ISSN: 1859-2171 TNU Journal of Science and Technology 195(02): 103 - 109

ĐỀ XUẤT PHƯƠNG PHÁP TỔNG QUÁT KHẢO SÁT CHUYỂN ĐỘNG SONG PHẲNG CỦA VẬT RẮN CÓ DẠNG THANH

Dương Thị Hà*, Phạm Hữu Kiên, Nguyễn Hồng Lĩnh
Trường Đại học Sư phạm – ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Trong bài báo này, một phương pháp tổng quát để khảo sát chuyển động song phẳng của vật rắn có dạng thanh được đề xuất. Phương pháp tổng quát được thực hiện qua ba bước sau: đầu tiên, chúng tôi xác định tọa độ và suy ra vận tốc, gia tốc của thanh rắn; sau đó, chúng tôi xác định vận tốc góc, gia tốc góc; cuối cùng xác định các đại lượng vật lý theo các yêu cầu của từng bài toán. Giá trị của phương pháp đề xuất trong bài báo được thể hiện qua việc giải cụ thể một số bài toán chuyển động của vật rắn dạng thanh, đặc biệt là việc khảo sát chuyển động ngay sau thời điểm ban đầu. Bài báo sẽ là một tài liệu tốt cho giáo viên, sinh viên và học sinh khi nghiên cứu về các chuyển động song phẳng của vật rắn có dạng thanh.

Từ khóa: *Thanh, vận tốc góc, gia tốc góc, chuyển động song phẳng, vật rắn.*

Ngày nhận bài: 23/01/2019; Ngày hoàn thiện: 12/02/2019; Ngày duyệt đăng: 28/02/2019

GENERAL METHOD FOR INVESTIGATING PLANAR MOTION OF SOLID BARS

Duong Thi Ha*, Pham Huu Kien, Nguyen Hong Linh
TNU - University of Education

ABSTRACT

In this paper, we present general method to investigate the planar motion of solid bar. This method includes three steps. The first step is to determine the coordinates, deduce velocity and acceleration; the second is to calculate angular velocities and accelerations; the third is to find out the required physical quantities corresponding to each problem. This method is applied for studying the behavior of solid bars in the case of planar motion, especially the time after they start moving.

Keywords: *solid bar, angular velocity, angular acceleration, planar motion, solids.*

Received: 23/01/2019; Revised: 12/02/2019 ; Approved: 28/02/2019

* Corresponding author: *Tel: 0374.699.801; Email: duongha@dhsptn.edu.vn*

MỞ ĐẦU

Cơ học là một bộ phận của Vật lý học, nghiên cứu chuyển động, biến dạng của các vật và tương tác giữa chúng. Với những nghiên cứu đầu tiên từ thời Hy Lạp cổ đại, cơ học đã có rất nhiều các thành tựu quan trọng trong việc nghiên cứu, giải thích các hiện tượng tự nhiênvà là cơ sở cho sự phát triển các ngành khoa học kỹ thuật và công nghệ như chế tạo máy, xây dựng [1].

Trong cơ học, tùy thuộc vào đối tượng nghiên cứu mà có thể chia thành các phần khác nhau. Cơ học vật rắn là một phần của cơ học, nghiên cứu chuyển động của các vật có kích thước và hình dạng không đổi. Cơ học vật rắn, trong đó có chuyển động song phẳng của vật rắn, là một nội dung kiến thức tương đối khó trong chương trình vật lý phổ thông hiện nay được phân bổ trong chương trình Vật lý lớp 12 nâng cao, đồng thời cũng là nội dung kiến thức quan trọng trong chương trình Vật lý đại cương của bậc đại học, đặc biệt là các ngành Vật lý và kỹ thuật [1], [2].

