

Historická, filosofická a fyzikální reflexe Bohrova převratného pojednání z roku 1913¹

FILIP GRYGAR

Motto:

O padesát let později se může mnoha lidem zdát, že koncept diskrétních kvantových stavů pro atomární elektronový systém byl zřejmý. Mohli bychom se totiž domnívat, že kdyby Bohr tuto představu nezavedl, přišel by s ní krátko poté někdo jiný. Tento názor je však absolutně chybný.

James Franck²

Historical, philosophical and physical reflection of Bohr's revolutionary step in 1913. The article summarizes from the historical, philosophical, and physical point of view the context and basis that led to Bohr's unorthodox way of thinking and his breakthrough approach to solving physical problems. His three core articles "On the constitution of atoms and molecules" from 1913 represented revolutionary work, unusual both for their style linking contradictory ideas and for their generality and interdisciplinary complexity.

Key words: Niels Bohr • Ernest Rutherford • Planck constant • quantum hypothesis • spectral lines • models of atom

1. Zasazení Bohrova modelu atomu do kontextu tradice vědy

S příchodem kvantové teorie došlo podle dánského vědce a filosofa Nielse Henrika Davida Bohra (1885–1962) k zásadní revizi novověkých předpokladů našeho myšlení a přírodovědy, „sahající až k nejzazší otázce po tom, co vůbec může být míněno fyzikálním vysvětlením“, což je stěžejní otázka, která „není zásadní

¹ Článek vznikl za podpory grantového projektu GA ČR P401/12/P280. Rád bych poděkoval recenzentům a kolegovi L. Kvaszovi, M. Srpovi a P. Čermákovi za podněty a věcné připomínky k naznačeným fyzikálním problémům.

² James FRANCK. A Personal Memoir. In Anthony P. FRENCH – Peter J. KENNEDY (eds.). *Niels Bohr – A Centenary Volume*. Cambridge Massachusetts – London, Harvard University Press, 1985, 404 s., zde s. 16.

pouze pro objasnění situace v atomové teorii /.../, “³ nýbrž platí pro jakoukoliv oblast bádání. Bohr často hovořil také o tom, že na přelomu 19. a 20. století bylo pro řešení problémů, paradoxů nebo limitů aplikovatelnosti předpokladů klasické fyziky a současně pro nové porozumění zkoumaným jevům nutné se obrátit i k jiným disciplínám či k takovým epistemologickým otázkám, „s nimiž už byli konfrontováni myslitelé jako Buddha nebo Lao-c’“, když se pokoušeli harmonizovat naši pozici jako diváků a herců ve velkém dramatu existence.“⁴

Bohr si už v mládí uvědomoval, že s vyjasňováním toho, co je nárokem vysvětlení a porozumění vůbec, úzce souvisí následný reduktivní přístup každé disciplíny, který vymezuje oblast bádání, popis zkoumaných jevů a možnosti řešení problémů, volbu předpokladů, prostředků a vhodné terminologie. Navzdory této pochopitelné omezenosti každé disciplíny ve vztahu k celku poznání se Bohrovou celoživotní náplní stal ideál harmonie a jednoty, nikoli ve smyslu nějaké jednotně sladěné teorie, nýbrž interdisciplinární schopnosti uchopující i neslučitelné ideje ve vztahu k celku. Bohr v různých obměnách vzpomínal na bohaté přírodovědné, kulturní a filosofické zázemí, v němž vyrůstal, a zdůrazňoval podle svého životopisce, že šlo o „inspiraci k hlubokému porozumění jednoty, která je východiskem pro všechnu lidskou touhu po poznání, bez ohledu na to, zda je jeho hladina manifestována skrze tak široce odlišné lidské prostředky, jakými jsou biologie, fyzika, filologie a filosofie.“⁵ Není potom divu, že Gerald

³ Niels BOHR. Světlo a život. *Teorie vědy*, 34, č. 4, Praha 2012, s. 381–390, zde s. 385.

⁴ Niels BOHR. *Biology and Atomic Physics* (1937). In Finn AASERUD – David FAVRHOLDT (eds.). *Niels Bohr. Collected Works, Volume 10: Complementarity beyond Physics (1928–1962)*. Amsterdam – New York – Oxford – Tokyo, Elsevier, 1999, 614 s., s. 51–62, zde s. 60.

⁵ Niels BOHR in Niels BLAEDEL. *Harmony and Unity – the Life of Niels Bohr*. Berlin – Heidelberg – New York – London, Springer-Verlag, 1988, 324 s., zde s. 20. K Bohrovu vědeckému životu viz Abraham PAIS. *Niels Bohr’s Times, in Physics, Philosophy and Polity*. Oxford, Clarendon Press, 1993, 566 s. To, co působilo v mládí na Bohrovo myšlení, lze stručně shrnout následovně: „Zásadní intelektuální vliv měly na Bohra a Harald [bratr Harald byl vynikající matematik a Nielsův konzultant – pozn. autora] pravidelné filosoficko-přírodovědné diskuse, které u nich doma po večerech vedl jejich otec Christian, významný fyziolog a experimentátor, se svými přáteli, s filosofem Haraldem Høffdingem, filologem Vilhelmem Thomsenem a fyzikem Christianem Christiansenem. Jak Niels Bohr vzpomíná, otec vedl diskuse o problémech vitalistických a mechanicistických přístupů zejména s patologem Carlem Langem a anatomem Johanem Henrikem Chievitzem. /.../ Dále myšlení Nielse Bohra ovlivnily přednášky na Kodaňské univerzitě (1903–1909, doktorát 1909–1911). V rámci svého oboru – fyziky – chodil na přednášky rodinného přítele Christiana Christiansena, nebo absolvoval povinný kurz pro všechny studenty univerzity – dvousemestrální

Holton (*1922) při studiu Bohrovy slavné trilogie *O konstituci [Constitution] atomů a molekul* z roku 1913⁶ zdůraznil svěbytný styl a zásadní rys myšlení, „který potom prostupuje všemi jeho pozdějšími pracemi, především prací o komplementaritě.“⁷ Je to právě tato neobvyklá konstelace a způsob myšlení, který vedl Bohra už v jeho raném díle k revolučnímu kroku, jímž započala etapa systematického dobývání mikrověta s již novými vědeckými idejemi a prostředky, krok, za který obdržel v roce 1922 Nobelovu cenu.⁸

Albert Einstein (1879–1955) na sklonku života vzpomínal na to, že Bohruv neortodoxní vhlad do struktury atomu v roce 1913 byl naprosto přelomový, třebaže navázal na několik tehdy se rodících netradičních nesourodých představ a kalkulací, jeho počin se zcela vymykal předpokladům novověkého myšlení či klasické fyziky. Bohr se podle něj nebál jít mnohem dál než on, neboť si oproti Bohrovi nedokázal poradit s tím, co se mu po Maxovi Planckovi (1858–1947) podařilo na začátku 20. století převratného pro mikroskopické dění odhalit.

čtyřhodinovou filosofickou propedeutiku pro obecné uvedení do vědeckých studií (Filosofikum). Bohrovi zde přednášel další rodinný přítel, Harald Høffding. Každý student musel nastudovat tři Høffdingovy knihy, které pojednávaly o logice, dějinách moderní psychologie (obor psychologie v té době na univerzitě neexistoval) a dějinách filosofie, a celý kurz byl zakončen ústní zkouškou. Bohr se s bratrem v době studií také intenzivně účastnil studentského diskusního klubu Ekliptika, který založil kolem roku 1905 Edgar Rubin (studenti se scházeli po Høffdingových přednáškách). S tímto budoucím významným psychologem a filosofem se Bohr zapléтал i do debat o problémech vizuální percepce, které měly na jeho komplementární myšlení rovněž hluboký dopad.“ (Filip GRYGAR. Bohrovo pojetí biologie – K 50. výročí úmrtí Nielse Bohra. *Teorie vědy*, 34, 3, 2012, s. 355–379, §2.)

⁶ Bohrovo pojednání bylo vydáno ve třech částech. Viz Niels BOHR. On the Constitution of Atoms and Molecules, Part I. – Binding of Electrons by Positive Nuclei. *Philosophical Magazine*, XXVI, July 1913, s. 1–20; Part II. – Systems containing only a Single Nucleus. Tamtéž, September, s. 476–502 a Part III. – Systems containing several nuclei. Tamtéž, November, 857–875. Přetištěno in Léon ROSENFELD (general editor) – Ulrich HOYER (ed.). *Niels Bohr. Collected Works, Volume 2: Work on atomic Physics (1912–1917)*. Amsterdam – New York – Oxford, Elsevier, 1981, 648 s., zde s. 160–234. Dále jen CW 2. Bohr, jak se zdá, nedělá ve svých třech částech zásadní rozdíl mezi slovem konstituce (*Constitution*) a struktura (*Structure*).

⁷ Gerald HOLTON. *Věda a antivěda*. Praha, Academia, 1999, 215 s., zde s. 99. Dále viz Gerald HOLTON. *The Roots of Complementarity*. In Gerald HOLTON. *Thematic Origins of Scientific Thought – Kepler to Einstein*. Cambridge – Massachusetts – London, Harvard University Press, 1988, 499 s., I/4.

⁸ Více viz http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1922/bohr-bio.html (vyhledáno 18. 2. 2013).

