

RUDOLF HERTZ: PRINCÍPY MECHANIKY

Nemecký fyzik Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) sa narodil v Hamburgu. V Berlíne študoval u slávneho H. von Helmholtza a G. Kirchhoffa. V roku 1883 začal učiť v Kiele, kde sa aj habilitoval. Neskôr pôsobil (od roku 1885) ako profesor fyziky na technologickom inštitúte v Karlsruhe a nakoniec (od roku 1889) v Bonne.

Hertz sa ako fyzik preslávil hlavne svojimi experimentálnymi výskumami šírenia elektrických vln. Na základe premyslených experimentov sa mu podarilo potvrdiť už skoršie formulovanú teóriu elektromagnetizmu anglického fyzika J. C. Maxwella. Zaslúžil sa o objav súvislosti medzi svetlom a elektrinou, t.j. o poznanie, že svetelné vlny sú vlny elektromagnetickej povahy odlišujúce sa od elektriny len menšou vlnovou dĺžkou. Týmto špeciálnymi fyzikálnymi otázkami sa zaoberal vo svojich dvoch hlavných prácach z rokov 1889 a 1892 Über die Beziehung zwischen Licht und Elektrizität (O vzťahu medzi svetlom a elektrinou) a Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft (O šírení elektrickej sily).

Jeho najvýznamnejšou prácou z hľadiska filozofie vedy je však jeho posledné dielo Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt (Princípy mechaniky v novom spracovaní) z roku 1994. Hertz v ňom podáva nový systematický výklad klasickej mechaniky, pričom jeho hlavnou ambíciou je zvýšiť logickú úroveň mechaniky, zredukovať na minimum jej základné predpoklady a pojmy - pre Hertza sú základnými pojmami iba pojmy priestoru, času a hmotnosti, pojmy sily a energie sú z nich odvodené a slúžia iba ako skratky, ktoré zavádzame neskôr z dôvodov užitočnosti -, a tak z nej dôsledne vylúčiť všetky metafyzické a špekulatívne prvky. V Úvode k tomuto dielu sa venuje najvšeobecnejším otázkam fyziky ako prírodnej vedy, vyslovuje svoj (v jadre kantovský) názor na povahu fyzikálneho vysvetlenia, rozlišuje medzi logickými a pragmatickými prvkami vedeckej teórie a zavádza pojem obrazu, pomocou ktorého vysvetľuje podstatu (vedeckého) poznania ako symbolickej reprezentácie javov. Napriek viacerým novým a odvážnym črtám jeho filozofie vedy a napriek prevratným prácam v oblasti elektromagnetických javov zostal Hertz pevne presvedčený o tom, že základné zákony mechaniky sú fundamentálnymi zákonmi pre pochopenie a riešenie všetkých problémov vo fyzike, t.j. (klasickej) mechanika je podľa neho aj naďalej základom každého fyzikálneho vysvetľovania.

Hertzove filozofické úvahy o povahe fyzikálneho poznania, na ktoré dostal silný impulz od svojich učiteľov, pôsobili po jeho smrti vo viacerých smeroch, nielen vo filozofii vedy. Prinajmenšom pri dvoch významných postavách filozofie 20. storočia sa dá hovoriť o priamom a výraznom ovplyvnení. Na prvom mieste je to L. Wittgenstein, ktorý sa v jednej svojej poznámke z roku 1931 výslovne zmieňuje o Hertzovi ako o jednom z tých, ktorí mali priamy vplyv na jeho myslenie. Vplyv tohto novokantovského zameraného filozofujúceho vedca sa ukazuje predovšetkým u raného Wittgensteina v jeho obrazovej teórii jazyka a v jeho ponímaní povahy a funkcie vedy. Hertzovo meno sa

objavuje v Traktáte *hned* dvakrát (a je to jediné meno v Traktáte okrem *Russella a Fregeho!*), pričom významné a príznačné je hlavne odvolanie sa na "Hertzovu mechaniku" v poznámke 4.04, kde sa hovorí o "rovnakej logickej (matematickej) rozmanitosti", ktorá je podľa Wittgensteina nevyhnutnou podmienkou toho, aby veta vôbec mohla byť obrazom nejakej situácie (faktu). Môžeme povedať, že u Hertza sa takpovediac uskutočňuje prechod od pojmov vedomia (ducha) a predstáv (*Vorstellungen*) ako obsahov vedomia k pojmu (symbolickej) reprezentácie. Inšpiráciou pre Wittgensteina mohla byť aj Hertzova snaha o striktné rozlišovanie medzi empirickými a apriórnymi prvkami v mechanike a jeho filozoficky motivovaný pokus o rekonštrukciu klasickej mechaniky, ktorý mal (okrem iného) odstrániť otázky týkajúce sa podstaty sily či elektriny nie prostredníctvom získania nových poznatkov, ale na základe logického vyjasnenia a systematického spresnenia jednotlivých pojmov v mechanike. Rovnako zreteľné ako spoločné body sú však aj rozdiely. Logické zákony ako formálne podmienky možnosti akejkolvek reprezentácie (zobrazovania) skutočnosti sú podľa Hertza stále "zákonmi myslenia", nemennými "zákonmi nášho ducha", a nie pravidlami logickej syntaxe ako u Wittgensteina. Z tohto hľadiska potom treba chápať aj Hertzovo odmietanie otázok o podstate sily atď., ktoré Hertz neoznačuje ako číre pseudoprotblémy, ale (skôr kantovsky) ako otázky, ktoré prekračujú hranice nášho vedeckého poznania, na ktoré "náš duch" nie je "oprávnený odpovedať".

