### PHẦN I: CƠ HỌC CHƯƠNG 1: ĐỘNG HỌC CHẤT ĐIỂM

*Động học chất điểm chỉ nghiên cứu các đặc trưng của các dạng chuyển động cơ, mà không hề xét đến nguyên nhân gây ra hoặc làm biến đổi các chuyển động đó.*

### §1.1. Khái niệm

* + 1. **Chuyển động và hệ quy chiếu**

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

Phân loại :

* Chuyển động tịnh tiến: là chuyển động mà mọi điểm của nó vạch ra những quĩ đạo giống nhau. (VD: Ôtô chuyển động tịnh tiến thẳng)
* Chuyển động quay: là chuyển động mà mọi điểm của nó vạch ra những vòng trong có cùng trục quay  . (VD: chuyển động quay của kim đồng hồ)

Mọi chuyển động phức tạp đều có thể phân tích thành chuyển động tịnh tiến và chuyển động quay.

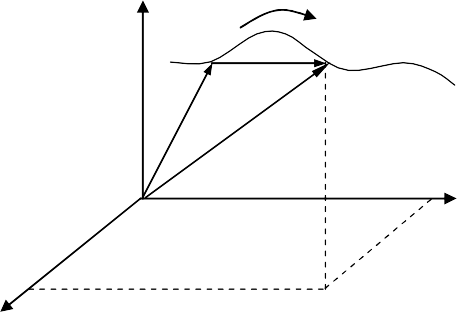
Để xác định vị trí của một vật trong không gian, ta chọn một vật khác quy ước là đứng yên làm hệ qui chiếu và gắn vào đó một đồng hồ đo thời gian.

Một vật có thể chuyển động đối với hệ qui chiếu này, nhưng là đứng yên đối với hệ qui chiếu khác. VD: Người ngối trên tàu là đứng yên đối với toa tàu, nhưng lại chuyển động đối với nhà ga. Từ đó suy ra chuyển động hay đứng yên chỉ có tính chất tương đối, tùy thuộc vào hệ qui chiếu ta chọn.

### Chất điểm và phương trình chuyển động của chất điểm

Chất điểm là một vật có kích thước nhỏ không đáng kể so với những khỏang cách, những kích thước mà ta đang khảo sát. Việc xem một vật là chất điểm hay không phụ thuộc vào điều kiện bài toán ta nghiên cứu. Ví dụ : trái đất chuyển động quay xung quanh

mặt trời có thể xem là chất điểm nhưng khi xét đến chuyển động quay xung quanh mình thì không thể coi là chất điểm.



z

M

*s*

+

M’

A

*r*

C

*r*

*r* '

O

*z*

x

Tập hợp các chất điểm được gọi là hệ chất điểm. Vật rắn là

một hệ chất điểm trong đó khoảng cách tương hỗ giữa các chất điểm của hệ không thay đổi.

Để khảo sát chuyển động của

y

Hình 1-1: Hệ tọa độ Đề các và quỹ đạo của chất điểm

một chất điểm ta gắn vào hệ quy chiếu một hệ trục tọa độ Đề các Oxyz.

Vị trí của chất điểm M được xác định bởi :

x = x(t); y = y(t); z = z(t) (1.1) hay r⃗ = ¯r¯¯(¯¯¯t¯¯)⃗ (1.2)



( r  OM : bán kính véctơ xác định vị trí M)

Các phương trình (1.1) và (1.2) gọi là phương trình chuyển động của chất điểm.

### Quỹ đạo

Khi chất điểm chuyển động nó vẽ nên đường cong gọi là quỹ đạo hay nó là tập hợp liên tiếp vị trí chất điểm trong không gian.

Vậy : *Quĩ đạo của chất điểm chuyển động là đường tạo bởi tập hợp tất cả các vị trí của nó trong không gian, trong suốt quá trình chuyển động.*

Để tìm phương trình quỹ đạo ta khử tham số *t* trong các phương trình chuyển động, xác định liên hệ giữa 3 thành phần chuyển động và thu được phương trình quỹ đạo.

### Hoành độ cong

Giả thiết chất điểm M chuyển động trên đường cong quỹ đạo (C)



**+** M

s

(C)

A

Trên (C) ta chọn một điểm A cố định làm gốc và chiều dương trên đường cong là chiều chuyển động.

Khi đó, vị trí của M trên (C) được xác định bởi : AˆM = s AM (s gọi là hoành độ cong của

M)

Khi M chuyển động, s là hàm của thời gian

Hình 1-2. Hoành độ

cong

s = s(t) (1.3)

### §2. Vận tốc

Ý nghĩa vật lý : Vận tốc là một đại lượng đặc trưng cho phương, chiều và sự nhanh chậm của chuyển động

### Định nghĩa

Xét chất điểm M chuyển động trên một đường cong (C).

Trên (C) ta chọn một gốc A (tại thời điểm t = 0 chất điểm ở vị trí A) và chiều dương là chiều chuyển động.

Giả sử tại thời điểm t, chất điểm ở vị trí M xác định bởi: AˆM = s

tại thời điểm t’, chất điểm ở vị trí M’ xác định bởi: AˆM′ = s′

Quãng đường chất điểm đi được trong khoảng thời gian ∆t = tu − t là:

MˆM′ = su − s = ∆s

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

v = ∆c

tb

∆t

(1.4)

Vận tốc trung bình chỉ đặc trưng cho độ nhanh chậm trung bình của chuyển động chất điểm trên quãng đường MM ' . Trên quãng đường này độ nhanh chậm của chuyển động chất điểm nói chung mỗi chỗ một khác. Để đặc trưng cho tốc độ nhanh chậm của chuyển động tại từng thời điểm, ta sử dụng khái niệm *vận tốc tức thời*:

v = lim ∆c = dc = ṡ (1.5)

∆t→0 ∆t dt

*Vậy vận tốc của chất điểm có giá trị bằng đạo hàm bậc nhất quãng đường hay hoành độ cong của chất điểm theo thời gian*.

Nhận xét:

* Dấu của v xác định chiều chuyển động: v  0 , chất điểm chuyển động theo chiều dương của quỹ đạo và v  0 khi chất điểm chuyển động theo chiều ngược lại.
* Trị tuyệt đối của v xác định độ nhanh chậm của chuyển động tại từng thời điểm.

### Véctơ vận tốc

Để đặc trưng một cách đầy đủ về cả phương, chiều và độ nhanh chậm của chuyển động chất điểm, người ta đưa ra một véc tơ gọi là *véctơ vận tốc*.

Véc tơ vận tốc v

* có phương nằm trên tiếp tuyến với quỹ đạo
* có chiều theo chiều chuyển động *ds v v* '
* có độ lớn bằng trị tuyệt đối của v

M

M’

(c)

Biểu thức v⃗: Người ta định nghĩa một *véctơ vi phân cung* ds nằm trên tiếp tuyến với quỹ đạo tại M, hướng theo chiều chuyển động và

có độ lớn bằng trị tuyệt đối của vi phân hoành độ cong đó |¯d¯¯¯s⃗| = ds

Khi đó, ta có:

Hình 1-3: Véc tơ vận tốc

v⃗ = ¯d¯¯¯c⃗

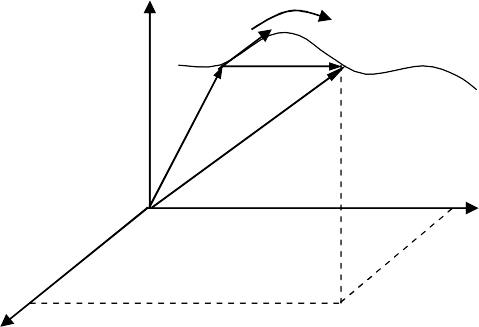
dt

### Véc tơ vận tốc ¯v¯⃗ trong hệ tọa độ Đềcác

Xét chất điểm M chuyển động trên một đường cong (C)

(1.6)

Ở thời điểm t vị trí chất điểm M xác định bởi: ¯O¯¯¯M¯¯⃗ = r⃗



z

M

+

M’

A

ds

dr

C

*r*

*r* '

O

*z*

x

Ở thời điểm t’ = t + dt vị trí chất

¯¯¯¯¯¯¯¯⃗ ¯¯¯¯⃗

điểm tại M: OM′ = r⃗ + dr

Khi dt vô cùng nhỏ, ta có ¯d¯¯¯r⃗ ≈ ¯d¯¯¯s⃗

Vậy vận tốc của chất điểm là:

v⃗ = ¯d¯¯¯¯r⃗

dt

Trong hệ tọa độ Đề các

⎧vs = ds

⎪ dt

v = dy

y

⎨ dt

(1.7)

y

Hình 1-4. Sự tương đương của ¯d¯¯¯s⃗

và ¯d¯¯¯v⃗

⎪vz = dz

⎩ dt

Độ lớn: |v⃗| = ƒv2 + v2 + v2

s y z

### §1.3. Gia tốc

Ý nghĩa vật lý: Gia tốc là một đại lượng đặc trưng cho sự biến thiên của véc tơ vận tốc.

### Định nghĩa

Giả sử tại thời điểm t, chất điểm ở vị trí M có véc tơ vận tốc v⃗ ,

tại thời điểm t’, chất điểm ở vị trí M’ có véc tơ vận tốc ¯v¯¯⃗′

Trong khoảng thời gian ∆t = tu − t

véc tơ vận tốc của chất điểm biến thiên một lượng:¯∆¯¯¯v⃗ = ¯v¯¯⃗′ − v⃗

*Véc tơ gia tốc trung bình là độ biến thiên trung bình của véc tơ vận tốc trong một đơn vị thời gian*

a¯¯¯¯¯⃗ = ∆¯¯¯¯v¯⃗

(1.8)

tb ∆t

Khi cho *t*  0 thì gia tốc trung bình sẽ trở thành gia tốc tức thời đặc trưng

cho sự biến thiên vận tốc tại từng thời điểm

a⃗ = lim ∆¯¯¯¯v¯⃗ = ¯d¯¯¯v¯⃗ = ¯d¯¯¯2¯¯¯r⃗

(1.9)

∆t→0 ∆t dt dt2

Vậy véc tơ gia tốc bằng đạo hàm vectơ vận tốc theo thời gian hay bằng đạo hàm bậc 2 của vectơ vị trí của chất điểm theo thời gian

Nhận xét:

- Trong tọa độ Đề Các, phân tích ba thành phần *ax* , *ay* , *az* của véc tơ gia

tốc a⃗ = as. t⃗ + ay. y⃗ + az. k¯⃗ theo 3 trục tọa độ Đề các ta cũng có:

a = dvx = d2s

⎧ s ds dt2

⎪a = dvy = d2y

(1.10)

⎨ y dy dt2

⎪a = dvz = d2z

⎩ z dz dt2

độ lớn của gia tốc được tính theo công thức

| | 2 2

2 J(d2s 2

d2y 2

d2y 2

a⃗ = ƒas + ay + az =

dt2 )

+ (dt2 )

+ (dt2 )

(1.11)

### Gia tốc tiếp tuyến và gia tốc pháp tuyến

Véctơ gia tốc đặc trưng cho sự biến thiên của véctơ vận tốc về phương chiều và độ lớn. Ta sẽ phân tích gia tốc ra thành hai thành phần, mỗi thành phần đặc trưng cho sự biến thiên của véctơ vận tốc riêng về một mặt nào đó.

Để đơn giản, xét 1 chất điểm chuyển động trên một quĩ đạo tròn tâm O, bán kính R.

M

A

Δθ

O M’

B

A’

Tại thời điểm t, chất điểm ở vị trí M có vận

tốc M¯¯¯¯¯A¯⃗ = v⃗ C

Tại thời điểm t’, chất điểm ở vị trí M’ có vận tốc M¯¯¯¯¯′¯¯A¯¯⃗′ = v⃗′

Từ M vẽ véc tơ ¯M¯¯¯¯B¯⃗ = M¯¯¯¯¯′¯¯A¯¯⃗′ = v⃗′

Nối AB, ta có

¯∆¯¯¯v⃗

¯A¯¯¯B¯⃗ = M¯¯¯¯¯B¯⃗ = ¯M¯¯¯¯A¯⃗ = v⃗u − v⃗ =

Hình 1-5: Gia tốc tiếp tuyến và gia tốc pháp tuyến

Trên phương v⃗′ lấy *MC*  **'

Nối BC, ta có ¯∆¯¯¯v⃗ = ¯A¯¯¯B¯⃗ = A¯¯¯¯C¯⃗ + ¯C¯¯¯B¯⃗

Theo định nghĩa, véc tơ gia tốc của chất điểm tại thời điểm t (ở vị trí M) là

a⃗ = lim ∆¯¯¯¯v¯⃗ = lim Æ¯¯¯¯C¯⃗+¯C¯¯¯B¯⃗

∆t→0 ∆t ∆t→0 ∆t

= lim ¯∆¯¯¯v¯¯¯t⃗ + lim ¯∆¯¯¯v¯¯¯n¯⃗ = ¯a¯¯⃗ + ¯a¯¯¯⃗ (1.12)

1. *Gia tốc tiếp tuyến*

∆t→0 ∆t ∆t→0 ∆t t n

Trong công thức trên thành phần thứ nhất là gia tốc tiếp tuyến:

¯a¯¯⃗ = lim Æ¯¯¯¯C¯⃗ = lim ¯∆¯¯¯v¯¯¯t⃗

(1.13)

Nhận xét:

t ∆t→0 ∆t ∆t→0 ∆t

* Phương của ¯a¯¯⃗t là phương của ¯∆¯¯¯v¯¯⃗t hay phương của tiếp tuyến với quĩ đạo tại M. Suy ra a¯¯¯⃗t gọi là gia tốc tiếp tuyến.
* Chiều của ¯a¯¯⃗t là chiều ¯∆¯¯¯v¯¯⃗t hay chiều chuyển động khi *v* tăng và ngược chiều chuyển động khi *v* giảm.
* Độ lớn của ¯a¯¯⃗t

|

¯∆¯¯¯v¯¯¯t⃗

∆¯¯¯¯v¯⃗ dv

¯a¯¯⃗t =

lim

∆t→0

| = | lim | = | |

∆t ∆t→0 ∆t dt

Vậy gia tốc tiếp tuyến có độ lớn bằng đạo hàm của độ lớn vận tốc đối với thời gian. Vận tốc càng thay đổi nhiều thì gia tốc tiếp tuyến càng lớn. *Chứng tỏ véc tơ gia tốc tiếp tuyến đặc trưng cho sự biến thiên véc tơ vận tốc về độ lớn.*

1. *Gia tốc pháp tuyến*

Thành phần thứ hai là gia tốc pháp tuyến:

a¯¯¯¯⃗ = lim ¯C¯¯¯B¯⃗ = lim ¯∆¯¯¯v¯¯¯n¯⃗

(1.14)

Nhận xét:

n ∆t→0 ∆t ∆t→0 ∆t

- Xác định phương của a¯¯¯¯n⃗

Đặt MˆOM′ = CˆMB = ∆8

Tam giác CMB cân có MˆCB = n–CˆMB = n − ∆8

2 2 2

Khi *t*  0 thì M’M nghĩa là ∆8 → 0, do đó MˆCB → n

2

Vậy phương của a¯¯¯¯n⃗ là phương pháp tuyến của quĩ đạo tại M. Suy ra a¯¯¯¯n⃗ gọi là gia ốc pháp tuyến.

* Chiều của a¯¯¯¯n⃗ là chiều ¯∆¯¯¯v¯¯¯n⃗ luôn quay về phía tâm của vòng tròn nghĩa là quay về phía lõm của của quĩ đạo, do đó a¯¯¯¯n⃗ còn gọi là gia tốc hướng tâm.
* Độ lớn của a¯¯¯¯n⃗

|a¯¯¯¯⃗| = | lim ¯C¯¯¯B¯⃗| = | lim ∆¯¯¯¯v¯¯¯n¯⃗|

n ∆t→0 ∆t ∆t→0 ∆t

Vì ∆CMB đồng dạng với tam giác suy ra CB

MMu

= MC

OM

hay | ¯∆¯¯¯v¯¯¯n¯⃗| = vu

MMu R

Khi ∆t rất nhỏ MM′ ≈ ∆s  |¯∆¯¯¯v¯¯¯⃗| = vu . ∆s

n

R

|a¯¯¯¯⃗| = | lim ¯∆¯¯¯v¯¯¯n¯⃗| = lim vu ∆c = 1 . lim v′ . lim ∆c = v2

n ∆t→0 ∆t ∆t→0 R ∆t R ∆t→0 ∆t→0 ∆t R

Nếu ** không đổi, *an* càng lớn thì R càng nhỏ, quĩ đạo cong càng nhiều, kết qủa là phương của véc tơ vận tốc thay đổi nhiều; nếu R không đổi, *an* càng lớn khi ** càng lớn, trong một đơn vị thời gian chất điểm sẽ đi được một quãng đường dài trên quĩ đạo tròn nghĩa là phương của véc tơ vận tốc thay đổi

nhiều. *Chứng tỏ véc tơ gia tốc pháp tuyến đặc trưng cho sự biến thiên về phương của véc tơ vân tốc.*

1. *Kết luận*

Ta có thể phân tích véc tơ gia tốc thành 2 thành phần: a⃗ = a¯¯¯⃗t + a¯¯¯¯n⃗

Trong đó: a¯¯¯⃗t đặc trưng cho sự thay đổi của véc tơ vận tốc về độ lớn

a¯¯¯¯n⃗ đặc trưng cho sự thay đổi của véc tơ vận tốc về phương Do a¯¯¯⃗t ⊥ a¯¯¯¯n⃗ nên độ lớn của véc tơ gia tốc là:

a = ƒa2 + a2 = J(dv)2 + (v2)2 (1.15)

t n dt R

### §1.4. Một số dạng chuyển động

* + 1. **Chuyển động thẳng đều**

Chuyển động thằng đều là chuyển động thẳng với vận tốc không đổi.

Khi đó v⃗ = ¯c¯¯o¯¯¯n¯¯¯s¯¯t⃗ hay a⃗ = 0

Các phương trình cơ bản

s = s0 + v0. t (1.16)

### Chuyển động thằng biến đổi đều

Chuyển động thẳng biến đổi đều là chuyển động thẳng có phương chiều không thay đổi nên a⃗ = ¯c¯¯o¯¯¯n¯¯¯s¯¯t⃗

Các phương trình cơ bản

vt = v0 + a. t (1.17)

s = s0 + v0 + 1 a. t2 (1.18)

2

v2 − v2 = 2as (1.19)

t 0

### Chuyển động tròn

Chuyển động tròn là chuyển động của một chất điểm có quĩ đạo là đường tròn.

Để đặc trưng cho chuyển động tròn người ta đưa ra các đại lượng vận tốc góc ( ** ) và gia tốc góc (**).



**

**

*R*

*d*

*ds*

**

**

*t*

1. *Vận tốc góc*

Giả sử quĩ đạo là vòng tròn tâm O bán kính R.

Trong khoảng thời gian ∆t = tu − t chất điểm đi được quãng

**

*R*

**

**

*t*

đường ∆s = MˆM′ ứng với góc

quay của bán kính MˆOM = ∆8

* *Vận tốc góc trung bình*

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

Hình 1-6: Véc tơ vận tốc và gia tốc góc

m = ∆8

tb

∆t

* *Vận tốc góc tức thời*

Khi *t*  0 thì

(1.20)

m = lim ∆8 = d8

(1.21)

∆t→0 ∆t dt

Vậy vận tốc góc có giá trị bằng đạo hàm của góc quay theo thời gian.

* Đơn vị vận tốc góc là: rad/s.
* Véc tơ vận tốc góc m¯¯⃗

+ Phương của m¯¯⃗ nằm trên trục của đường tròn quĩ đạo.

+ Chiều của m¯¯⃗ xác định bởi qui tắc bàn tay phải : Đặt bàn tay phải nắm sao cho chiều từ cổ tay đến đầu ngón tay là chiều chuyển động của chất điểm thì chiều ngón tay cái để thẳng là chiều của véc tơ m¯¯⃗

+ Độ lớn của véc tơ vận tốc góc là m = d8

dt

1. *Gia tốc góc*

Giả sử trong khoảng thời gian ∆t = tu − t vận tốc góc của chất điểm chuyển động tròn biến thiên một lượng là ∆m = mu − m .

* Gia tốc góc trung bình

*Gia tốc góc trung bình là độ biến thiên trung bình của vận tốc góc trong một đơn vị thời gian*

þ = ∆m*.* (1.22)

tb

∆t

* Gia tốc góc tức thời Khi ∆t → 0 thì

þ = lim ∆m = dm = d28 = 8̈ (1.23)

∆t→0 ∆t dt dt2

*Vậy gia tốc góc có giá trị bằng đạo hàm của vận tốc góc theo thời gian và bằng đạo hàm bậc hai của góc quay đối với thời gian.*

*-* Đơn vị vận tốc góc là: rad/s2.

* Véc tơ gia tốc góc þ⃗:

+ Phương của þ⃗ trùng với phương m¯¯⃗ tức là nằm trên trục của đường tròn quĩ đạo.

+ Chiều của þ⃗ cùng chiều với m¯¯⃗ khi ** > 0 (chuyển động tròn nhanh dần đều) và ngược chiều với m¯¯⃗ khi ** < 0 (chuyển động tròn chậm dần đều).

+ Độ lớn của véc tơ gia tốc góc là m = |dm|

dt

1. *Mối liên hệ giữa các biến số dài và biến số góc*

v⃗ = m¯¯⃗ ∧ R¯⃗ (1.24)

a = v2 = R. m2 (125)

n

R

a¯¯¯⃗t = þ⃗ ∧ R¯⃗ (1.26)

*Chú ý:* Trong trường hợp * =* const ta có chuyển động tròn biến đổi đều. Tương tự như trường hợp chuyển động thẳng biến đổi đều ta cũng thu được các hệ thức

m = m0 + þt (1.27)

8 = m t + 1 þt2 (1.28)

0

2

m2 − m2 = 2þ8 (1.29)

0

### Chuyển động với gia tốc không đổi

Xét 1 chất điểm được ném theo phương hợp với phương nằm ngang một góc

**. Giả sử vị trí ban đầu của chất điểm là O và vận tốc ban đầu của vật là ¯v¯¯¯0⃗. Với độ cao không lớn lắm, có thể coi *g* = const.

1. *Tìm phương trình chuyển động của hệ*

Phân tích chuyển động thành hai chuyển động thành phần: theo phương nằm ngang (Ox) và phương thẳng đứng (Oy).

