

ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN

CƠ – NHIỆT ĐẠI CƯƠNG

Tổng hợp bởi Nguyễn Văn Lộc

Tổng hợp bởi Nguyễn Văn Lộc

Mục lục

I	Cơ học	5
1	Động học chất điểm	7
1.1	Một số khái niệm mở đầu	7
1.1.1	Chuyển động cơ học	7
1.1.2	Động học	7
1.1.3	Chất điểm	7
1.1.4	Không gian và thời gian	7
1.1.5	Hệ quy chiếu	7
1.1.6	Hệ tọa độ	7
1.1.7	Phương trình chuyển động và phương trình quỹ đạo	8
1.2	Vector vận tốc của chất điểm	8
1.2.1	Định nghĩa	8
1.2.2	Thành phần, độ lớn, phương chiều của vận tốc	8
1.3	Vector gia tốc của chất điểm	8
1.3.1	Định nghĩa	8
1.3.2	Thành phần của gia tốc	8
1.3.3	Gia tốc tiếp tuyến và gia tốc pháp tuyến của chất điểm chuyển động cong	9
1.4	Vận tốc góc và gia tốc góc trong chuyển động tròn	9
1.4.1	Vận tốc góc	9
1.4.2	Gia tốc góc	9
1.4.3	Vector vận tốc góc và vector gia tốc góc	9
1.5	Rơi tự do	10
1.6	Chuyển động của vật bị ném	10
1.7	Phép cộng vận tốc và gia tốc cổ điển	10
2	Động lực học chất điểm	11
2.1	Ba định luật Newton	11
2.1.1	Định luật 1 Newton	11
2.1.2	Định luật 2 Newton	11
2.1.3	Định luật 3 Newton	11
2.2	Hệ quy chiếu không quán tính – lực quán tính – nguyên lý tương đối của Galilee	12
2.2.1	Hệ quy chiếu không quán tính	12
2.2.2	Lực quán tính	12
2.2.3	Nguyên lý tương đối Galilee	12
2.3	Một số lực trong cơ học	12
2.3.1	Trọng lực và trọng lượng	12
2.3.2	Lực đàn hồi	12
2.3.3	Lực ma sát	13
2.3.4	Lực căng của sợi dây	13

3	Các định luật bảo toàn trong cơ học	15
3.1	Định luật biến thiên và bảo toàn động lượng	15
3.1.1	Cho một chất điểm	15
3.1.2	Cho hệ nhiều chất điểm	15
3.1.3	Ví dụ về định luật bảo toàn động lượng	15
3.2	Định luật biến thiên và bảo toàn moment động lượng	16
3.2.1	Moment lực	16
3.2.2	Moment động lượng của một chất điểm	16
3.2.3	Định luật biến thiên và bảo toàn moment động lượng của chất điểm . . .	16
3.2.4	Moment động lượng của một hệ các chất điểm	16
3.3	Định luật bảo toàn cơ năng	17
3.3.1	Công cơ học	17
3.3.2	Động năng, định lí về động năng	17
3.3.3	Trường lực thế, thế năng trong trường lực thế	17
3.3.4	Các lực bảo toàn và phi bảo toàn	18
3.3.5	Định luật biến thiên và bảo toàn cơ năng	18
3.4	Trường hấp dẫn	18
3.4.1	Lực hấp dẫn	18
3.4.2	Trường hấp dẫn	18
3.4.3	Thế năng trong trường hấp dẫn	19
3.5	Bài toán va chạm giữa hai vật	19
3.5.1	Định nghĩa	19
3.5.2	Các loại va chạm	19
4	Cơ học vật rắn	21
4.1	Các dạng chuyển động của vật rắn	21
4.1.1	Chuyển động tịnh tiến	21
4.1.2	Chuyển động tổng quát của vật rắn	22
4.1.3	Chuyển động quay quanh trục của vật rắn	22
4.2	Phương trình cơ bản của vật rắn quay quanh một trục cố định	22
4.2.1	Moment động lượng của vật rắn quay	22
4.2.2	Vector moment lực đối với trục quay	23
4.2.3	Phương trình cơ bản của vật rắn quay quanh trục cố định	23
4.3	Moment quán tính của một vài vật rắn đơn giản	24
4.3.1	Công thức	24
4.3.2	Định lý Steiner - Huyghens cho moment quán tính I đối với một trục bất kì không qua khối tâm	25
4.4	Động năng của vật rắn quay quanh một trục cố định	25
4.5	Định luật bảo toàn moment động lượng của vật rắn quay	25
4.5.1	Trường hợp một vật rắn	25
4.5.2	Hệ gồm nhiều vật quay quanh trục	25
4.6	Con quay	26
4.6.1	Định nghĩa	26
4.6.2	Con quay tự do định hướng	26
4.6.3	Con quay tiến động	26
4.6.4	Con quay đối xứng	26

II	Nhiệt học	27
5	Khí lý tưởng	29
5.1	Một số khái niệm	29
5.1.1	Khí lý tưởng	29
5.1.2	Thông số trạng thái	29
5.2	Phương trình trạng thái của khí lý tưởng	30
5.2.1	Phương trình trạng thái	30
5.2.2	Một số trường hợp riêng	30
5.3	Thuyết động học phân tử các chất khí	30
5.3.1	Nội dung	30
5.3.2	Phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử các chất khí	31
5.3.3	Các hệ quả	31
5.3.4	Luật phân bố đều năng lượng theo các bậc tự do	31
5.3.5	Nội năng của khí lý tưởng	31
6	Nguyên lý thứ nhất nhiệt động học	33
6.1	Trạng thái cân bằng và quá trình cân bằng	33
6.2	Khái niệm về năng lượng, công, nhiệt lượng	33
6.2.1	Năng lượng	33
6.2.2	Công	33
6.2.3	Nhiệt lượng	34
6.3	Nguyên lý thứ nhất nhiệt động học	34
6.3.1	Phát biểu và biểu thức	34
6.3.2	Ứng dụng nguyên lý thứ nhất nhiệt động học để nghiên cứu các quá trình biến đổi của khí lý tưởng	35
7	Nguyên lý thứ hai nhiệt động học	39
7.1	Những hạn chế của nguyên lý thứ nhất nhiệt động học	39
7.2	Quá trình thuận nghịch và không thuận nghịch	39
7.3	Nguyên lý thứ hai nhiệt động học	39
7.3.1	Máy nhiệt	39
7.3.2	Phát biểu nguyên lý thứ hai	40
7.4	Chu trình Carnot và định lý Carnot	41
7.4.1	Chu trình Carnot thuận nghịch	41
7.4.2	Hiệu suất của chu trình Carnot thuận nghịch	41
7.4.3	Định lý Carnot	41

Tổng hợp bởi Nguyễn Văn Lộc

Phần I

Cơ học

Tổng hợp bởi Nguyễn Văn Lộc

Chương 1

Động học chất điểm

1.1 Một số khái niệm mở đầu

1.1.1 Chuyển động cơ học

Là sự thay đổi vị trí của vật này so với vật khác.
Có tính tương đối

1.1.2 Động học

Là phần cơ học, nghiên cứu về hình thái chuyển động của các vật mà không xét đến các lực là nguyên nhân làm thay đổi trạng thái chuyển động.

