

质点运动学和牛顿运动定律复习指导

位移与路程

位移 $\Delta \vec{r}$ 是由 A 点指向 B 点的矢量，路程 Δs 是实际经过的弧线。

平均速度，

$$\bar{\vec{v}} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

平均速率，

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

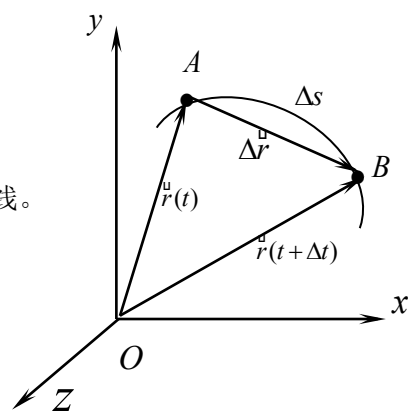


图 1-2 位移与路程

例：质点沿半径为 r 圆轨道运动一周，位移为 0，平均速度的大小为 0，路程为 $2\pi r$ 。

质点作**直线运动**，我们只需用位矢、速度、加速度在 x 轴方向的分量 x 、 v_x 、 a_x 来描写，并略去下标 x 。即用 x 、 v 、 a 描写其运动。这里 x 、 v 、 a 都是代数量，且

$$v = \frac{dx}{dt}, a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}。$$

切向加速度与法向加速度

质点在半径为 R 的圆周上作匀速圆周运动的法向加速度

$$a = \frac{v^2}{R}$$

如果质点作一般圆周运动，**切向加速度**，其大小为

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}$$

法向加速度，其大小为

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

加速度的大小可表示为

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

圆周运动中的角量和线量

设质点作圆周运动，其半径为 R ，以 θ 表示质点位矢与 Ox 的夹角， θ 称为**角位置**， θ 角对应的弧长

$$s = \theta R$$

质点的速率(称为线速度)为

$$v = \frac{ds}{dt} = R \frac{d\theta}{dt}$$

角速度

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

这样，质点的线速度 v 与角速度 ω 的关系是

$$v = R\omega$$

质点角速度对时间的变化率称**角加速度**，用 α 表示，即

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

质点作圆周运动时切向加速度和法向加速度分别为

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(R\omega) = R\alpha$$

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

例：一质点沿半径 $R = 0.5m$ 的圆周运动，若质点角坐标 θ 随时间 t 变化的关系为 $\theta = 15 + 2t^2 (SI)$ ，质点在 $t = 2s$ 时刻的法向加速度 a_n 为 ()

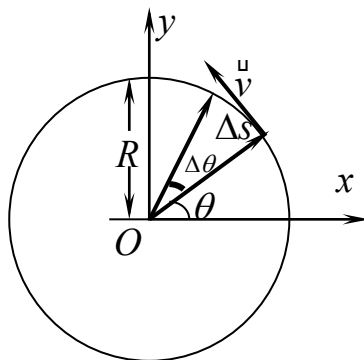
- A. $4 m/s^2$ B. $8 m/s^2$ C. $16 m/s^2$ D. $32 m/s^2$

答案：D

分析： $\omega = \frac{d\theta}{dt} = 4t = 8$ ， $a_n = R\omega^2 = 32 m/s^2$

例：质量 $m = 0.5kg$ 的质点沿半径 $R = 2m$ 的圆轨道运动，其角坐标 $\theta = t^3 + 24 (SI)$ ，求 $t = 1s$ 时

- (1) 质点的角速度和角加速度；
- (2) 质点的切向加速度和法向加速度；



角量与线量

(3) 质点受到的合外力大小。

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} = 3t^2 (SI)$$

解析:(1)小球的角速度

$$t=1s \text{ 时 } \omega = 3rad/s$$

$$a = \frac{d\omega}{dt} = 6t (SI)$$

小球的角加速度

$$t=1s \text{ 时 } a = 6rad/s^2$$

(2) $t=1s$ 时, 小球的切向加速度 $a_t = R\alpha = 12m/s^2$

$t=1s$ 时, 小球的法向加速度 $a_n = R\omega^2 = 18m/s^2$

(3) 小球的加速度的大小 $a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = \sqrt{486} = 21.6m/s^2$

小球受到的合外力的大小 $F = ma = 10.8N$

牛顿运动定律

物体的动量 $\vec{p}$ 为:

