

# Ernest Rutherford – Newton atomové fyziky

Aleš Lacina, Přírodovědecká fakulta MU, Brno



*„Byl fyzikem s tou nejlepší pověstí.  
Během života se mu dostalo všech poct,  
které jsou pro vědce vůbec myslitelné.  
A přesto zůstal v každém směru prostým člověkem.  
To, spolu s laskavým zájmem,  
jenž projevoval o záležitosti svých žáků,  
bylo zdrojem přátelské atmosféry,  
kterou kolem sebe vytvářel všude, kde pracoval.“*

Niels Bohr [1]

Ernest Rutherford (30. 8. 1871 – 19. 10. 1937) byl jedním z nejvýznamnějších fyziků první poloviny dvacátého století. Rozhodující měrou se zasloužil o prozkoumání radioaktivity, struktury atomu a posléze i struktury atomového jádra, které sám – právě před sto lety – objevil. Jeho aktivita ve všech těchto – do té doby neprobádaných – oblastech byla vpravdě průkopnická. Obecně je považován za duchovního otce atomové fyziky a za zakladatele fyziky jaderné.

Kromě vlastní vědecké práce Rutherford stimuloval a silně ovlivňoval také odbornou činnost jiných. Nešlo přitom vždy jen o jeho četné žáky, v jejichž případě by to snad bylo možné považovat za samozřejmost. I řada dalších pracovníků institucí, v nichž během svého života působil, ráda a vděčně přiznávala jeho inspirativní vliv či dokonce přímý podíl na své práci. Byl skvělým učitelem, neúnavným organizátorem vědeckého výzkumu, stejně jako ochotným a oblíbeným popularizátorem. Při četbě Rutherfordových původních prací [2], knih (např. [3-6]), popularizačních textů (např. [2, 6]), vzpomínek, korespondence nebo toho, co o něm napsali jiní (např. [2, 7-15]), se lze stěží vyhnout závěru, že byl po všech stránkách osobností vskutku výjimečnou. Již jeho současníci přirovnávali jeho příspěvek k poznání mikrosvěta k Newtonovým zásluhám o mechaniku [Albert Einstein] či k Faradayovu přínosu k elektrodynamice [James Chadwick]. Ernest Rutherford ovšem nebyl vážen a obdivován jen pro svoji vědeckou činnost, ale přitahoval spolupracovníky rovněž svou vstřícností, dobrosrdečností, obětavostí a vzácným charakterem, které bohatě vyvažovaly jeho jistou impulzivnost. Nepochybně i díky tomu kolem něj vznikla zřejmě největší fyzikální škola všech dob (např. [14-16]) a podle slov jednoho z jeho prvních žáků R. B. Robertsona „jen málo lidí mělo více a ztratilo méně přátel než on“ [17].

## Pedagogické intermezzo

Přestože obě blízká životní jubilea (140. výročí narození a 75. výročí úmrtí) tak významného člověka by byla už sama o sobě dostatečným důvodem k připomenutí jeho života a díla, charakter Rutherfordových objevů a jejich důležitost pro další vývoj fyziky, stejně jako styl jeho práce a způsob, jímž prezentoval její výsledky, jsou jedinečnou inspirací i pro fyzikální vzdělávání.

Svým systematickým experimentováním provázaným teoretickými úvahami interpretujícími jednotlivá experimentální zjištění a následně vytyčujícími směr dalšího bádání Rutherford otevřel cestu do tehdy zcela neznámého nitra atomu. Vroubí ji jeho postupné objevy vlastností a povahy radioaktivního záření, vnitroatomového původu radioaktivity a z něj vyplývající existence vnitřní struktury atomu (až do té doby považovaného za nedělitelný), existence atomového jádra a s ní souvisejícího výkladu radioaktivity jakožto jaderného procesu, existence vnitřní struktury jádra a jeho proton-neutronové podstaty, existence jaderných reakcí a možnosti jejich umělého vyvolání. Tyto poznatky, jež jsou logickou osou Rutherfordovy vědecké činnosti, se staly pevným východiskem veškerého dalšího uvažování o atomech. A jejich posloupnost tvoří ucelený, poutavý fyzikální příběh, který mohou s porozuměním sledovat – a při dobrém vedení se na jeho rekonstrukci dokonce sami podílet – i začátečníci vybavení jen základní znalostí klasické fyziky.

## 1. Nový Zéland – dětství, studia, vědecké začátky

Ernest Rutherford byl potomkem britských osadníků, kteří přišli na Nový Zéland během imigrační vlny v polovině devatenáctého století. Rodina jeho – tehdy čtyřletého – otce Jamese pocházející ze skotského Perthu se usadila v roce 1843 v malé osadě Spring Grove nedaleko městečka Brightwater na severu Jižního ostrova. Jeho matka Martha (rozená Thompsonová) přibyla do New Plymouthu ležícího na západním pobřeží Severního ostrova se svou ovdovělou matkou a dalšími příbuznými jako třináctiletá roku 1855 z anglického Hornchurch. James Rutherford se vyučil (u svého otce George) kolářem. Martha, která byla v době nepokojů na Severním ostrově v roce 1860 evakuována do přístavního města Nelsonu na Jižním ostrově, se stala nadanou učitelkou a působila ve Spring Grove. Zde se roku 1866 James a Martha vzali a postupně přivedli na svět sedm synů (z nichž se dospělého věku dožili čtyři) a pět dcer. Ernest byl mezi nimi čtvrtým dítětem a druhým chlapcem.



Rodný dům Ernesta Rutherforda ve Spring Grove



Martha a James Rutherfordovi

Starost o materiální zajištění rozrůstající se rodiny vedla otce k širšímu pracovnímu záběru: kromě svého původního řemesla drobně farmařil a zabýval se i dalšími, zpočátku jen příležitostnými, technickými pracemi. Matka, která se musela vzdát učitelského povolání, pečovala o provoz domácnosti a svoje pedagogické schopnosti i zaujetí soustředila na vlastní děti. Vzdelání se v nezáměrné rodině těšilo velké úctě, při čemž přesvědčení o jeho důležitosti bylo důsledkem šťastné kombinace dvou na první pohled protikladných zdrojů: otec považoval dobré formální vzdělání za důležité, protože je sám neměl, matka naopak proto, že je měla. Otcova slova „nemáme peníze, tak musíme přemýšlet“, stejně jako matčina „ve vědění je síla“, přijal Ernest za svá na celý život.

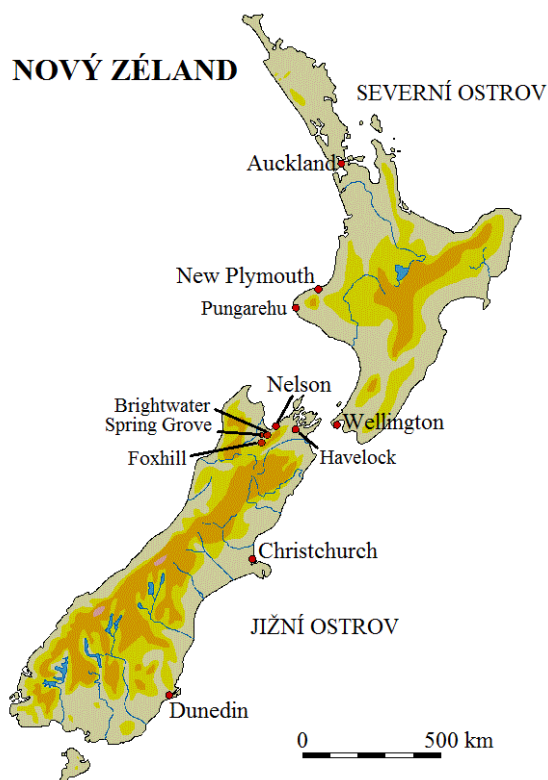
V souvislosti s otcovými výtěžkovými příležitostmi se rodina třikrát přestěhovala: nejprve (1877) do blízkého Foxhillu, kde otec pracoval na stavbě železnice, poté (1883) do vzdálenějšího Havelocku, kde našel zaměstnání v nově otevřené tírň lnu, a konečně (1889) do vesnice Pungarehu ležící jižně od New Plymouthu na Severním ostrově. Zde Rutherfordovi zakoupili malou farmu, na níž pěstovali a zpracovávali len.

Základní školní docházku absolvoval Ernest Rutherford ve Foxhillu (1877–1883) a Havelocku (1883–1886). Podle slov pamětníků se během ní projevoval jako bystrý, přirozeně nadaný venkovský chlapec, avšak bez nějakých výrazných vloh. Po prvním neúspěšném pokusu v roce 1885 se mu napodruhé (1886) podařilo získat stipendium na chlapeckou střední školu v Nelsonu (*Nelson College*), kde již studoval jeho starší bratr. Rodiče ovšem neměli dostatek prostředků, aby mohli poskytnout dětem vyšší vzdělání, a tak i veškeré pokračování Ernestových studií bylo podmíněno jeho schopností získávat další stipendijní podpory. Už v tomto věku se u mladého Rutherforda začaly výrazně projevovat některé z jeho pozdějších silných vlastností – schopnost soustředění, pracovitost, houževnatost.

Hlavně díky nim se vypracoval mezi nejlepší žáky školy. Zvláště dobrých výsledků dosahoval v matematice a svoje studijní úsilí doplňoval i sportovními aktivitami (rugby). V roce 1888 se mu podařilo uspět v přijímacím řízení na novozélandskou univerzitu, nikoliv však natolik, aby dosáhl – pro něj nezbytného – stipendia pokrývajícího studijní náklady. Mezi deset vyvolených se dostal až opakovaným pokusem následujícího roku, což mu umožnilo vstoupit na canterburskou univerzitní kolej v Christchurch.



Ernest Rutherford



Celé tehdejší novozélandské vysoké školství představovala *University of New Zealand*, téměř přesně stejně stará/mladá jako právě imatrikulovaný Rutherford. Sestávala ze tří kampusů (Dunedin, Christchurch, Auckland) řízených z administrativního a examinačního centra v hlavním městě Wellingtonu, kde se výuka nekonala. *Canterbury College* byla v té době malou provinční školou čítající půldruhé stovky studentů, na níž působil všeho všudy sedm z Anglie přišedších profesorů různých vědních oborů. Ernest Rutherford, jako třístátřicátýosmý student její dosavadní krátké historie, se i zde záhy zařadil ke špičce v matematice a získával z ní každoročně premiantská ocenění. Nadále se také v týmu své koleje věnoval oblíbenému rugby. Posléze se mu však novým zájmem stalo jednak experimentování v relativně slušně vybavené fyzikální laboratoři, jednak činnost ve studentském diskusním spolku

(*Dialectic Society*) a akademickém filozofickém institutu (*Philosophical Institute of Canterbury*), z něhož se později vyvinula canterburská pobočka nynější vědecké *Royal Society of New Zealand*. Na zasedáních těchto společností byly probírány aktuální vědecké problémy (například – za velmi aktivní Rutherfordovy účasti – nedávné Hertzovy experimenty dokazující existenci Maxwellem předpovězených elektromagnetických vln a studující jak možnosti jejich generování, tak jejich vlastnosti).

