

1. Khối lượng tương đối tính

Theo cơ học cổ điển, động lượng đặc trưng cho chuyển động về mặt động lực học. Trong thuyết tương đối, động lượng tương đối tính của một vật chuyển động với vận tốc \vec{v} cũng được định nghĩa bằng công thức có dạng tương tự như công thức định nghĩa động lượng trong cơ học cổ điển :

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (51.1)$$

Ở đây có điều khác là, đại lượng m được xác định theo công thức :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \geq m_0 \quad (51.2)$$

trong đó c là tốc độ ánh sáng, m là *khối lượng tương đối tính* của vật (đó là khối lượng của vật khi chuyển động với tốc độ v), còn m_0 là *khối lượng nghỉ* (còn gọi là *khối lượng tĩnh*) của vật (đó là khối lượng của vật khi nó đứng yên, $v = 0$). Như vậy, khối lượng của một vật có tính tương đối, giá trị của nó phụ thuộc hệ quy chiếu. Khối lượng của vật tăng khi v tăng.

Cơ học cổ điển chỉ xét những vật chuyển động với tốc độ $v \ll c$, nên khối lượng của vật có trị số gần đúng bằng khối lượng nghỉ m_0 của nó : $m \approx m_0$.

2. Hệ thức giữa năng lượng và khối lượng

Thuyết tương đối đã thiết lập hệ thức rất quan trọng sau đây giữa năng lượng toàn phần và khối lượng m của một vật (hoặc một hệ vật) :

C1 Hãy tính khối lượng tương đối tính của một người có khối lượng nghỉ $m_0 = 60$ kg chuyển động với tốc độ $0,8c$.

Ta thấy khi $v \approx c$ thì khối lượng tăng vô cùng. Do đó, muốn tiếp tục tăng tốc độ cho chất điểm, ta phải tác dụng lên nó một lực vô cùng lớn. Lực đó không thể có trong thực tế. Và như vậy, không có vật nào có thể chuyển động với tốc độ bằng tốc độ ánh sáng trong chân không.

$$E = mc^2 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} c^2 \quad (51.3)$$

Hệ thức này được gọi là *hệ thức Anh-xanh*. Theo hệ thức này, khi vật có khối lượng m thì nó cũng có một năng lượng E , và ngược lại, khi vật có năng lượng E thì nó có khối lượng tương ứng là m . Hai đại lượng này luôn tỉ lệ với nhau với hệ số tỉ lệ bằng c^2 :

$$\text{Năng lượng} = \text{khối lượng} \times c^2$$

Từ (51.1) và (51.3), có thể rút ra hệ thức giữa năng lượng và động lượng của vật :

$$E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2 \quad (51.6)$$

Hệ thức này thường được sử dụng khi khảo sát các hạt chuyển động với tốc độ lớn trong lĩnh vực vật lí hạt nhân và vật lí các hạt sơ cấp.

C2 Tính năng lượng toàn phần của một vật đứng yên có khối lượng nghỉ $m_0 = 1$ kg. So sánh năng lượng này với điện năng do Nhà máy thuỷ điện Hoà Bình (có công suất 1,92 triệu kilôoát) có thể phát ra trong 1 năm.

Nói chung, một vật có khối lượng nghỉ m_0 chuyển động với tốc độ v sẽ có động năng bằng :

$$W_d = mc^2 - m_0 c^2 = (m - m_0) c^2$$

$$\text{hay } W_d = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right).$$

Khi năng lượng thay đổi một lượng ΔE thì khối lượng thay đổi một lượng Δm tương ứng và ngược lại. Từ (51.3) ta có :

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 \quad (51.4)$$

Các trường hợp riêng :

– Khi $v = 0$ thì $E_0 = m_0 c^2$. E_0 được gọi là *năng lượng nghỉ* (ứng với khi vật đứng yên).

– Khi $v \ll c$ (với các trường hợp của cơ học

$$\text{cổ điển), hay } \frac{v}{c} \ll 1, \text{ ta có } \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \approx 1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2},$$

và do đó, năng lượng toàn phần bằng :

$$W \approx m_0 c^2 + \frac{1}{2} m_0 v^2 \quad (51.5)$$

Như vậy, khi vật chuyển động, năng lượng toàn phần của nó bao gồm năng lượng nghỉ và động năng của vật.

Theo vật lí học cổ điển, nếu một hệ vật là kín (cô lập) thì khối lượng và năng lượng (thông thường) của nó được bảo toàn. Còn theo thuyết tương đối, đối với hệ kín, khối lượng nghỉ và năng lượng nghỉ tương ứng không nhất thiết được bảo toàn, nhưng năng lượng toàn phần W được bảo toàn.

3. Áp dụng cho phôtô

Theo thuyết lượng tử ánh sáng, phôtô ứng với bức xạ đơn sắc có bước sóng λ và tần số f có năng lượng :

$$\varepsilon = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

Kí hiệu m_{ph} là khối lượng tương đối tính của phôtô, ta có $\varepsilon = m_{ph}c^2$. Như vậy :

$$m_{ph} = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{hf}{c^2} = \frac{h}{c\lambda} \quad (51.7)$$

Từ đó, theo (51.2) khối lượng nghỉ m_{0ph} của phôtô bằng :

$$m_{0ph} = m_{ph} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Vì $v = c$ nên :

$$m_{0ph} = 0 \quad (51.8)$$

Vậy, khối lượng nghỉ của phôtô bằng 0.

CÂU HỎI

Nêu hệ thức Anh-xanh giữa khối lượng và năng lượng.

BÀI TẬP

1. Theo thuyết tương đối, khối lượng tương đối tính của một vật có khối lượng nghỉ m_0 chuyển động với tốc độ 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. $m = m_0 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$.

2. Hệ thức Anh-xanh giữa khối lượng và năng lượng là

- A. $E = \frac{m}{c^2}$. B. $E = mc$. C. $E = \frac{m}{c}$. D. $E = mc^2$.

3. Một hạt có động năng bằng năng lượng nghỉ của nó. Tính tốc độ của hạt.

C3 Tính khối lượng của phôtô ứng với bức xạ có $\lambda = 0,50 \mu\text{m}$.

Theo (51.1) và (51.7), động lượng tương đối tính của phôtô là :

$$p = m_{ph}c = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (51.9)$$