

POJEM MERANIA Z ASPEKTOV SÚČASNEJ METODOLÓGIE POZNANIA

JURAJ BOLF — ŠTEFAN DUBNIČKA, Ústav merania a meracej techniky SAV, Bratislava

BOLF, J., DUBNIČKA, S.: The Concept of Measurement from the Aspect of Contemporary Methodology of Science. *Filozofia* 42, 1987, No. 6, p. 689

The paper deals with the concept of measurement as an important process of knowing in contemporary science. It analyses physical aspects of measurement in biological measurements and it deduces the importance of physical quantification on the basis of contemporary stage of knowledge in the sphere of scientific experiments.

The stress is laid upon the aspect of the qualitative-quantitative relation in processes of measurement which is realized on different levels of knowing — from theoretical modelling to experimental verification.

Vedu možno definovať ako neohraničenú množinu konečného počtu poznatkov, v ktorých sa odrážajú, vysvetľujú a vyjadrujú zákonitosti prírody, pričom množina týchto poznatkov tvorí univerzálny vedecký systém. Podobne každá vedecká disciplína prináležiaca svojou podstatou k časti tohto univerza, si vytvára vlastný lokalizovaný systém poznatkov, ktorého vnútorná podstata má špecifické zvláštnosti charakterizované vlastnosťami a vzťahovými stránkami nejakej skutočnosti. Každú jednoduchú alebo zložitú predstavu o jave, procese alebo individuálnom objekte si v metodológii vytvárame na základe získaných poznatkov, o ktorých boli vyslovené určité presné alebo menej jasné výpovede. Konečnú alebo celistvú predstavu o jave, procese, systéme a objekte si takto metodológia vytvára na základe súboru výpovedí, ktoré sú získané vedeckými metódami a postupmi, čím sa táto významná vedecká disciplína stáva otvoreným systémom výpovedí, vzájomne viazaných jednotlivými vzťahmi, ktorých podstata určuje nielen individuálny charakter prvkov vedekého systému, ale aj celého systému poznávania. Systémové vzťahy vyjadrené vo forme postupných deduktívnych a induktívnych výpovedí, tvoria často bázu vedeckého systému. Ak štruktúra týchto výpovedí tvorí taký ucelený systém, ktorého vzťahové vlastnosti dovoľia odvodiť, dokázať alebo vyrobiť ďalšie výpovede nachádzajúce sa v jednotlivých klasifikačných skupinách a podskupinách uvažovaného systému, potom takýto systém môže byť axiomatický. To znamená, že systémové vzťahové vlastnosti sa nemusia stotožňovať s deduktívnymi vlastnosťami, ktoré sú budované na využívaní vlastností vzťahu podobnosti a vzťahu prenášať túto podobnosť a obsadzovať ju v iných prvkoch systémovej množiny. Aby sme vo vede získali principiálne nové poznatky, musíme postupovať systémove, využívajúc popri deduktívnych a induktívnych postupoch tiež axiomatické metódy (1, 2).

Identifikácia hypotetických výrokov je metodologicky veľmi podstatná, najmä vo fyzikálnych a biologických vedách, o ktorých nemožno tvrdiť tak, ako v matematike, že z hypotéz vyplývajú celkom isté reálne dôsledky, ktoré sú postupne doplňované empiricky konkrétnymi faktmi. Empirické pojmy a tvrdenia môžu mať interpretačný charakter bez toho, aby kvôli tomu mali teoretický charakter v tom zmysle, že sú začlenené v klasickom logickom systéme, alebo v jeho axiomatickej variante, zaisťujúcej abstraktizáciu nereálnych pojmov. Ak sa ukáže, že nejaká axiomatizovaná teória postihujúca určitý obor skúmania je systémovo neúplná, stráca tým samotná axiomatizácia na svojej príťažlivosti. Zdôvodnenie aplikovanej matematiky, ktorá modeluje fakty reálnej prírody, sa hľadá skôr v jej uzavretosti, vzhľadom na empirické operácie a štruktúry, o ktorých sa často nesprávne súdi, že sú, alebo môžu byť zvlášť jednoduché a jasné; než v nejakom dôkaze prisudzovať jej axiomatický charakter. Matematické modelovanie zákonov prírody tvorí istý kategoriálny komplex, súbor, a najmä v biológii, množstvo zvláštnych zákonitých foriem, viazaných na postupy identifikácie a konfrontácie.