První, široce koncipovanou, fázi svých univerzitních studií zakončil Ernest Rutherford roku 1892 bakalaureátem (B. A.). A jeho výtečné matematické erudici se vzápětí dostalo ještě jednoho zvlášť vítaného uznání: bylo mu uděleno roční stipendium – jedno pro celý Nový Zéland – určené k podpoře dalšího studia matematiky. Kromě ní si tento stipendista ovšem zapsal také předměty fyzikální, které jej začaly čím dál více přitahovat. Většina jeho životopisců v této souvislosti zdůrazňuje vliv christchurchského profesora chemie Alexandra Bickertona [19], který sice nebyl zrovna špičkou svého oboru, ale svým až vášnivým zaujetím pro vědecké bádání si mladého Rutherforda získal a tuto vlastnost na něj, podle jejich mínění, zřejmě i přenesl. (Sám Rutherford ovšem později stejně vděčně vzpomíná rovněž na svého tehdejšího profesora matematiky Charlese Cooka, jenž mu vštípil smysl pro přesnost a metodologický řád [20, 22].) Za Bickertonova povzbuzování a podpory se Rutherford pustil do experimentálního zkoumání tehdy nanejvýš aktuální problematiky: zopakoval všechny stěžejní Hertzovy experimenty s elektromagnetickými vlnami, při čemž šíří a systematickostí této práce předčil všechny své – i velmi věhlasné – předchůdce (včetně samotného Hertze, který právě v té době – v nedožitých sedmatřiceti letech – umírá na otravu krve). Samostatným a zcela originálním pokračováním této činnosti pak bylo experimentální studium magnetizačních účinků vysokofrekvenčních elektromagnetických polí na železo. Získané výsledky Rutherford shrnul ve své dizertaci (M. A.), kterou obhájil na sklonku roku 1893. Nejen kvalita závěrečné práce, ale rovněž impozantní zakončení teoretických předmětů (celouniverzitní prvenství jak v matematice, tak ve fyzikálních vědách /elektřina a magnetismus/), mu na jeho provinční koleji přinesly velké renomé. A s ním také možnost strávit zde ještě jeden – mimořádný – rok. Formální předpisy ovšem vyžadovaly i v takovém případě zápis do některého ze studijních programů. Nucená volba padla na chemii a geologii, avšak těžištěm Rutherfordova zájmu již zůstala fyzika. Prémiový univerzitní rok tak věnoval především prohloubení a doplnění svých předcházejících experimentů a toto úsilí završil zkonstruováním funkčního detektoru elektromagnetických vln založeného na jejich magnetizačních účincích. V první verzi šlo sice o zařízení víceméně laboratorní, jeho autor si však od jeho dalšího zlepšování sliboval možnost detekce signálů emitovaných i vzdálenějšími zdroji. (Je namístě připomenout, že šlo o práci vskutku pionýrskou, neboť podobným problémům se zatím nikdo vážně nevěnoval. Pozoruhodné přitom je, že prakticky současně se jimi – odlišným způsobem – začali na druhé polokouli intenzivně zabývat Alexandr Popov (1859 – 1906) a Guglielmo Marconi (1874 – 1937), v té době ovšem ještě stejně neznámí jako Rutherford, aniž by kdokoli z této trojice věděl cokoli o aktivitě zbývajících dvou.) Touto vysoce ceněnou prací Ernest Rutherford svá novozélandská univerzitní studia závěrem roku 1894 definitivně ukončil (B. Sc.).

Přes veškerá uznání, jichž se mu na univerzitě dostalo, se jejímu čerstvému absolventovi nedařilo najít odpovídající zaměstnání. Nějaký čas nepřliš úspěšně působil jako pomocný učitel na chlapecké střední škole v Christchurch a přivydělával si kondicemi. V *Transactions of the New Zealand Institute* publikoval dva články shrnující výsledky jeho výzkumů z posledních dvou let. Zažádal o anglické stipendium *1851 Exhibition Science Scholarship*<sup>1</sup>, avšak jediné místo připadající na Nový Zéland obdržel jeho konkurent James

---

<sup>1</sup> Dodnes udržovaná tradice tohoto stipendia byla založena z podnětu prince Alberta, manžela královny Viktorie, z výtěžku Světové výstavy konané v Londýně roku 1851. Jeho původním účelem bylo umožnit „mimořádně



Maclaurin [21] – chemik, který absolvoval o rok dříve s podobným úspěchem sesterskou *Auckland University College*. Druhý, značně zklamaný, Rutherford se po dalších třech marných pokusech o získání trvalého učitelského místa vrátil jako – sice velmi potřebná, avšak málo spokojená – pracovní síla na rodinnou farmu v Pungarehu. A tam jej po několika měsících zastihla zpráva, že o pár let starší Maclaurin, který byl v té době již ženat, dal přednost právě získanému, dobře placenému místu analytického chemika v domovském Aucklandu před nepříliš jistou perspektivou na opačné straně zeměkoule založenou na dvouletém stipendiu a na své vítězství v konkurzu rezignoval. Na podzim roku 1895 tedy čtyřladvacetiletý Ernest Rutherford opouští Nový Zéland, kde se narodil, vystudoval, získal tři univerzitní tituly, publikoval své dvě první vědecké práce a – zasnoubil se.<sup>2</sup>

## 2. Anglie (Cambridge) – Thomsonovým doktorandem

Rutherford směřoval do Cambridge. Nikoli snad jen kvůli skvělé pověsti zdejší univerzity, ale především proto, že zde působil Joseph John Thomson (1856 – 1940) – tehdy m.j. jeden z největších odborníků na problematiku elektromagnetického záření. Na mladého Novozélandčana udělaly veliký dojem jeho texty, s nimiž se podrobně seznámil v předešlých letech, a možnost studia v Anglii chápal do značné míry jako příležitost pracovat v jeho blízkosti. Shodou šťastných okolností přitom v Cambridgi došlo právě v roce 1895 k velice podstatné změně: dosud velmi elitářská univerzita se svému okolí více otevřela. Tohoto roku byl totiž – z Thomsonovy iniciativy – zrušen dosavadní předpis, podle něž v jejích laboratořích nemohli pracovat absolventi jiných univerzit. Současně zde bylo zavedeno studium nového typu, v jehož průběhu bylo začínajícím výzkumníkům, ať už přicházeli odkudkoli, zajištěno kvalitní odborné vedení a po jeho úspěšném ukončení jim byl udělen doktorský titul.<sup>3</sup>



Ernest Rutherford

---

*perspektivním začínajícím vědcům a technikům*“ – občanům držav Britského impéria – dvouletý studijně-výzkumný pobyt kdekoli, kde by to bylo prospěšné potřebám jejich mateřské země. V Rutherfordově době šlo o nejvyšší anglické stipendium (150 £ ročně) udělované ob rok nejvýše jednomu žadateli z každé anglické kolonie.

<sup>2</sup> Po té se sem už pak vrátí jenom čtyřikrát: v roce 1900, aby se oženil (a svou ženu si s sebou odvezl), v roce 1905 na rodinnou návštěvu, v roce 1914 po své účasti na konferenci *British Association for the Advancement of Science* konané toho roku v Austrálii a konečně v roce 1925 na návštěvu churavějících rodičů a přednáškové turné. Po celý život se však nepřestane hrdě hlásit ke svému novozélandskému původu a zůstane v čilém písemném styku se svou matkou (a v prvních letech samozřejmě i se svou snoubenkou), jíž v podstatě deníkovým způsobem až do její smrti (1935) pravidelně referuje a svém životě i práci. (Tato bohatá – dnes již digitalizovaná [22] – hojně citovaná korespondence (např. [7, 10]) je spolehlivým zdrojem mnoha cenných jak osobních, tak fyzikálně-historických informací.)

<sup>3</sup> Tento ústup od tradice měl i další důvod. Na hodnostech a titulech – tehdy zřejmě stejně jako dnes – do značné míry závisela další kariéra začínajícího vědce. Sám Thomson argumentoval tím, že ve výběrových řízeních na místa profesorů a docentů mají výhodu absolventi německých univerzit udělujících doktoráty před cambridgeskými graduanty, kteří jsou jen bakaláři nebo magistry [10].



Joseph John Thomson

žil a během prvního roku svého pobytu v Cambridgi pilně pokračoval v práci započaté na Novém Zélandu: Svoje zařízení zdokonalil natolik, že bylo schopné detekovat signály přicházející ze zdrojů vzdálených stovky metrů, což dávalo naději na praktické využití, např. v námořní signalizaci. Jeho modifikacemi nadto dospěl i k dalším užitečným aplikacím (např. k možnosti přesného měření vysokých frekvencí). Svými schopnostmi a pracovním nasazením získával Rutherford čím dál větší Thomsonovo uznání a sympatie. A postupně se začal měnit i původně povýšený postoj řady jeho anglických kolegů, kteří na něj zprvu pohlíželi s neskrývaným despektem pro jeho bezprostřední chování, přímé jednání a zejména hlučnou mluvu se silným novozélandským přízvukem, jimiž se tolik lišil od místních konvencí. Výmluvně o tom svědčí zaznamenaný jemně ironický, avšak uznalý, výrok dr. Andrewa Balfoura, jenž tehdy studoval v Cambridge medicínu a k těm, kteří Rutherforda znevažovali, nepatřil: „*Máme tu divokého králíka od protinožců. A hrabe hluboko.*“ [7, 10]

V létě 1896 Rutherford připravil na Thomsonovu výzvu demonstrační přednášku o svých experimentech pro zářijovou konferenci Britské asociace pro rozvoj vědy.<sup>4</sup> Jeho očekávané vystoupení – Thomson již na jaře předběžně informoval o Rutherfordových výzkumech na zasedání *Royal Society* – zde vzbudilo značný zájem i překvapení a Rutherford tu navázal řadu nových kontaktů. Uspokojení, které by mohl právem po svém jednoznačném úspěchu pociťovat, však bylo vzápětí zkвлено následným oznámením Guglielma Marconiho, že v „*bezdrátovém způsobu signalizace prostorem*“ již dosáhl v řadě směrů lepších výsledků, že jeho práce jsou finančně podporovány Královským ministerstvem pošt a že jeho řešení dílčích problémů jsou předmětem patentového řízení. Rutherford byl zaskočen: o patentovém chránění výsledků své vědecké práce nejen tehdy, ale ani nikdy později neuvažoval. A vzápětí obrátil svoji pracovní aktivitu jiným směrem. Snad by se dalo říci, že v tomto osobně jistě velmi těžkém okamžiku projevil svou, později příznačnou, velkorysost, když na problematice, která byla až dosud hlavním předmětem jeho zájmu, přestal pracovat a přenechal ji – možná i technicky, ale zcela určitě obchodně – zdatnějšímu Marconimu.

