

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.



- 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



1.1. Nguyên lí tương đối:

“ Mọi định luật vật lí đều như nhau trong các hệ qui chiếu quán tính”.

1.2. Nguyên lí 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

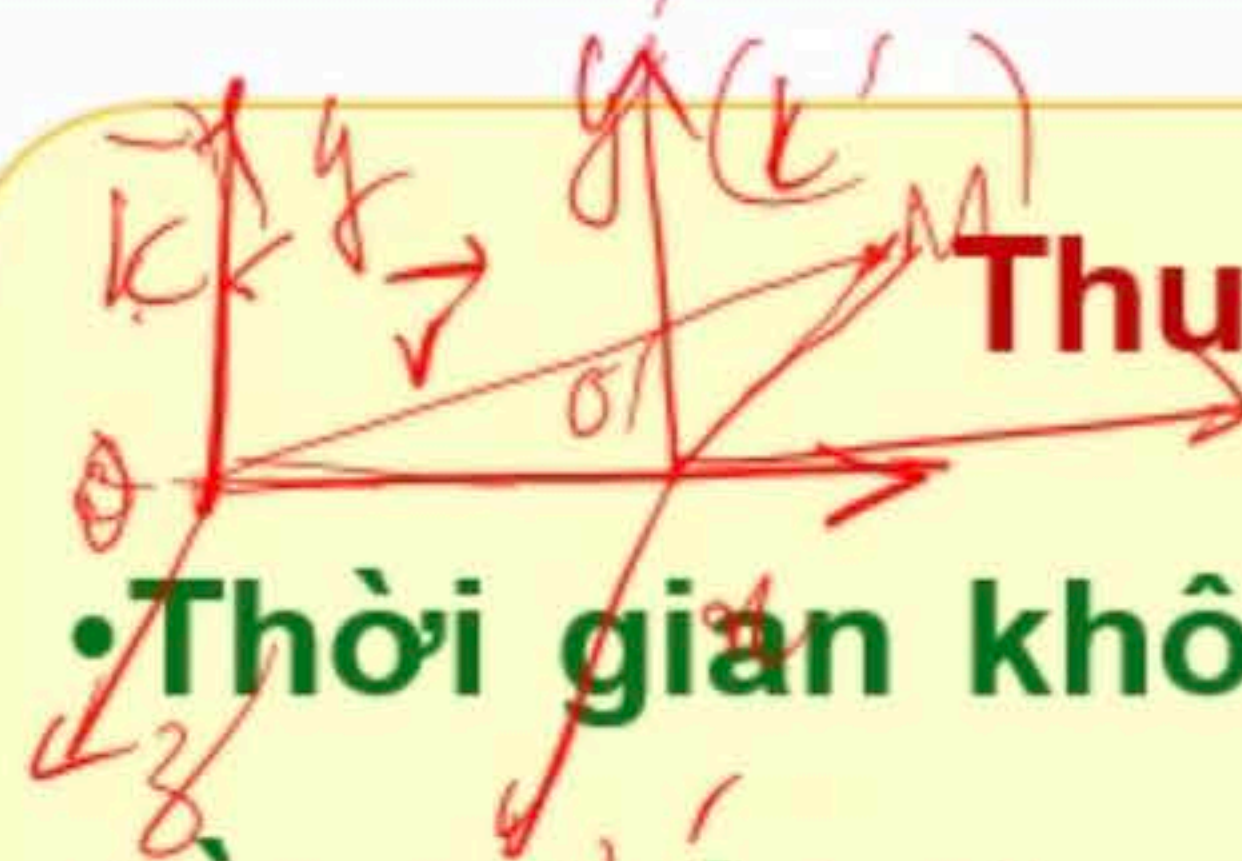


1. Mâu thuẫn của phép biến đổi Galilê với TTĐ Einstein:

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

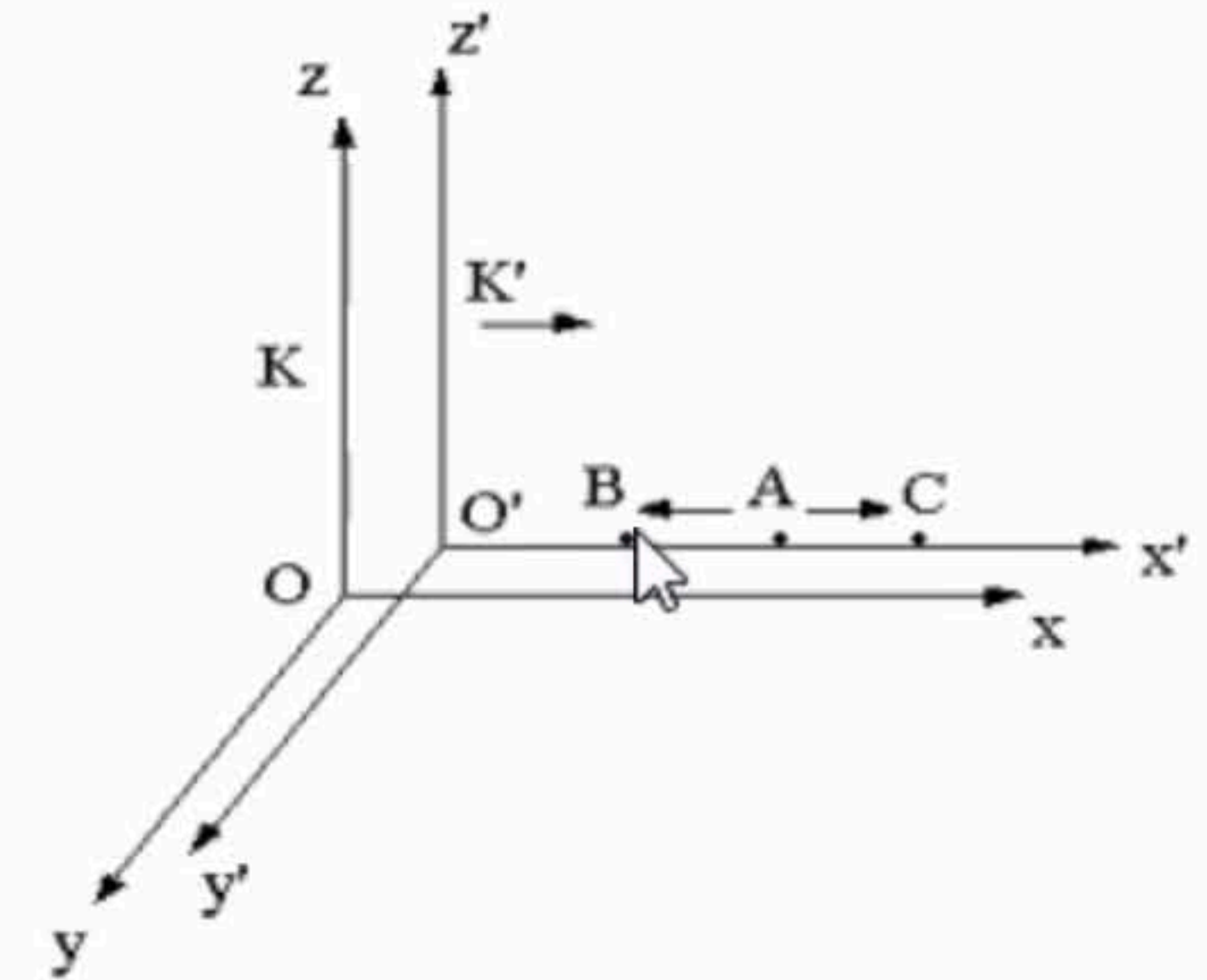
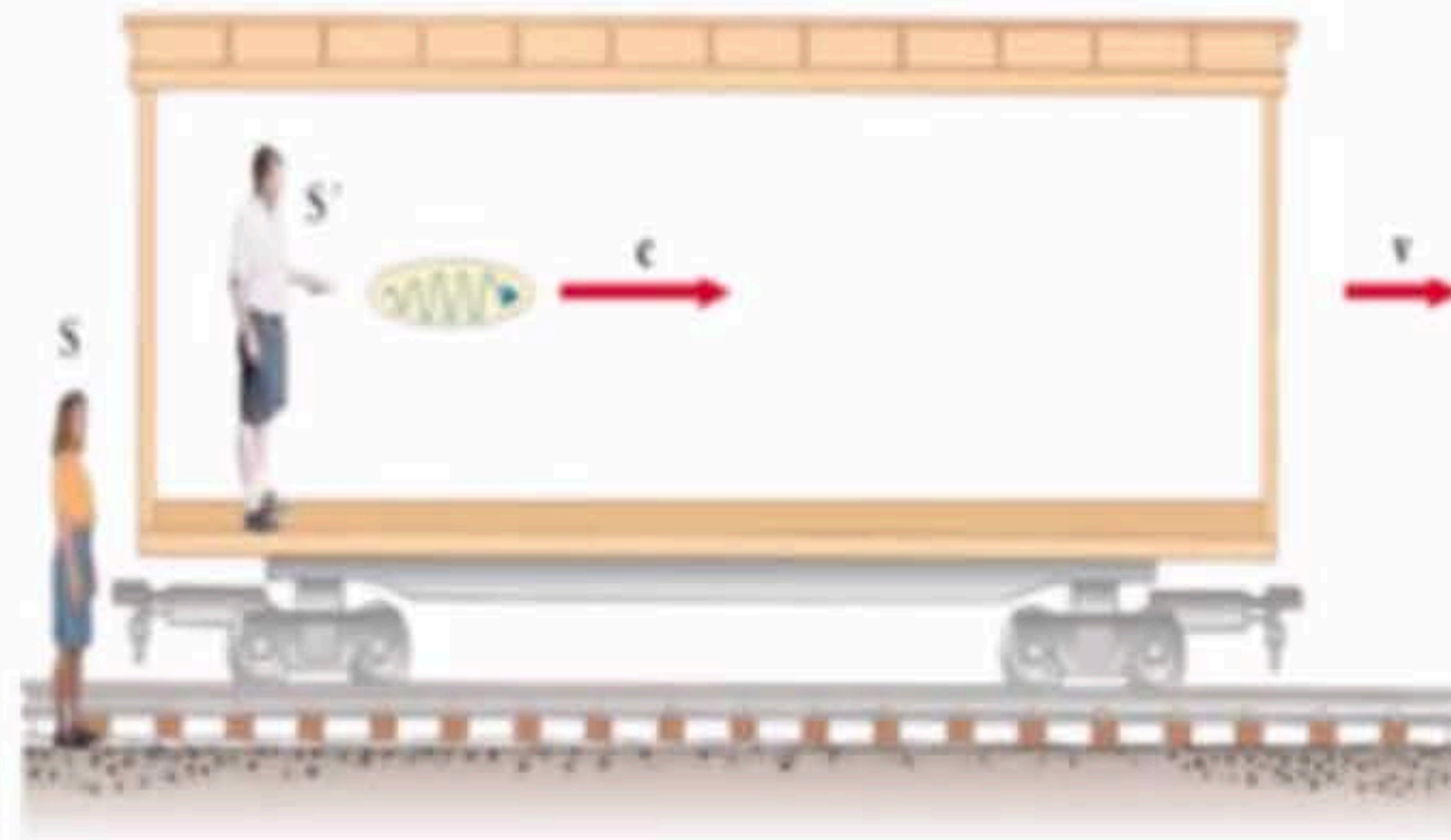
Galileo: $x = x' + vt'$, $t = t'$; $y = y'$, $z = z'$

