

# VẬT LÝ II

**TS. Ngô Văn Thanh,**  
*Viện Vật lý.*

*Chuyên ngành : Điện tử - Viễn thông , Công nghệ thông tin,  
Điện - Điện tử*

## *Phần II: THUYẾT TƯƠNG ĐỐI*

---

### **Chương 6: Thuyết tương đối hẹp Einstein.**

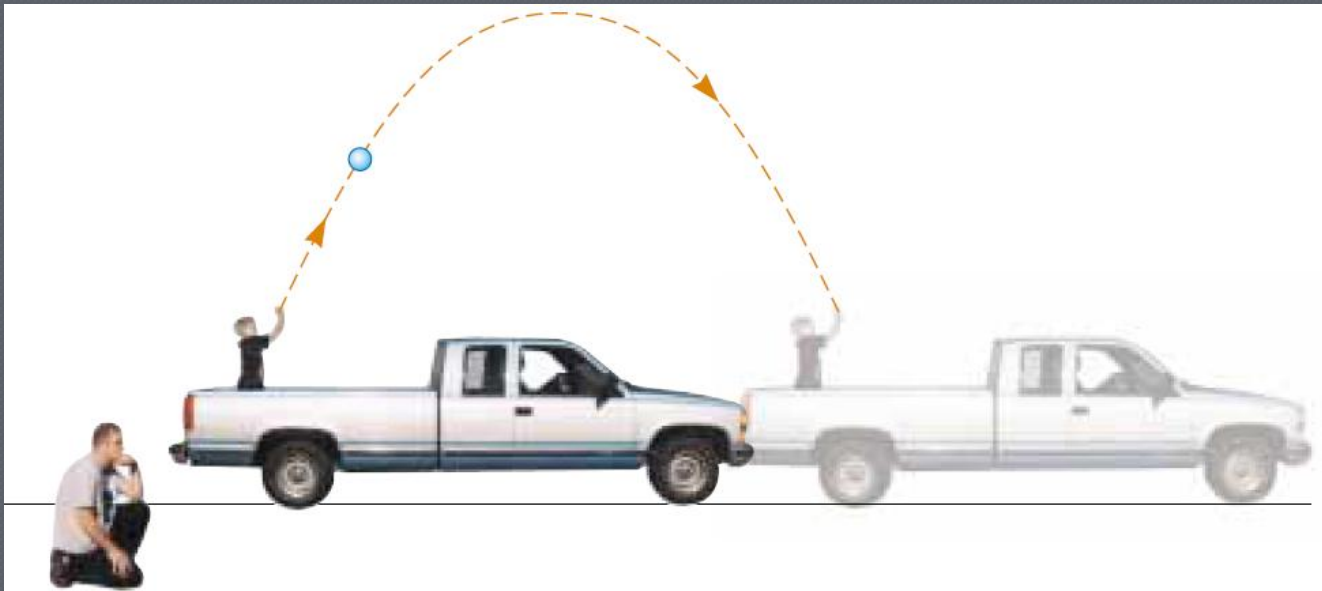
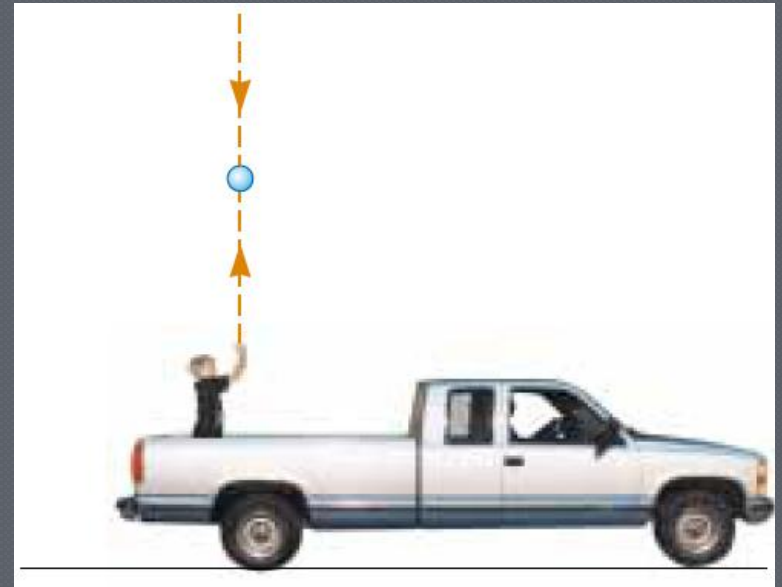
- 6.1 Hai tiên đề của thuyết tương đối hẹp
- 6.2 Phép biến đổi Lorentz và các hệ quả
- 6.3 Động lực học tương đối tính - Hệ thức Einstein