Một vật rắn được gọi là chuyển động song phẳng nếu mỗi điểm thuộc vật rắn luôn di chuyển trong một mặt phẳng song song với một mặt phẳng cố định được chọn trước. Trong thực tế, có nhiều trường hợp vật rắn chuyển động song phẳng như bánh xe lăn trên một đường cong phẳng trong mặt phẳng chứa đường cong, cơ cấu tay quay thanh truyền, cơ cấu bốn khâu bản lề, ròng rọc động [2], [3]. Việc khảo sát chuyển động song phẳng của vật rắn là cơ sở quan trọng khi khảo sát chuyển động của các vật rắn có hình dạng dạng đặc biệt.

Mặc dù chuyển động song phẳng của vật rắn là một nội dung kiến thức khó và quan trọng, nhưng hiện nay hầu hết các tài liệu chỉ trình bày cơ sở lý thuyết mà chưa đưa ra phương pháp tổng quát để khảo sát các vật rắn chuyển động song phẳng [2-5]. Điều này có thể gây nhiều khó khăn cho người học khi học nội dung kiến thức này đặc biệt là việc vận dụng các kiến thức lý thuyết và tự đi tìm định hướng giải các bài tập vật lý và kỹ thuật có liên quan. Bên cạnh đó, trong bối cảnh dạy học định hướng phát triển năng lực đang trở thành xu hướng giáo dục quốc tế, bài tập vật lý nói chung là công cụ quan trọng giúp giáo viên dạy học tích cực, giúp học sinh phát triển năng lực vận dụng kiến thức vào thực tiễn, giải quyết các vấn đề trong cuộc sống [6], [7]. Vì vậy, việc lựa chọn được các bài tập phù hợp và đưa ra được phương pháp giải tổng quát cho bài bài tập vật lý nói chung và việc đưa ra phương pháp tổng quát giải các bài tập về chuyển động song phẳng của vật rắn nói riêng là ciệc làm có ý nghĩa thực tiễn.

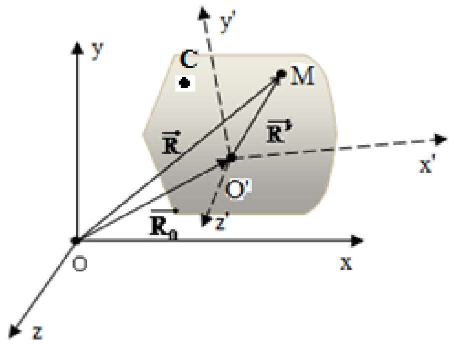
Mục đích chính của bài báo này là đề xuất một phương pháp tổng quát khảo sát chuyển động song phẳng của vật rắn có dạng thanh qua một số bài toán cụ thể. Chúng tôi hy vọng bài báo sẽ là một tài liệu tham khảo tốt cho giáo viên, sinh viên, học sinh khi nghiên cứu chuyển động song phẳng nói riêng và chuyển động của vật rắn nói chung.

PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN

Xét một điểm M trên vật rắn chuyển động song phẳng. Chọn hệ Oxyz là hệ cố định, hệ O'x'y'z' có O' là gốc (cực) hệ di động gắn chặt với vật rắn, vị trí của điểm M trên vật rắn được xác định bởi véc tơ bán kính $\vec{R}$ (hình 1):

$$\vec{R} = \overrightarrow{OO'} + \overrightarrow{O'M} = \vec{R}_{O'} + \vec{R}', \qquad (1)$$

trong đó: $|\vec{R}'|$=hằng số.



Hình 1. *Điểm M trên vật rắn chuyển động song phẳng*

Vận tốc của điểm M trên vật rắn [2-5]:

$$\vec{V}_M=\frac{d\vec{R}}{dt}=\vec{V}_{O'}+\left[\vec{\omega},\vec{R'}\right], \qquad (2)$$

với $\overline{V_{O'}}$ là vận tốc của gốc hệ di động O', $\vec{\omega}$ là véc tơ vận tốc góc của vật rắn chuyển động song phẳng có được do $\vec{R}$ thay đổi về phương chiều; $\vec{\omega}$ không phụ thuộc vào việc chọn gốc (cực) O'. Do đó, hình chiếu của vận tốc của tất cả các điểm thuộc O'M lên OM đều bằng nhau.

