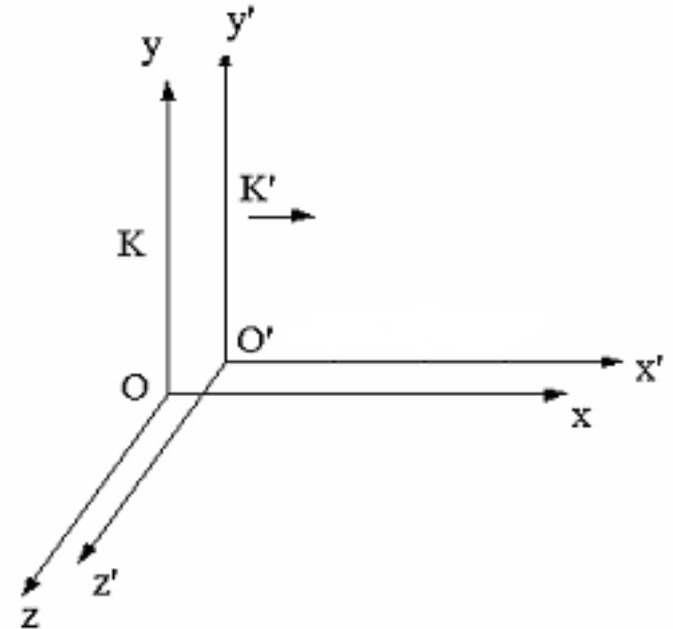


Chương 6

THUYẾT TƯƠNG ĐỐI EINSTEIN

I. Quan niệm về không gian, thời gian theo quan điểm cơ học cổ điển.

Xét hệ quy chiếu quán tính $k(x, y, z, t)$. Hệ $k'(x', y', z', t')$ chuyển động với vận tốc V so với k , dọc theo trục x , tại thời điểm $t = 0$ thì O trùng O'



1. Thời gian có tính tuyệt đối: $t = t'$

2. Tọa độ không gian : Xét vị trí của M trong 2 hệ k và k'

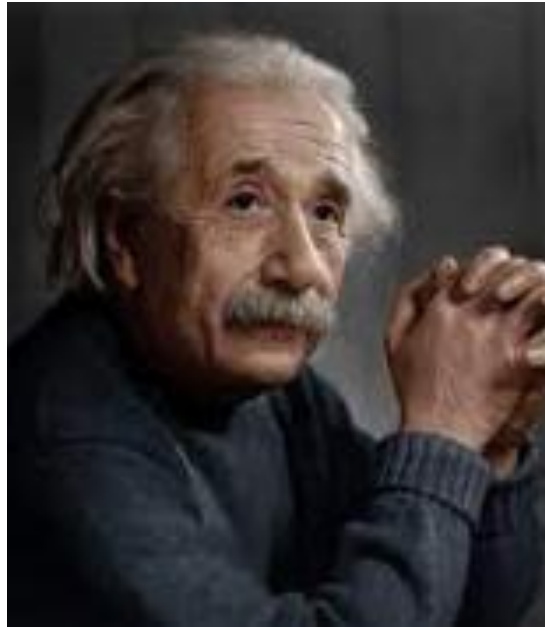
$$x = x' + Vt', \quad y = y', \quad z = z'$$