V rozporu s některými zákonitostmi klasické fyziky se Einsteinovi povedlo v návaznosti na Planckovu kvantovou hypotézu vysvětlit tzv. fotoelektrický jev.⁹ Ve svých vzpomínkách to komentuje následovně: „Veškeré moje pokusy /.../ přizpůsobit základy teoretické fyziky na tento nový typ poznání naprosto selhaly.“¹⁰ Jako by prý člověku vyrvali pevnou zem pod nohama, na níž dlouhá léta pobýval, a neměl už v dosahu nic dalšího, čeho by se mohl chytit. Bylo tu něco nezačlenitelného, něco, co odporovalo myslí klasického fyzika – a v tu chvíli se objevil Bohr. Einstein byl ohromen tím, že „tento nezajištěný a protikladný základ byl dostačující k tomu, aby umožnil muži Bohrova jedinečného instinktu a jemného citu, aby objevil stěžejní zákony spektrálních čar a elektronových obalů atomů spolu s jejich významem pro chemii, to se mi jeví jako zázrak a jako zázrak se mi to jeví stejně tak i dnes. Toto je nejvyšší forma muzikality ve sféře myšlení.“¹¹

⁹ Vědcům se na přelomu 19. a 20. století nedařilo vysvětlit pomocí klasických předpokladů například zákonitosti pro uvolňování elektronů z povrchu nějakého kovu při dopadu elektromagnetického záření či světla (vnější fotoelektrický jev). Klasická představa říkala, že výměna energie mezi látkou a zářením by měla probíhat spojitě, tzn., že pohlcované záření o určité frekvenci by mohlo předat látce jakékoli množství energie. Prakticky by tedy mělo platit, že při dostatečné intenzitě dopadajícího záření o libovolné vlnové délce mělo dojít k uvolňování elektronů z látky. Pokusy však tuto představu nedokázaly prokázat. Einstein (nejen) tento konkrétní problém v roce 1905 řešil velmi chytře s využitím přelomové Planckovy kvantové hypotézy. Planck totiž v roce 1900 dokázal teoreticky vysvětlit problém, který se fyzikům odhaloval při experimentech se zahřátým tělesem (záření či vyzářování černého tělesa). Jeho předchůdci k vysvětlení výsledků experimentů přistupovali na základě předpokladu kontinuity, pomocí níž však nebylo možné jednotně vysvětlit známé spektrum elektromagnetického záření. Planck ukázal, že výměna energie neprobíhá spojitě, energie záření nenabývá libovolně velkých anebo libovolně malých hodnot, nýbrž je kouskována do miniaturních množství, tj. kvant či světelných částic (název foton pochází od Gilberta Lewise z roku 1926), jež nesou energii, která je, a to je důležité, určena součinem frekvence daného typu záření a Planckovy konstanty. Potom se intenzitou zdroje sice zvyšuje počet kvant a počet interakcí těchto kvant s látkou, ale pro spuštění fotoefektu to není rozhodující. Einsteinovi se pak podařilo stanovit závislosti mezi energií kvant určitého druhu záření, která musí být elektronům předána, aby vůbec mohlo dojít k jejich uvolnění (Nobelova cena v roce 1921). V letech 1905 až 1909 Einstein přichází už s představou duálního chování záření jako vlny a částice v prostoru i mimo kontakt s jakýmkoli tělesem. Bohr však tuto dualitu světla přijal na základě experimentální evidence až v polovině dvacátých let 20. století.

¹⁰ Albert EINSTEIN. Autobiographical Notes. In Paul A. SCHILPP (ed.). *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*. New York, MJF Books, 1970, 782 s., zde s. 46 a 47.

¹¹ Tamtéž.

V tomto smyslu a v kontextu celoživotní Bohrovy práce na něj nahlížela drtivá většina dalších vědeckých ikon, spjatých s kvantovou teorií, od Ernesta Rutherforda (1871–1937) přes Erwina Schrödingera (1887–1961), Wenera Heisenberga (1901–1976) po Maxe Delbrücka (1906–1981) nebo v mottu zmíněného Jamese Francka (1882–1964). V roce 1935 filosof Martin Heidegger (1889–1976), který se kriticky vymezoval vůči vědo-technice, do níž kvantová teorie také spadá, vyzdvihl u Bohra a Heisenberga filosofický přístup, díky němuž byli „s to položit problémy novým způsobem a především v problematičnosti vydržet.“¹² S Bohrovým modelem atomu, a později i s tzv. Kodaňskou interpretací (soubor několika teoretických pozic, formalismů a ideje komplementarity),¹³ již Bohr představil na konferenci v Como v roce 1927,¹⁴ to bylo podle Heisenberga jako s objevením nového světa Kryštofem Kolumbem. Zásadní bylo rozhodnutí, díky němuž došlo k proměně dosavadního způsobu myšlení a pohledu na skutečnost. Heisenberg to vystihuje takto: „Nejtěžší na této objevné cestě bylo jistě rozhodnutí opustit dosud známou zemi a plavit se tak daleko na západ, že se zásobami, které měli k dispozici, nebyl možný návrat.“¹⁵

¹² Martin HEIDEGGER. Novověká matematická přírodní věda. *Scientia & Philosophia*, Praha, listopad 1994, s. 76–112, zde s. 77. Bohrovou filosofií vědy se vážně a systematicky začali zabývat vědci a filosofové především až po jeho smrti.

¹³ Název *Kodaňská interpretace* pochází především z Heisenbergových textů z padesátých let 20. století (viz například Werner HEISENBERG. The Development of the Interpretation of the Quantum Theory. In Wolfgang PAULI, Léon ROSENFELD Victor F. WEISSKOPF /eds./, *Niels Bohr and the Development of Physics – Essays Dedicated to Niels Bohr on the Occasion of his Seventieth Birthday*. London, Pergamon Press Ltd., 1955, s. 12–30, zde s. 14). Pojem Kodaňské interpretace je však problematický: Heisenbergova představa Kodaňské interpretace, jež je předávána z generace na generaci, totiž neodpovídá Bohrově filosofii vědy, zejména jeho rámci komplementarity, který kromě jiného nezahrnuje kolaps tzv. vlnového klubka a nedává důraz na subjektivitu pozorovatele v procesech měření. K tomu více viz Don HOWARD. Who Invented the „Copenhagen Interpretation“? A Study in Mythology. *Philosophy of Science*, 71, December 2004, 669–682.

¹⁴ Niels BOHR. The Quantum Postulate and the Recent Development of Atomic Theory. In *Atti del Congresso Internazionale dei Fisici 11–20 Settembre 1927, Como-Pavia-Roma, Volume Secondo*. Bologna, Nicola Zanichelli, 1928, s. 565–588 nebo *Nature (Suppl.)*, 121, 1928, s. 580–590. Přetištěno in Erik RÜDINGER & Jörgen KALCKAR (eds.). *Niels Bohr, Collected Works, Volume 6: Foundations of Quantum Physics (1926–1932)*. Amsterdam – New York – Oxford – Tokyo, Elsevier, 1985, s. 148–158.

¹⁵ Werner HEISENBERG. *Část a celek. Rozhovory o atomové fyzice*. Olomouc, Votobia, 1996, 279 s., s. 85.

Z fenomenologických pozic či podobně z Heisenbergových reflexí lze obecně shrnout novověké základy myšlení, vůči nimž se Bohr a kvantová teorie vymezila. V 17. století došlo k předsevzetí, které rozhodlo o celém rázu moderní vědo-techniky. Týká se to nového rozvrhu věcnosti věcí či přírodních jevů z hlediska přísně subjekt-objektového rozlišování, matematizace přírody a nového uchopení toho, jak rozumět faktům, měření a experimentování v rámci touhy po jednotném vědeckém vysvětlení a determinaci veškerých jevů na zemi i ve vesmíru (*mathesis universalis*). Tradiční metafyzická otázka po bytí jsoucího se tak zredukovala na výzkum bytí jako toho, co znamená být měřitelným objektem či jevem, a k tomu moderní přírodovědění mimo jiné sloužila z dosavadní tradice převzatá logika, eukleidovská geometrie a matematika, které byly aplikovány na přírodu.¹⁶

2. Vybrané koncepty atomární struktury

Z novověkého karteziánského rozvrhu vědeckosti vědy a pojmání reality vzešla tzv. klasická fyzika, které se na přelomu 19. a 20. století nepodařilo na mikroskopické úrovni vysvětlit některé nové observační jevy a nahromaděné experimentální výsledky. Nastolené výzvy již nebylo možné plně anebo vůbec vysvětlit dosavadními předpoklady, mimo jiné bez Planckovy konstanty.¹⁷ Přesto se například Planckova kvantová hypotéza nebo Einsteinova dualita světla jevíly zpočátku jako pouhé heuristické pomůcky či prozatímní triky, které se brzy mělo podařit vysvětlit pomocí klasických předpokladů. Někteří vědci v čele s Wilhelmem Ostwaldem (1853–1932) a Ernstem Machem (rodák z Chrlic, dnes Brno, 1838–1916) nadto dlouho ani nevěřili, že vůbec existují nějaké atomy, a to i poté,¹⁸ co Einstein v roce 1905 v jednom ze svých stěžejních a památných

¹⁶ Více viz Edmund HUSSERL. *Kříže evropských věd a transcendentální fenomenologie – Úvod do fenomenologické filosofie*. Praha, Academia, 1996, 569 s.; Martin HEIDEGGER, c. d., a Martin HEIDEGGER. *Věk obrazu světa*. Praha, Orientace, 1969, č. 5, 6. Dále viz Werner HEISENBERG, c. d., a Werner HEISENBERG. *Fyzika a filosofie*. Praha, Aurora, 2000, 160 s.

¹⁷ V rámci kvantové hypotézy (viz pozn. č. 9) má Planckova konstanta jako fyzikální veličina tzv. rozměr akce, reprezentuje produkt či součin energie a času. Jinak řečeno, když dochází k výměně energie mezi zářením a tělesem, probíhá tato výměna skrze diskrétní kroky či akce a univerzální konstanta je mírou velikosti každé takové akce.

¹⁸ K tomu více viz Stephen G. BRUSH. Mach and atomism. *Synthese*, April 1968, Volume 18, Issue 2–3, s. 192–215.

