



Chương 3

Chuyển động biến đổi



Bài 8: Sự rơi tự do

Sự rơi tự do

I Lý thuyết

1 Sự rơi trong không khí và sự rơi tự do

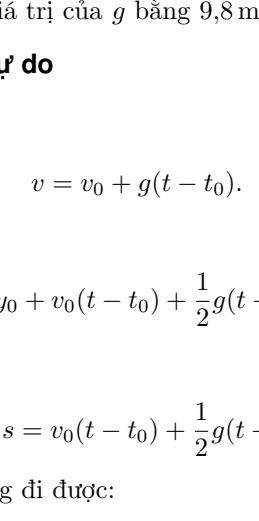
Sự rơi của các vật trong không khí

Trong không khí các vật rơi nhanh hay chậm là do có lực cản của không khí đã tác động lên vật.

Sự rơi tự do

Nếu loại bỏ được ảnh hưởng của không khí thì mọi vật sẽ rơi nhanh như nhau. Sự rơi của các vật trong trường hợp này gọi là sự rơi tự do.

Sự rơi tự do là sự rơi chỉ dưới tác dụng của trọng lực.



Hình 1: Thí nghiệm về sự rơi tự do.

2 Nghiên cứu sự rơi tự do của các vật

Những đặc điểm của chuyển động rơi tự do

- Phương của chuyển động rơi tự do là phương thẳng đứng (phương của dây dọi).
- Gia tốc của vật chuyển động rơi tự do chính là gia tốc rơi tự do.
- Chuyển động rơi tự do là chuyển động thẳng biến đổi đều.

Gia tốc rơi tự do

Tại một nơi nhất định trên Trái Đất và ở gần mặt đất, mọi vật đều rơi tự do với cùng gia tốc g .

Gia tốc rơi tự do kí hiệu là g , giá trị của g phụ thuộc vào vĩ độ địa lí và độ cao. Ở gần bề mặt Trái Đất người ta thường lấy giá trị của g bằng $9,8\text{ m/s}^2$.

Các phương trình của sự rơi tự do

Phương trình vận tốc:

$$v = v_0 + g(t - t_0).$$

Phương trình tọa độ:

$$y = y_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2}g(t - t_0)^2.$$

Quãng đường đi được:

$$d = s = v_0(t - t_0) + \frac{1}{2}g(t - t_0)^2$$

Liên hệ giữa vận tốc và quãng đường đi được:

$$v^2 - v_0^2 = 2gs$$

Nếu ta chọn $t_0 = 0$ và vật được thả rơi không vận tốc đầu $v_0 = 0$ thì các công thức trên trở thành

$$v = gt$$

$$y = y_0 + \frac{1}{2}gt^2$$

$$d = s = \frac{1}{2}gt^2$$

$$v^2 = 2gs$$



Lưu ý

Định nghĩa sự rơi tự do là chuyển động chỉ dưới tác dụng của trọng lực, tức là gia tốc của vật phải đúng bằng gia tốc rơi tự do $a = g$, chứ không quy định về vận tốc ban đầu của vật.

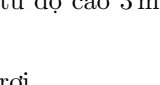
Nói cách khác, thành phần chuyển động theo phương thẳng đứng của các vật chuyển động ném ngang, ném xiên đều được coi là chuyển động rơi tự do.

II Mục tiêu bài học - Ví dụ minh họa

Mục tiêu 1:

Nhận biết được đặc điểm của sự rơi tự do, gia tốc rơi tự do

Ví dụ 1



Câu nào sau đây nói về sự rơi là đúng?

- A. Khi không có sức cản, vật nặng rơi nhanh hơn vật nhẹ.
- B. Ở cùng một nơi, mọi vật rơi tự do có cùng gia tốc.
- C. Khi rơi tự do, vật nào ở độ cao hơn sẽ rơi với gia tốc lớn hơn.
- D. Vận tốc của vật chạm đất, không phụ thuộc vào độ cao của vật khi rơi.

Hướng dẫn giải

Gia tốc rơi tự do g không phụ thuộc khối lượng của vật, chỉ phụ thuộc vĩ độ địa lí, độ cao và cấu trúc địa chất nơi đó nó nằm ở cùng một nơi, mọi vật rơi tự do có cùng gia tốc.

Đáp án: B.

