

FILOZOFICKÉ ASPEKTY MERANIA VO FYZIKE

OLGA HOLÁ

Fyzika dnes predstavuje veľmi zložitý komplex špeciálnych aj všeobecnejších vedeckých teórií a disciplín, ktoré sa často od seba líšia predmetom skúmania, výstavbou, metódami.

Sústava súčasného vedeckého poznania a najmä prírodoveda nemôže byť v žiadnom prípade redukovaná na konštatovanie empirických faktov. „Veda“ podľa Marxa „sa nemôže uspokojovať len opisom údajov bezprostredného pozorovania, zachytením toho, čo náhodne padne do zorného poľa pozorovateľa. Jej cieľom je vytvoriť teórie, ktoré prenikajú do vnútorných, pasívnemu pozorovaniu skrytých zákonov prírody.“

Každá fyzikálna teória má tri úlohy: študované javy opísať, vysvetliť a predpovedať. Aké sú úlohy pozorovania, experimentu a merania v svetle týchto úloh. Na ceste, ktorá vedie od bezprostredného pozorovania k teoretickému poznaniu, sa využíva aj teória meraní. Tu sa uskutočňujú prvé racionálne spracovania údajov merania, údaje prístrojov sa transformujú na výsledok meraní. Práca súčasného fyzika sa začína nazhromaždením údajov ako prvotnej informácie o skúmanej objektívnej realite. Táto informácia sa ďalej spracováva (napr. aj použitím počítačov) a nakoniec vedie k zostrojeniu teórie. Pritom samozrejme prechod od získaných výsledkov meraní k vytvoreniu teórie predpokladá tvorivú aktivitu vedca. Teória je spätá s experimentom prostredníctvom materiálu pozorovaní, t. j. samej objektívnej reality, ktorá je nám daná v experimente.

Teoretická sústava sa buduje nielen preto, aby sa našli hlbšie základy pre už získané empirické zákony, ale najmä preto, aby sa na jej základe odvodili zákony ešte neskúmaných javov. Ľubovoľná rozvitá fyzikálna teória je neoddeliteľná od jej matematickej formy, adekvátnej jej obsahu. Matematika tu vystupuje ako „jazyk možného“ a experiment v možnom hľadá „skutočné“. Môže sa pritom stať, že v matematickej schéme sa nenájde žiaden empirický korelát a táto schéma ostane len neinterpretovaným formalizmom. Jediným kritériom fyzikálneho charakteru sústavy je súhlas s výsledkami experimentu.

Tak sa dostávame k druhej funkcii experimentu. Experimenty, merania sú nielen bázou pre vytvorenie teórií, ale vytvorenú teóriu aj preverujú, buď potvrdzujú, buď vyvracajú predložené hypotézy.

Všetky predošlé úvahy načrtli rámec tejto práce.

1. *Pozorovanie, experiment*

Východiskovým bodom nášho postupu bude rozlíšenie pojmov pozorovanie, experiment a meranie. Geneticky a historicky pozorovanie predchádza experimentu a meraniu.

Pozorovanie sa neredukuje len na zmyslový odraz. Obsahom a výsledkom pozorovania je vyčlenenie a poznanie objektu, jeho predmetných vlastností. Pozorované javy je možné zoskupiť do istých zvláštnych tried, ktoré majú nejaký spoločný znak, ako aj určiť tento znak. Pojmy, ktoré zachycujú výsledky pozorovaní, vznikajú v prvom prípade abstrakciou stotožňovania, v druhom abstrakciou izolovania. Výsledkom podobných abstrakcií sú rôzne pojmy, napr. aj pojem čísla. Nájdenie vzájomných vzťahov medzi obsahmi takýchto pojmov umožňuje organizovať ich do istých hierarchických štruktúr (napr. číselný rad). V tejto súvislosti Friedmann definuje pojem aritmetizácie. Aritmetizácia istej triedy vlastností je určenie pravidiel, ktorých použitím je možné podľa určitej vlastnosti triedy nájsť odpovedajúce číslo, príp. podľa daného čísla nájsť odpovedajúcu vlastnosť. Ak sú vlastnosti triedy pozorovaných javov také, že môžeme použiť pojmy „väčší“ alebo „menší“, tieto vlastnosti sú tzv. intenzívne veličiny. Ak aritmetizácia takejto triedy je taká, že väčšej intenzite odpovedá väčšie číslo, nazýva sa kvantitatívne usporiadanie. Príkladmi takýchto intenzívnych veličín sú napr. hustota, teplota, viskozita a pod. Samo kvantitatívne usporiadanie ešte nie je meraním, je len jeho základom.