článků¹⁹ provedl matematické výpočty, které dokazovaly atomovou hypotézu, jež v různých obměnách sahala až do starověkého Řecka. Einsteinovy kalkulace posléze pečlivým experimentálním měřením ověřil Jean B. Perrin (1870–1942) v roce 1909.²⁰

Co se týče koncepce elektronů a jejich existence,²¹ byl to již v roce 1871 Cromwell F. Varley (1828–1883), který se v jednom článku domníval, že *světelné oblouky* (Goldsteinovy katodové paprsky), jež vznikají ve skleněné (katodové) trubici se zředěným plynem a osazenými elektrodami pro příjem vysokého napětí, jsou složeny ze svazku elektricky ovlivněných *zřetených částic hmoty*, které do sebe narážejí a odchylují se díky elektromagnetu.²² V letech 1874 až 1894 George J. Stoney (1826–1911) přišel při pokusech s průchodem elektrického proudu vodními roztoky s hypotézou, že v atomu existuje ještě základnější, zcela neviditelná entita nesoucí elektrický náboj či *absolutní jednotka kvantity elektriny*. Výslovně ji pojmenoval v roce 1891 *elektron (atom elektriny)* a publikoval ve Filosofickém

¹⁹ V roce 1905 vyšly v jednom svazku časopisu *Annalen der Physik* čtyři Einsteiny památné články tak, jak to slíbil v dopise svému příteli Conradu Habichtovi se slovy: „Slibuji ti čtyři články /.../ ty zmrzlá velrybo“. Jako referent patentového úřadu je sepsal ve volném čase (Více viz Walter ISAACSON. *Einstein – Jeho život a vesmír*. Praha, Paseka, 2010, 630 s., zde s. 19. Jeden článek pojednává o fotoefektu, druhý potvrzoval existenci atomů (Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen. *Annalen der Physik*, 17, 1905, s. 549–560), ve třetím a čtvrtém článku se pojednává o speciální teorii relativity a vztahu mezi energií a hmotností.

²⁰ Jean PERRIN. *Brownian Movement and Molecular Reality*. Mineola – New York, Dover Publications, 2010, 115 s., ISBN 0-486-44257-8 (překlad F. SODDY, z *Annales de Chimie et de Physique*, 8^{me} series, September 1909).

²¹ K tomuto tématu podrobněji viz Jed Z. BUCHWALD – Andrew WARWICK (eds.). *Histories of the Electron – The Birth of Microphysics*. Cambridge – Massachusetts – London, Massachusetts Institute of Technology Press, 2004, 529 s. Helge Kragh ve sborníku poukazuje na to, že už britský chemik a průmyslník Richard Laming (v publikacích mezi roky 1838 a 1851) uváděl hypotézu existence subatomárních nabitých částic. Zobrazil atom, který byl složen z materiálního jádra obklopeného „elektrosférou“, což byly soustředné obaly elektrických částic (viz Helge KRAGH. *The Electron, the Protyle, and the Unity of Matter*. In Jed Z. BUCHWALD – Andrew WARWICK /eds./, c. d., s. 202).

²² Více viz Cromwell F. VARLEY. Some experiments on the discharge of electricity through rarefied media and the atmosphere. *Proceedings of the Royal Society of London*, 19, 1871, s. 236–242.

magazínu v roce 1894.²³ Nicméně to byl až Joseph J. Thomson (1856–1940), zvaný „Džej Džej“, který v roce 1897 na základě vylepšovaných pokusů s katodovými paprsky a s odchylováním předpokládaných elektricky nabitých částic magnetickým a elektrickým polem dokázal stanovit poměr elektrického náboje těchto korpuskulí ve vztahu k jejich hmotnosti, tj. měrný náboj elektronu (místo elektronu používal opis: *primordiální atom elektriny, negativně nabitá korpuskule hmoty* či stručně *korpuskule*).²⁴ Tím se mu podařilo prokázat, že elektron je nová elementární částice, přibližně tisíckrát lehčí než atom. Thomson za svůj objev elektronů jakožto nedělitelných částic dostal Nobelovu cenu v roce 1906. Kuriózní na tom všem je, že jeho syn George P. Thomson (1892–1975) dostal v roce 1937 Nobelovu cenu za vlnové chování elektronů.²⁵

Bohrův model atomu vyřešil řadu zásadních problémů předchozích koncepcí o atomové struktuře, avšak z hlediska pozdější konzistentní kvantové teorie je i Bohrův model nedostatečný.²⁶ Pravděpodobně první vědeckou (leč

²³ George J. STONEY. On the Physical Units of Nature. *Philosophical Magazine*, 11 /5/, 1881, s. 381; George J. STONEY. Of the „electron“, or Atom of Electricity. *Philosophical Magazine*, 38 /5/, 1894, s. 418–420.

²⁴ Joseph J. THOMSON. Cathode Rays. *The Electrician*, 39, 1897, s. 103–109, a následně *Philosophical Magazine*, 44, 1897, s. 293. Edward A. DAVIS – Isobel J. FALCONER. *J. J. Thomson and the Discovery of the Electron*. London, Taylor & Francis, 1997, 244 s.

²⁵ Nezávisle na sobě v roce 1927 Davisson a Germer v USA a v roce 1928 G. P. Thomson v Anglii potvrdili Louis de Broglieův vztah o vlnovém chování elektronů pokusem, takže se ukázalo, že za určitého experimentálního uspořádání je u elektronů možné změřit vlnovou délku.

²⁶ Stručně k jednotlivým modelům atomu viz Klaus HENTSCHEL. 1. J. J. Thomson's „Plum Pudding“ Model, 2. Nagaoka's Saturnian Model; John L. HEILBRON. Rutherford Atom a Arne SCHIRRMACHERS. Bohr's Atomic Model. Všechny příspěvky in Daniel GREENBERGER – Klaus HENTSCHEL – Friedel WEINERT (eds.). *Compendium of Quantum Physics – Concepts, Experiments, History and Philosophy*. Dordrecht – London – New York, Springer, 2009, 901 s. K dějinné a vědecko-filosofické problematice více viz Edward U. CONDON – Halis ODABASI. *Atomic Structure*. Cambridge – New York – Tokyo, Cambridge University Press, 1980 (2010), 681 s., 1. kap.; Helge S. KRAGH. *Niels Bohr and the Quantum Atom – The Bohr Model of Atomic Structure 1913–1925*. Oxford, Oxford University Press, 2012, 413 s., 1. a 9. kap.; Charles BAILY. Early atomic models – from mechanical to quantum (1904–1913). *The European Physical Journal H*, January 2013, Volume 38, Issue 1, 1–38; John L. HEILBRON – Thomas S. KUHN. The genesis of the Bohr atom. *Historical Studies in the Physical Sciences*, 1, 1969, s. 211–290; John L. HEILBRON. Rutherford–Bohr atom. *American Journal of Physics*, 49, 1981, s. 223–231; John L. HEILBRON. J. J. Thomson and the Bohr atom. *Physics Today*, Volume 30, Issue 4, April 1977,

neudržitelnou) koncepci vytvořil v roce 1903 J. J. Thomson. Představil model atomu jako kulovitou sféru, v níž je kladně rozložený náboj (je rozložen v celém objemu atomu) a dále mnoho záporných elektrických nábojů (problém však byl jejich volnost, zda se pohybovaly, a pokud ano, po jakých trajektoriích, jakou rychlostí, anebo zda spočívaly v klidu). Jeho model byl a je v literatuře až do současnosti nazýván pudinkovým modelem.²⁷ Samotný Thomson takový přírůbek nepoužíval, jeho koncepce byla sofistikovanější, počítala i s kruhovým pohybem elektronů, navíc se rozvíjela a proměňovala na základě nových experimentálních výsledků a prací jiných vědců, přesto ona tuhost pudinkového modelu obrazně poukazuje na jistou neprostupnost atomu, která působí v celém jeho objemu. Nejprve ústně v roce 1903 (v Tokiu před Společností matematiků a fyziků) a posléze v článku z roku 1904 se Hantaro Nagaoka (1865–1950) vymezil vůči Thomsonově představě atomu a navrhl kromě jiného *propustnější*, tzv. saturnovský model, v němž kroužily elektrony (podobně jako Saturnovy prstence) kolem velmi velkého jádra uprostřed (Saturn jako obří planeta). Ovšem po Thomsonově kritice o nestabilitě elektronů v jeho koncepci Nagaoka svůj model opustil.²⁸ Dále existovaly atomární modely, které chtěly pojmut kvantové podmínky.

s. 23–30; John L. HEILBRON. Bohr's first theories of the atom. *Physics Today*, October 1985, Volume 38, Issue 10, s. 28–36; John L. HEILBRON. *Ernest Rutherford – And the Explosion of Atoms*. Oxford, Oxford University Press, 2003, 143 s.; Hinne HETTEMER. Bohr's theory of the atom 1913–1923. A case study in the progress of scientific research programmes. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 26, 1995, s. 307–323; Hendrik A. KRAMERS – Helge HOLST. *The Atom and the Bohr Theory of its Structure – An Elementary Presentation*. Copenhagen, 1923, 210 s. (s úvodem od Ernesta RUTHERFORDA); Abraham PAIS, c. d., 8.–10. kap.

²⁷ Více viz Joseph J. THOMSON. On the Structure of the Atom – an Investigation of the Stability and Periods of Oscillation of a number of Corpuscles arranged at equal intervals around the Circumference of a Circle; with Application of the Results to the Theory of Atomic Structure. *Philosophical Magazine*, Series 6, Volume 7, 39, 1904, s. 237–265. V tomto modelu jsou hrozinky (podobně jako elektrony) různě uspořádány v pudinkovém těstě (kladně rozložený náboj), a to buď v tuhém anebo tekutějším stavu, který umožňoval i jejich pohyb. Toto přirovnání čerpá z tradiční a až do středověku sahající anglické pochoutky či desertu, který se původně podával na vánočním stole. Dnes má různé příchutě a variace podobné u nás biskupskému chlebičku, vánoče anebo tomu, čemu říkáme pudink.

²⁸ Více viz Hantaro NAGAOKA. Kinetics of a system of particles illustrating the line and the band spectrum and the phenomena of radioactivity. *Philosophical Magazine*, Serie 6, 7, 1904, s. 445–455. Dále viz například Klaus HENTSCHEL. Nagaoka's Saturnian Model. In Daniel GREENBERGER – Klaus HENTSCHEL – Friedel WEINERT (eds.), c. d., s. 22–24.