Závěr devatenáctého století byl v evropských fyzikálních laboratořích obdobím horečné činnosti. Na řadě míst vrcholily již desítky let trvající výzkumy elektrických výbojů v plynech a katodového záření, intenzivně byly studovány nově objevené „*paprsky X*“ (Röntgen 1895) a radioaktivita (Becquerel 1896) [24, 25]. Thomson, jenž byl ve zkoumání těchto navzájem

---

<sup>4</sup> *British Association for the Advancement of Science* [23] bývala označována za parlament britské vědy. Na jejím každoročním kongresu věnujícím se aktuálním vědeckým problémům se setkávali nejen významní angličtí, ale i zahraniční badatelé. Je samozřejmé, že ne každé z těchto zasedání vstoupilo do fyzikální historie. O shromáždění konaném na podzim 1896 v Liverpoolu J. J. Thomson později prohlásil, že „*bylo památné tím, že zde Asociace poprvé uviděla a uslyšela Rutherforda*“.

těsně souvisejících jevů výrazně angažován (jeho dosavadní úsilí mělo být hned následujícího roku 1897 korunováno objevem elektronu) [25], k němu přizval i svého oblíbeného doktoranda. A důvěra v jeho vynikající schopnosti jej nezklamala: Rutherford nejprve vyvinul několik důvtipných experimentálních technik ke studiu mechanismu vedení elektrického proudu v plynech, na něž je přiloženo vysoké elektrické napětí. Brzy po Röntgenově objevu pak přišel ve spolupráci s Thomsonem na to, že plyny, které jsou za normálních podmínek izolanty, se stávají během ozařování rentgenovými paprsky elektricky vodivými, a vzápětí zjistil, že podobný účinek na plynové vzorky vykazují i Becquerelovy uranové paprsky, jak bylo zprvu nazýváno radioaktivní záření. Tento výsledek jej přivedl k hlubšímu zájmu o radioaktivitu, a to jak o její další vlastnosti, tak o její fyzikální podstatu. V roce 1898 se mu povedlo jednoduchým experimentálním vyšetřením absorpce záření emitovaného uranovými solemi objevit, že sestává ze dvou složek, které se výrazně liší svou pronikavostí. Měkčí z nich, mající silné ionizační účinky, označil jako  $\alpha$  a tvrdší, s menší ionizační schopností,  $\beta$ . Zatímco záření  $\beta$  bylo záhy (1900) řadou badatelů (Dorn, Becquerel, Giesel, Schweidler, Rutherford) – na základě jeho vychylování ve vnějších polích – identifikováno jako proud velmi rychlých elektronů, dnes většinou bez zdůvodnění uváděná interpretace  $\alpha$ -záření jako proudu iontů  $\text{He}^{++}$  byla podstatně komplikovanějším problémem a Rutherford ji – po řadě méně přesvědčivých důkazů – definitivně potvrdil až deset let po jeho objevu [26].<sup>5</sup> Tento nanejvýš důležitý výsledek později komentuje svým typicky skromným způsobem připomínajícím i podíl dalších lidí na jeho dosažení: „...různými metodami a za pomoci mnoha spolupracovníků jsem ukázal vychylováním  $\alpha$ -částic v silných magnetických polích, že jde o heliové atomy nesoucí dvojnásobný kladný náboj; nadto jsme byli schopni určit i jejich rychlost.[28]“ A vícekrát zdůrazňuje, jako prvořadé, zásluhy skláře Otto Baumbacha, jehož mimořádná dovednost při výrobě potřebné aparatury umožnila tento problém s konečnou platností uzavřít.

Ze svého pobytu v Cambridge Rutherford vytěžil pět samostatných publikací (věnovaných detekci elektromagnetických vln, ionizaci plynů rentgenovým, ultrafialovým a radioaktivním zářením a podstatě radioaktivního záření), jimiž získal i jisté mezinárodní uznání. Jeho původně dvouleté stipendium bylo o rok prodlouženo a poté mu byla nabídnuta další roční podpora 250 £ (*Trinity College's Coutts Trotter Studentship*). Rutherford však již pomýšlel na zaměstnání trvalejšího charakteru, a to tím spíše, že se hodlal v dohledné době oženit. Když se v létě roku 1898 uvolnila profesura experimentální fyziky na McGillově univerzitě v Montrealu a její zástupci přijeli také do Cambridge poradit se s Thomsonem o vhodných kandidátech, projevil o toto místo zájem. A přestože – vzhledem ke svému relativně nízkému věku – si velké naděje na úspěch nedělal, byl na ně povolán.

---

<sup>5</sup> Alespoň učitele fyziky by mohl (a podle mého názoru i měl!) zajímat celý tento zajímavý příběh, který drtivá většina učebnic (středoškolských i vysokoškolských) odbývá jen blíže nekomentovaným závěrečným konstatováním. Záření  $\alpha$  se totiž – na rozdíl od  $\beta$ -záření – dlouho nedařilo vnějšími poli odklonit od původního směru. Příčinou, jak se ovšem ukázalo až později, byl velmi malý – ve srovnání s elektrony – měrný náboj  $\alpha$ -částic, takže k jejich měřitelnému vychýlení bylo třeba podstatně silnějších polí. Ta měl Rutherford k dispozici až na dalším pracovišti (v letech 1902 – 1903) díky zaangažování energetické firmy. Hodnota měrného náboje  $\alpha$ -částic, kterou byl nyní schopen stanovit, sice ukazovala, že by mohlo jít nejen o ionty  $\text{He}^{++}$ , ale rovněž o molekulární ionty  $\text{H}_2^+$  (a případně také jiné částice s týmž měrným nábojem), nicméně další experimentální zjištění (m.j. i častý výskyt helia v blízkosti radioaktivních hornin) činila první možnost nejpravděpodobnější. Naprosto přesvědčivým důkazem však byla až spektroskopická analýza souboru  $\alpha$ -částic (neutralizovaných zachycením elektronů z okolí), kterou Rutherford provedl se svým doktorandem Thomasem Roydsem roku 1908 (po další změně pracoviště). (Detailní výklad této problematiky, včetně pedagogicko-fyzikálního komentáře, může zaujatý čtenář najít v pozoruhodné knize [27].)

### 3. Kanada (Montreal) – profesorem McGillovy univerzity



Ernest Rutherford

kými badatelskými ambicemi, ochotně převzal značnou část Rutherfordových výukových povinností a rád mu přenechal vůdčí roli v laboratoři.

Z uranových sloučenin, s nimiž experimentoval v Cambridge, Rutherford rozšířil svůj zájem i na několik dalších tehdy známých radioaktivních látek. Při pokusech s thoriem zjistil, že tento prvek emituje radioaktivní plyn, jenž nazval (thoriovou) emanací (dnes  $^{220}\text{Rn}$ ). Jeho usazováním na okolních předmětech vznikaly nehomogenní – rovněž aktivní – povlaky obsahující dosud neznámé látky, později postupně označené jako thorium A, thorium B a thorium C (dnes  $^{216}\text{Po}$ ,  $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{211}\text{Bi}$ ). Podrobné zkoumání jejich vlastností a přesná kvantitativní analýza již přesahovaly možnosti původního osazenstva laboratoře, což Rutherforda nutilo hledat spolupracovníky mimo ni. Nejvýznamnějším z nich byl nepochybně Frederick Soddy (1877 – 1966) – oxfordský absolvent, který byl v té době chemickým demonstrátorem na McGillově univerzitě.

Rok a půl trvající Rutherfordova a Soddyho společná práce (v letech 1901 až 1903) přinesla nejzávažnější výsledky, jakých kdy bylo v Macdonaldově laboratoři dosaženo. Oba badatelé na základě mnoha experimentů<sup>6</sup> společně dospěli k převratnému závěru, že radioaktivita je atomárním jevem, jehož podstatou je nestabilita atomů některých chemických prvků, jež se samovolně přeměňují v atomy prvků jiných za současné emise (radioaktivního) záření [29]. Soddy, jenž se dlouhodobě zajímal o historii alchymie, použil v souvislosti s tím alchymistického pojmu „transmutace“ a Rutherford na toto označení přistoupil. Diametrální odlišnost této představy od zažitého přesvědčení chemického atomismu o neměnnosti atomů (a snad i její poněkud provokativní označení) sice vyvolala řadu negativních reakcí – od pochybností (někteří kolegové z McGillovy univerzity, jež Rutherford s obsahem připravených publikací seznámil, jej z obavy o reputaci školy vyzývali k jejich stažení), přes kategorické odmítnutí některých



Frederick Soddy

<sup>6</sup> Podrobný popis této rozsáhlé činnosti lze najít v příslušných původních pracích [29, 2] a dále – s řadou rozšiřujících komentářů – např. v rozsáhlé (beletrizující) biografii [10], ve stručnějším tvaru (formulovaném věcněji) pak v mnoha přehledových pojednáních (např. [30-33]).



významných učenců (lord Kelvin) až po výsměch (prezident Anglické chemické společnosti prof. Henry Armstrong vyslovil veřejné podivení nad tím, že existují atomy „mající nevyléčitelný sklon k sebevraždě“) – převažujícím postojem však byly rozpaky a překvapení. Autoři totiž měli veškerá svoje tvrzení nevyvratitelně zdůvodněna, podložena i kvantitativním popisem zformulovaným ve tvaru exponenciálního rozpadového zákona a vše, co bylo tehdy o radioaktivitě známo, dokázali svou teorií objasnit.

