

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Ján Pišút

Kvantová fyzika po päťdesiatich rokoch

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 20 (1975), No. 4, 190--197

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/139513>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1975

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>

ního procesu není bezkonfliktní záležitostí navzdory tomu, že podmínky dozrály nebo dozrávají. Existuje celá řada překážek, většinou subjektivních, které musí být postupně a trpělivě odstraňovány. Je na nás všech, na pracovnících základního výzkumu, na pracovnících průmyslového aplikovaného výzkumu i na pracovnících řídicí sféry, abychom energicky hledali a rozvíjeli všechny formy napomáhající nástupu matematicko-fyzikálních věd do naší průmyslové a hospodářské praxe a tím, abychom přispěli ke zkracování cyklu výzkum – vývoj – výroba – užití. Tím nejlépe naplníme direktivu květnového pléna ÚV KSČ o vědeckotechnickém rozvoji.

## Kvantová fyzika po pětadesáti letech

*Ján Pišút, Bratislava*

Súčasná kvantová fyzika vznikla po dlhom a ťažkom vývoji ako výsledok práce viacerých vynikajúcich fyzikov. Keby sme však chceli násilu určiť jej dátum narodenia, asi by bolo najsprávnejšie vybrať 29. júl 1925, keď do redakcie Zeitschrift für Physik prišiel HEISENBERGOV článok: *O kvantovo-teoretickej reinterpretácii kinematických a mechanických vzťahov*.

V nasledujúcom sa budeme trochu zaoberať so základnými myšlienkami tohto článku a spomenieme stručne vývoj kvantovej fyziky pred ním a po ňom.

Neskôr si dovoľm urobiť niekoľko poznámok k problémom vyučovania kvantovej fyziky a na záver sa pokúsim – ako námet do diskusie – načrtnúť návrh na zaradenie kvantovej fyziky do výuky na gymnáziách. Domnievam sa totiž, že zamyslenie sa nad otázkami výuky kvantovej fyziky je to najlepšie, čo môžeme pri jej pätidesiatych narodeninách urobiť.

### **Kvantová fyzika pred rokom 1925**

Základné predstavy o kvantových vlastnostiach žiarenia a atomárnych sústav vznikli postupne v prácach MAXA PLANCKA (1900) o žiarení vysielanom zahriatymi telesami a ALBERTA EINSTEINA (1905) o fotoelektrickom jave.

Prvý kvantový model atómu vytvoril NIELS BOHR (1913). Základná myšlienka Bohrovho modelu bola naznačená čiarovým charakterom atomárnych spektier. Atómy v plyne zahriatom na vysokú teplotu vysielajú žiarenie len na určitých vlnových dĺžkach. Podľa Einsteinovej fotónovej hypotézy to značí, že vysielané fotóny majú len určité energie. Bohr odtiaľ usúdil, že atóm sa môže nachádzať len v určitých (diskrétnych) stavoch, pričom každý stav má určitú hodnotu energie. Ak atóm prechádza zo stavu  $m$  s energiou  $E_m$  do stavu  $n$  s energiou  $E_n$ , vyžiari jediný fotón s energiou  $E_m - E_n$ .

Pretože energia fotónu súvisí jednoznačne s jeho vlnovou dĺžkou (a tým aj kruhovou frekvenciou  $\omega = 2\pi c/\lambda$ ), dostaneme zo zákona zachovania energie vzťah

$$(1) \quad \hbar\omega_{mn} = E_m - E_n ,$$

ktory udáva kruhovú frekvenciu emitovaného fotónu.

Problémom však bolo vysvetlenie mechanizmu vedúceho ku vzniku kvantových stavov atómu.

Bohr vymyslel aj dočasné riešenie tohto problému pre najjednoduchší z atómov – pre vodík. Predpokladal, že elektrón sa pohybuje v atóme podľa zákonov klasickej mechaniky, ale smie sa pohybovať len po takých dráhach, ktoré spĺňajú dodatočnú („kvantovú“) podmienku.

