

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Rudolf Zajac

Max Born a vznik kvantovej mechaniky

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 27 (1982), No. 6, 317--325

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138154>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1982

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>

- [6] EMDEN, R.: *Gaskugeln*. Joh. Ambrosius Barth. Leipzig, 1907.
- [7] LANE, J. H.: *Amer. Jour. of Science and Arts* (2), 4, 57, 1870.
- [8] EDDINGTON, A. S.: *The Internal Constitution of the Stars*. Cambridge Univ. Press, 1. vyd. 1926, 2. vyd. 1930.
- [9] EDDINGTON, A. S.: *Relativity Theory of Protons and Electrons*. Cambridge Univ. Press 1936.
- [10] EDDINGTON, A. S.: *The Math. Theory of Relativity*. Cambridge Univ. Press, 1922.
- [11] EDDINGTON, A. S.: *Space, Time and Gravitation*. Cambridge Univ. Press, 1920.
- [12] EDDINGTON, A. S.: *The Expanding Universe*. Cambridge 1933.
- [13] LEMAITRE, G.: *The Primeval Atom*. Van Nostrand, Princeton, 1950.
- [14] EDDINGTON, A. S.: *Fundamental Theory*. Cambridge Univ. Press, 1946.

Max Born a vznik kvantovej mechaniky

Rudolf Zajac, Bratislava

Pred sto rokmi, 11. decembra 1882 narodil sa vo Wroclavi Max Born, ktorý prežil ako jeden z jej spolutvorcov celú históriu kvantovej fyziky: rozvoj „starej“ alebo „poloklasickej“ kvantovej teórie a vznik kvantovej mechaniky. Prvá vznikla ako nechcené dieťa klasickej elektrodynamiky a štatistickej fyziky*), druhá bola výsledkom plánuvitej prípravy jej tvorcov. Ba v prípade druhej, dieťa sa ešte nenarodilo a už bolo preň pripravené meno: kvantová mechanika. Toto pomenovanie jej dal Max Born. W. Heisenberg spomína [3], že v rokoch 1924–1925 sa na seminároch v Göttingene, ktoré viedol Max Born, už hovorilo o novej kvantovej mechanike, hoci sa ešte nevedelo, akú bude mať matematickú a fyzikálnu podobu. Názov „kvantová mechanika“ objavil sa prvý raz v nadpise Bornovho článku v časopise *Zeitschrift für Physik* 26 (1924) 379–395 [4].

Max Born bol teda akýmsi krstným otcom kvantovej mechaniky. Patril medzi tých málo fyzikov „staršej generácie“, ktorí boli pri zrode teórie relativity a starej kvantovej teórie, ale čoskoro pochopili, že neprotirečivý opis zákonitostí mikrosвета nevznikne jej zdokonaľovaním (zavádzanie eliptických dráh, relativistické korekcie), ale vybudovaním úplne novej teórie. V tejto otázke se názorove približoval Nielsovi Bohrovi,

*) Max Planck 19. októbra 1900 vylepšil Wienov zákon spektrálneho rozdelenia energie absolútne čierneho telesa [1], aby vyhovoval aj experimentálnym hodnotám, nameraným v červenej časti spektra. 14. decembra 1900 potom nekonvenčným využitím Boltzmannovej štatistiky a Maxwellovej elektrodynamiky predniesol teoretické zdôvodnenie svojho rozdeľovacieho zákona a určil dve univerzálne konštanty $k = 1,346 \cdot 10^{-16}$ erg/grad, $h = 6,55 \cdot 10^{-27}$ erg s [2]. (Súčasnú hodnotu Boltzmannovej a Planckovej konštanty sú $k = 1,38062 \cdot 10^{-23}$ J/K, $h = 6,62620 \cdot 10^{-34}$ Js.) Akokoľvek sám Planck považoval kvantovanie energie žiarenia vo svojom vzťahu $\epsilon = h\nu$, kde ϵ je energia a ν frekvencia žiarenia, za „neprirodzený“ zásah do fyziky, nemohol ho nijako zo svojich úvah eliminovať.

zatiaľ čo postoje vo fyzike mikrosвета vrhali tieň nedorozumenia na Bornov trvalý, priateľský vzťah k Einsteinovi.*)

Bornovu schopnosť prijímať a rozvíjať aj v relatívne staršom veku od základu nové myšlienky možno pripísať dvom okolnostiam. Po prvé podobne ako N. Bohra ho filozofický podtext vedy vždy zaujímal viac ako špeciálne výsledky [6] a táto pozícia ho podnecovala, aby sa aktívne zúčastnil na vytváraní nového fyzikálneho obrazu sveta.