* Theo phương nằm ngang Ox: Lực tác dụng bằng 0 nên ta có:

*ax*  0

*x*   *axdt*  0 *ox*  *o* cos**

*x*  *xdt*  *ot* cos** *xo*  *ot* cos**  0  *ot* cos**

* Theo phương thẳng đứng Oy:



Vật chịu tác dụng của trọng lực

*P*  *mg*

hướng thẳng đứng xuống dưới, nên

theo phương thẳng đứng vật chuyển động biến đổi đều với gia tốc theo phương Oy ta có:

*ay*  *g*

* y*   *ay dt*  *gt* *oy*  *o* sin**  *gt*

*g* . Do đó

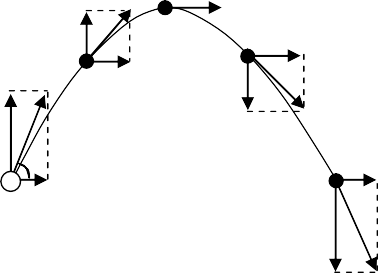
*y*  * dt*  * t* sin**  1 *gt* 2 *y*

 * t* sin**  1 *gt* 2

 *y o*

2 *o o* 2

Khử *t* trong phương trình *x* thay vào phương trình *y* ta được phương trình quĩ đạo



*y*

A

**

**

*x*

*o*

**

**

*y*

**

*x*

*g*



*x*

*y*  *o* sin**  **

  2

  *g* 

1

*x*



 *o* cos**  2  *o* cos** 

Hình 1-7. Chuyển động ném xiên 9

2

 *y*   1 *gx*  *tg*.*x*

2 ** 2 cos2 **

*o*

Quĩ đạo là một hình parabol (hình vẽ).

1. *Tìm độ cao cực đại*

Tại độ cao cực đại * y*  0

 *t*  *o* sin**

*g*

 Vị trí cực đại của vật là

** sin** ** 2 sin 2**

*x*  *o o* cos**  *o*

*g*

** sin**

2*g*

1  ** sin** 2

** 2 sin 2 **

*y*  *o o* sin**  *g* *o*   *o*

*g* 2  *g*  2*g*

1. *Tìm tầm xa cực đại*

Tại tầm xa cực đại y = 0

 *t*  2*o* sin **

*g*

 Vị trí cực đại của vật là

2** sin** ** 2 sin 2**

*x*  *o* cos**   *o*

*o g g*

*y*  0

### CHƯƠNG 2: ĐỘNG LỰC HỌC CHẤT ĐIỂM

*Động lực học chất điểm nghiên cứu mối liên hệ giữa chuyển động và nguyên nhân gây ra nó: tức là sự tương tác giữa các vật.*

*Cơ sở cơ bản của cơ học cổ điển chính là các định luật Niutơn và nguyên lý Galilê*

### §2.1. Các định luật Niuton

* + 1. **Định luật Niuton thứ nhất (I)**

Nội dung

*Khi một chất điểm cô lập (không chịu một tác động nào từ bên ngoài) nếu đang đứng yên, nó sẽ tiếp tục đứng yên, nếu đang chuyển động thì chuyển động của nó là thẳng đều.*

Nói cách khác: *Một chất điểm cô lập bảo toàn trạng thái chuyển động của nó.*

Tính chất bảo toàn trạng thái chuyển động gọi là quán tính vì vậy định luật Newton I còn gọi là định luật quán tính.

### Định luật Niuton thứ hai (II)

1. *Phát biểu*

* *Chuyển động của một chất điểm chịu tác dụng của các lực có tổng hợp*

F⃗ ≠ 0 *là một chuyển động có gia tốc.*

* *Gia tốc chuyển động của chất điểm tỷ lệ với tổng hợp lực tác dụng* F⃗

*và tỷ lệ nghịch với khối lượng của chất điểm ấy*

a⃗ = k F⃗

n

Trong đó: *k* là hệ số tỉ lệ phụ thuộc vào các đơn vị sử dụng. Trong hệ SI có *k* = 1, khi đó biểu thức toán học của a⃗ là

a⃗ = F⃗

n

1. *Phương trình cơ bản của cơ học chất điểm*

(2.1)

* Phương trình Newton na⃗ = F⃗ là phương trình cơ bản của động lực học chất điểm.
* Phương trình này có thể mô tả cả hai định luật I và II của Newton Định luật Newton:

*a*

F⃗ = 0 → a⃗ = 0 → v⃗ = const

*F*  0    0  **  *const*

Định luật Newton II: F⃗ ≠ 0 → a⃗ = F⃗ ≠ 0

n

1. *Hệ qui chiếu quán tính*

Hệ qui chiếu quán tính là hệ qui chiếu trong đó định luật II Newton được nghiệm đúng.

Hệ qui chiếu phi quán tính là hệ qui chiếu trong đó định luật II Newton không được nghiệm đúng.

1. *Lực tác dụng trong chuyển động cong*

Giả sử chất điểm M chuyển động trên đường cong (C) chịu tác dụng của lực

tổng hợp *F* .

Do F⃗ = na⃗ = n(a¯¯¯⃗t + a¯¯¯¯n⃗)

nên ta có thể phân tích lực *F* ra 2 thành phần:



M *a* *F*

*an*



*a*

*Fn*

*F*

F⃗ = ¯F¯¯⃗t + ¯F¯¯n⃗ (2.2) Trong đó:

¯F¯¯⃗t = n¯a¯¯⃗t

là lực tiếp tuyến

Hình 2-1. Lực tác dụng trong

¯F¯¯n⃗ = na¯¯¯¯n⃗ là lực pháp tuyến hay lực hướng tâm

### Định luật Niuton thứ ba (III)

Nội dung

*Khi chất điểm A tác dụng lên chất điểm B*

chuyển động cong

A B



*FBA*

*FAB*

*một lực*

*FAB*

*thì chất điểm B cũng tác dụng*

*lên chất điểm A một lực*

*FBA cùng phương,*

*ngược chiều và cùng độ lớn với*

*FAB F F*

¯F¯¯¯¯¯⃗ = ¯F¯¯¯¯¯⃗ (2.3)



*BA*

*AB*

ÆB BÆ

*Chú ý*

Hình 2-2. Định luật III Niutơn

*-* Tổng hình học của các lực tương tác giữa hai chất điểm bằng không

¯F¯¯Æ¯¯¯B⃗ + ¯F¯¯B¯¯Æ¯⃗ = 0

* Véc tơ ¯F¯¯Æ¯¯¯B⃗ và ¯F¯¯B¯¯Æ¯⃗ không triệt tiêu nhau vì điểm đặt của chúng khác nhau (lên các vật khác nhau)
* Trường hợp tổng quát: Trong hệ cô lập chỉ có nội lực tương tác giữa các điểm của hệ. Khi đó tổng hợp lực tương tác giữa từng đôi chất điểm là bằng không. Do vậy *tổng các nội lực của một hệ chất điểm cô lập (còn gọi là hệ kín) bằng không.*

### 2.2.4. Một số loại lực liên kết thường gặp

1. *Phản lực và lực ma sát*

Khi một vật chuyển động thì vật này sẽ tác dụng lên giá đỡ một lực nén. Theo định luật 3 Newton, giá đỡ cũng tác dụng lên vật một lực *R* gọi là phản lực tổng hợp tác dụng lên vật.

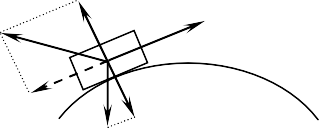
Thực nghiệm chứng tỏ rằng: trong trường hợp tổng quát, *R* có thể phân tích thành 2 thành phần:

*R*  *N*  *Fms*

Thành phần *N* vuông góc với mặt tiếp xúc giữa vật và giá đỡ gọi là phản lực pháp tuyến.

*N*

*R*



**

*Fms*

*P*

*R N*

*F*

*ms*

**

*P*

Hình 2-3. Phản lực và

Thành phần

*Fms*

cùng phương và ngược

lực ma sát

chiều với vận tốc gọi là lực ma sát hay phản lực tiếp tuyến.

*Lực ma sát là lực cản xuất hiện khi hai vật tiếp xúc nhau, chuyển động đối với nhau.*

* Phương cùng phương tiếp tuyến với mặt tiếp xúc giữa hai vật,
* Chiều ngược chiều với chiều chuyển động tương đối của vật.
* Có độ lớn: Fnc = kN

1. *Lực căng dây*



O

*T*

M

*Lực căng dây T là lực tác dụng lên vật khi treo trên dây*.

Lực căng dây có phương dọc theo dây và chiều đi

ra từ vật.

Thông thường lực căng có cường độ không đổi dọc theo một sợi dây

1. *Lực đàn hồi của lò xo*

*Lực đàn hồi của lò xo là lực xuất hiện khi lò xo bị biến dạng (nén hoặc dãn)*.

Theo định luật Hook, lực đàn hồi có độ lớn tỷ lệ với độ biến dạng và có chiều ngược với độ biến dạng

*T* '

Hình 2-4. Lực căng dây



M *a F*



*an*



*a*

*Fn*

*F*

*F*  *k**l*

Trong đó *k* là hệ số đàn hồi hay độ cứng của lò xo.

1. *Lực hướng tâm*

Hình 2-5. Lực hướng tâm

Nếu một vật chuyển động trên đường tròn bán kính R với vận tốc ** thì nó có gia tốc hướng tâm

** 2

*an*  *R*

 ** 2 *R*

Theo định luật II Newton vật phải chịu một lực

*Fn* 



*man*

có cùng phương

chiều với gia tốc hướng tâm, nghĩa là hướng dọc theo bán kính vào tâm đường tròn quĩ đạo, và có độ lớn bằng

** 2

*Fn*  *man*  *m R*

 *m* 2 *R*

Đó là lực hướng tâm. Vậy lực hướng tâm là lực xuất hiện khi vật chuyển động trên một quĩ đạo cong.

### 2.2.4. Ứng dụng phương trình cơ bản của cơ học để khảo sát chuyển động của các vật

1. *Việc giải bài toán cơ học có thể tiến hành theo các bước sau:*

*Bước 1:* Chọn hệ qui chiếu (thường chọn hệ qui chiếu gắn với mặt đất). Tìm và vẽ véc tơ lực tác dụng lên từng vật.

*Bước 2:* Viết phương trình định luật II Newton dưới dạng véc tơ cho từng vật.

*Bước 3:* Chuyển phương trình này thành phương trình độ lớn bằng cách chiếu chúng lên phương chuyển động của từng vật.

*Bước 4:* Giải phương trình, tính toán các yêu cầu đặt ra.

1. *Một thí dụ khảo sát chuyển động*

*Cho bài toán:* Hai vật *m1* = 1 kg và *m2* = 1,5 kg được nối với nhau bằng một sợi dây mảnh không dãn, vắt qua một ròng rọc. Vật m2 có thể trượt trên một

mặt phẳng nghiêng một góc **  30*o* so với phương nằm ngang. Bỏ qua khối

lượng của ròng rọc và của dây. Biết hệ số ma sát giữa vật m2 và mặt phẳng nghiêng là *k*=0,1. Tính gia tốc của các vật và lực căng của dây. Cho *g* = 9,8 m/s2.

*Giải:*

* Chọn hệ qui chiếu gắn với mặt đất
* Theo định luật II Newton

Vật 1:



+

*N*

m2

*T*2

*T*

1

*Fms*

 *P*2

m1 +

*P*1

Hình 2-6.

*P*  *T*  

(1’)

1 1 *m*1*a*1

Vật 2:

*P*  *T*  *N*  *F*  

(2’)

2 2 *ms*

*m*2*a*2

Để tìm chiều của lực ma sát, ta hãy xét khi không có ma sát hệ vật chuyển động về hướng nào.

* Từ hình vẽ ta thấy:

14

* Lực kéo *m1* xuống theo phương thẳng đứng là *P1 = m1g* = 9,8 N
* Lực kéo *m2* xuống theo phương mặt phẳng nghiêng là *P2sin = m2sin*

*=* 7,35 N

Nhận thấy *P1 > P2sin* nên khi không có ma sát vật *m1* sẽ đi xuống vật *m2* đi lên. Do vậy khi có ma sát thì lực ma sát sẽ hướng xuống để cản trở chuyển động của *m2*.

* Chiếu các phương trình (1) và (2) lên phương chuyển động của vật *m1*

và vật *m2* tương ứng. Chú ý *T1=T2=T* và *a1=a2=a*, ta có

*P1-T=m1a* (3’)

-*P2sin**+T-Fms=m2a* (4’)

Mặt khác chiếu (2’) lên phương vuông góc với phương chuyển động của vật

*m2* ta được

*-P2cos+N=0 N=P2cos*

Lực ma sát xuất hiện khi vật *m1, m2* chuyển động là:

*Fms=kN=kP2cos*

Thay *Fms* vào (4’) ta được

*-P2sin+T-kP2cos=m2a*

Cộng (3’) và (4’) ta được

*P1-P2(sin+kcos)=(m1+m2)a*

Gia tốc của các vật là

*a*  *m*1  *m*2 (sin **  *k* cos** )  0,47*m* / *s*2

*m*1  *m*2

Lực căng của dây

*T=P1-m1a=m1(g-a)=9,33 N*

### §2.2. Định lý động lượng

* + 1. **Định lý về động lượng**

Xét một chất điểm có khối lượng m, chịu tác dụng của lực tổng hợp F⃗ và chuyển động với gia tốc F⃗. Theo định luật II Newton ta có

na⃗ = F⃗

Mà: a⃗ = ¯d¯¯¯¯v⃗

dt

m *v K*  *mv*

→ n ¯d¯¯¯¯v⃗ = F⃗ Hình 2-7:Véc tơ động lượng

dt

→ ¯d¯¯¯n¯¯¯¯¯v¯⃗ = F⃗ (do *m* không đổi)

dt

Gọi K¯¯⃗ = nv⃗ là véc tơ động lượng của chất điểm ta có

¯d¯¯¯¯K¯⃗ = F⃗ (2.4)

dt

*Định lý 1*: Đạo hàm động lượng của một chất điểm đối với thời gian có giá trị bằng lực (hay tổng hợp các lực) tác dụng lên chất điểm đó

Từ (2.4) suy ra dK¯¯⃗ = F⃗dt

Tích phân hai vế ta có

∆K¯⃗ = ¯K¯¯¯⃗ − ¯K¯¯¯⃗ = ∫t2 F⃗ dt (2.5)

2 1 t1

∫t2 F⃗ dt là xung lượng của lực *F* trong khoảng thời gian *t* .

t

1

∆K¯⃗ là độ biến thiên động lượng của chất điểm.

*Định lý 2 :* Độ biến thiên động lượng của một chất điểm trong một khoảng thời gian nào đó có giá trị bằng xung lượng của lực (hay tổng hợp lực) tác dụng lên chất điểm trong khoảng thời gian đó.

Khi K¯¯⃗ = const thì ∆K¯¯⃗ = F⃗∆t hay

∆K¯¯⃗ = F⃗ (2.6)

∆t

*Định lý 3* : Độ biến thiên động lượng của chất điểm trong đơn vị thời gian có giá trị bằng lực tác dụng lên chất điểm đó*.*

### Ý nghĩa của động lượng và xung lượng

1. *Ý nghĩa của động lượng*

Vận tốc đặc trưng cho vật về mặt động học, nhưng về mặt động lực học ta không chỉ quan tâm tới vận tốc mà còn quan tâm tới khối lượng của chúng, tức là quan tâm tới động lượng của vật. Vậy : *động lượng đặc trưng cho chuyển động về phương diện động lực học*.

Ví dụ: một vật có khối lượng *m1* chuyển động với vận tốc **1 tới va chạm với một vật có khối lượng *m2* đứng yên **2  0 . Sau khi va chạm chuyển động của 2 vật không chỉ phụ thuộc vào vận tốc ban đầu mà còn phụ thuộc vào khối

lượng của 2 vật. Nếu

*m*2  *m*1

thì sau khi va chạm vật 1 sẽ chuyển động theo

chiều ngược lại còn vật 2 vẫn đứng yên.

Như vậy *động lượng là một đại lượng đặc trưng cho khả năng truyền chuyển động*.

1. *Ý nghĩa của xung lượng*

*Xung lượng của một vật trong một khoảng thời gian* *t đặc trưng cho tác*

*dụng của lực trong khoảng thời gian đó*. Thật vậy nếu thời gian tác dụng lâu thì động lượng của vật biến thiên nhiều và ngược lại, nếu thời gian tác dụng rất ngắn thì dù lực lớn thì động lượng cũng biến thiên ít.

Các định lý về động lượng và xung lượng thường dùng để giải quyết các bài toán va chạm.

Ví dụ : Một quả cầu nhỏ khối lượng m chuyển động trên một mặt phẳng nằm ngang tới va chạm với một bức tường thẳng đứng





*m*1

 *m*1

 *F**t*

*m*2

với vận tốc **1

như hình vẽ. Giả sử va chạm

đó là đàn hồi và thời gian va chạm là *t* . Sau

va chạm quả cầu chuyển động với vận tốc **2

( **  **  ** ).

1

2

Áp dụng định lý về động lượng

Hình 2-8:

*K*  *m*

2

 *m*

 *F**t*

Chiếu lên phương pháp tuyến với tường ta có :

1

*F**t*  *m* cos**  *m* cos**  2*m* cos**

hay

*F*  2*mv* cos**

*t*

### §2.3. Mô men động lượng

* + 1. **Mômen của một véctơ đối với một điểm**

Cho một véc tơ V¯⃗ = M¯¯¯¯¯A¯⃗ và một điểm O cố định trong không gian. Mô men của véc tơ V¯⃗đối với O được định nghĩa là một véc tơ

ℳ¯¯¯⃗

¯⃗ = ¯O¯¯¯M¯¯⃗ ∧ V¯⃗ = r⃗ ∧ V¯⃗ (2.7)

/O(V)

*Đặc điểm mômen* ℳ¯¯¯⃗ ¯⃗ *là véc tơ có:*

/O(V)

* Gốc tại O
* Có phương  mặt phẳng xác định bởi O và V¯⃗

M

O

*r*

*d*

* Có chiều là chiều thuận đối với chiều quay từ V¯⃗ = ¯O¯¯¯M¯¯⃗ sang ¯M¯¯¯¯A¯⃗
* Có độ lớn bằng 2 lần diện tích tam giác OMA
* Nếu OH = *d* là khoảng cách từ O đến M H *V* A

MA thì |ℳ¯¯¯⃗

¯⃗ | = d. |V¯⃗|

*Hình 2-9: Mômen của một*

*Tính chất :*

- ℳ¯¯¯⃗

/O(V)

¯⃗ = 0 khi

*V*  0 hay khi *d* = 0

*véctơ đối với một điểm*

/O(V)

nghĩa là *V* có phương đi qua O.

- Mô men của một véc tơ là hàm tuyến tính của véc tơ đó

ℳ¯¯¯⃗

¯¯¯¯⃗

¯¯¯¯⃗

= ℳ¯¯¯⃗

¯¯¯¯⃗

+ ℳ¯¯¯⃗

¯¯¯¯⃗

/O(V1+V2)

/O(V1)

/O(V2)

ℳ¯¯¯⃗/O(ßV¯⃗) = hℳ¯¯¯⃗/O(V¯⃗)

- Khi 2 véc tơ ¯V¯¯1⃗ và V¯¯¯2⃗ trực đối nhau ¯V¯¯1⃗ + V¯¯¯2⃗ = 0 thì

ℳ¯¯¯⃗/O(¯V¯¯¯1⃗) + ℳ¯¯¯⃗/O(¯V¯¯¯2⃗) = 0

### Định lý về mômen động lượng

1. *Thiết lập các định lý*



*L*

**

*F*

O

*r*

(C

*K*  *m*

Xét một chất điểm M chuyển động trên một đường cong (C), chịu tác dụng của lực F⃗ và một điểm O cố định

Theo định lý I động lượng, ta có )

dK¯⃗ = d¯(¯¯n¯¯¯¯¯v¯¯¯)⃗ = F⃗

dt dt M

Nhân có hướng cả 2 vế của phương trình với F⃗

Hình 2-10. Mômen động lượng

r⃗ ∧ d¯(¯¯n¯¯¯¯¯v¯¯¯)⃗ = r⃗ ∧ F⃗

dt

Xét d (r⃗ ∧ ¯n¯¯¯¯¯v⃗) = dr⃗ ∧ n¯¯¯¯¯¯v⃗ + r⃗ ∧ d(¯n¯¯¯¯¯v⃗)

dt dt dt

= 0 + r⃗ ∧ d(¯n¯¯¯¯¯v⃗)

dt

(vì dr⃗ = v⃗ ∕∕ n¯¯¯¯¯¯v⃗ )

dt

Vậy ta có thể viết: d (r⃗ ∧ n¯¯¯¯¯¯v⃗) = r⃗ ∧ F⃗

dt

hay d (r⃗ ∧ K¯¯⃗) = r⃗ ∧ F⃗

dt

Đặt L¯⃗ = r⃗ ∧ K¯¯⃗ là véc tơ mômen động lượng của chất điểm đối với O.

ℳ¯¯¯⃗

⃗ = r⃗ ∧ F⃗ là véc tơ mômen của lực F⃗ đối với O.

/O(F)

Ta có dL¯⃗ = ℳ¯¯¯⃗

(2.8)

dt /O(F⃗)

*Định lý I* : Đạo hàm theo thời gian của mômen động lượng đối với O của một chất điểm chuyển động bằng tổng mômen đối với O của các lực tác dụng trên chất điểm.

Từ dL¯⃗ = ℳ¯¯¯⃗

→ dL¯⃗ = ℳ¯¯¯⃗

. dt → ∫¯L¯¯¯2⃗ dL¯⃗ = ∫t2 ℳ¯¯¯⃗

. dt

dt /O(F⃗)

∆L¯⃗ = ∫t2 ℳ¯¯¯⃗

/O(F⃗)

⃗ . dt

¯L¯¯¯1⃗

t1 /O(F⃗)

(2.9)

t1 /O(F)

Trong đó: ∫t2 ℳ¯¯¯⃗

⃗ . dt : Xung lượng của mômen lực trong khoảng thời gian

t1

t1 đến t2

/O(F)

*Định lý II :* Độ biến thiên mômen động lượng của của chất điểm trong một khoảng thời gian nào đó có giá trị bằng xung lượng của mômen lực tác dụng lên chất điểm trong khoảng thời gian đó.

*Hệ quả:* Trong trường hợp chất điểm chuyển động trong một trường lực

xuyên tâm (phương của lực F⃗ tác dụng luôn đi qua O cố định) thì ℳ¯¯¯⃗ ⃗ =

/O(F)

0

Do đó: dL¯⃗ = 0 hay L¯⃗ = const

dt

Mặt khác L¯⃗ vuông góc với mặt phẳng quỹ đạo của chất điểm (r⃗, v⃗)

Điều này có nghĩa *trong trường lực xuyên tâm chất điểm M luôn chuyển động trong một mặt phẳng cố định.*

*L*

**

O

R

1. *Trường hợp chuyển động tròn*

Xét một chất điểm M chuyển động trên quĩ đạo tròn (O,R).

