

MUSIL



STAT

**T. S. KUHN**

**Štruktúra  
vedeckých  
revolúcií**

NAKLADATELSTVO PRAVDA

kéto a podobné rozlišovania, a preto sotva možno pochybovať o spôsobe, akým uznávam ich dôležitosť a účinnosť. Mnohé roky som ich spájal s povahou poznania a ešte vždy sa nazdávam, že pri správnej interpretácii ani dnes nestratili na dôležitosti. Moje pokusy aplikovať ich — hoci iba *grosso modo* — na súčasnú situáciu, v ktorej získavame, prijímame a osvojujeme si poznatky, ich však mimoriadne sproblematizovali. Dnes sa zdá, že sú skôr integrálnou súčasťou tradične chápaných základných odpovedí práve na otázky, ktoré viedli k ich vzniku, než základnými logickými či metodologickými rozdielmi, ktoré by predchádzali analýzu vedeckého poznania. Tento uzavretý kruh ich však vôbec nezbavuje platnosti, robí ich však súčasťou teórie a vystavuje takej istej prísnej analýze ako teórie v iných oblastiach vedy. Ak ich obsah nemá byť čírou abstrakciou, musí vyplývať zo skúmania ich aplikácie na fakty, ktoré majú vysvetliť. Ako by mohli dejiny vedy zlyhať ako zdroj fenoménov, od ktorých by sa dalo právom očakávať, že sa dajú na ne aplikovať teórie poznania?

## 2. Cesta k normálnej vede

V tejto rozprave označuje termín „normálna veda“ výskum opierajúci sa pevne o jeden alebo viaceré predchádzajúce výdobytky vedy, ktoré pokladá dané vedecké spoločenstvo určitý čas za základ svojej ďalšej vedeckej praxe. Dnes sú tieto výdobytky — aj keď nie vždy v pôvodnej podobe — obsahom učebníc pre začiatočníkov i pokročilých. Tieto učebnice vysvetľujú podstatu uznávanej teórie, uvádzajú mnoho príkladov na jej úspešné uplatnenie a porovnávajú ju so vzorovými pozorovaniami a experimentmi. Skôr než sa takéto knihy na začiatku 19. storočia (a pri novovzniknutých vedeckých odvetviach ešte neskôr) stali populárnymi, podobnú funkciu plnili diela známych klasikov vedy. Aristotelova *Fyzika*, Ptolemaiov *Almagest*, Newtonove *Princípy* a *Optika*, Franklinova *Elektrina*, Lavoisierova *Chémia* a Lyellova *Geológia*, ako aj mnohé ďalšie diela istý čas neoficiálne rozhodovali o oprávnenosti nastoleného problému a v oblasti výskumu určovali metódy pre nasledujúce generácie vedcov. Bolo to možné vďaka tomu, že mali dva základné charakteristické znaky. Ich obsah bol natoľko objavný, že si medzi súperiaciimi smermi vedeckého výskumu získali pomerne stálu skupinu prívržencov, súčasne však ostávali dostatočne otvorené, aby mohli riešenie mnohých problémov prenechať novej skupine vedcov.

Výdobytky vedy, ktoré sa vyznačujú týmito dvoma charakteristickými znakmi, budeme odteraz nazývať „paradigmami“. Tento termín je úzko spätý s termínom „normálna veda“. Jeho voľbou som chcel naznačiť, že niektoré všeobecne akceptované príklady súčasnej vedeckej praxe — zahrnujúce zákon, teóriu, aplikáciu a prístrojové vybavenie — slúžia ako modely, z ktorých vychádzajú určité, vnútorne jednotné tradície vedeckého výskumu. Sú to tradície, ktoré historici uvádzajú pod názvami „ptolemaiovská (alebo kopernikovská) astronómia“, „aristotelovská (alebo newtonovská) dynamika“, „korpuskulárna (alebo vlnová) teória“ atď. Štúdiom paradigiem — vrátane tých, čo sú oveľa špecializovanejšie než tie, ktoré sme uviedli ako príklad — je najdôležitejšou prípravou študenta na jeho vstup do určitého vedeckého spoločenstva, s ktorým bude neskôr vedecky pracovať. Keďže sa tam stretne s ľuďmi, ktorí získali základy svojho odboru štúdiom tých istých konkrétnych vzorov, vo svojej ďalšej vedeckej činnosti sa s nimi iba zriedka dostane do výslovného rozporu v základných otázkach. Vedci, ktorých výskumná činnosť je založená na spoločných paradigmách, riadia sa aj rovnakými pravidlami a normami vedeckej praxe. Táto viazanosť a zjavná zhoda, ktorá z nej vyplýva, je nevyhnutným predpokladom normálnej vedy — t. j. vzniku a ďalšieho rozvoja určitej vedeckovýskumnej tradície.

