

HƯỚNG DẪN HỌC CHƯƠNG 6

THUYẾT TƯƠNG ĐỐI EINSTEIN

I. MỤC ĐÍCH - YÊU CẦU

1. Hiểu được ý nghĩa của nguyên lý tương đối Einstein, nguyên lý về tính bất biến của vận tốc ánh sáng.
2. Hiểu và vận dụng được phép biến đổi Lorentz. Tính tương đối của không gian, thời gian.
3. Nắm được khối lượng, động lượng tương đối tính, hệ thức Einstein và ứng dụng.

II. TÓM TẮT NỘI DUNG

Cơ học Newton chỉ ứng dụng cho các vật thể vĩ mô chuyển động với vận tốc rất nhỏ so với vận tốc ánh sáng trong chân không. Các vật thể chuyển động với vận tốc lớn vào cỡ vận tốc ánh sáng thì phải tuân theo thuyết tương đối hẹp Einstein.

1. Các tiên đề của 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 $c = 3.10^8$ m/s và là giá trị vận tốc cực đại trong tự nhiên*”.

2. Phép biến đổi Lorentz

Đó là phép biến đổi giữa các tọa độ không gian và thời gian trong hai hệ qui chiếu quán tính K và K' chuyển động thẳng đều với nhau với vận tốc V (dọc theo trục x):

$$x' = \alpha(x - Vt); y' = y; z' = z; t' = \alpha\left(t - \frac{V}{c^2}x\right)$$

$$x = \alpha(x' + Vt'); y = y'; z = z'; t = \alpha\left(t' + \frac{V}{c^2}x'\right)$$

trong đó: $\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Từ phép biến đổi Lorentz ta rút ra các hệ quả:

* Khi vật chuyển động, kích thước bị ngắn theo phương chuyển động:

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

* Đồng hồ chuyển động chạy chậm hơn đồng hồ đứng yên:

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

* Đối với các biến cố không có quan hệ nhân quả với nhau, khái niệm đồng thời chỉ có tính tương đối. Còn đối với các biến cố có quan hệ nhân quả, thứ tự xảy các biến cố được đảm bảo.

3. Động lực học tương đối tính

* Hệ thức Einstein: $E = mc^2$ trong đó: $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

m_0 là khối lượng nghỉ của vật (khi vật đứng yên)

* Năng lượng nghỉ của vật: $E_0 = m_0 c^2$

* Động năng của vật: $E_d = E - E_0 = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - 1 \right)$

Nếu $v \ll c$, có thể tính gần đúng: $E_d \approx m_0 c^2 \left(1 + \frac{v^2}{2c^2} - 1 \right) = \frac{1}{2} m_0 v^2$

Ta tìm lại được biểu thức động năng trong cơ học cổ điển.

* Biểu thức liên hệ giữa năng lượng và động lượng: $E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2$

IV. CÂU HỎI LÝ THUYẾT

1. Nêu giới hạn ứng dụng của cơ học Newton.

2. Phát biểu hai tiên đề Einstein.
3. Viết công thức của phép biến đổi Lorentz.
4. Giải thích sự co ngắn của độ dài và sự giãn của thời gian.
5. Phân tích tính tương đối của sự đồng thời giữa các biến cố không có quan hệ nhân quả với nhau.
6. Dựa vào phép biến đổi Lorentz, chứng tỏ trật tự kế tiếp về thời gian giữa các biến cố có quan hệ nhân quả với nhau vẫn được tôn trọng.
7. Chứng tỏ cơ học Newton là trường hợp giới hạn của thuyết tương đối Einstein khi $v \ll c$ hay c lớn vô cùng.
8. Viết biểu thức chứng tỏ trong thuyết tương đối Einstein, khối lượng m của một vật tăng lên khi chuyển động.
9. Từ công thức cộng vận tốc trong thuyết tương đối, tìm lại định luật cộng vận tốc trong cơ học Newton.
10. Viết và nêu ý nghĩa của hệ thức Einstein về năng lượng.
11. Từ hệ thức $E = mc^2$, tìm lại biểu thức động năng của một vật chuyển động với vận tốc $v \ll c$ trong cơ học cổ điển.

IV. BÀI TẬP

Thí dụ 1: Vật chuyển động phải có vận tốc bao nhiêu để người quan sát đứng ở hệ qui chiếu gắn với trái đất thấy chiều dài của nó giảm đi 25%.

Bài giải:

Chiều dài của vật chuyển động xác định theo công thức: $\ell = \ell_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$, theo đầu bài:

$$\frac{\ell_0 - \ell}{\ell_0} = 0,25 \rightarrow \frac{\ell}{\ell_0} = 0,75 \rightarrow \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 0,75 \rightarrow \frac{v}{c} = \sqrt{1 - 0,75^2} = 0,6615 \rightarrow v = 198600 \text{ (km/s)}$$

Thí dụ 2: Tìm vận tốc của hạt mêzôn để năng lượng toàn phần của nó lớn gấp 10 lần năng lượng nghỉ của nó.

Bài giải:

Theo thuyết tương đối:

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \rightarrow \frac{E}{E_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 10 \rightarrow \frac{v}{c} = 0,995$$

Suy ra vận tốc của hạt mêzôn là: $v = 2,985 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Bài tập tự giải

1. 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.
2. Khối lượng của electron chuyển động bằng hai lần khối lượng nghỉ của nó. Tìm vận tốc chuyển động của electron.
3. Tìm vận tốc của hạt electron để năng lượng toàn phần của nó lớn gấp 10 lần năng lượng nghỉ của nó.
4. Khối lượng của vật tăng thêm bao nhiêu lần nếu vận tốc của nó tăng từ 0 đến 0,9 lần vận tốc của ánh sáng.
5. Một hạt vi mô (mêzôn) 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.
6. Hạt electron phải được gia tốc bởi một hiệu điện thế U bằng bao nhiêu để đạt vận tốc bằng 95% vận tốc ánh sáng. Cho $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.
7. 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 $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.
8. Hỏi vận tốc của hạt phải bằng bao nhiêu để động năng của hạt bằng năng lượng nghỉ
9. Khối lượng của hạt electron chuyển động lớn gấp hai lần khối lượng của nó khi đứng yên. Tìm động năng của hạt. Cho $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.
10. Để động năng của hạt bằng một nửa năng lượng nghỉ của nó thì vận tốc của hạt phải bằng bao nhiêu?
11. Khi năng lượng của vật biến thiên 4,19 J thì khối lượng của vật biến thiên bao nhiêu?