De Broglieho hypotéza

Comptonův jev podal experimentální důkaz faktu, že foton (kvantum elektromagnetického záření), který byl považován za čistě vlnový jev, se chová zároveň také jako částice. Tím se vymyká z rámce běžných představ klasické makroskopické fyziky. V roce 1924 přišel francouzský fyzik Louis de Broglie (1892 - 1987, Nobelova cena v roce 1929) s velmi odvážnou myšlenkou, která se později ukázala být geniální: Jestliže se kvantum elektromagnetického záření chová jako částice, proč by se ostatní objekty mikrosvěta, které byly dosud považovány za částice v klasickém slova smyslu (elektron, neutron, proton, atomy, molekuly, ale i tělesa z nich vytvořená), nemohly chovat zároveň jako vlna?

L. de Broglie navrhl každé volně se pohybující částici, která má energii E a hybnost $\vec{p}$, přiřadit frekvenci a vlnovou délku analogickými vztahy, které platí pro fotony. To jsou sice částice s nulovou klidovou hmotností, ale podle de Broglieho hypotézy by měly platit i pro částice s nenulovou klidovou hmotností. Podle de Broglieho lze psát: $E = hf = mc^2$ a $p = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda} = mv$ Potom je možné psát: $f = \frac{E}{h} = \frac{mc^2}{h}$, $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$, kde v je velikost rychlosti pohybu částice a m je její klidová hmotnost.

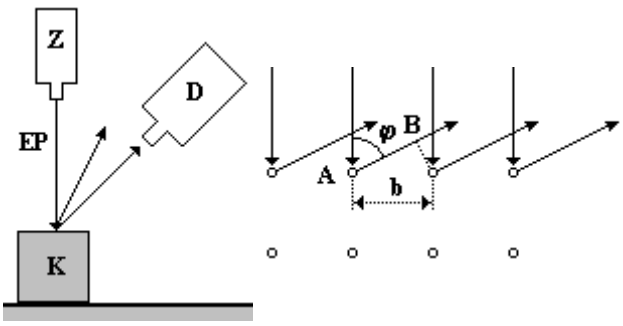
V případě, že se částice pohybuje rychlostí o velikosti blízké velikosti rychlosti světla ve vakuu, označuje m relativistickou hmotnost částice.

Určitá energie a hybnost charakterizují stav rovnoměrně přímočaře se pohybující částice, určitá frekvence a vlnová délka zase postupnou rovinou vlnu. Oba tyto pohyby, které de Broglie spojil právě uvedenými vztahy, jsou ale pouze ideální. Žádná částice ani vlna se nemůže pohybovat v nekonečném prostoru po nekonečnou dobu.

De Broglieho myšlenka byla dost fantastická a neopírala se o žádné experimenty. Nebylo také jasné, co má být vlastně podstatou de Broglieových vln, „co se vlastně vlní“ a jak jsou vlna a částice vzájemně spojeny. Většina fyziků proto nebrala jeho myšlenku vážně, pouze někteří (např. A. Einstein) si uvědomili její dosah a hloubku. Aby mohla být experimentálně potvrzena, bylo třeba ověřit, zda např. elektrony projevují takové vlastnosti jako je difrakce nebo interference.

První experimenty, které de Broglieho myšlenku potvrdily, provedli američtí experimentální fyzikové Clinton Joseph Davisson (1881 - 1958, Nobelova cena v roce 1937) s Lester Halbert Germer v USA a nezávisle na nich anglický fyzik George Paget Thomson (1872 - 1975, Nobelova cena v roce 1937, syn J. J. Thomsona) v Anglii v roce 1927.

V Davissonově - Germanově experimentu, který je schématicky znázorněn na obr. 18, dopadal svazek elektronů (elektronový paprsek EP) ze zdroje Z urychlený napětím několika desítek voltů na monokrystal niklu K a rozptýlené elektrony byly registrovány v závislosti na úhlu rozptylu φ detektorem D. Přitom byla pozorována interferenční maxima podobně jako při difrakci rentgenových elektromagnetických vln. Je-li b vzdálenost atomů v krystalu (mřížková konstanta), můžeme podmínku pro tato maxima psát ve tvaru: $|AB| = b \sin\varphi = k\lambda$, kde $k \in \mathbb{N}$ (viz obr. 19).



Obr. 18 Obr. 19

Urychlovací napětí *U* dodá elektronu s nábojem *e* kinetickou energii $E_k = \frac{1}{2} m_e v^2 = eU$ a elektron se tedy bude pohybovat rychlostí o velikosti $v = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}}$. Odpovídající vlnová délka de Broglieho vlny pak je $\lambda = \frac{h}{m_e v} = \frac{h}{\sqrt{2eUm_e}}$.

Uvedený vztah platí pro nerelativistické částice. Pohybuje-li se částice rychlostí, jejíž velikost je srovnatelná s velikostí rychlosti světla ve vakuu, je nutno použít vztah mezi energií a hybností vyplývající z teorie relativity a klidovou hmotnost částice nahradit její relativistickou hmotností.

Vlnová délka se při napětích v řádech desítek voltů pohybuje v řádu $10^{-10}\,\mathrm{m}$, což je délka srovnatelná s mřížkovou konstantou a vyhovující podmínce pro vznik interferenčního maxima. Davissonovy - Germanovy experimenty prokázaly, že se elektrony skutečně chovají jako vlny a umožnily určit jejich vlnovou délku (de Broglieho vlnová délka). Vzhledem k hodnotě vlnové délky elektronu bylo nutné použít jako „mřížku“ krystal, neboť začátkem 20. století nebylo možné vyrobit mřížku s takovou mřížkovou konstantou, která by byla srovnatelná s vlnovou délkou elektronu.

Tím byl dualismus částice - vlna (korpuskulárně vlnový dualismus) prokázán i pro částice. Proto je nutné si uvědomit, že pod pojmem *částice* se v mikrosvětě rozumí objekt, který vykazuje jak částicové vlastnosti, tak vlnové vlastnosti.

© Encyklopedie Fyziky (http://fyzika.jreichl.com); Jaroslav Reichl, Martin Všetička
Licence http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ zakazuje úpravy a komerční distribuci.