Ďalším problémom bolo vysvetlenie intenzít jednotlivých spektrálnych čiar. Ak sa atóm nachádza v stave  $m$  s energiou  $E_m$ , potom môže preskočiť do stavov  $(m - 1)$ ,  $(m - 2)$ ,  $(m - 3)$  atď. V spektre sa objavia čiary odpovedajúce jednotlivým prechodom podľa (1). Ako ale možno určiť relatívne, alebo dokonca absolútne intenzity jednotlivých spektrálnych čiar?

Aj tento problém bol dočasne riešený Bohrom pomocou princípu korešpondencie. Ak je pohyb elektrónu v  $m$ -tom stave periodický, potom môžeme polohový vektor elektrónu  $\mathbf{r}(t)$  zapísať pomocou Fourierovho radu obsahujúceho základnú frekvenciu a všetky vyššie harmonické. Tieto frekvencie sa intuitívne uvedú do súvislosti s frekvenciami prechodov zo stavu  $m$  do stavov s nižšími energiami a kvadráty koeficientov pri jednotlivých vyšších harmonických kmitoch budú úmerné intenzitám jednotlivých spektrálnych čiar.

Treba ale zdôrazniť, že všeobecne frekvencie vyšších harmonických kmitov v stave  $m$  nie sú rovné frekvenciám prechodov  $m \rightarrow (m - 1)$ ,  $m \rightarrow (m - 2)$  atď. daných vzťahom (1).

Práve táto skutočnosť viedla Nielsa Bohra, Heisenberga, BORNA a viacerých ďalších – najmä príslušníkov Bohrovej skupiny v Kodani a Bornovej v Göttingen k skeptickému názoru na kvantovú teóriu atómov, založenú na Bohrovom modeli pre určovanie kvantových stavov a Bohrovom princípe korešpondencie pre výpočet intenzít spektrálnych čiar.

Tento skeptický postoj je jasne vidieť z úvodu k Heisenbergovmu článku [1] (u nás dostupné najskôr v súboroch základných prác o kvantovej mechanike [2], [3]) a z korešpondencie (uvedenej napr. v úvode k [2]). Problém bol v tom, že podľa klasickej elektrodynamiky, ktorej vtedy fyzici verili podstatne viac ako „starej“ kvantovej mechanike, náboj kmitajúci s frekvenciou  $\omega$  môže vyžarovať len vlny, ktoré majú tú istú frekvenciu  $\omega$ . Ak sústava kmitá na základnej frekvencii  $\omega$  a zároveň na vyšších harmonických, potom v spektre žiarenia sa môže objaviť len frekvencia  $\omega$  a jej násobky. Ale Einsteinova-Bohrova podmienka predpisuje *iné* frekvencie.

Postupne vznikalo presvedčenie (viď napríklad Heisenbergov list VAN DER WAERDENOVÍ uvedený na str. 29 v [2]), že v atóme musí niečo kmitať s frekvenciou danou Einsteinovou-Bohrovou podmienkou; a práve tieto kmity v atóme budú zdrojom žiarenia vysielaného atómom pri prechode  $m \rightarrow n$ .

Takýto názor vyplýval aj z úspechu LADENBURGOVHO ([4]) (článok je zaradený v súbore [2]) modelu pre vysvetlenie disperzie svetla atómami. V tomto modeli je atóm reprezentovaný súborom oscilátorov kmitajúcich na frekvenciách daných vzťahom (1). Model bol neskôr upravený KRAMERSOM ([5]) (tiež zaradené do súboru [2]).

V Kodani u Bohra i v Göttingen sa postupne vyvinulo presvedčenie o tom, že je treba vytvoriť novú kvantovú mechaniku, ktorá by umožňovala vypočítať energie stacionárnych (kvantových) stavov a pravdepodobnosti prechodov medzi jednotlivými stavmi. Nebolo však jasné nakoľko bude nutné odchyliť sa od klasickej fyziky.

### Heisenbergov článok a „maticová mechanika“

Základy novej kvantovej mechaniky, vytvorené v práci W. Heisenberga [1], znamenali úplný rozchod s klasickou mechanikou v oblasti atomárnych javov. V novej kvantovej mechanike stráca zmysel pojem dráhy elektrónu v atóme a jeho miesto zaujíma pojem súradnice častice chápanej v úplne novom zmysle. Ak sa elektrón nachádza v  $n$ -tom kvantovom stave, potom pri emisii žiarenia môže prejsť do stavov  $m$  s energiou  $E_m < E_n$  a pri absorpcii svetla do stavov  $k$  s energiou  $E_k > E_n$ .