Gia tốc của điểm M trên vật rắn [2-5]:

$$\vec{a}_M=\vec{a}_{O'}+\vec{a}_{qO'}+\vec{a}_{htO'}, \qquad (3)$$

trong đó $\vec{a}_{qO'}=[\vec{\gamma},\vec{R'}]$, với $\vec{\gamma}=\frac{d\vec{\omega}}{dt}$ là gia tốc góc của vật rắn, không phụ thuộc vào việc chọn gốc O', là gia tốc quay ; $\vec{a}_{htO'}=\left[\vec{\omega},[\vec{\omega},\vec{R'}]\right]$ là gia tốc hướng trục.

Tâm vận tốc tức thời của chuyển động song phẳng của vật rắn [2-5]**:**

Trên vật rắn chuyển động song phẳng, luôn tìm được một điểm C để $V_C = 0$, C gọi là tâm vận tốc tức thời (hình 1). Khi đó:

(i) $\vec{V}_M=[\vec{\omega},\overrightarrow{CM}]$, (4)

(ii) Coi chuyển động song phẳng là chuyển động quay xung quanh một trục quay tức thời đi qua tâm vận tốc tức thời C, gia tốc $\vec{a}_M=\vec{a}_{qO'}+\vec{a}_{htO'}$ trong đó $\vec{a}_{qO'}$ vuông góc với $\vec{a}_{htO'}$.

Phương trình động lực học vật rắn [2-5]**:**

$$\overrightarrow{R^e}=\frac{d\vec{P}}{dt};\ \overrightarrow{M_O^e}=\frac{d\overrightarrow{L_O}}{dt}, \qquad (5)$$

với $\overrightarrow{R^e}$, $\overrightarrow{M_O^e}$ lần lượt là tổng ngoại lực và tổng mô men ngoại lực đối với điểm O của vật rắn. Khi O trùng với khối tâm C thì:

$$\overrightarrow{R^e}=m\vec{a}_C;\ \overrightarrow{M_O^e}=I_C\vec{\gamma}. \qquad (6)$$

Năng lượng của vật rắn khi chuyển động song phẳng [2-5]**:** Khi chuyển động năng lượng của vật rắn gồm động năng T và thế năng U,

$$E=T+U;T=\frac{1}{2}mv_C^2+\frac{1}{2}I_C\omega^2, \qquad (7)$$

phụ thuộc vào hệ qui chiếu.

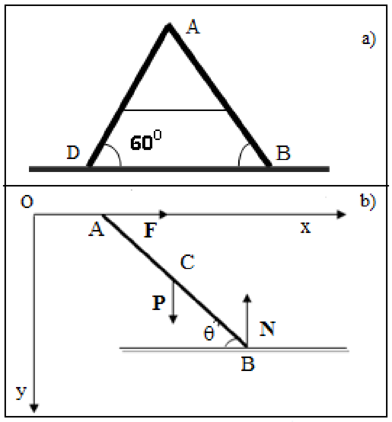
KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Áp dụng cho vật rắn có dạng thanh khi chuyển động song phẳng, chúng tôi đề xuất phương pháp tổng quát gồm các bước sau: (1) xác định tọa độ, suy ra vận tốc và gia tốc; (2) xác định vận tốc góc và gia tốc góc; bước (3) xác định các đại lượng theo các yêu cầu của từng bài toán. Để thấy được giá trị của phương pháp tổng quát khảo sát chuyển động song phẳng của vật rắn có dạng thanh, chúng tôi tiến hành giải cụ thể một số bài toán như được trình bày ở dưới đây:

Bài toán 1: Một chiếc thang xếp gồm hai chân được gắn với nhau bởi một khớp nối ở đỉnh và một sợi dây nằm ngang ở gần đáy được đặt trên một bề mặt nằm ngang, chân thang tạo với bề mặt một góc bằng 60^0 như hình 2a. Biết rằng các chân là đồng đều, giống hệt nhau và bỏ qua mọi ma sát. Sợi dây đột nhiên bị cắt, hãy tính ngay sau khi dây bị cắt:

1) Gia tốc của khớp nối, gia tốc góc quanh khối tâm của thanh.

