

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

D.I. Blochincev

Nové představy o elektronu

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 5 (1960), No. 3, 287--292

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137001>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1960

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>

## Literatura

- [1] Smith W.: Ann. Journ. Sci. 5 (1873) 301.
- [2] Gudden B., Pohl R.: Z. Phys. 2 (1920) 181; Z. Phys. 2 (1920) 361.
- [3] Giltay J. W., Haga H.: Nature 54 (1896) 109.
- [4] Himstedt D.: Ann. Phys. 4 (1901) 535.
- [5] Möglich F., Rompe R.: Z. tech. Phys. 21 (1940) 304.
- [6] Van Heerden P. J.: Physica 16 (1950) 505, 517.
- [7] Hofstadter R.: Nucleonics 4 (1949) 2; Nucleonics 4 (1949) 29; UFN 39 (1949) 426; Proc. I. R. E. 38 (1950) 726.
- [8] Drahokoupil J., Malkovská M., Tauc J.: Čs. Čas. Fys. 7 (1957) 21.
- [9] Koc S.: Čs. Čas. Fys. 6 (1956) 668.
- [10] Tauc J.: Rev. Mod. Phys. 29 (1957) 308.
- [11] McKay K. G.: Phys. Rev. 84 (1951) 829.
- [12] Huml K.: Diplom. práce na MFF KU Praha, 1958.
- [13] Chynoweth A. G.: Amer. J. Phys. 20 (1952) 218.
- [14] Frerichs R.: Phys. Rev. 72 (1949) 594.
- [15] Svěčnikov S. V.: ŽTF 27 (1957) 2492.
- [16] Svěčnikov S. V.: ŽTF 27 (1957) 656.
- [17] Deev J. C.: Atom. energia 7 (1959) 458.
- [18] Svěčnikov S. V.: ŽTF 27 (1957) 2502.
- [19] Simon H.: Ann. Phys. 12 (1953) 45.
- [20] Konozenko J. D.; Ustjanov V. J.: FTT 1 (1959) 89.
- [21] Moos W. S., Spongberg F.: Nucleonics 6 (1955) 88.
- [22] Broser I., a další: Z. Naturforsch. 5a (1950) 214.
- [23] Brother Brian H., Cole H.: Rev. Sci. Instr. 30 (1959) 90.
- [24] Simon H., Haimendahl M.: Ann. Phys. 20 (1957) 355.
- [25] Drahokoupil J.: Kand. disert. práce 1959, ÚTF Praha.
- [26] Sihvonen J. T.: Rev. Sci. Instr. 27 (1956) 330.
- [27] Zizzo S. G., Platt J. B.: Phys. Rev. 76 (1949) 704.
- [28] Ryvkin S. M.: ŽTF 26 (1956) 2667.
- [29] Stöckmann F.: Naturwiss. 36 (1949) 82.
- [30] Arjapetjan A. V., Ryvkin S. M.: ŽTF 27 (1957) 106.
- [31] Svěčnikov S. V.: ŽTF 22 (1952) 1305.
- [32] Margolin S. D., Fakidov I. G.: Fiz. metall. 1 (1955) 379.
- [33] Ruby L.: Nucleonics 5 (1956) 101.

## NOVÉ PŘEDSTAVY O ELEKTRONU<sup>1)</sup>

Člen kor. AV SSSR D. I. BLOCHINCEV,  
*Spojený ústav nukleárních výzkumů, Dubno*

V. I. Lenin, ač nebyl fysikem, podivuhodně hlubokým a jasným způsobem rozebral ve svém díle *Materialismus a empiriokriticismus* složitou situaci ve fysice a filosofii přírodních věd své doby. Vzpomeňme, že to bylo v období přelomu, kdy se přecházelo od mechanické fysiky k fysice elektromagnetické.

Lenin, vycházející z dialektické teorie poznání, vyslovil pozoruhodné myšlenky o nevyčerpatelnosti elektronu, zejména myšlenku, že se ve vědeckém studiu elektronu píše stále hlouběji a že toto studium bude přinášet nové a nové výsledky. Tato myšlenka spočívala na představě, že každá realita je nevyčerpatelná a že naše poznávání je postupné, že se naše vědění stále prohlubuje a rozšiřuje. Leninova myšlenka o nevyčerpatelnosti elektronu prošla velkým vývojem, byla mnohostranně potvrzena a je dnes velmi aktuální.

