

CẤU TRÚC CỦA PHOTON

Vũ Huy Toàn

Công ty cổ phần CONINCO Máy xây dựng và Công trình công nghiệp
4 Tôn Thất Tùng, Hà Nội, Việt Nam. Email: vuhuytoan@conincomi.vn

Tóm tắt. Cho đến nay, photon được coi là một hạt cơ bản có kích thước - bằng bước sóng của nó, tức là có thể rất lớn: tới hàng trăm, hàng ngàn km, nhưng cấu trúc của nó lại chưa bao giờ được bàn đến? Như thế phải chăng là sự thiếu lành mạnh?

Bằng một cách tiếp cận khác tới bản chất của hiện tượng quán tính từ quan điểm “tồn tại phụ thuộc lẫn nhau” - đó là do tương tác của trường lực thế giữa các vật với nhau gây nên, tác giả đã phát hiện ra rằng “khối lượng hấp dẫn” và “khối lượng quán tính” không phải lúc nào cũng bằng nhau, mà tùy thuộc vào dạng tương tác mà vật tham gia: hấp dẫn, điện từ hay hạt nhân. Với giả thiết electron và positron là các hạt thật sự cơ bản, không có tương tác hấp dẫn mà chỉ có tương tác điện, tác giả đã đưa ra dự đoán về một cấu trúc khá dẽ của photon.

Trên cơ sở cấu trúc của photon được đề xuất này, có thể lý giải được tất các tính chất của nó, cũng như các mối quan hệ giữa nó với các dạng vật chất khác. Điều đáng nói là với cấu trúc này của photon cùng với “nguyên lý tác động tối thiểu”, chúng ta hoàn toàn thoát khỏi lưỡng tính sóng-hạt, thoát khỏi nghịch lý về khả năng của electron bức xạ hay hấp thụ photon một cách gương ép, phi logic. Không những thế nó còn mở ra khả năng thống nhất không chỉ tương tác hấp dẫn, mà còn cả các tương tác hạt nhân với tương tác điện, xét từ bản chất vật lý của chúng, chứ không phải thống nhất theo hình thức luận toán học mô tả chúng.

Từ khoá: Photon, cấu trúc của photon, lưỡng tính sóng-hạt.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cấu trúc của các hạt được coi là cơ bản thường không được bàn đến với lý do trong lý thuyết phải chấp nhận chúng là các hạt không có kích thước, bởi nếu có kích thước thì sẽ giải thích ra sao về sự phân bố điện tích của chúng, khi mà bản thân chúng chỉ có điện tích cơ bản: hoặc (+1), hoặc (-1)? Tuy nhiên, photon lại được coi là một hạt cơ bản có kích thước - bằng bước sóng của nó: một hạt photon có bước sóng bằng λ thì không có cách gì chui qua được một lỗ có đường kính $< \lambda/2$. Nhưng như thế có nghĩa là kích thước của photon có thể so sánh được với kích thước của các vật thể vĩ mô, thậm chí có thể rất lớn: tới hàng trăm, hàng ngàn km. Nhưng một vật thể lớn đến như vậy mà cấu trúc của nó lại không bao giờ được bàn đến thì thật là một điều kỳ lạ?

Bên cạnh đó, còn phải nói tới “lưỡng tính sóng-hạt” là một trong những điểm nhức nhối nhất của vật lý từ thời Newton cho đến nay. Mặc dù đã nhắm mắt chấp nhận nó như một “thuộc tính” kỳ dị của vật chất dạng “trời sinh ra thế” để xây dựng cơ học lượng tử, song cũng từ đây lại có quá nhiều “thuộc tính” kỳ dị mới lại được nảy sinh, khiến không ít nhà vật lý tỏ ra băn khoăn, nhưng không có cách gì tìm ra được lối thoát. Bản thân Einstein cũng đã từng hoài nghi: “Chúa không chơi xúc sắc” và không tin vào tính đầy đủ như một lý thuyết của nó [1].

Tuy nhiên, cũng phải lường trước một thực tế là để giải quyết được vấn đề vốn đã tồn đọng hàng thế kỷ này của vật lý học, cần phải vượt qua được các lối mòn trong tư duy, đối mặt với các giáo điều vốn ăn sâu bám rễ một cách dai dẳng trong nhận thức của nhiều thế hệ, chứ không chỉ đơn thuần là giải một bài toán thuần túy vật lý. Chính vì vậy, phương pháp luận của tư duy phải là cái cần được đặt lên hàng đầu. Những hiện tượng tự nhiên đã được ghi nhận cần phải được tuyệt đối tôn trọng; chính chúng mới là bằng chứng chứ không phải là sự giải thích các hiện tượng đó theo cách nhìn của ai đó. Hiện

tượng vật lý là cái cần được giải thích, cần được nhận thức, chứ không phải là cái do chúng ta tạo ra, cho dù là xuất phát từ trí tưởng tượng hay từ các phương trình toán học.

Thêm nữa, thế giới tự nhiên vốn là thống nhất, nên tất cả những giả thuyết được nêu ra nhằm xây dựng mô hình cấu trúc của photon cũng phải thống nhất với hệ thống tự nhiên ấy. Nó không chỉ giải thích được những hiện tượng đã có, giải thích được sự tồn tại của các lý thuyết hiện có về chúng, mà còn phải đưa ra được tiên đoán về những hiệu ứng mà chưa từng được phát hiện. Đây cũng chính là mục đích của công trình này.

II. NHỮNG CĂN CỨ THỰC NGHIỆM CƠ BẢN

Để biết được những hạt nào là ứng cử viên thì cần phải căn cứ vào các thí nghiệm về sự hình thành, cũng như phân rã photon giống như người ta đã làm với proton, neutron... Các thí nghiệm này thực ra đã được tiến hành từ rất lâu [2,3].

2.1. Sự phân rã photon

Trong điện trường mạnh gần hạt nhân nguyên tử, hạt γ có thể bị phân rã thành hai hạt cơ bản là electron và positron – hiện tượng "sinh hạt" như người ta thường nói. Điều đáng ghi nhận ở đây là không hề có bất kể hạt nào khác được sinh ra, ngoài hai hạt cơ bản này.

2.2. Sự sinh hạt photon

Khi cho hai hạt electron và positron va chạm nhau, người ta lại nhận được hạt photon, còn gọi là hiện tượng "huỷ hạt", và cũng không hề có bất kể loại hạt nào khác được sinh ra.

Việc cho rằng phải sinh ra photon thứ hai chuyển động ngược chiều chỉ là xuất phát từ định luật bảo toàn xung lượng, và hơn thế nữa, lại chỉ xem xét quá trình va chạm này một cách độc lập với môi trường xung quanh vốn luôn tràn ngập photon ở rất nhiều bước sóng khác nhau, mà không có cách gì loại trừ chúng đi được. Kết quả là việc sinh ra một photon theo hướng ngược lại không phải có nguồn gốc từ hai hạt electron và positron đó, mà là hệ quả của sự va chạm giữa chúng với một photon nào đó của môi trường theo hướng ấy vào thời điểm photon chính được hình thành.

2.3. Photon trong trường tĩnh điện và từ trường

Trong nhiều thí nghiệm, photon tỏ ra là một hạt trung hoà về điện; nó không bị lệch đi trong điện trường cũng như từ trường. Nhưng trong những thí nghiệm khác, nó vẫn tương tác với điện tử và các hạt mang điện khác trong phạm vi nguyên tử như hiệu ứng quang điện, các bức xạ của vật bị nung nóng... Điều này chứng tỏ photon cũng có bản chất điện, bởi tương tác được với điện tích tất cũng phải tích điện.

2.4. Photon trong trường hấp dẫn

Việc tia sáng bị bẻ cong khi đi ngang qua các thiên thể có khối lượng hấp dẫn lớn là một thực tế đã được khẳng định chắc chắn từ những quan sát trực tiếp bằng kính thiên văn, như sự lệch tia sáng đi ngang qua Mặt trời vào thời điểm nhật thực và hiện tượng thấu kính hấp dẫn.

Việc giải thích các hiện tượng này dù dưới dạng nào thì có một thực tế không thể phủ nhận là ánh sáng chịu tác động của trường hấp dẫn. Nhưng tác động luôn luôn là hai chiều: tác động-phản tác động. Có nghĩa là bản thân ánh sáng cũng phải có tác động vào trường hấp dẫn, tức là nó cũng phải có tương tác hấp dẫn. Bên cạnh đó, Tốc độ chuyển

động của photon trong chân không tuy rất lớn, nhưng rõ ràng không phải là vô hạn. Sự hữu hạn này đã nói lên rằng photon có khối lượng quán tính trong trường hấp dẫn, cho dù nó không có khối lượng quán tính trong trường điện từ.

Trường hấp dẫn tồn tại khắp mọi nơi, kể cả trong chân không đã làm tiêu hao năng lượng của các vật thể chuyển động trong nó, mà photon cũng không phải là ngoại lệ. Tuy nhiên, việc làm tiêu hao năng lượng của các vật thể chuyển động thể hiện qua sự giảm tốc độ chuyển động của các vật thể, mà sự giảm tốc này vẫn tuân theo định luật 2 Newton $F = ma$, nghĩa là cùng một tác động như nhau trong cùng một thời gian như nhau, tốc độ chuyển động của chúng sẽ khác nhau tùy thuộc vào khối lượng quán tính của chúng, nhưng với photon thì lại có một vài sai lệch:

- Thứ nhất, bất luận tác động đầu tiên F để phát sinh photon có thể nào thì tốc độ cuối cùng của nó cũng như nhau và bằng 300.000 km/s?

- Thứ hai, mọi vật có khối lượng quán tính khi xảy ra va chạm phải thay đổi tốc độ, còn photon thì không, trái lại nó chỉ thay đổi tần số, còn tốc độ luôn giữ không đổi?

Chính vì thế mà người ta không bao giờ nói đến khối lượng quán tính hay khối lượng hấp dẫn của photon.

2.5. Photon gây áp lực lên bề mặt vật cản

Hiện tượng ánh sáng nói riêng và sóng điện từ nói chung gây áp lực lên bề mặt vật cản cũng là những thí nghiệm đủ tin cậy, thậm chí còn được ứng dụng để làm bộ cảm biến trong các thiết bị đo công suất siêu cao tần.

Để giải thích hiện tượng này, người ta vẫn phải chấp nhận photon có động lượng p , chỉ có điều không được hiểu đó là tích của khối lượng quán tính với vận tốc như trong cơ học cổ điển [4]?

