

SEMINÁŘE Z FYZIKY

4. blok: Několik kroků do mikrosvěta

(duben–květen 2004)

Fyzika mikrosvěta je zvláštní disciplínou. Na rozdíl od ostatních fyzikálních partií, které jí ve školním učivu předcházejí a které většinou popisují svět naší každodenní zkušenosti (makrosvět), se totiž zabývá studiem chování a vlastností objektů, jež nelze vnímat lidskými smysly. Ani přímo, ani s pomocí jednoduchých přístrojů, jako je například lupa nebo optický mikroskop.

Máme-li se o čemkoli poctivě a zodpovědně vyjadřovat, musíme být schopni svoje tvrzení podepřít přesvědčivými argumenty. Příamá smyslová zkušenost s makrosvětlem, společná všem lidem, umožňuje při popisu a vysvětlování jevů, které v něm probíhají, dodat vyslovovaným závěrům věrohodnosti právě odkazem na ni. Její absence v případě mikrosvěta naopak vede k nezbytnosti spolehnout se jen na výsledky experimentů – mnohdy značně komplikovaných – a na základě jejich pečlivého kritického rozboru si postupně vytvářet představu o složení a struktuře smyslově nedostupného mikrosvěta a následně i o vlastnostech a chování mikroobjektů.

Základní otázkou a prvním krokem do mikrosvěta je tedy problém jeho struktury. Všichni jsme od útlého věku vychováváni v přesvědčení (nebo ve víře?), že

• LÁTKY SE SKLÁDAJÍ Z ATOMŮ.

Tento závěr však není nijak samozřejmý. Obvyklé konstatování, že to věděli již staří Řekové, kriticky uvažujícího člověka neuspokojí: že dělitelnost látek končí atomy starořeční filozofové nevěděli, nýbrž pouze předpokládali. A navíc jen někteří, zatímco jiní zastávali opačný názor. Ani případný – rovněž často užívaný – odkaz na moderní vyspělé experimentální techniky není vhodným argumentem, poněvadž už jenom vysvětlit princip činnosti těchto přístrojů, natož pak porozumět jejich údajům, je samo o sobě podstatně obtížnější než odpovědět na výchozí otázku. (Dlouhou historii vývoje představ o struktuře látek stručně popisuje pojednání *Atom – od hypotézy k jistotě*, které lze nalézt např. na adrese <http://www.physics.muni.cz/kof/clanky/atom.pdf>.)

Pokud již na existenci atomů přistoupíme – není bez zajímavosti připomenout, že přírodověda to bez výhrad udělala teprve před sto lety – máme před sebou další krok: podrobněji atomy popsat. Dnes všichni „víme“, že

• ATOMY MAJÍ VNITŘNÍ STRUKTURU.

Toto tvrzení se však diametrálně liší od názorů duchovních otců atomistické koncepce (Leukippos 500–450 př. n. l., Démokritos 460–370 př. n. l.), kteří atomy považovali za nejmenší – dále nedělitelné – stavební jednotky látek. Vlastnosti různých objektů našeho světa pak zdůvodňovali různým tvarem, velikostí, pohybem a spojováním vnitřně nestrukturovaných atomů. Ani zakladatel chemického atomismu John Dalton (1766–1844) o třiatdvacet století později o případné vnitřní struktuře atomů neuvažoval, když všechny svoje úvahy založil na hypotéze, že

základními stavebními jednotkami látek jsou atomy – nezničitelné a nestvořitelné – které jsou v chemických reakcích spojovány a rozlučovány.

První náznak, že se uvnitř atomů něco děje a že by tedy měly být strukturovanými objekty, přineslo ztotožnění optických spekter zahřátých zředěných plynů se spektry atomovými (tedy závěr, že elektromagnetické záření emitované zahřátými zředěnými plyny má původ uvnitř atomů), k němuž došlo ve druhé polovině devatenáctého století.

Mezníkem v nazírání na atom se stal objev přirozené radioaktivity (1896; Henri Becquerel 1852–1908) a zejména následné podrobné experimentální prozkoumání tohoto jevu (Ernest Rutherford 1871–1937). Z experimentálně zjištěné skutečnosti, že se během něj mění také chemické složení radioaktivních vzorků, vyplynulo, že v důsledku emise radioaktivního záření dochází k přeměně určitého prvku v jiný prvek (t.j. k proměně atomů určitého druhu v atomy jiného druhu) a že tedy atomy nejsou tak stálé a neměnné, jak se doposud věřilo.

