

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Imrich Staríček

Meranie a mikrofyzikálny popis skutočnosti

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 17 (1972), No. 5, 257--264

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138123>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1972

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

MERANIE A MIKROFYZIKÁLNY POPIS SKUTOČNOSTI

IMRICH STARÍČEK, Bratislava

Meranie vo fyzike nadobudlo zvláštny význam až od dôb Galileových. Galileo totiž vyslovil postulát: merať čo je merateľné a čo nie je merateľné, je treba merateľným urobiť ([1]). Tento postulát umožnil popisovanie empirických faktov pomocou čísiel a formulovanie fyzikálnych zákonov pomocou matematických vzťahov. Tým dal Galileo meraniu nový význam hlbokého gnozeologického dosahu, pretože meranie sa stalo novou poznávacou metódou, ktorá umožnila systematicky zavádzať kvantitatívnu metódu do štúdia prírodných javov a tým vytvorila podmienky pre rozvoj modernej vedy a techniky.

Je preto pochopiteľné, že dnešný rozmach exaktných vied má spätný vplyv na štúdium samotného procesu merania a jeho zákonitostí. Dnes už nevystačíme s chápaním merania ako určovania počtu jednotiek meranej veličiny – ktoré je bežné v klasickej fyzike – pretože meranie zavádzame i do nefyzikálnych vied, kde už nehovoríme o meraní ako o určovaní počtu jednotiek meranej veličiny, ale ako o priradovaní čísiel skutočnostiam. Takto chápané meranie je však príliš hmlisté, pretože nešpecifikuje, kedy možno priradovanie čísiel jednotlivým faktom považovať za meranie a kedy nie, a preto ho treba spresniť ([12], [13]).

METRONOMICKÝ MODEL MERANIA

Z hlbšej gnozeologickej i logickej analýzy nášho poznávacieho procesu plynie, že každé meranie sa musí vzťahovať na nejakú odstupňovateľnú vlastnosť a číslo priradené nejakému faktu označuje vždy určitý stupeň tejto vlastnosti. O merateľnosti môžeme preto hovoriť iba vtedy, keď máme už zavedené očíslované stupne nejakej vlastnosti bez ohľadu na to, či máme iba dva stupne alebo konečný počet empiricky odlišiteľných stupňov, ktorý v teórii aproximujeme niekedy početnou množinou čísiel alebo i kontinuum. Každý stupeň musí byť empiricky vymedzený na vhodnom objekte tak, aby jednotlivé stupne uvažovanej vlastnosti bolo možné vzájomne porovnávať. Hmotný objekt, na ktorom je vymedzený určitý stupeň merateľnej vlastnosti, nazývame zhmotneným kódom ([2], [3]) tohoto stupňa a súbor všetkých empiricky odlišiteľných zhmotnených kódov uvažovanej vlastnosti nazývame jej stupnicou. Každé meranie nejakej vlastnosti na meranom objekte je empirický proces, pri ktorom vyhľadávame ten zhmotnený kód stupnice, ktorý je z hľadiska pozorovateľa ekvivalentný meranému objektu.

Otvoreným problémom tu zostáva priradovanie čísiel jednotlivým stupňom meranej vlastnosti tak, aby tieto čísla mali presne vymedzený empirický obsah, ktorý reprezentujú v matematických vzťahoch vyjadrujúcich prírodné zákony. Týmto problémom

sa zaoberal prvý HELMHOLTZ, riešil ho pre dĺžkovú stupnicu a nazval ho teóriou merania. Základnou myšlienkou Helmholtzovej teórie merania je, že vzťahy medzi číslami priradenými jednotlivým stupňom odstupňovateľnej veličiny – teda jednotlivým zhmotneným kódom – majú odpovedať empiricky overiteľným vzťahom medzi zhmotnenými kódmi. Pre Helmholtzovu teóriu merania dĺžky to bol proces sčítovania úsečiek, pre ktorý postavil príslušnú axiomatiku ([4]).

