

CHƯƠNG 2

ĐỘNG LỰC HỌC CHẤT ĐIỂM

Động lực học nghiên cứu quan hệ giữa sự biến đổi trạng thái chuyển động của các vật với tương tác giữa các vật đó. Tương tác này được gọi là lực. Cơ sở của động lực học gồm ba Định luật Newton và Nguyên lý tương đối Galiléo.

2.1 - CÁC ĐỊNH LUẬT NEWTON

2.1.1. Định luật Newton thứ nhất

a- Phát biểu: Một vật cô lập (không chịu tác dụng của bên ngoài) nếu đang đứng yên thì sẽ đứng yên mãi, nếu đang chuyển động thì đó là chuyển động thẳng và đều.

Trạng thái đứng yên hay chuyển động thẳng đều đều có $v = \text{const}$, có nghĩa là trạng thái chuyển động của vật không thay đổi, hay: vật bảo toàn vận tốc. Tính chất bảo toàn trạng thái chuyển động gọi là quán tính. Do đó, định luật Newton thứ nhất còn gọi là định luật quán tính.

b- Hệ qui chiếu quán tính: Người ta quy ước, hệ quy chiếu trong đó định luật Newton thứ nhất được nghiệm đúng gọi là hệ quy chiếu quán tính.

Trái đất có thể coi gần đúng là hệ quy chiếu quán tính khi bỏ qua ảnh hưởng do chuyển động quay của Trái đất quanh Mặt trời và quay quanh trục riêng của nó.

Tất cả các hệ qui chiếu đứng yên hay chuyển động thẳng đều so với một hệ qui chiếu quán tính nào đó, đều được coi là hệ qui chiếu quán tính.

Trong thực tế không tồn tại vật cô lập. Các vật đứng yên hay chuyển động thẳng đều đều có lực tác dụng lên chúng từ những vật khác, nhưng hợp lực của các lực đó bằng không.

Có thể vận dụng định luật quán tính để giải thích nhiều hiện tượng thực tế.

2.1.2. Định luật Newton thứ hai

a. Lực và tương tác

Lực là đại lượng đặc trưng cho tương tác giữa hai vật hoặc giữa vật và môi trường, là nguyên nhân làm thay đổi trạng thái chuyển động của vật (tức là làm vật có gia tốc) hoặc làm vật biến dạng.

Lực là đại lượng véc tơ, ký hiệu lực là \vec{F} ; đơn vị lực là Niuton (N)

Nguyên lý chồng chất lực: Tác dụng của nhiều lực lên một điểm trên vật giống như tác dụng của một lực bằng tổng các véc tơ lực tác dụng (còn gọi là hợp lực).

Thực nghiệm chứng tỏ rằng, trong một hệ qui chiếu quán tính, gia tốc \vec{a} luôn tỷ lệ thuận với lực tác dụng: $\vec{a} \sim \vec{F}$

b. Khối lượng và lực

Khối lượng là thước đo định lượng quán tính của vật

Thực nghiệm thấy: các vật khác nhau cùng chịu một lực tác dụng \vec{F} lại nhận được gia tốc khác nhau. Vật nào có khối lượng càng lớn thì thu được gia tốc càng nhỏ, tức là trạng thái chuyển động của vật thay đổi càng ít và quán tính của vật càng lớn. Như vậy, quán tính của vật được đặc trưng bởi khối lượng của nó.

Trong cơ học cổ điển của Newton, khối lượng có tính chất cộng được: khối lượng của một hệ gồm nhiều phần bằng tổng khối lượng các phần riêng rẽ và là đại lượng không đổi theo thời gian

Đơn vị của khối lượng trong hệ SI là kilôgam (kg)

Từ đơn vị của khối lượng trong hệ SI, ta định nghĩa đơn vị niutơn:

Một niutơn là độ lớn của hợp lực tác dụng lên vật có khối lượng một kilôgam cho gia tốc một mét trên giây bình phương.

c- Định luật Newton thứ hai

Định luật Newton thứ hai nghiên cứu sự thay đổi trạng thái chuyển động của vật không cô lập, tức là vật chịu tác dụng của hợp lực khác không.

Phát biểu : *Trong hệ quy chiếu quán tính, véc tơ gia tốc \vec{a} của chất điểm tỷ lệ và cùng hướng với lực tác dụng lên chất điểm và tỷ lệ nghịch với khối lượng của chất điểm đó.*

Trong hệ SI, biểu thức của định luật Newton thứ hai có dạng:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (2-1)$$

Trường hợp chất điểm chịu tác dụng đồng thời của nhiều lực $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_n$, biểu thức của định luật Newton thứ hai được viết thành:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{F}_i}{m} \quad (2-2)$$

trong đó \vec{F} gọi là lực tổng hợp xác định bởi nguyên lý tổng hợp các lực:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

d. Các hệ quả của định luật Newton thứ hai

+ Từ phương trình (2-2) ta có: $m \cdot \vec{a} = \vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$ (2-3)

Biểu thức (2-3) gọi là phương trình cơ bản của động lực học chất điểm. Nó cho phép xác định các đặc trưng của chuyển động (gia tốc, vận tốc, đường đi) nếu biết tính chất của các lực tác dụng lên chất điểm.

+ Nếu lực tổng hợp tác dụng lên vật bằng không $\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0$ thì $\vec{a} = 0$. Khi đó, vật không cô lập sẽ đứng yên (nằm cân bằng) hay chuyển động thẳng đều.

+ Trọng lực là lực hấp dẫn của Trái đất tác dụng lên vật.

Từ định luật Newton thứ hai ta có thể viết được biểu thức trọng lực khi chất điểm đặt trong trọng trường của Trái đất:

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g} \quad (\vec{g} \text{ là gia tốc trọng trường hay gia tốc rơi tự do}) \quad (2-4)$$

Độ lớn của trọng lực được gọi là trọng lượng: $P = m \cdot g$

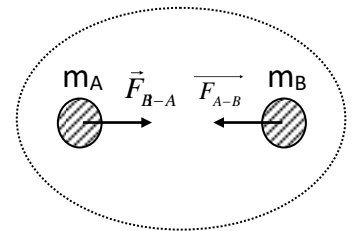
2.1.3. Định luật Newton thứ ba

Định luật Newton thứ ba nghiên cứu sự tương tác giữa hai vật A và B

a. Phát biểu:

Khi vật A tác dụng lên vật B một lực $\vec{F}_{A \rightarrow B}$ thì vật B cũng tác dụng lên vật A một lực $\vec{F}_{B \rightarrow A}$ cùng phương, ngược chiều và cùng độ lớn với $\vec{F}_{A \rightarrow B}$.

$$\vec{F}_{B \rightarrow A} = -\vec{F}_{A \rightarrow B} \quad (2-5)$$



Hình 2-1

Trong hai lực trên, nếu một lực là lực tác dụng thì lực kia là phản lực. Lực tác dụng và phản lực là hai lực trực đối, tức là chúng có “cùng độ lớn nhưng ngược hướng”.

Cần nhấn mạnh rằng hai lực được miêu tả trong định luật Newton thứ ba tác dụng lên hai vật khác nhau. Ví dụ khi đá một quả bóng thì hợp lực tác dụng lên quả bóng là tổng véc tơ của trọng lực quả bóng và lực $\vec{F}_{A \rightarrow B}$ mà chân người tác dụng lên quả bóng. Bạn không được tính đến lực $\vec{F}_{B \rightarrow A}$ bởi vì nó tác dụng lên người đá chứ không phải quả bóng.

