

LỜI NÓI ĐẦU

Giáo trình Vật lý đại cương 1 được biên soạn theo chương trình hiện hành, dùng cho sinh viên hệ đại học công nghệ và đại học sư phạm của trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Nam Định.

Giáo trình gồm 7 chương được chia thành 2 phần Cơ học và Nhiệt học. Phần Cơ học gồm các chương: Động học chất điểm; Động lực học chất điểm và hệ chất điểm - động lực học vật rắn; Năng lượng - trường hấp dẫn; Thuyết tương đối hẹp Einstein. Phần Nhiệt học gồm các chương: Mở đầu; Nguyên lý thứ nhất nhiệt động học; Nguyên lý thứ hai nhiệt động học.

Giáo trình này được biên soạn với mục đích trợ giúp đắc lực cho sinh viên trong quá trình đào tạo theo học chế tín chỉ, do đó có một số phần chúng tôi đưa vào để sinh viên tự nghiên cứu. Sau mỗi chương đều có phần tổng kết chương, hệ thống câu hỏi lý thuyết và bài tập giúp người học củng cố kiến thức, tự kiểm tra, đánh giá kết quả quá trình học tập của mình.

Giáo trình được biên soạn lần đầu nên không tránh khỏi những thiếu sót, các tác giả rất mong nhận được những ý kiến đóng góp của bạn đọc để giáo trình được hoàn thiện hơn.

Nam Định, 2010

Các tác giả

MỤC LỤC

PHẦN I: CƠ HỌC	7
<i>Chương 1. ĐỘNG HỌC CHẤT ĐIỂM</i>	7
1.1. NHỮNG KHÁI NIỆM MỞ ĐẦU.....	7
1.1.1. Chuyển động và hệ qui chiếu.....	7
1.1.2. Chất điểm và hệ chất điểm.....	8
1.1.3. Phương trình chuyển động của chất điểm.....	8
1.2. VẬN TỐC.....	10
1.2.1. Khái niệm vận tốc.....	10
1.2.2. Vector vận tốc trong hệ tọa độ Descartes.....	11
1.3. GIA TỐC.....	12
1.3.1. Khái niệm vector gia tốc.....	12
1.3.2. Gia tốc tiếp tuyến và gia tốc pháp tuyến.....	13
1.4. MỘT SỐ DẠNG CHUYỂN ĐỘNG ĐẶC BIỆT.....	16
1.4.1. Chuyển động thẳng ($a_n = 0$).....	16
1.4.2. Chuyển động tròn.....	16
1.4.3. Chuyển động ném xiên.....	19
<i>Chương 2. ĐỘNG LỰC HỌC CHẤT ĐIỂM VÀ HỆ CHẤT ĐIỂM. ĐỘNG LỰC HỌC VẬT RẮN</i>	27
2.1. CÁC ĐỊNH LUẬT NEWTON.....	27
2.1.1. Định luật Newton thứ nhất.....	27
2.1.2. Định luật Newton thứ hai.....	27
2.1.3. Phương trình cơ bản của động lực học chất điểm.....	28
2.1.4. Định luật Newton thứ ba.....	28
2.2. ỨNG DỤNG PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN CỦA CƠ HỌC ĐỀ KHẢO SÁT CHUYỂN ĐỘNG CỦA CÁC VẬT.....	29
2.2.1. Các lực liên kết.....	29
2.3.2. Một số bài toán cơ bản của động lực học chất điểm.....	30
2.3. CHUYỂN ĐỘNG TƯƠNG ĐỐI VÀ NGUYÊN LÝ TƯƠNG ĐỐI GALILEO.....	34
2.3.1. Không gian và thời gian theo cơ học cổ điển.....	34
2.3.2. Tổng hợp vận tốc và gia tốc.....	35