Pojem kategoriálny súbor—komplex zasahuje do oblasti subjektívnej logiky, a tým zasahuje do našich výpovedí a dodáva, napríklad, teoretickému systému istú individualitu a konkrétnosť. Preto ho logická štruktúra charakterizuje z hľadiska všeobecnosti a čiastočne abstraktnosti. Rôzne typy foriem usudzovania určujú rôzne typy logických štruktúr, a teda i rôzne typy teoretických systémov — deduktívne, vrátane axiomatických a hypoteticko-deduktívnych, nededuktívne a pod. Kategoriálny súbor a logická štruktúra sa takto stávajú dvomi neoddeliteľnými charakteristikami v procese poznávania, ktoré tvoria základ pre charakteristiku vzťahov medzi dvoma a viacerými rôznymi teoretickými systémami. Na základe porovnania kategoriálneho súboru a logickej štruktúry rôznych teoretických systémov možno medzi nimi napríklad zistiť vzťahy identickosti, izomorfie, rôznorodosti atď.

Meranie v metodológii poznania

Najdôležitejšou metodologickou kategóriou v teórii merania je kategória veličiny, k definícii ktorej v rámci tejto špeciálnej vednej disciplíny možno dôjsť zavedením celého množstva pojmov špeciálnych a vlastných jednotlivým vedným disciplínam, v ktorých sa ale spätne odrážajú rôzne aspekty všeobecnej filozofickej kategórie kvantity, ale aj kvality. Tu práve možno hovoriť o nevyhnutnosti spätosti prírodných vied a filozofie, ktorých aspekt sa zjednocuje v pojme kvantitatívny údaj, informácia, hodnota, číslo, znak atď., ktoré sa vzťahujú na reálny objekt.

Jednotlivé aspekty, ktorými sa meranie a jeho teória zaoberajú, zodpovedajú reálnym javom, procesom, objektom, pričom kvalitatívne a kvantitatívne poznatky sa vlastne líšia tým, že postihujú objektívne

skutočnosti reality na rôznych úrovniach nášho poznávania. Možno povedať, že kvalitatívne poznatky o javoch, procesoch, objektoch sú obsiahnuté v pojmoch, hypotézach, vetách, definíciách, teóriách a získavame ich na základe skúseností, skúmania, štúdia, pozorovania a v nemalej miere pomocou médií rôznych informačných prostriedkov. Kvantitatívne poznatky získavame v číslach alebo iných znakoch, a to na základe rozlišovania vzájomných a porovnávacích alebo iných ukazovateľov a vzťahov medzi jednotlivými javmi, objektmi alebo celými ich množinami, pričom táto kategória poznatkov má striktné relačný charakter.

Súbor kvantitatívnych poznatkov istého druhu reprezentuje nielen triedu istých údajov a záznamov, charakteristík, ale aj ich vzájomné relácie, resp. vzťahy, ktoré môžeme zisťovať a neustále upresňovať pozorovaním, meraním, všeobecne možno povedať, že experimentovaním. To znamená, že môžeme hovoriť o istej štruktúre súboru poznatkov, ktorej zodpovedajú isté empiricky zistené stavy a relačné vzťahy medzi nimi. Na základe toho možno hovoriť, že uvedené relácie a vzťahy utvárajú empirickú relačnú štruktúru a každý kvantitatívny údaj sa týka takto prvku niektorej z takýchto štruktúr.

Empirickú štruktúru utvorenú na základe praktických skúseností, resp. výsledkov vedeckých experimentov možno opísať aj kvalitatívne, bez použitia matematického aparátu. Ak za abstrakciou empirickej štruktúry nájdeme takú abstraktnú štruktúru, ktorá je izomorfná s niektorou známou matematickou štruktúrou, hovoríme o izomorfizme medzi empirickou a matematickou štruktúrou. Množiny prvkov empirických štruktúr zvykneme nazývať triedami alebo klasifikátormi.