Druhá okolnosť spočívala v tom, že Max Born vždy vedel, kde sa skutočne robí a rodí veda. Možno to povedať aj tak, že intelektuálne prostredie vo Wroclavi, ktoré ho v mladosti formovalo, nebolo zápečnícke – naopak, otvorilo mu okno do sveta. Keď sa rozhodol študovať matematiku, povedali mu, že Mekkou matematiky je Göttingen a že tam nájde troch prorokov: Felixa Kleina, Davida Hilberta a Hermanna Minkowského. Born šiel študovať do Göttingenu a s poslednými dvomi sa aj osobne zblížil. Naučil sa od nich nekonvenčnému prístupu k matematike, ktorý mu bol veľmi na osoh. Keď sa potom rozhodol študovať teoretickú fyziku, spoznal – na rozdiel od mnohých iných – význam Einsteinových prác o teórii relativity a kvantovej teórii.

V roku 1905 len málo fyzikov pochopilo prevratný význam troch Einsteinových prác, uverejnených v 17. zväzku časopisu *Annalen der Physik***.) Medzi jasnozrivých patril poľský profesor Witkowski, ktorý svojmu krakovskému priateľovi profesorovi Loriovi povedal: „Narodil sa nový Kopernik. Čítaj Einsteinovu stať!“ Borna potom Loria v roku 1907 upozornil na Einsteinovu prácu. Okamžite si ju prečítal a pripadala mu ako zjavenie [7].

Počas prvej svetovej vojny sa Born v Berlíne zblížil s Albertom Einsteinom, často sa stretávali, poriadali rodinné husľové koncerty. Max Born bol vlastne Einsteinovým dôverníkom v období, keď sa rodila všeobecná teória relativity.***)

Planckova stať z roku 1900 by vari bola zapadla medzi viacerými inými pokusmi o formuláciu rozdeľovacieho zákona energie žiarenia absolútne čierneho telesa****), nebyť Einsteinovej práce o fotoefekte z roku 1905 a nadväzujúcich článkov z rokov 1906 a 1907. Einstein v roku 1907 prvý použil v teórii tuhých látok Planckovu myšlienku kvantovania energetických hladín lineárneho harmonického oscilátora. V roku 1907 vyšla jeho práca o špecifickej tepelnej kapacite kryštalických tuhých látok, v roku 1911 bola táto problematika stredom pozornosti prvého Solvayovho kongresu v Bruseli. Einstein použil na opis tepelného pohybu v kryštalickej tuhej látke model s oscilátormi

*) To, pravda, nebránilo Einsteinovi v roku 1947 navrhnuť Maxa Borna za svojho nástupcu vo funkcii riaditeľa fyzikálneho ústavu v Princetone. Tento návrh neprešiel, lebo M. Born patril k staršej generácii. Einsteinovým nástupcom sa stal J. Robert Oppenheimer [5].

***) Boli to Einsteinove práce k teórii Brownovho pohybu, fotoelektrického efektu a stať *K elektrodynamike pohybujúcich sa telies*, ktorou sa začína éra teórie relativity vo fyzike.

*****) Táto skutočnosť primáľa Borna, že nikdy nepublikoval práce týkajúce sa teórie relativity s výnimkou populárnej knižky „*Einsteinova teória relativity*“, ktorá vyšla v mnohých vydaniach vo viacerých jazykoch, o.i. aj v ruštine. (Posledné vydanie: Izdatel'stvo Mir, Moskva 1972 podľa anglického vydania z roku 1962).

*****) Ešte v roku 1905 publikovali Rayleigh a Jeans svoju prácu o čiernom žiarení, ktorá vychádzala z klasických predstáv.

danej frekvencie. Max Born spolu s Theodorom Kármánom nadviazali na túto prácu a vo svojich výpočtoch uvažovali celé spektrum oscilácií mriežky.

I keď sa viac ujala takmer súčasne vypracovaná Debyeova teória, Borna pokládame za jedného zo zakladateľov modernej fyziky tuhých látok. Jeho prvé syntetické dielo z tejto oblasti, *Atómová teória pevnej fázy*, vyšlo v roku 1923.

