Tổng Hợp Kiến Thức: Lực Hướng Tâm và Chuyển Động Của Vệ Tinh Nhân Tạo

Chuyển động tròn đều là một dạng chuyển động quen thuộc trong đời sống và kỹ thuật. Để duy trì chuyển động này, cần có một lực đặc biệt luôn hướng vào tâm quỹ đạo, gọi là lực hướng tâm. Bài viết này sẽ hệ thống hóa toàn bộ kiến thức về lực hướng tâm và một trong những ứng dụng quan trọng nhất của nó: chuyển động của các vệ tinh nhân tạo.

1. Lực Hướng Tâm (F_ht)

a. Định nghĩa

Lực hướng tâm là lực (hoặc hợp lực của các lực) tác dụng lên một vật chuyển động tròn đều, có phương đi qua tâm của quỹ đạo tròn và có chiều luôn hướng vào tâm. Lực này gây ra gia tốc hướng tâm, làm thay đổi hướng của vận tốc và giữ cho vật chuyển động trên quỹ đạo tròn.

Lưu ý quan trọng: Lực hướng tâm không phải là một loại lực mới trong tự nhiên. Nó là tên gọi của hợp lực có tác dụng giữ vật chuyển động tròn. Tùy từng trường hợp cụ thể, lực hướng tâm có thể là lực căng dây, lực hấp dẫn, lực ma sát nghỉ, hoặc lực tĩnh điện.

b. Đặc điểm của Lực Hướng Tâm

- **Điểm đặt:** Tại vật chuyển động tròn.

VIDOCU.COM

- **Phương:** Trùng với đường thẳng nối vật và tâm quỹ đạo (phương bán kính).
- **Chiều:** Luôn hướng vào tâm của quỹ đạo tròn.
- **Tác dụng:** Chỉ làm thay đổi hướng của vectơ vận tốc, không làm thay đổi độ lớn vận tốc của vật (trong chuyển động tròn đều). Do đó, lực hướng tâm luôn vuông góc với vectơ vận tốc tại mọi điểm trên quỹ đạo.

c. Công thức tính Lực Hướng Tâm

Độ lớn của lực hướng tâm được tính theo định luật II Newton: F = ma. Trong trường hợp này, a là gia tốc hướng tâm (a_ht).

F_ht = m * a_ht = m * (v^2 / r) = m * ω^2 * r

Trong đó:

- **F_ht:** Độ lớn lực hướng tâm (N)
- **m:** Khối lượng của vật (kg)
- **v:** Tốc độ dài của vật (m/s)
- **ω (omega):** Tốc độ góc của vật (rad/s)
- **r:** Bán kính quỹ đạo tròn (m)
- **a_ht:** Gia tốc hướng tâm (m/s²)

d. Ví dụ minh họa

1. **Ví dụ 1: Vật buộc vào dây quay tròn**

   Một hòn đá khối lượng 200 g được buộc vào một sợi dây dài 50 cm và được quay đều trong mặt phẳng ngang với tốc độ 10 vòng/giây. Lực căng của sợi

VIDOCU.COM

dây là bao nhiêu?

Phân tích: Lực căng dây (T) đóng vai trò là lực hướng tâm.

Giải:

- Đổi đơn vị: m = 200 g = 0.2 kg; r = 50 cm = 0.5 m.

- Tần số góc (tốc độ góc): f = 10 vòng/giây => ω = 2πf = 2π * 10 = 20π rad/s.

- Lực hướng tâm (lực căng dây): F_ht = T = m * ω^2 * r = 0.2 * (20π)^2 * 0.5 ≈ 394.8 N.

2. **Ví dụ 2: Xe vào khúc cua**

Một ô tô khối lượng 1.5 tấn chuyển động qua một khúc cua trên đường phẳng có bán kính 100 m. Giả sử hệ số ma sát nghỉ giữa lốp xe và mặt đường là 0.6. Tính tốc độ tối đa của xe để không bị trượt.

Phân tích: Lực ma sát nghỉ (F_msn) giữa lốp xe và mặt đường đóng vai trò là lực hướng tâm.

Giải:

- Đổi đơn vị: m = 1.5 tấn = 1500 kg.

- Để xe không bị trượt, lực hướng tâm cần thiết phải nhỏ hơn hoặc bằng lực ma sát nghỉ cực đại: F_ht ≤ F_msn(max).

- m * (v^2 / r) ≤ μ_n * N = μ_n * m * g.

- v^2 ≤ μ_n * g * r => v ≤ sqrt(μ_n * g * r).

- v_max = sqrt(0.6 * 9.8 * 100) ≈ 24.25 m/s (khoảng 87.3 km/h).