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

牛顿第二定律

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$$

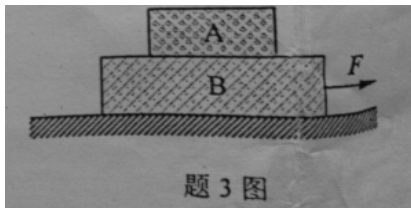
在平面直角坐标系中, 其分量式(投影式)为:

$$F_x = ma_x = m \frac{dv_x}{dt} = m \frac{d^2x}{dt^2}$$

例: 如题 3 图所示, 有两块木块 A、B, 质量分别为 $m_A = 1kg$, $m_B = 2kg$, 重叠置于静摩擦系数为 $\mu_s = 0.2$ 的桌面上, A、B 之间为光滑接触, 重力加速度取 $g = 10m/s^2$ 。用水平方向的力 F 拉木块 B, 为使 B 开始运动, 力 F 的大小

至少要多大 ()

- A. $2N$ B. $3N$ C. $4N$ D. $6N$



答案: D

分析: 桌面对 B 的支撑力 $N = (m_A + m_B)g = 3g$, $F > \mu N = 6N$

冲量 质点和质点系的动量定理

我们把力 $\vec{F}$ 对时间的积分, 称为力 $\vec{F}$ 在这段时间内作用于质点的冲量。用 $\vec{I}$ 表示, 即:

$$\vec{I} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt$$

$$\vec{I} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1$$

在平面直角坐标系中动量定理的分量式(投影式)为:

$$I_x = \int_{t_1}^{t_2} F_x dt = mv_{2x} - mv_{1x}$$

质点系的动量定理

由若干个质点组成的系统称为质点系, 我们把系统内质点间的相互作用称为内力(一般用 $\vec{f}$ 表示), 系统外的其它物体对系统内任一质点的作用力称为外力(一般用 $\vec{F}$ 表示)。

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \frac{d}{dt}(\vec{p}_1 + \vec{p}_2)$$

系统沿某一方向的动量守恒定律

系统在某个方向受的合外力为零, 则系统在该方向动量守恒。

$$\text{当 } F_x = \sum_i F_{ix} = 0 \text{ 时, } p_x = \sum_i p_{ix} = \sum_i m_i v_{ix} = \text{常量}$$

质点的角动量

一个质点沿半径为 r 的圆周运动, 其动量为 $p = mv$, 它相对于圆心的角动量大小为

$$L = rmv = mr^2\omega$$

功 动能和动能定理

功

如果物体在空间沿某一曲线由 a 点运动到 b 点, 则力 $\vec{F}$ 对物体所作的功

$$W_{ab} = \int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

最简单的情况是力 $\vec{F}$ 的大小和方向都不变, 质点沿一直线运动, 且速度方向不变。这样

$$W_{ab} = Fs \cos \theta$$

s 是物体运动整个路径的长度。

合力的功等于各分力功的代数和。

功率

$$p = \frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

质点的动能定理

$$W_{ab} = \int_a^b F_{\tau} ds = \int_a^b m \frac{dv}{dt} ds = \int_{v_a}^{v_b} mv dv = \frac{1}{2} mv_b^2 - \frac{1}{2} mv_a^2$$

$$W_{ab} = E_{kb} - E_{ka}$$

合力对物体所作的功等于物体动能的增量。这称为质点的动能定理。

例: 一物体静置于粗糙水平面上, 用恒力 F 推物体一段时间, 但物体不动。若在该过程中力 F 的冲量为 I、所做的功为 W, 则 ()

A. I=0, W=0 B. I=0, W≠0 C. I≠0, W=0 D. I≠0, W≠0

答案: C。分析: 力作用一段时间, I≠0, 但物体不动, 位移为 0, W=0。

势能 功能原理 机械能守恒

势能

保守力作功可写为

$$W_{ab} = E_{Pa} - E_{Pb} = -(E_{Pb} - E_{Pa}) = -\Delta E_P \quad (3-58)$$

式中 E_{Pa} 、 E_{Pb} 分别表示 a、b 两点的势能。质点 m 在保守力作用下，势能增量的负值等于保守力所作的功。

重力势场中，物体在重力场中位于 h 高度处的重力势能为

$$E_P = mgh$$

在万有引力场中，物体 m 位于 r 处的势能为（选无穷远为势能零点）：

$$E_P = -Gm_0m \frac{1}{r}$$

在弹力势场中，**选定弹簧无形变时小球所在位置即坐标原点 O 为弹性势能零点**（请注意，选其它点为弹性势能的零点会很麻烦），这样可求出小球在 x 处的势能

$$E_P = \frac{1}{2}kx^2$$

功能原理

$$W_{\text{外}} + W_{\text{非保内}} = (E_K + E_P) - (E_{K0} + E_{P0})$$

系统总动能和势能之和称为系统的**机械能**，通常用 E 表示，即

$$E = E_K + E_P$$

以 E_0 和 E 分别表示系统的初机械能和末机械能，则

$$W_{\text{外}} + W_{\text{非保内}} = E - E_0$$

上式表明，**质点系所受外力做功和系统非保守内力做功的总和等于它的机械能的增量，这称为质点系的功能原理。**

重点：机械能守恒

如果一个质点系在某个运动过程中只有保守内力做功，外力做功和非保守内力的功都是零，则该系统的机械能不变。即，如果 $W_{\text{外}}=0$ ， $W_{\text{非保内}}=0$ 。则，