Teorie ovšem jen nevysvětlovala široký soubor experimentálních dat, ale rovněž usnadňovala nalézání dalších souvislostí. Ve snaze systemizovat dosavadní poznatky Rutherford uspořádal radioelementy do skupin, jejichž členy byly vzájemně svázané radioaktivními přeměnami. Ke konečnému výsledku, jímž je detailní popis tří – dnes v každém úvodním kurzu fyziky zmiňovaných – rozpadových řad: uranové, thoriové a aktiniové, velmi významně přispěl Bertram Boltwood (1870 – 1927) [23]. Boltwood byl profesorem radiochemie na univerzitě v Yale a v Macdonaldově laboratoři přímo nepracoval, s Rutherfordem však vedl čilou korespondenci. Po jeho upozornění, že rozpadové řady končí stabilním olovem (1905), Rutherford navrhl využít měření aktuálního množství výchozího a koncového elementu rozpadového procesu ke stanovení délky jeho trvání, t.j. k určení stáří vzorku. Tímto postupem, jenž je ideovým základem současné metodiky radioaktivního datování, Boltwood – po provedení příslušných měření a s využitím již dříve v Montrealu zjištěné hodnoty poločasu rozpadu radia – odhadl stáří radioaktivních hornin (a tím i Země) na více než miliardu let. Tento závěr – řádově shodný s dnešní hodnotou – lépe odpovídal očekávání tehdejších geologů a vývojových biologů než o dva řády nižší předchozí fyzikální odhad, vycházející z představy chladnutí původně tekuté planetární hmoty. Rutherfordův nápad a jeho Boltwoodovo provedení tak dosavadní názor na vznik planet, zastávaný např. lordem Kelvinem, zásadně zpochybnily.<sup>7</sup>



Bertram Boltwood

Ernest Rutherford strávil v Montrealu devět velice plodných let.<sup>8</sup> Za jeho vedení se Macdonaldova laboratoř stala světově proslulým a vyhledávaným pracovištěm, na němž byly (pro)zkoumány všechny aspekty radioaktivity. Rozrůstající se pracovní skupinou procházeli nejen studenti, demonstrátoři a profesoři McGillovy univerzity, ale také doktorandi a postdoktorandi z Ameriky i Evropy (např. akademický rok 1905/6 zde strávil pozdější objevitel jaderného štěpení Otto Hahn). Sám Rutherford během svého pobytu na McGillově univerzitě publikoval 69 prací (samostatných nebo nanejvýš s jedním spoluautorem) a vydal svoji první knihu [3] shrnující tehdejší znalosti o radioaktivitě. Jeho spolupracovníci mezitím uveřejnili dalších 30 článků o různých dílčích tématech radioaktivity, jejichž zpracování však většinou navrhl Rutherford a také je alespoň obrysově sledoval. Současně se Rutherfordovým vědeckým úspěchům začalo dostávat i formálního uznání. V roce 1903 byl zvolen členem londýnské *Royal Society*, následujícího roku byl poctěn její Rumfordovou medailí<sup>9</sup> a

<sup>7</sup> Asi zbytečně, ale přece jenom na tomto místě připomeňme, že všechny až dosud v tomto textu zmiňované poznatky byly získány bez znalosti základní struktury atomu – tj. před objevem atomového jádra.

<sup>8</sup> Během této doby se – roku 1900 v Christchurch na Novém Zélandu – Ernest Rutherford oženil se svou snoubenkou Mary Georginou Newtonovou. Roku 1901 se jim v Kanadě narodilo jejich jediné dítě, dcera Eileen Mary.

<sup>9</sup> Rumfordova medaile je udělována od roku 1800 každý sudý rok anglickou *Royal Society* za „mimořádně významný nedávný objev v oblasti tepelných a optických vlastností látek dosažený v Evropě pracujícím vědcem“.

pověřením přednést bakeriánskou přednášku<sup>10</sup>, rok na to byl pozván k přednesení souboru sillimanských přednášek<sup>11</sup> a konečně roku 1908 mu byla udělena Nobelova cena za chemii „za výzkum rozpadu prvků a chemii radioaktivních látek“. To už však působil jinde.

#### 4. Anglie (Manchester) – profesorem Viktoriiny univerzity

Přestože se Rutherfordovi v Kanadě vedlo po všech stránkách velmi dobře, začal přece jen pomýšlet na změnu působiště. Díky svému věhlasu neměl o pracovní nabídky nouzi; místo mu nabízelo hned několik amerických univerzit. Hlavní příčinou jeho nespokojenosti však byl pocit jisté odloučenosti od evropských pracovišť, kde v té době ještě spočívalo těžiště světové fyzikální vědy. S mnoha badateli z Evropy sice živě korespondoval, tehdejší pomalost tohoto způsobu spojení mu však komunikaci s nimi velmi ztěžovala.



Ernest Rutherford

Z možností, které zvažoval, jej nejvíce zaujala nečekaná nabídka z Manchesteru. Arthur Schuster (1851 – 1934), který pozvedl katedru a laboratoř fyziky na tamní univerzitě do té míry, že se staly pracovištěm srovnatelným s proslulou Cavendishovou laboratoř v Cambridgi, se rozhodl na jeho vedení rezignovat. Cítil se – ve svých šestapadesáti letech – nepřilíh zdrav, finančně dostatečně zabezpečen (dědictvím) a nadále se hodlal více věnovat vlastnímu nezávislému výzkumu a organizaci mezinárodní vědecké spolupráce. Nepominutelným důvodem jeho altruistického činu byla ovšem i snaha získat pro „svou“ katedru člověka tak odborně erudovaného a organizačně schopného jako byl Rutherford. V říjnu 1906 mu píše: „*Jde mi o to, aby místo zaujal někdo, kdo zachová a rozmnoží její pověst. ... Nikomu bych ji nepředal s menšími pochybnostmi než Vám.*“<sup>[10]</sup> Rutherford Schusterovu výzvu vyslyší a v květnu 1907 se stává profesorem Viktoriiny univerzity v Manchesteru. (Pro Macdonaldovu laboratoř má ovšem jeho odchod důsledky fatální.)

Radioaktivními výzkumy nepochybně prokázaná možnost vzájemné přeměnitelnosti atomů různých druhů naléhavě nastolila do té doby jen spekulativní otázku jejich vnitřní struktury<sup>12</sup>. Na základě úvah opírajících se o některá další experimentální zjištění bylo formulováno přesvědčení, že každý atom je složenou soustavou obsahující nevelký počet nedávno objevených elektronů a „kladné závaží“, které kompenzuje jejich náboj a rozhodujícím způsobem ovlivňuje hmotnost atomu. A jelikož k vytvoření konkrétnější představy spolehlivé informace nedostačovaly, bylo nutno se uchýlit k dohadům. V první dekádě dvacátého století se tak objevilo téměř současně několik zkusmých modelů atomu

<sup>10</sup>*Bakerian lecture* je od roku 1775 každoročně pořádaná přednáška na téma „z oboru přírodní historie a experimentální filosofie“ proslovená zvaným řečníkem podle výběru *Royal Society*.

<sup>11</sup>*Silliman Memorial lecture series* je soubor přednášek konaných od roku 1901 každoročně na univerzitě v Yale z výtěžku nadace založené roku 1888 na památku paní Hepsy E. Sillimanové (vdovy po G. S. Sillimanovi, někdejším absolventu yaleské univerzity a generálu milice v Americké válce za nezávislost) jejími dědici. Zakladatelé nadace vymezili obsah přednášek požadavkem „*ilustrovat přítomnost, prozřetelnost, dobrotu a moudrost Boží, tak jak se projevuje v přírodě a morálce, ..., čehož se lépe dosáhne uspořádaným prezentováním přírodních nebo historických fakt než dogmatickou nebo polemickou teologií*“ (kterou tak z tématiky přednášek vyloučili).

<sup>12</sup>Celý tento – důležitý, zajímavý a poučný – příběh bývá na všech stupních (českého?) fyzikálního vzdělávání tradičně odbýván obecnými formulacemi či dokonce jen pouhým oznámením jeho závěru. Rámcový návrh podrobného výkladu, který je podle jeho názoru dobře přijatelný i pro začátečníky, nedávno podal autor tohoto přehledového pojednání v příspěvku [25] a pro další detaily se bude odkazovat na něj.

[25]. Nejpropracovanějším, tehdy nejuznávanějším a dnes nejznámějším z nich je tzv. pudinkový model rozvíjený Josephem Johnem Thomsonem, podle nějž by „kladné závaží“ mělo spojitě, rovnoměrně vyplňovat celý objem atomu, zatímco elektrony by v něm měly být rozmístěny jako „rozinky v pudinku“ (anglickém). Teoretickým spekulacím o jejich možném rozložení [24] se Rutherford rozhodl napomoci experimentálním vyšetřením rozptylu svazků  $\alpha$ -částic, jejichž vlastnosti již do té doby sám podrobně prozkoumal, tenkými kovovými fóliemi. Byl při tom veden originální myšlenkou: „*Poněvadž  $\alpha$ -částice ... procházejí atomem, pečlivé studium odchylek „těchto střel“ od původního směru může poskytnout určitou představu o struktuře atomu, jež je za tyto odchylky zodpovědná. Rozptyl rychle letících nabitých částic atomy látky je jednou z nejslibnějších metod řešení problému stavby atomu.*“ [34] <sup>13</sup>

Vzhledem k jeho celkové elektrické neutralitě by měla  $\alpha$ -částice, která mívá Thomsonův atom, pociťovat jen velmi slabé pole elektrického multipólu, jež by zřejmě nemohlo nijak výrazně ovlivnit její pohyb. Podobně by tomu bylo ovšem i tehdy, kdyby  $\alpha$ -částice takovým atomem procházela. (V tomto případě jsou sice vnitroatomové náboje  $\alpha$ -částici blíže, ale protože ji nyní obklopují, síly, jimiž na ni působí, se navzájem – do menší či větší míry (v závislosti na okamžité poloze  $\alpha$ -částice v atomu) – kompenzují.) Ať by tedy relativně rychlá  $\alpha$ -částice jednotlivý thomsonovský atom mívěla nebo jím pronikala, měla by se při tom odchýlit od původního směru jen nepatrně.



