

Động Lực Học

Người trình bày: Carina



1. Tương tác vật lý

1.1 Động lượng

1.2 Nguyên lý tương đối

2. Ba định luật của Newton

2.1 Định luật I

2.2 Định luật II

2.3 Định luật III

3. Các lực

3.1 Các lực cơ bản

3.2 Các lực vĩ mô

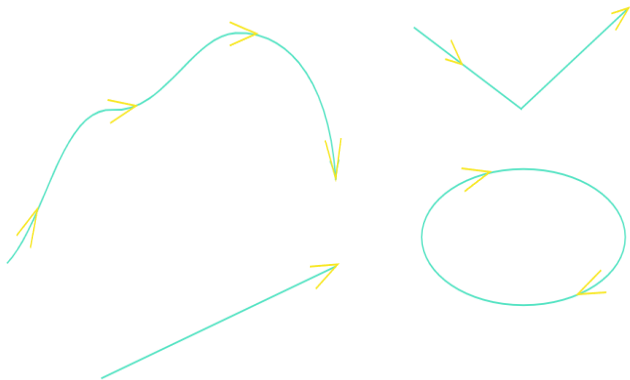
4. Phương pháp

4.1 Ba bước giải quyết bài toán

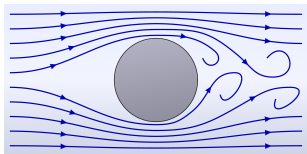
4.2 Ví dụ 1

4.3 Ví dụ 2

Sự thay đổi chuyển động



Tương tác gần và xa (góc nhìn cổ điển)





Định lượng tính chất của quán tính: *khối lượng*.

Bảo toàn khối lượng:

$$m_1 + m_2 = \text{const.}$$

Thực nghiệm chứng tỏ

$$\frac{|\Delta \mathbf{v}_1|}{|\Delta \mathbf{v}_2|} = \frac{m_2}{m_1}.$$

Dạng vector:

$$m_1 \Delta \mathbf{v}_1 = -m_2 \Delta \mathbf{v}_2.$$

Động lượng:

$$\mathbf{p} = m\mathbf{v}.$$

Bảo toàn động lượng:

$$\Delta(\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2) = \mathbf{0}.$$

1. Tương tác vật lý

1.1 Động lượng

1.2 Nguyên lý tương đối

2. Ba định luật của Newton

2.1 Định luật I

2.2 Định luật II

2.3 Định luật III

3. Các lực

3.1 Các lực cơ bản

3.2 Các lực vĩ mô

4. Phương pháp

4.1 Ba bước giải quyết bài toán

4.2 Ví dụ 1

4.3 Ví dụ 2

Nguyên lý tương đối Galilei

Mọi hiện tượng cơ học trong những hệ quy chiếu quán tính khác nhau đều xảy ra một cách giống nhau.

Hay,

Mọi hiện tượng cơ học đều xảy ra giống nhau trong những hệ quy chiếu mà trong đó gia tốc của một vật là như nhau.

Hệ quy chiếu chuyển động thẳng đều trong một hệ quy chiếu quán tính là một hệ quy chiếu quán tính.

Ví dụ: các thí nghiệm trên một đoàn tàu

Vận tốc $v = 0$, $a = 0m/s^2$:

- ▶ $\frac{|\Delta \mathbf{v}_1|}{|\Delta \mathbf{v}_2|} = \frac{m_2}{m_1}$.
- ▶ Quả táo rơi thẳng đứng với thời gian τ .

Vận tốc $v = 100m/s$, $a = 0m/s^2$:

- ▶ $\frac{|\Delta \mathbf{v}_1|}{|\Delta \mathbf{v}_2|} = \frac{m_2}{m_1}$.
- ▶ Quả táo rơi thẳng đứng với thời gian τ .

Gia tốc $a = 2m/s^2$:

- ▶ $\frac{|\Delta \mathbf{v}_1|}{|\Delta \mathbf{v}_2|} \neq \frac{m_2}{m_1}$.
- ▶ Quả táo rơi chéo với thời gian τ .

Vậy, gia tốc với tương tác vật lý có liên hệ gì?



1. Tương tác vật lý

1.1 Động lượng

1.2 Nguyên lý tương đối

2. Ba định luật của Newton

2.1 Định luật I

2.2 Định luật II

2.3 Định luật III

3. Các lực

3.1 Các lực cơ bản

3.2 Các lực vĩ mô

4. Phương pháp

4.1 Ba bước giải quyết bài toán

4.2 Ví dụ 1

4.3 Ví dụ 2

Định luật quán tính

Định luật I

Một vật thể sẽ chuyển động với vận tốc không đổi (có thể bằng không) cho tới khi chịu tác động của vật khác.