Tento problém Helmholtzovej teórie merania môžeme zobecniť tak, že empirické vzťahy medzi jednotlivými zhmotnenými kódmi vyjadríme vhodnou axiomatikou ([5]) zavedenou medzi vhodne zvolenými abstraktnými symbolmi, nazývanými kvantitatívne charakteristiky ([2], [3]). Keď každý zhmotnený kód označíme jemu priradenou kvantitatívnou charakteristikou, hovoríme, že sme jednotlivé kódy usporiadali. Každú odstupňovateľnú vlastnosť, pre ktorú sme zaviedli stupnicu označenú vhodnými kvantitatívnymi charakteristikami, nazývame veličinou. Spravidla volíme axiomatiku medzi zhmotnenými kódmi stupnice vo forme jednoduchých matematických operácií a potom môžeme ako kvantitatívne charakteristiky použiť reálne čísla. Po zavedení pojmov zhmotnený kód a kvantitatívna charakteristika, tj. po zavedení pojmu veličiny môžeme meranie definovať ako určenie kvantitatívnej charakteristiky meraného objektu na základe jeho empirickej ekvivalencie s jedným zo zhmotnených kódov stupnice odpovedajúcej zvolenej merateľnej vlastnosti.

Takto rozšírený pojem merania zahŕňa v sebe i klasickú definíciu merania ako špeciálny prípad a určuje presne podmienky, za ktorých má číslo priradené pozorovanému faktoru empirický význam. Uvedený zobecný model merania nazývame metronomickým modelom merania a v jeho univerzálnosti ho možno aplikovať nielen vo fyzike, prípadne chémii, ale i v biológii, psychológii, pedagogike a sociológii, skrátka všade tam, kde možno vedecky argumentovať s číselnými údajmi s empirickým obsahom.

MERANIE VO FYZIKE

Predmetom našich úvah bude aplikácia metronomického modelu merania na makrofyzikálne i mikrofyzikálne merania so zámerom objasniť vzťah medzi klasickými a kvantovomechanickými metódami popisu skutočnosti.

Prvým bodom našich úvah by malo byť objasnenie pojmu fyzikálna veličina. Hlbší metodologický rozbor podmienok, kedy môžeme ľubovoľnú metronomickú veličinu považovať za fyzikálnu a kedy nie, presahuje rámec tejto štúdie. Preto sa uspokojíme iba s určitými náznakmi: Každá fyzikálna veličina musí byť v nejakom vzťahu k ostatným fyzikálnym veličinám prostredníctvom fyzikálnych zákonov. Tým sme redukovali problém fyzikálnej veličiny na problém fyzikálneho zákona. V zásade môžeme taký zákon považovať za fyzikálny, ktorý môžeme teoreticky zdôvodniť fyzikálnou metódou pomocou istých abstraktných predstáv, prípadne matematického aparátu. Preto môžeme hovoriť o fyzikálnom modeli skutočnosti,

ktorý je daný istou abstrakciou skutočnosti, a preto i každá fyzikálna veličina je element istého abstraktného popisu skutočnosti ([10]).

Fyzikálny charakter veličiny nie je preto daný iba sadou vhodne očíslovaných zhmotnených kódov, ale aj jej jednotnou teoretickou koncepciou, ktorá v prípade nefyzikálnych veličín býva sporná, alebo môže aj vystať. Ako príklad tohto tvrdenia môžeme uviesť, že vlnové dĺžky svetla, roentgenových lúčov i gama lúčov predstavujú hodnoty tej istej veličiny, i keď ich empirické odstupňovanie sa robí rôznymi experimentálnymi metódami.

Vzťahy medzi fyzikálnymi veličinami určujeme pomocou fyzikálnych zákonov. Tieto medziveľičinové vzťahy symbolizujeme obyčajne rozmerom každej fyzikálnej veličiny. V sústave fyzikálnych veličín môžeme v zásade odstupňovať každú veličinu pomocou stupňov hociktorej inej veličiny, ktorá je s ňou v zákonitom vzťahu. V zásade by bolo preto možné vyjadriť všetky výsledky merania pomocou dĺžkových údajov zistených vhodnou komplexnou zostavou tuhých tyčí. V geometrickej abstrakcii zostávajú tuhých tyčí hovoríme o Euklidovom priestore. Do Euklidovho priestoru vkladáme ak rovnice klasickej mechaniky, tak aj Maxwellove rovnice elektromagnetického poľa vytvárajúce základnú pojmovú štruktúru klasickej fyziky. Tá sa zobecňuje jednak relativistickými transformáciami, jednak štatistickými modelmi popisujúcimi jednotlivé termodynamické vlastnosti látok a ich zákonitosti.