Experiment

Uskutočnenie experimentu predpokladá umelé vytvorenie špecifických podmienok, pri ktorých celková príčina javu by mohla byť rozložená na zložky, a teda úloha každej okolnosti by sa ozrejmovala jednotlivo.

Medzi mnohými podmienkami, ktoré tvoria celkovú príčinu javu, sa usiluje experimentátor vyčleniť jedinú podmienku ako špecifickú príčinu, ktorá nemôže byť nahradená — je nevyhnutná pre vznik daného javu, pričom sa neporušuje priebeh iných dejov, charakteristických pre tú istú empirickú oblasť.

Počas experimentov sa objavujú pevné, opakujúce sa súvislosti medzi javmi a skupinami javov. Tieto súvislosti sa opisujú logickými výrokmi, ktoré vyjadrujú empirické zákonitosti.

Teda keď zhrnieme predošlé úvahy o pozorovaní a experimente, môžeme povedať podľa Pearsona, že podstata a cieľ pozorovaní a experimentu spočíva „v starostlivom a často únavnom klasifikovaní faktov, v porovnaní ich vzájomných súvislostí a zmien a v nájdení určitého vzorca, tézy, ktorý stručne zhrňuje všetky údaje“. Výsledkom pozorovaní a experimentu sú teda empirické zákonitosti.

Experiment nám poskytuje všeobecnú predstavu o závislostiach medzi určitými fyzikálnymi javmi, ale kvantitatívne charakteristiky daného javu dostaneme až pri meraní.

2. Meranie

Na otázku, čo je to meranie, môžeme trochu zjednodušene odpovedať, že ide o poznávací proces, v ktorom na základe experimentu získavame informáciu o číselnej hodnote meranej veličiny. K úplnému vedeckému chápaniu me-

rania musíme však použiť analýzu jeho mnohotvárných foriem a ich vzťahov. Samotné meranie predpokladá tieto prvky:

1. objekt merania, t. j. meranú veličinu,
2. mernú jednotku, t. j. veličinu, s ktorou porovnáваме našu meranú veličinu,
3. pozorovateľa a prístroje, t. j. subjekt, ktorý uskutočňuje meranie,
4. metódu, pomocou ktorej sa meranie uskutočňuje,
5. výsledok merania veličiny.

Ani jedno meranie nie je možné bez použitia zákonov, ktoré sa vzťahujú na merané veličiny a opiera sa o určité teoretické predpoklady.

Z metodologickej stránky môžeme rozdeliť merania na priame a nepriame. V priamom meraní výsledok meraní dostaneme zo samého merania veličiny bez ohľadu na meranie iných veličín. V nepriamom meraní sa výsledok merania získa na základe priamych meraní veličín, ktoré súvisia s meranou veličinou prostredníctvom istej matematicky vyjadrenej závislosti.

Priame meranie

V predošlých kapitolách sme zaviedli pojem aritmetizácie a intenzívnych veličín a uviedli sme, že samotné kvantitatívne usporiadanie ešte nie je meraním, len podmienkou existencie merania.

Ak máme množinu intenzívnych veličín, ktoré môžu byť usporiadané tak, že každá nasledujúca veličina je o toľko väčšia od predošlej, o koľko je táto väčšia od jej bezprostrednej predošlej veličiny (usporiadanie do aritmetického radu), tieto veličiny nazývame extenzívne veličiny.

Aritmetizácia extenzívnych veličín — napríklad triedy dĺžok, objemov, elektrických odporov a pod. je meranie.

V procese merania je charakteristické použitie jednotky merania, ktorá sa určuje ľubovoľne.

Podstatné pritom je to, že meranie určitého druhu veličín sa robí pomocou určitého spôsobu merania pre ten ktorý druh veličín, v tom sa prejavuje kvalitatívny aspekt fyzikálnej veličiny.

V meraní sa teda určuje vzťah jednej [meranej] veličiny k druhej rovnorodej veličine (ktorú berieme ako jednotku merania), tento vzťah vyjadrujeme číslom (číselná hodnota meranej veličiny).