Trong ví dụ trên, lực tác dụng và phản lực là những lực tiếp xúc, chúng chỉ xuất hiện khi hai vật tiếp xúc nhau. Nhưng định luật Newton thứ ba cũng áp dụng cho những lực tác dụng xa, chẳng hạn lực hút hấp dẫn. Khi bạn làm rơi một quả bóng bàn, quả bóng và trái đất đều tăng tốc về phía nhau. Hợp lực tác dụng lên mỗi vật bằng nhau về độ lớn, nhưng gia tốc của trái đất là rất nhỏ vì khối lượng của nó là quá lớn.

b. Hệ quả của định luật Newton thứ ba :

Khi một hệ vật gồm hai chất điểm A và B tương tác với nhau, thì các lực tương tác giữa A và B khi đó gọi là các *nội lực tương tác* trong hệ vật, ký hiệu bằng \vec{f}_{12} và \vec{f}_{21} . Trong trường hợp này hai lực \vec{f}_{12} và \vec{f}_{21} đối nhau và đặt lên cùng một hệ vật nên chúng triệt tiêu lẫn nhau. Vì vậy, áp dụng định luật Newton thứ ba đối với cả hệ vật gồm hai chất điểm A và B, ta có thể viết:

$$\vec{f}_{12} + \vec{f}_{21} = 0$$

Trường hợp hệ vật gồm n chất điểm và các nội lực tương tác trong hệ vật tác dụng lên mỗi chất điểm là $\vec{f}_1, \vec{f}_2, \dots, \vec{f}_n$ mà $\vec{f}_i = \sum_{k=1}^n \vec{f}_{ik}$ ta cũng có thể viết:

$$\vec{f}_1 + \vec{f}_2 + \dots + \vec{f}_n = \sum_{i=1}^n \vec{f}_i = 0 \quad (2-6)$$

Như vậy: *Tổng các nội lực tương tác trong một hệ vật triệt tiêu.*

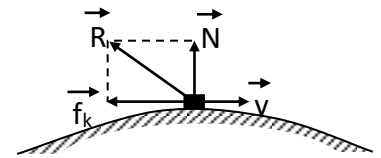
2.2 - CÁC LỰC LIÊN KẾT

Giữa vật chuyển động và vật liên kết với nó (mặt giá đỡ, dây nối...) luôn có các lực tương tác gọi là lực liên kết. Dưới đây ta xét một số loại lực liên kết.

2.2.1. Lực ma sát

a. Ma sát động và ma sát tĩnh

Khi một vật trượt trên bề mặt của một vật khác thì nó tác dụng lên bề mặt một lực. Theo định luật Newton thứ 3, bề mặt lại tác dụng lên vật một phản lực \vec{R} .



Hình 2-2

\vec{R} được phân tích thành hai thành phần: $\vec{R} = \vec{N} + \vec{f}_k$

Thành phần \vec{N} có phương vuông góc với bề mặt gọi là *lực pháp tuyến*, nó luôn trực đối với áp lực \vec{N}' (tức là lực nén vuông góc với mặt tiếp xúc)

Thành phần \vec{f}_k tác dụng khi vật trượt trên bề mặt được gọi là lực ma sát động (*lực ma sát trượt*). Tính từ “động” muốn nói rằng hai bề mặt đang chuyển động tương đối với nhau. Lực ma sát động có phương tiếp tuyến với mặt giá đỡ tại điểm tiếp xúc, hướng của lực ma sát luôn chống lại sự chuyển động tương đối giữa hai bề mặt.

Độ lớn của lực ma sát động thường tăng khi lực pháp tuyến tăng. Điều này được sử dụng trong hệ thống phanh tự động: các má phanh càng được siết mạnh bao nhiêu để chống lại sự quay của đĩa phanh thì tác động hãm xe lại càng lớn.

Nếu vận tốc của vật không quá lớn thì lực ma sát trượt có độ lớn tỉ lệ với lực pháp tuyến:

$$f_k = \mu_k \cdot N \quad (2-7)$$

μ_k là **hệ số ma sát động**, trị số của μ_k luôn nhỏ hơn đơn vị ($\mu_k < 1$), μ_k phụ thuộc vào bản chất và tính chất của hai bề mặt tiếp xúc.

Các lực ma sát cũng có thể tác dụng khi không có chuyển động tương đối. Nếu bạn cố đẩy một cái thùng chứa sách trên sàn nhà theo phương song song với sàn nhà thì cái thùng có thể không chuyển động, bởi vì sàn nhà đã tác dụng lên thùng một lực ma sát bằng và ngược hướng với lực tác dụng. Lực này được gọi là **lực ma sát tĩnh** \vec{f}_s . Khi ta tăng lực kéo thì lực ma sát tĩnh cũng tăng (bằng với độ lớn lực kéo). Đến một thời điểm nào đó, lực kéo lớn hơn giá trị cực đại của lực ma sát tĩnh mà bề mặt có thể tác dụng, khi đó vật bắt đầu trượt. Với một cặp bề mặt xác định, giá trị lớn nhất của \vec{f}_s phụ thuộc vào lực pháp tuyến. Thực nghiệm thấy, trong nhiều trường hợp giá trị lớn nhất của \vec{f}_s tỷ lệ với N.

$$\text{Biểu thức độ lớn của lực ma sát tĩnh: } f_s \leq \mu_s \cdot N \quad (2-8)$$

μ_s gọi là **hệ số ma sát tĩnh**

Bảng 2.1 Các hệ số ma sát

Vật liệu	Hệ số ma sát tĩnh μ_s	Hệ số ma sát động μ_k
Thép – Thép	0,74	0,57
Nhôm – Thép	0,61	0,47
Đồng - Thép	0,53	0,36
Cao su – Bê tông (khô)	1,00	0,80
Cao su – Bê tông (ướt)	0,30	0,25

b. Lực ma sát lăn

Đó là lực ma sát xuất hiện ở mặt tiếp xúc giữa một vật lăn trên mặt một vật khác.

Độ lớn của lực ma sát lăn cũng tỷ lệ với độ lớn của phản lực pháp tuyến N và tính theo công thức:

$$F_r = \mu_r \cdot N \quad (2-9)$$

μ_r là hệ số ma sát lăn, μ_r được định nghĩa là tỉ số giữa lực theo phương ngang cần thiết để vật chuyển động với tốc độ không đổi trên một bề mặt phẳng và lực pháp tuyến hướng lên do bề mặt tác dụng lên vật. Các kỹ sư cầu đường còn gọi μ_r là *sự cản trở kéo*.

Thực nghiệm chứng tỏ, hệ số ma sát lăn nhỏ hơn hệ số ma sát trượt. Giá trị của μ_r khoảng 0,002 đến 0,003 đối với bánh xe thép trên các đường ray bằng thép, và 0,01 đến 0,02 đối với lốp xe cao su trên nền bê tông. Vì vậy, trong kỹ thuật người ta sử dụng các ổ bi chuyển ma sát trượt thành ma sát lăn của các viên bi hay thanh trụ trong các ổ bi, và ta

cũng thấy một lý do tại sao đường sắt nói chung có hiệu suất nhiên liệu cao hơn nhiều so với đường bộ.

c. Lực ma sát nhớt

Đó là lực ma sát xuất hiện ở mặt tiếp xúc giữa hai lớp chất lưu (lỏng hay khí) chuyển động đối với nhau. Nếu một vật chuyển động trong chất lưu với vận tốc không lớn, lực ma sát nhớt (giữa lớp chất lưu bám dính bề ngoài của vật với lớp chất lưu nằm sát nó) tỷ lệ và ngược chiều với vận tốc.

$$\vec{F}_{ms} = -r \cdot \vec{v} \quad (2-10)$$

trong đó r là hệ số ma sát nhớt của chất lưu. Trị số của r phụ thuộc vào bản chất của chất lưu, nó nhỏ hơn nhiều so với hệ số ma sát trượt và hệ số ma sát lăn. Vì vậy người ta thường dùng dầu bôi trơn mặt tiếp xúc giữa các vật chuyển động để giảm lực ma sát. Nếu vật có dạng hình cầu đường kính d , thì độ lớn lực ma sát nhớt tính theo công thức Stokes:

$$F_{ms} = 3\pi \cdot \eta \cdot d \cdot v \quad (2-11)$$

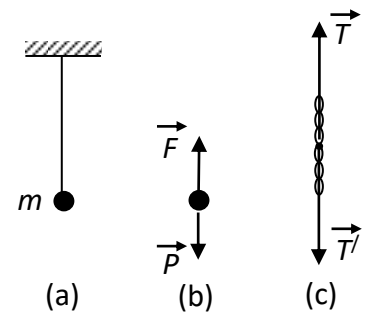
trong đó η gọi là hệ số nhớt của chất lưu. Ta có thể sử dụng công thức (2-11) để xác định hệ số nhớt của chất lỏng (thí dụ dầu nhớt).

