

Hiệu ứng giãn nở thời gian của vật chuyển động

Trong bài báo “*On the electrodynamics of moving bodies -1905*”, Einstein đã đưa ra một kết luận rằng thời gian trong hệ quy chiếu chuyển động quán tính bị giãn ra so với hệ quy chiếu được xem là đứng yên. Trong bài báo này, ta sẽ nêu ra bản chất thực sự của hiệu ứng thời gian bị giãn nở. Và phân tích khía cạnh về thời gian trong bài báo của Einstein năm 1905, nhằm đưa ra bản chất sự giãn nở của thời gian trong Thuyết tương đối hẹp.

1. Hiệu ứng thời gian giãn ra của vật chuyển động

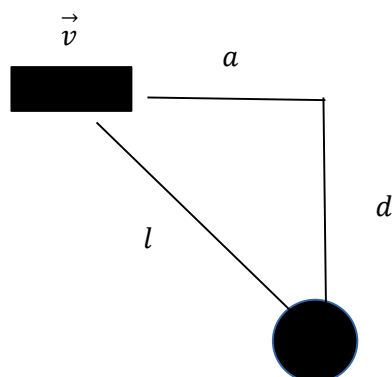
Nhận thức một hiện tượng bắt đầu từ việc tiếp nhận nguyên liệu thô sơ của giác quan tại cảm năng của tâm thức. Trong đó nguyên liệu giác quan quan trọng nhất với nhận thức về hiện tượng là nguyên liệu thị giác. Khi quan sát hiện tượng, việc nhận thức đúng đắn về bản chất của hiện tượng là dựa trên giả định rằng cảm năng mà quan sát viên hoặc máy đo thu được từ nguyên liệu thị giác phản ánh đúng hiện tượng khách quan.

Tuy nhiên, việc khẳng định rằng những gì quan sát viên nhìn thấy hoặc máy đo thu được luôn luôn phản ánh thực tại khách quan trong mọi trường hợp là một sai lầm. Do ánh sáng có vận tốc hữu hạn, nhận thức của quan sát viên với hiện tượng dựa trên hình ảnh sẽ có sai lệch so với bản chất của hiện tượng đó. Sự sai lệch đó là hiệu ứng thời gian chuyển động của một chất điểm bị giãn nở lại giữa quan sát viên chuyển động quán tính cùng với chất điểm và quan sát viên ở hệ quy chiếu đứng yên. Nguyên nhân bắt nguồn từ việc ánh sáng có vận tốc hữu hạn trong môi trường truyền. Trong phần này, ta sẽ thừa nhận tiên đề số 2 mà Einstein đã sử dụng trong bài báo “*On the electrodynamics of moving bodies -1905*”:

Phát biểu của tiên đề: “*Any ray of light moves in the “stationary” system of co-ordinates with the determined velocity c , whether the ray be emitted by a stationary or by a moving body*”.

Chúng ta hiểu rằng tiên đề này quy định vận tốc của ánh sáng trong hệ quy chiếu của quan sát viên được xem là đứng yên thì luôn có vận tốc xác định luôn luôn là c , bất kể vận tốc của nguồn phát. Nghĩa là không thể áp dụng công thức cộng vận tốc cho ánh sáng.

Ta giả sử một con tàu chạy lại gần và ngang qua quan sát viên (1) với vận tốc là v :



Tàu phát ra hình ảnh chuyển động đầu tiên tại thời điểm ban đầu theo thời gian của quan sát viên (1) là:

$$\tau_0 = 0$$

Hình ảnh chuyển động đó của tàu tới quan sát viên (1) tại thời điểm:

$$\tau_1 = \frac{\sqrt{a^2 + d^2}}{c}$$

Tại thời điểm tàu chuyển động được một khoảng thời gian τ_2 tàu lại phát hình ảnh chuyển động về (1):

$$\tau_2 = \frac{x}{v}$$

Hình ảnh chuyển động đó về (1) tại thời điểm:

$$\tau_3 = \frac{x}{v} + \frac{\sqrt{(a-x)^2 - d^2}}{c}$$

Thời gian (1) quan sát thấy tàu chuyển động là:

$$\tau = \tau_3 - \tau_1 = \frac{x}{v} + \frac{\sqrt{(a-x)^2 - d^2}}{c} - \frac{\sqrt{a^2 - d^2}}{c}$$

Trong khi thời gian thực tàu chuyển động t là:

$$t = \tau_2 - \tau_0 = \frac{x}{v}$$

Như vậy, quan sát viên (1) đã có sự sai lệch nhận thức thời gian chuyển động của con tàu so với thực tế một tỉ số:

$$\frac{\tau}{t} = 1 + \frac{v}{c} \left(\frac{\sqrt{d^2 + (a-x)^2} - \sqrt{d^2 + a^2}}{x} \right)$$

Trường hợp x vô cùng nhỏ:

$$\frac{d\tau}{dt} = 1 - \frac{v}{c} \left(\lim_{x \rightarrow 0} \left(\frac{\sqrt{d^2 + (a-x)^2} - \sqrt{d^2 + a^2}}{-x} \right) \right)$$