Vráťme sa ešte k pojmu extenzívnej veličiny. Zovšeobecníme množinu extenzívnych veličín — okrem kladných veličín — zavedením nuly a záporných veličín. Potom si vyberieme za jednotku merania ľubovoľnú kladnú veličinu, všetky ostatné veličiny môžeme vyjadriť v tvare:

$$K = k [K] \tag{1}$$

Vzťah (1) je základná rovnica merania, K je meraná veličina, $[K]$ je jednotka merania, k je reálne číslo, $k [K]$ výsledok merania.

Extenzívne veličiny majú vo fyzike podstatný význam, lebo pomocou nich vieme na základe určených zákonitostí číselne vyjadriť aj intenzívne veličiny. Napríklad teplota sa určuje meraním teplotného intervalu medzi nulovou a určitou hodnotou. Na druhej strane v definícii extenzívnej veličiny je už naznačené rozdelenie na „väčšie či menšie“. Teda extenzívne a intenzívne veličiny sú dva aspekty toho istého.

V súvislosti s meraním vo vede na rozdiel od merania v bežnom živote

sa vynára pojem presnosti merania. V teórii meraní je rozpracovaná klasifikácia „presnosti“, príp. „najvyšších presností“, my sa obmedzíme na definovanie tzv. metrologickej presnosti. Je to najvyššia presnosť, ktorú môžeme dosiahnuť pri meraní danej veličiny v ľubovoľne určených jednotkách. Keď si uvedomíme, že výsledky merania nie sú presnejšie ako etalóny (štandardy), môžeme povedať, že merania s metrologickou presnosťou sú merania vedúce k etalónom. V tejto súvislosti hovoríme o etalónovej forme merania.

Etalóny a jednotky

Každý predmet z množiny predmetov, ktoré majú rovnakú vlastnosť, môže byť všeobecnou mierou tejto vlastnosti. Predmet ako všeobecná miera vo vzťahu k druhým predmetom, z ktorých je vyčlenený, má len jedinú špecifickú vlastnosť — byť ich všeobecnou mierou. Takýto vybraný predmet nazývame etalón — je to spredmetnená všeobecná miera. V čom je podstata toho, že predmet môže vystupovať ako etalón? Prvá podmienka je daná tým, že predmet, ktorý predstavuje spoločnú vlastnosť množstva porovnávaných predmetov, musí mať „vlastnosť“ vyjadrovať len kvantitatívne rozdiely. To predpokladá homogenitu, kvalitatívnu totožnosť medzi exemplármi etalónu (rovnaký materiál, merania za rovnakých podmienok a pod.). Druhou podmienkou premeny predmetu na etalón je možnosť delenia predmetu na ľubovoľné časti a spájania týchto častí, pričom sa nemení jeho kvalita.

Stálosť etalónu v procese i mimo merania znamená, že vlastnosť spredmetnená etalónom zostáva nezmenená a všetky zmeny, ktorými predmet ako etalón prejde v závislosti od istých podmienok (teplota, tlak, polia), môžu byť zhodnotené. To je tretia podmienka pôsobenia predmetu ako spoločnej miery.

Etalón môže spĺňať svoju úlohu v podstate ako ideálny etalón, a to:

1. Veličina sa meria ideálnym stredným etalónom (žiadne dva etalóny nemôžu byť absolútne totožné, majú rôznu mikroštruktúru, rozdiely v podmienkach ich práce aj zhotovenia).

2. Predmet môže byť ľubovoľne deliteľný (tak, aby sa zachovala jeho kvalita) len v abstrakcii.

3. Stálosť je podstatná vlastnosť etalónu a absolútne nemenný predmet môže byť len ideálny predmet.

Z uvedeného nevyplýva, že ideálny etalón je základom merania. Naopak, podstata a úloha ideálneho etalónu v meraní je úplne určená reálnymi etalónmi.

Pri meraní predmetov vzniká nevyhnutnosť prirovnať ich k etalónu ako spredmetnenej jednotke merania. Tá sa delením a spájaním rozvíja na meradlo.

Miera veličiny a meradlo sú dve rôzne funkcie etalónu. Určenie jednotky merania, jej delenia a násobky sú vecou dohody.