2.6. Nhận xét

Những thí nghiệm nói trên gợi ý cho ta về thành phần cấu thành nên photon là hai hạt cơ bản: electron và positron. Sự kết hợp giữa hai hạt tích điện trái dấu theo một cách nào đó có thể sẽ dẫn đến hiện tượng trung hoà về điện từ một khoảng cách nhất định, như trường hợp của nguyên tử, phân tử... Nhưng ở dưới khoảng cách đó, nguyên tử, phân tử trung hoà này vẫn tương tác được với các hạt tích điện – mọi hành xử của photon đều giống hệt như vậy. Tuy nhiên, có thể nhận thấy ngay rằng phải có lý do gì đó khiến người ta phải từ bỏ một sự tương đồng hiển nhiên như vậy chứ? Nguyên nhân thật ra là quá rõ: có hai nhân tố cơ bản phủ nhận nó:

a) Để giải thích hiện tượng phổ bức xạ của Hydro và sau này là các nguyên tố khác, người ta đưa ra mô hình sự chuyển mức năng lượng của electron trong nguyên tử, theo đó electron bức xạ photon với năng lượng tương đương với hiệu năng lượng của hai mức đó. Tuy nhiên, theo cách này, có hai điều bất cập:

+ Mô hình “mức năng lượng” này chỉ giải thích được hiện tượng gián đoạn tần số và gián đoạn năng lượng bức xạ (hay hấp thụ) của các chất nhưng với hiện tượng dịch chuyển phổ thì lại đưa ra kết luận hoàn toàn trái ngược với thực tế là ở nhiệt độ càng cao thì năng lượng bức xạ nhỏ ứng với tần số bức xạ thấp lại tăng [5], vì chỉ ở nhiệt độ thấp các electron mới có nhiều cơ may quay trở về trạng thái năng lượng thấp. Phổ bức xạ do đó dịch chuyển về phía “đỏ” khi nhiệt độ tăng lên và dịch chuyển về phía “tím” khi nhiệt độ giảm xuống.

+ Nguyên tử chỉ có kích thước cỡ 10^{-10} m, trong khi photon mà nó bức xạ ra hay hấp thụ vào lại có kích thước “khổng lồ” - từ cỡ 10^{-7} m cho tới 10^{-6} m và còn hơn thế nữa, tức

là lớn hơn “chủ nhân” tới cả ngàn lần, nhưng không ai lý giải tại sao nó có thể làm được một việc hy hữu như vậy? Trong khi ở tầm vĩ mô, muốn thu, phát các sóng vô tuyến, cần phải có ăng ten với chiều dài không nhỏ hơn $\frac{1}{2}$ bước sóng, mà photon cũng chỉ là một dạng sóng điện từ.

b) Nếu xét từ góc độ khối lượng thì photon không thể được cấu thành từ hai hạt đó, vì các hạt này có khối lượng, còn photon thì không, hoặc ít ra cũng như người ta thường nói là không có khối lượng nghỉ. Vì khối lượng của vật thể vốn được định nghĩa là: “lượng vật chất chứa trong vật thể” [6], nên ở đây người ta đã hiểu rằng có sự biến đổi vật chất thành năng lượng! Vậy thì hãy thử xem cái năng lượng ấy ra sao:

c) Năng lượng nghỉ của một vật thể có khối lượng m được xác định theo công thức của Einstein:

$$E = mc^2 \quad (1)$$

Do đó, năng lượng nghỉ của hai hạt electron và positron ban đầu sẽ là:

$$2m_e c^2 \approx 2.9,1 \times 10^{-31} \cdot 9 \times 10^{16} = 1,64 \times 10^{-13} \text{ (J)},$$

trong khi năng lượng của photon tính theo công thức của Plank [2] bằng:

$$E_\phi = h\nu. \quad (2)$$

với $\nu = c/\lambda$. Do đó, đối với photon cực tím chẳng hạn có bước sóng $\lambda = 0,4 \times 10^{-6} \text{ m}$ ta có:

$$E_\phi = h\nu = hc/\lambda \approx 6,63 \times 10^{-34} \cdot 3 \times 10^8 / 0,4 \times 10^{-6} = 49,72 \times 10^{-20} \text{ (J)}$$

tức là chỉ nhỏ bằng $\sim 1/330.000$ lần (kể cả có tính thêm photon thứ hai theo hướng ngược lại đi chẳng nữa thì cũng chẳng có chút ý nghĩa gì!). Vậy cái năng lượng “khổng lồ” ban đầu ấy biến đi đâu? Không lẽ định luật bảo toàn năng lượng không còn đúng? Còn nếu không, thì lẽ ra trong thí nghiệm này đã phải nhận được không chỉ hai photon, mà là ~ 165.000 hạt photon mới đúng chứ?

Tóm lại, người ta đi đến kết luận là photon không thể có cái gọi là “cấu trúc” từ hai hạt ấy một cách nguyên vẹn được, có chăng chỉ như là “nguyên liệu” ban đầu để “Thượng đế” thực hiện ảo thuật biến “vật chất thành năng lượng” nhỏ xíu: $E_\phi = h\nu$, còn lại bao nhiêu Ông ấy giữ để cho mình? Liệu vật lý hiện đại có còn cách giải thích nào khác hơn không?

Tuy nhiên, nếu xét từ quan điểm của chủ nghĩa duy vật biện chứng, thì điều đó là không thể, là trái với tự nhiên: vật chất không tự nhiên sinh ra, không tự nhiên mất đi. Năng lượng, hay gì gì đi chăng nữa cũng chỉ là các đặc tính của của vật chất chứ không thể thay thế được cho chính vật chất. Nếu xét từ quan điểm này, thay vì đi nương nhờ vào những thế lực siêu hình, thì cái cần được làm sáng tỏ trước tiên phải chính là khái niệm khối lượng m – nó vốn vẫn luôn là một ẩn số từ bấy lâu nay của khoa học [7, 8, 9].

III. NHỮNG GIẢ THUYẾT ĐỀ XUẤT

3.1. Bản chất của khối lượng quán tính

Như trên đã nói, điểm quyết định để có thể giải toả mâu thuẫn giữa việc có và biến mất khối lượng của các hạt electron và positron trong quá trình hình thành photon, và ngược lại, sự xuất hiện các hạt có khối lượng là electron và positron từ một hạt không có khối lượng trong quá trình phân rã photon phải là tìm ra được bản chất đích thực của khối lượng. Nếu mâu thuẫn này được hoá giải thì không những một lần nữa tái khẳng định sự đúng đắn của định luật bảo toàn và biến hoá năng lượng từ phương diện vật lý, mà còn có

nghĩa là đã dung hoà được thế giới quan của chủ nghĩa duy vật biện chứng với kết quả nhận thức quy luật tự nhiên của vật lý học. Hệ quả trực tiếp của nó là có thể khẳng định thành phần hạt cấu thành nên photon chính là electron và positron?

Trong một nghiên cứu của tác giả về bản chất của khối lượng quán tính [10] đã chỉ ra rằng xét theo quan điểm tồn tại phụ thuộc lẫn nhau của mọi dạng vật chất thì khối lượng quán tính của một vật không phải là một thuộc tính tự nó, trái lại là kết quả của sự tương tác với các thực thể vật lý khác thông qua trường lực thế giữa chúng. Nếu một vật thể hoàn toàn tự do khỏi mọi trường lực thế, thì nó cũng sẽ chẳng có bất cứ một ràng buộc nào khiến nó có thể duy trì được trạng thái hiện có, tức là không có quán tính. Để đặc trưng cho hiện tượng quán tính, cần phải tìm kiếm một đại lượng có liên quan trực tiếp tới sự tương tác này, mà ta sẽ gọi là khối lượng quán tính và ký hiệu là m . Dưới đây tác giả sẽ trình bày vắn tắt việc xác định khối lượng quán tính từ quan niệm tồn tại phụ thuộc lẫn nhau này [5]; nó hoàn toàn đối lập với quan niệm tồn tại tự thân, vốn là cơ sở của vật lý từ thời Newton cho tới nay [11], mà kết quả là thừa nhận khả năng tự chống lại tác động từ bên ngoài của mỗi vật thể và tương ứng với nó là khối lượng quán tính (tự thân).

Cụ thể, ta hãy xét 2 vật thể A và B có thể coi gần đúng là “cách ly” với các vật thể khác, tương tác với nhau theo định luật vạn vật hấp dẫn của Newton bởi lực:

$$F = -\gamma \frac{M_A M_B}{R^2}, \quad (3)$$

ở đây γ – là hằng số hấp dẫn; M_A – là khối lượng hấp dẫn của vật thể đang xem xét trong trường hấp dẫn của vật thể có khối lượng hấp dẫn M_B ; R - khoảng cách giữa hai vật thể. Việc coi hệ vật thể nói trên là “cách ly” được hiểu với nghĩa là tương tác giữa chúng theo (3) lớn hơn nhiều so với các tương tác còn lại với các vật thể khác (ví dụ hệ vật rơi tự do và Trái đất, hệ vật thể trong khoảng không giữa các quần thiên hà ở khoảng cách tới thiên thể gần nhất cũng phải cỡ hàng chục triệu năm ánh sáng...). Khi đó, các kết luận được rút ra sẽ mắc phải sai số tương ứng với những tương tác được cho là có thể bỏ qua này.

Có thể xác định cường độ trường hấp dẫn của hai vật thể theo vật lý hiện hành:

$$g = g_A + g_B = -\gamma \frac{M_A + M_B}{R^2}, \quad (4)$$

trong đó g_A và g_B – là cường độ trường hấp dẫn của vật thể A và vật thể B tương ứng:

$$g_A = -\gamma \frac{M_A}{R^2}; \quad g_B = -\gamma \frac{M_B}{R^2}. \quad (5)$$

Từ các biểu thức (3) và (4) có thể thấy rằng tỷ số:

$$\frac{F}{g} = \frac{M_A M_B}{M_A + M_B} \quad (6)$$

là một đại lượng không thay đổi, chỉ phụ thuộc vào khối lượng hấp dẫn của các vật thể tham gia tương tác và có thứ nguyên là [kg]. Ta có một số nhận xét như sau:

- Thứ nhất, vì là bài toán hai vật “cách ly”, nên sự tương tác chỉ xảy ra giữa hai vật. Kết quả tương tác sẽ phải dẫn đến sự chuyển động tương đối giữa hai vật đó với một gia tốc a nào đó. Cho dù hệ quy chiếu có đặt ở đâu, trên vật A hay trên vật B , thì gia tốc chuyển động của chúng đo được cũng như nhau và bằng a , chỉ ngược nhau về hướng.

- Thứ hai, cũng vì là bài toán hai vật “cách ly”, nên với cùng một lực tác động F như nhau được xác định theo (3) và cùng một gia tốc a , tỷ số:

$$\frac{F}{a} = const, \quad (7)$$

phải là hằng số đối với cả hai vật.