Hans Geiger

*ratoři tento jev podrobně. Zjistil, že v tenkých kovových deskách je tento rozptyl [podle očekávání] malý, řádově jeden stupeň. Jednou ke mně Geiger přišel a řekl: „Nemyslíte, že by mladý Marsden, kterého trénuji v radioaktivních metodách, mohl už sám provést nějaký menší experiment?“ Usoudil jsem, že by mohl a tak jsem řekl: „Uložíme mu, aby zjistil, zda mohou*

Zdlouhavé experimenty, jejichž podstata spočívala ve vizuálním počítání  $\alpha$ -částic rozptýlených po kolmém dopadu na kovovou fólii do různých směrů, prováděli od podzimu 1907 – pod Rutherfordovým ideovým vedením – Hans Geiger (1882 – 1945), který byl v Manchesteru už asistentem Schusterovým, a Ernest Marsden (1889 – 1970) končící zde tehdy svoje univerzitní studia.<sup>14</sup> Tuto několikaletou práci, jež vyústila v jeden z největších fyzikálních objevů, jakých bylo kdy dosaženo, – v objev atomového jádra – později Rutherford podle svého zvyku popisuje velmi prostými slovy: „*Chtěl bych užít tohoto příkladu, abych ukázal, jak čirou náhodou můžeme často o skutečnosti doslova zakopnout. Zabýval jsem se rozptylem  $\alpha$ -částic a dr. Geiger zkoumal v mé labo-*

<sup>13</sup>Tento – ve své podstatě velmi jednoduchý – nápad, vedoucí k definitivní odpovědi na otázku o rozložení hmoty a náboje v atomu, je ideovým předchůdcem technicky jistě podstatně náročnější experimentální metodiky užívané v moderní částicové fyzice (např. potvrzení existence kvarků v 60. – 70. letech minulého století). Sám Rutherford svůj – kolegy často obdivovaný – přímočarý přístup k řešení problémů lehce ironizoval slovy: „*Jsem prostý člověk a mám rád jednoduché experimenty poskytující jednoduchá vysvětlení.*“ [32]“

<sup>14</sup>Je namístě alespoň zmínit, že při řešení technických problémů spojených s realizací tohoto experimentu Rutherford s Geigerem zdokonalili již dříve (1903) Crookesem navrženou scintilační metodu registrace  $\alpha$ -částic a nově (1908) vyvinuli metodiku založenou na jejich ionizačních účincích, později (1928) dovršenou univerzálnější konstrukcí Geigerova-Müllerova počítáče.

být  $\alpha$ -částice rozptýleny také do velkých úhlů.“ Musím upřímně říci, že jsem sám nevěřil tomu, že by bylo něco takového možné.  $\alpha$ -částice je přece velmi těžký a rychlý objekt se značnou kinetickou energií, takže k jejímu velkouhlovému rozptylu by snad mohlo dojít jen v důsledku naskládání řady rozptylů malouhlových, což je však krajně nepravděpodobné.



Ernest Marsden

Dále si pamatuji, že za dva nebo tři dny ke mně přišel nadmíru vzrušený Geiger a řekl: „Podařilo se nám detekovat několik  $\alpha$ -částic rozptýlených zpět...“ To byla nejneuvěřitelnější událost v celém mém životě. Bylo to stejně nepravděpodobné, jako kdyby se patnáctipalcová dělová koule vystřelená proti listu papíru od něj odrazila a strefila střelce. Když jsem věc rozmyslel, uvědomil jsem si, že pozorovaný rozptyl zpět musí být důsledkem jediné srážky. A když jsem provedl výpočty, pochopil jsem, že k tak velkému rozptylu nemůže dojít, nebude-li podstatná část hmoty atomu zkoncentrována ve velmi malé oblasti. Právě tehdy mne napadla představa atomu s těžkým malým jádrem nesoucím [kladný] náboj. Matematicky jsem odvodil zákon, podle něž by měl rozptyl probíhat, a zjistil jsem, že počet částic rozptýlených do určitého úhlu by měl být přímo úměrný tloušťce fólie a kvadrá-

tu jaderného náboje a nepřímo úměrný čtvrté mocnině rychlosti. Tyto závěry později Geiger a Marsden potvrdili řadou krásných experimentů. [28]”<sup>15</sup>

Rutherfordovo zjištění, že atom sestává z relativně rozlehlého souboru lehkých elektronů nacházejícího se v přitažlivém kulombovském poli velmi malého těžkého kladného jádra (1911) bylo mezníkem, který rozdělil další studium atomu do dvou hlavních směrů: Na počátku jednoho z nich stála záhada stability tak nerovnoměrného rozložení hmoty a náboje. Snaha o její vyřešení vedla od přirozeně se nabízející, avšak fyzikálně neudržitelné, planetární představy o atomu přes axiomatický – jako celek logicky nekonzistentní – Bohrov model a jeho Sommerfeldovo zobecnění k nejprve jen částečně úspěšnému a fyzikálně nepřilíživému popisu elektronového obalu atomu [35]. Tato obtížná tematika (spolu s navazující problematikou vzájemných interakcí různých atomů) se stala nejen těžištěm relativně samostatné části fyziky – fyziky atomové, ale i inspirací obecněji koncipovaných teoretických úvah o vlastnostech mikroobjektů (de Broglie, Schrödinger, Heisenberg a další), na jejichž základě byla vybudována současná teorie mikrosvěta – kvantová fyzika. Srovnatelný vědecký zájem ovšem vzbudilo hned po svém objevu také samo atomové jádro. Jako zdroj sil držících celý atom pohromadě totiž především určuje svým nábojem počet obalových elektronů v atomu a tak fakticky do značné míry determinuje i jeho celkové vlastnosti, včetně chemické identity. A přestože se ukázalo, že pro většinu problémů atomové fyziky lze jádro považovat za nehybný bodový náboj, bylo od samého počátku nanejvýš žádoucí podrobněji prozkoumat jeho další vlastnosti a případnou vnitřní strukturu. Systematickou činností v této oblasti – ve své první etapě převážně experimentální – pak vznikla druhá víceméně samostatná fyzikální disciplína – jaderná fyzika.

<sup>15</sup>Působivé – a jistě i motivující – autorské připomenutí logické linie směřující k formulaci jaderného modelu atomu skrývá bohatý fyzikální obsah, který může být (v přiměřené míře podrobnosti a úplnosti) prezentován na všech úrovních fyzikálního vzdělávání. Naneštěstí však bývá toto nanejvýš závažné, poučné a přitom i učitelsky vděčné téma na nižších stupních škol zpravidla degradováno na pouhé informace, na vyšších pak dokonce jen na odkaz na tyto informace. Nástin jeho podrobnějšího výkladu, včetně komentáře jeho pedagogických aspektů, lze najít např. v [25, 27].



Ernest Rutherford stál už samotným objevem atomového jádra zcela přirozeně na počátku obou těchto cest. Problému (ne)stability svého modelu atomu si byl plně vědom a někteří jeho životopisci z jistých indicií usuzují, že se jím pravděpodobně i dosti dlouho – bez úspěchu – zabýval [36].<sup>16</sup> A přestože nebylo v jeho stylu ponechávat ve svých publikacích otevřené otázky, protentokrát – zřejmě s ohledem na závažnost hlavního výsledku – učinil výjimku, když konstatoval: „*Otázku stability předpokládaného atomu nemá v tomto stádiu smysl rozebírat.* [34]“ S velkým zaujetím pak sledoval a podporoval úsilí svého stážisty Nielse Bohra (1885 – 1962), pracujícího v Manchesteru nejprve několik měsíců během roku 1912 a pak téměř dva roky 1914



Niels Bohr

– 1916, při řešení tohoto problému (1912 – 1913), byl prvním čtenářem i kritikem jeho průkopnických prací a posléze je také doporučil k uveřejnění [35].<sup>17</sup> Za přirozené pokračování – a snad i určitý doplněk Bohrovy pionýrské trilogie [38] – lze považovat práci [39], kterou vykonal pod Rutherfordovým dohledem téhož roku další z jeho četných žáků Henry Moseley (1887 – 1915). Ten na základě vlastních měření vlnové délky určité čáry – později označené



Henry Moseley

jako  $K_{\alpha}$  – v rentgenovém spektru mnoha prvků našel souvislost mezi naměřenými hodnotami a pořadím prvků v Mendělejevově tabulce (Moseleyův zákon), která byla do té doby uspořádávána podle (v některých případech nepřilíš jisté) rostoucí atomové váhy. Následným rozбором tohoto vztahu pak dospěl k interpretaci pořadového čísla prvku v periodické tabulce jako počtu elementárních kladných nábojů v jádru jeho atomu. Všechny tyto výsledky manchesterské laboratoře tak přivedly k jednoznačnému závěru, že původ radioaktivity spočívá v atomovém jádru, zatímco běžné chemické a fyzikální vlastnosti prvků jsou určeny uspořádáním elektronů v jeho obalu.

Hlavním předmětem Rutherfordova odborného zájmu však už zůstalo až do jeho smrti atomové jádro. Již v práci [34], v níž jaderný model publikoval, s odkazem na existenci  $\alpha$ -radioaktivity spekuluje, že by se jádro mohlo skládat z „*atomů helia*“<sup>18</sup>. Na základě pečlivého chemického rozboru řady různých radioaktivních rozpadů (1911 – 1913) pak Frederick Soddy (1877 – 1966) a Kazimierz Fajans (1887 – 1975) tuto domněnku zpřesnili zjištěním, že emise

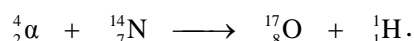
<sup>16</sup> Zdá se to být pravděpodobné i podle pozdějšího svědectví jednoho z jeho nejbližších spolupracovníků (a posléze i přátel) P. L. Kapicy: „*Rutherford publikoval a předkládal svým kolegům jenom práce s kladnými výsledky a ty tvořily sotva víc než několik procent celé té kolosální práce, kterou vykonal. Ostatní, nejen že nebylo publikováno, ale zůstávalo neznámé i jeho žákům. Jenom když se někdy při rozhovoru prořekl, pochopili jsme, že něco bez úspěchu zkušel. Nerad mluvil o plánech, raději o hotové práci a získaných výsledcích.*[11]”

<sup>17</sup> Svoje uznání Bohrovým idejím Rutherford vyjádřil, když – přes všechny experimentální argumenty, které pro svoji představu o atomu měl – po té, co se s nimi seznámil, lapidárně prohlásil: „*Ted' teprve úplně věřím ve svůj jaderný model*“[37].