Prechodu zo stavu  $n$  do stavu  $m$  priradil Heisenberg oscilátor s amplitúdou  $q_{nm}$  a kruhovou frekvenciou  $\omega_{nm}$  danou rovnicou (1). Namiesto súradnice  $x_m(t)$  elektrónu v stave  $m$  dostaneme tabuľku čísel

$$(2) \quad x_m(t) \rightarrow \{q_{nm} e^{i\omega_{nm}t}\}.$$

Heisenberg viackrát zdôraznil, že veličiny  $q_{nm}$  sú (na rozdiel od trajektórie elektrónu) v princípe pozorovateľné.

Ak klasický oscilátor kmitá tak, že

$$(3) \quad r(t) = d \cos(\omega t + \varphi),$$

potom polarizácia, intenzita, frekvencia a fáza vysielaného žiarenia sú dané jednoznačne veličinami  $d$ ,  $\omega$ ,  $\varphi$ . Podobne veličiny  $q_{nm}$  možno v princípe určiť z meraní vlastností žiarenia emitovaného atómom. Pretože intenzita žiarenia klasického oscilátora (3) je úmerná  $|r|^2$ , budú intenzity jednotlivých prechodov v atóme úmerné veličinám  $|q_{nm}|^2$ . Frekvencie emitovaného a absorbovaného žiarenia sú automaticky správne, pretože v (2) vystupujú len frekvencie dané podmienkou (1).

Priradenie typu (2) chápal Heisenberg ako princíp pre konštrukciu základných veličín novej kvantovej mechaniky. Hybnosti  $p = m\dot{x}$  preto priradil tabuľku

$$(4) \quad p_m(t) \rightarrow \{i\omega_{nm}q_{nm} e^{i\omega_{nm}t}\}.$$

Prírodzene vznikla otázka, akú tabuľku treba priradiť veličine  $x_m^2(t)$ . Výsledná formula bola diktovaná analógiou s klasickou situáciou. Ak sa pozrieme na Fourierov rozklad klasickej trajektórie  $x_m(t)$  do radu s frekvenciami  $\omega_k = k\omega$ , kde  $\omega$  je základná frekvencia

a  $\omega_k$  sú vyššie harmonické, zistíme, že najprirodzenejšou tabuľkou pre reprezentáciu veličiny  $x^2(t)$  v novej kvantovej mechanike je

$$x_m^2(t) \rightarrow \{(q^2)_{nm} e^{i\omega_{nm}t}\},$$

kde

$$(5) \quad (q^2)_{nm} = \sum_k q_{nk} q_{km}.$$

Na základe vzťahov (4) a (5) možno skonštruovať tabuľku čísel priradenú ľubovoľnej klasickej veličine, ktorú možno zapísať ako polynóm v súradniciach a hybnostiach.

Základy kinematiky novej kvantovej mechaniky sú takto dané vzťahmi (1) až (5).

Na vytvorenie úplnej teórie bolo ešte potrebné zapísať pohybové rovnice a napísať novú formuláciu Bohrovej-Sommerfeldovej kvantovej podmienky.

Heisenberg predpokladal, že pohybové rovnice klasickej mechaniky platia formálne bez zmeny, len namiesto klasických veličín  $x(t)$ ,  $p(t)$  treba vždy dosadiť veličiny novej kvantovej mechaniky konštruované podľa (2), (4) a (5).

Reformuláciu Bohrovej kvantovej podmienky

$$\oint p \, dq = nh$$

získal Heisenberg pomocou princípu korešpondencie použitého v analogickom kontexte už Kramersom ([5]). Heisenbergovu formuláciu kvantovej podmienky by sme dnes zapísali takto

$$(qp - pq)_{nn} = i\hbar.$$

V skutočnosti Heisenberg používal o čosi komplikovanejší zápis. Kvantová podmienka

$$(6) \quad qp - pq = i\hbar,$$

kde  $q$ ,  $p$  sú chápané ako matice, sa objavila až v nasledujúcej práci Borna a JORDANA [6], kde Heisenbergove formulácie boli dôsledne prepísané pomocou maticového počtu.