Vidocu.com

2. Ứng dụng: Chuyển Động Của Vệ Tinh Nhân Tạo

Chuyển động của các vệ tinh nhân tạo, Mặt Trăng quanh Trái Đất, hoặc các hành tinh quanh Mặt Trời là những ví dụ điển hình của chuyển động tròn dưới tác dụng của lực hướng tâm. Trong trường hợp này, lực hấp dẫn đóng vai trò là lực hướng tâm.

a. Lực hấp dẫn là Lực Hướng Tâm

Đối với một vệ tinh khối lượng m bay ở độ cao h so với mặt đất, quay quanh Trái Đất khối lượng M theo quỹ đạo tròn bán kính r = R + h (với R là bán kính Trái Đất), lực hấp dẫn của Trái Đất tác dụng lên vệ tinh chính là lực hướng tâm.

F_hd = F_ht

=>G * (M * m / r^2) = m * (v^2 / r)

Trong đó:

- **G:** Hằng số hấp dẫn, G ≈ 6.67 * 10^-11 N.m²/kg²
- **M:** Khối lượng Trái Đất, M ≈ 5.97 * 10^24 kg
- **R:** Bán kính Trái Đất, R ≈ 6400 km = 6.4 * 10^6 m
- **m:** Khối lượng vệ tinh (kg)
- **r:** Bán kính quỹ đạo (m), r = R + h
- **h:** Độ cao của vệ tinh so với mặt đất (m)

VIDOCU.COM

b. Vận tốc quỹ đạo của vệ tinh (Tốc độ vũ trụ cấp 1)

Từ phương trình trên, ta có thể rút gọn m ở cả hai vế và rút ra công thức tính tốc độ dài của vệ tinh:

v = sqrt(G * M / r)

Nhận xét: Tốc độ của vệ tinh chỉ phụ thuộc vào khối lượng của Trái Đất (M) và bán kính quỹ đạo (r), không phụ thuộc vào khối lượng của vệ tinh (m). Vệ tinh bay càng xa Trái Đất (r càng lớn) thì tốc độ càng nhỏ.

Ví dụ: Tính tốc độ của Trạm Vũ trụ Quốc tế (ISS), biết trạm bay ở độ cao h = 400 km.

Giải:

- Bán kính quỹ đạo: r = R + h = 6400 + 400 = 6800 km = 6.8 * 10^6 m.

- Tốc độ của ISS: v = sqrt((6.67 * 10^-11 * 5.97 * 10^24) / (6.8 * 10^6)) ≈ 7668 m/s ≈ 7.67 km/s.

c. Chu kì quay của vệ tinh

Chu kì (T) là thời gian để vệ tinh quay hết một vòng quanh Trái Đất. Ta có mối liên hệ giữa tốc độ dài và chu kì: v = (2πr) / T.

Thay biểu thức của v vào, ta được:

(2πr) / T = sqrt(G * M / r)

=>**T = 2π * sqrt(r^3 / (G * M))**

VIDOCU.COM

Ví dụ: Tính chu kì quay của ISS từ ví dụ trên.

Giải:

- Sử dụng r = 6.8 * 10^6 m.

- T = 2π * sqrt((6.8 * 10^6)^3 / (6.67 * 10^-11 * 5.97 * 10^24)) ≈ 5560 s ≈ 92.7 phút.

d. Vệ tinh địa tĩnh

Vệ tinh địa tĩnh là một trường hợp đặc biệt của vệ tinh nhân tạo, có các đặc điểm sau:

- Quay trong mặt phẳng xích đạo của Trái Đất.
- Có chu kì quay bằng chu kì tự quay của Trái Đất (T = 24 giờ).
- Do đó, vệ tinh dường như "đứng yên" tại một vị trí cố định trên bầu trời khi quan sát từ mặt đất.

Ví dụ: Tính độ cao của vệ tinh địa tĩnh.

Giải:

- Chu kì: T = 24 giờ = 24 * 3600 = 86400 s.

- Từ công thức chu kì, ta tính bán kính quỹ đạo r:

$T^2 = (4\pi^2 * r^3) / (G * M) \Rightarrow r = \sqrt[3]{((G * M * T^2) / (4\pi^2))}$.

$r = \sqrt[3]{((6.67 * 10^{-11} * 5.97 * 10^{24} * 86400^2) / (4\pi^2))} \approx 4.22 * 10^7$ m = 42200 km.

- Độ cao của vệ tinh: h = r - R = 42200 - 6400 = 35800 km.

VIDOCU.COM

3. Bảng Tóm Tắt Các Trường Hợp Lực Hướng Tâm Thường Gặp

Chuyển động	Vật chuyển động	Bản chất của Lực Hướng Tâm
Vật buộc vào dây quay tròn	Vật	Lực căng dây
Xe chạy trên khúc cua tròn, phẳng	Xe	Lực ma sát nghỉ giữa lốp xe và mặt đường
Vệ tinh quay quanh hành tinh	Vệ tinh	Lực hấp dẫn giữa vệ tinh và hành tinh
Electron quay quanh hạt nhân nguyên tử (mô hình hành tinh nguyên tử)	Electron	Lực tĩnh điện (lực Coulomb) giữa electron và hạt nhân

VIDOCU