Phải có phép biến đổi giữa hai hệ qui chiếu phù hợp với TTĐ

2. Phép biến đổi Lorentz và các hệ quả

Ví dụ minh họa khái niệm đồng thời phụ thuộc hệ qui chiếu

Xét 2 hệ qui chiếu quán tính **K** và **K'**



Trong hệ **K'**, trên $o'x'$: đặt một nguồn sáng tại **A**

Theo Gallilê, trong hệ **K**: $v_{A \rightarrow B} = c + V$

$$v_{A \rightarrow C} = c - V$$

\Rightarrow trong hệ **K**, các tín hiệu sáng tới **B** và **C** xảy ra không đồng thời, trong hệ **K** tín hiệu sáng sẽ đến **B** sớm hơn đến **C** và $v_{A \rightarrow B} > c$

\Rightarrow mâu thuẫn với nguyên lý thứ 2 trong TTĐ Einsteins.

2. Phép biến đổi Lorentz và các hệ quả

2. Phép biến đổi Lorentz

Xét hai hệ K và K' .

Tại $t=0$, $O \equiv O'$

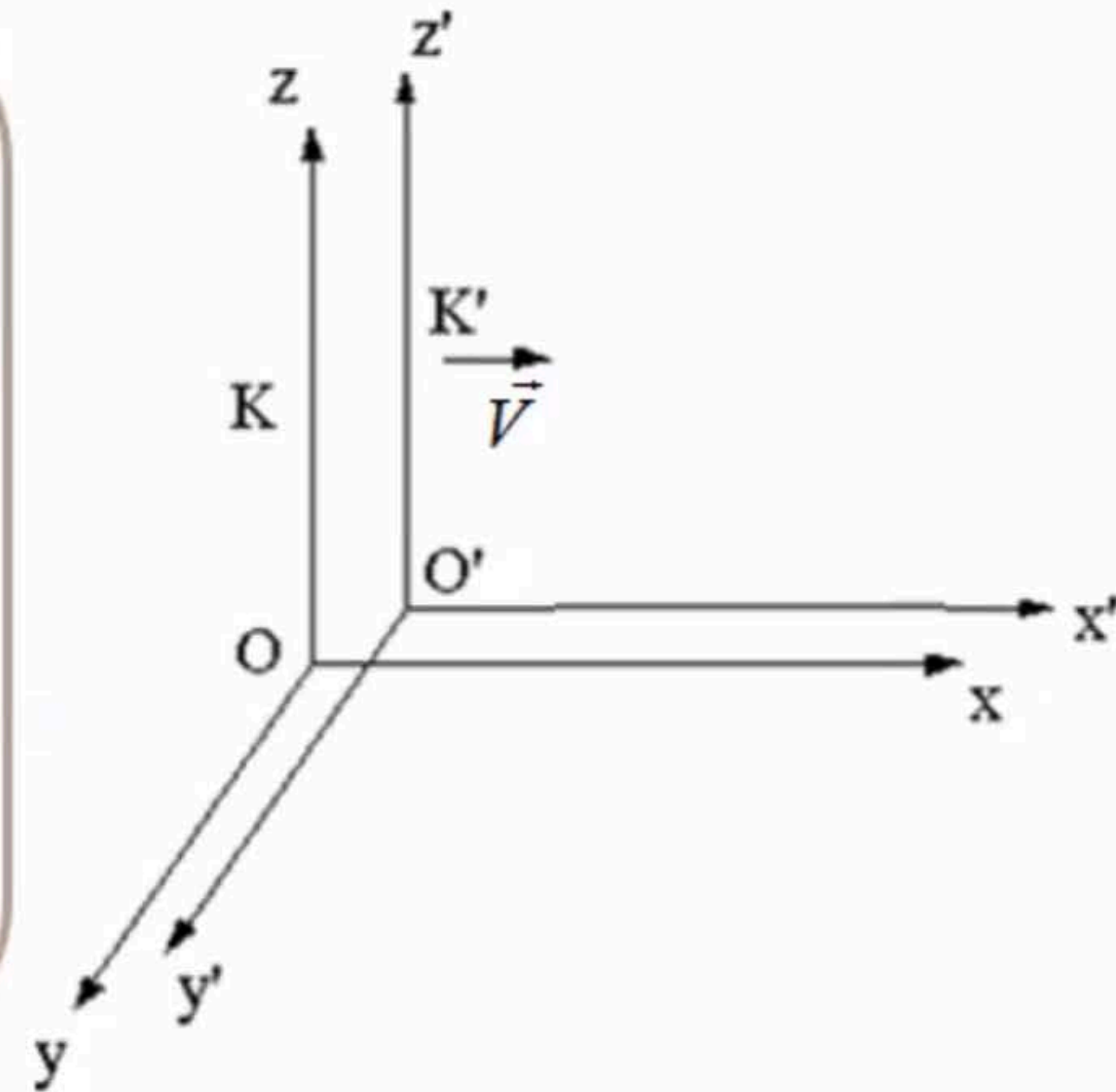
$$x' = \frac{x - Vt}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

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

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

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

$$y = y', \quad z = z'.$$



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

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



3. Các hệ quả

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

* *Khái niệm về tính đồng thời*

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

→ 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 qui chiếu*

2. Phép biến đổi Lorentz và các hệ quả



* Quan hệ nhân quả:

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

Thí dụ: 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. 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 $t'_2 > t'_1$ \Rightarrow Trong cả hai hệ K và K' bao giờ biến cố A_2 cũng xảy ra sau biến cố A_1