Keďže v tejto práci bude pojem paradigmy často nahrádzať iné známe pojmy, treba bližšie vysvetliť príčiny, ktoré nás viedli k jeho používaniu. Prečo sú konkrétne vedecké výdobytky ako oblasť určitej profesionálnej záväznosti prvotné vzhľadom na pojmy, zákony, teórie a hľadiská, ktoré možno z nich abstrahovať? V akom zmysle je všeobecne uznávaná paradigma touto základnou jednotkou pre študenta, ktorý sa zaoberá vývinom vedy? Prítom túto základnú jednotku, ktorú predstavuje paradigma, nemožno zredukovať iba na logický

súhrn jej konečných zložiek, ktoré by ju prípadne mohli nahradiť. Odpovede na tieto a podobné otázky nájdeme v 5. kapitole. Budú rozhodujúce pre chápanie normálnej vedy, ako aj pojmu paradigmy, ktorý s ňou úzko súvisí. Táto abstraktnejšia diskusia však predpokladá, že najprv uvedieme príklady z normálnej vedy či pôsobenia určitej paradigmy. Inými slovami, pri objasňovaní oboch týchto navzájom súvisiacich pojmov budeme mať na zreteli, že môže jestvovať aj vedecký výskum bez paradigiem, v krajnom prípade aspoň bez takých jednoznačných a záväzných, aké sme tu uviedli ako príklad. Získanie paradigmy a ezoterický výskum, ktorý umožňuje paradigma, je vo vývoji každej vedeckej oblasti znakom jej zrelosti.

Keď historik sleduje vedecké poznávanie určitej skupiny navzájom súvisiacich javov spätne do minulosti, pravdepodobne sa stretne s nejakým zmenšeným variantom modelu, ktorý sme tu ilustrovali príkladmi z dejín fyzikálnej optiky. V dnešných učebniciach fyziky sa študent dočíta, že svetlo sa skladá z fotónov, t. j. z kvantovomechanických entít, ktoré majú niektoré vlastnosti vlnové a niektoré vlastnosti častíc. Výskum sa uskutočňuje primerane, alebo lepšie povedané, podľa rozvinutejšej a matematizovanej formulácie, z ktorej je odvodené bežné slovné vyjadrenie. Táto charakteristika svetla je však sotva polstoročná. Predtým, ako ju na začiatku tohto storočia rozpracoval Planck, Einstein a iní, v učebniciach fyziky sa uvádzalo, že svetlo je priečne vlnenie. Táto koncepcia vznikla na základe paradigmy siahajúcej svojimi koreňmi až do Youngových a Fresnelových prác z optiky zo začiatku 19. storočia. Vlnová teória však nebola tou prvou teóriou, ktorú prijali takmer všetci odborníci z oblasti optiky. V 18. storočí bola základom paradigmy pre túto oblasť Newtonova *Optika*, v ktorej sa hovorilo, že svetlo, to sú materiálne častice. Fyzici v tom čase hľadali — na rozdiel od prvých stúpencov vlnovej

### 3. Povaha normálnej vedy

Aká je teda povaha tohto profesionálnejšieho a ezoterickejšieho výskumu, ktorý môže skupina vedcov uskutočňovať vďaka prijatiu nejakej paradigmy? Aké ďalšie problémy má teraz zjednotená skupina vedcov riešiť, ak paradigma predstavuje definitívne zavŕšenú vedeckú prácu? Tieto otázky sa stanú ešte naliehavšími, ak si ďalej všimneme, že termíny, ktoré sme doteraz používali, môžu viesť k nedorozumeniu. Slovo paradigma dnes označuje všeobecne prijatý model alebo vzor. Keďže sme nenašli vhodnejší výraz, práve tento jeho aspekt nám umožnil používať ho v našej práci. Čoskoro sa však ukáže, že zmysel výrazov „model“ a „vzor“ nie je celkom totožný s významom, ktorým sa tu obyčajne definuje „paradigma“. Tak napríklad v gramatike „amo, amas, amat“\* predstavuje paradigmu, pretože je vzorom, podľa ktorého sa časuje veľmi veľa iných latinských slov — napr. „laudo, laudas, laudat“\*\*. Pri takomto štandardnom použití pôsobí paradigma tak, že sa z nej dajú odvodiť príklady, z ktorých každý by ju mohol v podstate nahradiť. Na druhej strane, vo vede sa paradigma zriedkakedy dá „kopírovať“ a podlieha takisto ako súdne rozhodnutie prijaté podľa všeobecného práva ďalšie-

\* Amo, amas, amat (lat.) — milovať (pozn. prekl.).

\*\* Laudo, laudas, laudat (lat.) — chváliť (pozn. prekl.).

mu rozpracovaniu a špecifikovaniu v nových alebo zložitejších podmienkach.

Aby sme pochopili, ako je to možné, musíme si uvedomiť, akú obmedzenú škálu pôsobnosti a akú nedostatočnú presnosť môže mať paradigma v období svojho vzniku. Určité paradigmy sa uplatňujú preto, lebo riešia niektoré problémy, ktoré daná skupina vedcov pokladá za naliehavé, úspešnejšie než iné paradigmy. Lenže väčší úspech ešte neznamená absolútny úspech v riešení určitého problému alebo významný úspech pri riešení väčšieho počtu problémov. Úspešná paradigma — či už je to Aristotelova analýza pohybu, Ptolemaiove výpočty polôh planét, Lavoisierovo zavedenie váh či Maxwellova matematizácia elektromagnetického poľa — je spočiatku do značnej miery iba príslubom úspechu, na ktorý možno usudzovať iba z niekoľkých a aj to neúplných príkladov. Normálna veda je realizáciou tohto príslubu, realizáciou, ktorá je prehlbovaním poznatkov o faktoch majúcich z hľadiska paradigmy kľúčový význam, ako aj čoraz dôraznejším „meraním síl“ medzi predpoveďami paradigmy a týmito faktami. Okrem toho predstavuje ďalšiu artikuláciu samej paradigmy.