2) Áp lực tại chân thang.



Hình 2. *a) thang xếp, b) các lực tác dụng lên một chân thang*

Hướng dẫn: Do tính chất đối xứng các lực của hai chân thanh tác dụng lên nhau tại khớp nối A là nằm theo phương ngang và gia tốc a_A của điểm A hướng thẳng đứng xuống dưới, nên $a_{Ax}=0$.

Xét một chân của thang xếp. Các lực tác dụng lên nó được mô tả như hình 2b. Gọi L là chiều dài của chân thang và $a_C$là gia tốc của khối tâm C tại thời điểm tức thời dây bị cắt. Ta có:

$$\begin{cases} mg-N=ma_{Cy} \\ F=ma_{Cx} \\ \frac{1}{2}NL\cos 60^0-\frac{1}{2}FL\sin 60^0=I\ddot{\theta} \end{cases}$$

Suy ra:

$$\begin{cases} mg-N=ma_{Cy} \\ F=ma_{Cx} \\ N-\sqrt{3}FL=\frac{1}{3}mL\ddot{\theta} \end{cases}$$

Tọa độ của điểm A theo tọa độ của điểm C

$$\begin{cases} x_A=x_C-\frac{1}{2}L\cos\theta \\ y_A=y_C+\frac{1}{2}L\cos\theta \end{cases},$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \ddot{x}_A=\ddot{x}_C+\frac{1}{2}L(\ddot{\theta}\sin\theta+\dot{\theta}^2\cos\theta) \\ \ddot{y}_A=\ddot{y}_C+\frac{1}{2}L(\ddot{\theta}\cos\theta-\dot{\theta}^2\sin\theta) \end{cases}. \quad (1.2)$$

Tại thời điểm ngay sau khi cắt dây $\theta=60^0; \dot{\theta}=\omega=0$, vì vậy ta có:

$$\begin{cases} 0=a_{Cx}+\frac{\sqrt{3}}{4}L\ddot{\theta} \\ a_A=a_{Cy}+\frac{1}{4}L\ddot{\theta} \end{cases} (1.3)$$

Xét điểm B: Ở thời điểm ngay khi sợi dây bị cắt, nó chỉ có thành phần gia tốc theo phương ngang, nên a_{By} = 0. Ta có:

$$\Rightarrow \begin{cases} \ddot{x}_B=\ddot{x}_C-\frac{1}{2}L\left(\ddot{\theta}\sin\theta+\dot{\theta}^2\cos\theta\right) \\ \ddot{y}_B=\ddot{y}_C+\frac{1}{2}L\left(\ddot{\theta}\cos\theta-\dot{\theta}^2\sin\theta\right) \end{cases} \quad (1.4)$$

$$\Rightarrow a_{By}=a_{Cy}-\frac{1}{4}L\ddot{\theta}=0 \quad (1.5)$$

Vậy tìm được:

$$a_{Cy}=\frac{1}{4}L\ddot{\theta}; a_{Cx}=\frac{\sqrt{3}}{4}L\ddot{\theta} \quad (1.6)$$

