

CHƯƠNG 7. SƠ LƯỢC VỀ THUYẾT TƯƠNG ĐỐI HẸP

A. LÝ THUYẾT

I. THUYẾT TƯƠNG ĐỐI HẸP

1. Các tiên đề của Anhxtanh

- Hiện tượng vật lý xảy ra như nhau trong mọi hệ quy chiếu quán tính, hay phương trình biểu diễn hiện tượng vật lý trong các hệ quy chiếu quán tính có cùng một dạng.
- Vận tốc của ánh sáng trong chân không có cùng độ lớn c trong mọi hệ quy chiếu quán tính. c là giới hạn của các vận tốc vật lí: $c = 299792458 \text{ m/s}$ ($c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$).

2. Một số kết quả của thuyết tương đối

- Độ dài của một thanh bị co lại dọc theo phương chuyển động của nó

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

- Đồng hồ gắn với quan sát viên chuyển động chạy chậm hơn đồng hồ gắn với quan sát viên đứng yên.

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Trong đó Δt_0 là khoảng thời gian gắn với quan sát viên đứng yên, Δt là khoảng thời gian gắn với quan sát viên chuyển động.

II. HỆ THỨC ANH-XTANH GIỮA NĂNG LƯỢNG VÀ KHỐI LƯỢNG

1. Khối lượng tương đối tính

Khối lượng của vật chuyển động với vận tốc v (khối lượng tương đối tính) là:

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

Với m_0 là khối lượng nghỉ (khối lượng khi vận tốc bằng không).

2. Hệ thức Anhxtanh giữa năng lượng và khối lượng

Nếu một vật có khối lượng m thì có năng lượng E tỉ lệ với m

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

Nếu $v \ll c$ thì: $E \approx m_0 \left(1 - \left(-\frac{1}{2}\right) \frac{v^2}{c^2}\right) c^2 = m_0 c^2 + \frac{1}{2} m_0 v^2$

Chú ý

- Đối với hệ kín, khối lượng và năng lượng nghỉ không nhất thiết được bảo toàn, nhưng năng lượng toàn phần (bao gồm cả động năng và năng lượng nghỉ) được bảo toàn.

- Cơ học cổ điển là trường hợp riêng của cơ học tương đối tính khi vận tốc chuyển động rất nhỏ so với vận tốc ánh sáng.

3. Năng lượng photon

Theo thuyết lượng tử ánh sáng, năng lượng photon xác định bởi: $\varepsilon = hf = \frac{hc}{\lambda}$

Kí hiệu m_{ph} là khối lượng tương đối tính của photon.

Mặt khác năng lượng của photon theo Anhtanh

$$\varepsilon = m_{ph}c^2 \Rightarrow m_{ph} = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{hf}{c^2} = \frac{hc}{c^2\lambda} = \frac{h}{c\lambda}$$

Mà $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$. Suy ra khối lượng nghỉ của photon là: $m_{0ph} = m_{ph}\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

Vì $v = c$ nên $m_{0ph} = 0$. Vậy khối lượng nghỉ của photon bằng 0.

Động lượng photon: $p = m_{ph}c = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{h}{\lambda}$

III. SO SÁNH GIỮA CƠ HỌC NEWTON VÀ CƠ HỌC TƯƠNG ĐỐI TÍNH

Ở bảng này m là khối lượng nghỉ.

So sánh	Cơ học Newton	Cơ học tương đối tính
a) Phương trình chuyển động:	$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \vec{F}$	$\frac{d}{dt} \left(\frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right) = \vec{F}$
b) Xung lượng:	$\vec{p} = m\vec{v}$	$\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
c) Khối lượng:	m	$m^* = \frac{m}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
d) Động năng:	$\frac{1}{2}mv^2$	$mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$
e) Năng lượng nghỉ:	0	mc^2
f) Liên hệ giữa năng lượng và động lượng	$W_d = \frac{p^2}{2m}$	$\frac{W}{c} = \sqrt{p^2 + (mc)^2}$

B. BÀI TẬP

I. BÀI TẬP VỀ HAI TIÊN ĐỀ CỦA ANHXTANH

Ví dụ 1: Chọn câu đúng. Khi nguồn sáng chuyển động, vận tốc truyền ánh sáng trong chân không có giá trị.

- A. nhỏ hơn c .
- B. lớn hơn c .
- C. lớn hơn hoặc nhỏ hơn c , phụ thuộc vào phương truyền và vận tốc của nguồn sáng.
- D. luôn bằng c , không phụ thuộc vào phương truyền và vận tốc của nguồn sáng.

