and their evidence for the Copernican theory“, in: P. Machamer (ed.), *The Cambridge Companion to Galileo*, c. d., s. 244–270; Shea, W. R., „Galileo’s Copernicanism: The science and the rhetoric“, in: P. Machamer (ed.), *The Cambridge Companion to Galileo*, c. d., s. 211–243.

<sup>49</sup> Kopernikovská revolúcia predstavuje *re-prezentáciu*, ktorej analýza nie je predmetom tejto knihy. Preto nebudeme ani podrobne analyzovať jednotlivé Galileove astronomické objavy. Velmi významný bol objav *pohorí na Mesiaci*, lebo ukázal, že povrch Mesiaca pripomína povrch Zeme – sú na ňom pohoria a moria. Preto je pravdepodobné, že Mesiac je zložený z rovnakej substancie ako Zem. Teda to, že Mesiac je hore, na oblohe, nie je spôsobené tým, že je z ľahkej substancie, ako tvrdila Aristotelova teória. Mesiac je obrovský kameň, ktorý by podľa Aristotelovej fyziky mal padnúť na Zem. To, že nepadol, ukazuje, že Aristotelova teória neplatí. Rovnako dôležitý bol aj objav *rovny*, datovaný do Galileovej mladosti roku 1572. Na prvý pohľad ide o banálnu udalosť – k miliardám hviezd pribudne ešte jedna. Ale ak sú v transzlunárnom svete možné zmeny, tak jeho matematizovateľnosť nesúvisí s jeho nemennosťou, ako tvrdil Aristoteles. Podľa Aristotela nebo bolo možné opísať matematicky preto, lebo je tvorené zvláštnou substanciou, v dôsledku čoho je nemenné. Keď sa však nebo môže meniť, znamená to, že jeho matematizovateľnosť nesúvisí s jeho nemennosťou, a teda je v princípe možné matematicky opísať aj pozemské javy. Veľký význam mal aj Galileov objav *fáz Venuše*. Z fáz Venuše vyplýva, že táto planéta neobícha po kružnici okolo Zeme, ako predpokladala Ptolemaiova sústava, ale sa od Zeme periodicky vzdaluje a približuje sa k nej, ako tvrdí Kopernikova teória.

Správnu o svojich astronomických pozorovaniach uverejnil Galileo v marci 1610 v malej knihe *Hviezdy posol* (*Siderius nuncius*). Čoskoro po jej uverejnení sa strhla búrka. Vyvolala ju nielen pre-  
vratnosť Galileových objavov, ale aj skutočnosť, že ich urobil pomocou ďalekohľadu. Jeho kritici ho obviňovali z naivoty. Ďalekohľad bol totiž považovaný za iluzionistickú hračku, ktorá ukazuje javy nie také, aké skutočne sú, ale zmenené. Preto „pozorovania“ pomocou ďalekohľadu sú nespoľahlivé a nemôžu byť súčasťou vedy. Veda sa má zaujímať o to, aké veci skutočne sú. Zakladať svoje teórie na ďalekohľade je rovnako naivné ako pokúsiť sa „pozorovať“ prírodu pomocou krivého zrkadla. Galileo sa snažil získať svojich kolegov tým, že im poslal ďalekohľad, aby sa mohli na vlastné oči presvedčiť o pravdivosti jeho slov. „Väčšina prírodných filozofov však jednoducho nepovažovala za hodné pozrieť sa cez Galileov ďalekohľad.“<sup>50</sup> A nie náhodou. Prvú knihu, v ktorej sa spomínajú šošovky, napísal Giovanni Battista Della Porta v roku 1589 pod názvom *Prírodná mágia* (*Magia Naturalis*). Jej sedemnásta kapitola sa zaoberala optickou mágiou, okrem iného aj šošovkami. Šošovky vytvárajú obrazy, ktoré sú väčšie alebo menšie než skutočný obraz vnímaný holým okom. Objekty sa zdajú raz bližšie, inokedy vzdialenejšie, a niekedy dokonca obrátené hore nohami. Teda šošovky neukazujú pravdu, ale vytvárajú rôzne ilúzie. Galileo v snahe prelomiť odpor akademickej komunity presvedčil toskánskeho vojvodu, aby poslal teleskop ako dar iným vládcom. Rátal s tým, že väčšina vládcov má dvorných matematikov a tí budú poverení preskúmaním príslušného inštrumentu nezávisle od toho, či sa im to páči, alebo nie. Tak v auguste 1610 dostal aj Rudolf II. do daru teleskop, ktorý dal preskúmať svojmu dvornému matematikovi Keplerovi. Kepler uvidel Jupiterove mesiáčky a svojou autoritou sa postavil plne za Galilea v spise *Narratio de observatis a se quatuor Jovis satellitibus erroribus...*<sup>51</sup>

<sup>50</sup> Ronchi, V., „The influence of the early development of optics on science and philosophy“, in: E. McMullin (ed.), *Galileo, Man of Science*, c. d., s. 201.  
<sup>51</sup> Tamtiež, s. 202.

Galileo použitím ďalekohľadu vniesol zásadnú zmenu do chápania pozorovania. Klasické astronomické inštrumenty ako sextant či astroláb sa len prikladali k osi pohľadu, spájajúcej oko s objektom na oblohe. Nezasahovali teda do spôsobu, ako je nám odkrytý príslušný objekt v prirodzenej skúsenosti. Modifikovali len podmienky jeho danosti tým, že pomocou priloženej uhlovej mierky umožnili presnejšie určiť polohu objektu na oblohe. Preto možno povedať, že klasické nástroje len *sprešňujú našu prirodzenú skúsenosť*. Ich presnosť má tak medze dané rozlišovacou schopnosťou zraku. Naproti tomu Galileov ďalekohľad je nástroj, ktorý vstupuje medzi nás a objekt, ktorý pozorujeme. Umožňuje uvidieť veci, ktoré bez jeho pomoci nemáme možnosť zahliadnuť (Jupiterove mesiáčky a nespočetné množstvo hviezd, ktorých jasnosť je pod prahom citlivosti oka). Ďalekohľad zásadným spôsobom obohacuje svet našej skúsenosti, posúva jeho hranice, ba možno povedať, *odkrýva našej skúsenosti nové svety*. Zlepšovaním šošoviek ďalekohľadu, prípadne zmenou princípu jeho konštrukcie je možné presnosť pozorovania takmer neobmedzene ďalej zlepšovať. Konštrukcia čoraz väčších a dokonalejších ďalekohľadov mala v dejinách astronómie rozhodujúcu úlohu. Okrem ďalekohľadu Galileo významne prispel aj k objavu mikroskopu. Dovedna vytvoril osem druhov nástrojov, ktorých opis je uvedený v stati *The instruments of Galileo Galilei*.<sup>52</sup>

<sup>52</sup> Bedini, S., „The instruments of Galileo Galilei“, in: E. McMullin (ed.), *Galileo, Man of Science*, c. d., s. 256–292. Význam inštrumentov je v tom, že rozširujú, stabilizujú, sprešňujú a homogenizujú našu skúsenosť a robia ju registrovateľnou, štandardnou, reprodukovateľnou a intersubjektívnou. Tieto aspekty sa však týkajú roviny re-prezentácií. V prvom priblížení možno povedať, že každá re-prezentácia prináša vlastnú inštrumentálnu prax. Z hľadiska výkladu procesu idealizácie sú uvedené aspekty inštrumentálnej praxe vedľajšie, preto sa ich podrobnému výkladu nebudeme venovať.



### 1.1.2 Experimentálna matematizácia javov a Galileov objav zákona voľného pádu

Nástroje ako ďalekohľad či mikroskop rozširujú síce horizont našej prirodzenej skúsenosti, nemenia však jej charakter, nezasahujú do konštitúcie javu, ktorý pozorujeme. Menia len ostrosť a rozlišovacia schopnosť, s akou je jav odkrytý zraku, samotného javu sa však nedotýkajú. Existuje však celý rad javov, na uchopenie ktorých inštrumentalizácia pozorovania nepostačuje. Napríklad pri voľnom páde nie sme schopní nahliadnuť, ako teleso padá. Tak, ako je nám voľný pád daný v bezprostrednom názore, je príliš neurčitý na to, aby sme ho mohli exaktne opísať. A nepomôže ani inštrumentalizácia pozorovania. Problém nespočíva v neostroti zraku, ale v neostroti samotného javu. Keďže voľný pád je pohyb, na jeho konštitúcii sa podieľa čas. Na vnímanie času však nemáme zmyslový orgán, ktorého ostrosť by sa dala zvýšiť pomocou inštrumentov. Tu nepotrebuje zosťriť naše zmysly, ktorými jav pozorujeme. Zosťriť treba samotný jav.

Podľa programového prehlásenia matematizácie prírody sú aj za zjavným povrchom voľného pádu skryté ideálne matematické objekty, ktoré ho určujú absolútne presne. Ide len o to, ako k nim preniknúť. Mnohé prírodné javy sú príliš komplexné, takže ich nemôžeme uchopiť priamo. Preto treba vytvoriť zjednodušené situácie, v ktorých sa jav odkryje v čistej podobe, v ktorých sa jeho ideálna podstata vyjaví. Vytvorenie takejto situácie vyžaduje invenciu a Galileovo uchopenie voľného pádu je príkladom takejto invencie. Pre Aristotela boli voľný pád a vodrový pohyb kvalitatívne odlišné pohyby. Voľný pád bol prirodzeným pohybom, teleso sa pohybovalo na svoje prirodzené miesto. Naproti tomu vodrový pohyb bol pohybom neprírodným, vyžadujúcim hýbatela. Galileo sa na tieto dva pohyby pozrel z hľadiska naklonenej roviny. Voľný pád je vlastne pohybom po torálne naklonenej (zvislej) rovine, kým vodrový pohyb je pohybom po rovine, ktorej sklon je nulový. Postupným nakláňaním podložky možno od voľného pádu prejsť k pohybu vodrovému a späť. Takto Galileova predstavivosť

dokázala spojiť javy, ktoré zdaniivo nesúvisia.<sup>53</sup> Toto spojenie má výhody, lebo pohyb po mierne naklonenej rovine prebieha pomaly, takže je prístupný pozorovaniu.

Keď si na „šikmú plochu“ čo najviac vyleštenú a tvrdú<sup>54</sup> nakreslíme vodrovne čiary s konštantným odstupom a začneme po nej kotúlať „gule“ čo najokruhlejšie a najtvrdšie,“ môžeme zaznamenať, kde sa bude guľa nachádzať po prvej, druhej, tretej... sekunde. Pokusmi s naklonenou rovinou Galileo objavil krásnu zákonitosť. Dráha prejde guľou po naklonenej rovine narastá s druhou mocninou času. Za prvý časový úsek dosiahla guľa prvú, za druhý časový úsek štvrtú, za tretí deviatu čiaru. Keď rovinu naklonil ešte viac, pohyb sa zrýchlil, avšak základný zákon – dráha úmerná štvorcovej času – zostal zachovaný. Preto možno usúdiť, že aj keď bude poloha podložky zvislá, dráha bude stále úmerná štvorcovej času, hoci nemáme možnosť pozorovať to priamo.<sup>55</sup>

<sup>53</sup> V tomto prepojení zdaniivo nesúvisiacich javov mu možno pomohla skúsenosť s archimédovskou relativizáciou ťaže – tu sa tiež dva kvalitatívne odlišné javy aristotelovskej fyziky („ľahkosť“ a „ťažkosť“) dostávajú do vzájomného vzťahu pomocou prostredia (vody), ktorá z „ťažkého“ predmetu (kusy dreva, padajúceho dole) urobí „ľahký“ predmet (drevo držiace sa „hore“ na hladine). Voda ako prostredie v ktorom sa odohráva pohyb tak pripomína naklonenú rovinu, po ktorej prebieha pohyb.

<sup>54</sup> Galilei, G., *Diálogo o dvoch systémoch sveta*, c. d., s. 29.

<sup>55</sup> Situácia so zákonom voľného pádu je o niečo zložitejšia. Guľa sa pri pohybe po naklonenej rovine pohybuje nielen posuvným, ale aj rotačným pohybom. Preto sa nielen zrýchľuje, ale aj rotácia, teda narastá ako jej hybnosť, tak aj moment hybnosti. Ak sa guľa pohybuje bez sklzu, uhlová rýchlosť rotačného pohybu je priamo úmerná rýchlosti posuvného pohybu. (V prípade pohybu telesa po naklonenej rovine bez rotácie je rýchlosť  $v = g \cdot \sin(\alpha) \cdot t$ , kým v prípade pohybu rotujúcej guľe dostaneme vplyvom strát na moment hybnosti menšiu hodnotu rýchlosti  $v = (5/7) g \cdot \sin(\alpha) \cdot t$ , čo je takmer o 30 % menej.) Galileo si pozorujúc druhú zákonitosť myslel, že pozoruje prvú. Pri prechode k voľnému pádu ( $\sin(\alpha) = 1$ ) však nastáva problém, lebo efekt rotácie guľe sa postupne vypne. Našafaste sa obidva pohyby zrýchľujú rovnako, takže zákonitosť „dráha úmerná štvorcovej času“ sa prítomnosťou rotácie nenarušuje. Preto záver, ktorý Galileo zo svojich pozorovaní vyvodil, platí, aj keď treba dodať, že „s trochou štastia“.

Experiment *vytvorením umelej situácie*, v ktorej je ideálna podstatu javu prístupná priamemu pozorovaniu, vrhá svetlo na situácie, v ktorých je ideálna podstatu javu skrytá. Pohyb po naklonenej rovine umožňuje odhaliť zákon voľného pádu. Takto prichádzame k pojmu experimentu ako *odkrytíu umelej situácie* podstaty javov. Experiment je založený na nahliadnutí určitej súvislosti, ktorá umožní vytvoriť *umelú situáciu* (pohyb po naklonenej rovine), v rámci ktorej sa vyjavi ideálna podstatu skúmaného javu (voľného pádu). Její vyjadrením v jazyku matematiky vzniká *empirický zákon*. Galileov zákon voľného pádu predstavuje jeden z prvých zákonov novovekej fyziky.

### 1.1.3 Meranie ako konštitúcia javu a pojem atmosférického tlaku

Experiment vytvára pomocou umelých situácií prístup k ideálnej podstate javov. Často sa tým jeho úloha končí. Napríklad v prípade experimentu s naklonenou rovinou potom, čo Galileo zistil, že dráha narastá s druhou mocninou času, mohol dosku, ktorá mu slúžila ako naklonená rovina, odovzdať múzeu. Naproti tomu keď Torricelli pri experimentálnom skúmaní „horronu vacui“ vytvoril v sklenenej trubici nad ortuťovým stĺpcom vákuum (čím dokázal možnosť existencie prázdneho priestoru, ktorú Aristoteles popieral) a otvoril tým nový pohľad na povahu tlaku, príbeh sa tým neskončil. Z Torricelliho trubice bol postupne vytvorený barometer. Atmosférický tlak, k ideálnej podstate ktorého Torricelli svojím experimentom preniesol, totiž nie je inak prístupný. V bežnej skúsenosti ho nevnímate a mnohé kultúry ani netušili, že niečo také ako atmosférický tlak vôbec existuje. Kým teplo má ekvivalent v bežnej skúsenosti, a tak teplomer možno vykladať ako inštrument, ktorý skúsenosť iba spresňuje, atmosférický tlak takýto výklad neumožňuje. Naopak, až pomocou barometra je atmosférický tlak *konštituovaný ako fenomén*, t. j. ako súčasť ľudského sveta.<sup>56</sup> Barometer vytvára prístup k fenoménu atmosférického tlaku.

<sup>56</sup> V bežnej skúsenosti javy prirodzene pozorujeme, niektoré z nich (na-

Na príklade barometra vidíme, že meranie atmosférického tlaku vzniká štandardizáciou Torricelliho experimentu. Preto ak chceme pochopiť, čo je meranie, nesmieme zabudnúť, čím je experiment – je vyjavením ideálnej podstaty javu pomocou umelej situácie. Meranie je založené na tom, že umelú situáciu, t. j. predmet, vzťahy a postupy, ktoré ju konštitujú, postupne *štandardizujeme*. V prípade barometra zafixujeme rozmery trubice, číselnú stupnicu, ktorú k trubici pripojíme, kvalitu ortute a tepelné rozmedzie, v ktorom možno prístroj použiť. Tým sa zabezpečí *reprodukovateľnosť*, a teda intersubjektívna merania. Preto aj keď javy ako atmosférický tlak, ultrazvuk či Röntgenovo žiarenie nie sú prístupné bežnej skúsenosti, ale ukazujú sa vždy iba v rámci určitej *umelej situácie*, ktorá umožňuje odhaliť ich *ideálnu podstatu*, prostredníctvom *štandardizácie* tejto umelej situácie možno prislúšné javy (a s nimi zviazané ideality) zmeniť na javy *reprodukovateľné*, a tým ich trvalo začleniť do intersubjektívne zdieľaného sveta našej civilizácie. Na štandardizáciu často nadväzuje *enkapsulácia*, teda uzavretie umelej situácie do vnútra určitého predmetu, z ktorého sa stane merací prístroj nového druhu. Tak sa umelá situácia stane „prenosnou“ a nový prístroj môže začať vstupovať do procesu inštrumentalizácie pozorovania iných javov. Merací prístroj je teda nástrojom umožňujúcim začať uskutočňovať program matematizácie prírody.<sup>57</sup>

príklad dĺžku a tiaž) prirodzene *matematizujeme*, pričom javy majú v našej bežnej skúsenosti prirodzenú *konštitúciu*. Do týchto troch aspektov danosti javov žitého sveta Galileo vnáša zmeny, ktoré sa stali trvalou súčasťou fyziky. Prirodzené pozorovanie nahrádza *inštrumentálnym*, prirodzenú matematizáciu nahrádza *experimentálnou* a prirodzenú konštitúciu javov nahrádza konštitúciu v *meraní*. Rozvojom inštrumentálnej praxe sa fyzika postupne viac a viac vzdáľuje fenomenálnemu svetu žitej skúsenosti. Meranie v sebe spája umelú situáciu experimentu, ktorá spravídla vedie ku vzniku nového druhu inštrumentov (barometer, interferometer...), ktoré umožňujú merať novú fyzikálnu veličinu alebo „starú“ (t. j. už meranú) veličinu umožňujú merať s novou, vyššou presnosťou.

<sup>57</sup> V istom zmysle sú všetky tri doteraz spomínané aspekty galileovskej fyziky *inštrumentálne*. V bode 1.1.1 sme opísali *inštrumentálnu premennu pozorovania*, teda prirodzeného vzťahovania sa k javom. Tu inštrument (ako da-

Spočiatku, pokým sa fyzika pohybuje vo sfére javov, ku ktorým máme bezprostredný prístup pomocou zmyslov, je možné experimenty a meranie chápať ako spresnenie zmyslami predkladaného obrazu skutočnosti. Napríklad pri voľnom páde síce nie sme schopní na základe zmyslového vnímania rozhodnúť, či pád prebieha rovnomerne, alebo zrýchlene, ale vcelku tento jav dôverne poznáme. Experiment umožní určiť, že ide o pohyb zrýchlený, takže možno povedať, že spresnil obraz voľného pádu, ktorý sme si vytvorili v rámci každodennej skúsenosti. V prípade teploty je výklad merania ako spresnenia zmyslového obrazu, ktorý získavame pri bezprostrednom dotyku telesa, už o niečo problematickejší. Merat totiž vieme aj teploty telies, pri dotyku s ktorými by nám ruka zaholnata, takže tu nemožno hovoriť o nejakom zmyslovom obraze, ktorý by meranie iba spresňovalo. V prípade atmosférického tlaku je situácia ešte horšia. Pokles tlaku sa vo fenomenálnej rovine prejavuje najprv pocitmi bolesti hlavy a končí explóziou organizmu potom, čo plyny viazané v telesných tekutinách prekročia bod varu. Hovoriť o meraní tlaku ako o spresňovaní prirodzenej skúsenosti už nemôžeme. Čo znamená v prirodzenej skúsenosti tlak 0,1 atmosféry, to je mimo možnosti ľudskej predstavivosti. Pri takomto tlaku by bol náš organizmus už dávno roztrhaný na kusy.

Meranie teda nielen upresňuje javy bežnej skúsenosti, ale umožňuje aj *inštrumentálne rozšíriť fyzikálnu realitu ďaleko za hranice fenomenálnej skutočnosti*. To, s čím sme za hranicami bežnej skúsenosti konfrontovaní, je často dosť odlišné od toho, na čo sme boli zvyknutí vo fenomenálnej oblasti. Fyzikálny obraz sveta sa neustále lekohľad, lupca či mikroskop) spresňuje pozorovanie, posúva jeho horizont rozlíšiteľnosti. V bode 1.1.2 sme opísali vznik *novej experimentálnej praxe* pomocou predmetov, ako je naklonená rovina. Tu by bolo možno príliš hľavejšie hovoriť o artefaktoch než o inštrumentoch, ale v širšom zmysle je možné pod pojem inštrumentu zahrnúť aj naklonenú rovinu. Napokon v bode 1.1.3 opisujeme, ako možno štandardizáciou artefaktov (či inštrumentov, ako je Torricelliho trubica s ortuťou) použitých pri experimente vytvoriť *inštrumenty nového druhu*, ktoré umožnia merať dovedty nemerateľné veličiny, a tým radikálne pretvoriť inštrumentálnu prax.

prispôsobuje najnovším výsledkom získaným v procese merania, a tak sa postupne vzdaluje od obrazu sveta, ktorý sme si vytvorili v rámci prirodzenej skúsenosti. Pri bežnom pohľade sa môže zdať, že zmyslová skúsenosť je v súlade s inštrumentálnou skutočnosťou a je len jej doplnením o subjektívne aspekty. Ale nie je to tak. Medzi fenomenálnou a inštrumentálnou skutočnosťou je rozpor. Tento rozpor si uvedomil Husserl, keď ukázal, že prístroj nespresňuje zmyslový vnem, ale naopak, vytláča ho z hry a nahrádza ho číslom, t. j. matematickou idealitou, ktorá je čímsi zásadne odlišným od zmyslového vjemu.

Merací prístroj je technické zariadenie umožňujúce reprodukovateľným spôsobom previesť zmeny určitého fenoménu (napríklad teploty alebo tlaku) na zmeny dĺžky. Dĺžka má však už ideálnu povahu, zjemňovaním jej delenia sa možno, aspoň teoreticky, dopracovať k absolútnej presnosti. Preto merací prístroj umožňuje fenomény, ktoré nám zmysly predkladajú ako akési nejasné, nestále a neurčité vnemy, *nahradiť ideálnymi matematickými objektmi*. Z prírody, ktorá pre antiku bola ešte svetom fenomenálnych obsahov, sa postupne stáva svet fyzikálnych veličín.<sup>58</sup> Až tento svet veličín je východiskom matematizácie prírody. Veda teda nematematizuje pôvodné *fyzis* antickej filozofie, Aristoteles mal pravdu, keď tvrdil, že to nie je možné, že teplo, farba ani chuť tak, ako ich vnímame, sa matematizovať nedajú. Veda nematematizuje fenomény, ale iba obraz fenomenálneho sveta, ktorý získava experimentovaním a meraním. Prítom mnohí vedci veria a fenomenológovia pochybujú, že tento obraz je verný.<sup>59</sup>

<sup>58</sup> Fenomenálny obsah tu chápeme ako protiklad matematickej veličiny (teda napríklad pocit tepla ako protiklad teploty nameranej pomocou termometra), a nie ako člen antickeho protikladu formy a obsahu.

<sup>59</sup> Podľa Husserla je idealizácia riešením rozporu medzi fenomenálnou skutočnosťou bežnej skúsenosti a inštrumentálnou skutočnosťou experimentálnej praxe. Snáď naimarkantnejšie sa tento rozpor prejavuje v otázke pohybu Zeme, kde nás veda učí neveriť vlastným očiam, ukazujúcim, že Zem je nehybná. Musíme si namiesto toho vsugerovať predstavu, že nás

### 1.1.4 Galileov princíp zotrvačnosti a idealizácia pohybu

V kapitole 1.1.2 sme vyložili Galileovu teóriu voľného pádu, ktorá sa zrodila z experimentálneho skúmania pohybu po naklonenej rovine, ako teóriu pohybu po totálne naklonenej, t. j. zvislej rovine. Zaujímavá je však aj druhá krajná poloha Galileovho experimentu s naklonenou rovinou – vodorovná doska. Predstavme si, že doska sa zvažuje zľava doprava, a kotúlajme po nej guľu v tom istom smere, t. j. zľava doprava. Pohyb guľe sa bude zrýchľovať. Keď budeme postupne znižovať sklon podložky, až cez vodorovnú polohu dostaneme opačný sklon, pričom guľa sa po doske stále kotúľa zľava doprava, zistíme, že pri pohybe nahor sa jej pohyb začne spomaľovať. Teda pohyb „z kopca“ je zrýchlený, kým pohyb „do kopca“ je spomalený. Preto vodorovný pohyb by nemal byť ani zrýchlený, ani spomalený. Takto Galileo prišiel k objavu *zotrvačnosti pohybu*:

[...] pohyblivé teleso po odstránení všetkých vonkajších a náhodných prekážok sa pohybuje po naklonenej rovine pri zmenšovaní sklonu roviny čoraz pomalšie, takže nakoniec sa pomalosť stáva nekonečnou vtedy, keď sa uhol rovná nule a stáva sa vodorovnou rovinou [...]. Ale pohyb po rovnobežke [t. j. po vodorovnej čiare – L. K.], ktorá nie je ani naklonená, ani zdvihnutá, je kruhový pohyb okolo

Zem neustále naša rýchlosťou vyše 10 000 kilometrov za hodinu. Vedcov priviedli k tejto predstave astronomické pozorovania. Veda má však tendenciu tento rozpor potláčať. Snaží sa nás presvedčiť, že medzi fenoménmi každodennej skúsenosti a ich vedeckým opisom existuje spojité prechod. Preto je zvykom vykrešľovať aristotelovskú fyziku ako zberku predsudkov, kým Galilea a Newtona ako obhajcov zdravého rozumu. Ale nedajme sa pomýliť. To aristotelovská fyzika je fyzikou beznej skúsenosti a zdravého rozumu. Moderná veda sa zrieka každodennej skúsenosti a zdravého rozumu v mene skúsenosti, ktorá je výsledkom inštrumentálneho pozorovania, experimentov a merania.

strediu; z toho vyplýva, že tento pohyb sa nedosiahne prirodzenou cestou bez predchádzajúceho pohybu po priamke – ale keď pohyb už bol raz dosiahnutý, bude prebiehať večne s rovnakou rýchlosťou.<sup>60</sup>

Podľa Aristotela musel mať každý pozemský pohyb svojho hýbateľa, príčinu, ktorá ho vyzvolávala. Základná Aristotelova percepčia bola percepčia pokoja a pohyb bol ponímaný ako jeho narušenie, ako vybočenie z pokoja v dôsledku nejakej príčiny. Aristotelovo chápanie pohybu sa teda riadilo princípom, ktorý by bolo možné nazvať *princípom termínálnosti pohybu*. Podľa tohto princípu každý pozemský pohyb skôr alebo neskôr ustane. Galileo prichádza s novým princípom, ktorý sa tradične nazýva *princípom zotrvačnosti pohybu*. Hovorí, že keby na teleso umiestnené na dokonale hladkej vodorovnej ploche nepôsobilo trenie, teleso by zotrvalo v rovnomernom pohybe neobmedzene dlho. To je čosi celkom iné než u Aristotela. Už nie pohyb, ale len zmeny pohybu vyžadujú vysvetlenie. Netreba vysvetliť, prečo sa teleso hýbe, ale prečo zastane. Nepotrebuje teóriu hýbateľa, ale skôr teóriu „zastavovateľa“ (t. j. teóriu trenia).

Galileo formuláciou princípu zotrvačnosti mení od základu chápanie pohybu. Rodí sa nová odkrytosť pohybu, nový spôsob, ako sa s pohybom stretáme. Pritom nesmieme zabúdať, že so zotrvačným pohybom sa nestretáme v prirodzenej skúsenosti, ale v rámci umelej experimentálnej situácie na dokonale hladkom vodorovnom povrchu. Možno teda povedať, že Galileo prispôbuje chápanie pohybu experimentálnej praxi. Pohyb sa u Galilea stáva *ideálnym samovoľným plynutím*. Pohyb plynie dokonale, pravidelne, rovnomerne. Gréci si nedokázali predstaviť, že by niečo bolo ideálne, a pritom premenlivé. Pre nich dokonalé znamenalo zavŕšené a nemenné. Preto Aristoteles popieral možnosť matematického opisu subľunárneho sveta. Naproti tomu Galileo si bol schopný predsta-

<sup>60</sup> Galilei, G., *Dialóg o dvoch systémoch sveta*, c. d., s. 35.

víť, že niečo je premenlivé, a pritom ideálne. Zotrvačný pohyb alebo voľný pád sú čímsi ideálnym, opisateľným matematickým vzťahom, a pritom premenlivým.

Vечný pohyb existoval podľa Aristotela iba na nebi. Mal podobu rovnomerného pohybu po kružnici a bol prejavom piatej substancie. Podľa Aristotela však kruhový pohyb nepredstavuje zmenu, respektíve predstavuje najmenšiu možnú zmenu, lebo kruhový pohyb je stále zhodný so sebou. Zmena je podľa Aristotela charakteristická pre sublunárnu sféru. V nej čosi takého ako večný pohyb nie je možné. Na Galileov princíp zotrvačnosti sa tak môžeme pozerat ako na zrušenie rozdielu medzi sublunárnou a translunárnou oblasťou z hľadiska pohybov. Toto „znesenie nebeského pohybu na Zem“, ktoré je protipólom „vynesenia pozemskej substancie na Mesiac“, si však postupne vynútilo radikálnu prestavbu chápania pohybu. Galileo ešte ponecháva zotrvačnému pohybu jeho kruhovosť, ktorú možno vnímať ako pozostatok jeho „aristotelovského pôvodu“. Ale to nie je dôležité. Rozhodujúce je to, že Aristotelova bariéra oddeľujúca nebo a Zem je prelomená. Nebeské telesá sú tvorené takou istou látkou ako pozemské a pozemské telesá sú tak ako nebeské schopné zotrvačného pohybu. Táto *homogenizácia* vnaša do fyzikálneho výkladu sveta napäťe, ktoré vyrieši až Newton.

Princíp zotrvačnosti do istej miery pripomína Buridanovu *teóriu impetu*.<sup>61</sup> Je tu však zásadný rozdiel. Teória impetu mala za cieľ zabudovať do aristotelovskej teórie pohybu jav zotrvačnosti spočívajúci napríklad v tom, že kameň si udržuje smer pohybu aj potom, čo opustí ruku, ktorá ho hodila.<sup>62</sup> Galileo dospel po niekoľkoroč-

<sup>61</sup> Výklad Buridanovej teórie impetu možno nájsť v Simonovi, K., *A fyzika kultúrörénege*, Gondolat, Budapest 1986, s. 142–143.

<sup>62</sup> Stredoveká teória impetu bola *objektívou* zotrvačnosti v aristotelovskej fyzike. Zotrvačnosť spredmetňovala v podobe *impetu*, substancie, ktorú hýbateľ vkladá do pohybovaného predmetu. Impetus je tak iba ďalším prvkom aristotelovského univerza. Zotrvačnosť pohybu vrhnutého telesa v rámci teórie impetu niako nesúvisí so zotrvačnosťou nebeského pohybu a obmedzuje sa na úzky okruh javov, ako sú vrhy, strely a podobné nepri-

nom mátnom úsilí k názoru, že jav zotrvačnosti sa do Aristotelovho systému zabudovať nedá a že treba opustiť aristotelovskú reprezentáciu pohybu a nahradiť ju reprezentáciou novou, v ktorej by bola zotrvačnosť pohybu základným princípom. Galileo tak povýšil zotrvačnosť na princíp. Nie je to už anomálny jav, ktorého anomálnosť treba pomocou teórie impetu „odinterpretovať“, a nie je to ani nijaký okrajový jav, ktorý by sa týkal iba nebeských telies. Práve naopak zotrvačnosť je ústredný jav, na ktorom treba založiť novú interpretáciu pohybu. Princíp zotrvačnosti konštituuje úplne novú odkrytosť javov, odkrytosť, v rámci ktorej je pohyb večným, nemenným plynutím.

Všetky pohyby, s ktorými sa na Zemi stretávame, majú prirodzenú tendenciu sa zastaviť. Preto keď Galileo dospel k záveru, že v skutočnosti sú pohyby zotrvačné a že ich zastavovanie je iba dôsledkom trenia, fyzika opúšťa oblasť prirodzenej skúsenosti, ba dostáva sa s ňou do priamej opozície. Keby sa stoli voľne pohyboval po izbe, asi by sme boli prekvapení. Galileo však hovorí, že by sme prekvapení byť vôbec nemali, že pohybovať sa voľne po miestnosti je to najprirodzenejšie, čo taký stoli môže robiť, a že prekvapujúce je skôr to, že to nerobí. Teda nie pohyb stola, ale práve jeho nehybnosť je čosi neprirodzené, čo treba vysvetliť. Vysvetlenie spočíva v tom, že povrch izby nie je dokonale hladký a dokonale tvrdý, takže bráni stolu prejavíť svoju prirodzenosť. Galileova teória teda považuje za prirodzenosť telies čosi, čo nikto nikdy nevidel. To, ako sa telesá bežne prejavujú a čo sa s nimi neustále deje, je údajne pre ne celkom neprirodzené. Povedané Koyrého slovami:

Galileova fyzika vysvetľuje to, čo je, tým, čo nie je [t. j. reálny pohyb pohybovom vo vákuu – L. K.]. Descartes a Newton idú ďalej: ich fyzika vysvetľuje to, čo je, tým,

rodzené pohyby. Naproti tomu Galileoov princíp zotrvačnosti je základom novej *re-prezentácie*. Zotrvačnosť pozemského pohybu a zotrvačnosť nebeského pohybu sa riadia tým istým princípom, ktorý sa u Descarta presadá ako univerzálny princíp, ktorému podliehajú všetky pohyby.

čo nemôže byť, vysvetľujú skutočné nemožným [t. j. reálny pohyb pomocou rovnomerného priamociareho pohybu – I. K.]. Pre Newtona je priamociary pohyb telesa vrhnutého do priestoru nemožný, pretože pôsobenie ostatných telies ho zmení, odkloní ho. Teleso by sa mohlo pohybovať po priamke, keby bolo samé v priestore, čo je, samozrejme, nemožná podmienka. Ale táto podmienka je iba kontingentne nemožná. Lebo, prísne vzaté, Boh by bol schopný túto podmienku uskutočniť. V Descartovom prípade je nemožnosť zotrvačného pohybu omnoho hlbšia. Pre neho, tak ako pre Newtona, je táto nemožnosť v istom zmysle externá. Teleso sa nemôže pohybovať po priamke, lebo iné telesá, tie, ktoré ho obklopujú, mu v tom zabránia. Ale pre Descarta je izolované teleso nemysliteľné. Ani Boh nemôže odstrániť prekážky, ktoré s nevyhnutnosťou stoja v jeho ceste. Napokon, u Galilea táto nemožnosť nie je externá. Ak sa žiadne teleso nemôže pohybovať po priamke, nie je to spôsobené tým, že telesá nevyhnutne narážajú na prekážky alebo podliehajú príťažlivosti, ktorými v tom zabráni. Samotné teleso odmieta priamociary pohyb. Jeho ťaž ho ťahá dole. Takže vidíme, že *Galileo nesformuloval princíp zotrvačnosti*. Neprešiel celú vzdialenosť na ceste od usporiadaného kozmu antickej a stredovekej vedy k nekonečnému vesmíru klasickej vedy. Bol to Descartes, komu bolo súdené dosiahnuť to.<sup>63</sup>

<sup>63</sup> Koyré, A., *Galileo Studies*, c. d., s. 200. Teória epistemických ruptúr umožňuje rozlíšiť aj pri výklade princípu zotrvačnosti rovinnú idealizáciu a reprezentáciu. V rovine *idealizácií* prišiel Galileo so zásadnou myšlienkou, že opis pohybu sa musí zakladať na princípe zotrvačnosti. Zotrvačnosť ale nesprávne pripísal kruhovému, a nie priamociaremu pohybu. Tento omyl je však korigovateľný v rovine *re-reprezentácií*. Z hľadiska *idealizácií* je rozhodujúce, že pohybu pripísal zotrvačnosť. V rovine *re-reprezentácií* má Galileov systém mnoho chýb, a tak ho Descartes i Newton opravujú. Ale to, že *pohyb nie je termínálny, ale zotrvačný*, to je zásadný vŕhľad, ktorý od Galilea obdivujú preberajú.

### 1.1.5 Rozlíšenie primárnych a sekundárnych kvalít – prvý krok na ceste k pojmu stavu

V práci *Sklúšač zlata* Galileo predložil rozlíšenie všetkých vlastností s ktorými sa stretávame v bežnej skúsenosti, na primárne a sekundárne kvality:

Myslím si, že chute, vône, farby a tak ďalej sú len púhymi menami, pokiaľ ide o objekty, do ktorých ich umiestňujeme, a že sídliť len v našom vedomí. To znamená, že ak by boli odstránené živé bytosti, všetky tieto kvality by boli odstránené a anihilované.<sup>64</sup>

To znamená, že fyzikálne reálny nie je obraz, ktorý nám o skutočnosti predkladajú zmysly, ale iba tá jeho časť, ktorú vieme objektívizovať pomocou merania. Iba tá môže byť predmetom vedeckého skúmania. V tejto redukcii skutočnosti na primárne kvality je možné na jednej strane vidieť predobraz mechanistického obrazu skutočnosti a na druhej strane vzdialeného predchodcu fyzikálneho pojmu stavu. Podobne ako od Galileovho princípu zotrvačnosti kruhového pohybu vedie ešte dlhá cesta, ktorú treba prejsť k princípu zotrvačnosti modernej fyziky, aj v prípade redukcie skutočnosti na primárne kvality stojí pred nami ešte dlhá cesta k vytvoreniu pojmu stavu. Tu navyše, na rozdiel od princípu zotrvačnosti, asi ani nie je úplne opodstatnené pripisovať Galileovi zásluhu na objave pojmu stavu, pretože jeho predstava redukcie skutočnosti je ešte veľmi vágna a neosahuje ideu predikcie časového vývinu, ktorá je z hľadiska pojmu stavu zásadná. Napriek tejto vágnosti a obmedzenosti však nemožno poprieť, že sa tu objavuje myšlienka *redukcie javovej stránky skutočnosti na jej matematický opis*, ktorá sa neskôr v inej podobe a v inom kontexte stane kľúčovým momentom ďalšieho rozvoja fyziky.

<sup>64</sup> Galilei, G., *The Assayer*, c. d., s. 274.

### 1.1.10 Galileovo pojmie pohybu ako geometrického toku<sup>65</sup>

V každodennej skúsenosti sa s pohybom stretávame ako s procesom, ktorý skôr či neskôr zastane. Takýto pohyb je predmetom aristotelovskej fyziky. Podľa Aristotela je pohyb premiestnením sa telesa z jedného miesta na druhé. Pohyb je teda určený dvoma miestami. Jednak je to východisko pohybu, teda miesto kde sa teleso nachádza predtým, než sa začne pohybovať, jednak cieľ pohybu, teda miesto, kam teleso svojím pohybom smeruje. Pohyb končí, keď teleso dosiahne svoj cieľ. Toto pojmie pohybu možno preto označiť ako teóriu *geometrického prechodu*. *Geometrického* preto, lebo jej základom je geometrická predstava o stavbe univerza v podobe Aristotelovej teórie miest a pohybu je *prechodom* z jedného miesta na iné.

Ako sme už uviedli, Galileov princíp zotrvačnosti zásadne mení toto pojmie. Galileo hovorí o pohybe, aký, prísne vzaté, nikdy nikto nevidel, o pohybe ako o večnom plynutí. Pohyb podľa neho nemá východisko ani cieľ, nie je prechodom z jedného miesta na druhé. Samozrejme, existujú prípady, keď pohyb má koniec. Napríklad pri voľnom páde teleso zastane po dopade na zemský povrch. Ale za stavenie pohybu je len dôsledkom nárazu na prekážku. Koncový bod nepatrí k samotnému pohybu, vzniká umelo, zásahom do jeho plynutia. Voľný pád nesmeruje ku koncovému bodu ako k svojmu cieľu, ale je v tomto bode umelo prerušený. Pohyb podľa Galilea nie je ani pohybom odmietkať, ani pohybom niekam. Pohyb je pohybom niekadiaľ, je prechodom po určitej trajektorii. Galileo tak

<sup>65</sup> Čitateľa možno prekvapilo, že po kapitole 1.1.5 nasleduje kapitola 1.1.10. Čísła kapitol však nie sú poradové čísla určujúce miesto danej kapitoly v rade ostatných, ale odrážajú celkovú štruktúru jazyka. Bod 1.1.6 by mal zodpovedať zákonu zachovania hybnosti tak, ako sa s ním možno stretnúť u Descarta či Newtona. Galileovská fyzika však nijaký zákon zachovania nepozná. V Galileovom systéme pri voľnom páde telesa vzniká samovoľne hybnosť, čo je v rozpore s princípmi fyziky. Preto body 1.1.6 až 1.1.9 vynecháme.

nahrádza Aristotelove pojmie pohybu, ktoré sme nazvali teóriou geometrického prechodu, novým pojatím pohybu, ktoré možno nazvať teóriou *geometrického toku*.

Galileo medzi dvojicu bodov, pomocou ktorých Aristoteles vysvetľoval pohyb, vložil krivku spájajúcu tieto body. Po tejto krivke pohyb spojiťe plynie, či už rovnomerne, alebo zrýchlene. Táto koncepcia umožňuje opísať aj pohyby, ktoré nemajú ani počiatok ani koniec, lebo krivka tiež nemusí mať ani počiatok, ani koncový bod. Je to však ešte stále geometrické pojmie pohybu, lebo pohybu sa zmocňuje pomocou geometrického pojmu trajektórie. Galileo vlastne len nahrádza geometriu miest geometriou trajektórií. Z hľadiska plynutia pohybu je to významný posun, lebo pohyb už nemusí po dosiahnutí určitého miesta zastať. Pohyb už nie je len prechodným narušením statického poriadku, ako to bolo u Aristotela. Napriek tejto zmene je však celkový obraz univerza u Galilea ešte stále určovaný geometriou, geometrickým usporiadaním trajektórií.

V Aristotelovej teórii má každé miesto svoju pevnú identitu, určenú jeho vzťahom k celku Vesmíru. Pohyb potom odvodzuje svoj charakter z miesta, na ktoré smeruje – stáva sa pohybom nadol alebo pohybom nahor. Aristoteles teda rozlišuje rôzne druhy pohybu na základe ich cieľa. U Galilea pohyb už nemôže odvodzovať svoju identitu od miesta, na ktoré smeruje. Nositeľom jeho identity sa stáva trajektória, po ktorej plynie. Napriek tomu však Galileo ešte stále rozlišuje rôzne druhy pohybu: voľný pád, šikmý vrh, rotačný pohyb. Zavrhol síce Aristotelov spôsob určovania povahy pohybu, nezavrhol však samotnú ideu existencie pohybov rôznych druhov. Preto pre Galilea zrýchľovanie voľného pádu je vlastnosťou tohto druhu pohybu – podobne ako parabolický tvar trajektórie je vlastnosťou šikmého vrhu. Úlohou fyziky je podľa Galilea čo najpresnejšie opísať priebeh jednotlivých, empiricky identifikovaných druhov pohybu.

Galileo ešte nemal dostatočné matematické prostriedky na to, aby mohol naplno rozpracovať svoje nové pojmie pohybu. Nemal k dispozícii analytickú geometriu, ktorá by umožnila opísať trajek-

tórie pohybu ľubovoľného tvaru, a tak v jeho teórii hrajú dominantnú úlohu kružnice a paraboly. Okrem toho mu chýbala aj predstava nekonečnosti vesmíru. Galileov vesmír bol ešte stále konečným vesmírom antickej prírodovedy, jeho vesmír sa ešte stále končil sférou hviezd. Galileovo pojmie pohybu vyúsťilo do snahy nahradiť aristotelovskú predstavu vesmíru ako hierarchicky usporiadaného systému miest predstavou vesmíru ako usporiadaného systému kruhových pohybov. Základný princíp antickej vedy, podľa ktorého poriadok sveta je tvorený jeho geometrickým usporiadaním, je zachovaný. Galileo iba nahrádza statický poriadok aristotelovského univerza poriadkom kinematickým. Ale kinematický poriadok Galileovho vesmíru je ešte stále geometrickým poriadkom, harmonickým usporiadaním kruhových dráh neinteragujúcich telies.