Iba málokto z tých, čo nepracujú priamo v oblasti nejakej vyspelej vedy, si uvedomujú, koľko takejto „dokončievacej“ práce ešte ostáva po vzniku paradigmy alebo aká naozaj fascinujúca môže byť takáto práca. Mali by sme si to však uvedomiť. Väčšina vedcov venuje celý svoj život práve takýmto „dokončievacím“ prácam. Predstavujú vlastne to, čo v našej práci nazývame normálnou vedou. Ak si túto činnosť všimneme bližšie, či už z hľadiska histórie, alebo v modernom laboratóriu, uvidíme, že je akýmsi pokusom vtiesnať prírodu do vopred zhotovenej a pomerne nepoddajnej škatuľky, ktorou je paradigma. Cieľom normálnej vedy vôbec nie je odhaľovať nové javy; tie, čo sa do škatuľky nevmetia, sa skutočne často prehliadajú. Vedci sa zvyčajne ani neusilujú vytvoriť nové teórie a k teó-

riám iných vedcov sú často netolerantní.<sup>1</sup> Výskum v normálnej vede sa naopak orientuje na precizovanie javov a teórií, ktoré už vyplývajú z paradigmy.

Možno, že sú to nedostatky. Oblasť, ktoré skúma normálna veda, sú, pravda, nevelké; pole jej pôsobnosti je značne ohraničené. No obmedzenia vyplývajúce z „oddanosti“ paradigme sa z hľadiska vývinu vedy stávajú rozhodujúcimi. Paradigma orientuje pozornosť vedcov na malý počet relatívne ezoterických problémov a tým ich núti skúmať určitú oblasť prírody tak detailne a do takej hĺbky, akú by sme si inak ani nevedeli predstaviť. Normálna veda pritom disponuje vnútorným mechanizmom, ktorý zabezpečuje uvoľnenie obmedzení brzdiacich výskum, len čo paradigma, z ktorej vychádzajú vedci, prestane byť efektívna. Dovtedy však, t. j. pokiaľ paradigma pôsobí úspešne, vyriešia vedci v určitej oblasti problémy, o akých sa im ani nesnívalo a ktoré by sa bez záväznosti k paradigme nikdy neboli podujali riešiť. A prinajmenšom aspoň časť výsledkov ich práce si natrvalo zachováva platnosť.

Aby sme jasnejšie ukázali, čo chápeme normálnym výskumom, t. j. výskumom založeným na paradigme, pokúsime sa teraz klasifikovať a ilustrovať problémy, ktoré spravidla tvoria obsah normálnej vedy. Pre ľahšiu orientáciu si nebudeme všimáť teoretickú činnosť a začneme zhromažďovaním faktov — teda experimentmi a pozorovaniami. Ich opis nájdeme v odborných časopisoch, prostredníctvom ktorých sa vedci navzájom informujú o výsledkoch svojho výskumu. O ktorých aspektoch prírody referujú zvyčajne vedci? Čo podmieňuje výber týchto aspektov? Prevažná časť vedeckých pozorovaní je náročná na čas, vybavenie i peniaze. Čo teda podnecuje vedca, aby sa problému, ktorý si zvolil, držal až do konca?

<sup>1</sup> Barber, Bernard: Resistance by Scientists to Scientific Discovery, *Science*, CXXXIV. (1961), s. 596—602.

Nazdávame sa, že existujú iba tri ohniská vedeckého výskumu orientovaného na fakty, ktoré sa nedajú vždy a natrvalo rozlíšiť. Prvým z nich je trieda faktov, ktoré majú z hľadiska paradigmy kľúčový význam pre poznanie povahy vecí. Paradigma ich predurčila na riešenie problémov, a preto ich treba určiť presnejšie a v rozličných situáciách. V jednotlivých obdobiach k takýmto rozhodujúcim určeniam faktov patrilo: v astronómii — veľkosť a poloha hviezd, čas zatmenia dvojhviezdí a planét; vo fyzike — špecifická váha a stlačiteľnosť látok, vlnová dĺžka a spektrálna intenzita, elektrická vodivosť a kontaktné potenciály; a v chémii zloženie látok a pomer molekulových váh, bod varu a stupeň kyslosti roztokov, štruktúrne vzorce a optické aktivity. Snažia sa poznať tieto fakty hlbšie a v širších súvislostiach predstavuje podstatnú časť vedeckej literatúry z oblasti experimentu a pozorovania. Na tento účel skonštruovali vedci veľmi veľa špeciálnych zložitých prístrojov. Vynájst, skonštruovať a ďalej zdokonaľovať takéto prístroje si však vyžadovalo mimoriadne talent, veľa času a značné finančné prostriedky. Synchrotróny a rádioteleskopy sú iba najnovšími príkladmi svedčiacimi o tom, do akej hĺbky preniknú bádatelia vo svojom výskume, ak majú v paradigme záruku, že fakty, ktoré hľadajú, sú dôležité. Od čias Tycha de Brahe po E. O. Lawrencea si niektorí vedci nezískali povest svojimi pôvodnými objavmi, ale vďaka presnosti, spoľahlivosti a škále metód, ktoré vyvinuli, aby presnejšie určili predtým známe fakty.