<sup>1)</sup> Член-корр. АН СССР Д. И. Блохинцев, Объединенный институт ядерных исследований (Дубно). *Новые представления об электроны, Природа* 9 (1959).

V tomto článku chci promluvit o tom, jak se od dob Leninových vyvíjely naše představy o elektronu a o elementární částici vůbec, a jak je tento vývoj pro nás fyziky důležitý. Historií otázky se podrobně zabývat nebudu.

V době Leninově si fyzikové představovali elektron jako nabitou kouli. Přes elementárnost této představy byli mnozí vědci přesvědčeni, že tato představa plně odráží realitu, kterou nazývali elektronem.

Přes všechny spekulativní teorie se však již tehdy vyjasnilo měřítko s elektronem spojené. Toto, tak zvané klasické měřítko elektronu, je určeno vztahem

$$a_0 = \frac{e^2}{m_0 c^2} = 2,8 \cdot 10^{-13} \text{ cm},$$

kde  $e$  je náboj elektronu,  $m_0$  jeho hmota a  $c$  rychlost světla. Taková měřítko fyzikálních objektů jsou velmi důležitá. Jsou to mezníky, oddělující jedny oblasti od jiných, a značí obvykle kvalitativní změny zákonitostí.

Pokus vypracovat teorii elektronu jako teorii nabitě koule vedl rychle k rozporu s teorií relativity a ukázalo se, že tímto směrem nelze jít. Je pravda, že o něco později, v dvacátých letech našeho století, se podařilo M. Bornovi vypracovat klasickou teorii elektronu, proti níž bylo těžko vznést nějaké námitky. Charakteristickým bylo pro tuto teorii uvedené již měřítko  $10^{-13}$  cm. Avšak v době, kdy vznikala Bornova teorie, byly již známy jiné vlastnosti elektronu, jež nebylo možno vměstnat do klasických koncepcí a které Bornova teorie nemohla vysvětlit.

Problém struktury elektronů byl v Leninově době formulován, nebyl však rozřešen — a jak uvidíme, není rozřešen dodnes.

Vývoj teorie elektronu šel dále převážně cestou studia pohybu elektronu jako celku. Ve dvacátých letech tohoto století došlo k rozvoji kvantové mechaniky, která umožnila objevit nové vlastnosti elektronu: vlnové vlastnosti, existence mechanického momentu aj. Kvantová mechanika ukázala, že elektron je mnohem složitější a bohatší pojem, než jak se zdálo na počátku vývoje elektronové teorie. To potvrzuje Leninovu poučku o nevyčerpatelnosti elementárních částic.

Kvantová mechanika vnesla do problému struktury elektronu nové měřítko — tak zvanou Comptonovu délku elektronu:

$$l_0 = \frac{h}{m_0 c} = 3,8 \cdot 10^{-11} \text{ cm},$$

kde  $h$  je Planckova konstanta. Tato veličina je stokrát větší než klasický poloměr elektronu. Tato okolnost ukazuje, že bez přihlídnutí ke kvantovým efektům nelze mluvit o žádné teorii elektronu. Jádro problému je v otázce, která z veličin, klasický poloměr elektronu nebo Comptonova délka je pro strukturu elektronu podstatná a která určuje jeho měřítko. Vznikla přirozeně jistá naděje, že pomocí kvantové mechaniky se dostaneme dále kupředu. K čemu se ve skutečnosti došlo? Jakmile byla aplikována kvantová teorie, ukázalo se, že hmota elektronu se stává nekonečně velkou<sup>2)</sup>. Tedy ani „kvantová technika“ se neukázala postačující pro pochopení struktury elektronu. Zákony vnitřní stavby elektronu jsou pravděpodobně ještě jemnější, než zákony kvantové mechaniky.

<sup>2)</sup> Nekonečnou se stává vlastní energie  $E$ , spjatá s hmotou vztahem  $E = mc^2$ .

I když se kvantové teorii nepodařilo rozřešit problém struktury elektronu, došlo se k některým podstatně novým výsledkům. Především přinesl výpočet poloměru elektronu podle kvantové teorie hodnotu — nazveme ji „kvantovým poloměrem elektronu“ —

$$a_k = \frac{\hbar}{m_0 c} e^{-137} \approx 10^{-70} \text{ cm}$$

( $e$  je základ přirozených logaritmů). To byl překvapující výsledek. Člen korespondent AV SSSR M. A. Markov k tomu poznamenal, že tato hodnota je dokonce menší, než tak zvaný gravitační poloměr elektronu, to jest poloměr, určený tíhovými efekty. Gravitační poloměr elektronu je

$$a_g = \frac{k m_0}{c^2} \approx 10^{-55} \text{ cm},$$

kde  $k$  je gravitační konstanta; to je ovšem mnohem více než  $a_k$ .