$$x' = x - Vt, \quad y = y', \quad z = z'$$

Vị trí không gian có tính tương đối phụ thuộc vào hệ quy chiếu

II. Hai tiên đề của Einstein

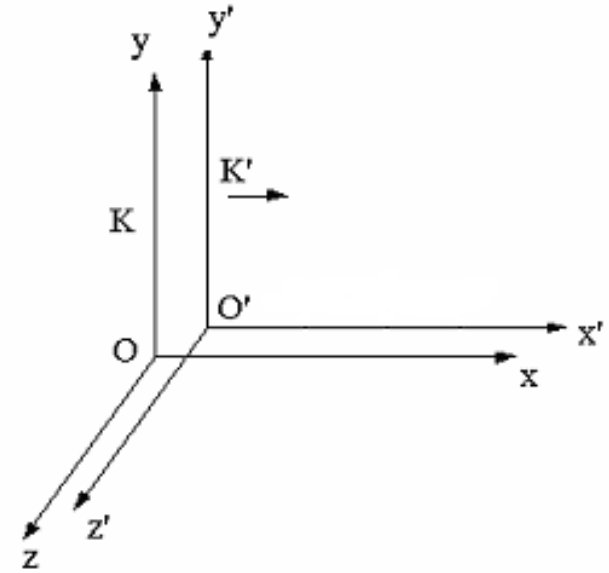
- 1. Mọi định luật vật lý đều như nhau trong các hệ quy chiếu quán tính.*
- 2. Vận tốc ánh sáng trong chân không đều bằng nhau đối với mọi hệ quy chiếu quán tính, nó có giá trị bằng $c = 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$.*



Albert Einstein
1879 – 1955 (Đức)

III. Phép biến đổi Lorentz

Xét hệ quy chiếu quán tính $k(x,y,z,t)$. Hệ $k'(x',y',z',t')$ chuyển động với vận tốc V so với k , dọc theo trục x , tại thời điểm $t = 0$ thì O trùng O'



Tọa độ của gốc O' :

Trong hệ K : $x = Vt$ hay $x - Vt = 0$; trong hệ K' : $x' = 0$

$$\rightarrow x' = \alpha(x - Vt) \quad (1)$$

Tọa độ của gốc O :

Trong hệ K' : $x' = -Vt'$ hay $x' + Vt' = 0$; trong hệ K : $x = 0$

$$\rightarrow x = \beta(x' + Vt') \quad (2) \quad \text{Theo tiên đề 1: } \alpha = \beta$$

Theo tiên đề 2: $ct' = \alpha(ct - Vt)$ (1), $ct = \alpha(ct' + Vt')$ (2) $\rightarrow \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$

CƠ HỌC TƯƠNG ĐỐI

$$x' = \frac{x - Vt}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \quad (1)$$

$$x = \frac{x' + Vt'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \quad (2)$$

$$t' = \frac{t - \frac{V}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \quad (3)$$

$$t = \frac{t' + \frac{V}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \quad (4)$$

Vì chỉ chuyển động theo trục x nên $y = y'$, $z = z'$

Khi $V \ll c$ thì các công thức trên trở về trường hợp cơ học cổ điển

IV. Các hệ quả của phép biến đổi Lorentz

1. Khái niệm về tính đồng thời và quan hệ nhân quả

Xét hai biến cố $A_1(x_1, y_1, z_1, t_1)$ và $A_2(x_2, y_2, z_2, t_2)$ trong hệ K , khoảng thời gian của 2 biến cố đó trong hệ k' là $t'_2 - t'_1$

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

Các biến cố có thể xảy ra đồng thời trong hệ K nhưng chưa chắc đồng thời hệ k' và thứ tự các biến cố trong hệ K' có thể là bất kỳ.

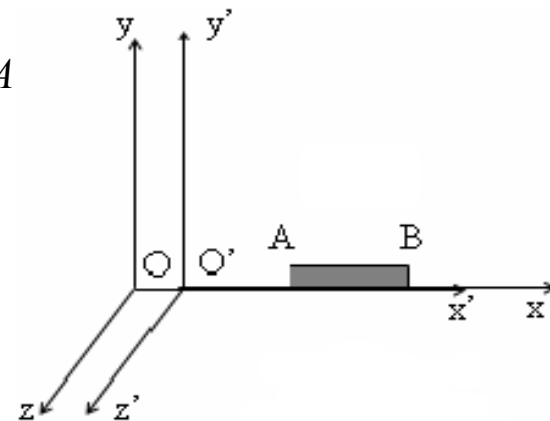
Thứ tự của các biến cố có quan hệ nhân quả bao giờ cũng được đảm bảo trong mọi hệ qui chiếu quán tính