Druhým filozofom, u ktorého možno vystopovať silný vplyv Hertzovej filozofie vedy a hlavne jeho ponímania povahy a úlohy obrazov (symbolov) vo vedeckom poznaní, je marburgský novokantovec E. Cassirer. Vo svojej Filozofii symbolických foriem priznáva Hertzovi zásluhu za to, že "najpregnantnejším spôsobom vyjadril nový ideál poznania", ktorý sa odvíja od toho, že veda si uvedomila bytostne "symbolický charakter svojich základných prostriedkov". Symbol tak podľa Cassirera nadobúda konštitutívnu funkciu, prestáva byť len pasívnym odrazom nezávisle jestvujúcej skutočnosti. Cassirer však zdôrazňuje hlavne idealistické prvky v Hertzovej koncepcii a navyše následne rozširuje túto myšlienku na všetky "formy kultúry" (umenie, mýtus a ďalšie), čím ďaleko prekračuje filozofické ambície samotného Hertza.

(R. M.)

Úvod. Prvou a v istom zmysle najdôležitejšou úlohou nášho vedomého poznania prírody je umožniť nám predvídanie budúcich skúseností, aby sme sa podľa tejto predpovede mohli zariadiť v našom konaní. Ako základ riešenia tejto úlohy poznania každým používame predchádzajúce skúsenosti, nadobudnuté prostredníctvom náhodných pozorovaní alebo prostredníctvom zámerného pokusu. Spôsob, akým pri odvodzovaní budúceho z minulého, a teda pri získavaní žiadanej predpovede vždy postupujeme, je však nasledujúci: Vytvárame si vnútorné obrazy alebo symboly vonkajších predmetov, a to tak, aby myšlienkovo nevyhnutné následnosti týchto obrazov zobrazovali prírodne nevyhnutné následnosti zobrazovaných predmetov. Aby bola táto požiadavka vôbec splniteľná, musia existovať isté zhody medzi prírodou a naším duchom. Skúsenosť nás učí, že táto požiadavka je splniteľná, a teda že takéto zhody skutočne existujú. Ak sa nám raz podarilo odvodiť z doteraz nazhromaždenej skúsenosti obrazy

požadovaného charakteru, potom na nich ako na modeloch môžeme v krátkom čase rozvinúť následnosti, ktoré sa vo vonkajšom svete objavia až po dlhšom čase alebo ako dôsledok nášho vlastného zásahu; dokážeme tak predstihnúť fakty a podľa takto získaného poznania môžeme usmerňovať svoje súčasné zámery. Obrazy, o ktorých hovoríme, sú našimi predstavami (reprezentáciami) vecí; s vecami sa zhodujú v *jednom* podstatnom bode, ktorý spočíva v splnení spomenutej požiadavky. Na ich účel však ani nie je potrebné, aby sa s vecami zhodovali aj v niečom inom. V skutočnosti ani nevieme - a ani nemáme žiadny prostriedok na to, aby sme sa to dozvedeli -, či sa naše predstavy (reprezentácie) vecí so samotnými vecami zhodujú aj v niečom inom ako v práve spomenutom *jednom* fundamentálnom vzťahu.

Požiadavka, aby následnosti obrazov zobrazovali reálne následnosti javov v prírode, ešte neurčuje tieto obrazy jednoznačne. Môžu totiž existovať rozdielne obrazy tých istých predmetov, pričom tieto obrazy sa môžu odlišovať v rozličných ohľadoch. Za neprípustné by sme mali hneď dopredu označiť také obrazy, ktoré sú v protirečení so zákonmi nášho myslenia, a teda ako prvé požadujeme, aby boli všetky obrazy logicky prípustné alebo skrátka, prípustné. Nesprávnymi nazveme prípustné obrazy vtedy, ak ich podstatné vzťahy protirečia vzťahom vonkajších vecí, to znamená vtedy, ak nespĺňajú onú prvú základnú požiadavku. Dva prípustné a správne obrazy toho istého predmetu sa však ešte môžu odlišovať z hľadiska účelnosti. Z dvoch obrazov toho istého predmetu bude účelnejší ten, ktorý odzrkadľuje viac podstatných vzťahov; ten, ktorý je, ako hovoríme, zreteľnejší. Pri rovnakej zreteľnosti bude z dvoch obrazov účelnejší ten, ktorý popri podstatných črtách obsahuje menší počet prebytočných alebo prázdnych vzťahov, teda ten, ktorý je jednoduchší. Úplne sa vyhnúť prázdny vzťahom nebude možné, keďže tieto patria k obrazom už preto, že sú len obrazmi, a síce obrazmi nášho zvláštneho ducha, a sú teda nevyhnutne do určitej miery určované vlastnosťami jeho spôsobu zobrazovania.