2.3.3. Nguyên lý tương đối Galilê	36
2.3.4. Lực quán tính	36
2.4. CÁC ĐỊNH LÝ VỀ ĐỘNG LƯỢNG.....	37
2.4.1. Thiết lập các định lý về động lượng	38
2.4.2. Ý nghĩa của động lượng và xung lượng	39
2.5. ĐỊNH LUẬT BẢO TOÀN ĐỘNG LƯỢNG.....	40
2.5.1. Định luật bảo toàn động lượng	40
2.5.2. Bảo toàn động lượng theo một phương	41
2.5.3. Ứng dụng định luật bảo toàn động lượng	42
2.6. KHỐI TÂM.....	44
2.6.1. Khối tâm của hệ chất điểm	44
2.6.2. Vận tốc của khối tâm	45
2.6.3. Phương trình chuyển động của khối tâm.....	46
2.7. MÔMEN ĐỘNG LƯỢNG CỦA CHẤT ĐIỂM VÀ HỆ CHẤT ĐIỂM .	47
2.7.1. Mômen của một vector với một điểm.....	47
2.7.2. Định lý về mômen động lượng.....	47
2.7.3. Mômen động lượng của một hệ chất điểm	49
2.7.4. Định lý về mômen động lượng của hệ chất điểm.....	50
2.8. ĐỊNH LUẬT BẢO TOÀN MÔMEN ĐỘNG LƯỢNG	51
2.8.1. Định luật bảo toàn mômen động lượng	51
2.8.2. Ứng dụng của định luật bảo toàn mômen động lượng	52
2.9. CHUYỂN ĐỘNG CỦA VẬT RẮN - PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN CỦA CHUYỂN ĐỘNG QUAY CỦA VẬT RẮN QUANH MỘT TRỤC CỐ ĐỊNH..	54
2.9.1. Chuyển động tịnh tiến.....	54
2.9.2. Chuyển động quay	56
2.9.3. Phương trình động lực học cơ bản của vật rắn quay quanh một trục cố định	58
2.9.4. Mômen quán tính của vật rắn quay	60
2.9.5. Áp dụng phương trình cơ bản trong chuyển động quay để khảo sát chuyển động của cơ hệ	63
Chương 3. NĂNG LƯỢNG - TRƯỜNG HẤP DẪN.....	76
3.1. CÔNG VÀ CÔNG SUẤT.....	76
3.1.1. Công.....	76

3.1.2. Công suất của lực	77
3.1.3. Công và công suất của lực trong chuyển động quay của vật rắn	78
3.2. NĂNG LƯỢNG	80
3.2.1. Năng lượng.....	80
2. Định luật bảo toàn và chuyển hóa năng lượng.....	81
3.3 ĐỘNG NĂNG	82
3.3.1. Định nghĩa.....	82
3.3.2. Biểu thức của động năng, định lý về động năng.....	82
3.3.3. Động năng của vật rắn quay.....	83
3.4. TRƯỜNG LỰC THỂ	85
3.4.1 Trường lực thể.....	85
3.4.2 Thí dụ về trường lực thể.....	85
3.5. THỂ NĂNG.....	88
3.5.1. Định nghĩa.....	88
3.5.2. Tính chất.....	89
3.5.3. Ý nghĩa của thể năng.....	89
3.6. ĐỊNH LUẬT BẢO TOÀN CƠ NĂNG TRONG TRƯỜNG LỰC THỂ.....	90
3.6.1. Cơ năng và định luật bảo toàn cơ năng.....	90
3.6.2. Sơ đồ thể năng.....	91
3.7. VA CHẠM GIỮA CÁC VẬT	92
3.7.1. Va chạm đàn hồi	93
3.7.2. Va chạm mềm	94
3.8. ĐỊNH LUẬT NEWTON VỀ LỰC HẤP DẪN VŨ TRỤ.....	94
3.8.1. Định luật Newton về lực vạn vật hấp dẫn.....	94
3.8.2. Thí dụ	95
3.9. TRƯỜNG HẤP DẪN	97
3.9.1. Khái niệm.....	97
3.9.2. Định luật bảo toàn mômen động lượng của trường hấp dẫn.	97
3.9.3. Tính chất thể của trường hấp dẫn.....	98
3.9.4. Định luật bảo toàn cơ năng trong trường hấp dẫn	98
3.10. CHUYỂN ĐỘNG TRONG TRƯỜNG HẤP DẪN CỦA QUẢ ĐẤT.....	98
3.10.1. Vận tốc vũ trụ cấp 1	98
3.10.2. Vận tốc vũ trụ cấp 2	99

<i>Chương 4. THUYẾT TƯƠNG ĐỐI HẸP EINSTEIN</i>	107
4.1. CÁC TIỀN ĐỀ EINSTEIN	107
4.1.1. Nguyên lý tương đối:	107
4.1.2. Nguyên lý về sự bất biến của vận tốc ánh sáng:.....	107
4.2. ĐỘNG HỌC TƯƠNG ĐỐI TÍNH. PHÉP BIẾN ĐỔI LORENTZ	107
4.2.1. Sự mâu thuẫn của phép biến đổi Galileo với thuyết tương đối Einstein	107
4.2.2. Phép biến đổi Lorentz.....	109
4.3. CÁC HỆ QUẢ CỦA PHÉP BIẾN ĐỔI LORENTZ	111
4.3.1. Khái niệm về tính đồng thời và quan hệ nhân quả	111
4.3.2. Sự co ngắn của độ dài theo phương chuyển động	112
4.3.3. Sự chậm lại của đồng hồ chuyển động (sự giãn của thời gian)	113
4.3.4. Phép biến đổi vận tốc.....	114
4.4. ĐỘNG LỰC HỌC TƯƠNG ĐỐI TÍNH	115
4.4.1. Phương trình cơ bản của chuyển động chất điểm.....	115
 PHẦN 2. NHIỆT HỌC	124
<i>Chương 1. MỞ ĐẦU</i>	125
1.1. THÔNG SỐ TRẠNG THÁI VÀ PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI. ÁP SUẤT VÀ NHIỆT ĐỘ.....	125
1.1.1. Thông số trạng thái và phương trình trạng thái	125
1.1.2. Khái niệm áp suất và nhiệt độ.....	125
1.2. CÁC ĐỊNH LUẬT THỰC NGHIỆM VỀ CHẤT KHÍ	127
1.2.1. Định luật Boiler – Mariot	127
1.2.2. Định luật Gay – Lussac.....	128
1.2.3. Giới hạn ứng dụng của các định luật Boiler – Mariot và Gay – Lussac	128
1.3. PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG.....	129
1.3.1. Khí lý tưởng.....	129
1.3.2. Phương trình trạng thái của khí lý tưởng.....	129
<i>Chương 2. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC</i>	137
2.1. NỘI NĂNG CỦA HỆ NHIỆT ĐỘNG. CÔNG VÀ NHIỆT	137
2.1.1. Hệ nhiệt động.....	137
2.1.2. Nội năng.....	137