Na záver spomeňme hlavné nedostatky priameho merania:

1. Z pozície priameho merania musí existovať toľko nezávislých etalónov, koľko druhov veličín existuje v prírode bez ohľadu na to, či sú medzi nimi isté zákonitosti. Je nemožné mať toľko etalónov, koľko existuje rôznych vlastností a je nesprávne nebrať do úvahy zákonitú súvislosť fyzikálnych javov.

2. Meraný predmet nie je vnútorne spätý s etalónom. Často sa potom stáva, že výsledok merania vyjadruje ani nie tak meranú veličinu ako zmeny predmetu — etalónu.

3. Pomocou priameho merania nemôžeme určiť hodnoty veličín, ktoré sú nedostupné bezprostrednému experimentálnemu porovnaniu (kozmicke telesá, atómové častice atď.)

Tieto nedostatky sa odstraňujú nepriamym meraním.

Zmyslovo názorné poznanie a abstraktné myslenie v procese merania

Pomocou zmyslových orgánov dostávame len skromné informácie o meraných veličinách. Vznikla teda úloha vyjsť za hranice dané zmyslovým nazeraním a získať presné hodnoty meraných veličín. Táto úloha sa riešila historickým rozvojom praxe a vedy, ktoré poskytli spoločnosti experimentálne prostriedky a meracie prístroje.

Zmyslové poznanie je nevyhnutnou zložkou ľubovoľného presného merania. Na základe zmyslami prijímaných údajov prístroja sa usudzuje o výsledku merania, pričom medzi údajmi prístroja a výsledkom merania je celý rad myšlienkových úsudkov (napr. vo Wilsonovej komore sa pozoruje dráha kvapôčiek, ale z toho usudzujeme o dráhe alfa častice).

Zmyslové poznanie nemá v procese merania samostatnú úlohu. Jeho pravú úlohu v poznaní veličiny môžeme pochopiť len z hľadiska procesu merania ako celku, keď myslenie spracováva materiál pozorovaní na pojmy, vytvára v hlave vedca tú veličinu, ktorá reálne existuje mimo neho.

Zmyslové vnímanie je len východiskový bod pri štúdiu veličín. Už priame meranie nie je „čisté“ empirické pozorovanie niektorých javov, ale je to zložitý poznávací proces, v ktorom má podstatnú úlohu abstraktné myslenie. Teoretické myslenie vystupuje pri meraní ľubovoľnej fyzikálnej veličiny. Engels hovorí, že „forma všeobecnosti v prírode — to je zákon“ a objavenie zákona nevyhnutne predpokladá myslenie. Fyzika sa teda neuspokojuje s jednotlivými empirickými meraniami, opierajúc sa o ne smeruje k presnému poznaniu pomocou zovšeobecňovania empirického materiálu a vytrieďovaním náhodných prvkov.

Fyzika ako veda je neodmysliteľná od matematiky (a naopak matematika vyrastá z fyziky). Matematické idey formujú predstavy a princípy fyzikálnej vedy a v súčasnej fyzike majú veľkú heuristickú úlohu. Matematické abstrakcie použité vo fyzike dostávajú fyzikálnu podobu len v meraní a na druhej strane experimentálne pozorovania sa cez merania dostávajú na úroveň teoretického zovšeobecnenia.

Experiment poskytuje zmyslovo vnímané údaje o skúmaných javoch a matematický aparát (predstavujúci sústavu abstraktných pojmov) umožňuje pozdvihnúť tieto údaje na úroveň teoretického zovšeobecnenia a tým odzrkadliť zákony skúmaných javov.

Matematický aparát fyzikálnej teórie má však pomernú samostatnosť, vývojovú logiku. Preto sa isté pojmy vynárajú vo fyzikálnej teórii najskôr v podobe matematickej abstrakcie a až potom sa objaví jeho fyzikálny zmysel, t. j. nájdeme fyzikálnu interpretáciu týchto pojmov. Fyzikálna interpretácia je nevyhnutná stránka fyzikálnej teórie, bez nej dostávame len matematickú schému a nie fyzikálnu teóriu. Práve v modernej fyzike (skúma javy, ktoré bezprostredne nemožno vnímať) je postup od matematických abstrakcií k vnímaným údajom prístroja a k interpretácii typický.

Z toho vidieť, aký veľký význam má pochopenie súvislostí matematických

abstrakcií s experimentálnymi pozorovaniami. V ľubovoľnej logicky sformulovanej fyzikálnej teórii existuje vlastný matematický aparát, ktorému odpovedajú špecifické pravidlá väzby jeho matematických abstrakcií s experimentálnymi pozorovaniami.