Prvně se o takový model pokusil Arthur E. Haas (narozený v Brně, 1884–1941) v roce 1910 a John W. Nicholson (1881–1955) v roce 1911. Haas ve svém z počátku s posměchem přijímaném článku načrtává možnost kvantování elektronových orbitů ve vodíkovém atomu.²⁹ Nicholsonův příspěvek je zase známý díky interpretaci Planckovy konstanty ve vztahu k momentu hybnosti, bohužel však podle Russella McCormmacha (*1933) je například jeho obhajoba kvant a představa kvantování momentu hybnosti u jednoduchých atomů vytrhávána z kontextu jeho atomových idejí, kvantitativních testů, predikcí a propočtů frekvencí čar v čárovém spektru, jež na atomární dění roce 1911 aplikoval. Nicholson je v tomto smyslu z vědeckých publikací jako předchůdce a inspirátor Bohrova modelu atomu vynecháván.³⁰ Proto může být pro čtenáře Bohrových textů zarážející, že se v jeho korespondenci a slavné *trilogii* z roku 1913 na Nicholsonovy představy a výpočty ke spektrální teorii odkazuje, třebaže Bohrovy závěry nejsou stejné. S Nicholsonovou prací se Bohr seznámil během postdoktorandské stáže v Cambridge u Thomsona v zimní semestru v roce 1911. Bohrovův zájem se však postupně začal soustřeďovat na pracoviště v Manchesteru, kde působil Ernest Rutherford (1871–1937).³¹

²⁹ Arthur E. HAAS. Über die elektrodynamische Bedeutung des Planckschen Strahlungsgesetzes und über eine neue Bestimmung des elektrischen Elementarquantums und der Dimension des Wasserstoffatoms. In *Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien*. 2a, Wien, 1910, s. 119–144. Bohr podle Paíse jednou uvedl, že Haasovu práci neznal, když sepisoval první část svého trojdílného článku v roce 1913, nicméně přeci jen tam Haasovu práci uvedl (Abraham PAIS, c. d., s. 145). Bohr na 6. stránce píše: „Bylo to poprvé zdůrazněno A. Haasem, při pokusu vysvětlit význam a hodnotu Planckovy konstanty na základě J. J. Thomsonova modelu atomu, s pomocí lineárních rozměrů a frekvence vodíkového atomu.“ (Niels BOHR, c. d. in CW 2, s. 166.)

³⁰ Russell McCORMMACH. The atomic theory of John William Nicholson. *Archive for History of Exact Sciences*, 3/2, 1975, s. 160–184. Dále viz John W. NICHOLSON. The Spectrum of Nebulium. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 72, 1911–1912, s. 49–64, a John W. NICHOLSON. The Constitution of the Solar Corona. I, II, III, tamtéž, s. 139–150, 677–693 a 729–739. Dále viz Abraham PAIS, c. d., s. 145 a 146.

³¹ Bohr se v této době například přiučil angličtině, bruslil na bruslích, které dostal k Vánocům od maminky, a pronikl ještě hlouběji do matematiky, ovšem s Thomsonem se navzdory svému obdivu k němu po lidské, teoretické a pracovní stránce nijak zvlášť nesblížili. Thomson na něj ani neměl čas, a slib, že přečte Bohrova disertační práci, s největší pravděpodobností nesplnil (dánsky psaná disertace nebyla ani dobře přeložena. Například pro pojem náboj – *charge*, spolu s kamarádem Carlem Christianem Lautrupem, který uměl o něco lépe anglicky, překládali jako

Ernest Rutherford v roce 1906 začal se svými kolegy z laboratoře prozkoumávat Thomsonův model atomu a v roce 1909 za pomoci rozptylu alfa částic (jádra hélia) na zlaté fólii (pokusy prováděli i s jinými kovy) došli v řadě obměňovaných experimentů k neuvěřitelným výsledkům. Rutherford o interpretaci těchto pokusů napsal v důležitém článku z roku 1911. S Hansem W. Geigerem (1882–1945) a Ernestem Marsdenem (1889–1970) zjistili, že oproti většinou předpokládanému přímočarému projití alfa částic například právě vrstvou zlaté fólie o tloušťce 0,00004 cm se stávalo, že „některé, přibližně 1 z 20 000, byly odchýleny v průměru až o 90 stupňů“ a u některých dalších popisovaných experimentů se dokonce stalo, že jsou odmrštěny zpět.³² Vzhledem k tomu, že alfa částice mají ve srovnání s elektrony v atomech zlata mnohonásobně vyšší hmotnost, bylo zřejmé, že extrémně se odchylující trajektorie nemohly být způsobeny samotnými elektrony. Rutherford dospěl na základě dalších pokusů a výpočtů k jednomu z průlomových závěrů, tj. že částice alfa musely být odpuzovány kladně nabitými a definovatelnými centrálními částicemi, které jsou v atomech soustředěny do velmi nepatrného objemu (určil jejich náboj a velikost ve vztahu k celému atomu). V roce 1911 představil takový model atomu (z části oživený Nagaokaův model), v jehož centru se nachází nehybné droboulinké jádro (pojem jádra používal přibližně od roku 1912), v němž byla soustředěna většina hmoty atomu, a kolem pohybující se elektrony v nevyjasněných orbitech (tzv. elektronový obal³³). To znamenalo, že kladně nabitý náboj nemůže být rozložen

náklad, zatížení – *load* či *loading* atd.). O veškerých svých pocitech či zklamáních, názorech na svět, lásce k budoucí manželce atd. informoval v bohaté korespondenci svého bratra Haralda a snoubenku Margrethu Nørlundovou (více viz Finn AASERUD – John L. HEILBRON. *Love, Literature and the Quantum Atom: Niels Bohr's 1913 Trilogy Revisited*. New York – Oxford, Oxford University Press, 2013 / srpen/). Bohr si vše o půl roku později vynahradil po příjezdu do Manchesteru. Rutherford se stal v letním semestru 1912 nejprve Bohrovým garantem a posléze celoživotním přítelem. Více viz například Niels BLAEDEL, c. d., 5.–9. kap.; Abraham PAIS, c. d., 7.–9. kap, a Ulrich HOYER. Introduction. In CW 2, s. 3.

³² Ernest RUTHERFORD. The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom. *Philosophical Magazine Series*, 6, 21, 1911, s. 669–688, zde s. 669; Ernest RUTHERFORD a Hans W. GEIGER. The Probability Variations in the Distribution of Alpha Particles. *Philosophical Magazine Series*, 6, 20, 1910, s. 698–707. Svoje závěry pak během třech let upřesnil a rozšířil o nové objevy.

³³ Výrazy *electron shell*, *electron shells*, *outer shell*, *shell structure*, *spherical shell* atd. se začaly používat zejména až po Bohrově modelu atomu a hojně od dvacátých let 20. století. Joseph J. Thomson však už s pojmem *shell* v roce 1904 pracoval (viz uvedený článek Joseph J. THOMSON. On the Structure of the Atom – an Investigation of the Stability and Periods of Oscillation of a number of Corpuscles arranged at equal

všude po celém atomu tak, jako to bylo v Thomsonově modelu, a navíc velikost jádra ve srovnání s velikostí atomu je asi jako velikost zrnka písku ve středu velkého multifunkčního atletického areálu.³⁴ Na Rutherfordův tzv. planetární model, navzdory novým úvahám – například o velikosti jádra nebo důsledkům pro chemii i budoucí jadernou fyziku –, vědecká obec nijak pozitivně v roce 1911 a 1912 nezareagovala. Nastoupila lhostejná anebo vyčkávací taktika (ani Rutherford se ke svému modelu dále nevyjadřoval) – až na jednu výjimku, jíž byl Bohr.³⁵

3. Bohrova cesta k „nejvyšší formě muzikality ve sféře myšlení“

Po příjezdu do Manchesteru³⁶ zadaná práce v laboratoři (od 16. března do 3. května) o radioaktivitě a pohlcování alfa částic (například ve fólii hliníku)

intervals around the Circumference of a Circle; with Application of the Results to the Theory of Atomic Structure, s. 255). Sám Bohr se podle Mary Jo Nye pokusil interpretovat svoji ideu orbitů z roku 1913 pomocí pojmu *shell* až ve dvacátých letech (viz Mary Jo NYE. Remodeling a Classic – The Electron in Organic Chemistry, 1900–1940. In Jed Z. BUCHWALD – Andrew WARWICK /eds./, c. d., s. 343 a 344).

³⁴ Otázku stability atomů a pohybu elektronů potom po roce 1913 vysvětluje už díky Bohrovým propočtům. Více viz Ernest RUTHERFORD. The Structure of the Atom. *Nature*, 92, 1913, s. 423. Dále Ernest RUTHERFORD. The Structure of the Atom. *Philosophical Magazine Series*, 6, 27, 1914, s. 488–498.

³⁵ Bohrov problém v té době byl, jak se dovídáme v květnovém dopise bratrově Haraldovi, že si o tom vůbec neměl s kým v Manchesteru popovídat (Niels BOHR in Niels BLAEDEL, c. d., s. 47). K reakcím na Rutherfordův model srov. také Gerald HOLTON, c. d., s. 98, a Abraham PAIS, c. d., s. 125 a 126. Záhy však Bohr našel dva kolegy, kteří ho budou inspirovat. Své snoubence Margrethe koncem května ještě píše, co se mu dělo během představení Othella v hlavě: „.../ ve středu všech potulujících se myšlenek a divokých snů, jsem cítil, že po celou dobu tam tkvělo něco, o čem jsem už uvažoval, co jsem již pocítoval, jak roste v mé mysli, něco, co jsi právě ty nejvíce ze všech pomohla vytvořit /.../“ (Niels BOHR in Niels BLAEDEL, c. d., s. 47).

