

MỘT CÁCH TIẾP CẬN KHÁC TỚI HIỆN TƯỢNG DỊCH CHUYỂN ĐỎ CỦA ÁNH SÁNG TỪ CÁC THIÊN HÀ

Vũ Huy Toàn

Công ty cổ phần CONINCO-MI

4 Tôn Thất Tùng, Hà Nội. Email: vuhuytoan@conincomi.vn

Tóm tắt. Trên cơ sở phân tích những bất cập của mô hình vũ trụ giãn nở, cùng những đề xuất mang tính đột phá về bản chất của thế giới vật chất, tác giả đã thực hiện việc xây dựng lại mô hình của vũ trụ khác với truyền thống, nhưng phù hợp một cách hoàn hảo với các bằng chứng thực nghiệm được biết đến cho đến nay. Nhờ đó, tác giả đã tính được công thức ảnh hưởng của hấp dẫn lên sự dịch chuyển đỏ của photon trong quá trình lan truyền trên khoảng cách lớn, đúng như những gì đã được Hubble phát hiện bằng thực nghiệm.

Từ khoá: Dịch chuyển đỏ, bức xạ nền, vũ trụ giãn nở.

I. Đặt vấn đề

Khi quan sát ánh sáng từ các thiên hà ở xa [1], Hubble phát hiện ra rằng những vạch phổ của một số nguyên tố đặc trưng bị dịch chuyển về phía đỏ (redshift). Suốt một thời gian dài sau đó, người ta tìm mọi cách để lý giải hiện tượng này bằng các giả thuyết khác nhau [2] như: Sự hấp thụ ánh sáng (photon) bởi khí bụi trong khoảng không vũ trụ trước khi đến tới Trái đất; sự già hóa của photon trong quá trình lan truyền dẫn đến phân rã tự phát, ảnh hưởng của hấp dẫn lên tần số của ánh sáng theo thuyết tương đối rộng của Einstein, v.v... Tuy nhiên, dường như chỉ có hiệu ứng Dopler đối với các nguồn sáng chuyển động ra xa có vẻ là cách giải thích phù hợp nhất. Và thế là người ta đi đến kết luận: Các thiên hà càng ở xa, càng chuyển động rời xa nhau nhanh hơn theo định luật Hubble:

$$v = Hr \quad (1)$$

trong đó, v – là tốc độ rời xa của thiên hà; H – là hằng số Hubble; r – là khoảng cách từ Trái đất tới thiên hà đó – là “bằng chứng thực nghiệm không thể chối cãi được” về một vũ trụ giãn nở(!?), ủng hộ cho lý thuyết Big Bang. Tuy nhiên, khi xem xét một cách cụ thể hiệu ứng Dopler, có thể nhận thấy rằng độ dịch chuyển đỏ z tỷ lệ bậc nhất với tỷ số giữa tốc độ rời xa v của các thiên hà với tốc độ ánh sáng c :

$$z = \frac{\lambda_R - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c} \quad (2)$$

Từ (2) cho thấy, vì theo thuyết tương đối hẹp, $v < c$, nên $z < 1$, nhưng trên thực tế, người ta đã đo được $z \gg 1$ [3], tức là tốc độ chuyển động ra xa của các thiên hà dường như vượt qua cả tốc độ ánh sáng? Để cố “cứu” lại mô hình vũ trụ dẫn nở này, người ta sử dụng thuyết tương đối hẹp thay cho cơ học Newton để tính lại biểu thức (2), nhưng với giả thiết trường hấp dẫn vũ trụ là yếu, có thể bỏ qua và nhận được:

$$v = c \frac{z^2 + 2z}{z^2 + 2z + 2} \quad (3)$$

Khi đó, sẽ đảm bảo $v < c$ trong các tình huống ($-1 < z < \infty$). Sau này, người ta cũng biết rằng việc sử dụng công thức (3) vẫn còn chứa đựng nhiều bất cập đối với độ dịch chuyển đỏ lớn ($z \rightarrow \infty$), nhưng lại ngại biện rằng: “Trong trường hấp dẫn mạnh và biến thiên trên những khoảng cách lớn trong vũ trụ, ý nghĩa của các khái niệm quen thuộc và đơn giản là *khoảng cách* và *tốc độ* cũng thay đổi. Bản thân câu hỏi: “một thiên hà ở rất xa sẽ chuyển động với tốc độ nào so với chúng ta” là không chặt chẽ, không đúng”(!?) [2]. Điều này thực sự là không nghiêm túc! Thực vậy, căn cứ vào (3), có thể thấy rằng khi $z \rightarrow \infty$ thì $v \rightarrow c$ và theo (1), có thể tính ra khoảng cách tới thiên hà xa nhất chỉ vào khoảng 13,4 tỷ năm ánh sáng. Và với thời gian ấy thì Big Bang không thể giải thích được vì sao vũ trụ lúc ấy chỉ là một điểm nhỏ cỡ kích thước Planck 10^{-35} m? Có lẽ vì thế họ mới đưa ra khái niệm “giãn nở lạm phát” mà không cần có nguyên nhân gì cả chẳng?

Tất cả vấn đề là ở chỗ, cái chúng ta đo được bằng thực nghiệm chỉ là độ dịch chuyển đỏ z của ánh sáng từ các thiên hà, còn việc nó xa đến cỡ nào lại cần phải xem xét lại, vì đó chỉ là suy luận chủ quan theo một mô hình lý thuyết được xây dựng nên, chứ tuyệt nhiên không phải là thực tại khách quan. Cụ thể là, khi $z = 1$, nếu theo (2) ta phải có $v = c$ và sau khi thay vào (1) với $H = 70$ km/(s.Mpc), ta được khoảng cách $r \approx 13,8$ tỷ năm ánh sáng, thậm chí theo công thức hiệu chỉnh (3), ta vẫn được khoảng cách cỡ 6,9 tỷ năm ánh sáng. Trong khi đó, các phương pháp đo khoảng cách trong thiên văn chỉ với tới được 300 triệu năm ánh sáng [4] – là phương pháp đo do chính Hubble đề xuất, và dịch chuyển đỏ tương ứng vẫn còn rất nhỏ $z \approx 0,06$, tức là chỉ đạt có 6% giá trị vừa nêu. Từ khoảng cách này trở đi, cho tới giá trị z lớn nhất đo được hiện nay chỉ vào vào cỡ 7,51 đối với thiên hà z8_GND_5296 [3], chứ còn lâu mới lớn tới ∞ , mà đã không còn có cách gì kiểm tra tính đúng đắn của (1) cũng như (3) được nữa. Vậy, sao đã vội đưa ra những kết luận như thế?