Výsledkom poznávacieho procesu využívajúceho meranie a jeho kvantitatívne znaky je vlastne číre konštatovanie faktu, vedúceho k priradeniu istej kvality alebo vlastnosti objektu, s ktorými sa pri tomto procese stretávame. Pri pozorovaní zisťujeme takéto fakty globálne, a to bez ohľadu na iné fakty objektu. Vlastnosti určované priamo alebo nepriamo pozorovaním nazývame pozorovateľné, resp. observačné vlastnosti. Pri porovnávaní zisťujeme nové fakty vo forme vzájomných vzťahov medzi jednotlivými pozorovateľnými vlastnosťami. Vlastnosti určené pozorovaním majú charakter relačných vlastností. Súbor objektov, v ktorom môžeme robiť porovnanie, nazývame porovnanou triedou a vlastnosť, ktorú porovnáваме, porovnávacou vlastnosťou. Výsledok porovnávania určujeme porovnávacím kritériom. Experimentovaním určujeme vzájomné vzťahy medzi dvomi porovnávacími vlastnosťami v tej istej porovnávacej triede. Fakt získaný experimentom má charakter empirického zákona, ak je záruka, že jeho konštatovanie na inom mieste a v inom čase povedie za rovnakých podmienok k rovnakým výsledkom.

Merateľná vlastnosť a empirická štruktúra

Pri určovaní merateľnej vlastnosti treba vymedziť empirickú štruk-

túru tejto vlastnosti a kvantifikovať ju, t. j. zobraziť ju izomorfne matematickou štruktúrou. Pri vymedzovaní empirickej štruktúry pre nejakú merateľnú vlastnosť vychádzame z vhodnej porovnávacej triedy objektov, v ktorej definujeme porovnávaciu vlastnosť. Na základe skúseností (alebo experimentov) so skladaním a porovnávaním rôznych fyzikálnych veličín môžeme hovoriť o ich usporadúvaní a sčítavaní, ktorými sú definované relačné vlastnosti určujúce empirickú relačnú štruktúru meranej veličiny. Ak podobným spôsobom utvoríme, napríklad, vážením empirickú relačnú štruktúru tiaže a dĺžky, môžeme uviesť, že obidve uvedené empirické štruktúry sú izomorfné. Obe tieto empirické štruktúry môžeme preto zobraziť tou istou matematickou štruktúrou, a to Helmholtzovou štruktúrou aditívnosti. Podobne sa postupuje pri utváraní empirických štruktúr iných merateľných vlastností.

Merateľná vlastnosť nie je definovaná pre jediný stav objektu, ako sú definované pozorovateľné vlastnosti, ale vždy pre istú triedu pozorovateľných vlastností, definovanú buď pomocou porovnávacej triedy objektov, alebo pomocou rôznych stavov toho istého objektu. Merateľná vlastnosť matematickej štruktúry je teda definovaná na vyššom stupni abstrakcie, ako sú definované pozorovateľné vlastnosti.

Matematický model možno teda označiť tiež ako formu opisu vlastností alebo dejov pomocou logických symbolov, s vedome prípustnou idealizáciou, schopnou dôsledne konfrontovať subjektívne predstavy a reálnu poznateľnosť živej časti prírody s pozorovaním alebo meraním.

Obyčajne každý vstup subjektu do procesu poznávania jednoduchých alebo zložitých dejov prírody je podmienený tvorbou matematických teórií alebo schém.

Metodologická problematika merania, napríklad, vo fyzikálnych alebo v biologických experimentoch sa síce vzťahuje na veľmi rozsiahlu triedu pojmov, javov, stavov, procesov a situácií, avšak z nich najpodstatnejšie sú: merateľnosť fyzikálnych veličín, prípadne veličiny z hľadiska ich metód a kategorizácie definície a vzťahu k reálnym fyzikálnym, alebo biologickým objektom ako ich nositeľom, spôsob ich fyzikálneho prejavu, ich normálií alebo iných znakov informácie. Metodika merania fyzikálnych veličín, naväzujúca na fyzikálne efekty združené s kvantitatívnou vlastnosťou skúmanej veličiny je fundamentálnym problémom merania, spolu s vyhodnocovaním meronostných poznatkov (informácií) a ich interpretáciou. Metodológia fyzikálnych realizácií a empirických postupov týchto metód je logickým jazykom merania — inštrumentalizáciou a s ňou združená teória mechanizmov a technológia je nevyhnutnou aplikáciou metodológie merania.