Konečná formulácia kvantovej mechaniky bola onedlho podaná v prácach DIRACA [7] a Borna, Heisenberga a Jordana [8].

V tom istom čase PAULI ([9]) spočítal spektrum atómu vodíku v rámci novej kvantovej mechaniky a teória bola čoskoro obecné prijatá.\*)

\*) Vývoj kvantovej mechaniky v maticovom formalizme je veľmi pekne zachytený v zbierke článkov [2] a v zasvätenom komentári B. L. VAN DER WAERDENA. Bolo by vhodné sa raz zamyslieť nad možnosťou vydať aj u nás preklad základných článkov z kvantovej mechaniky, alebo preložiť priamo [2]. Autor tohto článku sa už viac rokov žije vyučovaním kvantovej mechaniky, ale pri čítaní klasických prác v [2] si uvedomil s výčitkami svedomia, že doslovne prebraný výklad niektorých častí klasických článkov by bol v mnohých prípadoch o triedu lepší, ako to, čo bežne prednášal pre poslucháčov. A mimochodom sa domnievam, že ani v jednej učebnici kvantovej mechaniky nie sú základy absorpcie a emisie svetla atómami vyložené tak jasne ako v Einsteinovej práci [10] (tiež zahrnuté do [2]). Uvádzam to ako jeden príklad pre užitočnosť vydania klasických prác z kvantovej mechaniky. Ďalších príkladov by sa bez ťažkostí našlo veľa.

## Vlnová mechanika

O niekoľko mesiacov neskôr vznikla kvantová mechanika ešte raz. Naväzujúc na prácu DE BROGLIEA [11] SCHRÖDINGER ([12]) napísal pohybovú rovnicu pre vlnovú funkciu elektrónu v atóme vodíka.

Vlastné hodnoty tejto diferenciálnej rovnice boli presne zhodné s energiami stacionárnych stavov atómu vodíka získanými z Heisenbergovej kvantovej mechaniky. Riešenia Schrödingerovej rovnice príslušné k týmto hodnotám energie opisovali, ako sa skoro ukázalo ([13]), amplitúdy pravdepodobnosti pre nájdenie elektrónu v určitom mieste.

Schrödingerovi sa skoro podarilo ukázať, že maticová a vlnová mechanika sú ekvivalentné.

O vlnovej formulácii kvantovej mechaniky sa tu nebudeme podrobnejšie širiť, pretože tento prístup je dobre známy z kurzov atómovej fyziky a kvantovej mechaniky, a navyše o ňom budeme ešte hovoriť v trocha inom kontexte nižšie\*).

## Vyučovanie kvantovej fyziky na gymnáziách

Za uplynulých 50 rokov kvantová mechanika prenikavo a hlboko zmenila fyziku.

Vysvetlila vlastnosti atómov a molekúl a ich interakciu so žiarením. Hrala rozhodujúcu úlohu pri objasňovaní vlastností tuhých látok. Bez kvantovej teórie by sme nevedeli, na akom princípe pracujú lasery, polovodiče a tranzistory (a asi by sme ich ani nemali). O štruktúre a vlastnostiach atómových jadier by sme asi nevedeli nič z toho, čo vieme teraz, a radioaktívne rozpady by boli javom, ktorý sa prieči zdravému rozumu (klasickej fyziky). To isté platí o tak „rafinovaných“ javoch, ako sú supratekutosť a supravodivosť.

Kvantová fyzika preniká čoraz viac aj do iných oblastí. Štúdium štruktúry molekúl a ich vlastností je dnes nemožné bez kvantovej mechaniky a to platí nielen o malých molekulách, ale aj o veľkých organických molekulách, ktoré sú základom života a intenzívne sa s nimi zaoberá veľmi perspektívna molekulárna biológia.

Kvantová fyzika je dnes rozhodne významnou časťou nielen fyzikálneho poznania, ale aj kultúry chápanej v tom najširšom zmysle.