Následující úvahy o atomech již spočívaly ve spekulacích o vnitřním ustrojení – tedy o stavbě – atomu. (Cesta k jednoznačným formulacím v dnešních učebnicích však byla ještě dlouhá a je v mnoha směrech poučná.) Všechny tyto představy měly – přes veškerou svoji rozdílnost – jeden společný rys. Každá z nich předpokládala, že součástí atomu jsou mikroobjekty objevené rok po objevu přirozené radioaktivity – *elektrony*.

Třebaže dnes najdeme všechny základní informace o elektronu v každých sebestručnějším fyzikálních tabulkách, situace vždy „takhle jasná“ nebyla. Nejprve byl

• ELEKTRON OBJEVEN JAKO ZÁPORNĚ NABITÝ MIKROOBJEKT S MIMOŘÁDNĚ VELKÝM MĚRNÝM NÁBOJEM (q/m).

Sám objev elektronu s úvahami o stavbě atomu nesouvisel. Byl vyústěním experimentálního studia elektrických výbojů v plynech, které započalo již v padesátých letech devatenáctého století. V té době zjistil sklář a vakuový technik Heinrich Geissler (1814–1879) pracující na univerzitě v Bonnu, že napětí přibližně 1000 V mezi elektrodami zatavenými ve skleněné trubici, v níž je tlak roven asi tisícině tlaku atmosférického, způsobí vznik zářící oblasti mezi nimi. Snížení tlaku přivedlo k rozšíření oblaku na celou trubici. Další snižování tlaku (Julius Plücker 1801–1868) pak mělo za následek vznik nového jevu: sílící světélkování stěn trubice – především v oblasti protilehlé záporné elektrodě; zářivé efekty uvnitř trubice při tom postupně slábly. Výsledkem tohoto experimentování byl závěr, že všechny tyto jevy způsobuje něco, co vystupuje ze záporné elektrody – katody (Plücker 1858).

V následujících letech byly vlastnosti *katodového záření*, jak bylo toto agens nazváno, intenzivně zkoumány řadou badatelů. Nejprve Plücker zjistil, že se paprsek katodového záření vychyluje v magnetickém poli a to na tutéž stranu, na niž by se vychyloval svazek záporně nabitých částic. William Crookes (1832–1919) v řadě experimentů konaných v šedesátých a sedmdesátých letech prokázal m.j. tepelné a mechanické účinky katodového záření a na základě všech těchto poznatků vyslovil hypotézu, že toto záření je proudem molekul zbytkového plynu v trubici, které nejprve dopadem na katodu získají záporný náboj a následně jsou od ní odpuzovány.

Tomuto závěru oponoval německý fyzik Heinrich Hertz (1857–1894), jenž se marně snažil odchýlit svazek katodového záření přiložením elektrického pole. Hertzův názor podporoval jeho krajan Philipp Lenard (1862–1947), který nejprve prokázal, že katodové záření má podstatně

větší pronikavost než by mohl mít jakýkoli molekulární svazek, a po té zjistil, že ani po dlouhodobém pronikání katodového záření do vyčerpané nádoby v ní nelze detekovat žádnou látku (plyn).

S definitivní platností o povaze katodového záření rozhodly experimenty Josepha Johna Thomsona (1856–1940), jemuž se – při dokonalejším vyčerpání trubice – podařilo odchýlit katodové paprsky i elektrickým polem. Na základě toho (a s odkazem na zmíněné Plückerovy a Crookesovy experimenty) vyslovil přesvědčení, že katodové záření je proudem stejných záporně nabitých částic, které roku 1897 podepřel experimentálním určením měrného náboje těchto korpuskulí

$$q/m \approx (-)10^{11} \text{ C kg}^{-1} . \quad (1)$$

Mimořádně pozoruhodné při tom bylo, že tato hodnota je tisíckrát větší než do té doby největší známý měrný náboj (měrný náboj vodíkového iontu zjištěný v elektrolytických experimentech $q_{\text{H}}/m_{\text{H}} = 9,6 \cdot 10^7 \text{ C kg}^{-1}$). Pro pojmenování korpuskulí katodového záření byl přijat již existující termín *elektron*, který byl do té doby používán k označení velikosti náboje vodíkového iontu ($q_{\text{H}} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; dnes je tato hodnota označována slovním spojením *elementární náboj*).

