



HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

VẬT LÝ 2/3 VÀ THÍ NGHIỆM

TS. Nguyễn Thị Thúy Liễu

Tel: 0939249960

Email: lieuntt@ptit.edu.vn

NỘI DUNG

Chương 1: Dao động - sóng.

Chương 2: Giao thoa ánh sáng.

Chương 3: Nhiễu xạ ánh sáng.

Chương 4: Tán sắc, hấp thụ và tán xạ ánh sáng.

Chương 5: Phân cực ánh sáng.

Chương 6: Thuyết tương đối hẹp Einstein.

Chương 7: Quang học lượng tử.

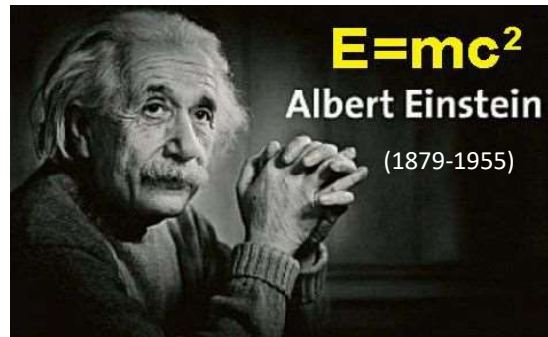
Chương 8: Cơ học lượng tử.

Chương 9: Vật lí nguyên tử.

Chương 10: Vật lý chất rắn và bán dẫn.



Chương 6: Thuyết tương đối hẹp Einstein



1 Hai tiên đề của thuyết tương đối hẹp



2 Phép biến đổi Lorentz và các hệ quả



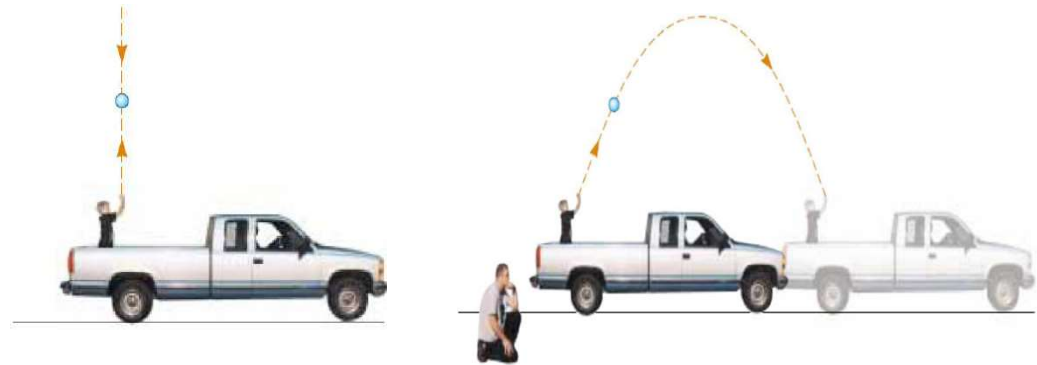
3 Động lực học tương đối tính - Hệ thức Einstein



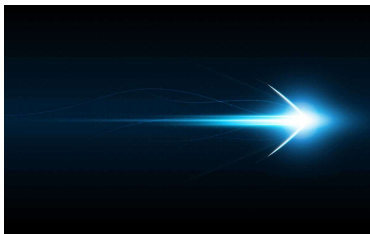
1 Hai tiên đề Einstein

➤ Nguyên lý tương đối

Mọi định luật vật lý đều như nhau trong các hệ qui chiếu quán tính.



➤ Nguyên lý về sự bất biến của vận tốc ánh sáng

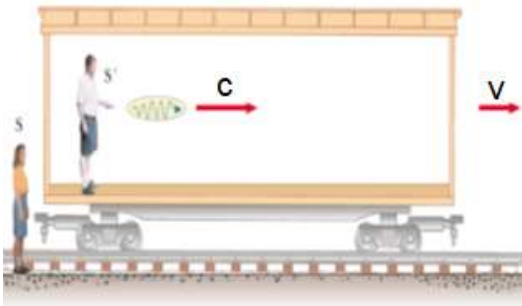


Vận tốc ánh sáng trong chân không đều bằng nhau đối với mọi hệ quán tính. Nó có giá trị bằng $c = 3 \cdot 10^8$ m/s và là giá trị vận tốc cực đại trong tự nhiên.



