



Thuyết tương đối của Einstein

1. Hai tiên đề

2. Phép biến đổi Lorentz

3. Hệ quả của phép biến đổi Lorentz

3a. Quan hệ nhân quả

3b. Sự co ngắn thời gian và độ dài

4. Động học tương đối tính

4a. Phương trình cơ bản

4b. Động lượng và năng lượng



1. Hai tiên đề

- Các hiện tượng vật lý diễn ra như nhau trong mọi hệ quy chiếu quán tính.
- Vận tốc của ánh sáng trong chân không là một hằng số ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s), không phụ thuộc vào hệ quy chiếu và phương truyền.



Thuyết tương đối của Einstein

1. Hai tiên đề

2. Phép biến đổi Lorentz

3. Hệ quả của phép biến đổi Lorentz

3a. Quan hệ nhân quả

3b. Sự co ngắn thời gian và độ dài

4. Động học tương đối tính

4a. Phương trình cơ bản

4b. Động lượng và năng lượng



2. Phép biến đổi Lorentz (1)

Phép biến đổi Lorentz suy ra từ phép biến đổi Galilei. Trong đó phép biến đổi Galilei như sau:

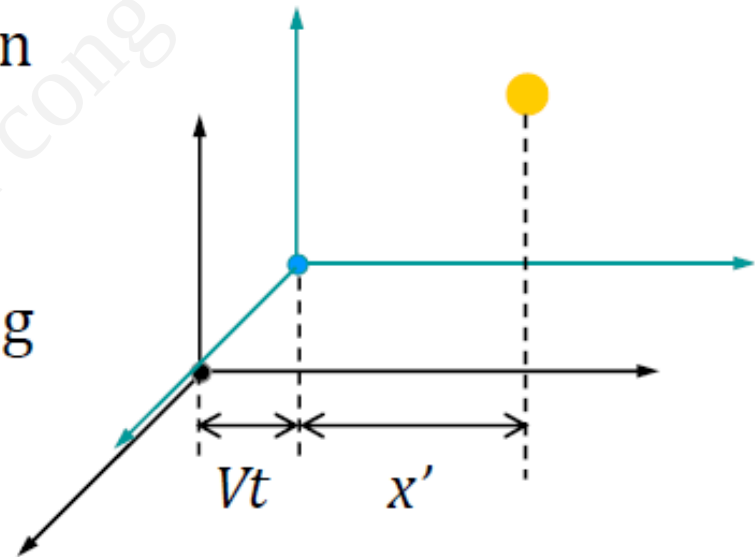
- Hqc K' chuyển động theo trục x của hqc K với vận tốc V .
- Lúc $K \equiv K'$ thì $t = t' = 0$.
- Một biến cố xảy ra trong K' có tọa độ (x', y', z', t')
- đối với K sẽ có tọa độ:

$$x = x' + Vt$$

$$y = y'$$

$$z = z'$$

$$t = t'$$





2. Phép biến đổi Lorentz (2)

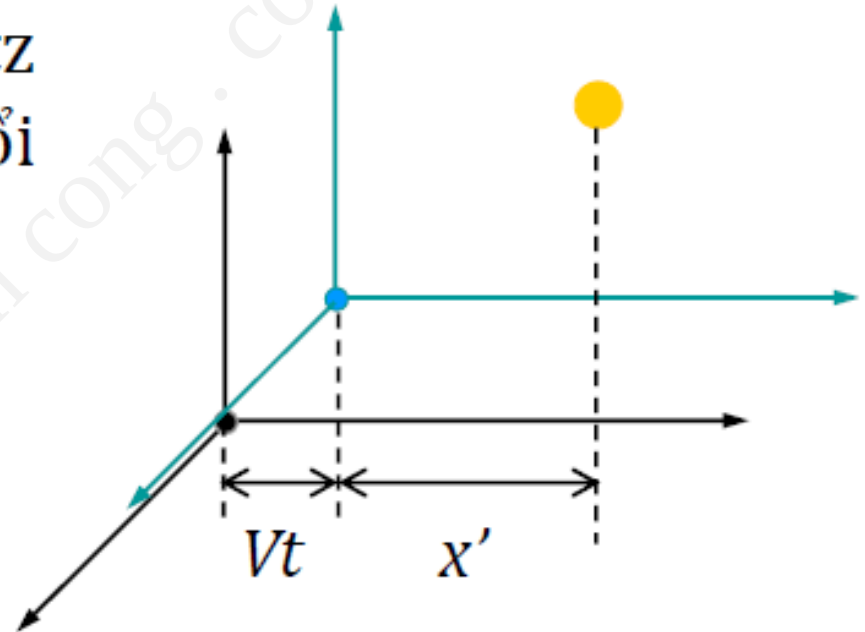
- Để phù hợp với các hiệu ứng tương đối, Lorentz đưa ra các phép biến đổi mới:

$$x = \gamma(x' + Vt')$$

$$y = y'$$

$$z = z'$$

$$t = \gamma\left(t' + \frac{V}{c^2}x'\right)$$



Khi $V \ll c$,

$\gamma \rightarrow 1, V/c^2 \rightarrow 0$

Lorentz $\rightarrow$ Galilei.



2. Phép biến đổi Lorentz- vận tốc

Công thức biến đổi từ $O \rightarrow O'$ ta có:

$$x' = \gamma(x - vt)$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

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



2. Phép biến đổi Lorentz (3)

Cách xác định hằng số ta có:

$$\left. \begin{array}{l} x = \gamma(x' + vt') \\ x' = \gamma(x - vt) \\ x' = ct' \\ x = ct \end{array} \right\} \begin{array}{l} xx' = \gamma^2(x' + vt')(x - vt) \\ \Rightarrow c^2 = \gamma^2(c^2 - v^2) \end{array} \Rightarrow \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$



2. Phép biến đổi Lorentz- vận tốc

Từ công thức biến đổi Lorentz từ $O \rightarrow O'$ ta có:

$$\left. \begin{aligned} dx' &= \frac{dx - v dt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ dt' &= \frac{dt - \frac{v}{c^2} dx}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow v'_x = \frac{dx - v dt}{dt - \frac{v}{c^2} dx} = \frac{v_x - v}{1 - \frac{v}{c^2} v_x}$$

2. Phép biến đổi Lorentz- vận tốc

Tương tự ta có các thành phần còn lại như sau:

$$v'_y = \frac{v_x - v}{1 - \frac{v}{c^2} v_x} \quad v'_y = \frac{v_y \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v}{c^2} v'_x} \quad v'_z = \frac{v_z \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v}{c^2} v'_x}$$

Từ công thức biến đổi Lorentz từ $O' \rightarrow O$ ta có:

$$v_x = \frac{v'_x + v}{1 + \frac{v}{c^2} v'_x} \quad v_y = \frac{v'_y \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v}{c^2} v'_x} \quad v_z = \frac{v'_z \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v}{c^2} v'_x}$$

2. Phép biến đổi Lorentz- vận tốc

Như vậy, từ đầu đến giờ là xét vật trong hệ K' chuyển động dọc theo trục x hoặc x' , nghĩa là $(\vec{v}'_x \uparrow \uparrow \vec{v})$.

$$v_x = \frac{v'_x + v}{1 + \frac{v}{c^2} v'_x}$$

$$v'_x = \frac{v_x - v}{1 - \frac{v}{c^2} v_x}$$

Trong trường hợp vật trong hệ K' chuyển động ngược chiều trục x hoặc x' , nghĩa là $(\vec{v}'_x \uparrow \downarrow \vec{v})$.

$$v_x = \frac{v'_x - v}{1 - \frac{v}{c^2} v'_x}$$

$$v'_x = \frac{v_x + v}{1 + \frac{v}{c^2} v_x}$$



Thuyết tương đối của Einstein

1. Hai tiên đề

2. Phép biến đổi Lorentz

3. Hệ quả của phép biến đổi Lorentz

3a. Quan hệ nhân quả

3b. Sự co ngắn thời gian và độ dài

4. Động học tương đối tính

4a. Phương trình cơ bản

4b. Động lượng và năng lượng



3a. Quan hệ nhân quả

Xét hai hiện tượng A_1 và A_2 trong hệ quán tính S xảy ra tại hai thời điểm khác nhau t_1 và t_2 . Tọa độ của hai hiện tượng tương ứng là $A_1(x_1, y, z, t_1)$ và $A_2(x_2, y, z, t_2)$.