Mômen động lượng của chất điểm là

L¯⃗ = R¯⃗ ∧ nv⃗

Mà v⃗ = m¯¯⃗ ∧ R¯⃗ *v*

L¯⃗ = (nR2)m¯¯⃗

Đặt *I = mR2* là mô men quán tính của chất điểm đối với O. Ta có

M

Hình 2-11. Mômen động lượng trong chuyển động tròn

L¯⃗ = Im¯¯⃗ (2.10)

Vậy định lý về mômen động lượng đối với chất điểm chuyển động tròn có dạng

dL¯⃗ = d Im¯¯⃗ = ℳ¯¯¯⃗

dt dt

/O(F⃗)

### §2.4. Chuyển động tương đối và nguyên lý tương đối Galilê

* + 1. **Không gian và thời gian theo cơ học cổ điển**

Xét hai hệ tọa độ: Oxyz (gọi tắt là O) đứng yên và O’x’y’z’ (gọi tắt là O’) chuyển động so với hệ O.

Giả sử hệ O’ chuyển động tịnh tiến đối với hệ O với vận tốc *V* so với O sao cho:

O’x’ luôn luôn trượt dọc theo Ox, O’y’ song song cùng chiều Oy O’z’ song song cùng chiều Oz.

Mỗi hệ tọa độ được gắn một đồng hồ để chỉ thời gian.

Xét một chất điểm M bất kỳ,

- Trong hệ tọa độ O chất điểm M được xác định bởi các tọa độ (*x, y, z, t*)

z’

x



y

y’

M

A

B

O

O’

z

x’

Hình 2-12. Phép biến đổi galliê

- Trong hệ tọa độ O’ chất điểm M được xác định bởi các tọa độ (*x’, y’, z’, t’*)

Theo các quan điểm của Niuton:

1. *Thời gian*

*Thời gian có tính tuyệt đối không phụ thuộc vào hệ qui chiếu :* t = t′

1. *Vị trí không gian*

*Vị trí không gian có tính chất tương đối phụ thuộc hệ qui chiếu :*

x = xu + ¯O¯¯O¯¯′

{ y = y′ z = z′

Do đó *chuyển động có tính tương đối phụ thuộc hệ qui chiếu*.

1. *Khoảng cách*

Xét một cái thước AB đặt dọc theo trục Ox và O’x’. Khoảng cách giữa hai đầu thước (hay chiều dài AB) là Trong hệ O’ : l0u = x′B − x′Æ

Trong hệ O :

l0 = xB − xÆ = (xuB + O¯¯¯O¯¯u) − (xu + O¯¯¯O¯¯u) = l0u

Æ

Như vậy : l0 = l0u

*Khoảng không gian có tính tuyệt đối, không phụ thuộc vào hệ qui chiếu.*

1. *Phép biến đổi Galilê*

Xét trường hợp riêng, hệ O’ chuyển động thẳng đều với vận tốc V so với hệ O.

Tại t = 0 thì O ≡ O′

Tại thời điểm t thì ¯O¯¯O¯¯u = V. t

x = xu + V. t′

Như vậy ta có: {

y = y′ z = zu t = t′

(2.11)

(Chuyển đổi tọa độ từ hệ O’ sang O)

xu = x − V. t

Và ngược lại : {

y′ = y z′ = z t′ = t

(2.12)

(Chuyển đổi tọa độ từ hệ O sang O’)

Các công thức trên là phép biến đổi Galilê cho phép chúng ta chuyển đổi các tọa độ không gian và thời gian giữa hai hệ quy chiếu O và O’.

### Tổng hợp vận tốc và gia tốc

y

y’

M

O

O’

z

x’

*r* ’

*r*

1. *Vận tốc*

Xét chất điểm M trong 2 hệ quy chiếu O và O’

Trong hệ O : chất điểm M được xác định

bởi ¯O¯¯¯M¯¯⃗ = r⃗ z’

Trong hệ O’ : chất điểm M được xác định

bởi ¯O¯¯¯′¯¯M¯¯⃗ = ¯r¯⃗′ x

Theo hình vẽ ta có hay r⃗ = ¯r¯⃗′ + ¯O¯¯¯O¯¯¯⃗′(\*).

¯O¯¯¯M¯¯⃗ = ¯O¯¯¯O¯¯¯⃗′ + ¯O¯¯¯′¯¯M¯¯⃗

Hình 2-13: Tổng hợp vận tốc

Lấy đạo hàm 2 vế (\*) theo t

dr⃗ = d¯r¯¯⃗u + d¯O¯¯¯O¯¯¯¯⃗u

dt dt dt

v⃗ = ¯v¯¯⃗′ + V¯⃗ (2.13)

*Véc tơ vận tốc của một chất điểm đối với một hệ qui chiếu O bằng tổng hợp véc tơ vận tốc của chất điểm đó đối với hệ qui chiếu O’ chuyển động tịnh tiến đối với hệ qui chiếu O và véc tơ vận tốc tịnh tiến của hệ qui chiếu O’ đối với hệ qui chiếu O.*

1. *Gia tốc*

Đạo hàm 2 vế (2.13) theo *t* ta có : dv = dv¯¯¯⃗u + dV¯⃗

dt dt dt

a⃗ = ¯a¯¯⃗′ + A⃗ (2.14)

*Véc tơ gia tốc của một chất điểm đối với một hệ qui chiếu O bằng tổng hợp véc tơ gia tốc của chất điểm đó đối với hệ qui chiếu O’ chuyển động tịnh tiến đối với hệ qui chiếu O và véc tơ gia tốc tịnh tiến của hệ qui chiếu O’ đối với hệ qui chiếu O*.

Các công thức (2.13) và (2.14) gọi là công thức tổng hợp vận tốc và gia tốc.

### Nguyên lý tương đối Galilê

Ta sẽ xét chuyển động của hệ chất điểm trong hai hệ quy chiếu khác nhau.

Giả sử hệ qui chiếu O là hệ qui chiếu quán tính và hệ qui chiếu O’chuyển động thẳng đều so với hệ O.

Vì hệ Oxyz là hệ quy chiếu quán tính nên theo định luật II Newton ta có:

na⃗ = F⃗

trong đó : F⃗ là tổng hợp lực tác dụng lên chất điểm

a⃗ là gia tốc chuyển động của chất điểm đối với hệ O

Ta có mối quan hệ giữa gia tốc của chất điểm trong 2 hệ quy chiếu là:

a⃗ = ¯a¯¯⃗′ + A⃗

trong đó: ¯a¯¯⃗′ là gia tốc chuyển động của chất điểm đối với hệ O’

A⃗ là gia tốc chuyển động của hệ O’ đối với hệ O

Do ta giả sử hệ O’ chuyển động thẳng đều so với hệ O nên A⃗ = 0, khi đó

a⃗ = ¯a¯¯⃗′

Vậy phương trình của định luật II Niutơn có thể viết lại là: n¯a¯¯⃗′ = F⃗

Đây chính là phương trình chuyển động của chất điểm trong hệ O’ và có cùng dạng với phương trình chuyển động của chất điểm trong hệ O.

Vậy hệ O’ cũng là hệ quy chiếu quán tính.

*Phát biểu: Mọi hệ qui chiếu chuyển động thẳng đều đối với một hệ qui chiếu quán tính cũng là hệ qui chiếu quán tính.*

*Các phương trình động lực học trong các hệ quy chiếu quán tính có dạng như nhau.*

### Lực quán tính

Trong trường hợp hệ qui chiếu O’x’y’z’ chuyển động tịnh tiến có gia tốc *A*

đối với hệ qui chiếu quán tính Oxyz thì a⃗ = ¯a¯¯⃗′ + A⃗ (\*)

Nhân 2 vế (\*) với m ta có

na⃗ = n¯a¯¯⃗′ + nA⃗

n¯a¯¯⃗′ = na⃗ + (−nA⃗)

Nhận thấy trong hệ qui chiếu O’x’y’z’ phương trình chuyển động khác với định luật II Newton. Chứng tỏ hệ qui chiếu O’x’y’z’ không phải là hệ qui chiếu quán tính. Khi khảo sát chuyển động chất điểm trong một hệ O’x’y’z’ tịnh tiến có gia tốc đối với hệ quán tính Oxyz, ngoài các lực tác dụng lên chất điểm phải kể thêm lực quán tính

F¯¯¯q¯¯⃗t − nA⃗ (2.15)

Lực quán tính là *lực ảo* chỉ quan sát được trong hệ qui chiếu không quán tính. Lực quán tính luôn *cùng phương và ngược chiều với gia tốc chuyển động* của hệ qui chiếu không quán tính.

Phương trình động lực học trong hệ O’ được viết lại

n¯a¯¯⃗′ = na⃗ + F¯¯¯q¯¯t⃗ (2.16)

Nhờ khái niệm lực quán tính ta có thể giải thích nhiều hiện tượng trong thực tế, ví dụ như hiện tượng tăng giảm trọng lượng trong tàu vũ trụ lúc xuất phát.

### CHƯƠNG 3: ĐỘNG LỰC HỌC VẬT RẮN

Trong chương này chúng ta khảo sát các định luật cơ bản về chuyển động của một hệ chất điểm, đặc biệt khảo sát chuyển động của một vật rắn.

### §3.1. Khối tâm

* + 1. **Định nghĩa khối tâm**

Xét hệ hai chất điểm M1 và M2 có khối lượng m1 và m2 đặt trong trọng trường đều. Trọng lực tác dụng lên hai chất điểm là P1 va P2. Điểm đặt của tổng hợp 2 lực là điểm G nằm trên đường nối tâm M1M2 thỏa mãn

¯M¯¯1¯¯G¯ = − n2g = − n2

# M1 G



*m*1 *g*

*P*

# M2



*m*2 *g*

¯M¯¯2¯¯G¯

n1g n1

Hình 3-1. Khối tâm hệ hai

n1¯M¯¯1¯¯G¯ + n2¯M¯¯2¯¯G¯ = 0

chất điểm

Tổng quát: Khối tâm của một hệ chất điểm *M1, M2, ... Mn* lần lượt có khối lượng *m1, m2,..., mn* là một chất điểm *G* được xác định bởi đẳng thức:

n1¯M¯¯1¯¯G¯ + n2¯M¯¯2¯¯G¯ + ⋯ + nn¯M¯¯n¯¯G¯ = 0

hay ∑n

i=0

ni¯M¯¯t¯G¯ = 0

(3.1)

Ta có thể viết (3.1) dưới dạng véc tơ

n i=0

∑

ni¯M¯¯¯¯t¯G¯⃗ = 0

(3.2)

*Khối tâm của một hệ chất điểm có khối lượng M trong trọng trường đều là trọng tâm của hệ.*

### Xác định vị trí của khối tâm trong không gian

Để xác định tọa độ của khối tâm G đối với một hệ tọa độ Oxyz. Ta có

i=1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ¯O¯¯¯G¯⃗ = ¯O¯¯¯M¯¯¯¯⃗t + M¯¯¯¯¯t¯G¯⃗ |  | (\*) |
| Nhân hai vế (\*) với *mi* |  |  |
| ni¯O¯¯¯G¯⃗ = ni¯O¯¯¯M¯¯¯¯⃗t + ni¯M¯¯¯¯t¯G¯⃗ |  | (\*\*) |
| Lấy tổng (\*\*) từ *i* = 1 đến *i* = n |  |  |
| (∑n ni)¯O¯¯¯G¯⃗ = ∑n ni¯O¯¯¯M¯¯¯¯⃗t + ∑n  Do ∑n ni¯M¯¯¯¯t¯G¯⃗ = 0  (∑n ni)¯O¯¯¯G¯⃗ = ∑n ni¯O¯¯¯M¯¯¯¯⃗t | ni¯M¯¯¯¯t¯G¯⃗ |  |

i=1

i=1

i=1

i=1

∑n

¯O¯¯¯G¯⃗ = i=1

∑n

ni¯O¯¯¯M¯¯¯¯⃗t ni

i=1

i=1

Đặt ¯O¯¯¯G¯⃗ = ¯r¯¯G⃗ ; O¯¯¯¯¯M¯¯¯⃗t = r¯¯⃗t

ta có công thức tính vị trí khối tâm

r¯¯¯G⃗ =

n i=1

∑n

∑

ni¯r¯¯⃗t ni

(3.3)

i=1

Chiếu (3.3) lên 3 trục của hệ trục tọa độ Oxyz ta có

⎧xG =

n i=1

∑n

∑

nisi ni

⎪ i=1

∑

yG =

⎨

∑n

n i=1

∑n

i=1

niyi ni

(3.4)

⎪z = i=1

∑

⎩

ni

nizi

G n

i=1

### Vận tốc của khối tâm

Lấy đạo hàm 2 vế (3.3) theo t ta có vận tốc của khối tâm

d¯r¯¯¯¯⃗

∑n ni d¯r¯¯¯t⃗

∑n n ¯v¯¯⃗

¯v¯¯¯G⃗ = G = i=1 dt = i=1 i t

(3.5)

n i=1

∑

∑

dt

ni

ni

n i=1

Mặt khác: ∑n

i=1

ni v¯¯¯⃗t = ∑n

¯K¯¯⃗t = K¯⃗ (K¯⃗là tổng động lượng của hệ)

Do đó: v¯¯¯¯⃗ = K¯¯⃗

i=1

(3.6)

G n

∑

ni

i=1

i=1

i=1

(3.7)

K¯¯⃗ = ∑n

¯K¯¯⃗t = (∑n

ni)v¯¯¯¯G⃗

Vậy tổng động lượng của hệ bằng tổng động lượng của một chất điểm đặt tại khối tâm của hệ, có khối lượng bằng tổng khối lượng của hệ và có vận tốc bằng vận tốc khối tâm của hệ.

### Phương trình chuyển động của khối tâm

Giả sử có một hệ gồm n chất điểm *M1, M2,..., Mn* lần lượt chịu tác dụng các lực ¯F¯¯1⃗, ¯F¯¯2⃗,…, ¯F¯¯n⃗ và chuyển động với các véc tơ gia tốc ¯a¯¯¯1⃗, a¯¯¯¯2⃗,…, a¯¯¯¯n⃗ thỏa mãn các phương trình n1¯a¯¯¯1⃗ = ¯F¯¯1⃗, n2¯a¯¯¯2⃗ = F¯¯¯2⃗, nna¯¯¯¯n⃗ = ¯F¯¯n⃗

Từ (3.5) đạo hàm hai vế theo *t* ta có

dv¯¯¯¯¯⃗

∑n ni d¯v¯¯¯t⃗

G = i=1 dt

∑

(∑n

dt

n ) dv¯¯¯¯G¯⃗ = ∑n

n i=1

n

ni

d¯v¯¯⃗t = ∑n

n ¯a¯¯⃗ = ∑n

¯F¯⃗ = ∑n

¯F¯⃗nội +

i=1

i dt

i=1

i dt

i=1 i t

i=1 t

i=1 t

n i=1

∑

t

¯F¯⃗ngoại

Do tổng hợp nội lực trong hệ ∑n

¯F¯⃗nội = 0, ta có

(∑n

i=0

t

n )¯a¯¯¯⃗ = ∑n

¯F¯⃗ngoại

(3.8)

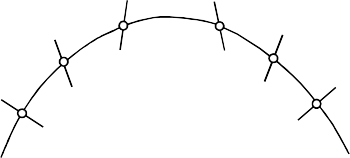
i=1 i G i=1 t

Chuyển động của một hệ chất điểm là rất phức tạp, nhưng trong hệ ta luôn tìm được một vị trí đặc biệt. Đó là khối tâm của hệ.

*Khối tâm của một hệ chuyển động như một chất điểm có khối lượng bằng tổng khối lượng của hệ và chịu tác dụng của một lực bằng tổng ngoại lực tác dụng lên hệ.*

Chuyển động của khối tâm của một hệ được gọi là chuyển động toàn thể của hệ.

Ví dụ: ném một cái thước lên cao, khối tâm của cái thước sẽ chuyển động như một chất điểm có khối lượng bằng khối lượng của thước, chịu tác dụng lực bằng tổng hợp ngoại lực tác dụng lên thước, trong trường hợp này là trọng lực của thước. Đó chính là chuyển



Hình 3-2. Chuyển động của khối tâm thước kẻ

động của một chất điểm trong trọng trường đều: quĩ đạo là một parabol.

### §3.2. Định luật bảo toàn động lượng

* + 1. **Định luật bảo toàn động lượng**

Động lượng của hệ chất điểm là tổng động lượng của tất cả các chất điểm của hệ.

Xét hệ gồm n chất điểm *M1, M2,..., Mn* có khối lượng *m1, m2,...,mn* có vận tốc lần lần lượt là v¯¯¯1⃗, v¯¯¯¯2⃗, … , v¯¯¯¯n⃗ và động lượng tương ứng là: ¯K¯¯¯1⃗ = nv¯¯¯1⃗, K¯¯¯¯2⃗ = n¯v¯¯¯2⃗, … , ¯K¯¯¯n⃗ = nv¯¯¯¯n⃗.

Động lượng của hệ

K¯¯⃗ = ∑n

i=1

¯K¯¯⃗t = ∑n

ni v¯¯¯⃗t

(\*)

Lấy đạo hàm 2 vế theo thời gian

i=1

dK¯⃗ = d ∑n

n v¯¯¯⃗ = ∑n

n ¯a¯¯⃗ = ∑n

¯F¯⃗ = ∑n

¯F¯⃗nội + ∑n

¯F¯⃗ngoại

dt dt

i=1 i t

i=1 i t

i=1 t

i=1 t

i=1 t

Do tổng hợp nội lực trong hệ ∑n

¯F¯⃗nội = 0

dK¯⃗ = ∑n

i=1

t

¯F¯⃗ngoại = F⃗ (3.9)

dt i=1 t

Khi ngoại lực tác dụng lên hệ F⃗ = 0 thì P¯⃗ = const hay động lượng của hệ được bảo toàn.

Vậy động lượng của 1 hệ chất điểm cô lập được bảo toàn.

*Chú ý:*

- Do vận tốc của khối tâm hệ là: ¯v¯¯¯⃗ = K¯⃗

∑

ni

G n

i=1

Đối với 1 hệ cô lập thì K¯⃗ = const ⟹ v¯¯¯¯G⃗ = const

Vậy khối tâm của một hệ cô lập hoặc đứng yên hoặc chuyển động thẳng đều.

- Động lượng có thể bảo toàn theo một phương nếu hình chiếu của tổng hợp lực lên phương đó bằng 0.

### Ứng dụng

1. *Giải thích hiện tượng súng giật lùi*

Xét một hệ gồm 1 khẩu súng trong đó có

1 viên đạn nằm ngang trên giá. Nếu ma M m

sát giữa hệ và súng bằng không ta có thể coi hệ là cô lập.



Giả sử khối lượng súng và đạn là *M, m* và *V v*

vận tốc tương ứng sau khi bắn là *V*,** .

Vì động lượng của hệ bảo toàn nên động lượng của hệ sau khi bắn và động lượng của hệ trước khi bắn

nv⃗ + MV¯⃗ = 0 V¯⃗ = − n v⃗

M

Hình 3-3: Hiện tượng súng giật lại khi bắn

Điều đó có nghĩa là sau khi bắn súng bị giật lùi về phía sau với vận tốc tỷ lệ thuận với *m*, ** , và tỷ lệ nghịch với *M*.

Như vậy để súng giật lùi về phía sau không đáng kể, ít gây nguy hiểm trong khi sử dụng, người ta phải chể tạo súng có khối lượng *M* lớn.

1. *Chuyển động của tên lửa*

Xét một tên lửa trong có chứa hỗn hợp khí nóng. Khi tên lửa chuyển động, hỗn hợp khí này sẽ phụt ra phía sau, theo định lý bảo toàn động lượng tên lửa sẽ tiến lên phía trước.

Giả sử khối lượng ban đầu của tên lửa là *M*. Tính vận tốc v⃗ của tên lửa khi khối lượng của nó là *m*.

Động lượng của hệ trước khi phụt khí là

¯K¯¯¯1⃗ = nv⃗

Nếu vận tốc phụt khí đối với tên lửa bằng u¯⃗ không đổi thì sau khi phụt, vận tốc của khối khí so với trái đất là: v⃗ − u¯⃗. Sau khi phụt khí, khối lượng và vận tốc của khối khí là *–dm* và v⃗ − u¯⃗; khối lượng và vận tốc của tên lửa là *m+dm* và v⃗ + dv⃗.

Động lượng của hệ sau khi phụt khí là

K¯¯¯¯2⃗ = −dn(v⃗ − u¯⃗) + (n + dn)(v⃗ + dv⃗)

Giả sử không có thành phần lực tác dụng theo phương chuyển động, theo định luật bảo toàn động lượng:

K¯¯¯¯2⃗ = K¯¯¯¯1⃗

−dn(v⃗ − u¯⃗) + (n + dn)(v⃗ + dv⃗) = nv⃗

Bỏ qua số hạng dn. dv⃗ vô cùng bé ta có:

dn. u¯⃗ + n. dv⃗ = 0

dv⃗ = − dn u¯⃗ (\*)

n

Tích phân hai vế của (\*) ta có

v⃗ = −u¯⃗. ln M

n

(Công thức Xiôncôpxki) (3.10)

Như vậy muốn cho vận tôc tên lửa lớn thì vận tôc phụt khí phải lớn và tỉ số M/m cũng lớn.

Khi cần thay đổi hướng người ta cho phụt khí vuông góc với phương chuyển động của con tàu và vận tốc của tàu lúc này được tính theo công thức

v¯¯¯¯⃗ = v⃗ + u¯⃗. ln M

0

n

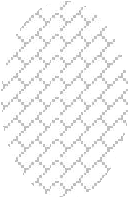
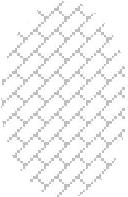
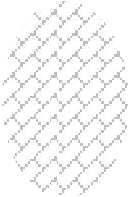
(3.11)

### §3.3. Chuyển động của vật rắn

Vật rắn là một hệ chất điểm trong đó khoảng cách giữa các chất điểm luôn luôn không đổi. Chuyển động của vật rắn thường được qui về tích của 2 chuyển động cơ bản: chuyển động tịnh tiến và chuyển động quay.

### Chuyển động tịnh tiến

1. *Định nghĩa*



B

B * B*

A

*t2*

B

A

* A*

A

Chuyển động tịnh tiến của một vật rắn là chuyển động trong đó:

* + Mọi điểm của vật rắn vạch ra những quĩ đạo song song nhau
  + Tại cùng một thời điểm, mọi

điểm của vật rắn đều có cùng *t1 t3*

vận tốc và gia tốc.

1. *Phương trình cơ bản*

Hình 3-4: Chuyển động tịnh tiến

Giả sử vật rắn có n chất điểm *M1, M2,..., Mn* cùng chuyển động với gia tốc a⃗ . Theo định luật II Newton thì chuyển động của các chất điểm này là do chịu tác dụng của các ngoại lực ¯F¯¯1⃗, ¯F¯¯2⃗,…, ¯F¯¯n⃗ theo các phương trình n1¯a¯¯¯1⃗ = ¯F¯¯1⃗, n2a¯¯¯¯2⃗ = ¯F¯¯2⃗, nna¯¯¯¯n⃗ = ¯F¯¯n⃗

Các phương trình này chứng tỏ rằng các ngoại lực tác dụng lên từng chất điểm trong vật rắn song song và cùng chiều. Đó cũng là điều kiện cần để một vật rắn chuyển động tịnh tiến.