Druhú, hoci menšiu triedu určených faktov sa vzťahuje na fakty, ktoré sami osebe nie sú veľmi zaujímavé, ale možno ich priamo konfrontovať s predpoveďami vyplývajúcimi z teórie založenej na paradigme. Ako čoskoro ukážeme, keď prejdeme od problémov experimentálneho charakteru k teoretickým problémom normálnej vedy, iba zriedkakedy sa nájde oblasť, kde môžeme vedeckú teóriu — najmä ak je vyjadrená

prevažne matematicky — priamo konfrontovať so skutočnosťou. Tak napríklad z hľadiska Einsteinovej všeobecnej teórie relativity existujú už iba tri takéto oblasti.<sup>2</sup> Navyše aj v oblastiach, kde možno teóriu priamo aplikovať, tento postup si často vyžaduje taký stupeň teoretickej a prístrojovej aproximativnosti, ktorý značne ohraničuje sféru očakávaného súladu medzi teóriou a skutočnosťou. Prehľbovanie tohto súladu či odhalovanie nových oblastí, kde sa súlad vôbec prejavuje, ostáva trvalým podnecovateľom schopnosti a predstavivosti experimentátorov a bádateľov. Špeciálne ďalekohľady, ktoré potvrdili Kopernikovu predpoveď ročnej paralaxy; Atwoodov stroj vynájdený sto rokov po Newtonových *Princípoch*, ktorý ako prvý ukázal platnosť druhého Newtonovho zákona mechaniky; Foucaultov prístroj, ktorý ukázal, že rýchlosť svetla je vo vzduchu väčšia než vo vode alebo obrovský scintilačný počítač skonštruovaný na potvrdenie existencie neutrína — všetky tieto špeciálne prístroje, ako aj mnohé ďalšie predstavujú obrovské úsilie a vynaliezavosť, ktorú si vyžadoval proces prehľbovania zhody medzi teóriou a skutočnosťou.<sup>3</sup> Toto úsilie ukázať zhodu medzi teóriou a skutočnosťou je druhým typom

<sup>2</sup> Jedinou takouto „prístupovou cestou“ aj dnes všeobecne uznanou je precesia Merkúrovho perihélia. Červený posun vo svetelnom spektre vzdialených hviezd možno stanoviť aj na oveľa jednoduchšom základe, ako je všeobecná teória relativity, čo platí zrejme aj o zakrivení svetelných lúčov v blízkosti Slnka — jav, vyvolávajúci v poslednom čase isté pochybnosti. Zatiaľ merania týkajúce sa tohto javu rozhodne nie sú jednoznačné. Ďalšia takéto „prístupová cesta“ sa objavila, ako sa zdá, iba nedávno: gravitačný posun Mössbauerovho žiarenia. Možno že sa čoskoro objavia aj ďalšie v tejto dnes dynamickej, ale dlhý čas pokojnej oblasti. Prehľad o súčasnom stave riešenia tohto problému pozri v Schiff, L. I.: Report on the NASA Conference on Experimental Tests of Theories of Relativity, Physics Today, XIV (1961), s. 42 až 48.

<sup>3</sup> O dvoch paralaktických teleskopoch pozri: Wolf, Abraham: A History of Science, Technology and Philosophy in the Eighteenth Century. 2. vyd. London 1952, s. 103—105. O Atwoodovom

normálnej experimentálnej činnosti, ktorá oveľa väčší závisí od paradigmy ako jej prvý typ. Existencia paradigmy nastoľuje problém, ktorý sa má riešiť; paradigmatická teória je často priamo zahrnutá v projekte prístroja umožňujúceho riešiť problém. Napríklad merania pomocou Atwoodovho stroja by bez Newtonových *Princípov* vôbec nemali zmysel.

Tretia trieda experimentov a pozorovaní predstavuje podľa nášho názoru činnosť, ktorá je v normálnej vede spojená so zhromažďovaním faktov. Tento proces predstavuje empirickú činnosť venovanú artikulácii paradigmatickej teórie. Tým sa odstránia pretrvávajúce nejasnosti a vznikne možnosť riešiť problém, na ktorý teória predtým iba upozornila. Táto trieda je zo všetkých najdôležitejšia a jej opis si vyžaduje, aby sme ju rozdelili na niekoľko podtried. Vo vedách s vyšším stupňom matematizácie sú niektoré experimenty, ktorých cieľom je artikulácia paradigmy, zamerané na určenie fyzikálnych konštánt. Newtonove práce napríklad ukázali, že sila, ktorou sa dve hmotnostné jednotky pri jednotkovej vzdialenosti navzájom priťahujú, je pri všetkých látkach, nezávisle od ich polohy vo vesmíre, rovnaká. No vlastné problémy, ktoré jeho práca nastoľovala, dali sa riešiť aj bez približného určenia veľkosti tejto príťažlivej sily — t. j. univerzálnej gravitačnej konštanty; no za celých sto rokov po vyjdení *Princípov* nik neskonštruoval prístroj, ktorý by ju umožnil určiť. Ani Cavendishov známy spôsob určenia tejto konštanty v deväťdesiatych rokoch 18. storočia nebol posledným slovom. Gravitačná konštanta má vo

stroji pozri: Hanson, N. R.: Patterns of Discovery. Cambridge 1958, s. 100—102, 207—208. O týchto dvoch špeciálnych prístrojoch pozri: Foucault, M. L.: Méthode générale pour mesurer la vitesse de la lumière dans l'air et les milieux transparents. Vitesses relatives de la lumière dans l'air et dans l'eau..., Comptes rendus... de l'Académie des sciences, XXX (1850), s. 551—560; a Cowan, C. L. Jr. et al.: Detection of the Free Neutrino: A Confirmation, Science, CXXIV (1956), s. 103—104.