Meracie prístroje, ktoré sú z metronomického hľadiska porovnávacími zariadeniami, umožňujúcimi po interakcii s meraným objektom vyhľadať adekvátny zhmotnený kód (najčastejšie vo forme polohy jazýčka nad číselníkom stupnice), predstavujú v podstate systém hmotných útvarov, v ktorom sa meraným objektom vyvoláva pozorovateľná zmena (obyčajne transformovaná na zmenu dĺžky). Vo fyzikálnych meraniach, pri ktorých ide o určovanie hodnoty fyzikálnej veličiny, je v zásade sled zmien vyvolaných meraným objektom v meracom prístroji popisovateľný prostredníctvom fyzikálnych zákonov, pričom hodnota indikovaná meracím prístrojom zodpovedá hodnote meranej veličiny. V klasickej fyzike sa usilujeme pomocou rôznych meraní vykonávaných na tomže objekte určiť hodnoty jednotlivých fyzikálnych veličín na tomto objekte a tým získať kvantitatívny fyzikálny popis meraného objektu.

MIKROFYZIKÁLNE MERANIA

Proces modelovania meraného objektu pomocou hodnôt fyzikálnych veličín jemu priradených zlyháva pri mikrofizikálnom meraní, pretože výsledky jednotlivých meraní vykonaných na určitom mikroobjekte nie je možné interpretovať ako súbor kvantitatívnych charakteristík zodpovedajúcich jednotlivým vlastnostiam mikročastíc bezosporne. To sa odráža i v teóriách mikrofizikálnych javov a najmä v kvantovej teórii ([11], [15]).

Nie je úlohou tejto štúdie popisovať historický vývin stabilizácie mikrofizikálnych

pojmov od doby Planckovho zákona žiarenia (r. 1900) do medzinárodného kongresu v Solvay (r. 1927), kedy bola všeobecne prijatá kvantová teória so svojou štatistickou interpretáciou, známou pod menom „Kodaňská škola“. Podotýkame len, že kongres v Solvay je výsledkom veľmi húževnatej výmeny názorov medzi špičkovými fyzikmi tej doby – ako boli EINSTEIN, DE BROGLIE, SCHRÖDINGER, BOHR, HEISENBERG, BORN – pričom sa výmena názorov netýkala iba fyzikálneho popisu skutočnosti, ale aj otázok gnozeologických, metodologických a používalo sa pritom niekedy i filozofických a svetonázorových argumentov.

Ak výjdeme zo stanoviska objektívnej reality, ktoré je v metronomike reprezentované objektívnym pozorovaním ekvivalencie meraného objektu so zhmotneným kódom, musíme v súhlase s Bohrom tvrdiť, že akékoľvek vlastnosti mikrofyzikálnych objektov môžeme zisťovať iba pomocou makroskopických meracích prístrojov a dorozumievať sa o nich môžeme vždy bežnou hovorovou rečou zjemnenou vhodnou fyzikálnou terminológiou ([6]). Keď však domyslíme toto Bohrovo stanovisko do dôsledkov, musíme zvážiť, že aj generovanie mikroobjektov, aj ich príprava na meranie, merná interakcia a záznam jej výsledku v registračnom zariadení sú v zásade popisovateľné pomocou údajov o makroskopických hmotných systémoch zúčastnených na uvedených procesoch, a preto celý proces merania je popisovateľný pomocou makroskopických parametrov. Pritom každej zostave interakčného systému a registračného záznamu zodpovedá jeden zhmotnený kód. Odstupňovanie zhmotnených kódov sa realizuje interakčným mechanizmom a kvantitatívne charakteristiky sa určujú pomocou parametrov kvantovej teórie. Na rozdiel od klasických meraní však registračný záznam nepredstavuje normálne iba jediný údaj, ale celé spektrum údajov, týkajúce sa celého súboru súčasne pripravených meraných mikroobjektov, ktoré má v každom zhmotnenom kóde inú distribúciu. Jednotlivé mikročastice meraného objektu sa uplatňujú pri meraní nanajvýš ako náhodné prvky súboru súčasne pripravených mikroobjektov. Za istých podmienok môžeme však pozorovať aj účinky vyvolané jednotlivými mikroobjektami – ako je hmlňová stopa vo Wilsonovej komore alebo ionizačný výboj v čítači – na základe čoho môžeme jednotlivým mikroobjektom pripisovať klasické fyzikálne vlastnosti.