<sup>18</sup> Poznamenejme, že terminologie tehdejších textů není z dnešního hlediska zcela důsledná. Jejich autoři často užívali termínu „atom“ i k označení iontů či jader.



jedné  $\alpha$ -částice způsobí přeměnu atomu mateřského prvku v atom prvku, který jej předchází o dvě místa v Mendělejevově tabulce, zatímco v důsledku  $\beta$ -rozpadu dochází k transmutaci výchozího prvku v prvek, který za ním v periodické soustavě bezprostředně následuje. Z toho Soddy vyvozuje závěr, že „centrální náboj v Rutherfordově atomu nemůže být čistě kladný [40]“. Toto konstatování je vlastně implicitní formulací nové ideje „vnitrojaderných elektronů“, kterou Soddy následně konkretizuje tvrzením, že „jádro se skládá z  $\alpha$ -částic (možná i atomů vodíku) a elektronů.“<sup>18</sup> Tahle poněkud vágní představa se udržela až do roku 1919, kdy Rutherford publikoval výsledky svých experimentů s rozptylem  $\alpha$ -částic různými látkami, v nichž – v redukované míře – pokračoval i za válečných let 1914 – 1918.<sup>19</sup> Během nich m. j. v roce 1917 pozoroval při bombardování dusíku svazkem  $\alpha$ -částic emisi rychlých vodíkových iontů  $H^+$  [42]. Poté, co následující analýza odhalila v ozařovaném vzorku přítomnost kyslíku, byl tento proces popsán jadernou rovnicí



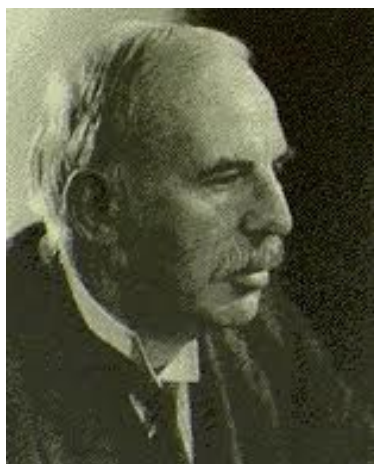
Následné analogické experimenty provedené s bórem, fluórem, neonem, draslíkem a dalšími prvky daly podobné výsledky: v důsledku nárazu  $\alpha$ -částice se zasažené jádro ostřelovaného atomu přeměnilo v jádro jeho pravostranného souseda v periodické tabulce za současné emise vodíkového iontu  $H^+$  (vodíkového jádra  ${}^1_1H$ ). Rutherfordovi se tak nejen podařilo uskutečnit odvěký sen alchymistů – (umělou) přeměnu jednoho prvku v druhý, ale také – což bylo ještě důležitější – získat velmi podstatnou informaci o složení jádra. Interpretují-li se totiž tato zjištění jako důsledek vyražení původně vnitrojaderných částic  $H^+ \equiv {}^1_1H$  střelami  ${}^4_2\alpha$ , které po svém nárazu do terčového jádra v něm uvíznou, jde o přímé experimentální potvrzení dřívějšího tušení přítomnosti vodíkových iontů v atomových jádrech. Ke zdůraznění fundamentální důležitosti těchto částic – jsou univerzální součástí všech atomových jader – pro ně Rutherford navrhl speciální název protony (z řeckého protos = první), který byl vzápětí všeobecně přijat.<sup>20</sup> V té době však již v Manchesteru nepracoval.

<sup>19</sup> Světová válka se Rutherfordovy laboratoře dotkla velmi citelně: Téměř všichni „jeho chlapci“, jak tituloval svoje oblíbené asistenty a studenty, museli narukovat (a někdy se ocitli i na opačných stranách fronty); Henry Moseley, kterého Rutherford považoval za jednoho ze svých nejnadanějších žáků, padl roku 1915 na tureckém válečném poli. Sám Rutherford na čas radikálně změnil svoje pracovní zaměření, když pracoval na akustických metodách detekce ponorek pro *British Admiralty's Board of Invention and Research*. A v neposlední řadě došlo i na radium užívané jako zdroj  $\alpha$ -záření. 250 mg této drahocenné látky zapůjčené kdysi Rutherfordovi vídeňským Ústavem pro výzkum radia se nyní stalo „nepřátelským majetkem“ podléhajícímu konfiskaci. Je příznačné, že Rutherford – známý svou zásadovostí a neústupností – jeho zabavení nikdy neuznal a kategoricky trval na tom, že radium, které mu rakouští vědci laskavě půjčili, jim buď vrátí nebo si je od nich bude moci řádně koupit. A svůj postoj nakonec i prosadil [41].

<sup>20</sup> Za tyto práce – a také s přihlédnutím k jeho dosud přiměřeně oficiálně neocenenému objevu atomového jádra – byl Rutherford v roce 1919 znovu navržen na Nobelovu cenu (tentokrát za fyziku). Přinejmenším z lidského hlediska je jistě zajímavé, že tuto kandidaturu odmítl s tím, že jednu takovou cenu už má (i když za chemii) a další že si již brzy nepochybně zaslouží některý z „jeho chlapců“. Jeho předpověď se bohatě naplnila, když Nobelovu cenu postupně získali Niels Bohr (1922 – za zásluhy ve výzkumu struktury atomů a jimi emitovaného záření), James Chadwick (1935 – za objev neutronu), Otto Hahn (1944 /za chemii/ – za objev jaderného štěpení), Edward Victor Appleton (1947 – za výzkum horních vrstev atmosféry, zejména za objev tzv. Appletonovy vrstvy), Patrick Manyard Blackett (1948 – za zdokonalení Wilsonovy mlžné komory a za objevy s ní uskutečněné v oblasti jaderné fyziky), Cecil Frank Powell (1950 – za rozvinuté fotografických metod detekce mikročástic a za objevy mezonů uskutečněné pomocí těchto metod), John Douglas Cockroft a Ernest T. S. Walton (1951 – za průkopnické práce v oblasti transmutací atomových jader pomocí urychlených částic), Pjotr Kapica (1978 – za nové teoretické přístupy a objevy v oblasti fyziky nízkých teplot). A pokud bychom vyčet rozšířili i o Rutherfordovy spolupracovníky – často o dost mladší – byl by tento seznam ještě delší. Takovou úrodou laureátů Nobelovy ceny se nemůže – s výjimkou Nielse Bohra – pochlubit žádný jiný učitel.

Za dvanáct let svého působení na Viktoriině univerzitě naplnil Ernest Rutherford někdejší přání svého předchůdce na místě profesora a ředitele její fyzikální laboratoře, Arthura Schustera, měrou vrchovatou. Pod jeho vedením se toto pracoviště stalo uznávaným a vyhledávaným centrem rychle se rozvíjející atomové a jaderné fyziky. Stáž na něm byla – zejména pro mladé vědce – nejen neocenitelnou školou, ale také nejlepším doporučením pro další práci v kterékoli instituci zabývající se fyzikálním výzkumem. Sám Rutherford byl stále častěji zván na prestižní konference (např. Radiologický kongres v Bruselu /1910/, Solvayovy konference /1911, 1913; tamtéž/<sup>21</sup>, konference Britské asociace pro rozvoj vědy /1909 Winnipeg, 1914 Sydney), přednášky či přednášková turné (např. 1914 USA, Austrálie, Nový Zéland), zhusta navštěvoval i zasedání *Royal Society* v Londýně, do jejíž rady byl zvolen roku 1910. A v roce 1914 se mu dostalo i první oficiální státní pocty, když byl pasován na rytíře (*knighted*).

## 5. Anglie (Cambridge) – ředitelem Cavendishovy laboratoře



Ernest Rutherford

V roce 1918 byl J. J. Thomson zvolen do čela *Trinity College* cambridgeské univerzity (*Master of Trinity*). A když se v souvislosti s tím následujícího roku vzdal svého profesorského místa, byla uprázdněná profesura experimentální fyziky spojená s vedením Cavendishovy laboratoře nabídnuta Ernestu Rutherfordovi. Ten z obav, že Thomson bude mít tendenci zasahovat i nadále do jejího chodu, zprvu se svým souhlasem váhal, nicméně po Thomsonově ujištění, že bude mít „*zcela volné ruce pro jakýkoli záměr, který bude považovat za dobrý* [43]“, v den vypršení termínu tuto nabídku přijal. Do Cambridge společně s ním přešel z Manchesteru i jeho někdejší žák, nyní nejbližší spolupracovník – a posléze i jeho

zástupce James Chadwick (1891 – 1974), jenž mu zejména ulehčoval čím dál těžší břemeno administrativních záležitostí a ekonomických starostí spojených s provozem laboratoře.

V návaznosti na svoje dřívější zjištění, že jádra obsahují protony – a s přihlédnutím k Soddyho ideji vnitrojaderných elektronů – vyslovil Rutherford v roce 1920 (ve své druhé bakeriánské přednášce<sup>10</sup>) domněnku, že by dvojice proton–elektron měly v jádru vytvářet silně vázané neutrální objekty, které by mohly nějakým způsobem kompenzovat elektrické odpuzování mezi nadbytečnými protony a zajišťovat tak soudržnost jádra, čímž formuloval – zatím v embryonální podobě – pozdější koncepci proton–neutronové struktury atomového jádra.<sup>22</sup> Šlo jistě o velmi rozumnou myšlenku: zdálo se být nanejvýš pravděpodobné, že dvě elektricky nabitě částice ( ${}^1_1\text{p}$ ,  ${}^0_{-1}\text{e}$ ) se stejně velkými náboji opačných znamének



James Chadwick

<sup>21</sup> Dodnes trvající tradice Solvayových konferencí (*Solvay Conference*) byla založena v roce 1911 belgickým chemikem, průmyslníkem a filantropem Ernestem Solvayem. Jejich náplní jsou podle jeho odkazu „*hlavní dosud nevyřešené problémy fyziky a chemie*“. V Rutherfordových dobách měla tato setkání, na nichž se scházal skutečný výkvět světové vědy, obrovský význam.