Trong khi đó, bản thân photon thật ra là cái gì? Nó chịu ảnh hưởng thế nào khi lan truyền trong trường hấp dẫn vũ trụ vẫn là câu hỏi còn bỏ ngỏ với giới vật lý. Sự ảnh hưởng của hấp dẫn lên tần số của photon theo thuyết tương đối rộng của Einstein dường như đem đến hiệu ứng ngược lại: càng vào gần trường hấp dẫn mạnh, photon càng bị dịch chuyển về phía tím [5, 6, 7]! Bên cạnh đó, kết quả phép đo kiểm tra hiệu ứng này vẫn chưa nhận được sự đồng thuận của giới khoa học [8], khi còn sự hoài nghi về ảnh hưởng của trường hấp dẫn lên chính tần số của photon, vì thuyết tương đối chỉ mới khẳng định thời gian chậm lại thôi. Một khi thời gian chậm lại, mà tần số lại là số chu kỳ dao động trên một đơn vị thời gian thì thiết bị đo sẽ ghi nhận tần số “cao hơn” là điều có thể hiểu được? Nhưng chắc gì tần số photon đã tăng lên trên thực tế? Bởi lẽ tần số là nghịch đảo của chu kỳ T :

$$f = \frac{1}{T} \quad (4)$$

mà chu kỳ lại là khoảng thời gian giữa hai trạng thái giống nhau của một quá trình dao động nên thời gian chậm lại cũng có nghĩa là chu kỳ T bị dài ra chứ? Tức là nếu photon cũng là một dạng thực thể vật lý thì bản thân tần số f của nó phải dịch chuyển về phía đỏ mới là hợp lý? Nếu thực nghiệm vẫn chứng tỏ photon bị dịch chuyển về phía tím thì có phải chăng sự dịch chuyển về phía đỏ của photon không theo kịp sự chậm lại thời gian (chu kỳ) của các xung nhịp của thiết bị đo, nên trong một chu kỳ xung nhịp, sẽ có nhiều chu kỳ của photon hơn, tức là dường như tần số của photon bị tăng lên?

Tóm lại, những nghi vấn xung quanh hiệu ứng “dịch chuyển đỏ” chưa phải là đã hết mà trái lại, còn cần phải tiếp tục làm rõ.

Trong bài báo này, bằng một cách tiếp cận khác với truyền thống, như tác giả đã làm với “vật chất tối” trong Báo cáo tại Rencontres du Vietnam 2013 [9] mà nhờ đó đã phát hiện ra được bản chất thật sự của nó, trả lời được câu hỏi đã tồn đọng hơn 80 năm nay của vật lý học; tác giả sẽ tiến hành xem xét cụ thể ảnh hưởng của hấp dẫn lên photon như thế nào và qua đó lý giải sự dịch chuyển đỏ của nó. Trong bài, tác giả sẽ đặt cả lý thuyết tương đối lẫn Big Bang ra ngoài, để trình bày những tư tưởng mới của “Con đường mới của vật lý học” (CDM) [10].

II. MỘT CÁCH NHÌN KHÁC VỚI VẬT LÝ HIỆN ĐẠI

1. Những định đề được chấp nhận

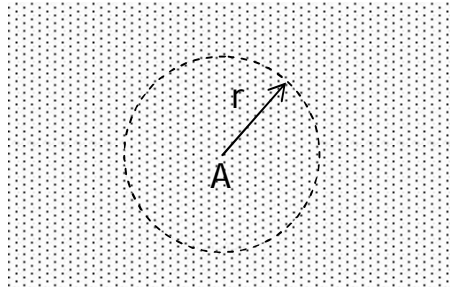
1.1. Vũ trụ là vô cùng vô tận, không được sinh ra, cũng không mất đi, tồn tại vĩnh viễn.

1.2. Xét trên phạm vi lớn, khi mà mỗi thiên hà chỉ còn được coi như một điểm chất (xem Hình 1), mật độ phân bố vật chất có thể được coi là đều và đẳng hướng với mật độ $\rho = \text{const}$.

1.3. Tương tác hấp dẫn giữa các vật thể trong vũ trụ tuân theo định luật vạn vật hấp dẫn của Newton, nhưng có tính đến tốc độ lan truyền tương tác hữu hạn C , chứ không phải tức thời. Trong [10], tác giả đã viết lại thể tương tác tại một thời điểm t nào đó theo định luật này dưới dạng:

$$\psi(t) = \gamma \frac{M}{r(t-\tau)} \quad (5)$$

ở đây, $r(t-\tau)$ – khoảng cách tới nguồn hấp dẫn khối lượng M tại thời điểm $(t-\tau)$, tức là trước thời điểm t đang xét một khoảng τ . Từ đây, có thể thấy thể tương tác khi các vật tiến đến gần khác với khi chúng rời xa nhau.



Hình 1. Vũ trụ đồng nhất và đẳng hướng

+ Khi vật tiến đến gần nguồn hấp dẫn khối lượng M , ta có:

$$\psi_+(t) = \frac{\gamma M}{r(t)(1+B)} \approx \frac{\gamma M}{r(t)}(1-B) \quad (6)$$

+ Khi vật chạy ra xa nguồn hấp dẫn khối lượng M , ta lại có:

$$\psi_-(t) = \gamma \frac{M}{r(t)(1-B)} \approx \frac{\gamma M}{r(t)}(1+B) \quad (7)$$

ở đây, $\gamma \approx 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ – là hằng số hấp dẫn; $r(t)$ – là khoảng cách từ vật tới nguồn hấp dẫn tại thời điểm t ; B – là tỷ số giữa tốc độ chuyển động tương đối v giữa hai vật với tốc độ lan truyền tương tác hấp dẫn giữa chúng, ký hiệu là C :

$$B = \frac{v}{C} \quad (8)$$

Cũng trong [10], tác giả đã dự đoán khả năng C lớn hơn nhiều lần tốc độ ánh sáng c , vì tốc độ ánh sáng dù sao cũng chỉ là tốc độ chuyển động của phần “vật thể” có cấu trúc của photon trong trường hấp dẫn vũ trụ và bị giới hạn bởi chính trường hấp dẫn này. Trong khi tốc độ C liên quan đến phần trường của vật thể, tức là tốc độ truyền tương tác hấp dẫn, chứ không phải là chính bản thân vật thể đó như photon. Dựa vào các số liệu đo đạc thực nghiệm, chúng ta sẽ xác định chính xác giá trị của C sau.

1.4. Tốc độ chuyển động của các hạt cơ bản là electron và positron chỉ có tương tác điện, không có tương tác hấp dẫn trong trường hấp dẫn thuần túy, nơi trường điện bị trung hòa, sẽ bằng vô cùng – ở đây không xảy ra quá trình trao đổi năng lượng nào được thực hiện cả vì chẳng có một dạng tương tác nào xảy ra được với chúng.

