

Lượng tử ánh sáng

30 HIỆN TƯỢNG QUANG ĐIỆN THUYẾT LƯỢNG TỬ ÁNH SÁNG

I – MỤC TIÊU

- Trình bày được thí nghiệm Héc về hiện tượng quang điện và nêu được định nghĩa hiện tượng quang điện.
- Phát biểu được định luật về giới hạn quang điện.
- Phát biểu được giả thuyết Plăng và viết được biểu thức về lượng tử năng lượng.
- Phát biểu được thuyết lượng tử ánh sáng và nêu được những đặc điểm của photon.
- Vận dụng được thuyết photon để giải thích định luật về giới hạn quang điện.
- Nêu được lưỡng tính sóng – hạt của ánh sáng.

II – CHUẨN BỊ

Giáo viên

- Nếu có bộ thí nghiệm chứng minh về hiện tượng quang điện thì nên chuẩn bị cho nó hoạt động.
- Nếu có thể, chuẩn bị một số câu chuyện vui về sự ra đời của thuyết lượng tử, chẳng hạn như thái độ của các nhà khoa học thời bấy giờ trước ý kiến có tính chất táo bạo của Plăng về sự gián đoạn của năng lượng...

III – THÔNG TIN BỔ SUNG

1. Trong tương tác của photon với các electron dẫn trong kim loại, có thể xảy ra hai hiện tượng : hiện tượng quang điện và hiệu ứng Com-pton. Trong hiện tượng quang điện, năng lượng của photon chỉ lớn hơn công thoát của electron một chút.

Trong hiệu ứng Com-pton, năng lượng của photon rất lớn so với công thoát, nên ta bỏ qua công thoát.

2. Ta đã biết cấu trúc của một thuyết vật lý gồm có : cơ sở (thực nghiệm, lí thuyết, triết học...) của thuyết, hạt nhân của thuyết (tư tưởng cơ bản, mô hình lí thuyết, hằng số cơ bản, phương trình cơ bản...) và các hệ quả của thuyết (các lớp hiện tượng nằm trong phạm vi ứng dụng của thuyết, các thuyết con, những tiên đoán...).

Cơ sở thực nghiệm của thuyết lượng tử, thực ra là những nghiên cứu lí thuyết và thực nghiệm về sự bức xạ nhiệt. Những nghiên cứu này đã dẫn đến một mâu thuẫn giữa lí thuyết và thực nghiệm mà người ta gọi là sự "khủng hoảng tử ngoại". Còn việc giải thích thành công các định luật quang điện chỉ là một hệ quả quan trọng của thuyết lượng tử. Tuy nhiên, việc trình bày những vấn đề về sự bức xạ nhiệt vượt ra ngoài yêu cầu của chương trình Vật lí THPT. Do đó, ta đã lấy những định luật thực nghiệm về hiện tượng quang điện làm cơ sở thực nghiệm để dẫn đến thuyết lượng tử.

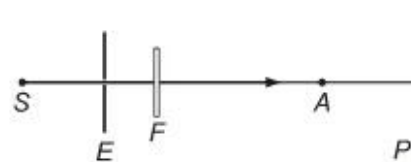
3. Trong phạm vi thuyết lượng tử ánh sáng, ta hiểu sự thống nhất giữa tính chất sóng và tính chất hạt của ánh sáng như thế nào ?

Trước hết, bản chất ánh sáng là bản chất điện từ. Trường sáng là điện từ trường. Điện từ trường vừa có tính chất sóng, vừa có tính chất hạt (lượng tử). Vậy trường sáng có cấu trúc như thế nào để nó thoả mãn đồng thời cả hai tính chất nói trên ?

Các thí nghiệm nhiễu xạ ánh sáng cho thấy : Muốn có ảnh nhiễu xạ, sóng ánh sáng phải đồng thời có mặt tại nhiều điểm cách xa nhau trong không gian. Ngược lại, photon chỉ có thể định xứ tại một miền hẹp trong không gian.

Người ta đã làm nhiều thí nghiệm có tính chất quyết định để xem ánh sáng thực sự là sóng hay hạt. Ví dụ : Tay-lo (Taylor) cho một chùm sáng rất yếu nhiễu xạ qua một cái kim *A* (Hình 30.1). Chùm sáng được làm yếu đến mức xác suất để cho hai photon cùng gặp kim *A* rất nhỏ.