2.1.3. Công và nhiệt	138
2.2. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC	140
2.2.1. Nguyên lý thứ nhất nhiệt động học	140
2.2.2. Hệ quả	141
2.2.3. Ý nghĩa của nguyên lý thứ nhất	142
2.3. TRẠNG THÁI CÂN BẰNG VÀ QUÁ TRÌNH CÂN BẰNG	142
2.3.1. Định nghĩa	142
2.3.2. Công của áp lực trong quá trình cân bằng	143
2.3.3. Nhiệt trong quá trình cân bằng – nhiệt dung.	144
2.3.4. Nội năng của khí lý tưởng	145
2.4. DÙNG NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT ĐỂ KHẢO SÁT CÁC QUÁ TRÌNH CÂN BẰNG CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG	145
2.4.1. Quá trình đẳng tích	145
2.4.2. Quá trình đẳng áp	146
2.4.3. Quá trình đẳng nhiệt	148
2.4.4. Quá trình đoạn nhiệt	149
<i>Chương 3. NGUYÊN LÝ THỨ HAI NHIỆT ĐỘNG HỌC</i>	157
3.1. NGUYÊN LÝ THỨ HAI NHIỆT ĐỘNG HỌC	157
3.1.1. Những hạn chế của nguyên lý thứ nhất	157
3.1.2. Nguyên lý thứ hai nhiệt động học	158
3.1.3. Quá trình thuận nghịch và không thuận nghịch	158
3.1.4. Máy nhiệt	159
3.1.5. Chu trình Carnot và định lý Carnot	160
3.2. BIỂU THỨC ĐỊNH LƯỢNG CỦA NGUYÊN LÝ THỨ HAI	164
3.3. HÀM ENTROPY VÀ NGUYÊN LÝ TĂNG ENTROPY	165
3.3.1. Hàm Entropy	165
3.3.2. Nguyên lý tăng entropy	167

PHẦN I: CƠ HỌC

Chương 1. ĐỘNG HỌC CHẤT ĐIỂM

Động học nghiên cứu các đặc trưng của chuyển động cơ học (phương trình chuyển động, phương trình quỹ đạo, quãng đường dịch chuyển, vận tốc, gia tốc) nhưng không xét đến nguyên nhân gây ra sự thay đổi trạng thái chuyển động.

1.1. NHỮNG KHÁI NIỆM MỞ ĐẦU

1.1.1. Chuyển động và hệ qui chiếu

a. Chuyển động

Chuyển động của một vật là sự chuyển dời vị trí của vật đó đối với các vật khác trong không gian theo thời gian.

b. Hệ qui chiếu

Muốn xác định được vị trí của một vật chuyển động tại một thời điểm nào đó, ta phải xác định khoảng cách từ vật đó đến vật chọn làm mốc được quy ước là đứng yên. Từ đó người ta đưa ra định nghĩa về hệ qui chiếu.

Hệ qui chiếu gồm:

- *Vật chọn làm mốc gắn với một hệ trục tọa độ để xác định vị trí của vật.*
- *Đồng hồ đo thời gian để xác định thời gian chuyển động.*

Chuyển động của một vật chỉ có *tính chất tương đối* tùy theo hệ qui chiếu được chọn, đối với hệ qui chiếu này nó là chuyển động, nhưng đối với hệ qui chiếu khác nó có thể là đứng yên.

Ví dụ.

Một hành khách đứng yên trên một toa tàu nhưng vì tàu chuyển động đối với ga nên hành khách chuyển động đối với nhà ga.

1.1.2. Chất điểm và hệ chất điểm

a. Chất điểm

Bất kỳ vật nào trong tự nhiên cũng có kích thước xác định. Tuy nhiên, trong nhiều bài toán ta có thể bỏ qua kích thước của vật được khảo sát. Khi đó ta có khái niệm về chất điểm.