2. Phép biến đổi Lorentz và các hệ quả

➤ Mâu thuẫn của phép biến đổi Galilê với TTĐ Einstein



Phép biến đổi Galileo

- Thời gian là tuyệt đối
- Không gian là tuyệt đối
- $m = \text{const}$
- Cộng vận tốc

Chỉ đúng đối với $v \ll c$.

Thuyết tương đối

- Thời gian không tuyệt đối, khái niệm đồng thời phụ thuộc vào hệ qui chiếu.
- Không gian phụ thuộc chuyển động
- $m = f(v)$
- Công thức cộng vận tốc của Galilê không đúng.

➔ Có phép biến đổi giữa hai hệ qui chiếu phù hợp với TTĐ

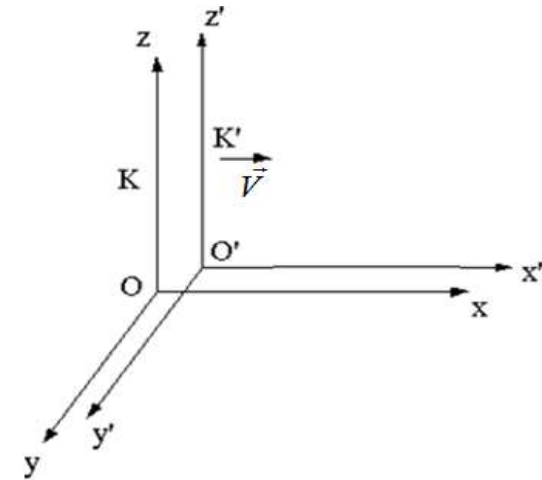
2. Phép biến đổi Lorentz và các hệ quả

2.1. Phép biến đổi Lorentz

Xét hai hệ K và K' .

Tại $t=0$, $O \equiv O'$

$$\begin{aligned} x' &= \frac{x - Vt}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} & x &= \frac{x' + Vt'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \\ t' &= \frac{t - \frac{V}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} & t &= \frac{t' + \frac{V}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \\ y &= y', \quad z = z'. \end{aligned}$$



$V \ll c \rightarrow \begin{cases} x' = x - Vt, & y' = y, & z' = z, & t' = t \\ x = x' + Vt, & y = y', & z = z', & t = t' \end{cases} \rightarrow \text{phép biến đổi Galileo.}$

Khi $V > c \rightarrow x, t$ trở nên ảo, do đó không thể có các chuyển động với vận tốc lớn hơn vận tốc ánh sáng.

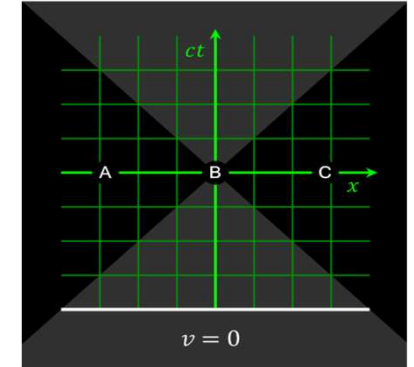
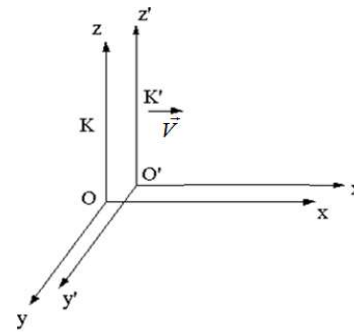
2. Phép biến đổi Lorentz và các hệ quả

2.2. Các hệ quả

➤ **Khái niệm về tính đồng thời và quan hệ nhân quả:**

❖ **Khái niệm về tính đồng thời**

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



Các sự kiện A, B, và C xảy ra theo thứ tự khác nhau phụ thuộc vào trạng thái chuyển động của quan sát viên. Đường màu trắng thể hiện mặt phẳng các sự kiện xảy ra đồng thời di chuyển từ quá khứ sang tương lai.

