

50

THUYẾT TƯƠNG ĐỐI HẸP

I - MỤC TIÊU

- Hiểu và phát biểu được hai tiên đề của thuyết tương đối hẹp.
- Nêu được hệ quả của thuyết tương đối về tính tương đối của không gian và thời gian.

II - CHUẨN BỊ

Giáo viên

Nội dung về tính tương đối của chuyển động theo Cơ học cổ điển.

Học sinh

Ôn lại kiến thức về tính tương đối của chuyển động đã học trong Cơ học.

III - NHỮNG ĐIỀU CẦN LUÔN Ý

1. Công thức cộng vận tốc Anh-xtanh

Xét hai hệ quy chiếu quán tính (hệ quy chiếu Ga-li-lê) là $Oxyz$ và $O'x'y'z'$, trong đó $O'x' \parallel Ox$; $O'y' \parallel Oy$; $O'z' \parallel Oz$ và trục $O'x'$ trùng với trục Ox , tịnh tiến dọc theo Ox với vận tốc không đổi V .

Sự biến đổi các toạ độ không – thời gian của một biến cố đối với hai hệ quy chiếu $Oxyz$ và $O'x'y'z'$:

a) Trong cơ học Niu-ton, các toạ độ được cho bởi các công thức biến đổi Ga-li-lê :

$$x = x' + Vt' ; y = y' ; z = z' ; t = t'$$

và $x' = x - Vt ; y' = y ; z' = z ; t' = t$.

b) Trong thuyết tương đối hẹp của Anh-xtanh, các toạ độ được cho bởi các công thức biến đổi Lo-ren :

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

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

với $\gamma = \left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right)^{-1/2}$

Một chất điểm chuyển động dọc theo trục Ox (hay trục Ox') có vận tốc trong hai hệ $Oxyz$ và $O'x'y'z'$ lần lượt là :

$$v = \frac{dx}{dt}, \quad v' = \frac{dx'}{dt'}$$

trong đó : $dx = \gamma(dx' + Vdt')$.

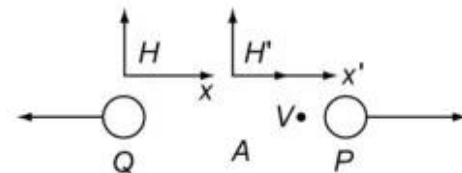
$$dt = \gamma\left(dt' + \frac{V}{c^2}dx'\right)$$

Ta suy ra : $v = \frac{dx}{dt} = \frac{dx' + Vdt'}{dt' + \frac{V}{c^2}dx'} = \frac{\frac{dx'}{dt'} + V}{1 + \frac{V}{c^2}\frac{dx'}{dt'}}$

$$v = \frac{v' + V}{1 + \frac{v'V}{c^2}}$$

2. Vận tốc ánh sáng c trong chân không *là giới hạn của các vận tốc vật lí*, tức là vận tốc của các đối tượng vật chất có mang năng lượng. Các vận tốc *thuần tuý toán học* có thể lớn hơn c . Sau đây là một ví dụ. Trong chân không, hạt phôtônen luôn luôn có vận tốc bằng c . Có hai phôtônen P và Q bay ra xa quan sát viên A đứng yên ở điểm lúc ban đầu trùng với hai phôtônen P, Q . Vận tốc tăng khoảng cách của hai phôtônen *đối với quan sát viên* (Hình 50.1) là $2c$, vì đây là vận tốc toán học. Sau 1 s, P bay được khoảng $AP = c$ km, Q bay được khoảng $AQ = c$ km. Khoảng cách $PQ = AP + AQ = 2c$ km, đây là *kết quả toán học không có tiên đề vật lí nào bắc bỏ được*. Vậy vận tốc tăng khoảng cách PQ đối với quan sát viên A là $2c$ km/s.

Nhưng vận tốc của phôtônen P đối với phôtônen Q (*tức là đối với quan sát viên gắn với Q*) thì theo tiên đề 2 chỉ bằng c . Nghĩa là nếu dùng máy đo vận tốc của P thì quan sát viên gắn với Q thấy kết quả là c . Anh ta cũng có thể đứng ở A để đo vận tốc của P , thấy kết quả $v' = v'_{P/A} = c$,



Hình 50.1

và đo vận tốc Q , thấy kết quả $v_{Q/A} = -c$. Sau đó áp dụng công thức cộng vận tốc của thuyết tương đối để tìm vận tốc của P đối với Q , $v = v_{P/Q}$. Công thức ấy là $v = \frac{v' + V}{1 + \frac{v'V}{c^2}}$, trong đó V và v' là các vận tốc của vật (photon P) đối với các hệ quy chiếu H (gắn với photon Q) và H' (gắn với điểm A), còn V là vận tốc của hệ $H'(A)$ đối với hệ $H(Q)$, $V = -v_{Q/A} = c$. Kết quả là $v = \frac{c + c}{1 + \frac{c^2}{c^2}} = c$.