*Galileo nemá koncepciu gravitácie* (pozri Koyré, A. *Galileo Studies*, c. d., s. 199). Gravitačné zrýchlenie nechápe ako dôsledok silového pôsobenia Zeme, ale ako vlastnosť voľného pádu, chápaného ako pohyb zvláštného druhu. Prísne vzaté, na fenomenálnej úrovni mu niet čo vyčítať, veď žiadne pôsobenie nevidíme. Galileo opisuje to, čo vidí, fyziku obmedzuje na fenomenálnu realitu. Pomocou experimentov sa snaží fenomenálnu realitu spresniť. Až Descartes prichádza s myšlienkou, že nijaké prirodzené zrýchlenie neexistuje, že existuje jediný druh prirodzeného pohybu, a to rovnomerný priamočiary pohyb. Voľný pád musí byť výsledkom pôsobenia. To, že žiadne pôsobenie nevidíme, je pre Descarta irelevantné. Keď pôsobenie nevidíme, tak ho musíme postulovať. Zrýchlený pohyb je výsledkom pôsobenia, nech už vidíme čokoľvek.

## 1.2 Problémy Galileovho pojmia fyziky

Napriek Galileovmu nepopierateľnému prínosu ku vzniku modernej vedy, ktorý je všeobecne prijímaný, mala jeho koncepcia závažné nedostatky, ktoré spôsobili, že fyzika, tak ako ju poznáme dnes, nie je priamym pokračovaním galileovského projektu. To je aj dôvod, prečo rozbor Galileovho diela nepostačuje, ak chceme porozumieť štruktúre modernej vedy. Nedostatky Galileovho pojmia fyziky si najľahšie uvedomíme pri porovnaní tohto pojmia s pojatím karteziánskym. Takéto porovnanie nám umožní konceptuálne pochopiť nielen medze Galileovho pojmia fyziky, ale aj vzájomný vzťah medzi galileovskou a karteziánskou fyzikou. Aj keď tento vzťah nie je príliš dôležitý z historického hľadiska (zdá sa, že Descartes Galilea podrobne neštudoval a nevychádzal z jeho prác), jeho objasnenie je dôležité z večného hľadiska. Umožní presnejšie určiť miesto karteziánskej fyziky v dejinách tejto disciplíny. Preto nedostatky Galileovho pojmia fyziky uvedieme v poradí, v akom ich korekcia vstupuje do stavby karteziánskeho systému.

Pri výklade nedostatkov galileovskej fyziky nám v žiadnom prípade nepôjde o znižovanie Galileových zásluh. Domnievame sa, že nedostatky vedeckých teórií sú čímsi prirodzeným a patria do dejín vedy rovnako ako ich úspechy. Výhodou analýzy nedostatkov je to, že umožňuje ozrejmiť špecifické črty a jedinečný charakter skutočných teórií, lebo jasne poukazuje na ich medze.

### 1.2.1 Kruhový charakter zotrvačného pohybu

Galileo za zotrvačný pohyb považoval rovnomerný pohyb po kružnici. To znamená, že si neuvedomoval dostredivé zrýchlenie, ktoré je takémuto pohybu vlastné. Rovnomerný pohyb po kružnici podľa Galilea nie je výsledkom pôsobenia síl, ale je to pohyb zotrvačný. Zotrvačnosť kruhového pohybu hrala dôležitú úlohu v Galileiho predstave o usporiadaní vesmíru. Je zrejme, že ide o pozostatok



aristotelovskej teórie pohybov nebeských telies, aj keď na rozdiel od Aristotela Galileo pripisuje tento druh pohybu aj pozemským telesám.

### 1.2.2 Absencia pojmu stavu

Galileovi *chýba pojem stavu*, ako ho poznáme z dnešnej fyziky. Napriek tomu, že Galileo sformuloval myšlienku redukcie skutočnosti na primárne kvality, v rozmanitosti rôznych druhov pohybu nedokázal nájsť jednotu, ktorú v súčasnej fyzike do tejto rozmanitosti vnáša pojem pohybového stavu. Táto roztrieštenosť v chápaní pohybu je typickou črtou galileovskej fyziky. Aristoteles oddelil kruhový pohyb, ktorý považoval za princíp pohybu substancie tvoriacej *nebeské telesá*, od priamočiareho pohybu, ktorý považoval za princíp pohybu telesa na jeho prirodzené miesto v *sublunárnej oblasti*. Galileo toto oddelenie zrušil, keď zisťoval, že vodrový pohyb na povrchu zeme je zotrvačný, čím pripísal kruhový pohyb aj pozemským telesám. Navyše, v dôsledku prijatia Kopernikovej teórie Galileo *homogenizoval priestor* – zrušil jeho rozdelenie na sublunárnu a translunárnu oblasť<sup>66</sup>, ale *nehomogenizoval pohyb* – ešte stále rozlišoval rôzne druhy pohybu. Volný pád je pohyb priamočiary, zotrvačný pohyb je pohyb kruhový a šikmý vrh je pohybom po parabole. Keď teleso padá nadol, riadi sa jeho pohyb zákonom voľného pádu, keď sa pohybuje vodorovne, podlieha zákonu zotrvačnosti, keď letí šikmo nahor, bude jeho pohyb opísaný zákonom šikmého vrhu. Podľa galileovskej fyziky existujú rôzne druhy pohybu (z empirického hľadiska oni aj naozaj existujú), a úlohou fyziky je ich čo najpresnejšie matematicky popísať.

Ako sme uviedli, Aristoteles rozlišoval rôzne druhy pohybu. Zdá sa, že Galileo túto črtu aristotelovskej fyziky preberá, keď rozlišuje rôzne druhy pohybov, ako sú voľný pád, šikmý vrh, rotačný pohyb. To znamená, že Galileo síce zavrhoval Aristotelov spôsob určovania povahy pohybu, nezavrhoval však samotnú ideu existencie pohybov rôznych druhov. Na rozdiel od Galilea moderná fyzika pozná jediný druh pohybu – rovnomerný priamočiary pohyb – a všetko ostatné

je výsledkom pôsobenia. Je pozoruhodné, že Galileo rovnomerný priamočiary pohyb vlastne nepozná (všetky ním skúmané pohyby sa od rovnomerného priamočiareho pohybu odlišujú)<sup>66</sup> a rôzne „druhy“ pohybu, ktoré nachádza v prírode, skúma oddelene.

Nie je ťažké nahliadnuť, že tento nedostatok Galileovej fyziky je dôsledkom jej príliš úzkej napojenosti na skúsenosť. Skúsenosť nám skutočne predkladá rôzne druhy pohybov. Redukovanie všetkých druhov pohybu na jediný, na rovnomerný priamočiary pohyb, a pripísanie všetkých odchýlok od rovnomerného priamočiareho pohybu na vrub silového pôsobenia vyzáduje značnú mieru abstrakcie.

### 1.2.3 Absencia univerzálnych zákonov

Galileovskej fyzike *chýbajú univerzálne zákony*. Zákony objavené Galileom, či už zákon voľného pádu, zákon šikmého vrhu, zákon izochrómnosti kyvadla alebo zákon zotrvačnosti,<sup>67</sup> opisujú konkrétne javy a na ostatné javy ich aplikovať nemožno. Zákon voľného pádu opisuje padajúce teleso, takže neplatí pre kyvadlo. Zákon izochrómnosti kyvadla opisuje kyvadlá a neplatí pre padajúce telesá. Galileovská fyzika teda rozdeľuje prírodu na súbor izolovaných javov, z ktorých každý je opísaný špeciálnym zákonom zapísaným v jazyku matematiky. Galileova matematizácia prírodných javov je

<sup>66</sup> Rovnomerný pohyb je podľa Galilea kruhový (teda nie priamočiary), kým priamočiary pohyb (napríklad pohyb voľného pádu alebo vrhu kolmo nahor) nie je rovnomerný.

<sup>67</sup> Mohlo by sa zdať, že zákon zotrvačnosti je výnimkou – ved zotrvačnosť je vlastnosťou všetkých pohybujúcich sa telies. To je síce pravda, ale platí to pre náš súčasný pojem zotrvačnosti. Nesmieme zabúdať, že Galileo považoval za zotrvačný iba pohyb po dokonale hladkej vodorovnej podložke. Pre telesá padajúce voľným pádom či pohybujúce sa po naklonenej rovine princíp zotrvačnosti podľa Galilea (na rozdiel od moderného chápania) neplatí. Takže podobne ako v prípade ostatných zákonov galileovskej fyziky aj v prípade zákona zotrvačnosti tento zákon platí len pre veľmi úzku triedu javov; určite neplatí univerzálne.

aristotelovskej teórie pohybov nebeských telies, aj keď na rozdiel od Aristotela Galileo pripisuje tento druh pohybu aj pozemským telesám.

### 1.2.2 Absencia pojmu stavu

Galileovi *chýba pojem stavu*, ako ho poznáme z dnešnej fyziky. Napriek tomu, že Galileo sformuloval myšlienku redukcie skutočnosti na primárne kvality, v rozmanitosti rôznych druhov pohybu nedokázal nájsť jednotu, ktorú v súčasnej fyzike do tejto rozmanitosti vnáša pojem pohybového stavu. Táto roztrieštenosť v chápaní pohybu je typickou črtou galileovskej fyziky. Aristoteles oddelil kruhový pohyb, ktorý považoval za princíp pohybu substancie tvoriacej *nebeské telesá*, od priamočiareho pohybu, ktorý považoval za princíp pohybu telesa na jeho prirodzené miesto v *sublunárnej oblasti*. Galileo toto oddelenie zrušil, keď zistil že vodorovný pohyb na povrchu zeme je zotrvačný, čím pripísal kruhový pohyb aj pozemským telesám. Navyše, v dôsledku prijatia Kopernikovej teórie Galileo *homogenizoval priestor* – zrušil jeho rozdelenie na sublunárnu a translunárnu oblasť –, ale *nehomogenizoval pohyb* – ešte stále rozlišoval rôzne druhy pohybu. Voľný pád je pohyb priamočiary, zotrvačný pohyb je pohyb kruhový a šikmý vrh je pohybom po parabole. Keď teleso padá nadol, riadi sa jeho pohyb zákonom voľného pádu, keď sa pohybuje vodorovne, podlieha zákonu zotrvačnosti, keď letí šikmo nahor, bude jeho pohyb opísaný zákonom šikmého vrhu. Podľa galileovskej fyziky existujú rôzne druhy pohybu (z empirického hľadiska oni aj naozaj existujú), a úlohou fyziky je ich čo najpresnejšie matematicky popísať.

Ako sme uviedli, Aristoteles rozlišoval rôzne druhy pohybu. Zdá sa, že Galileo túto črtu aristotelovskej fyziky preberá, keď rozlišuje rôzne druhy pohybov, ako sú voľný pád, šikmý vrh, rotačný pohyb. To znamená, že Galileo síce zavrhol Aristotelov spôsob určovania povahy pohybu, nezavrhol však samotnú ideu existencie pohybov rôznych druhov. Na rozdiel od Galilea moderná fyzika pozná jediný druh pohybu – rovnomerný priamočiary pohyb – a všetko ostatné

je výsledkom pôsobenia. Je pozoruhodné, že Galileo rovnomerný priamočiary pohyb vlastne nepozná (všetky ním skúmané pohyby sa od rovnomerného priamočiareho pohybu odlišujú)<sup>66</sup> a rôzne „druhy“ pohybu, ktoré nachádza v prírode, skúma oddelene.

Nie je ťažké nahliadnuť, že tento nedostatok Galileovej fyziky je dôsledkom jej príliš úzkej napaľovnosti na skúsenosť. Skúsenosť nám skutočne predkladá rôzne druhy pohybov. Redukovanie všetkých druhov pohybu na jediný, na rovnomerný priamočiary pohyb, a pripísanie všetkých odchýlok od rovnomerného priamočiareho pohybu na vrub silového pôsobenia vyzáduje značnú mieru abstrakcie.

### 1.2.3 Absencia univerzálnych zákonov

Galileovskej fyzike *chýbajú univerzálne zákony*. Zákony objavené Galileom, či už zákon voľného pádu, zákon šikmého vrhu, zákon izochrómnosti kyvadla alebo zákon zotrvačnosti,<sup>67</sup> opisujú konkrétne javy a na ostatné javy ich aplikovať nemožno. Zákon voľného pádu opisuje padajúce teleso, takže neplatí pre kyvadlo. Zákon izochrómnosti kyvadla opisuje kyvadlá a neplatí pre padajúce telesá. Galileovská fyzika teda rozbieha prírodu na súbor izolovaných javov, z ktorých každý je opísaný špeciálnym zákonom zapísaným v jazyku matematiky. Galileoova matematizácia prírodných javov je

<sup>66</sup> Rovnomerný pohyb je podľa Galilea kruhový (teda nie priamočiary), kým priamočiary pohyb (napríklad pohyb voľného pádu alebo vrhu kolmo nahor) nie je rovnomerný.

<sup>67</sup> Mohlo by sa zdať, že zákon zotrvačnosti je výnimkou – ved zotrvačnosť je vlastnosťou všetkých pohybujúcich sa telies. To je síce pravda, ale platí to pre náš súčasný pojem zotrvačnosti. Nesmieme zabúdať, že Galileo považoval za zotrvačný iba pohyb po dokonale hladkej vodorovnej podlažke. Pre telesá padajúce voľným pádom či pohybujúce sa po naklonenej rovline princíp zotrvačnosti podľa Galilea (na rozdiel od moderného chápania) neplatí. Takže podobne ako v prípade ostatných zákonov galileovskej fyziky aj v prípade zákona zotrvačnosti tento zákon platí len pre veľmi úzku triedu javov; určite neplatí univerzálne.

veľkým krokom vpred v porovnaní s Aristotelom, ale roztrištenosť Galileovho obrazu prírody ukazuje, že ešte nenašiel ten správny spôsob matematizácie. Preto sa všetci, ktorí sa snažia pochopiť povahu novovekej vedy na základe analýzy Galileovho diela, ocitajú v slepej uličke. Novoveká veda nie je priamym pokračovaním Galileovho projektu.

Keď sa zamyslíme, čo je zdrojom tejto roztrištenosti obrazu prírody na izolované zákony, po krátkej úvahu dospeli sme asi k záveru, že je ním experiment. To experiment umožňuje nájsť pre určitý jav tomuto javu zodpovedajúci matematický zákon, ale na druhej strane je to tiež experiment, ktorý skúmaný jav izoluje od ostatných javov. Galileovská fyzika so svojím príliš úzkym zameraním sa na experiment stráca zo zretela jednotu prírody.

#### 1.2.4 Absencia opisu interakcie

Galileovskej fyzike *chýba schopnosť opísať pôsobenie medzi telesami*. Všetky zákony, ktoré objavila (zákon voľného pádu, zákon zotrvačnosti, zákon izochronnosti kyvadla, zákon šikmého vrhu), sa týkajú pohybu jediného izolovaného telesa. Pri opise prírody Galileo telesá izoluje od ich okolia a skúma ich oddelene. To súvisí s tým, že nemá pojem interakcie. Preto podľa neho zrýchľovanie voľného pádu nie je výsledkom silového pôsobenia, ale je vlastnosťou tohto druhu pohybu – podobne ako parabolický tvar trajektórie je vlastnosťou šikmého vrhu. Galileo necíti potrebu vysvetliť, ako je to možné, že určitý pohyb je zrýchlený. Pre neho je to fakt, ktorý chce iba čo najpresnejšie opísať.

Celkový obraz univerza je u Galilea ešte stále geometrický. Poriadok galileovského vesmíru je geometrický poriadok usporiadania trajektórií pohybov neinteragujúcich telies, akým je napríklad usporiadanie kružníc, po ktorých obiehajú planéty okolo Slnka. Nie je ťažké nahliadnuť, že absencia pojmu interakcie v galileovskej fyzike je úzko spätá s geometrickým jazykom, pomocou ktorého opisuje pohyb. Keď sa pohyb snažil uchopiť ako spojitú prechádzanie určitej trajektórie, interakcia mu vypadla z obrazu. Interakcia

narušuje tvar trajektórie, a teda narušuje rámec, pomocou ktorého Galileo opisuje pohyb. Podľa Galilea kniha prírody je napísaná jazykom matematiky, ktorého „písmenami sú trojuholníky, kružnice a ostatné geometrické útvary, bez ktorých nemožno porozumieť jedinému slovu.“<sup>68</sup> Galileo však vsadil na nesprávnu matematiku. Jeho geometrizácia pohybu bola významným krokom vpred na ceste k modernej vede, ale bola iba prvým krokom. Pomocou trojuholníkov a kružníc nie je možné opísať pôsobenie.<sup>69</sup>

#### 1.2.5 Absencia možnosti spojenia viacerých telies do mechanického systému

Ako sme už spomenuli, galileovská fyzika skúma *pohyb izolovaných telies*. Okrem absencie interakcie, spomenutej v bode 1.2.4, to znamená aj absenciu väzieb medzi telesami. Inými slovami, galileovská fyzika nemá teoretické nástroje na opis mechanického systému tvoreného viacerými telesami. Samozrejme, pri pohybe po naklonenej rovine alebo pri pohybe kyvadla máme (z newtonovského pohľadu) do čínenia so systémami s väzbami, ale galileovská fyzika to tak nechápe. Rameno kyvadla rovnako ako naklonenú rovinu pri opise pohybu jednoducho zanedbáva. Požaduje, aby rameno bolo dokonale tuhé a malo nulovú hmotnosť, a takisto požaduje, aby naklonená rovina bola dokonale tvrdá a dokonale hladká. Tieto požiadavky možno zhrnúť do jednotnej podmienky: rameno kyvadla a naklonená rovina majú byť také, aby nezasahovali do pohybu skúmaného telesa.

<sup>68</sup> Galilei, G., *The Assayer*, c. d., s. 338.

<sup>69</sup> Nevhodnosť galileovej matematizácie prírody si všimol Winifred Lovell Wisan, keď napísal: „Nedostatočný význam sa prikladá skutočnosti, že jeho [Galileov] ‚matematizmus‘ je do značnej miery pokusom redukovať prírodnú vedu na grécky matematický model v snahe dosiahnuť logickú istotu matematiky.“ (Wisan, W. L., „Galileo’s Scientific Method: a Reexamination“, in: R. Butts, J. Pitt (eds.), *New Perspectives on Galileo*, c. d., s. 3).

## 1.2.6 Otvorenosť fyzikálneho opisu

Galileovská fyzika *nie je schopná opísať uzavretý dynamický systém*. Keď sa pozrieme na Galileov zákon voľného pádu, je to jeden z prvých zákonov modernej fyziky. Ale aký podivný zákon to je! Pri voľnom páde sa teleso zrýchľuje, teda narastá jeho hybnosť a kinetická energia. Odkiaľ sa však prírastky hybnosti a energie berú, to Galilea netrápi. V systémoch opísaných Galileom sa porušujú zákony zachovania. To, že Galileo nepozná zákony zachovania, súvisí s absenciou univerzálnych zákonov, ktorú sme spomenuli v bode 1.2.3. Systémy opísané galileovskou fyzikou sú otvorené, hybnosť a energia v nich samovoľne vzniká a mizne. Toto vznikanie a miznutie súvisí so skutočnosťou, že galileovská fyzika nepozná pojem uzavretého dynamického systému.

## 1.2.7 Zhrnutie

Je zaujímavé, že absencia pojmu stavu, absencia univerzálnych zákonov a absencia opisu interakcie sa v rozsiahlej literatúre venovanej Galileovmu dielu prakticky nespomínajú. Historici sa pravdepodobne držia princípu, podľa ktorého vedeckú teóriu treba vysvetľovať prostriedkami, ktoré sú jej vlastné. Porovnávanie teórie s neskorším stavom rozvoja vedy profesionálni historici vedy vnímajú spravidla negatívne. Označujú ho termínom *whigizmus* a považujú ho za jednu zo základných metodologických chýb, ktorej sa možno dopustiť v ich disciplíne. Podľa nášho názoru však porovnanie určitej teórie s neskorším stavom môže byť poučné a ozrejmenie nedostatkov galileovského pojęcia fyziky niako neznižuje veľkosť a význam Galileovho vkladu do fyziky. Naše ozrejmienie nedostatkov Galileovho pojęcia fyziky umožňuje lepšie porozumieť motívom, obsahu a prínosu kartezianskeho projektu. Ak si neuvedomíme, že galileovskej fyzike chýba pojem stavu a opis interakcie, ako aj univerzálne zákony, môžeme podlahnúť sklonu nebrať opis stavu, univerzálnych zákonov a pojmu interakcie pri výklade dejín

fyziky do úvahy. Potom je ľahké karteziansku fyziku, ktorá tieto prvky do fyzikálneho obrazu sveta priniesla, buď úplne z dejín fyziky vynechať, alebo ju uvádzať ako podivný a marginálny projekt. Až keď si o nedostatkoch galileovskej fyziky vytvoríme jasnú predstavu, budeme ochotní brať vážne Descartovu fyziku, a aj napriek jej mnohým vecným aj koncepčným chybám ju začleniť do hlavného prúdu dejín fyziky ako článok spájajúci Galilea s Newtonom.

### 1.3 Husserlova analýza galileovskej fyziky

Cieľom predchádzajúceho výkladu bolo okrem iného ukázať relevantnosť Husserlovej interpretácie galileovskej fyziky, pokiaľ ide o porozumenie procesu matematizácie prírody. Doplňením Husserlovej filozofickej interpretácie o historické detaily sme sa snažili ukázať, že Husserl (na rozdiel napríklad od Koyrého) uchopil rozhodujúce aspekty Galileovho diela, relevantné pri úsilí porozumieť vzniku novovekej vedy, a že z jeho často iba naznačených myšlienok možno vytvoriť ucelený a systematický výklad tohto prelomového momentu v dejinách vedy. Husserlova filozofická kritika vedy nie je teda na rozdiel od kritik zo strany romantizmu, idealizmu či existencializmu iba „vonkajšou“ kritikou vedeckej racionality, založenou na odmietaní jej východísk, metód či dôsledkov. Husserlova kritika vedy je „vnútornou“ kritikou založenou na skutočnom porozumení vede. Odhaluje implicitné predpoklady jej vzniku, skryté podmienky jej fungovania a neujasnené príčiny jej následkov. To, že Husserlovu interpretáciu Galilea považujeme za relevantnú, však neznamená, že sa stotožňujeme s každým aspektom jeho výkladu. Husserlov text má viaceré technické nepresnosti, ktoré síce neznižujú význam jeho analýz, ale ich stručný rozbor nám umožní vytvoriť si od Husserlovho textu odstup potrebný na jeho kritické pochopenie a ďalšie rozvíjanie jeho spôsobu analýzy matematizácie prírody.

#### 1.3.1 Niekoľko technických poznámok k Husserlovmu výkladu Galileovej fyziky

Prvá poznámka sa týka Husserlovho chápania matematizácie: „Len čo Galilei zmatematizoval prírodu, je príroda sama pod vedením novej matematiky idealizovaná a – moderne vyjadrené – sama sa stáva matematickou varietou (Mannigfaltigkeit).“<sup>70</sup> Z historického hľadiska nebola matematizácia prírody taká priamočiara, ako

naznačuje uvedený citát. Spôsobom, akým sa Galileo pokúšal matematizovať prírodu (pomocou trojuholníkov, kružníc a ostatných geometrických útvarov), sa príroda matematizovať nedá. Skôr, než bolo možné prírodu matematizovať, bolo nevyhnutné vytvoriť úplne novú matematiku – diferenciálnu a integrálnu počet. Navyše, medzi tým, ako „Galileo zmatematizoval prírodu“, a tým, ako „nová matematika“ prebrala úlohu jej idealizácie, existoval medzistupeň v podobe karteziánskej fyziky. Tá odmieta Galileovu matematizáciu, ale ešte nemala k dispozícii novú (newtonovskú) matematiku.

Ďalší problém sa týka algebraického jazyka: „Tu je nutné všimnúť si mocný účinok algebraických znakov a algebraického spôsobu myslenia, ako sa v novoveku od dob Viéta, teda pred Galileim, rozšírili a pôsobili v istom smere blahodarne, v inom smere však osudne.“<sup>71</sup> Husserl tu naznačuje, že algebraická symbolika a algebraický spôsob myslenia nejako súvisia s Galileovou matematizáciou prírody. Aj keď priamo netvrdí, že by Galileo napísal nejaké algebraické vzorce, predsa len navodzuje predstavu, že tu akási súvislosť existuje. No Viétova symbolika je ťažkopádna. Galileo nijaké vzorce nepoužíval a svoje zákony vyjadroval vo verbálnej podobe. Prepis fyzikálnych zákonov do jazyka algebry je až dielom nasledujúcej generácie, pričom autorom dodnes použíwanej algebraickej symboliky, pomocou ktorej sa tento prepis uskutočnil, bol Descartes.

Ani otázka kauzality nie je dostatočne objasnená: „Formuly prirodzene vyjadrujú všeobecné kauzálne zákonitosti, prírodné zákony, zákonitosti reálnych závislostí vo forme funkcionálnych závislostí čísiel.“<sup>72</sup> Ak Galileoov zákon voľného pádu zapíšeme pomocou vzorca, dostaneme „funkcionálnu závislosť čísiel“:

$$s = \frac{1}{2} gt^2.$$

Tento vzorec však nevyjadruje nijaký kauzálny vzťah. Je to závislosť medzi dvomi aspektmi voľného pádu (medzi časom a dráhou) bez uchopenia príčinného vzťahu. Fyzika časom naozaj dosiahla úro-

<sup>70</sup> Husserl, E., *Kritze evropských věd a transcendentální fenomenologie*, c. d., s. 43.

<sup>71</sup> Tamtiež, s. 65.

<sup>72</sup> Tamtiež, s. 62.

veň opisu kauzálnych zákonitostí, ale nebola to galileovská fyzika, ale až fyzika newtonovská. Rovnica

$$F = m \frac{d^2x}{dt^2}$$

vyjadruje zrýchlenie telesa ako dôsledok kauzálného pôsobenia sily, ale je to diferenciálna, a nie algebraická rovnica. Pritom sa opäť dostávame k Descartovi, ktorý sa vo svojej fyzike snaží prekročiť hranice Galileovho obmedzenia fyziky na opis izolovaných javov (pomocou *funkcionálnych závislostí čísiel*) a zahrnúť do fyzikálneho obrazu sveta aj kauzálne pôsobenie. Descartes figuruje ako medzistupeň medzi galileovskou fyzikou, ktorá nepozná kauzality, a newtonovskou fyzikou, ktorá kauzality opisuje pomocou novej, nealgebraickej matematiky (pomocou diferenciálnych rovníc).

Problematiká je aj otázka algebraizácie (či „aritmetizácie“) geometrie: „Āato aritmetizácia geometrie vedie už sama od seba istým spôsobom k vyprázdeniu jej zmyslu.“<sup>73</sup> Otázka vzťahu geometrickej a symbolickej reprezentácie je zásadnou otázkou, ktorá mieri k jadrú porozumenia matematike. Podľa nášho názoru algebraická symbolika rozhodne nevyprázďuje zmysel geometrie, ale práve naopak, dvíha ho na kvalitatívne vyššiu úroveň naplnenosť. Aby sme to nahliadli, stačí, ak si uvedomíme, prečo môže geometria vôbec slúžiť ako nástroj matematizácie prírody. Je to preto, lebo jazyk geometrie je prvým jazykom v dejinách matematiky, ktorý obsahuje ideu premennej (v implicitnej forme úsečky neurčitej dĺžky). Jazyk algebry priniesol explicitné vyjadrenie premennej a tým aj naplnenie možností, ktoré boli v geometrii prítomné len implicitne. Algebra prináša radikálne prehlbenie geometrie – a idea tohto hlbšieho, štrukturálneho preniknutia do sveta apodiktických pravd geometrie je opäť spojená s Descartom a jeho analytickou geometriou.<sup>74</sup>

<sup>73</sup> Tamtiež, s. 65.

<sup>74</sup> Štruktúráne prehlbenie geometrie je dodnes živé v diele Nicolasa Bourbakiho alebo v *Programme* Alexandra Grothendiecka. Stačí nahliadnúť do modernej učebnice algebraickej geometrie, ako sú Shafarevich, I. R., *Basic algebraic geometry*, Springer, New York 1974 alebo Brieskorn, E., Knörrer, H.,

### 1.3.2 Problém vzájomného vzťahu Galileovej fyziky a Descartovej filozofie

Predchádzajúce detaily, v ktorých sa Husserlov výklad dostáva do rozporu s historickými faktmi, nás systematicky vracajú k Descartovi. Pritom každý, kto pozorne čítal Husserlova *Krisis*, si asi všimol jednu pozoruhodnú vec: Husserl podrobuje podrobnej analýze Galileovu fyziku<sup>75</sup> a podobne podrobne analyzuje aj Descartovu filozofiu,<sup>76</sup> ale vzájomný vzťah týchto teórií len naznačuje v troch stručných poznámkach:

V súvislosti s matematizáciou, ktorá sa veľmi rýchlo stala samozrejmosťou, *vynára sa* ako dôsledok do seba uzavretá prírodná kauzality, v ktorej je všetko dianie jednoznačné a vopred determinované. Tým je však pripravená cesta i dualizmu, ktorý *se onedlho objaví* u Descarta.<sup>77</sup>

*Krátke potom*, čo Galilei položil základy novej prírodovedy, koncipoval Descartes novú ideu univerzálnej filozofie a hneď ju uviedol do postupu systematickej realizácie v zmysle matematického, lepšie povedané fyzikalistického racionalizmu.<sup>78</sup>

Nie je tu Descartes od začiatku *ovládaný* Galileiho istotou týkajúcou sa univerzálneho a absolútne čistého sveta telies s odlišením toho, čo možno len zmyslovo prežívať, od toho, čo ako matematicko je sférou čistého myslenia?<sup>79</sup>

*Plane Algebraic Curves*, Birkhäuser, Basel 1986, aby sme pocítili hĺbku a kráťsu, aktu dokáže dať geometrii algebra a naopak, algebre geometria.

<sup>75</sup> Husserl, E., *Kritze evropských věd a transcendentní fenomenologie*, c. d., 41–48.

<sup>76</sup> Tamtiež, s. 81–106.

<sup>77</sup> Tamtiež, s. 81.

<sup>78</sup> Tamtiež, s. 95.

<sup>79</sup> Tamtiež, s. 101.

Nechceme spochybňovať význam vzťahu Galileovej fyziky a Descartovej filozofie, na ktorý tu Husserl poukazuje. Zarážajúca je však konceptuálna neujasnenosť tohto vzťahu, keď ho opisuje slovami ako *vynára sa, onedlho sa objaví, brátko potom, je ovládaný*. Človek má pocit, akoby sledoval opis geologického vrásnenia, pri ktorom sa objavujú pohoria, vynárajú sa kontinenty a celý proces je ovládaný globálnymi tektonickými pohybmi. Husserl vysvetľuje Galilea aj Descarta intencionálne, avšak prechod medzi nimi necháva v neujasnenej polohe dedenia sedimentovaných samozrejmostí. Na rozdiel od uvedených technických poznámok táto neujasnenosť je prejavom závažného problému. Sme presvedčení, že Descartovu filozofiu nemožno vylóžiť ako výustenie Galileovej fyziky. Keď sa o to Husserl predsa len pokúša, nezostáva mu iná možnosť, než vzťah Galileovej fyziky a Descartovej filozofie zahaliť do rúška „tektonických“ metafor vynárania sa. Podľa nášho názoru je Descartova filozofia výustením nie Galileovej, ale *Descartovej fyziky*. Dostávame sa tak k myšlienke z úvodu knihy. Husserl síce systematicky a úspešne vyvracia hlavné tézy pozitivistickej interpretácie zrodu vedy, ale pritom nechtiac preberá rámec, v ktorom pozitivistu o tomto probléme diskutovali. Jednou z charakteristík pozitivistického výkladu vzniku novovekej vedy je práve ignorovanie Descartovej fyziky (ako metafyzickej, a teda podľa pozitivismu nevedeckej koncepcie) a snaha vylóžiť Newtona ako priameho pokračovateľa a završiteľa Galileovej fyziky.

Zdá sa, že vymechanie Descartovej fyziky z analýzy zrodu novovekej vedy je dôvodom, prečo sa Husserl pokúša spojiť nespojitelné. Galileova fyzika sa nedá spojiť s Descartovou filozofiou, lebo ich oddeluje Descartova fyzika. Descartova fyzika prináša radikálnu premenu celého Galileovho projektu matematizácie prírody, a až ako prehĺbenie Descartovej fyziky vzniká Descartova filozofia.<sup>80</sup> Aj

<sup>80</sup> Výklad Descartovej filozofie ako prehĺbenie projektu Descartovej fyziky nie je dnes bežný. V prácach z dejín filozofie je Descartova fyzika spravidla ignorovaná a prevláda v nich snaha Descartovu filozofiu vykladať z čisto filozofických motívov (z konfrontácie so skepticizmom). Napriek

keď možno jasne vylóžiť prechod od Galileovej fyziky k Descartovej fyzike a aj prechod od Descartovej fyziky k jeho filozofii, priamy prechod od Galileovej fyziky k Descartovej filozofii je neuchopiteľný. Descartes totiž vo svojej fyzike šiel proti Galileovi, a preto keď neskor svoju fyziku doplnil o filozofický rozmer, karteziánska filozofia, ktorá takto vznikla, už s Galileovou fyzikou nemá veľa spoločného. To je podľa nás dôvod, prečo konceptuálne jasné a presné Husserlove výklady Galilea, resp. Descarta sú spojené tak nejasným a vágnym spôsobom. Samozrejme, to nespochybňuje závery, ku ktorým Husserl dospel, ale rozhodne to prináša mnoho otáznikov ohľadom cesty, po ktorej sa pohyboval. Sme presvedčení, že Descartes bol fyzikom prvotriedneho významu a že jeho *fyzikálne myšlienky* mali zásadný vplyv na formovanie modernej vedy. Preto sa domnievame, že vyjasnenie Husserlovej argumentácie vyžaduje predovšetkým doplniť chýbajúci článok spájajúci Galileov projekt matematizácie prírody s Descartovým uchopením (či, ako píše Husserl, „psychologickým sfalšovaním“) čistého ega, získaného pri epoche. Týmto chýbajúcim článkom je intencionálny výklad Descartovej fyziky, ktorý je obsahom druhej kapitoly.

tomu sa s takýmto výkladom možno občas stretnúť, ako ukazuje kniha Gaukroger, S., *Descartes. An Intellectual Biography*, Clarendon Press, Oxford 1995.

## 2. Descartovská fyzika vo svetle Husserlovej fenomenológie

Galileo urobil rad významných objavov systematickým experimentovaním. Descartes si ale uvedomil obmedzenosť Galileovej snahy založiť vedu výlučne na experimentálnej metóde. V liste Mersennovi z 11. októbra 1638 píše: „Bez uvaženia prvých príčin prírody (Galileo) hľadal iba vysvetlenia niekoľkých izolovaných dôsledkov, a tak budoval bez základov.“<sup>81</sup> Keď Galileo chcel nejaký jav sprísťupniť experimentálnemu skúmaniu, izoloval ho, vytrhol ho zo vzťahov s ostatnými javmi. Preto prírodné zákony objavené Galileom, napríklad zákon voľného pádu, zákon izochronnosti kyvadla alebo zákon šikmého vrhu, opisujú izolované procesy. Galileovi sa síce podarilo redukovať tieto procesy na zmeny fyzikálnych veličín a medzi príslušnými veličinami našiel matematické závislosti, ale každej triede javov prislúcha partikulárny zákon, platný len pre danú triedu. Aj keby Galileom objavené zákony boli správne, o čom Descartes pochyboval, v dôsledku Galileovej metódy sa opis prírody rozpadá na rad nesúvisiacich zákonov. Descartes prichádza s ideou, že fyzika musí usilovať o uchopenie jednoty sveta, a nielen o opis jeho izolovaných fenoménov. Fyzika musí prejsť za javovú roztrieštenosť skutočnosti k uchopeniu jej hlbšej jednoty. Keď vidíme pohyb, je to vždy pohyb určitej veci, keď vidíme počet, je to počet určitých vecí, keď vidíme tvar, je to tvar určitej veci. Od primárnych kvalít, o ktorých hovorí Galileo, treba teda prejsť k ich ontologické-

<sup>81</sup> Clarke, D. M., „Descartes' philosophy of science and the scientific revolution“, in: J. Cottingham (ed.), *The Cambridge Companion to Descartes*, Cambridge University Press, New York 1992, s. 271.



mu základu, ktorým je rozpriestranená vec. Metóda fyziky sa musí zakladať na ontologickej, a nie na fenomenálnej redukcii.

Descartes prechádza od opisu izolovaných javov k opisu stavu fyzikálneho systému. Až keď prejdeme na túto hlbšiu rovinu, odhalí sa nám jednota sveta. Úlohou fyziky je nájsť *univerzálne zákony* opisujúce *zmeny stavu*, a nie *partikulárne regularity* medzi parametrami charakterizujúcimi *izolované javy*. Descartes tak zásadným spôsobom prekračuje oblasť zovšeobecnenia, na ktoré nás oprávňuje empirická skúsenosť. Prísne vzaté, z nijakého experimentu nemožno odvodiť, že za jednotlivými javmi sa skrýva ontologická jednota, tak ako z korelácie medzi údajmi experimentu nemožno odvodiť univerzálne zákony. V tomto bode videl Hume úplne jasne. Ale na druhej strane nemožno poprieť, že moderná fyzika robí presne to: namiesto špecifických parametrov opisujúcich izolované javy postuluje stav fyzikálneho systému a namiesto pozorovateľných korelácií medzi parametrami zavádza opis časového vývoja stavu pomocou Lagrangeových alebo Hamiltonových rovníc. Inými slovami, veda ignoruje Humove námietky a v plnej miere akceptuje Descartove intuície. Moderná veda sa zakladá na univerzálnom opise skutočnosti pomocou všeobecných zákonov.<sup>82</sup>

Niet pochyb o tom, že tieto intuície sú metafyzické. Na pochybách nás nenecháva ani Descartes, ktorý zdôvodnenie svojich zákonov opiera o metafyzické argumenty. Táto spätosť Descartovej fyziky s metafyzikou mala za následok, že pozitivistická historiografa si s jeho systémom nevedela rady, ba aj moderní historici chápajú Descartovu fyziku ako druh metafyzickej konštrukcie. Pokúsime sa ukázať, že Descartova fyzika nie je len *metafyzickou konštrukciou*, ale možno ju interpretovať aj ako *matematickú fyziku*. Podľa nášho názoru má metafyzika v Descartovej fyzike pomocnú úlohu súvisiacu s tým, že Descartes ešte nemal k dispozícii matematický jazyk, s pomocou ktorého by mohol svoj projekt matematickej fyziky

<sup>82</sup> Máme na myslí vedu, ktorá sa skutočne robí v laboratóriách a v prácovníach vedcov - na rozdiel od tej, ktorú vo svojich knihách opisujú niektorí filozofi.

uskutočniť. Keď Newton takú matematiku vytvoril, mohol Descartove metafyzické princípy nahradiť princípmi matematickými. Descartovo odvolávanie sa vo fyzike na Boha považujeme za príznak skutočnosti, že Descartes transcendoval dovedejší spôsob opisu prírody, ale nemal k dispozícii matematický fundament, o ktorý by mohol svoj nový spôsob opisu oprieť. Boh má v jeho systéme presné epistemologické miesto. Zaceluje trhliny, ktoré technicky nemožno zaceliť. Descartes opiera svoju fyziku o teológiu preto, lebo ju nemôže oprieť o matematiku.<sup>83</sup>

Akonáhle Newton vytvoril diferenciálny a integrálny počet, pomocou ktorého matematický opis prírody úspešne zavíši, bude možné veľkú časť karteziánskej metafyziky vynechať a novú fyziku zdôvodňovať jej fungovaním. To, čo Descartes zakladal na metafyzike, Newton formalizuje. Metafyzika sa presunie inam - stane sa základom zdôvodnenia nekonečnosti priestoru a pôsobenia na diaľku - až sa postupne takmer úplne vytratí. Ak však chceme vysvetliť zrod modernej vedy, nesmieme ignorovať jej teologické zakotvenie. Keď sa pozrieme na prvky Descartovej fyziky, ktoré sa operujú o teologický základ, ľahko zistíme, že sú to prvky formálne. Teologické pasáže vo vedeckých dielach môžeme považovať za *indikátory* zrodu nového jazyka. Formálne aspekty tohto jazyka tvoria všetko to, čo v jazyku nie je faktické, čo nie je možné odvodiť zo skúsenosti. A nemožno poprieť, že skúsenosť nemôže zdôvodniť zachovávanie množstva pohybu vo vesmíre ani možnosť redukcie všetkých javov na rozpriestranenosť a pohyb. Treba si však uvedomiť, že tieto princípy sú nevyhnutnou súčasťou Descartovej fyziky - zakladajú formu jej jazyka.

Vahanie filozofov s uznaním Descartovho prínosu k vzniku modernej fyziky je pochopiteľné. Priznať, že by Descartes mohol hrať významnú úlohu pri zrode fyziky, by znamenalo priznať, že veda je fundamentálnym spôsobom metafyzická. To odporuje predsud-

<sup>83</sup> Výklad teologického aspektu Galileovho, Descartovho a Newtonovho diela možno nájsť v štúdií Kvasz, L., „Transcendencia vo vede a v náboženstve“, *Studia Theologica* 8, 2006, 2, s. 1-19.

kom, ktoré sa od čias osvietenstva s vedou spájajú. Rozpoznaniu metafyzického aspektu vedy bráni navyše skutočnosť, že metafyzická báza sa v modernej vede operacionalizovala. Vedci si nevedomujú, že keď určitému systému priradia stav a jeho časový vývoj opíšu pomocou Lagrangeovej rovnice, používajú metafyzické predpoklady siahajúce svojimi koreňmi až k Descartovi. Jednoducho napíšu príslušné rovnice a pustia sa do ich riešenia. Preto sa Desmond Clarke zásadne mylí, keď Descartovu požiadavku, podľa ktorej musíme najprv skonštruovať metafyziku, a až na jej základe môžeme vytvoriť fyzikálnu teóriu, považuje za scholastickú črtu Descartovho myslenia.<sup>84</sup> Práve naopak, v tomto bode je Descartes moderný a postupuje tak, ako postupujú moderní fyzici. Jediný rozdiel je v tom, že u Descarta je metafyzika substanciálna a explicitná, kým moderná veda má formálnu metafyziku, ktorá je implicitná, takže si ju málokto uvedomuje. Ale pripísať fyzikálnemu systému stav – to je *metafyzický akt*, lebo, prísne vzaté, niet vecného dôvodu, prečo by malo byť možné fyzikálne systémy takto opisovať.<sup>85</sup>

Dostávame sa tak opäť k Husserlovi a jeho spochybňovaniu samsotnosti novovekej vedy. Podľa Husserla veda nahrádza fenomény žitého sveta matematickými veličinami. Zdá sa, že paralelný proces sa odohráva aj v rovine ontologickej, keď veda nahrádza ontológiu žitého sveta matematickým opisom stavu. Pritom descartovský zlom oddelujúci stav systému od ontológie žitého sveta je analogický s galileovským zlomom oddelujúcim matematické veličiny od fenoménov žitého sveta. Príbuznosť týchto dvoch zlomov možno vyjadriť termínom *idealizácia*. Prechod od galileovskej fyziky ku kartezianskej sa teda pokúsime vylóžiť ako *prechod od fenomenálnej idealizácie k ontologickej idealizácii*. Descartes prechádza

<sup>84</sup> Clarke, D. M., „Descartes' philosophy of science and the scientific revolution“, c. d., s. 272–273.