Chất điểm là vật có kích thước rất nhỏ không đáng kể so với những khoảng cách, những kích thước mà ta khảo sát.

Như vậy, khái niệm chất điểm chỉ có tính tương đối. Một vật thể được coi là chất điểm không phải do kích thước tuyệt đối của nó xác định mà do tỉ số giữa kích thước tuyệt đối và kích thước của bài toán đang khảo sát quy định.

Ví dụ.

Khi xét chuyển động của Trái Đất quay quanh Mặt Trời ta có thể coi Trái Đất và Mặt trời là những chất điểm mặc dù $R_{TD} \sim 6.10^6 m$, $R_{MT} \sim 7.10^8 m$. Nhưng khoảng cách này rất nhỏ so với khoảng cách giữa tâm Mặt trời và tâm Trái đất cỡ $1,5.10^{11} m$.

Mặt khác, khi nghiên cứu sự quay của Trái đất quanh trục của nó thì ta không thể xem Trái đất là chất điểm.

Khi khảo sát chuyển động của vật được coi là chất điểm có thể bỏ qua sự vận động tương đối với các phần của vật và sự chuyển động tự quay của nó.

b. Hệ chất điểm

Hệ chất điểm là một tập hợp các vật thể mà mỗi vật thể được coi như một chất điểm.

Vật rắn là hệ chất điểm trong đó khoảng cách giữa hai chất điểm bất kì trong hệ không thay đổi trong suốt quá trình chuyển động của hệ.

1.1.3. Phương trình chuyển động của chất điểm

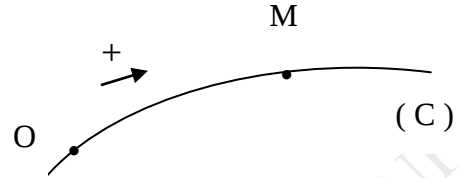
Phương trình chuyển động là phương trình thiết lập sự phụ thuộc quãng đường đi được hoặc vị trí của vật vào thời gian.

Tùy thuộc vào hệ tọa độ mà có các dạng phương trình chuyển động khác nhau.

Phương trình chuyển động trong một số hệ tọa độ thường dùng:

a. Hệ tọa độ cong

Giả sử chất điểm M chuyển động trên một đường cong (C). Trên (C) ta chọn điểm O làm gốc và một chiều dương.



Hình 1.1. Hệ tọa độ cong

Vị trí chất điểm M ở thời điểm t bất kì $OM = s$, với s là hoành độ cong của M.

Phương trình chuyển động của chất điểm M trong hệ tọa độ cong là: $s = s(t)$. (1.1)

b. Hệ tọa độ Descartes

Trong hệ tọa độ Descartes vị trí mà chất điểm M trong không gian sẽ được xác định bằng vector $\overrightarrow{OM}$ có tọa độ x, y, z , trong đó $\overrightarrow{OM}$ là vector bán kính của chất điểm M:

$$\overrightarrow{OM} = \vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}.$$

Khi chất điểm chuyển động, vị trí M thay đổi theo thời gian, các tọa độ x, y, z của M là các hàm của thời gian t:

$$x = x(t), y = y(t), z = z(t),$$

hay: $\vec{r} = \vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$. (1.2)

Các phương trình (1.2) xác định vị trí của chất điểm tại thời điểm t được gọi là *phương trình chuyển động* của chất điểm.

Vậy trong hệ tọa độ Descartes, phương trình chuyển động là phương trình liên hệ giữa tọa độ và thời gian.

1.1.4. Quỹ đạo và phương trình quỹ đạo

Quỹ đạo của chất điểm chuyển động là đường cong tạo bởi tập hợp tất cả các vị trí của chất điểm trong không gian trong suốt quá trình chuyển động.

Phương trình quỹ đạo là phương trình liên hệ giữa các tọa độ của chất điểm trên quỹ đạo của nó.

Để viết được phương trình quỹ đạo ta phải khử biến số t trong các phương trình chuyển động.

Thí dụ: Phương trình chuyển động của chất điểm có dạng:

$$x = a \cos \omega t, \quad y = b \sin \omega t, \quad z = 0, \quad \text{trong đó } a, b, \omega \text{ là các hằng số.}$$

Vậy phương trình quỹ đạo của chất điểm: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ và $z = 0$ là đường elip nằm trong mặt phẳng xoy với các bán trục a, b .

1.2. VẬN TỐC

Vận tốc là đại lượng vật lý đặc trưng cho phương, chiều, và sự nhanh hay chậm của chuyển động.