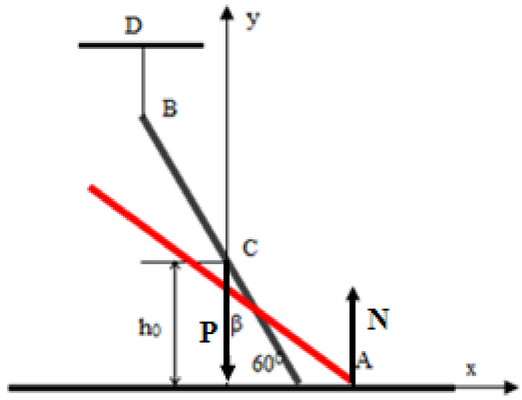
Từ (1.1), (1.3), (1.5) và (1.6), ta tìm được:

$$\ddot{\theta}=\frac{3g}{4L}; a_A=\frac{3}{8}g.$$

Bài toán 2: Thanh đồng chất AB dài 2L, trọng lượng P. Đầu A tựa trên sàn nằm ngang nhẵn và lập với sàn góc 60^0, đầu B được treo bằng sợi dây BD thẳng đứng không dãn, không trọng lượng (hình 3). Tại một thời điểm nào đó dây bị đốt đứt và thanh bắt đầu chuyển động.

1) Xác định áp lực của thanh lên sàn ở thời điểm thanh bắt đầu chuyển động.

2) Tính vận tốc khối tâm C của thanh phụ thuộc độ cao h so với sàn.



Hình 3. *Thanh AB trước và sau khi dây đứt*

Hướng dẫn:

1) Áp lực của thanh lên sàn

Chọn hệ trục tọa độ có trục thẳng đứng đi qua khối tâm C. Các lực tác dụng lên thanh AB gồm trọng lực $\vec{P}$ và phản lực $\vec{N}$ (hình 3). Phương trình động lực học cho vật với trục quay đi qua khối tâm C:

$$ma_y=N-P \quad (2.1)$$

$$NL\sin\beta=I\gamma=\frac{1}{3}mL^2 \quad (2.2)$$

Khối tâm C chuyển động dọc theo trục 0y, tọa độ khối tâm C tại thời điểm bất kì

$$y_C=L\cos\beta \Rightarrow v_C=-L\beta'\sin\beta$$

$$\Rightarrow a_C=a_y=-L\beta''\sin\beta-L\beta'^2\cos\beta \quad (2.3)$$

Ở thời điểm ban đầu: t = 0; β = 30^0; β'=0.

Suy ra: N(0)=4/7P.

2) Vận tốc của khối tâm C theo h:

Dùng định lý động năng:

$$W_d=\frac{1}{2}mv_C^2+\frac{1}{2}I.\omega_C^2; \omega_C=\frac{v_C}{L\sin\beta} \quad (2.4)$$

Suy ra: $W_d = \frac{1}{2}m\left(1+\frac{1}{3\sin^2\beta}\right)v_C^2$ (2.5)

Ở thời điểm đầu: $W_d(0)= 0$.

Trọng lực thực hiện công

$$A = P\left(h_0 - h\right) \quad (2.6)$$

Áp dụng định lý biến thiên động năng, ta có:

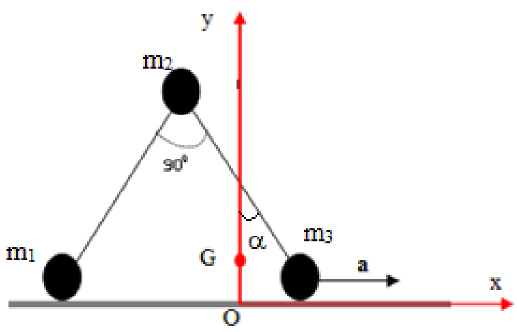
$$\frac{1}{2}m\left(1+\frac{1}{3\sin^2\beta}\right)v_C^2 = P\left(h_0 - h\right) \quad (2.7)$$

Và $\sin^2\beta = \frac{L^2 - h^2}{L^2}$

Tính toán được:

$$v_C = \sqrt{\frac{6g\left(h_0 - h\right)\left(L^2 - h^2\right)}{4L^2 - 3h^2}} \quad (2.8)$$

Bài toán 3: Các quả cầu m_1 và m_2, m_2 và m_3 được nối với nhau bởi các thanh cứng nhẹ cùng chiều dài L và được bố trí như hình 4. Khối lượng của các quả cầu m_1 và m_2 là m, khối lượng của quả cầu m_3 là 4m. Góc giữa hai thanh có thể thay đổi tự do. Ban đầu giữ hệ nằm trong mặt phẳng thẳng đứng và góc giữa hai thanh bằng 90^0. Xác định gia tốc của quả cầu 4m ngay sau khi thả hệ.



