

Dualismul undă-corpusul

1. Ipoteza lui Louis de Broglie

În anii 1925-1926 a fost creată o teorie pentru descrierea fenomenelor atomice și subatomice, teorie care a primit numele de *mecanică cuantică*. Heisenberg a pus mai întâi bazele *mecanicii matriceale*, iar Shodinger a elaborat mai târziu *mecanica ondulatorie*. S-a demonstrat că ambele teorii sunt echivalente din punct de vedere fizic.

De Broglie a emis ipoteza că dualismul undă-corpusul observat în optică trebuie să fie valabil și pentru substanță. Ulterior această ipoteză a fost verificată experimental. De Broglie a presupus că unei particule care se mișcă în spațiu liber cu viteza v îi corespunde o undă plană monocromatică care se deplasează cu viteza v :

$$\psi = \psi_0 \cdot \exp[i \cdot (k \cdot r - \omega \cdot t)],$$

Despre semnificația fizică a acestei unde ψ , de Broglie nu a putut preciza nimic concret. Undele de tipul de mai sus se numesc unde de fază, unde de materie sau unde de Broglie.

Proprietățile corpusculare ale particulei sunt caracterizate de energia E și impulsul p , iar cele ondulatorii de pulsația ω și de vectorul de undă k . E reprezintă energia totală a particulei în sensul teoriei relativității. Ea se determină univoc, dacă impunem condiția ca faza undei să fie un invariant relativist. În acest caz, ω și k formează un vector cvadrdimensional. Dacă se impune condiția ca, componentele temporale și spațiale ale vectorilor cvadridimensionali $(E/c, p)$ și $(\omega/c, k)$ să fie proporționale între ele, atunci se obțin relațiile invariante relativist: $E = \frac{h}{2\pi} \cdot \omega$ (1a) și $p = \frac{h}{2\pi} \cdot k$ (1b). Ele coincid cu relațiile corespunzătoare pentru fotoni, dacă în relațiile (1), pentru toate particulele considerăm constanta lui Plank redusă. Acest lucru nu este obligatoriu dar este confirmat de rezultatele experimentale ulterioare.

Din relația (1b) se obține expresia de calcul pentru lungimea de undă a undei de Broglie: $\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{h}{p}$ (2). Viteza de fază a undelor de Broglie este egală cu: $v_f = \frac{\omega}{k} = \frac{E}{p}$ (3)

iar în teoria relativistă $E = m \cdot c^2$, $p = m \cdot v$ și viteza de fază este egală cu $v_f = \frac{c^2}{v}$ (4).

Deoarece întotdeauna $v \leq c$, rezultă că viteza de fază este mai mare decât c . Pentru fotonii aflați în vid $v = c$ și viteza de fază este egală cu $v_f = c$. În conformitate cu interpretarea din teoria modernă, viteza de fază a undelor de Broglie are o semnificație pur simbolică, deoarece această mărime aparține categoriei de mărimi fizice care nu pot fi observate experimental.

Mărima fizică ce se observă experimental este viteza de grup a undelor de Broglie: $v_{gr} = \frac{d\omega}{dk} = \frac{dE}{dp}$ (5). Această mărime nu conține nici o nedeterminare deoarece

atât dp cât și dE sunt unic determinate. Se obține pentru viteza de grup relația $v_{gr} = \frac{pc^2}{E} = \frac{mvc^2}{mc^2} = v$ (6). Din această relație se observă că viteza de grup a undelor de

Broglie este egală cu viteza particulei, iar din (4) și (6) se obține $v_f \cdot v_{gr} = c^2$ (7).

De Broglie a folosit reprezentarea particulei cu ajutorul undelor de materie pentru interpretarea regulii de cuantificare a lui Bohr. El a discutat o undă de materie care se deplasează în lungul orbitei circulare a electronului. Dacă pe orbita electronului raportul dintre lungimea cercului și lungimea de undă este un număr întreg, atunci după o rotație completă în jurul nucleului, unda se întoarce în punctul inițial cu aceleași fază și amplitudine (fig.1).