1.2.1. Khái niệm vận tốc

a. Vận tốc trung bình

Vận tốc trung bình là quãng đường trung bình chất điểm đi được trong một đơn vị thời gian.

$$v_{tb} = \frac{\Delta s}{\Delta t}. \quad (1.3)$$

Vận tốc trung bình chỉ đặc trưng cho độ nhanh chậm trung bình của chuyển động trên cả quãng đường Δs . Trên quãng đường này, nói chung độ nhanh chậm của chất điểm thay đổi từ điểm này đến điểm khác, và không bằng v_{tb} .

Vì vậy, để đặc trưng cho độ nhanh chậm của chuyển động tại từng thời điểm, người ta phải tính tỉ số $\Delta s / \Delta t$ trong những khoảng thời gian vô cùng nhỏ $\Delta t \rightarrow 0$, ta gọi đó là vận tốc tức thời.

b. Vận tốc tức thời

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}.$$

Vận tốc tức thời (hay vận tốc ở thời điểm t bất kì) đặc trưng cho độ nhanh chậm của chuyển động chất điểm ở thời điểm t và có độ lớn bằng đạo hàm bậc nhất hoành độ cong của chất điểm đối với thời gian.

Vận tốc v là một đại lượng đại số:

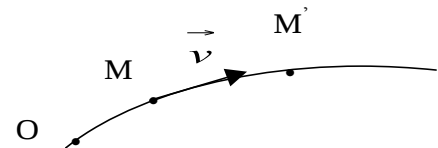
- Dấu của v xác định chiều chuyển động: nếu $v > 0$, vật chuyển động theo chiều dương; nếu $v < 0$ vật chuyển động theo chiều âm.
- Độ lớn của v xác định độ nhanh hay chậm của chuyển động tại thời điểm được xét.

c. Vector vận tốc:

Để đặc trưng đầy đủ cả về phương chiều và độ nhanh chậm của chuyển động người ta đưa ra một vector gọi là vector vận tốc.

Vector vận tốc tại vị trí M là một vector $\vec{v}$ có phương nằm trên tiếp tuyến với quỹ đạo tại M , chiều theo chiều chuyển động và có độ lớn bằng trị tuyệt đối của v :

$$\vec{v} = \frac{d\vec{s}}{dt}. \quad (1.4)$$



Hình 1.2. Vector vận tốc

d. Đơn vị: m/s

1.2.2. Vector vận tốc trong hệ tọa độ Descartes

Giả sử ở thời điểm t vật có vị trí xác định bởi $\vec{r}$, ở thời điểm $t + dt$ vật có vị trí $\vec{r} + d\vec{r}$.

Dễ thấy:

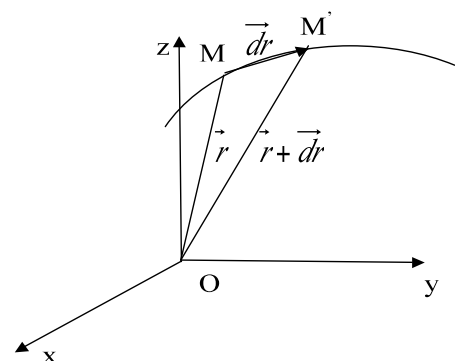
$$d\vec{r} = d\vec{s} = \overrightarrow{MM'},$$

nên:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}, \quad (1.5)$$

trong đó:

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}.$$



Hình 1.3

Ta có:

$$\begin{aligned}\vec{v} &= \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d}{dt}(x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}) \\ \vec{v} &= \vec{i}\frac{dx}{dt} + \vec{j}\frac{dy}{dt} + \vec{k}\frac{dz}{dt} \\ \vec{v} &= v_x\vec{i} + v_y\vec{j} + v_z\vec{k}\end{aligned}$$

$$\text{hay } \begin{cases} v_x = \frac{dx}{dt} \\ v_y = \frac{dy}{dt} \\ v_z = \frac{dz}{dt} \end{cases} \quad (1.6)$$

Độ lớn vận tốc được tính theo công thức :

$$|\vec{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} \quad (1.7)$$

1.3. GIA TỐC

Gia tốc là đại lượng vật lý đặc trưng cho sự biến thiên của vectơ vận tốc về cả phương chiều và độ lớn.

1.3.1. Khái niệm vectơ gia tốc

a. Vectơ gia tốc trung bình

Vectơ gia tốc trung bình của chuyển động là độ biến thiên trung bình của vectơ vận tốc trong một đơn vị thời gian.

Giả sử một vật chuyển động ở thời điểm t có vectơ vận tốc $\vec{v}$, ở thời điểm $t+\Delta t$ chất điểm có vectơ vận tốc $\vec{v} + \Delta\vec{v}$ thì đại lượng:

$$\vec{a}_{tb} = \frac{\vec{v} - \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}, \quad (1.8)$$

là gia tốc trung bình của chuyển động trong khoảng thời gian Δt .

b. Vectơ gia tốc tức thời

Khi $\Delta t \rightarrow 0$ thì đại lượng:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}, \quad (1.9)$$

gọi là vectơ gia tốc tức thời đặc trưng cho sự biến thiên vận tốc ở từng thời điểm.