➡ Hai sự kiện có thể xảy ra đồng thời trong hệ K nhưng không đồng thời trong K' và thứ tự của các biến cố có thể bất kì phụ thuộc vào dấu của $\frac{V}{c^2}(x_2 - x_1)$

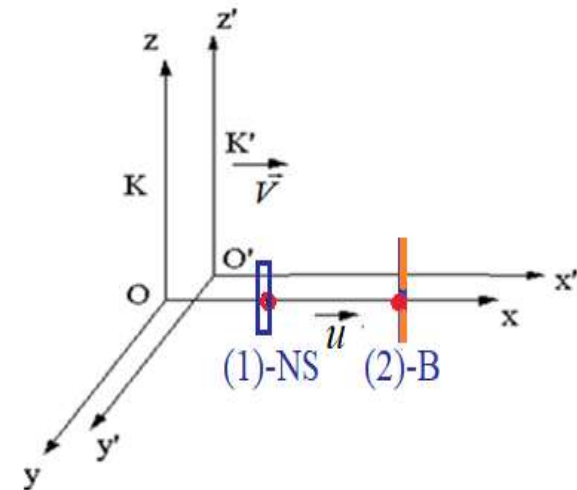
➡ **Khái niệm đồng thời có tính tương đối, phụ thuộc hệ quy chiếu**

2. Phép biến đổi Lorentz và các hệ quả

❖ Quan hệ nhân quả

Ví dụ sự bắn súng: $A_1(x_1, t_1)$ là biến cố viên đạn bắn ra và $A_2(x_2, t_2)$ là biến cố viên đạn trúng đích. Trong hệ K : $t_2 > t_1$
 Gọi u là vận tốc viên đạn và giả sử: $x_2 > x_1$, $x_2 - x_1 = u(t_2 - t_1)$

$$\Rightarrow t'_2 - t'_1 = \frac{t_2 - t_1 - \frac{V}{c^2} \cdot u(t_2 - t_1)}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = \frac{(t_2 - t_1) \left[1 - \frac{V \cdot u}{c^2} \right]}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$



$u \ll c$ do đó nếu $t_2 > t_1$ thì ta cũng có $t'_2 > t'_1$

→ Trong cả hai hệ K và K' bao giờ biến cố A_2 cũng xảy ra sau biến cố A_1

→ 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. Phép biến đổi Lorentz và các hệ quả

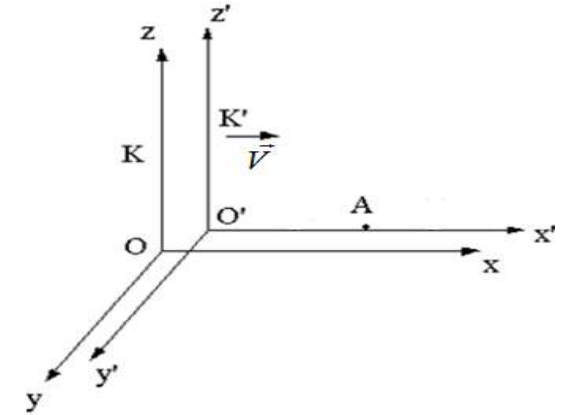
➤ Sự giãn của thời gian

Xét hệ quy chiếu K, K' . Đồng hồ đứng yên trong hệ K' .