Khoảng thời gian giữa hai hiện tượng đó trong hệ quán tính S' .

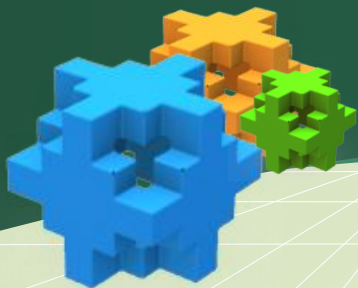
$$t'_2 - t'_1 = \frac{(t_2 - t_1) - \frac{v}{c^2}(x_2 - x_1)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

trong đó v là vận tốc của hệ quán tính S' so với S .

Giả sử hai sự kiện A_1 và A_2 xảy ra đồng thời trong hệ quán tính S

$$t_1 = t_2 \Rightarrow t'_2 - t'_1 = -\frac{\frac{v}{c^2}(x_2 - x_1)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \neq 0$$

Như vậy hai sự kiện A_1 và A_2 không xảy ra đồng thời trong hệ quán tính S' . Khái niệm đồng thời chỉ là tương đối.



3a. Quan hệ nhân quả

Vì $t'_2 - t'_1$ phụ thuộc vào dấu của hiệu tọa độ $x_2 - x_1$, nghĩa là thứ tự xảy ra các sự kiện là bất kỳ. Trong các hệ quán tính khác sự kiện A_1 xảy ra trước sự kiện A_2 hoặc ngược lại.

Quan hệ nhân quả: Nguyên nhân xảy ra trước, kết quả xảy ra sau. Nguyên nhân quyết định cho sự ra đời của kết quả. Ví dụ: viên đạn được bắn ra được gọi là nguyên nhân, viên đạn trúng đích được gọi là kết quả.

Thứ tự của các sự kiện có quan hệ nhân quả không thay đổi trong mọi hệ quán tính.



3a. Quan hệ nhân quả

Sự bất biến của khoảng không-thời gian

- Khoảng cách không-thời gian Δs giữa hai biến cố được định nghĩa bởi:

$$\Delta s^2 = c^2 \Delta t^2 - (\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)$$

- Từ phép biến đổi Lorentz, ta có thể chứng minh là khoảng Δs không thay đổi khi chuyển hệ quy chiếu:

$$\Delta s^2 = \Delta s'^2$$



Thuyết tương đối của Einstein

1. Hai tiên đề

2. Phép biến đổi Lorentz

3. Hệ quả của phép biến đổi Lorentz

3a. Quan hệ nhân quả

3b. Sự co ngắn thời gian và độ dài

4. Động học tương đối tính

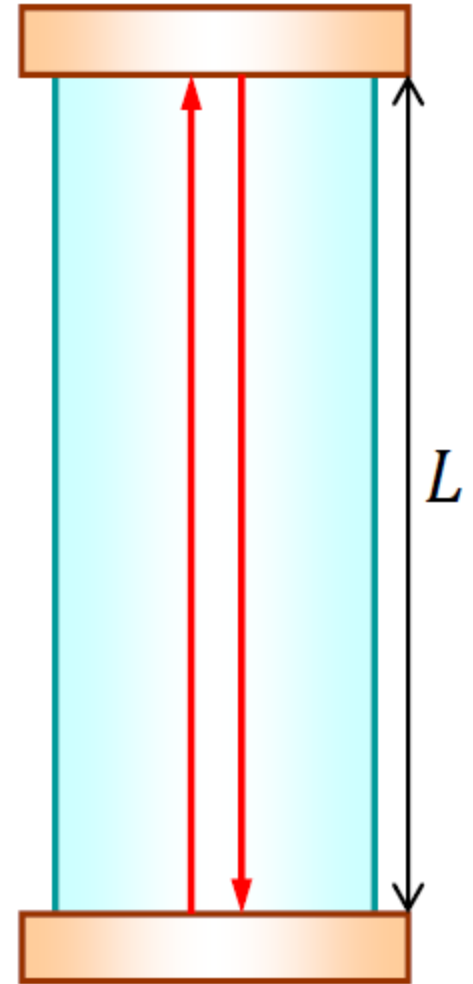
4a. Phương trình cơ bản

4b. Động lượng và năng lượng

3b. Sự co ngắn thời gian và độ dài (1)