* Trong hệ tọa độ Descartes:

$$\begin{aligned}
 \vec{a} &= \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(v_x \vec{i} + v_y \vec{j} + v_z \vec{k}) \\
 \vec{a} &= \vec{i} \frac{dv_x}{dt} + \vec{j} \frac{dv_y}{dt} + \vec{k} \frac{dv_z}{dt} \\
 \vec{a} &= a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}
 \end{aligned}
 \quad \text{B} \quad
 \begin{aligned}
 a_x &= \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \\
 a_y &= \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2} \\
 a_z &= \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2}
 \end{aligned}
 \quad (1.10)$$

* Độ lớn của gia tốc được tính theo công thức:

$$|\vec{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} = \sqrt{\frac{d^2x}{dt^2}^2 + \frac{d^2y}{dt^2}^2 + \frac{d^2z}{dt^2}^2}. \quad (1.11)$$

d. Đơn vị: m/s²

1.3.2. Gia tốc tiếp tuyến và gia tốc pháp tuyến

Gọi $\vec{t}$ là vec tơ chỉ phương của vận tốc.

$$\text{B} \quad \vec{v} = v \cdot \vec{t} \quad (|\vec{t}| = 1)$$

$$\text{B} \quad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d(v \cdot \vec{t})}{dt}$$

$$\text{B} \quad \vec{a} = \vec{t} \frac{dv}{dt} + v \frac{d\vec{t}}{dt}$$

Như vậy, vectơ gia tốc được phân tích thành hai thành phần: thành phần đặc trưng cho sự biến đổi về mặt độ lớn của vec tơ vận tốc ($\frac{dv}{dt}$) gọi là *gia tốc tiếp tuyến*, thành phần đặc trưng cho sự biến đổi về mặt phương chiều của vec tơ vận tốc ($\frac{d\vec{t}}{dt}$) gọi là *gia tốc pháp tuyến* (hay gia tốc hướng tâm).

Biến đổi $v \frac{d\vec{t}}{dt}$ ta thu được:

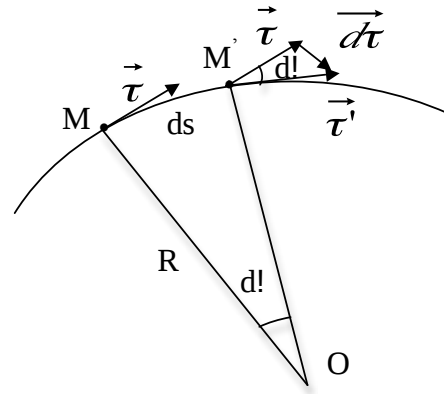
$$v \frac{d\vec{t}}{dt} = \frac{v^2}{R} \vec{n},$$

trong đó $\vec{n}$ là vec tơ đơn vị hướng theo phương pháp tuyến của quỹ đạo tại điểm đang xét, chiều hướng về phần lõm của quỹ đạo.

$$\text{B} \quad \vec{a} = \frac{dv}{dt} \vec{t} + \frac{v^2}{R} \vec{n}$$

Thật vậy:

$$\begin{aligned} \frac{d\vec{t}}{dt} &= \frac{d\vec{t}}{dj} \cdot \frac{dj}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} \\ \Rightarrow \frac{d\vec{t}}{dt} &= \frac{d\vec{t}}{dj} \cdot \frac{1}{\frac{ds}{dt}} \cdot \frac{ds}{dt} \\ \Rightarrow \frac{d\vec{t}}{dt} &= \frac{d\vec{t}}{dj} \cdot \frac{v}{R} (*) \end{aligned}$$



Hình 1.4

trong đó: R là bán kính cong của quỹ đạo tại điểm đang xét.

Xét $\frac{d\vec{t}}{dt}$ là một vec tơ có:

- Phương, chiều:

$$\begin{aligned} \frac{d(\vec{t}^2)}{dj} &= 2\vec{t} \frac{d\vec{t}}{dj} = 0 \quad (\vec{t}^2 = 1) \\ \Rightarrow \frac{d\vec{t}}{dj} &\wedge \vec{t} \end{aligned}$$

mà $\vec{t}$ có phương tiếp tuyến với quỹ đạo, do đó $\frac{d\vec{t}}{dj}$ có phương pháp tuyến và có chiều hướng về phía lõm của quỹ đạo (Hình 1.4).