Hai biến cố xảy ra tại điểm A trong hệ K' .

$$t_1 = \frac{t'_1 + \frac{V}{c^2} x'_1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}, \quad t_2 = \frac{t'_2 + \frac{V}{c^2} x'_2}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}, \quad x'_1 = x'_2,$$

$$\Rightarrow \Delta t = t_2 - t_1 = \frac{t'_2 - t'_1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \Rightarrow \Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} < \Delta t$$



➔ **Khoảng thời gian Δt của quá trình trong hệ quy chiếu mà nó chuyển động luôn lớn hơn khoảng $\Delta t'$ của quá trình đó xảy ra trong hệ mà nó đứng yên.**

2. Phép biến đổi Lorentz và các hệ quả

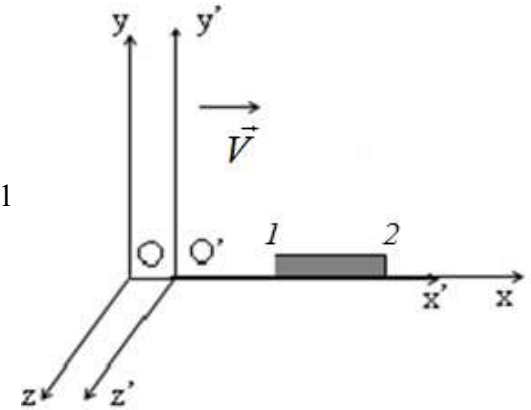
➤ Sự co của độ dài (sự co ngắn Lorent)

Một thanh đứng yên trong hệ K' đặt dọc trục x'

Độ dài trong hệ K và K' tương ứng là: $l = x_2 - x_1$ và $l_0 = x'_2 - x'_1$

$$x'_2 = \frac{x_2 - Vt_2}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \quad x'_1 = \frac{x_1 - Vt_1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \quad t_2 = t_1$$

$$\Rightarrow x'_2 - x'_1 = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \Rightarrow l = l_0 \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} < l_0$$



➡ **Độ dài (dọc theo phương chuyển động) của thanh trong hệ qui chiếu mà thanh chuyển động ngắn hơn độ dài của thanh ở trong hệ mà thanh đứng yên.**

2. Phép biến đổi Lorentz và các hệ quả

➤ Phép biến đổi vận tốc

$$dx' = \frac{dx - Vdt}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \quad dt' = \frac{dt - \frac{V}{c^2}dx}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \quad dy' = dy \quad dz' = dz$$

$$\Rightarrow \quad v'_x = \frac{dx - Vdt}{dt - \frac{V}{c^2}dx} = \frac{v_x - V}{1 - \frac{Vv_x}{c^2}} \quad v'_y = \frac{dy \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}{dt - \frac{V}{c^2}dx} = \frac{v_y \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}{1 - \frac{Vv_x}{c^2}} \quad v'_z = \frac{dz \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}{dt - \frac{V}{c^2}dx} = \frac{v_z \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}{1 - \frac{Vv_x}{c^2}}$$

Nếu $V/c \ll 1 \rightarrow$ $v'_x = v_x - V$ $v'_y = v_y$ $v'_z = v_z$ **như cơ học cổ điển**

$v_x = c \Rightarrow v'_x = \frac{c - V}{1 - \frac{Vc}{c^2}} = c \Rightarrow$ **Tính bất biến của vận tốc ánh sáng trong chân không đối với các hệ quy chiếu quán tính.**

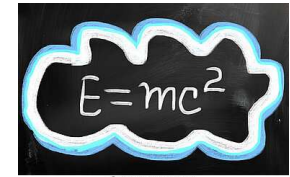


3. Động lực học tương đối tính - Hệ thức Einsteins

➤ Phương trình cơ bản của chuyển động chất điểm

- Khối lượng của chất điểm

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



- Phương trình chuyển động cơ bản theo thuyết tương đối:

$$\vec{F} = \frac{d}{dt}(m \vec{v})$$

Khi $v \ll c$, $m=m_o=const$, ta có $\vec{F} = m \vec{a}$

➤ Động lượng của vật:

$$\vec{P} = m \vec{v} = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \vec{v}$$