Úlohou teórie je stanoviť, do akej miery sa tieto jednotlivé klasické vlastnosti mikroobjektu uplatňujú pri mernej interakcii a ako z nich môžeme stanoviť štatistickú distribúciu v zhmotnených kódoch. Tým sú vytvorené metronomické predpoklady pre zavádzanie príslušných mikrofyzikálnych parametrov do kvantitatívnych charakteristík. Vzhľadom na to, že jednotlivé mikroobjekty prejavujú niekedy charakter lokalizovaných častíc, inokedy zasa majú charakter priestorovej vlny, nie je možné vytvoriť takú názornú bezospornú teóriu, ktorá by jednotne popisovala individuálne vlastnosti mikroobjektov.

Kvantová teória, ktorá uspokojivo rieši vzťah medzi registračným záznamom a parametrami mernej interakcie, nevychádza z názorného klasického modelu mikročastice v Euklidovom priestore, ale ako východzie parametry používa komplexné

stavové vektory v Hilbertovom priestore priradené meranému objektu, pričom je interakcia symbolizovaná hermitovskými operátormi pôsobiacimi na tieto stavové vektory. Kvantitatívny element teórie, ktorý má makroskopický význam a zodpovedá registračnému záznamu, predstavuje stredná hodnota vlastných hodnôt príslušného hermitovského interakčného operátora.

V kvantovej teórii sa stretávame s tromi skupinami fyzikálnych údajov. Sú to: 1. makroskopické údaje o interakčnom a registračnom zariadení, zodpovedajúce metronomickému modelu merania a slúžiace na makroskopický popis a ich realizáciu, reprodukovateľnosť a ovladateľnosť podľa vôle pozorovateľa; 2. systém stredných hodnôt interakčných operátorov, predstavujúci kvantitatívne charakteristiky meraného objektu za daných podmienok a 3. mikrofyzikálne parametre, modelujúce vnútornú štruktúru meraného mikroobjektu v Hilbertovom priestore ([14]).

Zostáva však pritom otvoreným problémom, do akej miery uvedené mikrofyzikálne parametre vyjadrujú objektívne rysy skutočnosti a pokiaľ sú to iba pomocné matematické konštrukcie. EINSTEIN spolu s PODOLSKÝM a ROSENOM ([7]) formulovali vo svojej polemike s Bohrom problém fyzikálnej reality takto: Dostatočnou podmienkou pre identifikáciu elementu reality je: ak bez akéhokoľvek narušenia systému môžeme s určitosťou predpovedať hodnotu fyzikálnej veličiny, potom existuje element fyzikálnej reality zodpovedajúci tejto fyzikálnej veličine. K tejto definícii fyzikálnej reality musíme podotknúť, že je závislá na fyzikálnej teórii a na predpo-vediach tejto teórie. To nás však nemôže prekvapiť, pretože – ako sme už spomenuli – fyzikálny popis skutočnosti predpokladá istú abstrakciu, v prípade merania dokonca kvantitatívnu abstrakciu, a preto nevyčerpáva objektívnu realitu úplne. Je však prirodzené, že akákoľvek teória, ktorá nemá vzťah k odporovaným faktom, nemôže byť fyzikálnou teóriou, pretože sa netýka objektívnej skutočnosti.