Hình 4. *Hệ vật rắn của bài toán 3*

Hướng dẫn: Theo phương ngang ngoại lực bằng không nên khối tâm của hệ không thay đổi theo phương ngang. Chọn hệ tọa độ có trục Oy đi qua khối tâm của hệ, chiều dương trục nằm ngang Ox ứng với chuyển động của các vật. Gọi α là góc hợp bởi thanh nối quả cầu với trục Oy (hình 4). Tọa độ của các vật là:

$$x_1=\frac{3}{2}L\sin\alpha,\ x_2=\frac{1}{2}L\sin\alpha,\ x_3=\frac{1}{2}L\sin\alpha$$

$$y_2=L\cos\alpha. \quad (3.1)$$

Suy ra:

$$\ddot{x}_1=\frac{3}{2}L(\ddot{\alpha}\cos\alpha-\dot{\alpha}^2\sin\alpha),$$

$$\ddot{x}_2=\frac{1}{2}L(\ddot{\alpha}\cos\alpha-\dot{\alpha}^2\sin\alpha),$$

$$\ddot{x}_3=\frac{1}{2}L(\ddot{\alpha}\cos\alpha-\dot{\alpha}^2\sin\alpha). \quad (3.2)$$

$$\ddot{y}_2=-L(\ddot{\alpha}\sin\alpha+\dot{\alpha}^2\cos\alpha).$$

Áp dụng định lý động năng

$A=\Delta E$,

Với $A=mgL(\cos\alpha_0-\cos\alpha)$,

$$\Delta E=\frac{1}{2}m(\dot{x}_1^2+\dot{x}_2^2+4\dot{x}_3^2+\dot{y}_2^2). \quad (3.3)$$

Suy ra:

$$\dot{\alpha}^2=\frac{2g(\cos\alpha_0-\cos\alpha)}{L(\frac{5}{2}\cos^2\alpha+1)}$$

$$\ddot{\alpha}(0)=\frac{g\sin\alpha_0}{L(\frac{5}{2}\cos^2\alpha_0+1)}$$

$$\ddot{x}_3(0)=\frac{g\sin\alpha_0\cos\alpha_0}{5\cos^2\alpha_0+2}=\frac{g}{9}$$

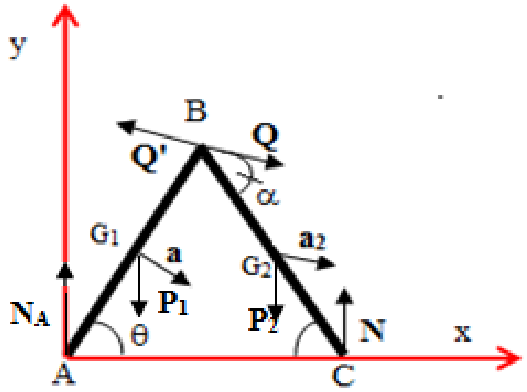
Bài toán 4: Hai thanh đồng chất giống nhau, mỗi thanh có khối lượng M, chiều dài L được nối khớp với nhau và tạo thành hình chữ V lộn ngược như hình 5. Đầu dưới của thanh bên trái được gắn với sàn qua một bản lề, đầu bên phải có thể trượt không ma sát trên sàn. Ban đầu giữ hệ sao cho $\theta = 45^0$. Thả nhẹ hệ, bỏ qua mọi ma sát.