- Thứ ba, nếu khối lượng hấp dẫn của vật thể A nhỏ hơn quá nhiều so với khối lượng hấp dẫn của vật thể B như trong thí nghiệm rơi tự do của Galileo, thì gia tốc rơi tự do sẽ không phụ thuộc vào khối lượng hấp dẫn của vật A nữa (mọi vật đều rơi như nhau) và bằng cường độ trường hấp dẫn của vật thể B :

$$a \approx g_B = -\gamma \frac{M_B}{R^2}, \quad (8)$$

Biểu thức (8) đã được kiểm tra bằng thực nghiệm với sai số hiện nay chỉ cỡ 10^{-12} [12]. Tuy nhiên, nếu đối chiếu với biểu thức (4), có thể thấy rằng (8) chỉ là trường hợp riêng của (4) khi $M_A \ll M_B$. Trong trường hợp ngược lại $M_A \gg M_B$, biểu thức (4) vẫn đúng, trong khi biểu thức (8) lại không còn đúng nữa, mà phải thay bằng biểu thức cường độ trường hấp dẫn của vật thể A :

$$a \approx g_A = -\gamma \frac{M_A}{R^2}, \quad (9)$$

Hay nói cách khác, một cách tổng quát, gia tốc chuyển động của các vật thể so với nhau sẽ phải bằng cường độ trường hấp dẫn xác định theo biểu thức (4):

$$a = g, \quad (10)$$

Kết hợp cả ba nhận xét trên, thay (10) vào (7), rồi đồng nhất (7) và (6) ta được

$$\frac{F}{a} = \frac{M_A M_B}{M_A + M_B}. \quad (11)$$

Nhưng tỷ số lực trên gia tốc chuyển động (F/a) lại chính là khối lượng quán tính m vẫn được sử dụng trong cơ học hiện hành. Do đó, từ (11), ta có thể viết biểu thức cho khối lượng quán tính:

$$m = \frac{M_A M_B}{M_A + M_B}. \quad (12)$$

Như vậy, xét theo quan niệm sự tồn tại phụ thuộc lẫn nhau, thì khối lượng quán tính chỉ là một trong các thông số đặc trưng cho sự tương tác lẫn nhau đó chứ không hề là một cái gì đó mà vật thể tự có cả. Chính vì vậy, nó sẽ phụ thuộc vào tương tác chứ không độc lập với các tương tác như quan niệm từ trước tới nay. Từ biểu thức (12) có thể thấy rất rõ là với mọi thí nghiệm trên Trái đất có thể lấy gần đúng:

$$m \approx M_A, \quad (13)$$

tức là khối lượng quán tính m của vật thể tương đương với khối lượng hấp dẫn M_A của nó, còn được gọi là nguyên lý tương đương – nó không hề là sự trùng hợp ngẫu nhiên, mà có lý do xác đáng. Tuy nhiên, không nên quên rằng kết luận này chỉ gần đúng với sai số:

$$\delta m = \frac{M_A - m}{M_A} \approx \frac{M_B}{M_A}. \quad (14)$$

3.2. Electron và positron là các hạt cơ bản

Chấp nhận một định đề sau đây:

Electron và positron là 2 hạt cơ bản trong đó, tác động của positron là chủ động – quy ước gọi là “mang điện tích (+)” còn tác động của electron là bị động – quy ước gọi là “mang điện tích (-)”; các hạt này chỉ có tương tác điện, không có tương tác hấp dẫn.

Có một số bằng chứng thực nghiệm ủng hộ cho định đề này.

+ Thứ nhất, khối lượng của electron (e^-) và positron (e^+) xác định được bằng thực nghiệm:

$$m_{e^+} = m_{e^-} = m_e \approx 9,109548 \times 10^{-31} \text{ kg} \quad (16)$$

chỉ có thể theo một cách duy nhất đó là sử dụng hiện tượng quán tính trong trường điện từ, mà như thế có nghĩa là chỉ xác định được *khối lượng quán tính* chứ không phải là *khối lượng hấp dẫn* của chúng! Trong khi đó, đối với một số hạt sơ cấp như proton, neutron... về nguyên tắc có thể thông qua các phép đo gián tiếp, không nhất thiết phải sử dụng tới chuyển động của chúng để xác định khối lượng hấp dẫn, ví dụ như thông qua nguyên tử lượng và số Avogadro. Việc cho rằng 2 hạt e^- và e^+ đều có khối lượng hấp dẫn là xuất phát từ quan niệm từ thời Newton cho rằng bất kỳ vật thể nào cũng đều hấp dẫn lẫn nhau (vì vậy mới có tên gọi là định luật “vạn vật hấp dẫn”), và hơn thế nữa, khối lượng quán tính và khối lượng hấp dẫn trong các thí nghiệm không hiểu sao lại cứ luôn luôn bằng nhau – gọi là “nguyên lý tương đương” như đã được đề cập đến ở mục trên (xem công thức (13)). Nhưng như đã thấy, các quan niệm này không còn đúng nữa, vì vậy không có lý do gì ngăn cản chúng chỉ có khối lượng quán tính trong trường điện mà không có khối lượng quán tính trong trường hấp dẫn – chúng không tương tác hấp dẫn với nhau!

Căn cứ vào các thí nghiệm đo khối lượng quán tính của e^- và e^+ , có thể nói rằng kết quả đo được theo (16) chính là khối lượng quán tính của chúng trong hệ quy chiếu của phòng thí nghiệm, còn khi xem xét chúng như hai vật thể cô lập, khối lượng quán tính cũng được xác định theo biểu thức (12).

+ Thứ hai, bản thân cái gọi là “khối lượng hấp dẫn” nếu có (?) thì có lẽ cũng chỉ có thể gây nên tương tác “hấp dẫn” giữa chúng tính theo công thức (3) bằng:

$$F_N = \frac{6,67 \times 10^{-11} \cdot 9,1^2 \times 10^{-62}}{R^2} \approx \frac{5,28 \times 10^{-69}}{R^2} \text{ (N)}. \quad (17)$$

Trong khi đó, tương tác điện tính theo định luật Coulomb với điện tích $q_{e^+} = q_{e^-} = e \approx 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ bằng:

$$F_C = k_C \frac{q_{e^+} q_{e^-}}{R^2} = \quad (18)$$

$$= \frac{9 \times 10^9 \cdot 1,6^2 \times 10^{-38}}{R^2} \approx \frac{2,3 \times 10^{-28}}{R^2} \text{ (N)}. \quad (19)$$

Có nghĩa là tương tác điện lớn gấp $F_C/F_N \approx 4 \times 10^{40}$ lần tương tác hấp dẫn giữa chúng (nếu có) nên, về nguyên tắc, có thể bỏ qua tương tác hấp dẫn với sai số (nếu có) cũng không vượt quá 10^{-40} . Ngay kể cả tương tác hấp dẫn giữa chúng với Trái đất (nếu có) cũng chỉ cho ta giá trị bằng $9,1 \times 10^{-31} \cdot 9,8 \approx 9 \times 10^{-30} \text{ (N)}$, trong khi tương tác điện giữa e^- và e^+ ở cự ly nguyên tử (10^{-10} m) đạt tới $2,3 \times 10^{-8} \text{ N}$, tức là lớn gấp 10^{21} lần – cũng hoàn toàn có thể bỏ qua.

+ Thứ ba, khối lượng quán tính của e^- và e^+ là nhỏ nhất trong tất cả các khối lượng quán tính của các hạt sơ cấp đo được bằng thực nghiệm. Việc khối lượng của neutrino có giá trị $<10^{-35}$ kg chỉ là giả định về phương diện lý thuyết chứ chưa có bất cứ một thí nghiệm thật sự tin cậy nào xác nhận cả, mà về nguyên tắc, sẽ không thể nào xác định được, vì nó là một hạt trung hòa về điện, nên không thể dùng điện trường hay từ trường vào mục đích này, do đó sẽ không thể nào đo đạc được.

+ Thứ tư, trong tất cả các cuộc va chạm năng lượng cao hiện được biết đến, chỉ có 2 hạt này là hoàn toàn không thấy bị phân chia. Các hạt quark huyền thoại nếu có cũng chỉ tồn tại bên trong hadron, chứ không ở dạng tự do để có thể ghi nhận được (người ta cho rằng đã tìm thấy quark ở trạng thái tự do, nhưng tính hiện thực của những thông báo kiểu này liệu có giống như việc “tìm thấy pentaquark” cách đây không lâu không?). Hơn thế nữa, khối lượng của các hạt quark giả định đó cũng rất lớn. Thứ nữa, các hạt e^- và e^+ này hoặc là “biến mất” một cách bí hiểm thành cái gọi là “năng lượng” (của “chẳng cái gì cả!”) – hiện tượng “hủy hạt”, hoặc kết hợp với một số hạt sơ cấp để trở thành các hạt sơ cấp khác, chứ tuyệt nhiên không để lại dù chỉ là một “mảnh vỡ” nào.

3.3 Khối lượng quán tính trong trường tĩnh điện

Ta có thể lặp lại toàn bộ những điều đã nói ở mục 3.1 trên đây cho trường tĩnh điện giữa hai điện tích q_A và q_B , nếu lưu ý rằng định luật Coulomb:

$$F_C = k_C \frac{q_A q_B}{R^2}, \quad (20)$$

với $k_C = 1/4\pi\epsilon_0 \approx 9 \times 10^9 \text{N.m}^2/\text{C}^2$, có thể viết lại dưới dạng tương tự với định luật vạn vật hấp dẫn của Newton (3) như sau:

$$F_C = \chi_C \frac{M_{qA} M_{qB}}{R^2}, \quad (21)$$

trong đó ký hiệu: $M_{qA} = @ q_A$ (kg); $M_{qB} = @ q_B$ (kg) (22)

ở đây:

$$@ = \frac{m_{e^+}}{q_{e^+}} \approx \frac{9,1 \times 10^{-31}}{1,6 \times 10^{-19}} \approx 5,69 \times 10^{-12} \text{ (kg/C)} \quad (23)$$

$$\chi_C = \frac{k_C}{@^2} \approx 2,78 \times 10^{32} \text{ (N.m}^2/\text{kg}^2) \quad (24)$$

Các đại lượng M_{qA} và M_{qB} trong công thức (21) giờ đây đóng vai trò tương tự như các khối lượng hấp dẫn trong (3) với nghĩa là các đại lượng đặc trưng cho tương tác của trường lực thế với thứ nguyên là [kg]. Còn hằng số hấp dẫn γ trong (3) giờ đây được thay bằng hằng số χ_C . Tỷ số $\chi_C/\gamma \approx 4 \times 10^{42}$ nói lên độ lớn của tương tác điện so với tương tác hấp dẫn.