Lời giải

Theo tiên đề 2 của Anh-xtanh ta có vận tốc truyền ánh sáng trong chân không có giá trị luôn bằng c , không phụ thuộc vào phương truyền và vận tốc của nguồn sáng.

Đáp án D.

Ví dụ 2: Chọn câu đúng:

Khi một cái thước chuyển động theo phương chiều dài của nó, độ dài của thước

- A. dẫn ra theo tỉ lệ $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$.
- B. co lại tỉ lệ với vận tốc của thước.
- C. dẫn ra phụ thuộc vào vận tốc của thước.
- D. co lại theo tỉ lệ $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$.

Lời giải

Theo công thức chiều dài của vật chuyển động $l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

Đáp án D.

Ví dụ 3: Một chiếc thước có chiều dài 30cm, chuyển động với vận tốc $v = 0,8c$ theo chiều dài của thước thì co lại là:

- A. 10 cm.
- B. 12 cm.
- C. 15 cm.
- D. 18 cm.

Lời giải

Khi thước chuyển động theo chiều dài của thước thì chiều dài của thước là

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 18\text{cm.}$$

Đáp án D.

Ví dụ 4: Người quan sát đồng hồ đứng yên được 50 phút, cũng thời gian đó người quan sát chuyển động với vận tốc $v = 0,8c$ sẽ thấy thời gian đồng hồ là:

- A. 20 phút.
- B. 25 phút.
- C. 30 phút.
- D. 40 phút.

Lời giải

$$\text{Ta có: } \Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \Delta t_0 = \Delta t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 50 \sqrt{1 - \frac{(0,8c)^2}{c^2}} = 30$$

Đáp án C.

Ví dụ 5: Sau 30 phút đồng hồ chuyển động với vận tốc $v = 0,8c$ chạy chậm hơn đồng hồ gắn với người quan sát đứng yên là:

- A. 20 phút.
- B. 25 phút.
- C. 30 phút.
- D. 35 phút.

Lời giải

Ta có thời gian của đồng hồ gắn với người quan sát đứng yên là

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{30}{\sqrt{1 - \frac{(0,8c)^2}{c^2}}} = 50$$

Suy ra sau 30 phút đồng hồ gắn với người chuyển động chạy chậm hơn đồng hồ gắn với người quan sát đứng yên là $\Delta t - \Delta t_0 = 20$ phút.

Đáp án A.

Ví dụ 6: Điều nào dưới đây đúng, khi nói về các chuyên đề của Anh-xtanh?

- A. Các hiện tượng vật lý xảy ra như nhau đối với mọi hệ quy chiếu quán tính.
- B. Phương trình diễn tả các hiện tượng Vật lý có cùng một dạng trong mọi hệ quy chiếu quán tính.
- C. Vận tốc ánh sáng trong chân không đối với mọi hệ quy chiếu quán tính có cùng giá trị c , không phụ thuộc vào vận tốc của nguồn sáng hay máy thu.
- D. A, B và C đều đúng.

Lời giải

Theo tiên đề I của Anh-xtanh: Các định luật vật lý có cùng một dạng như nhau trong mọi hệ quy chiếu quán tính.

Đáp án B.

II. BÀI TẬP VỀ HỆ THỨC ANHXTANH GIỮA NĂNG LƯỢNG VÀ KHỐI LƯỢNG

Ví dụ 1: Chọn câu đúng. Theo thuyết tương đối, khối lượng tương đối tính của một vật có khối lượng nghỉ m_0 chuyển động với vận tốc v là:

A. $m = m_0 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1}$

B. $m = m_0 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$

C. $m = m_0 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}$

D. $m = m_0 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$

Lời giải

Khối lượng tương đối tính $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = m = m_0 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$

Đáp án B.

Ví dụ 2: Chọn câu đúng. Hệ thức Anhtanh giữa khối lượng và năng lượng là

A. $W = \frac{m}{c^2}$

B. $W = mc$

C. $W = \frac{m}{c}$

D. $W = mc^2$

Lời giải

Theo hệ thức Anhtanh thì công thức giữa khối lượng và năng lượng là $W = mc^2$

Đáp án D.

