

## XÉT LẠI THỰC NGHIỆM ĐO THỜI GIAN TRONG TRƯỜNG HẤP DẪN

**Vũ Huy Toàn**

*Công ty cổ phần CONINCO-MI*

*4 Tôn Thất Tùng, Hà Nội. Email: [yuhuytoan@conincomi.vn](mailto:yuhuytoan@conincomi.vn)*

Theo thuyết tương đối rộng (GR), khi đến gần nguồn hấp dẫn mạnh, thời gian sẽ chậm lại [1]. Ví dụ đối với Trái đất, thời gian ở mực nước biển sẽ chậm hơn so với khi ở độ cao  $h$ , hay nói cách khác, khoảng thời gian xảy ra một sự kiện ( $T_h$ ) ở độ cao  $h$  sẽ nhanh hơn so với khoảng thời gian xảy ra cùng sự kiện đó khi ở mực nước biển ( $T_0$ ), tức là  $T_h < T_0$ . Có thể đánh giá sự nhanh chậm này theo công thức [2]:

$$\delta T = \frac{\Delta T}{T_0} = \frac{T_h - T_0}{T_0} = -\frac{g_0 h}{c^2}, \quad (1)$$

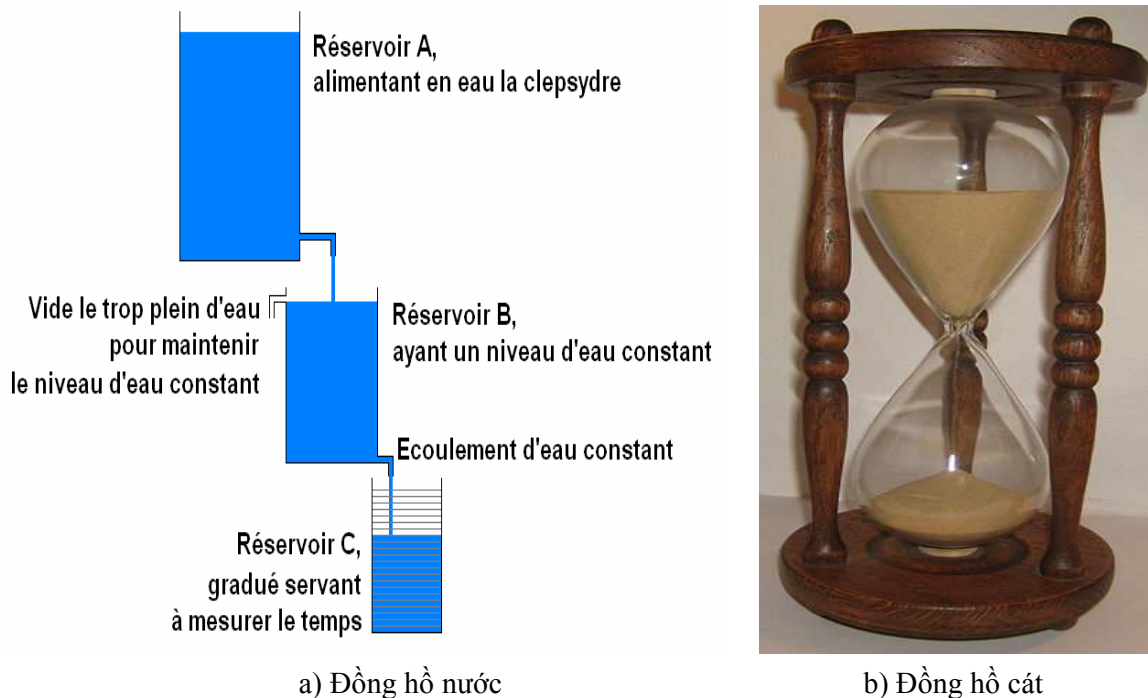
với  $g_0 \approx 9,81 \text{ m/s}^2$  – là cường độ hấp dẫn (hay còn gọi là gia tốc trọng trường) tại mực nước biển;  $c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$  – là tốc độ ánh sáng trong chân không. Nếu  $h = 100 \text{ m}$  trên mặt nước biển, ta có  $\delta T \approx -1,09 \times 10^{-14}$ . Chính vì hiệu ứng thời gian chậm lại này quá nhỏ như vậy nên người ta phải cần tới đồng hồ siêu chính xác như đồng hồ nguyên tử mới hy vọng kiểm tra được nó [3-5].