## 6.1 Hai tiên đề của thuyết tương đối hẹp

- Hệ quán tính:
  - Hệ quán tính là một hệ mà trong đó một vật có gia tốc bằng 0 nếu như nó không tương tác với các vật khác (Định luật 1 của Newton).
  - Một hệ chuyển động đều (vận tốc không đổi) so với một hệ quán tính thì bản thân nó cũng là một hệ quán tính.
- Khối lượng và trọng lượng.
  - Khối lượng là thuộc tính cố hữu của vật chất, nó không phụ thuộc vào môi trường xung quanh và phương pháp đo. Khối lượng là bất biến.
  - Trọng lượng của một vật là độ lớn của lực trọng trường tác dụng lên vật và nó thay đổi theo vị trí:  $F_g = mg$
- Cơ học cổ điển – Cơ học Newton:
  - Không gian, thời gian và vật không phụ thuộc vào sự chuyển động của nó.
  - Trong cả hệ quán tính đứng yên và hệ quán tính chuyển động:
    - Thời gian xảy ra hiện tượng không thay đổi. Kích thước và khối lượng của vật dù đứng yên hay chuyển động đều không thay đổi.
  - Tóm lại: Thời gian và không gian trong cơ học Newton là tuyệt đối, không phụ thuộc vào chuyển động. Khối lượng của vật là bất biến. Vận tốc truyền tương tác giữa các vật thể là vô hạn.

## 6.1 Hai tiên đề của thuyết tương đối hẹp

- Thuyết tương đối Galilean:
  - Tất cả các định luật cơ học đều như nhau trong các hệ quy chiếu quán tính.
  - Những chuyển động cơ học đều tuân theo các định luật của Newton.
  - Không có khái niệm chuyển động tuyệt đối trong không gian, và cũng không có khái niệm về hệ quán tính ưu tiên.



## 6.1 Hai tiên đề của thuyết tương đối hẹp

- Một hiện tượng vật lý được xác định bởi hệ tọa độ 4 chiều  $(x, y, z, t)$  : vị trí của vật được xác định bởi hệ tọa độ 3 chiều, và thời gian là chiều thứ 4.
- Xét hai hệ quán tính  $S$  và  $S'$ .
  - Hệ  $S'$  chuyển động với vận tốc  $\vec{v} = \text{const}$  dọc theo trục  $xx'$
  - Tại thời điểm  $t = 0$ , Một sự kiện xuất hiện tại điểm  $P$  sẽ được xác định bởi hệ tọa độ không-thời gian trong hệ quán tính  $S$  là  $(x, y, z, t)$  và trong hệ quán tính  $S'$  là  $(x', y', z', t')$
- Hệ thức liên hệ giữa hai hệ tọa độ:
  - Hệ phương trình biến đổi không-thời gian Galilean.