Theo quan niệm mới về khối lượng quán tính, ta có thể xác định khối lượng quán tính của các điện tích trong trường tĩnh điện hoàn toàn tương tự theo các biểu thức (12) và (13). Cụ thể là nếu coi điện tích chung của hệ e^-e^+ là q_A còn $q_A \ll q_B$ – là điện tích của vật tích điện tạo ra điện trường trong phòng thí nghiệm ta có thể viết:

$$m_{e^-e^+} = \frac{M_{qA} M_{qB}}{M_{qA} + M_{qB}}. \quad (25)$$

Song vì $q_B \gg q_A$, nên theo (22) ta có $M_{qB} \gg M_{qA}$ và do đó (25) có thể được viết gần đúng:

$$m_{e^-e^+} \approx M_{qA} = @q_A, \quad (26)$$

Từ đây có thể thấy rằng khi $q_A = 0$ thì $m_{e^-e^+} = 0$! Vậy là điều mà chúng ta kỳ vọng lúc ban đầu thật sự đã trở thành hiện thực: các hạt e^- và e^+ , khi kết hợp với nhau ở trạng thái trung hoà điện tích đối với điện trường ngoài sẽ không còn chịu tác động của điện trường nữa. Điều đó cũng có nghĩa là chúng sẽ không còn có quán tính trong điện trường hay từ trường. Nói cách khác, kết hợp $e^-e^+ = \text{photon}$ sẽ không còn khối lượng quán tính nữa!

3.4. Khối lượng của photon trong trường hấp dẫn

Bản thân các hạt e^- và e^+ vốn không có tương tác hấp dẫn như đã nêu trong định đề hạt cơ bản ở mục 3.2, nhưng khi kết hợp lại với nhau thành photon thì photon này lại chịu tác động của trường hấp dẫn, hơn nữa còn gây ra áp lực lên bề mặt các vật chắn như các thực nghiệm 2.4 và 2.5 đã chỉ ra. Nói cách khác, việc giả thiết photon có một khối lượng hấp dẫn nào đó M_ϕ và do đó cũng có khối lượng quán tính trong trường hấp dẫn nào đó m_ϕ là hoàn toàn có cơ sở, nếu như giải toả được hai điểm “dị thường” ở mục 2.4 đó là tốc độ của photon là hằng số, bất luận tác động ban đầu khi nó được sinh ra có như thế nào, hay bị va chạm ra sao.

Thật ra, khi xem xét thật kỹ lưỡng, có thể thấy rằng các điểm “dị thường” này sẽ thật sự là bình thường, chỉ khi chấp nhận giả thiết photon có tương tác hấp dẫn và đương nhiên là có một khối lượng hấp dẫn tương ứng với nó. Vì sao vậy?

Ở đây có một điểm khác biệt cơ bản giữa cấu trúc của photon với cấu trúc của các vật thể khác đó là các vật thể khác được cấu thành nên từ những phần tử vốn đã có sẵn khối lượng hấp dẫn nào đó, cũng tức là đã có sẵn tương tác hấp dẫn, nên khối lượng hấp dẫn của chúng chỉ phụ thuộc vào khối lượng hấp dẫn của các phần tử cấu thành theo nguyên lý chồng chất tác động đã biết. Trong khi đó, photon lại được cấu thành từ những hạt cơ bản vốn không hề có tương tác hấp dẫn là e^- và e^+ , do vậy cái được gọi là “khối lượng hấp dẫn” của photon chính là nhân tố mới được hình thành nên do sự trung hoà điện tích, chứ không hề có sẵn từ trước. Tốc độ chuyển động ban đầu của nó vì thế không thể do định luật 2 Newton quyết định được. Nhưng cũng chính vì cái được gọi là “tương tác hấp dẫn” chỉ là do quá trình trung hoà về điện giữa e^- và e^+ tạo ra, dưới dạng một tương tác “tàn dư”, nên tương tác này mạnh hay yếu không phụ thuộc vào một “khối lượng hấp dẫn” có trước nào cả, mà chỉ phụ thuộc vào điều kiện trung hoà điện tích và cường độ trường hấp dẫn tại địa điểm đó.

Kết quả là trong các cuộc va chạm, photon thay đổi năng lượng không phải do thay đổi động năng như các vật thể khác có sẵn khối lượng hấp dẫn, mà bằng cách thay đổi tần số quay của e^- và e^+ cấu tạo nên nó, mà không thay đổi khối lượng hấp dẫn của chính mình.

IV. SỰ HÌNH THÀNH CẤU TRÚC CỦA PHOTON

4.1. Khái quát

- Như vậy, xét về thành phần hạt cấu thành của photon có thể chọn giả thiết đó chính là hai hạt e^- và e^+ .

- Nếu như trong tự nhiên, giả sử có thể tồn tại hai hạt này hoàn toàn cô lập với các điện tích khác, thì chuyển động của chúng sẽ ra sao? Và liệu chúng có thể hình thành nên một cấu trúc nào đó dạng như một cặp sao đôi thường thấy trong thiên văn được không?

Về cơ bản là không thể, vì dưới tác động của một lực Coulomb thôi, thì hai hạt e^- và e^+ này chỉ có thể thực hiện một chuyển động duy nhất là rơi tự do lên nhau, nếu vận tốc ban đầu của chúng bằng không. Nếu vận tốc ban đầu khác không, tức là có một động năng ban đầu nào đó, thì cơ may để hình thành nên được quỹ đạo như một sao đôi là rất nhỏ. Điều đó có nghĩa là cũng giống như sự hình thành nguyên tử, cần phải có một khối lượng lớn các hạt trái dấu này trong một thể tích hữu hạn, nhờ đó làm xuất hiện các lực do va chạm khiến chúng chuyển động lệch hướng của lực Coulomb giữa một cặp điện tích trái dấu nào đó. Kết quả là có thể hình thành nên các cặp e^-e^+ quay xung quanh một tâm quán tính chung giống như với sao đôi.

Tuy nhiên, trong quá trình này có một điểm khác về cơ bản so với sự hình thành sao đôi, đó là khi đã hình thành nên hệ sao đôi, khối lượng quán tính của hệ sao đôi đó sẽ bằng tổng khối lượng quán tính của các sao trong hệ; thay vì thế, với hệ “sao đôi” e^-e^+ này, khối lượng quán tính lại biến mất khi chúng hình thành, do hệ đã trung hoà về điện như đã nói ở trên – không còn tương tác điện với các điện tích xung quanh nữa, nên quán tính đối với trường điện cũng không còn nữa.

Đây mới là vấn đề liên quan tới khối lượng, còn năng lượng thì sao? Chả lẽ nó cũng biến mất? – Hoàn toàn không phải như vậy! Toàn bộ năng lượng ban đầu ấy thay vì chủ yếu chứa đựng trong từng hạt e^- và e^+ riêng rẽ, thì nay chuyển hoá thành năng lượng chung của cả hai như một hệ “cách ly” ở dạng “nội năng” của hệ (e^-e^+). Vẫn biết là năng lượng bức xạ đo được hoàn toàn phù hợp với công thức của Planck (2). Nhưng thế nào là “năng lượng đo được” khi xem xét photon như một hạt? Lấy ví dụ như chuyển động của các viên bi-a, năng lượng trao đổi giữa chúng chủ yếu là vẫn là động năng của chúng, còn nội năng có thể xem như không thay đổi.

Thêm nữa, có một thực tế là nội năng (năng lượng nghỉ) bao giờ cũng lớn hơn rất nhiều so với động năng của các vật thể, nhưng lại không có cách gì đo được, mà chỉ có thể xác định một cách duy nhất là suy ra theo công thức của Einstein (1). Nhưng công thức này lại chỉ áp dụng được cho các vật thể có khối lượng nghỉ khác 0, tức không phải cho photon. Nói cách khác, năng lượng của bức xạ theo công thức của Planck (2) chỉ là một phần ngoại năng của photon chứ không phải là năng lượng toàn phần của nó. Đó chính là lý do vì sao mà năng lượng được coi là của photon theo (2) lại nhỏ hơn năng lượng của các hạt e^- và e^+ cấu thành nhiều đến như thế! Nhưng dù thế nào đi chăng nữa, năng lượng toàn phần của photon ít nhất cũng phải bằng tổng năng lượng của hai hạt e^- và e^+ ban đầu, chưa kể là nó có thể còn phải lớn hơn do trong quá trình hình thành đã nói ở trên là nhất thiết phải có tác động từ bên ngoài hệ e^-e^+ này, tức là còn nhận thêm năng lượng từ bên ngoài nữa. Song, trong các tương tác va chạm thông thường như đã nói ở mục trên, phần nội năng của hệ e^-e^+ hầu như không thay đổi nhiều.

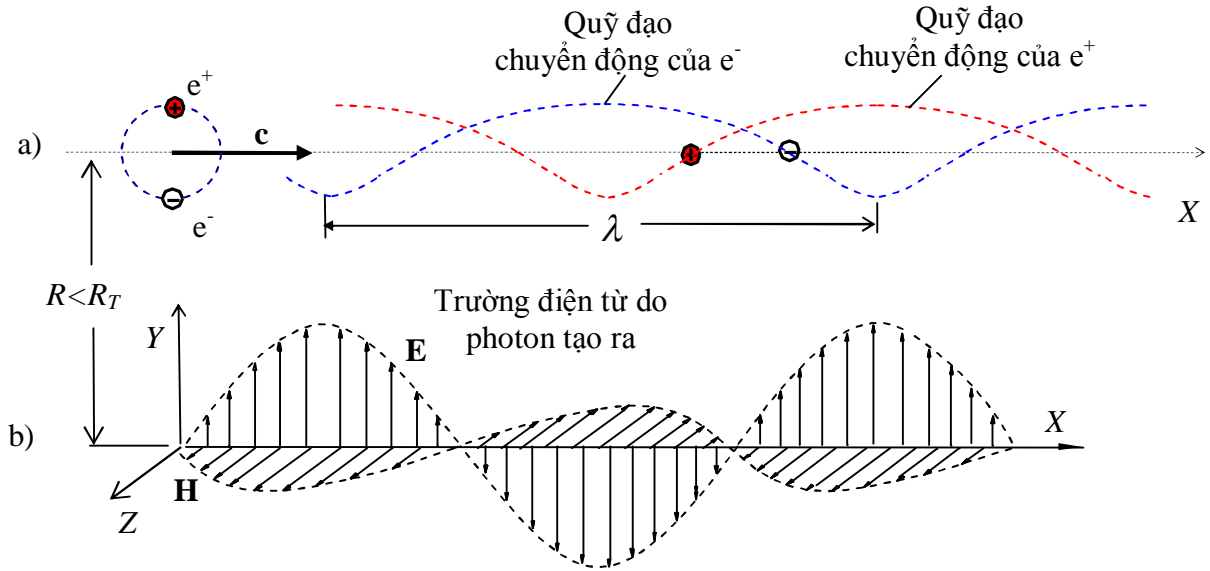
Như thế có nghĩa là photon không phải do nguyên tử bức xạ ra khi nó chuyển mức năng lượng như giả thuyết bấy lâu nay vẫn được chấp nhận mà chỉ đơn giản là tương tác với nguyên tử.