Nhưng thế nào là “thời gian chậm lại”? – nói nôm na là đồng hồ chạy chậm lại, vì “thời gian là cái mà đồng hồ chỉ ra” [6]. Nhưng đồng hồ chỉ là một thiết bị kỹ thuật; nó vận hành theo nguyên tắc sử dụng dao động tuần hoàn do cấu tạo đặc biệt để tạo nên những khoảng (chu kỳ) cố định đóng vai trò làm “đơn vị thời gian”. Trong đo lường học, người ta gọi đồng hồ là thiết bị mẫu đo thời gian [7]. Phổ biến nhất là đồng hồ cơ khí với dây cót làm nguồn cung cấp năng lượng và sự chuyển động tuần hoàn của hệ thống bánh răng được khống chế bởi một cơ cấu con lắc xoay nằm ở tâm một lò xo xoắn spiral, tức là theo nguyên tắc sử dụng lực đàn hồi – là lực nguyên tử (thực chất là lực điện từ) của vật liệu làm lò xo. Bên cạnh đó còn có đồng hồ điện tử chạy bằng pin và sự chuyển động tuần hoàn được điều khiển bởi một mạch điện tử giữ xung nhịp nhờ tinh thể thạch anh, tức là theo nguyên tắc sử dụng dao động điện từ (cũng tức là lực điện từ). Đồng hồ nguyên tử vừa được nhắc tới ở trên cũng là một dạng đồng hồ điện tử dùng để đo thời gian gọi là “chuẩn đơn vị thời gian”, chỉ khác là nó được dùng để tái tạo và lưu giữ đơn vị thời gian – trong hệ SI là giây (ký hiệu là “s”): “Giây là một khoảng thời gian bằng 9.192.631.770 chu kì bức xạ ứng với sự chuyển dời giữa hai mức siêu tinh tế tại trạng thái cơ bản của nguyên tử cesium 133”. Nếu ký hiệu chu kì bức xạ là  $T_0$  và  $n = 9.192.631.770$ , ta có thể biểu diễn đơn vị thời gian bằng toán học ở dạng:

$$1\text{s} = 9.192.631.770 T_0 = n T_0, \quad (2)$$

Tuy nhiên, không nên quên rằng thuyết tương đối rộng chỉ liên quan tới đặc tính “thời gian”, cùng với các đặc tính không gian, với nghĩa là các “continuum” toán học thuần túy, chứ chưa hề gắn nó với một dạng tương tác vật lý cụ thể nào xảy ra bên trong các dạng vật chất khác nhau dùng để chế tạo đồng hồ, nơi mà tương tác hấp dẫn có thể bị bỏ qua vì quá nhỏ so với ba dạng tương tác còn lại: Mạnh, yếu và điện từ – là những dạng tương tác chỉ tuân theo các quy luật của cơ học lượng tử. Trong khi đó, các đồng hồ đo thời gian vừa nói lại hoạt động phụ thuộc hoàn toàn vào các tương tác đó chứ không hề là tương tác hấp dẫn!

Thật là trớ trêu, chính những loại đồng hồ mà tương tác hấp dẫn đóng vai trò chủ đạo trong nguyên tắc làm việc của nó là đồng hồ nước (hoặc cát), đồng hồ quả lắc và đồng hồ thiên văn thì lại hoàn toàn không được nhắc đến khi cần đối chứng với tiên đoán hiệu ứng “thời gian chậm lại do hấp dẫn” của thuyết tương đối. Có thể vì chúng còn quá thô sơ và độ chính xác còn quá thấp để có thể được sử dụng như là “vật đối chứng” chăng? Tuy nhiên, trước tiên có lẽ chưa cần phải định lượng chính xác, mà hãy xét về định tính xem sao đã, tức là hấp dẫn ảnh hưởng tới sự nhanh chậm của các đồng hồ này như thế nào? Đồng hồ nước (hoặc cát) – là các cơ cấu để nước (hoặc cát) có thể dựa vào tự trọng của mình (do lực hấp dẫn) mà chảy dần dần từ bình trên xuống bình dưới như được mô tả trên Hình 1 dưới đây.