Cũng có những tín hiệu "vật lí" chuyển động với vận tốc lớn hơn c , *nhưng không có năng lượng đi cùng với chuyển động này*. Ví dụ, người ta đã dùng tia laze chiếu lên Mặt Trăng để đo khoảng cách Trái Đất – Mặt Trăng, vì tia laze rất mảnh và truyền đi được rất xa. Giả sử công suất của tia đủ mạnh để tạo nên một điểm sáng trên bề mặt Mặt Trăng. Nếu quay máy phát với tốc độ góc đủ lớn thì điểm sáng này có thể chuyển động trên Mặt Trăng với tốc độ lớn hơn c . Nhưng không có năng lượng nào đi kèm theo chuyển động này, chỉ có năng lượng truyền theo tia laze từ Trái Đất tới Mặt Trăng. Nếu điểm sáng làm nóng đất trên Mặt Trăng thì nhiệt này toả mọi phương rất chậm.

3. Sự dẫn của khoảng thời gian. Đồng hồ đặt trong máy bay bay với vận tốc $v = 300 \text{ m/s} = 1080 \text{ km/h}$ chỉ chậm 1 s sau khoảng 60 000 năm, tức là chậm 10^{-6} s sau khoảng 22 ngày. Năm 1960, người ta đã đặt đồng hồ nguyên tử cực kì chính xác lên máy bay để làm thí nghiệm, kết quả phù hợp với dự kiến của thuyết tương đối.

Ta xét nghịch lí anh em sinh đôi. Có hai anh em sinh đôi, người anh là phi công vũ trụ bay đi thám hiểm vũ trụ, người em ở lại trên Trái Đất. Theo thuyết tương đối, người nào cũng thấy người kia sống chậm hơn, già chậm hơn, tức là trẻ lâu hơn mình. Vậy nếu người phi công trở lại Trái Đất thì ai già, ai trẻ? Câu trả lời là: Phi công trẻ hơn, khi trở lại Trái Đất, anh ta có thể thấy em mình đã là một cụ già. Sở dĩ có nghịch lí này là vì ta đã áp dụng công thức về thời gian trôi chậm cho cả chuyến đi của phi công vũ trụ. Sự thực thì công thức ấy chỉ được áp dụng cho hệ quy chiếu *quán tính*, tức là cho con tàu vũ trụ *chuyển động thẳng đều* đối với Trái Đất, mà muốn quay về Trái Đất thì, ngoài hai giai đoạn đi và về thẳng đều, phải có giai đoạn con tàu chuyển động cong để quay về, hệ quy chiếu gắn với con tàu trong giai đoạn ấy không là hệ quy chiếu *quán tính* nữa. Phép tính chính xác dẫn đến kết quả là: Đối với phi công thì *thời gian trên Trái Đất* trôi chậm hơn trong hai giai đoạn con tàu chuyển động thẳng đều, nhưng lại trôi nhanh hơn nhiều trong giai đoạn con tàu có gia tốc, tổng cộng lại thì trôi nhanh hơn, nên khi trở về Trái Đất thì phi công thấy em mình già hơn mình.

VI - GỢI Ý VỀ PHƯƠNG PHÁP VÀ TỔ CHỨC HOẠT ĐỘNG DẠY HỌC

1. Hạn chế của Cơ học cổ điển

GV đặt vấn đề vào bài như SGK.

GV nêu lên các hạn chế của Cơ học cổ điển.

2. Các tiên đề Anh-xtanh

GV trình bày hai tiên đề Anh-xtanh. GV có thể minh họa cho rõ hơn nội dung hai tiên đề, bằng cách đặt câu hỏi cho HS : Vận tốc lớn nhất mà em biết có giá trị bằng bao nhiêu ? Nếu xét thấy cần thiết, GV yêu cầu HS nhắc lại nguyên lí tương đối của Cơ học cổ điển bằng một ví dụ cụ thể, chẳng hạn thả một vật rơi tự do trên con tàu (hoặc trên máy bay) chuyển động đều.

3. Hai hệ quả của thuyết tương đối hẹp

GV trình bày một số kết quả của thuyết tương đối hẹp. Với mỗi kết quả, GV yêu cầu HS làm một bài toán cụ thể để minh họa, sau đó nêu ý nghĩa của kết quả thu được. GV tận dụng các hình minh họa ở SGK để giúp HS hình dung cụ thể hơn.

GV yêu cầu HS trả lời **C1** và **C2**.

$$\text{C1} \quad \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 0,8 \Rightarrow l = l_0 \cdot 0,8 = 0,8 \text{ m} ; \quad l_0 - l = 0,2 \text{ m.}$$

$$\text{C2} \quad \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 0,8 \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta t_0}{0,8} = 1,25 \cdot 1 \text{ h} = 1,25 \text{ h.}$$

$$\Delta t - \Delta t_0 = 0,25 \text{ h} = 15 \text{ ph.}$$

V - HƯỚNG DẪN TRẢ LỜI CÂU HỎI VÀ GIẢI BÀI TẬP

Câu hỏi

1. Xem mục 2 SGK. 2. Xem mục 3 SGK.

Bài tập

1. D. 2. D.

$$3. \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 0,6 \Rightarrow l = 0,6 \cdot 30 \text{ cm} = 18 \text{ cm} ; \quad l_0 - l = 12 \text{ cm.}$$

$$4. \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 0,6 \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta t_0}{0,6} = \frac{30}{0,6} = 50 \text{ ph} ; \quad \Delta t - \Delta t_0 = 20 \text{ ph.}$$