

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Václav Petržílka

Rutherfordovy představy o existenci, struktuře a stavebních jednotkách atomových jader

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 16 (1971), No. 5, 246--250

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/139359>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1971

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>

# RUTHERFORDOVY PŘEDSTAVY O EXISTENCI, STRUKTUŘE A STAVEBNÍCH JEDNOTKÁCH ATOMOVÝCH JADER

(K 100. výročí Rutherfordových narozenin 30. srpna 1871)

VÁCLAV PETRŽÍLKA, Praha

Ve „Zprávách“ *Čs. časopisu pro fyziku* [1] jsem vzpomněl životního vědeckého díla Rutherfordova, které přineslo poznání existence atomového jádra, zjištění nových, tzv. jaderných sil, možnost umělé přeměny prvků, jakož i uvolňování nové, tzv. jaderné energie.

V této vzpomínce bych rád vylíčil Rutherfordovy fyzikální objevy z hlediska, které si bude všimát zvláště vývoje jeho názorů týkajících se povahy a struktury atomového jádra.

Rutherfordovu vědeckou činnost týkající se fyziky atomového jádra je možno rozdělit na tři etapy: montrealskou, manchesterskou a cambridgeskou (viz též [2]).

První z nich, montrealská, začala v roce 1898, když se sedmadvacetiletý Rutherford stal profesorem fyziky na Mc Gillově universitě a trvala téměř 10 let. Nabídku, aby převzal katedru fyziky v kanadském Montrealu, dostal Rutherford v r. 1897. Bylo to rok po BECQUERELOVĚ objevu neznámého záření uranu, a proto nepřekvapí, že právě vlastnosti tohoto záření byly předmětem jeho intenzivního a houževnatého studia ve fyzikálním oddělení montrealské university.

Třebaže vlastnosti záření prvku z konce Mendělejevovy tabulky, tj. vlastnosti tzv. radioaktivního záření, bylo tehdy možno studovat — vedle chemických metod — pouze na základě zčernání fotoemulzí, které toto záření způsobovalo, anebo z vlivu záření na ionizaci plynů,\*) podařilo se Rutherfordovi již v r. 1899 na základě experimentál-



\*) Brzy se ukázalo, že radioaktivní záření způsobuje vodivost plynů, tj. vyvolává jejich ionizaci. Ionizaci studoval Rutherford za vedení J. J. THOMSONA v Cavendishově laboratoři. Zjistil, že pro průchod elektrického proudu ionizovaným plynem mezi dvěma elektrodami kondenzátoru existuje stav nasycení, a to v závislosti na napětí vloženém na elektrody, jakož i na intenzitě radioaktivního záření. Tohoto jevu Rutherford využil k detekci záření pomocí ionizačních komůrek.

ních výsledků dospět k závěru, že radioaktivní látky vysílají tři druhy záření: málo pronikavé, které nazval zářením alfa, pronikavější, které nazval zářením beta, a pronikavé, později pozorované u rádia, které VILLARD nazval zářením gama (viz [3], str. 5). Sérii dalších skvělých experimentů vykonal Rutherford se svými spolupracovníky využíváním fyzikálních a chemických vlastností radioaktivních látek. Došli tak k závěru, že záření alfa a beta je korpuskulární, a objevili, že zákon radioaktivního rozpadu každé radioaktivní látky je přesně exponenciální, avšak pouze s různou časovou konstantou. Přitom látky vznikající po emisi radioaktivního záření byly ve většině případů rovněž radioaktivní (ve třech případech to byly dokonce plyny). Tyto zjištěné skutečnosti pak umožnily Rutherfordovi a SODDYMU ([4]) formulovat jejich teorii radioaktivních přeměn, která v zásadě platí až dodnes. Neobyčejný význam těchto objevů byl oceněn tím, že Rutherfordovi byla udělena Nobelova cena za chemii, protože radioaktivita se v tehdejší době pokládala spíše za jev chemický než za fyzikální.

Když Rutherford v r. 1907 opouštěl Montreal, aby převzal Langworthyho katedru fyziky a oddělení fyziky na Manchesterské universitě, neznamenal to, že by se přestal zabývat vlastnostmi radioaktivního záření. Naopak, teprve v Manchesteru provedl přesné určení elektrického a specifického náboje částic alfa společně s GEIGEREM ([5]) a s ROBINSONEM ([6]). Tam také s ROYDSEM ([7]) ukázal, že částice alfa jsou dvojnásobně ionizovanými atomy hélia a spolu se svými spolupracovníky dokončil vývoj velké části metod pro detekci jaderného záření ([3]).

