

Rozhledy matematicko-fyzikální

František Jáchim

Robert Andrews Millikan (1868–1953) – stanovil hodnoty dvou základních fyzikálních konstant

Rozhledy matematicko-fyzikální, Vol. 99 (2024), No. 2, 57–62

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/152491>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2024

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ*:
The Czech Digital Mathematics Library <http://dml.cz>

Robert Andrews Millikan (1868–1953) – stanovil hodnoty dvou základních fyzikálních konstant

František Jáchim, Základní škola Dukelská, Strakonice

Abstrakt. Článek pojednává o základních výsledcích práce amerického fyzika Roberta Millikana – metodách určení velikosti náboje elektronu a hodnoty Planckovy konstanty. Jsou zmíněni i někteří Millikanovi spolupracovníci.

Ve druhé polovině 19. století dostali fyzikové do rukou několik pozoruhodných pomůcek umožňujících provádět řadu nových pokusů. Jednou z nich byl Ruhmkorffův induktor produkující vysoké napětí v řádu desetitisíců voltů. V kombinaci se skleněnými trubicemi se zatavenými elektrodami a naplněnými různými plyny, popř. pouze velmi zředěným vzduchem, nabízel využití ke zcela novým fyzikálním pokusům. Protože elektrické výboje v těchto trubicích probíhaly snáze než za normálního tlaku plynu a byly doprovázené viditelným zářením mezi elektrodami, práce s takovými pomůckami fyziky velice zaujala.

Mezi nadšenými experimentátory byl i anglický fyzik Joseph John Thomson (1856–1940), obr. 1.



Obr. 1: Joseph John Thomson (1856–1940) ve své laboratoři při práci s Ruhmkorffovým induktorem a trubicemi

Roku 1897 pokusy zjistil, že záření v trubici vycházející z katody je proudem záporně nabitých částic. Ve své přednášce v londýnské Royal Institution 30. dubna 1897 tuto částici nazval *corpuscule*. Dnešní název *elektron* jí dal až roku 1900 irský fyzik George Johnstone Stoney (1823–1911). J. Thomson se usilovně snažil odhalit i další vlastnosti elektronu. Ve své badatelské práci ale pouze zjistil, že poměr velikosti náboje této částice k její hmotnosti je asi 1 000krát větší než stejně počítaný poměr pro vodíkový kladný iont. Usoudil,

že má-li mít nově objevená částice stejně velký záporný náboj jako kladný iont vodíku, bude tedy asi 1 000krát lehčí než zbytek vodíkového atomu. Zůstávala tu tedy otázka, jak velký elektrický náboj má. Jeho velikost určil americký fyzik Robert Andrews Millikan (obr. 2).

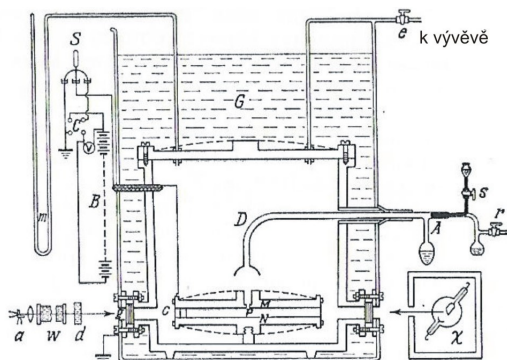


Obr. 2: Robert Andrews Millikan, r. 1932 [5]

Robert Millikan (22. 3. 1868–19. 12. 1953) studoval původně fyziku na Kolumbijské univerzitě v New Yorku. V letech 1895 až 1896 pobýval v Evropě na univerzitách v Berlíně a Göttingenu. V roce 1896 se stal asistentem profesora Alberta Abrahama Michelsona (1852–1931) na chicagské univerzitě, na které pak od roku 1910 působil jako profesor. Od roku 1921 přešel na Kalifornský technologický institut (CALTECH) v Pasadeně. Robert Millikan byl velice zručný experimentátor. Měl jistou vášeň pro obzvláště jemné práce, o nichž hovořil, že je provádí „s velmi vysokou přesností“.

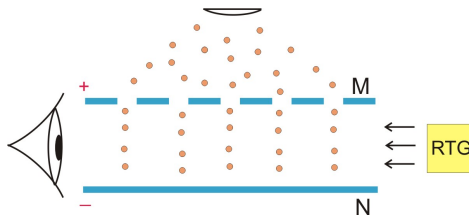
Velikost náboje elektronu

Pro určení velikosti elektrického náboje elektronu Millikan sestavil aparaturu, jejíž schéma je na obr. 3.