Z hľadiska metodológie experimentu mnohé z uvedených zložiek, prípadne i niektoré prvky figurujúce vo viacerých z týchto zložiek súčasne, majú istý vzťah k rôznym vedeckým a technickým disciplinám, najmä k experimentálnej fyzike, teórii systémov, matematickej štatistike,

teórii informácií, chémii, psychológii a ďalším filozofickým odvetviám, ako aj rozmanitým technickým odborom.

Avšak každá z uvedených disciplín z hľadiska identifikácie kvantitatívnych znakov posudzuje tieto zložky zo svojho špecifického hľadiska, svojimi vlastnými metódami prístupu, ktoré vo všeobecnosti nemusia byť a obyčajne nie sú vhodné a účelné pre všetky vedné oblasti. Preto pri tvorení teoretickej bázy metodologických problémov experimentu treba spravidla tieto zložky adaptovať, prípadne vytvárať pre ne nové vlastné teoretické pozadie.

Teoretické pozadie vo fyzike sa často rozpadávalo na mnoho určitých izolovaných oblastí, ktoré nemusia byť navzájom späté, viazané.

Iným konkrétnym príkladom je vyrovnávanie štatistických súborov obyčajnými (a inak veľmi užitočnými) štvorparametrovými krivkami Pearsonovými, avšak výber krivkových parametrov sa prevádza na základe úplne formálnych príznakov a nijako sa neviaže na fyzikálnu podstatu javov.

Ak by sme skúmali príčinu takýchto izolácií, zistili by sme, že spočíva v podstate v tom, že príslušné formulačné prvky, posudzovacie a kategorizačné kritériá, na ktorých je fyzika budovaná, nie sú vždy dostatočne a dôsledne metodologicky generalizované.

Nakoľko takéto a podobné izolované oblasti majú, napríklad, v biológii často stagnujúci charakter, neprístupný k ďalšiemu podstatnému rozvoju a sú v istom zmysle v nesúlade s modernou koncepciou biológie, skúmajú sa v súčasnej dobe možné druhy súvislostí a väzbových prvkov, ktoré by mohli aspoň obmedziť stupeň izolácie v tejto oblasti. Sú to prvé kroky a náznaky postulovanej kompaktnosti teórie biologického experimentu prejavujúcej sa na kauzálne a logicky viazané celky. Účelnosť týchto snáh, a najmä ich metodologické dôsledky, má svoje opodstatnenie i v nevyhnutnom rozvoji vedy. Uvedme príklad: Až takmer do konca 19. stor. predstavovala veda o elektrine a veda o magnetizme dve samostatné fyzikálne disciplíny vzájomne akoby nesúvisiace, dokonca izolované. Preto sa nezdalo zvlášť potrebné zaoberať sa otázkou skúmania ich možnej súvislosti. A predsa táto zdanlivo bezvýznamná snaha viedla zásluhou Maxwella k mimoriadne cenným výsledkom: nielen že sa podarilo zjednotiť obe disciplíny v jednotnú teóriu elektromagnetického poľa, ale objavilo sa súčasne množstvo nových poznatkov celkom logicky vyplývajúcich z prejavujúcej sa unifikácie. Ak samotnému zjednoteniu v podstate stačilo vytvoriť pomerne jednoduchý pojem — hustotu posuvného prúdu, celá teoretická báza sa redukovala na púhé štyri teorémy, ktoré stačili na zvládnutie všetkých elektromagnetických fenomenologických javov, ba dokonca po ich normálnej úprave Lorentzom, i na výstavbu štrukturálnej teórie (teórie elektrónu).

Je celkom možné, že analogická snaha metodologickej koncepcie teórie a metód biologického experimentu by mohla viesť k podobným úspechom. Zatiaľ sa, žiaľ, takýto zjednocovací proces nepodarilo usku-

točníť. Predbežne by sme mohli problémy biologického experimentu formulovať len formálne, napríklad, ako súbor (dostatočne) zobecnených teorém vzťahujúcich sa na problémy biológie vystihujúce zákonitosti a vzťahy týkajúce sa merateľných veličín, metód ich merania a matematického vyhodnotenia, spôsobov fyzikálnej realizácie — inštrumentalizácie — týchto metód, ako aj zhodnocovania a interpretácie nameraných údajov.