Doteraz sme vyratúvali požiadavky, ktoré kladieme na samotné obrazy; niečo úplne iné sú požiadavky, ktoré kladieme na vedecký výklad takýchto obrazov. Od tohto výkladu požadujeme, aby nám jasne ukazoval, ktoré vlastnosti obrazu dostali kvôli prípustnosti, ktoré kvôli správnosti a ktoré kvôli účelnosti. Iba takto získame možnosť meniť a zlepšovať naše obrazy. To, čo bolo obrazom dané kvôli účelnosti, je obsiahnuté v označeniach, definíciách, skratkách, skrátka v tom, čo môžeme ľubovoľne pridať alebo odobrať. To, čo prináleží obrazom kvôli ich správnosti, je obsiahnuté v skúsenostných faktoch, ktoré boli použité pri tvorení obrazov. To, čo prináleží obrazom pre to, aby boli prípustné, je dané vlastnosťami nášho ducha. O tom, či je obraz prípustný alebo nie, môžeme rozhodnúť jednoznačne kladne alebo záporne, a to tak, že naše rozhodnutie bude platné navždy. O tom, či je obraz správny alebo nie, možno rozhodnúť rovnako jednoznačne, avšak iba podľa stavu našej súčasnej skúsenosti s pripustením odvolania sa na neskoršiu zrelšiu skúsenosť. O tom, či je obraz účelný alebo nie, sa nedá jednoznačne rozhodnúť vôbec, v tom sa môžu názory rôzniť. Jeden obraz môže ponúkať výhody v jednom smere, iný zasa v inom, takže iba prostredníctvom postupného preverovania mnohých obrazov môžeme časom nakoniec získať tie najúčelnejšie.

Toto sú hľadiská, podľa ktorých, ako sa mi zdá, treba posudzovať hodnotu fyzikálnych teórií a hodnotu výkladov fyzikálnych teórií. V každom prípade sú to hľadiská, z ktorých teraz hodláme skúmať doteraz podané výklady o princípoch mechaniky. Pritom je však najskôr potrebné presne vysvetliť, čo týmto menom označujeme.

V prísnom zmysle sa v mechanike pôvodne pod princípom chápal každý výrok, ktorý sa neodvodzoval z iných viet samotnej mechaniky, ale ktorý bol považovaný za bezprostredný výsledok iných zdrojov poznania. V dôsledku dejinného vývoja sa prirodzene stávalo, že vety, ktoré boli kedysi za vtedajších predpokladov oprávnené označované za princípy, si toto označenie zachovali aj neskôr, hoci neoprávnené. Od čias Lagranga sa často hovorilo o tom, že princípy ťažiska a plôch sú v podstate len teorémami so všeobecným obsahom. Rovnako oprávnené by však bolo možné poznamenať, že ani ostatné takzvané princípy takto nemožno označovať v absolútnom zmysle, pretože akonáhle sa výklad mechaniky postaví na jednom alebo na viacerých z nich, ostatné musia poklesnúť na úroveň logického dôsledku alebo teorémy. Pojem princípu v mechanike teda nie je striktno vymedzený. Chceme preto spomenutým vetám v jednotlivých výroch síce ponechať ich tradičné pomenovanie; ak však budeme hovoriť o princípoch mechaniky všeobecne, nebudeme pod nimi rozumieť tieto jednotlivé vety, ale každý taký (mimochoďom, ľubovoľný) výber spomedzi nich a spomedzi podobných viet, ktorý bude spĺňať podmienku, že sa z neho dá bez ďalšieho odvolávania sa na skúsenosť čisto deduktívne rozvinúť celá mechanika. Pri tomto spôsobe označovania predstavujú základné pojmy mechaniky spolu s princípmi, ktoré ich zreťazujú, ten najjednoduchší obraz, ktorý fyzika dokáže vytvoriť o veciach zmyslového sveta a procesoch v ňom. A keďže o princípoch mechaniky môžeme podať rozdielne výklady podľa rozdielnych výberov základných viet, takto získavame rozdielne obrazy vecí, ktoré môžeme skúšať a navzájom porovnávať vo vzťahu k ich prípustnosti, správnosti a účelnosti.

1.

Prvý obraz nám ponúka obvyklý výklad mechaniky. Rozumieme pod ním výklad takmer všetkých učebníc, ktoré sa zaoberajú celou mechanikou, a takmer všetkých prednášok, ktoré hovoria o celom obsahu tejto vedy. Tieto výklady sa v jednotlivostiach líšia, v základe sa však zhodujú. Tvoria širokú kráľovskú cestu, po ktorej sú zástupy žiakov uvádzané do vnútra mechaniky; táto cesta presne sleduje chod historického vývoja a sled objavov; jej hlavné zastávky sú vyznačené menami *Archimeda*, *Galileiho*, *Newtona*, *Lagranga*. Ako dané predstavy kladie tento výklad za základ pojmy priestoru, času, sily a hmotnosti. Sila sa pritom zavádza ako príčina pohybu, jestvujúca pred pohybom a nezávisle od neho. Na začiatku výkladu najskôr vystupujú len samotný priestor a sila a ich vzťahy sa preberajú v statike. Čistá náuka o pohybe alebo kinematika sa obmedzuje na prepojenie pojmu priestoru s pojmom času. Galileiho predstava zotrvačnosti poskytuje súvislosť čisto medzi priestorom, časom a hmotnosťou. Vedľa seba a navzájom prepojené vystupujú všetky tieto štyri základné pojmy až v Newtonových pohybových zákonoch. Tieto zákony tvoria základ ďalšieho vývoja, nepodávajú však ešte žiadne všeobecné vyjadrenie pôsobenia tuhých priestorových spojení; až D'Alembertov princíp rozširuje všeobecný výsledok statiky na prípad pohybu a ako posledný