<sup>22</sup> Název neutron (z latinského *neuter* = žádný z obou) zavedl až o dvanáct let později James Chadwick.

nacházející se v těsné blízkosti (uvnitř jádra) vytvoří silně vázaný pár n, jehož celkový náboj bude nulový a hmotnost nepříliš odlišná od hmotnosti protonu –  ${}^1_0\text{n}$ . A všechny do té doby získané empirické poznatky o jádru tuto představu také připouštěly, na druhé straně ji však žádný z nich přímo nepotvrzoval. Rutherford v té době již sám aktivně neexperimentoval, o prokázání existence zatím jen hypotetického neutronu se však v průběhu dvacátých let ve spolupráci s ním opakovaně snažil Chadwick. Jeho úsilí bylo korunováno úspěchem až v roce 1932, kdy identifikoval jako proud neutronů velmi pronikavé záření, které pozorovali v předchozích dvou letech ve svých experimentech Bothe, Becker a manželé Joliot-Curieovi, ale interpretovali je mylně jako záření  $\gamma$ .<sup>23</sup>



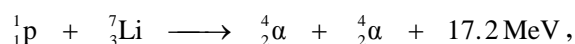
Ernest T. S. Walton



John D. Cockroft

Užívaná experimentální technika studia atomových jader, spočívající v jejich bombardování svazky  $\alpha$ -částic emitovaných z přirozeně radioaktivních zdrojů, dosáhla již na počátku dvacátých let hranic svých možností. Náboje terčových jader totiž odpuzovaly tyto relativně nízkoenergetické  $\alpha$ -částice natolik silně, že – s výjimkou ostřelování nejlehčích prvků – docházelo vždy jen k jejich rozptylu. Prozkoumání možnosti zachycení  $\alpha$ -částice zasaženým jádrem a jeho případné následné dezintegrace tak vyžadovalo

použití pronikavějších střel. V té době se početný tým Cavendishovy laboratoře rozrostl i o techničtěji zaměřené výzkumníky: Rutherfordovi doktorandi John Douglas Cockroft (1897 – 1967) a Ernest Thomas Sinton Walton (1903 – 1995) zkonstruovali výkonný lineární urychlovač. Protony o energii několika stovek kiloelektronvoltů, které pomocí něj získali, se jim pak podařilo (1932) přeměnit jádro lithia na dvě  $\alpha$ -částice



čímž nejen uskutečnili první jadernou přeměnu realizovanou výhradně umělými prostředky, ale zároveň i experimentálně potvrdili slavný Einsteinův vztah  $E = mc^2$ . A o dva roky později dosáhla jiná dvojice mladých Rutherfordových spolupracovníků – Mark Oliphant (1901 – 2000) a Paul Harteck (1902 – 1985) dalšího prvenství, když se jim povedlo ostřelováním deuteria deuterony



Mark Oliphant



Paul Harteck

vytvořit – a tím i objevit – tritium  ${}^3_1\text{H}$  a lehký izotop helia  ${}^3_2\text{He}$  a současně tak provést první umělou fúzní jadernou reakci.

<sup>23</sup> Podrobněji – i s ohledem na pedagogické aspekty – je tento příběh popsán v [44].

Cavendishova laboratoř byla již v roce 1919 všeobecně považována za hlavní centrum anglického fyzikálního výzkumu. Rutherfordovo vedení jí však – podobně jako dříve Macdonaldově či manchesterské laboratoři – přineslo další rozkvět. Početná skupina převážně mladých vědců – brilantních experimentátorů, která se zde kolem něj soustředila, svými pracemi otevřela novou éru jaderné fyziky charakterizovanou potřebou výkonných urychlovačů částic. Na rozdíl od dosud užívaných – většinou velmi důvtipných, avšak v podstatě jednoduchých a tudíž i finančně relativně nepřilíš náročných – přístrojů byla tato zařízení značně rozměrná, složitá a velice nákladná. Před Rutherfordem, který vždy zastával názor, že dobré experimenty lze – při dostatečné invenci – dělat „jen za pomoci provázku a pečeti vosku“ a sám o sobě prohlásil, že „by mohl experimentovat i na severním pólu“ [10]<sup>24</sup>, stavěla tato situace úkoly stejně obtížné, jako nemilé: získávat finanční prostředky nejen na nové experimentální zařízení, ale také na podstatné rozšíření starých a nyní už i příliš těsných prostor pracoviště. Administrativní práce a neustálé žádosti o peníze, které považoval za nedůstojné, jej – mírně řečeno – netěšily. Věnoval se jim však obětavě, i když s jistým sebezapřením.<sup>25</sup> Čím dál větším problémem se stávalo rovněž zajištění běžného provozu laboratoře, neboť množství jejích studentů postupně přesáhlo dvojnásobek počtu, na nějž byla původně dimenzována. Za tohoto stavu se začalo dosud nečleněné pracoviště štěpit na výzkumné skupiny a někteří pracovníci dokonce dali přednost lepším pracovním podmínkám jinde. Přes všechny tyto potíže však byla Cambridge za Rutherfordova působení vedoucím světovým pracovištěm experimentální jaderné fyziky. V počínajících teoretických přístupech pak měly převahu kontinentální Evropa a Amerika.

O vědecké i organizační činnosti Ernesta Rutherforda bylo napsáno velmi mnoho a obsáhlý soupis literatury doprovázející tento text uvádí jen malý zlomek těchto pramenů (značně různorodých a někdy se – v detailech – i rozcházejících). Drtivá většina jejich autorů se však vcelku shoduje ve zdůrazňování Rutherfordovy experimentální excelence; často jej při tom srovnávají s Faradayem či jej označují za Einsteina experimentální fyziky (např. [10]). Jde bezpochyby o správné zařazení; těžiště Rutherfordovy výzkumné aktivity totiž skutečně spočívá v experimentu. Pro úplnost je však namísto připomenout, že z jeho tří nejvýznamnějších příspěvků k poznání mikrosvěta lze za čistě experimentální objev označit snad jen umělou přeměnu jader (1919), zatímco interpretace radioaktivity jako přirozené přeměny atomů (1902 – 1903) a jaderný model atomu (1911) jsou – přes podstatný experimentální základ – závěry teoretickými. Jeho často zmiňované kritické narážky na teoretiky pak měly vždy charakter přátelského dobírání, třebaže – jak už odpovídalo jeho nátuře – někdy poněkud hrubozrného. Ve skutečnosti si jejich práce vysoce cenil a velmi stál o jejich působení ve svých laboratořích. (Za nejvýraznější příklady takové spolupráce mohou sloužit angažmá Nielse Bohra v Manchesteru či Alpha Fowlera /Rutherfordův zeť/, Rudolpha Peierlse, Nevilla Motta a Maurice Goldhabera v Cambridgi.)<sup>26</sup>

<sup>24</sup> Oba tyto výroky jsou samozřejmě nadnesené, což přiznával i sám jejich autor. Již jeho současníci pak konstatovali, že „to, co bylo možno v této oblasti vykonat jen za pomoci provázku a pečeti vosku, už udělal sám Rutherford“ [33].

<sup>25</sup> Rutherford se nerad ucházel o granty (a dokázal tyto možnosti i úplně ignorovat), poněvadž nebyl ochoten přistoupit na povinnost každoročně podrobně zdůvodňovat každý svůj výdaj. Podobně odmítl usilovat o zahraniční financování cambridgeského výzkumu s tím, že „pokud Britové chtějí výzkum, musí si jej také zaplatit“ [43]. Někteří (přízpusobivější?) Rutherfordovi spolupracovníci – a zejména následovníci – se ovšem stavěli k takovému postoji kriticky (např. [45]).

<sup>26</sup> Rutherfordův – některými jeho životopisci snad zbytečně zdůrazňovaný, jím samým však přitom nepřilíš vážně míněný – despekt k teoretickým přístupům lze ovšem chápat i jako důsledek skutečnosti, že v době jeho nejdůležitějších objevů toho bylo o jádru známo tak málo, že vlastně nebylo nad čím teoretizovat. A úvodní teoretické úvahy, opírající se o výsledky jeho vlastních experimentů, byl Rutherford schopen provést sám. Velmi výmluvný je v této věci přípitek, který Rutherford vyslovil v roce 1932 v *Royal Academy of Arts*: „Myslím, že lze se vši rozhodností prohlásit, že proces vědeckého bádání je jistým druhem umění. Nejlépe je

Během své pracovní kariéry Rutherford publikoval na sto osmdesát vědeckých prací a napsal pět – opakovaně vydávaných a překládaných – knih, které ovšem pro další vydání přepracovával, tak aby jejich obsah odpovídal aktuálnímu stavu poznání.<sup>27</sup> Bylo mu uděleno více než dvacet čestných doktorátů nejvýznamnějších světových univerzit a stal se členem mnoha národních vědeckých akademií. Kromě uznání uvedených již dříve v tomto textu se mu dostalo řady dalších poct, mezi nejvýznamnější z nichž patří např. Copleyova medaile<sup>28</sup> (1922), Záslužný řád (*Order of Merit*, 1923), povýšení do šlechtického stavu (*elevation to the peerage*) s titulem *Baron Rutherford of Nelson* (1931), volba prezidentem *British Association for the Advancement of Science* (1923), volba prezidentem *Royal Society* (na období 1926 – 1930), volba prezidentem *Institute of Physics* (na léta 1931 – 1933), ...<sup>29</sup> Rutherfordova autorita a organizační schopnosti se uplatnily i v dalších, snad méně prestižních, avšak pracovně náročnějších veřejně prospěšných aktivitách: např. po více než sedm let předsedal poradnímu orgánu vládního *Department of Scientific and Industrial Research* nebo – od roku 1933 až do smrti – stál v čele *Academic Assistance Council* (a její nástupnické organizace *Society for the Protection of Science and Learning*), jejímž posláním byla pomoc akademikům, kteří prchali z nacistického Německa. Rutherford byl liberál, politicky se ovšem nijak neangažoval. V parlamentní Sněmovně lordů vystoupil všehovšudy dvakrát (v obou případech s tematikou týkající se vztahu vědy a průmyslu). Ke společenským záležitostem však nebyl indiferentní: např. na cambridgeské univerzitě se aktivně zasazoval o to, aby zde ženy získaly stejná práva jako muži, jako člen týmu poradců BBC usiloval o zrušení vládní cenzury jejího vysílání, v radě nadace *1851 Exhibition Science Scholarship* hájil stipendia pro uchazeče ze zámožných univerzit a trvale se snažil napomáhat – jak svým vlivem a radami, tak konkrétní pomocí – vědeckému i hospodářskému rozvoji své původní vlasti.