Fyzikálne meranie a biologický experiment

Meracie a vyhodnocovacie metódy ako vo fyzike, tak aj v biológii tvoria v teórii experimentu najnáročnejší a obsahovo najbohatší systém. Ich hlavným cieľom je metódou analýzy súboru nameraných hodnôt (rešpektujúc pritom najmä fyzikálne, príp. chemické vlastnosti meraného objektu) — vytvoriť najvierohodnejší model hodnotenia. Treba pripomenúť, že metódy tejto analýzy redukované vo vyhodnocovacom modeli, prekonávajú v súčasnosti určité ťažkosti. Ide hlavne o tú okolnosť, že sa vývoj modelu vyhodnotenia merania v biológii rozmiestnil do oblastí od seba značne vzdialených. Ide najmä o sféru súčasnej modernej fyziky a matematickej teórie zaoberajúcej sa uvedeným modelovaním, ktorej cieľ a snaha principiálne nevedie ešte dostatočne k výraznej interakcii modelu s objektívnou realitou. Mnohé práce sú príliš abstraktné a v súčasnosti často ťažko realizovateľné. Jednou z metodologických úloh teórie vyhodnocovacích metód v biológii bude uskutočniť „revíziu“ existujúcich modelov z hľadiska užitočnosti a aplikovateľnosti v konkrétnych meraniach. Nevyklučuje sa pritom ani možnosť vytvorenia nových teórií modelovania biologických javov, rešpektujúc pritom súčasný stav a možnosti matematických strojov.

Vo fyzikálnych experimentoch dominantnú a východiskovú úlohu v prípade statických modelov merania hrá Gaussov normálny model. Tento, ako určitá aproximácia charakteru skutočných chýb merania, veľmi dobre slúži mnohým potrebám vyhodnotenia a pre svoju jednoduchosť je veľmi často používaný. Model však vyhovuje pomerne dobre skutočnosti len v prípade stredne veľkých súborov výsledkov merania (rozsah ktorých by sme mohli charakterizovať číslami 30 až približne 1000). Rozpornosť normálneho modelu so skutočnosťou sa však výrazne prejaví v rozdielnosti malých súborov (< 30) a veľkých súborov (> 1000).

„Študentizovanie“ normálneho modelu pre potreby malých súborov v biologických meraniach znamenalo určitý pokrok. No zdá sa však, že viac z hľadiska teórie, pretože v biologickej praxi sa nejaví priaznivejší v niektorých dôsledkoch z neho plynúcich. Ide tu najmä o okolnosť, že Studentov model pripúšťa nenulovú frekvenciu chýb v oblasti pomerne vzdialenej od maxima hustoty, čo je v príkrom rozpore so skúsenosťou.

V oblasti veľkých súborov sa pri normálnom modeli táto okolnosť komplikuje tým, že v testoch, ktorými preverujeme normalitu (najmä Pearsonov a Rényiov model), neprirodzene stúpa závažnosť okrajových hodnôt. Pretože takéto testovanie slúži k odhadovaniu systematických vplyvov, ktoré nás majú poučiť o chybách metódy merania, o nestálosti podmienok merania atď., zamedzuje neadekvátnosť normálneho modelu toto dôležité skúmanie. Treba poznamenať, že v tejto súvislosti matematická teória vyhodnocovacích metód je obyčajne úzko spätá s teóriou meracieho prístroja a nemožno preto stotožňovať teóriu vyhodnocovacích metód a formálnu štatistickú analýzu výsledkov meraní.

V snahe osvetliť vo fyzike a v biológii základné pojmy merania z aspektov súčasnej metodológie nešlo o všeobecnú formuláciu, ale len o pojmovú analýzu. V nej možno elementárnymi matematickými prostriedkami objasniť pojmy, ktoré sa vyskytujú pri koncipovaní teórií o optimálnom navrhovaní experimentu.

Pritom meracia metóda je základným jazykom experimentátora, opierajúca sa o rôzne fyzikálne teórie, z ktorých každej odpovedá rovnaká stupnica číselných údajov priradených meranej veličine, reprezentujúcich množinu získaných kvantít.