- Độ lớn:

Do:

$$\begin{aligned} |\vec{t}| &= |\vec{t}'| = 1 \\ \Rightarrow \left| \frac{d\vec{t}}{dj} \right| &= |\vec{t}'| = 1 (*) \end{aligned}$$

(*) Chú ý trong hình tròn:

$$\frac{\text{cung}}{\text{dây cung}} = \text{bán kính}$$

- Vậy:

$$\frac{d\vec{t}}{dj} = \vec{n}$$

là vec tơ đơn vị hướng theo phương pháp tuyến của quỹ đạo tại điểm đang xét, chiều hướng về phía lõm của quỹ đạo.

$$\Rightarrow v \frac{d\vec{t}}{dt} = \frac{v^2}{R} \vec{n} ,$$

(điều phải chứng minh).

a. Gia tốc tiếp tuyến

Thành phần $a_t = \frac{dv}{dt}$ là vector gia tốc tiếp tuyến đặc trưng cho sự biến thiên về độ lớn của vector vận tốc. Vector gia tốc tiếp tuyến có đặc điểm:

- Có phương trùng với tiếp tuyến quỹ đạo tại điểm được xét.
- Có chiều là chiều chuyển động khi v tăng và ngược lại.
- Có độ lớn bằng độ lớn đạo hàm vận tốc theo thời gian:

$$a_t = \left| \frac{dv}{dt} \right|.$$

b. Gia tốc pháp tuyến

Thành phần $a_n = \frac{v^2}{R}$ là vector gia tốc pháp tuyến (hay gia tốc hướng tâm) đặc trưng cho sự biến thiên về phương, chiều của vector vận tốc. Vector gia tốc pháp tuyến có đặc điểm:

- Có phương trùng với pháp tuyến của quỹ đạo tại điểm được xét.
- Có chiều hướng về phía lõm của quỹ đạo.
- Có độ lớn bằng:

$$a_n = \frac{v^2}{R}.$$

Như vậy, vector gia tốc có thể phân tích ra hai thành phần:

$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n, \quad (1.12)$$

trong đó:

$$a_t = \frac{dv}{dt}, \quad (1.13)$$

$$a_n = \frac{v^2}{R}. \quad (1.14)$$

Vì:

$$\vec{a}_t \perp \vec{a}_n$$

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = \sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \frac{v^4}{R^2}}. \quad (1.15)$$

1.4. MỘT SỐ DẠNG CHUYỂN ĐỘNG ĐẶC BIỆT

1.4.1. Chuyển động thẳng ($a_n = 0$)

a. Chuyển động thẳng đều

Đặc điểm:

- Chuyển động thẳng (hướng vận tốc không đổi): $a_n = 0$.
- Chuyển động đều (độ lớn vận tốc không đổi): $a_t = 0$.

$$\text{P } \vec{a} = 0 \text{ P } \vec{v} = \overrightarrow{const}$$

mà:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{s}}{dt}$$

nên ta có:

$$s = vt \quad (1.16)$$

b. Chuyển động thẳng biến đổi đều

Đặc điểm:

- Chuyển động thẳng: $a_n = 0$.
- Chuyển động biến đổi đều: $\vec{a}_t = \overrightarrow{const}$.

$$\text{P } \overbrace{a} = \overbrace{a_t} = \overbrace{const}$$

$$\text{P } a = a_t = \frac{dv}{dt}$$

$$\text{P } v = v_o + at \quad (1.17)$$

$$s = s_o + v_o t + \frac{1}{2}at^2 \quad (1.18)$$

$$v_t^2 - v_o^2 = 2as \quad (1.19)$$

Nếu chọn chiều dương trùng với chiều chuyển động thì:

- $a > 0 \rightarrow$ chuyển động nhanh dần đều.
- $a < 0 \rightarrow$ chuyển động chậm dần đều.

1.4.2. Chuyển động tròn

1.4.2.1. Vận tốc góc:

a. Vận tốc góc trung bình:

Vận tốc góc trung bình là góc quay trung bình của bán kính trong một đơn vị thời gian.

Giả sử trong thời gian Δt chất điểm chuyển động được quãng đường Δs tương ứng với góc quay của bán kính là $\Delta \varphi$. Khi đó vận tốc góc trung bình trong khoảng thời gian Δt là:

$$\omega_{tb} = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}. \quad (1.20)$$

b. Vận tốc góc tức thời:

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt}. \quad (1.21)$$

Vận tốc góc tức thời có giá trị bằng đạo hàm của góc quay theo thời gian.

c. Vector vận tốc góc

$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{j}}{dt}. \quad (1.22)$$

Có:

- *phương*: nằm trên trục của vòng tròn quỹ đạo,
- *chiều*: thuận chiều quay đối với chiều chuyển động,
- *độ lớn*:

$$\omega = \left| \frac{d\vec{j}}{dt} \right|.$$

d. Đơn vị: rad/s

e. Hệ quả 1:

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{R}. \quad (1.23)$$

Chứng minh:

$$|\vec{w} \times \vec{R}| = wR \sin(\vec{w}, \vec{R}) = R w$$

* Về độ lớn: $v = \frac{ds}{dt} = \frac{R \cdot d\varphi}{dt} = R w$

$$\Rightarrow v = |\vec{w} \times \vec{R}|$$

* Về phương chiều: 3 vec tơ $\vec{v}$, $\vec{w}$, $\vec{R}$ theo đúng thứ tự luôn tạo thành một tam diện thuận 3 mặt vuông.