1.1.3 Chất điểm

Vật có kích thước nhỏ so với quãng đường mà nó chuyển động.

1.1.4 Không gian và thời gian

1.1.5 Hệ quy chiếu

Vật được chọn làm mốc và xem là đứng yên để xét chuyển động của các vật khác trong không gian.

1.1.6 Hệ tọa độ

Là hệ thống các đường thẳng có định vector đơn vị và các góc định hướng dùng để xác định vị trí và chuyển động của các vật.

Hệ tọa độ Descartes

Hệ tọa độ cầu

Hệ tọa độ cong

1.1.7 Phương trình chuyển động và phương trình quỹ đạo

Phương trình chuyển động của chất điểm

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

Phương trình quỹ đạo của chất điểm

Không phụ thuộc vào tham số thời gian, có thể thu được bằng cách *khử tham số t* từ phương trình chuyển động.

1.2 Vector vận tốc của chất điểm

1.2.1 Định nghĩa

Giá trị của vận tốc

Vận tốc trung bình

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}.$$

Vận tốc tức thời

$$v = \frac{ds}{dt}.$$

Vector vận tốc

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}.$$

1.2.2 Thành phần, độ lớn, phương chiều của vận tốc

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

1.3 Vector gia tốc của chất điểm

1.3.1 Định nghĩa

Gia tốc tức thời

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}.$$

1.3.2 Thành phần của gia tốc

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

1.3.3 Gia tốc tiếp tuyến và gia tốc pháp tuyến của chất điểm chuyển động cong

Gia tốc pháp tuyến

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

Gia tốc tiếp tuyến

$$a_\tau = \frac{dv}{dt}.$$

Trị tuyệt đối của gia tốc toàn phần

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} = \sqrt{\left(\frac{v^2}{R}\right)^2 + \left(\frac{dv}{dt}\right)^2}.$$

1.4 Vận tốc góc và gia tốc góc trong chuyển động tròn

1.4.1 Vận tốc góc

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}.$$

Liên hệ giữa vận tốc góc ω và vận tốc dài v

$$v = R\omega \Leftrightarrow \omega = \frac{v}{R}.$$

1.4.2 Gia tốc góc

$$\beta = \frac{d\omega}{dt}.$$

Liên hệ giữa gia tốc góc β và gia tốc tiếp tuyến a_τ

$$a_\tau = R\beta \Leftrightarrow \beta = \frac{a_\tau}{R}.$$

1.4.3 Vector vận tốc góc và vector gia tốc góc

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

$$\vec{a}_\tau = \vec{\beta} \times \vec{R}.$$

$$\vec{a}_n = \vec{\omega} \times \vec{v}.$$

1.5 Rơi tự do

Người ta gọi sự rơi của các vật chỉ do tác dụng của sức hút Trái Đất với vận tốc đầu bằng không là sự rơi tự do.

$$v = gt \text{ do } (v_0 = 0).$$

$$h = \frac{1}{2}gt^2.$$

Trong trường hợp vật được ném từ dưới lên, thông thường người ta chọn chiều dương từ dưới lên và gốc tọa độ O tại mặt đất.

1.6 Chuyển động của vật bị ném

Phương trình chuyển động:

$$\begin{cases} x = v_0 (\cos \alpha) t \\ y = v_0 (\sin \alpha) t - \frac{1}{2}gt^2 \end{cases}.$$

Phương trình quỹ đạo:

$$y = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2 + x \tan \alpha.$$

1.7 Phép cộng vận tốc và gia tốc cổ điển

Tổng hợp bởi Nguyễn Văn Lộc

Chương 2

Động lực học chất điểm

2.1 Ba định luật Newton

2.1.1 Định luật 1 Newton

Một vật cô lập (không chịu tác dụng bởi các lực bên ngoài hoặc hợp lực tác dụng lên nó bằng không) nếu nó:

- Đang đứng yên thì sẽ đứng yên mãi.
- Đang chuyển động thì sẽ chuyển động thẳng đều mãi.

Do đó một vật bất kỳ có khả năng bảo toàn trạng thái đứng yên hay chuyển động của nó, nên người ta gọi nó là có quán tính. Định luật này còn gọi là *định luật quán tính*. Định luật 1 Newton chỉ đúng với hệ quy chiếu quán tính.

2.1.2 Định luật 2 Newton

Một chất điểm có khối lượng m chịu tác dụng của một lực \vec{F} , sẽ chuyển động với một gia tốc \vec{a} thỏa phương trình:

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

Định luật 1 là trường hợp riêng của định luật 2.

Tương tự như định luật 1, định luật 2 Newton cũng chỉ đúng với hệ quy chiếu quán tính.

2.1.3 Định luật 3 Newton

Khi một vật tác dụng lên một vật khác bằng một lực \vec{F}_{12} (tác lực) thì ngược lại nó cũng sẽ chịu tác dụng từ vật kia một lực \vec{F}_{21} (phản lực) đối kháng (cùng phương, cùng trị số, ngược chiều).

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}.$$

Định luật 3 Newton cũng chỉ đúng với hệ quy chiếu quán tính.

2.2 Hệ quy chiếu không quán tính – lực quán tính – nguyên lý tương đối của Galilee

2.2.1 Hệ quy chiếu không quán tính

Bất kì một hệ quy chiếu nào chuyển động có gia tốc so với hệ quy chiếu quán tính đều là *hệ quy chiếu không quán tính*.

2.2.2 Lực quán tính

2.2.3 Nguyên lý tương đối Galilee

Một hiện tượng cơ học bất kì thì xảy ra như nhau đối với các hệ quy chiếu quán tính khác nhau.

2.3 Một số lực trong cơ học

2.3.1 Trọng lực và trọng lượng

Trọng lực

Là lực làm cho mọi vật đều rơi về phía Trái Đất với gia tốc trọng trường \vec{g} .

Xét trong hệ quy chiếu Trái Đất quay, trọng lực là tổng hợp lực của lực hấp dẫn và lực ly tâm. *Lực hấp dẫn.*

$$F = G \frac{mM}{r^2}.$$

$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \left(\frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \right)$: là hằng số hấp dẫn.

Lực ly tâm.

$$\vec{F}_{LT} = m\omega_0^2 \vec{r}_\perp.$$

Hợp lực: $\vec{P} = \vec{F} + \vec{F}_{LT} = m\vec{g}$.

Trọng lượng

Là lực mà vật tác dụng lên giá đỡ nó hay dây treo nó.

Khi giá đỡ hay dây treo đứng yên thì trọng lượng bằng trọng lực:

$$P = P' = mg.$$

2.3.2 Lực đàn hồi

Khi ngoại lực tác dụng làm biến dạng vật, trong vật sẽ xuất hiện một lực có xu hướng chống lại biến dạng đó. Lực ấy gọi là *lực đàn hồi*.