fyzikálnej teórii kľúčové postavenie, a preto sa odvtedy mnoho významných experimentátorov opätovne pokúšalo čo najpresnejšie určiť jej hodnotu.<sup>4</sup> Ako príklady takejto práce, ktorá ešte nebola s konečnou platnosťou zavŕšená, by sme mohli uviesť stanovenie astronomickej jednotky, Avogadrovho čísla, Joulovho koeficientu, náboja elektrónu atď. Bez paradigmatickej teórie, ktorá nastolila problém a zaručovala možnosť jednoznačného riešenia, by sa iba zriedka bolo zrodilo také obrovské úsilie a ani v jednom z uvedených príkladov by nebolo vydržalo do konca.

Úsilie o artikuláciu paradigmy sa však neobmedzuje iba na určenie univerzálnych konštánt. Jeho cieľom môže byť napríklad aj formulovanie kvantitatívnych zákonov: Boylov zákon, určujúci vzťah medzi tlakom a objemom plynu, Coulombov zákon elektrickej príťažlivosti dvoch nabitých telies či Joulov vzorec pre výpočet množstva tepla, ktoré vzniká pri prechode elektrického prúdu vodičom a závisí od jeho odporu — to všetko sú príklady takýchto kvantitatívnych zákonov. Na prvý pohľad azda nie je zrejmé, že paradigma je predpokladom objavu takýchto zákonov. Často sa stretávame s názorom, že ich objavujú pokusnými meraniami zameranými práve na formulovanie týchto zákonov a bez viazanosti na akúkoľvek teóriu. História však odporuje takto excesívne chápanej baconovskej metóde. Boyleve experimenty boli nemysliteľné (a keby aj — boli by mali celkom inú interpretáciu alebo nijakú), kým sa vzduch pokladal za pružné fluidum, na ktoré sa dali aplikovať všetky pojmy hydrostatiky.<sup>5</sup>

<sup>4</sup> J. H. P. (oynting) opisuje vyše dvadsať meraní gravitačnej konštanty v období medzi rokom 1741—1901 vo svojej práci *Gravitation Constant and Mean Density of the Earth*, *Encyclopaedia Britannica*. 11. vyd. Cambridge 1910—1911, XII, s. 385—389.

<sup>5</sup> O jednoznačnom zavádzaní hydrostatických pojmov do „pneumatiky“ pozri: *The Physical Treatises of Pascal*, preložil I. H. B. Spiers a A. G. H. Spiers s úvodom a poznámkami F. Barryho. New York 1937. Ako Torricelli prvý raz použil analógiu („žijeme

Coulomb vďačí za svoj úspech tomu, že skonštruoval špeciálny prístroj na meranie sily medzi bodovými nábojmi. [Vedci, ktorí predtým merali elektrické sily pomocou obyčajných miskových váh a pod., neodhalili nijakú stálu či jednoduchú zákonitosť.] Skonštruovaniu tohto prístroja však zasa predchádzalo poznanie, že všetky čiastočky elektrického fluida vzájomne na seba pôsobia na vzdialenosť. Coulomb hľadal práve silu tohto pôsobenia. Bola to jediná sila, ktorú si bolo možné celkom dobre predstaviť ako jednoduchú funkciu vzdialenosti.<sup>6</sup> Joulove experimenty rovnako ukazujú, ako sa pri artikulácii paradigmy objavujú kvantitatívne zákony. Skutočne vzťah medzi kvalitatívnou paradigmou a kvantitatívnym zákonom je taký zrejmý a bezprostredný, že od čias Galileiho vedci tieto zákony pomocou paradigmy často správne „vytúšili“ dávno predtým, ako boli schopní skonštruovať prístroj na ich experimentálne určenie.<sup>7</sup>

A napokon jestvuje ešte tretí druh experimentu, ktorého cieľom je artikulácia paradigmy. Tento experiment sa najväčšmi približuje výskumnej činnosti a prevláda najmä v tých obdobiach a vedách, ktoré skúmajú skôr kvalitatívne než kvantitatívne aspekty prírodných zákonitostí. Paradigma formulovaná pre istú oblasť javov často stráca svoju jednoznačnosť, ak ju aplikujeme na inú oblasť príbuzných faktov. Potom je nevyhnutné určiť experimentálne jeden z možných spôsobov aplikácie paradigmy v novej oblasti záujmu. Tak napríklad teória tepla sa mala v úlohe paradigmy uplatňovať pri skúmaní procesu zahrievania a ochla-

ponorení na dno vzdušného oceánu“) nájdeme na s. 164. Jej rýchly vývin zaznamenávajú dve hlavné štúdie uvedenej práce.

<sup>6</sup> Duane Roller a Duane H. D. Roller: *The Development of the Concept of Electric Charge: Electricity from the Greeks to Coulomb*. Harvard Case Histories in Experimental Science, Case 8; Cambridge, Mass. 1954, s. 66—80.