2. Phép biến đổi Lorentz và các hệ quả

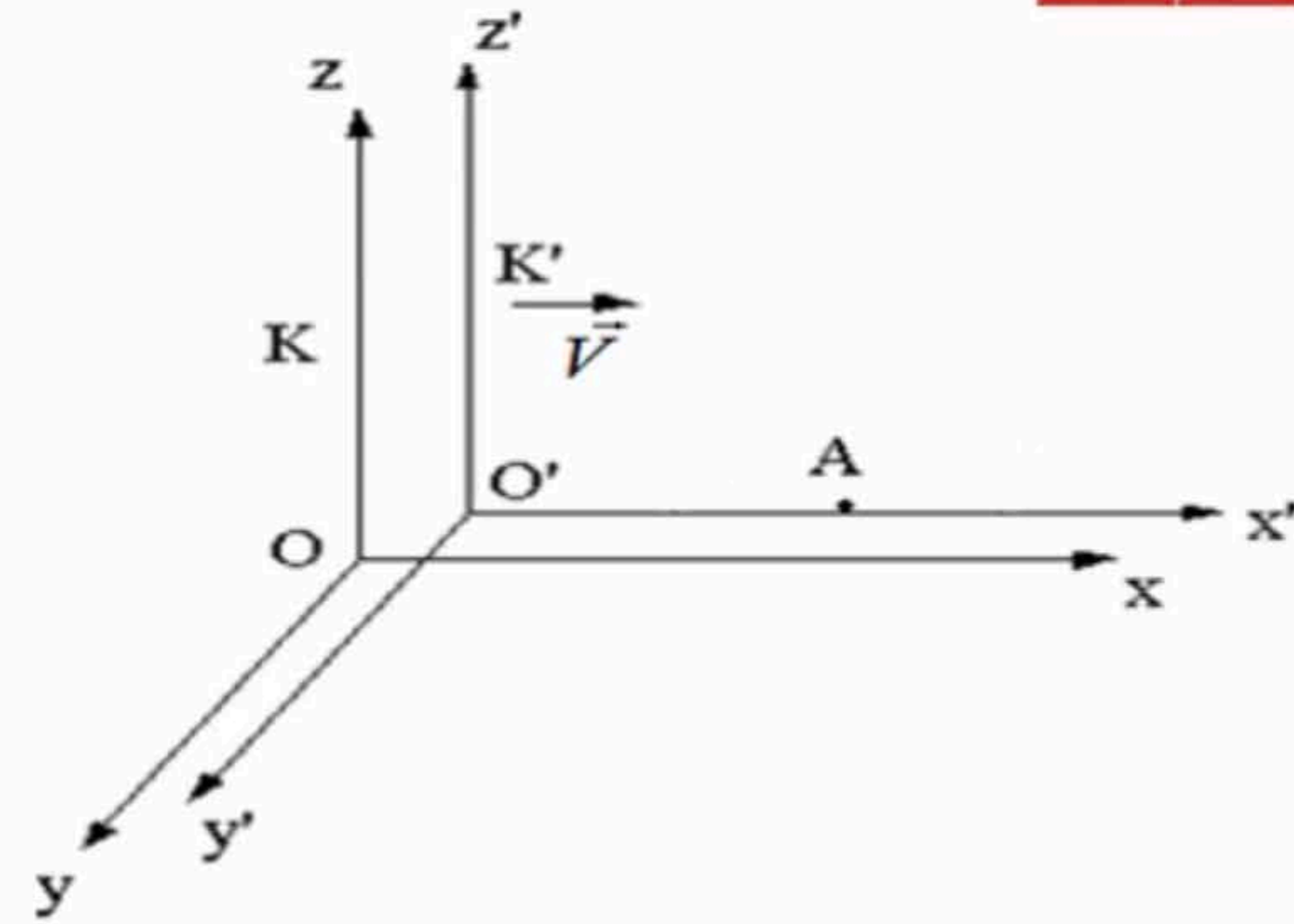


2. Sự giãn của thời gian

Xét hệ quy chiếu K, K' .

Đồng hồ đứng yên trong hệ K' .

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



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

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

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

\Rightarrow “Khoảng $\Delta t'$ của quá trình trong hệ K' chuyển động luôn cũng nhỏ hơn khoảng Δt của quá trình đó xảy ra trong hệ K đứng yên.”