Xét biến dạng một chiều, lực đàn hồi tuân theo định luật Hooke: *Trong giới hạn đàn hồi, lực đàn hồi tỉ lệ với độ biến dạng của vật.*

$$\vec{F}_{dh} = -k\Delta \vec{x},$$

với $k \left(\frac{\text{N}}{\text{m}} \right)$ là *hệ số đàn hồi* hay *độ cứng*.

Thể hiện rõ nhất ở lò xo.

2.3.3 Lực ma sát

Lực ma sát là lực xuất hiện trên hai mặt tiếp xúc giữa hai vật và có xu hướng cản trở sự chuyển động tương đối giữa hai vật đó.

Độ lớn:

$$F_{\text{ms}} = k \cdot N$$

với:

- k là hệ số ma sát,
- N là phản lực.

Điểm chung của lực ma sát:

- Có xu hướng cản trở sự chuyển động của vật nên ngược chiều chuyển động của vật.
- Có độ lớn tỉ lệ thuận với phản lực N hoặc vận tốc v .
- Điểm đặt: trên vật.

2.3.4 Lực căng của sợi dây

Khi một vật bị buộc chặt vào một sợi dây treo tại một điểm cố định nào đó trên giá treo thì dưới tác dụng của ngoại lực, sợi dây bị kéo căng. Tại các điểm trên dây xuất hiện các lực gọi là *lực căng của dây*.

Thường được xác định bằng định luật 2 Newton.

Nếu dây đồng chất lí tưởng thì ở mọi điểm trên dây lực căng dây đều như nhau.

Dây là vật không chống lại lực nén mà chỉ chống lại lực kéo.

Tổng hợp bởi Nguyễn Văn Lộc

Chương 3

Các định luật bảo toàn trong cơ học

Trong quá trình chuyển động của chất điểm, có thể có một số đại lượng vật lý giữ nguyên không thay đổi theo thời gian, gọi là các đại lượng *bảo toàn*.

3.1 Định luật biến thiên và bảo toàn động lượng

3.1.1 Cho một chất điểm

Người ta gọi động lượng \vec{p} của một chất điểm khối lượng m , chuyển động với vận tốc \vec{v} là một vector được định nghĩa bằng tích số của m và \vec{v} ,

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

Để xét sự biến thiên của động lượng theo thời gian, ta lấy đạo hàm của \vec{p} theo biến t , qua các phép biến đổi ta được:

$$d\vec{p} = \vec{F}dt.$$

Đại lượng $\vec{F}dt$ được gọi là *xung lượng* của lực \vec{F} tác dụng lên chất điểm trong khoảng thời gian dt (còn gọi là *xung lực*).

Định luật biến thiên động lượng (Định lý động lượng): Độ biến thiên của động lượng \vec{p} của chất điểm trong khoảng thời gian dt bằng xung lượng của ngoại lực tác dụng lên chất điểm trong thời gian đó.

Định luật bảo toàn động lượng: Một chất điểm cô lập hoặc hợp lực tác dụng lên nó bằng không thì động lượng của nó được bảo toàn.

3.1.2 Cho hệ nhiều chất điểm

Động lượng toàn phần của hệ nhiều chất điểm biến thiên và bảo toàn tương tự với một chất điểm.

3.1.3 Ví dụ về định luật bảo toàn động lượng

- Sự giật lùi của súng.
- Chuyển động của vật có khối lượng thay đổi: chuyển động của con tàu vũ trụ.

3.2 Định luật biến thiên và bảo toàn moment động lượng

3.2.1 Moment lực

Moment của lực \vec{F} đối với một chất điểm O nào đó cho trước là một vector gốc O , được xác định bởi tích có hướng của \vec{r} và \vec{F} .

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F},$$

trong đó \vec{r} là bán kính vector nối liền từ O đến điểm đặt của lực \vec{F} .

Độ lớn của \vec{M} được xác định bởi:

$$M = rF \sin \alpha.$$

Nếu h là hình chiếu của \vec{r} lên phương vuông góc với lực \vec{F} , thì $h = r \sin \alpha$, thì

$$M = Fh.$$

3.2.2 Moment động lượng của một chất điểm

Moment của động lượng \vec{p} đối với điểm O nào đó cho trước và là một vector gốc O được xác định bởi tích có hướng của \vec{r} và \vec{p} :

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}.$$

3.2.3 Định luật biến thiên và bảo toàn moment động lượng của chất điểm

Đạo hàm công thức tính moment động lượng, ta có

$$\begin{aligned} \frac{d\vec{L}}{dt} &= \frac{d}{dt} (\vec{r} \times \vec{p}) = \frac{d\vec{r}}{dt} \times \vec{p} + \vec{r} \times \frac{d\vec{p}}{dt} \\ &\Rightarrow \frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{v} \times \vec{p} + \vec{r} \times \vec{F} \\ &\Rightarrow \frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{0} + \vec{M} = \vec{M} \\ &\Rightarrow d\vec{L} = \vec{M}dt. \end{aligned}$$

Đại lượng $\vec{M}dt$ được gọi là *xung lượng* của moment lực \vec{M} tác dụng lên chất điểm trong khoảng thời gian dt .

Định luật biến thiên moment động lượng: Độ biến thiên của moment động lượng của chất điểm trong khoảng thời gian dt bằng xung lượng của moment lực tác dụng lên chất điểm trong khoảng thời gian đó.

Định luật bảo toàn moment động lượng: Mọi chất điểm cô lập hoặc moment lực tác dụng lên nó bằng không thì moment động lượng của nó được bảo toàn.

3.2.4 Moment động lượng của một hệ các chất điểm

Moment động lượng toàn phần của hệ nhiều chất điểm biến thiên và bảo toàn tương tự với một chất điểm.

3.3 Định luật bảo toàn cơ năng

3.3.1 Công cơ học

Công là đại lượng đặc trưng cho phần năng lượng chuyển đổi từ dạng năng lượng này sang dạng năng lượng khác, nói cách khác công là phần năng lượng trao đổi giữa các chất.

Công vi phân δA mà lực \vec{F} thực hiện được trên đoạn đường $d\vec{s}$ là tích vô hướng của hai vector:

$$\delta A = \vec{F} \cdot d\vec{s},$$

hay

$$\delta A = F ds \cos \alpha.$$

Đơn vị của công là Joule (J).

Lấy tích phân, ta có

$$A_{MN} = \int_M^N \delta A = \int_M^N \vec{F} \cdot d\vec{s}.$$

3.3.2 Động năng, định lí về động năng

Động năng

Động năng của một chất điểm khối lượng m có vận tốc \vec{v} là một đại lượng vô hướng:

$$K = \frac{1}{2}mv^2.$$

Đơn vị của động năng là Joule (J).

Chữ K ở kí hiệu này là *Kinetic energy*.