Obr. 3: Schéma Millikanovy aparatury, jíž určil velikost náboje elektronu

V uzavřené nádobě vyplněné vodou G byl za stálého tlaku vzduchu sledován déšť olejových kapek z rezervoáru A propadajících deskou M na desku N. Prostor mezi deskami byl ozařován zprava RTG zářením. Pozorování a měření probíhalo mikroskopem umístěným vlevo (a). Hlavní součástí aparatury byly dvě 1,5 cm od sebe vzdálené rovnoběžné desky M, N o průměru 22 cm (horní perforovaná), mezi nimiž vytvořil homogenní elektrické pole s potenciálem 5 000 V. Otvory v horní desce nechal procházet olejový déšť ze „sprchy“ B s kapičkami o průměru asi 0,01 mm. Prostor mezi deskami byl z jedné strany ozařován rentgenovou lampou, čímž se vzduch mezi nimi ionizoval. Děj v prostoru mezi deskami je znázorněn na obr. 4.



Obr. 4: Detail děje mezi deskami M a N

Kapičky při pádu na sebe nabalovaly elektrický náboj a jejich pohyb byl přitom sledován z druhé strany dalekohledem. Celé zařízení bylo uzavřeno v nádobě se stálou teplotou a tlakem (obr. 5).



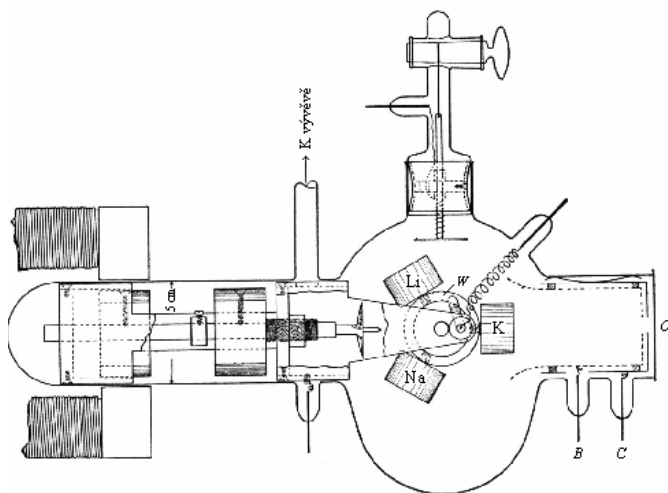
Obr. 5: Millikanův originální přístroj na měření náboje elektronu [5]

Millikan vzal v úvahu všechny síly, které na kapičky oleje působily, tzn. jejich hmotnost, sílu odporu vzduchu i sílu vyvolanou elektrickým polem. Když měřil dobu pádu kapiček mezi deskami, zjistil, že časy se kumulují do určitých

skupin, a to 15,45 s, 16,0 s, 21,85 s, 34,72 s a 85,0 s. Jakmile porovnal jejich převrácené hodnoty, tj. $0,0803 \text{ s}^{-1}$, $0,0625 \text{ s}^{-1}$, $0,04458 \text{ s}^{-1}$, $0,0288 \text{ s}^{-1}$ a $0,0118 \text{ s}^{-1}$, zjistil, že rozdíly mezi nimi jsou vždy stejné, a to $0,017 \text{ s}^{-1}$. Z toho usoudil, že jde zřejmě o skokové získávání náboje padající kapičkou. Pečlivým měřením získal Millikan hodnoty, které se lišily o pouhé jedno procento od v současnosti přijímané platné hodnoty $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}^{1)}$.

Velikost Planckovy konstanty

Druhou oblastí Millikanova fyzikálního zájmu byl fotoelektrický jev. Jeho podstata tkví ve vyražení elektronů z povrchu kovů dopadajícím světlem, přičemž množství uvolněných elektronů nezávisí na intenzitě světla, nýbrž na jeho frekvenci. Jev správně vysvětlil Albert Einstein v roce 1905, avšak součástí jeho teorie byla jistá fyzikální konstanta – dnes nazývaná Planckova. Právě jejímu měření se Millikan několik let věnoval. K rozhodujícímu pokusu došlo na půdě Ryersonovy fyzikální laboratoře na chicagské univerzitě. Velmi zručný mechanik ústavu Julius Parson k tomu účelu na Millikanův návrh vyrobil zařízení, jehož schéma je na obr. 6, o němž Millikan hovořil jako o „strojní dílně ve vakuu“.



Obr. 6: Millikanova měřicí aparatura („dílna ve vakuu“)

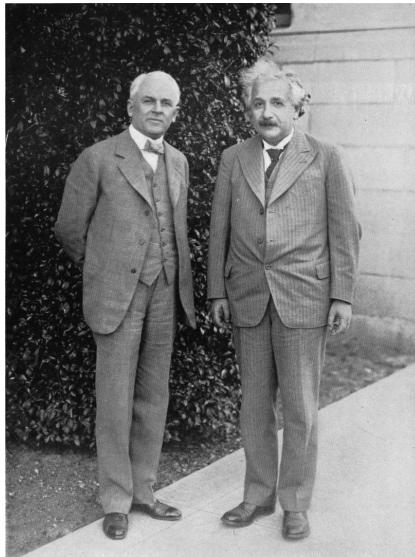
V dutině zbavené vzduchu byly umístěny tři vzorky kovů (sodík, draslík a lithium). Protože pro pokus musel být jejich povrch stále čistý, vzorky byly