Sau một thời gian chụp ảnh rất lâu, trên kính ảnh người ta vẫn thu được một ảnh nhiễu xạ của kim *A*, giống hệt như ảnh nhiễu xạ khi ta dùng một chùm sáng mạnh và chụp ảnh trong thời gian ngắn. Như vậy, hiệu ứng do một số lớn photon gây ra, hạt nọ sau hạt kia, trong một thời gian dài cũng đồng nhất với hiệu ứng do



S : nguồn sáng ; E : màn chắn có lỗ nhỏ
F : kính lọc sắc ; A : cái kim ; P : kính ảnh

Hình 30.1

một số lớn photon gây ra đồng thời. Điều đó chứng tỏ từng photon một cũng biểu lộ tính chất sóng.

Những thí nghiệm tương tự như trên cho ta cách giải thích xác suất về lưỡng tính sóng – hạt của ánh sáng : Năng lượng tại một điểm tỉ lệ với số photon đồng thời tỉ lệ với bình phương của biên độ sóng tại đó. Nói khác đi, bình phương của biên độ sóng xác định xác suất phân bố photon trong không gian. Vậy sóng này là sóng điện từ hay "sóng xác suất" ?

Để trả lời câu hỏi này, ta xét sự phát sáng của một nguyên tử.

Theo điện động lực học, mỗi nguyên tử phát ra ánh sáng coi như một lưỡng cực phát xạ. Mỗi lần phát xạ, nguyên tử phát ra một đoàn sóng điện từ (H. 30.2). Đó là một xung sóng điện từ có dạng rất gần tuần hoàn, chứa tới hàng vạn chu kỳ.



Hình 30.2

Theo thuyết lượng tử, mỗi lần phát xạ thì nguyên tử phóng ra một photon. Như vậy mỗi photon ứng với một đoàn sóng điện từ.

Theo phương pháp phân tích Fu-ri-ê (Fourier), đoàn sóng này có thể phân tích thành một tập hợp của một số rất lớn các sóng đơn sắc tuần hoàn vô hạn trong không gian và thời gian, có tần số nằm trong khoảng từ $f - df$ đến $f + df$. Tập hợp các sóng này tạo thành một bó sóng theo cơ học lượng tử. Như vậy, bó sóng là sự mô tả đoàn sóng theo tần số. Vận tốc của bó sóng là vận tốc nhóm, là vận tốc truyền năng lượng và cũng chính là vận tốc của photon. Trong chân không thì không có sự tán sắc, vận tốc nhóm của sóng điện từ bằng vận tốc pha và bằng c . Trong các môi trường vật chất thì có sự tán sắc và vận tốc nhóm nhỏ hơn vận tốc pha (vận tốc của photon nhỏ hơn c).

Như vậy photon ứng với một sóng điện từ không tuyệt đối đơn sắc. Điều đó ứng với hiện tượng bất kỳ một ánh sáng đơn sắc nào cũng cho một vạch quang phổ có một bề rộng nhất định. Bề rộng nhỏ nhất của vạch quang phổ gọi là bề rộng tự nhiên của vạch quang phổ. Bề rộng tự nhiên $2df$ của vạch quang phổ liên hệ với thời gian sống τ của nguyên tử trong trạng thái kích thích bởi hệ thức bất định Hai-xen-béc (Heisenberg) :

$$dE \tau = h$$

$$hf = E - E_0 \Rightarrow hdf = dE \Rightarrow df = \frac{1}{\tau}$$

$$2df = \frac{2}{\tau}$$

Nếu tính theo bước sóng :

$$\lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow |d\lambda| = c \frac{df}{f^2} \Rightarrow df = c \frac{d\lambda}{\lambda^2}$$

Vậy : $2d\lambda = \frac{2\lambda^2}{c\tau}$

Vạch càng đơn sắc, df càng nhỏ, thời gian sống τ càng dài và đoàn sóng càng chứa nhiều dao động. Nói khác đi, bó sóng càng "hẹp" thì đoàn sóng càng "dài" và sóng càng đơn sắc.

Ví dụ : Vạch quang phổ đỏ 6 000Å có bề rộng tự nhiên 0,01Å sẽ ứng với đoàn sóng chứa chừng 600 000 chu kì dao động.

Ta đã nói về sự thống nhất giữa đoàn sóng điện từ và photon. Tuy nhiên, còn nhiều vấn đề chưa rõ ; chẳng hạn như tại sao, trong hiện tượng quang điện, mỗi photon lại chỉ tương tác được với một electron ? Trong hiện tượng nhiễu xạ, mỗi đoàn sóng điện từ có bị phân chia ra không ? Nếu đoàn sóng bị phân chia thì photon ứng với đoàn sóng sẽ ra sao ?... Vì vậy mà, cho đến cuối đời mình, Anh-xtanh vẫn còn viết : "Cho đến nay, tôi vẫn còn nghĩ xem ánh sáng là gì ?".