Định lí về động năng

Độ biến thiên của động năng trong một khoảng thời gian bằng công của **tất cả các lực** đặt vào hệ thực hiện được trong khoảng thời gian đó:

$$A_{12} = K_2 - K_1.$$

3.3.3 Trường lực thế, thế năng trong trường lực thế

Khái niệm về trường lực thế

Một lực được gọi là lực thế (lực bảo toàn) nếu công do nó thực hiện trong sự chuyển dời một chất điểm chỉ phụ thuộc vào vị trí đầu và vị trí cuối mà không phụ thuộc dạng quỹ đạo giữa hai điểm này (có nghĩa là độc lập với lộ trình).

Lực hấp dẫn, lực phục hồi của lò xo, ... là những ví dụ về lực thế.

Thế năng trong trường lực thế

Định nghĩa thế năng. Thế năng tại điểm M trong trường lực thế là công làm dịch chuyển chất điểm từ vị trí M đến điểm gốc của thế năng.

Định lý về thế năng. Công làm dịch chuyển chất điểm giữa hai điểm của trường thế bằng hiệu của thế năng giữa chất điểm đầu và cuối của quá trình chuyển động:

$$A_{MN}^* = U_M - U_N.$$

Ký hiệu A^* để chỉ công của lực trường thế.

Liên hệ giữa thế năng và lực trường thế

$$\vec{F} = -\nabla U.$$

\vec{F} bằng và trái dấu với gradient của thế năng U .

3.3.4 Các lực bảo toàn và phi bảo toàn

Lực đàn hồi, lực hấp dẫn là các luật dẫn xuất từ thế và còn gọi là các lực bảo toàn.

Một lực không có tính chất bảo toàn được gọi là lực phi bảo toàn. Một số lực phi bảo toàn như lực ma sát, lực nhớt của chất lưu làm tiêu tán một phần cơ năng của vật hay ta nói rằng làm tiêu tổn cơ năng, do đó các lực này còn được gọi là lực tiêu tán.

3.3.5 Định luật biến thiên và bảo toàn cơ năng

Độ biến thiên của cơ năng chất điểm bằng công của **lực phi bảo toàn**.

$$E_2 - E_1 = A_{PBT}.$$

Trong trường hợp không có lực phi bảo toàn: thế năng và động năng của chất điểm sẽ biến đổi qua lại sao cho tổng động năng và thế năng là hằng, hay nói cách khác, cơ năng của chất điểm là hằng.

$$E = U + K = \text{const.}$$

Đối với hệ vật, cơ năng của hệ bảo toàn khi ngoại lực là lực bảo toàn.

3.4 Trường hấp dẫn

3.4.1 Lực hấp dẫn

Lực hấp dẫn giữa hai chất điểm có khối lượng m_1, m_2 đặt cách nhau một khoảng r có độ lớn

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

với G là hằng số hấp dẫn, trong hệ SI, $G \approx 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$.

3.4.2 Trường hấp dẫn

Lực hấp dẫn giữa hai khối lượng là một lực tương tác từ xa, có nghĩa là hai vật tương tác không tiếp xúc. Trường hấp dẫn tác dụng lên tất cả các chất điểm trong không gian bao chung quanh Trái Đất là hình ảnh của hiện tượng tương tác hấp dẫn.

3.4.3 Thế năng trong trường hấp dẫn

Thế năng của vật ở gần mặt đất là

$$U(r) = mgh.$$

3.5 Bài toán va chạm giữa hai vật

3.5.1 Định nghĩa

Là hiện tượng hai vật tiếp xúc với nhau trong một thời gian cực ngắn rồi tách rời nhau. Sự va chạm làm thay đổi vận tốc trong một thời gian ngắn, sự thay đổi có thể chia làm hai giai đoạn:

- Các vật va chạm bị biến dạng và ngừng lại, động năng giảm đi để cung cấp công làm vật va chạm biến dạng.
- Các vật va chạm có thể trở lại dạng cũ và được hoàn lại động năng một phần hay tất cả.

3.5.2 Các loại va chạm

- Va chạm đàn hồi là va chạm trong đó các vật va chạm bị biến dạng, động năng lúc đó chuyển hoàn toàn thành thế năng đàn hồi, thế năng này liên chuyển trở lại động năng và các quả cầu bật lia xa nhau. Sau đó hình dạng của chúng được phục hồi như cũ. Trong va chạm đàn hồi, động lượng và cơ năng được bảo toàn, mà thế năng không đổi nên ta có thể xem **động lượng và động năng bảo toàn**.
- Va chạm hoàn toàn không đàn hồi (va chạm mềm) là va chạm mà các vật sau va chạm dính vào nhau và chuyển động cùng vận tốc, **động lượng bảo toàn, cơ năng không bảo toàn**.

Va chạm đàn hồi giữa hai quả cầu

$$\begin{aligned}\vec{v}_1' &= \frac{(m_1 - m_2)\vec{v}_1 + 2m_2\vec{v}_2}{m_1 + m_2} \\ \vec{v}_2' &= \frac{(m_2 - m_1)\vec{v}_2 + 2m_1\vec{v}_1}{m_1 + m_2}.\end{aligned}$$

Va chạm hoàn toàn không đàn hồi (va chạm mềm)

$$\vec{v} = \frac{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2}{m_1 + m_2}.$$

Năng lượng tiêu hao sau va chạm:

$$Q = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (\vec{v}_1 - \vec{v}_2)^2.$$

Tổng hợp bởi Nguyễn Văn Lộc

Chương 4

Cơ học vật rắn

Vật rắn là một hệ chất điểm, mà *khoảng cách giữa các chất điểm luôn giữ không đổi trong quá trình chuyển động*.

4.1 Các dạng chuyển động của vật rắn

4.1.1 Chuyển động tịnh tiến

Định nghĩa

Là chuyển động mà trong đó đoạn thẳng nối hai điểm bất kì của vật rắn luôn song song với chính nó.

Đặc điểm

Khi vật rắn chuyển động tịnh tiến, mọi chất điểm của vật rắn có cùng vector vận tốc và cùng vector gia tốc.

Khối tâm của vật rắn

Định nghĩa. Xem vật rắn như một hệ gồm n chất điểm. C được gọi là *khối tâm của vật rắn* nếu vị trí của C thỏa công thức:

$$\overrightarrow{OC} = \overrightarrow{r_C} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \overrightarrow{r_i}}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

$$\Leftrightarrow \overrightarrow{r_C} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n m_i \overrightarrow{r_i}.$$

Đặc điểm của khối tâm.

- Vận tốc của khối tâm

$$\overrightarrow{p} = m \overrightarrow{v_c}.$$

- Gia tốc của khối tâm

$$\overrightarrow{F} = m \overrightarrow{a_c}.$$

4.1.2 Chuyển động tổng quát của vật rắn

$$\vec{v}_M = \vec{v}_C + (\vec{\omega} \times \vec{r}).$$

Công thức trên chứng tỏ: chuyển động song phẳng bất kì của vật rắn bao giờ cũng có thể phân thành hai chuyển động thành phần:

- Chuyển động tịnh tiến của khối tâm của vật rắn.
- Chuyển động quay của vật rắn quanh trục quay đi qua khối tâm với vận tốc góc $\vec{\omega}$.