V metronomickej terminológii môžeme povedať, že tie vnútorné parametre meraného objektu majú fyzikálny význam, pomocou ktorých môžeme určovať jeho kvantitatívne charakteristiky. Z tohoto hľadiska vychádzame i pri zavádzaní nových mikročastíc a ich vlastností, pričom sa opierame o také pozorovania, pri ktorých môžeme jednotlivé mikročastice individuálne pozorovať prostredníctvom makroskopicky pozorovateľných účinkov, ktoré tieto vyvolávajú. Pozorovanú mikročasticu môžeme identifikovať iba vtedy, ak jej výskyt i vlastnosti teoreticky zdôvodníme. Modelovanie mikroobjektov a ich vlastností je preto nemysliteľné bez vhodnej teórie.

V pôvodnej štatistickej interpretácii kvantovej mechaniky, ktorú rozvíjala Kodaňská škola, sa predpokladalo, že každý mikroobjekt je nositeľom štatistických distribúcií vlastných hodnôt operátorov, ktoré reprezentujú príslušné merania v Hilbertovom priestore. Dynamické vlastnosti mikroobjektov určujeme z ich hamiltoniánov v Hilbertovom priestore, ktorý však modelujeme pomocou klasických predstáv. Používaním klasických predstáv sa vnáša do štatistických modelov istá nedôslednosť, ktorú si najlepšie ozejmíme na Heisenbergovej relácii neurčitosti.

HEISENBERGOVA RELÁCIA NEURČITOSTI

Heisenbergova relácia neurčitosti v interpretácii Kodaňskej školy hovorí, že na tomže mikroobjekte nie je možné merať súčasne polohu i impulz s ľubovoľnou presnosťou ($\Delta p \Delta q = h/4\pi$). Bohr sa pri zdôvodnení tejto relácie opieral o de Broglievu predstavu mikročastice ako vlnového kľbka, v ktorom nepresnosť v určení súradnice Δq sa vzťahuje na nepresnosť v určení rozlohy kľbka a nepresnosť v určení impulzu Δp sa týka frekvenčného rozsahu rovinných vln, ktorých interferenciou je vlnové kľbko utvorené. Heisenberg reláciu neurčitosti zdôvodňoval pôvodne tak, že každé meranie impulzu narušuje súčasné meranie polohy a naopak.

Keď však chápeme kvantovú teóriu ako štatistickú teóriu dôsledne ([8]), nemôžeme už hovoriť o polohe a impulze mikročastic, ale iba o pravdepodobnostiach v súbore identicky pripravených elementov. To znamená, že relácia neurčitosti sa nevzťahuje na jediné meranie, ale na súbor meraní s identicky pripraveným súborom mikroobjektov. Potom Δq a Δp majú presne vymedzený štatistický význam určený kvantovomechanickým formalizmom, a to Δq je disperzia merania polohy v tej časti súboru, v ktorej bolo vykonané meranie polohy a Δp je disperzia merania impulzu v ostatných meraniach súboru, v ktorých sa meria impulz. V tejto dôsledne štatistickej interpretácii sa už nemodeluje jediný mikroobjekt, ale súbor súčasne pripravených mikroobjektov ako objekt popísaný štatistickými vlastnosťami. Nemá význam hovoriť v tomto modeli o tom, že meranie impulzu narušuje súčasné meranie polohy a nemá ani zmysel hovoriť o vplyve meracieho prístroja na meraný objekt.

KOMPLEXNÝ FYZIKÁLNY POPIS SKUTOČNOSTI

Z naznačených úvah plynie, že pri fyzikálnej interpretácii mikrofyzikálnych javov môžeme zaujať tri rôzne hľadiská: jednak je to súbor makroskopických údajov potrebných k popisu generačného, prípravného, interakčného a registračného zariadenia, ďalej je to bohrovské modelovanie mikroobjektov ako nositeľov štatistických vlastností za pomoci princípu komplementarity ([9]) a nakoniec modelovanie identicky pripravených súborov mikroobjektov bez akejkoľvek názornej interpretácie.