Cộng vế các phương trình trên ta được:

n i=1

∑

ni¯a¯¯⃗t = ∑n

¯F¯⃗t

(3.12)

Đây là phương trình chuyển động của vật rắn tịnh tiến.

i=1

Phương trình này giống như phương trình chuyển động của một chất điểm có khối lượng bằng khối lượng tổng cộng của vật rắn và chịu tác dụng một lực bằng tổng ngoại lực tác dụng lên vật rắn.

Dễ thấy đây cũng là phương trình chuyển động của khối tâm vật rắn.

Như vậy muốn khảo sát chuyển động tịnh tiến của vật rắn ta chỉ cần khảo sát chuyển động của khối tâm vật rắn.

### Chuyển động quay

Chuyển động quay của một vật rắn là chuyển động trong đó:

* Mọi điểm của vật rắn vạch ra những vòng tròn có cùng trục quay .
* Trong cùng một khoảng thời gian *t*, mọi chất điểm của vật rắn đều quay được cùng một góc *.* Do đó tại cùng một thời điểm, mọi chất điểm của

vật rắn đều có cùng vận tốc góc m = d8 và gia tốc góc þ = dm = d28.

dt dt dt2

* Tại một thời điểm, véc tơ vận tốc thẳng và gia tốc tiếp tuyến của một điểm bất kì trên vật rắn cách trục quay  một khoảng *r* là

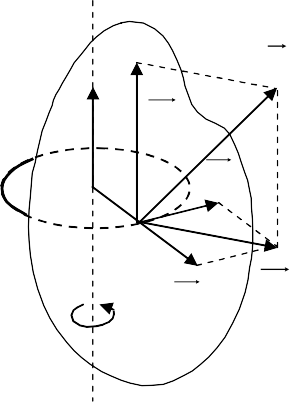
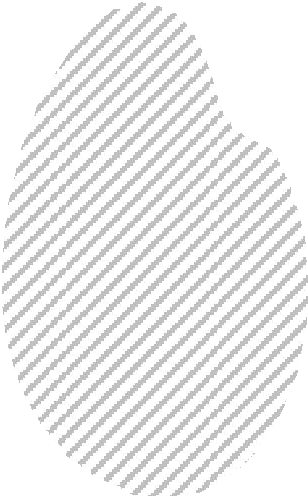
v⃗ = m¯¯⃗ ∧ R¯⃗

¯a¯¯⃗t = þ⃗ ∧ R¯⃗

### §3.4. Chuyển động quay vật rắn

* + 1. **Mômen lực**

1. *Tác dụng lực trong chuyển động quay*



*F*

M *F*//

O

*F*

r

M

*F*

*F*

*n*

Giả sử có một lực F⃗ tác dụng lên vật rắn quay xung quanh trục  (hình vẽ).

Phân tích lực F⃗ theo hai phương // và  với trục quay

F⃗ = ¯F¯¯∕¯¯∕⃗ + ¯F¯¯¯T⃗

Lực ¯F¯¯¯T⃗do nằm trong mặt phẳng quĩ đạo nên có thể phân tích thành 2 thành phần tiếp tuyến và pháp tuyến.

¯F¯¯¯T⃗ = ¯F¯¯⃗t + ¯F¯¯n⃗

Hình 3-5: Tác dụng của lực trong chuyển động quay

Do đó

Nhận thấy:

F⃗ = ¯F¯¯∕¯¯∕⃗ + ¯F¯¯⃗t + ¯F¯¯n⃗ (3.13)

Thành phần ¯F¯¯∕¯¯∕⃗ không gây ra chuyển động quay, chỉ có tác dụng làm vật rắn trượt dọc theo trục quay.

Thành phần ¯F¯¯n⃗ không gây ra chuyển động quay, chỉ có tác dụng làm vật rắn rời khởi trục quay.

Như vậy trong chuyển động quay của một vật rắn xung quanh một trục. Chỉ những thành phần lực tiếp tuyến ¯F¯¯⃗t với quĩ đạo tại điểm đặt mới có tác dụng làm vật rắn quay thực sự.

1. *Mô men của lực đối với trục quay*

Thực nghiệm chứng tỏ rằng chuyển động quay của vật rắn không chỉ phụ

thuộc vào

¯F¯¯⃗t

mà còn phụ thuộc vào khoảng cách *r* từ điểm đặt lực tới trục

quay. Do vậy người ta đưa ra khái niệm mô men lực

Mô men của lực

¯F¯¯⃗t đối với một trục quay  là véc tơ

ℳ¯¯¯⃗ = r⃗ ∧ ¯F¯¯⃗t

eℎương vuông góc với (r⃗, ¯F¯¯⃗t )

ℳ¯¯¯⃗ có {cℎiều tℎuận đối với cℎiều quay từ r⃗ sang ¯F¯¯⃗t độ lớn: ℳ = r. Ft s in(r⃗, ¯F¯¯⃗t) = r. Ft

(3.14)

Mô men của lực ¯F¯¯⃗t đối với một trục quay  cũng chính là mô men của lực ¯F¯¯⃗t

đối với điểm O (là giao điểm của  và mặt phẳng chứa ¯F¯¯⃗t vuông góc với ).

### Thiết lập phương trình cơ bản của chuyển động quay

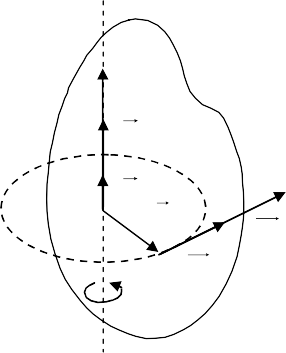
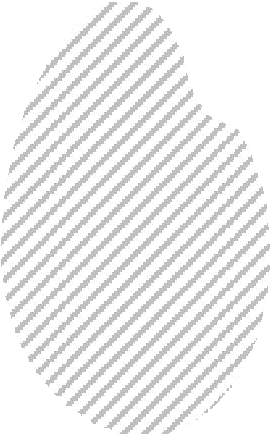
Xét chất điểm thứ i trong vật rắn chuyển động với gia tốc góc a¯¯¯t¯⃗t. Theo định luật II Newton

nia¯¯¯t¯⃗t =

¯F¯¯t¯⃗t

(\*)

Nhân hữu hướng hai vế (\*) với r¯¯⃗t là véc tơ khoảng cách từ chất điểm đến trục quay



M

**

O

**

*ri*

*F*

*i*

*ai*



nir¯¯⃗t ∧ a¯¯¯t¯⃗t = ¯r¯⃗t ∧ ¯F¯¯t¯⃗t nir¯¯⃗t ∧ (þ⃗ ∧ r¯¯⃗t) = ¯ℳ¯¯¯¯⃗t

ni[þ⃗. (r¯¯⃗t. ¯r¯⃗t) − r¯¯⃗t. (r¯¯⃗t. þ⃗)] = ¯ℳ¯¯¯¯⃗t ni[r2þ⃗ − 0] = ¯ℳ¯¯¯¯⃗t

i

nir2þ⃗ = ¯ℳ¯¯¯¯⃗t

i

(\*\*)

Lấy tổng (\*\*) theo tất cả các chất điểm trong chất rắn ta có

Hình 3-6: Thiết lập phương trình cơ bản của chuyển động quay

∑n (nir2)þ⃗ = ∑n

¯ℳ¯¯¯¯⃗t

(3.15)

Gọi

i=1 i

i=1

n i=1

∑

i

¯ℳ¯¯¯¯⃗t

= ℳ¯¯¯⃗: là tổng hợp mômen các ngoại lực tác dụng lên vật rắn

n i=1

∑

nir2 = I: là mô men quán tính của vật rắn đối với trục quay 

(bằng tổng mômen quán tính của các chất điểm của vật rắn).

Công thức (3.16) trên có thể viết thành

I. þ⃗ = ℳ¯¯¯⃗ (3.16)

Phương trình (3.16) có dạng như phương trình định luật II Newton cho chuyển động tịnh tiến. Mô men ℳ¯¯¯⃗ đặc trưng cho lực tác dụng lên chuyển động quay của vật rắn, véc tơ gia tốc đặc trưng cho sự thay đổi trạng thái của vật rắn quay, mô men *I* đặc trưng cho quán tính của vật rắn trong chuyển động quay của vật rắn. Do đó phương trình trên được gọi là phương trình cơ bản của chuyển động quay vật rắn xung quanh một trục cố định. Ta cũng có thể viết (3.16) dưới dạng

þ⃗ = ℳ¯¯¯⃗

I.

(3.17)

Ta có thể phát biểu: gia tốc góc trong chuyển động quay của vật rắn xung quanh một trục tỷ lệ với tổng hợp mô men của các ngoại lực đối với trục quay và tỷ lệ với mô men quán tính của vật rắn đối với trục quay.

### Mô men quán tính I

*a. Công thức tính I*

Mô men quán tính của vật rắn đối với một trục quay  được tính bằng công thức

n i=1

I = ∑

nir2

Trong đó nir2 là mômen quán tính của chất điểm thứ i.

i

i

Nếu khối lượng của vật phân bố một cách liên tục, ta chia chất rắn thành những phần vi phân vô cùng nhỏ có khối lượng *dm* và cách trục  một khoảng

*r*. Khi đó mômen quán tính của vật rắn đối với trục quay  là:

Nhận thấy

I = ∫toàn bộ vật dn. r2

(3.18)

* Mô men quán tính của vật rắn đặc trưng cho quán tính của vật rắn trong chuyển đông quay.
* Quán tính của vật rắn quay không những phụ thuộc vào khối lượng *m* mà còn phụ thuộc vào khoảng cách *r* từ chất điểm của vật rắn đến trục quay .

*b. Ứng dụng tính mô men quán tính trong một số vật rắn đồng chất*

- Mô men quán tính của một thanh đồng chất



0

*G x dx*

*L*

Giả sử có một thanh đồng chất chiều dài *L* khối lượng *M* quay xung quanh trục  đi qua trung điểm G và vuông góc với thanh.

Xét 1 phần tử là một đoạn trên thanh có

khối lượng *dm,* chiều dài *dx* cách trục quay một khoảng *x*. Mô men quán tính của phần tử này là

*dI*  *x*2*dm*

Hình 3-7: Tính mômen quán tính của thanh dài đồng chất

Vì thanh là đồng chất nên khối lượng của các đoạn trên thanh tỷ lệ với chiều dài của các đoạn đó.

*dm*  *dx*

*M L*

*dI*  *x*2 *M dx*

*L*

*I*   *dI* 

*M*  *L* 2

*x dx* 

 2

*L*  *L* 2

* *L* 2
* *L* 2

*M x*3

*L* 3

 1 *M* .*L*2

12

*I*  1 *M* .*L*2

12

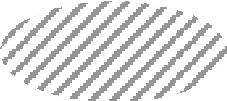
* + Mô men quán tính cho một vành tròn đồng chất

Giả sử có một vành tròn đồng chất có bán kính *R*, khối lượng *M* quay xung quanh trục  đi qua tâm và vuông góc với vành tròn.

Xét 1 phần tử trên vành tròn có khối lượng *dm*, cách trục quay một khoảng *R*. Mô men quán tính của phần tử này là

*I*   *R*2*dm*  *MR*2

(do *R*= const)



0

*x dx*

Hình 3-8: Mô men quán tính của một trụ đặc

*I*  *MR*2

* + Mô men quán tính của một trụ đặc đồng chất

Giả sử có một trụ đặc đồng chất có bán kính *R*, khối lượng *M* quay xung quanh trục  đi qua tâm và vuông góc với trụ đặc.

Xét 1 phần tử là một vành khăn có khối lượng *dm*, bề dày *dx* cách trục quay một khoảng *x*. Mô men quán tính của phần tử này là

*dI*  *x* 2*dm*

Vì trụ đặc là đồng chất nên khối lượng của các phần tử trên đĩa tỷ lệ với diện

tích của phần tử.

*dm*  *ds*  *d* (*x*2 )  2*xdx*  2*xdx*

*dI*  2*M x*3*dx R*2

*M S R*2 *R*2 *R*2

2*M R R* 1

2*M x*4

*R*2

4

*I*   *dI*  *R*2

 *x*3*dx* 

0

 *M* .*R*2

0 2

*I*  1 *M* .*R*2

2

- Mô men quán tính của một hình cầu đặc đồng chất

Giả sử có một hình cầu đồng chất có bán kính *R*, khối lượng *M* quay xung quanh trục  đi qua tâm hình cầu.

Xét 1 phần tử là một đĩa có khối lượng *dm*, bề dày *dh* cách tâm hình cầu một khoảng *h*. Mô men quán tính của phần tử này như ta đã tính ở phần trên là

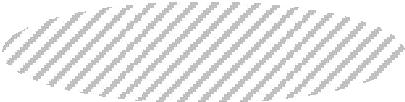
*dI*  1 *r* 2*dm*

2

(không phụ thuộc vào bề dày của đĩa)

Vì hình cầu là đồng chất nên khối lượng của các phần tử trên hình cầu tỷ lệ với thể tích của phần tử.

*dm*  *dv*  *r* 2*dh*  3 *r* 2*dh*



0

h r

R

*M V* 4 *R*3 3

3 *M* 4

4 *R*3

3*M* (*R*2  *h*2 )2

*dI*  4 *R*3 *r dh*  4

*dh* 

*R*3

3*M*  *h*2 *h*4 

4  *R*  2 *R*  *R*3  *dh*

 

3*M* *R*  *h*2

 *R* 3*R*

*h*4 

*I*   *dI* 

 *R*  2   *dh* 

4  *R*  

3*M*  2 *h*3

1 *h*5   *R* 2

4  *Rh*  3 *R* 





 *M* .*R*2

5 *R*3 5



* *R*

Hình 3-9: Tính mômen quán tính của hình cầu đặc

*I*  2 *M* .*R* 2

5

*c. Định lý Stene – Huyghen*

*Định lý: Mô men quán tính của một vật rắn đối với một trục  bất kỳ bằng mômen quán tính của vật đối với trục 0 song song với  đi qua khối tâm G của vật cộng với tích của khối lượng M của vật với khoảng cách d giữa hai trục.*

I∆ = I∆ + M. d2 (3.17)

0

### §3.5. Mô men động lượng và định luật bảo toàn

* + 1. **Định nghĩa mô men động lượng của hệ chất điểm**

Xét hệ gồm n chất điểm *M1, M2,..., Mn* có khối lượng *m1, m2,...,mn* có vận tốc

lần lần lượt là v¯¯¯1⃗, n¯v¯¯¯2⃗, … , ¯K¯¯¯n⃗ = nv¯¯¯¯n⃗.

¯v¯¯¯2⃗, … , v¯¯¯¯n⃗ và động lượng tương ứng là: ¯K¯¯¯1⃗ = nv¯¯¯1⃗, K¯¯¯¯2⃗ =

Mô men động lượng của hệ chất điểm bằng tổng các mô men động lượng của các chất điểm trong hệ

L¯⃗ = ∑n

i=1

¯L¯¯⃗t = ∑n

¯r¯⃗t ∧ ¯K¯¯⃗t = ∑n

¯r¯⃗t ∧ ni¯v¯¯⃗t

(3.18)

Mà v¯¯¯⃗t = m¯¯¯¯⃗t ∧ r¯¯⃗t

i=1

i=1

L¯⃗ = ∑n

i=1

r¯¯⃗t ∧ ni[m¯¯¯¯⃗t ∧ r¯¯⃗t] = ∑n

ni[(¯r¯⃗t. r¯¯⃗t). m¯¯¯¯⃗t − (r¯¯⃗t. m¯¯¯¯⃗t)¯r¯⃗t]

Do r¯¯⃗t ⊥ m¯¯¯¯⃗t ⟹ r¯¯⃗t. m¯¯¯¯⃗t = 0

i=1

Mô men động lượng của hệ chất điểm quay xung quanh một trục  cố định là

L¯⃗ = ∑n

i=1

ni(¯r¯⃗t. r¯¯⃗t). m¯¯¯¯⃗t = ∑n

Ii. m¯¯¯¯⃗t

(3.19)

Trường hợp vật rắn quay xung quanh một trục  cố định, mọi chất điểm của vật rắn đều quay với cùng vật tốc góc: m¯¯¯¯1⃗ = m¯¯¯¯¯2⃗ = ⋯ = m¯¯¯¯⃗t … . = m¯¯¯¯¯¯⃗

i=1

Mô men động lượng của vật rắn quay xung quanh một trục  cố định là

L¯⃗ = ∑n

i=1

ni(r¯¯⃗t. r¯¯⃗t). m¯¯¯¯⃗t = ∑n

Ii. m¯¯¯¯⃗t = Im¯¯⃗ (3.20)

### Định lý về mô men động lượng của một hệ chất điểm

i=1

Áp dụng định lý về mômen động lượng đối với chất điểm (*mi,ri*) ta có

d¯L¯¯⃗t = ℳ¯¯¯⃗

Trong đó ℳ¯¯¯⃗

dt

¯¯¯⃗

/O(¯F¯¯⃗t)

là tổng mô men đối với gốc O của các lực tác dụng lên chất

điểm *mi*.

/O(Ft)

Lấy tổng theo các chất điểm trong hệ ta có

∑n d¯L¯¯⃗t = ∑n

ℳ¯¯¯⃗

i=1 dt

i=1

/O(¯F¯¯⃗t)

d ∑n

¯L¯¯⃗t = ∑n

ℳ¯¯¯⃗

nội

ngoại

= ∑n

ℳ¯¯¯⃗

nội +

dt

∑n ℳ¯¯¯⃗

i=1

ngoại

i=1

/O(¯F¯¯⃗t

+¯F¯¯⃗t )

i=1

/O(¯F¯¯⃗t )

i=1

/O(¯F¯¯⃗t )

Nội lực tương tác của các chất điểm trong hệ từng đôi một đối nhau (cùng phương ngược chiều, cùng cường độ) do đó tổng mô men đối với O của các

lực này sẽ bằng 0: ∑n

i=1

dL¯⃗ = ∑n

ℳ¯¯¯⃗

/O(Ft

¯¯¯⃗

ℳ¯¯¯⃗

nội)

= 0

= ℳ¯¯¯⃗ (3.21)

dt i=1

/O(¯F¯¯⃗tngo ại)

*Định lý: Đạo hàm theo thời gian của mô men động lượng của một hệ bằng tổng mômen các ngoại lực tác dụng lên hệ (đối với một điểm gốc O bất kỳ).*

* Trường hợp riêng: Vật rắn quay xung quanh một trục  cố định, mọi chất điểm của vật rắn đều quay với cùng vật tốc góc m¯¯¯¯1⃗ = m¯¯¯¯¯2⃗ = ⋯ = m¯¯¯¯⃗t … . =

¯m¯¯¯¯¯⃗

L¯⃗ = Im¯¯⃗

Định lý về mô men động lượng cho vật rắn có thể viết lại như sau

dL¯⃗ = dIm¯¯¯⃗ = ℳ¯¯¯⃗ (\*)

dt dt

Trong đó ℳ¯¯¯⃗ là tổng mô men các ngoại lực tác dụng lên vật rắn quay

*Nhận xét*

+ Tích phân hai vế phương trình (\*) khi chuyển dt lên trên ta có:

∆L¯⃗ = ∫t2 ℳ¯¯¯⃗. dt

t

1

Nếu ℳ¯¯¯⃗ = cons thì ∆L¯⃗ = ℳ¯¯¯⃗. ∆t.

(3.22)

+ Đối với vật rắn quay xung quanh một trục cố định thì mô men quán tính I = const.

dL¯⃗ = dIm¯¯¯⃗ = I d¯m¯¯⃗ = ℳ¯¯¯⃗ (\*\*)

dt dt dt

Ta có: dm¯¯¯⃗ = þ⃗, từ (\*\*) ta thu được phương trình cơ bản của chuyển động quay

dt

vật rắn xung quanh một trục:

I. þ⃗ = ℳ¯¯¯⃗

### Định luật bảo toàn mômen động lượng

Giả sử một hệ chất điểm không chịu tác dụng của các ngoại lực (hệ chất điẻm cô lập) hoặc có chịu tác dụng các ngoại lực nhưng tổng mô men các ngoại lực ấy đối với điểm gốc O bằng không. Khi đó theo định lí về mô men động lượng:

dL¯⃗ = ℳ¯¯¯⃗ = 0 ⟹ L¯⃗ = const

dt

*Vậy mô men động lượng của một hệ chất điểm sẽ bảo toàn nếu hệ*

* *Cô lập*
* *Chịu tác dụng các ngoại lực nhưng tổng mô men các ngoại lực ấy đối với điểm gốc O bằng không*

Trong trường hợp hệ chất điểm quay xung quanh một trục cố định thì khi ℳ¯¯¯⃗ = 0 , ta thu được kết quả

L¯⃗ = ∑n Ii. m¯¯¯¯⃗t = ¯c¯¯o¯¯¯n¯¯¯s¯¯t⃗

i=1

### Ứng dụng định lý bảo toàn mô men động lượng

1. *Ví dụ:* Người ngồi trên ghế Giucopxki (một cái ghế có thể quay tròn xung quanh một trục thẳng đứng)

* Nếu người giơ tay ra phía trước rồi quay tay về phía phải thì ghế sẽ quay về phía trái.

Ta có thể giải thích hiện tượng nay như sau:

Ban đầu người và ghế đứng yên cho nên mômen động lượng của hệ được bảo

toàn: L¯⃗ = ∑n Ii. m¯¯¯¯⃗t = ¯c¯¯o¯¯¯n¯¯¯s¯¯t⃗

i=1

Mô men động lượng của hệ được bảo toàn: mô men động lượng lúc sau bằng mô men động lượng lúc trước:

I1. m¯¯¯¯1⃗ + I2. m¯¯¯¯¯2⃗ = 0

Do vậy khi quay tay với vận tốc góc m¯¯¯¯1⃗ về phía phải thì ghế sẽ quay về phía ngược lại (phía trái) với vận tốc góc

m¯¯¯¯¯2⃗ = −  I1 m¯¯¯¯1⃗

I

2

* Nếu ghế và người đang quay với vận tốc góc m¯¯¯¯¯3⃗ người hạ tay xuống thì vận tốc quay sẽ tăng lên.

Vì mô men động lượng của hệ được bảo toàn nên mô men động lượng lúc sau bằng mô men động lượng lúc trước:

I4. m¯¯¯¯4⃗ = I3. m¯¯¯¯¯3⃗

Do khi hạ tay xuống thì của cả hệ tăng lên.

*I*4   *r* 2*dm*

giảm xuống

*I*4  *I*3  m¯¯¯¯4⃗ > m¯¯¯¯¯3⃗. Vận tốc

1. *Tương tự* như vậy có thể giải thích hiện tượng thay đổi tốc độ quay của diễn viên ba lê trên băng

### Công

**CHƯƠNG 4: NĂNG LƯỢNG**

**§4.1. Công và công suất**

Các lực khác nhau khi tác dụng lên một vật có thể đem lại hiệu quả rất khác nhau.