4.1.3 Chuyển động quay quanh trục của vật rắn

Định nghĩa

Là chuyển động mà các chất điểm của vật rắn có quỹ đạo là những vòng tròn tâm nằm trên trục quay và bán kính bằng khoảng cách từ chất điểm đến trục quay.

Đặc điểm

- Sau thời gian t như nhau thì tất cả các chất điểm ở vật rắn quay những góc bằng nhau:

$$\theta_1 = \theta_2 = \dots$$

- Tất cả các chất điểm có cùng vận tốc góc, đạo hàm theo t từ ý trên, ta được:

$$\omega_1 = \omega_2 = \dots$$

với trục quay cố định thì vector vận tốc góc cũng bằng nhau. Khi quay thì vận tốc dài của các chất điểm khác nhau vì:

$$v_i = R_i \omega_i = R_i \omega.$$

- Tương tự với gia tốc góc:

$$\beta_1 = \beta_2 = \dots$$

$$a_i = R_i \beta_i = R_i \beta.$$

4.2 Phương trình cơ bản của vật rắn quay quanh một trục cố định

Như đã nêu trong sách Cơ – Nhiệt đại cương, trong chuyển động quay quanh trục, để đơn giản ta chỉ xét đến những lực tiếp tuyến \vec{F}_t .

4.2.1 Moment động lượng của vật rắn quay

Động lượng của chất điểm thứ i là:

$$\vec{p}_i = m_i \vec{v}_i.$$

Ta định nghĩa moment động lượng của chất điểm thứ i đối với trục quay là:

$$\vec{L}_i = \vec{R}_i \vec{p}_i.$$

Mặt khác, do $v_i = R_i \omega_i$ nên $L_i = m_i R_i^2 \omega_i$.

Theo định nghĩa,

$$\vec{L} = \sum_{i=1}^n \vec{L}_i = \sum_{i=1}^n \vec{R}_i \times \vec{p}_i$$

là vector moment động lượng của vật rắn đối với trục quay. \vec{L}_i hướng theo trục quay nên \vec{L} cũng hướng theo trục quay.

Độ lớn:

$$L = \sum_{i=1}^n m_i R_i^2 \omega_i.$$

Vì $\omega_1 = \omega_2 = \dots = \omega$ nên

$$L = \omega \left(\sum_{i=1}^n m_i R_i^2 \right).$$

Ta đặt

$$I = \sum_{i=1}^n m_i R_i^2,$$

được gọi là moment quán tính của vật rắn đối với trục quay. Vậy

$$L = I\omega.$$

Và vì \vec{L} và $\vec{\omega}$ cùng phương, cùng chiều nên ta có thể viết:

$$\vec{L} = I\vec{\omega}.$$

4.2.2 Vector moment lực đối với trục quay

Vector moment của lực \vec{F}_i đối với trục quay được định nghĩa:

$$\vec{M}_i = \vec{R}_i \times \vec{F}_i.$$

Ta định nghĩa moment lực đối với trục quay tác dụng lên vật rắn:

$$\vec{M} = \sum_{i=1}^n \vec{M}_i = \sum_{i=1}^n \vec{R}_i \times \vec{F}_i.$$

\vec{M}_i và \vec{M} đều hướng theo trục quay.

4.2.3 Phương trình cơ bản của vật rắn quay quanh trục cố định

Từ các công thức về moment động lượng, moment lực, bằng các phép đạo hàm, ta được:

$$\vec{M} = I\vec{\beta}.$$

Phương trình trên được gọi là *phương trình cơ bản của chuyển động quay của vật rắn quanh một trục cố định*.

4.3 Moment quán tính của một vài vật rắn đơn giản

4.3.1 Công thức

Moment quán tính với một trục quay xác định được tính từ công thức ở mục trước dùng cho vật rắn gồm các chất điểm phân bố rời rạc là:

$$I = \sum_{i=1}^n m_i R_i^2.$$

Thực tế thường thì các chất điểm phân bố liên tục, khi đó ta thay phép tính tổng bằng phép tính tích phân bằng cách chia vật rắn ra thành nhiều phần nhỏ với khối lượng mỗi phần là dm ($dm \approx m$). R là khoảng cách từ chất điểm dm đến trục, vậy $m_i R_i^2 \approx dm R^2$ và

$$I = \int_m R^2 dm.$$

Tính moment quán tính I của một thanh đồng chất đối với trục quay vuông góc với thanh tại trung điểm

$$I = \frac{1}{12} m \ell^2.$$

Tính moment quán tính I của vòng tròn đối với trục quay là trục của vòng tròn

$$I = m R^2.$$

Moment quán tính I của một đĩa tròn với trục quay là trục của đĩa

$$I = \frac{1}{2} m R^2.$$

Moment quán tính của trụ rỗng, trụ đặc

Trụ rỗng:

$$I = m R^2.$$

Trụ đặc:

$$I = \frac{1}{2} m R^2.$$

Moment quán tính của các vật tròn xoay

Hình nón:

$$I = \frac{3}{10} m R^2.$$

Hình cầu:

$$I = \frac{2}{5} m R^2.$$

4.3.2 Định lý Steiner - Huyghens cho moment quán tính I đối với một trục bất kì không qua khối tâm

Để tính moment quán tính của một vật đối với trục quay không đi qua khối tâm của chúng thì ta sử dụng định lý Steiner - Huyghens sau:

$$I = I_C + ma^2,$$

trong đó:

- Δ : trục quay bất kỳ không qua khối tâm,
- Δ_C : trục quay qua khối tâm của vật và song song với Δ ,
- I : moment quán tính của vật rắn đối với trục Δ ,
- I_C : moment quán tính của vật rắn đối với trục Δ_C ,
- m : khối lượng của vật rắn,
- a : khoảng cách giữa hai trục Δ và Δ_C .

4.4 Động năng của vật rắn quay quanh một trục cố định

Động năng quay của vật rắn:

$$K_q = \frac{1}{2}I\omega^2.$$

Động năng tịnh tiến của vật rắn:

$$K_{tt} = \frac{1}{2}mv_C^2.$$

Nếu vật lăn: vừa tịnh tiến vừa quay thì

$$K = K_{tt} + K_q$$

$$\Leftrightarrow K = \frac{1}{2}mv_C^2 + \frac{1}{2}I\omega^2.$$

4.5 Định luật bảo toàn moment động lượng của vật rắn quay

4.5.1 Trường hợp một vật rắn

Cho vật rắn quay quanh trục cố định. Vật rắn cô lập thì moment lực tác dụng lên nó bằng không nên:

$$\begin{aligned}\frac{d\vec{L}}{dt} &= \vec{M} = 0 \\ \Rightarrow \vec{L} &= I\vec{\omega} = \text{const.}\end{aligned}$$

4.5.2 Hệ gồm nhiều vật quay quanh trục

Tương tự như trường hợp một vật rắn.