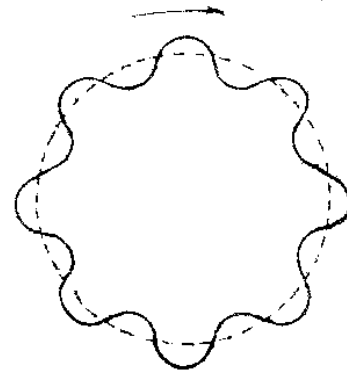


fig.1

În fiecare punct al orbitei se stabilește un regim de oscilație staționar și nu apare radiație. În acest caz, orbita electronului este staționară. Dacă nu se verifică condiția impusă, atunci la revenirea în punctul inițial faza și amplitudinea undei se modifcă și nu se mai obține un regim staționar. Conform acestei explicații rezultă că $\frac{2\pi r}{\lambda} = n, n \in N$ (8). Având în vedere relația (2) se obține:

$$2\pi r \cdot \frac{p}{h} = n \Rightarrow r \cdot p = n \cdot \left(\frac{h}{2\pi}\right) \Rightarrow L = n \cdot \left(\frac{h}{2\pi}\right) \quad (9).$$

Ulterior relația (8) a fost generalizată și pentru cazul orbitelor eliptice, când lungimea de undă se modifică în lungul traiectoriei electronului.

Cele prezentate mai sus reprezintă o construcție ipotetică și, din această cauză, nu are caracter de demonstrație. Demonstrația acestor ipoteze poate fi obținută numai experimental.

2. Demonstrație experimentală a ipotezei lui Broglie

Efectuând experiențe privind împrăștierea electronilor pe foițe metalice subțiri, Davisson și Kersman au observat o dependență a intensității fasciculului de electroni împrăștiați în funcție de unghiul de împrăștiere în care apăreau maxime și minime (fig.2a). În una din experiențe placa de nichel s-a oxidat. După o călire îndelungată a plăcii în vid și atmosferă de hidrogen a avut loc o recristalizare. La repetarea experienței dependența intensității fasciculului de electroni împrăștiați în funcție de unghiul de împrăștiere s-a modificat semnificativ (fig.2b). Apariția maximelor și minimelor pe aceste diagrame a rămas mult timp neînțeleasă, până în momentul în care au fost interpretate ca rezultat al interferenței

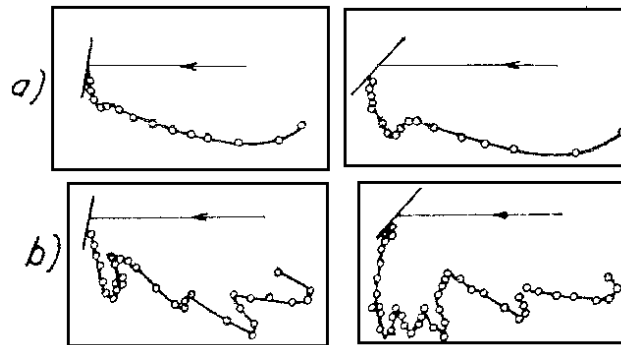


fig.1

undelor Broglie reflectate de planele cristaline mari, care s-au format în urma recristalizării.

Alte verificări experimentale au fost efectuate de Davisson și Germer care au folosit metoda de difracție Bragg (fig.3):

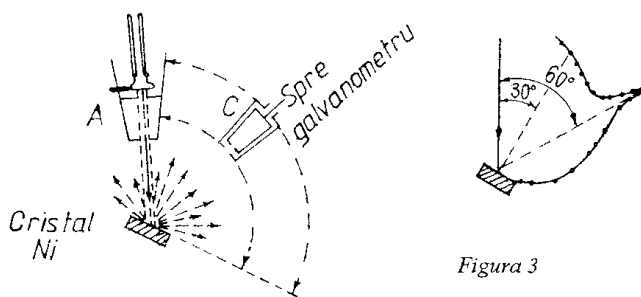


Figura 3