$$E = E_0 = E_{K0} + E_{P0} = \text{常量}$$

刚体定轴转动的角动量

$$L = J\omega$$

J 称为刚体的转动惯量，对于单个刚体，有 $J = mr^2$

刚体定轴的角转动定律

$$M = \frac{dL}{dt} = J \frac{d\omega}{dt} = J\alpha$$

刚体(质点系)定轴转动的角动量守恒定律

如果在定轴转动中受合外力矩 $M=0$ ，则

$$L = J\omega = \text{常量} \quad (4-25)$$

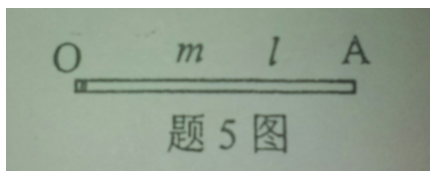
这就是说: 刚体(或质点系)对某一定轴所受合外力矩为零, 则它对这一固定轴的角动量保持不变, 这称为刚体(或质点系)绕定轴转动的角动量守恒定律。

例: 若一单摆在运动过程中所受的摩擦力可忽略, 则 ()

- A. 单摆的动量守恒 B. 单摆对悬挂点的角动量守恒
C. 单摆的动能守恒 D. 单摆与地球组成的系统机械能守恒

答案: D。单摆受力, 受力矩, 动量、角动量、动能都不守恒, 单摆与地球组成的系统机械能守恒。

如图, 一匀质细杆 OA, 长为 l , 质量为 m , 绕通过 O 点的固定轴在竖直平面内自由转动, 转动惯量 $\frac{1}{3}ml^2$ 。当杆位于水平位置时, 其角加速度为 ()



- A. $\frac{3g}{l}$ B. $\frac{3g}{2l}$ C. $\frac{2g}{3l}$ D. $\frac{g}{3l}$

答案: B。细杆受力矩, $M = mg \frac{l}{2}$, $\alpha = \frac{M}{J} = \frac{3g}{2l}$

例: 花样滑冰运动员绕通过自身的竖直轴转动, 开始时两臂合拢, 转动惯量为 J_0 , 角速

度为 ω_0 ; 当其两臂伸开后, 角速度变为 $5\omega_0/6$, 则其转动惯量变为 (忽略阻力)

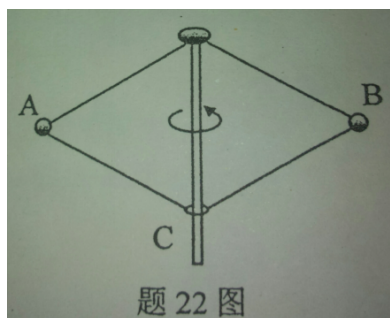
()

- A. $\sqrt{\frac{5}{6}} J_0$ B. $\sqrt{\frac{6}{5}} J_0$ C. $\frac{6}{5} J_0$ D. $\frac{5}{6} J_0$

答案: C

分析: 角动量守恒, $J\omega = \text{常量}$

例: 如图, 钢球 A 和 B 质量相等, 被绳子拉着以 $v_0 = 2m/s$ 的速率绕着竖直轴转动, 二球与轴的距离都为 $r_1 = 15cm$ 。把套在轴上的



环 C 向下移动, 使两球离轴的距离缩减为 $r_2 = 5cm$

，则钢球的速率变为 $v = \underline{\hspace{2cm}}$ m/s。

答案：6

分析：角动量守恒， $2mv_0r_1 = 2mvr_2$

理想气体状态方程

1 摩尔物质的质量称为摩尔质量 M 。如果质量是 m 的样品中包含有 N 个微观粒子，每一个微观粒子的质量（分子量或原子量）是 m_0 ，1 摩尔物质的原子数目为 N_A ，则该样品的物质的摩尔数 ν 是

$$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}$$

理想气体状态方程

$$pV = \frac{m}{M}RT = \nu RT$$

则理想气体状态方程又可改写为

$$p = nkT$$

其中 $n = N/V$ 称为**分子数密度**，它表示单位体积中的微观粒子数。

例：理想气体压强为 p ，温度为 T ，分子质量为 m ，摩尔质量为 M ，波尔兹曼常数为

k ，摩尔气体常数为 R ，则单位体积内的分子数为 ()