<sup>85</sup> Pripísať systému stav znamená predpokladať, že celú budúcnosť systému možno určiť z jeho opisu v danom okamihu. Znamená to, že môžeme *ignorovať históriu systému*, t. j. „trajektóriu“, po ktorej sa do aktuálneho „stavu“ dostal. Všetky informácie podstatné pre celý budúci vývoj systému sú prítomné v jednom momente.

od Galileovho sveta fyzikálnych veličín ku kauzálne determinovanému svetu pohybujúcich sa rozpriestranených vecí.

Filozofia vedy si s Descartovým prínosom k základom fyziky nevie rady, lebo jeho spätosť s teológiou je príliš zjavná a jeho omly sú príliš zásadné. Preto je zvykom Descarta obísť a pri výklade newtonovskej fyziky nadviazať priamo na Galileu. Je pozoruhodné, že aj historik s takým hlbokým porozumením pre metafyziku ako Daniel Garber prijíma tento pozitivistický výklad, keď píše:

Mnohí sa považovali za karteziancov a niektorí, napríklad Spinoza, Leibniz a Malebranche, boli hlboko ovplyvnení kartezianskou ideou mechanistického systému metafyziky a prírodnej filozofie, ale významne zmenili detaily. Bol tu však aj iný významný trend v myslení sedemnásteho storočia, *nemetafyzická*, problémovo orientovaná koncepcia prírodnej filozofie. Možno ju nájsť u Descartovho súčasníka Galileu a jeho nasledovníka Newtona.<sup>86</sup>

Sme presvedčení, že takto Newtonovi nemožno porozumieť, lebo ten na jednej strane od Descarta preberá ideu univerzálneho opisu prírody, no na druhej strane svoj systém buduje v priamej opozícii proti Descartovi. Ak vymecháme Descarta, nedokážeme nájsť pôvod ontologickej homogenity a deskriptívnej univerzality vedy. Moderná fyzika predpokladá, že každý systém má stav a že existujú všeobecne rovnice, ktoré opisujú časový vývoj stavu. Tieto predpoklady sú empiricky nezádovhoditeľné. Pojem stavu nie je empirickým pojmom.

Ďalším aspektom kartezianskej fyziky, ktorý odhadza od jej začlenenia do hlavného prúdu dejín fyziky, je popri jej metafyzických koreňoch aj jej verbálny charakter. Keď Descartes pochopil, že fyzika musí usilovať o univerzálny opis javov, nemal ešte k dispoziácii matematický jazyk, ktorý by niečo také umožňoval. Preto svoju víziu univerzálneho opisu načrtol len vo verbálnej pod-

<sup>86</sup> Garber, D., *Descartes' metaphysical physics*, c. d., s. 307, zvyraznenie I. K.

be. To zmiatlo mnohých historikov vedy. Keď porovnali verbálnu a v mnohých aspektoch úplne nesprávnu karteziánsku fyziku s galileovskou fyzikou, ktorá sa usiluje o matematický opis pohybu, dospeli k záveru, že Descartes znamená v porovnaní s Galileom krok späť. Pripísali to Descartovej záľube v metafyzike a vyvodili z toho ponaučenie, že fyzika sa má pridržať empirickej skúsenosti. Takýto výklad vzťahu Descarta a Galilea však neberie do úvahy dôležité okolnosti. Descartes mohol rozpracovať galileovskú fyziku omnoho ďalej než Galileo. Sám bol prvotriednym matematikom, vytvoril analytickú geometriu a od neho pochádza štandardná algebraická symbolika. To, čo Galileo opisoval pomocou ťažkopádnej symboliky a fragmentárnej idey súradnicovej sústavy, mohol opísať oveľa elegantnejšie. Descartovi však nešlo o pohyb, ale o interakciu, ktorí si Galileo vôbec neuvedomoval. Aj keď sa teda na prvý pohľad zdá, že Galileo má bližšie k Newtonovi, lebo používa matematický jazyk, kým Descartes svoju teóriu formuluje len verbálne, tento dojem je klamný – pravdou je pravý opak. Galileo má bližšie k Aristotelovi, lebo rovnako ako on, matematickým jazykom opisuje stále iba pohyb izolovaných neinteragujúcich telies. Naproti tomu Descartes sa usiluje uchopiť pôsobenie, teda napriek verbálnemu spôsobu opisu pôsobenia robí to isté, čo na vyššej úrovni a pomocou matematického aparátu urobí Newton: usiluje sa o dynamickú koncepciu pohybu.

Koyrého výklad Descarta prezrádza podobnú bezradnosť: „[Descartes] stotožnením látky s extenziou dosadil geometriu na miesto fyziky.<sup>87</sup> Descartes nemohol dosadiť geometriu za fyziku, lebo jeho telesá sa zrážajú. Je nemožiteľné, aby sa dva geometrické trojuholníky zrazili alebo aby sa jedna kružnica odrazila od druhej. Útvary euklidovskej geometrie nemajú tendenciu hýbať sa a neplatí pre ne ani zákon zotrvačnosti či zákon zachovania množstva pohybu, dva základné princípy karteziánskej fyziky. Descartes nedosadzuje geometriu za fyziku. Práve naopak, Descartes sa na rozdiel od Galilea usiluje do opisu prírody zabudovať pôsobenie. Ak je teda

<sup>87</sup> Koyré, A., *Galileo Studies*, c. d., s. 94.

niektorá teória pohybu geometrická, tak je to teória Galileova. Neobstojí ani Koyrého názor, že „[Descartes] dosadil svoju konkrétnu fyziku pohybu v pléne za abstraktnú fyziku pohybu vo vákuu“.<sup>88</sup> Prechod od galileovskej fyziky vo vákuu ku karteziánskej fyzike v pléne nie je prechodom od abstraktného ku konkrétnemu. Je to prechod medzi dvoma teóriami na rovnakom stupni abstraktnosti. Nelišia sa stupňom, ale druhom abstrakcie. Galileova teória pohybu vo vákuu je založená na kinematickej abstrakcii. Descartova fyzika v pléne je založená na dynamickej abstrakcii. Descartes ako tvorca analytickej geometrie mohol fyziku pohybu vo vákuu doviesť na oveľa vyšší stupeň dokonalosti než Galileo. Preto to neurobil, to je vec, ktorá Koyrému uniká. Príčina je jednoduchá: galileovská fyzika pohybu vo vákuu nemá koncepciu interakcie. Preto prechod od Galilea k Descartovi nie je prechodom od abstraktného ku konkrétnemu, ale prechodom od sveta bez pôsobenia medzi telesami ku svetu obsahujúcemu pôsobenie. To, že sa Descartes pritom vracia k používaniu prirodzeného jazyka, je vedľajšie.

Nemožno súhlasiť ani s hodnotením Williama Sheu, podľa ktorého „Kartézsky pohyb nie je ani dynamický (obsahujúci použitie síl), ani kinematický (uvažujúci výlučne priestor a čas), ale iba diagramatický (uvažujúci iba priestor).“<sup>89</sup> Podobne nemožno akceptovať interpretáciu Descartovho vedeckého diela ako pokusu *redukovať fyziku na kinematiku*. Tak vidí Descartovu fyziku napríklad Dijksterhuis, pričom jej vytýka, že všetky fyzikálne javy rekonštruje v ja-

<sup>88</sup> Tamtiež, s. 100.

<sup>89</sup> Shea, W. R., *The Magic of Numbers and Motion, The Scientific Career of René Descartes*, Science History Publications, Canton MA 1991, s. 272. Shea má pravdu, že v porovnaní s Galileovým kinematickým opisom u Descarta akosi chýba časový rozmer. To máme na mysli, keď o Descartovom chápaní pohybu hovoríme ako o *prechode*. Avšak prísľušný prechod je podľa nás prechodom *dynamickým*. Sheov termín „*dynamický pohyb*“ zodpovedá Newtonovi a teda tomu, čo nazývame *dynamický tok*. Sheov „*kinematický pohyb*“ zodpovedá Galileovi a teda nášmu *geometrickému toku* a Sheov „*diagramatický pohyb*“ zodpovedá asi najskôr Aristotelovej teórii miestneho pohybu a teda nášmu *geometrickému prechodu*.

zyku látky a pohybu, čím eliminuje pojem sily.<sup>90</sup> Ako sa pokúsime ukázať, Descartova fyzika je dynamická, a nie kinematická teória, lebo skúma interakcie medzi telesami, pričom tieto interakcie opisuje pomocou síl. Jediný rozdiel je v tom, že sily karteziánskej fyziky nie sú silami interakcie, ale silami zotrvačnosti. Tento rozdiel však nemá vplyv na celkový charakter Descartovej fyziky.

Na neprijateľnosť Dijksterhuisovej interpretácie upozornil už Gaukroger, keď ukázal, že sily do Descartovho systému zabudované sú.<sup>91</sup> Vzápätí sa však sám dostáva na seštie, keď píše: „Jeho [Descartovym] cieľom nie je redukovať fyziku na kinematiku, ale skôr ju modelovať na základe hydrostatiky [...] Domnievam sa, že práve toto spoliehanie sa na hydrostatiku, a nie na kinematiku vysvetľuje Descartovo preferovanie pojmu pléna.“<sup>92</sup> Výklad Descartových hydrostatických prác je pozoruhodný a ukazuje Gaukrogerov hlboký vklad do Descartovho myslenia. Unesený výkladom Descartovej hydrostatiky (Descartovho pokusu vysvetliť hydrostatický paradox) Gaukroger začal celú Descartovu fyziku vnímať na jej pozadí. Podľa nás však Descartova teória pohybu je dynamickou teóriou pohybu, jeho teória zrážok je (aj keď vecne nesprávnu) dynamickou teóriou zrážok. Pre Descartovu voľbu pléna netreba vymýšľať žiadne hydrostatické zdôvodnenia. Úlohou pléna v karteziánskej fyzike je prenášať medzi telesami pôsobenie, čo je dynamická záležitosť predstavujúca jeden z hlavných prínosov karteziánskej fyziky. Plénum sa stane okrajovou historickou epizódou, len čo Newton zaviede sily pôsobiace na diaľku, ktorými ho nahradí. Na Gaukrogerovom výklade stále vidno dedičstvo pozitivistickej historiografie. Tá odmieta priznať Descartovi miesto v hlavnom prúde dejín fyziky, takže historici, ktorí si uvedomujú kvalitu Descartových fyzikálnych teórií, sú nútení uchýľovať sa k bizarnostiam, ako je hydrostatický model, aby našli pre Descarta aspoň nejaké mies-

<sup>90</sup> Dijksterhuis, E. J., *The Mechanization of the World Picture*, Clarendon Press, Oxford 1961, s. 403–418.

<sup>91</sup> Gaukroger, S., *Descartes. An Intellectual Biography*, Clarendon Press, Oxford 1995, s. 247.

<sup>92</sup> Tamtiež, s. 247.

to v dejinách fyziky. V nasledujúcom texte sa pokúsime ukázať, že Descartes do hlavného prúdu dejín fyziky jednoznačne patrí, a tak nepotrebuje žiadne ospravedlnenie.

Vývin Galileových názorov šiel cestou postupného rozchodu s aristotelizmom a viedol od snahy zabudovať do aristotelovskej koncepcie pojem zotrvačnosti až k úplnému odmietnutiu Aristotelovho obrazu sveta. U Descarta nemáme do činenia s drámu rozchodu, ale skôr s postupným nachádzaním seba samého. Na Descartovom vývine je pozoruhodná vnútorná koherentnosť jeho názorov. V jeho diele od začiatku badať úsilie o rozpracovanie novej metódy vedeckého poznávania. Cesta od matematiky cez fyziku k metafyzike je odkrývaním možnosti a vyišňovaním predpokladov tejto metódy. Ako píše Jean-Luc Marion: „Východiskový bod Meditácií – snaha založiť vedu pomocou hyperbolickeho pochybovania – nie je nič iné ako bod dosiahnutý na konci Regulí, menovite veda operujúca pomocou jednoduchých podstát, ako materiálnych, tak aj spoločných.“<sup>93</sup>

Descartes sa narodil roku 1596 v La Haye. Roku 1618 sa stretol s holandským učencom Isaacom Beekmanom (1588–1637), ktorý v ňom prebudil záujem o matematiku a fyziku. Beekman, ktorý bol o osem rokov starší ako Descartes, mu zadával rôzne matematické a fyzikálne problémy a spoločne diskutovali o ich riešení. Je pravdepodobné, že Descartes prijal od Beekmana teóriu atómov a teóriu prázdneho priestoru, ktoré neskôr vo svojich filozofických prácach dôrazne odmietal, ako aj ideu mechanickej redukcie rôznych prírodných javov, ktorej sa pridŕžoval počas celého života. Vplyv Beekmana na Descartovo myslenie je opísaný v Descartovom životopise od Stephena Gaukrogera.<sup>94</sup>

*Desatročie 1618–1628*, ktoré nasledovalo po stretnutí s Beekmanom, bolo pre Descarta veľmi plodné. V tomto období vytvoril svoju metódu, vymyslel novú algebraickú symboliku, položil zákla-

<sup>93</sup> Marion, J.-L., „Cartesian metaphysics and the role of the simple nature“, in: J. Cottingham (ed.), *The Cambridge Companion to Descartes*, c. d., s. 123.

<sup>94</sup> Gaukroger, S., *Descartes. An Intellectual Biography*, c. d., s. 68–103.

dy analytickej geometrie a objavil zákon lomú svetla. Jeho záujem bol sústredený na matematiku, na možnosti, ktoré otvorá nový algebraický jazyk, umožňujúci pracovať s abstraktnou veličinou nezávisle od toho, či je to veličina aritmetická, geometrická alebo fyzikálna.<sup>95</sup> Descartes si časom asi uvedomil, že abstrakcia vrelená do algebraickej symboliky otvorá možnosť sformulovať zásadne novú metódu vedeckého bádania. Veda už nemusí opisovať len konkrétne izolované javy, ale môže usilovať o abstraktnú reprezentáciu skutočnosti a hľadať všeobecné zákony, podobne ako algebra formuluje všeobecné vzorce vyjadrujúce riešenia celých tried rovníc nezávisle na tom, aké hodnoty nadobúdajú koeficienty a či neznáme predstavujú aritmetické, geometrické alebo fyzikálne veličiny.<sup>96</sup> Univerzálnosť algebraického zápisu je pravdepodobne vzorom Descartovej idey, že všetky fyzikálne vlastnosti možno redukovať na rozpriestranenosť a pohyb. Toto obdobie vrcholí napísaním rozpravy *Pravidlá na vedenie rozumu*, ktorá však vyšla až roku 1701. Toto dielo je zaujímavé aj pokusom aplikovať algebraické operácie na

<sup>95</sup> Výklad Descartovho matematického diela možno nájsť v knihe Shea, W. R., *The Magic of Numbers and Motion, The Scientific Career of René Descartes*, c. d., s. 35–92. Na 43. strane Shea uvádza údajnú Descartovu chybu, spočívajúcu v prechode od rovnice  $\frac{x^3}{7} = x + 2$  k rovnici jednoduchšieho typu  $x^3 = x + 2$ , ktorú vedel riešiť graficky, pričom „predpokladal, že (riešenie pôvodnej rovnice) bude možné obnoviť jednoduchým násobením po vyriešení rovnice  $x^3 = x + 2$ . V *Cogitationes Privatae* existujú dva ďalšie prípady, kde sa dopúšťa rovnakej chyby [...]“. Shea to komentuje slovami: „Tieto chyby by nás nemali oslepiť tak, že by sme nevideli veľkosť Descartovho objavu praktickej metódy riešenia kubických rovníc.“ Zdá sa však, že pravda stojí na Descartovej strane. Keď vezmeme rovnicu  $x^3 = x + \sqrt[7]{2}$  (rovnicu jednoduchšieho typu s trocha pozmeneným absolútnym členom) a nájdeme jej riešenie  $t$ , tak  $x = \sqrt[7]{t}$  bude riešením pôvodnej rovnice  $\frac{x^3}{7} = x + 2$ , o čom sa možno presvedčiť dosadením. Takže Descartes má pravdu: od riešenia rovnice jednoduchšieho typu sa obvyčajným násobením možno dostať k riešeniu pôvodnej rovnice.

<sup>96</sup> Schuster, J., „Descartes' *Mathesis universalis*: 1619–28“, in: S. Gaukroger (ed.), *Descartes, Philosophy, Mathematics and Physics*, c. d., s. 41–96.

geometrické veličiny. Descartes ešte súčin veličín  $a$  a  $b$  interpretuje ako plochu obdĺžnika so stranami  $a$  a  $b$ , takže myšlienka chápať súčin veličín  $a$  a  $b$  ako úsečku dĺžky  $ab$ , ktorá je jadrom analytickej geometrie, sa zrejme zrodila až po napísaní *Pravidiel*.

Descartova zrelá prírodná filozofia sa začína kryštalizovať v *rokochoch 1629–1633*, potom ako prerušil prácu na *Pravidlách*, upustil od matematického skúmania fyzikálnych javov a presťahoval sa do vypravovania celkového obrazu sveta. Listy z rokov 1629 a 1630 svedčia o tom, že intenzívne pracuje na teórii pohybu, zrážok telies, na otázkach optiky, meteorológie, anatómie. Možno povedať, že svoju algebraickú metódu aplikuje na celok sveta. Toto obdobie vrcholí roku 1633 spisom *Svet*,<sup>97</sup> v ktorom *odmietol existenciu vákuu*, predložil *mechanistický výklad gravitácie* a prihlásil sa ku *Kopernikovej teórii pohybu Zeme*. V tomto spise opisuje mechanistický model sveta. Descartov model je hypotetický, jeho konštrukcia prekráča to, na čo nás oprávňuje skúsenosť. Vedecká teória sa tak stáva hypotetickým modelom skutočnosti, a nielen jej verným matematickým opisom, ako to bolo u Galilea. Desmond Clarke píše: Pre Descarta „vysvetliť ľubovoľný prírodný jav znamená skonštruovať model“.<sup>98</sup> Keď sa Descartes roku 1633 dopočul o odsúdení Galilea, rozhodol sa *Svet nezverejniť*. Píše:

Tak ma to vydesilo, že som sa takmer rozhodol spáliť všetky svoje spisy, alebo aspoň nedovoľiť nikomu, aby ich videl. Lebo si neviem predstaviť, že Galileo, ktorý je Talian a pápežov obľúbenec, mohol byť prehlásený za zločínca len preto, že chcel ustanoviť pohyb Zeme.<sup>99</sup>

<sup>97</sup> Descartes, R., *Svet*, preložil A. K. Synopalov, in: R. Dekart, *Izbrannyye proizvedeniya*, GIP, Moskva 1950, s. 171–256.

<sup>98</sup> Clarke, D. M., „Descartes' philosophy of science and the scientific revolution“, c. d., s. 266.

<sup>99</sup> Ariew, R., „Descartes and scholasticism: The intellectual background to Descartes' thought“, in: J. Cottingham (ed.), *The Cambridge Companion to Descartes*, c. d., s. 77.

V rokoch 1634–1637, potom, čo si uvedomil, že *Svet* nemôže uverejniť, sa Descartes vrátil k špeciálnym otázkam matematiky a fyziky, rozpracúva viaceré námety z *Pravidiel*. Roku 1637 vydal tri eseje – *Dioptrika*, *Metéory* a *Geometria* –, spojené do jedného zväzku a opatrené predslavom s názvom *Rozprava o metóde*.<sup>100</sup> *Dioptrika* a *Metéory* obsahujú rad významných vedeckých výsledkov, ako je zákon lomú svetla, teória zrkového vlnimania či teória dĺhky, ktoré boli čiastočne obsiahnuté už v práci *Svet*. *Geometria* znamená zrod analytickej geometrie a prináša aj pokrok v algebraickej symbolike.<sup>101</sup> Descartes zaviedol označovanie neznámych veličín písmenami z konca abecedy ( $x, y, z, \dots$ ), parametrov písmenami zo začiatku abecedy ( $a, b, c, \dots$ ), od neho pochádza idea zapisovať mocniny pomocou indexu vpravo hore ( $x^3, x^4, x^5, \dots$ ). *Rozprava o metóde* obsahuje analýzu problémov metodológie, metafyziky a fyziky. V celej knihe však chýba čo i len zmienka o pohybe Zeme. Kniha sa dostalo kladného prijatia, keďže obsahovala rad vedeckých objavov a priniesla novú algebraickú symboliku a analytickú geometriu. Pod vplyvom úspechu *Rozpravy* sa Descartes rozhodol zverejniť aj svoj filozofický systém.

V rokoch 1638–1650 sa púšťa do intenzívnej práce. Najprv vydáva *Meditácie o prvej filozofii*,<sup>102</sup> ktoré obsahujú jeho metafyzické názory. Fyzikálny obraz sveta zakladá na metafyzických princípoch, pre-

<sup>100</sup> Descartes, R., *Rozprava o metóde ako správne viesť svoj rozum a hľadať pravdu vo vedách*, preložil A. Vantuch, in: R. Descartes, *Rozprava o metóde, Pravidlá na vedenie rozumu*, Vydavateľstvo SAV, Bratislava 1954, s. 23–69. Úplný text, aj s dodatkami in: R. Descartes, *Rassuždenie o metóde s príloženiami Dioptrika, Metéory, Geometria*, preložili G. G. Sjušarev a A. P. Juškevič, Izd. AN SSSR, Moskva 1953.

<sup>101</sup> Grosholz, E., „Descartes' unification of algebra and geometry“, in: S. Gaukroger (ed.), *Descartes, Philosophy, Mathematics and Physics*, c. d., s. 156–168; Mancosu, P., „Descartes's *Geometrie* and revolutions in mathematics“, in: D. Gillies (ed.), *Revolutions in Mathematics*, Clarendon Press, Oxford 1992.

<sup>102</sup> Descartes, R., *Meditácie o prvej filozofii*, preložili J. Ciger a V. Cigerová, Chronos, Bratislava 1997.

dovšetkým na princípe nemennosti Boha. Onehlo po *Meditáciách* vydáva *Princípy filozofie*,<sup>103</sup> dielo obsahujúce jeho fyzikálne názory v systematickej podobe, ktoré možno považovať za učebnicu kartéziánskej fyziky. Descartes napísal v liste Constantijnovi Huygensovi, že *Princípy* sú len prekladom spisu *Svet* do latinčiny. Skutočne, obsah týchto diel sa v mnohom prekrýva. *Svet* aj *Princípy* obsahujú teóriu zrážok telies, opísanú pomocou troch zákonov, obidve zkladajú opis Slnecnej sústavy na predstave vesmírneho víru. Keď však tieto spisy porovnáme, vidíme, že Descartes medzicasom svo-je názory revidoval a spresnil. Jeho teória zrážok dostala presnejšiu formuláciu a kopernikovská doktrína ustúpila do pozadia.

Napriek nepopierateľným rozdielom v detailoch však medzi *Princípmi filozofie* (1644) a spisom *Svet* (1633) existuje zásadná prbuznosť, podobne ako medzi *Rozpravou o metóde* (1637) a *Pravidlami na vedenie rozumu* (1628). Táto prbuznosť dokumentuje vnútornú jednotu a previazanosť Descartovho diela. Toto dielo nevzniká ako reakcia na vonkajšie podnety, ako je to u viacerých Galileových prác, ale je postupným vyjasňovaním a spresňovaním vízie, ktorá sa vynorila niekedy v rokoch 1618–1619, keď mal Descartes iba dvadsať rokov.

<sup>103</sup> Descartes, R., *Princípy filozofie*, preložil J. Špaňár, Pravda, Bratislava 1987.

## 2.1 Descartova ontologická idealizácia stavu

V kapitole 1.1 sme predložili výklad galileovskej fyziky ako *idealizácie pohybu*. Domnievame sa, že u Descarta dochádza k ďalšiemu základnému kroku v procese idealizácie, a to k *idealizácii stavu*. Husserl tento aspekt procesu idealizácie neskúmal a snažil sa idealizáciu modernej vedy redukovať na galileovskú idealizáciu, založenú na inštrumentalizácii pozorovania, technikách experimentovania a metódach merania. Pri experimentoch a pri meraní však galileovská fyzika fixuje len izolované aspekty skúmaného javu. Keby sa veda zakladala iba na pozorovaní, experimentoch a meraní, nemohla by zaviesť veličiny ako sila, energia alebo účinok. Nemala by dôvod prekročiť horizont fenomenálnej skutočnosti. Veda však tento horizont prekračuje a sme presvedčení, že je to aj zásluhou kartezianskej fyziky. Program matematizácie prírody tak nadobúda u Descarta oveľa radikálnejšiu formu ako u Galilea. Descartes matematizuje nielen jednotlivé fenomény, ale aj ich ontický základ.<sup>104</sup> Descartes idealizuje *ontologickú jednotu* súcna – všetky fenomény sveta redukuje na jednotný základ, na rozpriestranenosť a pohyb alebo, povedané jazykom modernej fyziky, na stav.

Tento fakt si mnohí neuvedomujú. Napríklad Gaukroger píše:

Dokonca aj keby sa nám podarilo presadiť tézu, že rozpriestranenosť je jediná vlastnosť, o ktorej si nemôžeme pred-

## 2. Descartovská fyzika vo svetle Husserlovej fenomenológie

staviť, že by ju látka nemala, a napriek tomu by zostala látkou, aký význam to má pre matematickú fyziku? Presnejšie: Po prvé, prečo by mala byť fyzika založená na tejto predstave látky, a nie na inej? Po druhé, prečo by fyzikálne pojmy mali byť závislé od argumentu abstrakcie? A po tretie, prečo by sme mali vôbec chcieť esencalistickú fyziku?<sup>105</sup>

Gaukroger nechápe, že Descartovi nešlo o metafyzickú otázku, neskúma sa o esencalistickú koncepciu látky. Descartes rieši epistemologickú otázku, ako možno odlišiť *stavové veličiny od ostatných veličín*. Táto otázka má pre matematickú fyziku kľúčový význam. Matematická fyzika sa začína zavedením pojmu stavu. Kým nemáme pojem stavu, nemáme matematickú fyziku. Preto tu nejde o nejakú predstavu látky, ale o koncepciu jej opisu. Okrem toho argument abstrakcie (podľa ktorého všetko to, čo si môžeme odmyslieť od látky bez toho, aby to prestala byť látka, nie je jej esenciálna vlastnosť) je pomerne rozumný heuristický argument na vylúčenie všetkých parametrov systému, ktoré nie sú stavovými veličinami. Stav telesa je totiž čosi, čo mu nemožno odňať. Preto Descartova stratégia nájsť stav eliminovaním všetkých atribútov telesa, ktoré mu možno aspoň v princípe odňať, nie je až taká nerozumná. Keďže si vieme odmyslieť farbu telesa, znamená to, že farba nie je stavová veličina. Nevrrdíme, že Descartovo riešenie je správne. Newton ukázal, že hmotnosť, aj keď si ju vieme „odmyslieť“, je pri fyzikálnom opise nevyhnutným parametrom. Newton tak mení kritériá, pomocou ktorých vyberá stavové veličiny. Ale keď chceme vylúčiť Descarta, nestačí konštatovať, že sa usiluje o podivný esencalistický projekt. Musíme pochopiť, čo tým sleduje. Jeho snaha zaviesť pojem stavu je ústrednou otázkou matematickej fyziky. Descartova koncepcia stavu je síce dávno prekonaná, ale nesmieme zabúdať, že s ideou hľadať vôbec nejaký stav prišiel práve Descartes. To, že

<sup>104</sup> Termíny *ontický* aj *ontologický* odkazujú na to, čo prekračuje oblasť javov smerom k tomu, čo skutočne existuje. Rozdiel medzi nimi je podobný ako medzi termínmi *psychický* a *psychologický*. Podobne, ako psychológia je vedná disciplína, ktorá sa zaoberá systematickým štúdiom psychických javov a vytvára ich psychologický opis, ontológia je filozofická disciplína, ktorá sa zaoberá štúdiom ontickej skutočnosti a vytvára jej ontologický výklad. V nasledujúcom texte sa pokúsime systematicky dodržiavať tento významový rozdiel a slovo *ontologický* budeme používať vo význame teoretickej reflexie ontickej skutočnosti. Preto hovoríme o Descartovej ontologickej idealizácii stavu, lebo táto idealizácia je súčasťou Descartovej filozofickej teórie. Naproti tomu budeme hovoriť o matematizácii ontickej bázy fenoménov, lebo matematizuje sa skutočnosť.

<sup>105</sup> Gaukroger, S., „Descartes' Project for a Mathematical Physics“, c. d., s. 132.

stavovými veličinami nie sú rozpriestranenosť a pohyb, ale poloha a hybnosť, nás neoprávňuje tak zásadne spochybniť Descartov prínos, ako to robí Gaukroger.

Na Descartovi je pritom zarážajúca jedna skutočnosť: Pri výklade Galilea sme spomenuli, že Galileo nemal k dispozícii analytickú geometriu, a tak jeho mechanika bola len fragmentárna, obmedzená na niekoľko izolovaných javov. Chýbal jej matematický jazyk, ktorý by ju umožnil systematicky rozpracovať. Descartes vytvoril takýto jazyk v podobe analytickej geometrie. Preto by sme mohli očakávať, že pri výklade pohybu zúžitkuje svoje matematické objavy a predloží teóriu pohybu, ktorá bude mať dokonalejší matematický aparát než mechanika Galileova. Pri takomto očakávaní sú Descartove diela *Svet a Princípy filozofie* sklamaním. Zdá sa, že Descartes sa vzdal matematizácie a vrátil sa k aristotelovskému verbálnemu štýlu vysvetľovania pohybu. Tento prvý dojem je však klamlivý. Descartes sa vzdal galileovského spôsobu matematizácie pohybu ako plynutia, lebo si uvedomil, že mu neumožňuje opísať vzájomné pôsobenie telies. Už sama táto skutočnosť prezrádza hlbku jeho matematického vhladu. Nevydal sa po Galileovej ceste, lebo videl, že táto cesta nevedie tam, kam sa chcel dostať. Preto aj keď vytvoril analytickú geometriu, ktorá by umožnila rozvinúť galileovskú kinematiku do nevidanej dokonalosti, vzdal sa tejto možnosti. Pochopil, že analytická geometria sa na opis pôsobenia medzi telesami nehodí. V tomto bode mal úplnú pravdu. Ako sa ukázalo neskôr, na matematický opis pôsobenia bolo nevyhnutné vytvoriť úplne novú matematiku, diferenciálny a integrálny počet. Preto Descartova rezignácia na galileovský spôsob matematizácie pohybu nie je prejavom nejakého metafyzického sklomu. Práve naopak, je prejavom intuitívneho porozumenia zásadným problémom spojeným s opisom pohybu a hlbokého vhladu do možnosti matematiky jeho čias. Descartova rezignácia na pokračovanie v galileovskom spôsobe matematizácie pohybu je teda podľa nás prejavom Descartovej filozofickej veľkosti, jeho schopnosti vytušiť medze matematickej jeho čias. Idealizácia pôsobenia musela počkať, až kým Newton a Leibniz vytvorili diferenciálny a integrálny počet, ktorý dokázal matematicky uchopiť pôsobenie.

Descartov prínos k rozvoju fyziky sa pokúsime interpretovať ako idealizáciu stavu, ktorá prináša ontologickú homogenizáciu a nomologickú unifikáciu opisu sveta. Husserl poukázal na zlom medzi fenoménmi žitého sveta a matematickými veličinami, pomocou ktorých veda tento svet opisuje. Na vysvetlenie pôvodu ontologickej homogenity a nomologickej jednoty sveta však už výklad idealizácie fenoménov nestačí. Základom kartezianskej fyziky je pojem stavu, ktorý sa zakladá na matematizácii formálnych štruktúr telesnosti. Naším cieľom je odkryť zlomy oddelujúce svet fyziky od fenomenality (Galileo), korporality (Descartes) a temporality (Newton) žitého sveta. Husserl charakterizoval Galileovu intenciu ako *program matematizácie prírody*. Ale Galileova matematizácia prírody ešte nie je projektom matematickej fyziky. Matematika je u Galilea iba *jazykom na opis fenoménov*. Konceptiu matematickej fyziky prináša až Descartes. To nie je podstatné, že Descartes prírodu opisuje verbálne. Keď hovorí, že všetko je rozpriestranenosť a pohyb, znamená to, že pre neho matematika tvorí ontologický základ skutočnosti. Geometria nie je len jazyk vhodný na opis fyzikálnych javov, ale samotné fyzikálne objekty sú geometrickou substanciou v pohybe. Zrejme také čosi mal Descartes na mysli, keď v liste Merseňovi 27. 7. 1638 napísal: „Celá moja fyzika nie je nič iné než matematika.“

#### 2.1.4 Descartova korekcia Galileovho princípu zotrvačnosti

Descartes nepriniesol žiadnu významnejšiu zmenu v oblasti instrumentalizácie pozorovania, experimentovania a merania v oblasti mechaniky.<sup>106</sup> Jeho prvý závažnejší príspevok sa týka až zákona zotrvačnosti. Zákon zotrvačnosti sa vo fyzikálnej literatúre pripisuje väčšinou Galileovi. Táto tradícia siahla k Newtonovi, ktorý prisudzoval zásluhu na jeho objave jedine Galileovi a o Descarto-

<sup>106</sup> To je dôvod, prečo kapitola 2.1 začína bodom 2.1.4. Descartes si možno uvedomil, že práve instrumentálne techniky experimentovania a merania rozbiľajú Galileov svet na súbor izolovaných javov. V Descartovej metóde *clara et distincta perceptione* možno vidieť alternatívu Galileovej metódy



vi sa ani nezmenili.<sup>107</sup> Galileo však považoval za zotrvačný pohyb pohyb po kružnici, a nie pohyb po priamke. Pri pokusoch s naklonenou rovinou objavil, že vodorovný pohyb po dokonale hladkej podložke je zotrvačný. Ale vodorovný znamená pohyb prebiehajúci v konštantnej výške nad povrchom Zeme, t. j. po kružnici. V tejto podobe je princíp zotrvačnosti nesprávny. Okrem toho u Galilea sa princíp zotrvačnosti týka iba zvláštneho druhu pohybu – pohybu po dokonale hladkej vodorovnej podložke. Ostatné druhy pohybu zotrvačné nie sú.

inštrumentálneho experimentovania a merania. Kým *meranie* izoluje jav z jeho prirodzeného okolia, *vnímanie* jav ponecháva na jeho mieste, takže ho umožňuje pochopiť spolu s jeho väzbami na okolie. Je však dôležité, aby toto vnímanie bolo *jasné* (jasnosť Galileo dosahuje pomocou umelej *experimentálnej situácie*, ktorá umožnila napríklad objasniť charakter voľného pádu) a *rozlíšené* (rozlíšenosť Galileo dosahoval pomocou *merania*, ktoré umožňuje prejsť od subjektívnych pocitov k jednoznačným veličinám). Descartes sa zrejme, pokiaľ ide o metódu jasných a rozlíšených percepcií, inšpiroval matematikou, teda v konečnom dôsledku bolo jeho opustenie experimentálnej metódy krokom späť. Newton tento krok korigoval a vrátil sa k inštrumentálnym technikám experimentovania a merania ako k základu fyziky. Galileovskú izolovanosť javov, pre ktorú Descartes technicky experimentovania a merania opustil, Newton korigoval matematicky. Javy, ktoré inštrument izoluje, matematický opis opäť spája.

Vzhľadom na to, že v mechanike Descartes neprispel k rozvoju jej experimentálnych metód, začneme kapitolu 2.1 až princípom zotrvačnosti. Je zaujímavé, že v oblasti optiky Descartes experimentoval; jeho teória dĺžky je založená na experimentálnom skúmaní lomu svetla na sférickej sklenené nádobe naplnenej vodou. Nešiel však nad rámec Galileovho konceptu experimentu. Vytvoril umelú situáciu, ktorá umožnila matematicky opísať dĺžku, teda jav, ktorý sa priamej matematizácii vymyká – podobne ako Galileo pri skúmaní voľného pádu. Shea poznamenal, že Descartes si pri experimentoch s nádobou naplnenou vodou situáciu zjednodušil, keď predpokladal, že lom svetla na stenách nádoby možno zanedbať (pozri Shea, W. R., *The Magic of Numbers and Motion. The Scientific Career of René Descartes*, c. d., s. 206). Ani u tom sa však nelíši od Galilea, ktorý pri kotlární guľi po naklonenej rovine zanedbal rotačný pohyb guľi.

<sup>107</sup> Koyré, A., *Galileo Studies*, c. d., s. 129.

Jedným z prvých, ktorí si uvedomili, že *zotrvačný je len priamočiary pohyb*, a predovšetkým to, že princíp zotrvačnosti *sa týka absolútne všetkých pohybov*, bol Descartes. V *Princípoch filozofie* píše:

Prvý z týchto zákonov je, že každá vec, ktorá je jednoduchá a nedeliteľná, pokiaľ to závisí od nej, zotrvaťava vždy v tom istom stave a mení ho iba pre vonkajšie príčiny [...] vec, ktorá sa pohybuje, nikdy sama od seba nepreruší svoj pohyb, ak jej v tom niečo iné nezabráni. Z toho teda vyplýva záver, že to, čo sa pohybuje, bude sa stále pohybovať, pokiaľ to závisí od neho. [...] *Druhý zákon* prírody je, že každá časť hmoty sama osebe sa usiluje pohybovať sa iba v smere priamočiarom, a nie zakrivenom, hoci mnohé z týchto častí sú často nútené odkloniť sa, pretože sa stretávajú s inými telesami [...].<sup>108</sup>

Tieto dva zákony možno považovať za predchodcov Newtonových zákona zotrvačnosti: „Každé teleso zotrvaťava v stave pokoja alebo rovnomerného priamočiareho pohybu, ak ho pôsobiace sily nemenia zmeniť jeho stav.“<sup>109</sup> Newtonov zákon je spojením a spresnením dvoch Descartových zákonov.

V otázke vzájomného vzťahu medzi prvým a druhým Descartovým zákonom a Newtonovým zákonom zotrvačnosti nepanuje zhoda. Niektorí historici upozorňujú na kontextové a konceptuálne rozdiely medzi nimi.<sup>110</sup> To, ako sa nám javí vzťah dvoch formulácií určitého zákona závisí od hľadiska, z ktorého ho skúmame. My tento vzťah preskúmame z troch hľadísk: z hľadiska idealizácii, z hľadiska re-prezentácii a z hľadiska objektácii.

<sup>108</sup> Descartes, R., *Princípy filozofie*, c. d., s. 101.

<sup>109</sup> Zajac, R., Šebesta, J., *Historické pramene súčasnej fyziky 1. Od Aristotela po Boltzmana*, c. d., s. 87.

<sup>110</sup> Gabbey, A., „Force and Inertia in the Seventeenth Century: Descartes and Newton“, c. d., s. 286–297.

Descartova a Newtonova fórmulácia zákona zotrvačnosti sú z hľadiska *idealizácií* ekvivalentné, lebo v príslušnom systéme fixujú ideálnu povahu rovnomerného priamociareho pohybu.

Z hľadiska *re-prezentácií* sa vo fórmulácii princípu zotrvačnosti začínajú prejavovať rozdiely, ktoré sú dôsledkom odlišného spôsobu opisu zmeny stavu v Descartovom a v Newtonovom systéme. Descartes si predstavoval zmenu stavu skokom, pričom teleso môže zmeniť smer svojho pohybu bez zmeny rýchlosti. Napríklad pri odraze lopty od steny sa smer pohybu jednoducho zmení na opačný, no ak bola zrážka pružná, rýchlosť zostane zachovaná. Preto Descartes osobitne hovoril o zotrvačnosti stavu, ktorá súvisí so zachovávaním množstva pohybu, a osobitne o zotrvačnosti smeru pohybu, ktorá v Descartovom systéme so zachovávaním množstva pohybu nesúvisí. Keď Newton vložil medzi počítačový a koncový stav proces zmeny opísaný pohybovou rovnicou, zisťil, že pohyb lopty sa postupne spomaluje, až lopta zastane, a potom pružné sily začnú jej pohyb zrýchľovať. Zmena smeru rýchlosti sa teda neuskutočňuje skokom, ale postupne, prechodom celej škály rýchlostí. Zmena smeru pohybu telesa predstavuje zmenu rýchlosti, takže niet dôvodu opisovať ich oddelene.

Keď prejdeme na úroveň *objektív*, vystúpia do popredia rôzne kontextuálne odlišnosti. V Descartovom systéme oddelenie množstva pohybu od smeru vystupuje vo viacerých kontextoch. Ako najdôležitejší z nich treba spomenúť vzťah duše a tela, ktorý Descartes zakladá na odlišení rýchlosti a smeru pohybu.<sup>111</sup> Keďže našim

<sup>111</sup> Podľa Descarta je telo hydromechanické zariadenie. Nervové vlákna sú trubice, ktorými prúdi jemná tekutina ovplyvňujúca sťahovanie svalov a prúdenie krvi v tele. Ak nahradíme tok tekutiny tokom elektrického náboja v nervovom vlákne, Descartova predstava nie je až taká navlná, ako sa môže zdať. Pri anatomických výskumoch Descartes zisťil, že z epifýzy vychádza veľké množstvo nervových vlákien, a tak do epifýzy situoval miesto kontaktu duše a tela. Duša síce nemôže zmeniť množstvo pohybu, lebo to je vo vesmíre nemenné, avšak Descartes prisdzuje duši schopnosť ovplyvniť smer prúdenia jemnej tekutiny v epifýze, teda určovať, kam potečie krv, a tým zasahovať do pohybov tela. V Newtonovom systéme takéto ovplyvňovanie už možné nie je.

cieľom je opísať proces idealizácie, nebudeme medzi Descartovou a Newtonovou verziou princípu zotrvačnosti rozlišovať a Descarta budeme považovať za autora tohto princípu. U Descarta máme totiž tak priamočiarosť zotrvačného pohybu, ako aj univerzálnosť princípu zotrvačnosti, čo sú dva hlavné momenty, ktoré u Galilea chýbajú.

Ak chceme nájsť príčinu Galileovej chybovej fórmulácie princípu zotrvačnosti, musíme si všimnúť pohyby, ktoré skúmal. Pri analýze Galileových príkladov vidíme, že zakaždým opisoval pohyb jedineho izolovaného telesa. Nech už skúmal voľný pád, kyvadlo či vrhnuté teleso, objekt, ktorý skúmal, izoloval od okolia. Chybná fórmulácia princípu zotrvačnosti je teda dôsledkom Galileovho pojatia pohybu ako geometrického plynutia. Podľa Descarta je takéto pojatie pohybu scesné a vedie k mylným záverom. Keď Galileo skúmal pohybujúce sa teleso, vytrhol ho z prostredia okolitých telies a opisoval, ako by sa pohybovalo bez pôsobenia iných telies. Pri opise pohybu telesa po vodorovnej podložke teda abstrahoval od trenia, odporu vzduchu a od všetkých ostatných vplyvov, ktoré by mohli narušiť rovnomernosť pohybu. To je v poriadku. Pritom si však zabudol odmyslieť ťaž. Len preto je zotrvačný pohyb kruhový. Keby naozaj odstránil všetko, čo obklopuje pohybujúce sa teleso, kruhový pohyb by sa zmenil na priamociarý. Galileo si neuviedomil, že ak odstráni prostredie, zmizne aj ťaž, ktorá zakrivuje dráhu pohybu. Mylné predpokladal, že po odstránení všetkých telies, ktoré pôsobia na skúmaný predmet, ostane kruhový tvar jeho trajektórie zachovaný.