4.2. Hình dạng của photon

Vì photon chỉ tồn tại trong chuyển động, nên hình dạng của nó là sự kết hợp giữa chuyển động quay tròn xung quanh tâm quán tính chung của các điện tích e^-e^+ với chuyển động tịnh tiến của tâm này trong trường hấp dẫn như được chỉ ra trên Hình 1a.

Khi photon chuyển động trong phạm vi bán kính tác dụng R_T gần các điện tích khác, giữa chúng sẽ xuất hiện tương tác mà theo ngôn ngữ của vật lý hiện hành (điện động lực học Maxwell) gọi là “lực điện từ trường” đặc trưng bởi véc tơ cường độ từ trường \mathbf{H}

vuông góc với véc tơ cường độ điện trường \mathbf{E} . Lúc này, cần phải tính đến cấu trúc e^-e^+ của photon, và vì vậy, trong phạm vi bán kính tác dụng R_T này, ngoài các đường cong biểu diễn quỹ đạo chuyển động của các e^- và e^+ giống như đối với photon trong trường hấp dẫn, còn có thể mô tả cả sự biến thiên phân trường của các điện tích này trong HQC XYZ, theo hướng chuyển động của photon như trên Hình 1b.



Hình 1. Chuyển động của HAT photon tạo nên “sóng điện từ”.

Ở đây có thể thấy các véc tơ cường độ điện trường \mathbf{E} và “từ trường” \mathbf{H} vuông góc với nhau trong HQC XOY đặt cách trục chuyển động của photon một khoảng bằng $R < R_T$. Không khó khăn gì để có thể nhận ra rằng tại mặt phẳng vuông góc với phương chuyển động của photon, cắt qua điểm giao A của các quỹ đạo chuyển động của e^- và e^+ , cường độ điện trường \mathbf{E} triệt tiêu, còn khi các quỹ đạo này ở xa nhau nhất – cường độ điện trường đạt cực đại, lưu ý véc tơ \mathbf{E} hướng từ điện tích (+) sang điện tích (-). Nói cách khác, đồng hành cùng với phần vật thể của các e^- và e^+ là phần trường điện bị biến thiên của chúng như một thực thể vật lý thống nhất. Bên cạnh đó, chuyển động của các điện tích này còn có thể được xem như những dòng điện, và hơn thế nữa, là những dòng điện khép kín được tách biệt bởi các điểm giao với trục X, vì vậy “từ trường” do do chúng “sinh ra” hoàn toàn giống như từ trường của vòng dây có dòng điện chạy qua. Khi đó, véc tơ cường độ từ trường \mathbf{H} đương nhiên phải vuông góc với mặt phẳng quỹ đạo chuyển động của các điện tích, và cũng tức là vuông góc với nhau như các phương trình Maxwell đã mô tả.

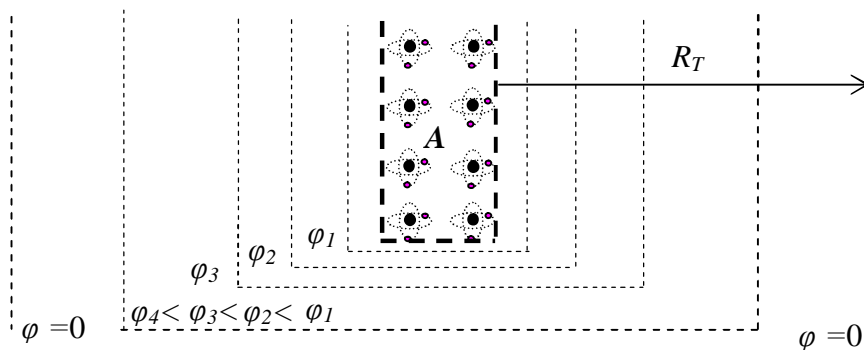
Nhưng khác với sóng điện từ của Maxwell, sóng điện từ ở đây về thực chất không tồn tại một cách độc lập với các hạt cơ bản e^- và e^+ trong suốt quá trình lan truyền của nó, trái lại, nó chỉ là phần trường đồng hành cùng với các hạt này khi chúng kết hợp với nhau để trở thành photon như đã thấy, và cái gọi là “véc tơ cường độ điện trường \mathbf{E} ” hay “véc tơ cường độ từ trường \mathbf{H} ” tại HQC vừa nói đó cũng vẫn chỉ là ảo, nếu trong phạm vi bán kính tác dụng của photon, không có các điện tích nào tồn tại. Nói cách khác, “sóng hành” với cặp e^-e^+ – photon này, chỉ là một “tiềm năng” của một “sóng điện từ”, nó sẽ chỉ được thể hiện ra khi có các điện tích ở đó. Chính vì vậy, các phương trình Maxwell chỉ là công cụ tính toán một cách thuận lợi những thông số nhất định của hiện tượng điện từ, nhưng

hoàn toàn không phải là mô hình của một thực tại vật lý cụ thể như đối với cơ học Newton.

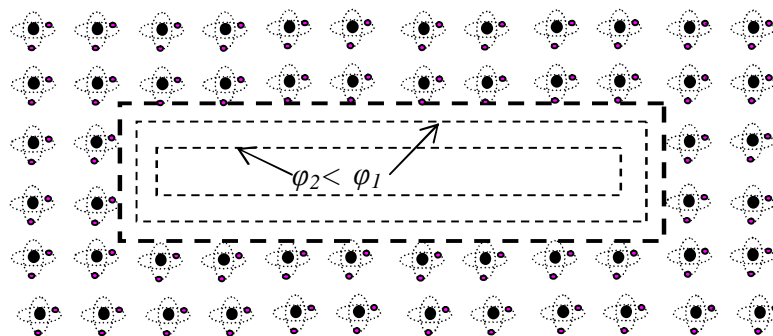
V. GIẢI THÍCH CÁCH HÀNH XỬ BẤT THƯỜNG CỦA PHOTON

5.1. Sự nhiễu xạ của photon qua một khe hẹp

Trước tiên cần phải nhắc lại rằng photon chỉ trung hòa về điện ở khoảng cách lớn hơn bán kính tác dụng R_T của cặp e^-e^+ cấu thành nên nó, còn khi xuất hiện các điện tích trong phạm vi này, nếu thỏa mãn nguyên lý tác động tối thiểu [13], giữa chúng với photon sẽ xuất hiện tương tác điện làm lệch hướng chuyển động của photon. Đó chính là trường hợp đối với các mép tấm chắn (A) được làm từ một vật liệu nào đấy, và chính các nguyên tử hay phân tử của vật liệu này đã tạo nên một trường điện lân cận mép tấm chắn đó với một bán kính tác dụng nào đó, cho dù ở khoảng cách xa hơn bán kính này, điện trường này có thể vẫn được trung hòa (xem Hình 2a).



a) Trường điện tại lân cận tấm chắn



b) Trường điện tại khe hẹp

Hình 2. Trường điện tại lân cận tấm chắn hoặc khe hẹp

Đối với trường hợp có khe hẹp hay lỗ nhỏ bên trong tấm chắn như được mô tả trên Hình 2b, trường điện trong đó có thể được tăng cường hơn, nên có thể gây nên tương tác mạnh hơn đối với photon. Về nguyên tắc, càng gần mép tấm chắn, trường điện càng lớn – khả năng làm lệch hướng chuyển động của photon càng lớn, và ngược lại, càng xa mép đó – trường điện càng yếu – khả năng làm lệch này càng kém. Tuy nhiên, góc lệch của photon do tác động của trường điện này tuân theo nguyên lý tác động tối thiểu [13], nên chỉ có thể hữu hạn và hoàn toàn xác định.

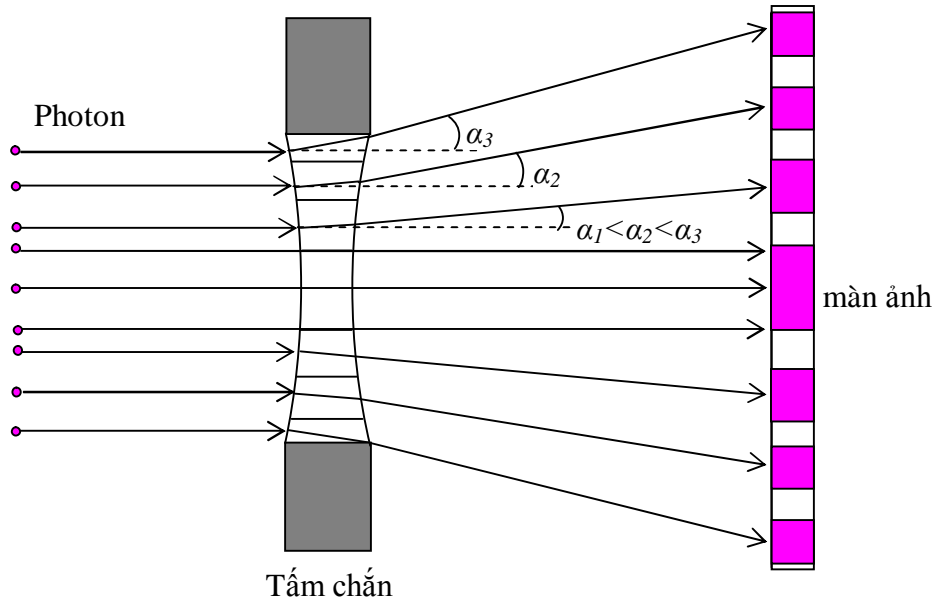
Do đó, có thể mô phỏng trường điện này như một “thấu kính lõm”, mà đúng hơn là một thấu kính lõm được ghép nên từ vài “tấm thấu kính” có tiêu cự khác nhau, tương ứng

với các góc lệch của photon khi bay qua khe $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3$ như được mô tả trên Hình 3. Các góc lệch này được cụ thể hóa cho mép khe hẹp này ở dạng:

$$\sum_{n=1} S_{kn} \sin^2 \alpha_{kn} = n \frac{h}{m_{ph} c} = n \frac{h}{p_c} = n\lambda, \quad (27)$$

ở đây λ là bước sóng của photon. Từ đây có thể viết α_{kn} như là hàm của “bước sóng” λ :

$$\alpha_{kn} = F(\lambda, d, \dots), \quad (28)$$



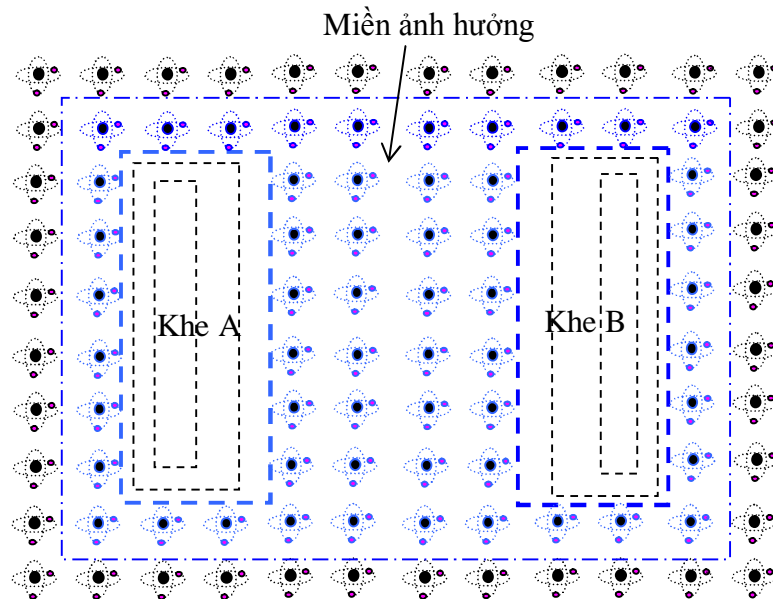
Hình 3. Mô hình “thấu kính lõm” của trường điện tại khe hẹp