³⁶ Ještě před příjezdem do Manchesteru poslal Bohr v únoru do *Filosofického magazínu* článek, který kriticky reagoval na dosavadní polemiky kolem elektronové teorie, zejména na poslední článek od Owena W. Richardsona (1879–1959). K tomu viz Niels BOHR. Note on the Electron Theory of Thermoelectric Phenomena. *Philosophical Magazine*, 23, 1912, s. 984–988; přetištěno in Léon ROSENFELD (general Editor) – J. Rud NIELSEN (eds.). *Niels Bohr Collected Works, Volume 1 – Early Work (1905–1911)*. Amsterdam – Oxford – New York, Elsevier, 1972, 609 s., s. 439–444. Dále jen CW 1.

příliš Bohra nenadchla, jak píše bratrovi Haraldovi 27. května.³⁷ Nicméně ho záhy zaujalo pojednání Charlese G. Darwina (1887–1962) o absorpci a rozptylu alfa paprsků s využitím Rutherfordova modelu jako východiska. Darwin při pronikání alfa částic do atomů kromě jiného předpokládal, že dochází při kolizích s volnými elektrony ke ztrátám jejich kinetické energie (jejich rozptyl je, jak víme, způsoben jádrem atomů). Otázka volných elektronů a jádra však byla u Darwina řešena odděleně.³⁸ V Darwinově pojetí spatřoval Bohr například paradoxní chování volných elektronů ve vztahu k parametrům atomů. V dalším dopise z 12. června Bohr bratrovi píše, že se seznámil s Darwinovým článkem a jeho výsledky nepovažuje za uspokojivé jak po matematické, tak po koncepční stránce a že se o tom chystá napsat článek. Bratrovi se dále zmínil, že se začal zabývat i obecněji strukturou atomu, a zdůraznil, že Rutherford vypracoval takovou teorii atomární struktury, „která se zdá mít pevnější základ než cokoli, co jsme dosud měli.“³⁹ Bohr si proto u Rutherforda vymínil pracovat především teoreticky, tudíž doma, nikoli v laboratoři, a navíc s možností využívat experimentálních výsledků.⁴⁰ Zde započala usilovná cesta od (časově však paralelně) Bohrových idejí o absorpci nabitých částic v hmotě (reakce na Darwina) k prozkoumání celkové konstituce atomů a molekul (i bez jejich ovlivňování například teplem nebo bombardováním alfa částicemi). Celý jeho projekt byl završen převratnou *trilogií* v roce 1913.⁴¹

³⁷ Niels BOHR in CW 2, s. 4.

³⁸ Darwinův článek viz Charles G. DARWIN. A Theory of Absorption and Scattering of the α -Rays. *Philosophical Magazine*, 23, 1912, s. 901–920.

³⁹ Oba dopisy viz Niels BOHR in CW 2, s. 4 a 5.

⁴⁰ Dále viz Niels BOHR in *Oral History Transcript – Niels Bohr*. Session II, 1. listopadu 1962. Interview with Niels Bohr by Thomas S. Kuhn, Léon Rosenfeld, Erik Rudinger, and Aage Petersen at Prof. Bohr's Office, Carlsberg, Copenhagen, Denmark: http://www.aip.org/history/ohilist/4517_1.html (vyhledáno 1. 3. 2013). Srov. Abraham PAIS, c. d., s. 125.

⁴¹ Z usilovné teoretické práce a kusých výsledků, které Bohr získával o absorpci a rozptylu alfa paprsků, se mu, jak píše Haraldovi v dopise z 19. června, podařilo nahlédnout něco nového o atomové struktuře, „pravděpodobně kousíček reality“ (Niels BOHR in CW 2, s. 103). Celé léto pak navzdory horku, jak si postěžoval bratrovi, Bohr intenzivně pracoval od rána do večera jednak na dokončení článku, který mimo jiné reagoval na zmíněné Darwinovo pojednání, a pak i na vlastní teorii modelu atomu a molekul. V srpnu sice práci na článku dokončil, jelikož však potřeboval získat nejnovější experimentální data o hodnotách rychlostí alfa částic vypuzovaných z Ra, pojednání bylo vydáno až v lednu 1913. V článku poprvé pracuje s Planckovou konstantou, jen ji označuje k namísto h (viz Niels BOHR. On the Theory of

Pro Bohrovu práci byl Rutherfordův model atomu nejdůležitějším podkladem a navíc byl patrně jediný, kdo na Rutherfordovu koncepci reagoval pozitivně, a to nejen kvůli modelu samotnému, na němž mohl aplikovat a testovat svoje smělé představy, ale rovněž díky velkým sympatiím k Rutherfordovi jako experimentálnímu vědci a současně člověku. Bohr, jak uvedl několik dní před svou smrtí v rozhovoru s Thomasem Kuhnem (1922–1996) a dalšími kolegy, Rutherfordově atomu prostě uvěřil. Nicméně s dovětkem, že dosavadní fyzikální představy o atomárním dění, včetně Rutherfordových, musely projít radikální proměnou.⁴² Abraham Pais však v tomto smyslu tvrdí, že „tuto novou fyziku se Bohr přiučil u Hevesyho a Darwina, spíše než u Rutherforda.“⁴³

Zásadní problém v Rutherfordově atomu kromě jiného byl, jak uvádí například Richard Feynman (1918–1988), že jím navržené „atomy jsou z klasického hlediska zhora nemožné, neboť by elektrony padaly spirálovitě do jádra.“⁴⁴ Z hlediska klasických zákonů elektrodynamiky by tedy takový atom nebyl vůbec stabilní, protože by záporně nabitě a v nepevných kruzích obíhající elektrony byly okamžitě urychlovány a přitahovány ke středu kladně nabitého jádra a „páchaly harakiri“. Elektrony by ihned ztrácely energii, o své záhubě by vysílaly zprávu

Decrease of Velocity of Moving Electrified Particles on Passing Through Matter. *Philosophical Magazine*, 25, 1913, s. 10–31; přetištěno in CW 2, s. 17–39). Další implikace a nedostatky obsažené v tomto textu pak propracovával v dalších letech a vrátil se k nim rovněž v období druhé světové války nebo v posledním vědeckém článku z roku 1954. V raném díle to byla otázka *zastavení* elektricky nabitých částic, v době války a po válce například problém *zastavení* štěpných úlomků v látce. Více viz Abraham PAIS, c. d., s. 128 a 129.

⁴² Viz Niels BOHR in *Oral History Transcript*, tamtéž.

⁴³ Abraham PAIS, c. d., s. 129. Vedle vnuka slavného Charlese R. Darwina (1809–1882) byl další inspirací, jak vzpomíná Bohr v rozhovoru s Thomasem Kuhnem a kolegy, Georg von Hevesy (1885–1966), který mu řekl, že „existuje více radioaktivních látek, než je pro ně místo v periodické tabulce prvků. A to jsem nevěděl“. (Niels BOHR in *Oral History Transcript*, tamtéž). Toto bude další důležitý popud pro Bohrovu následující práci, prohloubení Rutherfordova modelu a příspěvek do chemie. Bohra, jak dále uvádí, totiž rychle napadlo v souvislosti se soubory chemicky identických prvků s rozdílnou atomovou hmotností (izotopy), že při radioaktivním rozpadu prvek musí změnit své místo v periodické tabulce prvků podle určitých pravidel – dnes zákon radioaktivní přeměny. Bohr své představy sdělil Rutherfordovi se slovy, že to „bude poslední důkaz jeho atomu“, Rutherford však byl vůči tomuto tvrzení skeptický a po celou dobu dosti rezervovaný. K Darwinovi a von Hevesymu více viz například Abraham PAIS, c. d., s. 125–129.

⁴⁴ Richard FEYNMAN. *The Feynman Lectures on Physics. Vol. 1*. New York, California Institute of Technology – Basic Books, 2011, 561 s., zde s. 370.

formou elektromagnetického záření či vlnění. Takový atom jako celek by trval nepatrný zlomek vteřiny, a tudíž bychom my i všechno kolem nás přestali existovat. A to se evidentně miliardy let neděje. Konečně ani záření v tomto modelu vyslané v předpokládaném spojitém spektru neplatí, což lze experimentálně pozorovat. Elektrony a jádro jsou tedy ve stabilním stavu, ale nechovají se klasicky mechanisticky jako například planety, takže je nelze takto obecně vysvětlit.⁴⁵ Bohr své kritické poznámky a kalkulace – jak k Thomsonově, tak Rutherfordově koncepci atomu – shrnuje ve svém červencovém draftu z roku 1912 *O konstituci atomů a molekul*, pro který se později ujal název *Rutherfordovo memorandum*.⁴⁶

⁴⁵ Nesprávnost přirovnávání atomárního systému k planetárnímu nebylo něco neznámého. Planetární model měl sloužit pouze jako metafora k názornému představení atomárního dění. Tento model je pak prezentován především v publikacích, které vznikly až později. Niels Bohr tuto metaforu nezmiňuje a Rutherford jen připomíná v uvedeném článku Nagaokaovy propočty vlastností saturniánského modelu atomu (centrální přitažlivá hmota je obklopena prstencem elektronů). Nagaoka upozornil, že tento systém by byl stabilní pouze za předpokladu, kdyby přitažlivá síla byla opravdu velká. Je zřejmé, že pro pohyb elektronů nesoucích elektrický náboj je rozhodující interakce elektromagnetická, zatímco pohyb planet řídí síla gravitační. Klasická fyzika nutně dospěje v případě pohybu elektronu s nenulovým zrychlením k závěru, že se v důsledku ztráty energie elektronu způsobené vyzařováním elektromagnetického vlnění atom v krátkém časovém intervalu zhroutí. V každé uvedené publikaci jsou problémy Rutherfordova modelu víceméně shrnuty a Rutherford, Thomson a další vědci o nich samozřejmě věděli. Rutherford vzpomíná, že jeho model atomu či uvedená sebevražda pro něj nebyla tehdy nijak zásadní. Byl především experimentální nadšenec, proto pro něj byly vzrušující hlavně výsledky pokusů s odraženými alfa částicemi. Přirovnával tento neuvěřitelný objev podle Johna Campbella k tomu, jako kdybychom vystřelili kouli z námořního děla, a ta se nám odrazila zpět od listu papíru (John CAMPBELL in <http://www.teara.govt.nz/en/biographies/3r37/rutherford-ernest/> vyhledáno 18. 2. 2013/ nebo podobně viz John L. HEILBRON. *Ernest Rutherford – And the Explosion of Atoms*, c. d., s. 65).