Tương đương:

$$\tau = t \left(1 - \frac{v a}{c l} \right)$$

Với $d \ll l \Leftrightarrow a = l$, ta có:

$$\tau = t(1 - \frac{v}{c})$$

Nhận xét: Chúng ta nhận thấy rằng, do ánh sáng có vận tốc hữu hạn là c trong chân không, người quan sát một vật chuyển động sẽ đo được thời gian là khác nhau giữa kết quả thực tế thu được. Sự khác nhau đó phản ánh sự giãn nở của thời gian đo được giữa đồng hồ ở hệ quy chiếu chuyển động quán tính và hệ quy chiếu được xem là đứng yên và đó thực sự là một hiệu ứng. Tuy nhiên, hiệu ứng đó chỉ thể hiện sự khác biệt giữa nhận thức về hiện tượng của quan sát viên và thực tế khách quan. Đó không phải là một sự giãn nở của thời gian thực sự của hiện tượng diễn ra ở hai hệ quy chiếu quán tính.

2. Quan điểm của Einstein về thời gian.

Định nghĩa của Einstein về thời gian gắn liền với khái niệm sự kiện đồng thời ("simultaneous events"). Thời gian của sự kiện chính là thời gian hiển thị trên một đồng hồ được đồng bộ với thời gian của sự kiện. Do vậy để đảm bảo nhận thức đúng về hiện tượng thì thời gian của sự kiện phải đảm bảo đồng thời với thời gian hiển thị ở đồng hồ của các quan sát viên ở các vị trí khác nhau.

Einstein nêu ra cơ chế đồng bộ các đồng hồ bằng cách đồng bộ thời gian tại các vị trí khác nhau bằng tín hiệu ánh sáng. Theo định nghĩa của Einstein, hai đồng hồ tại A và B là các đồng hồ cố định được coi là đồng bộ nếu tia sáng chứa thông tin về thời gian thỏa mãn:

$$t_B - t_A = t_{A'} - t_B$$

Với việc tia sáng có vận tốc trong chân không là c :

$$t_B - t_A = t_{A'} - t_B = \frac{r_{AB}}{c}$$

Tương đương:

$$t_B = \frac{r_{AB}}{c} + t_A$$

Einstein khẳng định rằng hai đồng hồ là đồng thời nếu thỏa mãn điều kiện đồng bộ.

Gọi thời gian của đồng hồ tại A là τ , thời gian của đồng hồ tại B là t . Khi đó ta có hệ thức liên hệ giữa đồng hồ gắn với sự kiện và đồng hồ của quan sát viên:

$$\tau = t$$

Nhận xét:

- Nếu một quan sát viên tại điểm A đang quan sát sự kiện diễn ra tại điểm B trong không gian. Cơ học cổ điển dựa trên giả thiết cho rằng thời gian tại điểm A luôn là luôn đồng thời với thời gian tại điểm B. Do vậy, quan sát viên tại A luôn quan sát đúng đắn về thời gian của sự kiện tại B. Tuy nhiên, Einstein phủ định đã điều đó. Ta chỉ có thể khẳng định rằng thời gian tại điểm A là là đồng

thời với thời gian tại điểm B nếu đồng hồ tại điểm B thỏa mãn điều kiện đồng bộ với đồng hồ ở điểm B. Nếu vận tốc ánh sáng là vô cùng, ta luôn có thể đảm bảo đồng hồ ở các vị trí khác nhau là đồng thời với nhau mà không cần thỏa mãn bất kỳ hệ thức nào. Do ánh sáng có vận tốc hữu hạn là giá trị c nên sự đồng bộ bằng ánh sáng là có hạn chế. Chính sự hạn chế đó dẫn tới sự giãn nở của thời gian mà chúng ta sẽ phân tích ở chương sau.

- Chúng ta nhận thấy có sự tương đồng rất lớn giữa vấn đề đồng bộ đồng hồ của Einstein và hiệu ứng giãn thời gian của vật chuyển động. Cả hai cùng hướng đến mục đích hạn chế sự sai lệch trong nhận thức của quan sát viên khi nhận thức về hiện tượng do sự hạn chế về tính hữu hạn của vận tốc ánh sáng. Trong phần sau, tôi sẽ chứng minh vấn đề đồng bộ của Einstein và hiệu ứng giãn thời gian của vật chuyển động là cùng bản chất.
- Cần khẳng định về mặt triết học, hiện tượng khách quan luôn diễn ra độc lập với ý thức của quan sát viên. Do vậy, sự không đồng bộ chỉ là phương tiện để khắc phục sự hạn chế trong nhận thức của quan sát viên với hiện tượng. Như vậy, chúng ta cần khẳng định sự giãn nở của thời gian giữa các hệ quy chiếu chỉ tác động tới nhận thức về hiện tượng chứ không tác động tới thực tại khách quan của hiện tượng. Nghĩa là một hiện tượng vật lý diễn ra với thời gian xác định ở hệ quy chiếu quán tính nào thì cũng sẽ diễn ra với thời gian như vậy ở bất kỳ hệ quy chiếu quán tính nào khác.