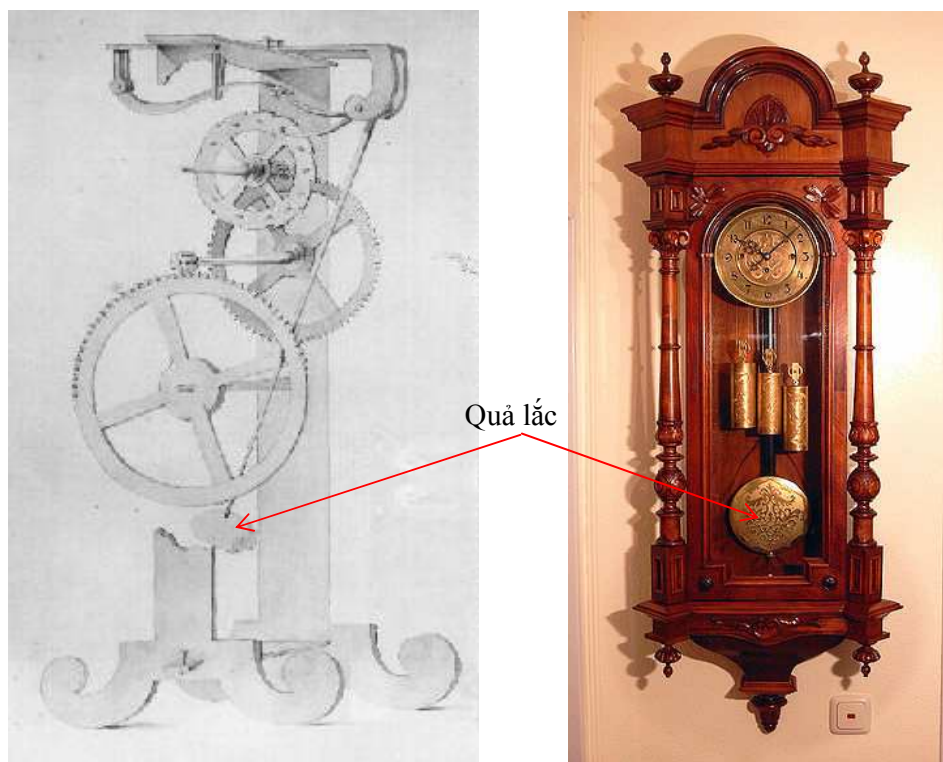
Hình 1. Đồng hồ nước và đồng hồ cát

Như thế có thể thấy ngay rằng lực hấp dẫn càng mạnh, tốc độ chảy của nước (hoặc cát) càng lớn do đó, đơn vị thời gian do các đồng hồ này thể hiện sẽ phải càng nhỏ, tức là “thời gian nhanh lên” chứ không phải chậm lại, trái ngược với tiên đoán của thuyết tương đối. Tất nhiên, có thể do độ nhạy thấp nên trong phạm vi phòng thí nghiệm sẽ khó có thể phát hiện được, nhưng điều đó không còn quan trọng nữa, vì một khi đã sai về chất thì khỏi cần bàn về lượng.

Đối với đồng hồ quả lắc (xem Hình 2), dao động của quả lắc trong đồng hồ này đóng vai trò giữ “xung nhịp” như ở đồng hồ điện tử. Chu kỳ dao động của quả lắc phụ thuộc vào cường độ trường hấp dẫn  $g$  theo công thức [8]:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (3)$$

ở đây  $l$  – là chiều dài của quả lắc. Trên Địa cầu của chúng ta với bán kính  $R_d \approx 6,4 \times 10^6 \text{m}$  tính theo mặt nước biển, nếu không tính đến sự tự quay của nó, cường độ hấp dẫn này sẽ thay đổi phụ thuộc vào độ cao  $h$  so với mặt nước biển đó:



a) Phương án thiết kế của Galileo

b) Dáng bề ngoài của đồng hồ hiện đại

Hình 2. Đồng hồ quả lắc

$$g = g_0 \left( \frac{R_d}{R_d + h} \right)^2 \quad (4)$$

Từ (3) và (4) cho thấy càng vào gần trường hấp dẫn mạnh ( $h \rightarrow 0$ ) thì  $g$  càng lớn, chu kỳ dao động của con lắc càng ngắn lại, có nghĩa là “thời gian” càng nhanh lên hết như đối với đồng hồ nước và đồng hồ cát, chứ không hề chậm lại như tiên đoán của thuyết tương đối. Đó mới là về mặt định tính. Về mặt định lượng, sự thay đổi thời gian này còn lớn hơn nhiều. Sự thay đổi chu kỳ  $T$  theo độ cao  $h$  so với mực nước biển có thể tính được theo công thức suy ra từ (2) và (3) với sự thay đổi tuyệt đối  $\Delta T$  và tương đối  $\delta T$ :