1.5. Tổng nội năng và ngoại năng (hay còn gọi là “cơ năng” bao gồm động năng K và thế năng U) đối với một thực thể vật lý trong một hệ kín là đại lượng được bảo toàn:

$$W = W_{in} + W_{out} = \text{const} \quad (9)$$

$$W_{out} = K + U = \frac{mv^2}{2} + \frac{\gamma mM}{r(t)} \quad (10)$$

Trong [11], tác giả đã trình bày một cách chi tiết trường hợp rơi tự do của một vật có khối lượng m trong trọng trường Trái đất khối lượng M , trong đó chỉ ra sự bất cập khi tùy tiện quy ước thế năng tại mặt đất bằng 0 đã dẫn đến cái gọi là “định luật bảo toàn cơ năng”, nhưng thực chất chỉ là bảo toàn hiệu động năng và thế năng chứ không phải là tổng của chúng như lẽ ra phải thế. Chính vì năng lượng toàn phần được bảo toàn nên ngoại năng tăng lên bao nhiêu (động năng hoặc thế năng, hoặc cả hai) thì nội năng sẽ giảm đi bấy nhiêu. Nội năng giảm đồng nghĩa với các quá trình vật lý xảy ra bên trong vật thể chậm lại, hay như người ta thường nói “thời gian chậm lại”. Đây là hiệu ứng vật lý thật sự xảy ra khi một vật chuyển động với tốc độ lớn (có động năng lớn) được đề cập đến trong thuyết tương đối hẹp, hay tiến vào một trường hấp dẫn mạnh (có thế năng lớn) như hệ quả của thuyết tương đối tổng quát.

Tuy nhiên đối với photon có một chút khác biệt. Nếu nó lan truyền trong trường hấp dẫn thuần túy với cường độ thay đổi (bất đồng nhất) thì ảnh hưởng

của thể hấp dẫn lên nó không giống như với các thực thể vật lý khác ở chỗ, nó không thay đổi nội năng điện mà chỉ thay đổi ngoại năng hấp dẫn. Điều này dẫn đến hệ quả là khi năng lượng toàn phần của photon được bảo toàn thì chỉ có sự thay đổi thể năng thành động năng hoặc ngược lại – động năng thành thể năng của photon thôi, tức là tốc độ của photon sẽ phải thay đổi phụ thuộc vào trường hấp dẫn mạnh hay yếu trong khi nội năng của nó là không đổi. Còn, nếu chỉ xét chuyển động của photon trong trường hấp dẫn vũ trụ được coi là đồng nhất thì cường độ của hấp dẫn sẽ như nhau ở mọi nơi nên sẽ không tác động tới photon như khi nó rơi vào một trường hấp dẫn bất đồng nhất hướng tâm giống như của bất kể ngôi sao hay hành tinh nào. Điều này cho thấy khi chuyển động trong trường hấp dẫn đồng nhất của cả vũ trụ trên một khoảng cách lớn, năng lượng toàn phần của photon sẽ suy giảm chứ không thể được bảo toàn vì bản thân vũ trụ vô cùng vô tận không thể coi là một hệ kín được, mà là một hệ mở và do đó, photon sẽ giảm năng lượng toàn phần thông qua việc suy giảm nội năng của nó trong khi ngoại năng bao gồm động năng và thể năng hầu như không thay đổi. Nhưng nội năng của photon giảm chỉ có thể do giảm tần số quay của nó – là hiện tượng dịch chuyển đỏ được quan sát thấy trong thiên văn học. Ta sẽ phải đánh giá sự dịch chuyển đỏ này.

2. Những bằng chứng thực nghiệm được chấp nhận

2.1. Hiệu ứng dịch chuyển về phía đỏ của ánh sáng do Hubble phát hiện ra vào năm 1929 (xem công thức (1)), nhưng với hằng số vũ trụ đã được chính xác hóa $H = 70 \text{ km}/(\text{s.Mpc})$.

2.2. Khoảng cách xa nhất trong thiên văn học đo được đủ tin cậy chỉ là 12 triệu năm ánh sáng nhờ phương pháp của Henrietta Leavitt đề xuất vào năm 1912 [4]. Những số liệu tương ứng với các khoảng cách lớn tới 300 triệu năm ánh sáng chỉ được sử dụng để tham khảo. Ở khoảng cách lớn hơn nữa, do không có phép đo nào độc lập với giả thuyết của Hubble (1) nên sẽ không được xem xét.

2.3. Hiệu ứng tương tác được cho là “tức thời” trên khoảng cách xa của các hạt bị vướng víu (entanglement), không bị hạn chế bởi tốc độ ánh sáng, hay còn gọi là “vướng víu lượng tử”.

Ở đây, xét một cách chặt chẽ theo [10], không thể có một quá trình trao đổi năng lượng nào được phép diễn ra tức thời cả. Tuy vậy, chữ “tức thời” ở đây được hiểu với nghĩa là “rất nhanh so với tốc độ ánh sáng mà thiết bị đo trong thí

nghiệm không thể phát hiện ra được”. Nó cũng là bằng chứng thực nghiệm ủng hộ cho Định đề 1.3 ở trên.

3. THỂ NĂNG HẤP DẪN VŨ TRỤ ĐỐI VỚI PHOTON

1. Thế năng hấp dẫn vũ trụ

Trước tiên, chúng ta làm quen với khái niệm “thế hấp dẫn vũ trụ” – đây là khái niệm thật ra chưa được sử dụng tới trong vật lý học, nhưng về bản chất, nó cũng giống như khái niệm “thế hấp dẫn” đối với mọi vật thể khác trong cơ học Newton. Sự khác biệt có chăng chỉ là trong cơ học Newton, các vật thể thường được coi là chất điểm và nằm ngoài nhau, còn ở đây, ta đang đề cập đến toàn vũ trụ nên mọi vật thể được xem xét, trong đó có photon, luôn nằm “bên trong” cái được gọi là “nguồn hấp dẫn” là chính toàn bộ vũ trụ đó (xem Hình 1). Khi đó, một vật thể ở bất kể điểm nào, ví dụ điểm A , cũng chịu tác động từ mọi thiên hà và mọi dạng vật chất phân bố khác, ví dụ ký hiệu là $j = 1, 2, \dots \infty$, ở xung quanh nó dưới dạng một quả cầu tương đương bán kính r , nhưng không phải hữu hạn mà là tiến tới ∞ theo Định đề 1.1. Khi đó, có thể viết định luật vạn vật hấp dẫn của Newton cho từng cặp tương tác của hai vật trên khoảng cách R_{Aj} :

$$\mathbf{F}_{Aj} = -\frac{\gamma M_A M_j}{R_{Aj}^2} \frac{\mathbf{R}_{Aj}}{R_{Aj}} \quad (11)$$

Tương ứng là thế năng hấp dẫn của tương tác này tại điểm A :

$$U_{Aj} = \frac{\gamma M_A M_j}{R_{Aj}} \quad (12)$$

Tuy nhiên, do tính đối xứng được công nhận ở Định đề 1.2, tổng hợp lực tác động của tất cả các vật khác của vũ trụ lên vật thể tại điểm A sẽ bị triệt tiêu:

$$\mathbf{F}_\Sigma = \sum_{j=1}^{\infty} \mathbf{F}_{Aj} = 0 \quad (13)$$

Vì vậy, theo vật lý cổ điển, thế năng hấp dẫn vũ trụ tại đây (nếu có) sẽ bằng 0 và cũng sẽ bằng 0 tại bất kể điểm nào khác.