uzatvára zástup vzájomne zo seba neodvoditeľných, nezávislých základných výrokov. Všetko ostatné je v podstate deduktívne odvodzovanie. Spomenuté pojmy a zákony sú skutočne nielen nevyhnutné, ale aj dostatočné na to, aby sa z nich dal s myšlienkovou nevyhnutnosťou rozvinúť celý obsah mechaniky a aby sa všetky ostatné takzvané princípy ukázali ako teorémy a dôsledky vyplývajúce z osobitých predpokladov. Spomenuté pojmy nám teda podávajú prvý systém princípov mechaniky v zmysle nášho predchádzajúceho vymedzenia; a tým teda zároveň aj prvý všeobecný obraz o prírodných pohyboch materiálneho sveta.

Zdá sa, že pokiaľ ide o logickú prípustnosť tohto obrazu, nie je možné o nej ani len pochybovať. Zdá sa byť takmer nemožné myslieť si, že by sa dali nájsť logické nedokonalosti v systéme, ktorý opakovane premýšľalo nespočetne veľa najlepších hláv. Skôr však, ako sa vzdáme takéhoto skúmania, bude sa treba spýtať, či boli tiež všetci a tí najlepší s týmto systémom vždy spokojní. V každom prípade nás musí hneď na začiatku oprávnene udiviť, ako ľahko sa dajú vychádzajúc zo základných zákonov rozvinúť úvahy, ktoré sa plne zhodujú so spôsobom vyjadrovania, aký sa používa v mechanike, a ktoré napriek tomu nepochybne privádzajú jasné myslenie do rozpakov. Pokúsme sa to najskôr ukázať na jednom príklade. Roztočíme kruhovým pohybom kameň pripevnený na špagáte; vedome pritom pôsobíme na kameň istou silou; táto sila ustavične odkláňa kameň od priamočiarej dráhy a ak túto silu, hmotnosť kameňa alebo dĺžku špagáta zmeníme, zistíme, že pohyb kameňa skutočne prebieha v zhode s druhým Newtonovým zákonom. Tretí zákon však požaduje silu opačnú voči tej, ktorou pôsobí na kameň naša ruka. Ak sa spýtame na túto opačnú silu, dostaneme odpoveď dobre známu každému: kameň pôsobí späť na ruku v dôsledku odstredivej sily a táto odstredivá sila sa skutočne presne rovná sile, ktorou pôsobíme my, a je voči nej opačná. Je však tento spôsob vyjadrovania prípustný? Je to, čo teraz nazývame odstredivou silou, niečo iné ako zotrvačnosť kameňa? Môžeme uvažovať o účinku zotrvačnosti takto dvojako, totiž raz ako o hmotnosti a druhýkrát ako o sile, bez toho, že by sme tým narušili jasnosť našich predstáv? V našich pohybových zákonoch vystupuje sila ako príčina pohybu jestvujúca pred samotným pohybom. Môžeme teraz zrazu začať hovoriť o silách, ktoré vznikajú až prostredníctvom pohybu, ktoré sú dôsledkom pohybu, a pritom nespôsobiť zmätok v našich pojmoch? Môžeme predstierať, že o tomto novom druhu síl sa niečo hovorí už v našich zákonoch, môžeme im spolu s názvom "sila" priznať aj vlastnosti síl? Na všetky tieto otázky treba zjavne odpovedať záporne. Nezostáva nám teda nič iné, ako dodať nasledujúce vysvetlenie: označenie odstredivej sily ako sily je vlastne nesprávne, tento názov prijímame, podobne ako názov živej sily, ako historické označenie, pričom ponechanie tohto názvu odvolávaním sa na jeho užitočnosť skôr ospravedlňujeme ako zdôvodňujeme. Kde však potom zostávajú nároky tretieho zákona, ktorý požaduje silu, ktorou mŕtvy kameň pôsobí na ruku, a ktorý chce byť uspokojený skutočnou silou, a nie čírym názvom?

Nemyslím si, že tieto ťažkosti sú vyvolané umelo alebo svojvoľne; natiskajú sa nám samy od seba. Nedal by sa ich pôvod vysledovať už v základných zákonoch? Sila, o ktorej hovorí definícia a prvé dva zákony, pôsobí na teleso jednostranne určeným smerom. Zmyslom tretieho zákona je to, že sily vždy spájajú dve telesá a že smerujú tak od prvého k druhému, ako aj od druhého k prvému. Predstava sily, ktorú vyvoláva tento