Z těchto rozdílů soudili někteří fyzikové (s myšlenkou přišel M. A. Markov), že bez gravitace nelze mluvit o struktuře elektronu. Tito fyzikové však neměli úspěch. Problém se ukázal příliš složitý a obtížný.

Kvantová teorie pole dosáhla nicméně jednoho úspěchu v tom, že se podařilo vyhodnotit některé nové efekty. Ukázalo se, že elektrony se v atomech nepohybují po hladkých oběžných drahách (budu tohoto termínu používat), nýbrž že vykonávají působením nulových kmitů elektromagnetického pole v blízkosti oběžné dráhy jakoby jakýsi nepravidelný brownovský pohyb. Kromě toho vznikají kolem elektronu dvojice elektron-positron, vakuum kolem elektronu se polarisuje.

Tyto jemné efekty, předpověděné teorií, byly zjištěny později také experimentálně. Bylo totiž dokázáno, že těmito efekty jsou podmíněna zvýšení energetických hladin vodíkového atomu, jež byla zjištěna pokusně.

Přesnost s tím spojených měření značně převyšuje „astronomickou“ přesnost.

Ani tyto nové metody však neodstranily „nekonečnost“ v hmotě elektronu. „Učinila-li“ se tato hmota konečnou, stal se zase náboj elektronu nulovým. Soudobá elektrodynamika je patrně nepoužitelná na takové měřítko, jakým je kvantový poloměr elektronu, který je podstatný pro rozvoj současné kvantové elektrodynamiky.

Připomeňme v této souvislosti, že existují ještě jiné děje, k nimž se obvykle nepřihlíželo, které však nelze zanedbávat. Je na příklad známo, že elektron se může přeměnit v meson  $\mu$  a v dvojici neutrino-antineutrino podle schématu  $e \rightleftharpoons \mu + \nu + \bar{\nu}$ , kde  $e$  je elektron,  $\mu$  meson a  $\nu, \bar{\nu}$  neutrino a antineutrino. Jde o tak zvanou slabou interakci, jejíž poloměr  $l_\phi$  je dán vztahem

$$l_\phi = \sqrt{g_\phi \hbar c} \approx 10^{-16} \text{ cm},$$

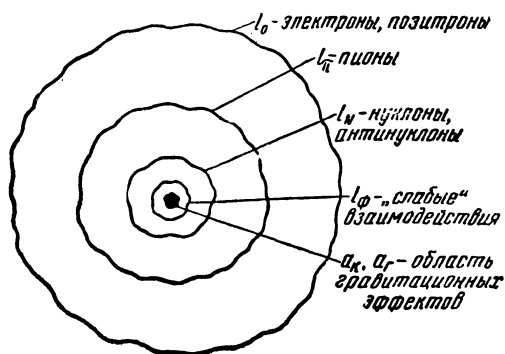
kde  $g_\phi$  je Fermiho konstanta, která je velmi malá.

Dokázalo se, že bude-li délka vlny velmi malá, slabá interakce přejde v silnou interakci. To znamená, že nelze přehlížet neelektromagnetické děje. Je nutno přihlížet k souvislosti elektromagnetických dějů s ději, při nichž vznikají mesony  $\mu$  a neutrino.

Je vidět, že otázka je mnohem složitější, než jak se zdálo dříve.

Jaký je tedy dnešní obraz elektronu? Schematicky to ukazuje obraz 1. Takové zobrazování je ovšem velmi podmíněné, nemáme však jiné možnosti. Schéma je sestrojeno na podkladě představy, že střed elektronu je nehybný. To

ovšem skutečnosti neodpovídá, elektron nemůže být nikdy v klidovém stavu.