V jednote zmyslového a abstraktného poznania sa odzrkadľuje dialektika objektívneho reálneho sveta.

Fyzikálny pojem je teda výsledok syntézy zmyslovo-názorového a abstraktno-myšlienkového procesu poznania objektívnej reality, pričom v závislosti od osobitostí formalizmu istej fyzikálnej teórie dostáva zmysel aj sám fyzikálny pojem.

Pritom je dôležité stanovisko N. Bohra, ktorý hovorí, „nech by javy akoľkoľvek vystupovali za hranice klasického fyzikálneho vysvetlenia, všetky experimentálne údaje treba opisovať pomocou pojmov klasickej fyziky“. Filozofickým prameňom tohto hľadiska je skutočnosť, že príroda, ktorú študuje fyzika, je pohybujúca sa hmota a poznanie je možné len za predpokladu jej pôsobenia (priamo, nepriamo, pomocou experimentálnych prostriedkov) na ľudské zmyslové orgány.

V klasickej mechanike otázka o fyzikálnom zmysle abstrakcií jej formalizmu nevyvoláva žiadne ťažkosti (hodnoty premenných jej formalizmu sú číselnými hodnotami fyzikálnych veličín, matematicky zobrazených týmito premennými). V neklasických teóriách, napríklad v kvantovej mechanike, táto otázka nie je triviálna a vrátime sa k nej v ďalších kapitolách.

Nepriame meranie

Podstata nepriameho merania spočíva v tomto: priamo sa merajú veličiny, ktoré súvisia s meranou veličinou prostredníctvom istej, matematicky vyjadrenej závislosti a na základe tejto závislosti sa určuje hodnota meranej veličiny.

V ideálnom priamom meraní sa matematické závislosti používajú len na zavedenie „opráv“ do výsledkov merania, samé meranie môže byť v princípe uskutočnené bez ohľadu na tieto závislosti. Pri nepriamom meraní otázka určenia meranej veličiny bez ohľadu na závislosti v princípe nemá zmysel.

Ďalej prejdeme k otázke jednotiek v nepriamych meraniach. Vo fyzikálnych rovniciach sú vyjadrené závislosti medzi veličinami, ktoré charakterizujú tak jednotlivé konkrétne systavy a veličiny, ako aj triedy sústav. Začnime elementárnym príkladom.

Z experimentu sme napríklad zistili, že teleso sa pohybuje priamočiario a takou rýchlosťou, že dráhu 10 m prejde za 5 s, 20 m za 10 s atď. Dostávame závislosť medzi dráhou telesa a časom, za ktorý teleso túto dráhu prejde:

$$s = 2 \cdot t, \quad (2)$$

kde s je výsledok merania dráhy telesa v metroch,

t je výsledok merania času v sekundách.

Ak meriame dráhu aj čas v iných jednotkách, štruktúra vzťahu (2) ostáva rovnaká, symbolicky:

$$s = v \cdot t, \quad (3)$$

$$\text{príp. } s [s] = v \cdot t [t], \quad (4)$$

kde $[s]$, $[t]$ sú jednotky merania dráhy, príp. času,

v je koeficient úmernosti, ktorý závisí od výberu jednotiek dráhy a času.

Pre koeficient úmernosti dostaneme:

$$v = \frac{s [s]}{t [t]} = \left(\frac{s}{t} \right) \left[\frac{s}{t} \right], \quad (5)$$

teda koeficient úmernosti v je nejaká veličina, ktorej číselná hodnota je $\left(\frac{s}{t} \right)$

a jednotka merania $\left[\frac{s}{t} \right]$.

Všeobecne môžeme teda povedať, že s koeficientom úmernosti ako veličinou je vždy spätá jednotka merania, ktorá sa líši od jednotiek veličín meraných priamo, je závislá od jednotiek iných veličín (vystupujúcich v rovnici). Koeficient úmernosti vystupuje ako zosobnenie závislosti medzi veličinami.

Koeficient úmernosti vystupuje vo vzťahu k druhým veličinám ako odvodená veličina.