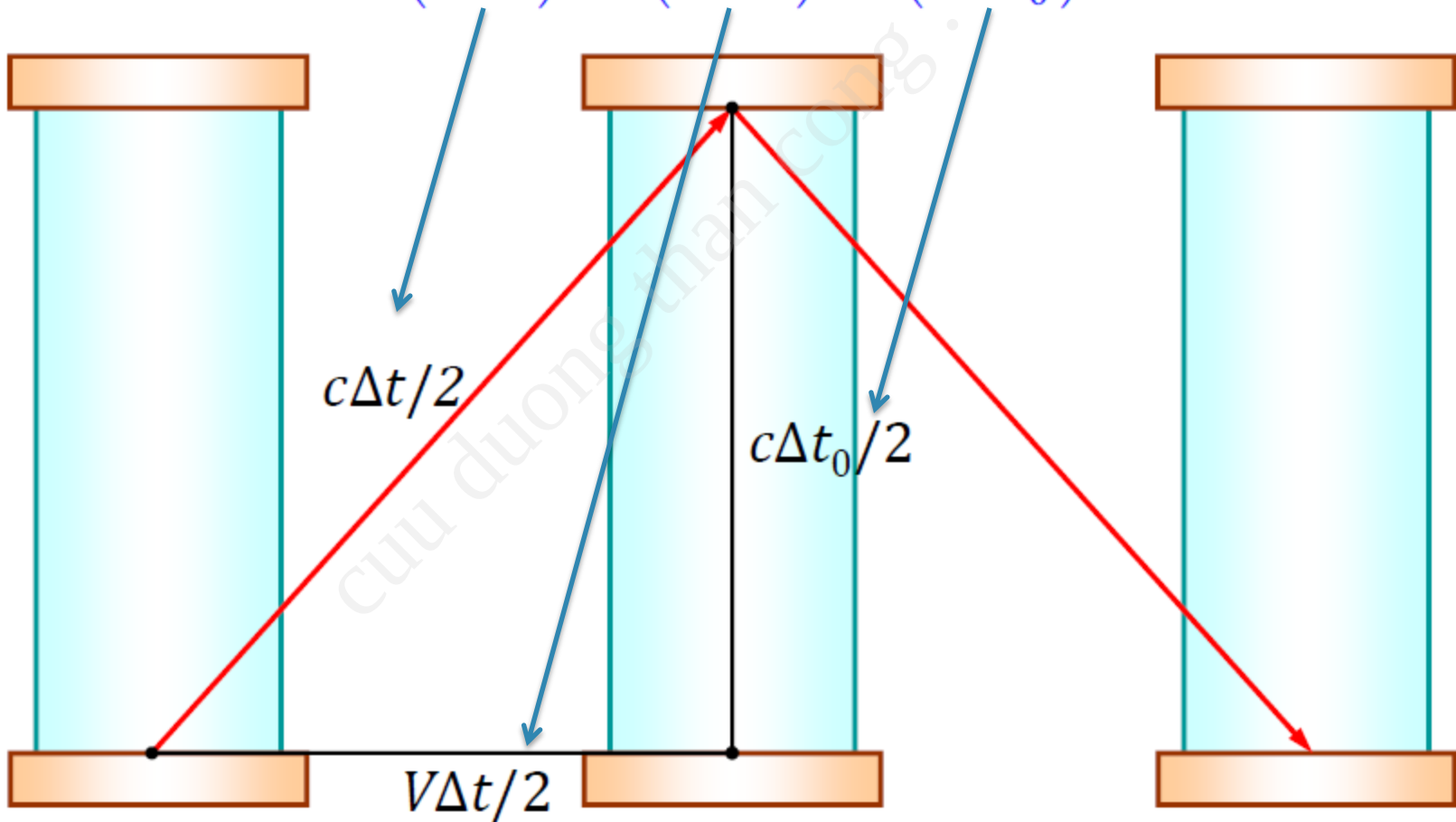
- Xét một đồng hồ ánh sáng,
- Một “tích tắc” là một lần ánh sáng đi từ dưới lên trên và phản xạ trở về.
- Trong *hệ quy chiếu gắn liền với đồng hồ*,
- thời gian của một “tích tắc” là:

$$\Delta t_0 = \frac{2L}{c}$$



3b. Sự co ngắn thời gian và độ dài (2)