2.2.2. Lực căng

Khi chất điểm được gắn vào sợi dây và chịu tác dụng của trọng lực \vec{P} (Hình 2-3a) thì sợi dây bị căng.

Lực căng tại một điểm là lực tương tác giữa hai nhánh dây ở hai bên điểm đó.

Chất điểm chịu tác dụng của trọng lực \vec{P} và lực \vec{F} mà sợi dây tác dụng lên chất điểm. Đầu trên của sợi dây chịu tác dụng của lực \vec{T} hướng lên do giá treo tác dụng, đầu dưới chịu tác dụng của lực $\vec{T'}$ hướng xuống do chất điểm tác dụng.



Hình 2-3

Do chất điểm ở trạng thái cân bằng và \vec{F} với $\vec{T'}$ là cặp lực - phản lực nên chúng có cùng độ lớn và bằng P .

Sợi dây cũng ở trạng thái cân bằng và giả sử nó có khối lượng không đáng kể nên:

$$\vec{T} = -\vec{T'} \text{ và độ lớn: } T = T' \quad (2-12)$$

\vec{T} và $\vec{T'}$ đều gọi là lực căng của sợi dây. Như vậy: *Lực căng của sợi dây ở bất kỳ điểm nào trên sợi dây là lực tác dụng vào điểm đó.*

Với một sợi dây mềm, không dẫn, khối lượng không đáng kể, thì lực căng có cùng giá trị tại mọi điểm dọc theo sợi dây.

Trường hợp sợi dây có khối lượng ta có thể chỉ ra rằng lực căng không như nhau tại các điểm trên sợi dây. Kết quả tính toán cho thấy lực căng tại đầu trên của sợi dây có độ lớn bằng tổng trọng lượng của chất điểm và trọng lượng của sợi dây.

2.2.3. Lực hướng tâm

Khi một chất điểm chuyển động trên đường tròn với tốc độ không đổi, thì gia tốc luôn hướng vào tâm đường tròn (vuông góc với vận tốc tức thời). Theo (1-16) gia tốc này là hằng số và được biểu diễn theo tốc độ v và bán kính R bởi công thức: $a_n = \frac{v^2}{R}$

Theo định luật II Newton, gia tốc hướng về tâm đường tròn do một lực (hoặc hợp của vài lực) có hướng hướng vào tâm của đường tròn gây ra, lực này được gọi là lực hướng tâm.

$$\text{Biểu thức lực hướng tâm: } \vec{F}_{ht} = m\vec{a}_n \quad (2-13)$$

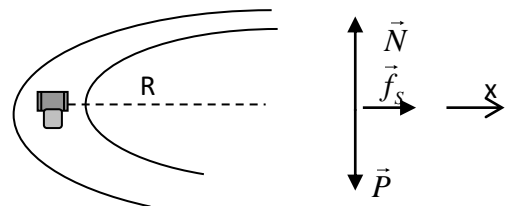
$$\text{Độ lớn: } F_{ht} = ma_n = m \frac{v^2}{R} \quad (2-14)$$

Chuyển động tròn đều có thể gây ra bởi tổng hợp các lực, vì thế trong trường hợp này hợp lực $\sum \vec{F}$ luôn hướng vào tâm của đường tròn và có độ lớn không đổi.

Chuyển động của một chiếc ô tô khi đi vào vòng cua luôn được chính người lái xe và cả các kỹ sư xây dựng quan tâm. Khi xe vào cua theo một đường cong không nghiêng, bằng phẳng sẽ khác với khi xe vào cua theo một đường cong nghiêng. Trong mỗi trường hợp, tùy theo biểu hiện của lực hướng tâm để điều chỉnh tốc độ tối đa của xe mà xe vẫn không bị trượt.

Ví dụ 1: Vòng theo một đường cong phẳng

Chiếc xe ô tô của bạn đang vào cua theo một đường cong không nghiêng, bằng phẳng có bán kính R . Nếu hệ số ma sát giữa các lớp xe và mặt đường là μ_s thì tốc độ tối đa v_{max} của xe để xe không bị trượt là bao nhiêu?



Hình 2-4

Giải: xe chịu tác dụng của trọng lực \vec{P} và hai lực tiếp xúc do mặt đường tác dụng: Lực pháp tuyến \vec{N} và lực ma sát nằm ngang. Lực ma sát này phải hướng về phía tâm của đường tròn để gây ra gia tốc hướng tâm. Vì ô tô không chuyển động theo phương đi qua tâm (nghĩa là nó không bị trượt lại gần hoặc ra xa tâm đường tròn) nên lực ma sát này là lực ma sát nghỉ với độ lớn cực đại $f_{s(max)} = \mu_s N$ theo phương trình (2-8).

$$\text{Theo định luật II Niu ton: } \vec{P} + \vec{N} + \vec{f}_{s(max)} = \vec{F}_{ht} = m\vec{a}_{ht}$$

Chiều lên trục Ox (theo phương ngang, chiều dương hướng vào tâm quỹ đạo) ta được:

$$\sum F_x = f_{s(max)} = ma_n = m \frac{v^2}{R}$$

Chiều lên trục Oy (theo phương vuông góc mặt đường) ta được:

$$\sum F_y = N + (-mg) = 0$$

Phương trình đầu cho thấy rằng lực ma sát cần thiết để làm cho ô tô chuyển động theo một đường tròn tăng theo tốc độ của ô tô. Lực ma sát lớn nhất $f_{s(\max)} = \mu_s N$ sẽ quyết định tốc độ lớn nhất của ô tô. Vậy ta tìm được:

$$\mu_s mg = m \frac{v_{\max}^2}{R}$$

Vì thế tốc độ tối đa là: $v_{\max} = \sqrt{\mu_s g R}$

Nếu $\mu_s = 0,87$ và $R = 230$ m thì $v_{\max} = \sqrt{(0,87)(9,8)(230)} = 44 \text{ m/s} \approx 160 \text{ km/h}$

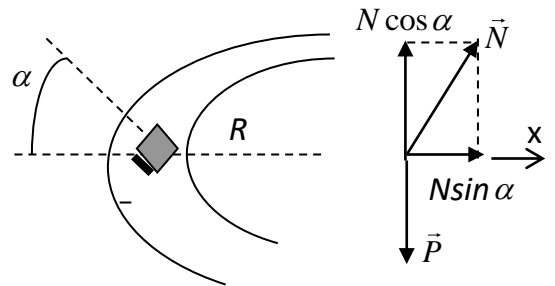
Đây là tốc độ lớn nhất đối với bán kính đã cho.

Cần chú ý: gia tốc hướng tâm cực đại là: $a_{ht \max} = \mu_s g$. Nếu hệ số ma sát giảm thì $a_{ht \max}$ và v_{\max} cũng bị giảm. Đó là lý do tại sao khi đường ướt hoặc có băng thì cần thực hiện vòng cua ở tốc độ nhỏ hơn.

Ví dụ 2: Vòng theo một đường cong nghiêng

Đối với một chiếc xe ô tô đang đi ở một tốc độ xác định nào đó mà vào một vòng cua không cần đến lực ma sát (ví dụ mặt đường rất trơn hoặc trên băng ướt) vẫn là điều có thể. Muốn vậy phải thiết kế mặt đường chỗ vòng cua nghiêng một góc α . Vậy góc α mà mặt đường cần phải nghiêng là bao nhiêu?