V roku 1919 odchádza M. Born z Berlína do Frankfurtu nad Mohanom, kde prevzal profesúru po Maxovi von Lauem. Tu sa pod Bornovým patronátom a možno povedať aj mecenáštvom uskutočnil Sternov-Gerlachov pokus, ktorý zohral potom rozhodujúcu úlohu v histórii kvantovej mechaniky. Max Born o tom písal vo svojej autobiografii [6], nechajme však hovoriť samého Walthera Gerlacha: „Na jeseň 1920 ... prizvali ma Max Born a Otto Stern k svojim pokusom s atómovými lúčami v teoretickom ústave ... Stern okamžite navrhol, aby sme preskúmali otázku tzv. priestorového kvantovania pomocou v princípe jednoduchého experimentu: vychýlenia alebo rozštiepenia lúča atómov striebra v nehomogénnom magnetickom poli. Vzhľadom na to, že nám chýbali v období začínajúcej inflácie takmer všetky pomocné prostriedky, podporil nás Born z honoráru, ktorý dostal za prednášky o teórii relativity ... Niels Bohr a Max Born očakávali dôkaz extrémneho priestorového kvantovania, Arnold Sommerfeld najvyšš poloklasický výsledok, Peter Debye nepovažoval dôkaz s mechanicko-magnetickým pokusom za možný ... Stern a ja sme hovorievali: »Však pitva nám to ukáže«, pričom sa Stern prikláňali viac ku klasickému ako ku kvantovému stanovisku. Born informoval Einsteina, ktorý nám po prvých neúspešných výsledkoch obstaral peniaze na silný magnet a pomohol nám svojim optimizmom...“ [8].

Citát z Gerlachových spomienok má popri opise úlohy, ktorú zohral M. Born pri Sternovom a Gerlachovom pokuse ilustrovať aj situáciu začiatkom dvadsiatych rokov, keď sa názory na mikrosvet ešte značne rozchádzali. Na tomto mieste sa žiada pripomenúť, že W. Heisenberg a W. Pauli ako poslucháči teoretickej fyziky v Mníchove už v tom čase uvažovali o radikálnej zmene pohľadu na mikrosvet v tom zmysle, že kvantová teória by sa mala budovať len pomocou pozorovateľných veličín. Pauli sa s týmito názormi zdôveril Petrovi Pavlovi Ewaldovi, ktorého prednášku si zapísal popri Sommerfeldových prednáškach a seminároch*). Ewald o týchto názoroch informoval Borna, ktorý o tom 23. decembra 1919 Paulimu napísal: „Práve túto myšlienku sledujem dlhší čas, avšak doteraz bezúspešne, totiž že východisko zo všetkých ťažkostí kvantovej teórie treba hľadať z celkom principiálnych bodov: pojmy priestoru a času ako štvorrozmerného kontinua neslobodno prenášať z makroskopického skúsenostného sveta na atomistický svet. Ten si zrejme vyžaduje iný druh číselných variet ako adekvátny obraz. Ale ako by sa to malo urobiť, o tom nemám tušenia. Nie som síce ešte starý, ale už príliš starý a zafatovaný na to, aby mi mohlo niečo také napadnúť. To je Vaša úloha. Po všetkom tom, čo o Vás počujem, ste povolaný k takýmto problémom.“ [9]

V roku 1921 odchádza Max Born za profesora teoretickej fyziky do Göttingenu, kde vystriedal P. Debyea. Tu privolal k spolupráci Jamesa Francka, ktorý v roku 1914 spolu s G. Hertzom experimentálne potvrdil Bohrovu podmienku frekvencií.

*) Ewaldova prednáška sa opierala o Bornovu monografiu *Dynamik der Kristallgitter*, Leipzig, G. B. Teubner 1915.