Ví dụ 2



Chuyển động của vật nào dưới đây có thể coi gần đúng như chuyển động rơi tự do?

- A. Một vận động viên nhảy dù đang rơi khi dù đã mở.
- B. Một viên gạch rơi từ độ cao 3 m xuống đất.
- C. Một chiếc thang máy đang chuyển động đi xuống.
- D. Một chiếc lá đang rơi.

Hướng dẫn giải

Theo định nghĩa, sự rơi tự do (chuyển động rơi tự do) là sự rơi của các vật chỉ chịu tác dụng của trọng lực.

Trong các trường hợp trên, vận động viên nhảy dù và chiếc lá đều chịu thêm tác dụng của lực cản không khí trong quá trình rơi; thang máy chịu thêm tác dụng của lực căng dây cáp. Các lực thêm vào này làm chuyển động của các vật này có gia tốc khác đáng kể với gia tốc rơi tự do. Do đó các chuyển động này không được xem là chuyển động rơi tự do.

Chuyển động của một viên gạch rơi từ độ cao 3 m xuống đất có thể xem gần đúng là chuyển động rơi tự do, vì trong khi rơi lực cản không khí không đáng kể so với trọng lực, nên gia tốc của viên gạch gần bằng gia tốc rơi tự do.

Đáp án: B.

Ví dụ 3



Chọn phương án sai. Chuyển động rơi tự do không vận tốc đầu có

- A. phương thẳng đứng.
- B. chiều từ trên xuống dưới.
- C. là chuyển động thẳng chậm dần đều.
- D. chỉ chịu tác dụng của trọng lực.

Hướng dẫn giải

Chuyển động rơi tự do không vận tốc đầu là chuyển động thẳng nhanh dần đều.

Đáp án: C.

Mục tiêu 2:

Nhận biết được công thức xác định vận tốc, quãng đường và thời gian rơi tự do

Ví dụ 1



Chọn phát biểu sai về chuyển động rơi tự do.

- A. Vật có khối lượng càng lớn rơi càng nhanh.
- B. Đại lượng đặc trưng cho sự biến thiên vận tốc là gia tốc trọng trường.
- C. Vật có vận tốc cực đại khi chạm đất.
- D. Sự rơi tự do là sự rơi chỉ chịu tác dụng của trọng lực.

Hướng dẫn giải

Thời gian rơi tự do được xác định từ các phương trình chuyển động. Các phương trình này không phụ thuộc vào khối lượng, do đó nhận định ở đáp án A không đúng.

Đáp án: A.

Ví dụ 2



Chọn câu sai

- A. Vật rơi tự do khi không chịu sức cản của môi trường.
- B. Khi rơi tự do các vật chuyển động giống nhau.
- C. Công thức $s = \frac{1}{2}gt^2$ dùng để xác định quãng đường đi được của vật rơi tự do không vận tốc đầu.
- D. Có thể coi sự rơi của chiếc lá khô từ trên cây xuống là sự rơi tự do.

Hướng dẫn giải

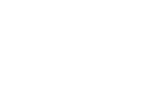
Sự rơi tự do là sự rơi chỉ chịu tác dụng của trọng lực, còn chiếc lá khô rơi từ trên cây xuống còn chịu thêm lực cản của không khí.

Đáp án: D.

Mục tiêu 3:

Xác định vận tốc, quãng đường và thời gian của vật rơi tự do

Ví dụ 1



Một vật rơi tự do không vận tốc đầu, khi chạm đất thì vật đạt tốc độ $v = 20\text{ m/s}$. Hỏi vật được thả rơi từ độ cao nào? Biết $g = 10\text{ m/s}^2$.

Hướng dẫn giải

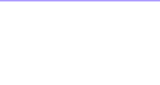
Vật được thả rơi nên không có vận tốc đầu ($v_0 = 0$). Thời gian vật rơi

$$v = v_0 + gt \quad \Rightarrow \quad t = \frac{v}{g} = \frac{20\text{ m/s}}{10\text{ m/s}^2} = 2\text{ s}.$$

Vật được thả rơi từ độ cao

$$s = h = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \times (10\text{ m/s}^2) \times (2\text{ s})^2 = 20\text{ m}.$$

Ví dụ 2



Từ độ cao 120 m người ta thả một vật thẳng đứng xuống với vận tốc đầu $v_0 = 10\text{ m/s}$. Cho biết gia tốc trọng trường $g = 10\text{ m/s}^2$.