Hlavním předmětem Rutherfordova vědeckého zájmu v Manchesteru bylo však studium elastického rozptylu částic alfa v tenkých kovových fóliích neboli v dnešní terminologii studium elastického rozptylu na atomových jádrech. Dodejme však, že Rutherford tam zahájil ještě další velkou skupinu prací týkajících se neelastického rozptylu částic alfa na atomových jádrech. — Z hlediska jeho pozdějších cambridgeských experimentů šlo o skupinu prací týkajících se umělé přeměny prvků.

Uvedu nejprve výsledky experimentů, které byly provedeny za jeho účasti, nebo za jeho vedení a které ho vedly ke koncepci atomu (objektu velikosti  $10^{-8}$  cm) jakoby složeného z obalu a z atomového jádra nepatrných rozměrů ( $\sim 10^{-13}$  cm), v němž je přesto koncentrována převážná část hmoty atomu a které nese kladný elektrický náboj ([8]). Byl to především výklad pružného rozptylu částic alfa na atomovém jádru, kdy se tato koncepce spolu s elementárním matematickým aparátem a dalšími zjednodušujícími předpoklady\*) velmi osvědčila. Důsledky vyplývající z Rutherfordova jednoduchého výkladu elastického rozptylu byly též potvrzeny experimentálními pracemi Rutherfordových žáků Geigera a MARSDENA ([9]), jakož i CHADWICKA ([10]). Zejména bylo zjištěno, že atomové číslo  $Z$ , charakterizující pořadí prvků v Mendělejevově periodické soustavě, je opravdu rovno počtu kladných elementárních

---

\*) Rutherford předpokládal, že jádro zůstává po elastické srážce v klidu a že tedy není třeba použít zákona o zachování impulsu. Tato zjednodušení odpovídala velmi přibližně skutečnosti u těžkých atomových jader.

nábojů v atomovém jádře. Tato skutečnost prokázala nejen správnost předpokladu holandského fyzika VAN DEN BROEKA, ale byla i v plné shodě s výsledky, které při porovnávání spekter charakteristického Roentgenova záření získal MOSELEY a vyjádřil svým proslulým zákonem, podle kterého je odmocnina z vlnočtu charakteristického Roentgenova záření daného atomu úměrná jeho atomovému číslu  $Z$ .

Jistě nás nepřekvapí, že Rutherford na základě svých pokusů zkoumajících radioaktivitu prvků začal vytvářet i své představy o složení jejich atomů.

Tak ve své přednášce pronesené při přejímání Nobelovy ceny v r. 1908 projevil názor, že částice alfa jsou jedním ze stavebních kamenů atomu; v té době mohl samozřejmě mluvit pouze o atomech, neboť existence atomového jádra nebyla dosud prokázána. Rutherford uvedl: „... jsme důsledně vedeni k závěru, že atomy primárně radioaktivních látek jako uran a thorium, musí — aspoň z části — být vybudovány z atomů hélia... Není rovněž nerozumné předpokládat, že i ostatní prvky mohou být z části vybudovány z hélia, ačkoliv skutečnost, že nejeví radioaktivitu, nám může bránit získat o tom definitivní důkaz...“

Předpoklad, že částice alfa jsou strukturním prvkem hmoty, přenesl Rutherford v r. 1914 na atomové jádro. Možno dokonce tvrdit ([2]), že Rutherford v té době ve svých pracích vyjádřil určité představy o vazbové energii atomového jádra, jehož hmota závisí na interakci polí „stavebních jednotek“ tvořících jádro. Zdůraznil také, že konfigurace těchto stavebních jednotek musí být velmi těsná, mají-li se vysvětlit naměřené hodnoty a hmotový defekt atomových jader. Upozornil na to, že tomu tak je např. u částice alfa, předpokládáme-li, že je složena ze čtyř protonů a dvou elektronů. Její hmota je podstatně menší než hmota těchto šesti stavebních jednotek, čímž vysvětloval i vysokou stabilitu částice alfa „přežívající intenzivní poruchy vyvolané při její emisi radioaktivním atomem“.

Rutherfordovi však bylo jasné, že částice alfa a elektrony nestačí k vysvětlení struktury atomových jader. Je to zřejmé z jeho článku [11] z r. 1915, v němž píše: „Jsem osobně nakloněn věřit, že všechny atomy jsou vybudovány z pozitivních elektronů — vodíkových jader — a negativních elektronů a že atomy jsou čistě elektrické struktury“.