3. Sự giãn nở của thời gian trong thuyết tương đối

Bây giờ ta sẽ trình bày lại cơ chế đồng bộ thời gian giữa hai hệ quy chiếu chuyển động quán tính mà Einstein đã giới thiệu trong bài báo *"On the electrodynamics of moving bodies -1905"*:

Einstein gọi system (k) là hệ quy chiếu chuyển động với vận tốc không đổi theo hướng x với system (K) là hệ quy chiếu đứng yên.

Einstein ký hiệu: System (k) : (x, y, z, t) , System (K) : (ξ, η, ζ, τ)

Gọi:

$$x' = x - vt$$

Tương đương:

$$x = x' + vt$$

Từ system (k) đang chuyển động, bắn 1 tia sáng tại gốc tọa độ theo trục x tại thời điểm τ_0 và tại thời điểm τ_1 tại vị trí $x' = L$ tia sáng phản xạ lại gốc tọa độ gọi là thời gian τ_2 .

Ta có biểu thức thỏa mãn điều kiện đồng bộ:

$$\frac{1}{2}(\tau_0 + \tau_2) = \tau_1$$

Tương đương:

$$\frac{1}{2}[\tau(0,0,0,t) + \tau(0,0,0,t + \frac{x'}{c-v} + \frac{x'}{c+v})] = \tau(x', 0,0, t + \frac{x'}{c-v})$$

Với phương trình vi phân liên hệ:

$$\frac{\partial \tau}{\partial x'} + \frac{v}{c^2 - v^2} \frac{\partial \tau}{\partial t} = 0$$

Từ phương trình vi phân, ta rút ra được công thức đồng bộ thời gian giữa hai đồng hồ t và τ của Einstein:

$$\tau = \alpha \left(t - \frac{v}{c^2 - v^2} x' \right)$$

Xét trường hợp $x' = (c - v)t$ như Einstein đã sử dụng, thì ta rút ra được công thức:

$$\tau = \alpha \frac{c^2}{c^2 - v^2} t \left(1 - \frac{v}{c} \right)$$

Đến thời điểm hiện tại, ta vẫn đang hoàn toàn sử dụng những kết quả toán học của Einstein. Tuy nhiên tại vị trí lập luận này, ta nhận thấy α hoàn toàn có thể xác định dựa trên những giả định của Einstein.

Tại thời điểm ban đầu:

$$t_0 = 0; \tau_0 = 0; x'_0 = 0; \xi_0 = 0$$

Tại thời điểm tia sáng tới vị trí x' là điểm đồng bộ. Không làm mất tính tổng quát, ta giả sử

$$x' = L$$

Khi đó:

$$\xi_1 = L$$

$$t_1 = \frac{L}{c - v}$$

$$\tau_1 = \frac{|\xi_1 - \xi_0|}{c} = \frac{L}{c}$$

$$x' = L$$

Thay vào phương trình ta có:

$$\alpha = \frac{\tau_1}{t_1 - \frac{v}{c^2 - v^2} x'_1} = \frac{c^2 - v^2}{c^2}$$

Như vậy, từ hệ quả của sự đồng bộ thời gian giữa hai hệ quy chiếu chuyển động quán tính, ta có kết luận thời gian giữa hai hệ quy chiếu được liên hệ bởi biểu thức:

$$\tau = t \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)$$

Nhận xét: Công thức liên hệ thời gian từ hệ quả của sự không đồng bộ là giống với công thức liên hệ thời gian từ hiệu ứng thời gian giãn nở của vật chuyển động. Điều này không phải là ngẫu nhiên mà nó là hệ quả của việc cả hai vấn đề đã cùng áp dụng chung một phương pháp toán học. Nghĩa là cả hai hiệu ứng cùng có chung một bản chất toán học, nhưng lại thể hiện khác nhau về ý nghĩa vật lý.

Sự giãn nở thời gian giữa hai hệ quy chiếu của Einstein mà ta thấy ở kết quả cuối cùng là:

$$\tau = \beta \left(t - \frac{vx}{c^2} \right)$$

Với

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Nó bắt nguồn từ sự thừa nhận:

$$\alpha = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Nguồn gốc hệ số α trên đến từ một sự hiểu nhầm toán học của Einstein. Einstein đã có một giả sử:

$$\eta = ct$$

Và, Einstein cho rằng giá trị của y trong trường hợp này:

$$y = \sqrt{c^2 - v^2}$$

Đây là một nhận định sai lầm. Ta biết rằng từ trong system (K) khi:

$$\eta = ct$$

thì vector vận tốc tổng hợp từ góc nhìn của system (k) sẽ là:

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y$$

Với:

$$|\vec{v}| = \sqrt{c^2 - v^2}; |\vec{v}_x| = v; |\vec{v}_y| = c$$

Nghĩa là giá trị của:

$$y = \eta$$

Nó là biểu thức hiển nhiên đúng và điều đó sẽ dẫn tới không tồn tại hệ số β .