zákon, sa mi zdá byť máličko odlišná od predstavy sily, ktorú predpokladajú a vzbudzujú v nás prvé dva zákony, tento nepatrný rozdiel však možno postačuje na vytvorenie logického zahmlenia, ktorého dôsledky sa tak vypuklo prejavili v našom príklade. Nepotrebujeme sa však púšťať do skúmania ďalších príkladov. Potvrdením oprávnenosti našich pochybností môžu byť už všeobecné pozorovania. Prvým takýmto pozorovaním sa mi zdá byť skúsenosť, že práve úvod do mechaniky je veľmi ťažké prednášať premýšľajúcim poslucháčom bez istých rozpakov, bez toho, že by mal človek pocit, že sa sem-tam musí ospravedlňovať, bez toho, že by túžil dostať sa veľmi rýchlo od začiatkov k príkladom, ktoré hovoria samy za seba. Myslím, že sám Newton musel pociťovať tieto rozpaky, keď tak trochu násilne definoval hmotnosť ako súčin objemu a hustoty. A myslím, že páni Thomson a Tait museli pociťovať tiež čosi podobné, keď síce poznamenávajú, že to je vlastne skôr definícia hustoty ako hmotnosti, ale jednako sa s ňou uspokojujú ako s jedinou definíciou hmotnosti. Aj Lagrange musel cítiť rozpaky a túžbu pokročiť vpred za každú cenu, keď svoju mechaniku začal prístupom vysvetlením, že sila je príčina, ktorá udeľuje "alebo sa snaží udeliť" telesu pohyb; určite pritom vnímal logickú tvrdosť takéhoto vymedzenia. Druhé potvrdenie mojej predchádzajúcej tézy vidím vo fakte, že už pre elementárne vety statiky, pre vetu o paralelograme síl, vetu o virtuálnych rýchlostiach atď., máme mnohé dôkazy pochádzajúce od vynikajúcich matematikov, ktoré si robia nárok byť prísnymi dôkazmi, ktoré však zase podľa úsudku iných výborných matematikov toto kritérium nespĺňajú. V logicky dokonalej vede, v čistej matematike, je rozdielnosť názorov v takejto otázke jednoducho nemysliteľná. Ako prirážajúce svedectvo sa mi však javia aj príliš často zaznievajúce tvrdenia: podstata sily je ešte stále záhadou, hlavnou úlohou fyziky je vyskúmať podstatu sily a ďalšie podobné výroky. Rovnakým spôsobom sa neustále nalieha na elektrofyzikov vo veci podstaty elektriny. Prečo sa ale nikto v tomto zmysle nepýta na podstatu zlata alebo rýchlosti? Je nám podstata zlata alebo rýchlosti známejšia ako podstata elektriny alebo sily? Dokážeme prostredníctvom našich predstáv, prostredníctvom našich slov vyčerpávajúco vyjadriť podstatu nejakej veci? Určite nie. Myslím si, že rozdiel je v nasledujúcom: Znaky "rýchlosť" a "zlato" spájame veľkým počtom vzťahov s inými znakmi a medzi všetkými týmito vzťahmi nenachádzame nijaké rušivé protirečenia. To nám stačí a ďalej sa nepýtame. Na znaky "sila" a "elektrina" sa však navršilo viac vzťahov, ako je prípustné, aby sa navzájom zniesli; toto pociťujeme ako niečo temné, požadujeme objasnenie, a tak vyjadrujeme v tejto nejasnej veci našu nejasnú túžbu dozvedieť sa podstatu sily a elektriny. Táto otázka sa však zjavne mylí, pokiaľ ide o odpoveď, ktorú očakáva. Uspokojivá odpoveď na ňu nespočíva v poznaní nových a početnejších vzťahov a spojení, ale v odstránení protirečení spomedzi tých už existujúcich, teda možno v redukcii existujúcich vzťahov. Ak sa tieto bolestivé protirečenia odstránia, otázka podstaty síce zodpovedaná nebude, ale duch, ktorého už nebudú spomínané protirečenia trápiť, si prestane klásť otázku, na ktorú nie je oprávnený odpovedať.

V doterajšom výklade sme tak silno spochybňovali prípustnosť skúmaného obrazu, až sa musí zdať, že našim zámerom je sporiť sa o túto prípustnosť a nakoniec ju poprieť. Naš zámer a naše presvedčenie však nejde tak ďaleko. Aj keby logické neurčitosti, ktoré spôsobili naše starosti o istotu základov, skutočne existovali, určite nezhatili ani jeden jediný z nespočetných úspechov, ktoré si mechanika vydobyla pri jej použití na fakty.