Je zajímavé, že Rutherford v bakerské přednášce, pronesené v *Royal Society*, tušil již v r. 1920 možnost existence neutrální částice s podstatnými vlastnostmi dnešního neutronu. Sám o tom píše ve své knížce *The Newer Alchemy* ([12], str. 37) takto: „Jsme-li korektní v tomto předpokladu, zdá se velmi pravděpodobným, že jeden elektron může vázat dvě jádra  $H$  a možná také jedno jádro  $H$ . První případ představuje existenci atomu s hmotou zhruba 2, nesoucího jeden náboj, a tento atom je možno považovat za izotop vodíku. Druhý případ v sobě zahrnuje představu možné existence atomu s hmotou 1, který má nulový jaderný náboj. Taková atomová struktura se nezdá být v žádném případě nemožnou... Za určitých podmínek může existovat pro elektron možnost vytvářet těsnou kombinaci s jádrem  $H$  neboli vytvářet jakýsi neutrální dublet. Takovýto neutrální atom by měl nové vlastnosti. Jeho vnější pole by bylo prakticky nulové, s výjimkou blízkosti jádra samého, a v důsledku toho by byl schopen se volně pohybovat

*hmotou. Jeho přítomnost by bylo obtížné detekovat spektroskopem a bylo by nemožné udržet jej v zatavené nádobě. Z druhé strany by vcházel lehce v strukturu atomů a mohl by se buď spojovat s jádrem, nebo se rozpadat v jeho intenzivním poli, přičemž by unikal buď nabitý atom H, nebo elektron, nebo oba“.*

Rutherfordova předpověď se splnila v r. 1932 objevem neutronu, který učinil Chadwick ([13]) v Cavendishově laboratoři ještě za života Rutherfordova.

Je zajímavé, že Rutherford přes své tušení ani po objevu neutronu nepřistoupil ke koncepci modelu atomového jádra složeného z protonů a neutronů. Byli to jiní fyzikové, kteří se podjali tohoto úkolu.

Je možné, že jednou z příčin byla skutečnost, že Rutherford byl od r. 1917 a zvláště pak od r. 1919, kdy se stal profesorem fyziky na cambridgeské universitě a ředitelem její Cavendishovy laboratoře, příliš zaujat umělou přeměnou prvků, jejíž první realizaci popsal v práci [14], když se mu podařilo při ostřelování dusíku částicemi alfa z rádia C zjistit emisi protonů s doletem  $\sim 40$  cm. Studium umělé přeměny prvků byla vyplněna třetí a poslední, tzv. cambridgeská etapa Rutherfordovy činnosti. V létech 1919 až 1932 prostudoval Rutherford se svými žáky pomocí částic alfa umělou přeměnu všech lehkých prvků, počínaje bórem a konče draslíkem. Stanovil současně dolet emitovaných protonů ve vzduchu za normálního tlaku při  $15^\circ\text{C}$ .

Rutherford si ihned uvědomil, že částice alfa nejsou jedinými střelami schopnými proniknout do atomových jader. Z jeho iniciativy COCKROFT a WALTON ([15]) postavili v Cambridgi první urychlovací trubici (napájenou kaskádním generátorem s napětím 600 kV) na protony, kterými bombardovali terčik lithia. Na scintilačním stínítku potřeném sírníkem zinečnatým pozorovali pak záblesky vyvolané částicemi alfa, ve které se po pohlcení protonu rozpadlo jádro izotopu lithia s hmotovým číslem 7. Obdobných reakcí, v nichž při bombardování lehkých prvků byly emitovány buď částice alfa, nebo protony, nebo po zachytu protonů pouze kvanta záření gama, byla prostudována velká řada. K nim se připojily po objevu těžkého vodíku v r. 1932 jaderné reakce, které byly vyvolány deuterony. Některé z nich se ukázaly být intenzivními zdroji neutronů, takže bylo možno studovat i interakce neutronů s atomovými jádry a připravovat umělé radioaktivní izotopy. K provádění těchto experimentů postavil M. L. E. OLIPHANT další urychlovač s kaskádním generátorem o napětí 400 kV a J. D. Cockcroft mezitím zahájil stavbu cyklotronu pro urychlování protonů na energii zhruba 30 MeV. Holandská firma Philips dokončila v Cavendishově laboratoři v Cambridge v r. 1937 instalaci urychlovací trubice s kaskádním generátorem o napětí 1,2 MeV, jehož provozem byli pověřeni P. I. DEE a W. E. BURCHAM.