4.6 Con quay

4.6.1 Định nghĩa

4.6.2 Con quay tự do định hướng

4.6.3 Con quay tiến động

4.6.4 Con quay đối xứng

Tổng hợp bởi Nguyễn Văn Lộc

Phần II

Nhiệt học

Tổng hợp bởi Nguyễn Văn

Chương 5

Khí lý tưởng

5.1 Một số khái niệm

5.1.1 Khí lý tưởng

Là chất khí thỏa mãn hai điều kiện sau:

- Lực tương tác giữa các phân tử tạo thành chất khí không đáng kể (trừ khi chúng va chạm với nhau hoặc khi va chạm với thành bình).
- Kích thước các phân tử không đáng kể và có thể bỏ qua.

Nói một cách chính xác, các khí thực không phải là các khí lý tưởng, nhưng các khí thực khi khá loãng có các tính chất rất gần với khí lý tưởng. Nhiều khí thực như oxygen, hydrogen, nitrogen, ... ở nhiệt độ phòng và áp suất khí quyển có thể coi là khí lý tưởng.

5.1.2 Thông số trạng thái

Nhiệt độ

Theo quan điểm cổ điển, nhiệt độ đặc trưng cho mức độ nóng lạnh của một vật, thang đo nhiệt thường sử dụng là: thang nhiệt độ bách phân (Celsius) hoặc thang nhiệt độ tuyệt đối (Kelvin). Liên hệ giữa thang nhiệt độ Kelvin và thang nhiệt độ Celsius là: $T \text{ K} = t^{\circ}\text{C} + 273$. Như vậy -273°C ứng với 0K và trong thang nhiệt độ Kelvin không có nhiệt độ âm, do đó thang nhiệt độ này còn được gọi là *thang nhiệt độ tuyệt đối*.

Áp suất

Áp suất đặc trưng cho mức độ tác dụng của các phân tử khí lên thành bình. Nếu gọi F là lực nén vuông góc lên một diện tích S của thành bình thì áp suất p là:

$$p = \frac{F}{S}.$$

Trong hệ SI, đơn vị của áp suất là Pascal (Pa).

Thể tích

Miền không gian mà các phân tử khí chuyển động, đối với khí lý tưởng, thể tích của bình chứa là thể tích của khối khí.

5.2 Phương trình trạng thái của khí lý tưởng

5.2.1 Phương trình trạng thái

Kết quả thực nghiệm cho thấy đối với một khối khí cho trước thì nhiệt độ, thể tích, áp suất thỏa mãn phương trình sau đây:

$$pV = \frac{M}{\mu}RT,$$

với:

- M là khối lượng của chất khí mà ta đang xét tính theo kg,
- μ là khối lượng của một kilomol chất khí đó,
- V là thể tích khối khí đang xét, tính theo đơn vị m^3 ,
- $R = 8.31 \cdot 10^3 \left(\frac{\text{J}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}\right)$ là hằng số, gọi là hằng số khí lý tưởng,
- T là nhiệt độ của khối khí theo thang nhiệt độ tuyệt đối K.

Phương trình trên gọi là *phương trình trạng thái của khí lý tưởng*.

5.2.2 Một số trường hợp riêng

- Quá trình đẳng nhiệt ($T = \text{const}$) (Boyle - Mariotte): là quá trình biến đổi trong đó nhiệt độ T của khối khí được giữ nguyên không đổi. Từ phương trình trạng thái khí lý tưởng ta có:

$$pV = \text{const.}$$

- Quá trình đẳng áp ($p = \text{const}$) (Gay - Lussac): là quá trình biến đổi trong đó áp suất p của khối khí được giữ nguyên không đổi. Từ phương trình trạng thái khí lý tưởng ta có:

$$\frac{V}{T} = \text{const.}$$

- Quá trình đẳng tích ($V = \text{const}$) (Charles): là quá trình biến đổi trong đó thể tích V của khối khí được giữ nguyên không đổi. Từ phương trình trạng thái khí lý tưởng ta có:

$$\frac{p}{T} = \text{const.}$$

5.3 Thuyết động học phân tử các chất khí

5.3.1 Nội dung

Thuyết này là một trong những thuyết đầu tiên của chất khí gồm các giả thiết sau:

- Các chất khí được tạo thành từ các phân tử khí.
- Phân tử khí chuyển động không ngừng và có kích thước rất nhỏ.
- Các phân tử khí không tương tác với nhau trừ khi va chạm.
- Va chạm giữa các phân tử khí với nhau và giữa các phân tử khí với thành bình là va chạm đàn hồi.

5.3.2 Phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử các chất khí

$$p = \frac{2}{3}n\overline{E_d},$$

trong đó $\overline{E_d} = \frac{1}{2}m\overline{v^2}$ là động năng tịnh tiến trung bình của một phân tử.

5.3.3 Các hệ quả

$$p = nk_B T$$

$$\overline{E_d} = \frac{3}{2}k_B T.$$

5.3.4 Luật phân bố đều năng lượng theo các bậc tự do

Bậc tự do

Là số tọa độ độc lập cần thiết để xác định vị trí của phân tử khí ở trong không gian. Ký hiệu bậc tự do là i .

- Trường hợp phân tử chỉ có một nguyên tử (các hơi kim loại) thì bậc tự do của chúng là $i = 3$.
- Trường hợp phân tử gồm hai nguyên tử (các khí oxygen, nitrogen, hydrogen, ...) thì bậc tự do của chúng là $i = 5$.
- Trường hợp phân tử gồm ≥ 3 nguyên tử (ví dụ CO_2) thì bậc tự do của chúng là $i = 6$.

Luật phân bố đều năng lượng theo các bậc tự do

Maxwell: "*Động năng trung bình của phân tử được phân bố đều cho các bậc tự do của phân tử*".
Tổng quát có thể nói rằng: phân tử có bậc tự do là i thì năng lượng của phân tử là $\frac{1}{2}k_B T$.

5.3.5 Nội năng của khí lý tưởng

Nội năng của khí lý tưởng:

$$U = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} RT.$$

Ta thấy nội năng của khí lý tưởng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của khối khí. Do trong một quá trình biến đổi bất kỳ, nếu nhiệt độ của khối khí thay đổi một lượng là $\Delta T = T_2 - T_1$, thì độ biến thiên nội năng là:

$$\Delta U = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T.$$

Tổng hợp bởi Nguyễn Văn Lộc

Chương 6

Nguyên lý thứ nhất nhiệt động học

6.1 Trạng thái cân bằng và quá trình cân bằng

Trạng thái cân bằng của hệ là trạng thái mà các thông số trạng thái của hệ có giá trị hoàn toàn xác định, ngược lại khi các thông số trạng thái đang thay đổi tức là hệ ở trạng thái không cân bằng. Nếu hệ là một khối khí thì mỗi trạng thái cân bằng của nó được xác định bởi hai trong ba thông số là p, V, T .

Quá trình cân bằng là quá trình biến đổi gồm một chuỗi liên tiếp các trạng thái cân bằng.