Hệ quy chiếu quán tính

Tồn tại một hệ quy chiếu sao cho một vật không chịu tác động của vật khác sẽ chuyển động với vận tốc không đổi (có thể bằng 0).



1. Tương tác vật lý

1.1 Động lượng

1.2 Nguyên lý tương đối

2. Ba định luật của Newton

2.1 Định luật I

2.2 Định luật II

2.3 Định luật III

3. Các lực

3.1 Các lực cơ bản

3.2 Các lực vĩ mô

4. Phương pháp

4.1 Ba bước giải quyết bài toán

4.2 Ví dụ 1

4.3 Ví dụ 2

Định lượng cho sự tương tác

- ▶ Động lượng của một vật chịu tác động của các vật khác sẽ thay đổi.
- ▶ Sự thay đổi này có thể diễn ra liên tục.
- ▶ Có thể coi quá trình tương tác liên tục này là một chuỗi va chạm liên tục giữa các vật :

$$\Delta \mathbf{p} = \Delta \mathbf{p}_1 + \Delta \mathbf{p}_2 + \cdots .$$

- ▶ Định lượng khái niệm tương tác vật lý:

$$\mathbf{F} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{p}}{\Delta t}.$$

Lực

Biến thiên động lượng theo thời gian của vật thể bằng lực tác dụng lên vật thể:

$$\mathbf{F} = \frac{d\mathbf{p}}{dt}. \quad (1)$$

Phát biểu này đúng trong các hệ quy chiếu quán tính với sự thừa nhận lực mà một vật thể tác dụng lên một vật thể khác là bất biến trong mọi hệ quy chiếu.

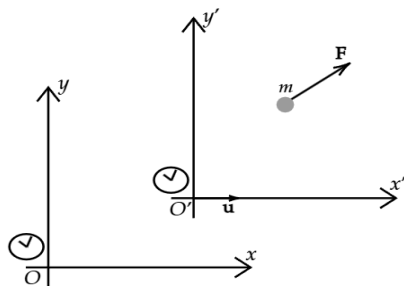
Với giới hạn khối lượng không đổi,

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}. \quad (2)$$

Thoả mãn định luật I: Trong một hệ quy chiếu quán tính, $\mathbf{a} = \mathbf{0}$ khi $\mathbf{F} = \mathbf{0}$.

Định luật II Newton và nguyên lý tương đối Galilei

Nguyên lý tương đối Galilei: *Các phương trình động lực học không biến đổi khi chuyển từ hệ quy chiếu quán tính này sang hệ quy chiếu quán tính khác.*



Hình: $\mathbf{F} = m\mathbf{a} = m\mathbf{a}'$

Không gian tương đối: khoảng cách giữa hai sự kiện phụ thuộc vào hệ quy chiếu

$$x'_2 - x'_1 = (x_2 - x_1) - u(t_2 - t_1)$$

Thời gian tuyệt đối: khoảng thời gian giữa hai sự kiện không phụ thuộc vào hệ quy chiếu

$$t'_2 - t'_1 = t_2 - t_1.$$

1. Tương tác vật lý

1.1 Động lượng

1.2 Nguyên lý tương đối

2. Ba định luật của Newton

2.1 Định luật I

2.2 Định luật II

2.3 Định luật III

3. Các lực

3.1 Các lực cơ bản

3.2 Các lực vĩ mô

4. Phương pháp

4.1 Ba bước giải quyết bài toán

4.2 Ví dụ 1

4.3 Ví dụ 2

Với mỗi lực tác động lên một vật thể, có một lực bằng và ngược chiều tác động lên vật thể khác.

$$\mathbf{F}_{ij} = -\mathbf{F}_{ji}. \quad (3)$$

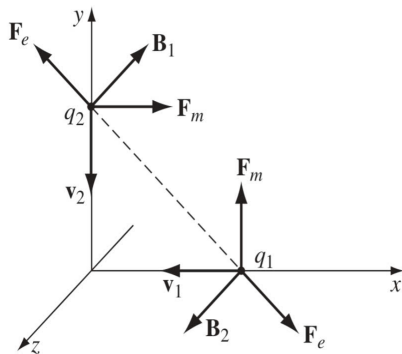
Trong va chạm giữa hai vật

$$\frac{d\mathbf{p}_{total}}{dt} = \frac{d(\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2)}{dt} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2.$$

Với $\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2$, ta thu được phương trình bảo toàn động lượng.