2. Phép biến đổi Lorentz và các hệ quả

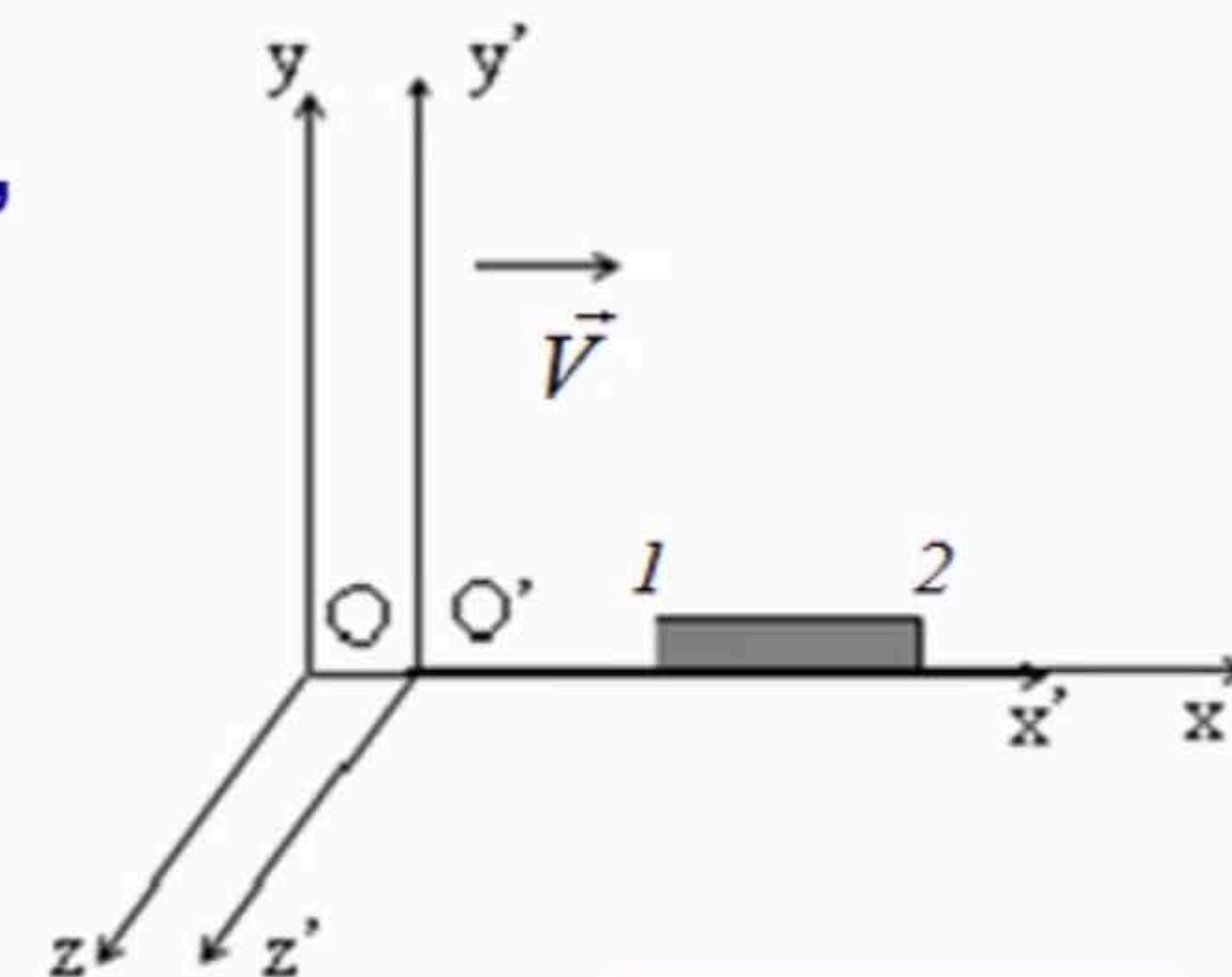


3. Sự co của độ dài (sự co ngắn Lorent)

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

Độ dài trong hệ K' : $l_o = x'_2 - x'_1$

Độ dài của thanh trong hệ K : $l = x_2 - x_1$



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

⇒ “**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



4. Phép biến đổi vận tốc

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

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

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

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

Tính bất biến của vận tốc ánh sáng trong chân không đối với các hệ qui chiếu quán tính.

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



1. Phương trình cơ bản của chuyển động chất điểm:

- Khối lượng của chất điểm $m = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Pt định luật II Newton theo thuyết tương đối: $\vec{F} = \frac{d}{dt}(m\vec{v})$

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

2. Động lượng và năng lượng:

Động lượng của một 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

Theo đ/luật bảo toàn năng lượng: $dE = dA = \vec{F} \vec{ds}$

Giả sử ngoại lực cùng phương với chuyển dời ds :

$$dE = Fds = \frac{d}{dt} \left(\frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right) ds \quad \Rightarrow \quad dE = \frac{m_0 v dv}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{3/2}}$$

Mặt khác đối ta có: $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \Rightarrow \quad dm = \frac{m_0 v dv}{c^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{3/2}}$

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

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



Ý nghĩa của hệ thức Einstein: $E = mc^2$

Khối lượng là đại lượng đặc trưng cho mức quán tính của vật,
Năng lượng đặc trưng cho mức độ vận động của vật.

⇒ hệ thức Einstein nói liên hai tính chất của vật chất:
quán tính và mức độ vận động.