6.2 Khái niệm về năng lượng, công, nhiệt lượng

6.2.1 Năng lượng

Năng lượng của một hệ là đại lượng vật lý có thể dùng để chỉ mức độ vận động của hệ (động năng), mức độ tương tác của hệ với môi trường ngoài (thế năng) và khả năng tương tác lẫn nhau của các hạt tạo thành hệ (nội năng). Thông thường các đối tượng nghiên cứu xem là đứng yên và bỏ qua các trường ngoài, nghĩa là động năng và thế năng của hệ bằng không. Vậy *năng lượng của hệ chính là nội năng của nó*.

Quan sát thực nghiệm, ta thu được *nội năng (năng lượng) là hàm của trạng thái*. Đơn vị của nội năng là Joule (J) hoặc calories.

6.2.2 Công

Nếu ta giả thiết là khối khí đứng yên thì khái niệm công đối với chất khí được xác định như sau: Lực tác dụng lên chất khí được xem là thực hiện một công nếu là *thể tích chất khí thay đổi*. Do đó, khái niệm công gắn liền với quá trình biến đổi thể tích.

Công là hàm của quá trình.

Quy ước

- Nếu hệ nhận công từ bên ngoài thì A dương.
- Nếu hệ sinh công thì A âm.

Biểu thức tính công trong một quá trình cân bằng

Công nhỏ δA :

$$\delta A = -pdV.$$

Công lớn A :

$$A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV.$$

6.2.3 Nhiệt lượng

Nhiệt lượng chỉ tồn tại khi có một quá trình biến đổi xảy ra.
Nhiệt lượng là hàm của quá trình.

Quy ước

- Nếu hệ nhận nhiệt từ bên ngoài thì Q dương.
- Nếu hệ tỏa nhiệt thì Q âm.

Biểu thức tính nhiệt lượng trong một quá trình cân bằng

Nhiệt lượng nhỏ δQ :

$$\delta Q = \frac{M}{\mu} C dT.$$

Nhiệt lượng lớn Q :

$$Q = \frac{M}{\mu} C \Delta T.$$

6.3 Nguyên lý thứ nhất nhiệt động học

6.3.1 Phát biểu và biểu thức

Phát biểu

Độ biến thiên nội năng (năng lượng) của một hệ trong một quá trình biến đổi bằng tổng công và nhiệt lượng mà hệ nhận vào trong quá trình đó.

Biểu thức

Nếu quá trình nhỏ, độ biến thiên nội năng:

$$dU = \delta A + \delta Q.$$

Quá trình hữu hạn:

$$\Delta U = A + Q.$$

Nếu hệ thực hiện một quá trình khép kín (một chu trình), nghĩa là quá trình mà trạng thái cuối cùng trùng với trạng thái đầu và nội năng là hàm trạng thái, thì $U_1 = U_2$. Trong trường hợp này

$$\Delta U = A + Q = 0 \Rightarrow A = -Q.$$

- Nếu hệ nhận công ($A > 0$) thì tỏa ra nhiệt lượng Q ($Q < 0$), có nghĩa là **môi trường bên ngoài** nhận được một nhiệt lượng $Q' = -Q > 0$.
- Ngược lại, nếu hệ nhận nhiệt ($Q > 0$) thì sinh công A ($A < 0$), có nghĩa là **môi trường bên ngoài** nhận được một công $A' = -A > 0$.

Động cơ vĩnh cửu loại một

Người ta gọi một động cơ có khả năng sinh ra công mà không cần nhận năng lượng ở đầu vào là *động cơ vĩnh cửu loại một*.

Từ nguyên lý thứ nhất, ta có thể kết luận rằng không thể nào chế tạo được động cơ vĩnh cửu loại một.

6.3.2 Ứng dụng nguyên lý thứ nhất nhiệt động học để nghiên cứu các quá trình biến đổi của khí lý tưởng

Quá trình đẳng tích ($V = \text{const}$)

Công mà hệ nhận được:

$$A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV,$$

do $V = \text{const}$ nên $dV = 0$, nghĩa là trong quá trình đẳng tích, công mà hệ nhận được là

$$A = 0.$$

Độ biến thiên nội năng:

$$\Delta U = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T.$$

Nhiệt lượng mà hệ nhận được:

$$\begin{aligned} \Delta U &= A + Q \\ \Leftrightarrow Q &= \Delta U - A = \Delta U. \\ \Leftrightarrow Q &= \Delta U = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T. \end{aligned}$$

Đặt $C_v = \frac{iR}{2}$, là *nhiệt dung riêng phân tử đẳng tích*. Khi đó

$$Q = \frac{M}{\mu} C_v \Delta T.$$

Quá trình đẳng áp ($p = \text{const}$)

Công mà hệ nhận được:

$$A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

Do $p = \text{const}$ nên:

$$A = -p \int_{V_1}^{V_2} dV = -p(V_2 - V_1).$$

Vậy công mà hệ nhận được trong quá trình đẳng áp là:

$$A = p(V_1 - V_2).$$

Độ biến thiên nội năng:

$$\Delta U = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T.$$

Nhiệt lượng hệ nhận được:

$$\begin{aligned}
 Q &= \Delta U - A = \frac{M}{\mu} \cdot \frac{iR}{2} \Delta T + p(V_2 - V_1) \\
 \Leftrightarrow Q &= \frac{M}{\mu} \cdot \frac{iR}{2} \Delta T + \frac{M}{\mu} RT_2 - \frac{M}{\mu} RT_1 \\
 \Leftrightarrow Q &= \frac{M}{\mu} \cdot \frac{iR}{2} \Delta T + \frac{M}{\mu} R \Delta T \\
 \Leftrightarrow Q &= \frac{M}{\mu} R \Delta T \left(\frac{i}{2} + 1 \right) \\
 \Leftrightarrow Q &= \frac{M}{\mu} \frac{i+2}{2} R \Delta T.
 \end{aligned}$$

Đặt $C_p = \frac{i+2}{2} R$. Khi đó, nhiệt lượng hệ nhận được là:

$$Q = \frac{M}{\mu} C_p \Delta T.$$

Suy ra hệ thức

$$C_p - C_v = R.$$

Đặt

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i},$$

gọi là *hệ số Poisson*.

Quá trình đẳng nhiệt ($T = \text{const}$)

Công mà hệ nhận được:

$$A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

Do quá trình đẳng nhiệt nên $pV = p_1 V_1 = p_2 V_2$, vì vậy:

$$A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV = -p_1 V_1 \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V} dV = -p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Vậy công mà hệ nhận được là:

$$A = - \frac{M}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Độ biến thiên nội năng:

$$\Delta U = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T$$

Mà $\Delta T = 0$ nên

$$\Delta U = 0.$$

Nhiệt lượng hệ nhận được:

$$\begin{aligned}
 Q &= \Delta U - A = -A \\
 \Leftrightarrow Q &= \frac{M}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}.
 \end{aligned}$$

Quá trình đoạn nhiệt

Quá trình đoạn nhiệt là một quá trình mà trong đó không có sự truyền nhiệt vào trong cũng như mất nhiệt ra khỏi hệ nhiệt động đang xét. Nói cách khác, quá trình đoạn nhiệt là một quá trình hoàn toàn cách nhiệt ($Q = 0$).