<sup>7</sup> Príklady pozri v štúdiu T. S. Kuhna *The Function of Measurement in Modern Physical Science*, Isis, LII (1961), s. 161—193.

dzovania miešaním a zmenou skupenstva. Teplo sa však môže uvoľňovať i absorbovať mnohými inými spôsobmi — napr. chemickým zlučovaním, trením, stlačením či absorpciou plynu. Na každý z týchto javov možno pritom paradigmu aplikovať niekoľkými spôsobmi. Napríklad keby vákuum malo tepelnú kapacitu, potom by sa mohlo zahrievanie stlačením vysvetľovať ako miešanie plynu so vzduchoprázdnom alebo ako dôsledok zmeny merného tepla plynov v súvislosti so zmenou tlaku. Existovalo ešte niekoľko ďalších vysvetlení tohto javu. Vedci uskutočnili mnohé experimenty, aby sa všetky tieto možnosti starostlivo preskúmali a vymedzili rozdiely medzi nimi. Všetky tieto experimenty vychádzali z teórie tepla ako z paradigmy a všetky ju používali pri príprave experimentov a interpretácii ich výsledkov.<sup>8</sup> Odvtedy čo sa zistilo a potvrdilo zahrievanie stlačením, všetky ďalšie experimenty v tejto oblasti sa stali závislými od paradigmy. Ako inak by sa bol mohol zvoliť experiment na vysvetlenie určitého javu?

Prejdime teraz k teoretickým problémom normálnej vedy, ktoré možno rozdeliť takmer do rovnakých tried ako problémy experimentu a pozorovania. Časť normálnej teoretickej činnosti, aj keď nie veľká, spočíva jednoducho v tom, že na základe existujúcej teórie predpovedá fakty, ktoré majú hodnotu samy osebe. Výpočet astronomických efemeríd, výpočet vlastností šošoviek a určenie kriviek šírenia rádiových vln sú príkladmi takýchto problémov. Vedci, pravda, pokladajú túto činnosť za „nádennícku“ prácu, ktorú treba prenechať inžinierom alebo technikom. Vo významných vedeckých časopisoch sa o nej nikdy príliš veľa nepíše. V týchto časopisoch však nájdeme veľmi veľa teoretických diskusií o problémoch, ktoré sa laikovi musia zdať takmer rovnakými. Tieto diskusie

<sup>8</sup> Kuhn, T. S.: The Caloric Theory of Adiabatic Compression, *Isis*, XLIX (1958), s. 132—140.

predstavujú prácu s teóriou. Vedci sa jej nevenujú nie preto, lebo predpovede vyplývajúce z jej výsledkov majú samostatný vlastný význam, ale preto, lebo sa tieto predpovede dajú priamo konfrontovať s experimentom. Jej cieľom je ukázať nové možnosti aplikácie paradigmy alebo spresniť spôsob aplikácie, ktorá sa už uskutočnila.

Potreba takejto činnosti pramení z obrovských ťažkostí, s ktorými sa často možno stretnúť v jednotlivých obdobiach vývinu vzťahu medzi teóriou a skutočnosťou. Skúmanie dejín dynamiky po Newtonovi môže byť malou ukážkou takýchto ťažkostí. Na začiatku 18. storočia vedci, pre ktorých sa *Princípy* stali paradigmou, prijali bez výhrad všeobecnú platnosť ich záverov. Vtedy mali na to všetky dôvody. Nijaká iná práca v dejinách vedy neumožnila natoľko rozšíriť sféru výskumnej činnosti a súčasne prehĺbiť jej presnosť. Pokiaľ išlo o oblohu — Newton odvodil Keplerove zákony pohybu planét a vysvetlil aj niektoré pozorované úkazy, pri ktorých sa pohyb Mesiaca vymykal týmto zákonom. Pokiaľ išlo o Zem — potvrdil výpočtom výsledky niektorých sporadických pozorovaní pohybu kyvadla, na naklonenej rovine a prílivu a odlivu. Pomocou vedľajších predpokladov, no nie predpokladov ad hoc, vedel odvodiť Boylov zákon a dôležitý vzorec rýchlosti zvuku vo vzduchu. Vzhľadom na vtedajší stupeň vývinu vedy bolo úspešné demonštrovanie týchto zákonov neobyčajne pôsobivé. Newtonove zákony mali však príliš všeobecný charakter, a preto sa dali uplatniť iba v niekoľkých prípadoch. Sám Newton neprišiel takmer na nijaké ďalšie možnosti. Ba v porovnaní s tým, čo je dnes schopný s nimi dosiahnuť každý absolvent štúdia fyziky, ani tých niekoľko prípadov uplatnenia nebolo presných. Napokon *Princípy* mali slúžiť predovšetkým na riešenie problémov nebeskej mechaniky. Vôbec nebolo jasné, ako ich použiť pri vysvetľovaní pohybu na Zemi, najmä však so zreteľom na trenie. Riešenie problémov pohybu



na Zemi bolo už vtedy poznamenané veľmi úspešne používanými metódami celkom iného charakteru. Ich tvorcami boli Galilei a Huyghens a do celej Európy sa rozšírili v priebehu 18. storočia zásluhou Bernoullisa, d'Alemberta a mnohých iných. O týchto metódach sa predpokladalo, že sú špeciálnym prípadom všeobecnejšie formulovaných *Princípov*, ale istý čas nikto nevedel celkom presne určiť tento vzťah.<sup>9</sup>