- a. Sau bao lâu vật chạm đất.
- b. Tính vận tốc của vật lúc vừa chạm đất.

Hướng dẫn giải

- a. Thời gian vật chạm đất được tính từ phương trình chuyển động

$$s = v_0t + \frac{1}{2}gt^2 \quad \Leftrightarrow \quad 120 = 10t + 5t^2.$$

Giải phương trình này, ta thu được hai nghiệm và chọn nghiệm dương

$$\Rightarrow t = 4\text{ s (nhận)} \text{ hoặc } t = -6\text{ s (loại)}.$$

- b. Vận tốc của vật lúc vừa chạm đất

$$v = v_0 + gt = 10\text{ m/s} + (10\text{ m/s}^2) \times 4\text{ s} = 50\text{ m/s}.$$



Lưu ý

Trong khi giải các phương trình chuyển động thẳng biến đổi đều để tìm thời gian, ta thường gặp trường hợp giải được hai nghiệm. Thông thường nghiệm dương sẽ được chọn vì đây là nghiệm ứng với thời điểm sau khi bắt đầu khảo sát hiện tượng.

Mục tiêu 4:

Lập phương trình chuyển động của vật rơi tự do

Ví dụ 1



Từ độ đỉnh tháp cao 20 m, người ta buông một vật. Sau 2 s thì người ta lại buông vật thứ 2 ở tầng thấp hơn đỉnh tháp 5 m. Chọn trục Oy thẳng đứng, chiều dương hướng xuống, gốc O ở mặt đất, chiều dương hướng lên, gốc O ở đỉnh tháp, chiều dương hướng xuống, mốc thời gian lúc vật 1 bắt đầu rơi, $g = 10\text{ m/s}^2$.

- a. Lập phương trình chuyển động của hai viên bi.
- b. Hai vật có chạm đất cùng lúc không?
- c. Vận tốc lúc chạm đất của mỗi vật là bao nhiêu?

Hướng dẫn giải

- a. Vật thứ nhất xuất phát từ đỉnh tháp (là gốc tọa độ) và được buông (không vận tốc đầu) nên phương trình chuyển động có dạng

$$\begin{aligned} y_1 &= y_{01} + v_{01}t + \frac{1}{2}gt^2 \\ &= 0\text{ m} + 0\text{ m/s} \cdot t + \frac{1}{2} \times 10\text{ m/s}^2 \cdot t^2 \\ &= 5t^2. \end{aligned}$$

Trong dòng cuối, ta tạm lược bỏ đơn vị để biểu thức dễ nhìn.

Phương trình chuyển động của vật 2 là:

$$\begin{aligned} y_2 &= y_{02} + v_{02}t + \frac{1}{2}g(t - t_0)^2 \\ &= 5\text{ m} + (0\text{ m/s}) \times (t - 2\text{ s}) + \frac{1}{2} \times (10\text{ m/s}^2) \times (t - 2\text{ s})^2 \\ &= 5t^2 - 20t + 25 \quad \text{với } t > 2. \end{aligned}$$

- b. Thời điểm vật 1 chạm đất:

$$y_1 = 5t^2 = 20\text{ m} \Rightarrow t_1 = 2\text{ s}.$$

Thời điểm vật 2 chạm đất:

$$\begin{aligned} y_2 &= 5t^2 - 20t + 25 = 20\text{ m} \\ \Rightarrow t_2 &= 3,73\text{ s (nhận)} \text{ hoặc } t_2 = 0,27\text{ s (loại)}. \end{aligned}$$

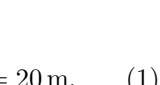
- Ở đây nghiệm 0,27 s bị loại vì đây là thời điểm trước khi vật 2 được thả, không phù hợp với hiện tượng được mô tả trong đề.

- Vậy hai vật không chạm đất cùng lúc.