5.2. Hành xử của photon qua hai khe hẹp

Đối với trường hợp 2 khe hẹp có khoảng cách không quá xa nhau, ngoài trường điện của mỗi khe còn có sự ảnh hưởng qua lại giữa 2 trường điện này. Vấn đề là ở chỗ mỗi khi có một photon bay qua một khe nào đó mà bị lệch đi một góc thì, theo định luật tác động-phản tác động, trường điện của khe đó cũng bị thay đổi đi một lượng tương đương với một tác dụng mà photon đã nhận được từ trường điện đó. Nhưng sự thay đổi này ngay lập tức gây nên “phản ứng dây chuyền” lên các phân tử của vật liệu, mà khâu yếu nhất chính là phân dải phân cách giữa 2 khe, khiến cho trường điện của khe bên cạnh cũng thay đổi tương ứng. Ở các vùng còn lại, do có một khối lượng lớn các phân tử của vật liệu cấu thành, nên tác động nói trên không gây ảnh hưởng nào.

Trên Hình 4, biểu diễn trường điện trong 2 khe hẹp nhờ các đường đẳng thế. Có thể thấy cường độ trường điện tại lân cận dải phân cách nhỏ hơn hẳn cường độ trường điện tại 3 cạnh còn lại của mép khe. Nói cách khác, mỗi một photon bay qua 1 khe mà bị lệch đi một góc xác định, sẽ để lại “dấu ấn” của mình lên cả 2 khe thông qua các phân tử của vật liệu cấu tạo nên dải phân cách giữa 2 khe, nên bức tranh nhận được trên màn ảnh có vẻ như do 2 photon qua 2 khe tạo nên – photon dường như bị “phân thân” khi đi qua 2 khe hẹp. Chính vì vậy, khu vực xung quanh 2 khe hẹp A và B cùng dải phân cách giữa chúng được khoanh lại trên hình vẽ và gọi là “miền ảnh hưởng”. Vì tác động của trường điện lên photon, và ngược lại, chỉ vừa đủ gây nên một tác dụng tối thiểu khiến photon bị lệch khỏi chuyển động ban đầu đi vừa đủ một “lượng tử góc”, nên mọi cố gắng phát hiện

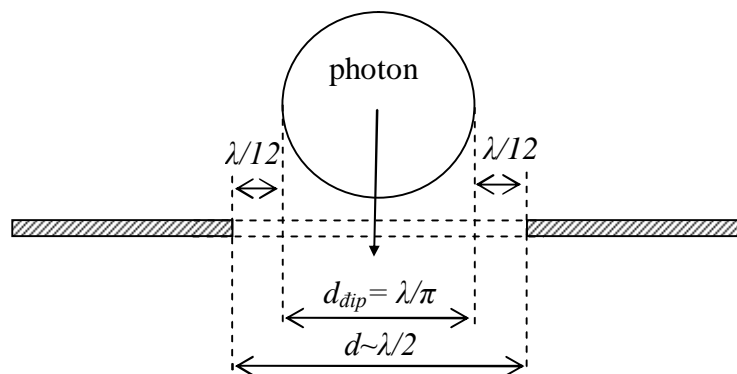
xem photon bay qua khe nào (A hay B?) đều khiến cho bức tranh “giao thoa” biến mất là điều có thể hiểu được. Sự can thiệp này đã vô tình vô hiệu hóa tác động qua lại của photon với khe hẹp, làm lệch hướng bay của photon không theo góc lệch do trường điện của khe hẹp quy định cho nó...



Hình 4. Trường điện tại 2 khe hẹp của tấm chắn

5.3. hiện tượng photon chui qua được lỗ nhỏ hơn bước sóng của nó

Một bằng chứng thực nghiệm khẳng định cho tính đúng đắn của mô hình này chính là hiện tượng ánh sáng chui qua được lỗ có đường kính nhỏ hơn bước sóng của nó được phát hiện cách đây không lâu (năm 1989) một cách hoàn toàn tình cờ trên một cái rây nano làm từ vàng.



Hình 5. Photon chui qua lỗ có đường kính nhỏ hơn bước sóng của nó

Trước hết, từ lý thuyết về cấu trúc của photon được tác giả trình bày tại [5], bán kính đường kính của photon chỉ là $d_{dip} \approx \lambda/\pi$, nên việc nó có thể chui qua một lỗ có đường kính $< \lambda/2$ là hoàn toàn có thể, với điều kiện là trường điện của lỗ phải được làm yếu đi bằng một cách nào đó để không gây nên được một tác dụng lệch hướng nào cho photon. Và ở đây, chính cách tạo lỗ trên rây nano đã khiến cho xung quanh các lỗ đều có các dải phân cách rất hẹp đã phát sinh điều kiện đó, cũng tức là làm giảm bán kính tác dụng của mép lỗ lên photon khi photon bay qua nó. Cụ thể là nếu đảm bảo bán kính tác dụng đó

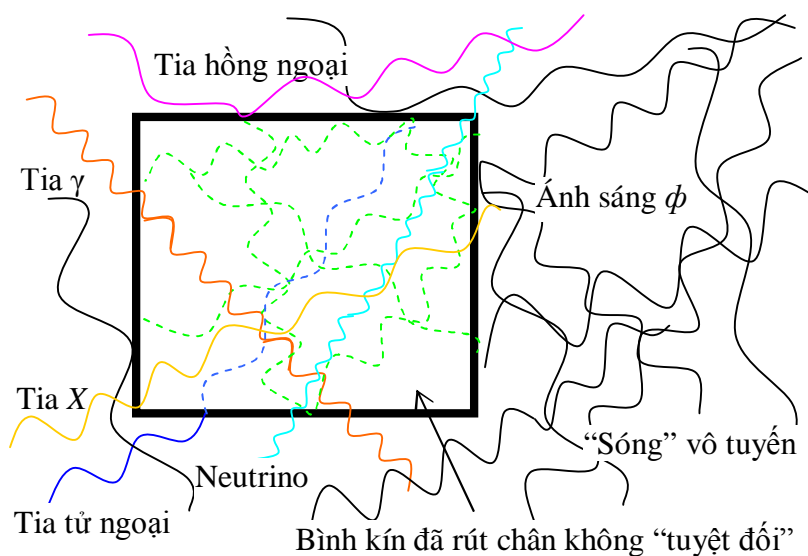
$< \lambda/12$ thì với đường kính lỗ bằng $\lambda/2$, một photon có bước sóng cỡ λ hoàn toàn có cơ may để chui qua mà không có bất cứ sự “nhiều xạ” nào như được chỉ ra trên Hình 5.

Việc sử dụng toán học để mô hình hóa trường điện tại mép khe này, cũng như trong 2 khe hẹp chưa thực hiện được, nhưng điều này không ảnh hưởng tới việc hiểu đúng bản chất của quá trình vật lý xảy ra ở đây, và hy vọng việc này sẽ được thực hiện trong một ngày gần đây.

5.4. Bức xạ nền của Vũ trụ

Bức xạ nền của Vũ trụ tương ứng với nhiệt độ $2,7^\circ\text{K}$ được phát hiện như nhau ở mọi hướng được cho rằng là bằng chứng “hoá thạch” của Big Bang. Tuy nhiên, xét từ góc độ cấu trúc của photon, đây chỉ là trạng thái cân bằng nhiệt động học của vũ trụ.

Trong vũ trụ, photon tràn ngập khắp nơi với phổ rất rộng từ vài phần Hz tới 10^{18}Hz tương ứng với bước sóng từ vài chục ngàn km tới dưới $0,1\text{nm}$ và cùng với graviton (tia γ và neutrino) hình thành nên cái gọi là *bức xạ*, chúng có khả năng len lỏi vào mọi ngóc ngách, tồn tại cùng với các dạng vật chất khác nhau (ngay cả bên trong không gian nội vi của một thực thể vật lý nào đó). Việc cách ly hoàn toàn một vùng không gian nào đó khỏi “biển” bức xạ này là không thể (kể cả trong buồng chân không của các máy gia tốc hạt) vì, như chúng ta đã biết, khoảng cách giữa các nguyên tử của bất kỳ một chất nào cũng vào khoảng 10^{-9}m trong khi kích thước của chính các nguyên tử lại rất nhỏ - chỉ vào khoảng 10^{-11}m , vì vậy, đối với photon (được hiểu là với tất cả các bước sóng có thể có), tia γ và neutrino, thế giới vật chất gần như “trong suốt” – một dạng vật chất này có thể ngăn cản được một số bước sóng này nhưng lại trở nên “trong suốt” đối với các bước sóng khác – kết quả là luôn luôn có một số bức xạ nào đó chui lọt qua những “bức tường” tưởng chừng “bất khả xâm phạm”. Khi thực hiện hút chân không, chúng ta chỉ có thể đưa ra khỏi bình chứa các phân tử và nguyên tử khí nhưng các bức xạ thì không có cách gì có thể “hút” chúng ra được nên vẫn cứ tồn tại ở trong đó. Số lượng bức xạ cũng như năng lượng của chúng hoàn toàn phụ thuộc vào trạng thái cân bằng nhiệt động của môi trường và bản thân bình chứa. Có những photon với năng lượng lớn (bước sóng ngắn) có thể đi xuyên qua vỏ bình nhưng sau đó bị mất năng lượng (bước sóng dài ra) nên bị nhốt lại trong đó (kiểu “hiệu ứng nhà kính”), thành ra mọi cố gắng “hút chân không tuyệt đối” là vô nghĩa.