Tuy nhiên, theo CDM [10], khái niệm “tổng hợp lực bằng 0 khác với khái niệm “không có lực tác động” ở mức độ tiêu hao năng lượng. Trong trường hợp đầu, vẫn có tương tác \mathbf{F}_{Aj} với từng vật thể j khác trong vũ trụ, tức là vẫn có ngoại năng cho từng tương tác riêng biệt ấy theo (11) nên nội năng của vật thể A sẽ phải giảm đi, cho dù tổng hợp lực bằng 0. Do đó, tổng ngoại năng tương tác

không thể bằng 0, vì tất cả chúng đều được chuyển hóa từ nội năng ra, do năng lượng toàn phần của vật thể mới là đại lượng được bảo toàn theo Định đề 1.4. Mà ngoại năng cho tương tác vừa đề cập đến ở đây lại không phải cái gì khác, mà chính là “thể năng hấp dẫn vô hướng” (tham khảo ở [11]) của vật thể đó trong trường hấp dẫn của cả vũ trụ, hay có thể gọi một cách ngắn gọn là “thể năng hấp dẫn vũ trụ”; nó không thể bằng 0, mà trái lại, luôn khác 0:

$$\tilde{U}_A = \frac{\sqrt{3\pi}}{2} \frac{\gamma M_A M_{R_t}}{R_t} = \frac{\sqrt{3\pi}}{2} U_A \approx 1,53 U_A \quad (14)$$

ở đây M_{R_t} – là tổng khối lượng hấp dẫn của tất cả các dạng vật chất trong bán kính tác dụng R_t của vũ trụ đối với vật thể A đó; U_A – là modul của thể năng hấp dẫn véc-tơ giả định của vật thể A trong trường lực thể của vật thể giả định có khối lượng hấp dẫn bằng M_{R_t} ở cách nó một khoảng bằng R_t :

$$U_A = \frac{\gamma M_A M_{R_t}}{R_t}. \quad (15)$$

Trong [10, 13], tác giả đã trình bày một nguyên lý vũ trụ phổ biến gọi là “nguyên lý tác động tối thiểu” theo đó, *một thực thể vật lý chỉ có thể thay đổi trạng thái năng lượng khi tác động lên nó lớn hơn tác động tối thiểu dành cho nó*. Tức là không phải cứ có tác động là sẽ phải có tác dụng. Như vậy, tuy vũ trụ là vô cùng vô tận theo Định đề 1.1, nhưng sẽ tồn tại một khoảng cách mà tác động của các thiên thể theo (5) không gây nên một tác dụng nào tới trạng thái năng lượng của vật thể đang xét cả. Đó chính là khái niệm “thiên cầu” như đã được sử dụng trong [10], nhưng ở đây chỉ là phần vũ trụ có bán kính tác dụng R_t đối với vật thể tại điểm A mà ta đang xem xét.

Để không phụ thuộc vào khối lượng cụ thể của một vật thể nào, ta sẽ chia cả hai vế của (14) cho khối lượng M_A của chính vật thể tại điểm A đó và gọi là “thể hấp dẫn vũ trụ” tại điểm A đó:

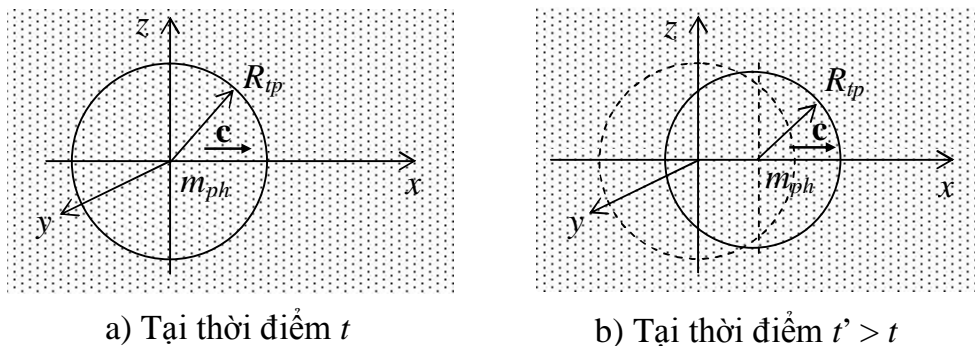
$$\tilde{\psi}_A = \frac{\tilde{U}_A}{M_A} = \frac{\sqrt{3\pi}}{2} \frac{\gamma M_{R_t}}{R_t} = \frac{\sqrt{3\pi}}{2} \psi_A \neq 0 \quad (16)$$

Từ nay trở đi, ta sẽ sử dụng các công thức (14) và (16) này trong các tính toán với lưu ý rằng đối với mỗi dạng vật chất cụ thể, giá trị của bán kính tác dụng R_t sẽ khác nhau, không chỉ tùy thuộc vào khối lượng hấp dẫn của chúng lớn hay bé, mà còn phụ thuộc vào chu kỳ quay của chúng nữa [13]. Vì trong bài này, chúng ta đang xem xét dịch chuyển đỏ của photon nên sẽ đi sâu vào riêng

photon thôi. Trên cơ sở các số liệu thiên văn ghi nhận được, ta sẽ xác định bán kính tác dụng cho photon đến với người quan sát, tương ứng với tần số f_j , ký hiệu là R_{tj} , và không được quên rằng photon là một cấu trúc gồm hai hạt cơ bản electron và positron tự quay quanh tâm quán tính chung với tần số quay nhất định [14].