Khi $v \ll c \rightarrow$ biểu thức cổ điển: $\vec{P} = m_o \vec{v}$

3. Động lực học tương đối tính - Hệ thức Einsteins

➤ Năng lượng của vật - Hệ thức Einstein

$$dE = dA = \vec{F} \cdot \vec{ds}$$

Giả sử $\vec{F} \uparrow \uparrow \vec{ds}$ $\rightarrow dE = F ds = \frac{d}{dt} \left(\frac{m_o v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right) ds \rightarrow dE = \frac{m_o v dv}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{3/2}}$

Mặt khác : $m = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \rightarrow dm = \frac{m_o v dv}{c^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{3/2}}$

$\rightarrow dE = c^2 dm$ **hay** $E = mc^2 + C \rightarrow \boxed{E = mc^2} : \text{hệ thức Einstein.}$

❖ **Ý nghĩa của hệ thức Einstein:**

➔ **Mối liên quan hai tính chất của vật chất: quán tính và mức độ vận động.**

3. Động lực học tương đối tính - Hệ thức Einsteins

➤ Các hệ quả hệ thức Einstein

a. Năng lượng nghỉ: $E_0 = m_0 c^2$

Lúc chuyển động vật có thêm động năng E_d :

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

Khi $v \ll c$ $\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2} \approx 1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} + \dots$

$$\Rightarrow E_d = m_0 c^2 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} - 1 \right) = \frac{m_0 v^2}{2}$$

b. Liên hệ năng lượng và động lượng:

$$E = mc^2 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} c^2 \quad p = mv \quad \Rightarrow \quad E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2$$



Bài tập



Bài tập 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 $c = 3 \cdot 10^8$ m/s

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \rightarrow \frac{E}{E_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 10 \rightarrow \frac{v}{c} = 0,995 \quad v = 2,985 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

2* 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.

$$E = E_d + m_0 c^2 \quad E = m c^2 = 2 m_0 c^2 \quad \rightarrow E_d = m_0 c^2 = \dots$$

3* Vận tốc của hạt vi mô phải bằng bao nhiêu để động năng của hạt bằng năng lượng nghỉ. Cho $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

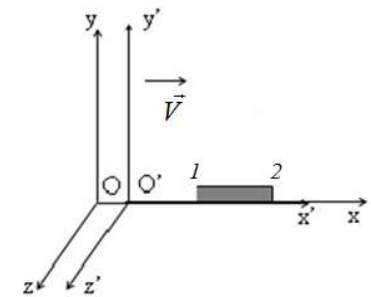
$$E_d = m_0 c^2 \rightarrow \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 2 m_0 c^2 \rightarrow \frac{v}{c} = \dots \rightarrow v = \dots \text{ m/s}$$

Bài tập ví dụ



- 4 *** Vật chuyển động phải có vận tốc bao nhiêu để kích thước của nó theo phương chuyển động trong hệ qui chiếu gắn với trái đất giảm đi 2 lần. Cho $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

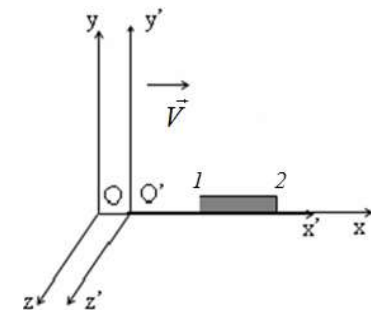
$$l_0 = x'_2 - x'_1 \quad l = x_2 - x_1 \quad l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{l_0}{2} \rightarrow v$$



- 5 *** 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 $m_{0p} = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

$$l_0 = x'_2 - x'_1 \quad l = x_2 - x_1 \quad l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \frac{l}{l_0} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{1}{2}$$

$$m_0 c^2 + eU = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \rightarrow U = \dots (V)$$



Bài tập ví dụ

- 6* 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.

$$t_1 = \frac{t'_1 + \frac{V}{c^2} x'_1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}, \quad t_2 = \frac{t'_2 + \frac{V}{c^2} x'_2}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}, \quad x'_1 = x'_2,$$

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

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = \dots(s)$$