Zvláštnosťou galileovej fyziky je *rozlišovanie rôznych druhov pohybu*. Je to pozostatok Aristotelovej koncepcie, podľa ktorej sa pohyby delia na prirodzené a neprirodzené. Galileo odmietol toto konkrétne delenie spolu s Aristotelovým pojatím prirodzeného pohybu ako smerovania na určité miesto. Preberá však od neho predstavu, že každý pohyb má určitý charakter, takže pohyby možno deliť na rôzne druhy (voľný pád, zotrvačný pohyb, pohyb po naklonenej rovine). Galileo veril, že po odstránení rušivých vplyvov prostredia si pohyby zachová svoj charakter, ba bude ho môcť prejavovať v čistejšej podobe. Descartes prišiel s ideou, že *existuje jediný druh pohybu* – rovnomerný priamociarý pohyb – a všetko ostatné je výsledkom

pôsobenia. Podľa Descarta je Galileovo pojmávanie fyziky mylné, lebo sa zakladá na nedostatočnom vyjasnení pojmu pohybu. Problém tkvie v Galileovej snahe abstrahovať od prostredia a okolitých telies, čo reálne nie je možné. Nie je možné zistiť, ako by jednotlivé fyzikálne procesy prebiehali, keby sme z ich blízkosti odstránili všetky telesá. Preto podľa Descarta je Galileova teória voľného pádu rovnako chybná ako jeho zákon zotrvačnosti kruhového pohybu. Galileo hovorí, že jeho zákon sa týka voľného pádu vo vákuu. Ale voľný pád je zrýchlený pohyb, takže niečo ho musí zrýchľovať. Ak však prejdeme do vákuu a odmyslíme si prostredie, tak zanikne aj pôsobenie, ktoré by mohlo pohyb zrýchľovať, a teleso sa musí začať pohybovať rovnomerne priamočiaro.<sup>112</sup> Sám od seba sa pohyb zrýchľovať nemôže. Musí ho zrýchľovať niečo, čo na teleso pôsobí. Ale ako naň môže niečo pôsobiť, keď v jeho blízkosti nič nie je? Preto Descartes odmieta aj Galileovu teóriu voľného pádu. Keby bolo možné vákuum, telesá by sa v ňom pohybovali rovnomerne priamočiaro. Zrýchlený pohyb je možný iba vtedy keď je pohyb telesa zrýchľovaný pôsobením okolia. Preto zrýchlený pohyb vo vákuu je nezmysel.<sup>113</sup>

Predstavme si Galilea, ako skúma let vtáka. Asi by, podobne ako pri skúmaní voľného pádu, prešiel k letu vtáka vo vákuu. Galileova

<sup>112</sup> Galileov zákon voľného pádu protirečí zákonu zachovania hybnosti: Galileo ešte nemal pojem uzavretého fyzikálneho systému, nevadilo mu, že pri voľnom páde vzniká hybnosť. Až Descartes, ktorý opustil opis pohybu vo vákuu a vrátil sa k prostrediu, dokáže nájsť zdroj, z ktorého padajúce teleso čerpá svoju narastajúcu hybnosť. V Galileovom systéme je pôvod narastajúcej hybnosti padajúceho telesa záhadou.

<sup>113</sup> Newton zaviedol silové pôsobenie na diaľku a my máme tendenciu vnímať Galileov zákon voľného pádu na pozadí newtonovskej gravitácie. Ale Galileo nepoznal sily pôsobiace na diaľku a čosi také by asi odmietol ako okultizmus. Preto Descartova kritika Galileovej koncepcie je oprávnená a fatálna. Newton prijíma Descartov argument, podľa ktorého na teleso pohybujúce sa so zrýchlením musí niečo pôsobiť. Jediný rozdiel je v tom, že Newton nevyžaduje, aby pôsobenie malo materiálneho nositeľa. Podľa Newtona je zrýchlenie voľného pádu prejavom pôsobenia presne tak ako podľa Descarta. Rozdiel je len v tom, že Newton opisuje pôsobenie pomocou síl, ktoré sa môžu šíriť v prázdnom priestore bez materiálneho nosiča, čo Descartes odmieta.

metóda spočíva totiž v tom, že si odmyslí prostredie, ktoré komplikuje pohyb. Len čo však odstránime vzduch, vták spadne na zem. Podobne ako v prípade voľného pádu, len čo si odmyslíme prostredie, teleso sa prestane pohybovať so zrýchlením. Aby vták mohol letieť a aby sa voľný pád mohol zrýchľovať, potrebujeme kauzálneho agensa, ktorý takýto druh pohybu spôsobuje. Keď si Galileo odmyslel prostredie, mohol si v duchu predstavovať vtáka, ako vo vákuu máva krídlami, respektíve ako sa pád telesa zrýchľuje. Ale to sú podľa Descarta „javy bez ontického substrátu“. Vieme si ich predstaviť, ale nie sú možné. Galileovo pojmávanie fyziky je pomýlené. Descartes si uvedomil, že opis javu sa musí týkať ontického základu, ktorý jav kauzálne determinuje. Nestáči sa obmedziť na javy. Teraz už rozumieme, prečo Descartes vycítal Galileovi, že „budoval bez základov“. Táto chyba má systematický charakter.

Galileo sa snaží abstrahovať od vplyvov, ktoré rušia plynnosť pohybu, ale pritom predpokladá, že kruhový charakter „zotrvačného“ pohybu či zrýchlený charakter voľného pádu zostanú zachované. Ale obidva tieto efekty sú dôsledkom pôsobenia. Keď odstráni pôsobenie, zanikne kruhový charakter „zotrvačného“ pohybu, ako aj zrýchlený charakter voľného pádu. Zostane len rovnomerný priamočiarý pohyb. Galileovské vytrhávajúce javy zo súvislosti vedie do slepej uličky. Fyzika nesmie izolovať javy, ale musí sa usilovať opísať ich ontický substrát.

### 2.1.5 Matematizácia ontického základu javov<sup>114</sup>

Prvým krokom premeny fyziky z galileovskej geometrie plynutia na dynamiku pôsobenia bol Descartov ontologický výklad pohybu ako

<sup>114</sup> Ak by sme chceli zachovať homogenitu názvov kapitol (body 1, 2 a 3 sa viažu na *techniky*, body 4, 5, a 6 na *princípy* a body 7, 8 a 9 na *zákony*), mohli by sme tento bod označiť za *princíp ontologickej ekvivalencie pohybu a pohybov*. Prítom tu nejde len o terminológiu. To, že sa určité tvrdenie nazýva princípom, nie je náhoda. Princíp je tvrdenie, ktoré fixuje novú odkrytosť javov, umožňuje vidieť javy v novom svetle, rozumieť im novým spôsobom. Je to regulatívna idea, ktorej musíme prispôbiť naše chápanie sku-

stavu.<sup>115</sup> Pohyb nie je proces, ale stav, nie je to aktivita, ale trpnosť. Descartes zavádza radikálne nový druh ontológie, keď vyhlasuje, že podstatou sveta nie je látka, ale rozpriestranenosť a pohyb. Táto zmena má niekoľko aspektov, ktoré postupne preskúmame.

### 2.1.5.a Pohyb ako ontologická kategória

Po prvé, *pohyb sa stáva ontologickou kategóriou*, stáva sa ontologickým určením sveta. Počínajúc Descartom fyzikálny opis nie je opisom stavby sveta, ale opisom dynamického stavu, pričom po-

točnosť. Princípy nie sú obvyčajne východiská ďalšieho uvažovania. Sú to východiská, ktoré fixujú porozumenie javom. Princípy radíme za techniky preto, lebo *techniky* nás postupne vzdávajú od pôvodného porozumenia zakotveného v žitom svete. Javy, ktoré predkladajú, nemožno vylóžiť pomocou starého kategoriálneho aparátu. Princípy, napríklad *princíp zotrvačnosti pohybu* alebo *princíp ekvivalencie pohybu a pokoja*, otvárajú nový pohľad, pričom sa javy stávajú zrozumiteľnými. Až keď sa zahŕajú základné princípy novej odkrytosti, prechádza fyzika k formulácii zákonov, ako je *zákon zachovania hybnosti, zákon akcie a reakcie* alebo *zákon sily*.

<sup>115</sup> Moderná logika neodlišuje vlastnosť od stavu. Stav je fyzikálna analógia geometrického pojmu *polohy*. Moderná logika sa zrodila z analýzy aritmetiky a čísla nemajú vzájomnú polohu. Geometrický útvar sa vyznačuje tým, že ho možno umiestniť na rôzne miesta. Poloha útvaru prináša jeho individualizáciu, čo je aspekt, ktorý jazyk aritmetiky nemá. V geometrii indivídium nie je jednoznačne určené svojimi atribútmi – okrem nich treba zadať aj jeho miesto, ktoré už nie je vlastnosťou samotného objektu. Ďalšími neurčitostami objektov jazyka geometrie sú *veľkosť* a *orientácia*. Tieto tri aspekty ukazujú na tri grupy – na grupu zhodnosti, grupu rovnolahlosti a grupu zrkadlových symetrií. Voľbou pohybu volíme reprezentanta voči grupe premiestnení, voľbou mierky volíme reprezentanta voči grupe rovnolahlosti a orientácia je voľbou reprezentanta voči grupe zrkadlových symetrií. *Hovoriť znamená vynírať rozlíšenia. Hovoriť jazykom geometrie znamená narušovať symetrie tohto jazyka* a do homogénneho, škálovo invariantného a izotropného pozadia vnašať znaky, ktoré jeho symetriu narúša a vytvoria pojem „tu“. Jazyk fyziky ide ďalej, keď definuje stav. Stav sa podobá polohe, ale neviaže sa na grupu premiestnení, ale na Galileovu grupu. Okrem „tu“ umožňuje povedať aj „teraz“.

hyb (rýchlosť či hybnosť) je jednou z jeho neoddeliteľných zložiek. Pohyb nie je určením toho, ako svet je, ale toho, čím je. Pohybom, ktorý Descartes povýšil na ontologickú kategóriu, je rovnomerný priamočiary pohyb. Počínajúc Descartom teda *existuje jediný druh pohybu* – rovnomerný priamočiary pohyb. Všetky ostatné druhy pohybu sú výsledkom pôsobenia a ako také vyžadujú vysvetlenie. Kým teda podľa Aristotela *každý neprirodzený pohyb vyžaduje vysvetlenie* (vo forme hýbateľa) a podľa Galilea *nijaký pohyb nevyžaduje vysvetlenie* (ale iba presný matematický opis), podľa Descarta rovnomerný priamočiary pohyb nevyžaduje vysvetlenie, lebo to vlastne nie je proces, ale stav, no všetky ostatné druhy pohybu už vysvetlenie vyžadujú. Descartes tak vytýčil hranicu, ktorá podnes oddeluje to, čo vysvetľovať netreba, od toho, čo vysvetľovať treba. Fyzika vysvetľuje iba zmeny pohybového stavu. Povedané značne anachronicky: Descartes pochopil, že pohybové rovnice mechaniky sú diferenciálnymi rovnicami druhého rádu.

### 2.1.5.b Rozpriestranená substancia ako základ matematickej ontológie

Druhý aspekt, ktorý prináša Descartova redukcia sveta na rozpriestranenosť a pohyb, je ešte radikálnejší. Aristoteles vo svojich *Druhých analytíkach* uvádza dôvody, prečo nie je možné používať jazyk matematiky pri vysvetľovaní fyzikálnych javov. Jeho argument spočíval v tom, že vedecké vysvetlenie musí byť kauzálne, vedecký argument musí príslušný jav vysvetliť na základe príčin, ktoré jav reálne spôsobujú. Podľa Aristotela však matematický opis nedokáže podať kauzálne vysvetlenie. Matematici používajú súbor abstraktných konštrukcií (napríklad epicykly a deferenty v Ptolemaovej sústave), ktoré reálne neexistujú, a teda nemôžu byť ani príčinou opísovaných javov. Bolo by nezmyslom tvrdiť, že epicykly a deferenty *spôsobujú* retrográdny pohyb planét. Ony ho len opisujú, ale nemôžu ho spôsobiť. Spôsobit ho môže iba iné materiálne teleso, ktoré bude kauzálne pôsobiť na planétu. Inými slovami, matematická je vhodná na opis javov, ale nie je schopná vyjadriť

príčiny, ktorými sú tieto javy určené. Medzi takéto príčiny podľa Aristotela nutne patrí aj príčina materiálna, teda konkrétna látka, z ktorej sú vytvorené telesá určujúce príslušný jav. Iba vysvetlenie vychádzajúce z opisu tejto materiálnej substancie môže byť kauzálnym, a teda vedeckým vysvetlením príslušného javu. Matematické abstrakcie to nedokážu.

Galileo pred týmto argumentom cúvol. Vo svojej fyzike sa plne uspokojil s matematickým opisom javov a vzdal sa ambície hovoriť o ich príčinách. Prijal teda priestor, ktorý matematike vymedzil Aristoteles. Možno bol presvedčený, že skutočná veda ani viac určiť nemôže; môže len opisovať javy.<sup>116</sup> Descartes pred Aristotelovou výzvou necúvol. Descartovu fyziku možno chápať ako odpoveď Aristotelovi. Podľa Descarta matematický opis prírody je možný, lebo matematická forma, t. j. rozpriestranenosť, tvorí podstatu súcna. Preto je matematický opis javov opisom ich kauzálnych podstaty a matematický výklad je výkladom kauzálnym. Inými slovami, Descartes považuje geometrické formy na ontologickú úroveň, *premieňa matematickú formu na fyzikálnu substanciu*. Matematika teda nič neabstrahuje, ale priamo uchopuje podstatu vecí, lebo podstatou vecí je rozpriestranenosť a pohyb. Descartes vlastne tvrdí, že ideálne sú nielen jednotlivé fyzikálne veličiny, ale že samotné súcno má ideálnu povahu. Descartes tak prechádza od galileovskej idealizácie javov k idealizácii ich ontologického substrátu. Ako sme uviedli v úvode tejto kapitoly, moderná veda Descarta v tejto matematizácii ontologického substrátu reality nasleduje. Keď sa pozrieme na pojatie súcna v klasickej mechanike, v teórii pola či v kvantovej mechanike, narazíme na matematické ideality – teda na telesá, polia či častice, ktorých všetky aspekty sú matematické.

Dostávame sa tak k pochopeniu hlbšieho zmyslu, v ktorom je Descartova fyzika matematická. Nie je matematická v povrchnom zmysle, v akom bola matematická Galileova fyzika. Matematika nie je pre Descarta jazykom, ktorým opisujeme svet. *Matematické ob-*

jekty sú podľa neho ontologickým základom sveta. Svet je matematickovo zovrateľný nie preto, že ho možno opísať jazykom matematiky, ale preto, že rozpriestranenosť a pohyb, t. j. ontologický substrát sveta, sú jasné a jednoznačné idey podliehajúce *metódam matematiky*, a preto sú to matematické objekty. Podľa Descarta neexistuje nijaká látka v zmysle antického *hylé*, nijaká materiálna substancía vymykajúca sa matematickému opisu, v ktorej existenciu verili Aristoteles i Galileo a kvôli ktorej prvý popieral možnosť matematického opisu kauzálnych podmienok javov a druhý sa jej jednoducho vzdal. Podľa Descarta existuje iba rozpriestranenosť a pohyb, a preto opis rozpriestranenosti a pohybu je kauzálnym opisom sveta. Už neplatí, že kniha prírody je len „napísaná jazykom matematiky“ – sama príroda je „vtelená matematika“. Preto otázka aplikovateľnosti matematiky na prírodné javy, ktorej Galileo venoval ústrednú pozornosť, je podľa Descarta chybné položenou otázkou. *My neaplikujeme matematiku na prírodu, ale samotná príroda je matematická.*

### 2.1.5.c Univerzálnosť matematickej ontológie a kartezianska redukcia

Tretím aspektom Descartovej redukcie sveta na rozpriestranenosť a pohyb je jej univerzálnosť. Prechod od epistemologického k ontologickému použitiu matematiky je úzko spätý so zrodom algebraickej symboliky. Práve jazyk algebry umožňuje univerzálny popis. Z hľadiska algebry je nepodstatné, čo nejaká premenná predstavuje. Môže to byť dĺžka určitej geometrickej úsečky, ale aj nejaká fyzikálna veličina. Descartes si zrejme ako prvý uvedomil, že tento jazyk umožňuje prejsť od opisu javov k vyjadreniu štruktúry, ktorá javy konštituuje. Matematika podľa Descarta umožňuje nielen opísať nejaký jav, ale aj vyjadriť to, čo tento jav onticky konštituuje. Až na tejto hlbšej úrovni, kde objekty sú určené súborom formálnych vzťahov, je svet matematizovateľný. Descartes pripísal tejto novej úrovni opisu ontologický status, čím vytvoril pojem stavu. Stav je algebraická veličina, t. j. matematický objekt, ktorý reprezentuje

<sup>116</sup> Mnohi pozitivisticky orientovaní filozofi toto presvedčenie zdieľajú dodnes.

ontickú rovinu systému, a tým konštituuje aj jeho javovú stránku. Descartov opis prírody je preto algebraický, a nie geometrický.

Geometrický je Galileov opis. Pritom geometrické je nielen Galileove pojmánie pohybu ako geometrického plynutia, ale aj spájanie jednotlivých pohybov do celku geometrického usporiadania snečnej sústavy. Galileo vlastne len nahradil Aristotelovu predstavu vesmíru ako hierarchického usporiadania miest predstavou harmónického usporiadania pohybov. V strede univerza je Slnko a okolo neho obiehajú podľa geometrického poriadku jednotlivé planéty. Na jednej strane je to dôležitý krok vpred, lebo pohyb u Galilea už nie je *narušením* poriadku, ale stáva sa jeho *nositeľom*. Ale na druhej strane je tento poriadok ešte stále geometrický.

## 2.1.6 Descartov zákon zachovania množstva pohybu

ako prvý univerzálny zákon

Descartes vyslovil zákon, podľa ktorého je množstvo pohybu vo vesmíre nemenné.<sup>117</sup> V *Princípoch filozofie* podal teologické zdôvodnenie tohto pravidla a naznačil jeho kvantitatívnu formuláciu:

[...] Boh, ktorý na počiatku stvoril hmotu zároveň s pohybom a pokojom a teraz svojim zvyčajným prispievaním zachováva v nej toľko pohybu a pokoja, koľko do nej na

<sup>117</sup> Zaujímavý výklad pôvodu Descartovho zákona zachovania množstva pohybu možno nájsť v stati Alana Gabbeya (Gabbey, A., „The mechanical philosophy and its problems: Mechanical explanations, impenetrability, and perpetual motion“, in: J. C. Pitt (ed.), *Change and Progress in Modern Science*, Reidel, Dordrecht 1985, s. 38–41). Už Beecman si všimol, že pri zrážkach telies sa ich pohyb spomaluje – rýchlejšie teleso stráca niečo zo svojej rýchlosti. Preto si Beecman položil otázku, *prečo vo vesmíre nepozorujeme univerzálnu nehybnosť*. Tento problém mechanického univerza pripomína problém tepelnej smrti vesmíru, ktorý sa vynoril v 19. storočí. Nie je vylúčené, že Descartes dospel k objavu zákona zachovania množstva pohybu práve pri uvažovaní o tomto probléme.

začiatku vložil. Lebo aj keď onen pohyb v pohybovanej hmote nie je ničím iným ako jej stavom, predsa má stáť a vymedzenú kvantitu, ktorá, ako ľahko pochopíme, môže byť vždy tá istá v celom svete, aj keď sa v jednotlivých častiach mení. Preto keď sa jedna časť hmoty pohybuje dvakrát rýchlejšie ako druhá a táto druhá je dvakrát väčšia než prvá, musíme predpokladať, že v menšej časti je práve toľko pohybu ako vo väčšej, [...]”<sup>118</sup>

Miera pohybu, ktorú používa, je blízka hybnosti. Descartes však ešte nemá pojem hmotnosti, pomocou ktorej definujeme hybnosť dnes, a hovorí len o veľkosti častí hmoty. Ale v rámci jeho systému sú veľkosť a hmotnosť ekvivalentné, lebo geometrická substancia má konštantnú hustotu. Niektorí historici preto priamo dosadzujú za Descartov termín *množstvo pohybu* výraz *mv*. Napríklad Guerout píše: „Charakteristiky týchto síl [...] môžu byť vypočítané v každom okamihu pre každé teleso podľa vzťahu  $mv$ .”<sup>119</sup> Z pohľadu historika to však nie je úplne presné, lebo Descartes pojem hmotnosti *m* nepoznal. Na druhej strane však prepis do modernej terminológie umožňuje lepšie porozumieť tomu, čo mal vlastne Descartes na mysli. Iní proti takémuto čítaniu namietajú. Napríklad Garber píše:

Je dôležité, aby sme nevnášali do Descartovho zákona zachovania moderný pojem hybnosti, hmotnosť krát rýchlosť. Descartes a jeho súčasníci nemali pojem hmotnosti nezávislý od veľkosti. A smer pohybu vôbec nevstupuje do zákona zachovania. Zachováva sa jednoducho veľkosť krát rýchlosť, takže keď sa teleso odrazi a mení smer svojho pohybu, pokiaľ sa nezmení veľkosť jeho rýchlosti,

<sup>118</sup> Descartes, R., *Princípy filozofie*, c. d., s. 100.

<sup>119</sup> Guerout, M., „The Metaphysics and Physics of Force in Descartes“, in: S. Gaukroger (ed.), *Descartes, Philosophy, Mathematics and Physics*, c. d., s. 198.

množstvo pohybu sa nijako nemeni. Descartov zákon zachovania mal veľký vplyv na fyzikov neskorších období. Nanešťastie sa ukázalo, že tento zákon je nesprávny.<sup>120</sup>

S týmto názorom nemožno súhlasiť. V rovine idealizácie, ktorá nás tu zaujíma, sú uvedené námietky nepodstatné. V Descartovom princípe možno vidieť prvú formuláciu zákona zachovania hybnosti.<sup>121</sup> Tento zákon je veľmi dôležitý, lebo je predchodcom radu ďalších zákonov zachovania (energie, momentu hybnosti, náboja...). Okrem toho je to prvý príklad *univerzálneho zákona*. Nie je to zákon opisujúci nejaký konkrétny typ javov, ale opisuje všetky javy, opisuje vesmír ako celok. Nerozdeľuje obraz sveta, ako to robili Galileove zákony opisujúce izolované javy, ale práve naopak, uchopuje jeho jednotu, opisuje to, čo všetky javy zjednocuje do celku – zachovávajúce sa množstvo pohybu. Tento zákon pritom nemožno odvodit' z pozorovania, lebo hybnosť nemožno pozorovať. Descartes však tvrdí, že aj keď nemôžeme určiť hybnosť vesmíru ako celku, vieme, že sa zachováva.

### 2.1.7 Descartovo pojatie interakcie ako zrážky

Descartes nahradil Galileovo pojatie pohybu ako ideálneho plynu-tia pojatím pohybu ako stavu. To mu umožnilo prejsť pri opise prírody na hlbšiu úroveň a sústrediť sa na otázku, ako sa pohybový stav mení. Inými slovami, Descartes sa nezaujíma o plynutie pohybu, ale o zmeny pohybového stavu. K zmene pohybového stavu

<sup>120</sup> Garber, D., „Descartes' physics“, in: J. Cottingham (ed.), *The Cambridge Companion to Descartes*, c. d., s. 314.

<sup>121</sup> Nahradenie veľkosti telesa jeho hmotnosťou v definícii hybnosti, ako to urobil Newton, je *objektáciou hustoty*. Podobnou *objektáciou* sa dá opraviť to, že hybnosť má vektorový, a nie skalárny charakter ako množstvo pohybu. Obe tieto objektácie sú zmeny menšieho rádu ako idealizácia, a preto tu na ne neberieme ohľad.

dochádza prostredníctvom interakcie. Zákon zachovania množstva pohybu vo vesmíre pritom vyžaduje, aby interakcia mala charakter odovzdávania hybnosti jedného telesa druhému. Descartes zásadne mení obraz vesmíru načrtnutý Galileom. Galileov vesmír bol kinematickým univerzom, usporiadaným systémom zotrvačných kruhových pohybov. Galileovi chýbala koncepcia interakcie. Descartovo univerzum je dynamickým univerzom, univerzom telies, ktoré neustále interagujú. Interakcia telies má charakter *mechanickej zrážky*. Podľa prvého a druhého zákona Descartovej fyziky teliesá zotrvávali v nemennom stave pokoja alebo pohybu, pokiaľ je to len možné. Toto udržiavanie stavu prestane byť možné vtedy, keď dve teliesá smerujú súčasne na to isté miesto, alebo keď jedno teleso je na príslušnom mieste v pokoji a druhé naň smeruje. Vtedy dochádza k zrážke. Pre Descarta je zrážka základným druhom interakcie v prírode a opisuje ju jeho tretí zákon:

Tretí zákon prírody je: ak pohybujúce sa teleso pri zrážke s iným telesom má menej sily pokračovať v priamočiaram pohybe, ako má druhé odporovať mu, vtedy odbočí na inú stranu, pričom si zachová svoj pohyb a stráca iba predchádzajúci smer pohybu; ak však má viac sily, vtedy pohybuje druhým telesom, berie ho so sebou a stráca toľko pohybu, koľko mu zo svojho odovzdáva.<sup>122</sup>

Pri opise zrážok zavádza Descartes *pojem sily*:

[Teleso] čo je v pokoji, má silu zotrvať vo svojom pokoji a klásť odpor všetkému, čo by mohlo tento pokoj narušiť. Takisto pohybujúce sa teleso má silu pokračovať vo svojom pohybe, t. j. pohybovať sa tou istou rýchlosťou a v tom istom smere. Táto sila závisí jednak od veľkosti telesa, v ktorom sa nachádza, a od veľkosti povrchu, ktorým je teleso oddelené od iného telesa, ako aj od rýchlosti

<sup>122</sup> Descartes, R., *Princípy filozofie*, c. d., s. 104.

pohybu a od prirodzenosti a rozdielov v spôsobe, ako sa rozličné telesá navzájom stretajú.<sup>123</sup>

Descartova koncepcia síl je pozoruhodná tým, že sily sú pasívne. Nie sú to sily, ktorými jedno teleso pôsobí na druhé. Sila len udržuje teleso v jeho stave. Z metafyzických základov Descartovej filozofie vyplýva, že konštantné množstvo pohybu vo vesmíre udržuje svojou nemennosťou Boh. A nemennosť Boha je dôvodom, prečo príslušné sily nemôžu byť aktívne. Boh do sveta nezasahuje, len ho udržáva taký, aký ho stvoril. Hoci Boh je zdrojom síl, nie je vystavený ich pôsobeniu. Preto v Descartovej filozofii majú sily zložitý ontologický status. Vo vzťahu k Bohu sú prejavom jeho nemennosti, vo vzťahu k svetu sú modmi. V liste Moreovi z augusta 1649 Descartes píše:

Hýbajúca sila je silou samotného Boha, zachováajúca toľko pohybu v látke, koľko On vložil do nej v prvom okamihu stvorenia. [...] A táto sila je vo stvorenej substancii jej modom, ale nie je modom v Bohu, ale toto je niečo, čo presahuje bežné chápanie. Vo svojich dielach som sa touto otázkou nechcel zaoberať, aby nevznikol dojem, že podporujem názory tých, ktorí považujú Boha za svetovú dušu spojenú s látkou.<sup>124</sup>

Descartovo univerzum je teda otvorené Božiemu pôsobeniu. Boh pritom pôsobí na svet bez toho, že by spätne počítval pôsobenie zo strany sveta. Táto koncepcia sily sa zásadne líši od pojęcia Newtonovho. Podľa Newtona sila predstavuje aktívne pôsobenie, pričom ku každej akcii sa viaže reakcia rovnakej veľkosti a opačného smeru.

<sup>123</sup> Tamtiež, s. 106.

<sup>124</sup> Gueroult, M., „The Metaphysics and Physics of Force in Descartes“, c. d., s. 199.

### 2.1.7.a Formálna rekonštrukcia Descartovej teórie zrážok

Descartes opisuje zrážku telies pomocou siedmich pravidiel. Z dnešného hľadiska vyzerajú tieto pravidlá čudne. Descartes napríklad píše:

Keby teleso C bolo celkom v pokoji a bolo by trochu väčšie ako B, mohlo by sa B pohybovať smerom k C akoukoľvek rýchlosťou, nikdy by neuviedlo do pohybu C, ale by sa od neho odrazilo do protikladného smeru. Totiž teleso v pokoji kladie väčší odpor veľkej rýchlosti ako malej, a to v závislosti od rozdielu vo veľkosti. Preto má C vždy väčšiu silu na kladenie odporu ako B na uvedenie do pohybu.<sup>125</sup>

Pokúsime sa o rekonštrukciu dvoch z týchto pravidiel. Vychádzame pritom z prístupu k epistemologickej rekonštrukcii, aký sme použili pri interpretácii aristotelovskej fyziky ako fyziky pohybu v mede.<sup>126</sup> Náš prístup sa zásadne líši od prístupu väčšiny historikov. Gueroult napríklad k vyššie uvedenému citátu poznamenáva: „Tento zákon je nesprávny, ale nás tu nezaujímajú vedecká pravdivosť kateteziánskej fyziky, ale koherentnosť tejto fyziky s metafyzikou, na ktorej základoch spočíva.“<sup>127</sup> Podľa nášho názoru úloha epistemologickej rekonštrukcie nespočíva iba v objasnení dobového kontextu a vnútornej konzistentnosti názorov určitého učenca, ale aj v rekonštrukcii faktického jadra jeho teórie. Nejde len o to, ukázať, že v kontexte svojej doby boli názory Aristotela či Descarta zmysluplné a ako celok sú konzistentné. My tvrdíme viac. Tvrdíme, že na to, aby mohli zohrať takú dôležitú úlohu v dejinách vedy, museli mať *fakticky správne jadro*. Musí teda existovať situácia, akou je

<sup>125</sup> Descartes, R., *Principy filozofie*, c. d., s. 107.

<sup>126</sup> Pozri Kvasz, L., *Gramatika zmeny*, c. d., s. 26–27, alebo dodatok 3 tejto knihy.

<sup>127</sup> Gueroult, M., „The Metaphysics and Physics of Force in Descartes“, c. d., s. 224.



v prípade Aristotelovej fyziky miestnosť naplnená medom, v ktorej to, čo Aristoteles tvrdí o pohybe, naozaj platí. Aristotela či Descarta neobhajujeme ako mysliteľov, ktorí vyjadrili ducha doby, ani ako filozofov, ktorí priniesli konzistentné systémy kategórií. Chceme ich obhájiť ako vedcov, ukázať, že ich názory sú v určitom výseku skutočnosti fakticky správne. Za týmto účelom potrebujeme nájsť situáciu, v ktorej Descartes hovorí z newtonovského hľadiska zmysluplne.

Hľadáme teda situáciu podobnú miestnosti plnej medu, v rámci ktorej sa Aristotelove výroky o rýchlejšom páde ťažšieho telesa stali newtonovsky platnými a ktorá tak umožnila opísať vzájomný vzťah aristotelovskej a newtonovskej fyziky. Chceme nájsť situáciu, v rámci ktorej bude Descartov opis zrážky telies korektný z hľadiska Newtonovej teórie. Hľadáme určitý parameter Newtonovej teórie, ktorého limitným zväčšovaním či zmenšovaním získame systém, ktorý sa bude správať tak, ako predpisuje Descartova teória. V prípade Aristotela bola týmto parametrom viskozita, pričom sme ukázali, že Aristotelova fyzika je správnu teóriu pohybu v prostredí s vysokou viskozitou. Pre Descartovu teóriu zrážok je takýmto parametrom pomer hmotností zrážajúcich sa telies. Chceme teda ukázať, že Descartova teória je vecne správna teória zrážok telies s veľmi rozdielnymi hmotnosťami.

Uvažujeme zrážku *ľahkého nalieťavajúceho telesa B* a *ťažkého nehybného telesa C*. Zrážku opíšeme pomocou zákona zachovania hybnosti a zákona zachovania energie newtonovskej fyziky:

$$\begin{aligned} m_B \cdot V_B &= m_B \cdot V_B + m_C \cdot V_C \\ \frac{1}{2} m_B \cdot V_B^2 &= \frac{1}{2} m_B \cdot V_B'^2 + \frac{1}{2} m_C \cdot V_C'^2 \end{aligned}$$

V tejto sústave považujeme hmotnosti  $m_B$  a  $m_C$  zrážajúcich sa telies, ako aj rýchlosť  $v_B$  telesa  $B$  pred zrážkou za známe a chceme vypočítať rýchlosti  $V_B$  a  $V_C$  po zrážke. Po sérii úprav dostaneme:

$$V_B = v_B \frac{m_B - m_C}{m_B + m_C} \qquad V_C = v_B \frac{2m_B}{m_B + m_C} \qquad (1)$$

Tento výsledok odporuje Descartovej predpovedi, že teleso  $C$  ostane v pokoji. Ukázalo sa, že rýchlosť  $V_C$  je nenulová, takže Descartovo tvrdenie je chybné. Keď však vo vzťahoch (1) čítateľa aj menovateľa obidvoch zlomkov predelíme hmotnosťou  $m_C$  a rozložíme do radu podľa veličiny  $\frac{m_B}{m_C}$ , dostaneme:

$$V_B = v_B \left[ -1 + 2 \frac{m_B}{m_C} - \dots \right] \qquad V_C = v_B \left[ 2 \frac{m_B}{m_C} - 2 \left( \frac{m_B}{m_C} \right)^2 + \dots \right]$$

Keď v týchto rozvojoch prejdeme k limite  $\frac{m_B}{m_C} \rightarrow 0$ , dostaneme *presne to, čo hovorí Descartes*. Teleso  $C$  bude nehybné (lebo  $V_C$  bude rovné nule), kým teleso  $B$  sa odrázi (lebo  $V_B$  bude rovné  $-v_B$ ). To znamená, že hoci je Descartovo tvrdenie vo všeobecnosti nesprávne, lebo pre konečné hodnoty pomeru hmotností  $\frac{m_B}{m_C}$  je rýchlosť telesa  $C$  nenulová, v limite, keď je tento pomer nekonečne malý, sa deje presne to, čo hovorí Descartes. Preto tvrdíme, že Descartova teória pohybu je čímsi viac než len konzistentným filozofickým systémom. Je to fyzikálna teória, lebo fakticky funguje.

Uvažujeme teraz situáciu, keď *ťažké teleso B nalieťava na ľahké teleso C*. Riešenia (1) sa nezmenia, lebo sme ich odvodili pre všeobecný prípad. Zmení sa však parameter, podľa ktorého budeme tieto riešenia rozkladať do radu. Tentoraz to nebude pomer  $\frac{m_B}{m_C}$ , ale pomer  $\frac{m_C}{m_B}$ , lebo rozkladať do radu treba podľa parametra menšieho ako jedna. Analogicky ako prv dostaneme:

$$V_B = v_B \left[ 1 - 2 \frac{m_C}{m_B} + \dots \right] \qquad V_C = v_B \left[ 2 - 2 \frac{m_C}{m_B} + \dots \right]$$

Vidíme zásadný rozdiel v správani telesa  $C$  oproti predošlému prípadu. V limite dostávame nenulovú rýchlosť aj pre teleso  $C$ . Obidve telesá sa budú pohybovať spoločným smerom, ako hovorí Descartes. Na rozdiel od Descarta sme však dostali, že ľahšie teleso  $C$  sa bude pohybovať dvojnásobnou rýchlosťou ako ťažšie teleso  $B$ . Táto odchyľka však z hľadiska kartezianskeho systému nie je až tak významná, lebo Descartov vesmír je vyplnený látkou, takže

lahké teleso *C* v prostredí rýchlo strati svoju nadbytočnú hybnosť a prílepi sa na ťažké teleso *B*, ktoré bude mať dostatok hybnosti na to, aby si preťažalo cestu prostredím. V tomto prípade teda potrebujeme odpor prostredia – podobne, ako sme ho potrebovali pri rekonštrukcii Aristotelovej teórie. Ale teraz už nepotrebujeme „nekonečne“ veľkú viskozitu, už nepotrebujeme med, ale posťaci nám vzduch. Musíka sa môže odraziť od čela automobilu povedzme aj dvojnásobnou rýchlosťou, než akou sa rúti auto, o pár sekúnd ju vzduch tak či tak pritlačí na miesto, odkiaľ sa pokúšala odraziť.

Uvedená rekonštrukcia ukazuje, že Descartovu teóriu treba brať vážne ako fyzikálnu teóriu. Descartova fyzika tvorí prechodné štádium medzi Galileom a Newtonom. Formálna rekonštrukcia Descartovej fyziky otvára možnosť konceptuálneho porovnania Descartovej a Newtonovej fyziky. Predtým bolo takéto porovnanie nemožné, lebo Descartes nebol považovaný Newtonovi za rovnocenného partnera. Až keď pomocou formálnej rekonštrukcie karteziánskej fyziky prekonáme pozitivistické predsudky voči Descartovi, otvorá sa cesta k prehodnoteniu vzájomného vzťahu Descartovej a Newtonovej fyziky.

### 2.1.7.b Konceptuálne porovnanie Descartovej teórie zrážok s Newtonovou teóriou

Pri výklade Descartovej teórie zrážok budeme vychádzať zo state *Sila a zotrvačnosť v sedemnástom storočí: Descartes a Newton*,<sup>128</sup> v ktorej Alan Gabbey používa pri výklade Descartovej fyziky newtonovskú mechaniku. Takýto prístup sa môže historikom zdať divný, preto Gabbey cíti potrebu ospravedlniť svoju rekonštrukciu slovami: „Necítam Descarta cez newtonovské okuliare, ako by sa mohol niekto domnievať [...] Používam skôr newtonovské zrkadlo, aby som vhodne zobrazil podstatné aspekty Descartovej teórie zrážok, a tým spresnil naše porozumenie tejto teórii.“ My rámeč tohto spô-

sobu používania Newtonovej teórie ako prostriedku umožňujúcej mu vhodné a zrozumiteľne zobrazit Descartovu teóriu prekróime. Podľa nás má Newtonova teória pri epistemologických rekonštrukciách vývinu prednewtonovskej fyziky zásadnejšiu úlohu. Zrod Newtonovej fyziky je zrodom nového jazyka, zrodom novej syntaxe. Preto nejde len o to, porovnať to, čo hovorí o pohybe Descartes, s tým, čo o ňom hovorí Newton. Treba porovnať najmä to, ako o ňom hovorí. Descarta považujeme predovšetkým sa inovátora jazyka. To, že sa v niektorých svojich formuláciách mylí, je vedľajšie. Dôležité je to, že pri formulovaní týchto nesprávnych názorov zásadným spôsobom zmenil jazyk, ktorým opisujeme prírodu. Nám tu ide o porovnanie jazyka Descartovej fyziky s jazykom Newtonovej fyziky. Nejdeme posudzovať Descartove názory z hľadiska „newtonovskej pravdy“. Chceme posudzovať Descartov jazyk z hľadiska „newtonovskej syntaxe“.

Ak chceme porozumieť Descartovej teórii zrážok, musíme siahnuť po liste Clerselierovi zo 17. februára 1645, v ktorom píše:

Moje dôvody pre tvrdenie, že teleso bez pohybu nemôže byť pohnuté menším, nech by sa pohybovalo ľubovoľnou rýchlosťou, sú, že je zákonom prírody, že teleso, ktoré pohne iným telesom, musí mať viac sily na jeho hýbanie, než jej má to druhé na odporovanie pohybu. Ale tento prebytok môže závisieť len od jeho veľkosti; lebo teleso, ktoré je bez pohybu, má presne toľko stupňov odporu, koľko stupňov rýchlosti má druhé, ktoré ho hýbe. Ak totiž pohybujeme jedným telesom dvakrát tak rýchlo ako druhým telesom, tak prvé musí dostať dvakrát toľko pohybu; ale aj dvojnásobne odporuje tomuto dvojnásobnému množstvu pohybu. Napríklad B môže tlačiť C iba takou rýchlosťou, akou by sa samo pohybovalo po zrážke s ním. Teda ak B sa má k C ako 5 ku 4, tak z 9 stupňov pohybu bude B musieť odovzdať 4 telesu C, aby sa toto pohybovalo rovnakou rýchlosťou ako ono samé. To môže ľahko urobiť, lebo má silu radšej previesť až 4 1/2 (to jest polovicu toho, čo má), než sa odraziť v opačnom smere. Ale ak

<sup>128</sup> Gabbey, A., „Force and Inertia in the Seventeenth Century: Descartes and Newton“, c. d.

B sa má k C ako 4 ku 5, tak B môže pohnúť C len vtedy, ak mu odovzdá 5 zo svojich 9 stupňov, čo je viac než polovica toho, čo má, a proti čomu C pôsobí väčšou silou, než má B k dispozícii. Preto B sa musí odraziť opačným smerom, a nie pohnúť C.<sup>129</sup>

Descartes tu opisuje zrážku ako *udalost odohrávajúcu sa v jedinom okamihu*. Telesá sa zrazia a v momente zrážky sa rozhodne, ktorá sila zvíťazila: či pohybová sila telesa B, alebo sila odporu telesa C. V dôsledku pojatia pohybu ako stavu sa totiž každé teleso usiluje udržať svoj stav tak dlho, ako je to len možné. Stav telies je udržávaný silami zotrvačnosti.

Descartes zavádza *silu zotrvačnosti* udržiavajúcu pohyb telesa B, ktoré letí rýchlosťou  $V_B$ ,<sup>130</sup> jednoducho ako súčin jeho veľkosti a rýchlosti. V prípade telesa, ktoré je v pokoji, je táto definícia nepoužitelná, lebo v dôsledku nulovej rýchlosti dáva vždy nulovú hodnotu. Preto pre teleso v pokoji Descartes používa inú definíciu zotrvačnej sily, podľa ktorej sila, ktorou teleso nachádzajúce sa v pokoji odporuje tomu, aby sa pohlo, sa rovná súčinu jeho veľkosti a rýchlosti, ktorou sa má pohybovať po zrážke. Podľa prvej definície sa teda sila zotrvačnosti rovná *celkovej hybnosti* telesa, kým podľa druhej sa rovná *zmene hybnosti*.<sup>130</sup> Uvedené definície opisujú situáciu, keď je každé teleso samé. Keď sa telesá zrazia, situácia je zložitejšia. Gabbey píše: „Argumenty, ktoré uvádza Descartes v tejto pasáži, majú väčší význam než ich hodnotenia, zakladajúce sa na pomerne prízemných dôvodoch, podľa ktorých je toto pravidlo empiricky neplatné.“<sup>131</sup>

<sup>129</sup> Tamtiež, s. 269

<sup>130</sup> Jednou zo zásadných Newtonových inovácií je to, že tieto dve definície spojil a silu položil *úmernú zmene hybnosti*. To pripomína Newtonovo spojenie dvoch Descartových zákonov zotrvačnosti do jediného zákona zavedením rýchlosti ako vektora. Navyše interakciu Newton opisuje nie ako singulárnu udalosť, ale ako proces vyplňajúci časový interval, čo mu umožnilo silu definovať ako *rýchlosť zmeny hybnosti*.

<sup>131</sup> Tamtiež, s. 269.

Gabbeyov výklad Descartovej teórie možno zhrnúť takto: Ak sa telesu B pohybujúcemu sa rýchlosťou  $V_B$  podarí pohnúť nehybné teleso C, tak po zrážke sa budú obidve pohybovať spoločnou rýchlosťou  $\frac{B \times V_B}{B+C}$ .<sup>132</sup> Táto hodnota je dôsledkom zákona zachovania hybnosti a platí aj v newtonovskej teórii. Množstvá pohybu jednotlivých telies po zrážke budú  $\frac{B^2 \times V_B}{B+C}$  a  $\frac{C \times B \times V_B}{B+C}$ , lebo množstvo pohybu sa rovná súčinu rýchlosti a veľkosti telesa. Zatiaľ sme v súlade s newtonovskou fyzikou. Ale teraz nastupuje zvláštnosť Descartovho pojatia zrážky. Teleso C, ktoré bolo pôvodne v pokoji, kladie odpor zmene svojho stavu a prijatiu uvedeného množstva pohybu, pričom sila odporu sa rovná  $\frac{C \times B \times V_B}{B+C}$ . Túto silu odporu telesa C proti pohybu musí teleso B prekonať vlastnou silou, ktorá ho udržiava v pohybe. Celkové množstvo pohybu telesa B pred zrážkou bolo  $B \times V_B$ . No časť tohto množstva pohybu, rovnajúcu sa  $\frac{C \times B \times V_B}{B+C}$ , odovzdá teleso B nehybnému telesu C a ponechá si len zvyšok  $\frac{B^2 \times V_B}{B+C}$ . V okamihu zrážky, keď sa rozhoduje o tom, či teleso B dokáže pohnúť telesom C, alebo sa len od neho odrazí, musí toto zvyškové množstvo pohybu svojom silou zotrvačnosti prevýšiť odpor telesa C proti prijatiu príslušnej hybnosti od telesa B. Descartes si teda zrážku predstavuje ako proces odohrávajúci sa na dvoch úrovniach. Na jednej strane je to *odovzdanie* množstva pohybu  $\frac{C \times B \times V_B}{B+C}$  telesa B telesu C.<sup>133</sup> Ale okrem odovzdania hybnosti je tu ešte proces rozho-

<sup>132</sup> V predošlej kapitole sme prostriedkami Newtonovej fyziky rekonštruovali niektoré aspekty Descartovej teórie zrážok. Preto sme namiesto veľkosti telesa, ktorú Descartes označuje symbolom B, používali Newtonov symbol pre hmotnosť  $m_B$ . Potom, ako sme v jazyku Newtonovej fyziky objasnili vzťah Descartovej a Newtonovej teórie, vrátane sa k používaniu Descartovej symboliky. Čitateľ zvyklý na Newtonovu symboliku si však vždy môže na miesto symbolu B dosadiť jeho newtonovský preklad  $m_B$ .