Rovnako šťastnú ruku ako pri vyhľadávaní učiteľov a spolupracovníkov mal M. Born aj pri výbere svojich žiakov a asistentov. V Göttingene spolupracoval s nastupujúcou generáciou teoretických fyzikov, menovite s W. Heisenbergom, W. Paulim a P. Jordanom. To bolo v čase, keď N. Bohrovi udelili Nobelovu cenu za zásluhy vo výskume stavby atómu. Bohr sám v tomto období so svojimi spolupracovníkmi (jedným z najmladších bol H. Kramers) už upustil od svojho pôvodného modelu z roku 1913 a pracoval na novej teórii atómu, ktorá vychádzala z klasickej teórie disperzie a z princípu korešpondencie. Vyvrcholením týchto snáh bol spoločný článok N. Bohra, H. A. Kramersa a J. C. Slatera *Kvantová teória žiarenia*, ktorý vyšiel v roku 1924 vo *Philosophical Magazine* 47 (1924) 785–802 a v *Zeitschrift für Physik* 24 (1924) 69–87. V tomto článku je názorný „ikonický“ model atómu nahradený „pojmovým modelom“ atómu ako súboru virtuálnych oscilátorov. Bohr, Kramers a Slater vyslovili hypotézu, podľa ktorej atómy v stacionárnom stave vytvárajú virtuálne žiarivé pole, ekvivalentné s polom virtuálnych klasických harmonických oscilátorov, ktoré korešponduje s rozličnými možnými prechodmi podľa Bohrovho vzťahu

$$E_m - E_n = h\nu_{mn}.$$

Procesy prechodov z jednej energetickej hladiny do druhej sú s týmto mechanizmom spojené pravdepodobnostnými zákonmi, analogicky ako prechody pri indukovanej emisii v Einsteinovej teórii koeficientov A , B z roku 1917. Dôsledkom tohto mechanizmu je, že energia a hybnosť sa nezachovávajú pri jednotlivých aktoch vyžiarovania alebo pohltienia svetla, ale iba v štatistickom priemere.

Tvrdenie o neplatnosti zákona zachovania energie pri jednotlivých aktoch vzájomného pôsobenia žiarenia a atómov látky vyvrátili pokusmi W. Bothe, H. Geiger, A. H. Compton a A. W. Simon. Teória virtuálnych harmonických oscilátorov však zohrala významnú heuristickú úlohu pri vzniku kvantovej mechaniky. Max Born sa intenzívne zaoberal vzájomným pôsobením svetla a látky a uverejnil na túto tému spoločnú stat s W. Heisenbergom. V článku *Kvantová mechanika* v roku 1924 Max Born potom sledoval myšlienku interpretovať interakciu medzi dvomi mechanickými systémami, obdobne ako sa v predošlých statiach uvažovalo vzájomné pôsobenie žiarivého poľa a atómu.

Z retrospektívneho hľadiska treba vyzdvihnúť dva momenty z tohto Bornovho článku. Max Born tu prvý raz použil poruchovú teóriu v dynamike mikrosвета a princípu korešpondencie dal matematickú podobu, ktorá spočívala v nahradení diferenciálu diferenciou. Nech nejaká funkcia f závisí od kvantového čísla n . Born potom uplatnil princíp korešpondencie takto

$$\frac{df(n)}{dn} = f(n+1) - f(n).$$

Skutočne pre pomaly sa meniacu funkciu pri veľkých hodnotách argumentu možno písať

$$\lim \frac{f(n+1) - f(n)}{(n+1) - n} = f(n+1) - f(n).$$

(Tento trik použil o rok neskôr na rozhodujúcom mieste pri svojich výpočtoch W. Heisenberg vo svojom článku *O kvantovomechanickej reinterpretácii kinematických a mechanických vzťahov* [10].)

Po spomínanom Bornovom článku nasledoval ešte spoločný Heisenbergov a Kramersov článok a stať amerického fyzika Van Vlecka, v ktorých uplatnili princíp korešpondencie v tom zmysle, že pre veľké kvantové čísla sa kvantová disperzná formula asymptoticky približovala ku klasickej. Oscilátorovú mohutnosť vtedy vyjadrili pomocou Einsteinových koeficientov absorpcie a indukovanej emisie.

Obrat potom nastal, keď na jar 1925 Heisenberg dostal sennú nádchu a na odporúčanie Maxa Borna odišiel na skalnatý ostrov Helgoland, kde mal dva týždne čas všetko si znovu v pokoji premyslieť [3]. Vrátil sa k svojmu princípu pozorovateľnosti, o ktorom predtým často diskutoval s Paulim. Fyzikálny obsah tohto princípu bol tento: nová kvantová mechanika nemá spočívať na zmene Hamiltonovej dynamiky, ale vyžaduje si novú kinematiku. Ústrednou úlohou zostane riešenie pohybovej rovnice

$$\ddot{x} + f(x) = 0$$

a určenie účinkovej premennej $J = \int p \, dq$, ktorá je pri násobne periodických pohyboch ako funkcia iba celkovej energie integrálom pohybu, pričom $J = n \cdot h$.