$$x' = x - vt$$

$$y' = y$$

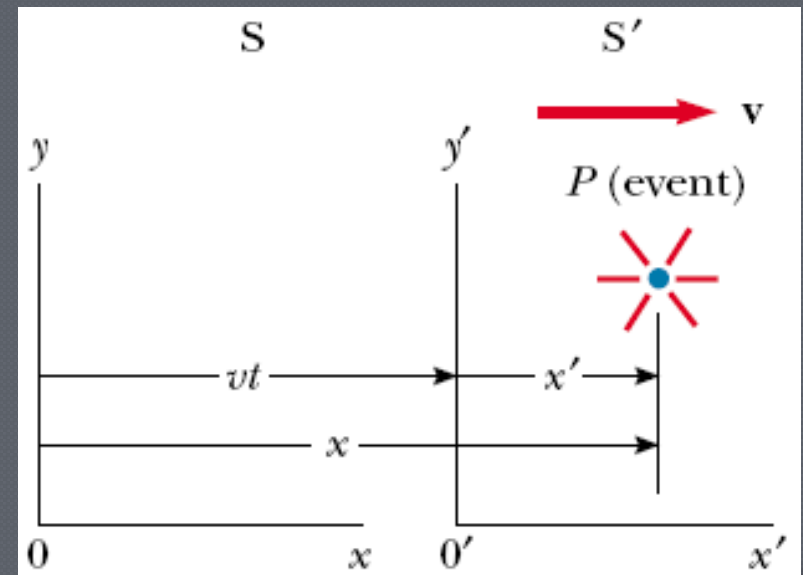
$$z' = z$$

$$t' = t$$

- Biểu thức cộng vận tốc:

$$dx' = dx - vdt \Rightarrow \frac{dx'}{dt'} = \frac{dx}{dt} - v$$

$$u'_x = u_x - v$$



## 6.1 Hai tiên đề của thuyết tương đối hẹp

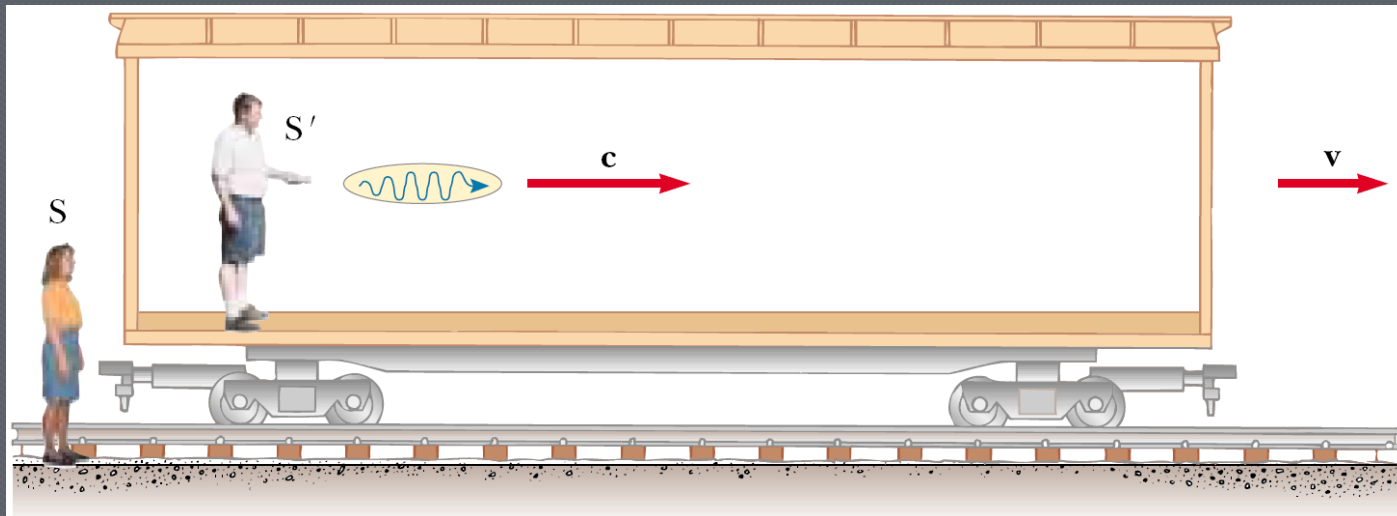
### 6.1 Hai tiên đề của thuyết tương đối hẹp.