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



3. Các hệ quả:

a. Năng lượng nghỉ: $E = m_0 c^2$

Lúc chuyển động vật có thêm động năng E_d

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

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:

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



- Hai tiên đề Einstein

- Phép biến đổi Lorentz cho các tọa độ không gian và thời gian khi chuyển từ hệ qui chiếu quán tính này sang hệ qui chiếu quán tính khác theo thuyết tương đối hẹp Einstein, từ đó chứng tỏ cơ học Newton là trường hợp giới hạn của thuyết tương đối Einstein khi $v \ll c$.
- Từ phép biến đổi Lorentz giải thích sự giãn của thời gian và sự co ngắn của độ dài dọc theo phương chuyển động trong cơ học tương đối tính.
- Từ phép biến đổi Lorentz giải thích tính tương đối của sự đồng thời giữa các biến cố độc lập (không có quan hệ nhân quả) và tính tuyệt đối của trật tự thời gian giữa các biến cố có quan hệ nhân quả với nhau.
- Viết và nêu ý nghĩa của hệ thức Einstein về năng lượng. Từ hệ thức Einstein về năng lượng, tìm lại biểu thức động năng của một vật chuyển động với vận tốc $v \ll c$ trong cơ học cổ điển.1



Bài tập



Tìm vận tốc của hạt electron để năng lượng toàn phần của nó lớn gấp 10 lần năng lượng nghỉ của nó. Cho $c = 3.10^8 \text{ m/s}$

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\rightarrow \frac{E}{E_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 10$$