Súčasná fyzikálna teória sú obyčajne logicky uzavreté systavy princípov a základných pojmov. Preto sú oprávnené pojmy základných a odvodených veličín, lebo prvé sú určené na základe systavy princípov teórie a druhé na základe použitia aksióm ku konkrétnym situáciám tej oblasti javov, ktorú daná teória zahŕňa. Na tejto báze vznikajú pojmy základných a odvodených jednotiek ako jednotiek merania základných príp. odvodených veličín a pojem systavy jednotiek (ktorá zahŕňa tak základné, ako aj odvodené jednotky). Pokiaľ ide o počet, podstatu jednotiek tvoriacich sústavu jednotiek, môžeme povedať:

1. Počet a podstata základných jednotiek je adekvátny počtu a podstate základných veličín, ale pri určitých teoretických alebo praktických podmienkach to nie je nevyhnutné; systavy jednotiek sú možné len na základe zákonov určitých oblastí javov a súvis týchto sústav odráža súvis vzťahujúcich sa k nim oblastí javov prírody.

2. Základné jednotky môžu byť rozmerné aj bezrozmerné.

3. Rozličným systémom jednotiek odpovedajú rôzne triedy rozmerných a bezrozmerných veličín, pričom pri prechode z jednej systavy do druhej veličiny môžu meniť vlastnosť rozmernosti (príp. bezrozmernosti).

4. Neexistuje „prednostná“ sústava (rozmerných) jednotiek, všetky možné systavy jednotiek sú v meraní rovnocenné. To ale neznamená, že je jedno, ktorú sústavu skutočne používame v konkrétnych podmienkach úlohy.

Ako je to so základnými veličinami a jednotkami v neklasických teóriách. Treba si uvedomiť, že klasická mechanika je limitný prípad relativistickej mechaniky ($\frac{1}{c} \rightarrow 0$, c je rýchlosť svetla) a limitný prípad kvantovej mechaniky

($h \rightarrow 0$, h je Planckova konštanta) a že neklasické teórie sa pri meraní nezaobídu bez klasických pojmov. Potom klasické základné veličiny sú zahrnuté do oblastí tak teórie relativity, ako aj kvantovej mechaniky ako približné (vzhľadom na klasické) s istou presnosťou, určenou hodnotami c , h ako základnými veličinami pre teóriu relativity, príp. kvantovej mechaniky.

V súvislosti so základnými jednotkami merania v týchto teóriách dal Planck základ tzv. prirodzenej sústave jednotiek, založenej na štyroch konštantách (c — rýchlosť svetla, g — gravitačné zrýchlenie, h — Planckova kon-

štanta, k — Boltzmannova konštanta). Cieľom vytvorenia takejto sústavy bolo „oslobodiť sústavy jednotiek od prvkov ľubovoľnosti a náhodnosti“. V tejto sústave sú etalónmi univerzálne zákony prírody; tieto zákony sú v najplnšom zmysle ideálnymi zákonmi a sám pojem rozmernosti sa stráca. V tom je veľký principiálny význam tejto sústavy, nedostatky vyplývajú z veľmi nevýhodného praktického používania. Zatiaľ sa nedá povedať, akú úlohu budú mať prirodzené sústavy jednotiek v budúcnosti fyziky.

3. Meranie v kvantovej mechanike

Podstata problému merania v kvantovej mechanike je v tom, že informácie o časticiach podliehajúcich osobitným zákonitostiam mikrosveta dostávame prostredníctvom makroskopických prístrojov, ktoré sa riadia zákonmi klasickej fyziky. Kvantová mechanika je teda svojím spôsobom spojovacím článkom medzi makrosvetom, reprezentovaným prístrojmi a ich údajmi, a mikrosvetom, kde platia kvalitatívne iné zákonitosti. Pomocou údajov makrosveta vie kvantová mechanika vysvetliť osobitné zákonitosti mikrosveta ako spin častíc, kvantovanie a pod. Ľudské poznanie vie teda pomocou abstraktného myslenia preniknúť od javov k ich podstate.

Čo je teda meranie v kvantovej mechanike? Ide o meranie veličín, ktoré charakterizujú pohyb elektrónov a vôbec všetkých mikroobjektov. Pohyb mikroobjektov je možné za istých podmienok približne skúmať ako pohyb „klasických“ častíc alebo šírenie sa „klasických“ vln, ale v žiadnom experimente mikroobjekty nevystupujú presne ako častice a vlny. Skúmanie zákonov a vlastností pohybu mikroobjektov je práve úlohou kvantovej mechaniky.