2. Sự biến thiên thể hấp dẫn vũ trụ của photon

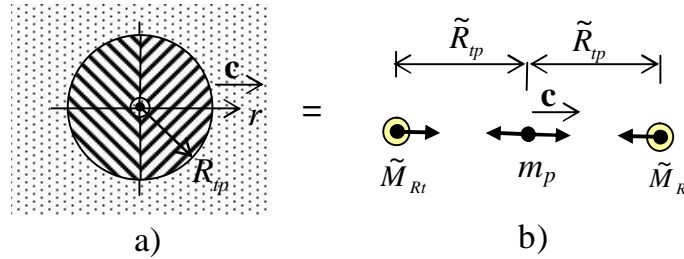
Như vậy, việc xem xét ảnh hưởng của toàn vũ trụ lên photon cũng giống như với các vật thể khác là chỉ còn giới hạn bên trong quả cầu bán kính R_{tp} tại thời điểm t đang xét (xem Hình 3a), tương ứng với tần số f_k và khối lượng bằng $m_{ph} = 2m_e \approx 1,8 \times 10^{-30}$ kg [15]. Tuy nhiên, khác với các vật thể khác, photon không đứng yên mà chuyển động với tốc độ $c \approx 300.000$ km/s so với các thiên hà nên quả cầu bán kính tác dụng R_{tp} bao quanh nó cũng di chuyển cùng nó với tốc độ ấy, nhưng tại thời điểm $t' > t$ (xem Hình 3b). Điều này xảy ra là vì những phần nằm phía ngoài bán kính tác dụng theo hướng chuyển động của photon tại thời điểm t sẽ lại xuất hiện bên trong bán kính ấy khi photon tiến tới chúng ở thời điểm t' sau đó, và ngược lại, những phần nằm phía ngoài bán kính tác dụng ngược hướng chuyển động của photon tại thời điểm t sẽ lại trở thành nằm bên ngoài bán kính ấy khi photon chạy xa khỏi chúng ở thời điểm t' sau đó. Tức là khái niệm “quả cầu bán kính R_{tp} ” là một tượng trưng toán học chứ không gắn vào đó một số lượng vật chất cụ thể nào, mà đơn giản chỉ cần hiểu là bên trong nó phải có một lượng vật chất với mật độ ρ theo Định đề 1.2. Ta sẽ gọi khoảng cách đó là “bán kính tác dụng vũ trụ” của photon. Sau này, ở Mục 3, chúng ta sẽ thấy bán kính này phụ thuộc vào tần số của photon; nó nhỏ dần lại khi photon dịch chuyển về phía đỏ, nhưng trước mắt, để cho đơn giản, ta sẽ tạm bỏ qua.



Hình 3. Phần vũ trụ có tác dụng đối với photon

Tuy photon “nằm” tại tâm của quả cầu bán kính tác dụng R_{tp} , nhưng tác động của lượng vật chất phân bố trong quả cầu đó lên photon không như nhau.

Cũng giống như với mọi dạng vật chất có khối lượng hấp dẫn chuyển động trong trường hấp dẫn, photon chịu tác động của lượng vật chất ở cùng hướng chuyển động với nó mạnh hơn lượng vật chất ở phía ngược lại. Đó cũng là điều đã được tác giả dự báo trong [6]. Cụ thể là, có thể chia quả cầu bán kính tác dụng R_{ip} thành hai bán cầu theo hướng chuyển động của photon (được gạch chéo) như được mô tả trên Hình 4a.



Hình 4. Mô hình thể hấp dẫn vũ trụ tác động lên photon chuyển động

Đối với bán cầu phải có khối lượng bằng $\frac{1}{2} M_{Rt}$, theo hướng chuyển động của photon, có thể áp dụng biểu thức (6) kết hợp với (14), ta được:

$$\tilde{\psi}_+(t) = \gamma \frac{M_{Rt}}{2} \frac{1}{(\tilde{R}_{ip} - r(t))(1 - B)} \quad (17)$$

ở đây, $r(t)$ là quãng đường photon đi được sau khoảng thời gian t , kể từ lúc phát ra từ một thiên hà nào đó; B được xác định theo (8), nhưng thay $v = c$. Có thể viết lại (17) dưới dạng thuận tiện hơn:

$$\tilde{\psi}_+(t) = \frac{\gamma \tilde{M}_{Rt}}{(\tilde{R}_{ip} - r(t))(1 + B)} \quad (18)$$

với:

$$\tilde{M}_{Rt} = \frac{1}{2} M_{Rt} \quad (19)$$

là khối lượng của một chất điểm tương đương của mỗi bán cầu, nhưng ở khoảng cách \tilde{R}_{ip} như được biểu diễn trên Hình 4b. Đây là mô hình tương đương tại mọi thời điểm, chứ không phải chỉ ở một thời điểm nào, vì khoảng cách giữa photon với hai khối lượng \tilde{M}_{Rt} là bằng nhau và bằng \tilde{R}_{ip} ; cái phải thay đổi ở đây chính là sự lan truyền trường hấp dẫn kia. Từ (18) có thể nói rằng thể hấp dẫn của bán cầu phải đối với photon tương đương với thể hấp dẫn tại khoảng cách \tilde{R}_{ip} đến một vật thể có khối lượng bằng \tilde{M}_{Rt} . Tương tự như vậy đối với bán cầu trái, có thể áp dụng biểu thức (7) kết hợp với (18), ta có:

$$\tilde{\psi}_-(t) = \frac{\gamma \tilde{M}_{Rt}}{(\tilde{R}_p + r(t))(1-B)} \quad (20)$$

Từ (18) và (20), ta có thể thấy khi không có chuyển động ($r(t) = 0$ và $B = 0$), thể hấp dẫn của hai bán cầu tại điểm đó đều như nhau nên hiệu của chúng đương nhiên phải bằng 0. Chính sự chênh lệch giữa hai thể hấp dẫn xuất hiện khi photon chuyển động đã làm nên sự khác biệt trong nội năng của photon trong quá trình chuyển động như đã đề cập tới ở Định đề 1.5. Kết quả là ta có chênh lệch thể hấp dẫn vũ trụ đối với photon bằng:

$$\Delta \tilde{\psi}(t) = \tilde{\psi}_+(t) - \tilde{\psi}_-(t)$$

$$\Delta \tilde{\psi}(t) = \frac{2\gamma \tilde{M}_{Rt}}{(1-B^2)} \frac{r(t) - B\tilde{R}_p}{\tilde{R}_p^2 - r^2(t)} \quad (21)$$

Lưu ý rằng, ta đang xem xét vũ trụ trên quy mô lớn, tức là khoảng cách di chuyển của ánh sáng tính bằng hàng triệu năm ánh sáng, ví dụ trong thực nghiệm đo dịch chuyển đỏ của Hubble, khoảng cách nhỏ nhất cũng là cỡ 3 triệu năm ánh sáng. Vì vậy, nếu thỏa mãn điều kiện:

$$B\tilde{R}_p \ll r(t) \text{ và } r(t) \ll \tilde{R}_p, \quad (22)$$

ta có thể viết (21) ở dạng gần đúng:

$$\Delta \tilde{\psi}(t) \approx \frac{\gamma \tilde{M}_{Rt}}{\tilde{R}_p^2} r(t) \quad (23)$$

Mặt khác, từ (21) có thể thấy tính hợp lý của Định đề 1.3 ở chỗ, rõ ràng nếu $B \sim 1$ thì có khác gì chênh lệch thể hấp dẫn vũ trụ mang dấu âm “-”, nghĩa là photon sẽ phải dịch chuyển về phía tím, trái với thực nghiệm dịch chuyển đỏ? Muốn đạt được dịch chuyển đỏ, không có cách gì khác hơn là B phải nhỏ hơn 1 rất nhiều, tức là thỏa mãn điều kiện (22). Điều này khẳng định một cách gián tiếp rằng tốc độ lan truyền tương tác C lớn hơn tốc độ chuyển động của photon trong chân không.