4. Những nội dung có thể tổ chức cho hoạt động tự lực chiếm lĩnh kiến thức : vận dụng thuyết lượng tử để giải thích định luật về giới hạn quang điện.

IV – GỢI Ý VỀ PHƯƠNG PHÁP VÀ TỔ CHỨC HOẠT ĐỘNG DẠY HỌC

Bài này dạy trong 1 tiết.

1. Hiện tượng quang điện

Vì bài tương đối dài, nên GV sẽ giảng mục này và chỉ yêu cầu HS phát biểu lại định nghĩa về hiện tượng quang điện.

2. Định luật về giới hạn quang điện

GV giảng giải. Sau đó yêu cầu HS nhắc lại định luật và phân tích tại sao định luật này lại mâu thuẫn với thuyết điện từ ánh sáng.

3. Thuyết lượng tử ánh sáng

GV có thể giảng phần nói về các thuyết. Phần vận dụng thuyết để giải thích định luật về giới hạn quang điện có thể cho HS đọc SGK rồi trình bày lại.

Về thuyết lượng tử, có tác giả viết : Năng lượng bức xạ được phát ra hay hấp thụ bởi nguyên tử hay phân tử không thể có các giá trị tùy ý mà chỉ có các giá trị

là bội số nguyên của một năng lượng nguyên tố, gọi là lượng tử năng lượng. Nếu bức xạ có tần số f thì lượng tử năng lượng có giá trị bằng $\varepsilon = hf$.

Viết như thế không được vì ba lí do.

Thứ nhất, chỉ có một dòng ánh sáng đơn sắc thì năng lượng của nó mới bằng một bội số nguyên hf . Điều này không thấy nói đến.

Thứ hai, làm gì có năng lượng nguyên tố (tương tự như điện tích nguyên tố). Vì f có thể có giá trị nhỏ tùy ý.

Thứ ba, phát biểu như trên làm cho HS ngộ nhận là mỗi lần một nguyên tử phát xạ hay hấp thụ năng lượng, nó có thể đồng thời phát ra hay thu nhận một loạt photon. Điều này thì hoàn toàn sai.

Vì vậy, ta phải phát biểu về nội dung của thuyết lượng tử của Plăng như trong SGK Vật lí 12.

4. Luồng tính sóng – hạt của ánh sáng

GV thuyết giảng.

V – TRẢ LỜI CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

C1. Nếu làm thí nghiệm với tấm kẽm tích điện dương thì vẫn xảy ra hiện tượng quang điện. Tuy nhiên, vì các electron bị ánh sáng làm bật ra lại bị tấm kẽm hút trở lại ngay, nên điện tích tấm kẽm vẫn không bị thay đổi. Do đó góc lệch của kim tĩnh điện kế cũng không bị thay đổi.

C2. Quan niệm thông thường về sự phát xạ và hấp thụ năng lượng trao đổi có thể nhỏ bao nhiêu cũng được. Quan niệm của Plăng là : lượng năng lượng trao đổi phải là một bội số của hf .

1. Nêu được ý đầu tiên của mục I.1 SGK.

2. Nêu được ý chính của mục I.2 SGK.

3. Phát biểu được nội dung đoạn in nghiêng của mục II SGK.

4. Phát biểu được nội dung đoạn in nghiêng của mục III.1 SGK.

5. Trả lời được ý nêu trong mục III.2 SGK.

6. Nêu được 4 ý a, b, c và d của mục III.3 SGK.

7. Photon là một lượng tử năng lượng của dòng ánh sáng. Nó coi như một hạt ánh sáng.

8. Giải thích như mục III.4 SGK. Trong đó, nhấn mạnh các ý :

– Mỗi photon bị hấp thụ sẽ truyền hoàn toàn năng lượng của nó cho một electron.

– Muốn electron được giải phóng thì năng lượng mà nó nhận được từ photon phải có độ lớn ít nhất là bằng hoặc lớn hơn công thoát của electron khỏi kim loại.

9. D.

10. D.

11. A.

12. $\varepsilon = hf = \frac{hc}{\lambda}$; $\varepsilon_d = 26,5 \cdot 10^{-20} \text{ J}$; $\varepsilon_v = 36,14 \cdot 10^{-20} \text{ J}$.

13. $hf_0 = \frac{hc}{\lambda_0} = A$; $A = 56,78 \cdot 10^{-20} \text{ J} = 3,55 \text{ eV}$.