Theo nguyên lý thứ nhất, bằng các phép biến đổi, ta được:

$$pV^\gamma = \text{const.}$$

Phương trình trên được gọi là *phương trình Poisson đối với quá trình đoạn nhiệt*. Suy ra các phương trình:

$$TV^{\gamma-1} = \text{const.},$$

$$PT^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} = \text{const.},$$

$$TP^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = \text{const.}$$

Độ biến thiên nội năng:

$$\Delta U = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T.$$

Công mà hệ nhận được:

Bằng vài phép biến đổi, áp dụng công thức $pV = \frac{M}{\mu} RT$, ta thu được công thức tính công mà hệ nhận được:

$$A = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{\gamma - 1}.$$

Tổng hợp bởi Nguyễn Văn Lộc

Tổng hợp bởi Nguyễn Văn Lộc

Chương 7

Nguyên lý thứ hai nhiệt động học

7.1 Những hạn chế của nguyên lý thứ nhất nhiệt động học

- Không xác định chiều truyền tự nhiên của nhiệt lượng. Nhiệt truyền tự nhiên từ vật nóng hơn sang vật lạnh hơn. Không có quá trình tự nhiên ngược lại.
- Không xác định chiều chuyển hóa tự nhiên của năng lượng. Thế năng tự nhiên chuyển hóa thành động năng rồi thành nhiệt năng tỏa ra. Không có quá trình tự nhiên ngược lại.
- Mặc dù các quá trình tự nhiên ngược lại của hai ví dụ trên đều thỏa mãn nguyên lý thứ nhất nhiệt động học.
- Không đánh giá được chất lượng nhiệt.
- Không phân biệt khác nhau giữa công và nhiệt.

7.2 Quá trình thuận nghịch và không thuận nghịch

Quá trình đưa một hệ nhiệt động từ trạng thái 1 sang trạng thái 2 được gọi là *thuận nghịch* nếu ta có thể thực hiện được quá trình ngược lại, tức là đưa hệ từ trạng thái 2 trở về trạng thái 1 và *đi qua đúng mọi trạng thái trung gian* giống hệ như đi theo chiều thuận từ 1 sang 2. Nếu không thực hiện được quá trình ngược đi qua đúng các trạng thái trung gian như cũ, thì quá trình đó được gọi là *không thuận nghịch*, các quá trình có ma sát là không thuận nghịch.

7.3 Nguyên lý thứ hai nhiệt động học

7.3.1 Máy nhiệt

Máy nhiệt là một hệ hoạt động tuần hoàn để biến công thành nhiệt hoặc nhiệt thành công.

Động cơ nhiệt

- *Nguyên tắc*: là loại máy nhiệt *biến đổi nhiệt lượng thành công*. Ví dụ: động cơ hơi nước, động cơ đốt trong, ...
- *Tác nhân*: chất vận chuyển (khí, hơi nước, xăng, ...), biến nhiệt thành công: tuần hoàn.

- *Hiệu suất của động cơ nhiệt*: Là tỉ số giữa công sinh ra A' và nhiệt lượng nhận vào Q_1 :

$$\eta = \frac{A'}{Q_1}.$$

Theo nguyên lý thứ nhất, trong một chu trình, nhiệt lượng mà hệ nhận vào Q_1 bằng công A' do tác nhân sinh ra cộng với nhiệt Q_2' mà hệ nhả ra cho nguồn lạnh:

$$Q_1 = A' + Q_2'.$$

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2'}{Q_1}$$

Vậy hiệu suất của động cơ nhiệt là:

$$\eta = 1 - \frac{Q_2'}{Q_1}.$$

Máy làm lạnh

- *Nguyên tắc*: là máy nhiệt biến công thành nhiệt. Tác nhân trong máy làm lạnh biến đổi theo quá trình ngược với động cơ nhiệt.
- Trong quá trình hoạt động, tác nhân nhận công A từ ngoại vật, lấy nhiệt lượng Q_2 của nguồn lạnh, nhả nhiệt lượng Q_1' cho nguồn nóng. Hệ số làm lạnh của máy làm lạnh là:

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{A}$$

$$\Leftrightarrow \varepsilon = \frac{Q_2}{Q_1' - Q_2}.$$

7.3.2 Phát biểu nguyên lý thứ hai

Phát biểu của Thompson (liên quan đến động cơ nhiệt)

Phát biểu: *Một động cơ nhiệt không thể sinh công nếu nó chỉ trao đổi nhiệt với một nguồn nhiệt duy nhất.*

Người ta gọi động cơ nhiệt hoạt động tuần hoàn bằng cách chỉ trao đổi nhiệt với một nguồn nhiệt duy nhất là *động cơ vĩnh cửu loại hai*, nói cách khác, động cơ vĩnh cửu loại hai là động cơ nhiệt có hiệu suất 100%. Nguyên lý thứ hai khẳng định không thể chế tạo động cơ vĩnh cửu loại hai.

Phát biểu của Clausius (liên quan đến máy làm lạnh)

Phát biểu: *Không thể tồn tại một quá trình nhiệt động mà kết quả duy nhất là sự truyền nhiệt lượng từ vật lạnh hơn sang vật nóng hơn.*

Tóm lại, theo nguyên lý thứ hai nhiệt động học thì **công có thể biến hoàn toàn thành nhiệt** như trong các quá trình có sự tham gia của ma sát, nhưng ngược lại **nhiệt chỉ có thể biến một phần của nó thành công cơ học**.

7.4 Chu trình Carnot và định lý Carnot

7.4.1 Chu trình Carnot thuận nghịch

Chu trình Carnot gồm hai quá trình đẳng nhiệt và hai quá trình đoạn nhiệt xen kẽ nhau: dẫn nở đẳng nhiệt \rightarrow dẫn nở đoạn nhiệt \rightarrow nén đẳng nhiệt \rightarrow nén đoạn nhiệt, đây là chu trình Carnot với động cơ nhiệt. Nếu tiến hành ngược lại, ta được chu trình Carnot với máy làm lạnh.

7.4.2 Hiệu suất của chu trình Carnot thuận nghịch

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

7.4.3 Định lý Carnot

- Hiệu suất của tất cả các động cơ nhiệt làm việc theo chu trình Carnot thuận nghịch với cùng *nguồn nóng như nhau* và *nguồn lạnh như nhau* thì *bằng nhau*, không phụ thuộc bản chất của tác nhân, *chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của hai nguồn nhiệt*.
- Hiệu suất của động cơ không thuận nghịch thì nhỏ hơn hiệu suất của động cơ thuận nghịch:

$$\eta_{ktn} < \eta_{tn}.$$

- Trong cùng điều kiện như nhau, chu trình Carnot luôn có hiệu suất lớn hơn các chu trình không phải là Carnot.