Z dynamického formalizmu kvantovej teórie ukázal EHRENFEST, že rovnice medzi strednými hodnotami operátorov systému majú tvar rovníc klasickej fyziky, z čoho sa často usudzuje, že klasická fyzika je iba teória štatistických súborov kvantovomechanických mikroobjektov, takže klasická fyzika je limitným prípadom kvantovej teórie pre súbory o veľkom počte mikročastic.

Pokúsime sa objasniť si vzťah klasickej fyziky a kvantovej teórie objasnením vzťahu medzi Hilbertovým a Euklidovým priestorom z fenomenologického hľadiska. Zavedenie Euklidovho priestoru do fyzikálneho popisu pochádza vlastne od DESCARTESA, ktorý dôsledne zobrazoval situácie v hmotnom svete do priamočiarych

a ortogonálnych súradníc. Priamkovosť a ortogonálnosť vyžadujú už istú schopnosť abstraktného geometrického myslenia. Odborníci používajú túto abstrakciu ako samozrejmu pracovnú pomôcku, i keď bežne v praxi používame konkrétnejšiu terminológiu.

Zavedenie Hilbertovho priestoru ako základnej schémy pri popise mikroobjektov vyžaduje tiež istú abstrakciu, a to hlbšiu ako zavedenie Euklidovho priestoru, pretože nie je názorná. Kvantová mechanika nám nedáva názorný popis skutočnosti, ale iba výstupný a vstupný stavový vektor interpretuje v Euklidovom priestore. Kvantovo-mechanický popis v Hilbertovom priestore je však odborníkom zrozumiteľný a dokonca podnetný pre ďalšie bádanie. Môžu sa uspokojiť aj s dôsledne štatistickou interpretáciou kvantovej mechaniky, ktorá nevyžaduje názorné modely jednotlivých častíc.

Pri komplexnom fyzikálnom popise skutočnosti je preto potrebné rozlišovať jednotlivé úrovne nášho fyzikálneho poznávania, na ktorých prebieha konfrontácia istej teórie s komplexom jej zodpovedajúcich odporozovateľných faktov. Klasické fyzikálne modely odpovedajú nielen istej logike názornosti, ale aj praktičnosti, čo sa prejavuje najmä pri realizácii makrofyzikálnych experimentov.

Bohrova štatistická interpretácia skutočnosti modeluje mikroobjekty pomocou štatistického popisu, pričom si pomáha komplementárnymi predstavami o polohe, impulze a ďalších vlastnostiach mikroobjektov ([9]).

Dôsledne štatistická interpretácia ([8]) modeluje iba súbory mikročastíc pripravených rovnakým spôsobom, teda vlastne spôsob prípravy mikročastíc, a preto v nej nevystupujú vlastnosti jednotlivých mikroobjektov. V tomto modeli sú naše poznatky o mikročasticiach závislé od teoretickej interpretácie.

Z týchto úvah môžeme usudzovať, že prechod od klasického popisu skutočnosti ku kvantovomechanickému nie je plynulý, ako ho opísal Ehrenfest. Zatiaľ čo klasická fyzika má za východiskové elementy fyzikálneho popisu každodennú názornú a praktickú skutočnosť, kvantová mechanika vychádza z istých abstraktných nenázorných postulátov. Tento postup však pripomína trochu vzťah klasickej mechaniky a elektrodynamiky, kde by sme tiež mohli povedať, že Maxwellova teória predstavuje systém parametrických vektorov \mathbf{E} , \mathbf{D} , \mathbf{B} , \mathbf{H} superponovaný priamo v bodoch Euklidovho priestoru, pričom ich interpretácia nadobúda plný význam až v ich náväznosti na veličiny klasickej mechaniky, ako sú pohyb, sila, energia a pod.

Preto, ako v prípade kvantovej teórie, môžeme usudzovať, že každá fyzikálna teória sa vzťahuje na istý uzavretý komplex meracích systémov, čo však neznamená, že by ten istý matematický formalizmus nemohol platiť vo viacerých teóriách a v každej z nich mal inú fyzikálnu interpretáciu.