Để định lượng tác dụng của lực F đối với dịch chuyển của vật, người ta dùng đại lượng công.

Ví dụ: Khi ta kéo một gàu nước, lực kéo làm cho gàu nước chuyển động chứng tỏ lực kéo đã sinh công. Lực kéo càng lớn, gàu nước càng lên gần miệng giếng thì công sinh ra càng lớn.

Như vậy một lực sinh công khi điểm đặt lực chuyển dời.



*F*

**

*s*

*a. Công dưới tác dụng của lực không đổi trong chuyển động thẳng*

Giả sử dưới tác dụng của một lực F⃗

không đổi điểm đặt của nó chuyển dời một đoạn thẳng MM’, M¯¯¯¯¯M¯¯¯¯⃗u = s⃗. Công A do lực F⃗ sinh ra trong chuyển dời M¯¯¯¯¯M¯¯¯¯⃗u = s⃗ được định nghĩa là:

M *Fs* M’ *s*

Hình 4-1:

với *Fs*

A = F⃗. s⃗ = F. s. cosα = Fc. s (4.1) là hình chiếu của F⃗ lên phương dịch chuyển: Fc = F. cosα

Như vậy công *A* là đại lượng vô hướng có thể dương, âm, hoặc bằng 0.

* Nếu **  **
* Nếu **  **
* Nếu **  **

2  cos**  0  *A* > 0: lực sinh công phát động.

2  cos**  0  *A* < 0: lực sinh công cản.

2  cos**  0  *A* = 0: lực không sinh công.

*b.Trường hợp tổng quát: Công sinh ra khi* F⃗ *lực thay đổi và điểm đặt chuyển dời trên một đường cong (C).*

Để tính công *A* trong dịch chuyển MˆM′, ta chia đường cong C thành các đoạn dịch chuyển vô cùng nhỏ sao cho mỗi đoạn chuyển dời ¯d¯¯¯s⃗ có thể coi như thẳng và trên



*F*

*s*

**

*ds*

mỗi đoạn đó lực F⃗ coi như không đổi.

Công nguyên tố hay công vi phân do lực sinh ra trên đoạn dịch chuyển vô cùng nhỏ này là:

dA = F⃗. ¯d¯¯¯s⃗

M M’

Hình 4-2: Công trong trường hợp tổng quát

Công A do lực thực hiện trên cả đoạn dịch chuyển MˆM′ là:

A = ∫Æ dA = ∫ F⃗. ¯d¯¯¯s⃗

(4.2)

0

*c. Đơn vị của công:*

 *A*  *F* .*r*  *N*.*m*

1N.m = 1kg.m2/s2 = 1J

MˆMu

Khi tính công trên các đối tượng vi mô (như điện tử chẳng hạn) người ta thường dùng đơn vị electron - volt (eV)

1eV = 1,6.10-19 J

### Công suất

Ý nghĩa: Công suất đặc trưng cho sức mạnh của một máy, tức là đặc trưng cho khả năng sinh công nhanh hay chậm của máy.

- Công suất trung bình là công trung bình của lực sinh ra trong một đơn vị thời gian

P = ∆Æ

tb

∆t

(4.3)

- Công suất tức thời (gọi tắt là công suất) là đại lượng đặc trưng cho sự biến thiên của công tại từng thời điểm

P = lim ∆Æ = dÆ

∆t→0 ∆t dt

Như vậy *công suất có giá trị bằng đạo hàm của công theo thời gian*

Vì: dA = F⃗. ¯d¯¯¯s⃗ P = F⃗ ¯d¯¯¯c⃗

dt

P = F⃗. v⃗ (4.4)

Vậy *công suất bằng tích vô hướng của lực tác dụng với véc tơ vận tốc của chuyển dời*.

- Đơn vị của công suất:

*P*   *A*  *J*  W

*t*  *s*





M

O *d*

*ds*

*Ft*

### Công và công suất của lực tác dụng trong chuyển động quay

Trong trường hợp vật rắn quay xung quanh 1 trục cố định, chỉ có các lực tiếp tuyến mới có tác dụng gây ra chuyển động quay.

Công vi phân của lực tiếp tuyến tác dụng lên vật rắn là:

dA = Ft. ds = Ft. r. dα

Hình 4-3: Công trong chuyển động quay

Mặt khác mômen của lực ¯F¯¯⃗t đối với trục quay  là:

ℳ = Ft. r

Do đó: dA = ℳ. dα

Vậy công của lực tác dụng trong chuyển động quay của vật rắn là

A = ∫ˆ ℳ. dα = ∫ˆ ℳ. dα . dt = ∫ ℳ¯¯¯⃗. m¯¯⃗. dt

(4.5)

MMF

MMF dt

MˆMu

Từ đó có thể suy ra biểu thức của công suất:

P = dÆ = ℳ¯¯¯⃗. m¯¯⃗ (4.6)

dt

### §4.2. Năng lượng

* + 1. **Năng lượng**

*Năng lượng* là đại lượng đặc trưng cho mức độ vận động của vật chất.

Một vật ở trạng thái xác định thì có một năng lượng xác định. Khi vật tương tác với các vật khác thì trạng thái của vật bị thay đổi và do đó năng lượng của vật được trao đổi với các vật ở bên ngoài.

Sự trao đổi này có thể thực hiện theo nhiều cách. Trong chuyển động cơ, khi hệ thực hiện một công thì năng lượng của nó biến đổi. Như vậy *công* là một đại lượng đặc trưng cho cho quá trình trao đổi năng lượng giữa vật này và vật khác.

### Định luật bảo toàn năng lượng

Giả thiết trong một quá trình nào đó hệ biến đổi từ trạng thái 1 có năng lượng là W1 sang trạng thái 2 có năng lượng là W2. Trong quá trình đó hệ nhận một công A từ bên ngoài.

Thực nghiệm chứng tỏ rằng:

W2 − W1 = A (4.7)

Ta có thể phát biểu: *Độ biến thiên năng lượng của một hệ trong một quá trình nào đó có giá trị bằng công mà hệ nhận được từ bên ngoài trong quá trình đó*.

Nhận xét:

* Mỗi trạng thái có một mức năng lượng xác định, ta nói *năng lượng là hàm trạng thái*.

Còn công bao giờ cững tương ứng với một quá trình cho nên *công là hàm quá trình*.

* Nếu A > 0 hệ nhận công từ bên ngoài, năng lượng của hệ tăng
* Nếu A < 0 hệ sinh công cho bên ngoài, năng lượng của hệ giảm
* Nếu A = 0 hệ cô lập không tương tác trao đổi năng lượng với bên ngoài. Khi đó

W2 = W1 = const

*Vậy năng lượng của một hệ cô lập được bảo toàn.*

Đó chính là nội dung của định luật bảo toàn năng lượng. *Năng lượng không tự mất đi mà cũng không tự sinh ra, năng lượng chỉ chuyển từ hệ này sang hệ khác.*

### §4.3. Động năng

*Động năng là phần cơ năng tương ứng với chuyển động của chất điểm.*

### Định lý về động năng của chất điểm

Xét một chất điểm khối lượng m, chịu tác dụng của một lực F⃗ và chuyển động từ vị trí M đến vị trí M’.

Công mà lực F⃗ thực hiện trên quãng đường ấy là:



**

*ds*

*F*

**

A = ∫2 F⃗. ¯d¯¯¯s⃗ = ∫2 na⃗. ¯d¯¯¯s⃗

1 1

= ∫2 n ¯d¯¯¯¯v⃗ . ¯d¯¯¯s⃗

1 dt

v2

¯¯¯¯⃗

1 2

nv2 v2

= ∫v1 nv⃗. dv =

2 |v1

Hình 4-4

nv2 nv2

A = 2 − 1

2 2

nv2

1 = Wđ1: động năng của cℎất điển ở vị trí 1

Gọi { 2 2

nv2 = Wđ2: động năng của cℎất điển ở vị trí 2

2

Vậy ta thu được : Wđ2 − Wđ1 = ∆W = A (4.8)

P/b: Định lý về động năng: *Độ biến thiên động năng của một chất điểm trong một quãng đường nào đó có giá trị bằng công của ngoại lực tác dụng lên chất điểm sinh ra trong quãng đường đó.*

### Động năng trong trường hợp vật rắn quay





M

O *d*

*ds*

*Ft*

Công vi phân của lực tiếp tuyến trong chuyển động quay vật rắn xung quanh một trục cố định là:

dA = F⃗. ¯d¯¯¯s⃗ = ℳ¯¯¯⃗. m¯¯⃗. dt

Theo phương trình cơ bản của chuyển động quay ℳ¯¯¯⃗ = I. þ⃗

trong đó: þ⃗ = d¯¯¯¯m¯¯⃗ . dt là gia tốc góc của chuyển

dt

động quay, do vậy

*Hình 4-5: Động năng trong chuyển động quay*

dA = I. d¯¯¯¯m¯¯⃗ m¯¯⃗. dt = m¯¯⃗. ¯d¯¯¯m¯⃗. dt

dt

Vậy công của các ngoại lực tác dụng lên vật rắn quay là:

A = ∫Æ dA = A = ∫m2 m¯¯⃗. ¯d¯¯¯m¯⃗. dt = Im2 |m2 = nm2 − nm2 (4.9)

0 m1

2 1

2 m1 2 2

Đại lượng Wđq

= Im2

2

gọi là đông năng của vật rắn quay

*Trường hợp tổng quát vật rắn vừa quay vừa chuyển động tịnh tiến*

Động năng toàn phần của vật rắn bằng tổng động năng tịnh tiến và động năng quay

Wđ = 1 nv2 + 1 Im2 (4.10)

2 2

Nếu vật rắn đối xứng tròn quay lăn không trượt thì vận tốc tịnh tiến liên hệ với vận tốc quay bởi công thức: v⃗ = m¯¯⃗ ∧ R¯⃗ (với R là bán khính thiết diện vật rắn). Lúc nầy biểu thức động năng toàn phần có thể viết như sau:

Wđ = 1 (n + I ) v2

2 R2

### §4.4. Thế năng trong trường lực và định luật bảo toàn cơ năng

* + 1. **Trọng trường đều**

*a. Định nghĩa*

*Trường lực*: Một chất điểm được gọi là chuyển động trong *trường lực* nếu tại mỗi vị trí của chất điểm đều xuất hiện lực F⃗ tác dụng lên chất điểm ấy.

Mọi vật có khối lượng *m* ở gần quả đất đều chịu tác dụng của trọng lực P¯⃗ =

n. g⃗. Trong phạm vi không gian không rộng lắm, g⃗ luôn thẳng đứng, hướng xuống và có độ lớn không đổi. Khi đó trọng trường tác dụng những lực không đổi lên chất điểm đặt trong nó gọi là trọng trường đều.

*b. Công của lực trọng trường đều*

Giả sử một chất điểm có khối lượng *m z*

chuyển động trong trọng trường từ vị trí M đến vị trí N



M

*ds*

*dz*

*z*

N

*M*

*P*  *mg*

*ZN*

Công do trọng lực tác dụng lên chất điểm là:

AMN

= ∫N P¯⃗. ¯d¯¯¯s⃗

(4.11)

Trong chuyển dời nhỏ a¯¯¯¯b⃗ = ¯d¯¯¯s⃗, công vi phân

M

dA = P¯⃗. ¯d¯¯¯s⃗ = P. ab. cosα

= −P. dz

(dấu – do khi dz<0 độ cao giảm thì dA>0)

Hình 4-6: Thế năng trọng trường

Vậy: Công do trọng lực tác dụng lên chất điểm là:

A = ∫N dA = ∫N P¯⃗. ¯d¯¯¯s⃗ = − ∫zN ngdz = ngz − ngz

(4.12)

MN M M zM M N

Vậy công của trọng lực khi dịch chuyển chất điểm từ vị trí M đến vị trí M’ trong trọng trường đều không phụ thuộc vào dạng đường dịch chuyển, mà chỉ phụ thuộc vào vị trí đầu và vị trí cuối. Ta nói trọng lực là một lực thế hay trọng trường đều là một trường lực thế.

### Thế năng trong trọng trường đều

1. *Định nghĩa thế năng*

Một chất điểm có khối lượng m ở độ cao h trong trọng trường khi thả do tác dụng của trọng lực có khả năng sinh công. Năng lượng này phụ thuộc vào vị trí của chất điểm trong trọng trường và được gọi là thế năng của chất điểm trong trọng trường.

Khi chất điểm chuyển động từ M tới N, trọng lực sinh công theo (4.12)

AMN = ngzM − ngzN

Theo định luật bảo toàn và chuyển hóa năng lượng vế phải của phương trình chính là độ biến thiên năng lượng, do đó người ta định nghĩa

Thế năng tại M là: *Wt* *M*   *mgzM*

Thế năng tại N là: *Wt*  *N*   *mgzN*

Vậy thế năng của chất điểm tại vị trí có độ cao h là

Wt(ℎ) = ngℎ + C

Trong đó C là một hằng số phụ thuộc vào việc chọn mốc tính thế năng. Nếu chọn thế năng tại mặt đất bằng không thì C = 0. Khi đó thế năng của một điểm ở cách mặt đất một độ cao h là: Wt(ℎ) = ngℎ

Định lý thế năng được viết lại từ (4.12) ta có:

AMN = Wt(M) − Wt(N)

“Độ giảm thế năng của chất điểm trong trọng trường trong chuyển dời nào đó có giá trị bằng công của trọng lực tác dụng lên chất điểm trong chuyển dời đó”

1. *Ý nghĩa vật lý của thế năng:*

Thế năng là dạng năng lượng đặc trưng cho tương tác

Dạng thế năng của chất điểm trong trọng trường đặc trưng cho tương tác giữa chất điểm và quả đất

### Cơ năng

Xét một chất điểm chuyển động từ vị trí M đến vị trí N trong trường lực thế. Công của trường lực là:

AMN = Wt(M) − Wt(N)

Nhưng theo định lý về động năng:

AMN = Wđ(N) − Wđ(M)

Vậy ta có:

Wđ(N) − Wđ(M) = Wt(M) − Wt(N)

Wđ(M) + Wđ(M) = Wt(N) + Wđ(N)

Vậy W = Wđ + Wt = const

*Tổng động năng và thế năng của chất điểm gọi là cơ năng của chất điểm*

Định luật bảo toàn cơ năng: *Khi chất điểm chuyển động trong trường lực thế (mà không chịu tác dụng của một lực nào khác) thì cơ năng của chất điểm là một đại lượng bảo toàn.*

### 4.4.5. Sơ đồ thế năng

Thế năng Wt của một chất điểm trong trường lực thế là hàm của 3 tọa độ x,y,z của chất điểm đó: Wt = Wt(x, y, z)

Trong trường hợp thế năng chỉ phụ thuộc vào một tọa độ (chẳng hạn là x) thì:

Wt = Wt(x)

Đồ thị Wt = ƒ(x) gọi là sơ đồ thế năng.

Theo định luật bảo toàn cơ năng, trong trường lực thế không có ma sát

W = Wđ + Wt = const

Vì động năng luôn có giá trị dương hoặc bằng không nên *Wt*  *W*

Do vậy chuyển động của chất điểm bị giới hạn. Chất điểm trong trương hợp trên chỉ

*Wt*

*W*

D

A C

G

B

I II III

O *x*

Hình 4-7: Sơ đố thế năng

có thể chuyển động trong miền I ( *xA*  *x*  *xC* ) và miền III ( *x*  *xG* ). Chất điểm không thể đi từ miền I sang miền III hoặc ngược lại vì bị hang rào thế CDG cản trở. Muốn vượt qua hàng rào thế, chất điểm cần phải được cung cấp năng lượng bổ xung.

### PHẦN II: NHIỆT HỌC

Cơ học nghiên cứu dạng chuyển động cơ nhưng chưa đề cập tới những quá trình xảy ra bên trong vật .Quá trình này liên quan đến dạng chuyển động mới là chuyển động nhiệt .Chuyển động nhiệt là đối tượng nghiên cứu của nhiệt học

Để nghiên cứu chuyển động nhiệt ta dùng 2 phương pháp ;

Phương pháp thống kê Phân tích quá trình xảy ra với từng phân tử nguyên tử riêng biệt và kết hợp với quy luật thống kê suy ra quy luật chung của cả tập hợp và giải thích tính chất của vật

Phương pháp nhiệt động Nghiên cứu điều kiện biến hóa năng lượng từ dạng này sang dạng khác một cách định lượng dựa trên hai nguyên lý cơ bản rút ra từ thực nghiệm của nhiệt động học

### CHƯƠNG 1: CÁC ĐỊNH LUẬT THỰC NGHIỆM

**§1.1. Khái niệm**

* + 1. **Thông số trạng thái và phương trình trạng thái.**

Khi nghiên cứu một vật, tính chất của nó biến đổi ta nói trạng thái vật biến đổi (ví dụ vật từ nóng sang lạnh, từ bị nén ít sang bị nén nhiều …), trạng thái vật được xác định bằng nhiều tính chất, mỗi tính chất được biểu thị bằng 1 đại lượng vật lý, gọi là thông số trạng thái. Vậy mỗi trạng thái được xác định bởi một tập hợp nhiều thông số trạng thái.

Các thông số trạng thái có thể độc lập hoặc phụ thuộc.

Phương trình nêu mối liên hệ các thông số trạng thái gọi là phương trình trạng thái

Với khối khí, trạng thái được xác định bởi ba thông số trạng thái là thể tích V, áp suất P và nhiệt độ T ,trong đó có 2 thông số độc lập, do đó phương trình trạng thái có dạng f (P,V,T) = 0

### Khái niệm áp suất và nhiệt độ.

1. *Áp suất.*

Áp suất là đại lượng vật lý có trị số bằng lực nén vuông góc lên một đơn vị diện tích:

*P*  *F*

*sn*

(1.1)

Đơn vị áp suất : N/m2 hay còn gọi là Paxcan (Pa)

Ngoài ra còn dùng đơn vị khác như atmôtphe, mmHg (còn gọi là Tor). Công thức liên hệ chuyển đổi giữa các đơn vị :

1at = 736 mmHg = 9,81.104N/m2

Áp suất khí quyển Pkq=1 atm=1,033at = 760mmHg = 1,013.105 N/m2

1. *Nhiệt độ*

Nhiệt độ là đại lượng vật lý đặc trưng cho mức độ chuyển động hỗn loạn của phân tử của các vật.

Ta có những thang đo nhiệt độ khác nhau như thang nhiệt độ bách phân (ký hiệu toc), thang nhiệt độ tuyệt đối (ký hiệu Tok). Công thức liên hệ hai thang đo :

T = t + 273 (1.2)

Vì nhiệt độ đặc trưng cho mức độ vận động của vật chất nên nhiệt độ tuyệt đối là 1 số dương: T>0K

### §1.2. Các định luật thực nghiệm chất khí

Dùng thực nghiệm tìm sự liên hệ giữa hai trong ba thông số P,V,T bằng cách xét các quá trình biến đổi trạng thái của khối khí trong khi giữ một thông số có giá trị xác định. Vậy ta có các quá trình:

Đẳng tích: Giữ nguyên thể tích không thay đổi. Đẳng áp: Giữ nguyên áp suất không thay đổi. Đẳng nhiệt: Giữ nguyên nhiệt độ không thay đổi.

### Định luật Bôilơ-Mariôt

Với khối khí xác định (m=hằng số) khi giữ nguyên nhiệt độ khối khí không đổi thì tích số giữa áp suất và thể tích là một hằng số

T= hằng số Thì PV = hằng số (1.3) Hay p1v1 = p2v2

Trong hệ trục OPV đồ thị biểu diễn phương trình

(1.3) với nhiệt độ xác định là đường Hypecbol vuông góc gọi là đường đẳng nhiệt.

Khi nhiệt độ càng cao thì các đường chạy ra xa gốc tọa độ. Tập hợp các đường ứng với nhiệt độ khác nhau gọi là họ đường đẳng nhiệt.

### Định luật Gay-luytxắc.

Với khối khí xác định, khi giữ nguyên thể tích khối khí thì áp suất tỉ lệ bậc nhất với nhiệt độ tuyệt đối của khối khí. khi giữ nguyên áp suất thì thể tích tỉ lệ bậc nhất với nhiệt độ tuyệt đối.

P P1 P2

O V

T3

T2 T3> T2 > T1 T1

v1 v2

Hình 1-1

Họ đường đẳng nhiệt

V=hằng số thì

*p*  *h*.*sô T*

(1.4)

P=hằng số thì

*V*  *h*.*sô T*

(1.5)

Gọi p0,V0,T0 là áp suất, thể tích, nhiệt độ ở điều kiện tiêu chuẩn với T0=273oK

và α =

1 gọi là hệ số dãn nở nhiệt, ta có thể viết phương trình (1.4) và (1.5)

273

dưới dạng : V=hằng số thì

*p*  *p*0 *T T*0

 **. *p*0

→ p=p0αT (1.6)

p=hằng số thì

*V*  *V*0 *T T*0

 **.*V*0

→ V=V0αT (1.7)

Trong hệ tọa độ OPV thì đồ thị biểu diễn phương trình (1.4) là đường thẳng song song với trục OP, đồ thị biểu diễn phương trình (1.5) là đường thẳng song song với trục OP.

Tương tự nếu trong hệ tọa độ với 2 trục tương ứng là p,T và v,T thì đồ thị biểu diễn phương trình (1.6) và (1.7) là đường thẳng có hướng đi qua gốc O

### Giới hạn ứng dụng của định luật thực nghiệm

Các định luật trên được xây dựng trong điều kiện nhiệt độ và áp suất thông thường ở phòng thí nghiệm vì vậy các định luật thực nghiệm đúng với các chất khí trong phạm vi của áp suất và nhiệt độ phòng thí nghiệm

Khi ta nén mạnh hoặc hạ thấp nhiệt độ của khối khí thì các định luật trên không còn đúng nữa.

Thông thường các loại khí ở phong thì nghiệm được gọi là khí lý tưởng, vì vậy định luật thực nghiệm đúng với khí lý tưởng.

### §1.3. Phương trình trạng thái khí lí tưởng

* + 1. **Khí lý tưởng.**

Chất khí ở điều kiện phòng thí nghiệm đều là khí lí tưởng. Vậy khí lý tưởng là chất khí tuân theo các định luật thực nghiệm.

Về mặt cấu tạo phân tử ta có thể coi khí lý tưởng là chất khí có kích thước phân tử rất nhỏ so với các kích thước và khoảng cách mà ta đang kháo sát; và lực tương tác giữa các phân tử rất nhỏ, do đó ta có thể bỏ qua chúng kích thước và sự tương tác giữa các phân tử, và coi mỗi phân tử là 1 chất điểm, không tương tác với nhau.