¹⁾Dnes je uváděna velikost náboje elektronu $1,602\ 176\ 634 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Tato hodnota je také využita k definici základních jednotek.

nepřetržitě stírány nožem (na obrázku v části s pružinou). Na vzorky kovů dopadalo okénkem O monochromatické záření z křemenno-rtuťové výbojky, nastavitelné v rozmezí vlnových délek 240 nm až 540 nm (záření částečně z oboru ultrafialového i viditelného světla) a fotoelektrony byly zachycovány sběrnými válci B a C.²⁾

Rozpětí vlnových délek užitého záření Millikanovi umožnilo určit vztah mezi pohybovou energií elektronu a frekvencí světla s přesností asi 0,5 %. S využitím jím dříve nalezeného náboje elektronu mohl určit energii dopadajících elektronů a z toho velikost Planckovy konstanty $6,57 \cdot 10^{-34} \text{ Js}^3)$. Výsledky svých měření uvedl v roce 1916 v článku *Fotoelektrické určení Planckovy konstanty*.

Precizní Millikanova teoretická i technická práce na experimentech umožňujících nalezení velikosti dvou fundamentálních konstant byla v roce 1923 oceněna Nobelovou cenou za *jeho práci o elementárním elektrickém náboji i fotoelektrickém efektu*.



Obr. 7: Millikan a Albert Einstein v Kalifornském technologickém institutu, r. 1932 [5]

²⁾Pozn. redakce: Během svého působení na Caltechu Millikan snížil vlnovou délku až na 0,14 nm, tedy od UV přešel až k RTG záření.

³⁾Dnes uváděná hodnota Planckovy konstanty pro potřeby definice základních jednotek je $6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$.

Kosmické záření

Kosmické záření, jemuž je Země nepřetržitě vystavena, tvoří převážně jádra atomu vodíku, částečně i hélia. Tyto elektricky nabitě částice se pohybují rychlostí blízkou rychlosti světla a jejich velká pohybová energie jim umožňuje pronikat celou atmosférou až na povrch Země. Jedny z prvních výzkumů původně tajemného záření prováděl rakouský fyzik Viktor Hess (1883–1958). Po získání grantu Císařské akademie ve spolupráci s rakouským aeronautickým klubem vykonal několik balónových letů (jeden až do výšky 5 kilometrů) za měření dosud neznámého záření, které i na povrchu Země vybíjelo kondenzátory. Hess pro proud neznámých paprsků zavedl název *ultrazáření*⁴⁾.

Několik let po Hessově objevu Robert Millikan vyrobil elektroskop, který dokázal zachytit průběh měření na film, což umožnilo vypouštět nepilotované balóny, přirozeně do větších výšek. Robert Millikan a jeho kolega Ira Bowen (1898–1973) měřili takto ionizaci vzduchu až do výšky 15 km nad povrchem Země. Během deseti let balónových letů došlo k zásadnímu vývoji Millikanových názorů na toto záření. Nejprve se totiž domníval, že je původu zemského. Soustavnými měřeními však zjistil, že záření je poměrně složité – osahuje alfa částice, protony i neutrony a i záření gama a jeho intenzita roste se vzdáleností od povrchu Země. Byla tu tedy domněnka, že je jeho zdrojem Slunce. Ale měření v různých denních dobách – i v noci – potvrdila jeho mimosluneční původ. Pomocí vodotěsných elektroskopů ponořených do vysokohorských jezer Millikan zjišťoval energii tohoto záření, resp. míru jeho pohlcování vodou. Zjistil, že intenzita záření se ve vysokohorských jezerech projevuje asi čtyřikrát silněji než ve stejné hloubce pod hladinou na úrovni moře. Do vynalezení detektorů Hansem Geigrem (1882–1945) a Waltherem Müllerem (1905–1979) roku 1928 bylo měření pomocí elektroskopů jedinou metodou.

Robert Millikan se velmi zasloužil o rozvoj Kalifornského technologického institutu (obvykle označovaného jako Caltech), jehož správní radu vedl v letech 1921 až 1945, kdy odešel do důchodu. Zemřel 19. prosince 1953 na infarkt.

Literatura

- [1] Halton, G.: Millikanův zápas s teorií. *Československý časopis pro fyziku*, roč. 51 (2001), s. 130–131
- [2] Lipson, A.: *Veliké experimenty v fyzice*. Mir, Moskva, 1972.
- [3] Svoboda, E.: Nové definice základních jednotek SI. *Matematika-fyzika-informatika*, roč. 28 (2019), s. 190–201.
- [4] Jáchim, F.: Velký objev malé částice. *Rozhledy matematicko-fyzikální*, roč. 86 (2011), č. 2 s. 13–17.
- [5] https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Andrews_Millikan

⁴⁾Za objev tohoto záření obdržel v roce 1936 Nobelovu cenu.