Na podzim téhož roku však neúprosná smrt přervala všechny Rutherfordovy plány a uzavřela tak rázem třetí, snad nejvýznamnější etapu jeho vědecké práce. Odešel fyzik, který svým experimentálním umem převyšoval všechny své současníky, fyzik, jehož genialita se projevovala v koncepci navrhovaných experimentů i správné jejich interpretaci. Byl pochován v Londýně ve Westminster Abbey, v řadě s Izákem Newtonem.

- [1] PETRŽÍLKA V.: Čs. Čas. Fys., *A 21* (1971), 91.
- [2] DEE P. I.: Proc. Roy. Soc., *A 298* (1967), 103.
- [3] RUTHERFORD E., CHADWICK J., ELLIS C. D.: *Radiation from Radioactive Substances*, Cambridge University Press, Cambridge 1930.
- [4] RUTHERFORD E., SODDY F.: Phil. Mag. *4* (1902), 569; *5* (1903), 441, 561.
- [5] RUTHERFORD E., GEIGER H.: Proc. Roy. Soc. *A 81* (1908), 141.
- [6] RUTHERFORD E., ROBINSON F. D.: Phil. Mag. *28* (1914), 552.
- [7] RUTHERFORD E., ROYD C. F.: Phil. Mag., *17* (1909), 281.
- [8] RUTHERFORD E.: Phil. Mag. *21* (1911), 669.
- [9] GEIGER H., MARSDEN E.: Phil. Mag., *25* (1913), 604.
- [10] CHADWICK J.: Phil. Mag., *40* (1920), 734.
- [11] RUTHERFORD E.: Popular Science Monthly (1915), 127.
- [12] RUTHERFORD E.: *The Newer Alchemy*, At the University Press, Cambridge 1937.
- [13] CHADWICK J.: Proc. Roy. Soc. *A 136* (1932), 692.
- [14] RUTHERFORD E.: Phil. Mag. *37* (1919), 581.
- [15] COCKCROFT J. D., WALTON E. T. S.: Proc. Roy. Soc. *A 137* (1932), 229.

## Potřebuje fyzika dorozumivací řeč?

Jazyk ve fyzice není problémem z hlediska potřeby mezinárodního dorozumění, je však problémem při tvorbě slov a definic pojmů. Totiž to, co se má vyjádřit slovy, neexistovalo předtím v představě lidí a nemá tedy v naší řeči žádný ekvivalent, žádný symbol; může vyžadovat takový způsob myšlení, který do té doby neexistoval v myšlení formovaném našim smyslovým světem. Je otázka, zda náš jazyk může být k tomu přizpůsoben, zda fyzika vůbec potřebuje jazyk v obvyklém smyslu slova.

Předměty naší řeči zůstávají v oboru našeho smyslového světa, slova jsou symboly jeho zkušeností. Fyzika se však zabývá vnější přírodou. My sami jsme jistě částí přírody, jsme s ní materiálně spojeni, jsme však také materiálně závislí na přírodních dějích, které se vymykají smyslovému vnímání — to je výsledek přírodovědného bádání, k jehož formulaci se již používá jazyka vycházejícího ze smyslového vnímání.

Avšak slova nejsou jedinými symboly, které máme k dispozici pro vyjadřování a sdělování smyslových vjemů — vzpomeňme jen na umělecká díla, jako je obraz, socha, hudba.

Potřebuje tedy fyzika dorozumivací řeč? Neexistují jiné symboly, jde-li o vnější přírodu? Ve skutečnosti tomu tak je: existují matematické vzorce. Je-li jednou poznatek získán, postačí symboly, aby se o něm jednalo, aby se s nimi jednalo. Zcela jasně to ukazuje programování používané na počítačích strojích. H. HERTZ při provonávání výsledků svých pokusů s Maxwellovou teorií napsal: „Při studiu této podivuhodné teorie se nemůžeme občas zbavit dojmu, že matematickým vzorcům přísluší samostatný život a vlastní rozum, jako by byly chytřejší než my, dokonce chytřejší než jejich vynálezce, jako by poskytovaly více, než co do nich bylo svého času vloženo. To je možné tehdy, jestliže správnost vzorců přesahuje míru toho, co mohl vynálezce určitě vědět.“

Jestě překvapivější příklady pro to máme v novější fyzice — matematicky zdůvodněné předpovědi existence pozitronu, mezonů, antihmoty — tedy nejen předpovědi věcí, ale i předpovědi