$$\Delta T = T_h - T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g_0}} \left( \frac{h}{R_d} \right). \quad (5)$$

$$\delta T = \frac{\Delta T}{T_0} = \frac{h}{R_d}. \quad (6)$$

Ví dụ ở độ cao  $h = 100\text{m}$  như trên, ta có  $\delta T \approx 1,6 \times 10^{-5}$ , tức là lớn hơn giá trị theo tiên đoán của thuyết tương đối rộng (1) cỡ  $10^9$  lần, nhưng điều quan trọng hơn là sự trái ngược của nó: thời gian không chạy chậm lại như tiên đoán lý thuyết mà cũng vẫn nhanh lên như đồng hồ nước (hoặc cát) đã nói tới ở trên!

Còn một loại đồng hồ nữa là đồng hồ thiên văn dựa vào chu kỳ quay của Trái đất xung quanh Mặt trời tuy cũng dựa trên cùng một nguyên tắc là sử dụng trường hấp dẫn, nhưng do

không thể dùng vào thực nghiệm đang nói tới ở đây với nghĩa là thay đổi được trường hấp dẫn tác động lên nó được nên lẽ ra ta sẽ không bàn tới. Tuy nhiên, nếu xét một cách chặt chẽ, chính loại “đồng hồ” kiểu này cũng là minh chứng một cách rõ ràng nhất về sự ảnh hưởng của hấp dẫn lên sự nhanh chậm của thời gian. Thực vậy, từ cơ học cổ điển chúng ta biết rằng chu kỳ quay  $T_R$  của các vật thể trong trường xuyên tâm (kiểu như hệ Mặt trời) gần như không phụ thuộc vào khối lượng của các vật thể đó, mà chủ yếu do trường hấp dẫn của vật trung tâm (ở đây là Mặt trời) quyết định:

$$T_R = \frac{2\pi}{\sqrt{\gamma M}} R^{\frac{3}{2}}, \quad (7)$$

trong đó  $\gamma$  – là hằng số hấp dẫn;  $M$  – là khối lượng Mặt trời;  $R$  - khoảng cách tới Mặt trời. Điều đó có nghĩa là cường độ trường hấp dẫn của Mặt trời trực tiếp ảnh hưởng tới chu kỳ quay của các hành tinh: càng ở gần Mặt trời, các hành tinh càng chuyển động nhanh lên (kể cả Trái đất nếu có cách gì dịch chuyển được nó!). Chính vì vậy, nếu ta định nghĩa “năm” là chu kỳ quay quanh Mặt trời của một vật thể (không quan trọng khối lượng là bao nhiêu) thì điều chắc chắn là càng vào gần Mặt trời, chu kỳ quay của nó càng nhỏ lại, tức là 1 “năm” sẽ càng ngắn lại như được thể hiện trên Bảng dưới đây – ta nói “thời gian chạy nhanh” lên – đó là kết luận hệt như đối với các đồng hồ nước và đồng hồ quả lắc đã nói tới ở trên.

| Tên hành tinh                       | Sao Hoả | Trái đất | Sao Kim | Sao Thủy |
|-------------------------------------|---------|----------|---------|----------|
| Khoảng cách tới Mặt trời (triệu km) | 227,8   | 149,6    | 108,2   | 57,9     |
| Chu kỳ (ngày Trái đất)              | 686,98  | 365,26   | 224,7   | 87,97    |

Tóm lại, về cơ bản có 3 dạng đồng hồ tạo nên cái gọi là “thời gian” theo 3 cách sử dụng lực khác nhau để tạo dao động (đơn vị thời gian): lực đàn hồi, lực điện từ và lực hấp dẫn. Trong 3 loại đồng hồ này chỉ có loại đồng hồ thứ ba là: đồng hồ nước (hoặc cát), đồng hồ quả lắc và đồng hồ thiên văn là liên quan trực tiếp tới lực hấp dẫn, nhưng lại hoàn toàn bị quên lãng(?) – không lẽ đây lại là “sơ xuất”? Trong khi đó, người ta lại chỉ chăm chăm vào một hiệu ứng nhỏ hơn cả tỷ lần, nhưng về nguyên tắc lại không thể nào lý giải được vì không có bất cứ một mối liên hệ nào (ít nhất là trên quan điểm của vật lý hiện đại) giữa lực hấp dẫn với nguyên lý làm việc của các đồng hồ (nguyên tử) được đem ra kiểm chứng cả. Chính vì thế, các thí nghiệm kiểm tra hiệu ứng thời gian chậm lại của thuyết tương đối rộng mới gặp phải nhiều ý kiến trái chiều, không thống nhất đến vậy trong cộng đồng vật lý trong một thời gian dài [9].