- Cuối thế kỷ 19, đầu thế kỷ 20: Nghiên cứu những chuyển động của các vật thể có vận tốc rất lớn (vận tốc xấp xỉ bằng vận tốc ánh sáng).
  - Không gian, thời gian và khối lượng của vật chuyển động phụ thuộc vào chuyển động.
  - Cơ học Newton chỉ áp dụng cho những chuyển động có vận tốc bé:  $v \ll c$
  - 1905: Lý thuyết tương đối hẹp Einstein ra đời. Đó là sự mở rộng của thuyết tương đối Galilean.
- Tiên đề của thuyết tương đối hẹp:
  - Nguyên lý tương đối.
    - ▶ Mọi định luật vật lý đều như nhau trong các hệ quy 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 quy chiếu quán tính. Nó có giá trị bằng  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$  và là giá trị vận tốc cực đại trong tự nhiên. Vận tốc của ánh sáng không phụ thuộc vào vận tốc của người quan sát cũng như vận tốc của nguồn sáng.



## 6.1 Hai tiên đề của thuyết tương đối hẹp

- Sự mâu thuẫn của phép biến đổi Galilean và thuyết tương đối Einstein:
  - Thời gian là tuyệt đối:  $t' = t$
  - Xét khoảng cách giữa hai điểm trong hai hệ quán tính:
$$l = x_2 - x_1 = l' = x'_2 - x'_1$$
  - Theo công thức cộng vận tốc:  $u_x = u'_x + v$
  - Các kết quả này chỉ đúng đối với các chuyển động có vận tốc bé hơn vận tốc của ánh sáng. Nếu vận tốc của vật trong hệ quán tính  $S'$  là  $u'_x = c$ , lúc đó vận tốc của vật đó trong hệ quán tính  $S$  là  $u_x = u'_x + v = c + v > c$
- Kết quả này mâu thuẫn với nguyên lý cực đại của vận tốc ánh sáng.



## 6.2 Phép biến đổi Lorentz và các hệ quả

### 6.2 Phép biến đổi Lorentz và các hệ quả.

- Xét hai hệ quán tính  $S$  và  $S'$ .  $S'$  chuyển động tương đối so với  $S$  với vận tốc  $\vec{v}$  theo phương  $x$ . Ban đầu, gốc tọa độ của hai hệ quán tính trùng nhau  $O \equiv O'$
- Theo nguyên lý tương đối của Einstein thì thời gian trong hai hệ quán tính là khác nhau  $t \neq t'$
- Giả sử tọa độ  $x'$  được miêu tả bằng hàm  $f$  theo  $x$  và  $t$ :  $x' = f(x, t)$
- Trong hệ quán tính  $S$ ,  $x$  là tọa độ của gốc tọa độ  $O'$ , khoảng cách giữa hai gốc tọa độ  $O$  và  $O'$  là  $vt$ . Ta có