Venujme teraz chvíľku pozornosti otázke presnosti. Na jej empirický aspekt sme už poukázali. Na získanie špeciálnych údajov, ktoré si vyžadovalo konkrétne uplatnenie Newtonovej paradigmy, boli potrebné špeciálne zariadenia, ako Cavendishov prístroj, Atwoodov stroj či zdokonalený ďalekohľad. Podobné ťažkosti existovali aj pri zladovaní teórie so skutočnosťou. Newton bol napríklad nútený pri aplikovaní svojich zákonov na pohyb kyvadla pokladať závažie za hmotný bod, aby mohol presne určiť dĺžku kyvadla. Okrem niekoľkých výnimiek hypotetického a prechodného charakteru väčšina jeho teorém nebrala do úvahy odpor vzduchu. Tieto teorémy boli oprávnené fyzikálne aproximácie. Lenže aproximácie znižovali stupeň očakávaného súladu medzi Newtonovými predpoveďami a samými experimentmi. Tieto ťažkosti sa ešte výraznejšie prejavili pri aplikovaní Newtonovej teórie na pohyb nebeských telies. Jednoduché kvantitatívne pozorovania pomocou ďalekohľadu ukazujú, že planéty sa pri svojom pohybe nesprávajú celkom podľa Keplerových zákonov a podľa Newtonovej teórie by sa podľa nich ani nemali správať. Pri odvodzovaní týchto

<sup>9</sup> Truesdell, C.: A Program toward Rediscovering the Rational Mechanics of the Age of Reason, *Archive for History of the Exact Sciences*, I (1980), s. 3—38 a *Reactions of Late Baroque Mechanics to Success, Conjecture, Error and Failure in Newton's Principia*, *Texas Quarterly*, X (1987), s. 281—297. Hankins, T. L.: The Reception of Newton's Second Law of Motion in the Eighteenth Century. *Archives internationales d'histoire des sciences*, XX (1987), s. 42—85.

zákonov bol Newton nútený načisto zanedbať gravitačnú príťažlivosť (okrem príťažlivosti medzi jednotlivými planétami a Slnkom). Medzi planétami však existuje aj vzájomná príťažlivosť, a preto sa medzi jeho teóriou a pozorovaniami dal očakávať iba približný súlad.<sup>10</sup>

Konečný súlad bol, pravda, pre tých, čo ho dosiahli, viac než uspokojivý. S výnimkou niektorých problémov pohybu na Zemi nemohla byť nijaká iná teória ani približne taká úspešná. Ani jedna z teórií, ktoré spochybňovali platnosť Newtonových záverov, nemala úspech, lebo nezodpovedala dostatočne pozorovaniam a experimentom. Vďaka týmto nedostatkom vo vzťahu medzi teóriou a experimentom však ostalo Newtonovým nasledovníkom ešte veľa príťažlivých teoretických problémov. Tak napríklad boli potrebné nové teoretické postupy na vysvetlenie pohybu viacerých než dvoch navzájom sa priťahujúcich telies a na určenie stability rušených obežných dráh. Tieto problémy zamestnávali v 18. a začiatkom 19. storočia mnohých vynikajúcich európskych matematikov. Euler, Lagrange, Laplace, Gauss — všetci venovali aspoň niektoré zo svojich veľmi úspešných prác problémom, ktorých riešenie malo čiastočne odstrániť nesúlad medzi Newtonovou paradigmou a pozorovaniami nebeských javov. Mnohí z týchto vedcov súčasne rozpracovávali matematické postupy, ktoré si vyžadovali aplikovanie Newtonovej teórie a o ktoré sa ani Newton, ani predstavitelia mechaniky na kontinente vôbec nepokúsili. Z ich pera vyšlo napríklad obrovské množstvo prác a niekoľko veľmi významných matematických postupov pre oblasť hydromechaniky a riešenie problému kmitania strún. Tieto problémy spojené s aplikáciou teórie predstavujú pravdepodobne najvýznamnejšiu a najnároč-

<sup>10</sup> Wolf, cit. dielo, s. 75—81, 96—101; a Whewell, William: *History of the Inductive Sciences*, rev. vyd. London 1847, II, s. 213—271.

nejšiu časť vedeckej praxe 18. storočia. Ďalšie prípady by sme mohli nájsť pri skúmaní poparadigmatického obdobia vo vývine termodynamiky, vlnovej teórie svetla, teórie elektromagnetického poľa a v každej vedeckej disciplíne, kde majú základné zákony čisto kvantitatívny charakter. Platí to aspoň o vedách s vyšším stupňom matematizácie, kde prevažná časť teoretickej práce spočíva v riešení takýchto problémov.

Spomínaná teoretická práca sa však nevyčerpáva iba týmto druhom činnosti. Dokonca v matematických vedách existujú teoretické problémy rozpracovania paradigmy; dominujú práve v obdobiach, keď má vývin vedy prevažne kvalitatívny charakter. Vo vedách s prevažne kvantitatívnymi, ale aj kvalitatívnymi metódami sa vedci usilujú objasniť niektoré problémy jednoducho ich reformulovaním. Tak napríklad *Princípy* sa nedali vždy ľahko aplikovať; čiastočne preto, lebo boli poznamenané ťažkopádnosťou príznačnou pre každý druh priekopníckej práce, a čiastočne preto, lebo ich význam bol zväčša iba implicitne obsiahnutý v jednotlivých prípadoch ich praktického uplatnenia. V mnohých prípadoch pri uplatňovaní tejto teórie na oblasť pohybu na Zemi sa rozhodne zdal oveľa účinnejším systém metód, ktoré vypracovali vedci na kontinente a ktoré zdanlivo nesúviseli s danou problematikou. Od Eulera a Lagrangea v 18. storočí až po Hamiltona, Jacobiho a Hertza v 19. storočí sa mnoho vynikajúcich európskych matematických fyzikov opätovne pokúšalo prepracovať teóriu mechaniky do zodpovedajúcej, ale logicky a esteticky vyhovujúcej podoby. Chceli teda explicitne aj implicitne vyjadrené myšlienky *Princípov* i mechaniky na kontinente reformulovať do logicky koherentnejšej verzie, ktorá by bola pri aplikácii na nové problémy mechaniky jednotnejšia a zároveň jednoznačnejšia.<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Dugas, René: *Histoire de la mécanique*. Neuchâtel 1950, kniha IV—V.