2. Sự co ngắn chiều dài

Xét thước nằm yên trong hệ K' và đặt dọc theo trục x

Chiều dài của thước trong hệ K' là $\ell_o = x'_B - x'_A$

Chiều dài của thước trong hệ K là $\ell = x_B - x_A$,
với điều kiện $t_A = t_B$



$$x'_B - x'_A = \frac{x_B - x_A - V(t_B - t_A)}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = \frac{x_B - x_A}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

$$\rightarrow \ell = \ell_o \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} < \ell_o; \text{ khi } V \ll c \text{ thì } \ell = \ell_o$$

Độ dài của thanh trong hệ quy chiếu mà thanh chuyển động bị co ngắn theo phương chuyển động

3. Sự giãn của thời gian

Xét 2 biến cố xảy ra tại cùng **1 vị trí trong hệ K'** (đồng hồ đứng yên trong hệ K')

Khoảng thời gian của 2 biến cố đó trong hệ K': $\Delta t' = t'_2 - t'_1$

Khoảng thời gian của 2 biến cố đó trong hệ K: $\Delta t = t_2 - t_1$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{t'_2 - t'_1 + \frac{V}{c^2}(x'_2 - x'_1)}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = \frac{t'_2 - t'_1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \rightarrow \Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} < \Delta t$$

Khoảng thời gian của một quá trình trong hệ chuyển động bao giờ cũng nhỏ hơn khoảng thời gian của quá trình đó trong hệ đứng yên

V. Động lực học tương đối tính

Khối lượng của vật khi chuyển động với vận tốc gần bằng vận tốc ánh sáng:

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

Động lượng của vật:

$$\vec{p} = m\vec{V} = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \vec{V}$$

CƠ HỌC TƯƠNG ĐỐI

Năng lượng của vật khi chuyển động

$$E = mc^2 = m_0c^2 + E_d$$

Năng lượng nghỉ: $E_0 = m_0c^2$

Động năng:

$$E_d = mc^2 - m_0c^2$$

$$E_d = mc^2 - m_0c^2 = m_0c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

$$\text{khi } V \ll c \text{ thì } \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = \left(1 - \frac{V^2}{c^2} \right)^{-1/2} \approx 1 + \frac{1}{2} \frac{V^2}{c^2} \rightarrow E_d = \frac{mV^2}{2}$$

$$\ell = \ell_o \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} < \ell_o$$

$$\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} < \Delta t$$

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

$$E_d = mc^2 - m_o c^2 = m_o c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

VÍ DỤ

Ví dụ 1: Tìm vận tốc của hạt electron để năng lượng toàn phần của nó lớn gấp 10 lần năng lượng nghỉ của nó. Cho $c = 3.10^8$ m/s.

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = 10m_0 c^2 \rightarrow \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = 10 \rightarrow V =$$

VÍ DỤ

Ví dụ 2: Một hạt vi mô trong các tia vũ trụ chuyển động với vận tốc bằng 0,95 lần vận tốc ánh sáng. Hỏi khoảng thời gian theo đồng hồ người quan sát đứng trên trái đất ứng với khoảng “thời gian sống” một giây của hạt đó.

Gọi $\Delta t'$ là thời gian sống của hạt, Δt là thời gian theo đồng hồ người quan sát trên trái đất tương ứng với thời gian sống của hạt.

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} =$$

VÍ DỤ

Ví dụ 3. Tìm hiệu điện thế tăng tốc U mà prôtôn vượt qua để cho kích thước của nó trong hệ qui chiếu gắn với trái đất giảm đi hai lần. Cho $m_{\text{op}} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

$$\ell = \ell_0 \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} \rightarrow \frac{\ell}{\ell_0} = \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} = \frac{1}{2}$$

hiệu điện thế tăng tốc U

$$eU = \Delta E_{\text{đ}} = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} - 1 \right) \rightarrow U =$$

VÍ DỤ

Ví dụ 4. Khối lượng của hạt electron chuyển động lớn gấp hai lần khối lượng của nó khi đứng yên. Tìm động năng của hạt. Cho $m_{0e} = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg , $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = 2m_0 \rightarrow \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} = \frac{1}{2}$$

Động năng của hạt:

$$E_d = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} - 1 \right) =$$