- c. Vận tốc lúc chạm đất của mỗi vật là:

$$\begin{aligned} v_1 &= gt_1 = 10\text{ m/s}^2 \times 2\text{ s} = 20\text{ m/s}, \\ v_2 &= g(t_2 - t_0) = 10\text{ m/s}^2 \times (3,73\text{ s} - 2\text{ s}) = 17,3\text{ m/s}. \end{aligned}$$

Ví dụ 2



Một viên bi A được thả rơi từ độ cao 30 m. Cùng lúc đó, một viên bi B được bắn theo phương thẳng đứng từ dưới đất lên với vận tốc ban đầu 25 m/s tới va chạm vào bi A. Chọn trục Oy thẳng đứng, gốc O ở mặt đất, chiều dương hướng lên, gốc thời gian lúc 2 viên bi bắt đầu chuyển động, $g = 10\text{ m/s}^2$.

- a. Lập phương trình chuyển động của mỗi viên bi.
- b. Tính thời điểm và tọa độ 2 viên bi gặp nhau.
- c. Vận tốc mỗi viên bi khi gặp nhau.

Hướng dẫn giải

- a. Phương trình chuyển động của viên bi A là

$$\begin{aligned} y_A &= y_{0A} + v_{0A}t + \frac{1}{2}gt^2 \\ &= 30 + 0 \times t - \frac{1}{2} \times 10 \times t^2 \\ &= 30 - 5t^2 \text{ (m, s)}. \end{aligned}$$

Phương trình chuyển động của viên bi B là

$$\begin{aligned} y_B &= y_{0B} + v_{0B}t + \frac{1}{2}gt^2 \\ &= 0 + 25t - \frac{1}{2} \times 10 \times t^2 \\ &= 25t - 5t^2 \text{ (m, s)}. \end{aligned}$$

- b. Hai viên bi gặp nhau khi chúng có cùng tọa độ

$$y_A = y_B \Rightarrow 30 - 5t^2 = 25t - 5t^2 \Rightarrow t = 1,2\text{ s}.$$

Khi đó hai viên bi đang ở tọa độ

$$y_A = y_B = 30 - 5t^2 = 22,8\text{ m}.$$

- c. Vận tốc của mỗi viên bi khi gặp nhau là:

$$\begin{cases} v_A = -gt = -12\text{ m/s} \\ v_B = v_0 - gt = 13\text{ m/s}. \end{cases}$$

Vận tốc của bi 1 âm cho thấy bi 1 đang chuyển động hướng xuống (ngược chiều dương), còn bi 2 có vận tốc dương cho tương ứng đang chuyển động hướng lên (cùng chiều dương).

Mục tiêu 5:

Xác định quãng đường vật đi được trong giây thứ n , hoặc trong n giây cuối

Phương pháp giải

Quãng đường rơi được trong n giây kể từ thời điểm được thả rơi:

$$s_n = \frac{1}{2} \cdot g \cdot n^2$$

Quãng đường rơi được trong giây thứ n là quãng đường vật đi được từ thời điểm $(n - 1)$ giây đến thời điểm n giây

$$\Delta s_n = s_n - s_{n-1} = \frac{1}{2} \cdot g \cdot n^2 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot (n - 1)^2$$

Ví dụ 1



Một vật rơi tự do không vận tốc đầu tại nơi có gia tốc trọng trường g . Trong giây thứ 3, quãng đường rơi được là 24,5 m và tốc độ của vật khi vừa chạm đất là 39,2 m/s. Tính gia tốc trọng trường g tại nơi thả vật và độ cao ban đầu của vật.

Hướng dẫn giải

Quãng đường vật rơi trong 3 giây:

$$s_1 = \frac{1}{2}gt_1^2 = 4,5g.$$

Quãng đường vật rơi trong 2 giây đầu:

$$s_2 = \frac{1}{2}gt_2^2 = 2g.$$

Quãng đường vật rơi trong giây thứ 3:

$$\Delta s = s_1 - s_2 \quad \Leftrightarrow \quad 24,5 = 4,5g - 2g \quad \Rightarrow \quad g = 9,8\text{ m/s}^2.$$

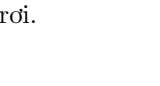
Thời gian vật rơi:

$$t = \frac{v}{g} = 4\text{ s}.$$

Độ cao lúc thả vật:

$$s = \frac{1}{2}gt^2 = 80\text{ m}.$$

Ví dụ 2



Một vật rơi tự do từ độ cao h . Biết rằng trong 2 s cuối cùng vật rơi được quãng đường bằng quãng đường đi trong 5 s đầu tiên, $g = 10\text{ m/s}^2$.

