Cap. 41 - Serway - mecânica quântica

Embora a noção de quantização admitida por Bohr seja correta, o modelo de Bohr tem severas limitações. Por ex, não explica os espectros dos átomos complexos, nem prevê detalhes como as variações das intensidades das linhas espectrais e a divisão de certas raias espectrais quando em condições particulares controladas em laboratório; o modelo também não explica como os átomos interagem mutuamente e como estas interações afetam as propriedades físicas e químicas da matéria.

mecânica quântica (ou mecânica ondulatória) → desenvolvida entre 1925 e 1926 por Schrödinger, Heisenberg e outros

41.1 - Fótons e ondas eletromagnéticas

A explicação de fenômenos como o efeito fotoelétrico e o efeito Compton contribui c/ indícios convincentes a favor do conceito corpuscular (fótons) da luz ⇒ luz ao interagir c/ a matéria comporta-se como constituída por partículas de energia $h\nu$ e momento $\frac{h}{\lambda}$. Como pode a luz ser considerada 1 fóton se ela exibe propriedades ondulatórias?

interferência e difração

A luz é onda ou partícula?

A resposta depende do fenômeno particular que se observa. Devemos aceitar os 2 modelos e admitir que a verdadeira natureza da luz não pode ser descrita mediante 1 único modelo clássico. Porém é importante reconhecer que o mesmo feixe de luz que pode ejetar fotoelétrons de 1 metal também pode ser difratado por 1 rede. A teoria dos fótons e a teoria ondulatória da luz complementam-se mutuamente.

A mecânica quântica atribui à luz uma natureza + fluida e + flexível do que 1 simples analogia clássica sobre "colisões de bolas de bilhar" ou "ondas que se quebram na praia", exigindo que o modelo corpuscular e o modelo ondulatório da luz sejam necessários e complementares.

Todas as formas de radiação eletromagnética podem ser descritas a partir de 2 pontos de vista. Num extremo as ondas e.m. descrevem uma figura de interferência global formada por 1 grande número de fótons (ondas c/ baixa freqüência => pequena energia => receptor de rádio (por ex) precisa de 1 nº muito grande de fótons p/ provocar sinal perceptível o que praticamente inviabiliza a manifestação corpuscular!). No outro extremo, a descrição do fóton é natural ao tratarmos de fótons de energia muito alta com λ muito curto (ex. absorção de R-X).

Por isso, a luz tem uma dupla natureza: exibe características ondulatórias e características corpusculares.

41.2 - As propriedades ondulatórias das Partículas

Mais desconcertante ainda é o fato de, sob certas circunstâncias, partículas como os e^- também evidenciarem características ondulatórias.

Louis V. de Broglie (1923) postulou que: "em virtude de os fótons terem características ondulatórias e corpusculares, talvez todas as formas de matéria tenham propriedades ondulatórias e também corpusculares." → é ideia revolucionária sem confirmação experimental na época!!!

~~Conforme~~

Conforme De Broglie, os e^- tem também 1 natureza dupla de partícula e onda; acompanhando cada e^- havia 1 onda (não uma onda eletromagnética!) que guiava ou "pilotava" os e^- através do espaço.

→ ler discurso de De Broglie prêmio nobel 1929.

pg 56

Vimos na T.R que a relação entre a energia e o momento de 1 fóton, que tem massa de repouso nula, é $\boxed{p = \frac{E}{c}}$ e

que a energia de 1 fóton é:

$$\boxed{E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}} \quad (41.1)$$

Então, o momento do fóton é:

$$\boxed{p = \frac{E}{c} = \frac{hc}{c\lambda} = \frac{h}{\lambda}} \quad (41.2)$$

Vemos assim, que o comp. de onda do fóton pode ser calculado pelo seu momento $\lambda = \frac{h}{p}$. De Broglie sugeriu que:

as partículas materiais de momento $\underline{p}$ devem também ter propriedades ondulatórias e 1 comp. de onda determinado.

Uma vez que o momento de 1 partícula de massa $\underline{m}$ e veloc. $\underline{v}$ é $p = mv$, o comp. de onda de de Broglie da partícula é:

$$\boxed{\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}} \quad (41.3)$$

Além disso, em analogia c/o fóton, de Broglie postulou que as frequências das ondas de matéria (ondas associadas a partículas de massa de repouso ~~não nula~~)

obedecem à relação de Einstein $E = h\nu$, de forma que:

$$\boxed{\nu = \frac{E}{h}} \quad (43.4)$$

A dupla natureza da matéria é evidente nestas 2 equações, isto é, cada eq. contém 1 conceito corpuscular (mv e E) e 1 conceito ondulatório (λ e ν). O fato de estas relações estarem experimentalmente estabelecidas para os fótons torna muito + fácil a aceitação da hipótese de de Broglie.

— — — — — — — — — — — — — — —

De Broglie percebeu que as teorias ondulatória da matéria resolve elegantemente o problema das órbitas de Bohr (porquê certas energias (e porquê as prop. físicas dos átomos de 1 elemento não varia c/a infinita variedade de velocidades e posições iniciais dos e^- em cada átomo?)) mediante a interferência.

Como foi visto anteriormente, uma corda de guitarra dedilhada, apesar de estar inicialmente sujeita a 1 ampla diversidade de ds, no estado inicial, só suportará continuamente ondas estacionárias que tenham nodos em cada ponta da corda. Qualquer vibração livre da corda é constituída pela superposição de diversas ondas estacionárias. O mesmo raciocínio pode ser aplicado a ondas de matéria do e^- que descreve 1 círculo em torno de 1 núcleo. Todos os estados possíveis do ~~núcleo~~ $\bar{e}$ são ondas estacionárias, cada qual com seu λ, ν e E. As figuras das ondas estacionárias remanescentes explicam portanto a identidade da natureza de todos os átomos de 1 mesmo elemento e mostram que os átomos se assemelham muito + ao corpo de 1 tambor c/ modos discretos de vibração que a sistemas solares em miniatura (105)

→ fig 41.1 = onda estacionária do $\bar{e}$ num átomo de H c/ n=3 (Bohr)

Para explicar a quantização de Bohr do momento angular, basta admitir que as órbitas permitidas do modelo de Bohr aparecem em virtude de as ondas de matéria dos $\bar{e}$ constituírem ondas estacionárias quando 1 nº inteiro de λs se ajustam exatamente à circunferência de 1 órbita. Então:

$$\boxed{n\lambda = 2\pi r}$$

→ raio da órbita.

Como $\lambda = \frac{h}{mv}$ $\Rightarrow$ $n\frac{h}{mv} = 2\pi r$ ou:

$$\boxed{mvr = n\hbar}$$ → quantização do momento angular de Bohr!

Note que impusemos assim 1 cond. de contorno p/ as ondas estacionárias e que elas tem frequências discretas correspondentes aos λs permitidos.

Se $n\lambda \neq 2\pi r$, não é possível que se forme 1 figura de onda estacionária sobre a órbita circular fechada (fig 41.1).

Também, como $\nu = \frac{E}{h}$ vemos que a condição de onda estacionária acarreta a quantização das energias.

Experiência de Davisson - Germer

3 anos depois da proposta de De Broglie, em 1927, C. J. Davisson e L.H. Germer, conseguiram medir o λ dos e^-, confirmando De Broglie

$\Downarrow$

= difração de e^- espalhados por alvos de monocristais.

No mesmo ano G. P. Thomson observou figuras de difração do e^- fazendo passar 1 feixe de e^- através de películas delgadas de Au.

exemplos pg ~~40~~ 58