Spomínané nejasnosti teda nemôžu spočívať v protirečeniach medzi podstatnými črtami nášho obrazu, teda v protirečeniach medzi tými vzťahmi mechaniky, ktoré zodpovedajú vzťahom vecí. Skôr sa musia týkať iba nepodstatných črt, toho, čo sme my sami podľa svojej ľubovôle pridali k podstatnému obsahu, ktorý je daný od prírody. V tom prípade sa však dá spomínaným rozpakom aj vyhnúť. Možno, že naše námietky vôbec nezasaňujú obsah navrhnutého obrazu, ale len formu výkladu tohto obsahu. Iste nebudeme príliš prísni, ak povieme, že tento výklad doteraz ešte nedosiahol vedeckú dokonalosť, že mu ešte úplne chýba dostatočne ostré rozlíšenie medzi tým, čo v tomto obraze pochádza z myšlienkovvej nevyhnutnosti, čo zo skúsenosti a čo z našej ľubovôle. V tomto názore sa zhodujeme s vynikajúcimi fyzikmi, ktorí sa týmito otázkami zaoberali a ktorí sa o nich vyjadrovali,¹ pravda, bez toho, že by sa dalo hovoriť o všeobecnej zhode medzi nimi.² Tento názor ďalej potvrdzuje aj rastúca starostlivosť a dôkladnosť, s ktorou sa novšie učebnice mechaniky venujú logickej analýze základov.³ V zhode s autormi týchto učebníc a so spomínanými fyzikmi sme aj my presvedčení o tom, že jestvujúce medzery sa týkajú len formy a že vhodným usporiadaním definícií, označení a ďalej obozretným spôsobom vyjadrovania sa možno vyhnúť akejkol'vek nejasnosti a neistote. V tomto zmysle, tak ako všetci ostatní, uznávame (logickú) prípustnosť obsahu mechaniky. Dôstojnosť a veľkosť predmetu si však vyžaduje, aby sa logická čistota nielen dobrovoľne uznávala, ale aby bola taktiež prostredníctvom dokonalého výkladu dokázaná tak, že by nebolo možné ani len vyjadriť nejakú pochybnosť.

O správnosti nami skúmaného obrazu môžeme vysloviť náš úsudok ľahšie a môžeme si byť pritom istejší všeobecným súhlasom. Nikto nebude protirečiť, ak budeme tvrdiť, že táto správnosť je podľa všetkých našich doterajších skúseností dokonalá, že všetky črty nášho obrazu, ktoré si vôbec nárokujú zobrazovať pozorovateľné vzťahy vecí, týmto vzťahom aj skutočne a správne zodpovedajú. Svoju dôveru prirodzene obmedzujeme na obsah doterajšej skúsenosti; čo sa týka budúcej skúsenosti, k otázke správnosti budeme mať ešte príležitosť sa vrátiť. Mnohým sa zaiste bude zdať táto naša opatrnosť nielen prehnaná, ale priamo nezmyselná; mnohým fyzikom sa zdá byť jednoducho nemysliteľné, že by akákoľvek neskoršia skúsenosť mohla niečo zmeniť na pevných princípoch mechaniky. To, čo pochádza zo skúsenosti, však môže byť znovu skúsenosťou vyvrátené; ona príliš priaznivá mienka o princípoch môže teda zjavne vznikáť iba preto, lebo skúsenostné prvky sú v týchto princípoch akosi skryté a splývajú s nemennými, myšlienkovjo nevyhnutnými prvkami.

Logická neurčitosť výkladu, ktorú sme predtým priamo odsudzovali, teda prináša aj istú výhodu; dáva základom zdanie nemennosti; v počiatkoch vedy bolo možno múdre ju zaviesť a nejaký čas ponechať. V každom prípade tým, že bola vyhradená možnosť v prípade potreby utvoriť zo skúsenostného faktu definíciu alebo naopak, zaistila sa

¹ Pozri E. Mach: *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*. Leipzig 1883, s. 228. Pozri aj v *Nature* z roku 1893 diskusiu o základných zákonoch mechaniky, ktorú najnovšie vyvolal pán O. Lodga ktorá bola vedená v rámci Physical Society v Londýne.

² Pozri Thomson & Tait: *Theoretische Physik*, § 205 a n.

³ Pozri E. Budde: *Allgemeine Mechanik der Punkte und starren Systeme*. Berlin 1890, s. 111-138. Výklad podaný v tejto knihe zároveň dáva jasný obraz o veľkosti problémov, na ktoré naráža neprotirečivé aplikovanie základov.

správnosť obrazu. V dokonalej vede však takéto tápanie, takéto zdanie istoty nie je dovolené; v zrelom poznaní musí stáť logická čistota na prvom mieste; iba logicky čisté obrazy možno preverovať z hľadiska ich správnosti, iba správne obrazy možno porovnávať z hľadiska ich účelnosti. Pod tlakom naliehavej potreby sa často postupuje obrátene: najprv sa vynájdu obrazy hodiace sa na zamýšľaný cieľ, potom sa overuje, či sú správne, a až nakoniec sa očisťujú od vnútorných protirečení.