Định luật này nghiệm đúng với tương tác tiếp xúc(gần) và tương tác xa của các vật đứng yên hoặc chuyển động với vận tốc $v \ll c$.

Động lượng của trường điện từ



Hình: Định luật III Newton bị vi phạm

Phương trình động lực học trong trường hợp này

$$\frac{d}{dt} \left(\mathbf{p} + \int_V c^{-2} \mathbf{S} d\tau \right) = \oint_S \mathbf{T} \cdot d\mathbf{a},$$

với $\mathbf{S} = \mu_0^{-1} \mathbf{E} \times \mathbf{B}$ gọi là vector Poynting. Mật độ động lượng của trường được định nghĩa là

$$\mathbf{g} = c^{-2} \mathbf{S}.$$

Tích phân $\int_V \mathbf{g} d\tau$ được gọi là *động lượng được lưu trữ trong trường điện từ*.

1. Tương tác vật lý

1.1 Động lượng

1.2 Nguyên lý tương đối

2. Ba định luật của Newton

2.1 Định luật I

2.2 Định luật II

2.3 Định luật III

3. Các lực

3.1 Các lực cơ bản

3.2 Các lực vĩ mô

4. Phương pháp

4.1 Ba bước giải quyết bài toán

4.2 Ví dụ 1

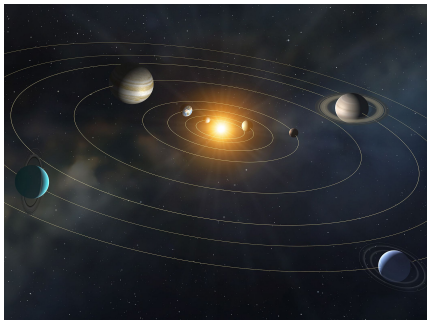
4.3 Ví dụ 2

Định luật vạn vật hấp dẫn

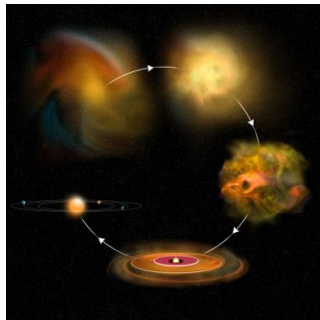
Lực hấp dẫn là lực tương tác giữa hai vật có khối lượng, có độ lớn được mô tả bởi công thức:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (4)$$

trong đó G là hằng số hấp dẫn, m_1 và m_2 là khối lượng của hai chất điểm, và r là khoảng cách giữa chúng.



Hình: Các hành tinh quay quanh Mặt Trời



Hình: Sự hình thành sao và các hành tinh

Lực hấp dẫn

Ở một nơi trên bề mặt trái đất, trọng lực đối với một vật gần như không đổi, có chiều hướng từ trên xuống dưới mặt đất.

Lực này có giá trị bằng:

$$F = mg \quad (5)$$

trong đó F là lực hấp dẫn, m là khối lượng của vật, và g là gia tốc trọng trường (khoảng 9.81 m/s^2 trên bề mặt Trái Đất).

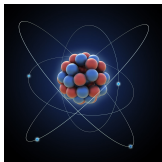


Hình: Quả táo của Newton rơi do trọng lực

Lực điện từ là lực tương tác giữa các hạt mang điện. Lực này bao gồm lực tĩnh điện, chịu trách nhiệm cho sự hút/đẩy của các điện tích trái dấu/cùng dấu; và lực từ do các điện tích chuyển động tạo ra.

Định luật Lorentz

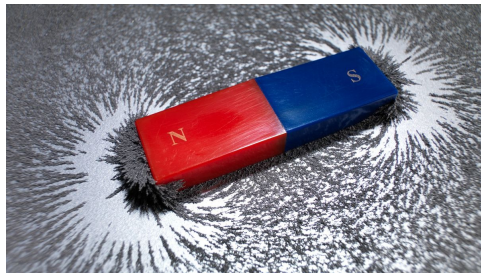
$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}).$$