S touto situáciou vo fyzike, chémii a biológii ostro kontrastuje súčasný stav vyučovania kvantovej fyziky na gymnáziách.

V bežných osnovách atómová fyzika končí pri fotoelektrickom jave a pri Bohrovom modeli atómu vodíka (model má už 62 rokov a Bohr sa naň už pred 55 rokmi díval veľmi skepticky a považoval ho za provizórium). Na prvý pohľad by sa dalo namietat, že kvantová fyzika je príliš komplikovaná pre výuku na gymnáziách. Po troche rozmyšľania však možno prísť k záveru, že to nie je chybou kvantovej fyziky.

S Newtonovou fyzikou sa prirodzene spája teória pohybu planét okolo slnka. Nikomu nepríde na um, aby riešenie týchto pohybových rovníc zahrnul do učebného programu na gymnáziách, ale maturant predsa opúšťa strednú školu s hlboko zakorenenými pred-

---

\*) Okrem toho má Schrödingerova rovnica päťdesiatiny až o rok.

stavami newtonovskej fyziky. Mechanizmus je jednoduchý. Princípy Newtonovej fyziky sú dobre a presvedčivo vyložené na jednoduchých príkladoch.

To isté je treba urobiť so základmi kvantovej fyziky. S týmto náročným pedagogickým problémom sa dnes intenzívne zaoberajú gymnaziálni i vysokoškolskí učitelia fyziky a vznikajú nové pokusné osnovy, ktoré sú v štádiu testovania na pokusných školách.

Príprava nových osnov je v značne pokročilom štádiu v susednom Maďarsku, kde je predsedom výboru pre modernizáciu výuky prírodovedeckých disciplín na gymnáziách profesor G. MARX (dobře známy aj medzi našimi teoretikmi a „častičiarimi“). Maďarský program prestavby výuky fyziky, chémie a biológie je veľmi ambicióznym a náročným a snaží sa o integrovanú výuku fyziky, chémie a biológie. Rozmýšľať o tak radikálnych zmenách osnov u nás by možno bolo predčasné, ale domnievam sa, že aspoň fyzici by sa mohli zamyslieť nad otázkami výuky jednotlivých oblastí fyziky.

Ako námet do prípadnej diskusie by som si dovoľil načrtnúť návrh na jednu možnú variantu výuky kvantovej fyziky na gymnáziách.\*) Náčrt (minimálneho) programu by mohol vyzeráť zhruba nasledovne:

## Základy kvantovej fyziky

1. Tepelné žiarenie (veľmi stručne).

2. Fotoelektrický jav a kvantové vlastnosti svetla. Zhruba v doterajšom rozsahu, ale pripojiť stručnú kvalitatívnu diskusiu Comptonovho javu.

3. Vlnové vlastnosti častíc. Odraz elektrónov od kryštálu, vlnové vlastnosti elektrónov, vlnové vlastnosti neutrónov a ďalších častíc, elektrónový mikroskop.

4. Kvantové stavy atómov.

Uviesť experimentálnu evidenciu pre to, že atóm môže byť len v určitých diskretných stavoch (nerobí žiadnu teóriu), čiarové spektrum atómov a Einsteinoва-Bohrova podmienka (1), absorpcia žiarenia atómom a kvantové stavy (čiary v absorbnom spektre, nič viac), Franckov a Hertzov pokus. Do tohto odstavca by sa dal zaradiť aj Bohrov model za predpokladu, že sa spomenú jasne aj ťažkosti Bohrovho modelu.

5. Kvantovanie momentu hybnosti. Spin.

Súpis magnetického momentu a momentu hybnosti (opakovanie z elektriny a magnetizmu). Rozštiepenie energetických hladín atómu v magnetickom poli a interpretácia tohto javu pomocou kvantovania momentu hybnosti.

Sternov a Gerlachov pokus. Spin elektrónu. Dublety v spektre vodíku.

6. Kvantovanie a stojaté vlny.

Elektrón v dlhej organickej molekule.

Túto tému si dovoľím rozviesť trochu podrobnejšie, lebo je na nej vidno princíp kvantovania a na riešenie problému netreba dokopy žiadny matematický aparát.