Khi không có ma sát, chỉ còn có hai lực tác dụng lên ô tô là trọng lực \vec{P} và lực pháp tuyến. Do mặt đường nghiêng, nên lực pháp tuyến (vuông góc với mặt đường) có thành phần nằm ngang. Thành phần này gây ra gia tốc hướng tâm (phương nằm ngang, hướng về phía tâm của đường tròn)



Hình 2-5

Theo định luật II Newton: $\vec{P} + \vec{N} = \vec{F}_{ht} = m\vec{a}_{ht}$

Chiều lên các trục tọa độ được:

$$\sum F_x = N \cdot \sin \alpha = m a_{ht}$$

$$\sum F_y = N \cos \alpha + (-mg) = 0$$

Giải hệ phương trình trên, ta được biểu thức góc nghiêng: $\tan \alpha = \frac{a_{ht}}{g}$

Thay $a_{ht} = \frac{v^2}{R}$

Ta được: $\tan \alpha = \frac{v^2}{gR}$ (2 -15)

Biểu thức (2-15) cho thấy góc nghiêng phụ thuộc vào tốc độ và bán kính. Đối với bán kính cho trước, không có góc nghiêng nào đúng cho mọi tốc độ. Trong thiết kế đường quốc lộ và các đường xe lửa, các khúc cua thường được làm nghiêng đối với tốc độ trung bình của các phương tiện giao thông đi lại. Cụ thể, nếu $R = 230\text{m}$ và $v = 25\text{ m/s}$ (88km/h) thì góc nghiêng là:

$$\alpha = \arctan \frac{(25)^2}{9,8 \cdot 230} = 15^\circ$$

Góc nghiêng này nằm trong phạm vi các góc nghiêng thực tế được sử dụng trong các đường quốc lộ. Với cùng bán kính nhưng với $v = 44\text{m/s}$ như ở ví dụ 1 thì $\alpha = 41^\circ$, đường cong bị làm rất dốc và thường thấy ở các đường đua ô tô.

2.3 - CÁC ĐỊNH LÝ VỀ ĐỘNG LƯỢNG VÀ XUNG LƯỢNG

2.3.1. Các định lý về động lượng và xung lượng

a. Định lý thứ nhất về động lượng

Từ định luật Newton thứ hai:

$$m \vec{a} = \vec{F}$$

Thay $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ ta được: $m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}$

Trong cơ học cổ điển $m = \text{const}$ nên được: $\frac{d(m\vec{v})}{dt} = \vec{F}$

Đặt: $\vec{K} = m\vec{v}$

\vec{K} là véctơ động lượng của chất điểm.

Đơn vị động lượng: $\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Vậy ta có: $\frac{d\vec{K}}{dt} = \vec{F}$ (2-16)

Phát biểu định lý:

"Đạo hàm theo thời gian của véctơ động lượng của chất điểm tại một thời điểm nào đó bằng hợp lực tác dụng lên chất điểm tại thời điểm đó".

Chú ý: Biểu thức (2-16) là dạng phát biểu mà Newton phát biểu định luật II của mình. Định luật này chỉ đúng trong hệ qui chiếu quán tính.

Theo (2-16), sự biến đổi nhanh của động lượng đòi hỏi tổng lực là lớn, còn biến đổi từ từ của động lượng đòi hỏi tổng lực là nhỏ. Nguyên lý này được sử dụng trong thiết kế dụng cụ an toàn ô tô như những túi không khí. Người lái xe đi nhanh có động lượng lớn (tích khối lượng của người lái và vận tốc của xe), nếu ô tô dừng lại đột ngột khi va chạm, động lượng của người lái bằng không. Một túi khí làm cho người lái mất động lượng dần dần hơn là một va chạm đột ngột với bánh lái sẽ làm giảm lực tác dụng lên

người lái (và khả năng gây hại cho người lái). Chính nguyên lý này cũng được áp dụng cho đệm khí đóng các kiện hàng dễ vỡ vận chuyển bằng tàu hỏa, tàu biển.

b- Định lý thứ hai về động lượng

Từ (2-15) ta suy ra :
$$d\vec{K} = \vec{F}.dt$$

Tích phân hai vế của phương trình trên trong khoảng thời gian từ t_1 đến t_2 tương ứng với sự biến thiên của động lượng từ \vec{K}_1 đến \vec{K}_2 được:

$$\Delta \vec{K} = \vec{K}_2 - \vec{K}_1 = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}.dt \quad (2-17)$$

Đại lượng $\int_{t_1}^{t_2} \vec{F}.dt$ được gọi là xung lượng của lực hay xung lực trong khoảng thời gian

$\Delta t = t_2 - t_1$.

Đơn vị của xung lực: N.s

Trường hợp đặc biệt: Nếu $\vec{F} = \text{const}$

ta có:
$$\Delta \vec{K} = \vec{F}.\Delta t \quad (2-18)$$

Phát biểu định lý:

"Độ biến thiên của vectơ động lượng của chất điểm trong một khoảng thời gian nào đó bằng xung lượng của lực tác dụng lên chất điểm trong khoảng thời gian tương ứng".

2.3.2. Ý nghĩa của động lượng và xung lượng

Ý nghĩa của động lượng : Véc tơ động lượng đặc trưng cho trạng thái chuyển động của vật về mặt động lực học. Thực vậy, véc tơ động lượng \vec{K} cùng hướng với véc tơ vận tốc và có độ lớn không chỉ phụ thuộc vào vận tốc mà còn phụ thuộc vào khối lượng của vật.

Động lượng còn đặc trưng cho khả năng truyền chuyển động trong va chạm giữa các vật. Thật vậy, vật 1 đang đứng yên, khi vật 2 va chạm vào, có thể chuyển động nhanh hay chậm và biến dạng nhiều hay ít là tùy thuộc không những vào vận tốc của vật 2 mà còn phụ thuộc vào khối lượng của vật 2.

Ý nghĩa của xung lượng: Theo (2-18), cùng một lực tác dụng \vec{F} nhưng nếu khoảng thời gian tác dụng Δt của lực càng lớn thì véc tơ động lượng \vec{K} của vật thay đổi càng nhiều. Vậy: Xung lượng của lực đặc trưng cho tác dụng của lực trong một khoảng thời gian nào đó. Bởi vì kết quả tác dụng lực không những phụ thuộc vào cường độ lực mà còn phụ thuộc vào thời gian tác dụng của lực.

Ví dụ: Quả bóng đập vào tường

Giả sử bạn ném quả bóng có khối lượng 0,4 kg vào một bức tường gạch với tốc độ 30m/s theo hướng nghiêng một góc $\alpha = 60^\circ$ so với pháp tuyến ON của mặt tường. Sau va

chạm quả bóng bị bật ra theo hướng đối xứng với hướng bay vào qua pháp tuyến ON với tốc độ 30m/s.

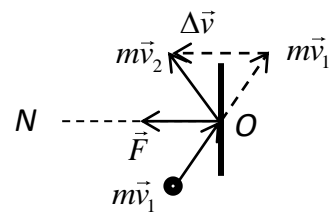
a. Tìm xung lượng của tổng lực tác dụng lên quả bóng trong khi va chạm với tường.

b. Nếu quả bóng tiếp xúc với tường trong 0,01s, tìm lực trung bình mà tường tác dụng lên quả bóng trong thời gian va chạm.

Bài giải:

Nhận dạng: Do đã biết đủ thông tin để xác định giá trị đầu và cuối của động lượng, như vậy ta có thể áp dụng định lý về xung lượng để tìm xung lượng. Sau đó dùng định nghĩa xung lượng để xác định lực trung bình.

Giải quyết: Chọn trục tọa độ Ox nằm ngang, chiều dương hướng sang phải (hình 2-6). Gọi Δt là khoảng thời gian va chạm.