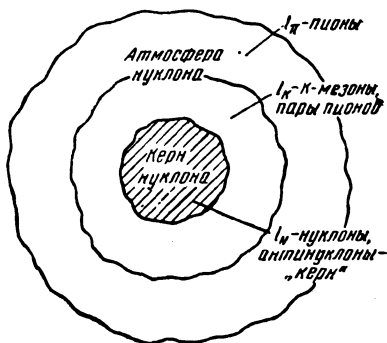


Obr. 1. Schéma struktury elektronu. Zobrazeny jsou slupky virtuálních částic. Charakteristická měřítka:  $l_0 \approx 10^{-11}$  cm,  $l_\pi \approx 10^{-13}$  cm,  $l_N \approx 10^{-14}$  cm,  $l_\phi \approx 10^{-16}$  cm,  $a_r \approx 10^{-64}$  cm,  $a_k \approx 10^{-70}$  cm  
 электроны, позитроны — электроны, позитроны; пионы — пионы; нуклоны, антинуклоны — нуклеоны, антинуклеоны; „слабые“ взаимодействия — слабые интеракции; область гравитационных эффектов — область гравитационных эффектов.

Dále předpokládáme, že elektron má jistou atmosféru. Emituje a absorbuje fotony. Někde v okolí elektronu je dvojice elektron-positron. Příslušné měřítko je Comptonova délka  $10^{-11}$  cm. Pak následuje oblast, v níž vznikají mesony  $\pi$  — měřítko řádu  $10^{-13}$  cm, pak oblast dvojic nukleon-antinukleon (těžké částice) — měřítko řádu  $10^{-14}$  cm, pak oblast slabé interakce — měřítko řádu  $10^{-16}$  cm, a konečně někde oblast, v níž mají úlohu gravitační a dále i kvantové efekty. Rozměr elektronu se tu ukazuje velmi velký. Avšak atmosféra elektronu je velmi řídká. Určuje se velmi malou veličinou, tak zvanou konstantou elektromagnetické interakce  $\alpha = \frac{e^2}{\hbar c}$ . Atmosféra elektronu je velmi průhledná, její hustota, lze-li tohoto termínu užít, je mizivě malá.

To říká teorie. Co se tu potvrzuje pokusem?

Zatím můžeme říci, že byla prokázána existence atmosféry na periferii. Existenci atmosféry uvnitř můžeme důvodně předpokládat, důkazů však ještě není. Experiment-



Obr. 2. Schéma struktury nukleonu: Zobrazeny jsou slupky virtuálních částic. Charakteristická měřítka:  $l_\pi \approx 10^{-13}$  cm,  $l_k \geq 10^{-14}$  cm,  $l_N \approx 10^{-14}$  cm.  
 пионы — пионы; Атмосфера нуклона — атмосфера нуклеону; к-мезоны, пары пионов — мезоны  $k$ , dvojice pionů; нуклы, антинуклоны, „ядро“ — нуклеоны, антинуклеоны, „ядро“; ядро нуклона — ядро нуклеону.

tální výzkumy v tak malých měřítkách jsou totiž mimořádně obtížné. K tomu přistupuje, že pokaždé, když elektron emituje meson  $\mu$  a dvojici neutrino-antineutrino, je silně odražen. Proto se dosud nepodařilo pokusně změřit poloměry slabých interakcí.

Je tedy, jak vidíme, možno elektron pokládat pro mnohé účely za bod se slabou atmosférou. Slabou atmosféru však můžeme při aproximaci do jistého řádu zanedbat, což zase vede na bodovou koncepci elektronu. Proto je elektron

znamenitým objektem výzkumu nejen sám o sobě, ale i vzhledem k tomu, že pomocí něho můžeme studovat strukturu jiných částic. Použitím elektronových svazků se skutečně podařilo prozkoumat strukturu nukleonů.

Pokusíme se o schéma této částice (obr. 2).

V jisté centrální oblasti, řádově  $10^{-14}$  cm (ядро — jádro) jsou soustředěny nukleony a antinukleony. Dosti těsně kolem této oblasti je slupka, kde jsou soustředěny mesony  $\pi$ . Atmosféra mesonů  $\pi$  má poloměr řádově  $10^{-13}$  cm.

Toto schéma je, jak vidíme, dosti podobné schématu elektronu; rozdíl je však v tom, že interakce, které generují atmosféru nukleonu, jsou charakterisovány konstantou  $g$  (nebo  $\frac{g^2}{hc}$ ) a nikoli konstantou jemné struktury ( $\alpha = \frac{1}{137}$ ). Konstanta  $g$  určuje interakce nukleonů a mesonů  $\pi$  a je rovna 15, to jest, je 2000krát větší než konstanta jemné struktury. To znamená, že atmosféra nukleonu je velmi hustá.