⁴⁶ *Rutherfordovo memorandum* – draft komentářů a kalkulací o chystaném pojednání – vzniklo ve velice krátkém hektickém období června a začátku července na základě vlastní teoretické práce a studia literatury, diskusí s Rutherfordem a rovněž díky výsledkům probíhajících experimentů. (Někdy se tomuto textu říká *Manchesterské memorandum*. Více viz Helge S. KRAGH, c. d., s. 50–58, a John L. HEILBRON. J. J. Thomson and the Bohr atom. *Physics Today*, Volume 30, Issue 4, April 1977, s. 28.) Stěžejní problém pro Bohra byla stabilita elektronů v atomu, který není excitován či ovlivňován například bombardováním alfa částic. Tento draft, zaslaný Rutherfordovi 6. července 1912 se slovy „posílám poznámky týkající se struktury [structure] a stability molekul“, je vzácnou (a stále studovanou) historicko-fyzikální i filosofickou památkou na to, jak se rozvíjely Bohrovy kalkulace a smělé představy (například

Rutherfordův model bylo nutné upravit tak, aby byl stabilní. Bohr byl na nový přístup připraven díky svému interdisciplinárnímu způsobu myšlení, po otci naučené skepsi vůči jakýmkoli apriorně přijímaným tradičním předpokladům a rovněž díky svým předchozím představám v disertační práci z roku 1911 *O elektronové teorii kovů*.⁴⁷ Kromě toho, že v disertaci shrnul dosavadní poznatky, rovněž již zaujal postoj, který předznačuje jeho budoucí přístup k uchopení struktury atomu: „Předpoklad [mechanických sil – pozn. autora] není a priori samozřejmý, neboť je nutné vzít v úvahu, že existují síly ve své povaze takového typu, jež jsou zcela odlišné od obvyklého mechanického druhu /.../.“ (Tato část není uvedena v pozdějším anglickém překladu).⁴⁸ Kritika, již zaujímal v disertaci samozřejmě

idea valenčních elektronů pro stabilitu chemických prvků, problém, který ovšem správně nepropočítal), jež nakonec přetavil do svého trojdílného převratného článku v roce 1913. V tomto draftu však ještě nedokázal řešit atomovou strukturu prostřednictvím úvah o atomovém spektru, nepočítal s Balmerovou rovnicí, Rydbergovou konstantou atd. (Více viz Niels BOHR. *The Rutherford Memorandum* in CW 2, s. 135–158). Dosud zůstává nevyjasněné, že v memorandu pro výpočet stability atomu (pro vztah mezi kinetickou energií po kruhu obíhajícího elektronu a jeho frekvencí) uvažuje konstantu K , která má silný nádech Planckovy konstanty h (již samozřejmě znal a pracoval s ní), ale pro tento případ v memorandu nestanovil vztah K a h . Podle Paise v takto příliš uspěchaném draftu (s pravděpodobnou možností několika ztracených stránek) Bohr „jistě ještě přesný vztah mezi K a h neznal.“ (Abraham PAIS, c. d., s. 138.) Ustálený název *Rutherfordovo memorandum*, používaný v sebraných spisech i v jiné literatuře, pochází z John L. HEILBRON – Thomas S. KUHN, c. d., s. 244. Po odeslání memoranda Rutherfordovi si vzal Bohr 26. července volno, aby se mohl 1. srpna 1912 v Kodani oženit. Následné líbánky se nekonalaly, jak bylo původně plánováno, v Norsku, neboť novomanželé odjeli nejprve na týden do Cambridge, kde Bohr dokončil slíbený článek o alfa částicích, a pak se vydali do Manchesteru, kde Bohrovi hotový článek předali Rutherfordovi. Po doplnění některých experimentálních údajů vyšel článek po Novém roce. Potom odjeli do Skotska a na konci srpna se vrátili zpět do Kodaně, kde Bohr nastoupil na místo asistenta na univerzitě; v březnu roku 1913 se stal soukromým docentem. Vedle výukových povinností v semestru (1912/1913) se Bohr zahloubal do projasnění úlohy Planckovy konstanty v rámci jeho idejí o atomové struktuře. Více viz Niels BLAEDEL, c. d., 7. kap., a Abraham PAIS, c. d., 8. kap. Osmnáct stěžejních dopisů z roku 1912–1913 mezi Rutherfordem a Bohrem je přetištěno v CW 2, s. 575–591.

⁴⁷ Niels BOHR. *Studies on the Electron Theory of Metals* (do angličtiny přeložil J. Rud Nielsen). In CW 1, s. 291–395.

⁴⁸ Niels BOHR in Abraham PAIS, c. d., s. 137. V poslední větě disertace naznačuje zase toto: „Zdá se být nemožné, v současném stavu vývoje elektronové teorie, vysvětlit magnetické vlastnosti těles z této teorie.“ (Niels BOHR. *Studies on the Electron Theory of Metals*. In CW 1, s. 395.)

i vůči Thomsonově koncepci, také napomohla k tomu, že spolu neměli tak vřelý vztah jako s Rutherfordem.⁴⁹ Nicméně Thomsonovu myšlenku vázaných elektronů Bohr podržel.⁵⁰ V *Rutherfordově memorandu* Bohr již tvrdí, že stabilitu elektronů uspořádaných v atomu, tak jak dokládají experimentální fakta, není nadále možno řešit pomocí klasické mechaniky, zdá se to být podle Bohra beznadějně (*hopeless*), nýbrž pomocí nové hypotézy, k níž dopomohli ve své práci o mechanismu záření Planck a Einstein. Stabilizačním prvkem, což je Bohrovo stěžejní a převratné rozhodnutí, se stalo kvantum akce.⁵¹ Podle Bohra je tedy nutné, jak píše i v trilogii, do pohybových zákonů zavést „veličinu neznámou klasické elektrodynamice, tj. Planckovu konstantu /.../.“⁵²

Zásadním přínosem Bohrova modelu je kvantování energie elektronů v atomech (dnes říkáme v elektronových obalech atomů).⁵³ Model zčásti zachovává klasický pohled, atom je stabilní, elektricky neutrální soustava, jež se skládá z kladně nabitého jádra, ve kterém je soustředěna téměř celá hmotnost atomu, a ze systému či uspořádání vázaných elektronů (elektronového obalu), jež obíhají pouze po přesně daných a symetricky uspořádaných kruhových (kruhové pro zjednodušení) orbitech. Z hlediska kvantování není možné, aby elektrony po spirále spadly na jádro, jak bylo uvedeno výše. Bohr se podle Johna Polkinghorna (*1930) rozhodl, že je jim to *nutné zakázat*.⁵⁴ Atom (rozumějme elektrony v jeho obalu) se tedy může nacházet pouze v kvantových stacionárních stavech s určitou hodnotou energie. V takovém stavu nedochází k vyzařování energie jako v klasické elektrodynamice a rozložení takovýchto stavů v atomu je časově neměnné. Elektron může přecházet pouze z určité povolené energetické hladiny na jinou. Tento přechod je podmíněn absorpcí anebo emisí kvanta energie, jehož velikost odpovídá rozdílu energií elektronu na těchto hladinách. Při přechodu ze stacionárního stavu E_n do stavu o nižší energii E_m může atom vyzařit kvantum elektromagnetického záření (foton) o frekvenci dané podmínkou $h\nu = E_n - E_m$ (kde h je Planckova konstanta a ν je frekvence), a naopak při

⁴⁹ Bohr už při prvním setkání s Thomsonem (a ještě špatnou angličtinou), když vstoupil k němu do kanceláře, ukázal Thomsonovi v jeho knize a na příslušné stránce, co má ve své elektronové teorii špatně. (Viz Abraham PAIS, c. d., s. 120.)

⁵⁰ Henry J. FOLSE. *The Philosophy of Niels Bohr, The Framework of Complementarity*. Amsterdam – Oxford – New York – Tokyo, Elsevier, 1985, 282 s., s. 60.

⁵¹ Niels BOHR. *The Rutherford Memorandum*. In CW 2, s. 137.

⁵² Niels BOHR. *On the Constitution of Atoms and Molecules*. In CW 2, s. 162.

⁵³ Tamtéž, s. 167 a 232.

⁵⁴ John POLKINGHORNE. *Kvantový svět*. Praha, 2000, s. 25.

pohlčení takového kvanta přejde atom ze stavu o energii E_m do stavu o energii E_n .⁵⁵ Planckův vztah tak sehrává v Bohrově modelu zásadní roli.⁵⁶ Díky tomuto stručně naznačenému postupu mohl Bohr spočítat například rychlost elektronu, vzdálenost od jádra, frekvenci oběhů nebo jeho energii na té či oné orbitě. Avšak k syntéze všech výše uvedených představ a výpočtů pro konečné sepsání *trilogie* potřeboval Bohr ještě jednu poslední inspiraci, která úzce souvisí s výpočtem rozdílu dvou energetických hladin. Chybějícím dílem mozaiky se stalo vysvětlení čarových spekter, resp. tzv. Balmer-Rydbergův vztah pro jejich interpretaci.

Bohr si uvědomoval, že Rutherfordův model umožňuje vysvětlovat nejen rozptyl částic alfa, ale že také může za dalších předpokladů pomoci k vysvětlení periodického zákona chemických vlastností prvků; nic z toho Thomsonův model neumožňoval. Bohr však nebyl od letního sepsání memoranda se svou teorií stále spokojen a celé měsíce se nad tím trápil.⁵⁷ Teprve v únoru roku 1913 mohl vložit do své mozaiky poslední kamínek. Díky kolegovi Hansi M. Hansenovi (1886–1956), který se zabýval spektroskopií, se Bohr seznámil s důvtipně jednoduchou rovnicí opatřenou konstantou, pocházející od Johanna J. Balmera (1825–1898) z roku 1885 – roku Bohrova narození.⁵⁸ Balmerova rovnice se týkala pravidelností v pozorovaném optickém spektru atomu vodíku neboli

⁵⁵ Niels BOHR. *On the Constitution of Atoms and Molecules*. In CW 2, například s. 172, 175–178, 192, 193, 232.

⁵⁶ Kvantování energie atomů potom bylo experimentálně dokázáno v roce 1914 tzv. Franck-Hertzovým pokusem (viz James FRANCK a Gustav L. HERTZ. Über Zusammenstöße zwischen Elektronen und Molekülen des Quecksilberdampfes und die Ionisierungsspannung desselben. *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, 16, 1914, s. 457–467).

⁵⁷ Bohr o svých problémech píše Rutherfordovi například v dopise 4. listopadu 1912. Rutherford ho utěšuje v dopise z 11. listopadu a píše mu, že se nemusí cítit být pod nějakým tlakem a rychle zveřejňovat něco o struktuře atomu, poněvadž, jak říká, „nevím o nikom podobném, kdo by na této věci pracoval.“ (Oba dopisy více viz CW 2, s. 577 a 578).