- Trong hqc nhìn thấy đồng hồ chuyển động với vận tốc V : $(c\Delta t)^2 = (V\Delta t)^2 + (c\Delta t_0)^2$ ĐL Pitago





3b. Sự co ngắn thời gian và độ dài (3)

- Vậy đối với quan sát viên nhìn thấy đồng hồ chuyển động, một tích tắc của đồng hồ là:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} \quad \gamma \equiv \frac{1}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} > 1$$

$$\Delta t > \Delta t_0$$

- Theo quan sát viên nhìn thấy đồng hồ chuyển động, đồng hồ có nhịp điệu dẫn ra.
- Mọi đồng hồ khác cũng vậy. (Theo tiên đề 1)



3b. Sự co ngắn thời gian và độ dài (5)

Từ công thức sự co ngắn thời gian: $\Delta t = \frac{\Delta t_0}{1 - \frac{v}{c^2}} \Rightarrow L_0 = \frac{L}{1 - \frac{v}{c^2}}$

Nhân hai vế cho v

Trong đó Δt_0 là thời gian đo khoảng cách giữa hai biến cố của đồng hồ đứng yên còn Δt là thời gian đo khoảng cách giữa hai biến cố trong hệ thấy đồng hồ chuyển động.

Giả sử có một thanh, coi một đầu là biến cố thứ nhất, đầu còn lại là biến cố thứ hai.

Người thứ nhất để đo chiều dài của thanh nên cầm đồng hồ chạy từ đầu này đến đầu kia của thanh với vận tốc v . Người này sẽ thấy đồng hồ đứng yên $\Rightarrow$ thời gian là $\Delta t_0 \Rightarrow$ độ dài của thanh $L = v\Delta t_0$

Người thứ hai nhìn người cầm đồng hồ chạy thì thời gian giữa hai đầu thanh (hai biến cố) là $\Delta t \Rightarrow$ độ dài thanh $L_0 = v\Delta t$



3b. Sự co ngắn thời gian và độ dài (6)

Từ công thức sự co ngắn độ dài: $\Rightarrow L_0 = \frac{L}{1 - \frac{v}{c^2}}$

Trong đó L_0 (chiều dài riêng) khoảng cách giữa hai biến cố trong hệ **thấy** đồng hồ chuyển động $\Rightarrow$ hệ tĩnh K. Còn L là độ dài đo trong hệ qui chiếu chuyển động $\Rightarrow$ hệ chuyển động K' .



Thuyết tương đối của Einstein

1. Hai tiên đề

2. Phép biến đổi Lorentz

3. Hệ quả của phép biến đổi Lorentz

3a. Quan hệ nhân quả

3b. Sự co ngắn thời gian và độ dài

4. Động học tương đối tính

4a. Phương trình cơ bản

4b. Động lượng và năng lượng



4a. Phương trình cơ bản

- Động lượng của một chất điểm trong thuyết tương đối là:

$$\vec{p} = m\vec{v} = \gamma m_0 \vec{v}$$

- Phương trình động lực học:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(\gamma m_0 \vec{v})}{dt} = \vec{F}$$



Thuyết tương đối của Einstein

1. Hai tiên đề

2. Phép biến đổi Lorentz

3. Hệ quả của phép biến đổi Lorentz

3a. Quan hệ nhân quả

3b. Sự co ngắn thời gian và độ dài

4. Động học tương đối tính

4a. Phương trình cơ bản

4b. Động lượng và năng lượng



4b. Động lượng và năng lượng

- Năng lượng của một chất điểm chuyển động:
- Năng lượng nghỉ:
- Động năng:
- Hệ thức giữa động lượng và năng lượng:

$$E = mc^2$$

$$E_0 = m_0 c^2$$

$$K = (m - m_0)c^2$$

$$E^2 = (pc)^2 + (m_0 c^2)^2$$

$$(pc)^2 = K^2 + 2Km_0 c^2$$