Z počátku byl tedy jedinou známou charakteristikou elektronu jeho měrný náboj (1), zatímco jeho celkový náboj a hmotnost známy nebyly. Z možností, které připadaly v úvahu

- elektron má náboj srovnatelný s nábojem vodíkového iontu ($|q| \approx q_{\text{H}}$) a asi tisíckrát menší hmotnost ($m \approx 0,001 m_{\text{H}}$),
- elektron má hmotnost srovnatelnou s hmotností vodíkového iontu ($m \approx m_{\text{H}}$) a asi tisíckrát větší náboj ($|q| \approx 1000 q_{\text{H}}$),
- elektron má jiné hodnoty hmotnosti ($m \not\approx m_{\text{H}}$) a náboje ($|q| \not\approx q_{\text{H}}$) slučitelné s experimentálním výsledkem (1),

byla vybrána – na základě prostých fyzikálních úvah opírajících se o experimentální poznatky zmiňované výše v tomto textu – první alternativa:

• ELEKTRON JE MIKROOBJEKT S (RELATIVNĚ) MALOU HMOTNOSTÍ NESOUCÍ ZÁPORNÝ NÁBOJ BĚŽNÉ VELIKOSTI.

(Přesvědčivé argumenty ve prospěch tohoto tvrzení se pokuste zformulovat sami!) Úplnou jistotu pak přineslo Thomsonovo přímé experimentální určení náboje elektronu q (pomocí nedávno /1896/ objeveného principu Wilsonovy mlžné komory) provedené v roce 1898. (Dnešní učebnicová literatura, např. Štoll I.: *Fyzika pro gymnázia – Fyzika mikrosvěta*. Prometheus, Praha 1993, odkazuje zpravidla na přesnější měření této veličiny realizované Robertem Andrewsem Millikanem (1868–1953), avšak až o dvanáct let později.)

Mnohonásobné opakování Thomsonova experimentu s trubicemi s katodami zhotovenými z různých materiálů, dřívější Edisonovy zkušenosti získané při práci na konstrukci žárovky (1879) a zjištění, že elektrony lze uvolnit z různých vodičů i jejich ozářením elektromagnetickým zářením (= fotoelektrický jev), přivedly k závěru, že

• VŠECHNY LÁTKY OBSAHUJÍ ELEKTRONY.

Ani doposud diskutované experimenty, ani zatím provedené úvahy nás ovšem neopravňují automaticky lokalizovat elektrony, jak jsme zvyklí, do nitra atomů. Možnosti se totiž nabízí dvě:

- látky se skládají z atomů (o nichž už se vědělo dříve) a elektronů (které byly nově objeveny),
- látky sestávají z atomů obsahujících elektrony.

„Jistěže“ vybereme druhou možnost:

• ELEKTRONY JSOU SOUČÁSTÍ ATOMŮ.

Ale na základě čeho? Zdůvodněte toto tvrzení! (Návod: Uvažte experimentální fakt, že plyn je za normálních podmínek izolantem, zatímco po zahřátí na vysokou teplotu nebo ozáření elektromagnetickým zářením dostatečně vysoké frekvence vede elektrický proud.)

Kromě elektronů nesoucích záporný náboj musí neutrální atom samozřejmě obsahovat stejně velký kompenzující kladný náboj. Přemýšlivý čtenář – poučen, a věřme, že i motivován, předcházejícím příběhem – se nyní snad již nespokojí s nazpaměť naučenými veršičky o atomovém jádru a jeho obalu, ale uvědomí si, že je zde opět nutné kvalifikovaně posoudit přinejmenším dvě alternativy:

- Atom obsahuje tisíce elektronů, jejichž celková hmotnost je rovna polovině jeho hmotnosti, a stejný počet analogických kladně nabitých mikroobjektů (hypotetických „kladných elektronů“), jejichž přítomnost přispívá ke hmotnosti atomu druhou polovinou a kompenzuje záporný náboj elektronů. (Poznamenejme, že tato eventualita je velmi lákavá svou symetričností.)

- **ATOM OBSAHUJE NEVELKÝ POČET ELEKTRONŮ A „KLADNÉ ZÁVAŽÍ“,** *které přesně kompenzuje jejich záporný náboj a rozhodujícím způsobem ovlivňuje hmotnost atomu.*

Pokuste se najít argumenty proti první a ve prospěch druhé možnosti!

Na tomto místě svoji krátkou exkurzi ukončíme. Obvyklé tvrzení o jádru a elektronovém obalu, shrnující současnou představu o prostorovém rozložení hmoty a náboje v atomu, je až jedním z dalších kroků do mikrosvěta. Sice bezprostředně následujícím, ale poměrně velkým a zdaleka ne samozřejmým. O tom však třeba až někdy příště.