<sup>133</sup> To je vlastne prechod určitého množstva nezničiteľného pohybu z telesa B na teleso C. Boh udržiava vo vesmíre rovnaké množstvo pohybu a je jedno, či ho udržiava v telese B, alebo v telese C. Z hľadiska zákona zachovania množstva pohybu je prechod určitého množstva pohybu z te-

dovania o tom, či sa odovzdávanie hybnosti vôbec uskutoční. Pri rozhodovaní stroja proti sebe sily, a to sila zotrvačnosti pohybu telesa  $B$  a sila odporu proti pohybu telesa  $C$ . Pritom teleso  $C$  sa pohne vtedy, ak je jeho odpor  $\frac{C \times B \times V_B}{B + C}$  menší, než je zvyšková sila  $\frac{B^2 \times V_B}{B + C}$  pohybu telesa  $B$ . Po jednoducho krátení dostávame Descartovu podmienku  $C < B$ .

Na tomto odvodení je zaujímavé to, že Descartes chápe zrážku ako *odovzdávanie hybnosti* a opisuje ju *pomocou síl* podobne ako Newton. Tieto dve úrovne opisu sú však oddelené. Odovzdávanie hybnosti sa deje akosi samovoľne, hybnosť jednoducho prejde z telesa  $B$  na teleso  $C$ . Sily nevstupujú do procesu odovzdávania hybnosti, ale len do rozhodovania o tom, či k odovzdaniu hybnosti vôbec dôjde. Príčina je jednoduchá. Descartove sily nie sú silami pôsobiacimi medzi telesami, ale sú to sily, ktorými Božie pôsobenie udržuje nemennosť množstva pohybu vo vesmíre. Odovzdávanie hybnosti prebieha teda na „vnútrosvetскеj“ úrovni, kým proces rozhodovania je „transcendentným“ procesom. Gabbey charakterizuje karteziansku teóriu zrážky ako *súťaživé chápanie sily (contentant view of force)*. Píše:

Descartes predpokladal, že kľúč k riešeniu problému zrážky spočíva v porovnaní sily zotrvačnosti pohybu jedného telesa so silou odporu druhého a vo vypočítaní prebytku, od ktorého závisí retardácia pôsobiaceho telesa alebo akcelerácia príjemcu. Výmena pohybu nastane iba vtedy, keď sila zotrvačnosti pohybu prevyší silu odporu.<sup>134</sup>

Sila nie je spojená so zmenou stavu (ako je to u Newtona), ale s jeho udržaním. Porovnaním síl zistíme, ktorá „zvíťazí“ a určí správanie telies po zrážke. Ak preváži sila zotrvačnosti pohybu, obidve teliesá

lesa  $B$  na teleso  $C$  neproblematicky. Problematické je len to, že teleso  $C$  má tendenciu zotrvať v stave pokoja, takže sa prijatiu pohybu bráni.

<sup>134</sup> Tamtiež, s. 245.

sa dajú do pohybu. Ak „zvíťazí“ sila odporu, teleso, ktoré bolo v pokoji, v pokoji aj zostane a pohybnúce teleso sa od neho odrazí.

Na Descartovej koncepcii pôsobenia je fascinujúce to, ako blízko sa Descartes dostal k Newtonovi. V podstate možno povedať, že Descartes už má všetky ingrediencie, z ktorých Newton neskôr poskladá svoju pohybovú rovnicu. Má ich však pospájané celkom iným spôsobom. Descartes má *pojem pôsobenia*, ale opisuje ho ako singulárnu udalosť, a nie ako proces. Má aj *pojem sily*, ale silu viaže len na udržanie stavu, a nie na jeho zmenu. Pôsobenie chápe ako *odovzdávanie hybnosti*, ale toto odovzdávanie má oddelené od pôsobenia sil. Všetky zásadne zložky newtonovskej teórie možno nájsť už u Descarta, hoci ešte nezapadajú do jednotnej schémy, do formy, do akej ich pospájal Newton. Odtiaľ pochádza naše presvedčenie, že ak chceme pochopiť Newtona, musíme nutne najprv porozumieť Descartovi. Newtonovým prínosom do fyziky nie je ani tak pojem hybnosti, či pojem sily, ani pojmávanie pôsobenia ako odovzdávania hybnosti; najdôležitejším Newtonovým vkladom je forma, ktorá tieto kartezianske pojmy (po náležitej korekcii a spravení) spojí do jednotnej formálnej syntaxe jazyka mechaniky.

### 2.1.8 Descartov výklad tiaže a karteziansky

vír jemnej látky

Jedným z hlavných úspechov galileovskej fyziky bol opis voľného pádu. Podľa zákona objaveného Galileom telesá na Zemi padajú rovnomerne zrýchleným pohybom so zrýchlením, ktoré je rovnaké pre všetky teliesá. Galileo si nekládol otázku, odkiaľ sa zrýchlenie voľného pádu berie. Pritom je záhadné, odkiaľ sa berie hybnosť padajúceho telesa. Padajúce teleso zjavne porušuje zákon zachovania hybnosti. Podľa Descarta pohyb padajúceho telesa musí byť niečím zrýchľovaný, teda teleso musí odniekaľ dostávať hybnosť. Keďže podľa Descarta jediným mechanizmom pôsobenia je kontaktné pôsobenie, to, čo padajúcemu telesu dodáva pohyb, musí byť samo v pohybe (aby mohlo pohyb odovzdať) a musí byť s padajúcim te-

lesom v stáлом kontakte (aby mohlo jeho pohybu neustále zrýchlovať). Keďže padajú všetky telesá a všade na Zemi, aj agens, ktorý telesám dodáva pohyb, musí byť všadeprítomný.

Na základe týchto vlastností voľného pádu (za predpokladu, že pôsobenie je iba kontaktné a spočíva v prechode určitého množstva pohybu z jedného telesa na druhé) možno prirodzene usúdiť, že Zem sa nachádza uprostred obrovského víru neviditeľnej látky, ktorý predmety stláča dole, k povrchu Zeme. Táto neviditeľná látka musí byť v pohybe (aby mohla časť svojho pohybu padajúcemu telesu odovzdať), pričom jej pohyb musí mať pravidelný a ustálený charakter (lebo telesá od nej získavajú pohyb pravidelným a ustáleným spôsobom). Tak sa dostávame k Descartovu víru jemnej látky ako explanatorickému modelu, ktorým Descartes vysvetľoval tiaž. Podľa Descarta je vesmír plný látky; okolo každého nebeského telesa je podobný vír ako okolo Zeme, preto na jednotlivých nebeských telesách by sme cítili tiaž podobne ako na Zemi. Tento výklad mal ukázať, že Descartova predstava víru jemnej látky je *prirôdzaným vysvetlením tiaže*, len čo si uvedomíme, že tiaž potrebuje vysvetlenie, a ak predpokladáme, že toto vysvetlenie musí mať podobu kontaktného pôsobenia. Descartovo vysvetlenie tiaže má pri tom tú prednosť, že prináša predstavu kozmického systému vírov, čím sa vesmír kauzálne zjednocuje do jedného systému interagujúcich telies.

V galileovskom vesmíre sú jednotlivé planéty od seba izolované prázdnom, sú to individuálne objekty, ktoré sa pohybujú priestorom bez vzájomného ovplyvňovania. Jednotu vesmíru predstavuje akýsi harmonický súlad jeho prvkov, ktorý možno prirovnať k *jednote tónov akordu*. Je to jednota skôr matematická než kauzálna. Predstavu, že jednotlivé planéty, napríklad Venuša a Mars, pôsobia na Zem a na pozemské objekty (vrátane ľudí), by Galileo odmietol ako astrologickú poveru, ako iracionálnu vieru v okultné pôsobenie. Na pozadí galileovského vesmíru jasne vyniká prehra Descartovej koncepcie vesmíru ako jednotného systému telies spojeného vzájomným kauzálnym pôsobením. Kauzálne prepojenie nebeských telies do jedného celku zabezpečuje jemná látka, ktorá vytvára okolo jednotlivých nebeských telies sústavu vírov.

Jednotlivé víry zrážajú predmety nachádzajúce sa v blízkosti povrchu nebeského telesa nadol smerom k jeho povrchu, čím vytvárajú v okolí daného telesa tiaž. Okrem toho súbor všetkých vírov dohromady sprostredkúva pôsobenie medzi jednotlivými nebeskými telesami. Takto vlastne jemná látka zjednocuje celý vesmír do jednotného, kauzálne prepojeného systému vzájomne interagujúcich telies. Aj keď je to čisto špekulatívna predstava, má správne jadro. Descartes si uvedomil, že okrem opisu interakcie pomocou zrážok potrebuje aj mechanizmus, ktorý by zjednotil časti systému do jednotného celku. Podobne ako v predošlých prípadoch aj tu mu chybal matematický prostriedok (v podobe pojmu funkcie), pomocou ktorého toto formálne zjednotenie vytvorí Newton. Namiesto formálneho zjednotenia má Descartes zjednotenie materielne (v tvare vírov jemnej látky). Namiesto toho, aby ho skryl do formálnej stavby teórie, Descartovo zjednotenie trčí ako svojvoľná špekulácia. Ale nech už má kauzálne zjednotenie vesmíru akúkoľvek podobu, je to obrovský krok vpred.

#### 2.1.10 Descartovo pojmátie pohybu ako dynamického prechodu<sup>135</sup>

Z hľadiska karteziánskej fyziky možno povedať, že Galileova koncepcia pohybu opisuje len to, čo je na pohybe triviálne – pohyb telesa, na ktoré nepôsobia žiadne iné telesá. To, čo Galileo chápe ako pohyb, nie je vlastne nič iné ako časový vývin stavu za predpokladu, že si ostatné telesá odmyslíme. To je nezaujímavé, lebo v skutočnosti existuje jediný druh takéhoto pohybu, rovnomerný priamočiary pohyb. Všetky ostatné Galileove príklady, keďže

<sup>135</sup> U Descarta chýba už iba bod 9 predstavujúci princíp uzavretosti dynamického systému. Galileov ani Descartov systém nie je uzavretý. U Galilea pri voľnom páde z ničoho vzniká hybnosť, čo ukazuje, že systém obsahujúci voľne padajúce teleso nie je energeticky uzavretý. U Descarta zas duša môže pôsobiť na telo, teda materiálny jav môže mať nemateriálnu príčinu, čo ukazuje, že Descartov systém nie je kauzálne uzavretý.

neobsahujú opis interakcie, musia byť pomýlené. To, čo Galileo predložil, vlastne nie je fyzika, ale cvičenie v geometrii. Podľa Descarta fyzika sa má zaoberať zmenou stavu, vzájomným pôsobením telies. Od Galileovej geometrickej koncepcie pohybu ako plynutia treba prejsť k *dynamickej koncepcii pohybu ako zmeny stavu*.

Descartes bol jeden z prvých, pre ktorých vesmír nebol geometrickým systémom harmonicky usporiadaných kruhových alebo eliptických pohybov, ale dynamickým systémom interagujúcich telies. Descartes interakciu pojal ako zrážku, teda ako prechod. Na rozdiel od aristotelovského geometrickeho prechodu od počiatočného ku koncovému bodu Descartes opisuje pohyb ako *dynamický prechod*, ako prechod od stavu pred zrážkou k stavu po zrážke.

## 2.2 Problémy Descartovho pojatia fyziky

Descartova fyzika znamená v porovnaní s galileovskou fyzikou zásadný konceptuálny pokrok. Prínáša pojem stavu, opis pôsobenia a nové pojatie prírodného zákona ako univerzálneho zákona opisujúceho pohyb telies. Okrem týchto predností má však Descartova fyzika aj celý rad významných nedostatkov. V literatúre sa najčastejšie ako nedostatky kartezianskej fyziky uvádzajú jej verbálna formulácia a empirická nesprávnosť. My však tieto dva nedostatky nepoväčujeme za významné.

Ako sme uviedli, verbálnu formuláciu kartezianskeho systému možno považovať za prejav Descartovho vhladu, že matematika prvej polovice 17. storočia (k rozvoju ktorej Descartes zásadným spôsobom prispel) nepostačuje na opis interakcie. Pri takomto pohľade *verbálna formulácia kartezianskeho systému je skôr jeho prednosťou než nedostatkom*. Zdá sa, že práve nevhodná matematika (trojuholníky a kružnice namiesto diferenciálnych rovníc) zabránila Galileovi zabudovať interakciu do obrazu prírody. Trojuholníky a kružnice sú nemenné a nie je jasné, ako pomocou nich možno opísať zrážku či iný typ interakcie. To, že Descartes trojuholníky a kružnice odmietol a rozhodol sa pre bežný jazyk, mu pravdepodobne pomohlo zabudovať interakciu do obrazu prírody.

Čo sa týka empirickej neplatnosti kartezianskej fyziky, naša rekonštrukcia Descartovej teórie zrážok ukázala, že *Descartova teória nie je úplne chybná, ale má empiricky správne jadro*. To, že pozitivistická filozofia nedokázala toto jadro identifikovať, je dôsledok nečitlivosti korešpondenčnej teórie pravdy, pomocou ktorej k Descartovi pristupovala. V kapitole 2.1.7. a sme ukázali, že Descartovu teóriu zrážok – napriek zdanlivej empirickej neadekvátnosti – možno uviesť do relatívne dobrej zhody s empirickou skutočnosťou. Potrebujeme na to Newtonovu teóriu ako sprostredkujúci článok. Aj keď podľa korešpondenčnej teórie pravdy je kartezianska teória zrážok nepravdivá, kombináciou koherenčnej a korešpondenčnej teórie možno ukázať, že *kartezianska teória je koherentná s teóriou, ktorá korešponduje so skutočnosťou*.

Keď odmietame nedostatky, ktoré sa Descartovi v literatúre najčastejšie pripisujú, neznamená to, že Descartovu teóriu chceme obhajovať ako systém bez chýb. Aj podľa nášho názoru má Descartova teória celý rad závažných nedostatkov, ale na ich identifikáciu musíme preniknúť hlbšie do stavby karteziánskej fyziky. Preto na kritiku Descartovej fyziky sme pripravení až potom, ako sme prešli výkladom jej celkovej stavby a ozrejmili sme si jej viaceré technické detaily.

### 2.2.1 Neschopnosť definovať priamočiary pohyb

Prvý problém karteziánskej fyziky súvisí s definíciou pohybu. Descartes bol síce presvedčený o správnom Kopernikovej teórii, ale po odsúdení Galilea sa zdráhal v tejto otázke zaujať stanovisko. Problému sa vyhol svojou definíciou pohybu: „[Pohyb] je premiestňovaním 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.“<sup>136</sup> O pohybe teda možno hovoriť len vo vzťahu k telesám, ktoré dané teleso obklopujú, a Zem je vzhľadom na svoje bezprostredné okolie (t. j. atmosféru) nehybná. Descartes píše:

Ale v bežnom živote sa často nazýva pohybom každá činnosť, ktorou sa nejaké teleso stahuje z jedného miesta na druhé; a v tomto zmysle môžeme povedať, že sa tá istá vec v tom istom čase zároveň pohybuje aj nepohybuje, podľa toho, ako rozdielne určujeme miesto. Z toho vyplýva, že ani Zem, ani iné planéty nemajú vlastný pohyb, pretože sa nepremiestňujú zo susedstva nebeských častí, ktoré sa ich bezprostredne dotýkajú [...] Ale keby nejaký filozof, pozorujúc Zem, vyhlásil, že je to guľa ponorená do fluidného a pohyblivého neba a že Slnko a stálice vždy zachoz-

vávajú medzi sebou to isté postavenie, t. j. pokladal by ich za nehybné a podľa nich by určoval jej miesto, a tvrdil by, že Zem sa pohybuje, hovoril by neodôvodnene. Predovšetkým preto, lebo vo filozofickom zmysle sa miesto nemá určovať podľa veľmi vzdialených telies, ako sú stálice, ale podľa tých, ktoré sa dotýkajú domnele sa pohybujúceho telesa.<sup>137</sup>

Descartes tak používa svoju definíciu pohybu na odmietnutie kopernikizmu. Zem je nehybná, lebo je nehybná vo vzťahu k látke, ktorá ju obklopuje.

Ale Descartovu definíciu nemožno vysvetľovať iba ako ústupok tlaku cirkvi, lebo je hlboko prepojená s celým Descartovým systémom. Okrem iného má uvedená definícia pohybu zásadný význam pre teóriu zrážok telies. Zvláštnym aspektom Descartovho opisu zrážok je to, že výsledok zrážky závisí od toho, ktoré teleso sa pohybuje. Ak naletava ľahšie teleso na ťažšie, odrázi sa a obidve telesá sa budú pohybovať oddelene. Naproti tomu keď naletava ťažšie teleso na ľahšie, strhne ho so sebou a obidve telesá sa budú ďalej pohybovať spoločne. Z hľadiska newtonovskej mechaniky je to nezmysel, lebo tieto prípady sa líšia len v tom, z hľadiska ktorej sústavy pohyb opisujeme. Raz ho opisujeme z hľadiska sústavy spojenej s ľahším telesom, druhý raz z hľadiska sústavy spojenej s telesom ťažším. Voľba referenčnej sústavy nemôže mať vplyv na to, či sa telesá od seba odrazia, alebo sa spoja. Predstavme si, že sa Zem zrazí s malou kométou, pričom ako na Zemi, tak aj na kométe žije karteziáanec. Pozemský karteziáanec vidí, že malá kométa naletava na veľkú Zem, takže kométa by sa mala odráziť. Naproti tomu karteziáanec na kométe vidí, že sa na neho rúti ozrutná Zem, takže po zrážke sa budú pohybovať spoločne. Čo sa stane skutočne, to karteziánska fyzika nevie rozhodnúť.

V rukopise *De gravitatione* z roku 1673 Newton podrobil kritike Descartovu definíciu pohybu a ukázal nekonzistentnosť kartezián-

<sup>136</sup> Descartes, R., *Principy filozofie*, c. d., s. 93.

<sup>137</sup> Tamtiež, s. 128.

skeho systému. Asi najzávažnejším Newtonovým argumentom je výčitka, že ak pohyb definujeme ako premiestnenie telesa vo vzťahu k telesám tvoriacim jeho okolie, tak nie je možné zaviesť pojem priamočiareho pohybu. Ak sa telesá obklopujúce dané teleso pohybujú rôznymi smermi, jeden zrýchlene, iné spomalene, nie je jasné, čo znamená, že „každá časť hmoty sama osebe sa usiluje pohybovať sa iba v smere priamočiarom, a nie zakrivenom“, ako vyžaduje druhý Descartov zákon. Vo vzťahu k niektorým telesám sa môže dané teleso pohybovať priamočiaro, vo vzťahu k iným krivočiaro, a Descartova fyzika nedokáže tento problém riešiť. Tieto problémy boli dôvodom, prečo Newton zaviedol pojem absolútneho priestoru a pohyb definoval vo vzťahu k nemu.

## 2.2.2 Oddelenosť rýchlosti pohybu od jeho smeru

Pri výklade Descartovej formulácie princípu zotrvačnosti sme uviedli, že Descartes chápe rýchlosť skalárne, a teda oddelene od smeru pohybu. V prípade princípu zotrvačnosti Descartes tento nedostatok kompenzoval: osobitne sformuloval princíp nemennosti rýchlosti zotrvačného pohybu a osobitne princíp nemennosti jeho smeru. Oddelenosť (skalárnej) rýchlosti od smeru pohybu má však celý rad problematikých dôsledkov, ktorým sa už Descartes nedokázal tak jednoznačne vyhnúť. Ide o to, že *prípady, keď sa mení iba smer pohybu* (odraz lopty od steny alebo kruhový pohyb telesa), Descartes nevníma ako zmenu pohybového stavu a opisuje ich ako zmenu smeru. To je fakticky nesprávne, lebo napríklad lopta pri odraze prechádza „všetkými stupňami pomalosti“, takže Descartov opis tohto javu neobstojí.

## 2.2.3 Skalárny charakter množstva pohybu

Aj keď Descartovu veľkou zásluhou bolo sformulovanie predchodcu prvého zákona zachovania – zákona zachovania hybnosti –, nemôžeme mu pripísať plnú zásluhu, lebo Descartova formulácia je

chybná. Zachováva sa nie skalárne množstvo pohybu, ako tvrdil Descartes, ale vektorová hybnosť. Príkladom, na ktorom si môže me uvedomiť rozdiel medzi týmito dvoma formuláciami, je sústava dvoch telies, ktoré sa priťahujú gravitačnou silou, a v dôsledku toho sa pohybujú k sebe so zrýchlením. V tomto systéme narastá (skalárne) množstvo pohybu, lebo telesá sa pohybujú čoraz rýchlejšie, avšak (vektorová) hybnosť zostáva nemenná, lebo ich pohyby majú opačný smer, takže prírastky hybnosti sa navzájom rušia. Táto sústava, samozrejme, nie je protipríkladom karteziánskeho systému, lebo podľa Descarta narastá rýchlosť priťahujúcich sa telies ide na úkor víru jemnej látky, ktorý je príčinou ich priťahovania. Vír stratí presne toľko pohybu, koľko ho telesá získajú, takže zákon zachovania množstva pohybu (aspoň podľa Descarta) platí. Aj keď tento príklad neukazuje vnútornú nekonzistentnosť karteziánskej fyziky, ukazuje jej vecnú nesprávnosť.

## 2.2.4 Špekulatívny charakter karteziánskych explanačných modelov

Zavedením ontologickej úrovne opisu prírody sa v karteziánskej fyzike výklad určitého javu rozpadá na dve zložky. Na jednej strane stojí fenomenálna úroveň opisu, na ktorej ide o presnú, kvantitatívnu registráciu javu. Napríklad v prípade lomu svetla Descartes uvádza podrobnú tabuľku obsahujúcu výsledky meraní uhla lomu pri rôznych uhloch dopadu. Na druhej strane stojí ontická úroveň opisu, na ktorej Descartes vytvára explanačný model, ktorého cieľom je kauzálne vysvetliť príslušný jav podľa možnosti v zhode s nameranými hodnotami. Typickými karteziánskymi explanačnými modelmi sú model víru jemnej látky na vysvetlenie tiaže či model tenisovej loptičky na vysvetlenie lomu svetla. Tieto modely predstavujú pokrok v porovnaní s galileovskou fyzikou, ktorá sa obmedzovala iba na presnú registráciu javov a nepokúšala sa ich kauzálne vysvetliť. Na druhej strane sú však mnohé karteziánske explanačné modely svojvoľnou špekuláciou. Descartovi, hlavnému hlásateľovi idey vedeckej metódy, chýba akákoľvek metóda procesu



tvorby explanáčnych modelov, či aspoň kontrola ich fungovania. Preto nečudo, že mnohé kartezianske modely – model víru jemnej látky vysvetľujúci tiaž, model tenisovej loptičky vysvetľujúci lom svetla, ako aj model rotácie častíc optického média, vysvetľujúci farby svetla – sa ukázali ako pomýlené.<sup>138</sup> Sporadické omyly nevadia, ale systematické hromadenie omylov svedčí o nekontrolovanom charaktere procesu tvorby týchto modelov.

### 2.2.5 Neprepojenosť fenomenálnej a optickej úrovne opisu

Vysvetlenie tiaže pomocou víru jemnej látky je paradigmatickým príkladom kartezianskej metódy vysvetlenia prostredníctvom redukcie javu na jeho ontologický základ. Táto metóda má však závažný nedostatok – tým je príliš voľné prepojenie javu s ontologickým modelom, ktorý slúži na jeho vysvetlenie. V prípade tiaže síce vieme, že vzniká vytlačaním telies z víru jemnej látky, ale vlastnosti tiaže (jej veľkosť, homogénnosť a smer) nie sú prepojené s orientáciou, smerom a rýchlosťou rotácie víru jemnej látky. Neprepojenosť fenomenálnej a ontologickej úrovne opisu dáva kartezianskej fyzike nádych špekulatívnosti. Descartes svoje explanáčné modely postuluje bez možnosti empiricky testovať ich vlastnosti. Práve proti tomuto aspektu kartezianskej fyziky sú namierené slávne Newtonove slová „*Hypotheses non fingo*“.

Neprepojenosť fenomenálnej a ontologickej úrovne opisu prírody sa neobmedzuje na jav tiaže. V práci *Meteory*, kde Descartes opisuje vznik dŕhly, vysvetľuje farbu svetla intenzitou rotácie častíc jemnej látky. Nikde však neuvádza, ako možno intenzitu rotácie častíc jemnej látky (t. j. prvku ontologickej úrovne opisu) spojiť s farbou (t. j. prvkom fenomenálnej úrovne). Tak ako v prípade tiaže ani v prípade farieb nie je fenomenálny opis s ontolo-

<sup>138</sup> Hoci mnohé Descartrove explanáčné modely sú chybné, niektoré jeho vysvetlenia, napríklad vysvetlenie dŕhly, sa ukázali ako správne.

gickým modelom nijako prepojený. Na Descartovej teórii farieb je zaujímavé, že najväčšiu intenzitu rotácie častíc pripisuje červenej farbe a najnižšiu modrej, teda presne naopak v porovnaní s tým, ako fotónom pripisuje energiu moderná fyzika.

Shea pri výklade Descartovej teórie farieb napáda Descartovu predstavu o zotrvačnosti rotačného pohybu častíc jemnej látky argumentujúc, že pohyb po kružnici si vyžaduje pôsobenie sily.<sup>139</sup> Nutnosť silového pôsobenia sa však týka pohybu telesa po kružnici. Pre rotačný pohyb tuhého telesa platí zákon zachovania momentu hybnosti, takže tento aspekt Descartovej teórie sa zdá byť v poriadku.

### 2.2.6 Neschopnosť zahrnúť trenie do opisu interakcie

Ďalším problémom kartezianskej fyziky je, že do jej opisu pohybu nie je možné zahrnúť trenie. Descartes chápe interakciu ako zrážku, ktorú opisuje tak, že stav sústavy pred zrážkou a stav sústavy po zrážke uvedie do vzájomného vzťahu pomocou zákona zachovania množstva pohybu. To však znamená, že interakcie, pri ktorých sa v systéme mení celkové množstvo pohybu – a to sú všetky interakcie, pri ktorých pôsobí aj trenie –, Descartes nevie opísať. Pri pohybe s trením nie je možné dať do rovnosti množstvo pohybu pred a množstvo pohybu po uplynutí určitého časového intervalu (ako si vyžaduje karteziansky opis interakcie), lebo pohyb sa vplyvom trenia stráca. Kartezianec môže namietať, že pohyb sa nesstratil, ale preniesol sa na pohyb častíc jemnej látky. V zásade je toto vysvetlenie správne: pri trení sa mechanický pohyb skutočne iba mení na pohyb tepelný. Nič to však nemeni na skutočnosť, že pohyb mechanického systému s trením nie je možné opísať prostriedkami kartezianskej fyziky. Newton preto zmenil opis interakcie a od zákona zachovania množstva pohybu ako základného prostriedku

<sup>139</sup> Shea, W. R., *The Magic of Numbers and Motion, The Scientific Career of René Descartes*, c. d., s. 218.

opisu interakcie prešiel k zákonu sily. Sila trenia je z pohľadu newtonovskej fyziky sila ako každá iná a jej zahrnutie do opisu prírody nepredstavuje problém.

Prítom tento nedostatok nie je nejakým okrajovým javom – tre- nie sa týka samotného jadra karteziánskej fyziky. Aby mohol vysvetliť kruhový tvar planetárnych orbít, Descartes vyplnil celý vesmír jemnou látkou. Z hľadiska rozvoja fyziky to bol významný krok vpred, pretože Descartes tak do opisu vesmíru vniesol kauzálnu prepojenosť všetkých javov. Ľubovoľné teleso karteziánskeho univerza mohlo v princípe pôsobiť na ľubovoľné iné teleso prostredníctvom sprostredkujúcej jemnej látky. Napriek týmto prednostiam má vír jemnej látky jeden zásadný nedostatok. Keby zakrívenie obežnej dráhy Zeme bolo skutočne spôsobené jemnou látkou, tá by musela so Zemou intenzívne interagovať. Za pol roka, počas ktorého Zem prejde polovicu svojej obežnej dráhy a jej rýchlosť sa zmení na opačnú, by jemná látka musela Zemi udeliť hybnosť rovnajúcu sa dvojnásobku súčasnej hmotnosti Zeme a jej rýchlosti obehu okolo Slnka (čo je  $2 \text{ krát } 5,97 \times 10^{24} \text{ kg krát } 2,98 \times 10^4 \text{ m.s}^{-1}$ , čo dáva nepredstaviteľných  $3,56 \times 10^{29} \text{ kg.m.s}^{-1}$ ). Keby jemná látka so Zemou interagovala tak intenzívne, vznikalo by trenie, ktoré by pohyb Zeme zastavilo.<sup>140</sup>

Keby vesmír skutočne fungoval tak, ako ho opisuje Descartes, Boh by musel neustále aktívne poháňať vír jemnej látky. Substancia, ktorou si Descartes vypoľhol, aby vysvetlil ťaž, má tak katastrofálne dôsledky pre kinematiku jeho univerza. Aby jemná látka mohla spôsobovať ťaž, musí interagovať s telesami. No len čo s tým začne, vzniká trenie, v dôsledku ktorého po čase všetok pohyb ustane. Prepočítaniu rôznych scenárov brzdzenia telesa po-

<sup>140</sup> Keďže Descartes považoval množstvo pohybu za skalárnu veličinu, podľa karteziánskej fyziky sa pri obehu Zeme okolo Slnka množstvo pohybu nemení – Zem mení iba smer svojho pohybu, kým množstvo pohybu zostáva nezmenené. Descartes si v dôsledku skalárneho charakteru množstva pohybu tento zásadný problém (nutnosť odovzdávania obrovských hybností medzi Zemou a vírom jemnej látky) ani neuvedomoval.

hybnujúceho sa v prostredí je venovaná druhá kniha Newtonových *Princípií*. Neschopnosť zahrnúť trenie do opisu pohybu nie je nedopatrením z Descartovej strany. Trenie sa do karteziánskeho systému nedá zabudovať zo zásadných dôvodov, lebo porušuje zákon zachovania množstva pohybu. Newton opustil karteziánsky vesmír vyplnený jemnou látkou a vrátil sa k vesmíru tvorenému súborom telies pohybujúcich sa v prázdne. Nebude to však Galileov vesmír izolovaných telies; hlavný Descartov výdobytok – pôsobenie medzi telesami – Newton vo svojom univerze zachová.

### 2.2.7 Kontaktné chápanie interakcie ako zrážky

Karteziánska predstava interakcie dvoch telies je predstavou konfliktu chápaného ako stret ich tendencií zotrvať v nemennom stave (pohybu alebo pokoja). Základným modelom interakcie je model zrážky. Nie že by zrážky vo svete neexistovali, s nástrom automobilizmu je ich čoraz viac. Zrážky však nie sú jediným typom interakcie. Descartova teória víru jemnej látky je pokusom vresnať aj ťaž do rámca interakcie opísanej pomocou zrážok. Otázku, či jemná látka, akú potrebuje karteziánska fyzika, existuje, teraz ponecháme stranou; keby aj existovala, po krátkom čase by jej pohyb ustal. Aj keby veci fungovali tak, ako si Descartes predstavoval, jeho explanačný model ťaže je príliš zložitý na to, aby ho bolo možné matematicky opísať. Descartes sa ani o matematizáciu ťaže nepokúšal, pričom Galileov zákon voľného pádu považoval za chybný, lebo si nevedel predstaviť, že by taký zložitý mechanizmus, ako vír jemnej látky, viedol k takému jednoduchému zákonu, akým je Galileov zákon „dráha úmerná štvorcu času“. Ale vďaka Newtonovi si môžeme uvedomiť, že zložitosť Descartovej teórie ťaže je spôsobená nevhodným modelom interakcie ako zrážky. Len čo Newton pripustil nekontaktné silové pôsobenie, ťaž sa podarilo matematicky opísať.

### 2.2.8 Singulárne chápanie interakcie ako okamžitej udalosti

Podľa Descarta sa pohyb telies skladá z úsekov rovnomerného priamočiareho pohybu, keď teleso zotrúva v nemennom pohybovom stave, a tie sú od seba oddelené zrážkami, t.j. *singulárnymi udalosťami*, počas ktorých dochádza k zmene pohybového stavu. Singulárnou udalosťou tu rozumieme udalosť, ktorá sa deje v momente, t. j. v akomsi časovom bode. To má za následok, že rýchlosť zmeny hybnosti a všetky ostatné časové charakteristiky zrážky sú nekonečné. Keď sa zamyslíme nad takýmto chápaním zrážky, zistíme, že práve Descartov matematický aparát si vynucuje chápať zrážku ako singulárnu udalosť. Zákon zachovania množstva pohybu je algebraická rovnica a práve jazyk algebry nedovoľuje opísať interakciu ako spojité proces, ale iba ako skokovitú zmenu.

### 2.2.9 Neschopnosť opísať ohraničený uzavretý systém

Problémom je tiež, že karteziánsky zákon zachovania množstva pohybu platí pre *Vesmír ako celok*, v dôsledku čoho je tento princíp prakticky nepoužiteľný. Karteziánskej fyzike sa teda vymykajú nielen systémy s trením, ale vlastne každý fyzikálny systém menší než celý vesmír. V karteziánskej fyzike nemožno vyčleniť ohraničený systém telies, pretože v dôsledku vnorenia všetkých telies do prostredia jemnej látky dochádza neustále k interakcii s týmto prostredím. Aj keď Descartes našiel spôsob opisu interakcie, jeho prístup, prísne vzaté, nemožno aplikovať na nijakú konkrétnu situáciu. Do každého ohraničeného systému jemná látka prináša alebo z neho odnáša určité množstvo pohybu. Descartova fyzika tak neumožňuje definovať uzavretý ohraničený fyzikálny systém – jediným fyzikálnym systémom, ktorý má šancu opísať, je vesmír ako celok. Celok vesmíru sa však vymyká možnostiam empirického skúmania, je prístupný iba špekulácii.

Descartov systém je otvorený. Otvorený je jednak Božiemu pôsobeniu, ktoré zachováva v prírode konštantné množstvo pohybu, jednak pôsobeniu duše. Descartovo oddelenie smeru pohybu od jeho množstva a ohraničenie zákona zachovania výlučne na množstvo pohybu tvoria základ karteziánskeho vysvetlenia pôsobenia duše na telo. Podľa Descarta je telo hydraulický stroj poháňaný obiehajúcou krvou. Okrem tepien a ciev, ktorými prúdi krv, existujú ešte nervové vlákna, jemné trubice, ktorými podľa Descarta obieha spirituálna kvapalina. Tá pôsobí na svaly: zatváraním a otvorením príklopiek usmerňuje prúdenie krvi, čím vyvoláva stahovanie a rozťahovanie svalov. Centrom nervového prúdenia je podľa Descarta epifýza. Do epifýzy totiž vstupuje veľké množstvo rôznych nervových vlákien z celého tela, okrem iného aj nervy vedúce z obličiek očných guľí. V epifýze dochádza podľa Descarta k prepojeniu tela a duše. Na jednej strane tok spirituálnej kvapaliny vyvoláva pohyby epifýzy, ktoré duša vníma ako zmyslové vnemy, a na druhej duša môže zasahovať do prúdenia spirituálnej kvapaliny jej presmerovaním z jedného nervového okruhu do druhého. Descartov princíp zachovania množstva pohybu vo vesmíre pritom zostáva v platnosti, keďže presmerovaním prúdu spirituálnej kvapaliny či krvi sa množstvo pohybu nemení. Mylná (skalárna) koncepcia hybnosti teda umožňuje vzájomné pôsobenie duše a tela. Len čo Newton opraví Descartov pojem hybnosti, fyzikálny svet sa kauzálne uzavrie a na pôsobenie duše vo vesmíre už nezostane miesto.

### 2.2.10 Záver

Jednotlivé nedostatky karteziánskej fyziky sme uviedli v poradií, v akom sa Newton od nich postupne emancipoval. Prvé tri z nich – nemožnosť definovať smer pohybu, oddelenie rýchlosti pohybu od jeho smeru a skalárny charakter množstva pohybu – Newton *odmietol hneď* na začiatku svojej vedeckej dráhy a nahradil ich svojou koncepciou založenou na pojme absolútneho priestoru a času. Ďalšie tri nedostatky – špekulatívny charakter explanačných

modelov, neprepojenosť fenomenálnej a ontickej úrovne opisu prírody a neschopnosť zahrnúť trenie do opisu interakcie – Newton *prekonával postupne* vďaka metóde „induktívneho odvodzovania príčin z fenoménov“, pomocou ktorej karteziánske špekulatívne explanačné modely nahradil matematickým opisom pôsobiacich síl. Posledné tri nedostatky – kontaktné chápanie interakcie ako zrážky, singulárne chápanie interakcie ako okamžitej udalosti a otvorenosť celého karteziánskeho opisu prírody – Newton *opúšťa len akoby mimochodom*, tak ako postupne rozvíja svoj systém a prísuššie aspekty karteziánskeho opisu pôsobenia sa stávajú zbytočnými. Proti posledným trom aspektom karteziánskeho opisu však Newton nikdy nevystúpil a ich prekonanie sa objavuje iba implicitne v technických častiach jeho diela.

Skutočnosť, že Newtonovu fyziku môžeme vyloužiť ako korekciu nedostatkov karteziánskej fyziky, svedčí o tom, že Newton bral Descartov systém vážne a že aj my, ak chceme porozumieť Newtonovej fyzike, musíme porozumieť týmto korekciám.

### 3. Newtonovská fyzika vo svetle Husserlovej fenomenológie

Husserl vyloužil idealizáciu ako proces *nahradenia určitého aspektu žitého sveta matematickou idealitou*. V galileovskej fyzike došlo k nahradeniu fenoménov, akými sú rýchlosť či atmosférický tlak, matematickými veličinami získanými v procese merania. Neskor karteziánska fyzika nahradila predmety žitého sveta rozpriestranými vecami Descartovho matematického univerza. Cieľom tejto kapitoly je ukázať, že Newtonovu fyziku možno interpretovať ako ďalší krok v procese idealizácie, pri ktorom sa kauzálne pôsobenie, s ktorým sa stretáme v rámci žitého sveta, nahrádza silovým pôsobením na diaľku. Newtonovo nahradenie kauzálneho pôsobenia silovým pôsobením na diaľku nadväzuje na karteziánsku redukciu všetkých foriem pôsobenia na mechanické pôsobenie, teda na ťah a tlak. Hoci Descartes v rovine ontológie opúšťa žitý svet, jeho opis pôsobenia má ešte stále blízko k jeho prirodzenému chápaniu. Ťahanie a tlačenie je presne to, čo vo svojom prirodzenom okolí neustále robíme. Keď píšeme, tlačím perom na papier, keď si rozväzujeme topánky, ťahám za šnúrky. Descartes teda preniesol do matematického univerza rozpriestraných vecí prirodzený výklad pôsobenia. V nasledujúcom texte sa pokúsime ukázať, že jadrom Newtonovskej fyziky je nahradenie Descartovho pojęcia pôsobenia, zakotveného v prirodzenej skúsenosti, novou koncepciou, ktorá je prirodzenej skúsenosti úplne cudzia, a to koncepciou silového pôsobenia na diaľku. Inými slovami, *newtonovskú fyziku sa pokúsime vyloužiť ako idealizáciu pôsobenia*.<sup>141</sup> Domnievame sa, že práve matematický opis

<sup>141</sup> V kapitole venovanej galileovskej fyzike sme poukázali na skutočnosť, že Husserl prebral problémový horizont, na ktorom pozitívizmus formu-

modelov, neprepojenosť fenomenálnej a ontickej úrovne opisu prírody a neschopnosť zahrnúť trenie do opisu interakcie – Newton *prekonával postupne* vďaka metóde „induktívneho odvodzovania príčin z fenoménov“, pomocou ktorej karteziánske špekulatívne explanačné modely nahradil matematickým opisom pôsobiacich síl. Posledné tri nedostatky – kontaktné chápanie interakcie ako zrážky, singularne chápanie interakcie ako okamžitej udalosti a otvorenosť celého karteziánskeho opisu prírody – Newton *opúšťa len akoby mimochodom*, tak ako postupne rozvíja svoj systém a prísľušné aspekty karteziánskeho opisu pôsobenia sa stávajú zbytočnými. Proti posledným trom aspektom karteziánskeho opisu však Newton nikdy nevystúpil a ich prekonanie sa objavuje iba implicitne v technických častiach jeho diela.

Skutočnosť, že Newtonovu fyziku môžeme vyloužiť ako korekciu nedostatkov karteziánskej fyziky, svedčí o tom, že Newton bral Descartov systém vážne a že aj my, ak chceme porozumieť Newtonovej fyzike, musíme porozumieť týmto korekciám.

### 3. Newtonovská fyzika vo svetle Husserlovej fenomenológie

Husserl vyloužil idealizáciu ako proces nahradenia určitého aspektu žitého sveta matematickou idealitou. V galileovskej fyzike došlo k nahradeniu fenoménov, akými sú rýchlosť či atmosférický tlak, matematickými veličinami získanými v procese merania. Neskôr karteziánska fyzika nahradila predmety žitého sveta rozpriestranými vecami Descartovho matematického univerza. Cieľom tejto kapitoly je ukázať, že Newtonovu fyziku možno interpretovať ako ďalší krok v procese idealizácie, pri ktorom sa kauzálne pôsobenie, s ktorým sa stretáme v rámci žitého sveta, nahrádza silovým pôsobením na diaľku. Newtonovo nahradenie kauzálneho pôsobenia silovým pôsobením na diaľku nadväzuje na karteziánsku redukciu všetkých foriem pôsobenia na mechanické pôsobenie, teda na ťah a tlak. Hoci Descartes v rovínne ontológie opúšťa žitý svet, jeho opis pôsobenia má ešte stále blízko k jeho prirodzenému chápaniu. Ťahanie a tlačenie je presne to, čo vo svojom prirodzenom okolí neustále robíme. Keď píšem, tlačím perom na papier, keď si rozväžujem topánky, ťahám za šnúrky. Descartes teda preniesol do matematického univerza rozpriestraných vecí prirodzený výklad pôsobenia. V nasledujúcom texte sa pokúsime ukázať, že jadro Newtonovskej fyziky je nahradenie Descartovho pojmáťa pôsobenia, zakotveného v prirodzenej skúsenosti, novou koncepciou, ktorá je prirodzenej skúsenosti úplne cudzia, a to koncepciou silového pôsobenia na diaľku. Inými slovami, *newtonovskú fyziku sa pokúsime vyloužiť ako idealizáciu pôsobenia*.<sup>141</sup> Domnievame sa, že práve matematický opis

<sup>141</sup> V kapitole venovanej galileovskej fyzike sme poukázali na skutočnosť, že Husserl prebral problémový horizont, na ktorom pozitívizmus formu-

pôsobenia umožnil Newtonovi spojiť galileovskú vrstvu matematických veličín s karteziánskou vrstvou matematického opisu stavu rozpríestranených vecí, a tak zaviesť proces matematizácie prírody, započatý Galileom.