Hình: Liên kết giữa các nguyên tử, phân tử



Hình: Sấm sét



Hình: Nam châm hút vụn sắt

1. Tương tác vật lý

1.1 Động lượng

1.2 Nguyên lý tương đối

2. Ba định luật của Newton

2.1 Định luật I

2.2 Định luật II

2.3 Định luật III

3. Các lực

3.1 Các lực cơ bản

3.2 Các lực vĩ mô

4. Phương pháp

4.1 Ba bước giải quyết bài toán

4.2 Ví dụ 1

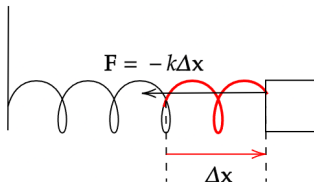
4.3 Ví dụ 2

Lực đàn hồi

Lực đàn hồi xuất hiện khi một vật bị biến dạng và có xu hướng trở về hình dạng ban đầu. Đối với biến dạng không quá lớn, lực này tuân theo định luật Hooke:

$$F = -k\Delta x \quad (6)$$

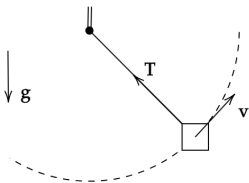
trong đó F là lực đàn hồi, k là hằng số đàn hồi, và Δx là độ biến dạng.



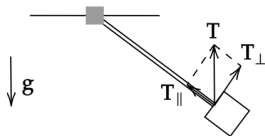
Hình: Lực đàn hồi của lò xo

Lực căng

Đối với các vật có hệ số đàn hồi rất lớn, tuy biến dạng nhỏ có thể không quan sát được nhưng vẫn có lực đàn hồi. Lực này gọi là **lực căng**, thường kí hiệu là T .



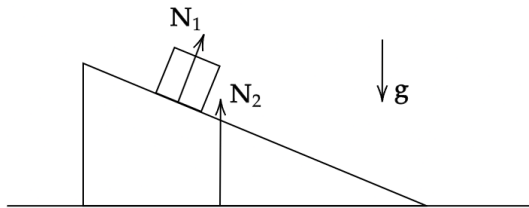
- ▶ Lực căng dây T chống lại chuyển động theo phương song song với dây.



- ▶ Lực căng thanh T_{\parallel} chống lại chuyển động theo phương song song với thanh.
- ▶ Lực căng thanh T_{\perp} chống lại sự bẻ cong của thanh.

Phản lực pháp tuyến

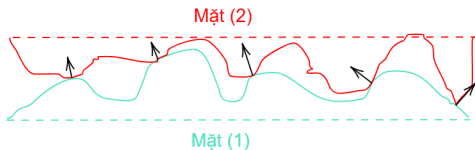
Các mặt phẳng có thể sinh ra lực theo phương pháp tuyến với nó để chống lại sự chuyển động theo phương vuông góc với mặt phẳng này. Lực này được gọi là **phản lực pháp tuyến**.



Hình: Phản lực pháp tuyến của các mặt phẳng

Lực ma sát khô

Các khuyết tật trên bề mặt có thể sinh ra phản lực theo phương song song với các bề mặt này khi chúng tiếp xúc với nhau. Lực này được gọi là **lực ma sát**.

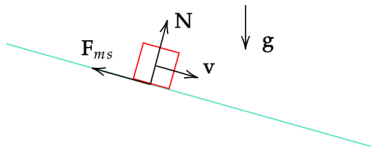


Hình: Lực ma sát giữa các bề mặt tiếp xúc

Lực ma sát khô thường tỉ lệ thuận với phản lực pháp tuyến giữa hai bề mặt:

$$F_{ms} = \mu N \quad (7)$$

trong đó F_{ms} là lực ma sát, μ là hệ số ma sát, và N là phản lực pháp tuyến.



Hình: Lực ma sát giữa vật và mặt phẳng nghiêng

1. Tương tác vật lý

1.1 Động lượng

1.2 Nguyên lý tương đối

2. Ba định luật của Newton

2.1 Định luật I

2.2 Định luật II

2.3 Định luật III

3. Các lực

3.1 Các lực cơ bản

3.2 Các lực vĩ mô

4. Phương pháp

4.1 Ba bước giải quyết bài toán

4.2 Ví dụ 1

4.3 Ví dụ 2

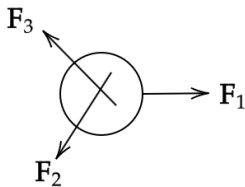
Bước 1: Quan sát, phân tích thông tin và thiết lập mô hình (nếu cần)

- ▶ Điều cần tìm là gì? Mỗi liên hệ nào chưa biết?
- ▶ Có những thông tin nào quan trọng? Những kiến thức nào có thể sử dụng?
- ▶ Dự đoán hiện tượng.
- ▶ Tìm cách biến chúng thành phương trình toán học, thiết lập mô hình (nếu cần).
- ▶ Những đại lượng nào liên quan? Có thể sử dụng phân tích thứ nguyên để dự đoán mỗi liên hệ không?