Có thể viết lại (23) dưới dạng phụ thuộc vào mật độ vật chất ρ và bán kính tác dụng vũ trụ của photon \tilde{R}_p là hữu hạn:

$$\Delta \tilde{\psi}(t) = \gamma \rho \pi^2 \tilde{R}_p^2 r(t) \quad (24)$$

Với độ gia tăng thể hấp dẫn vũ trụ này, nội năng photon sẽ giảm một lượng tương đương với sự thay đổi thể năng đối với một vật thể thông thường có cùng khối lượng $m_{ph} = 2m_e$:

$$\Delta\tilde{U}_{ph}(t) = 2m_e\Delta\tilde{\psi}(t) = 2m_e\gamma\rho\pi^2\tilde{R}_p r(t) \quad (25)$$

3. Sự dịch chuyển đỏ của photon do hấp dẫn

Có thể thấy, nhờ nội năng của photon giảm đi một lượng theo (25), dẫn đến việc giảm tần số, hay bước sóng sẽ dài ra – chúng ta nói “photon dịch chuyển về phía đỏ”. Ta sẽ tính cụ thể sự dịch chuyển này. Theo biểu thức tính độ dịch chuyển bước sóng (2), ta có thể chuyển sang dạng chuyển dịch tần số tương đương:

$$z = \frac{f_0 - f_r}{f_r} \quad (26)$$

Nhân cả tử số và mẫu số của (26) với hằng số Planck h , ta được:

$$z = \frac{hf_0 - hf_r}{hf_r} \quad (27)$$

với lưu ý: $hf_0 = \varepsilon_0$ và $hf_r = \varepsilon_r$ – tương ứng là lượng tử năng lượng của photon ban đầu và sau đó tại khoảng cách $r(t)$ theo công thức của Planck. Về thực chất, đây là năng lượng mà photon có thể trao đổi trong tương tác với các dạng vật chất khác, trong đó có thiết bị đo trong thực nghiệm [16]; nó được chuyển hóa từ một phần nội năng của photon ra. Ta có thể viết lại (27) ở dạng:

$$z = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_r}{\varepsilon_r} \quad (28)$$

Từ (28) ta có nhận xét rằng, hiệu năng lượng $\Delta\varepsilon_r = \varepsilon_0 - \varepsilon_r$ trên tử số có được chính là do phần nội năng của photon đã chuyển thành thể năng hấp dẫn cho nó mà ta vừa tính được ở trên với trường hợp tổng quát theo (21), hay trong trường hợp riêng theo (25), khiến năng lượng trao đổi trong tương tác của nó phải giảm đi từ ε_0 xuống đến ε_r , tương ứng là tần số giảm từ f_0 xuống đến f_r . Do đó, ta có thể viết:

$$\Delta\tilde{U}_{ph}(t) = \varepsilon_0 - \varepsilon_r \quad (29)$$

Chia cả tử số và mẫu số của (29) cho ε_r , ta được:

$$\frac{\Delta\tilde{U}_{ph}(t)}{\varepsilon_r} = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_r}{\varepsilon_r} \quad (30)$$

Đối chiếu (30) với (28), ta có thể viết:

$$z = \frac{\Delta \tilde{U}_{ph}(t)}{\varepsilon_r} \quad (31)$$

Thay (25) vào (31), ta được biểu thức tính dịch chuyển đỏ:

$$z = \frac{2m_e \gamma \rho \pi^2 \tilde{R}_p}{\varepsilon_r} r(t) \quad (32)$$

Từ đây có thể thấy, nếu nhân cả hai vế của (32) với tốc độ ánh sáng c , ta sẽ được định luật Hubble (1):

$$cz = \frac{2m_e c \gamma \rho \pi^2 \tilde{R}_p}{\varepsilon_r} r(t) = Hr(t) \quad (33)$$

với:

$$H = \frac{2m_e c \gamma \rho \pi^2 \tilde{R}_p}{\varepsilon_r} \quad (34)$$

chính là hằng số Hubble, nhưng giờ đây, nó đã được biểu diễn qua các hằng số vũ trụ chứ không đơn giản chỉ là kết quả đo đạc thực nghiệm. Như trên đã nói, bán kính tác dụng hấp dẫn vũ trụ của photon phụ thuộc vào tần số của nó nên từ (34) có thể rút ra kết luận rằng, trong phạm vi hẹp, khi điều kiện (22) được thỏa mãn, ta có thể biểu diễn tỷ số đó qua hằng số Hubble:

$$\tilde{R}_e = \frac{\tilde{R}_p}{\varepsilon_r} = \frac{H}{2m_e c \gamma \rho \pi^2} = \text{const} \quad (35)$$

Tức là để đảm bảo H là hằng số, thì bán kính tác dụng hấp dẫn vũ trụ đối với photon \tilde{R}_p phải là đại lượng đồng biến cùng với năng lượng trao đổi trong tương tác của nó ε_r , cũng tức là với tần số f_r của nó: Photon có năng lượng trao đổi trong tương tác càng lớn, bán kính tác dụng hấp dẫn vũ trụ đối với nó càng lớn.