Podobné nové verzie nejakej paradigmy sa z času na čas vyskytli vo všetkých prírodných vedách, no väčšinou viedli v porovnaní s reformuláciou *Princípov* k podstatnejším zmenám v paradigme. Tieto zmeny sú výsledkom empirickej práce, ktorú sme už predtým charakterizovali ako úsilie o rozpracovanie paradigmy. Naše charakterizovanie tohto druhu práce ako empirickej bolo, pravda, vecou dohody. Problémy súvisiace s rozpracovaním paradigmy majú zároveň experimentálny aj teoretický charakter; v tomto ohľade sa líšia od všetkých iných druhov normálneho výskumu. Príklady, ktoré sme uviedli, dobre nám poslúžia aj teraz. Skôr než mohol Coulomb skonštruovať svoj prístroj a použiť ho na meranie, musel pomocou teórie elektriny určiť spôsob jeho konštrukcie. Výsledkom jeho merania bolo zdokonalenie tejto teórie. Alebo iný príklad: tí istí vedci, ktorí vyvinuli experimenty na určenie rozdielu medzi rozličnými teóriami zahrievania stlačením, boli väčšinou aj autormi porovnávaných verzí. Pracovali s faktami i s teóriou a výsledkom ich práce neboli len nové poznatky, ale aj dokonalejšia paradigma. Dosiahli ju odstránením nejednoznačností, ktorými bola ešte poznamenaná pôvodná podoba ich paradigmy. V mnohých vedách má prevažná časť normálnej vedeckej práce takýto charakter.

Nazdávame sa, že tri základné okruhy problémov, ktoré sme tu uviedli — určenie význačného faktu, konfrontovanie faktov s teóriou a rozpracovanie teórie — vyčerpávajú obsah vedeckých prác empirického i teoretického charakteru v normálnej vede. Tieto okruhy problémov, pravdaže, nevyčerpávajú obsah celej vedeckej literatúry. Existujú aj mimoriadne problémy a možno že práve zásluhou ich riešenia je veda ako celok hodná svojho mena. Takéto mimoriadne problémy nás však nemusia zaujímať. Vznikajú iba za zvláštnych okolností, ktoré sú pripravované vývinom normálneho vedeckého výskumu. Preto prevažná väčšina problémov, ktoré riešili (aj tí najlepší vedci, patri

spravidla do jednej z troch uvedených kategórií. Vedecká práca usmerňovaná paradigmatom sa nemôže uberať iným smerom; opustiť paradigmatum znamená prestať byť činným vo vede vymedzenú touto paradigmou. Čoskoro ukážeme, že takéto prechody sa paradigmy vo vede jestvujú. Sú to z hľadiska vedeckých revolúcií rozhodujúce momenty. Skôr než začneme skúmať tieto revolúcie, musíme získať plastickejší obraz o snaženiach normálnej vedy, ktoré im pripravujú cestu.

#### 4. Normálna veda ako riešenie hlavolamov

Azda najpozoruhodnejším znakom problémov normálneho výskumu, s ktorými sme sa práve stretli, je skutočnosť, že iba zriedka vyúsťujú do niečoho zásadne nového — či už v pojmovej, alebo v javovej oblasti. Niekedy — napríklad pri meraní vlnovej dĺžky — je celý výsledok okrem najskrytejších detailov už vopred známy a príslušná škála očakávaní je len o niečo širšia. Coulombove merania teda nemuseli súhlasiť so zákonom vyjadrujúcim závislosť sily od prevrátenej hodnoty štvorca vzdialenosti; vedci, ktorí skúmali zahrievanie stlačením, boli často pripravení na hociktorý z viacerých možných výsledkov. Dokonca aj v takýchto prípadoch je škála predvídaných, a teda prijateľných výsledkov v porovnaní s možnosťami predstavivosti vždy malá. Vedecký program, ktorého výsledok nezapadá do takejto užšej škály, je zvyčajne iba výskumným neúspechom, ktorý nejde na účet prírody, ale na účet vedca.

V 18. storočí sa napríklad málo pozornosti venovalo experimentom, ktoré merali elektrickú príťažlivosť pomocou zariadení, akými boli miskové váhy. Keďže tieto experimenty nevedli k výsledkom súvisiacim s predchádzajúcim výskumom, ale ani k výsledkom s ním nesúvisiacim, nemohli sa využiť pri rozpracovaní paradigmy, ktorou sa riadili. Preto ostali *holými* faktami, ktoré nesúviseli ani sa nedali uviesť do súvislosti