Ba bước giải quyết bài toán

Bước 2: Xử lý bài toán

- ▶ Khảo sát biểu đồ vật tự do.
- ▶ Dựa vào các thông tin có được (liên kết, định luật, định lý, xấp xỉ...) thiết lập số phương trình tương ứng với số ẩn.
- ▶ Giải toán.



Hình: Biểu đồ vật tự do

Bước 3: Kiểm tra và đánh giá

- ▶ Kiểm tra thứ nguyên của kết quả.
- ▶ Đối chiếu với các trường hợp đặc biệt, giới hạn.
- ▶ Quá trình làm có sai sót không? Mô hình lựa chọn có đáng tin cậy không?
- ▶ Cách tiếp cận cho bài toán là đặc biệt và duy nhất hay có thể đáp ứng cho một loạt các bài toán khác?
- ▶ Nhận xét ý nghĩa vật lý của lời giải và thử lý giải một cách trực giác.

1. Tương tác vật lý

1.1 Động lượng

1.2 Nguyên lý tương đối

2. Ba định luật của Newton

2.1 Định luật I

2.2 Định luật II

2.3 Định luật III

3. Các lực

3.1 Các lực cơ bản

3.2 Các lực vĩ mô

4. Phương pháp

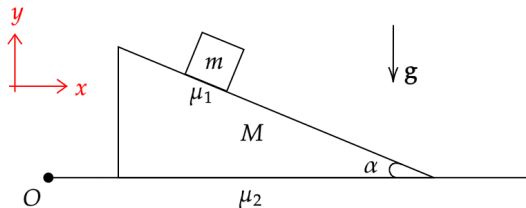
4.1 Ba bước giải quyết bài toán

4.2 Ví dụ 1

4.3 Ví dụ 2

Ví dụ 1

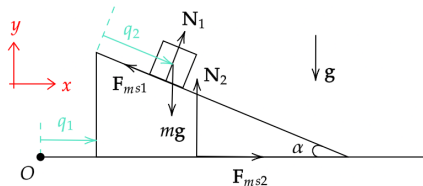
Trên một cái nêm khối lượng M có góc nghiêng α so với mặt đất đặt một vật có khối lượng m . Hệ số ma sát giữa vật và nêm là μ_1 , giữa nêm và mặt đất là μ_2 . Tìm gia tốc của vật và nêm.



Hình: Hệ nêm và vật

Ví dụ 1

Bước 1: Lựa chọn hệ tọa độ phù hợp, phân tích lực.



Bước 2: Thiết lập hệ 6 phương trình 6 ẩn N_1 , N_2 , F_{ms1} , F_{ms2} , q_1 , q_2 .

$$\begin{cases} F_{ms1} + N_1 + mg = ma_1 \\ -F_{ms1} + mg \sin \alpha = m(\ddot{q}_2 + \ddot{q}_1 \cos \alpha) \\ N_1 - mg \cos \alpha = m\ddot{q}_1 \sin \alpha \end{cases}$$

$$\begin{cases} -N_1 - F_{ms1} + N_2 + F_{ms2} + Mg = Ma_2 \\ -N_1 \cos \alpha - F_{ms1} \sin \alpha + N_2 - Mg = 0 \\ -N_1 \sin \alpha + F_{ms1} \cos \alpha + F_{ms2} = M\ddot{q}_1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} F_{ms1} = \mu_1 N_1 \\ F_{ms2} = \mu_2 N_2 \end{cases}$$



Ví dụ 1

Giải hệ phương trình trên ta được:

$$\ddot{q}_1 = \frac{-g [M(\mu_1 \cos \alpha + \mu_2 - \sin \alpha) + m \cos \alpha (\mu_1 \cos \alpha + \mu_2 \cos \alpha + \mu_1 \mu_2 \sin \alpha - \sin \alpha)]}{M(\cos \alpha + \mu_1 \sin \alpha) + m \sin \alpha [(\mu_1 + \mu_2) \cos \alpha + \mu_1 \mu_2 \sin \alpha - \sin \alpha]}$$

$$\ddot{q}_2 = \frac{g [M(\mu_2 \cos \alpha + \mu_1 \mu_2 \sin \alpha) + m((\mu_1 + \mu_2) \cos \alpha + \mu_1 \mu_2 \sin \alpha - \sin \alpha)]}{M(\cos \alpha + \mu_1 \sin \alpha) + m \sin \alpha [(\mu_1 + \mu_2) \cos \alpha + \mu_1 \mu_2 \sin \alpha - \sin \alpha]}$$

Bước 3: Kiểm tra và đánh giá

- ▶ Kiểm tra thứ nguyên: $[ML^2T^{-2}]$ của gia tốc.
- ▶ Việc gọi ra các lực liên kết như N_1 , N_2 có thể áp dụng cho nhiều bài toán khác.