Idealizácia, na ktorej stojí fyzika, má tri úrovne. Prvú úroveň idealizácie tvorí galileovská *idealizácia fenoménov*, spočívajúca v nahradení fenoménov žitého sveta matematickými veličinami, získanými prostredníctvom inštrumentálnych techník pozorovania, experimentovania a merania. Druhú úroveň tvorí karteziánska *idealizácia predmetnosti* spočívajúca v nahradení predmetov žitého sveta matematickou reprezentáciou stavu fyzikálneho systému, získaného v procese ontologickej redukcie skutočnosti. Tretiu úroveň idealizácie tvorí Newtonova *idealizácia pôsobenia*, spočívajúca v nahradení kauzálneho pôsobenia v rámci žitého sveta analytickým opisom síl spôsobujúcich zmenu stavu. Rozšírením týchto troch úrovní idealizácie vlastne tvrdíme, že *fyzikálne veličiny* nie sú verným obrazom fenoménov žitého sveta. Fyzikálne veličiny sú jednoznačné, intersubjektívne a reprodukovateľné, kým fenomény žitého sveta obsahujú subjektívny rozmer, často sú nejednoznačné a nereprodukovateľné. Podobne tvrdíme, že *fyzikálne telesá* nie sú identické s predmetmi žitého sveta. Fyzikálne telesá majú jednoznačné kvantitatívne charakteristiky, ktoré možno skombinovať do „konečne reprezentovateľného“ stavu,<sup>142</sup> ktorý obsahuje celú in-

loval svoju teóriu vedy. Pozitivismus sa snažil výklad vedy redukovať na analýzu empirickej metódy, pričom ignoroval ontologický a kauzálny aspekt vedeckých teórií. Pri polemike s pozitivismom Husserl presvedčivo vyvrátil pozitivistické pojaté vedy, keď poukázal na diskontinuitu medzi fenoménmi žitého sveta a ich vedeckým opisom. Ale keďže pozitivismus sa zvyšným dvom aspektom vedeckého opisu prírody vyhýba, ontologický ani kauzálny aspekt nerozoberá ani Husserl. Chápanie idealizácie, ktorého sa tu pridržame, je teda širšie, ako predložil Husserl v *Krisis*.

<sup>142</sup> V kvantovej mechanike je stav zadany vektorom nekonečnorozmerného Hilbertovho priestoru. Preto „konečnou reprezentovateľnosťou“ nerozumieme konečnosť v zmysle dimenzie či ohraničenosti danej reprezentácie. Máme na myslí skôr to, že Hilbertov priestor aj napriek svojej

formáciu o ich budúcnosti. Predmety žitého sveta majú na rozdiel od fyzikálnych telies kvalitatívne vlastnosti, sú charakterizované skôr svojím účelom než stavom. Rovnako tvrdíme, že ani *fyzikálne pôsobenie* nie je totožné so vzťahom príčiny a následku, ako sa s ním stretáme v žitom svete. Fyzikálne systémy sú monotemporálne a kauzálne uzavreté. Regióny žitého sveta sa na rozdiel od fyzikálnych systémov menia súčasne na viacerých časových škálach a sú v určitom fundamentálnom zmysle otvorené.

Naším cieľom je ukázať, že spojením týchto troch úrovní idealizácie, teda spojením matematického opisu veličín, stavu a pôsobenia, sa konštituuje *idealizovaný svet, ktorým moderná veda nahrádza žitý svet našej bežnej skúsenosti*. Toto nahradenie je také úspešné práve preto, lebo okrem vlastnej empirickej bázy má svet vedy aj vlastnú ontológiu a kauzalitu, takže je uzavretý nielen v empirickej rovine javov, ale aj v ontickej rovine predmetnosti a v kauzálnej rovine pôsobenia. Moderná veda vie predpovedať nielen výsledky pokusov, ale v dôsledku ontickej a kauzálnej uzavretosti svojho sveta je schopná predpovedať aj existenciu nových objektov.<sup>143</sup>

Svet fyziky oddeľujú od žitého sveta tri vrstvy idealizácie, ktoré spolu konštituuju jazyk modernej fyziky. Deskripciami tohto jazyka fyzika nahrádza žitý svet. Toto nahradenie je také sugestívne, že mnohí z nás veria, že skutočne žijeme vo svete, o ktorom hovoria veda. Svet vedy je uzavretý operacionálne, onticky aj kauzálne. *Operacionálna uzavretosť sveta fyziky* znamená, že fyzikálne reálne

nekonečnorozmernosti je charakterizovaný pomocou niekoľkých axiém, teda je to pojem zvládnuteľný „konečnou“ ľudskou myslou.

<sup>143</sup> Jednou z prvých takýchto predpovedí bola predpoveď existencie planéty Neptún. Poruchy v pohybe planéty Urán fyzika nevníkala ako fenomény, ktoré treba exaktne opísať (tak by postupovala galileovská veda), ale postulovala existenciu kauzálneho agensa, ktorý svojim *pôsobením* tieto poruchy vyvoláva, pričom tohto agensa interpretovala onticky, ako *nebeské teleso*. A keď astronómia zamerala teleskop na miesto, kde sa podľa výpočtov fyzikov mala nová planéta nachádzať, skutočne ju tam našli. Od čias objavu Neptúna sa tento scenár opakoval mnohokrát, jedným z posledných takýchto objavov bol pravdepodobne objav Higgsovho bozónu.

sú iba tie javy, ktoré možno inštrumentálne reprodukovat' (t. j. operacionalizovat'); jeho ontická uzavretosť znamená, že fyzikálne javy sú prejavmi fyzikálnych objektov a jeho kauzálna uzavretosť znamená, že na fyzikálne objekty môžu pôsobiť iba iné fyzikálne objekty. Husserl tvrdí, že deskriptívne jazyky fyziky nesieme stotožniť so skutočnosťou nie preto, že by snáď veril v nejakú nadprirodzenú realitu. Aj keď uznávame, že neexistuje žiadna nadprirodzená realita, nesieme jazyk fyziky stotožniť so skutočnosťou. Ak tak urobíme, strácame vedomie nesamozrejmosti tohto jazyka, a tým aj možnosť porozumieť procesu jeho vzniku ako i možnosť doceniť ťažkosť, ktoré museli prekonať jeho tvorcovia. Cieľom fenomenologickej kritiky fyziky nie je fyzikálny obraz sveta spochybniť, ale porozumieť jeho zrodu, a predovšetkým udržať vedomie jeho nesa-mozrejmosti.

Pozoruhodným aspektom karteziánskej fyziky je skutočnosť, že Descartovi interakcia „vypadla“ z matematického opisu prírody. Karteziánska fyzika tak obsahuje vnútorné napätie. Na rozdiel od Galilea si Descartes jasne uvedomoval, že jadrom fyzikálneho opisu prírody musí byť opis kauzálneho pôsobenia. Na druhej strane však kauzálne pôsobenie nedokázal matematicky uchopiť. Descartovská fyzika pri opise zrážky vie matematicky opísať stav systému pred zrážkou i jeho stav po zrážke. Nedokáže však matematicky uchopiť, čo sa odohráva počas zrážky. Preto namiesto pôsobenia, teda toho, čo sa mení, opisuje iba to, čo sa zachováva. Rozpor medzi porozumením tomu, aký význam má pôsobenie pre fyzikálny obraz sveta, a neschopnosťou toto pôsobenie opísať matematicky viedol Descarta k tomu, že obraz prírody formuloval prostriedkami prirodzeného jazyka.<sup>144</sup> Rozhodujúci prínos Newtona k rozvoju modernej vedy spočíva v tom, že vytvoril matematický opis pôsobenia. Do medzery, ktorá v karteziánskej fyzike oddelovala stav pred zrážkou od stavu po zrážke, vložil proces silovej interakcie. Napríklad od-

<sup>144</sup> Descartova fyzika je fyzika s matematickou ontológiou, ale bez matematického opisu pôsobenia. Jej verbálny charakter je dôsledkom neschopnosti matematicky opísať interakcie inak dokonale matematických sístien.

raz lopty od steny, ktorý Descartes opisoval ako okamžitú zmenu smeru pohybu lopťy, Newton vložil ako proces postupného spomaľovania, až kým sa lopta na okamih nezastaví; vtedy sily pružnosti začnú jej pohyb postupne zrýchľovať, až kým sa lopta od steny neoddelí s rovnakou rýchlosťou, s akou do steny narazila, ale v opačnom smere. Podľa Newtona teda lopta pri odraze prechádza „všetkými stupňami rýchlosti“ až po nulovú, kým podľa Descarta sa len otočí bez toho, aby sa čo i len na okamih spomalila. Na tomto príklade vidno, že Descartes pri opise zrážky vynechal proces postupného spomaľovania a následného zrýchľovania a jednoducho spojil počítačný stav s koncovým stavom. Odraz lopťy vložil ako zmenu smeru jej pohybu.

Matematický opis pôsobenia umožnil Newtonovi kauzálne uzavrieť fyzikálny obraz sveta. Newton nahradza hyporetickú jemnú látku, ktorou karteziáni spájali fyzikálne javy do kauzálnych vzťahov, silou pôsobiacou na diaľku. Tento krok je v zhode s Husserlovým výkladom idealizácie ako nahradenia aspektu žitého sveta jeho matematickou reprezentáciou. Za hlavný Newtonov prínos k rozvoju modernej fyziky nepovažujeme objav gravitačného zákona či zákona akcie a reakcie, ale vytvorenie matematického rámca, do ktorého tieto zákony zapadajú tak, že celok umožňuje robiť exaktne predikcie. Kým sa diskusia o Newtonovom prínose k vývoju fyziky obmedzuje na diskusiu o jeho vedeckých objavoch, zotrvávame v rámci, ktorý dejinám vedy vymedzili pozitivizmus. Newtonov výkon tak zostáva záhadou. Pri každom konkrétnom objave, ktorý možno Newtonovi pripísať, sa totiž vynára celý rad jeho predchodcov a nezávislých súputnikov, ktorí si oprávnené nárokujú svoj podiel na objave. Ale v otázke matematického opisu pôsobenia čnie Newtonova postava osamotene a vysoko nad svojou dobou. Preto si myslíme, že pochopenie významu Newtonovho diela si vyžaduje vzdať sa pozitivistického prístupu k dejinám fyziky a prijať skutočnosť, že hlavný Newtonov prínos sa týka jazyka. Newton je tvorcom matematického jazyka, ktorý umožňuje analyticky opísať kauzálne pôsobenie. Vytvorenie tohto opisu malo pre zrod fyziky zásadný význam, preto sa sústredíme na tento aspekt Newtonovho diela.

### 3.1 Newtonova analytická idealizácia pôsobenia<sup>145</sup>

Descartov životopisec Stephen Gaukroger píše: „Newton, ktorého úspech bol do veľkej miery zodpovedný za zánik karteziánstva koncom storočia, bol sám v ranných 60. rokoch 17. storočia, prv, než rozpracoval svoju vlastnú prírodnú filozofiu, karteziáncom.“<sup>146</sup> Newton čítal všetko, čo bolo od Descarta dostupné, a určite čítal *Dioptriku*, *Geometriu* a *Princípy filozofie*, ktorých témy sa znova a znova objavujú v jeho zrelom diele.<sup>147</sup> Jeho hlavné vedecké dielo *Philosophiae naturalis principia mathematica* je v mnohých ohľadoch výsledkom kritického vyrovnávania sa s Descartovými *Principia philosophiae*. Newton preberá od Descarta viaceré podnety pre svoju fyziku, predovšetkým chápanie pohybu ako stavu a ideu opisu pôsobenia ako zmeny stavu. Newtonov systém má tri zákony, teda rovnaký počet ako Descartov.<sup>148</sup>

<sup>145</sup> Newton svoju mechaniku nazval *racionálnou mechanikou*. Keď používame na jej označenie slovo *analytický*, chceme upozorniť na jeden pozoruhodný aspekt Newtonovej fyziky. Na povrchu sú Newtonove *Principiá syntetické*, napísané v jazyku syntetickej geometrie. Keď sa však sústreďme na ich epistemologickú štruktúru, vidíme, že *Newton prostriedkami syntetickej geometrie opisuje pojmami mechanického pôsobenia, ktoré je analytické*. Newtonova mechanika je prvý systém, v ktorom sú príčiny a následky mechanického pôsobenia prepojené tak, že z následkov (napríklad z eliptického tvaru dráh planét) možno usudzovať na príčiny (sily ubúdajúce so štvorcem vzdialenosti). Prechod od následkov k príčinám je typickou črtou analytického prístupu. Základný Newtonov prínos je práve vo vytvorení jazykového rámca, ktorý umožňuje analyticky spojiť príčiny mechanického pôsobenia s jeho účinkami.

<sup>146</sup> Gaukroger, S., *Descartes. An Intellectual Biography*, c. d., s. 4.

<sup>147</sup> Whiteside, D. T., „Sources and Strengths of Newton's Early Mathematical Thought“, in: R. Palter (ed.), *The Annus Mirabilis of Sir Isaac Newton 1666-1966*, The M.I.T. Press, Cambridge, MA, 1970, s. 72.

<sup>148</sup> Newton spojil prvé dva zákony Descartovej fyziky (zákon zotrvačnosti pohybu a zákon zachovania smery pohybu) do svojho zákona zotrvačnosti. Tretí Descartov zákon (opisujúci proces odovzdávania pohybu) nahradil zákonom akcie a reakcie. Medzi tieto dva zákony vsunul svoj zákon sily.

- I. „Každé teleso zotravná vo svojom stave pokoja alebo rovnomerného priamočiareho pohybu, pokiaľ nite je nútené pôsobiacimi silami svoj stav zmeniť.“
- II. „Zmena pohybu je úmerná pôsobiacej hybnej sile a uskutočňuje sa v smere priamky, po ktorej táto sila pôsobí.“
- III. „Reakcia je vždy opačná a rovná akcii, čiže akcie dvoch vzájomne pôsobiacich telies sú vždy rovnaké a smerujú na opačné strany.“<sup>149</sup>

Na začiatku *Princípiu* možno nájsť nasledujúce definície:

- Množstvo hmoty (quantitas materiae) je jej miera daná súčasne jej hustotou a objemom.*  
*Množstvo pohybu (quantitas motus) je jeho miera daná súčasne rýchlosťou a množstvom hmoty.*  
*Sila spočívajúca v hmote (materiae vis insita) je schopnosť odporovať, ktorou každé teleso, pokiaľ je ponechané samo na seba, zotravná vo svojom stave pokoja alebo rovnomerného priamočiareho pohybu.*  
*Pôsobiacia sila (vis impressa) je akcia pôsobiaca na teleso s dôsledkom zmeny jeho stavu pokoja alebo rovnomerného priamočiareho pohybu.*<sup>150</sup>

V týchto definíciách Newton používa karteziánske termíny, hovorí o množstve pohybu a o zotrvačnej sile (sile spočívajúcej v hmote). Dáva im však nový, karteziánskej fyzike cudzí význam. Newton bol totiž na začiatku svojej vedeckej dráhy v rokoch 1665-1673 zástancom istého variantu karteziánskej mechanistickej filozofie a len postupne sa vymaňoval spod jej vplyvu.

Newtonovo vyrovnávanie sa s karteziánskou fyzikou možno analyzovať v troch rovinách. Prvú rovinu tvorí problematika pohybu a s tým súvisiace zavedenie pojmu absolútneho priestoru a času.

<sup>149</sup> Newton, I., „Matematické základy prírodnej filozofie, vybrané partie 3. vydania z r. 1726“, preložil M. Žabka, *Filozofia* 56, 2001, č. 5, s. 348-349.

<sup>150</sup> Tamtiež, s. 341-342.



V tejto rovine Newton *zavrhol* Descartovu teóriu už v 60. rokoch 17. storočia. V rukopise *De gravitatione* z roku 1673 podrobil priekavej kritike Descartovo stotožnenie látky a priestoru, ako aj jeho definíciu pohybu, a ukázal nekonzistentnosť celého kartezianskeho systému. Asi najzávažnejším Newtonovým argumentom je výčitka, že ak pohyb definujeme ako premiestnenie telesa vzhľadom k telesám tvoriacim jeho okolie, tak nie je možné zaviesť pojem priamočiareho pohybu. Rukopis *De gravitatione* je pozoruhodný aj tým, že obsahuje prvý náčrt Newtonovej koncepcie času, priestoru a pohybu. V tomto rukopise je po prvý raz použitý na označenie pohybu termín *absolútny*. Newtonov pojem absolútneho pohybu tak vyhradá z konfrontácie s Descartom.<sup>151</sup> V *Princípiách* sa s koncepciou absolútneho pohybu stretáme v explicítnej podobe, takže v čase, keď ich písal, Newton už karteziansku teóriu pohybu jednoznačne *zavhol*.

Druhou rovinou vyrovnávania sa s kartezianskou fyzikou je rovina metodologická. Newton vyčíta karteziancom špekulatívny charakter ich explanáčnych modelov. Prekonanie tohto nedostatku spočíva v *opustení* kartezianskych modelov a v ich nahradení teoretickým vysvetlením, v ktorom je jav spojený s príčinou, ktorá ho *vyvoláva*, už nie prostredníctvom špekulatívnej hypotézy, ale pomocou experimentálnej metódy. Táto metóda sa prejavila už v *Lectioes opticae*, diele napísanom koncom 60. rokov 17. storočia.<sup>152</sup> V tejto rovine však prekonanie kartezianstva nebolo tak rýchle ako v otázke pohybu, lebo pre každý karteziansky explanáčny model bolo treba vypracovať precíznou matematickú teóriu, opretú o experimenty, čo nie je jednoduché. V optike bol Newton úspešnejší než

<sup>151</sup> Böhme, G., „Philosophische Grundlagen der Newtonschen Mechanik“, in: K. Hutter (ed.), *Die Anfänge der Mechanik. Newtons Principia gedeutet aus ihrer Zeit und ihrer Wirkung auf die Physik*, Springer, Berlin 1989, s. 5-20; Steinle, F., *Newton's Entwurf „Über die Gravitation“*, Frank Steiner, Stuttgart 1991.

<sup>152</sup> Newton, I., *Lectioes opticae*, London 1729. Preložil S. I. Vavilov: *Lekcii po optike*, Izdatel'stvo AN SSSR, Moskva 1946.

v mechanike, ale ani v optike jeho experimenty mnohých kartezianskych oponentov nepresvedčili.

Tretou rovinou Newtonovho vyrovnávania sa s kartezianskou fyzikou je opis pôsobenia. Na rozdiel od kartezianskeho chápania pohybu, ktoré odmietol hneď na začiatku svojej kariéry, pri opise pôsobenia ostal Newton dlho verný kartezianskej predstave interakcie ako kontaktného pôsobenia a *emanipoval* sa od nej iba postupne. Karteziansku teóriu zrážok preložil do jazyka síl, čím ju spresnil, ale síly pomocou ktorých opisoval zrážky, boli naďalej kontaktnými silami pôsobiacimi v časovom momente. Ako upozornil I. Bernard Cohen, druhý Newtonov zákon uvedený v *Princípiách* znie takto: „*Zmena pohybu je úmerná pôsobiacej hybnej sile a uskutočňuje sa v smere priamky, po ktorej táto sila pôsobí*.“ Sila je teda úmerná zmene (množstvu) pohybu, čo možno zapísať ako

$$F = d(mv). \quad (2)$$

Je to čosi zásadne iné než to, čo pod druhým Newtonovým zákonom rozumieme dnes, keď silu kladieme rovnú rýchlosti zmeny hybnosti, teda

$$Fdt = d(mv) \quad \text{alebo} \quad F = \frac{d(mv)}{dt}. \quad (3)$$

V Newtonovej formulácii zákona sily je sila úmerná priamo zmene hybnosti, a nie rýchlosti zmeny hybnosti, pričom ide o „okamžitú silu“ (*instantaneous force*).<sup>153</sup> Je to kartezianska koncepcia pôsobenia ako zrážky, opísaná v jazyku síl interakcie.<sup>154</sup>

Okrem okamžitých síl, pôsobiacich v momente zrážky Newton

<sup>153</sup> Pozri Cohen, I. B., „Newton's Second Law and the Concept of Force in the *Principia*“, in: R. Palter (ed.), *The Annus Mirabilis of Sir Isaac Newton 1666-1966*, c. d., s. 144-159.

<sup>154</sup> Newton hovorí o úmernosti medzi silou a zmenou pohybu, takže jeho formulácia neodporuje ani vzťahu (3), hoci tento vzťah ani explicítne ne-  
tvrdí.

už okolo roku 1665 zaviedol opis spojitého silového pôsobenia. Išlo o pôsobenie odstredivej sily rotáčného pohybu, ktoré opísal pomocou postupnosti rovnomerne rozložených účinkov okamžitých síl, pričom hladkú dráhu aproximoval pomocou vpísaného mnohouholníka. V limite sa mnohouholník blíži k hladkej trajektórii a účinky okamžitých síl k pôsobeniu spojitých síl.<sup>155</sup> Neskôr používal „spojité sily“ pôsobiace v časovom intervale (gravitačnú silu). Pre spojitú silu však nevyslovil zvláštny pohybový zákon, ale ich pôsobenie opisoval ako limitu veľkého počtu impulzov okamžitých síl. Tieto okamžité sily rovnomerne rozkladal v čase, takže v limite dostal z formúl typu (2) opis pôsobenia ekvivalentný s (3). Preto, ako píše Cohen: „Nemožno pochybovať o tom, že Newton poznal a explicitne vyslovil zákon pohybu v tvare ekvivalentnom s [(3)].“<sup>156</sup>

Zdá sa, že Newton dlho považoval (spojitú) gravitačnú silu za *efektívny spôsob opisu* gravitačného pôsobenia, ktorého mechanizmus je neznámy, ale má podobu zrážok s nejakou formou éteru. Tento éter nemôže byť karteziánskou jemnou látkou, keďže Newton vedel, že karteziánsky model nefunguje. Veril však, že sa podarí nájsť mechanistické vysvetlenie gravitačného pôsobenia. Takže všetko, o čom sme zatiaľ hovorili (preklad pôsobenia do jazyka okamžitých síl a presná matematická formulácia ich pôsobenia), ešte stále patrí k druhej rovine Newtonovho rozchodu s karteziánskosťou. Namiesto svojvoľného špekulatívneho vysvetlenia tlaže pomocou víru jemnej látky dosadil kvantitatívny a experimentálne kontrolovateľný opis pomocou okamžitých síl. Na tretiu rovinu sa Newton dostáva až vtedy, keď si uvedomí, že pravdepodobne nič lepšie nenájde, a od spojitých síl chápaných ako *nástroj efektívneho opisu* (teda z objektívnej metodologickej roviny) prejde k silám pôsobiacim na diaľku.<sup>157</sup>

<sup>155</sup> Herivel, J., „Newton's Achievement in Dynamics“, in: R. Palter (ed.), *The Annus Mirabilis of Sir Isaac Newton 1666–1966*, c. d., s. 125.

<sup>156</sup> Cohen, I. B., „Newton's Second Law and the Concept of Force in the Principia“, c. d., s. 157.

<sup>157</sup> V tomto smere sa osud Newtonovej *gravitačnej sily* nelíši od osudu *elektromagnetického poľa* (ktoré Faraday zaviedol iba ako vhodnú názornú predstavu pôsobenia nábojov a tokov) či *kvanta účinku* (ktoré Planck zavie-

Nie je úplne jasné, ako ďaleko na ceste k prijatiu síl pôsobiacich na diaľku Newton zašiel. Je zrejmé, že tieto sily vystupujú v *Princípiách* pri opise pohybu planét, avšak Newton ich nevlozil do základov pojmovej stavby svojej teórie. Newtonove *Princípiá* sú vybudované na pojme okamžitých síl a spojitých síl pôsobiace na diaľku sa objavujú na scéne iba pozvoľna. Možno si uvedomoval, že teória gravitácie založená na pôsobení na diaľku vzbudí odpor, a preto na prvých stránkach svojho diela, kde formuloval zákony pohybu, uviedol okamžité sily. Je však rovnako možné, že stále veril v možnosť nájsť mechanický model gravitačného pôsobenia (t. j. model kontaktného prenosu pôsobenia), ktorým bude možné nahradiť sily pôsobiace na diaľku a celé *Princípiá* vybudovať na pojme okamžitého pôsobenia. Naštastie tento problém nemusíme rozhodnúť a Newtonov opis pôsobenia pomocou spojitých síl môžeme zaradiť medzi prínosy jeho diela. Cieľom tohto úvodu bolo zvýrazniť spätosť newtonovskej fyziky s fyzikou karteziánskou, a zdôvodniť tak stratégiu nášho výkladu Newtonovej fyziky, založenú na jej konfrontácii s fyzikou karteziánskou.

### 3.1.0 Matematizácia prírody ako Newtonov program

Galileovská a karteziánska fyzika predstavujú dva zásadne odlišné prístupy k matematizácii prírody. V galileovskom pojmáti je matematika *jazykom*, ktorým je napísaná kniha prírody. Je to asi najrozišrenejšie chápanie úlohy matematiky vo fyzike. Keď otvoríme ľubovoľnú knihu z fyziky, zistíme, že je napísaná jazykom matematiky.

dol iba ako formálny trik pri odvodení zákona žiarenia absolútne čierneho telesa). Tak ako po Faradayovi prišiel Maxwell a po Planckovi Einstein, ktorí zobrali pole respektíve kvantum vážne a pripísali im fyzikálnu realitu, po Newtonovi prišiel Euler, a pre sily pôsobiace na diaľku sformuloval rovnicu (3), ktorú nazývame druhým Newtonovým zákonom. Zrod teórie poľa a kvantovej mechaniky prebiehali rovnako ako zrod newtonovskej mechaniky. Určitá entita, zavedená ako nástroj efektívneho opisu, sa osamostatnila, získala status súcna a z pôvodného efektívneho opisu v rámci starej teórie sa vytvoril zárodok jazyka teórie novej.

Táto skutočnosť zväzda k záveru, že súčasná fyzika je naplnením Galileovej intencie matematizácie prírody. V kapitole venovanej karteziánskej fyzike sme sa snažili ukázať, že toto chápanie je nepodložené. Galileovský program matematizácie prírody bol, prísne vzaté, slepou uličkou a po krátkom čase stroskotal. Jeho hlavným nedostatkom bolo prijatie úlohy, ktorú matematike vymedzil Aristoteles: nemietať sa do ontologického a kauzálneho výkladu skutočnosti a obmedziť sa len na opis fenoménov. Rozšírenie matematizácie aj na ontologickú úroveň je zásluhou karteziánstva.

Descartes nechápe matematiku ako jazyk vhodný na opis skutočnosti. Matematická je podľa neho samotná skutočnosť. Matematika sa tak stáva *ontickým základom* skutočnosti, neopisuje fyzikálne javy, ale reprezentuje stav fyzikálnych systémov. Tým zaniká dualizmus tiahnući sa od antiky, podľa ktorého skutočnosť je spojením formy a látky. V pozadí Galileovej rezignácie na kauzálny výklad skutočnosti sa ešte stále skrýva predstava, že matematika sa hodi iba na opis formy. Galileo síce nahradza aristotelovské substancijálne formy formami matematickými, ale látku ponecháva nedotknutú. Pred matematizáciou prírody v galileovskom pojmí stojí bariéra, ktorú predstavuje látka. S ideou *totálnej matematizácie* prichádza až Descartes, keď tvrdí, že nijaká látka odlišná od formy neexistuje. Matematické objekty predstavujú nielen formu skutočnosti, ale sú aj jej ontologickým substrátom. Rozprístranené veci sú tak súčasne formou i látkou.

Napriek svojej radikálnosti však ani Descartov program matematizácie prírody neuspel. Intenciu matematizácie prírody završil až Newton. U Newtona matematika nie je jazykom vhodným na opis javov, ako ju chápal Galileo, ani ontologickou bázou skutočnosti, ako ju chápal Descartes. Newton prináša tretie pojatie, podľa ktorého matematika je *formou analytikej reprezentácie skutočnosti*, teda formou analytikej reprezentácie času, priestoru a pôsobenia.<sup>158</sup>

<sup>158</sup> Dôraz je tu na slove *analytikej*. Je to reprezentácia, ktorá umožňuje „pochítať“, teda pomocou manipulácie so symbolmi určiť časový vývin stavu určitého systému.

### 3.1.1 Premena inštrumentálnej praxe – inštrument ako fyzikálny predmet

Inštrumentalizácia pozorovania bola výdobytkom galileovskej fyziky. Prístroje ako ďalekohľad alebo tlakomer umožňovali matematickú rôzných *fenomérov*, samotné *prístroje* však neboli predmetom matematického opisu. V dobe svojich astronomických objavov Galileo nepoznal zákon lomu svetla a nedisponoval ani teóriou ďalekohľadu. A takúto teóriu ani nemohol vytvoriť, lebo galileovská fyzika sa hodi skôr na opis izolovaných javov než na opis fungovania zložitých inštrumentov. Dôslednú matematizáciu sveta vrátane prístrojov a ľudského tela priniesla až karteziánska fyzika. V tej každý predmet, či už orgán ľudského tela, napríklad oko, alebo vedecký inštrument, napríklad ďalekohľad, podliehali matematizácii. To umožnilo, vďaka karteziánskemu opisu pôsobenia, pozorovanie vyložiť ako interakciu pozorovaného predmetu a pozorovacieho inštrumentu so zmyslovým orgánom ľudského tela. Tak sa samotný akt pozorovania stáva súčasťou fyzikálneho opisu. Karteziánska matematizácia je však v mnohých ohľadoch kvalitatívna a sústreďuje sa skôr na tvorbu explanačných modelov fungovania orgánov ľudského tela než na vypracovanie kvantitatívnej teórie fyzikálnych inštrumentov. Až u Newtona sa inštrumenty stávajú predmetom teoretického opisu. Význam tohto posunu si môžeme plne uvedomiť na probléme analýzy chýb.

V galileovskej vede je chyba spôsobená trením, nerovnosťami povrchov či deformáciami fyzikálnych inštrumentov, čímisi, čo treba *eliminovať, a nie sklamať*. Podľa Galilea, čím bude trenie menšie, povrchy hladšie a materiály pevnejšie, tým bližšie sa pri pozorovaní dostaneme k dokonalým prírodným zákonom, opisujúcim ideálne procesy prebiehajúce vo vákuu. Keď Descartes dospel k presvedčeniu, že vákuum nie je možné, uvedomil si, že ideálny svet, o ktorom hovorí galileovská fyzika, neexistuje. Rušivé vplyvy nie je možné eliminovať, ale treba s nimi počítať. Je možné, že tento poznatok je jedným z dôvodov, prečo Descartes neprikladal pozorovaniu, experimentom a meraniu dostatočnú váhu. Sformuloval rad pravidiel

opisujúcich zrážky, o ktorých ľahko zistíme, že neplatia. Podľa Descarta však príslušné pravidlá opisujú to, ako by sa telesá pri zrážke správali, keby neboli vystavené pôsobeniu okolia. V skutočnosti sú tomuto pôsobeniu neustále vystavené, preto neprekvapuje, že pri pozorovaní nameriame odchýlky od príslušných pravidiel. Keďže správanie sa telies je systematicky zaťažené chybami, nemá veľký význam vytvárať presnú teóriu fyzikálnych inštrumentov.

Až v rámci newtonovskej fyziky, ktorá prináša pojem uzavretého fyzikálneho systému, možno pre jednotlivé inštrumenty vypracovať teóriu ich fungovania, a tak získať obraz o ich spoľahlivosti. Inštrument je fyzikálny systém ako každý iný, preto ho možno skúmať metódami fyziky. Zabudovaním inštrumentov, a teda aj pozorovania, experimentov a merania, do fyzikálneho obrazu prírody sa vytvára prepojenie vedy a techniky, ktoré odlišuje modernú vedu od jej predchodkyň v antike či ranom novoveku.<sup>159</sup>

### 3.1.2 Analytické pojmie experimentu a metóda induktívneho dôkazu

Galileovo pojmie experimentálnej metódy bolo vedené snahou pomocou umelej experimentálnej situácie odhaliť ideálny podstatu určitého javu. Príkladom takto chápaného experimentovania sú pokusy s naklonenou rovinou, pri ktorých Galileo objavil zákon voľného pádu. Zrýchlenie voľného pádu je fenomén prítomný v prirodzenej skúsenosti (ako sa môžeme presvedčiť skokom z výšky) a ide len o to, sprístupniť ho matematizácii. Galileovo pojmie experimentu možno preto považovať za *synthetické* v tom zmysle, že matematic-

<sup>159</sup> Newtonovo zabudovanie pozorovania do fyzikálneho obrazu radikálne mení charakter fyzikálneho poznania – fyzika reflektuje svoj proces poznávania v sebe samej. Filozofa dlho tento fakt ignorovala, a fyzikálne poznanie vykladala ako druh zmyslového poznávania. Napríklad Kant sa snaží Newtonovu fyziku vtiesnať do Descartovho epistemologického rámca zmyslového vnímania. Až naturalizovaná epistemológia začína objavovať niečo, čo je vo fyzike už vyše tristo rokov samozrejmosťou.

ká veličina alebo matematická zákonitosť sa objavuje v záverennom akte experimentu, podobne, ako sa konštruovaný objekt syntetickej geometrie objaví v záverennom kroku konštrukcie. Descartes ukázal, že Galileovo empirické pojmie fyziky je príúzkke a treba ho doplniť o opis ontického základu skutočností. Pri tomto opise však Descartes ostal v rovine špekulácii. Napríklad pri výklade ťažšie postuloval vír jemnej látky, ale otázku, ako možno experimentálne zistiť smer a rýchlosť jeho pohybu, nechal nezodpovedanú. Prinos Newtona v oblasti experimentálnej metódy spočíva v tom, že našiel spôsob, ako možno *experimentálne skúmať ontickú rovinu skutočností*.

Svoje nové pojmie experimentálnej metódy Newton vypracoval pri skúmaní farieb v rokoch 1665–1667.<sup>160</sup> Hooke a Huyghens odmietli Newtonovu teóriu farieb, lebo ju vnímali na pozadí vedeckého štýlu typického pre karteziansku mechanickú filozofiu. Vyčítali kartezianskej fyzike, že je špekulatívna a nestará sa o empirické dáta, nie je celkom oprávnené. Hooke patril k popredným experimentátorom svojej doby. Jeho štýl práce bol však karteziansky. Kartezianska mechanická filozofia vyrastá z kritiky galileovskej experimentálnej vedy. Podľa Descarta nestačí skúmať izolované aspekty skutočností, ale musíme si vytvoriť predstavu o jej celkovom fungovaní. Jadrom kartezianskej vedy je tak snaha objaviť mechanizmus, ktorý je v pozadí experimentálnych dát. Problém nespočíva v tom, že by mechanická filozofia nepoužívala experimenty, ale v tom, že experimentovanie je v nej *oddelené* od teoretickej práce na explanačných modeloch, ktoré ostávajú špekulatívne. Descartes používa pokusy na „vybudenie“ svojej teoretickej fantázie. Teoretická práca začína tam, kde experimentálna práca končí. Kartezianska veda je vedená snahou teoreticky porozumieť skúsenosti nahromadenej v experimentálnej praxi.

Newton si uvedomuje, že kartezianska fyzika potrebuje experimentálnu kontrolu teoretických modelov. Otázkou však je, ako ju

<sup>160</sup> Haffort, C., „Newtons Optik, Wandel im Spektrum der Wissenschaft“, in: J. Fauvel (ed.), *Newtons Werk. Die Begründung der modernen Naturwissenschaft*, Birkhäuser, Basel 1993, s. 115–121.

zabezpečiť, keď experimentom sú prístupné len fenomény, kým teoretické modely sa týkajú ontického základu, ktorý bezprostredne nepozorujeme (napríklad vír jemnej látky, ktorý spôsobuje tiaž). Newtonovu odpoveďou je *metóda indukčného dôkazu z fenoménov*. Otázka Newtonovej indukčnej metódy viedla k mnohým nedorozumeniam. Potom, čo Mill vložil indukciu ako logickú metódu, prišiel Popper s jej radikálnou kritikou. Domnievame sa však, že ani Millov výklad, ani Popperova kritika sa netýkajú toho, o čo Newtonovi skutočne šlo. Inými slovami, napriek Popperovej kritike indukčnej metódy Newtonova metóda funguje a je na nej založená veľká časť fyziky. Každá indukcia totiž funguje v určitom jazykovom rámci. Podobne, ako sa *matematická indukcia* zakladá na dobrom usporiadaní množiny, ktorej sa indukčný dôkaz týka, aj Newtonova *analytická indukcia* sa zakladá na jazykovom rámci matematickej analýzy. Na vysvetlenie empirických dát (Newton považuje aj Keplerove zákony za empirické dáta a nazýva ich fenomenmi) sa hľadá funkcia opisujúca silové pôsobenie. Ale táto funkcia sa nehladá medzi všetkými *logickými možnými* funkciami (v tom má Popper pravdu: z konečných empirických dát nemožno takúto funkciu určiť). Ak však neprejdeme ihneď do priestoru logicky možných funkcií, ale budeme túto funkciu hľadať medzi *analytickými „slušnými“* funkciami, dostaneme rámec podobný matematickej indukci. Napríklad ak predpokladáme, že priťaživá sila je úmerná určitej mocnine vzdialenosti  $f(r) = r^k$ , tak z toho, že trajektórie planét sú uzavreté krivky (čo je empirický fakt), možno dokázať, že  $k$  môže byť len  $-2$  alebo  $+1$ .<sup>161</sup> Samozrejme, toto odvodenie nie je logicky čisté, lebo predpokladá, že pohybová rovnica je diferenciálnou rovnicou druhého rádu, že priestor je izotropný a má tri rozmery, že funkcia opisujúca silu je analytická. Z logického hľadiska sú tieto predpoklady nezdôvodnené, preto keď Newtonove indukčné dôkazy rekonštruujeme prostriedkami modernej formálnej logiky, ukazuje sa, že nie sú platné. Ale to je Popperovo rozhodnutie čítať Newtonove slová pomocou aparátu logiky. Newton nepracoval

v rámci formálnej logiky, lebo v jeho dobe nič také neexistovalo. Ak Newtonovu indukčnú metódu rekonštruujeme nie na pozadí logiky, ako to robí Popper, ale na pozadí matematickej analýzy, Newtonovým slovám, že svoje tvrdenia indukčne dokázal, možno dať zmysel.

Newtonov prístup navrhujeme nazvať *analytickým* *pojätím experimentálnej metódy*.<sup>162</sup> Analytický prístup v modernom zmysle slova sa zrodil na pôde algebry v roku 1591 vo Viétovej práci *In artem analyticam isagoge* a v roku 1637 ho Descartes preniesol do geometrie. Newtonov vklad do rozvoja experimentálnej metódy chceme vylóžiť ako ďalší krok v rozvoji analytického prístupu – ako vytvorenie analytickej metódy experimentovania. Jadro analytickej metódy tvoria podľa Descarta tri kroky. V prvom kroku označíme písmenami veličiny známe i neznáme. Zmyslom tohto kroku je zrušiť epistemickú diferenciu medzi známymi a neznámymi veličinami. V druhom kroku zapíšeme vzťahy, aké platia medzi týmito veličinami v súlade so zadaním. V treťom kroku vyriešime takto získané rovnice, a najdeme tak vyjadrenie neznámych veličín pomocou známych. Newtonov významný vklad do algebry a analytickej geometrie podporuje výklad jeho experimentálnej metódy ako analytického pojęcia experimentovania. Na rozdiel od algebry, kde základnou diferenciou tvoriacou jadro analytickej metódy je *epistemická diferencia* medzi známou a neznámou veličinou, pri analytickej experimentovani ide o *metodologickú diferenciu* medzi merateľnými veličinami (rýchlosť, poloha) a nemerateľnými veličinami (silami). Newton najprv označí písmenami merateľné ve-

<sup>161</sup> Arnold, V. I., *Matematičeskije metody klassičeskoj mehaniky*, c. d., s. 38.

<sup>162</sup> Termín *analytické* *pojatie experimentálnej metódy* môže vyvolať námietky. Vo filozofii sa *analytický* kladie do opozície k *syntetickému*. Veta opisujúca výsledok experimentu sa považuje za príklad syntetického súdu, takže sa zdá, že experimentálna metóda nemože byť analytická. Podľa nášho názoru však protiklad medzi analytickým a syntetickým je dôsledkom ignorovania úlohy jazyka v poznávaní. Realitu, ktorú chceme experimentálne skúmať, môžeme dať do korelácie s určitým kalkuom, čím sa experiment zasadí do siete analytických vzťahov, čo mu môže dať analytický rozmer. Podrobnejšie to ukážeme v nasledujúcom texte.

ličiny i veličiny nemerateľné, čím ich zrovnoprávni. Potom zapíše rovnice, ktoré by existovali medzi merateľnými a nemerateľnými veličinami, keby systém fungoval tak, ako si predstavuje. Napokon z týchto rovníc odvodí vzťahy, v ktorých vystupujú iba merateľné veličiny, a tieto vzťahy experimentálne testuje.

Abý sme pochopili radikálnu novosť tejto metódy, stačí ju porovnať s metódami galileovskej a karteziánskej fyziky. Galileo zásadne odmietal hovoriť o nemerateľných veličinách a reči o pôsobení Mesiaca na pozemské javy považoval za okultizmus. Pre Galilea sa svet vedy redukoval na fenomenálnu realitu. Descartes si naproti tomu už pôsobenie Mesiaca na pozemské javy v princípe dokázal predstaviť. Umožňoval mu to vír jemnej látky, ktorý príslušné pôsobenie sprostredkoval. O tejto jemnej látke však nedokázal povedať nič presnejšie, teda vlastne nič záväzné nepovedal ani o uvažovanom pôsobení. V karteziánskej fyzike sa tak obraz sveta rozpadá na dve časti. Jednu tvoria javy prístupné experimentálnemu skúmaniu, druhú rôzne hypotetické jemné látky, pomocou ktorých sa tieto javy vysvetľujú. Hypotetické jemné látky sú však prístupné iba špekuláciám. Karteziánska fyzika nemá prepojenú fenomenálnu vrstvu opisu skutočnosti s ontickou vrstvou opisu.

Newtonova genialita spočíva v tom, že si uvedomil, že vzťah fenomenálnej a ontickej vrstvy je analogický so vzťahom známych a neznámych veličín v algebre či analytickej geometrii. Nemerateľnú veličinu (napríklad silu, ktorou Zem priťahuje Mesiac) treba označiť písmenom, zapísať vzťahy, v ktorých vystupujú merateľné i nemerateľné veličiny, a úpravou týchto vzťahov dospieť k experimentálne testovateľným dôsledkom. Tak sa meranie stáva testom analytického vzťahu, z ktorého sme odvodili predpoveď o výsledku merania. Pomocou dát o eliptickom tvare dráh planét možno testovať závislosť gravitačnej sily od vzdialenosti. Presne to urobil Newton, a preto ho hnevalo, keď si Hooke, ktorý túto závislosť iba uhadol, nárokoval jej objav. V rámci karteziánskej fyziky, ktorú zasťával Hooke, nebolo možné tento vzťah „*induktívne dokázať*“, lebo úroveň opisu javov v nej nie je prepojená s úrovňou opisu pôsobenia. Výhodou Newtonovej metódy je to, že nemusíme merať priamo jav,

o ktorý sa zaujíname, ale spleť analytických vzťahov, do ktorých je skúmaný jav začlenený, umožňuje nasadiť experimentálne techniky na tom mieste, ktoré je meraniu najlepšie prístupné. Aj keď z logického hľadiska sú Newtonove tvrdenia hypotézami – rovnako ako karteziánsky model založený na predstave víru jemnej látky –, je tu zásadný rozdiel. Newtonove hypotézy sú analyticky prepojené s celou stavbou teórie, preto sú na každom kroku podrobované testovaniu, kým karteziánske hypotézy sú len kvalitatívne a ich prepojenie s rovinnou javov je veľmi voľné. V tomto duchu treba chápať Newtonove tvrdenie „*Hypotheses non fingo*“. Newton si hypotézy nevymýšľa, ale ich analyticky vyvodzuje z empirických dát.