Một điều thực tế đáng ghi nhận ở đây là biểu thức (32) hoàn toàn phù hợp với thực nghiệm về dịch chuyển đỏ được quan sát thấy trong thiên văn và việc nhân thêm với hằng số c ở (33), cũng như (34) vẫn không làm thay đổi bản chất của sự vật: Sự dịch chuyển đỏ của photon chỉ là do sự thay đổi thể hấp dẫn vũ trụ do chuyển động của photon gây nên. Việc đồng nhất tích “ cz ” với tốc độ rời xa v của các thiên hà theo hiệu ứng Dopler (2) chỉ là suy diễn thuần túy chứ không hề là bằng chứng thực nghiệm. Tuy nhiên, không nên quên rằng, để có được biểu thức (32), ta đã phải chấp nhận giả thiết hạn chế (22) với khoảng cách $r(t)$ không quá nhỏ, nhưng cũng không quá lớn; điều này đồng nghĩa với phạm vi của dịch chuyển đỏ z không quá nhỏ, cũng không quá lớn. Khi đó, sự phụ thuộc tuyến tính theo (32), hay theo (1) mới có thể được đảm bảo. Trên thực tế,

khi đo dịch chuyển đỏ lớn ngoài phạm vi này, xuất hiện yếu tố phi tuyến không theo (1) nữa, nên đã phải chấp nhận sự phụ thuộc phi tuyến (3) để “tuyến tính hóa” lại định luật Hubble (1). Bên cạnh đó, việc chấp nhận có các thiên hà chuyển động với tốc độ xấp xỉ tốc độ ánh sáng quả thật là việc không bình thường, vì như chúng ta biết, để gia tốc được có mấy hạt proton bé tẹo, có khối lượng chỉ 10^{-27} kg thôi mà đã phải tốn biết bao nhiêu năng lượng, cùng cả cỗ máy gia tốc khổng lồ rồi. Trong khi khối lượng một thiên hà phải lớn hơn gấp tới 10^{67} lần khối lượng ấy thì thực sự cần phải được xem xét lại một cách nghiêm túc?

Nhưng vấn đề sẽ khác đi nếu ở đây không liên quan tới hiệu ứng Doppler thì cái gọi là sự phụ thuộc tuyến tính của tốc độ vào khoảng cách theo (1) hà tất phải đảm bảo? Thực vậy, sự phụ thuộc tuyến tính của dịch chuyển đỏ theo (32) chỉ trong phạm vi hẹp, còn trong trường hợp chung nhất, biểu thức (21) cho chúng ta biết tác động hấp dẫn của vũ trụ lên photon là hàm phi tuyến đối với khoảng cách, đặc biệt là khi $r(t)$ chỉ mới tiến tới chiều dài bằng bán kính tác dụng vũ trụ hữu hạn R_{ip} , thể hấp dẫn vũ trụ đã tiến tới ∞ rồi. Điều này đồng nghĩa với việc dịch chuyển đỏ cũng phải là một hàm phi tuyến và cũng phải tiến tới ∞ . Tuy nhiên, căn cứ vào “Thực nghiệm được chấp nhận 2.2”, công thức tính toán (32) phù hợp rất tốt ở khoảng cách dưới 300 triệu năm ánh sáng và như thế cũng đủ để khẳng định tính đúng đắn của nó rồi. Ở phạm vi lớn hơn, cần phải có những số liệu đo chính xác, đủ tin cậy và thuyết phục, vì vậy, tác giả chưa thực hiện việc tính toán tiếp.



Hình 5. Trên thực tế, dịch chuyển đỏ không phải chỉ phụ thuộc vào khoảng cách, mà còn vào những yếu tố khác nữa.

Ngoài ra, còn một thực tế khác cũng phải được ghi nhận là trước khi thiết lập định luật (1) của mình, Hubble đã nhận được những kết quả thực nghiệm về

dịch chuyển đỏ của các thiên hà khá tản mát chứ không phải hoàn toàn theo đúng đường thẳng (1) đó như được thể hiện trên Hình 5 [2].

Nguyên nhân của sự tản mát lớn này không hiểu sao lại không thấy đề cập đến? Nhìn trên hình vẽ có thể thấy rất rõ, chẳng hạn tại khoảng cách 1 Mpc (mà sau này được điều chỉnh lại thành 6,7 Mpc do hiệu đính lại phương pháp đo của Hubble), tốc độ của các thiên hà có thể dao động trong một phạm vi khá rộng: từ 100 đến 900 km/s? Tức là tương đương với dịch chuyển đỏ z từ 0,00033 cho đến 0,003 tính theo (2)?

Đó là còn chưa kể đến một thực tế khác là có những thiên hà ở khoảng cách gần, cỡ 0,25Mpc (tương đương với 1,7 Mpc sau khi được điều chỉnh), không chạy ra xa mà lại chạy lại gần, vì khi đối chiếu với trục tung là trục tốc độ, ta thấy số liệu nằm dưới điểm 0, tức là tốc độ âm – tương đương với “dịch chuyển tím”? Nhưng giờ đây, với quy luật dịch chuyển đỏ theo (21), có thể thấy rõ nguyên nhân của sự tản mát lớn này là do có sự tham gia của mật độ vật chất ρ . Mật độ vật chất này chỉ được giả định là đều và đẳng hướng trên phạm vi lớn và là giá trị trung bình, chứ không phải là giá trị cụ thể tại một khu vực nhất định, một hướng nhất định. Chính vì vậy, ánh sáng xuất phát từ những thiên hà nào nằm tại khu vực có mật độ vật chất ρ lớn hơn, sẽ dịch chuyển về phía đỏ nhiều hơn và ngược lại. Chưa hết, để nhận được (32), ta đã phải đưa ra điều kiện (22) khi khoảng cách tới các thiên hà không nhỏ hơn BR_p nên khi điều kiện này không thỏa mãn, sự thay đổi thể hấp dẫn theo (21) sẽ mang dấu âm “-” nên sau khi thay vào biểu thức tính dịch chuyển z cũng sẽ được giá trị âm “-”, tức là dịch chuyển tím, thay vì dịch chuyển đỏ như đã thấy trong kết quả đo đạc thực nghiệm của Hubble là hoàn toàn phù hợp.

4. Bức xạ nền vũ trụ

Bức xạ nền vũ trụ được cho là ánh sáng phát ra từ thừa 400.000 năm sau Big Bang còn được đến ngày nay và do vũ trụ giãn nở nên chỉ còn lại “bức xạ tàn dư” ở dạng sóng cỡ milimet đến vài chục centimet. Vào năm 1964 Arno Penzias và Robert Wilson tình cờ phát hiện được một loại sóng ngắn đồng nhất ở mọi hướng có cùng cỡ bước sóng như vậy, tương ứng với phổ bức xạ của vật đen có nhiệt độ khoảng 3°K. Người ta đồng nhất các vi sóng này với bức xạ nền nói trên và coi rằng đó là một trong 3 thực nghiệm ủng hộ thuyết Big Bang.