Zmeniť sa mal význam symbolov $x, f(x)$ a ich derivácií, teda kinematika, v ktorej množina premenných x častice nepredstavuje množinu bodov určujúcich jej dráhu v priestore. V klasickej teórii pri periodickom pohybe možno rozviesť súradnicu $x(t)$ do Fourierovho radu

$$x(t) = \sum_{\alpha=-\infty}^{+\infty} X_{\alpha}(J) e^{i\alpha\omega(t-\tau)}.$$

V tomto vzťahu ω je uhlová frekvencia, t je čas, $\omega(t - \tau) = w$ je uhlová premenná, kánonicky združená k účinkovej premennej J ako zovšeobecnenej hybnosti. Heisenberg dôsledným aplikovaním Bohrovho princípu korešpondencie nahradil klasické členy z Fourierovho rozvoja nenázornými dvojindexovými výrazmi

$$X_{nm} = x_{nm} e^{i\omega_{nm}(t-\tau)}.$$

Na základe analógie s násobením dvoch Fourierových radov „uhádol“ (ako sám hovorieval) pravidlá pre násobenie týchto dvojindexových prvkov a napokon aj pomocou Bornovho matematického triku, pri ktorom sa derivácia nahrádza diferenciou, dostal základnú rovnicu novej mechaniky mikrosвета v tvare, ktorý je pre súčasného čitateľa nezvyklý

$$(1) \quad 2\pi m \sum_s \{ (X_{rs})^2 \omega_{sr} - \omega_{rs} |X_{sr}|^2 \} = h.$$

Toto je pôvodná formulácia Heisenbergových zámenných vzťahov (prepísaná pomocou indexov).

Max Born okamžite pochopil, že Heisenberg našiel kľúč k mechanike mikrosвета. Z Heisenbergovej práce po dlhšom uvažovaní vyčítal, že dvojindexové prvky X_{rs} sú prvkami matice: „Potom, čo som poslal Heisenbergov článok na uverejnenie do *Zeit-*

schrift für Physik – spomínal Born [4] – začal som hľadať o jeho symbolickom násobení. Čoskoro ma táto vec tak zaujala, že som o nej rozmýšľal celý deň a v noci som takmer nespal. Cítil som totiž, že za tým je dačo fundamentálneho ... A raz ráno ... náhle mi svitlo: Heisenbergovo symbolické násobenie nebolo ničím iným ako maticový počet, s ktorým som sa oboznámil počas svojich študentských čias z Rosanesových prednášok vo Wroclavi.“

Max Born potom definoval matice pre hybnosť a rovnicu (1) prepísal do tvaru

$$(2) \quad \sum_s (p_{rs}x_{st} - x_{rs}p_{st}) = \frac{h}{2\pi i} \delta_{rt} ,$$

pričom $p_{rs} = im\omega_{rs}x_{rs}$. V ďalšom prepísal Heisenbergove zámenné vzťahy do tvaru

$$(3) \quad \hat{p}\hat{q} - \hat{q}\hat{p} = \frac{h}{2\pi i} \hat{1} .$$

Vo vzťahu (3) $\hat{1}$ je jednotková matica.

Ako Van der Waerden v šesťdesiatych rokoch vyskúmal, v spomenutých bodoch spočíva Bornova časť článku, ktorý publikoval spolu s Pascualom Jordanom v 34. zväzku (1925) Zeitschrift für Physik*) na str. 858.

Jordan okrem iného ukázal, že časová derivácia ľavej strany rovnice (3) je nulová a preveril tento vzťah. Podobným postupom preveril platnosť zákona zachovania energie. Born a Jordan napokon aplikovali svoj maticový formalizmus na určenie energetických hladín lineárneho harmonického oscilátora. Ich postup reprodukovujú niektoré učebnice, napríklad *Kvantová mechanika* L. D. Landaua a E. M. Lifšica [11]. (Pokiaľ sa spomínajú autori odvolávajú na Heisenberga, majú na mysli jeho základné myšlienky. Formálne matematický postup pochádza od Borna a Jordana.)

Vzápätí za spoločným článkom s Jordanom uverejnil M. Born ďalší článok s P. Jordanom a W. Heisenbergom**) *Ku kvantovej mechanike II*. Do histórie vošla táto práca ako „Drei-Männer-Arbeit“. Ňou sa položili základy maticovej mechaniky systémov s viacerými stupňami voľnosti, určili sa komutačné pravidlá pre moment hybnosti (a dôsledky z nich vyplývajúce), využila sa poruchová teória pre nedegenerované a pre veľkú triedu degenerovaných systémov.