Klasická fyzika i kvantová mechanika nám podávajú dva rôzne popisy skutočnosti. Klasická fyzika pracuje s veličinovým popisom skutočnosti, kdežto kvantová mechanika so štatistickým modelom súboru mikročastíc. Odvodenie formalizmu, ktorý by z jediného abstraktného modelu mohol interpretovať ak výsledky klasickej fyziky,

tak výsledky kvantovej mechaniky, môže byť založené iba na hlbšej klasickej i kvantovomechanickej analýze meracieho procesu a nie iba na náhodnej zhode teoretických vzťahov, ktoré majú inú interpretáciu v klasickej fyzike a inú v kvantovej mechanike.

Literatúra

- [1] WEYL, H.: *Philosophie der Mathematik und Naturwissenschaft*. München, Oldenbourg, 1966.
- [2] STARIČEK, I.: Acta metronomica 7 (1971) číslo 6. Ústav teórie merania SAV, Bratislava.
- [3] STARIČEK, I.: Acta metronomica 5 (1969) číslo 9. Ústav teórie merania SAV, Bratislava.
- [4] MENGER, K.: Mensuration and other mathematical connections of observable material. V zborníku: CHURCHMAN, C., W.: *Measurement definitions and theories*. London, John Wiley, 1959.
- [5] SUPPES, P. - ZINNES, S.: *Theory of measurement. Handbook of Mathematical Psychology*. New York, John Wiley and Sons, 1963. V ruskom preklade: *Osnovy teoriji izmerenij. Psihologičeskije izmerenija*. Moskva, Mir, 1967.
- [6] BOHR, N.: *Atomphysik und menschliche Erkenntniss II*. Braunschweig, F. Vieweg und Sohn, 1966.
- [7] EINSTEIN, A. - PODOLSKI - ROSEN: Phys. Rev. 47, 777 (1935).
- [8] BALLENTINE, L.: Rev. of Mod. Phys. 42, 358 (1970).
- [9] ROSENFELD, L.: Nature 190, 384 (1961).
- [10] ADAMS, E. W., FAGOT, R. F. and ROBINSON, R. E.: Journal of Mathematical Psychology 7 (1970), 379.
- [11] BLOCHINCEV, D. I.: *Zásadní otázky kvantové mechaniky*. Praha, Academia, 1971.
- [12] STARIČEK, I.: Teória a metóda 3, 25 (1971).
- [13] STARIČEK, I.: V zborníku: *Medzinárodné sympóziu INSYMET 72*. Dom techniky, Bratislava 1972.
- [14] STARIČEK, I.: V zborníku: *Druhá pracovná konferencia čs. fyzikov Bratislava 1. - 3. 9. 1971*. Academia Praha 1972.
- [15] STARIČEK, I.: Čs. čas. fys. A 22, 366 (1972).

B. G. KUZNEČOV:

Optimalizace využití vědeckotechnických tendencí je ekonomický a ekonometrický úkol. Je ho možné charakterizovat takto: Čas od času prostřednictvím výpočetní techniky a na základě vědeckotechnických tendencí je třeba uskutečnit optimální změnu struktury výroby a spotřeby. Bere se přitom v úvahu, jak bude na strukturu působit přechod k jaderné energetice, nová technologie, využití nové elektronové automatiky, v jaké míře se změni rozpočty rodin, jaké nové kulturní potřeby vzniknou a jak se budou realizovat, jak rychle je třeba rozvíjet vědeckotechnický výzkum, geologický průzkum, experimentální a teoretické práce v oblasti základního výzkumu.

Z mnoha variant je nutno vybrat optimální, zabezpečující maximální růst základního ekonomického indexu: úroveň produktivity práce, její rychlost a zrychlení rychlosti. Představíme-li si n -rozměrný prostor, kde je každý bod určen n -tým počtem souřadnic, je možné každý bod brát jako popis struktury výroby: souřadnice bodu jsou objemem každého n -tého počtu plánovaných odvětví výroby. Přechod od jednoho bodu k druhému s jinými souřadnicemi představuje přechod k nové struktuře, změnu struktury výroby. Spojíme-li body pro jednotlivé roky, dostaneme křivku charakterizující dynamiku struktury.