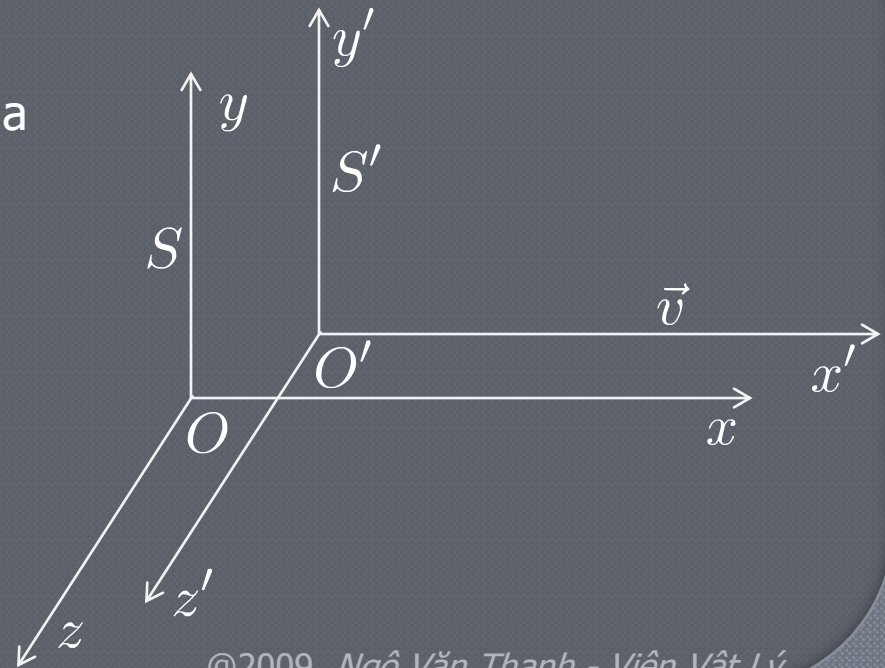
$$x - vt = 0$$

- Trong hệ quán tính  $S'$ ,  $x'$  là tọa độ của gốc tọa độ  $O'$ :  $x' = 0$
- Từ đó ta có

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

- Hoàn toàn tương tự, tọa độ của gốc tọa độ  $O$  trong hệ quán tính  $S'$ :

$$x = \beta(x' + vt')$$





## 6.2 Phép biến đổi Lorentz và các hệ quả

- Theo nguyên lý thứ hai của Einstein về sự bất biến của vận tốc ánh sáng: Nếu như  $x = ct$  thì  $x' = ct'$ . Thay vào các biểu thức cho  $x$  và  $x'$  ta thu được:

$$x' = \alpha(x - vt) \Rightarrow \alpha = \frac{x'}{x - vt} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

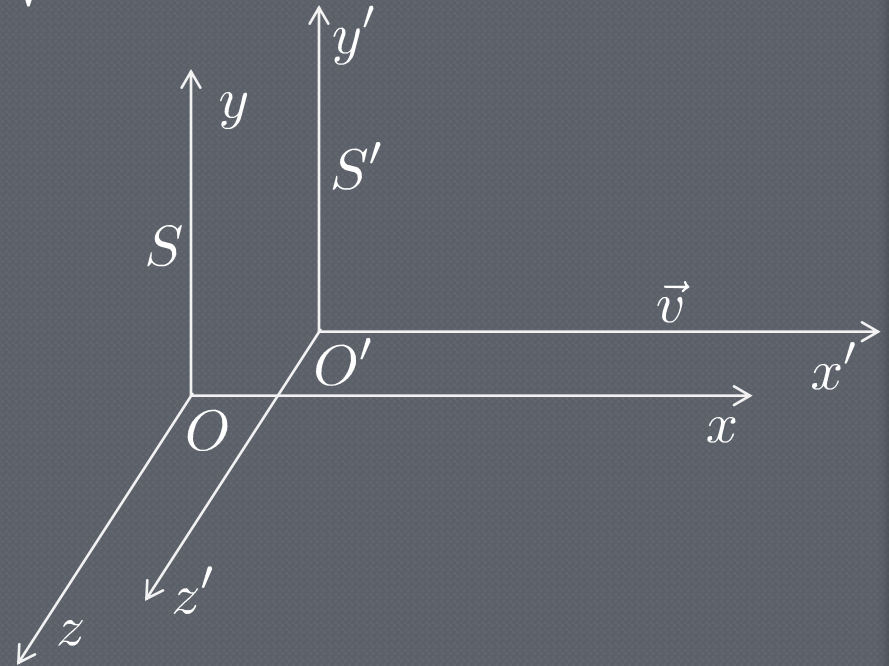
và

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

- Nếu vận tốc  $v \ll c$ ;  $\frac{v}{c} \rightarrow 0$

lúc đó ta lại nhận được các biểu thức trong phép biến đổi Galilean:

$$x' = x - vt \quad \text{và} \quad t' = t$$



## 6.2 Phép biến đổi Lorentz và các hệ quả

- Phép biến đổi Lorentz từ hệ  $S$  sang  $S'$ :

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad y' = y; \quad z' = z; \quad t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

- Phép biến đổi Lorentz từ hệ  $S'$  sang  $S$ :

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad y = y'; \quad z = z'; \quad t = \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

### ■ Các hệ quả của phép biến đổi Lorentz.

- Khái niệm về tính đồng thời và 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  $S'$ .

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