- a. Tìm độ cao lúc thả vật và thời gian vật rơi.
- b. Tìm vận tốc của vật lúc vừa chạm đất.

Hướng dẫn giải

- a. Chọn chiều dương hướng xuống, gốc tọa độ tại vị trí vật bắt đầu rơi, gốc thời gian lúc vật rơi.

Quãng đường vật rơi trong t giây:

$$s = \frac{1}{2}gt^2.$$

Quãng đường vật rơi trong $(t - 2)$ giây:

$$s_1 = \frac{1}{2}g(t - 2)^2.$$

Quãng đường vật rơi trong 5 giây đầu tiên:

$$s_5 = \frac{1}{2}gt_5^2.$$

Quãng đường vật rơi trong 2 giây cuối:

$$s_2 = s - s_1 = s_5 \quad \Leftrightarrow \quad \frac{1}{2}gt^2 - \frac{1}{2}g(t - 2)^2 = \frac{1}{2}gt_5^2 \quad \Rightarrow \quad t = 7,25\text{ s}.$$

Độ cao lúc thả vật:

$$s = \frac{1}{2}gt^2 = 262,81\text{ m}.$$

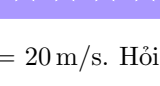
- b. Vận tốc lúc vừa chạm đất:

$$v = gt = 72,5\text{ m/s}.$$

Mục tiêu 6:

Khảo sát chuyển động của vật bị ném theo phương thẳng đứng

Ví dụ 1



Một vật được ném lên thẳng đứng từ mặt đất, bỏ qua lực cản của không khí. Tính độ cao cực đại mà vật đạt được biết vận tốc ban đầu của vật là 20 m/s, lấy $g = 10\text{ m/s}^2$.

Hướng dẫn giải

Chọn chiều dương hướng lên, chuyển động của vật là chuyển động thẳng chậm dần đều với vận tốc $a = -g = -10\text{ m/s}^2$ và vận tốc ban đầu $v_0 = 20\text{ m/s}$.

Độ cao cực đại bằng quãng đường mà vật đi được đến khi dừng lại ($v = 0$)

$$v^2 - v_0^2 = 2as \Rightarrow s = h_{\max} = 20\text{ m}.$$

Ví dụ 2



Một vật được ném lên theo phương thẳng đứng từ mặt đất. Sau 4 s vật lại rơi xuống mặt đất, cho $g = 10\text{ m/s}^2$. Tính

- a. Vận tốc ban đầu của vật.
- b. Độ cao tối đa mà vật lên tới
- c. Vận tốc của vật ở độ cao bằng $\frac{3}{4}$ độ cao tối đa.

Hướng dẫn giải

- a. Chọn chiều dương hướng lên ($a = -g$). Phương trình chuyển động của vật có dạng

$$y = v_0 - \frac{1}{2}gt^2.$$

Vật chạm đất khi $y = 0$, do đó

$$\begin{aligned} y &= v_0t - \frac{1}{2}gt^2 = 0 \\ \Rightarrow v_0 &= \frac{gt}{2} = \frac{10\text{ m/s}^2 \cdot 4\text{ s}}{2} = 20\text{ m/s}. \end{aligned}$$

- b. Khi vật lên đến độ cao tối đa, vận tốc của vật triệt tiêu $v = 0$. Độ cao của vật khi đó cũng chính là quãng đường vật đã đi được

$$v^2 - v_0^2 = -2gh \quad \Rightarrow \quad h = \frac{v^2 - v_0^2}{-2g} = \frac{(0\text{ m/s})^2 - (20\text{ m/s})^2}{-2 \cdot 10\text{ m/s}^2} = 20\text{ m}. \quad (1)$$

- c. Sử dụng công thức liên hệ $v_1^2 - v_0^2 = 2as = -2gh_1$, trong đó độ cao $h_1 = \frac{3}{4}h = 15\text{ m}$, ta suy ra vận tốc của vật khi đó

$$\begin{aligned} v_1^2 &= v_0^2 - 2gh_1 = (20\text{ m/s})^2 - 2 \cdot 10\text{ m/s}^2 \cdot 15\text{ m} = 100\text{ m}^2/\text{s}^2 \\ \Rightarrow v_1 &= \pm 10\text{ m/s}. \end{aligned}$$

Giá trị dương của vận tốc ứng với thời điểm vật đang