Thực nghiệm về dịch chuyển đỏ như trên ta đã thấy, không do sự chuyển động ra xa của các thiên hà, mà đơn giản chỉ là sự giảm nội năng của photon khi

lan truyền trên một khoảng cách lớn, dưới tác động của thể hấp dẫn vũ trụ, dẫn đến giảm tần số của nó. Càng gần bán kính R_{pp} , độ dịch chuyển đỏ của photon càng lớn tới mức chỉ còn là các sóng ngắn và tất nhiên là đẳng hướng đối với người quan sát mà đã bị ngộ nhận là “bức xạ nền từ thừa Big Bang”. Chỉ cần nhìn lại vào Hình 1 là có thể hiểu ngay được điều này: Ánh sáng từ bề mặt trong của thiên cầu bán kính R_t đối với tâm A của nó, nơi có người quan sát, là như nhau về phương diện dịch chuyển đỏ, vì vũ trụ là đồng nhất và đẳng hướng. Còn về nhiệt độ 3°K , có thể thấy rằng, đó chính là nhiệt độ trung bình do tất cả các dạng vật chất trong trạng thái cân bằng nhiệt động bên trong quả cầu có bán kính bằng bán kính tác dụng vũ trụ đó tạo nên.

5. Kết luận

Xuất phát từ một cách nhìn khác, có tính tới thể hấp dẫn của toàn vũ trụ tác động lên photon không như nhau theo hướng chuyển động và ngược với hướng chuyển động của nó, tác giả đã tìm ra được công thức tính độ dịch chuyển đỏ phù hợp một cách hoàn hảo với các kết quả quan sát thực nghiệm mà không cần phải giải thích nhờ hiệu ứng Dopler. Không những thế, chính sự hữu hạn của bán kính tác dụng vũ trụ còn là cơ sở để giải thích được hiện tượng bức xạ nền đẳng hướng tương ứng với nhiệt độ trung bình của vũ trụ 3°K .

Xét từ góc độ này, mặc dù vũ trụ là vô cùng vô tận, nhưng phần vũ trụ quan sát được lại luôn chỉ là hữu hạn bên trong bán kính tác dụng của photon, vì các photon xuất phát từ các thiên hà ở xa hơn bán kính đó, hoặc đã mất hết năng lượng từ trước khi đến được với chúng ta, hoặc đến được thì cũng đã mất hết năng lượng. Nói cách khác, đối với mỗi người quan sát ở mỗi nơi khác nhau trong vũ trụ sẽ tồn tại một thiên cầu có bán kính tác dụng tương ứng cho mình; điều này liệu có khác gì tồn tại “đa thế giới” mà một số nhà vật lý đang nói đến không?

Phát hiện mới về sự ảnh hưởng của thể hấp dẫn vũ trụ này lên dịch chuyển đỏ của photon thực sự đặt ra một thách thức đối với lý thuyết Big Bang cùng khái niệm “năng lượng tối”, vì một khi vũ trụ đã không dẫn nổ thì không có lý do gì để nó còn “dãn nở tăng tốc” nữa. Tức là một cách gián tiếp loại bỏ 74% cái gọi là “năng lượng tối” không cần thiết. Cùng với Báo cáo của tác giả về vật chất tối [9], bài báo này đã đặt dấu chấm hết cho những gì được gọi là “tối” chiếm tới 96% vũ trụ và mở ra một hướng nghiên cứu mới cho vũ trụ học. Thực vậy, việc khép lại một quá khứ không mấy dễ chịu này lại có thể mở ra nhiều vấn đề cần phải giải quyết khác trong bối cảnh mới đã thay đổi, cụ thể là cần

phải tìm ra biện pháp khác để xác định khoảng cách lớn trên 300 triệu năm ánh sáng mà trước đây đã phải nhờ vào chính định luật Hubble, để qua đó mở rộng khảo sát sự dịch chuyển đỏ ở phạm vi lớn hơn nữa cho tới bán kính tác dụng của thể hấp dẫn vũ trụ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] E. Hubble. *The observational approach to cosmology*. Oxford At the Clarendon Press. 1937.
- [2] Новиков И.Д. *Эволюция вселенной*. Москва. “Науки”. 1990.
- [3] Wikipedia. z8_GND_5296 – *Thiên hà xa nhất từ trước đến nay được tìm thấy*. 2013. http://vi.wikipedia.org/wiki/Z8_GND_5296
- [4] Nguyễn Việt Long. *Thiên văn và vũ trụ*. NXB Hải Phòng, 2004.
- [5] Albert Einstein, "*Relativity: the Special and General Theory*".
- [6] R.V. Pound and G.A. Rebka, Jr. "*Gravitational Red-Shift in Nuclear Resonance*". Phys. Rev. Lett. 3 439–441 (1959)
- [7] R.V. Pound and J.L. Snider. "*Effect of gravity on gamma radiation*". Phys. Rev. 140 B 788–803 (1965)
- [8] Л. Б. Окунь К. Г., Селиванов В. Л. *Телеги Гравитация фотоны часы* Успехи физических наук, Том 169, N 10. 10-1999
- [9] Vũ Huy Toàn. *Discovering the nature of the dark matter*. Report on the Rencontres du Vietnam 2013 (was accepted for publish in the conference proceedings). <http://newwayforphysics.wordpress.com/2013/12/05/discovering-the-nature-of-the-dark-matter/>
- [10] Vũ Huy Toàn. *Con đường mới của vật lý học*, NXB Khoa học & Công nghệ, Hà nội, 2007.
- [11] Vũ Huy Toàn. *Thế năng của vật thể bên trong và bên ngoài Trái Đất*. 2014. <https://vuhuytoan.wordpress.com/2015/09/17/the-nang-cua-vat-the-ben-trong-va-ben-ngoai-trai-dat-potential-energy-of-a-body-inside-and-outside-the-earth/>
- [12] Vũ Huy Toàn. *Xét lại định luật bảo toàn cơ năng của thực thể vật lý trong trường lực thế*. 2008. <http://vuhuytoan.files.wordpress.com/2008/12/xet-lai-dinh-luat-bao-toan-co-nang5.pdf>

[13]. Vu Huy Toan. *Least – action Principle and quantum Mechanics*, Proceedings of IMFP-2005 – International Meeting on Frontiers of Physics, Kuala Lumpur, 2005.

<http://newwayforphysics.wordpress.com/2013/06/29/least-action-principle-and-quantum-mechanics/>

[14] Vũ Huy Toàn. *Cấu trúc của photon*. Proceedings: “Advances in Optics, Photonics, Spectroscopy & Applications VI, 2011”.

<http://newwayforphysics.wordpress.com/2013/06/29/photon-structure/>

[15]. Vu Huy Toan. *Mass of photon*. 2012.

<http://newwayforphysics.files.wordpress.com/2013/10/4-khoi-luong-cua-photon-en.pdf>

[16] Vũ Huy Toàn. *Thí nghiệm hấp thụ và bức xạ photon*. 2012

http://vuhuytoan.files.wordpress.com/2012/09/29_thi-nghiem-buc-xa-va-hap-thu-photon1.pdf