### 3.1.3 Techniky merania a „odváženie“ Zeme

Vymedzenie merania ako štandardizácie experimentu umožňuje preniesť Newtonovo analytické pojmá experimentálnej metódy do oblasti merania. Ako príklad ilustrujúci možnosti, ktoré fyzike odkrýva Newtonovo pojmá merania, možno vziať „odváženie“ Zeme. Roku 1798 sa Henrymu Cavendishovi (1731–1810) pomocou jemných torzných váh podarilo odmerať silu, ktorou sa priťahujú dve veľké gule. Keď túto nepatrnú silu porovnáme s ťažou guľou, teda so silou, ktorou sú priťahované k Zemi, môžeme vypočítať hmotnosť Zeme. Cavendishovo meranie bolo preto často nazývané „vážením“ Zeme. Abý sme pochopili radikálnu novosť tohto prístupu k meraniu, stačí sa naň pozrieť očami galileovskej vedy. Jadrom Cavendishovho merania sú torzné váhy, teda *instrument*, pomocou akého desať rokov predtým Coulomb odmeral silu pôsobiacu medzi elektrickými nábojmi. Cavendish vo svojom laboratóriu vytvoril *umelú experimentálnu situáciu*, aby vylúčil všetky rušivé vplyvy, ktoré by mohli výsledok merania skresliť. Zatiaľ sa pohybuje v rámci galileovského chápania merania: máme instrument a umelú situáciu. Galileovská fyzika by však tu skončila a novú silu by pridala k ostatným fenoménom – podobne, ako to urobila s atmosférickým tlakom či teplotou. Na newtonovskom prístupe je nová

analytická previazanosť javov, umožňujúca z odmeranej sily medzi dvoma telesami určiť hmotnosť Zeme. To predpokladá existenciu univerzálneho zákona, teda čohosi, čo je galileovskej vede cudzie. Samozrejme, po nameraní príťažlivej sily medzi telesami by aj galileovskému vedcovi napadla analógia tejto sily s ťažou, ba možno by po určitom čase dospel k čomusi podobnému Newtonovmu gravitačnému zákonu. Ale Newton vyslovil gravitačný zákon sto rokov pred Cavendishovým meraním. Formula teda predchádzala priame experimentálne doloženie javu, ktorý opisuje, o jedno storočie.

Keď si navyše uvedomíme, aká slabá je príslušná sila, je zrejme, že galileovský vedec nemal šancu túto silu náhodne objaviť. Nemal dôvod konštruovať takú komplikovanú experimentálnu situáciu, ktorú musel Cavendish vytvoriť, ak chcel príslušnú silu spraviť merateľnou. V bežnej skúsenosti neexistuje jav, ktorým by sa mohol nechať viesť, ako to bolo v prípade Galileových výskumov voľného pádu. Na gravitačnú silu nemožno nadabíť ani šťastnou náhodou, ako to bolo pri Torricelliho pokuse, keď záujem vedcov vzbudil fakt, že z hlbokých šacht sa nedala vyčerpáť voda. V prirodzenej skúsenosti neexistuje jav, ktorý by prezrádzal, že makroskopické telesá sa priťahujú. Preto galileovskej vede by gravitačná sila zostala zrejme navždy skrytá. Newtonovská veda sa od galileovskej líši tým, že javy zasadzuje do analytických vzťahov a tie potom využíva pri konštrukcii umelých javov predpovedaných teóriou. Cavendish sa pri projektovaní situácie, v rámci ktorej by sa príťažlivá sila mohla stať *merateľnou*, nechal viesť gravitačným zákonom. Kým galileovská veda pri experimente zasahuje iba do konštitúcie javu existujúceho v prirodzenej skúsenosti, newtonovská veda prichádza s *konštrukciou javov, ktoré v prirodzenej skúsenosti nemajú korelát*. Samozrejme nie v tom zmysle, že by napríklad gravitačná sila predtým, ako ju Cavendish objavil, neexistovala. Táto sila existovala už v raných štádiách existencie vesmíru, ale nebola javom, nebola odkrytá nášmu pohľadu. Okrem galileovského postupného posúvania horizontu prirodzenej skúsenosti pomocou inštrumentálnych techník teda existuje newtonovské pretrhание horizontu žitého sveta a s tým spojený vpád umelých javov, skonštruovaných

na základe predpovedí teórie, javov, ktorým v prirodzenej skúsenosti nič nezodpovedá. Asi najmarkantnejším príkladom tohto pretrhania horizontu je Hertzov objav elektromagnetických vln, predpovedaných Maxwellovou teóriou, po ktorom nasledovala záplava umelých javov: od telegrafických signálov až po zvuk a obraz v mobilných telefónoch.

### 3.1.4 Newtonova kritika Descartovej definície pohybu a princíp zotrvačnosti

V bodoch 3.1.1, 3.1.2 a 3.1.3 sme uviedli zmeny, ktoré Newton vniesol do empirického základu fyziky. Celkovo možno povedať, že Newton zasadil skúsenosť do pevného jazykového rámca, vďaka ktorému sa javy dostali do siete analytických vzťahov. To umožňuje nasadiť experimentálne techniky na najlepšie prístupnom bode tejto siete, a získať tak odpovede na otázky, ktorých priame experimentálne testovanie je veľmi náročné. V nasledujúcich troch bodoch sa pokúsime objasniť teoretické princípy, ktoré Newton formuloval, aby túto empirickú bázu mohol konceptuálne uchopiť.

Ako sme uviedli, Newton podrobil Descartovu definíciu pohybu zásadnej kritike. Descartes píše, že pohyb „je premiestňovaním 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“.<sup>163</sup> Newton si uvedomil, že táto definícia neumožňuje zaviesť pojem priamočiareho pohybu, lebo keď sa všetky predmety v okolí skúmaného telesa premiestňujú, tak vzhľadom na niektoré z nich sa pohyb môže javiť ako priamočiary, vzhľadom na iné ako krivočiary. Preto nie je jasné, čo vlastne druhý zákon kartezianskej fyziky hovorí, keď postuluje, že „každá časť hmoty sama osebe sa usiluje pohybovať sa iba v smere priamočiaram, a nie zakrivenom“.

<sup>163</sup> Descartes, R., *Princípy filozofie*, c. d., s. 93.

Na obranu Descartovej nedôslednosti možno uviesť, že Descartes priamočiaremu pohybu neprípisoval veľký význam, lebo podľa neho je priestor vyplnený látkou, takže priamočiary pohyb nie je možný. Zmyslom pojmu priamočiareho pohybu v kartezianskom systéme nie je opísať nejaký reálne existujúci pohyb. Priamočiary pohyb sa netýka fenomenálnej úrovne javov, ale ontickej úrovne explanatorických modelov. Pojem priamočiareho pohybu je teoretická konštrukcia, vďaka ktorej sa fenomenálna realita stáva zrozumiteľnou. Na pozadí tohto pojmu sa kruhový pohyb javí ako pohyb, ktorý sa v každom bode odchyľuje od priamočiareho pohybu, preto vzniká potreba tieto odchyľky kauzálne vysvetliť.<sup>164</sup> Descartes pri budovaní svojej fyziky formuloval rôzne modely, pomocou ktorých vysvetľoval pozorované javy. Hypotézy, na ktorých svoje modely zakladal, však nemuseli byť správne v každom detaile. Stačilo, keď v princípe ukázali mechanickú vysvetliteľnosť príslušného javu. Descartes cítil, že stojí na začiatku dlhjej cesty, a tak detaily prenechal nasledujúcim generáciám.

Newton takýto prístup k teoretickým modelom zásadne odmietal. Na rozdiel od karteziancov, u Newtona sú fenomenálna vrstva a ontická vrstva opisu analyticky previazané. Hypotézy teda už nie sú záležitosťou špekulácii. Ich analytické dôsledky sú empiricky testovateľné. Preto je neprípustné používať v teoretických modeloch také nejasne definované pojmy, ako Descartov pojem priamočiareho pohybu. U Newtona sú všetky pojmy zasadené do jednotného rámca, takže je nutné pojmy ontickej úrovne definovať s rovnakou starostlivosťou ako pojmy fenomenálnej úrovne. Preto sa Newtonove *Principiá* začínajú definíciami základných pojmov.

<sup>164</sup> Tu vidno prevahu kartezianskej fyziky nad galileovskou, podľa ktorej je kruhový pohyb prirodzený. Descartes, na rozdiel od Galilea, vníma kruhový pohyb na pozadí pojmu rovnomerného priamočiareho pohybu, preto nezávisle od toho, či má tento pojem korektné definovanie, jasne chápe, že pohyb po kružnici je výsledkom pôsobenia. Tento príklad ilustruje spôsob prepojenia fenomenálnej a ontickej roviny v kartezianskej fyzike. Úlohou ontického explanáčného modelu je vohnúť na fenomeny nové svetlo, v ktorom sa fenomény stávajú zrozumiteľnými. Preto ontický model nemusí byť v každom detaile presný.

Aj keď sme sa závažnosťou nedostatku kartezianskej fyziky spojenú s definíciou priamočiareho pohybu snažili zlahčiť, neide tu o Descartovu nedôslednosť či opomenutie. Problémy s definíciou pohybu sú systematickou črtou kartezianskej teórie a súvisia s Descartovým *stotožnením látky s priestorom*. Ako sme uviedli, Descartes povýšil geometrickú formu na fyzikálnu substanciu, rozpriestranenú vec stotožnil s priestorom. Tým však stratil referenčný systém, vzhľadom na ktorý by bolo možné pohyb definovať. Preto jeho problémy s definíciou priamočiareho pohybu sú „plne zaslužené“. Rozpriestranená vec je totiž súčasne tým, čo sa hýbe (t. j. „látkou“), i tým, vzhľadom na čo je pohyb vymedzený (t. j. „priestorom“). Newton preto rozpriestranenú vec, teda geometrickú substanciu, ktorá je ontickou bázou kartezianskej fyziky, rozdelil na dva aspekty, na priestor a látku. Priestor sa stal *formou*, na pozadí ktorej možno *definovať rovnomerný priamočiary pohyb*, a pre takto definovaný pohyb vysloviť zákon zotrvačnosti. Newton tak zasadil opis pohybu do pevnej formy absolútneho priestoru a až na jeho pozadí vyslovuje princíp zotrvačnosti.

Okrem jasnej definície rovnomerného priamočiareho pohybu Newton zmenil formuláciu zákona zotrvačnosti aj v tom, že Descartove dva zákony spojil do zákona jediného. Newton totiž dospel k chápaniu rýchlosti ako vektorovej veličiny, teda ako veličiny charakterizovanej veľkosťou aj smerom, čím spojil dva aspekty pohybu, ktoré boli v kartezianskej fyzike oddelené. Aj keď Newtonova formulácia zákona zotrvačnosti v mnohom pripomína Descartovu formuláciu, pojem priestoru, na pozadí ktorého Newton zákon zotrvačnosti vyslovuje, je zásadne antikarteziansky. V dôsledku toho do stáva antikartezianske zafarbenie aj samotný zákon zotrvačnosti.<sup>165</sup>

<sup>165</sup> Zaujímavá je aj druhá Newtonova zložka kartezianskej rozpriestranenej veci, totiž *látky*. Descartes povýšením geometrickej formy na fyzikálnu substanciu odstránil antickú *hylé*, amorfnú materiu, ktorá bola považovaná za ontologický substrát sveta. Keď Newton opäť karteziansku rozpriestranenú vec rozdelil na priestorový a materiálny komponent, nevrátil sa späť k amorfnej *hylé* antickej filozofie. Newtonova materina preberá od kartezianskej substancie svoju matematickú určitosť. Všetky atribúty Newtonovej matérie sú už jasné a rozlíšené. Aj keď teda Newton odmietal Descarto-



Jedným z Newtonových dôležitých objavov bol objav absolútneho charakteru rotačného pohybu. Descartes, pravdepodobne preto, aby sa vyhol háklivej otázke pohybu Zeme, tvrdil, že to, či sa určité teleso pohybuje alebo nie, závisí od toho, vzhľadom na čo jeho pohyb opisujeme. Keďže Zem je v pokoji vzhľadom na atmosféru, ktorá ju obklopuje, a podľa Descarta je prirodzenejšie opisovať pohyb z pohľadu telies bezprostredne susediacich s daným telesom, Zem je nehybná. V tomto výklade možno vidieť prejav princípu relativnosti pohybu (ktorého zárodочná formulácia pochádza ešte od Galilea). Newton si uvedomil, že princíp relativnosti pohybu platí len pre systavy, ktoré sa vzhľadom na seba pohybujú rovnomerným priamočiarym pohybom. Rotačný pohyb podľa Newtona relatívny nie je, rotácia Zeme existuje v absolútnom zmysle. V liste Hookovi z roku 1679 Newton navrhol experiment, pomocou ktorého možno rotáciu Zeme dokázať. Keby sme nechali teleso padať z vysokej veže (Newton nechal padať kamene z kupoly katedrály svätého Pavla v Londýne), nebuďe padať po kolmici, ale vplyvom zemskej rotácie sa od kolmice odchyli. Tento efekt predstavuje pri páde z výšky 50 metrov iba 0,5 centimetra, čo je efekt menší, ako boli náhodné vplyvy prievanu na pád kameňa v katedrále, a tak Newtonove pokusy boli aj napriek tomu, že nechal zavrieť všetky okná, nepreukazné. Ale nezávisle na tom, že sa Newtonovi tento efekt nepodarilo namerať, samotný efekt reálne existuje, a teda Newton bol na správnej ceste.<sup>166</sup>

Na podporu tézy o absolútности rotačného pohybu Newton vymyslel experiment s vedrom. Keď zavesíme vedro plné vody na špagát, ktorý je špirálovito zakrútený, a vedro pustíme, špagát sa začne odkrúcať a roztočí vedro. Na začiatku sa vedro otáča, ale voda v ňom

vo stotožnenie látky a priestoru a vracia sa späť k separovaným kategóriám priestoru a matérie, zachováva hlavný výdobytok kartezianskej fyziky, totiž matematizáciu ontického substrátu sveta. Newtonova matéria je čisto *matematická substancia*, presne tak, ako ňou bola Descartova rozpriestraná vec. Antickú *hylé* Descartes s definitívnou platnosťou odstránil.

<sup>166</sup> Neskôr Foucault našiel lepší experiment umožňujúci demonštrovať rotáciu Zeme.

je v pokoji. Postupne trenie vody o steny rotujúceho vedra spôsobí, že sa voda začne otáčať spolu s vedrom. Podľa kartezianskej fyziky, ktorá pohyb definuje vzhľadom na telesá v bezprostrednej blízkosti skúmaného telesa, sa voda na začiatku pohybovala, lebo neustále menila svoju relatívnu polohu vzhľadom na vedro. Naproti tomu na konci experimentu je v pokoji, lebo je vzhľadom na vedro nehybná. Keď sa však pozrieme na tvar vodnej hladiny, zistíme, že na začiatku pohybu je vodná hladina vodorovná, kým na konci pokusu má vodná hladina parabolický tvar. Parabolický tvar vodnej hladiny prezrádza prítomnosť odstredivých síl, a je tak svedectvom rotácie vody. Teda to, či voda rotuje, alebo nerotuje, vieme určiť z tvaru jej hladiny v absolútnom zmysle, nech už sa s vedrom deje čokoľvek.

V konfrontácii s Descartovou definíciou pohybu tak Newton dopel k pojmu absolútneho priestoru. Ernst Mach ho vo svojich dejinách mechaniky podrobil tento pojem zásadnej kritike.<sup>167</sup> Aj keď je Machova kritika oprávnená a možno v nej vidieť prvý krok na ceste k teórii relativity, nemožno plne súhlasiť s Machovým názorom, podľa ktorého pojem absolútneho priestoru a pojem absolútneho času sú *prázdne pojmy bez fyzikálneho obsahu*. Ako sme sa snažili ukázať v stati venovanej rekonštrukcii dejín klasickej mechaniky,<sup>168</sup> tieto pojmy tvoria istú formálnu štruktúru,<sup>169</sup> ktorú síce možno presunúť inam, nie však definitívne odstrániť. Mach mohol absolútny priestor a absolútny čas kritizovať, lebo mal k dispozícii bohatší jazyk, prostriedkami ktorého bolo možné jazyk Newtonovej teórie analyzovať a objaviť jeho slabiny. Avšak aj jazyk Machovej teórie má analogickú formálnu štruktúru, a štruktúru vlastného jazyka Mach kritizovať nemohol. Musel ju nekriticky prijať, rovnako, ako Newton prijímal pojmy absolútneho priestoru a času.

<sup>167</sup> Mach, E., *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, c. d.

<sup>168</sup> Kvasz, L., „Epistemologické aspekty dejín klasickej mechaniky“, *Filozofia* 2001, č. 10, s. 679–702.

<sup>169</sup> Howard Stein v stati Stein, H., „Newtonian Space-Time“, in: R. Palter (ed.), *The Annus Mirabilis of Sir Isaac Newton 1666–1966*, c. d., s. 258–284, túto štruktúru nazval *kinematickou konexiou*.

### 3.1.5 Newtonova korekcia kartezianskeho pojmu stavu

Napriek tomu, že kartezianska fyzika objavila pojem interakcie a kvôli nej zaviedla pojem stavu, nebola schopná opísať proces zmeny stavu. Podľa Descarta telesá menia svoj stav skokom v okamihu zrážky. Kartezianska fyzika vie opísať stav pred zrážkou a stav po zrážke, nedokáže však opísať, čo sa deje v okamihu zrážky. Zmeny stavu sú singulárne udalosti, ktoré sa fyzikálnemu opisu vymykajú. Ako uvidíme ďalej, Newton radikálne zmenil karteziansky obraz interakcie, keď z interakcie urobil spojité proces, v priebehu ktorého nekonečne malé impulzy síl spôsobujú nekonečne malé zmeny stavu. Absolútny priestor a absolútny čas sú práve tou štruktúrou, v ktorej možno nekonečne malé impulzy síl previazat s nekonečne malými zmenami stavu a s nekonečne malými zmenami polohy. Je to štruktúra, ktorá umožňuje integrovať fenomenálnu a ontickú rovinu opisu fyzikálneho systému do jedného celku. V kartezianskej fyzike sú tieto dve roviny oddelené, a ich oddelenosť predstavuje asi najväčšiu slabinu kartezianskej fyziky. Keď sa Newton pokúsil fenomenálnu a ontickú úroveň opisu fyzikálneho systému spojiť do jediného celku, potreboval na to pevný rámec, v ktorom možno tieto úrovně reprezentovať. Absolútny priestor a absolútny čas predstavujú práve túto zjednocujúcu štruktúru, v ktorej sú diferenciály stavových veličín neustále spájané s procesom generovania trajektórie. Aby mohol Newton teoreticky opísať toto spájanie, musel okrem zavedenia pevného rámca absolútneho priestoru a času zásadne zmeniť aj opis stavu. Descartes opisoval stav prostredníctvom veličiny, ktorú nazval *množstvo pohybu*. Túto veličinu bolo nutné zmeniť vo viacerých ohľadoch, aby sa premenila v Newtonskú hybnosť (ktorú však Newton aj naďalej označuje kartezianskym termínom *množstvo pohybu*).

Prvý rozdiel medzi kartezianskou stavovou veličinou – množstvom pohybu – a jej newtonovskou alternatívou je to, že newtonovská hybnosť je vektorová veličina. Newton si uvedomil, že zmena smeru pohybu pri pružnom odraze telesa od prekážky alebo pri rovnomernom pohybe po kružnici je zmenou rýchlosti, a teda

i zmenou pohybového stavu. Prechod k opisu stavu pomocou veľkotorovej veličiny má veľký význam, pokiaľ ide o pochopenie planetárneho pohybu. Keď Descartes tvrdil, že Zem je vzhľadom na svoje okolie v pokoji, znamenalo to, že nie je vystavená pôsobeniu, ale obieha ponorená do víru jemnej látky. Je to prirodzená predstava, ktorú pozná každý, kto plával v rieke. Voda rieky nás síce unáša pomerne veľkou rýchlosťou, ale my lokálne toto unášanie necítíme, lebo sa pohybujeme rovnakou rýchlosťou ako okolitá voda. Táto situácia je v zhode s kartezianskou predstavou, že pri rovnomernom pohybe po kružnici teleso (Zem) nemeni svoj pohybový stav. Newton pochopil, že táto predstava je mylná. Pri pohybe po kružnici sa mení smer pohybu, mení sa teda hybnosť, čo znamená, že sa mení pohybový stav. Na opis tejto zmeny Newton zavádza pojem centripetálnej (dostredivej) sily, ktorá je príčinou zmeny stavu. Objasnenie vektorového charakteru hybnosti má význam nielen z hľadiska rovnomerného pohybu po kružnici, ale aj pokiaľ ide o zrušenie vplyvu duše na telo. To má za následok kauzálne uzavretie fyzikálneho opisu sveta, čo podrobnejšie vložíme v kapitole 3.1.9. Tu iba pripomenieme, že Descartes si pôsobenie duše na telo, teda nefyzikálneho systému na fyzikálny systém, predstavoval ako zmeny smeru prúdenia spirituálnej tekutiny. Keďže zmena smeru pohybu nenarušovala zákon zachovania množstva pohybu, nebolo takéto pôsobenie v rozpore so zákonmi prírody. Keď Newton vyhlásil zmenu smeru pohybu za zmenu stavu, tento mechanizmus pôsobenia duše na telo už nebol možný. Newton kauzálne uzavrel opis fyzikálneho systému. Cenou za toto uzavretie je neopísateľnosť vzájomného pôsobenia tela a duše prostriedkami fyziky, takže toto pôsobenie sa stáva filozofickým problémom.

Druhá zmena súvisí s Descartovým neujasneným chápaním množstva pohybu ako súčinnu (skalárnej) rýchlosti a veľkosti telesu. Z hľadiska kartezianskej fyziky je táto definícia prirodzená. Geometrická substancia je ontologickou bázou sveta, preto jej množstvo vstúpuje do definície množstva pohybu. Keď Newton rozdelil karteziansku substanciu na látku a priestor, otvorila sa možnosť karteziansku definíciu spresniť a hybnosť definovať ako súčinn (vekt-

torovej) rýchlosti a množstva látky (*quantitas materiae*), ktorú Newton definuje ako súčin objemu a hustoty. Karteziánsky pojem veľkosti sa tak rozpadá na dve zložky: na *geometrickú*, ktorou je objem, a *dynamickú*, ktorou je hustota.

Tretia zmena, ktorú Newton zaviedol do opisu stavu, súvisí s tým, že okrem hybnosti je stavovou veličinou aj poloha telesa. U Descarta panovala v tejto otázke nejasnosť, pretože po stotožnení látky s priestorom telesá stratili polohu v bežnom zmysle tohto pojmu. Podľa Descarta poloha telesa je určená výlučne vzhľadom na telesá, ktorých sa dané teleso bezprostredne dotýka, a ako taká je sotva odlišiteľná od pohybu, ktorý je definovaný rovnako. Presnejšie, pojem pokoja a pojem polohy v karteziánskom systéme splývajú. Newton oddelil látku od priestoru, takže tieto dva pojmy dokázal jasne rozlíšiť. *Pokoj* je pohyb s nulovou rýchlosťou (teda je to určitá konkrétna hodnota vektora hybnosti), kým *poloha* je hodnota pohového vektora. Vidíme, že zavedenie absolútneho priestoru a času bolo významným krokom, umožňujúcim jasne opísať pohyb. Až potom, čo Newton doplnil pojem stavu opisom polohy, bolo možné interpretovať stav ako charakteristiku systému umožňujúcu úplnú predikciu jeho budúceho pohybu. Karteziánsky pojem stavu bol neúplný, a ako taký predikciu časového vývoja neumožňoval.

### 3.1.6 Nahradenie zákona zachovania množstva pohybu zákonom akcie a reakcie

V predchádzajúcich dvoch bodoch sme opísali zmeny zavedené Newtonom do pozadia, na ktorom je založený opis pohybu. Newton opisuje pohyb pomocou pojmu stavu, ktorý zasadzuje do pevného časopriestorového rámcu. Až po artikulácii tohto rámcu mohol pristúpiť k formulácii zákonov opisujúcich zmeny pohybového stavu. Výklad zákonov newtonovskej dynamiky začneme zákonom akcie a reakcie, lebo tento zákon má predchodcu v podobe Descartovho zákona zachovania množstva pohybu. Podobne ako v prípade pojmu stavu však aj tu Newton prináša celý rad zmien.

Prvá zmena súvisí s tým, že v Newtonovom systéme sa zákony zachovania neviažu na vesmír ako celok. Na rozdiel od karteziánskeho množstva pohybu sa tým newtonovská hybnosť stáva vypočítateľnou veličinou. Istú kvantifikáciu množstva pohybu používal aj Descartes – napríklad keď pri opise zrážky predpokladal, že množstvo pohybu sústavy telies pred zrážkou a po zrážke je rovnaké. Prísne vzaté však v Descartovom systéme zákon zachovania množstva pohybu platí len pre vesmír ako celok, lebo všetky telesá sú ponorené vo víre jemnej látky, s ktorým si vymieňajú isté množstvo pohybu. Preto sa množstvo pohybu nijakého uzavretého systému telies nemôže zachovávať. Newton prešiel od opisu pohybu telies v prostredí k opisu ich pohybu v prázdnom priestore. Priestor na rozdiel od víru jemnej látky nie je nositeľom hybnosti, hybnosť majú iba telesá. Odstránením jemnej látky sa tak Newtonovi otvára možnosť opisu uzavretého systému telies.

Druhá zmena sa týka postavenia zákona zachovania hybnosti. U Descarta je zákon zachovania množstva pohybu fundamentálnym princípom, na ktorom sa zakladá opis interakcie. V Newtonovej fyzike tvoria základnú rovinu opisu interakcie zákony silového pôsobenia, medzi ktoré patrí aj zákon akcie a reakcie. Zákon zachovania hybnosti je v newtonovskom systéme len dôsledkom zákona akcie a reakcie. Ak je každá akcia sprevádzaná rovnako veľkou reakciou, tak hybnosť, ktorú jedno teleso získa za určitý časový interval od sily akcie, sa presne rovná hybnosti, ktorú druhé teleso stráca pôsobením sily reakcie.<sup>170</sup> Celková hybnosť uzavretého systému telies zostáva nezmenená. Tak sa zo základného princípu karteziánskej fyziky stáva *Corollarium* 3 k tretiemu Newtonovmu zákonu.

<sup>170</sup> V tomto odvodení je podstatné, že hybnosť chápeme vektorovo. Z hľadiska karteziánskej fyziky je množstvo pohybu skalárna veličina, preto sila akcie a sila reakcie produkujú rovnaké (kladné) množstvo pohybu, preto pôsobením newtonovských síl sa karteziánsky zákon zachovania množstva pohybu porušuje.

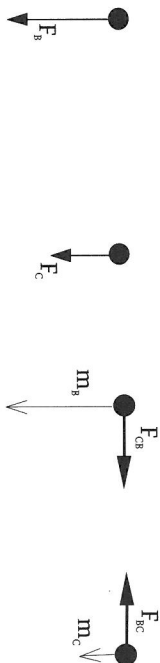
## 3.1.7 Newtonovo pojmánie interakcie ako akcie síl

Pri výklade kartezianskej fyziky sme ako jej hlavnú prednosť oproti fyzike galileovskej uviedli pojem interakcie, ktorý Descartes zabudoval do opisu prírody. Interakcie Descartes chápal ako zrážky a opísal ich pomocou zákona zachovania množstva pohybu. Napriek revolučnej novosti mal takýto spôsob opisu pôsobenia rad konceptných nedostatkov. V kapitole 2.2 sme uviedli najdôležitejšie z nich (nemožnosť zabudovať trenie do opisu prírody či neschopnosť matematicky opísať ťaž). Okrem týchto konceptných nedostatkov má kartezianska teória zrážok ďalší vážny nedostatok: fakticky nefunguje. Keď Descartove pravidlá, pomocou ktorých v *Principoch filozofie* opisuje zrážky, prepočítame prostriedkami newtonovskej fyziky, zistíme, že väčšina z nich neplatí. Formálnou rekonštrukciou v časti 2.1.7 a sme sa snažili ukázať, že aj napriek tomu majú tieto pravidlá určité vecné jadro. Ale to nič nemení na skutočnosti, že sa dosť zásadne rozchádzajú so skúsenosťou. Newton si viaceré nedostatky kartezianskeho opisu interakcie, ako aj vecnú nesprávnosť kartezianskej teórie zrážok jasne uvedomoval. Preto karteziansky opis interakcie pomocou zákona zachovania množstva pohybu opustil a *interakciu začal opisovať ako pôsobenie síl*. Spoločnú možno chcel iba spresniť Descartovu teóriu, takže základný model interakcie – zrážku – ponechal nezmenený, len na jeho opis použil sily. Aby však mohol teóriu zrážok formulovať matematicky, musel uskutočniť rad zmien, ktoré tu stručne preberieme.

## 3.1.7.a Nahradenie síl zotrvačnosťou silami interakcie

U Descarta slúžia sily na *udržanie* pohybového stavu. Nepôsobia medzi telesami, ale každé teleso „pripútavajú“ k jeho vlastnému stavu. Preto ich možno nazvať *silami zotrvačnosťou* a znázorniť šípkami smerujúcimi nadol. K slovu sa dostávajú iba v okamihu zrážky, keď rozhodujú o smere a rýchlosti ďalšieho úseku priamočiareho pohybu. Podľa toho, ktorá sila je väčšia – či *sila pohybu*  $F_B$  naliehajúceho telesa B, alebo *sila rezistencie* proti pohybu  $F_C$  nehybného

telesa C –, sa rozhodne, aký bude výsledok zrážky.<sup>171</sup> Ak preváži sila rezistencie  $F_C$ , teleso B sa od telesa C odrazí. Ak naopak preváži sila pohybu  $F_B$ , teleso B strhne teleso C so sebou.



Obr. 1 Descartovo pojmánie síl

Obr. 2 Newtonovo pojmánie síl

Kým u Descarta sila pohybu telesa B pôsobila na samotné teleso B a udržiavala ho v stave pohybu, u Newtona je sila ničím, čím jedno teleso pôsobí na druhé a spôsobuje zmenu jeho stavu. Úlohu udržiavania stavu, ktorú Descartes pripisoval silám, preberá v Newtonovom systéme hmotnosť.<sup>172</sup> Newtonovské sily sa tým oslobodzujú od úlohy pripútavať teleso k jeho vlastnému stavu a môžu prebrať novú úlohu – meniť stav druhého telesa. Newtonovské sily sú *silami interakcie* a pôsobia na spojnicu medzi telesami.

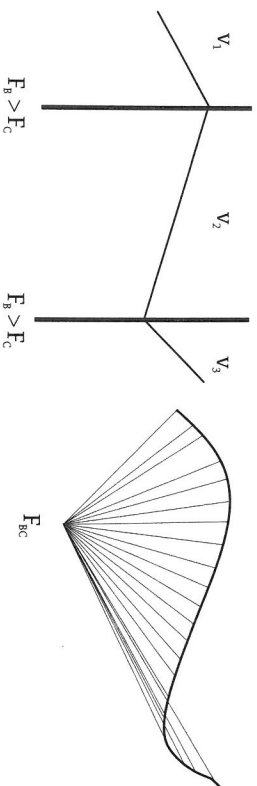
## 3.1.7.b Nahradenie interakcie ako singularnej udalosti „spojitým“ procesom

Základná kartezianska predstava interakcie je predstavou *konfliktu* chápaného ako stret dvoch tendencií zotrvať v nemennom stave (pohybu, respektíve pokoja). Jeho výsledkom je presadenie sa jed-

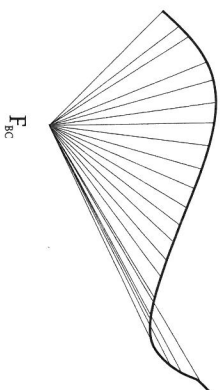
<sup>171</sup> Odvodenie vzťahov vyjadrujúcich silu pohybu a silu rezistencie je v stati Gabbey, A., „Force and Inertia in the Seventeenth Century: Descartes and Newton“, c. d., s. 269.

<sup>172</sup> Newton zachováva karteziansku terminológiu a v súvislosti so zotrvačnosťou hovorí o *sile vlozenej hmoty*. To, že ide o pozostatok kartezianskej terminológie, dokazuje skutočnosť, že táto sila ako jediná nepodlieha zákonu sily ani zákonu akcie a reakcie. Newton je konzistentný a zákon sily formuluje len pre pôsobiacu hybnú silu (*impressed force*), ale aj tak je zvláštne, že zavádza druhú silu, ktorá je bez účinku.

nej tendencie na úkor druhej. Základným karteziánskym modelom interakcie je model zrážky dvoch telies. To, ktoré teleso sa pri zrážke presadí, rozhodne o charaktere celého ďalšieho pohybu. Ak sa presadí nalietajúce teleso, tak po zrážke obidve telesá poletia v smere jeho pôvodného pohybu rýchlosťou vyplývajúcou zo zákona zachovania množstva pohybu. Ak sa naopak presadí nehybné teleso, tak aj po zrážke zotrvá vo svojom stave pokoja a nalietajúce teleso sa od neho jednoducho odrazí. Karteziánsky opis interakcie je pritom *oddelený* od opisu pohybu. Ak teleso môže, pohybuje sa rovnomerne priamočiara. Keď už priamočiary pohyb nie je možný, dochádza k zrážke, ktorá spôsobí prechod telesa do nového pohybového stavu a celý proces pokračuje odznova. Pohyb sa tak skladá z oddelených úsekov, kedy teleso zotrváva v stave rovnomerného priamočiareho pohybu alebo v stave pokoja, a medzi tieto úseky sú vložené *singulárne udalosti* – zrážky spôsobujúce zmenu stavu.



Obr. 3 Descartovo pojmátie interakcie



Obr. 4 Newtonovo pojmátie interakcie

Na rozdiel od Descarta Newton chápe pôsobenie ako *spoluprácu*. Telesá na seba pôsobia, pričom nalietajúce teleso svojim pôsobením (akciou) urýchľuje stojace teleso a stojace teleso svojou reakciou brzdí nalietajúce teleso. Výsledný pohyb je kompromisom, ktorý vzniká pričinením obidvoch telies. Zrážka nie je ani jednoduchým odrazom od prekážky, ani spoločným putovaním, ale čímsi medzi tým. Druhým dôležitým aspektom Newtonovej teórie je to, že *sily pôsobia neustále*, takže pohyb a interakcia nie sú od seba oddelené ako u Descarta, ale prebiehajú paralelne. Teleso je vystavené silovému pôsobeniu druhého telesa a súčasne sa pritom pohybuje.

### 3.1.7.c. Prepojenie pôsobenia síl s odovzdávaním hybnosti

Ako sme uviedli pri výklade karteziánskej teórie zrážok, Descartes opisuje zrážky na dvoch úrovniach. Na jednej úrovni, opísanej silami, sa rozhoduje o tom, aký bude výsledok zrážky – či sa nalietajúce teleso odrazí, alebo podriadi druhé teleso svojmu pohybu. Potom, čo sily rozhodli o ďalšom priebehu pohybu, už do opisu interakcie nevstupujú, a telesá si vymenia príslušné množstvo pohybu nezávisle od síl, výlučne na základe zákona zachovania množstva pohybu.

Newton zásadným spôsobom mení tento scénár, keď od rozhodovania o vŕtaznej tendencii upúšťa a tvrdí, že nalietajúce teleso vždy odovzdá časť svojej hybnosti druhému telesu, odraz bez zmeny stavu nie je možný. Sily, ktoré oslobodil od karteziánskej súťaže, zapájajú do odovzdávania hybnosti. Tomu slúži jeho druhý zákon, ktorý hovorí: *„Zmena pohybu je úmerná pôsobiacej hybnej sile a uskutočňuje sa v smere priamky, po ktorej táto sila pôsobí.“*<sup>173</sup> Vidíme, že hybná sila má povahu impulzu a spôsobuje priamo zmenu (množstva) pohybu, teda hybnosti. Na základe zákona akcie a reakcie pôsobenie vyvolá reakciu, ktorá zmení stav pôsobiaceho telesa.

Na koncepcii opisu pôsobenia pomocou impulzov síl sú vybudované Newtonove *Principia*. Howard Stein v stati *Newtonian Space-Time*<sup>174</sup> píše, že jedným z ústredných argumentov Newtonovej knihy je odvodenie zákona všeobecnej gravitácie. Newtonovo odovdenie pozostáva z troch krokov. V prvom kroku čisto matematickou argumentáciou dokazuje, že Keplerove zákony sú ekvivalentné tvrdeniu, že planéty sú priťahované k Slnku dostredivou silou nepriamo úmernou štvorcu vzdialenosti. Pri tejto argumentácii je pôsobenie dostredivej sily reprezentované súborom diskretných impulzov. V druhom kroku porovnaním zrychlenia pohybu Mesiaca a zrychlenia voľného pádu na povrchu Zeme ukazuje, že tiaž na povrchu Zeme podlieha rovnakému zákonu ako dostredivá sila rí-

<sup>173</sup> Newton, I., „Matematické základy prírodnej filozofie, vybrané partie 3. vydania z r. 1726“, c. d., s. 348.

<sup>174</sup> Stein, H., „Newtonian Space-Time“, c. d.

diaca pohyb planét, takže všetky vesmírne telesá majú okolo seba tiažovú silu. Na základe zákona akcie a reakcie to však znamená, že aj pozemské telesá pôsobia na Zem, z čoho Newton usúdil, že (keďže Zem je len veľké nahromadenie matérie) telesá pôsobia aj na seba navzájom, aj keď silou, ktorá je príliš malá na to, aby ju bolo možné priamo merať. Postulovanie gravitačného pôsobenia medzi telesami bolo veľkým úspechom Newtonovej fyziky. Pred Newtonom nik netušil, že makroskopické telesá sa navzájom priťahujú, a táto predpoveď bola experimentálne potvrdená až o sto rokov neskôr.

V odvodení zákona všeobecnej gravitácie možno vidieť ilustráciu prevahy Newtonovho opisu interakcie pomocou síl nad jej karteziánskym opisom pomocou zrážok. Práve odhalenie kvantitatívneho zákona opisujúceho gravitačnú silu, podľa ktorého je táto sila nepriamo úmerná štvorcu vzdialenosti, totiž umožnilo jednak objaviť všeobecnosť gravitačnej sily, jednak vysvetliť celý rad ďalších javov. Newton si spočiatku možno myslel, že gravitačná sila je výsledkom nejakého neznámeho mechanizmu kontaktného pôsobenia, preto kvantitatívny zákon opisujúci túto silu považoval iba za *efektívny matematický opis*, ktorý sa možno neskôr podarí vysvetliť mechanisticky. Toto presvedčenie vysvetľuje fakt, že Newton pri opise gravitačnej sily v *Principiách* túto silu stále opisuje ako výsledok veľkého počtu diskretných impulzov, teda tak, ako keby bola výsledkom zrážok s nejakým éterom. Výhodou Newtonovho efektívneho matematického opisu gravitačnej interakcie oproti jej karteziánskemu opisu pomocou zrážok je *možnosť presnej kvantifikácie veľkosti impulzov gravitačnej sily*.

Podobne ako v prípade tiaže má Newtonov spôsob opisu interakcie pomocou síl výhodu aj pri opise trenia. Ako sme uviedli, karteziánska fyzika nedokáže trenie zabudovať do opisu pohybu telies. Pri trení sa totiž porušuje zákon zachovania množstva pohybu. Pre newtonovskú fyziku trenie nepredstavuje problém, je to sila ako každá iná. Nemožno ju síce opísať pomocou všeobecného vzťahu, ako sa to podarilo v prípade gravitačnej sily, ale to je skôr chyba krásy než nejaký závažný fyzikálny problém.

### 3.1.8 Newtonova analytická idealizácia pôsobenia pomocou spojitéj síl

Dostávame sa k jednému z ústredných momentov Newtonovej fyziky – k idealizácii pôsobenia. Galileo prínos k rozvoju fyziky sme vyložili ako *idealizáciu fenomenov žitého sveta*, teda ako nahradenie javov fyzikálnymi veličinami, a Descartov prínos ako *idealizáciu ontológie žitého sveta*, teda ako nahradenie vecí fyzikálnymi telesami. A podobne navrhujeme Newtonov prínos vylóžiť ako *idealizáciu pôsobenia*, teda ako nahradenie kontaktného pôsobenia (ako sa s pôsobením stretávame v rámci žitého sveta) pôsobením spojitých síl. Pri opise gravitačného pôsobenia sa v Newtonovej teórii vynorila sila, ktorá nemá povahu diskretných impulzov a ktorú sa nepodarilo redukovať na kontaktné pôsobenie. Je to *sila pôsobiaca na diaľku*. *Sily pôsobiace na diaľku* tak kladieme vedľa *veličín* a vedľa *stavu* ako tretí druh ideálnych objektov, ktorými fyzika nahrádza aspekty žitého sveta. Zavedenie síl pôsobiacich na diaľku je príkladom idealizácie, lebo takéto sila je (vektorová) funkcia, teda matematický objekt, podobne, ako je matematickým objektom fyzikálna veličina či stav fyzikálneho systému.

Karteziánska fyzika opisuje skutočnosť na dvoch úrovniach – ontickej a fenomenálnej, ale tieto dve úrovne sú v karteziánskej fyzike oddelené. Jedným z Newtonových metodologických vhladov bolo uvedomenie si analógie medzi vzťahom fenomenálnej a ontickej úrovne opisu pôsobenia v prírode a vzťahom známych a neznámych veličín v algebre či analytickej geometrii. Silu, ktorá je *ontickou veličinou*, teda veličinou neprístupnou priamemu meraniu, možno označiť písmenom  $F$  a pracovať s ňou tak, ako keby bola merateľnou veličinou: s písmenom  $F$  môžeme robiť také formálne manipulácie, ako keby označovalo merateľnú veličinu. Môžeme ju reprezentovať ako funkciu merateľných veličín, napríklad gravitačnú silu ako funkciu vzdialenosti a hmotností ostatných telies. Tým je táto sila, t. j. ontická veličina, začlenená do siete analytických vzťahov a vďaka Newtonovmu analytickému poňatiu experimentu ju možno začať *empiricky skúmať*. Newton, vďaka tomu, že začal silu považovať za funkciu iných veličín, bol schopný z Keplerových

zákonov odvodiť pre gravitačnú silu vzťah, ktorý dnes nazývame gravitačným zákonom:

$$F = \kappa \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (4)$$

$F$  je gravitačná sila, ktorou na teleso hmotnosti  $m_1$  pôsobí teleso hmotnosti  $m_2$ , ktoré je od neho vo vzdialenosti  $r$ . Leibniz ani Huyghens neboli ochotní Newtonovo odvodenie tohto zákona akceptovať, lebo si nevedeli predstaviť mechanizmus, ktorý by bol tak neuveriteľne pravidelne štruktúrovaný, že by dokázal zabezpečiť, aby každé teleso priťahovalo každé iné teleso. Leibniz a Huyghens zrejme ostali v zajaťí predstavy kontaktného pôsobenia, teda v zajaťí toho, ako sa s pôsobením stretávajú v žitom svete. Neboli ochotní túto predstavu nahradiť matematickou idealitou – funkčným vzťahom.

Newton neuviedol gravitačný zákon v zozname zákonov svojho systému, lebo zákony uvedené v tomto zozname chápal ako fundamentálne princípy opisu prírody, kým gravitačný zákon je empirický zákon odvodený z astronomických dát. Ak však abstrahujeme od konkrétneho tvaru gravitačného zákona (t. j. od priamej úmernosti hmotnosti a nepriamej úmernosti štvorca ich vzdialenosti), ktorého určenie bolo empirickou záležitosťou, tak vo formulácii gravitačného zákona možno rozpoznať princíp, podľa ktorého *sily sú funkcie merateľných veličín*. Úlohou fyziky je určiť tieto funkcie pomocou experimentov. Newtonovým základným predpokladom je, že sily (t. j. hypoteticky postulované príčiny) možno vyjadriť ako funkcie merateľných veličín, a tým ich *začleniť do jazyka*. McGuire poznamenáva, že [Newtonov] „najranejší program v dynamike bol pravdepodobne vedený nádejou rozšíriť rozsah pojmu sily, zavedený pri analýze zrážok, na všetky sily, ktoré sú vôbec možné.“<sup>175</sup> Newton však perspektívu zrážok postupne opúšťa a rozvíja matematický opis síl nezávislý od mechanistického modelu ich vysvetlenia. Tento prístup sa udiel pomaly, ale pre fyziku mal prevratné dôsledky.

<sup>175</sup> McGuire, J. E., „Comment“, in: R. Palter (ed.), *The Annus Mirabilis of Sir Isaac Newton 1666–1966*. c. d., s. 187.