1) Tính phản lực của sàn lên thanh bên phải ngay sau khi thả.

2) Tính tốc độ góc của mỗi thanh khi chúng lập với sàn góc θ ($0 < \theta < 45^0$).

Hướng dẫn: Chọn hệ tọa độ Oxy như hình vẽ 5. Tọa độ của trọng tâm G_1 và G_2 của hai thanh lần lượt là:

$$\begin{cases} x_1=\frac{1}{2}L\cos\theta \\ y_1=\frac{1}{2}L\sin\theta \end{cases},\quad \begin{cases} x_2=\frac{3}{2}L\cos\theta \\ y_2=\frac{1}{2}L\sin\theta \end{cases}$$



Hình 5. *Hình vẽ minh họa bài toán 4*

Gọi a là gia tốc của G_1 (có thành phần nằm ngang $a_x=\ddot{x}_1$ và thành phần thẳng đứng $a_y=\ddot{y}_1$). Tại thời điểm ngay sau khi thả, G_2 có gia tốc a_2, với $a_{2x}=\ddot{x}_2=3\ddot{x}_1=3a_x$ và $a_{2y}=\ddot{y}_2=\ddot{y}_1=a_y$. Độ lớn gia tốc góc của hai thanh bằng nhau.

Các lực tác dụng lên các thanh được biểu diễn trên hình 5. Phương trình chuyển động quay của thanh 1 quanh A:

$$mg\frac{L}{2}\cos 45^0 - QL\cos\alpha = \frac{mL^2}{3}\gamma. \quad (4.1)$$

Phương trình chuyển động quay của thanh 2 quanh G_2

$$N\frac{L}{2}\cos 45^0 - Q\frac{L}{2}\sin\alpha = \frac{mL^2}{12}\gamma. \quad (4.2)$$

Phương trình định luật II Newton cho chuyển động của khối tâm của thanh 2 theo phương ngang và phương thẳng đứng là:

$$Q\cos\alpha = m3a_x \quad (4.3)$$

$$mg + Q\sin\alpha - N = ma_y \quad (4.4)$$

$$a_x = a_y = a\cos 45^0 = a\frac{\sqrt{2}}{2}; a = \frac{\gamma L}{2}. \quad (4.5)$$

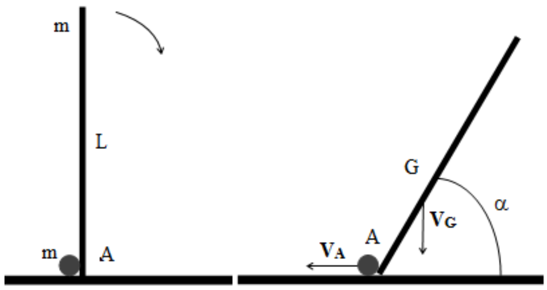
Từ (4.1) đến (4.5) suy ra:

$$N = \frac{7mg}{10}.$$

2) Sử dụng định luật bảo toàn cơ năng cho hệ ta sẽ tìm được:

$$\omega_1 = \omega_2 = \sqrt{\frac{3g}{L}\frac{\left(\frac{1}{\sqrt{2}} - \sin\theta\right)}{\left(1 + 3\sin^2\theta\right)}}$$

Bài toán 5: Một thanh mảnh đồng chất có chiều dài L = 2m và khối lượng m được dựng thẳng đứng trên mặt phẳng nhẵn nằm ngang. Sát đầu dưới của thanh có một vật nhỏ cùng khối lượng m (hình 6). Thanh bắt đầu đổ xuống theo chiều như hình vẽ. Tìm vận tốc lớn nhất của vật nhỏ.



Hình 6. *Hệ vật rắn của bài toán 5*

Hướng dẫn: Trong quá trình đổ xuống, khi còn chưa tách khỏi thanh thì vận tốc của vật nhỏ bằng vận tốc của đầu A. Khi vận tốc của vật đạt giá trị lớn nhất thì vật tách khỏi A.