Predstavme si najprv klasickú kmitajúcu strunu s dĺžkou  $L$  upevnenú na oboch koncoch. Pri kmitaní takejto struny môžu vzniknúť stojaté vlny s vlnovými dĺžkami

$$\lambda_n = 2L/n, \quad n = 1, 2, \dots$$

\*) Návrh je do značnej miery ovplyvnený poznatkami z besied s prof. Marxom pri večerných posedeniach počas rôznych seminárov a konferencií o fyzike elementárnych častíc. Je však značne skromnejší ako príslušná časť maďarského programu.

Dĺžka vlny je kvantovaná. Situácia je podobná pre elektrón, ktorý sa môže voľne pohybovať v dlhej organickej molekule (uviesť konkrétne prípady, pri nedostatku lepšieho stačí aj butadién). Hybnosť elektrónu je ale jednoznačne zadaná jeho vlnovou dĺžkou (de Broglievov vzťah)

$$p_n = h/\lambda_n.$$

Ak je ale kvantovaná hybnosť, je kvantovaná aj energia

$$E_n = \frac{p_n^2}{2m} = \frac{h^2}{8mL^2} \cdot n^2.$$

Všimnúť si tvar vlnových funkcií, súvislosť medzi počtom uzlov a kvantovým číslom  $n$ . Uviesť príklady skutočných organických farbív, ktoré „pracujú“ na tomto princípe.

Všimnúť si, že energia základného stavu ( $n = 1$ ) je nepriamo úmerná dĺžke molekuly. Ak by sme chceli molekulu skrátiť, musíme zvyšovať energiu elektrónu. Elektrón sa pri znižovaní objemu „bráni“. Pri znižovaní objemu, v ktorom sa elektrón môže pohybovať, musíme konať prácu. Súvis tohto efektu so stabilitou atómov. V tejto súvislosti možno uviesť aj princíp neurčitosti. Ak je elektrón v základnom stave, môžeme si predstaviť (približne) stojatú vlnu ako superpozíciu dvoch rovinných vln s hybnosťami  $p_1 = +h/\lambda_1$  a  $p_2 = -h/\lambda_1$ . Neurčitosť v hybnosti bude  $\Delta p \sim |p_2 - p_1|$  a neurčitosť v polohe  $\Delta x \sim L$ . Odtiaľ  $\Delta x \Delta p \sim h$ . (Prípadne myšlienkové experimenty k princípu neurčitosti.)

Elektrón v kove (trojrozmerné zovšeobecnenie predchádzajúcej situácie).

7. Vlnové funkcie v atóme vodíka.

Táto téma je naozaj pedagogický problém. Na základe predchádzajúcich skúseností treba vysvetliť len kvalitatívne vlnové funkcie stavov  $1s$ ,  $2s$ ,  $2p_x$ ,  $2p_y$ ,  $2p_z$  v atóme vodíka. Aj keby sa nedalo robiť nič iné ako vzdelený opis, je to nutné, ak chceme kvalitatívne vysvetliť geometrickú štruktúru jednoduchých molekúl.

8. Pauliho princíp a Mendelejevova periodická tabuľka.

9. Štruktúra jednoduchých molekúl.

Kvalitatívna diskusia väzby v molekule vodíka. Vysvetlenie geometrickej štruktúry  $H_2O$  a  $NH_3$  (kvalitatívne) zo smerových vlastností  $2p_x$ ,  $2p_y$ ,  $2p_z$  stavov v atóme vodíka.

Bez ťažkostí by sa dalo uviesť viacero ďalších námetov, ale vyučovacích hodín je vždy málo a napokon z každej možno na výklad využiť najajviš 20 minút, takže sa obávam, že aj námety uvedené vyššie by potrebovali viac času, ako bude možné na kvantovú fyziku spotrebovať. Som ale presvedčený o tom, že rozsah časti venovanej fyzike atómov a molekúl (ich štruktúre) v súčasných osnovách vôbec nezodpovedá zástoju, ktorý kvantová fyzika v súčasnej fyzike a prírodných vedách má\*).