Ak je táto posledná poznámka aspoň do istej miery pravdivá, potom sa nám musí zdať celkom prirodzené, že skúmaný systém mechaniky vykazuje veľmi vysokú účelnosť, keďže sa aplikoval na jednoduché javy, pre ktoré bol na začiatku vymyslený, teda predovšetkým na pôsobenie zemskej príťažlivosti a úlohy praktickej mechaniky. S tým sa však nesmieme uspokojiť, musíme si pripomenúť, že tu teraz nechceme obhajovať potreby každodenného života ani zastávať stanoviská minulých dôb, ale že skôr máme na zreteli celok dnešného fyzikálneho poznania a že navyše hovoríme o účelnosti v špeciálnom zmysle, ktorý sme v úvode presne vymedzili. Je teda našou povinnosťou v prvom rade sa pýtať: Je navrhnutý obraz dokonale zreteľný? Obsahuje všetky črty, ktoré dnešné poznanie dokáže u prírodných pohybov rozlišovať? Na túto otázku musíme odpovedať rozhodne záporne. V prírode sa nevyskytujú všetky tie pohyby, ktoré pripúšťajú základné zákony a ktoré mechanika preberá ako cvičné matematické úlohy; na druhej strane, o prírodných pohyboch, silách a pevných spojeniach môžeme vypovedať viac ako to, čo hovoria prijaté základné zákony. Od polovice tohto storočia sme pevne presvedčení o tom, že v prírode sa skutočne nevyskytujú žiadne sily, ktoré by podmieňovali porušovanie princípu zachovania energie. Oveľa staršie je presvedčenie, že existujú iba také sily, ktoré sa dajú vyložiť ako súhrn vzájomných pôsobení medzi nekonečne malými elementmi hmoty. Ani tieto elementárne sily nie sú neviazané. Ako ich všeobecne uznávané vlastnosti môžeme uviesť to, že sú nezávislé od absolútnej hodnoty času a od absolútneho miesta v priestore. Iné vlastnosti sú sporné. Raz sa predpokladalo a inokedy zasa spochybňovalo, či elementárne sily spočívajú iba v priťahovaní a odpudzovaní pozdĺž spojnice medzi pôsobiacimi hmotnosťami; či je ich veľkosť podmienená iba vzdialenosťou, alebo či nemôže závisieť aj od absolútnej alebo relatívnej rýchlosti a či iba od nej, alebo aj od zrýchlenia, alebo či by nemohli prichádzať do úvahy ešte vyššie derivácie dráhy podľa času. Teda napriek tomu, že nie je dosiahnutá jednota ohľadne všetkých určitých vlastností, ktoré treba prisudzovať elementárnym silám, predsa panuje zhoda v mienke, že sa dá udať a z už jestvujúcich pozorovaní odvodiť viac takýchto všeobecných vlastností ako obsahujú základné zákony. Vládné presvedčenie, že elementárne sily musia mať, zhruba povedané, jednoduchú povahu. To, čo v tomto ohľade platí o silách, možno rovnako povedať o pevných spojeniach telies, ktoré sa matematicky vyjadrujú podmienkovými rovnicami medzi súradnicami a ktorých pôsobenie je určené D'Alembertovým princípom. Z matematického hľadiska možno napísať každú ľubovoľnú konečnú alebo diferenciálnu rovnicu medzi súradnicami a požadovať, aby bola splnená; nie vždy sa však dá nájsť fyzikálne, v prírode sa vyskytujúce spojenie, ktoré zodpovedá tejto rovnici; často existuje domnienka, niekedy presvedčenie, že takéto spojenie je z povahy vecí vylúčené. Akým spôsobom však máme vymedziť prípustné podmienkové rovnice? Kde je hranica medzi nimi a logicky predstaviteľnými rovnicami? Často sa brali do úvahy len konečné podmienkové rovnice.

Toto obmedzenie však zachádza príďaleko, pretože neintegrovateľné diferenciálne rovnice môžu skutočne vystupovať ako podmienkové rovnice pri skúmaní prírody.

Skrátka, pokiaľ ide tak o sily, ako aj pevné spojenia, náš systém princípov síce obsahuje všetky prírodné pohyby, ale súčasne zahŕňa veľmi mnoho pohybov, ktoré sa v prírode nenachádzajú. Systém, ktorý by ich alebo aspoň časť z nich vylúčil, by odzrkadľoval viac skutočných vzájomných vzťahov vecí, a teda by bol v tomto zmysle účelnejší. Je však našou povinnosťou pýtať sa na účelnosť ešte v jednom smere. Je náš obraz aj jednoduchý? Je opatrný pri nepodstatných črtách, teda pri črtách, ktoré sme my sami síce prípustným, ale predsa len ľubovoľným spôsobom pripojili k podstatným črtám prírody? Naše pochybnosti pri zodpovedaní tejto otázky nadväzujú opäť na pojem sily. Nemožno poprieť, že vo veľmi mnohých prípadoch predstavujú sily, ktoré mechanika zavádza pri riešení fyzikálnych otázok, len naprázdno bežiacie bočné kolieska, ktoré strácajú svoju účinnosť všade tam, kde ide o zobrazovanie skutočných faktov. To, pravda, nie je prípad tých jednoduchých vzťahov, ktoré sa stali prvým predmetom mechaniky. Tiaž kameňa a sila ramena sa zdajú ako rovnako skutočné, rovnako prístupné bezprostrednému vnímaniu ako pohyby, ktoré spôsobujú. Stačí však len prejsť napríklad k pohybu hviezd, a už máme pred sebou iné vzťahy. Tu sily nikdy neboli predmetom bezprostrednej skúsenosti; všetky naše predchádzajúce skúsenosti sa vzťahujú iba na zdanlivé miesta hviezd. Ani v budúcnosti neočakávame, že budeme tieto sily vnímať, ale aj budúce skúsenosti, ktoré očakávame, sa budú týkať znovu len polohy žiariacich bodov na oblohe, v podobe ktorých sa nám hviezdy javia. Iba pri odvodzovaní budúcich skúseností z minulých na chvíľu nastupujú ako pomocné veličiny gravitačné sily, hneď nato však z uvažovania vypadávajú. Všeobecne povedané, vec sa má rovnako aj pri skúmaní molekulárnych síl, chemických a mnohých elektrických a magnetických účinkov. A keď sa potom po zrelšej skúsenosti vraciame k jednoduchým silám, o jestvovaní ktorých sme nemali žiadne pochybnosti, dostane sa nám poučenia, že tieto sily, ktoré sme s takou presvedčivou istotou vnímali, v žiadnom prípade neboli skutočné. Hnacia sila každého telesa smerom k Zemi, o ktorej sme sa domnievali, že ju môžeme priam uchopiť rukami, v skutočnosti - ako nám hovorí zrelšia mechanika - ako taká neexistuje, ale je len našou predstavou výslednice neuchopiteľného množstva skutočných síl prítahujúcich atómy telesa voči všetkým atómom univerza. Teda ani tu neboli skutočné sily nikdy predmetom predchádzajúcej skúsenosti a ani neočakávame, že na ne niekedy v budúcej skúsenosti narazíme. Iba potichu vstupujú do procesu a znovu vystupujú počas procesu, v ktorom vyvodzujeme budúce skúsenosti z minulých. Ale aj keby to bolo tak, že sily vnášame do prírody my sami, nemohli by sme preto ich zavedenie ešte označiť ako neúčelné. Od samého začiatku nám bolo jasné, že v našich obrazoch sa nebudeme môcť vyhnúť nepodstatným vedľajším vzťahom. To, čo môžeme požadovať, je nanajvýš zredukovanie týchto vzťahov na minimum a múdra rozvážnosť pri ich používaní. Môžeme však tvrdiť, že fyzika sa v tomto smere vždy mohla správať v zhode s touto opatrnosťou? Nebolo skôr nevyhnutné preplniť svet najrozličnejšími druhmi síl, síl, ktoré sa samy nikdy nezjavujú, ba dokonca takými, ktoré iba úplne výnimočne majú nejaký účinok? Ak napríklad vidíme na stole ležať kus železa, domnievame sa, že tu nie sú žiadne pohybové príčiny, žiadne sily. Fyzika, ktorá je vybudovaná na našej mechanike a ktorá je týmto základom nevyhnutne určovaná, nás ale poučča o niečom inom.