Dualizmus vlny — častice spočíva v potenciálnej možnosti prejavu vlnových alebo korpuskulárnych vlastností v závislosti od podmienok vzájomného pôsobenia. Osobitné korpuskulárno-vlnové vlastnosti mikroobjektov sa prejavujú v makroskopických prístrojoch nepriamo, uplatňovaním vzťahu neurčitosti, teda skutočnosťou, že jedným prístrojom sa nedá súčasne odmerať ostrá hodnota súradnice a impulzu mikročastice. Ak chceme zmerať ostrú hodnotu súradníc a impulzu mikročastice, musíme použiť dva rôzne prístroje, pričom merania nemôžu byť súčasné.

Korpuskulárno-vlnové vlastnosti mikroobjektov vedú teda k ďalšiemu dôsledku — k relativnosti merania voči makroskopickému meraciemu prístroju. Relativnosť voči meraciemu prístroju však nič nemení na objektívnej, od pozorovateľa a meracieho prístroja nezávislej existencii mikroobjektov.

Prítom je však podstatné to, že nevyhnutnou podmienkou poznania vlastností týchto mikroobjektov je zavedenie prístroja. Pretože prístroj, príp. experimentálne zariadenie má podstatnú úlohu v meraní v kvantovej mechanike, treba si pojem prístroja bližšie ozrejmiť.

Pojem prístroja

Prístroj je také experimentálne zariadenie, ktoré je na jednej strane v interakcii s mikroobjektom a reaguje na jeho pôsobenie a na druhej strane umožňuje klasický popis s dostatočnou presnosťou. Úloha kvantovomechanického popisu mikroobjektu je potom takáto: všetky vlastnosti mikroobjektu (aj čisto kvantové), t. j. také, pre ktoré je opis klasickou mechanikou nedo-

statočný, musia byť charakterizované schopnosťou mikroobjektu pôsobiť na prístroje, ktoré dovoľujú klasický popis. Prístroj v kvantovej mechanike nie je len meracie zariadenie, ale je aj podstatnou podmienkou priebehu alebo vôbec vzniku skúmania procesu. Pojem prístroja podľa V. A. Foka zahŕňa:

1. prípravnú časť,
2. pracovnú časť,
3. registračnú časť.

V prípravnej časti sú s klasickou presnosťou fixované počiatkové podmienky, ktoré určujú začiatočný stav objektu a zavádzajú tento objekt ako skúšobné teleso do druhej časti prístroja.

V pracovnej časti prebieha vlastné skúmané vzájomné pôsobenie.

Registračná časť s klasickou presnosťou registruje jeden z dôsledkov skúmaného javu.

Napríklad pri pozorovaní difrakcie elektrónov na kryštáli je prípravná časť zdroj monochromatického zväzku elektrónov, clony a iné zariadenia pred kryštálom; pracovnou časťou je kryštál a registračnou časťou fotografická doska.

Interakcia medzi objektom a prístrojom

Pri interakcii medzi mikroobjektom a klasickým prístrojom rozlišujeme jednak interakciu ako fyzikálny proces, jednak ako kontakt medzi časťou opisovanou kvantovomechanicky a časťou popisovanou klasicky.

Výsledok interakcie mikroobjektu s prístrojom všeobecne nie je jednoznačný, i keď sa mikroobjekt nachádza vo fixovaných vonkajších podmienkach. Dá sa určiť iba pravdepodobnosť daného výsledku. Výsledkom série meraní nie je určenie presnej hodnoty meranej veličiny, ale rozloženie jej pravdepodobnosti.

Pravdepodobnostný charakter meraní v kvantovej mechanike súvisí s vlastnosťami mikroobjektov, najmä s korpuskulárno-vlnovým dualizmom a znamená odmietnutie klasického determinizmu. Pojem pravdepodobnosti má v kvantovej mechanike zásadný význam, súvisí s ním aj kvantovomechanický pojem stavu objektu, ktorý sa popisuje vlnovou funkciou. Stav objektu je objektívny, pretože je objektívnou charakteristikou potenciálnych možností istého výsledku interakcie mikroobjektu s prístrojom. V tomto zmysle sa vzťahuje na daný jediný objekt. Tento objektívny stav nie je ešte reálny, pretože pre objekt v danom stave sa tieto potenciálne možnosti ešte nerealizovali. Prechod od potenciálne možného k skutočnému v určených podmienkach realizovaných prístrojom prebieha v konečnom štádiu merania. Aby sme dostali štatistickú charakteristiku tohto prechodu, t. j. určité rozloženie pravdepodobnosti, potrebujeme uskutočniť sériu meraní a štatisticky ich spracovať.