Rád by som poďakoval za príjemnú a užitočnú diskusiu o vyučovaní fyziky svojim kolegom V. ČERNÉMU a P. PREŠNAJDEROVI, D. LEHOTSKÉMU a A. PECHOVI z katedry všeobecnej fyziky, J. JANOVIČOVI, P. BALÁŽOVI a ďalším účastníkmi bratislavského seminára o modernizácii vyučovania fyziky. Žiadny z nich, samozrejme, nie je zodpovedný za chyby a nedomyslenosti v náčrte osnov uvedenom vyššie.

## Záver

Kvantová teória je dnes pri svojich päťdesiatinách zdravá a zrelá teória. Vysvetlila spústu javov z rozličných oblastí a poskytla jednotný integrujúci pohľad na zák'ady fyziky, chémie i biológie.

\*) Peknou ukázkou toho, ako možno prezentovať veľkú fyziku s malou matematikou je knižka J. OREARA [14], ktorá vyjde v tomto roku v nakladateľstve ALFA v Bratislave.



Pri čítaní klasických článkov, kde boli položené základy kvantovej fyziky, sa nemožno ubrániť obdivu k práci a veľkosti ducha ľudí, ktorí ju vytvorili.

Nedávno som kdesi v novinách čítal, že na rakete, ktorá mala obzrieť jednu z planét a potom sa stratiť nenávratne v kozme, bola (pre ten málo pravdepodobný prípad, že by raz raketu našla nejaká civilizácia) doska s posolstvom. Na doske boli znázornené spektrálne čiary atómu vodíka. Myslím si, že to bolo dobré posolstvo a že poznanie spektier a štruktúry atómov hovorí čosi o našej civilizácii a o jej kultúre.

#### Literatúra

- [1] HEISENBERG, W., *Zeit. f. Phys.* 33 (1925) 879.
- [2] VAN DER WAERDEN, B. L., *Sources of quantum mechanics*. Amsterdam: North Holland 1967.
- [3] LUDWIG, G., *Wellentheorie, Einführung und Originaltexte*. Berlin: Akademie – Verlag 1970.
- [4] LADENBURG, R., *Zeit. f. Phys.* 4 (1921) 451.
- [5] KRAMERS, H. A., *Nature* 113 (1924) 673 a *Nature* 114 (1924) 310.
- [6] BORN, M., JORDAN P., *Zeit. f. Phys.* 34 (1925) 858.
- [7] DIRAC, P. A. M., *Proc. Roy. Soc. A* 109 (1926) 642.
- [8] BORN, M., HEISENBERG, W., JORDAN, P., *Zeit. f. Phys.* 35 (1926) 557.
- [9] PAULI JR, W., *Zeit. f. Phys.* 36 (1926) 336.
- [10] EINSTEIN, A., *Phys. Zs.* 18 (1917) 121.
- [11] DE BROGLIE, L., *Annales de Physique* 3 (1925) 22 (preklad do nemčiny možno nájsť v [2]).
- [12] SCHRÖDINGER, E., *Annalen der Physik* 79 (1926) 361, *ibid* 79 (1926) 489, *ibid* 79 (1926) 734.
- [13] BORN, M., *Zeit. f. Phys.* 38 (1926) 803 (viď aj [2]), *ibid.* 37 (1926) 863.
- [14] OREAR, J., *Základy fyziky*, Bratislava: ALFA 1975.

## Aplikace matematiky výpočty a složitost problémů\*)

*Hirsh Cohen, New York*

**2. Aplikovaná matematika výpočtů.** Časopis *Mathematical Tables and Aids to Computation* založený profesorem ARCHIBALDEM z Brownovy university, který se poprvé objevil v roce 1943, byl patrně vhodně nazván a jeho obsah byl tehdy přiměřený jeho názvu. Jeho první čísla obsahovala jen informace o nových i starších tabulkách a uspokojovala potřeby poměrně malého počtu lidí, jichž se týkala. Postupně se začaly objevovat některé nové algoritmy a později byl časopis přejmenován na *Mathematics*

\*) Dokončení překladu, jehož první část jsme otiskli v čísle 3/1975. (Pozn. red.)