Vậy:

$$\vec{v} = \vec{w} \times \vec{R}.$$

f. Hệ quả 2:

$$a_n = R w^2 \quad (1.24)$$

Chứng minh:

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{R^2 w^2}{R} = R w^2$$

1.4.2.2. Gia tốc góc

a. Vector gia tốc góc trung bình:

Vận tốc góc trung bình là độ biến thiên trung bình của vec tơ vận tốc góc trong một đơn vị thời gian.

$$\vec{\beta}_{tb} = \frac{\vec{\Delta\omega}}{\Delta t} \quad (1.25)$$

b. Vector gia tốc góc tức thời:

$$\vec{\beta} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{\Delta\omega}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} \quad (1.26)$$

Vector gia tốc góc có:

- phương: nằm trên trục của vòng tròn quỹ đạo,
- chiều: cùng chiều với $\vec{w}$ khi $b > 0$, ngược chiều với $\vec{w}$ khi $b < 0$,
- độ lớn:

$$b = \left| \frac{dw}{dt} \right|$$

c. Đơn vị: rad^2/s

d. Hệ quả:

$$\vec{a}_t = \vec{b} \cup \vec{R} \quad (1.27)$$

Chúng minh:

$$|\vec{b} \cup \vec{R}| = bR \sin(\vec{b}, \vec{R}) = bR$$

* Về độ lớn: $a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d(vR)}{dt} = bR$

$$\Rightarrow a_t = |\vec{b} \cup \vec{R}|$$

* Về phương chiều: 3 vec tơ $\vec{a}_t$, $\vec{b}$, $\vec{R}$ theo đúng thứ tự luôn tạo thành một tam diện thuận 3 mặt vuông.

Vậy:

$$\vec{a}_t = \vec{b} \cup \vec{R}$$

1.4.3. Chuyển động ném xiên

Giả sử vật được ném xiên với vận tốc ban đầu v_0 . Gia tốc chuyển động của vật tại mọi thời điểm là:

$$\vec{a} = \vec{g}.$$

Chọn hệ trục tọa độ oxy như Hình 5, gốc tọa độ trùng với vị trí bắt đầu ném, chiều dương hướng lên trên.

Ta có:

$$\begin{cases} \ddot{a}_x = \frac{dv_x}{dt} = 0 \\ \ddot{a}_y = \frac{dv_y}{dt} = -g \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{v}_x = C_1 \\ \dot{v}_y = -g \Rightarrow v_y = C_2 - gt \end{cases}$$

Tại $t = 0$:

$$\begin{cases} v_x = v_{0x} = v_0 \cos a \\ v_y = v_{0y} = v_0 \sin a \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_1 = v_0 \cos a \\ C_2 = v_0 \sin a \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_x = v_0 \cos a \\ v_y = v_0 \sin a - gt \end{cases}$$

Mặt khác:

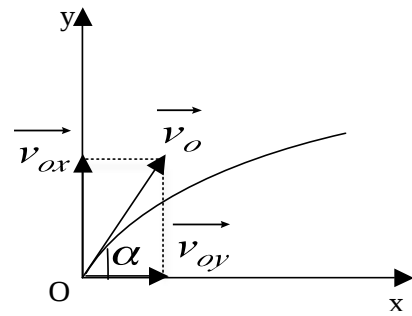
$$\begin{cases} \dot{v}_x = \frac{dx}{dt} \\ \dot{v}_y = \frac{dy}{dt} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{x} = v_x = v_0 \cos a \\ \dot{y} = v_y = v_0 \sin a - gt \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = v_0 \cos a \cdot t = C_3 + v_0 \cos a \cdot t \\ y = v_0 \sin a \cdot t - \frac{1}{2}gt^2 = C_4 + v_0 \sin a \cdot t - \frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

Tại $t = 0$:

$$\begin{cases} \dot{x} = 0 \\ \dot{y} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_3 = 0 \\ C_4 = 0 \end{cases}$$

Vậy phương trình chuyển động của vật ném xiên:

$$\begin{cases} x = v_0 \cos \alpha \cdot t \\ y = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2} g t^2 \end{cases} \quad (1.28)$$



Hình 1.5. Chuyển động ném xiên

Rút t trên x thay vào y ta được phương trình quỹ đạo:

$$y = - \frac{1}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha} g x^2 + \tan \alpha x \quad (1.29)$$

Vậy quỹ đạo của chuyển động ném xiên là quỹ đạo parabol.