Hình 2-6

a. Áp dụng định lý về động lượng: $\Delta \vec{K} = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 = \vec{F} \cdot \Delta t$

Chiều lên trục Ox được: $mv_2 \cos \alpha - (-mv_1 \cos \alpha) = F \cdot \Delta t$

Vậy xung lượng của tổng lực tác dụng lên quả bóng khi va chạm với tường là:

$$F \cdot \Delta t = 2mv_1 \cos 60^\circ = 2 \cdot 0,4 \cdot 5 \cdot 30 = 12 (\text{N} \cdot \text{s})$$

Ta thấy: $F \cdot \Delta t > 0$ như vậy lực \vec{F} đặt tại điểm va chạm O , hướng theo pháp tuyến ON và song song véc tơ biến thiên vận tốc $\Delta \vec{v}$ (Theo chiều dương của trục Ox)

b. Lực trung bình mà tường tác dụng lên quả bóng trong thời gian va chạm:

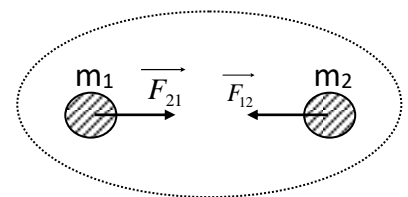
$$F = \frac{\Delta K}{\Delta t} = \frac{12}{0,01} = 1200 \text{ N}$$

2.4 - ĐỊNH LUẬT BẢO TOÀN ĐỘNG LƯỢNG

2.4.1. Định luật bảo toàn động lượng

a. Hệ chất điểm cô lập

Xét một hệ cô lập gồm hai chất điểm có khối lượng m_1 và m_2 tương tác lẫn nhau (hình 2-7), các lực \vec{F}_{21} và \vec{F}_{12} (\vec{F}_{21} và \vec{F}_{12} được gọi là các nội lực). Gọi \vec{K}_1 và \vec{K}_2 là véc tơ động lượng của các chất điểm.



Hình 2-7

Theo định lý về động lượng: $\frac{d\vec{K}_1}{dt} = \vec{F}_{21}$; $\frac{d\vec{K}_2}{dt} = \vec{F}_{12}$

Cộng vế với vế của các phương trình với nhau : $\frac{d \vec{K}_1}{dt} + \frac{d \vec{K}_2}{dt} = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{12}$

Mà theo định luật Newton thứ 3 thì: $\vec{F}_{21} = - \vec{F}_{12}$

Do đó:
$$\frac{d \vec{K}_1}{dt} + \frac{d \vec{K}_2}{dt} = \frac{d(\vec{K}_1 + \vec{K}_2)}{dt} = 0$$

Vậy:
$$\vec{K}_1 + \vec{K}_2 = \text{const}$$

Trường hợp hệ gồm n chất điểm thì:

$$\vec{K} = \sum_{i=1}^n \vec{K}_i = \vec{K}_1 + \vec{K}_2 + \dots + \vec{K}_n = \text{const} \quad (2-19)$$

Công thức (2-19) biểu diễn định luật bảo toàn động lượng:

"Tổng động lượng của một hệ chất điểm cô lập được bảo toàn".

Chú ý: Ta đã vận dụng định luật II Newton để suy ra định luật này nên ta chỉ sử dụng nó trong khuôn khổ của những hệ qui chiếu quán tính (vì định luật II Newton chỉ đúng trong hệ qui chiếu đó)

b. Hệ không cô lập

Thực tế không có hệ vật cô lập, nên định luật bảo toàn động lượng chỉ có thể kiểm nghiệm thông qua các hệ quả dưới đây suy ra từ phương trình (2-18):

- Nếu hệ không cô lập nhưng tổng các ngoại lực tác dụng lên hệ vật triệt tiêu:

$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{F} = 0$ thì tổng động lượng của hệ chất điểm không cô lập cũng được bảo toàn:

$$\sum_{i=1}^n \vec{K}_i = \vec{K}_1 + \vec{K}_2 + \dots + \vec{K}_n = \text{const} \quad (2-20)$$

- Nếu hình chiếu trên phương x nào đó của tổng các ngoại lực tác dụng lên hệ vật bị triệt tiêu $\sum_{i=1}^n F_{ix} = F_x = 0$ thì hình chiếu trên phương x của tổng động lượng của hệ vật không cô lập cũng được bảo toàn.

$$\sum_{i=1}^n K_{ix} = K_{1x} + K_{2x} + \dots + K_{nx} = \text{const} \quad (2-21)$$

2.4.2. Ứng dụng định luật

Súng giật lúc bắn, người chạy trên xe lăn, chuyển động bằng phản lực...

Ví dụ 1: Giải thích hiện tượng súng giật lúc bắn.

Xét một hệ vật gồm một súng đại bác khối lượng M đặt trên mặt đất phẳng ngang và nhẵn, một viên đạn khối lượng m nằm trong nòng súng hướng theo phương ngang

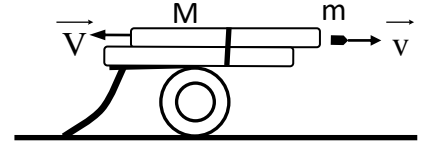
(hình 2-8). Tổng ngoại lực (gồm trọng lực của hệ vật và phản lực mặt đất tác dụng lên hệ, bỏ qua ma sát và lực cản) bị triệt tiêu. Do đó, tổng động lượng của hệ vật được bảo toàn.

Nghĩa là:
$$\left(\sum_i \vec{K}_i \right)_{\text{sau khi bắn}} = \left(\sum_i \vec{K}_i \right)_{\text{trước khi}}$$

bắn

Tức là:
$$M \vec{V} + m \vec{v} = 0$$

Suy ra:
$$\vec{V} = -\frac{m}{M} \vec{v} \quad (2-22)$$



Hình 2-8

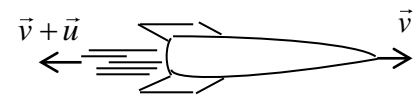
Như vậy, vận tốc \vec{V} của súng ngược hướng và tỷ lệ với vận tốc \vec{v} của đạn.

Nếu $M \gg m$ thì $V \ll v$.

(Có thể giải thích hiện tượng trên theo định luật bảo toàn động lượng cho một phương).

Ví dụ 2: Nguyên tắc của chuyển động phản lực

Theo công thức (2-22) ta suy ra: “Muốn cho một phần của hệ vật chuyển động theo một hướng nào đó thì phần còn lại của hệ vật phải chuyển động ngược với hướng này”. Đó chính là nguyên tắc của chuyển động phản lực.



Hình 2-9

Xét chuyển động phản lực của một tên lửa bay theo phương ngang về phía trước khi hỗn hợp khí đốt phụt mạnh từ đuôi tên lửa về phía sau (hình 2-9). Nếu bỏ qua lực cản của không khí thì ngoại lực tác dụng lên hệ tên lửa chính là trọng lực. Như vậy hình chiếu của tổng động lượng của hệ tên lửa lên phương ngang được bảo toàn.

Giả sử lúc đầu ($t = 0$), hệ tên lửa có khối lượng M_0 đứng yên so với hệ qui chiếu đã chọn ($v_0 = 0$). Coi vận tốc phụt khí đối với tên lửa là \vec{u} không thay đổi thì ở thời điểm t , khi khối lượng của hệ là M (với $M < M_0$), vận tốc \vec{v} của hệ tên lửa được xác định bởi công thức Xiôncôpki:

$$v = u \cdot \ln \frac{M_0}{M} \quad (2-23)$$

Công thức này chứng tỏ vận tốc v của hệ tên lửa càng lớn nếu vận tốc u của khí phụt ra càng lớn và tỷ số khối lượng M_0/M càng lớn.