Hlavný Bornov príspevok k tejto práci bol opäť v matematickom formalizme. M. Born je autorom tretej kapitoly, v ktorej nachádza súvis kvantovej mechaniky so všeobecnou teóriou vlastných hodnôt hermitovských foriem.***)

Zdalo by sa, že hlavná Bornova zásluha o kvantovú mechaniku spočíva v jej matematickej formulácii. Tento pohľad ešte zvyrazňuje skutočnosť, že spolu s N. Wienerom nezávisle od E. Schrödingera zaviedol do kvantovej mechaniky operátorový počet.

*) Článok prišiel do redakcie 27. septembra 1925. Je v doslovnom znení pretlačený v anglickom preklade v publikácii [4] a v originálnom znení skrátené v Ludwigovej knižke [10].

**) *Zur Quantenmechanik II*, Z. Phys. 35 (1926) 557–615. Článok je v preklade prevzatý do publikácie [4].

***) Heisenberg, ktorý sa práve vracal z Kodane, sa sústredil na fyzikálnu stránku kvantovej mechaniky a v tomto zmysle napísal úvod. Článok napokon vznikol ako akýsi kompromis medzi Bohrovou fyzikálnou školou a Bornovou snahou po exaktnej matematickej formulácii problémov [4].

Ukázalo sa však, že Max Born je mimoriadne hlbavý fyzik. Po vyjdení Schrödingerových prác o vlnovej mechanike*) vyvstal problém interpretácie novej teórie mikrosвета. E. Schrödinger, W. Pauli**) a neskoršie John von Neumann dokázali, že vlnová a maticová mechanika sú matematicky izomorfné. Podľa von Neumanna Schrödingerova vlnová funkcia $\psi(x)$ nie je ničím iným ako vyjadrením stavového vektora z abstraktného Hilbertovho priestoru v súradnicovej reprezentácii a maticová mechanika je realizácia tohto Hilbertovho priestoru v energetickej reprezentácii.

Ale Heisenbergova a Schrödingerova fyzikálna interpretácia sa diametrálne rozchádzali. K tejto otázke zaujal stanovisko Max Born v článku *Kvantová mechanika zrážkových procesov***)*, z ktorého citujeme:

„Maticová forma kvantovej mechaniky, ktorú založil Heisenberg a rozvinul spolu s Jordanom a s autorom tohto článku, vychádza z myšlienky, že procesy v priestore a čase vôbec nie je možné exaktne zobrazit' a uspokojuje sa formulovaním vzťahov medzi pozorovateľnými veličinami, ktoré možno interpretovať ako vlastnosti pohybov iba v limitnom klasickom prípade. Na druhej strane Schrödinger, zdá sa, pripisuje vlnám rovnakú realitu, akú majú svetelné vlny. Tieto vlny posudzuje podľa de Broglieho postupu ako nositeľov atómových procesov. Usiluje sa konstruovať grupy vln, ktoré majú vo všetkých smeroch malé rozmery a ktoré majú zrejme priamo zobrazit' pohybujúce sa častice.

Ani jedno z oboch poňatí sa mi nezdá uspokojivé. Pokúsil by som sa podať tu tretiu interpretáciu a vyskúšať jej upotrebitelnosť na zrážkových procesoch. Pri tom nadväzujem na Einsteinovu poznámku o vzťahu vlnového poľa a svetelných kvánt. Einstein povedal asi toľko, že vlny sú tu iba na to, aby nasmerovali korpuskulárne svetelné kvantá a v tomto zmysle hovoril o akomsi »poli duchov« (má tu na mysli skôr pole strašidiel — *Gespensterfeld*, poznámka R. Z.). Toto pole určuje pravdepodobnosť, že svetelené kvantum, nositeľ energie a hybnosti, sa bude pohybovať určitým smerom. Samému poľu však neprináleží energia ani hybnosť... A tu sa ponúka myšlienka posudzovať de Broglieho a Schrödingerove vlny ako „pole duchov“ alebo »vodiace pole«.