Hình 6. Việc cách ly một vùng không gian nào đó hoàn toàn khỏi “biển” photon là không thể

Trên Hình 6 mô tả hiện tượng này một cách định tính trong đó tia γ hay neutrino đi xuyên qua một cách dễ dàng; một số photon đi vào trong bình rồi phản xạ trở lại như tia X; số khác không có khả năng xuyên qua vỏ bình nên phản xạ ngay trở lại như ánh sáng khả kiến hay tia hồng ngoại; một số khác nữa vào được trong bình nhưng mất năng lượng nên không thoát ra ngoài được như tia tử ngoại; và có cả một số photon có khả năng lượn vòng qua bình như sóng vô tuyến v.v.. Như vậy, trong một trạng thái cân bằng nhiệt động của một hệ thực thể vật lý nói riêng, và của toàn Vũ trụ nói chung, photon cùng với tia γ và neutrino đóng vai trò trung gian, trung chuyển năng lượng từ vật thể này sang vật thể khác và kết quả là hình thành nên một trạng thái cân bằng nhiệt động tương ứng với phổ năng lượng tần số của photon – phổ này gần như giống nhau ở mọi hướng ngoại trừ những hướng trùng với một ngôi sao nào đó trong bán kính tác dụng R_m , vì tất cả các bức xạ ở bên ngoài bán kính R_m đều sẽ bị phân rã hoàn toàn trước khi đến được với chúng ta.

Việc mô tả “biển photon” này đã được thực hiện một cách thành công nhờ thống kê Bose-Einstein như đã biết [2], theo đó có thể xác lập được mối quan hệ giữa hằng số Planck h với các thông số nhiệt động lực học. Khi đó, nếu xem xét từ góc độ toàn Vũ trụ vô cùng, vô tận, thì đây mới chính là “bức xạ nền” mà những người ủng hộ thuyết Big Bang cho rằng nó là một trong 3 “bằng chứng thực nghiệm” có tính thuyết phục của lý thuyết đó.

5.5. Sự dịch chuyển đỏ

Bằng chứng thực nghiệm “sự dịch chuyển đỏ” cũng có thể được giải thích thỏa đáng bởi cấu trúc e^-e^+ của photon nói trên. Cụ thể là hãy thử tưởng tượng ngôi bên trong một quả cầu nóng sáng, ta sẽ đo được bức xạ tương ứng với nhiệt độ của quả cầu đó ở mọi hướng là như nhau. Bây giờ giả sử bán kính của quả cầu đó tăng dần lên $R \rightarrow R_m$, sẽ xuất hiện hiện tượng “dịch chuyển đỏ” – bức xạ nhận được tương ứng với nhiệt độ ngày một thấp dần đi, do năng lượng của photon bị tiêu hao dần do chuyển động trong trường hấp dẫn. Sự tổn hao này không làm thay đổi tốc độ của photon như đã biết, nhưng làm cho tần số giảm đi (dịch chuyển về phía đỏ). Trong khi đó, khối lượng hấp dẫn là đặc tính của tương tác hấp dẫn của photon lại không thay đổi, vì cấu trúc electron-positron tạo nên photon có đặc tính là từ một khoảng cách lớn hơn bán kính tác dụng R_T , sẽ trung hoà về điện và xuất hiện “tương tác điện tàn dư” – là tương tác hấp dẫn. Mọi photon đều có cùng một cấu trúc như nhau từ 2 hạt electron và positron, nên chúng chỉ khác nhau ở độ lớn của bán kính tác dụng do tốc độ quay khác nhau: tốc độ quay càng lớn (tần số photon càng lớn), bán kính tác dụng càng nhỏ và ngược lại, tốc độ quay càng nhỏ (tần số photon càng nhỏ), bán kính tác dụng càng lớn. Tuy nhiên, do bán kính tác dụng về điện của cặp electron-positron quá nhỏ bé so với bán kính tác dụng của “tương tác điện tàn dư” của chúng ($\rightarrow \infty$), nên sự thay đổi bán kính tác dụng R_T (cũng là ảnh hưởng của tần số quay) của chúng không ảnh hưởng tới cường độ của “tương tác điện tàn dư” mà chúng tạo ra. Trong khi đó, đặc trưng cho cường độ “tương tác điện tàn dư – tương tác hấp dẫn” này là khối lượng hấp dẫn của photon m_{ph} . Chính vì vậy, khối lượng hấp dẫn của photon không phụ thuộc vào tần số của photon: mọi photon đều có khối lượng hấp dẫn như nhau, nên mới bị lệch đi như nhau khi đi ngang qua trường hấp dẫn mạnh (như Mặt trời chẳng hạn). Điều này hoàn toàn phù hợp với thực tế quan sát được.

Nếu theo quan niệm cũ về khối lượng, khi photon có khối lượng, thì khối lượng ấy xác định từ các công thức: $E = m_{ph}c^2$ và $E = h\nu$, nên ta có:

$$m_{ph} = \frac{h}{c^2} \nu$$

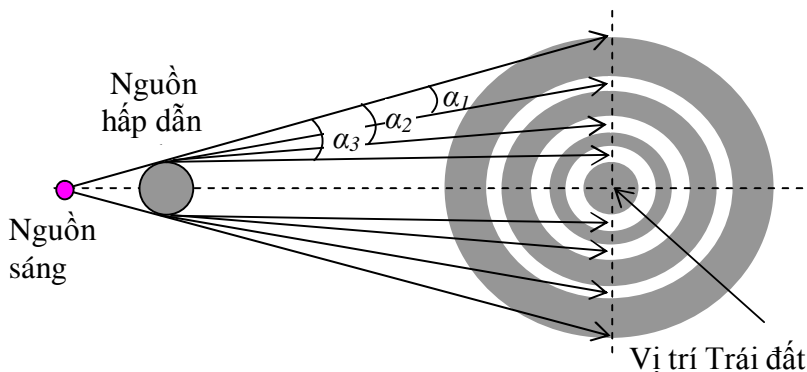
Có nghĩa là khối lượng của photon dường như phụ thuộc vào tần số ν , do đó ảnh hưởng của trường hấp dẫn lên nó nếu có cũng phải phụ thuộc vào tần số ν . Kết quả là “dịch chuyển đỏ” do tác động của trường hấp dẫn lẽ ra sẽ phụ thuộc vào tần số của photon? Nhưng photon ở mọi tần số đều chuyển động như nhau – điều đó hoàn toàn phù hợp với các quan sát hiện hành. Và chính điều này đã khiến người ta loại trừ khả năng photon bị hấp thụ năng lượng do trường hấp dẫn. Kết quả là chỉ trông vào hiệu ứng Doppler mà thôi.

Như vậy, nếu như quả cầu vừa nói ở trên hoàn toàn trống rỗng, thì khi bán kính của nó đạt tới R_m , nhiệt độ đo được tại tâm của quả cầu sẽ phải bằng 0°K , vì các photon phản xạ lại từ mặt trong của quả cầu đến tâm đã mất hết năng lượng. Như vậy, có thể thấy cái gọi là “bức xạ nền” tương ứng với nhiệt độ $2,7^\circ\text{K}$ đo được chính là do tất cả các thiên thể trong thiên cầu bán kính R_m quanh chúng ta xác lập nên – những bức xạ bên ngoài thiên cầu bán kính đó không đến được với chúng ta. Nói cách khác, “bức xạ nền” hoàn toàn không liên quan gì đến cái gọi là “Big Bang” cả.

VI. HIỆU ỨNG PHOTON CHƯA ĐƯỢC BIẾT ĐẾN

6.1. Hiện tượng nhiễu xạ hấp dẫn trong Thiên văn

Sự tương tác của photon với các thiên thể có khối lượng hấp dẫn lớn đã dẫn đến sự lệch hướng của nó như vừa nói ở trên. Tuy nhiên, cũng giống như sự lệch hướng của photon trong trường điện đã được xét tới ở mục trên, góc lệch hướng chuyển động của photon trong trường hấp dẫn thuần túy (không có tương tác điện) cũng không thể liên tục mà chắc chắn phải theo những lượng tử góc hữu hạn $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3$.



Hình 7. Hiện tượng nhiễu xạ hấp dẫn trong Thiên văn

Vì vậy, sẽ thu được bức tranh nhiễu xạ giống như đối với photon khi bay qua một vật chắn (xem Hình 7). Hiệu ứng này không nằm trong khuôn khổ của cả cơ học lượng tử lẫn thuyết tương đối rộng. Việc quan sát hiện tượng này từ Trái đất, khi nguồn hấp dẫn (hố đen chẳng hạn) chuyển động cắt ngang hướng nhìn từ Trái đất tới nguồn sáng, sẽ ghi nhận được hiện tượng “nhảy cóc” của nguồn sáng từ vị trí này sang vị trí khác trên thiên cầu (tất nhiên là có một độ nhoè nào đó).

6.2. Hiệu ứng Doppler dọc

Đây là hiệu ứng vốn được rút ra từ thuyết tương đối khi trong HQC gắn với Trái đất có một gương chuyển động với vận tốc \mathbf{V} vuông góc với mặt phẳng của gương, và lập thành một góc α với tia sáng chiếu tới như được chỉ ra trên Hình 8a, trên đó ký hiệu bước sóng của photon tới là λ còn bước sóng của photon phản xạ là λ' .

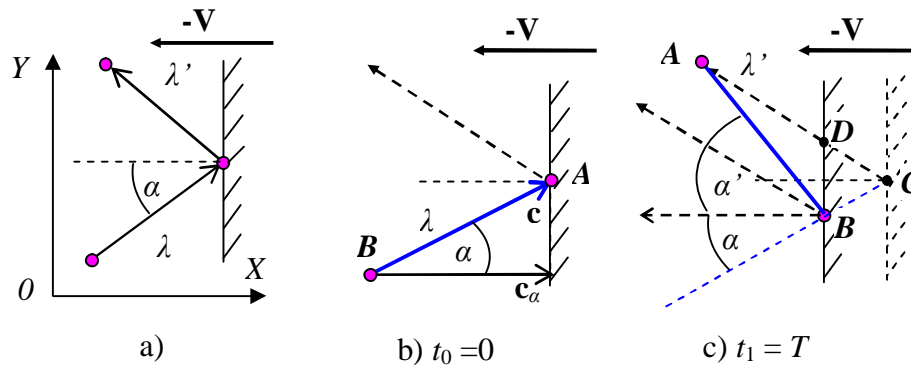
Tần số của photon phản xạ f'' theo [4] bằng:

$$f'' = \frac{1 + \beta^2 + 2\beta \cos \alpha}{1 - \beta^2} f. \quad (29)$$

Biểu thức (34) được rút ra trực tiếp từ các biến đổi Lorentz mà không đặt ra bất cứ hạn chế nào đối với quan hệ giữa α và β . Có thể thấy ngay rằng nếu $\alpha = \pi/2$, hay $\cos \alpha = 0$, tức là ánh sáng đi “sượt” qua gương mà không va chạm được với nó, từ (29) phải có:

$$f'' = \frac{1 + \beta^2}{1 - \beta^2} f, \quad (30)$$

mà điều này là không thể, vì chẳng có lý do gì để tần số $f'' > f$ cả, mà kết quả đúng phải là $f'' = f$, vì vẫn là photon đó thôi mà?