Atmosféru nukleonu se podařilo zjistit experimentálně pomocí elektronů s velkou energií (atmosféru mesonů  $\pi$ ). V tomto smyslu lze říci, že struktura nukleonu je objasněna. Přesto však zůstává stavba nukleonu dosti složitou.

Studium problémů, jakým je na příklad problém struktury nukleonů, je stejně obtížné, jako pronikání do vzdálených oblastí vesmíru. Rozdíl je v tom, že v astrofysice je třeba složitých dalekohledů, v atomové fyzice složitých urychlovačů. Se synchrotrónem v Dubně lze pracovat v měřítku  $10^{-14}$  cm, což je velkým krokem vpřed.

Zdůrazněme ještě toto: Jak vidíme z výše řečeného, je obraz elementárních částic velmi složitý. Z hlediska leninské metodologie však můžeme tvrdit, že v oblasti malých měřítek se setkáme s ještě zajímavějšími jevy.

Uvedme příklad, který se však neobejde bez některých hypotetických předpokladů.

Představme si interakci (vzájemnou srážku) dvou rychlých nukleonů, řekněme dvou protonů. Při tom vznikají nové částice, nukleony, mesony, to jest dochází ke „spršce“ neboli k vzniku „hvězdy“, jak se někdy říká. Interakci měříme tak zvaným účinným průřezem, to jest — velmi zhruba řečeno — elementární ploškou, kterou jeden nukleon „nastavuje“ jinému nukleonu.

Bylo pozorováno, že pro částice s velmi velkými energiemi, počínaje energiemi, jakých lze dosáhnout v mohutných urychlovačích, a konče energiemi kosmického záření (které jsou ještě řádově  $10^9$ krát větší), zůstává tento průřez stálý, to jest neklesá s rostoucí energií.

Je nyní možno se zeptat, jak to bude s nukleony s mimořádně, řekněme fantasticky velkými energiemi (představme si třeba, že se takových energií může dosáhnout v nějakých kosmických polích). Jsou dvě možnosti: buď bude účinný průřez klesat, nebo zůstane nezměněný.

V prvním případě dostaneme z dnešních teorií toto: interakce ubývá a stane-li se při velmi velkých energiích nulovou, stanou se částice volnými. Pak částice s obrovskou energií nemůže tuto jiným částicím předat.

V druhém případě se průřez růstem energie nezmenšuje (to pozorujeme při srovnávání částic uměle urychlených s částicemi v kosmickém záření). Pak při srážkách takových mimořádně energetických částic budou vznikat makroskopická tělesa. Energie těchto částic bude dostatečnou pro vznik obrovského množství elementárních částic. Dovolíme-li si zde trochu fantazie, můžeme si snadno představit, že výsledkem takových nukleonových srážek může

být zrození hvězdy — ne v laboratorním smyslu, nýbrž ve smyslu astronomickém. Pak lze mluvit o přímém přechodu mikrokosmických jevů v makrokosmické.

Lze si domyslet, jak složitá a hluboká musí být teorie, jež by byla schopna popsat takové jevy a možnosti. Budou-li zde vznikat nukleony a antinukleony, a bude-li jejich rozptyl nesymetrický, poletí jedním směrem nukleony, druhým antinukleony, a každý se bude dále „rozmnožovat“: nukleony v „kosmu“, antinukleony v „antikosmu“.

Uvedli jsme příklad, který ukazuje, co znamenají malá měřítka a co v nich může být skryto. Na zcela konkrétním fyzikálním příkladě tu vidíme závažnost Leninových slov o nevyčerpatelnosti elektronu, nebo, jak bychom dnes řekli, o nevyčerpatelnosti elementárních částic.

Připomeňme — Lenin to často zdůrazňoval — že otázka našeho vědění nebo nevědění je otázka praxe. Vědění je přeměna věci o sobě ve věc pro nás. Dnešní situace ve fyzice nás opravňuje vztáhnout tuto poučku na atomové jádro. Jsme zároveň přímými svědky toho, že s elementárními částicemi se děje totéž.

V. I. Lenin předvídal tento vývoj poznání, tento vývoj fyziky. V tom je síla leninské předvídavosti, v tom je význam Leninova díla pro nás fyziky.

*Přeložil dr. Josef Veselka*