⁵⁸ Bohrův vrstevník Hans M. Hansen pracoval v Göttingen. Bohr v rozhovoru s Kuhnem a kolegy vzpomíná, že spolu hovořili o Bohrově práci na atomární struktuře a problémech, které stále nemohl uspokojivě vyřešit. Hansen se ho během rozhovoru dotázal, „jak to jde dohromady se spektrální formulí?“ Bohr o tom nic nevěděl, podíval se potom do *Principiů atomové dynamiky* Johannese Starka z roku 1911 a v tu chvíli mu bylo jasné, jak propojit tyto věci s Planckovou konstantou. (Více viz Niels BOHR in *Oral History Transcript*, Session III, 7. listopadu 1962, viz pozn. 41 a 42.) Podle Paise sečtělý Bohr jistě Balmerovu formuli znal z Christiansenovy učebnice fyziky, ale pochopitelně v době studií jí (ostatně jako jiní) nepřikládal ještě žádnou velkou váhu. (Abraham PAIS, c. d., s. 144.)

jednoduchého početního vztahu mezi vlnovými délkami (tehdy ještě ne zcela přesně naměřenými) pozorovaných spektrálních čar.⁵⁹ O tři roky později se Johannesi J. Rydbergovi (1854–1919) ukázalo, že Balmerova rovnice je speciálním případem jeho rovnice, v níž používal zase svou konstantu.⁶⁰ Pais uvádí, že „téměř třicet let nikdo nevěděl, co se pokoušela uvedená formule říct. Potom přišel Bohr“.⁶¹ Mechanika a elektrodynamika si s tímto vztahem/zákonitostí prostě celou dobu nedokázaly poradit. Bohr vzpomíná: „Jakmile jsem spatřil

⁵⁹ Švýcarského matematika Balmera bychom mohli nazvat jednak architektem harmonie světa, v němž je vše od přírody po umění jednotně harmonizováno prostřednictvím numerických vztahů, jednak spektrálním numerologem. Balmer byl učitel na dívčí škole a matematik, který byl fascinován hledáním numerologických a geometrických souvislostí ve všem, co ho napadlo nebo co mu jeho přátelé dali k řešení. Nakonec se stal soukromým docentem. Za svůj život publikoval tři články, přesněji řečeno ve věku 60 let dva a v 72 letech jeden fyzikální článek. První dva mu však zajistily slávu. V případě řešení zákonitosti rozložení spektrálních čar ve vodíkovém atomu byl osloven přítelem a fyzikem Jacobem E. Hagenbachem-Bischoffem (1833–1910). Balmer měl výhodu, že nebyl tolik svázán s předpoklady a předsudky tehdejší mechaniky a elektrodynamiky. Podrobněji k Balmerovi viz Klaus HENTSCHEL. *Mapping the Spectrum – techniques of visual representation in research and teaching*. Oxford – New York, Oxford University Press, 2002, 582 s., zde 8. kap. Pais píše: „To, co Balmer udělal, je poněkud neuvěřitelné. V situaci, kdy měl k dispozici pouze čtyři Ångströmem naměřené frekvence, vybavil je takovým matematickým výrazem, který dokázal predikovat nekonečně mnoho čar – a jeho rovnice je skutečně správná!“ (Abraham PAIS, c. d., s. 142 a 143). Každý chemický prvek má vlastní rozložení jasně zářivých čar a Balmerovi se povedlo jen z mála naměřených údajů rozluštit jejich zákonitost. Správnost své rovnice si totiž mohl brzy ověřit díky dalším naměřeným čarám při astronomických observacích. (K tomu dále viz Johannes J. BALMER. Note Concerning the Spectral Lines of Hydrogen. *Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel*, 7, 1885, s. 548, a další pojednání tamtéž, s. 750.) Více k Balmerovi viz Klaus HENTSCHEL. *Mapping the Spectrum*, c. d., 8. kap.

⁶⁰ Švédský fyzik Johannes (Janne) Rydberg se domníval, že k vysvětlení periodického systému chemických prvků je nutné propočítat a systematicky porozumět emitovaným spektrálním čarám u různých prvků, které byly ovlivněny teplem nebo elektrinou. V roce 1888 vymyslel (podle níže uvedeného článku) nezávisle na Balmerovi svoji rovnici, která dokázala predikovat vlnové délky a série spektrálních čar různých prvků. Teprve po svých kalkulacích si uvědomil podobnosti s Balmerovými výpočty u spektrálních čar atomu vodíku. (Více viz Indrek MARTINSON – Lorenzo J. CURTIS. Janne Rydberg – his life and work. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section B*, 235, 2005, s. 17–22.), dále viz Klaus HENTSCHEL, c. d., 8. kap.

⁶¹ Abraham PAIS, c. d., s. 143.

Balmerovu rovnici, celá záležitost mi byla ihned jasná.“⁶² Balmerovu rovnici aplikoval po 7. únoru 1913 na své výpočty a 6. března poslal Rutherfordovi první kapitolu svého kolosálního článku, jímž se nesmazatelně zapsal do dějin fyziky.⁶³ S Holtonem k tomu ještě dodáme, že Bohr „narazil na tyto aspekty teprve v poslední minutě /.../, kdy již podstatná část jeho článku byla hotova“.⁶⁴

⁶² Niels BOHR in CW 2, s. 110, nebo BLAEDEL, c. d., s. 53.

⁶³ Bohr v dopise Rutherfordovi píše, že mu posílá zatím jen první kapitolu uvažovaného článku a další by měla za několik týdnů následovat. Bohr však poukazuje na to, že je už pro něj obtížné udržet všechny nahromaděné myšlenky a odlišné fenomény pohromadě, a to i díky narůstající literatuře. Z uvedeného důvodu by si moc přál, aby kapitola mohla vyjít co nejrychleji, neboť článek bude dlouhý, a proto navrhuje, aby pojednání vycházelo po částech. (Niels BOHR in CW 2, s. 581.) Rutherford mu odpověděl 20. března. Kromě jiného je z dopisu patrné, jak bylo pro Rutherforda obtížné vstřebet Bohrovo směšování nových Planckových idejí se starou mechanikou. Dále se například divil, jak se elektron rozhoduje, jakou frekvencí bude vibrovat, když bude přecházet z jednoho do druhého stacionárního stavu – ví snad elektron už předem, kde se zastaví? Rutherford dále upozorňoval, že bude také potřebné text zkrátit, jak to jen půjde. (Ernest RUTHERFORD in CW 2, s. 583.) Další korespondence zase naznačuje, že se Bohrovi v hlavě již rodila myšlenka tzv. principu korespondence. Rutherford stále apeloval na krácení textu a zdůrazňoval, že by text měl být napsaný po vzoru anglické tradice, nikoli německé, ve které se prý z rozvláčnosti dělá ctnost. Bohr však byl neústupný, něco sice zkrátit, ale nakonec se rozhodl odjet do Manchesteru a při osobním setkání s Rutherfordem ukázat, že každé slovo je nutné a nic již nejde vynechat. Rutherford ustoupil. První část článku je z 5. dubna a vyšla ve Filosofickém magazínu v červenci 1913 pod názvem “On the Constitution of Atoms and Molecules”.

⁶⁴ Gerald HOLTON, c. d., s. 99. Abychom byli ve svém výčtu inspirací spravedliví, Bohr zmiňuje v dopise z 6. března Rutherfordovi také radu (jak provést některé pokusy pro podporu Bohrových idejí) dánského chemika, Bohrova učitele na universitě a posléze přítele, Nielse Bjerruma (1879–1958). Bohr se v roce 1912 sešel v Kodani s Bjerrumem a na procházce s ním hovořil o jeho představách. Bjerrum v tu dobu aplikoval kvantovou hypotézu na molekulární spektra a poukázal na to, že spektra nepocházejí výhradně z pohybů elektronů, ale jsou způsobené také nukleárními pohyby. Uvažoval už o vibračních a rotačních spektrech v molekulách složených ze dvou atomů a o diskontinuitních změnách vibračních a rotačních energií molekul. (Více viz Jagdish MEHRA – Helmut RECHENBERG. *The Historical Development of Quantum Theory. Volume 1, Part 1 – The Quantum Theory of Planck, Einstein, Bohr and Sommerfeld: Its Foundation and the Rise of Its Difficulties 1900–1925*. New York – Berlin – Heidelberg, Springer-Verlag, 2001, 373 s., s. 148 a 149, nebo viz Abraham PAIS, c. d., s. 146)

Po přečtení Bohrovy *trilogie* napsal matematický fyzik Carl W. Oseen (1879–1944) 11. listopadu 1913 Bohrovi: „Stále žasnu nad krásou jednoho z tvých závěrů. Tím je spojení mezi h [Planckova konstanta – pozn. autora] a Balmer-Rydbergovou konstantou. V tomto bodě jsi zašel za rámec hypotéz a teorií, tak daleko, jak jen člověk může nahlédnout, až do oblasti pravdy samé. Výše nemůže žádný teoretik dosáhnout.“⁶⁵

4. Několik závěrečných poznámek a reakcí na Bohrova trilogii

Bohr se od raného díla po celý život pokoušel vše řešit v rámci životního významu, obecnosti a komplexnosti. Nejprve vždy podrobně analyzoval porozumění stávajícím předpokladům zkoumaného jevu a teprve posléze se začal zabývat jeho zpracováním a řešením. Nadšení, jež ho v neúnavné práci neustále pohánělo, současně provázela i notná dávka skepse. Je proto pochopitelné, že poté, co se jeho *trilogie* navzdory počátečním averzím ze strany fyziků prosadila, sám se vůči ní kriticky vymezil. Podle Francka Bohr prohlásil před vědeckou komunitou, jejíž nadšení z Bohrova modelu vzrůstalo (mezi nimi například i významná göttingenská autorita Arnold Sommerfeld /1868–1951/), toto: „Ne, tomu přeci nemůžete věřit. Tohle je pouze hrubé přiblížení. Obsahuje příliš mnoho odhadů a to není filosoficky správně.“⁶⁶

Ani tato citace však není dosti radikální, neboť nevystihuje to, co všichni tehdejší aktéři včetně Bohra de facto nemohli tušit. Bohrovým krokem *jen* započala další etapa rozvoje revoluční kvantové mechaniky, která vrcholila na konci dvacátých a začátkem třicátých let 20. století. V této době díky především maticové a vlnové mechanice, vylučovacímu principu, relacím neurčitosti (principu neurčitosti), statistické interpretaci vlnové funkce a posléze usazením dosavadních formalismů i představ do ucelené matematické a logické podoby došlo již k radikálnímu rozchodu s klasickou mechanikou. Je tudíž nutné upozornit, že navzdory revolučnosti náleží i Bohrův model atomu díky svému klasicko-quantovému vysvětlení (kromě zavedení kvantování používal stále klasické představy, pojmy, logiku, názornost, nevlňové chování elektronů, klasický pojem trajektorie atd.) do stádia staré kvantové teorie, a z hlediska pozdější konzistentní kvantové mechaniky lze konstatovat, že Bohrův model atomu je nejen nedostatečný,

⁶⁵ Carl W. OSEEN in CW 2, s. 552.