Kí hiệu G là khối tâm của hệ AG = L/4. Do không có ngoại lực tác dụng lên hệ theo phương ngang nên G chỉ chuyển động theo phương thẳng đứng.

Xét hệ khi thanh lập với phương ngang góc α. Tọa độ khối tâm theo phương thẳng đứng là:

$$y_G = \frac{L}{4}\sin\alpha$$
$$\Rightarrow v_G = -\dot{y}_G = -\frac{L}{4}\dot{\alpha}\cos\alpha = -\frac{L}{4}\omega\cos\alpha \quad (5.1)$$

Áp dụng định luật bảo toàn cơ năng:

$$2mg\frac{L}{4}(1-\sin\alpha) = \frac{2mv_G^2}{2} + \frac{I_G}{2}\omega^2. \quad (5.2)$$

Tính mô men quán tính của hệ đối với G, ta tìm được:

$$v_G = \sqrt{\frac{3gL}{2}\frac{(1-\sin\alpha)\cos^2\alpha}{3\cos^2\alpha + 5}}. \quad (5.3)$$

Dọc theo phương GA, ta có:

$v_G \sin\alpha = v_A \cos\alpha$.(5.4)

Từ đó tìm được:

$$v_A = \sqrt{\frac{3gL}{2}\frac{(1-\sin\alpha)\sin^2\alpha}{8-3\sin^2\alpha}}. \qquad (5.5)$$

Bằng cách tính đạo hàm, tìm cực trị, tìm được vận tốc cực đại tại A là:

$v_A = 0{,}82 m/s; \alpha = 45{,}4^0$.

KẾT LUẬN

Chuyển động song phẳng của vật rắn dạng thanh có thể được khảo sát bằng phương pháp tổng quát với ba bước: xác định tọa độ, suy ra vận tốc và gia tốc; xác định vận tốc góc, gia tốc góc; cuối cùng xác định các đại lượng theo các yêu cầu của từng bài toán.

Sử dụng phương pháp này chúng ta có thể giải được các bài toán về chuyển động song phẳng của vật rắn dạng thanh, là cơ sở để học sinh, sinh viên các ngành vật lý và kỹ thuật khi nghiên cứu về chuyển động song phẳng của vật rắn cũng như khảo sát chuyển động của các chi tiết máy có chuyển động song phẳng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Đào Văn Phúc, Phạm Viết Trinh (1990), *Cơ học*, Nxb Giáo dục Việt Nam.
2. Đỗ Sanh, Nguyễn Văn Vượng (2009), C*ơ học ứng dụng*, Nxb Giáo dục Việt Nam.
3. Vũ Thanh Khiết (2005), Bồi dưỡng học sinh giỏi Vật lý Trung học phổ thông, *Bài tập cơ nhiệt*, Nxb Giáo dục Việt Nam.
4. Beatty M. F. (1986), Kinematics of Rigid Body Motion, In: Principles of Engineering Mechanics. *Mathematical Concepts and Methods in Science and Engineering*, vol 32. Springer, Boston, MA.
5. Jens Wittenburg, Rigid Body Kinematics (2007), In: Dynamics of Multibody Systems. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 9-36.
6. Nguyễn Lăng Bình, Đỗ Hương Trà, Nguyễn Phương Hồng (2010), Cao Thị Thặng, *Dạy và học tích cực – Một số phương pháp và kỹ thuật dạy học*, Nxb Đại học Sư phạm.
7. Lê Thị Thu Hiền, Lê Hoàng Phước Hiền (2017), “Xây dựng và sử dụng bài tập gắn với thực tiễn trong dạy học vật lý nhằm phát triển năng lực vận dụng kiến thức của học sinh trung học phổ thông”, *Tạp chí Giáo dục*, số 405, pp.53-56.