T1

P

T2

P1 P2 P’1

O

M1

M2

M’

v1

v2

### Phương trình trạng thái của khí lí tưởng

Cho một kmol khí biến đổi từ trạng thái 1 có các thông số P1,V1,T1 sang trạng thái 2 có các thông số P2,V2,T2 .Trạng thái 1 và 2 được biểu diễn bằng điểm M1,M2 trên đồ thị (Hình 1-2)

V

Hinh:1-2 45

Giả sử quá trình biến đổi thông qua 2 giai đoạn:

Giai đoạn 1: Dãn nở khối khí đẳng nhiệt ở nhiệt độ T1 sang trạng thái M’ có các thông số p’1,v2,T1 được biểu diễn bằng điểm M’ trên đồ thị. Theo định luật Bôilơ- mariốt :

P1.V1= P’1.V2 →

*P*'1

 *P*1*V*1 *V*

(1.8)

2

Giai đoạn 2: Nung nóng đẳng tích khối khí ở thể tích v2 sang trạng thái 2. Theo định luật Gay – luytxắc: P=P0αT

Nên ta có: P’1=P0αT1 và P2=P0αT2

Suy ra :

*P*'1

 *T*1 *P*2 *T*2

(1.9)

Thay vào phương trình (1.8) được:

*P*1*V*1  *P*2*V*2

(1.10)

*T*1 *T*2

Từ (1.10) thấy lượng

*PV* là hằng số gọi là hằng số khí lí tưởng R ta có:

*T*

*PV* = R (1.11)

*T*

Phương trình (1.11) hoặc (1.10) gọi là phương trình trạng thái cho khí lí tưởng có khối lượng µ (1kmol )

Đối với khối khí có khối lượng m thể tích là v ta có

*m*  **  *V*  *v *

*v V m*

Thay vào (1.11) được phương trình trạng thái cho khối khí có khối lượng m

*pv*  *m RT*

**

(1.12)

Để tính hằng số khí R ta thay các thông số của 1 kmol khí ở điều kiện tiêu chuẩn. Theo định luật Avôgađrô ở cùng nhiệt độ và áp suất 1kmol khí khác nhau chiếm cùng một thể tích vậy:

T0=273,16oK , P0 =1,033at =1,013.105N/m2 thì V0=22,4m3

Thay vào (1.11) ta được hằng số R:

R = 1,013.105.*N* / *m*2 .22,4.103 *m*3 / *kmol*

273,16*o K*

= 8,31.103 j/kmol.K

Nếu P đo bằng atmôtphe ta được :R = 0,0848.m3.at/kmol.K

Từ phương trình trạng thái ta suy ra được khối lượng riêng khối khí

ρ = *m*  **. *p*

(1.13)

*v R*.*T*

### CHƯƠNG 2: THUYẾT ĐỘNG HỌC PHÂN TỬ

**§2.1. Thuyết động học phân tử và phương trình**

* + 1. **Nội dung của thuyết động học phân tử.**

Dựa trên cơ sở cấu tạo phân tử và sự chuyển động hỗn loạn không ngừng của phân tử được rút ra từ thực nghiệm người ta đã xây dựng nên thuyết động học phân tử gồm các giả thiết sau:

1. Các chất khí có cấu tạo gián đoạn gồm một số rất lớn các phân tử.
2. Các phân tử luôn chuyển động hỗn loạn không ngừng. Khi chuyển động chúng va chạm vào nhau và va chạm vào thành bình.
3. Cường độ chuyển động của các phân tử biểu hiện ở nhiệt độ của khối khí. Chuyển động phân tử càng mạnh thì nhiệt độ càng cao .Nhiệt độ tuyệt đối của khối khí tỉ lệ với động năng tịnh tiến trung bình của phân tử.
4. Kích thước phân tử rất nhỏ so với khoảng cách giữa chúng, trong nhiều trường hợp tính toán ta bỏ qua kích thước phân tử và coi mỗi phân tử như một chất điểm.
5. Các phân tử không tương tác trừ lúc va chạm. Sự va chạm giữa các phân tử với nhau và với thành bình tuân theo quy luật của va chạm đàn hồi.

Trong 5 giả thiết trên thì giả thiết 3, 4, 5 chỉ đúng với khí lí tưởng do vậy ta nói đây là thuyết động học phân tử của khí lí tưởng.

### Xác suất và giá trị trung bình

Do các phân tử khí trong khối khí luôn chuyển động hỗn loạn không ngừng do đó vận tốc (cũng như động lượng, động năng …) của các phân tử rất khác nhau vì vậy người ta lấy giá trị trung bình của vận tốc để đặc trưng cho chuyển động của phân tử.

Giả sử có n phân tử trung bình, trong đó có n1 phân tử chuyển động với vận tốc v1; n2 phân tử chuyển động với vận tốc v2…Người ta định nghĩa vận tốc trung bình:

*v*  *n*1*v*1  *n*2 *v*2  ...  *n*1*v*1  *n*2 *v*2  ... =

 *ni vi*

(2.1)

*n*1  *n*2 ... *n n*

Tương tự ta có trung bình của bình phương vận tốc là:

 *n v* 2

*v*2  *i i*

*n*

(2.2)

Nếu ta chia cả tử và mẫu của vế phải phương trình cho thể tích V của khối khí thì ta có thể viết giá trị trung bình qua mật độ phân tử như sau:

*v*

2

*v*2 

 *noi i*

(2.3)

*no*

Trong đó n0 và n0i là mật độ phân tử của khối khí và mật độ phân tử khí có vận tốc vi

Tỉ số

*ni* là số phần trăm phân tử có vận tốc vi gọi là xác suất phân tử

*n*

có vận tốc vi kí hiệu là P(vi):

P(vi) =

*ni* (2.4)

*n*

Xác suất là một đại lượng có giá trị nằm giữa 0 và 1. Xác suất bằng 0 ứng với sự kiện không xảy ra, xác suất bằng 1 ứng với sự kiện chắc chắn xảy ra do đó ta có hệ thức:

 *P*(*vi* )  1

*i*

Trên cơ sở khái niệm xác suất ta có thể viết giá trị trung bình là:

*v*2   *P*(*v* ).*v* 2

(2.5)

*i i*

*i*

*v*   *P*(*vi* ).*vi*

*i*

### Phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử

1. *Lập phương trình*

(2.6)

Xét khối khí trong bình có mật độ phân tử là n0. Giả sử các phân tử khí chuyển động theo phương vuông góc với thành bình (coi là phương x) với vận tốc khác nhau v1x,v2x,…vnx .Gọi lần lượt mật độ phân tử có vận tốc v1x,v2x,…vnx là n01,n02,…n0n ta có:

n0= n01+n02+…+n0n

~~~~

*v*1*x*

x

∆s

v1x∆t

Lấy diện tích Δs nhỏ trên thành bình để coi là phẳng thì sau khoảng thời gian Δt số phân

tử có vận tốc v1x có khả năng đến đập vào Δs là

số phân tử trong hình trụ có đáy là Δs và đường sinh là Δt.v1x

n = n01v1x Δs Δt

Do chuyển động nhiệt hỗn loạn nên chỉ có ½ số phân tử trong hình trụ đập vào diện tích Δs và

Hình 2-1

bằng

1. n01v1x Δs Δt

2

Khi 1 phân tử có vận tốc v1x đập vào Δs thì động lượng biến thiên một

lượng là 2mv1x nên độ biến thiên động lượng của các phân tử có v1x đến đập vào Δs là :

ΔK1= 1 n01v1x Δs Δt.2mv1x= n01m *v*2

Δs Δt.

2 1*x*

Vì các phân tử có vận tốc khác nhau v1x,v2x,…do đó độ biến thiên động lượng tổng cộng của các phân tử có vận tốc theo phương x khi đập vào Δs là:

ΔK = *Ki* =  *n*0*i*

*ix*

*mv* 2 *s**t*

*i i*

Theo định lý động lượng ta có lực tác dụng lên Δs do các phân tử khí đập vào là:

*F*  *K*

*t*

  *n*0*i*

*i*

*mv*2 *s*

Vậy áp suất tác dụng lên thành bình là:

*ix*

P = *F*  *n* 2



*mv*

0*i*

*ix*

*s i*

Theo (2.3) ta có  *n*0*i*

*i*

*mv* 2 = *n* 2

*ix*

*v*

0 *x*

thay vào phương trình trên ta được

P = *n* 2

*v*

0 *x*

Thực ra vận tốc phân tử không phải chỉ theo phương x mà có phương bất kỳ nên nó có các thành phần vx,vy,vz thỏa mãn:

v2 = *v*2  *v* 2  *v* 2

*x y z*

Lấy trung bình 2 vế ta được: *v* 2  *v* 2  *v* 2  *v* 2

*x z z*

Do tính chuyển động hỗn loạn không phương ưu tiên nên

2  *v*2

*v*

*z*

*x*

 *v*2

*z*

 *v* 2

3

Vậy áp suất tác dụng lên thành bình là

P = 1 *n mv* 2  2 *n* 1 *mv* 2

3 0 3 0 2

Gọi động năng trung bình của phân tử khí là:

*W*  1 *mv* 2

*đ* 2

(2.7)

Ta có phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử là P = 2 *n W*

(2.8)

3 0 *đ*

1. *Hệ quả.*

+ Động năng tịnh tiến trung bình của phân tử tỉ lệ với nhiệt độ tuyệt đối:

Từ hai phương trình: P= 2 *n W*

và PV = RT

3 0 *đ*

Ta được:

*W*  3 *P*  3 *RT*  3 *RT*

*đ* 2 *n* 2 *Vn* 2 *N*

0

0

đặt k =

*R* (=1,38.10-23j/độ) gọi là hằng số Bônzman:

*N*

*W*  3 *KT*

*đ* 2

(2.9)

Biểu thức động năng trên cho phân tử có cấu tạo đơn nguyên tử và coi phân tử như chất điểm, nó chỉ chuyển động tịnh tiến.

Từ (2.9) có nhận xét:

Động năng trung bình *Wđ*

tỉ lệ với nhiệt độ tuyệt đối của khối khí

Nhiệt độ tuyệt đối của vật là số đo mức độ chuyển động hỗn loạn của các phân tử; chuyển động hỗn loạn của phân tử còn gọi là chuyển động nhiệt. Vì

các phân tử luôn chuyển động hỗn loạn nên thực hiện được không độ tuyệt đối.

+ Mật độ phân tử :

*Wđ* ≠0 do đó T≠0 là không thể

Từ 2 phương trình P =

1. *n W*

và *W*

 3 *KT*

Ta được: *n*0

 3*P*  *P*

2*Wđ kT*

3 0 *đ đ* 2

(2.10)

Từ (2.10) ta thấy nếu ở cùng một nhiệt độ và áp suất thì mọi chất khí sẽ có cùng mật độ phân tử khí. Ơ điều kiện tiêu chuẩn mọi chất khí đều có mật độ phân tử khí là:

N0= *P*0 

*kT*0

1,013.105

1,38.1023.273

 2,678.1025

phân tử /m3 gọi là số Lôsmit

+ Vận tốc toàn phương trung bình (còn gọi là vận tốc chuyển động nhiệt):

*v* 2

Định nghĩa :

*vtp*  (2.11)



*****W* 

Từ 2 phương trình

*mv* 2

2

ta được *v*2  2*W*

 3*kT* mà  *k*  *R*

 ta được :

3 *m m*  *N* 

*W*  *kT*



 2

*v* 2

3*RT*

**

**  *mN* 

*v* 2  3*RT* →

**

*vtp*  =

(2.12)

### §2.2. Nội năng khí lí tưởng

* + 1. **Nội năng của một vật**

Định nghĩa: Nội năng là phần năng lượng tương ứng với chuyển động bên trong vật gồm tổng động năng chuyển động nhiệt hỗn loạn của các phân tử, thế năng tương tác các phân tử và năng lượng dao động, năng lượng quay của các phân tử nhưng rất nhỏ ta có thể bỏ qua.

Với khí lí tưởng các phân tử coi như không tương tác do đó nội năng của khí lí tưởng bằng tổng động năng chuyển động nhiệt.

U = *Wđ*

Để tính nội năng ta phải tính động năng trung bình của phân tử, nếu phân tử chỉ chuyển đông tịnh tiến thì động năng trung bình bằng:

*W*  3 *KT*

*đ* 2

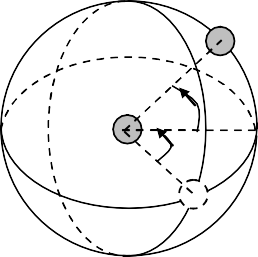
Nhưng thực tế phân tử còn có chuyển đông quay do đó động năng trung bình lớn hơn động năng tịnh tiến trung bình.

### Định luật phân bố đều năng lượng theo bậc tự do của Măcxoel

1. *Bậc tự do*

Bậc tự do là số tọa độ độc lập tối thiểu cần thiết để xác định vị trí của một vật trong không gian.

Với phân tử khí có cấu tạo đơn nguyên tử, coi phân tử như chất điểm chỉ chuyển động tịnh tiến nên số bậc tự do là 3 tọa độ x,y,z: i=3



β

α



Hinh: 2-2a Hinh: 2-2b

Với phân tử cấu tạo 2 nguyên tử , coi phân tử như 2 chất điểm cách nhau khoảng xác định. Để xác định vị trí của nguyên tử thứ nhất cần 3 bậc tự do. Nguyên tử thứ 2 có thể quay quanh nguyên tử thứ nhất trên 2 mặt phẳng nằm ngang(α) và thẳng đứng(β), do đó để xác định vị trí của phân tử thứ 2 ta cần thêm 2 góc quay vậy số bậc tự do là i=5.

Với phân tử cấu tạo 3 nguyên tử ,coi phân tử như 3 chất điểm cách nhau những khoảng cách xác định, để xác định vị trí 2 nguyên tử cần 5 bậc tự do, lúc đó nguyên tử thứ 3 có có thể quay quanh trục của 2 nguyên tử vậy để xác định nốt vị trí của nguyển tử thứ 3 ta cần thêm góc quay quanh trục của 2 nguyên tử vậy số bậc tự do là i=6.

1. *Định luật phân bố đều năng lượng theo bậc tự do*

Nếu coi phân tử chỉ chuyển động tịnh tiến thì động năng trung bình cũng chính là động năng tịnh tiến trung bình:

*W*  3 *KT*  1 *mv* 2  1 *mv* 2 + 1 *m v*

2 + 1 *mv* 2

*đ* 2 2

2 *x* 2

*y* 2 *z*

Do chuyển động hỗn loạn không phương ưu tiên nên động năng được phân bố

đều theo bậc tự do, mỗi bậc tự do ứng với năng lượng bằng suy rộng kết quả trên và đưa ra định luật sau:

1 *KT* . Măcxoen

2

*Động năng trung bình của phân tử được phân bố đều cho các bậc tự do và*

*năng lượng ứng với mỗi bậc tự do là*

1 *KT*

2

Phân tử khí có i bậc tự do thì động năng trung bình của nó là

### Nội năng của khí lí tưởng

Gọi U0 là nội năng của 1kmol khí lí tưởng ta có

*i KT*

2

U0 = N *i KT*

2

= *i RT*

2

(2.13)

Với khối khí có khối lượng m thì nội năng U là:

*U*  *m*  *U*  *mU*

→ U =

*m i RT*

(2.14)

*U* 0 ** ** ** 2

0

Vậy nội năng của khí lí tưởng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ do đó độ biến thiên nội năng của khí lí tưởng là:

ΔU =

*m i R**T*

** 2

### §2.3. Định luật phân bố

* + 1. **Công thức khí áp**

Do chuyển động nhiệt hỗn loạn các phân tử khí có xu hướng phân bố đồng đều. Các phân tử khí nằm trong trọng trường trái đất nên chịu tác dụng của lực hút trái đất do đó nó phân bố không đều, mà có xu hướng bị kéo xuống mặt đất và áp suất thay giảm theo chiều cao.

Xét hai điểm có tọa độ z và z+dz so với mặt đất và có áp suất tương ứng là p và p+dp. Độ chênh lệch áp suất dp phải có giá trị âm và độ lớn bằng trọng lượng cột khí có chiều cao dz và đáy bằng 1m2

dp=-ρgdz



Z+dz

p+dp

z

p

o

theo hệ quả của phương trình trạng thái: ρ = *p*

*RT*

thay vào ta được:

dp = -

*p* gdz →

*dp*   *g dz*

*RT p RT*

Lấy tích phân 2 vế ta được:

Hinh:2-3

*p*( *z* ) *dp z g*

0

*p*(*z*) *g*



*p*

*p*(0)

   *RT dz*  ln *p*(0)   *RT z*

Lây e mũ hai vế được công thức khí áp :

* *gz*

P(z)=p(0) *e RT* (2.15)

Trong đó p(z) và p(0) là áp suất ở độ cao z và ở mặt đất. Vậy áp suất giảm theo chiều cao.

### Định luật phân bố Bôzman

Vì áp suất tỉ lệ với mật độ phân tử khí nên nếu gọi n0(z) và n0 (0) là mật độ phân tử khí ở độ cao z và ở mặt đất ta có

*p*(*z*) 

*p*(0)

*n*(*z*)

*n*(0)

* *gz*

 *e RT* → n0 (z)= n0 (0) *e*

* *gz RT*

(2.16)

Thay µ=mN (với m là khối lượng của phân tử khí )và R=kN vào (3.16) được

* + *mgz*

n0 (z)= n0 (0) *e kT* (2.17)

Vì mgz =Wt là thế năng của phân tử khí trong trọng trường trái đất ở độ cao z và gọi: n0(z)= n0 (wt) là mật độ phân tử ở vị trí có thế năng wt

n0(0)= n0 (wt=0) là mật độ phân tử ở vị trí có thế năng wt=0 Ta có thể viết lại phương trình (1.17) được định luật Bôzman :

* *wt*

n0(wt)= n0 *e kT* (2.18)

Định luật Bônzman được thiết lập cho chất khí trong trọng trường trái đất song nó vẫn đúng khi chất khí nằm trong một trường lực thế bất kỳ.

Nếu gọi n01,n02 là mật độ phân tử khí ở vị trí thế năng tương ứng wt1 và wt2 từ (3.18) ta có thể viết:

*n*01

*n*02

*wt* 2 *wt*1

 *e kT*

*w*

 *e kT*

(2.19)

Vậy khi chất khí đặt trong một trường lực thế chỗ nào thế năng càng nhỏ thì mật độ phân tử càng lớn và ngược lại.

### Định luật phân bố Măcxoel.

Do chuyển động nhiệt hỗn loạn mà vận tốc các phân tử có giá trị từ 0 đến giá trị bất kỳ, vì vậy không thể xác định được số phân tử mà vận tốc của nó có một giá trị xác định, mà chỉ có thể xác định số phân tử mà vận tốc có giá trị nằm trong khoảng nào đó từ v đến v+dv bằng phép tính xác suất

Gọi dn là số phân tử trong số n phân tử có vận tốc trong khoảng v→v+dv thì số % phân tử có vận tốc trong khoảng v→v+dv được viết là:

*dn*  *F* (*v*)*dv n*

(2.20)

*dn* có thể coi là xác suất để vận tốc của một phân tử có giá trị trong khoảng

*n*

v→v+dv.

F(v) là hàm phụ thuộc vào vận tốc và nhiệt độ gọi là hàm phân bố. Hàm này phải thỏa mãn điều kiện chuẩn hóa:



 *F* (*v*)*dv*  1

0

vì từ (3.20) → *dn*  *n*.*F* (*v*)*dv*

v1→v2:

ta suy ra số phân tử có vận tốc trong khoảng

*v*2

n12=  *nF* (*v*)*dv*

*v*1

Nếu lấy tích phân theo v từ 0 đến ∞ thì sẽ được chính tổng số n phân tử vậy:

  

n=  *nF*(*v*)*dv*  *n* *F* (*v*)*dv* →  *F* (*v*)*dv*  1

0 0 0

Mắcxoel tìm ra dạng cụ thể của hàm phân bố như sau :

F(v) = 4** (

*m*

2*kT*

3

) 2 *e*

* *mv*2

2*kT v* 2

(2.21)

Thay vào (3.20) ta được công thức của định luật phân bố Mắcxoel:

*dn*  4** (

*n*

*m*

2*kT*

3

) 2 *e*

 *mv*2

2*kT v* 2 *dv*

(2.22)

Công thức (2.22) cho phép tính được số phân tử dn có vận tốc trong khoảng v→v+dv

Nhận xét :

+) Từ (2.21) ứng với T xác định ta vẽ được đường cong F(v) theo v (hình: 2-4). Từ đồ thị cho ta thấy:

Số % phân tử có vận tốc trong khoảng v→v+dv

F(v)

(theo (2.20)) là diện tích gạch giới hạn bởi đoạn v

hàm F(v) và đoạn trục hoành dv.

Vậy từ đồ thị ta thấy rõ rằng số phân tử có vận tốc nhỏ và có vận tốc lớn là ít, đa số các phân tử

dv vxs dv Hinh:2-4

có vận tốc xấp xỉ bằng vxs (là giá trị vận tốc ứng với cực đại của hàm F(v) được gọi là vận tốc có xác suất lớn nhất).

F(v)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | T1=293K | | |  |  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | T2=773K | | |  |
|  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

1,5.10-2

1.10-2

0,5.10-2

0 500

1000

Hinh:2-5

1500

V(m/s)

Đường cong hàm f(v) ứng với 2 nhiệt độ khác nhau

Ứng với những nhiệt độ khác nhau ta vẽ được những đường cong khác nhau (h.2-5). Từ đồ thị cho ta thấy khi nhiệt độ tăng số phân tử có vận tốc lớn tăng, số phân tử có vận tốc vxs giảm xuống.

+ Từ hàm phân bố Mắcxoel ta có thể tìm được giá trị của một số loại vận tốc của phân tử.

Vận tốc có xác suất lớn nhất: lấy đạo hàm hàm F(v) rồi cho bằng không ta được vận tốc có xác suất lớn nhất

2*kT*

*m*

Vxs=

 *dn*

(2.23)

Vận tốc trung bình theo định nghĩa: *v*   *v*

*n*

0

trong đó dn là số phân tử có vận tốc v. Thay (2.22) vào ta có:



*v*   *F* (*v*)*vdv*

0



=  4** (

0

*m*

2*kT*

3

) 2 *e*

* *mv*2

2*kT v* 2 *vdv*

*v* 

8*kT*

*m*

Trung bình của bình phương vận tốc( tương tự như trên) tacó:

(2.24)

 

*m*  *mv*2

*v* 2   *F* (*v*)*v* 2*dv* =  4** (

3

) 2 *e* 2*kT v* 2 *v* 2 *dv*

0

*v* 2  3*kT*

*m*

0 2*kT*

(2.25)

Từ đây suy ra vận tốc toàn phương trung bình như đã tìm trong hệ quả của thuyết động học phân tử:

*v* 2

3*kT*

*m*

*vtp* 

(2.26)

### Chương 3: NGUYÊN LÝ I NHIỆT ĐỘNG HỌC

**§3.1. Nội năng của hệ, công và nhiệt**

* + 1. **Hệ nhiệt động**

Định nghĩa: Tập hợp các vật được hoàn toàn xác định bởi một số thông số vĩ mô độc lập với nhau gọi là hệ nhiệt động gọi tắt là hệ. Vật ngoài hệ gọi là ngoại vật hay môi trường.

Hệ cô lập: là hệ không tương tác và trao đổi năng lượng với môi trường.

Hệ không cô lập: Là hệ có tương tác và trao đổi năng lượng với môi trường bên ngoài.

Nếu hệ không trao đổi nhiệt với môi trường bên ngoài gọi là hệ cô lập về phương diện nhiệt. Ví dụ như hệ có vỏ cách nhiệt với môi trường ngoài.

Nếu hệ trao đổi nhiệt mà không sinh công gọi là cô lập về phương diện cơ. Ví dụ nung nóng hay làm lạnh khối khí trong một bình có thể tích không đổi.

### Nội năng của hệ nhiệt động

Năng lượng của một hệ là đại lượng đặc trưng cho mức độ vận động của vật chất trong hệ.

Năng lượng là một hàm của trạng thái, ở mỗi trạng thái xác định có năng lượng xác định. Độ biến thiên năng lượng của hệ trong một quá trình nào đó chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và trạng thái cuối

Năng lượng của hệ gồm: động năng ứng với sự chuyển động có hướng của toàn hệ, thế năng tương tác của hệ trong trường lực và phần năng lượng ứng với sự vận động bên trong hệ được gọi là nội năng:

W = wđ + wt + U (3.1)

Trong nhiệt động ta giả thuyết hệ không chuyển động và không nằm trong một trường lực nào, do đó năng lượng hệ bằng nội năng vậy nội năng của hệ cũng là một hàm của trạng thái.

W = U

Trong nhiệt động ta cần quan tâm đến độ biến thiên nội năng ΔU khi biến đổi từ trạng thái này sang trạng thái khác nên việc chọn gốc nội năng là tùy ý, ta chọn nội năng của hệ bằng không ở không độ tuyệt đối.

### Công và nhiệt

Các hệ khác nhau tương tác với nhau thì trao đổi năng lượng cho nhau dưới hai dạng:

***Dạng thứ nhất:*** là truyền năng lượng làm tăng mức độ chuyển động có trật tự của một vật (xảy ra khi có tương tác giữa các vật vĩ mô là có kích thước lớn hơn nhiều kích thước phân tử) dạng này gọi là công.

Vậy công là đại lượng đặc trưng cho mức độ trao đổi năng lượng thông qua chuyển động có hướng của toàn hệ .

Ví dụ: khí dãn nở trong xy lanh làm pitông dịch chuyển, khí đã truyền năng lượng cho pitông dưới dạng công.

***Dạng thứ hai:*** là năng lượng được trao đổi trực tiếp giữa các phân tử chuyển động hỗn loạn của những vật tương tác dẫn đến mức độ chuyển động hỗn loạn của các phân tử của hệ và nội năng hệ tăng lên hoặc giảm đi, dạng này gọi là nhiệt .

Vậy nhiệt là đại lượng đặc trưng cho mức độ trao đổi năng lượng thông qua chuyển động hỗn loạn của các phân tử.

Ví dụ: cho vật lạnh tiếp xúc với vật nóng, năng lượng từ vật nóng truyền sang vật lạnh làm phân tử vật lạnh chuyển động hỗn loạn tăng lên còn vật nóng chuyển động hỗn loạn giảm đi ta nói vật nóng truyền nhiệt cho vật lạnh.

Công và nhiệt đều là đại lượng đặc trưng cho mức độ trao đổi năng lượng nên chúng có mối liên hệ với nhau và chuyển hóa lẫn nhau. Cứ tốn một công bằng 4,18 j sẽ nhận được nhiệt lượng 1cal.

Ví dụ: khi cọ xát hai vật với nhau (tức là tốn một công A) vật sẽ nóng lên (tức là nhận được nhiệt lượng Q). Hoặc đốt nóng vật (là truyền một nhiệt lượng Q), nhiệt độ vật tăng lên, nội năng vật tăng lên và vật dãn nở tức là một phần nhiệt đã sinh công A.

Chú ý công và nhiệt đều là đại lượng đặc trưng cho mức độ trao đổi năng lượng, nó luôn gắn với một quá trình cụ thể. Với quá trình khác nhau thì giá trị công và nhiệt nhận được khác nhau. Vậy công và nhiệt bản thân chúng không phải là năng lượng và chúng là một hàm của quá trình còn năng lượng là một hàm của trạng thái. Ở trạng thái xác định hệ có năng lượng xác định chứ không có công và nhiệt vì vậy không được dùng “lượng công và nhiệt dữ trữ trong vật “

### §3.2. Nguyên lý I nhiệt động học

Nguyên lý I là một trường hợp riêng của định luật bảo toàn và biến đổi năng lượng vận dụng vào các quá trình vĩ mô.

### Nguyên lý I

Trong nhiệt động định luật bảo toàn và biến đổi năng lượng được phát biểu: Độ biến thiên năng lượng toàn phần của hệ trong một quá trình biến đổi vĩ mô có giá trị bằng tổng của công A và nhiệt lượng Q mà hệ nhận được trong quá trình đó

Δw = A+Q (3.2)

Trong nhiệt động ta giả thiết cơ năng của hệ không đổi (wđ + wt = h.số ) do đó từ (2.27) ta có : ΔW = ΔU và (2.27) trở thành

ΔU = A+Q (3.3)

(3.3) là biểu thức của nguyên lý I được phát biểu như sau :

Trong một quá trình biến đổi, độ biến thiên nội năng cuả hệ có giá trị bằng tổng của công và nhiệt mà hệ nhận được trong quá trình đó.

Gọi A,Q là công và nhiệt mà hệ nhận được thì công và nhiệt mà hệ sinh ra là: A’= -A; Q’= -Q .Nguyên lý I được viết lại là:

Q = ΔU+A (3.4)

Nhiệt truyền cho hệ trong một quá trình có giá trị bằng độ biến thiên nội năng của hệ và công do hệ sinh ra trong quá trình đó.

Nhận xét:

Đại lượng A, Q, ΔU có thể dương hay âm.

+ Nếu A>0, Q>0 thì ΔU>0 hệ nhận công và nhiệt thì nội năng hệ tăng.

+ Nếu A<0, Q<0 thì ΔU<0 hệ sinh công và tỏa nhiệt thì nội năng hệ giảm. Với quá trình biến đổi vô cùng nhỏ nguyên lý I được viết dưới dạng:

dU = ∂A + ∂Q (3.5)

### Hệ quả

1. *Với hệ cô lập.*

Hệ không trao đổi công và nhiệt với bên ngoài A=Q=0

→ ΔU = 0 → U = h.số Vậy nội năng của hệ cô lập được bảo toàn

Nếu hệ cô lập chỉ gồm 2 vật trao đổi nhiệt với nhau. Gọi nhiệt lượng chúng nhận được là Q1, Q2 ta có:

Q = Q1 + Q2 = 0 → Q1= - Q2

Vậy trong một hệ cô lập chỉ có hai vật trao đổi nhiệt với nhau thì nhiệt lượng của vật này tỏa ra bằng nhiệt lượng của vật kia thu vào.

1. *Hệ là một máy làm việc tuần hoàn (biến đổi theo chu trình là quá trình kín).*

Sau một chuỗi biến đổi (sau một chu trình) hệ lại trở về trạng thái ban đầu nên:

ΔU = 0 → A = -Q → A=Q’ hay A’=Q

(Biểu thức trên cho thấy A>0 thì Q<0 và ngược lại còn *A*  *Q* )

Vậy trong một chu trình công mà hệ nhận được trị bằng nhiệt mà hệ tỏa ra bên ngoài hay nhiệt mà hệ nhận được bằng công do hệ sinh ra.

### Ý nghĩa của nguyên lý I

Nguyên lý I là định luật bảo toàn và biến đổi vận động, mọi hiện tượng vĩ mô xảy ra đều phải tuân theo nguyên lý I.

Từ hệ quả thứ 2: A = -Q cho thấy không có một máy nào làm việc tuần hoàn sinh công mà không nhận năng lượng từ ngoài loại máy đó gọi là động cơ vĩnh cửu loại I. Vậy nguyên lý I cho thấy: *không thể chế tạo được động cơ vĩnh cửu loại một.*

### §3.3. Dùng nguyên lý I để khảo sát các quá trình cân bằng

* + 1. **Trạng thái cân bằng và quá trình cân bằng**

1. Trạng thái cân bằng.

Trạng thái cân bằng là trạng thái không thay đổi theo thời gian và tính bất biến đó không phụ thuộc các quá trình của ngoại vật.

Trạng thái cân bằng là trạng thái có một số thông số nhiệt động xác định. Hệ là khối khí thì trạng thái cân bằng được xác định bằng 2 trong 3 thông số P,V,T do đó trạng thái cân bằng được biểu diễn bằng một điểm trên giản đồ OPV.

Hệ không tương tác với bên ngoài (là không trao đổi công và nhiệt) bao giờ cũng tự chuyển về trạng thái cân bằng và tồn tại ở đó mãi mãi.

Trạng thái cân bằng của một hệ vĩ mô chỉ thay đổi khi ngoại vật ảnh hưởng lên hệ dưới dạng trao đổi công hoặc nhiệt hay trao đổi cả hai còn những thăng giáng nhỏ không làm thay đổi trạng thái cân bằng thì ta bỏ qua.

1. Quá trình cân bằng.

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

Quá trình cân bằng được biểu diễn bằng một đường cong trên đồ thị.

Quá trình cân bằng là một quá trình lý tưởng không có trong thực tế vì trong quá trình biến đổi,

hệ chuyển từ trạng thái này sang trạng thái cân bằng tiếp theo thì trạng thái cân bằng trước bị phá hủy, nó thay đổi theo thời gian. Song nếu quá trình thực hiện rất chậm để có đủ thời gian để lập lại sự cân bằng mới của hệ thì có thể coi là quá trình cân bằng .Quá trình nén khí rất chậm có thể coi là quá trình cân bằng (khi đó sự chênh lệch về áp suất, nhiệt độ ,mật độ ở những phần khác nhau của khối khí có thể bỏ qua)

### Công của áp lực trong quá trình cân bằng.

Do lực F, khối khí bị nén từ thể tích V1 đến V2, khối khí nhận công A. Xét với sự dịch chuyển nhỏ dl của pitông, công tương ứng là ∂A. Vì khi nén dl <0 mà công ∂A>0 nên ta có :

∂A = -Fdl

Gọi P là áp suất của khối khí, s là tiết diện của pitông, vì quá trình cân bằng nên ngoại lực F có trị bằng lực của khối khí tác dụng lên pitông nên ta có:

P

O



1

2

V

V2 V1

Hình: 3-1

F

dl

dv

Hình: 3-2

*P*  *F*

*s*

→ F = P.S

Công với dịch chuyển nhỏ dl là: ∂A = -P.S.dl = -PdV

Công mà khối khí nhận được trong cả quá trình là:

*v*2

A =   *PdV* (3.5)

*v*1

Trên giản đồ OPV, công khối khí nhận được trong quá trình được biểu diễn bằng diện tích giới hạn bởi đường cong biểu diễn quá trình và trục hoành (hình 3-3a và hình 3-3b):

Khi khối khí diễn biến theo 1 chu trình ( Quá trình khép kín)

+ Quá trình nén khí 1 đến 2 ứng với đường cong 1a2 khối khí nhận công (A>0) độ lớn bằng diện tích hình 1a2v2v1 (S.1a2v2v1)

+ Quá trình dãn khí 2 đến 1 ứng với đường cong 2a1 khối khí sinh công (A<0) độ lớn bằng diện tích hình 2b1v2v1 (S.2b1v2v1).

Kết thúc chu trình, công mà khối khí sinh ra lớn hơn công mà nó nhận được, do đó khối khí sinh công, công mà khối khí sinh ra đúng bằng khần diện tích giới hạn bởi đường cong 1a2b.

P

P 2 P 2 b



2

1

V



P

2

p 1 a 1

V

O

dv

Hình: 3-3a

O

Hình: 3-3b

O v2 v1 V Hình: 3-4

Quá trình nén khí theo những đường khác nhau thì công khác nhau, quá trình 1a2 thì công bằng S.1a2v2v1, quá trình 1b2 thì công bằng S.1b2v2v1, thể hiện rõ công là một hàm của quá trình.

Nếu là một quá trình kín (chu trình ) thì công bằng diện tích giới hạn bởi đường cong kín đó (h.3-4), nếu chu trình theo chiều kim đồng hồ thì công âm (khối khí sinh công ) nếu ngược chiều kim đồng hồ thì công dương (khối khí nhận công).

### Nhiệt trong quá trình cân bằng

Nhiệt dung riêng của một chất là đại lượng vật lý về trị số bằng lượng nhiệt cần thiết truyền cho một đơn vị khối lượng chất tăng lên một độ

Gọi khối lượng vật là m, nhiệt lượng truyền trong quá trình cân bằng là ** Q và độ biến thiên nhiệt độ là dT ta có nhiệt dung riêng của vật là:

c= *Q*

*mdT*

Đơn vị của C là j/kg.K

Nhiệt lượng truyền cho vật là:

(3.6)

*Q*  *CmdT* (3.7)

Nhiệt dung mol là đại lượng về trị số bằng nhiệt lượng cần thiết để truyền cho một mol chất tăng lên một độ.

C = µ.c (3.8)

Đơn vị của c là j/mol.K Nhiệt lượng truyền cho vật từ (3.6) là:

*Q*  *m cdT*

**

### Quá trình đẳng tích

1. *Định nghĩa, phương trình và đồ thị.*

Quá trình có V=h/số thỏa mãn phương trình

*P*  *const*

hay

*P*1  *P*2

(3.9)

*T*

Đồ thị là đoạn thẳng // trục P. Ta có thể diễn biến quá trình đẳng tích theo 2 chiều:

+ Quá trình 1-2 là quá trình hơ nóng đẳng tích,

+ Quá trình1-2’ là quá trình làm lạnh đẳng tích

Ví dụ đốt nóng hoặc làm lạnh khối khí trong bình kín coi không dãn nở.

1. *Tính công nhiệt và độ biến thiên nội năng:*

*V*2

*T*1 *T*2

P



P2 2

P1 1

P’2 2’

O v V

Hình: 3-5

A=   *pdV* =0 (vì dv=0) (3.10)

*V*1

*T*2 *m m*

Q = ∫∂Q =

 * cv dT*  * cv* (*T*2  *T*1 )

1

*T*

→ Q =

*m c* *T*

(3-35)

* v*

ΔU = A+Q =

*m c* *T*

(3.11)

* v*

Theo thuyết động học phân tử ta có:

ΔU =

*m i R**T*

** 2

So sánh với (3-11) ta được nhiệt dung phân tử đẳng tích :

Cv= *i R*

2

(3.12)

*i*  3 *cv* 

Nhận thấy Cv chỉ phụ thuộc vào i *i*  5 *c* 



*v*

*i*  6 *c* 



*v*



3*kcal* / *kmolđo*



5*kcal* / *kmolđo*



6*kcal* / *kmolđo*

### Quá trình đẳng áp.



P

p

2’

1

2

O

v’2

v1 v2 V

1. *Định nghĩa, phương trình và đồ thị.*

Quá trình có p=h/số thỏa mãn phương trình:

*V*  *h*.*sô* hay *V*1  *V*2

*T T*1 *T*2

Đồ thị là đoạn thẳng // trục V. Quá trình đẳng áp có thể diễn biến theo 2 chiều:

+ Quá trình 1-2 là quá trình hơ nóng đẳng áp.

+ Quá trình 1-2’ là quá trình làm lạnh đẳng áp.

Hình: 3-6

Ví dụ đốt nóng hoặc làm lạnh khối khí trong xy lanh dịch chuyển tự do để áp suất khí bằng áp suất bên ngoài.

1. *Tính công nhiệt và độ biến thiên nội năng.*

*V*2

A=   *pdV* = -P(V2-v1) = P(V1-V2) (3.13)

*V*1

*T*2 *m*

*m* *T*

Q = ∫∂Q =

 * Cp dT*  * Cp* (*T*2  *T*1 )

1

*T*

(3.14)

ΔU=A+Q= p(V1-V2) + *m C*

**

*p* *T*

 *PV*  *m RT* 

 1 **

Vì  *m*

1 

 nên suy ra



*P*(*V*  *V* )   *m R**T*

2 1 **

thay vào ΔU ta được:

*PV*2 



* RT*2 

ΔU = *m* *T* (*C*

** *p*

* *R*)

(3.15)

Theo thuyết động học phân tử ta có:

ΔU =

*m i R**T*

** 2

So sánh với (3.15) ta được hệ thức Maye: Cp-R=Cv

Cp =R + *i R*

2

= *i*  2 *R*

2

(3.16)

*C*

Lập tỉ số: *p*

*Cv*

 **  *i*  2

*i*

(3.17)

γ gọi là hệ số Poátxông hay chỉ số đoạn nhiệt

### Quá trình đẳng nhiệt.

1. *Định nghĩa, phương trình và đồ thị*. P



Quá trình có T=h,số thỏa mãn phương trình 2

P

2

PV = h.số hay P V =P V 1

1 1 2 2

2’

p1

Đồ thị là đường hypecbol vuông góc, diễn biến theo 2 chiều:

+ Quá trình 1-2 là nén đẳng nhiệt. O

+ Quá trình 1-2’ là dãn đẳng nhiệt.

v2 v1 v’2 V Hình: 3-7

Ví dụ nén hoặc dãn khối khí trong bình điều nhiệt hay tiếp xúc với môi trường lớn có nhiệt độ không đổi.

1. *Tính công, nhiệt và độ biến thiên nội năng.*

*V*2

A =   *PdV*

*V*1

Từ phương trình trạng thái :

*PV*  *m RT*  *P*  *m RT*

** * V*

Thay vào công A ta được:

*V*2 *mRT mRT V*2 *dv mRT v*

*mRT p*

A=  

*V*

*v dv*   **  

ln 1 

** *v*2

ln 2

** *p*1

(3.18)

1 1

*v*

*V*

ΔU= *m i R**T* =0 (3.19)

** 2

ΔU=A+Q=0→ Q = -A = *mRT* ln *V*2

 *mRT* ln *P*1

(3.20)

** *V*1 ** *P*2

Từ A=-Q suy ra trong quá trình đẳng nhiệt nội năng không đổi do đó khi nén khối khí, nó nhận công và tỏa nhiệt (A>0,Q<0), và khi dãn khối khí, nó sinh công và nhận nhiệt (A<0,Q>0).

### Quá trình đoạn nhiệt.

1. *Định nghĩa, phương trình và đồ thị.*

Quá trình hệ không trao đổi nhiệt với bên ngoài (nén dãn khí trong bình cách nhiệt)

Q = 0 (hay*Q*  0 ) (3.21)

Để tìm phương trình của quá trình đẳng nhiệt, ta vận dụng nguyên lý I, với quá trình biến đổi nhỏ ta có:

dU=∂A+∂Q→ dU = ∂A

Ta có:

*dU*  *m i RdT*  *m C dT*

** 2 ** *v*

∂A = -PdV = - *m RT* dV

* V*

vậy:

*m C dT* = - *m RT* dV

** *v  V*

*CvdT*

= - *RT* dV

*v*

*dT*  *R dV*  0

*T Cv V*

(3.22)

Mà được:

*R*  *Cp*  *Cv Cv Cv*

 *Cp*  1  **  1

*Cv*

thay vào (3.22) và lấy tích phân 2 vế

 *dT*  (**  1) *dv*   0

*T v*

ln *T*  (**  1) ln*V*  *h*.*sô*

ln *T* .*V* (** 1)  *h*.*sô*

*T* .*V* (** 1)  *h*.*sô*

Thay *T*  *PV* vào (3.23) và chú ý **

 *h*.*sô* ta được:

(3.23)

*mR mR*

*PV *  *h*.*sô*

(3.24)

Tương tự thay

*v* 1 

( *mRT* )

**. *p*

** 1 

( *mR* )

**.

** 1 *T * 1 vào (3.23), chú ý

*p* 1

( *mR* )

**.

** 1 =h.số rồi biến đổi và

lấy căn bậc ** hai vế ta được:

1**

*Tp *

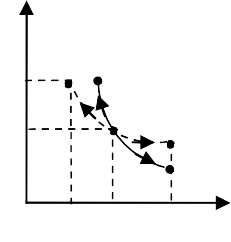
 *h*.*sô*

(3.25)

Các phương trình (3.23), (3.24), (3.25) là phương trình của quá trình đoạn nhiệt.

Trên giản đồ (OPV), đồ thị của quá trình đoạn nhiệt ( *PV * liền nét (2-2’). Đoạn 1-2 ứng quá trình nén đoạn nhiệt, đoạn 1-2’ ứng quá trình dãn đoạn nhiệt.

 *h*.*sô* ) là đường

P

Đường chấm chấm là đồ thị của quá trình nén (dãn) đẳng P2 2

nhiệt ( *PV*  *h*.*sô* ) tương ứng với cùng nhiệt độ ban đầu.

So sánh 2 đường ta thấy đường đoạn nhiệt dốc hơn đường đẳng nhiệt vì:

Quá trình đoạn nhiệt dU= *A* do đó:

p1 1

2’

O v2 v1 v’2 V

Hình: 3-8

+ Khi nén dA>0 → du>0 → dT>0 là nhiệt độ khối khí tăng lên do đó đường đoạn nhiệt đi lên.

+ Khi dãn dA<0 → du<0 → dT<0 là nhiệt độ khối khí giảm do đó đường đẳng nhiệt đi xuống.

1. *Tính công, nhiệt và độ biến thiên nội năng.*

Như trên ta có: Q=0

*A*  *dU*  *m i RdT*

** 2

hay A = ΔU =

*m i R**t*

** 2

(3.26)

Hoặc có thể tính công bằng cách dựa vào phương trình của quá trình

*v*2

đoạn nhiệt (3.23, 3.24, 3.25) : A=   *PdV*

*v*1

Vì *PV *

 *PV *

*PV *

 *P*  1 1 thay vào tích phân trên ta được :

1 1

* v*2 *dV*

A= - *PV*

*V *

*PV *

 

1

1

*PV*  *V* 

1

1

1 1  *V *

1  ** 2 1 ** 1  *V* 

Thay

*v*1

*PV*  *m RT* vào (3.27) ta được:

(*V* 1**  *V* 1** ) =

(

2 )1** 1

(3.27)

 1 

1 1 ** 1

*mRT*1  *V*2

1** 

A= **(** 1) (*V* )

 1

1



(3.28)

*mRT*

 *P * 1 

A= 1 ( 2 ) **

 1

(3.29)

**(**  1)  *P*1 

Hoặc thay

*PV *  *PV *

vào (3.27) ta được:

1 1 2 2

A= *P*2*V*2  *P*1*V*1

**  1

(3.30)

Nhận xét: Tất cả các quá trình trên đều là trường hợp riêng của quá trình đa biến là quá trình mà áp suất và thể tích liên hệ với nhau bằng hệ thức.

lấy →

*n*

*pvn*  *h*.*sô*

*vp n*  *h*.*sô*

1

(3.31)

(3.32)

n=0 thì biêu thức (3.31) trở thành *pv*0  *h*.*sô*  *p*  *h*.*sô* : quá trình đẳng áp.

n=1 thì biêu thức (3.31) trở thành *pv*  *h*.*sô* : quá trình đẳng nhiệt.

n= ** thì biêu thức (3.31) trở thành

*pv*

 *h*.*sô* : quá trình đoạn nhiệt.

n=±∞ thì biêu thức (3.31) trở thành *vp*0  *h*.*sô*  *v*  *h*.*sô* : quá trình đẳng tích.

### Chương 4: NGUYÊN LÝ II NHIỆT ĐỘNG HỌC

**§4.1. Hạn chế của nguyên lý I**

Nguyên lý I là định luật bảo toàn và biến đổi năng lượng do đó mọi quá trình xảy ra trong tự nhiên đều phải tuân theo nguyên lý I, song cũng có những quá trình phù hợp với nguyên lý I vẫn không xảy ra trong thực tế

Nguyên lý I không cho ta biết chiều diễn biến của một quá trình xảy ra trong thực tế vì: theo hệ quả thứ nhất của nguyên lý I ,với hệ cô lập chỉ có hai vật trao đổi nhiệt cho nhau thì nhiệt lượng của vật này tỏa ra bằng nhiệt lượng của vật kia thu vào, như vậy vật nào tỏa nhiệt ra đều được nhưng trong thực tế chỉ xảy ra trường hợp vật nóng tỏa ra mà không xảy ra ngược lại.

Nguyên lý I không nêu lên sự khác nhau trong quá trình chuyển hóa giữa công và nhiệt. Theo hệ quả thứ hai của nguyên lý I, sau một chu trình ta có A

= -Q là công mà khối khí nhận được bằng nhiệt mà nó tỏa ra và ngược lại nhiệt nhận được bằng công sinh ra. Nghĩa là, công và nhiệt cso thể chuyển hóa sang nhau một cách bình đẳng. Tuy nhiên, trong thực tế công có thể chuyển hóa hoàn toàn thành nhiệt nhưng nhiệt không thể chuyển hóa hoàn toàn thành công.

Nguyên lý I không đề cập tới chất lượng nhiệt , thực tế nhiệt lượng lấy ở môi trường có nhiệt độ cao chất lượng hơn nhiệt lượng lấy từ môi trường có nhiệt độ thấp.

Nguyên lý thứ II sẽ khắc phục những hạn chế của nguyênlý I và nó đóng vai trò quan trọng trong việc chế tạo động cơ nhiệt.

Để hiểu được nguyên lý II ta xét các quá trình thuận nghịch và không thuận nghịch.

### §4.2. Quá trình thuận nghịch và không thuận nghịch

* + 1. **Qúa trình thuận nghịch.**

1. *Định nghĩa*

Một quá trình biến đổi của hệ từ trạng thái 1 sang P 2



trạng thái 2 được gọi là thuận nghịch khi nó có thể

tiến hành theo chiều ngược lại và trong quá trình 1

ngược đó, hệ đi qua đầy đủ các trạng thái trung gian V

như trong quá trình thuận. O

Từ định nghĩa trên ta thấy:

## Hình: 4-1

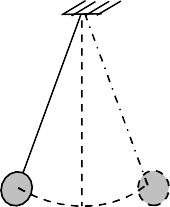
Quá trình thuận nghịch là một quá trình cân bằng vì đó là một chuỗi các trạng thái cân bằng có như vậy thì khi tiến hành theo chiều ngược mới có thể lập lại được những trạng thái cân bằng đã qua. Quá trình thuận nghịch được biểu diễn bằng đường cong trên đồ thị.

Với quá trình thuận nghịch, khi tiến hành theo chiều ngược lại hệ đi qua tất cả các trạng thái như quá trình thuận do đó đồ thị của quá trình thuận và quá trình ngược trùng nhau. Vậy sau khi thực hiện quá trình thuận và quá trình nghịch đưa hệ trở về trạng thái đầu, công hệ nhận trong quá trình nghịch bằng công hệ sinh ra trong quá trình thuận, đồng thời ΔU=0, nên nhiệt hệ nhận trong quá trình nghịch bằng nhiệt hệ sinh trong quá trình thuận và môi trường không có biến đổi gì.

Vậy: với quá trình thuận nghịch, sau khi tiến hành quá trình thuận và quá trình nghịch để đưa hệ trở về trạng thái ban đầu thì môi trường không xảy ra sự biến đổi nào.

1. *Ví dụ về quá trình thuận nghịch.*

O

Vỏ cách nhiệt



1 2

Hình: 4-2

V2 V1

Hình4-3

Quá trình dao động con lắc không ma sát và nhiệt độ của nó bằng nhiệt độ môi trường là quá trình thuận nghịch. Sau một chu kỳ con lắc đi từ vị trí 1 đến 2 rồi lại trở về 1 công của trọng lượng bằng không và không trao đổi nhiệt với bên ngoài nên môi trường xung quanh không biến đổi gì. Mọi quá trình cơ học không có ma sát đều có thể coi là quá trình thuận nghịch.

Quá trình nén dãn khí đoạn nhiệt trong chân không vô cùng chậm cũng coi là quá trình thuận nghịch. Khi nén khí từ V1 đến V2 khối khí nhận công sau đó khối khí dãn từ V2 đến V1 khối khí lại đi qua các trạng thái trung gian và sinh công bằng công nó nhận được. Kết quả, sau khi kết thúc một chu trình, hệ không sinh hay nhận công và cũng không trao đổi nhiệt với bên ngoài vì có vỏ cách nhiệt, môi trường xung quanh không biến đổi gì.

### Quá trình không thuận nghịch

1. *Định nghĩa*

Quá trình không thuận nghịch là quá trình mà khi tiến hành theo chiều ngược, hệ không tham gia đầy đủ các trạng thái trung gian như trong quá trinh thuận.

Từ định nghĩa trên ta thấy:

Quá trình không thuận nghịch là quá trình không cân bằng nên không được biểu diễn bằng đường cong trên đồ thị.

Với quá trình không thuận nghịch, nếu tiến hành theo chiều nghịch hệ không qua đầy đủ các trạng thái trung gian như quá trình thuận vậy công và nhiệt mà hệ nhận trong quá trình nghịch khác với công và nhiệt mà hệ sinh ra trong quá trình thuận.

Vậy: với quá trình không thuận nghịch sau khi tiến hành theo chiều nghịch để đưa hệ trở về trạng thái ban đầu thì môi trường xung quanh đã bị biến đổi.

1. *Thí dụ về quá trình không thuận nghịch*.

Mọi quá trình vi mô xảy ra trong thực tế đều là quá trình không thuận nghịch Các quá trình xảy ra có ma sát đều là quá trình không thuận nghịch

Quá trình truyền nhiệt từ vật nóng sang vật lạnh đều là quá trình không thuận nghịch, nó xảy ra tự phát và sẽ chấm dứt khi nhiệt độ hai vật bằng nhau. Muốn có quá trình ngược lại phải có tác động từ bên ngoài, khi đó môi trường đã bị biến đổi.

### Ý nghĩa của việc nghiên cứu quá trình thuận nghịch và không thuận nghịch.

Quá trình thuận nghịch là quá trình lý tưởng, trong thực tế chỉ xảy ra quá trình không thuận nghịch.

Trong hai chiều diễn biến của một quá trình vi mô chỉ có một chiều xảy ra tự phát đưa hệ tới trạng thái cân bằng, hệ không tự phát trở về trạng thái không cân bằng, muốn xảy ra theo chiều này cần có tác động từ bên ngoài lên hệ.

So với quá trình không thuận nghịch thì quá trình thuận nghịch có lợi nhất về phương diện công và nhiệt (vì công sinh ra không bị mất do ma sát và nhiệt nhận được cũng không bị hao hụt do truyền nhiệt). Muốn có quá trình thuân nghịch ta phải loại trừ ma sát và ngăn nhiệt truyền từ vật nóng sang lạnh điều này được ứng dụng trong việc chế tạo động cơ nhiệt.

### §4.3. Nguyên lý II nhiệt động học

* + 1. **Máy nhiệt.**

1. *Định nghĩa.*

Máy nhiệt là hệ hoạt động tuần hoàn biến đổi liên tục công thành nhiệt hoặc nhiệt thành công.

Trong máy nhiệt các chất vận chuyển làm nhiệm vụ biến công thành nhiệt hoặc ngược lại gọi là tác nhân.

Máy nhiệt hoạt động tuần hoàn do đó tác nhân biến đổi theo chu trình và trao đổi nhiệt với hai nguồn nhiệt, nguồn có nhiệt độ cao gọi là nguồn nóng, nguồn có nhiệt độ thấp gọi là nguồn lạnh.

1. *Động cơ nhiệt.*



1

Q

4

Q1

T1

2

T2

Q

3

2

v

p

Là máy nhiệt biến nhiệt thành công. Tác nhân

biến đổi theo chu trình thuận (chu trình có chiều kim đồng hồ).

Ví dụ máy hơi nước thì tác nhân là hơi nước, nguồn nóng là nồi súpde, nguồn lạnh là bình

O

Hình4-4

Chu trình của máy hơi nước 68

ngưng. Chu trình của máy hơi nước như hình 4-4

Hiệu suất của động cơ nhiệt: Giả sử trong một chu trình, tác nhân nhận của nguồn nóng (có nhiệt độ T1) nhiệt lượng Q1, nhả cho nguồn lạnh một nhiệt lượng Q2’ và sinh công A’. Người ta định nghĩa hiệu suất ** của động cơ nhiệt là tỉ số giữa công mà tác nhân sinh ra và nhiệt mà nó nhận vào.

**  *A* '

*Q*1

Theo nguyên lý I: A’= Q1-Q2’ vậy

(4.1)

*Q*  *Q*' *Q*'

1 2  1 2

(4.2)

*Q*1 *Q*1

1. *Máy lạnh.*

Là máy nhiệt tiêu thụ công để vận chuyển nhiệt từ nguồn lạnh sang nguồn nóng.

Trong máy lạnh tác nhân biến đổi theo chu trình ngược (chu trình có chiều ngược chiều kim đồng hồ )

Hệ số làm lạnh: Trong một chu trình, tác nhân tiêu thụ công A và lấy nhiệt lượng Q2 từ nguồn lạnh thì hệ số làm lạnh là

**  *Q*2

*A*

### Nguyên lý II nhiệt động học

(4-3)

Nguyên lý II được rút ra từ thực nghiệm và được phát biểu theo hai cách sau:

Phát biểu của Claodiut: Nhiệt không thể từ động truyền từ vật lạnh hơn sang vật nóng hơn hay không thể thực hiện được một quá trình mà kết quả duy nhất là truyền năng lượng dưới dạng nhiệt từ vật lạnh hơn sang vật nóng hơn

Phát biểu của Tômxơn: không thể chế tao được một máy hoạt động tuần hoàn biến đổi liên tục nhiệt thành công nhờ làm lạnh một vật mà xung quạnh không chịu một sự thay đổi đồng thời nào. Máy này gọi là động cơ vĩnh cửu loại hai vậy có thể phát biểu gọn như sau: không thể chế tạo được động cơ vĩnh cửu loại hai.

Hai cách phát biểu trên là hoàn toàn tương đương, ta thấy rõ điều này bằng cách lập luận sau: Giả sử có vật B lấy nhiệt lượng Q2 từ nguồn lạnh T2 và sinh công A’(điều này vi phạm cách phát biểu của Tômxơn). Đem công A’cung cấp cho vật có nhiệt độ T1(>T2) bằng quá trình ma sát (điều này hoàn toàn được). Nếu bước một là được (không vi phạm Tômxơn) thì cả quá trình dẫn đến truyền năng lượng dưới dạng nhiệt từ vật lạnh sang vật nóng ,điều này lại vi phạm cách phát biểu của Claodiut.

### §4.4. Chu trình Các nô và định lý - Biểu thức định lượng của nguyên lý II

Các máy nhiệt đều hoạt động theo những chu trình và chu trình có lợi nhất là chu trình Cácnô.

### Chu trình Cácnô thuận nghịch

*a. Định nghĩa.*

Chu trình Cácnô thuận nghịch là chu trinh gồm hai quá trình đẳng nhiệt thuân nghịch và hai quá trình đoạn nhiệt thuận nghịch (hình 4-5).

Chu trình Cácnô theo chiều thuận (cùng chiều kim đồng hồ) có trong động cơ nhiệt và theo chiều ngược (ngược chiều kim đồng hồ) có trong máy làm lạnh.

Ta hình dung bốn bước thực hiện chu trình Cácnô thuận nghịch theo chiều thuận với tác nhân là chất khí.

Dãn đẳng nhiệt ở nhiệt độ T1 (quá trình 1-2) tác

nhân nhận Q1 từ nguồn nóng T1.

Dãn đoạn nhiệt (quá trình 2-3),nhiệt độ giảm từ T1 xuống T2 tác nhân không trao đổi nhiệt lượng với môi trường.

Nén đẳng nhiệt ở nhiệt độ T2 (quá trình 3-4), tác nhân nhả Q’2 cho nguồn lạnh T2.

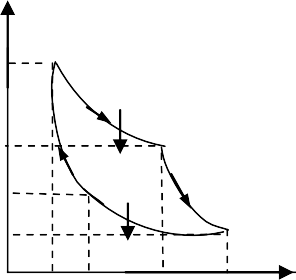
Nén đoạn nhiệt (quá trình 4-1), nhiệt độ tăng từ T2 lên T1 tác nhân không trao đổi nhiệt lượng với môi trường.

1. *Hiệu suất của động cơ nhiệt chạy theo chu trình Cácnô thuận nghịch*

Ta xét tác nhân là khí lý tưởng:

P

p1



1

T1Q1

2

4

3

T2Q2

P2

P4

P3 O

v1 v4 v2 v3 V

Hình: 4-5

Chu trình Cácnô thuận

*Q*  *Q*' *Q*'

Theo định nghĩa : **   1 2  1 2

*Q*1 *Q*1

Ta tính Q1 và Q2’ từ hai quá trình đẳng nhiệt 1-2 và 3-4 : Quá trình đẳng nhiệt 1-2 :

*Q*  *m RT* ln *v*2

1 ** 1 *v*

1

Quá trình đẳng nhiệt 3-4:

*Q*'  *Q*  *m RT* ln *v*3

2

2 2 *v*

4

Thay vào biểu thức hiệu suất ta được

'

*Q*

**  1 2

*T*2

= 1

ln *v*3

*v*4

*v*

(4.4)

*Q*1 *T* ln 2

1

*v*1

Ở hai quá trình đoạn nhiệt 2-3 và 4-1 ta có :

Quá trình 2-3: *T v* 1  *T v* 1

1 2 2 3

Quá trình 4-1: *T v* 1  *T v* 1

1 1 2 4

 *v* ** 1

 *v* ** 1

 *v*   *v* 

Từ hai biểu thức trên ta được :  2 

  3 

→ 2    3 

Thay vào (4.4) ta được**:**

**  1 *T*2

*T*1

 *v*1   *v*4 

 *v*1   *v*4 

(4.5)

Vậy hiệu suất chu trình Cacnô thuận nghich với khí lí tưởng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của nguồn nóng và nguồn lạnh.

1. *Hệ số làm lạnh của máy lạnh chạy theo chu trình Cácnô thuận nghịch.*

Tương tự như trên ta có thể tính hệ số làm lạnh của máy lạnh chạy theo chu trình cácnô nghịch.

Trong chu trình ngược, quá trình 4-3 tác nhân nhận nhiệt lượng Q2 từ nguồn lạnh T2, quá trình 2-1 nhận công A và nhả cho nguồn nóng nhiệt lượng Q’1.

Theo định nghĩa :

**  *Q*2

*A*

Theo nguyên lý I trong một chu trình công nhận được bằng nhiệt tỏa ra.

A = Q1’-Q2

**  *Q*2 =

*A*

*Q*2 *Q*'  *Q*

Tính Q2 và Q1’ từ hai quá trình 4-3 và 2-1 được :

1 2

Quá trình 4-3: *Q*  *Q*'  *m RT* ln *v*4

2

2 2 *v*

3

Quá trình 2-1: *Q*'  *Q*  *m RT* ln *v*1

1

1 1 *v*

2

Như trên trong hai quá trình đoạn nhiệt 1-4 và 3-2 ta có

 *v*2    *v*3 

 *v*   *v* 

 1   4 

Thay vào biểu thức của hệ số làm lạnh ta được :

**  *T*2 *T*1  *T*2

(4.6)

Vậy hệ số làm lạnh cũng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của nguồn nóng và lạnh

### Định lý Cácnô.

Định lý: Hiệu suất của tất cả các động cơ thuận nghịch chạy theo chu trình Cácnô với cùng nguồn nóng và nguồn lạnh đều bằng nhau và không phụ

thuộc vào tác nhân cũng như cách chế tạo máy, hiệu suất của động cơ không thuận nghịch thì nhỏ hơn hiệu suất của động cơ thuận nghịch.

**  1 *T*2

*T*1

(4.7)

Dấu < ứng với chu trình không thuận nghịch, dấu = ứng chu trình thuận nghịch.

Ta có thể chứng minh định lý như sau:

Giả thuyết có 2 động cơ thuận nghịch chạy theo chu trình Cácnô với cùng nguồn nóng và lạnh (T1,T2).Hai động cơ đều lấy nhiệt lượng Q1 từ nguồn T1 và giả sử rằng:

Động cơ I nhả lQ’2 cho nguồn T2, hiệu suất là :

'

*Q*

*I*  1 *I* 2

*Q*1

Động cơ II nhả IIQ’2 cho nguồn T2 , hiệu suất là :

'

*Q*

*II*  1 *II* 2

*Q*1

Nếu IQ’2 ≠ IIQ’2 thì ηI ≠ ηII , ta sẽ chứng minh điều này không xảy ra:

Nếu IQ’2 < IIQ’2 thì ηI < ηII . Ta thực hiện động cơ ghép (vì hai động cơ đều là thuận nghịch ) động cơ I chạy theo chiều thuận, động cơ II chạy theo chiều ngược.

Trong chu trình:

Động cơ I lấy Q1 (từ nguồn nóng T1) và nhả IQ’2 (cho nguồn lạnh T2) sinh công A1(trị) =Q1- IQ’2

Động cơ II nhả Q1 (cho nguồn nóng T1) và lấy IIQ’2 (từ nguồn lạnh T2) sinh công A2(trị) = IIQ’2 -Q1

Kết quả sau một chu trình, động cơ ghép nhận nhiệt lượng IIQ’2 - IQ’2 > 0 (từ nguồn lạnh T2 mà không trao đổi nhiệt với nguồn lạnh T1) và sinh công tổng cộng A1+A2 = IIQ’2 - IQ’2 > 0

Vậy động cơ ghép không vi phạm nguyên lý I (sau chu trình toàn bộ nhiệt chuyển thành công) nhưng nó chỉ trao đổi nhiệt với nguồn lạnh T2 và sinh công hoàn toàn do đó đã vi phạm nguyênlý II (sinh công nhờ làm lạnh một vật mà không gây ra biến đổi đồng thời nào). Không thể có động cơ này, nghĩa là không thể xảy ra ηI < ηII.



T1

Q1

Q1

I

II

IQ’2

IIQ’2

T2

IIQ’2 - IQ’2

Chứng minh tương tự nếu ηI > ηII cũng không thể xảy ra.

Vậy ηI = ηII

Trong quá trình chứng minh trên không hề đề

Hình4-6

cập đến tác nhân và cách chế tạo máy vậy ηI = ηII không hề phụ thuộc vào tác nhân và cách chế tạo máy

Trong chu trình không thuận nghịch, tác nhân ngoài việc nhả cho nguồn lạnh một nhiệt lượng Q2’ còn phải truyền nhiệt cho những vật khác và chống lại ma sát do đó công có ích A’ sẽ nhỏ hơn chu trình thuận nghịch nên ηktn < ηtn

Nhận xét từ định lý Cácnô :

Nhiệt không thể chuyển hóa hoàn toàn thành công ngay cả chạy theo chu trình

Cácnô thuận nghịch vì :

**  *A* '  1  *T*2 .

*Q*1 *T*1

Trong đó T1 không thể bằng ∞,T2 không thể bằng 0 → η<1 → A’<Q1

Hai động cơ thuận nghịch chạy theo chu trình Cácnô với cùng nguồn lạnh T2, nếu T1 của động cơ nào lớn hơn thì hiệu suất η lớn hơn nghĩa là nhiệt lấy được từ nguồn T1 của động cơ đó có khả năng sinh công có ích lớn hơn vậy nhiệt lượng lấy từ nguồn có nhiệt độ cao chất lượng hơn nhiệt lượng lấy từ nguồn có nhiệt độ thấp.

Muốn tăng hiệu suất của động cơ nhiệt, ngoài cách tăng nhiệt độ của nguồn nóng còn phải chế tạo động cơ càng gần động cơ thuận nghịch, muốn vậy ta phải tránh mất nhiệt từ nguồn nóng và giảm ma sát.

### Biểu thức định lượng của nguyên lý II

Từ định nghĩa hiệu suất của chu trình ta có

**  1 *Q* '2

*Q*1

, nếu chạy theo chu trình

Cácnô thuận nghịch ta có **  1 *T*2 .Từ hai biểu thức trên ta suy ra biểu thức định

*T*1

lượng của nguyên lý II

1 *Q* '2

*Q*1

≤ 1 *T*2

*T*1

(4.8)

Vì Q2’ =-Q2 thay vào (4.8) ta có thể viết (4.8) dưới dạng khác như sau

*Q*1  *Q*2  0

(4-9)

*T*1 *T*2

Hệ thức trên lập với hệ biến đổi theo hai chu trình gồm hai quá trình đẳng nhiệt và hai quá trình đoạn nhiệt.Trong trường hợp tổng quát hệ biến đổi theo một chu trình gồm vô số các quá trình đẳng nhiệt và đoạn nhiệt kế tiếp nhau: các quá trình đẳng nhiệt lần lượt tương ứng với các nguồn có nhiệt độ T1,T2..Ti.. và nhiệt lượng nhận được tương ứng là ,Q1,Q2,..Qi….Khi đó biểu thức (4-9) được suy rộng ra là

 *Qi*  0

(4.10)

*i Ti*

Nếu trong chu trình nhiệt độ của hệ biến đổi liên tục, có thể coi hệ tiếp xúc với vô số các nguồn nhiệt có nhiệt độ T vô cùng gần nhau và biến thiên liên tục, mỗi quá trình tiếp xúc với nguồn nhiệt là một quá trình vi phân hệ nhận nhiệt là

∂Q,lúc đó phép cộng trong (4-10) thành phép tích phân ta được biểu thức định lượng của nguyên lý II dạng tổng quát sau :

 * Q*  0

*T*

(4-11)

Dấu = ứng chu trình thuận nghịch, dấu < ứng chu trình không thuận nghịch