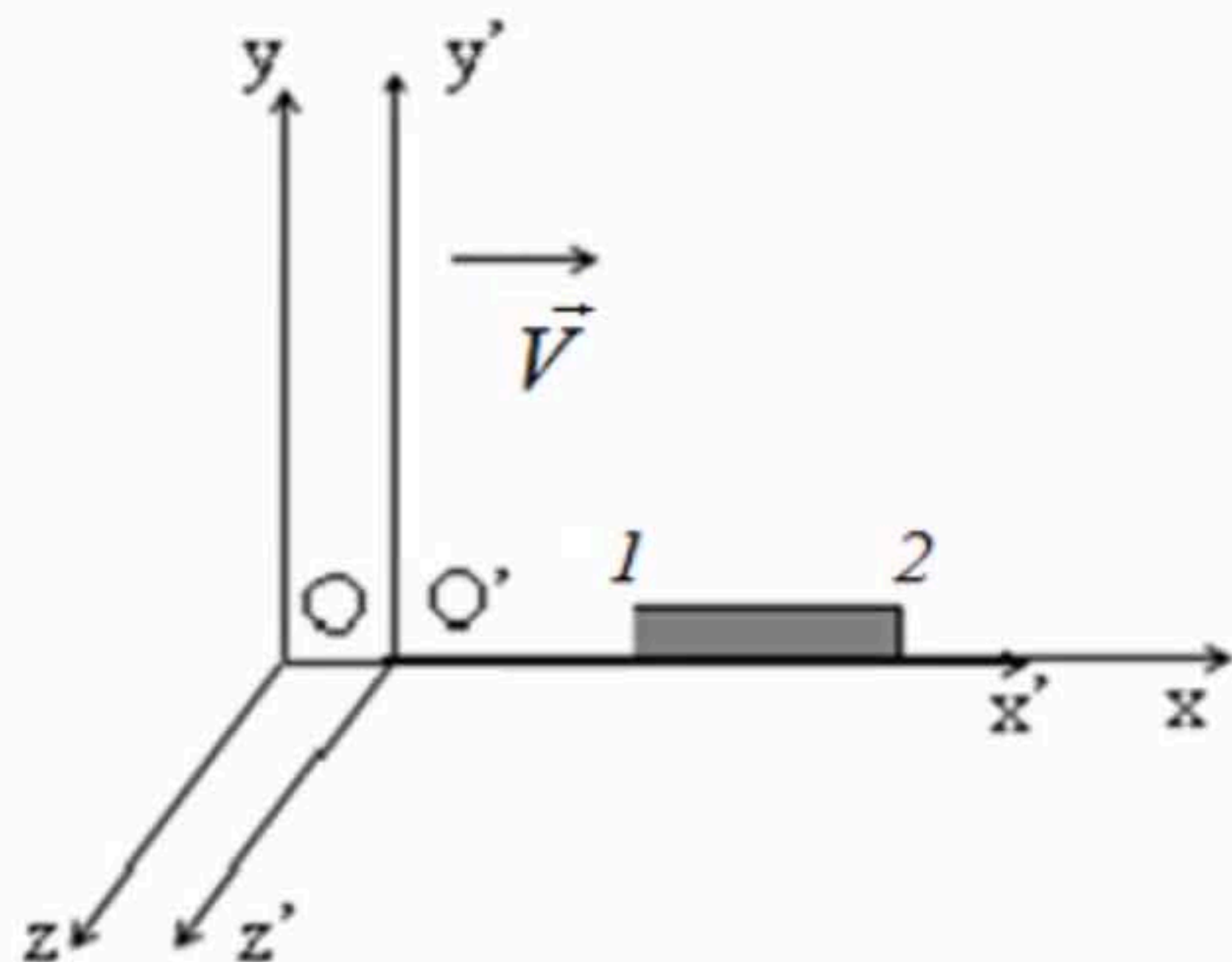
$$\rightarrow \frac{v}{c} = 0,995$$

$$v = 2,985.10^8 \text{ m/s}$$



Bài tập

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



$$l_0 = x'_2 - x'_1$$

$$l = x_2 - x_1$$

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

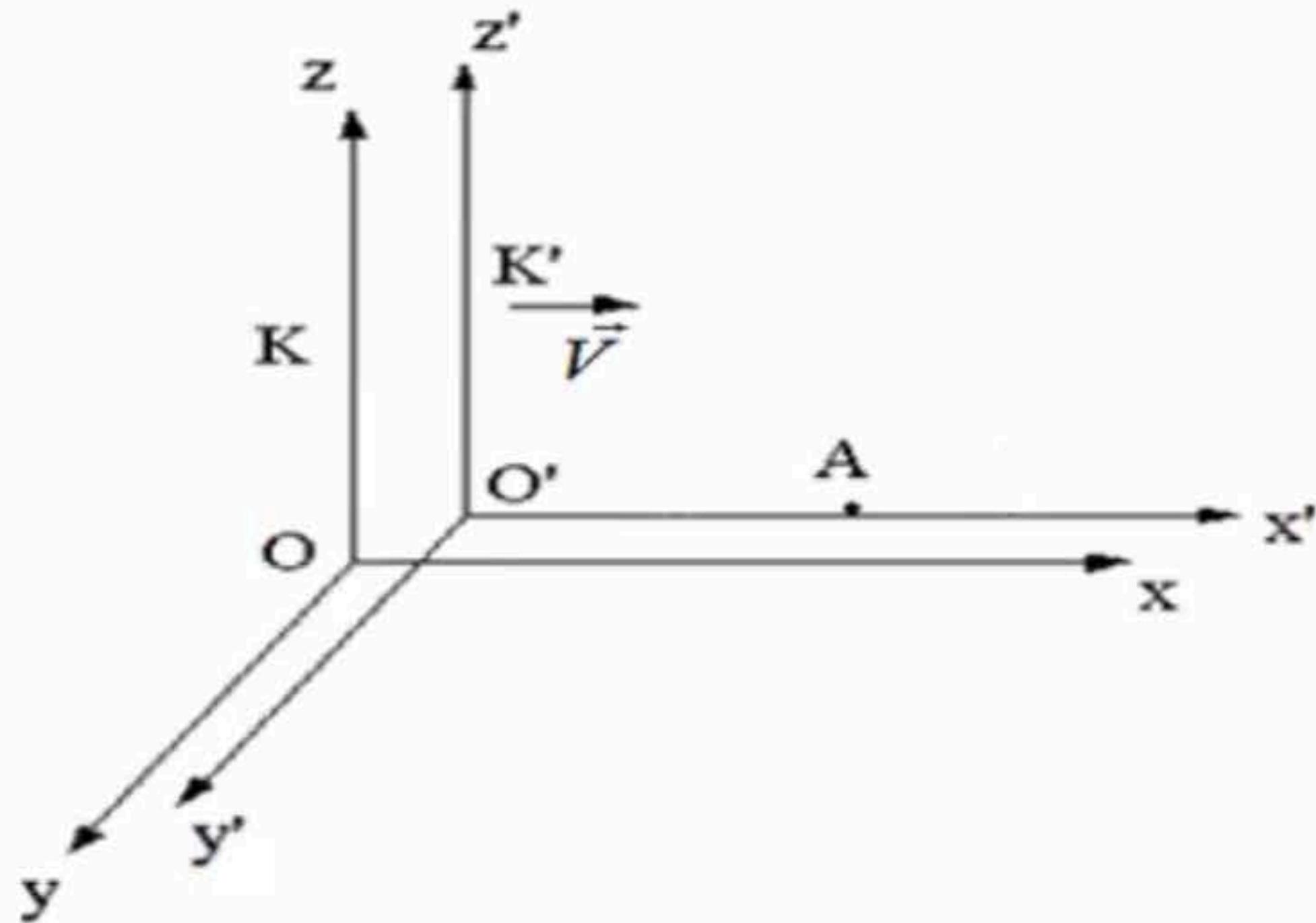
$$m_0 c^2 + eU = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\frac{l}{l_0} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{1}{2} \rightarrow U = 9 \cdot 10^8 \text{ V}$$



Bài tập

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.



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

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

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = 3,2(s)$$