Thực vậy, động lượng của hệ tên lửa ở thời điểm t là $\vec{K} = M \cdot \vec{v}$. Trong khoảng thời gian dt , tên lửa phụt ra phía sau một khối lượng khí đốt là dM' . Nếu vận tốc khí phụt là \vec{u} thì vận tốc phụt khí đối với hệ qui chiếu đã chọn là $(\vec{u} + \vec{v})$ và động lượng của khối khí phụt ra bằng $dM'(\vec{u} + \vec{v})$. Khối lượng

của hệ tên lửa chỉ còn bằng $(M - dM)$ và vận tốc của tên lửa tăng lên bằng $(\vec{v} + d\vec{v})$. Đặt $dM = -dM'$ là độ giảm khối lượng của hệ tên lửa. Khi đó động lượng của hệ tên lửa ở thời điểm $t' = t + dt$ bằng:

$$\vec{K}' = -dM(\vec{u} + \vec{v}) + (M + dM)(\vec{v} + d\vec{v})$$

Áp dụng hệ quả (2-20) của định luật bảo toàn động lượng, ta có: $\vec{K}' = \vec{K}$
suy ra: $-dM(\vec{u} + \vec{v}) + (M + dM)(\vec{v} + d\vec{v}) = M \cdot \vec{v}$

chiếu xuống hướng chuyển động của tên lửa và bỏ qua số hạng vô cùng bé bậc hai $dM \cdot dv$, ta có:

$$Mdv = -u \cdot dM$$

$$\text{hay} \quad dv = -u \frac{dM}{M} \quad (2-24)$$

Thực hiện tích phân hai vế đối với phương trình (2-23) từ thời điểm ban đầu $t = 0$ đến thời điểm t , ta tìm được lại công thức (2-23).

2.5 - TRƯỜNG HẤP DẪN

2.5.1. Định luật hấp dẫn vũ trụ

Newton là người đầu tiên phát hiện ra lực hút giữa các vật có khối lượng, còn gọi là *lực hấp dẫn vũ trụ*. Dựa vào kết quả của nhiều thí nghiệm, Newton đã phát biểu thành định luật hấp dẫn vũ trụ:

Hai chất điểm khối lượng m_1 và m_2 nằm cách nhau một khoảng r , luôn hút nhau bằng các lực hấp dẫn \vec{F}_1 và \vec{F}_2 có phương trùng với đường thẳng nối hai chất điểm và ngược chiều nhau, có độ lớn tỷ lệ thuận với tích số khối lượng của hai chất điểm và tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách r giữa hai chất điểm đó

$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2-25)$$

trong đó $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$ là hằng số hấp dẫn vũ trụ.

Công thức (2-24) áp dụng cho cả trường hợp hai quả cầu đồng chất với r là khoảng cách giữa các tâm của chúng. Đối với hai vật có hình dạng bất kỳ, ta phải áp dụng phép tích phân.

Chú ý: Do chuyển động quay của trái đất quanh trục của nó nên tại mọi điểm trên mặt đất, trừ các địa cực, trọng lực \vec{P} của chất điểm luôn nhỏ hơn lực hấp dẫn \vec{F} của trái đất tác dụng lên chất điểm. Tuy nhiên, trong nhiều bài toán thực tế, ta có thể bỏ qua chuyển động quay này của trái đất và coi rằng trọng lực \vec{P} bằng lực hấp dẫn \vec{F} .

2.5.2. Trường hấp dẫn

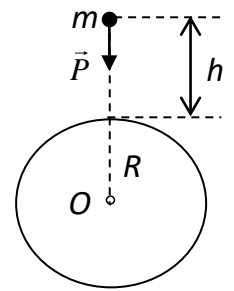
Trong không gian bao quanh mỗi vật có khối lượng đều tồn tại một dạng vật chất đặc biệt gọi là trường hấp dẫn. Biểu hiện của nó ở chỗ: bất kỳ vật nào có khối lượng đặt trong trường hấp dẫn cũng bị tác dụng lực hấp dẫn. Như vậy, trường hấp dẫn đóng vai trò truyền lực hấp dẫn từ vật này đến vật khác. Thí dụ: Trường hấp dẫn của Trái đất chính là trọng trường, nó truyền lực hấp dẫn đến các vật nằm trong trọng trường, lực này chính là trọng lực tác dụng lên vật.

2.5.3. Ứng dụng của định luật

Ta xét một ứng dụng của định luật vạn vật hấp dẫn: *Xác định sự thay đổi gia tốc trọng trường theo độ cao.*

Một chất điểm khối lượng m ở độ cao h so với mặt đất sẽ chịu một trọng lực $\vec{P} = m\vec{g}$ (hình 2-10). Trọng lực này đúng bằng lực hấp dẫn do Trái đất tác dụng lên chất điểm:

$$mg = G \frac{Mm}{r^2} \quad (2.25)$$



Hình 2-10

với M là khối lượng và R là bán kính trái đất, còn $r = R + h$ là khoảng cách từ tâm O của Trái đất đến chất điểm. Từ (2-26) suy ra:

$$\text{- Gia tốc trọng trường ở độ cao } h: \quad g = G \frac{M}{(R+h)^2} \quad (2.27)$$

$$\text{- Gia tốc trọng trường ở mặt đất:} \quad g_0 = G \frac{M}{R^2} \quad (2.28)$$

$$\text{Chia (2-27) cho (2-28) ta được:} \quad \frac{g}{g_0} = \left(\frac{R}{R+h} \right)^2 = \left(1 + \frac{h}{R} \right)^{-2} \approx 1 - \frac{2h}{R}$$

$$\text{Vậy ta được:} \quad g \approx g_0 \left(1 - \frac{2h}{R} \right) \quad (2.29)$$

Công thức (2-29) chứng tỏ: càng lên cao, gia tốc trọng trường càng giảm.

2.7 - HỆ QUY CHIẾU KHÔNG QUÁN TÍNH VÀ LỰC QUÁN TÍNH

2.7.1. Hệ quy chiếu không quán tính

Hệ quy chiếu không quán tính là hệ quy chiếu chuyển động có gia tốc đối với hệ quy chiếu quán tính.

2.7.2. Lực quán tính

Khi hệ O' chuyển động có gia tốc so với hệ O thì \vec{V} thay đổi theo thời gian. Ta lấy đạo hàm theo thời gian của (2-31) được:

$$\vec{a} = \vec{a'} + \vec{A} \quad (\vec{A} \text{ là gia tốc của hệ } O' \text{ so với } O; \vec{A} = \frac{d\vec{V}}{dt})$$

Do đó: $m\vec{a} = m\vec{a'} + m\vec{A}$

Hay: $m\vec{a'} = m\vec{a} + (-m\vec{A})$

Tức là: $m\vec{a'} = \vec{F} + (-m\vec{A})$ (2-33)

Đại lượng $(-m\vec{A})$ được gọi là lực quán tính \vec{F}_{qt} :

$$\vec{F}_{qt} = -m\vec{A} \quad (2-34)$$

Đặc điểm:

\vec{F}_{qt} chỉ là một lực ảo (ta không chỉ rõ lực là do vật nào tác dụng lên chất điểm) và chỉ xuất hiện trong hệ quy chiếu không quán tính.

\vec{F}_{qt} cùng phương, ngược chiều với gia tốc \vec{A} của hệ quy chiếu không quán tính.

Độ lớn: $F_{qt} = m.A$

Như vậy, theo (2-33), để áp dụng được các phương trình động lực học trong hệ quy chiếu không quán tính, ngoài việc tính các ngoại lực lên vật, ta phải cộng thêm lực quán tính nữa.

Chú ý: Về nguyên tắc ta luôn có thể khảo sát một chuyển động bất kỳ trong hệ quy chiếu quán tính. Tuy nhiên, nhiều bài toán có thể giải đơn giản hơn nếu áp dụng hệ quy chiếu không quán tính và lực quán tính.