### 3.1.9 Newtonovo syntaktické uzavretie opisu pohybu

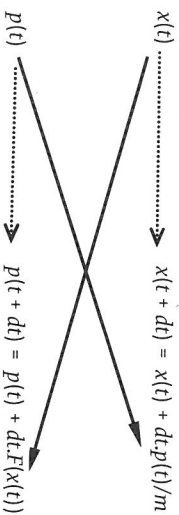
Idealizácia pôsobenia umožnila Newtonovi uskutočniť asi vôbec najradikálnejšiu premennu jazyka pomocou ktorého opisujeme prírodné procesy. Táto premenná bola podľa nášho názoru radikálnejšia než tá, ktorú priniesla teória relativity či kvantová mechanika. Newton *syntakticky uzavára jazyk fyziky*, vytvára formálny jazyk nového druhu, ktorý umožňuje analytickým spôsobom počítať časový vývin stavu fyzikálneho systému. Časový vývin stavu je opísaný druhým Newtonovým zákonom. Keď chceme pochopiť zmysel tohto zákona, nestačí analyzovať jeho formuláciu, ktorá je založená na predstave diskretných impulzov sily (čo je prepis karteziánskeho pojęcia interakcie do jazyka síl). Musíme si všimnúť príklady, v ktorých sa zákon sily používa. Tieto príklady ukazujú, že v pozadí Newtonovho pojęcia pôsobenia je opis spojitého procesu zmeny stavu pod vplyvom síl.

Syntaktickým uzavorením jazyka fyziky Newton vlastne vytvára ideálne objekty nového druhu, temporálne ideality, teda ideálne objekty, do konštitúcie ktorých vstupuje čas. Dostávame sa tak k najdôležitejšiemu bodu rekonštrukcie vzniku fyziky. Newton vytvoril *analytickú reprezentáciu dynamického procesu*, a tým zavýšil proces matematizácie prírody. Z pohybu, t. j. určitého druhu zmien, s ktorým sa stretávame v žitom svete, spravil ideálny objekt. Táto zmena má niekoľko aspektov, ktoré stručne opíšeme.

#### 3.1.9.a Zjednotenie fenomenálnej a ontickej úrovne opisu pohybu

Opis pohybu sa od Descarta odohráva na dvoch úrovniach, na *kinematickej* (alebo fenomenálnej) úrovni opisu zmien merateľných veličín a na *dynamickej* (alebo ontickej) úrovni opisu interakcie. Vytvorit analytickú reprezentáciu dynamického procesu znamená *vytvoriť matematický jazyk, ktorý umožňuje kinematickú a dynamickú úroveň opisu pohybu spojiť do jednotného dynamického procesu*. Newtonovi sa podarilo vytvoriť analytickú reprezentáciu dynamického

procesu tak, že všetky aspekty dynamického procesu spojil do jedného jazykového rámca a ten vnoril do spojitého toku času.



Obr. 5 Newtonovo prepojenie fenomenálnej a ontickej úrovne opisu pohybu

Na jednej strane momentálny dynamický stav, predstavovaný hybnosťou  $p(t)$  (t. i. ontickou veličinou), dáva po vydelení hmotnosťou vektor rýchlosti, ktorý opisuje zmenu polohy telesa (t. i. fenomenálnu veličinu). Preto možno povedať, že (fenomenálna) zmena polohy je určená (ontickým) dynamickým stavom telesa – tento vzťah je na obr. 5 vyjadrený šípkou smerujúcou nahor. Naopak momentálna poloha telesa  $x(t)$  vstupuje do vzťahu vyjadrujúceho veľkosť sily (napríklad do vzťahu (4)), a tým vďaka pohybovej rovnici (3) spôsobuje zmenu stavu. Preto možno povedať, že zmena stavu je určená polohou telesa – tento vzťah je na obr. 5 vyjadrený šípkou smerujúcou nadol. Tieto dve väzby spájajúce kinematickú a dynamickú úroveň opisu sú znázornené hrubými šípkami smerujúcimi krížom z jednej úrovne opisu na druhú.

Na druhej strane tak fenomenálna úroveň, ako aj ontická úroveň sú vnorené do toku času. Na fenomenálnej úrovni je časová zmena súradnice daná obvyčajnou kinematickou rovnicou, ktorú poznal už Galileo: polohu  $x(t + dt)$  v okamihu  $t + dt$  dostaneme, keď k polohe  $x(t)$  v okamihu  $t$  pripočítame dráhu  $dt.p(t)/m$ , ktorú teleso prešlo za infinitézimálny časový úsek  $dt$  rýchlosťou  $p(t)/m$ , ktorú malo v okamihu  $t$ .<sup>176</sup> Analogicky na ontickej úrovni je časová zmena hyb-

nosti opísaná Newtonovou pohybovou rovnicou: hybnosť  $p(t + dt)$  v okamihu  $t + dt$  dostaneme, keď k hybnosti  $p(t)$  v okamihu  $t$  pripočítame impulz  $dt.F(x(t))$  sily, ktorá pôsobí v mieste  $x(t)$ , kde sa teleso v okamihu  $t$  nachádza. Tieto dve infinitézimálne časové zmeny sú znázornené na obr. 5 dvomi vodorovnými šípkami.

Diagram na obr. 5 znázorňuje, ako sú infinitézimálne zmeny na fenomenálnej a ontickej úrovni navzájom previazané a tvoria jediný dynamický systém.<sup>177</sup> Sila  $F(x)$  prenáša zmeny polohy telies na zmeny ich stavu. Hybnosť  $p(t)$  naopak prenáša aktuálny stav telies na zmeny ich polohy.

### 3.1.9.b Zasadenie interakcie do toku času a prepojenie síl s odovzdávaním hybnosti

Významným aspektom Newtonovho nového opisu pôsobenia je spojitost silového pôsobenia. Teleso je vystavené silovému pôsobeniu druhého telesa počas *infinitézimálneho časového intervalu*  $dt$ , a nielen počas singulárneho okamihu ako u Descarta. Newton síce stále hovorí o impulzoch síl, ale vo všetkých konkrétnych prípadoch prechádza k limite, pri ktorej sa impulzy nekonečne zhusťujú a neobmedzene slabnú, až nakoniec dostáva spojitý obraz. Zdá sa, že až tento spojitý obraz zodpovedá fyzikálnej skutočnosti, lebo Newton neustále používa geometrické vzťahy, ktoré platia len v limite. Preto aj my sa sústredíme na spojitý obraz interakcie. Keď ho porovnáme s karteziánskym opisom zrážok, zistíme, že došlo k rade zásadných zmien.

nebo počtu, lebo je pohodlnejšia než symbolika Newtonovej teórie fluxii. Ako je známe, v *Princípiách* Newton jazyk infinitézimálneho počtu potlačil a všetky odvodenia robil prostriedkami syntetickej geometrie, obohatej o limitný prechod. Stojíme teda pred voľbou: použiť Newtonov geometrický jazyk, Newtonovu symboliku fluxii, alebo Leibnizove diferenciály. Rozhodli sme sa pre tretiu alternatívu.

<sup>177</sup> Tu je dôležité, aby zákon sily mal tvar (3), a nie (2), teda aby časový vývoj polohy  $x(t)$  a časový vývoj stavu  $p(t)$  boli vnorené do spoločného spojitého toku času.

<sup>176</sup> Infinitézimálny časový úsek tu označujeme Leibnizovým symbolom  $dt$ . Možno by bolo vhodnejšie používať Newtonov symbol  $o$ , našim celom však je text čo najviac priblížiť dnešnému čitateľovi. Aj pri zápise druhého Newtonovho zákona budeme používať symboliku Leibnizovho diferenciál-



Podľa Descarta výsledok zrážky závisí od toho, či preváži sila pohybu nalietajúceho telesa  $F_B$ , alebo sila rezistencie nehybného telesa  $F_C$ . Pohyb je tak opísaný nerovnosťou

$$\frac{B^2 \times V_B}{B + C} > \frac{C \times B \times V_B}{B + C} \quad (5)$$

Uvedené výrazy, udávajúce veľkosť sily pohybu a sily rezistencie, sa líšia jedine veľkosťou telies. Ostatné veličiny sa vykrátiť. Tak dospejeme k podmienke, že nalietajúce teleso  $B$  „zvítazi v súťaži“ vtedy a len vtedy, keď  $B > C$ .<sup>178</sup> Podľa Descarta teda nalietajúce teleso dokáže pohnúť nehybným telesom len vtedy, ak je od neho väčšie. Vtedy sa obidve telesá spoločne pohnú v smere pohybu nalietajúceho telesa. Nalietajúce teleso odovzdá určitú časť svojho množstva pohybu nehybnému telesu. Descartes teda chápal, že interakcia spočíva v prechode určitého množstva pohybu z jedného telesa na druhé. V Descartovom pojmí je však odovzdávanie hybnosti *oddelené* od pôsobenia síl. Sily rozhodujú iba o tom, akým smerom odovzdávanie hybnosti prebehne, samotné odovzdávanie sa už riadi iba zákonom zachovania množstva pohybu. Descartes opisuje interakciu na dvoch úrovniach. Jednou úrovňou je odovzdávanie hybnosti, druhou stret síl. Tieto dve úrovne sú však oddelené.

Rozvinutie interakcie do časového intervalu dt a pojatie síl ako síl interakcie otvorilo Newtonovi možnosť prepojiť pôsobenie síl s pro-

<sup>178</sup> Pri výklade Descartovej teórie budeme používať jeho symboliku. Budeme tak hovoriť o veľkosti telesa  $B$  namiesto o jeho hmotnosti  $m_B$ . Čitateľovi sa môže zdať, že tu protirečíme duchu poznámky 176, kde sme sa pri výklade Newtonovej teórie rozhodli použiť Leibnizovu symboliku. Je tu však zásadný rozdiel. Newtonov a Leibnizov inštrumentálny počet sú do veľkej miery ekvivalentné, preto možno symboliku jednej teórie použiť pri výklade druhej bez toho, aby sme skreslovali jej obsah. Newtonova a Descartova teória však ekvivalentné nie sú. Preto keď chceme pochopiť rozdiely medzi nimi, je lepšie Descartov systém vykladať jeho vlastnými prostriedkami. Rovnako sme postupovali v časti 2.1.7.b (na rozdiel od časti 2.1.7.a, ktorá však nie je výkladom Descartovho systému, ale rekonštrukciou Descartovej teórie v rámci Newtonovej).

cesom odovzdávania hybnosti. Descartes definuje silu pohybu nalietajúceho telesa  $F_B = \frac{B^2 \times V_B}{B + C}$  ako súčin veľkosti telesa  $B$  a rýchlosti pohybu po zrážke  $V = \frac{C \times B \times V_B}{B + C}$ . Silu rezistencie nehybného telesa  $F_C = \frac{C \times B \times V_B}{B + C}$  definuje ako súčin veľkosti telesa  $C$  a rýchlosti pohybu po zrážke. Aj keď tieto dve definície vyzerajú podobne, skrýva sa za nimi pozoruhodný konceptuálny rozpor. Sila pohybu sa rovná (zvyškovej) hybnosti, ktorá ostane nalietajúcejmu telesu, kým sila rezistencie sa rovná *prírastku hybnosti*, ktorú získa nehybné teleso v priebehu zrážky. Descartes akoby váhal medzi dvoma spôsobmi spojenia síl a hybnosti. Na jednej strane kladie silu rovnú hybnosti, na druhej strane ju kladie rovnú zmene hybnosti. Podľa Newtona sila nie je rovná ani hybnosti, ani zmene hybnosti, ale *rýchlosti zmeny hybnosti*. Descartovi bránila v pochopení tejto súvislosti skutočnosť, že pôsobenie opisoval ako singulárnu udalosť. V Descartovom systéme preto nemožno hovoriť o rýchlosti zmeny hybnosti, ale len o jej veľkosti. Newton proces odovzdávania hybnosti zasadil do časového toku, vďaka čomu mohol dať silové pôsobenie do súvisu s rýchlosťou odovzdávania hybnosti. To je obsahom rovnice

$$F \cdot dt = dp. \quad (6)$$

Pomocou tejto rovnice Newton spojil odovzdávanie hybnosti s pôsobením síl. Rovnica (6) hovorí, že odovzdávanie hybnosti medzi telesami je sprostredkované silami, pričom sila sa kvantitatívne rovná rýchlosti zmeny hybnosti.

### 3.1.9.c Uzavretie opisu dynamiky fyzikálneho systému

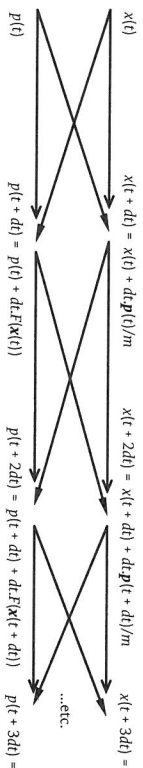
Newton uzatvára fyzikálny opis pohybu vo viacerých rovinách. Predovšetkým ho uzatvára *kauzálna*. V bode 3.1.5 sme uviedli, že Newton pri opise stavu nahradil karteziansku skalárnu veličinu množstva pohybu vektorovou hybnosťou, a tým kauzálna uzavrel fyzikálne systémy voči pôsobeniu nefyzikálnych vplyvov, napríklad

lad voči pôsobeniu duše. Počínajúc Newtonom môže na fyzikálny systém pôsobiť iba fyzikálna príčina. Vzťah duše a tela sa tým stáva filozofickým problémom, pri riešení ktorého sa najčastejšie jedna zo strán problému zjavuje vážnosti. Na jednej strane stoja koncepcie, ktoré absolutizujú fyzikálny opis prírody a skusenost slobody vykladajú ako epifenomén. Na druhej strane stoja koncepcie, ktoré sa snažia obmedziť platnosť fyzikálneho opisu tak, aby z neho mohli vyňať opis ľudského konania. Avšak celý tento problém vznikol, až keď Newton kauzálne uzavrel fyzikálny opis dynamiky.

Druhá rovina, v ktorej Newton uzavrel opis dynamiky, súvisí s tým, že karteziánsky vír jemnej látky nahradil silou pôsobiacou na diaľku. Vďaka poklesu týchto síl so štvorcom vzdialenosti Newton opis dynamiky prakticky uzavrel *extensionálne*, proti pôsobeniu príliš vzdialených objektov. Možnosť opisu obmedzeného dynamického systému, tvoreného malým počtom telies, sa preto datuje až od Newtona. Po technickej stránke je to umožnené tým, že vplyv okolia možno nahradiť celkovou vonkajšou silou a tú – ak je jej vplyv malý – možno zanedbať.

### 3.1.9.d Analyticitosť pravidiel dynamiky

Spojenie fenomenálnej a ontickej úrovne vytvára z opisu pohybu jednotný proces, pričom časový priebeh tohto procesu možno analyticky vypočítať. To znamená, že pomocou explicitných formálnych pravidiel jazyka možno prechádzať od daného stavu fyzikálneho systému k jeho neskorším stavom. To predstavuje nasledujúca schéma:

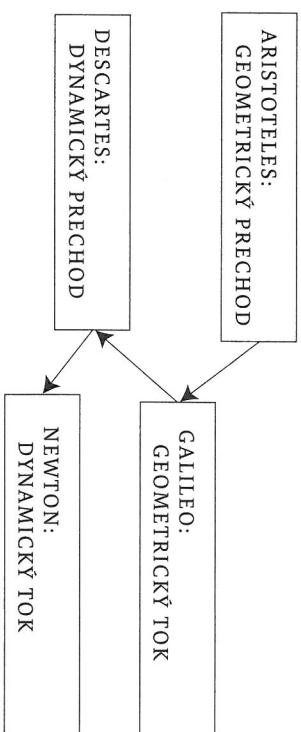


Obr. 6 Newtonovo spojenie infinitezimálnych krokov do spojitého pohybu

Tento obrázok vyjadruje skutočnosť, že Newton našiel súbor pravidiel, ktoré plne determinujú časový vývoj dynamického systému. Dynamický systém tak zmenil na *ideálny objekt* analogický číslu alebo matematickej štruktúre. Dynamický systém považujeme za ideálny objekt, lebo podobne ako v prípade čísla alebo matematickej štruktúry ide o objekt konštituovaný jazykom. Dynamický systém sa od predosilých dvoch druhov ideálnych objektov líši tým, že do jazyka, ktorý ho konštituuje, vstupuje čas. Čísla a matematické štruktúry sú atemporálne ideality; dynamický systém je idealityou temporálnou.

### 3.1.10 Newtonovo pojatie pohybu ako dynamického toku

Diagram na obrázku 7 znázorňuje vzájomné vzťahy medzi Aristotelovým, Galileovým, Descartovým a Newtonovým pojatím pohybu. Aristoteles a Galileo usilujú o geometrickú teóriu pohybu (prvý riadok), kým Descartes a Newton budujú dynamickú teóriu založenú na opise pôsobenia (druhý riadok). Aristotelova i Descartova teória sú formulované verbálne (prvý stĺpec), kým Galileova a Newtonova teória sú formulované pomocou matematiky (druhý stĺpec).



Obr. 7 Schéma znázorňujúca štyri základné pojatia pohybu

Aristoteles predložil koncepciu pohybu ako *geometrického prechodu*, ako prechodu telesa z jedného miesta na iné. Podľa Aristote-

la vesmír je *geometricky* usporiadaný celok, v ktorom každé teleso má svoje prirodzené miesto. Keď niečo tento geometrický poriadok vesmíru naruší a teleso sa ocitne mimo svojho prirodzeného miesta, vzniká pohyb, ktorým teleso prejde na svoje miesto a poriadok sa obnoví. Aristotelova teória tak každý pohyb reprezentuje dvojicou „fotografií“ – fotografiou *počiatočného miesta* a fotografiou *koncového miesta* pohybu. To, čo sa deje medzi týmito miestami, Aristotelova teória neopisuje.

Galileo vložil medzi počítačový a koncový bod pohybu, ktorými je pohyb charakterizovaný u Aristotela, trajektóriu v podobe geometrickej krivky. Pohyb tak premenil na *geometrický tok*, na spojitú premiestňovanie sa telesa po trajektórii. Geometrický tvar trajektórie je nositeľom identity pohybu. U Galilea je tak pohyb „sériou *statických* fotografií *navlečených* na niť času“. Jeho chápanie pohybu je geometrické, a nie dynamické, čo vyjadrujeme tvrdením, že Galileove *fotografie* sú *statické*, teda zachytávajú iba geometrickú polohu, a nie dynamický stav. Rýchlosť telesa na galileovských fotografiách nevidíme. Na určenie rýchlosti musíme vziať dve fotografie: jednu v okamihu  $t$ , druhú v okamihu  $t + dt$ , a zistiť, o koľko sa poloha telesa na druhej fotografii zmenila oproti jeho polohe na prvej fotografii. Až keď túto zmenu polohy vydelíme časom  $dt$ , dostaneme rýchlosť telesa. Pohyb je geometrickým tokom, je súborom polôh, ktoré sú vložené do toku času (fotografie sú *navlečené* na niť), teda čas k nim prístupuje zvonka. Keď niť času rozťahujeme tak, že sa vzdialenosti medzi fotografiami zdvojnásobia, na Galileovom formalizme si to nevsímneme. V ňom je spomalenie času nepozorovateľné. To vyjadrujeme metaforou *navlečenia* fotografií na niť času.

Descartes obohatil koncepciu pohybu o opis interakcie medzi telesami, pričom interakciu pojal ako zrážku, teda ako prechod. Na rozdiel od aristotelovského geometrického prechodu od počítačového bodu ku koncovému bodu trajektórie Descartes opisuje pohyb ako *dynamický prechod* z počítačového stavu (stavu pred zrážkou) do koncového stavu (stavu po zrážke). V jazyku metafory o fotografiách *navlečených* na niť času Descartes prešiel k *dynamickým*

*fotografiám*:<sup>179</sup> na každej fotografii spolu s polohou telesa zachytáva aj jeho okamžitú rýchlosť. Ale podobne ako Aristoteles aj Descartes sa uspokojuje s dvojicou fotografií, s fotografiou stavu pred zrážkou a fotografiou stavu po zrážke. Rozdiel je iba v tom, že Descartove fotografie nie sú geometrické, ale dynamické, teda okrem polohy telesa na fotografii vidno aj jeho rýchlosť.

Newton vkladá medzi počítačový stav a konečný stav interakcie spojitý proces silového pôsobenia, ktorý opisuje pomocou diferenciálnej rovnice. U Newtona je pohyb „sériou *dynamických* fotografií *prepojených* tokom času“. Jeho pojem pohybu je dynamický, čo znamená, že jeho *fotografie* zachytávajú dynamický stav. Na fotografii priamo vidíme, akú má teleso rýchlosť. Keď si vezmeme dve fotografie, jednu v okamihu  $t$ , druhú v okamihu  $t + dt$ , a pozrieme sa, o koľko sa poloha telesa na druhej fotografii zmenila oproti jeho polohe na prvej, musí sa zmena polohy odčítaná z fotografií zhodovať s hodnotou, ktorú dostaneme, keď rýchlosť na prvej fotografii vynásobíme číslom  $dt$ .<sup>180</sup> Pohyb je dynamickým tokom, rozvíja sa sám zo seba (fotografie sú *prepojené* tokom času), teda čas k nim neprístupuje *zvonka*, ale práve naopak, *zvnútra*, je zachytený na fotografii (vo forme rýchlosti). Keby sme fotografie rozťahli tak,

<sup>179</sup> Namiesto o *dynamickí* fotografii by bolo možno výstižnejšie hovoriť o *nekončne krátkom videu*. Nekončne krátke video nesie okrem informácií o polohe aj informáciu o okamžitej rýchlosti všetkých telies. Ale nie celkom, lebo v skutočnosti je video iba sledom *statických* fotografií a ilúzia pohybu vzniká až v našej hlave. Naproti tomu *dynamická fotografia* ( $t$ ,  $i$ , stav dynamického systému) obsahuje jediný obrázok, pričom on sám je dynamický.

<sup>180</sup> V jazyku nekončne krátkych videí možno Newtonov prínos vyjadriť takto: Ak vezmeme dve nekončne blízke videá, *prvé video* pustíme a necháme ho bežať nekončne krátky časový úsek, oddelujúci tieto videá, bude na ňom obrázok identický s prvým obrázkom druhého videa. Čas je tu teda skutočne zabudovaný do „syntaxe jazyka“. Prechod od jedného videa k druhému cez časový úsek oddelujúci nekončne blízke videá je identický s nekončne krátkym behom príslušného videa. Toto je čosi, čo Galileovým fotografiami chýba. Keď fotografie zavesené na niť času roz-

že by sa vzdialenosti medzi fotografiami zdvojnásobili, prestala by fungovať pohybová rovnica. Zmeny polohy by neboli v súlade s údajmi na fotografiách.

Newtonovo pojatie pohybu sme nazvali *dynamickým tokom*. Newtonov zákon  $F \cdot dt = dp$  nielen že konštatuje, že na fotografiu pribudlo určité množstvo hybnosti  $dp$ , ale diferenciál času  $dt$  udáva časový odstup medzi snímkami, za ktorý došlo k nárastu hybnosti. *Unerenie pôsobenia do toku času* predstavuje hlavný prínos newtonovskej fyziky k opisu pohybu. Pojatie zmeny ako dynamického toku je fundamentom celej fyziky. Či už vezmeme hydrodynamiku, termodynamiku, elektrodynamiku, alebo kvantovú mechaniku, všade nájdeme zmenu stavu opísanú ako dynamický proces. Pohyb tekutín, tepla, náboja či kvánt sa opisuje ako dynamický tok, ako proces spojitely zmeny stavu.

Je poučné Newtonove chápanie pohybu porovnať nielen s Descartovým, ale aj s Galileovým chápaním. Galileo chcel podobne ako Newton uchopiť zmenu ako spojitý proces. No reguláriu prisúdil tomuto procesu takpovediac zvonka, používajúc prostriedky geometrie. Podľa Galilea každému druhu pohybu zodpovedá špeciálny tvar trajektórie a regularita zmeny je uchopená ako regulárne (rovnoméne alebo rovnomerne zrýchlené) premiestňovanie sa telesa po tejto trajektórii. Takéto chápanie regularity pohybu však neumožňuje opísať interakcie medzi telesami. Interakcie totiž narúšajú prechod po trajektórii a často spôsobujú odchýlky telesa od danej trajektórie. Newton preto nahrádza geometrickú krivku ako nositeľa individuálnej regularity každého jednotlivého druhu pohybu univerzálnym tokom času. Tok času je akási základná *forma* spo-

tiahneme po niti, Galileo si to nemá ako všimnúť. Keď to isté urobíme Newtonovi s jeho videami, ten si to všimne, lebo zrazu na mieste vzdialenom o nekončene malý časový úsek  $dt$  už nebude video, ktorého prvý snímok je identický s obrázkom vzniknutým po nekončene krátkom behu počítateľného videa (lebo toto video sme z daného bodu posunuli). Tu vidíme, že u Galilea je čas iba vonkajším parametrom, na ktorý sú navlečené statické fotografie, kým u Newtona je čas parametrom vstupujúcim do samotnej syntaxe jazyka (t. j. do pohybovej rovnice).

ločná všetkým pohybom. Kým u Galilea každé teleso sleduje svoju *vlastnú trajektóriu* a ostraté telesá ignoruje, u Newtona je pohyb všetkých telies vnorený do *spoločného toku času*. V tomto spoločnom toku sa trajektórie jednotlivých telies postupne generujú ako výsledok vzájomných interakcií. Nositeľom regularity pohybu tak nie je regulárny tvar trajektórie, ale regulárne plynutie *absolútneho času*, ktoré je spoločnou *formou*, zjednocujúcou pohyby všetkých telies.

Diagram na obr. 7 ukazuje, že Descartes v mnohých ohľadoch ide proti Galileovi a Newtonovi: ide proti galileovskej a newtonovskej matematizácii späť k používaniu verbálneho výkladu. V tomto bode sa Descartes zdaniho vracia k Aristotelovi. Ale nesmieme sa nechať pomýliť tak, ako sa to stalo nejednému historikovi vedy. Newton nadväzuje na Descarta, a nie na Galilea. To len pozitivistická historiografia, ktorá Aristotela a Descarta z dejín fyziky vynecháva ako nositeľov metafyzických koncepcií, nemá iné východisko, než spojiť Newtona priamo s Galileom.

Uvedené štyri koncepcie pohybu sa navzájom líšia v tom, akým spôsobom je v opise pohybu prítomný čas. V aristotelovskej teórii geometrického prechodu vlastne čas prítomný nie je: teória nič nehovorí o tom, kedy pohyb začal, ako dlho bude trvať a kedy skončí. Pohyb uchopuje skôr z hľadiska miesta než z hľadiska času. V galileovskej teórii geometrického toku je čas prítomný ako parameter  $t$ , ktorý parametrizuje trajektóriu určitého konkrétneho pohybu, pričom pre každý *jednotlivý* okamih udáva, v ktorom bode krivky sa pohybujúce sa teleso nachádza (pri voľnom páde je  $x = \frac{1}{2} g \cdot t^2$ ). V karteziánskej teórii dynamického prechodu už porovnáваме stavy v *dvoch* po sebe idúcich okamihoch, avšak vzdialenosť medzi nimi ešte nie je súčasťou opisu. Napokon v newtonovskej teórii dynamického toku je čas prítomný v pohybovej rovnici ako veľičina, podľa ktorej sa derivuje.

### 3.2 Završenie matematizácie prírody: matematika ako forma reprezentácie

Idealizáciu v Husserlovom pojmí možno charakterizovať ako *substitučnú idealizáciu*, ako nahradenie určitého aspektu (javu, predmetu či pôsobenia) žitého sveta ideálnym objektom, t. j. intencionálnym objektom, konštituovaným prostredníctvom formálneho jazyka. V tejto súvislosti navrhujeme rozlišovať medzi substitučnou idealizáciou a konštitutívnou idealizáciou. *Konštitutívnu idealizáciu* budeme nazývať proces tvorby nového formálneho jazyka, vytvorením ktorého sa proces idealizácie završuje. V dejinách civilizácie možno identifikovať tri konštitutívne idealizácie.

Prvou konštitutívnu idealizáciou bola *konštitutívna idealizácia počtu*, ktorá spočívala vo vytvorení formálneho jazyka aritmetiky. V prirodzenom chápaní je rad čísel ukončený viac-menej pevným horizontom. Či už je to niekde okolo čísla 5, ako je to u niektorých prírodných národov, alebo okolo čísla 40 (kopa), ako to bolo u starých Slovanov, to nie je dôležité. Podstatné je, že rad čísel má horizont, na ktorom je prerušené každé odpočítavanie. V starých poľnohospodárskych civilizáciách boli vytvorené číselné systavy, ktoré umožnili tento horizont odstrániť a vytvoriť číselný rad neohraničene ubiehajúci za každý vopred daný obzor. Pomocou týchto číselných sústav, t. j. formálnych jazykových systémov, boli *konštituované čísla ako ideality*, ako intencionálne objekty, ktoré existujú nezávisle od toho, či v realite existuje niečo, čo možno pomocou nich počítať. Prostredníctvom takto konštituovaných čísel došlo k *nahradeniu* prirodzeného javu mnohosti, ktorý je zasadený do horizontu „*mnoho*“, počtom, ktorý už nemá nijaký horizont. Namiesto mnohosti ako fenoménu žitého sveta nastupuje mnohosť ako výsledok počítania, *mnohosť konštituovaná formálnym jazykom aritmetiky*.

Druhou konštitutívnu idealizáciou bola *konštitutívna idealizácia tvaru* spočívajúca vo vytvorení jazyka klasickej geometrie, pomocou ktorého došlo k nahradeniu prirodzeného javu tvaru, teda tvaru zasadeného do prirodzeného horizontu podobnosti, geometrickým tvarom. V prirodzenom chápaní predstavuje *tvar* individuálnu podobu, čosi ako *tvár* predmetu. V tomto chápaní je každý útvar

jedinečný, odlišný od všetkých ostatných. V prirodzenom chápaní tvaru neexistuje dokonalá geometrická kocka, ale iba individuálne kocky, z ktorých každá sa trochu líši od všetkých ostatných. Konštitutívna idealizácia tvaru prebehla v antickom Grécku v období medzi Tálesom a Euklidom. Spočívala vo vytvorení jazyka, pomocou ktorého boli odstránené všetky nerovnosti, neostrosti a nedokonalosti typické pre útvary žitého sveta. Zrodili sa geometrické ideality, intencionálne objekty konštituované jazykom geometrie. Ich pomocou došlo k preladeniu chápania tvaru, keď namiesto tvaru ako aspektu prirodzenej skúsenosti nastupuje geometrický tvar, a prirodzený tvar s jeho všemožnými nepravidelnosťami sa začína považovať za jeho nedokonalú napodobeninu.

Ako tretiu konštitutívnu idealizáciu, *konštitutívnu idealizáciu pohybu*, navrhujeme označiť proces, ktorý sa odohral v období medzi Galileom a Newtonom. Podobne ako v predošlých dvoch príkladoch aj tu spočíva konštitutívna idealizácia vo vytvorení nového jazyka, jazyka teoretickej fyziky. V prípade idealizácie pohybu disponujeme neporovnateľne bohatším súborom historických dokumentov, takže priebeh tohto procesu vieme opísať omnoho podrobnejšie: Proces konštitutívnej idealizácie pohybu je tvorený troma na seba naväzujúcimi krokmi substitučnej idealizácie. Prvým z nich bola *substitučná idealizácia fenomenov*, teda galileovské nahradenie javov žitého sveta matematickými veličinami získanými v procese merania. Tento krok spočíval v prechode k pohybu chápanému ako geometrické plynutie a odohral sa s pomocou prostriedkov jazyka klasickej matematiky: krivky, pomocou ktorých Galileo opisoval pohyb, boli kružnice a paraboly, teda krivky antickej matematiky. Druhým krokom bola *substitučná idealizácia stavu*, teda kartezianske nahradenie predmetov žitého sveta rozpriestranenými vecami v pohybe. Tento krok prináša rozchod so starým formálnym jazykom matematiky. Descartove rozpriestranené veci sú geometrické objekty antickej geometrie povýšené na ontickú úroveň *rálného súcna* a obdarené *pohybom*. Reálnosť a pohyb sú atribúty protirečiace klasickému chápaniu ideálnych objektov. Posledným krokom procesu konštitutívnej idealizácie pohybu bola *substitučná idealizácia pôsobenia*, teda newtonovské nahradenie prirodzeného pôso-

benia, chápaného ako ťah alebo tlak, matematickým opisom pôsobenia pomocou síl pôsobiacich na diaľku. Pri tomto treťom kroku však *newtonovská substitučná idealizácia prerástla do konštitutívnej idealizácie*. Newton bol nútený vytvoriť úplne nový formálny jazyk – jazyk dynamických systémov –, aby mohol pohyb úspešne matematizovať. Pomocou tohto nového jazyka sme schopní analyticky, teda formálnou manipuláciou so symbolmi počítať časový vývoj dynamického systému.

Objekty fyziky sú teda ideality, sú to intencionálne objekty konštituované formálnym jazykom fyziky. Asi najpozoruhodnejšie spo- medzi takto konštituovaných objektov sú sily pôsobiace na diaľku. Práve na pojme sily dobre vidno proces, v ktorom bolo prirodzené chápanie pôsobenia ako tahu a tlaku nahradené novými idealitami. Newtonovské sily sú *aktívne*, sú to sily schopné generovať pohyb.<sup>181</sup> Okrem tejto schopnosti majú aj ďalšiu nevidanú vlastnosť: *pôsobia na diaľku*. Teleso sa nemusí dotknúť druhého telesa, aby naň mohlo pôsobiť. Gravitačná sila pritom nemá nijaký explanačný model. Namiesto explanačného modelu pôsobenia Newton prináša jeho matematický opis.

Otázka pôsobenia na diaľku vyvolala mnohé kontroverzie. Sám Newton viackrát poznamenal, že tieto sily nepovažuje za fyzikálne reálne. V úvode *Principií* píše:

Prítom pojmy priťahovania, poháňania a ťahania nerozlišujem a používam ich navzájom zameniteľne, považujúúc tieto sily za *matematické, a nie za fyzikálne*. Preto nech sa čitateľ vystríha domnienky, že by som takýmto pomenovaniami kdekoľvek definoval druh deja alebo fyzikálnu príčinu či odôvodnenie.<sup>182</sup>

<sup>181</sup> Podrobný výklad Newtonovho pojmu aktívnych síl, ako aj objasnenie jeho pôvodu v chemických a optických experimentoch možno nájsť v knihe Westfall, R. S., *Force in Newton's Physics*, Neale Watson, New York 1971, s. 323–400.

<sup>182</sup> Newton, I., „Matematické základy prírodnej filozofie, vybrané partie 3. vydania z r. 1726“, c. d., s. 344.

Ešte ostrejšie tento názor vyslovil v liste z 25. februára 1693 Dr. Bentleymu:

Predpokladat, že príťažlivosť je esenciálnou, neoddeliteľnou a vrodenuou vlastnosťou hmoty, takže teleso môže pôsobiť na iné na diaľku v prázdnom priestore, prenášajúc pôsobenie a silu bez akéhokoľvek sprostredkovania – to je podľa mňa taký veľký omyl, že neverím, že by niekto, kto sa dostatočne vyzná vo filozofických záležitostiach, mohol doň upadnúť.<sup>183</sup>

Napriek tomu generácia Newtonových žiakov (Cotes, Pemberton, Keil) považovala príťažlivú silu za reálnu, fyzikálnu, ba dokonca primárnu vlastnosť látky a zhruba päťdesiat rokov po vydaní *Principií* sa tento názor stal štandardným výkladom Newtonovej teórie. Postupne sa na Newtonove slová zabudlo a fyzici začali považovať gravitačné pôsobenie na diaľku za reálnu vlastnosť telies. Podľa nášho názoru však ani uvedeným Newtonovým slovám netreba rozumieť v tom duchu, že by Newton gravitačnú silu považoval za čosi neskutocné. Gravitačné sily sú skutočné, lebo majú skutočné účinky. To, že ich Newton vyhlasuje za fyzikálne nereálne, znamená len to, že ich nevie mechanisticky vysvetliť. Za Newtonových čias bola mechanistická filozofia a jej pojmami pôsobenia ako tahu či tlaku štandardom reálnosti – za reálne sa považovalo to, čo sa dalo mechanisticky vysvetliť. Postupne však boli kartezianske štandardy nahradené štandardmi newtonovskými, silové pôsobenie konštituované pomocou jazyka newtonovskej fyziky nahradilo kartezianske chápanie pôsobenia ako tahu a tlaku.

Galileo chápal matematiku ako jazyk, ako znakovú sústavu umožňujúcu exaktne opísať prírodné javy. Podľa Descarta matematika neopisuje prírodné javy, ale sama príroda je matematická. Newton prichádza s ešte radikálnejším pojmami vzťahu matematiky a prí-

<sup>183</sup> Cohen, I. B., Westfall, R. S. (eds.), *Newton, Text, Backgrounds, Commentaries*, W. W. Norton, New York 1995, s. 337.

rody. Matematika predstavuje formu reprezentácie sveta, teda formu reprezentácie času, priestoru a pôsobenia.<sup>184</sup> Táto forma je čímsi viac než len jazykom na opis javov. Zachytáva nielen javovú stránku skutočnosti, opisuje nielen to, čo sa ukazuje. Zachytáva aj ontickú bázu, ktorá javy podmieňuje, opisuje teda aj to, čo skutočne je. Matematika nie je obmedzená na to, čo je zjavné či merateľné, ale pokračuje hranice zjavného smerom k onticky skutočnému, ako to chcel Descartes. Newton sa však nezastavil ani v tomto bode. Matematika podľa Newtona nie je len ontickou bázou sveta, nehovorí len o tom, čo je skutočné. Matematika opisuje aj to, ako sa táto ontická báza mení, opisuje proces zmeny stavu, hovorí teda aj to, čo je možné, a čo sa z toho, čo je možné, stane skutočným. To je čosi zásadne nové.

Od antiky sa tiahne spájanie matematiky s večným. To je jadro Aristotelovej argumentácie proti použiteľnosti matematiky na opis prírody. Matematika stelesňuje večné, príroda je však ríšou premenlivého. Descartes síce Aristotelov argument rozbil, keď matematiku vyhlásil za ontickú bázu skutočnosti, ale pri jej opise sa ani on nedokázal oslobodiť od spájania matematiky s večným. Keď pre prírodu, teda univerzium geometrických telies obdarených pohybom, formuluje svoje zákony, tak nimi opäť vyjadruje len to, čo sa nemení – princíp zotrvačnosti vyjadruje nemennosť pohybového stavu jednotlivých telies, kým zákon zachovania množstva pohybu vyjadruje nemennosť množstva pohybu v univerze. Na univerze kartezianskej fyziky je teda zákonité iba to, čo je na ňom nemenné.

Až tu sa dostávame k pochopeniu radikálnosti Newtonovho myslenia. Zákony prírody nie sú zákonmi zachovania (stavu, smeru, množstva) pohybu, ale zákonmi vzníkania pohybu. Príroda je

<sup>184</sup> Táto formalizácia pripomína Kanta – a kantovskú inšpiráciu tu ani nechceme popierať. Nedostatok Kantovej pozície vidíme v tom, že formy viazal na nazeranie. Podľa nás je vhodnejšie formy spájať s jazykom a na miesto o formách nazerania hovoriť o formách reprezentácie počtu, tvaru a pohybu pomocou formálneho jazyka aritmetiky, geometrie, respektíve fyziky.

zákonitá nie v tom, aká je, ale v tom, ako sa mení. Matematika je podľa Newtona formou umožňujúcou túto zmenu opísať. Matematika je formou opisu zmeny stavu. Tri vrstvy matematizácie prírody – galileovskú, karteziansku a newtonovskú – možno ilustrovať na Newtonovej pohybovej rovnici

$$Fdt = dp. \quad (6)$$

V nej  $dt$  je elementom galileovskej vrstvy matematizácie, uchopujúcej čas ako fyzikálnu veličinu. Galileovský čas je údaj na hodinách, na nástroji, ktorý umožňuje reprodukovateľne uchopiť plynutie. Keď čas meriame, máme ho pred očami, držíme si ho od tela. Galileovský čas je „vonkajšie“ plynutie, pravideľne opakovanie sa periodického procesu, ktorý sa nás bytostne netýka.  $F$  a  $dp$  – to je kartezianska vrstva matematizácie. Je to základná Descartova idea, že veda musí prejsť od opisu javov ku kauzálnemu opisu zmeny stavu. Descartes pochopil aj to, že zmenu stavu možno opísať ako odovzdávanie hybnosti  $p$ , pričom to, v akom smere toto odovzdávanie prebehne, určujú sily zotrvačnosti  $F$ . Vidíme teda, že všetky zložky, ktoré vystupujú v Newtonovej rovnici, tu boli už pred ním. Boli však izolované. U Descarta sú sily oddelené od zmeny hybnosti. Sily rozhodujú o tom, aký bude výsledok zrážky, teda akým smerom bude hybnosť odovzdávaná. Do procesu odovzdávania hybnosti už nezasahujú. U Descarta sú sily oddelené aj od plynutia času. Descartes chápe interakciu ako singulárnu udalosť a opisuje ju porovnávaním stavov v dvoch izolovaných okamihoch. To, aký časový interval uplynul medzi týmito okamihmi, je z hľadiska kartezianskeho opisu interakcie irelevantné.

Vzťah (6) – to je Newtonov vklad do matematizácie. Je to diferenciálna rovnica predstavujúca formu, ktorá spája do jedného celku galileovské plynutie s kartezianskou zmenou stavu. Zmena stavu tu nie je okamžitou zmenou ako u Descarta, ale odohráva sa v čase. Čas, v ktorom prebieha zmena, však už nemožno držať od tela pomocou nástroji. Čas v pohybovej rovnici už nie je galileovský údaj na hodinách. Čas je tu časom premeny, je to matematický (absolút-

ny) čas, v ktorom sa rodí nový stav systému ako výsledok pôsobenia síl. Matematizácia prírody sa teda nedosahuje pomocou trojuholníkov a kružníc, ako si to predstavoval Galileo. Kniha prírody je síce napísaná jazykom matematiky, ale je to jazyk veľmi odlišný od matematiky Galileových čias. Aby sme v tejto knihe mohli čítať, bolo treba vytvoriť úplne novú matematickú disciplínu, teóriu diferenciálnych rovníc. Pomocou trojuholníkov a kružníc, ktoré nám odporúčal Galileo, by sme si v knihe prírody toho veľa neprečítali.

#### 4. O idealizácii v exaktných vedách

V predchádzajúcich troch kapitolách sme sa zaoberali rekonštrukciou vzniknu modernej vedy. Ukázali sme, že tento proces možno plauzibilne vylóžiť ako proces idealizácie. Teraz sa pokúsime obraz idealizácie, ktorý sme takto získali, porovnať s chápaním idealizácie rozpracovaným vo filozofii vedy. Vo filozofii vedy je úloha idealizácie v exaktných vedách široko diskutovaná.<sup>185</sup> Možno rozlíšiť dve nezávislé tradície. Príslušníci tradície patriacej do prúdu analytickej filozofie (William Barr, Michaela Haase, Ronald Laymon či Ernan McMullin) chápu idealizáciu ako *zjednodušenie* či *deformáciu* opisu určitej situácie alebo formulácie určitého prírodného zákona pomocou *idealizujúcej podmienky*. Ako ilustráciu idealizácie najčastejšie uvádzajú ideálny plyn. Ideálny plyn je plyn, o ktorého molekúlach predpokladáme, že majú nulový objem a nepôsobia medzi nimi sily. Predpoklad nulového objemu a nulových síl uvedení autori považujú za *idealizujúce podmienky*. Tieto podmienky dnes používame pri odvodení zákona ideálneho plynu

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T,$$

ktorý dáva do súvisu tlak  $p$  s objemom  $V$  a s teplotou  $T$  určitého množstva ideálneho plynu. Zástanci tejto tradície chápu idealizá-

<sup>185</sup> Wartofsky, M. W. (eds.), *Boston Studies in the Philosophy of Science 2. In honor of Philipp Frank*, Humanities Press, New York 1965, s. 291–306; Barr, W. F., „A Syntactic and Semantic Analysis of Idealizations in Science“, *Philosophy of Science* 38, 1971, s. 258–272; Barr, W. F., „A Pragmatic Analysis of Idealizations in Physics“, *Philosophy of Science* 41, 1974, s. 48–64;