1. Tương tác vật lý

1.1 Động lượng

1.2 Nguyên lý tương đối

2. Ba định luật của Newton

2.1 Định luật I

2.2 Định luật II

2.3 Định luật III

3. Các lực

3.1 Các lực cơ bản

3.2 Các lực vĩ mô

4. Phương pháp

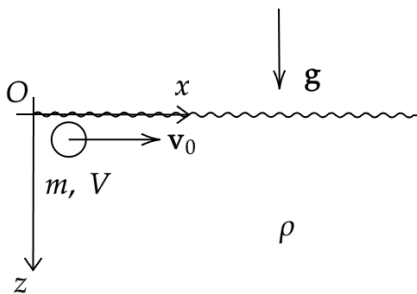
4.1 Ba bước giải quyết bài toán

4.2 Ví dụ 1

4.3 Ví dụ 2

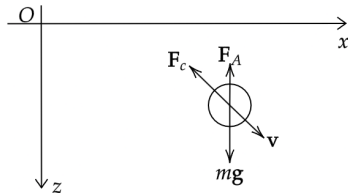
Ví dụ 2

Một quả cầu có khối lượng m , thể tích V được nhúng trong một chất lỏng có khối lượng riêng ρ . Khi di chuyển ở trong chất lỏng, vật chịu một lực cản nhớt $\mathbf{F}_c = -k\mathbf{v}$. Biết rằng ban đầu vật xuất phát tại gốc tọa độ với vận tốc \mathbf{v}_0 theo phương x . Tìm tọa độ của vật theo thời gian. Coi v_0 là đủ nhỏ để hợp lực gây bởi áp suất tác dụng lên vật gần đúng bằng lực đẩy Archimedes.



Ví dụ 2

Bước 1: Phân tích lực.



Bước 2: Thiết lập hệ phương trình 2 ẩn x, y từ $m\mathbf{a} = \mathbf{F}_c + \mathbf{F}_A + m\mathbf{g}$.

$$\text{Phương } x: \begin{cases} m\ddot{x} = -k\dot{x}. \\ m \int_{v_0}^{\dot{x}} \frac{d\dot{x}}{\dot{x}} = -k \int_0^t dt. \\ \dot{x} = v_0 \exp\left(\frac{-kt}{m}\right). \end{cases}$$

$$\text{Phương } z: \begin{cases} m\ddot{z} = -\rho gV + mg - k\dot{z}. \\ m \int_0^{\dot{z}} \frac{d(k\dot{z} + \rho gV - mg)}{k\dot{z} + \rho gV - mg} = -k \int_0^t dt. \\ \dot{z} = \left(\frac{mg - \rho gV}{k}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{kt}{m}\right)\right]. \end{cases}$$

Tích phân theo thời gian 2 phương trình trên:

$$x(t) = \frac{m}{k} v_0 \left(1 - \exp \left(-\frac{kt}{m} \right) \right).$$

$$z(t) = \frac{mg - \rho g V}{k} t - \frac{m}{k} \left(\frac{mg - \rho g V}{k} \right) \left[1 - \exp \left(-\frac{kt}{m} \right) \right].$$

Bước 3: Kiểm tra và đánh giá

- ▶ Kiểm tra thứ nguyên: $[L]$ của tọa độ.
- ▶ Khi $m \rightarrow \infty$ hoặc $k \rightarrow 0$, từ khai triển Taylor: $x(t) \approx v_0 t$ và $z(t) \approx \frac{1}{2} g t^2$.
- ▶ Khi trọng lực bằng lực đẩy Archimedes: $z(t) = 0$.

- [1] I.V.Savelyev, *Giáo trình vật lý đại cương tập 1*. Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp, 1988.
- [2] D. Morin, *Introduction to classical mechanics: with problems and solutions*. Cambridge University Press, 2008.
- [3] J. .-. M. Brébec, *PFIEV Cơ học 1*. NXB Giáo dục, 2015.