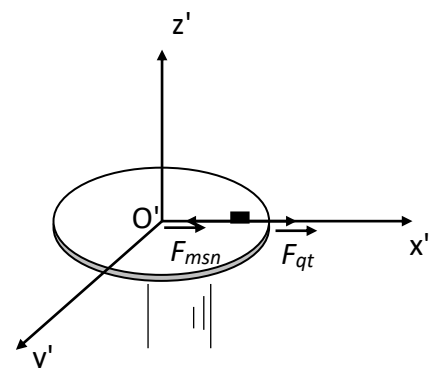
2.7.3. Lực quán tính ly tâm

Nếu hệ O' chuyển động quay, trong hệ O' sẽ xuất hiện một lực quán tính ly tâm: $\vec{F}_{qtl} = -m\vec{A}_{ht}$. Trong đó, \vec{A}_{ht} là gia tốc hướng tâm trong chuyển động quay của hệ O' , cũng chính là gia tốc hướng tâm của chất điểm tại vị trí đang khảo sát và gắn với hệ O' .

\vec{F}_{qtl} cùng phương, ngược chiều với gia tốc hướng tâm \vec{A}_{ht} . Nó có xu hướng làm chất điểm văng ra khỏi tâm.

Để hiểu rõ lực này ta xét một ví dụ:

Một cái bàn tròn quay xung quanh trục z' với vận tốc góc $\vec{\omega}$, quay cùng với bàn là một vật nhỏ được đặt trên mặt bàn, cách tâm bàn một khoảng r (hình 2-12). Trong hệ quy chiếu quán tính (gắn với mặt đất) thì lực



tác dụng lên vật chính là lực ma sát nghỉ. Lực này đóng vai trò là lực hướng tâm và làm cho vật quay cùng với bàn với vận tốc góc $\vec{\omega}$:

$$F_{msn} = ma_{ht} = m \frac{v^2}{R} = m\omega^2 r$$

Còn nếu xét trong hệ quy chiếu không quán tính gắn liền với đĩa quay (O'x'y'z') thì vật đứng yên. Lý do là vật bây giờ còn chịu thêm một lực quán tính $\vec{F}_{qt} = -m \vec{A}_{ht}$ là một lực cùng phương, ngược chiều và cùng độ lớn với lực ma sát nghỉ, do đó vật đứng yên so với bàn.

CÂU HỎI THẢO LUẬN

H₁. Một đoạn đường cua gấp và rất nghiêng được thiết kế giống như trong công viên giải trí. Nếu bạn đi trên đoạn đường đó với tốc độ không đổi, thì chỗ nào lực pháp tuyến lớn nhất, nhỏ nhất?

H₂. Nếu có hợp lực tác dụng lên chất điểm chuyển động tròn đều thì tại sao tốc độ của nó không thay đổi?

H₃. Một đoạn đường cong có góc nghiêng được tính toán cho tốc độ 80km/h. Tuy nhiên do đường rất trơn nên bạn dự định chỉ đi trên làn đường có tốc độ tối đa 20km/h. Chuyện gì có thể xảy ra đối với cái ô tô của bạn? Tại sao?

H₄. Để giữ các lực tác dụng lên người ngồi trong giới hạn có thể được, đường đi của các vòng nhào lộn thường được thiết kế có dạng đường vòng, không hẳn là đường tròn lý tưởng, có bán kính cong lớn hơn tại điểm thấp nhất so với điểm cao nhất. Giải thích.

H₅. Tại sao cần phải thiết kế đường băng máy bay đủ dài?

H₆. Một đường cong phẳng (không nghiêng) trên một đường quốc lộ có bán kính 220m. Một chiếc xe ô tô vòng theo đường cong đó với tốc độ 25m/s. Hệ số ma sát lớn nhất có thể để xe không bị trượt là bao nhiêu?

ÔN TẬP CHƯƠNG 2

A- Mục đích, yêu cầu

1. Nắm được nội dung của 3 định luật Newton.
2. Hiểu và vận dụng được các định lý về động lượng và định luật bảo toàn động lượng
3. Hiểu được nguyên lý Galiléo. Vận dụng được lực quán tính trong hệ qui chiếu có gia tốc.

B – Cấu hỏi ụn tập nội dung trọng tởm lý thuyết

1. Phát biểu định luật Newton thứ nhất. Tại sao gọi nó là nguyên lý quán tính. Định nghĩa hệ quy chiếu quán tính. Cho thí dụ.
2. Phát biểu định luật Newton thứ hai và ý nghĩa.
3. Phát biểu định luật Newton thứ ba. Nêu các lực liên kết.
4. Trình bày các định lý về động lượng và xung lượng. Nêu ý nghĩa vật lý của các đại lượng này.
5. Thiết lập định luật bảo toàn động lượng. Điều kiện để áp dụng định luật bảo toàn động lượng.
6. Trình bày phép biến đổi Galiléo và các suy luận. Phát biểu nguyên lý tương đối Galiléo.
7. Định nghĩa hệ quy chiếu không quán tính. Lực quán tính. Lực quán tính ly tâm.

BÀI TẬP CHƯƠNG 2

A. BÀI TẬP THÍ DỤ

Bài tập 1: Một ô tô khối lượng 1 tấn chạy trên đoạn đường phẳng có hệ số ma sát là 0,1. Lấy $g = 9,8 \text{ m/s}^2$. Tính lực kéo của động cơ ô tô khi:

- a. Ô tô chạy nhanh dần đều với gia tốc 2 m/s^2 trên đoạn đường nằm ngang.
- b. Ô tô chạy trên đường dốc với vận tốc không đổi. Mặt đường có độ dốc không đổi 4% (góc nghiêng α của mặt đường có $\sin \alpha = 0,04$)

Hướng dẫn giải:

$$\text{Phương trình động lực học: } m\vec{a} = \vec{P} + \vec{N} + \vec{F} + \vec{F}_{ms} \quad (1)$$

- a. Khi ô tô đi trên đoạn đường ngang:

Chiếu (1) lên phương Ox nằm ngang và Oy thẳng đứng ta có: $ma = F - F_{ms}$

$$\text{và: } 0 = -P + N \text{ ; mặt khác: } F_{ms} = \mu N$$

$$\text{suy ra: } F = ma + \mu N = m(a + \mu g) = 1000.(2 + 0,1.9,8) = 2980 \text{ (N)}$$

- b. Khi ô tô lên dốc:

Chiếu (1) lên Ox trùng hướng chuyển động của ô tô và Oy vuông góc với mặt dốc, ta có: $0 = -P \sin \alpha + F' - F'_{ms}$ và: $0 = -P \cos \alpha + N'$; mặt khác: $F'_{ms} = \mu N'$

$$\text{suy ra: } F' = mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = 1000.9,8.(0,04 + 0,1 \sqrt{1 - (0,04)^2}) = 1372,6 \text{ (N)}$$

Bài tập 2: Một sợi dây không dẫn, khối lượng không đáng kể được vắt qua một ròng rọc, hai đầu buộc hai vật có khối lượng m_1 và m_2 . Bỏ qua khối lượng ròng rọc và coi ma sát giữa ròng rọc và trục quay là không đáng kể. Xác định gia tốc của hệ, sức căng của sợi dây và lực nén tác dụng lên trục của ròng rọc.

Hướng dẫn giải: Cho: m_1, m_2

Hỏi: a ? T ?

Giả sử: m_1 chuyển động xuống dưới

m_2 chuyển động lên trên.

Chọn trục OX theo phương chuyển động của hệ, chiều dương theo chiều chuyển động của hệ.