Hình 8. Hiệu ứng Doppler dọc với gương chuyển động

Ta có thể xem xét hiện tượng này dưới một góc độ photon có cấu trúc. Giả sử trong HQC Trái đất, photon chuyển động về phía gương với thành phần vận tốc $c_\alpha = c \cdot \cos \alpha$ và tại thời điểm $t_0 = 0$, “nút” A va chạm vào gương như trên Hình 8b. Sau một khoảng thời gian bằng một chu kỳ T của photon, “nút” B đến lượt mình sẽ va chạm vào gương, trong khi “nút” A đã rời bỏ gương với cùng một vận tốc c_α như trước lúc va chạm (xem Hình 8c) theo định luật phản xạ, nếu thỏa mãn điều kiện $c_\alpha > V$, tức là thành phần vận tốc của photon theo hướng chuyển động của bề mặt gương (theo trục OX) phải lớn hơn vận tốc chuyển động của chính bản thân gương, vì nếu $c_\alpha = V$, photon sẽ “trượt” dọc theo bề mặt gương mà không va chạm được với nó; còn nếu $c_\alpha < V$, photon sẽ không thể đuổi kịp gương nên đương nhiên va chạm cũng không thể xảy ra. Từ đây suy ra:

$$\alpha > \arccos \beta. \quad (31)$$

Điều này về nguyên tắc hoàn toàn có thể kiểm tra được bằng thực nghiệm.

Có thể dễ dàng tính được tổng độ dịch chuyển của cả “nút” B và gương theo trục X trong khoảng thời gian đó bằng:

$$c_\alpha T + VT = \lambda_\alpha = \lambda \cos \alpha. \quad (32)$$

Trong khi đó, do “nút” A đã rời bỏ gương theo cùng chiều chuyển động của gương nên nó chỉ còn cách “nút” B theo trục X một khoảng bằng hiệu:

$$c_\alpha T - VT = \lambda'_\alpha = \lambda' \cos \alpha \quad (33)$$

với giả thiết góc phản xạ vẫn bằng góc tới α . Điều này có nghĩa là sau khi phản xạ từ gương, khoảng cách giữa 2 “nút” A và B bị rút ngắn lại, mà khoảng cách này lại chính là

bước sóng của photon phản xạ, ký hiệu là λ' với hình chiếu của nó theo cùng một góc nghiêng α lên trục X là $\lambda'_\alpha = \lambda' \cos \alpha$.

Từ các biểu thức (32) và (33), có thể rút ra được mối quan hệ giữa bước sóng của photon phản xạ với bước sóng của photon tới:

$$\lambda' = \frac{\cos \alpha - \beta}{\cos \alpha + \beta} \lambda, \quad (34)$$

ở đây ký hiệu $\beta = v/c$. Từ đây cũng có thể viết biểu thức quan hệ cho tần số:

$$f' = \frac{\cos \alpha + \beta}{\cos \alpha - \beta} f. \quad (35)$$

Kết quả nhận được từ biểu thức (35) mới là hợp lý. Chỉ riêng điều này thôi cũng chứng tỏ biểu thức (30) nhận được từ thuyết tương đối là kém chính xác hơn so với biểu thức chúng ta vừa nhận được, khi xem photon là hạt chứ không phải là sóng.

6.3. Năng lượng toàn phần của photon

Trong tất cả các thí nghiệm tương tác của photon với các chất được thực hiện cho đến nay, năng lượng mà photon trao đổi được xác nhận theo công thức (2) của Plank. Tuy nhiên, như chúng ta đã thấy năng lượng của từng hạt electron và positron riêng rẽ trước khi kết hợp thành photon tính theo công thức không đầy đủ (1) của Einstein (không bao gồm thế năng) cũng đã là rất lớn. Vậy, nếu tính đầy đủ cả thế năng tương tác điện của chúng trong trường điện nữa thì năng lượng toàn phần của chúng sẽ còn bằng bao nhiêu nữa? Nếu biết rằng theo [5] ta có:

$$W_e = m_e c^2 + 2U_d(R_{dk}) \quad (36)$$

ở đây $U_d(R_{dk})$ – là thế năng tới hạn của một trong hai hạt electron hoặc positron, khi giả thiết có thể xảy ra tình huống cân bằng giữa nội năng và ngoại năng của nó trong trường điện tương ứng với khoảng cách giữa 2 hạt đó là R_{dk} .

Photon cũng được coi là một thực thể vật lý gồm 2 phần: phần vật thể với không gian giới hạn trong bán kính của dipol electron-positron R_{dip} (không gian nội vi) và phần trường ứng với không gian bên ngoài bán kính tác dụng đó (không gian ngoại vi). Như thế có nghĩa là nội năng của photon sẽ tương ứng với năng lượng điện thuần túy giữa 2 hạt cơ bản, còn ngoại năng của nó gồm 2 phần: phần bên trong bán kính tác dụng R_T tương ứng với năng lượng điện W_d , còn phần bên ngoài bán kính tác dụng R_T – tương ứng với năng lượng hấp dẫn W_{hd} . Tuy nhiên, do hằng số hấp dẫn quá nhỏ, chỉ cỡ 10^{-42} so với hằng số điện, nên năng lượng hấp dẫn thực chất có thể bỏ qua so với năng lượng điện. Vì vậy, ta có thể viết năng lượng toàn phần của bao gồm nội năng và ngoại năng điện:

$$W_{pt} \approx W_n + W_d \quad (37)$$

Vì phần vật thể của photon gồm có 2 hạt electron và positron đều có khối lượng quán tính trong trường điện là m_e , nên theo CDM, mỗi hạt phải có năng lượng toàn phần là:

$$W_e = 2m_e c^2 \quad (38)$$

Vì vậy, năng lượng toàn phần của cả 2 hạt, cũng tức là của photon sau này sẽ là:

$$W_{ph} = 2W_e = 4m_e c^2 \quad (39)$$

Điều đó có nghĩa nó chính là phần ngoại năng (tương tác điện) của photon:

$$W_{đng} = h\nu \quad (40)$$

Nói cách khác, toàn bộ năng lượng của photon mà chúng ta được biết đến từ trước tới nay tính theo (40) chỉ là phần ngoại năng nhỏ bé, chứ không phải là năng lượng toàn phần của nó. Tỷ lệ giữa chúng là:

$$\frac{W_d}{W_{ph}} = \frac{h\nu}{4m_e c^2}$$

Ví dụ với photon hồng ngoại có $\lambda = 0,7 \times 10^{-6}$ m, hay $\nu = c/\lambda \approx 3 \times 10^8 / 0,7 \times 10^{-6} \approx 4,3 \times 10^{14}$ Hz, tỷ lệ này sẽ là:

$$\frac{W_d}{W_{ph}} \approx \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 4,3 \times 10^{14}}{4 \times 9,1 \times 10^{-31} \times 9 \times 10^{16}} \approx 0,87 \times 10^{-6}$$

tức là ngoại năng của photon chỉ chiếm chưa đến một phần triệu năng lượng toàn phần của nó. Điều này có ý nghĩa thực tiễn rất lớn trong việc tìm kiếm nguồn năng lượng thay thế năng lượng hoá thạch của tự nhiên đang trong quá trình cạn kiệt. Chính năng lượng của photon sẽ là ứng cử viên số một của tương lai nếu có công nghệ khai thác nó một cách hợp lý như đã từng xảy ra đối với năng lượng hạt nhân.

VII. KẾT LUẬN

1- Photon có cấu trúc là một cặp (e^-e^+) quay xung quanh tâm quán tính chung của chúng với tần số bằng ν để đạt tới trạng thái trung hoà điện tích và chuyển động với vận tốc ánh sáng c , nhờ vậy, đã loại bỏ được cái gọi là “lưỡng tính sóng-hạt” của nó, cũng như có thể giải thích được tất cả các cách hành xử “dị thường” của photon mà không cần phải viện dẫn tới cơ học lượng tử.

2- Electron không bức xạ hay hấp thụ photon, mà chỉ tương tác với photon trong những điều kiện thích hợp.

3- Photon là một hạt có tương tác hấp dẫn, nên có khối lượng hấp dẫn và do đó chịu ảnh hưởng của trường hấp dẫn. Tuy nhiên, khác với các hạt có khối lượng hấp dẫn khác, tương tác hấp dẫn của photon không phải là một thuộc tính có sẵn từ những phần tử cấu thành, mà là được hình thành như một dạng “tương tác tàn dư” của tương tác điện giữa

hai hạt cơ bản e^- , e^+ . Chính điều này mở ra khả năng thống nhất các tương tác điện với tương tác hấp dẫn, xét từ bản chất vật lý của chúng, chứ không phải thống nhất theo hình thức luận toán học mô tả chúng.

4- Năng lượng của photon cho đến nay được biết đến chỉ là phần ngoại năng nhỏ bé, chiếm cỡ một phần triệu lần so với năng lượng toàn phần của photon ở dải bước sóng hồng ngoại và ánh sáng khả kiến.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. A. Einstein, L. Infeld. *Sự tiến triển của vật lý học*. Dịch từ tiếng Anh. NXB KH&KT, Hà nội, 2005.
- [2]. Б. М. Яворский А. А. Детлаф. *Справочник по физике*. Физматлит. “Наука”, Москва, 1996.
- [3]. David Haliday – Robert Pensnick – Jearl Walker. *Cơ sở vật lý, tập 6, Quang học và vật lý lượng tử*. Dịch từ tiếng Anh. NXB Giáo dục, Hà nội, 2002.
- [4]. В. А. Угаров. *Специальная теория относительности*. Издат. “Наука”, Москва, 1977.
- [5]. Vũ Huy Toàn. *Con đường mới của vật lý học*, NXB Khoa học & Công nghệ, Hà nội, 2007.
- [6]. А. Ейнштейн. *Собрание научных трудов*, Т. I, II, III. 1965.
- [7]. D. Acosta. *The Inertial Mass*, 2003, <http://www.arrakis.es/~dacosta/masai.htm>
- [8]. M. Chown. *A Mass of Inertia*. 2001.
- [9]. Max Jammer. *Concepts of mass in classical and modern physics*. Harvard University press. Cambridge -Massachusetts. 1961.
- [10]. Vũ Huy Toàn. *Khối lượng quán tính và cơ động lực học*. Báo cáo tại Hội nghị Vật lý Lý thuyết Toàn quốc, Sầm Sơn, 2003.
- [11]. Tai L. Chow, *Classical mechanics*. John Wiley& Sons, Inc. New York, 1995.
- [12]. H. Dittus and C. Lämmerzahl. *Experimental Tests of the Equivalence Principle and Newton’s Law in Space* ZARM, University of Bremen, Am Fallturm, 28359 Bremen, Germany.
- [13]. Vu Huy Toan. *Least – action Principle and quantum Mechanics*, Proceedings of IMFP-2005 – International Meeting on Frontiers of Physics, Kuala Lumpur, 2005.