⁶⁶ James FRANCK. Interview with Dr. James Franck by Thomas S. Kuhn and Maria Goeppert Mayer at Franck's Summer home, Falmouth, Massachusetts, July 10, 1962. Dostupné z http://www.aip.org/history/ohilist/4609_2.html (vyhledáno 11. 3. 2013).

ale i *chybný* (týká se to například fixování oběhu elektronu po přesně stanovené dráze, kvantování momentu hybnosti apod.). Převratnost Bohrova modelu atomu z roku 1913 tak netkví v modelu samotném, nýbrž v Bohrově genialitě a originálním přístupu, pomocí něhož dokázal nahlížet – platónsky řečeno – stávající předpoklady jako pouhé předpoklady, a konečně i v Bohrově odvaze navrhovat i neslučitelné ideje či přístupy, což bude charakteristické pro jeho pozdější rámec komplementarity, který aplikoval i mimo oblast fyziky.⁶⁷

Bohrova koncepce však ve své době pochopitelně čelila mnohým kritikám a nepochopením. Například Otto R. Frisch (1904–1979) vzpomíná, že Bohrovy ideje „byly v té době natolik udivující a neortodoxní, že řada fyziků, a můj starý šéf z Hamburgu Otto Stern mezi nimi, přísahala, že se vzdá fyziky, jestliže by se takový nonsens stal pravdivým (a nevzdala)“.⁶⁸ Například velký Džej Džej se o Bohrově modelu a kvantové teorii v přednáškách o struktuře atomu přes dvacet let nezmínil a teprve až v roce 1936 napsal článek, kde Bohra a kvantovou teorii uvádí v pozitivním světle. Einstein nejprve reagoval bez emocí a neutrálně, jakmile se ale dozvěděl od George de Hevesyho (1885–1966) o Bohrově přisouzení Pickering-Fowlerova spektra atomům helia, užasl nad tím, že by de facto „frekvence světla vůbec nezávisela na frekvenci elektronu /.../ pak se ovšem jedná o enormní úspěch – Bohrova teorie musí být správná“.⁶⁹ Přesto se Einstein v roce 1917 dožadoval (a takových otázek měl během slavných filosofických diskusí s Bohrem od roku 1927 mnohem více) odpovědi na to, jak například při diskontinuitních přeskokách konkrétní vyzářené světelné kvantum vědělo, kterým směrem se bude ubírat? Jako by bylo samo kvantum nadáno rozhodovací schopností.⁷⁰ Alfred Landé (1888–1976) zase vzpomíná, že měl v roce 1914 Bohr

⁶⁷ K tomu více viz Niels BOHR in Finn AASERUD & David FAVRHOLDT (eds.). *Niels Bohr. Collected works volume 10: Complementarity beyond Physics (1928–1962). Volume 10.* Amsterdam – New York – Oxford – Tokyo, Elsevier, 1999.

⁶⁸ Otto R. FRISCH. *What little I remember.* Cambridge – New York – London, Cambridge University Press, 1979 (1980), 228 s., s. 93.

⁶⁹ Albert EINSTEIN v dopise George de Hevesyho Bohrovi 23. 9. 1913 (viz CW 2, s. 532). K Bohrovu vysvětlení více viz CW 2, s. 170 a 171.

⁷⁰ Rutherford byl první, kdo v roce 1913 v korespondenci s Bohrem poukazyval na jeho opravdu zvláštní přístup a podivné nedeterminovatelné chování elektronů v jeho koncepci (více viz pozn. 63). K podrobnému vysvětlení této významné události pro mikrofyziku či reakcím na Bohrov model viz Helge S. KRAGH, c. d., 3. kap.; dále viz Abraham PAIS, c. d., s. 152–155; Niels BLAEDEL, c. d., 9. kap.; Dugald R. MURDOCH. *Niels Bohr's Philosophy of Physics.* Cambridge – New York, Cambridge University Press, 1987, s. 17–20, Henry J. FOLSE, c. d., s. 63–66; Helge S. KRAGH. *Conceptual objections to the Bohr atomic theory – do electrons have a “free will“?*

přednášky v Göttingen a že především starší fyzici nad jeho počinem kroutili hlavami a říkali, že „pokud to není nonsens, tak to přinejmenším nedává smysl“, a jiní zase poukazovali na to, že „to je kompletní nesmysl, že to je laciná omluva za to, že neví, o co jde“.⁷¹ Mnoho fyziků se mimo jiné domnívalo, že diskontinuity stacionárních stavů nejsou správné a že bude jen otázkou času, kdy se podřídí klasickému rámci vysvětlení. Nestalo se tak. Naopak. Řada otázek se v budoucích letech (platí to dodnes) vyřešila tím, že se přestala řešit.

Z hlediska vysvětlení stability atomového systému je však Bohrovo vysvětlení před první světovou válkou zcela převratné. Robert W. Pohl (1884–1976) si pamatuje, jak před několik stovek posluchačů v Berlíně předstoupil brilantní profesor Emil G. Warburg (1846–1931) a seznámil je s Bohrovým revolučním textem. Pravděpodobně všichni, jak se Pohl domnívá, pochopili nové poselství. Dánský fyzik „dostal geniální nápad, že Planckova h se ukazuje být klíčem pro porozumění atomu“.⁷² Bohrova novátorská koncepce však neměla podle Helge S. Kragha vliv jen na vědeckou komunitu, ale díky svým filosofickým důsledkům začala mít také dopad na proměnu filosofických, epistemologických a metodologických otázek řešených ve vztahu k vědeckým nárokům, k zakoušené skutečnosti či přírodě a možnostem jejího poznání.⁷³

European Physical Journal J, 36, 2011, s. 327–352; Helge S. KRAGH. Resisting the Bohr Atom: The Early British Opposition. *Physics in Perspective*, 13, 2011, s. 4–35. Bohrovo rozhodnutí, které souvisí s těmito tzv. kvantovými skoky, následně vědci dlouhou dobu nechtěli respektovat, nechtěli se smířit s nespojitými procesy odporujícími klasickému přesvědčení. Spojitost charakteristická pro vlny se Bohrovi v atomu prostě nelíbila, a naopak například Schrödingerovi se tam líbila, ale ani jeho budoucí brilantní vlnová mechanika z roku 1926, vysvětlující plynule a spojitě polohu elektronů v Bohrově pojetí atomárního dění, neskoncovala s diskontinuitou. Vlnové mechanice chyběl druhý zásadní pilíř pro vysvětlení atomárního dění, tj. chování elektronů jako částic, a k tomu byla potřebná kromě jiného Heisenberg-Born-Jordanova maticová mechanika z roku 1925 a Heisenbergův princip neurčitosti z roku 1927. Ještě v roce 1926 se při památné návštěvě Schrödingera v Kodani ukázalo, jak silná byla nechuť přijmout Bohrův počín z roku 1913. Schrödinger, který navíc věřil v hmotné vlnění (nikoli pravděpodobnostní jako Kodaňská škola), vyčerpaný diskusemi s Bohrem nakonec prý prohlásil: „Jestliže máme zůstat při tomto prokletém kvantovém skákání, pak lituji, že jsem se kdy zabýval kvantovou teorií.“ (Werner HEISENBERG. *Část a celek. Rozhovory o atomové fyzice*, c. d. v pozn. 15, s. 91).

⁷¹ Alfred LANDÉ. Interview with Dr. Alfred Landé by Thomas S. Kuhn and John Heilbron in Berkeley, California, March 5, 1962. Dostupné z http://www.aip.org/history/ohilist/4728_1.html (vyhledáno 18. 2. 2013).

⁷² Robert W. POHL in A. PAIS, c. d., s. 154.

⁷³ Helge S. KRAGH, c. d., 9. kap.

Historicko-filosoficko-fyzikální reflexi bych chtěl ukončit poklonou Bohrova prvního profesora fyziky a rádce Christiana Christiansena, který svému žákovi a příteli v roce 1916 napsal: „Nikdy jsem se nesetkal s někým, jako jsi ty, s někým, kdo pronikl k jádru všeho, a současně měl tolik vůle to dotáhnout až do samého konce, a kdo by byl navíc tak zaujatý životem z hlediska celku.“⁷⁴

Summary

This paper gives an account from historical, philosophical and physical points of view of the context and basis that led Bohr since his college years to engage in unorthodox ways of thinking and to develop a breakthrough approach to solving physical questions. Since his early work, Bohr strove throughout his life to comprehend all within the framework of the importance of life, universality, and interdisciplinary complexity. First, he carefully analyzed the previous understanding of existing assumptions of the phenomena he examined, and only then did he work out the elaboration and solution. Among other things, applying Planck's quantum hypothesis to the Rutherford atom model and putting together Planck's constant and the Balmer-Rydberg constant enabled Bohr to explain both the stability of electrons in atoms and the line spectrum of hydrogen or any atoms. This article further summarizes concepts of atomic structure preceding Bohr's revolutionary model of the atom.

Author's address:

Univerzita Pardubice, katedra filosofie

Stavařov 97, 532 10 Pardubice

<http://filosofie.upce.cz/cs/25-mgr-filip-grygar-ph-d/>

E-mail: filio@centrum.cz

⁷⁴ Christian CHRISTIANSEN in CW 2, s. 496.