* * *

Ak hovoríme o fyzike ako o vede o zákonoch premeny polí a látky, vždy si uvedomujeme, že vlastnosti fyzikálnych realít sú neodlučiteľné od ich číselnej určenosti, t. j. fyzikálna veličina je svojím spôsobom odrazom istej vlastnosti fyzikálnej reality a zákonitá súvislosť týchto vlastností sa vyjadrujú vo forme vzťahov medzi fyzikálnymi veličinami (fyzikálne rovnice).

Jednotlivý empirický fakt nič neznamená pre poznanie skutočnosti, do-

konca ani množstvo empirických faktov s konštatovaním empirických zákonov nevedie k poznaniu podstaty javu. Empíria vlastne len konštatuje, a teda skutočnosť rozkladá. Aby fyzik prenikol od empírie k podstate, od zmyslovej šírky k substancijálnej hĺbke, musí fakty nielen konštatovať, ale hľadať ich príčiny a všeobecné zákonitosti tak, ako je to vyjadrené v Leninovej téze: „Od živého nazerania k abstraktnému mysleniu a od neho k praxi.“

To znamená od zmyslového vnímania javov obklopujúcej nás prírody k prenikaniu do podstaty vecí pomocou teoretického myslenia až k praktickému preverovaniu vzťahu medzi našimi predstavami a objektívnymi zákonitosťami pozorovaného sveta.

Experimenty, merania sú teda nielen východiskom pre vybudovanie teórií, ale aj kritériom pravdivosti nášho poznania.

Predložená práca sa práve bližšie zaoberá otázkami, akú funkciu má pozorovanie, experiment, meranie pri tvorbe fyzikálnych teórií. Dotýka sa problému, akú úlohu v procese merania má zmyslovo názorné poznanie a abstraktné myslenie. V jednote zmyslového a abstraktného poznania sa odzrkadľuje dialektika objektívne reálneho sveta.

V poslednej kapitole práce sa načrtáva riešenie problému merania v súčasnej fyzike, najmä však v kvantovej mechanike.

Práca zahrňuje široký okruh otázok v súvislosti s meraním vo fyzike (či už klasickej alebo súčasnej). Jej cieľom bolo uviesť mnohotvárnú paletu problémov, vystupujúcich v teórii meraní, a preto v nej nie je možné vyčerpávajúco vystihnúť všetky nastolené problémy.

LITERATÚRA

1. Gnozeologičeskije aspekty izmerenij. [Zborník]. Kiev 1968.
2. Materialističeskaja dialektika i metody jeststvennyh nauk. [Zborník, hl. red. M. E. Omeljanovskij].
3. Lenin a současná přírodověda. [Zborník]. Praha 1972.
4. Zborník ústavu marxizmu-leninizmu UK. Marxistická filozofia, III, 1972; IV, 1973.
5. OMELJANOVSKIJ, M. E.: Dialektika v sovremennoj fizike. Moskva 1973.
6. Filozofické problémy súčasnej fyziky a astronómie. [Zborník] 1972.
7. Dialektický materializmus. (Pod red. A. V. Vostrikova). Bratislava 1974.
8. SAČKOV, J.: Materialistický výklad kvantové mechaniky. Praha 1961.
9. Voprosy teorii poznaniya i metodologii naučnogo issledovaniya. Izd. Lenin. univ. 1969.
10. HÖRZ, H.: Fyzika a světový názor. Horizont, Praha 1973.
11. EINSTEIN, A. — INFELD, L.: Evoľúcia fyziki. 1968.
12. EINSTEIN, A.: Sbraniye naučnyh trudov T IV. Moskva 1967.
13. MARX, K.: Matematičeskije rukopisy. Moskva 1968.
14. ENGELS, B.: Dialektika přírody. Praha 1950.
15. Voprosy filosofii. Moskva 1970 (2. časť).
16. TOPOESKÝ, M.: Filozofia, prírodné vedy a medicína. Bratislava 1966.
17. TOPOESKÝ, M.: Realita a poznanie. EPOCH, Bratislava 1970.