Každý atóm železa je gravitačnou silou priťahovaný ku každému jednému atómu celého sveta. Každý atóm železa je taktiež magnetický a v dôsledku toho je na základe ďalších síl spojený s každým jedným magnetickým atómom sveta. Telesá univerza sú však taktiež nabité pohybovou elektrinou a z týchto elektrín pochádzajú ďalšie komplikované sily, ktoré pôsobia na každý magnetický atóm železa. A keďže aj časti samotného železa obsahujú elektrinu, musíme brať do úvahy opäť ďalšie sily; a okrem týchto potom ešte rozličné druhy molekulárnych síl. Niektoré z týchto síl nie sú malé; keby iba časť z nich bola účinná, mohla by už len táto ich časť roztrhať železo na kusy. V skutočnosti sú však všetky tieto sily navzájom tak vyvážené, že ich celkový účinok je nulový, takže napriek tisícke jestvujúcich pohybových príčin pohyb nenastáva a železo teda zostáva v pokoji. Ak teraz prednesieme tieto predstavy nezaujato mysliacim, kto z nich nám uverí? Koho presvedčíme, že ešte stále hovoríme o skutočných veciach, a nie o výtvoroch svojej bujnej obrazotvornosti? Aj my sami sa však zamyslíme nad tým, či sme skutočne jednoduchým spôsobom opísali a zobrazili pokojový stav železa a jeho častí. To, či sa dá úplne vyhnúť podobným komplikáciám, je nateraz iste sporné; čo však nie je sporné, je to, že systém mechaniky, ktorý by sa im vyhol alebo ktorý by ich vylúčil, by bol jednoduchší a v tomto zmysle účelnejší ako ten, o ktorom sme uvažovali a ktorý takéto predstavy nielenže pripúšťa, ale nám ich priamo nanucuje.

Zhrňme ešte raz stručne pochybnosti, ktoré v nás vznikli pri uvažovaní o obvyklom spôsobe výkladu princípov mechaniky. Čo sa týka formy, zdalo sa nám, že nebola dostatočne jasne stanovená logická hodnota jednotlivých výrokov. Čo sa týka vecnej stránky, zdalo sa nám, že pohyby, ktoré skúma mechanika, sa úplne nekryjú s prírodnými pohybmi, ktoré má skúmať. Niektoré vlastnosti reálnych pohybov sa v mechanike nezohľadňujú; mnohé vzťahy, ktoré mechanika skúma, v prírode pravdepodobne chýbajú. Aj keď tieto kritické poznámky uznávame ako oprávnené, nesmú nás v žiadnom prípade zväzdať k mienke, že by preto obvyklý výklad mechaniky musel stratiť alebo že niekedy stratí svoju hodnotu a svoje výsadné postavenie; sú však dostatočným oprávnením na to, aby sme sa porozhliadli aj po iných výkladoch, ktoré sú v sporných bodoch výhodnejšie a ktoré sú ešte primeranejšie vykladaným veciam.

Z nemeckého originálu Hertz, H.: *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt*. Leipzig, Geest /u./ Portig 1984 preložil Róbert Maco.