Ví dụ 3: Một hạt có động năng bằng năng lượng nghỉ của nó. Vận tốc của hạt đó là

A. 2.10^8 m/s.

B. $2,5.10^8$ m/s.

C. $2,6.10^8$ m/s.

D. $2,8.10^8$ m/s.

Lời giải

Vì động năng bằng năng lượng nghỉ nên $\begin{cases} W = W_d + m_0c^2 \\ W_d = m_0c^2 \end{cases}$

$$\Rightarrow W = 2m_0c^2 \Leftrightarrow \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 2m_0c^2 \Leftrightarrow 2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow v = \frac{\sqrt{3}}{2}c \approx 2,6.10^8 \text{ m/s}$$

Đáp án C.

Ví dụ 4: Vận tốc của 1 electron tăng tốc qua hiệu điện thế 10^5V là

A. $0.4.10^8$ m/s.

B. $0.8.10^8$ m/s.

C. $1,2.10^8$ m/s.

D. $1,6.10^8$ m/s.

Lời giải

Độ biến thiên động năng bằng công thức của lực điện

$$W_d - 0 = eU \Leftrightarrow \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right) mc^2 = eU, \beta = \frac{v}{c}$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = 1 + \frac{eU}{mc^2} \Leftrightarrow \sqrt{1-\beta^2} = \frac{1}{1 + \frac{eU}{mc^2}} \Leftrightarrow 1 - \beta^2 = \frac{1}{\left(1 + \frac{eU}{mc^2}\right)^2}$$

$$\Leftrightarrow \beta^2 = 1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{eU}{mc^2}\right)^2} = \frac{v^2}{c^2} \Leftrightarrow v = c \sqrt{1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{eU}{mc^2}\right)^2}}$$

Thay số ta được $v = 1,2.10^8$ m/s.

Đáp án C.

Ví dụ 5: Động năng của một electron có động lượng là p sẽ là

- A. $W_d = c\sqrt{p^2 + (m_0c)^2}$
- B. $W_d = c\sqrt{p^2 + (m_0c)^2} + m_0c^2$
- C. $W_d = c\sqrt{p^2 + (m_0c)^2} - m_0c^2$
- D. $W_d = \sqrt{p^2 + (m_0c)^2}$

Lời giải

Năng lượng và động lượng tương đối tính là

$$\begin{cases} E = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \\ p = \frac{m_0v}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \end{cases} \Rightarrow E = mc^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

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

$$\Rightarrow \boxed{E = c\sqrt{m_0^2c^2 + p^2}}$$

Biểu thức đóng khung bên chính là năng lượng toàn phần. Vì năng lượng toàn phần bằng tổng động năng và năng lượng nghỉ, nên ta có động năng là:

$$W_d = c\sqrt{p^2 + (m_0c)^2} - m_0c^2$$

Đáp án C.

Ví dụ 6: Vận tốc của một electron có động lượng là p sẽ là

A. $v = \frac{c}{\sqrt{(m_0c)^2 - p^2}}$ B. $v = \frac{c}{\sqrt{(m_0c)^2 + p^2}}$ C. $v = \frac{pc}{\sqrt{(m_0c)^2 - p^2}}$ D. $v = \frac{pc}{\sqrt{(m_0c)^2 + p^2}}$

Lời giải

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

$$\Leftrightarrow v = \frac{1}{\sqrt{\frac{m_0^2}{p^2} + \frac{1}{c^2}}} = \frac{pc}{\sqrt{m_0^2 c^2 + p^2}}$$

Đáp án D.

Ví dụ 7: Động lượng của một hạt có khối lượng nghỉ m_0 động năng K là:

A. $p = \sqrt{\left(\frac{K}{c}\right)^2 - 2m_0K}$

B. $p = \sqrt{\left(\frac{K}{c}\right)^2 + 2m_0K}$

C. $p = \sqrt{\left(\frac{K}{c}\right)^2 + m_0K}$

D. $p = \sqrt{\left(\frac{K}{c}\right)^2 - m_0K}$

Lời giải

Ở các ví dụ trên ta đã tính được hệ thức giữa năng lượng và động lượng của vật là:

$$E = c\sqrt{p^2 + (m_0c)^2}$$

Mặt khác, năng lượng bằng tổng động năng và năng lượng nghỉ, nên ta có

$$K + m_0c^2 \Leftrightarrow c\sqrt{p^2 + (m_0c)^2} \Leftrightarrow \left(\frac{K}{c} + m_0c\right)^2 = p^2 + (m_0c)^2$$

$$\Leftrightarrow \left(\frac{K}{c}\right)^2 + 2m_0K = p^2$$

Đáp án B.