Phương trình chuyển động của vật m_1 : $\vec{P}_1 + \vec{T}_1 = m_1 \vec{a}_1$

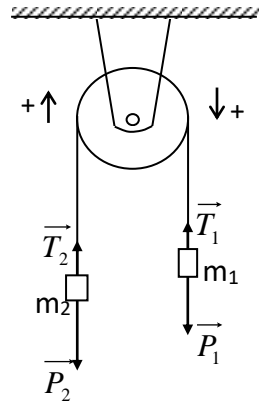
Phương trình chuyển động của vật m_2 : $\vec{P}_2 + \vec{T}_2 = m_2 \vec{a}_2$

Vì khối lượng của dây và ròng rọc không đáng kể, bỏ qua ma sát giữa ròng rọc và trục quay: $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T$. Vì dây không giãn nên gia tốc của cả hai vật đều bằng nhau: $a_1 = a_2 = a$

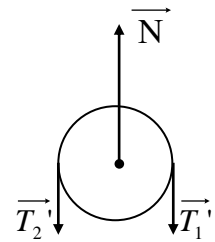
- Chiều các phương trình chuyển động lên trục OX ta được:

$$P_1 - T = m_1 a$$

$$-P_2 + T = m_2 a$$



Hình 2-13



Hình 2-14

Từ hai phương trình trên ta suy ra: $a = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \cdot g$; $T = \frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2} \cdot g$

Nhận xét:

- Nếu $m_1 > m_2$ thì $a > 0$, tức là: m_1 chuyển động xuống, m_2 chuyển động lên.
- Nếu $m_1 < m_2$ thì $a < 0 \rightarrow$ hướng chuyển động ngược lại với giả thiết
- Nếu $m_1 = m_2$ thì $a = 0 \rightarrow$ hệ sẽ đứng yên hay chuyển động thẳng đều

Ròng rọc chịu tác dụng của hai lực căng \vec{T}' hướng thẳng đứng xuống dưới và phản lực pháp tuyến \vec{N} của trục ròng rọc hướng thẳng đứng lên trên. Vì ròng rọc nằm cân bằng nên gia tốc bằng 0,

nên ta có: $2T' - N = 0$

Suy ra: $N = 2T' = 2T$

Bài tập 3: Trên một đĩa nằm ngang đang quay, người ta đặt một vật có khối lượng $m = 1\text{kg}$ cách trục quay $r = 50\text{cm}$. Hệ số ma sát giữa vật và đĩa bằng $\mu = 0,25$. Hỏi:

a. Lực ma sát phải có độ lớn bằng bao nhiêu để vật được

giữ trên đĩa nếu đĩa quay với vận tốc $n = 12$ vòng/phút.

b. Với vận tốc góc nào thì vật bắt đầu trượt khỏi đĩa.

Hướng dẫn giải:

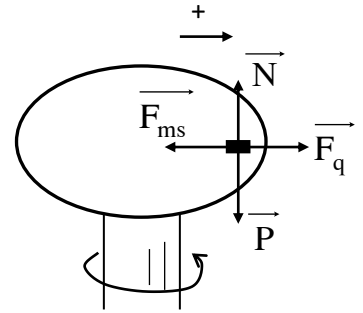
Cho: $m = 1\text{kg}$; $r = 50\text{cm}$; $\mu = 0,25$

Hỏi: a) F_{ms} ? khi $n = 12$ vòng/phút và vật nằm yên trên đĩa

b) ω ? thì vật trượt khỏi đĩa.

a) Chọn hệ quy chiếu O' là cái đĩa quay, vì vậy O' là hệ quy chiếu không quán tính (do có gia tốc hướng tâm so với đất).

Các lực tác dụng lên vật trong hệ quy chiếu O' là: Trọng lực \vec{P} , phản lực của đĩa lên vật \vec{N} , lực ma sát nghỉ \vec{F}_{ms} và lực quán tính li tâm \vec{F}_q .



Hình 2-15

Vì vật nằm yên so với đĩa nên phương trình chuyển động của vật trong hệ O' là:

$$\vec{F}_{ms} + \vec{F}_q + \vec{P} + \vec{N} = 0$$

Do \vec{P} triệt tiêu với \vec{N} nên ta được: $\vec{F}_{ms} + \vec{F}_q = 0$

Chọn trục Ox theo phương bán kính đĩa, chiều (+) hướng theo chiều \vec{F}_{ms} (hướng vào tâm đĩa).

Chiếu phương trình trên lên trục Ox ta được: $F_{ms} - F_q = 0$

Hay:

$$F_{ms} = F_q = m\omega^2 r = m \left(\frac{2\pi n}{60} \right)^2 \cdot r$$

Thay số ta được:

$$F_{ms} = 1 \cdot \left(\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 12}{60} \right)^2 \cdot 0,5 = 0,784 \text{ (N)}$$

b. Vật trượt khỏi đĩa khi $F_{qt} \geq F_{ms}$

Hay:

$$m\omega^2 r \geq k \cdot P$$

Khi đó:

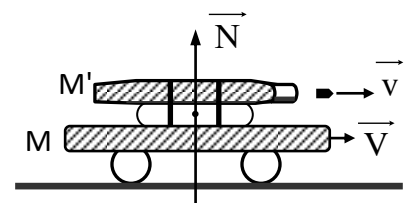
$$\omega \geq \sqrt{\frac{\mu \cdot g}{r}} \quad \text{Thay số được: } \omega \geq 2,2 \text{ rad/s.}$$

Vậy, với $\omega = 2,2 \text{ rad/s}$ thì vật bắt đầu trượt khỏi đĩa.

Bài tập 4: Một khẩu pháo khối lượng 0,5 tấn (không kể đạn) đặt cố định trên một xe có khối lượng 10 tấn. Xe đang chạy trên đường ray với vận tốc 18km/h và khẩu pháo nhả đạn theo phương của đường ray. Viên đạn có khối lượng 1kg và bay khỏi đầu nòng pháo với vận tốc 500m/s. Bỏ qua các lực cản và ma sát. Hãy xác định vận tốc của xe ngay sau khi bắn lần đầu trong hai trường hợp:

a. Đạn bắn theo chiều xe chạy.

b. Đạn bắn ngược chiều xe chạy.



Hướng dẫn giải:

Cho: $M = 10 \text{ tấn} = 10 \cdot 10^3 \text{kg}$;

$M' = 0,5 \text{ tấn} = 500 \text{kg}$; $m = 1 \text{kg}$;

$v = 500 \text{m/s}$; $V = 18 \text{km/h} = 5 \text{m/s}$

Hỏi: V' ?

Vì trọng lực \vec{P} của hệ (xe, pháo, đạn) cân bằng với phản lực pháp tuyến \vec{N} của đường ray, đồng thời không có lực ma sát và lực cản. Do đó tổng hợp lực tác dụng lên hệ vật bằng 0. Do đó tổng động lượng của hệ vật bảo toàn, nghĩa là:

$$(\sum \vec{K}_i \text{ sau khi bắn}) = (\sum \vec{K}_i \text{ trước khi bắn}) \quad (1)$$

Gọi: \vec{V} là vận tốc của xe trước khi bắn

\vec{v} là vận tốc đầu nòng của đạn

\vec{V}' là vận tốc của xe sau khi bắn

Phương trình (1) được viết là: $(M + M') \vec{V}' + m \vec{v} = (M + M' + m) \vec{V}$

Suy ra:
$$\vec{V}' = \frac{(M + M' + m) \vec{V} - m \vec{v}}{M + M'} \quad (2)$$

a) Nếu đạn bắn theo chiều xe chạy (\vec{v} và \vec{V} cùng chiều)

Ta chiếu phương trình (2) xuống hướng chuyển động của xe được:

$$V' = \frac{(M + M' + m)V - mv}{M + M'} = \frac{(10^4 + 500 + 1)5 - 1 \cdot 500}{10^4 + 500} = 4,95 \text{m/s} > 0$$

Vậy xe vẫn chạy theo chiều ban đầu với vận tốc nhỏ hơn: $V' < V$

b. Nếu đạn bắn ngược chiều xe chạy (\vec{v} và \vec{V} ngược chiều). Ta chiếu phương trình (2) xuống hướng chuyển động của xe được:

$$V' = \frac{(M + M' + m)V - (-mv)}{M + M'} = \frac{(10^4 + 500 + 1)5 + (1 \cdot 500)}{10^4 + 500} = 5,05 \text{m/s} > 0$$

Vậy xe vẫn chạy theo chiều ban đầu với vận tốc lớn hơn: $V' > V$