Điều quan trọng nhất ở đây là bài học phải được rút ra là đối tượng mà thuyết tương đối rộng đang nói đến là một trừu tượng toán học (“continuum thời gian”), và nếu có chẳng cũng chỉ là một mô hình cho khái niệm “thời gian chung chung” chứ chưa hề gắn nó với một dạng tương tác vật lý cụ thể nào như ta vừa phân tích ở trên, chưa phải là “thời gian” mà các nhà vật lý vẫn nói tới với nghĩa là “cái mà đồng hồ chỉ ra”. Cụ thể là nó không hề vạch ra được sự ảnh hưởng của hấp dẫn lên những đặc tính “tương tác đàn hồi” của đồng hồ cơ khí, hay “tương tác điện từ” của đồng hồ điện tử bao gồm cả đồng hồ nguyên tử.

Chính vì vậy, một vấn đề có tính nguyên tắc được đặt ra ở đây là các đồng hồ khác nhau về nguyên lý sẽ phải chỉ ra những thời gian khác nhau khi chịu tác động của cùng một yếu tố ảnh

hường (như hấp dẫn chẳng hạn). Trong khuôn khổ của vật lý hiện đại, bài toán về thời gian này không thể có lời giải đơn trị mà chắc chắn phải cần tới quan niệm biện chứng duy vật của “Con đường mới của vật lý học” (СЭМ) [10], mà tới đây, tác giả sẽ có bài độc lập về đề tài này. Trước mắt chỉ cần nhắc lại rằng giữa nội năng và ngoại năng của cùng một thực thể vật lý luôn luôn thống nhất và có mối quan hệ biện chứng: nếu năng lượng toàn phần được bảo toàn thì nội năng tăng lên bao nhiêu, ngoại năng sẽ giảm đi bấy nhiêu và ngược lại. Chính vì vậy, những đồng hồ nào dựa trên nguyên tắc sử dụng ngoại năng (dạng tương tác hấp dẫn) như đồng hồ nước (hoặc cát), đồng hồ quả lắc và đồng hồ thiên văn sẽ chỉ ra sự thay đổi thời gian ngược lại với các đồng hồ dựa vào nguyên tắc sử dụng nội năng (các dạng tương tác điện từ giữa những nguyên tử của vật liệu) như đồng hồ điện hay đồng hồ nguyên tử khi chịu cùng một tác động hấp dẫn như nhau.

Tóm lại, thực nghiệm đo thời gian trong trường hấp dẫn cần phải được xem xét lại một cách nghiêm túc, và qua đó cũng nói lên sự hạn chế của thuyết tương đối rộng – nó chỉ là một hình thức luận toán học chưa đủ “rộng” để bao quát hiện tượng hấp dẫn trong một thế giới vật chất thống nhất.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] А. Эйнштейн. *Собрание научных трудов Т. 2*. М. Наука, 1965 с. 5.
- [2] R. Pound, G. Rebka Phys. Rev. Lett. 4 337 (1960); 4 275 (1960); 3 439 (1959).
- [3] R. Pound, J. Snider Phys. Rev. B 140 788 (1965); Phys. Lett. 13 539 (1964).
- [4] C. Alley et al. *In Experimental Gravitation*. Proc. Of the Conf. at Pavia (9/1976) (Ed. B. Bertotti) (New York: Academic Press).
- [5] Vessot R, Levine M Gen. Rel. Grav. 10 181 (1979).
- [6] Wikipedia. *Time in physics*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Time\\_in\\_physics](http://en.wikipedia.org/wiki/Time_in_physics).
- [7] П.П. Орнатский. *Теоретические Основы Информационно-измерительной техники*. Издательское объединение “Вища школа”. 1983.
- [8] В. А. Дободюк, К. П. Рябошанка, О. И. Шулишова. *Справочник по элементарной физике*. Киев. Изд. “Наука и думка”. 1978.
- [9] Л.Б. Окунь, К.Г. Селиванов, В.Л. Телегди. *Гравитация, фотоны, часы*. Успехи физических наук. Том 169 No 10, 1999г.
- [10] Vũ Huy Toàn. *Con đường mới của vật lý học*, NXB Khoa học & Công nghệ, Hà nội, 2007.