V ďalšom M. Born uvádza, že podľa jeho interpretácie sa šíri vodiace pole, zobrazené skalárnou vlnovou funkciou ψ podľa Schrödingerovej diferenciálnej rovnice. Ale hybnosť a energia sa pritom prenášajú tak, ako keby sa skutočne premiestňovali častice. Pre polohu častice možno určiť len pravdepodobnosť pomocou rozdelenia hodnôt funkcie ψ . Born uzatvára svoje úvahy paradoxom: pohyb častíc sa deje podľa pravdepodobnostných zákonov, sama pravdepodobnosť sa však šíri v súlade so zákonom príčinnosti. Inými slovami, znalosť stavu vo všetkých bodoch v danom okamihu určuje rozdelenie stavu vo všetkých neskorších časoch.

*) V roku 1926 vyšlo v 79. až 81. zväzku *Annalen der Physik* päť Schrödingerových článkov (štyri pod nadpisom *Kvantovanie ako problém vlastných hodnôt* a piaty pod titulom *O vzťahu Heisenbergovej-Bornovej-Jordanovej kvantovej mechaniky k mojej*). Štyri z nich nájdete čitateľ v originále v publikácii [10], všetky sú v ruskom preklade v knihe [12].

**) Pauli svoje úvahy nepublikoval. Zachoval sa jeho list P. Jordanovi z 12. apríla 1926, uverejnený v publikácii [9].

***) *Zeitschrift für Physik* 38 (1926), 83, pozri [10].

V ďalšej časti svojej práce potom M. Born podáva známu definíciu, podľa ktorej (pre jednu časticu)

$$|\psi(x, y, z, t)|^2 dx dy dz$$

je pravdepodobnosť výskytu častice v objemovom elemente $dV = dx dy dz$. Pomocou Fourierových integrálov potom normuje vlnovú funkciu voľnej častice a napokon podáva teóriu pružných a nepružných zrážok, na ktorú neskoršie nadviazala kvantová teória rozptylu.

V závere svojej práce vyslovuje M. Born predpoklad, že snáď existujú skryté parametre, ktoré nepoznáme a ktoré sú zodpovedné za štatistickú interpretáciu kvantovej mechaniky.

Interpretácia kvantovej mechaniky, ktorú podnietil M. Born v roku 1926, stala sa oficiálnou a dostala názov „ortodoxná interpretácia“. Z významných fyzikov proti nej vystúpili najmä Albert Einstein a Erwin Schrödinger. V tejto skutočnosti M. Born videl dôvod, že mu Nobelovu cenu „za práce o kvantovej mechanike“ udelili*) až v roku 1954 [6].

V roku 1933 M. Born emigroval do Veľkej Británie, kde prevzal na tri roky úväzok v Cambridge. Tu napísal známu učebnicu atómovej fyziky.***) V roku 1936 prevzal profesúru po Charlesovi Galtonovi Darwinovi v Edinburgu, kde zotrval do roku 1953. Zaoberal sa rôznymi problémami teoretickej fyziky, termodynamikou kryštálov, kinetickou teóriou plynov a i. Vo viacerých vydaniach vyšla aj Bornova kniha o optike, o.i. aj v ruštine***).

V Edinburgu zotrval M. Born až do svojho odchodu do dôchodku v roku 1953. Nezúčastnil sa na anglo-americkom atómovom projekte; v liste R. Clarkovi to odôvodnil takto: „Mojí kolegovia vedeli, že som bol proti tomu, aby som sa zúčastnil na vojenskom projekte takého druhu, ktorý sa javil taký hrôzostrašný“ [5]. V roku 1953 presídlil do NSR, kde žil v Bad Pyrmont. Zomrel 5. januára 1970 v Göttingene.

Literatúra

- [1] PLANCK, M.: Verh. Dtsch. phys. Ges. Berlin 2 (1900) 202.
- [2] PLANCK, M.: Verh. Dtsch. phys. Ges. Berlin 2 (1900) 237.
- [3] HEISENBERG, W.: *Der Teil und das Ganze*. R. Piper, München, 1969.
- [4] WAERDEN VAN DER, B. L.: *Sources of Quantum Mechanics*. North-Holland Publishing Company, Amsterdam 1967.
- [5] CLARK, R. W.: *Albert Einstein*. Bechte, Esslingen, 1974.
- [6] BORN, M.: *My life and my views*. Charles Scribner's Sons, New York 1968.
- [7] BORN, M.: *Physics in my Generation*, London 1956.
- [8] GERLACH, W.: *Erinnerungen an Albert Einstein*. Acta historica Leopoldina, J. A. Berth, Leipzig, 1980.