Meraný objekt je z fyzikálneho hľadiska úplne charakterizovaný napr. svojimi stavmi.

Meraná veličina je fyzikálne špecializovaná vzťahom hodnôt, ktoré ju dostatočne opisujú, napríklad, všetkými možnými údajmi odrátanými na stupnici meracieho prístroja, zhodnými s množinou údajov získanou v meracej metóde. Konečnosť množiny je v ďalšom opise v plnom súlade s reálnymi prípadmi akýchkoľvek stupníc meracieho prístroja využívajúceho fyzikálne princípy.

Pri navrhovaní vedeckých experimentov v biológii je každý experimentátor postavený pred úlohu metodologicky maximalizovať množstvo informácií, ktoré mu dávajú k dispozícii fyzikálne, chemické, psychologické alebo iné aspekty meraného javu alebo objektu. Experimentátor pri týchto experimentoch realizuje v navrhovanej procedúre experiment, pozostávajúci z nezávislých meraní hodnôt meranej veličiny, pričom pri optimálnom návrhu logicky vyberá také meracie metódy, aby z hľadiska posúdenia konečných výsledkov celej procedúry merania sa dosiahli optimálne výsledky.

Konečné zhodnotenie je však závislé na voľbe výberu, ktorý má experimentátor k dispozícii. Globálny návrh experimentu charakterizuje nesequenčný experiment. Ak v takomto experimente metodológia rešpektuje rôznorodosť meracích metód a tieto nám rozdeľujú globálny experiment na viac častí, potom každá takáto časť je logicky opísaná sekvencným experimentom, pričom jednotlivé experimenty sú na sebe závislé, napr. lineárne, vzhľadom na dosiahnuté výsledky. Potom takýmto experimentom hovoríme, že sú lineárne.

Sequenčné návrhy zasahujú do lineárnych charakteristík experi-

mentu. Na druhej strane, ak je linearita zachovaná, sekvenčné navrhovanie ich nijako neuprednostňuje pred nesekvenčnými. To platí aj v prípade, že je narušená linearita, čo má za následok, že aproximácia lineárnym experimentom nevyúsťuje do lepších návrhov, ako je nesekvenčný.

V symbolike, terminológii a metodológii pojmov, výrokov a nakoniec metód zaoberajúcich sa optimálnymi návrhmi experimentov, sa v článku dozvedáme o ich obsahovej bohatosti najmä vo vzťahu k fyzikálnemu pozadiu každého experimentu.

LITERATÚRA

1. FILKORN, V.: Úvod do metodológie vied. Bratislava 1960.
2. BERKA, K.: Měření (pojmy, teorie, problémy). Praha 1977.

ПОНЯТИЕ ИЗМЕРЕНИЯ С АСПЕКТОВ СОВРЕМЕННОЙ МЕТОДОЛОГИИ ПОЗНАНИЯ

Юрай Болф — Штефан Дубничка

Статья посвящена понятиям измерения как важным процессам познания в современной науке. Авторы анализируют физические аспекты измерения в биологических измерениях и определяет значение физической квантификации на основе современной ступени познания в области научных экспериментов.

В статье подчеркивается аспект качественно-количественных связей в процессах измерения, который реализован на разных уровнях познания — от теоретического моделирования вплоть до экспериментальной проверки.

DER BEGRIFF MESSUNG UNTER DEN ASPEKTEN ZEITGENÖSSISCHER METHODOLOGIE DER ERKENNTNIS

Juraj Bolf — Štefan Dubnička

Der Aufsatz befasst sich mit dem Begriff Messung als bedeutendem Prozess der Erkenntnisgewinnung in der zeitgenössischen Wissenschaft. Er analysiert physikalische Aspekte der Messung in den biologischen Messungen und deduziert den Stellenwert physikalischer Quantifizierung von der Basis der zeitgenössischer Erkenntnisstufe im Bereich wissenschaftlicher Experimente.

Herausgestellt wird der Aspekt des qualitativ-quantitativen Verhältnisses in den Messungsprozessen, der auf verschiedenen Ebenen des Erkennens realisiert wird — von der theoretischen Modellierung bis zur experimentellen Verifizierung.