Rutherfordovým hlavním odkazem dnešku je, samozřejmě, jeho vědecké dílo, s nímž – jak co do rozsahu, tak co do kvality – snese srovnání tvůrčí přínos jen málokterého jiného jednotlivce. Velmi výstižně a stručně to vyjadřuje Stephen Weinberg slovy: „*Kdyby byla práce, kterou Rutherford vykonal v Montrealu, Manchesteru a Cambridgi rozdělena mezi tři různé lidi, o každém z nich by se dalo říci, že byl mimořádně plodným vědcem*“[33]. V mnohem menším povědomí jsou pochopitelně Rutherfordovy osobní vlastnosti. Tento text se je snažil alespoň občasnými poznámkami čerpajícími ze vzpomínek jeho četných žáků a spolupracovníků průběžně připomínat. Rutherford byl totiž i po této stránce vzácným člověkem. Pro současné akademiky může být zajímavý jeho – již zmiňovaný – postoj ke grantovému financování univerzitního výzkumu. A jako z jiného světa dnes působí jeho „manažerský styl“, kdy například v Manchesteru nepřidal své jméno na třetinu článků týkajících se radioaktivity, třebaže je všechny inicioval. Podobně se zachoval v případě Geigerových a Marsdenových článků referujících o velkouhlovém rozptylu  $\alpha$ -částic či později v Cambridgi u Chadwickova sdělení oznamujícího existenci neutronu nebo Cockroftovy a Waltonovy práce ohlašující rozštěpení atomového jádra pomocí urychlovače částic. Nežřídka také sám prováděl velký objem předběžných prací ověřujících schůdnost uvažované cesty, aby pak slibné téma předal některému ze svých studentů nebo kolegů, k nimž se vždy choval jako k sobě rovným. A jeho příslovečnou neokázalost a skromnost – stejně jako pocit vděku svým učitelům i rodičům, které trvale podporoval – nijak neovlivnily ani úspěchy a postavení,

---

*to vidět na teoretických aspektech fyzikální vědy. Matematický teoretik vytváří na základě určitých předpokladů a podle dobře pochopených logických pravidel krok za krokem imponantní konstrukci, při čemž svou imaginaci odhaluje skryté vztahy mezi jejími částmi. Dobře zbudovaná teorie je v jistém smyslu nepochybně uměleckým dílem. ...[46]“*

<sup>27</sup> Úplný seznam Rutherfordových publikací uvádí např. [2, 22].

<sup>28</sup> Copleyova medaile je nejstarším a nejvyšším oceněním *Royal Society* udělovaným od roku 1731 každoročně „za vynikající výsledky ve fyzikálních (sudé roky) nebo biologických (liché roky) vědách.“

<sup>29</sup> Výčet Rutherfordových základních profesních dat, včetně všech poct, lze najít např. v [47].



jichž dosáhl, či udělené pocty. (Povýšení do šlechtického stavu například oznámil své tehdy už devětaosmdesátileté matce na Nový Zéland telegramem: „*Tak jsem Lord Rutherford. Je to víc Tvoje zásluha než moje.*“ [10])

Intenzivní vědecká práce, obětavé vedení studentů i řízení průběžně rekonstruované a rozšiřované laboratoře Rutherforda značně vyčerpávaly. Ještě 9. října 1937 sice píše Pjotru Kapicovi do Moskvy: „... *jsem rád, že mohu napsat, že fyzicky se cítím dobře, ale přál bych si, aby semestry nebyly tak únavné* ...[11]“, deset dní na to však v Cambridgi umírá po opožděné operaci zanedbané kýly. Jeho popel je uložen ve Westmisterském opatství v blízkosti hrobky Isaaca Newtona, vedle pozůstatků lordů Kelvina a Thomsona. Lady Rutherfordová se po smrti Ernesta Rutherforda vrátila na Nový Zéland, kde zemřela roku 1954.



Dlaždice, pod níž spočívá popel Ernesta Rutherforda

#### Literatura:

- [1] Brown M. L., Pais A., Pippard B.: *Twentieth Century Physics*. IOPP, Bristol and AIPP, New York 1995.
- [2] Chadwick J. (Ed.): *The Collected Papers of Lord Rutherford of Nelson, 1 – 3*. George Allen and Unwin, London 1962-1965.  
Flerov G. N. (Red.): *Ernest Rezerford: Izbrannyje naučnyje trudy, 1 – 2*. Nauka, Moskva 1971, 1972.
- [3] Rutherford E.: *Radio-activity*. Cambridge University Press, Cambridge 1904.
- [4] Rutherford E.: *Radioactive Substance and New Radiations*. Cambridge University Press, Cambridge 1913.
- [5] Rutherford E.: *The artificial transmutation of elements*. Oxford University Press, Oxford 1933.
- [6] Rutherford E.: *The Newer Alchemy*. Cambridge University Press, Cambridge 1937. (Český překlad: *Novodobá alchymie*. Elektrotechnický svaz československý, Praha 1938.)
- [7] Eve A. S.: *Rutherford, Being the Life and Letters of the Rt. Hon. Lord Rutherford, O.M.* Cambridge University Press, Cambridge 1939.
- [8] Robinson H. R., Cockroft J. D., Oliphant M. L., Marsden E., Russel A. S.: *Rutherford by those who knew him*. The Physical Society, London 1954.
- [9] Andrade da Costa E. N.: *Rutherford and the Nature of the Atom*. Doubleday, New York 1964.
- [10] Danin D. S.: *Rezerford*. Molodaja gvardija, Moskva 1966.
- [11] Kapica P. L.: *Eksperiment, teorija, praktika*. Nauka, Moskva 1977. (Český překlad: *Experiment, teorie, praxe*. Mladá fronta, Praha 1982.)
- [12] David W.: *Rutherford, simple genius*. MIT Press, Cambridge (Mass.) 1983.
- [13] Sitěnko A. S., Chramov J. A.: *E. Rezerford, atomnoje jadro, struktura nuklona*. Ukrajinskij, fizičeskij žurnal **32**, 10 (1987) 1582.
- [14] Birks J. B. (Ed.): *Rutherford at Manchester*. Heywood, London 1962.

- [15] Oliphant M. L.: *Rutherford: Recollections of the Cambridge Days*. Heywood, London 1962.
- [16] Larsen E.: *The Cavendish Laboratory: Nursery of Genius*. Ward, London 1962.
- [17] Bührke T.: *Newtons Apfel, Sternstunden der Physik*. C. H. Beck'sche Verlagbuchhandlung, München 1997. (Český překlad: *Převratné objevy fyziky*. Academia, Praha 1999.)
- [18] Campbell J.: *Rutherford Scientist Supreme*. AAS Publications, Christchurch 1999.
- [19] Bickerton Alexander William. In: McLintock (Ed.): *Te Ara - The Encyclopedia of New Zealand*. <http://www.TeAra.govt.nz/en/1966/bickerton-alexander-William/1>
- [20] Gardner W. J.: *Cook, Charles Henry Herbert – Biography*. In: *The Dictionary of New Zealand Biography*. Te Ara – the Encyclopedia of New Zealand. <http://www.TeAra.govt.nz/en/biographies/2c30/1>
- [21] Davis B. R.: *Maclaurin, James Scott – Biography*. In: *The Dictionary of New Zealand Biography*. Te Ara – the Encyclopedia of New Zealand. <http://www.TeAra.govt.nz/en/biographies/3m23/1>
- [22] <http://www.canterbury.ac.nz/rutherford/archive.shtml>
- [23] Daintith J. et al: *Biographical Encyclopedia of Scientists*. IOPP, Bristol and Philadelphia 1994.
- [24] Zajac R., Pišút J., Šebesta J.: *Historické pramene súčasnej fyziky 2*. Univerzita Komenského, Bratislava 1997.
- [25] Lacina A.: *Deset kroků do mikrosvěta*. Československý časopis pro fyziku **57**, č. 4 (2007) 243. <http://www.physics.muni.cz/kof/clanky/desetkroku.pdf>
- [26] Rutherford E., Royds T.: *The Nature of the  $\alpha$ -Particle from Radioactive Substances*. *Philosophical Magazine* **17**, 6 (1909) 281.
- [27] Arons A. B.: *Teaching Introductory Physics*. John Wiley & Sons, New York 1997.
- [28] Rutherford E.: *Forty Years of Physics*. In: Needham J., Pagel W. (Eds): *Background to Modern Science*. The Macmillan Company and Cambridge University Press, New York and Cambridge 1940.
- [29] Rutherford E., Soddy F.: *Cause and Nature of Radioactivity I*. *Philosophical Magazine* **4**, 6 (1902) 370.  
Rutherford E., Soddy F.: *Cause and Nature of Radioactivity II*. *Philosophical Magazine* **4**, 6 (1902) 569.
- [30] Boorse H. A., Motz L.: *The World of the Atom*. Basic Books, New York 1966.
- [31] Kudrjavcev P. S.: *Kurs istorii fiziki*. Moskva, Prosveščeniye 1974.
- [32] Badash L.: *Rutherford Ernest, Baron Rutherford of Nelson*. In: *Oxford Dictionary of National Biography*, Oxford University Press 2004. <http://www.oxforddnb.com/view/article/35891>
- [33] Weinberg S.: *The Discovery of Subatomic Particles*. Cambridge University Press, Cambridge 2003.
- [34] Rutherford E.: *The Scattering of  $\alpha$  and  $\beta$  Particles by Matter and the Structure of the Atom*. *Philosophical Magazine* **21** (1911) 669.
- [35] Lacina A.: *Bohrův model atomu*. *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie* **53**, č. 2 (2008) 467. <http://www.physics.muni.cz/kof/clanky/bohruvmodel.pdf>
- [36] Danin D.: *Je to složitější, než se zdá ...*. Československý časopis pro fyziku **A23** (1973) 634.
- [37] Boderson B. (Ed.): *More Things in Heavens and Earth*. Springer, 1999.
- [38] Bohr N.: *On the Constitution of Atoms and Molecules I – III*. *Philosophical Magazine* **26** (1913) 1, 476, 857.
- [39] Moseley H.: *The High-Frequency Spectra of the Elements*. *Philosophical Magazine* **26** (1913) 1024; **27** (1914) 703.

- [40] Soddy F.: *Intra-Atomic Charge*. Nature **92** (1913) 399.
- [41] Jungk R.: *Heller als tausend Sonnen*. Alfred Scherz Verlag, Bern und Stuttgart 1956. (Český překlad: *Jasnější než tisíc Sluncí*. Mladá fronta, Praha 1965.)
- [42] Rutherford E.: *Collision of  $\alpha$  Particles with Light Atoms IV. An Anomalous Effect in Nitrogen*. Philosophical Magazine **37** (1919) 578.
- [43] [http://www-outreach.phy.cam.ac.uk/camphy/laboratory/laboratory\\_index.htm](http://www-outreach.phy.cam.ac.uk/camphy/laboratory/laboratory_index.htm)
- [44] Lacina A.: *Od objevu atomového jádra k jeho proton-neutronové struktuře*. Matematika, fyzika, informatika **21**, č. 8 (2012) 467. <http://www.physics.muni.cz/kof/clanky/odobjevu.pdf>
- [45] Pippard A. B.: *The Cavendish Laboratory*. European Journal of Physics **8**, 4 (1987) 231.
- [46] Badash L.: *Ernest Rutherford and Theoretical Physics*. In: Kargon R., Achinstein P. (Eds.): *Kelvin's Baltimore Lectures and Modern Theoretical Physics: Historical and Philosophical Perspectives*. MIT Press, Cambridge (Mass.) 1987.
- [47] <http://thepeerage.com/p11785.htm#i117848>