*) Isteže by si to vyžiadalo podrobnejší výskum. Veď podobné niečo sa „prihodilo“ A. Einsteinovi, ktorému neudelili Nobelovu cenu za teóriu relativity. V roku 1922 dostal Nobelovu cenu za rok 1921 „pre zásluhy o teoretickú fyziku a obzvlášť za objav zákonov fotoelektrického efektu“.

***) BORN, M.: *Atomic Physics*, London, Blackie, 1935.

****) *Principles of Optics*, London, Pergamon Press, 1962.

- [9] *Wolfgang Pauli, Wissenschaftlicher Briefwechsel mit Bohr, Einstein, Heisenberg u.a. Band I.* Ed. A. HERMANN, K. V. MEYENN, V. F. WEISSKOPF, Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin., 1979.
- [10] LUDWIG, G.: *Wellenmechanik.* Akademie Verlag, Berlin, 1970.
- [11] LANDAU, L. D., LIFŠIČ, E. M.: *Kvantovaja mechanika.* Gosud. izd. fiziko-matematičeskoj lit., Moskva, 1963.
- [12] SCHRÖDINGER, E.: *Izbrannye trudy po kvantovoj mechanike.* Nauka, Moskva 1976.
- [13] NIEDERLE, J.: *Zrození kvantové mechaniky.* Čs. čas. fys. A 25 (1975), 392.
- [14] HEISENBERG, W.: *O vývoji pojmů v historii kvantové teorie.* Čs. čas. fys. A 25 (1975), 397.
- [15] PIŠŮT J.: *O vzniku maticovej kvantovej mechaniky.* Fyzikálne obzory 1 (1978), 19.

diskuse

PROGRAMOVANIE — DRUHÁ GRAMOTNOSŤ*

Andrej P. Jeršov, Novosibirsk

Andrej Petrovič JERŠOV je vedúcim oddelenia matematickej informatiky Výpočtového centra Sibirského oddelenia Akadémie vied ZSSR v Novosibirsku. Je jedným spomedzi tých odborníkov, ktorí najvýraznejšie reprezentujú sovietsku matematickú informatiku za hranicami ZSSR. V tejto súvislosti si zasluhuje pozornosť knižka prof. Jeršova *The British Lectures* (Heyden and Son, 1979), obsahujúca texty prednášok prednesených počas jeho pobytu vo Veľkej Británii roku 1976. Odbornej verejnosti u nás je pravdepodobne známa netradične ponímaná učebnica programovania, ktorú prof. Jeršov vydal pod názvom *Úvod do teoretického programovania* vo vydavateľstve Nauka (1977). Špecializovaným kruhom ho však iste netreba predstavovať ani ako jedného z neúnavných iniciátorov reformačných snáh v oblasti výuky programovania i v širšej problematike inovácií metodiky školskej výuky. Táto jeho činnosť je spätá predovšetkým s projektom rozvoja tzv. školskej informatiky, ktorý sa pod jeho vedením realizuje vo Výpočtovom centre SO AV ZSSR. Výrazom ocenenia významu a úrovne vedeckej aktivity prof. Jeršova a jeho kolektívu na tomto poli bolo jeho poverenie prednesom otvárajacej prednášky 3. celosvetovej konferencie o počítačoch vo výchove, ktorá sa konala pod záštitou IFIP-u 27.—31. júla 1981 vo švajčiarskom Lausanne. Čitatelia Pokrokov sa teraz majú možnosť oboznámiť s (nepatrne skráteným) textom lausanskej prednášky prof. Jeršova. Verím, že sa tým rozšíri o ďalšie dimenzie obraz o vzťahu vyučovania a počítačov načrtnutý S. Papertom (PMFA XXVI, č. 2, 1981, s. 92—97) a že stupeň zhody názorov dvoch výrazných autorít v tejto oblasti presvedčivo odráža aktuálnosť nastolených problémov.

Jozef Kelemen

* Preklad je urobený na základe ruského textu prednášky, ktorú autor predniesol dňa 9. septembra 1981 vo Výskumnom výpočtovom stredisku v Bratislave. Anglický text prednášky možno nájsť aj v zborníku „Computers in Educa-

tion“ (LEWIS, R., TAGG, E. D., Eds.), Proc. 3rd WCCE, Lausanne, July 27—31, 1981, Part 1, North-Holland, Amsterdam, str. 1—7 pod názvom *Programming, the second literacy.* (Pozn. prekl.)