- A. $\frac{p}{MT}$ B. $\frac{p}{mT}$ C. $\frac{p}{RT}$ D. $\frac{p}{kT}$

答案：D

理想气体的压强公式

理想气体的压强公式

分子的平均平动动能定义为

$$\overline{\varepsilon_t} = m_0 \overline{v^2} / 2$$

理想气体的压强公式可写为

$$p = \frac{2}{3} n \overline{\varepsilon_t}$$

其中 $n = N/V$ 表示单位体积中的微观粒子数。

理想气体分子的平均平动动能

$$\overline{\varepsilon_t} = \frac{1}{2} m_0 \overline{v^2} = \frac{3}{2} kT$$

理想气体的温度公式

$$\overline{\varepsilon_t} = \frac{3}{2} kT \Rightarrow T = \frac{2\overline{\varepsilon_t}}{3k}$$

能量均分定理 理想气体的热力学能

在平衡状态下，分子的每一个自由度上都具有相同的平均动能。麦克斯韦提出：在温度为 T 的平衡态下，气体分子每个自由度的平均动能都相等，而且等于 $kT/2$ 。这一结论称为能量均分定理。根据能量均分定理，如果某种气体的分子共有 i 个自由度，则单个分子的平均总动能为

$$\overline{\varepsilon_k} = \frac{i}{2} kT$$

利用这个式子可以得到三种典型气体分子的平均总动能

单原子分子	$i = 3$	$\overline{\varepsilon_k} = \frac{3}{2} kT$
-------	---------	---

刚性双原子分子	$i = 5$	$\overline{\varepsilon_k} = \frac{5}{2} kT$
---------	---------	---

刚性多原子分子	$i = 6$	$\overline{\varepsilon_k} = 3kT$
---------	---------	----------------------------------

理想气体的热力学能

1mol 理想气体的总热力学能是

$$U = N_A \left(\frac{i}{2} kT \right) = \frac{i}{2} RT$$

ν 摩尔的理想气体的总热力学能是

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT = \frac{i}{2} \nu RT$$

麦克斯韦速率分布

设某一气体体系的分子总数为 N ，其中分布在某速率间隔 $\nu \sim \nu + d\nu$ 内的分子数为 dN ，那么 dN/N 表示分布在这一速率间隔内的分子数占总分子数的百分比。这个比率与速率 ν 和间隔 $d\nu$ 有关，因此

$$\frac{dN}{N} = f(\nu) d\nu$$

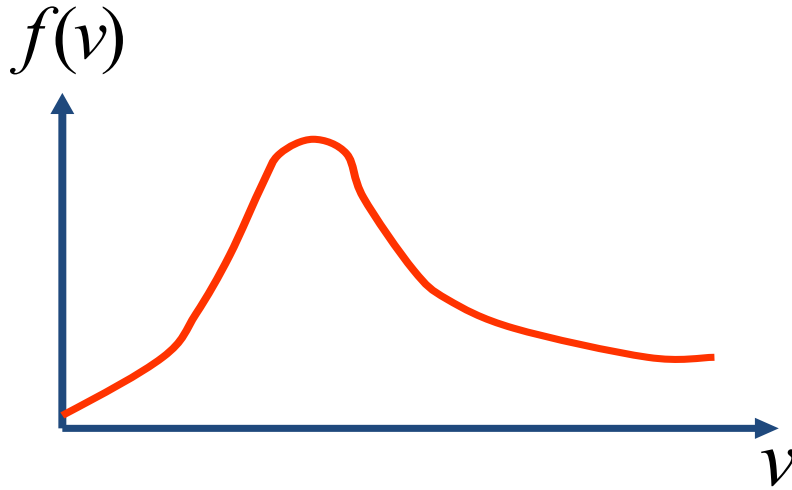
$f(\nu)$ 是比例系数，称为**速率分布函数**，它表示分布在速率 ν 附近单位速率间隔内的分子数占分子总数的百分比

分布在某速率间隔 $\nu \sim \nu + \Delta\nu$ 内的分子数为 ΔN ，那么 $\Delta N/N$ 为：

$$\frac{\Delta N}{N} = \int_{\nu}^{\nu+\Delta\nu} f(\nu) d\nu$$

速率分布函数满足归一化条件：

$$\int_0^{\infty} \frac{dN}{N} = \int_0^{\infty} f(\nu) d\nu = 1$$



最概然速率

$$\nu_p = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}} \approx 1.41 \sqrt{\frac{RT}{M}} \quad (14-6)$$

平均速率

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \approx 1.60 \sqrt{\frac{RT}{M}} \quad (14-8)$$

和方均根速率

$$\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \approx 1.73 \sqrt{\frac{RT}{M}} \quad (14-9)$$

可以看出, 同一种气体分子的三种特征速率中, $\sqrt{v^2} > \bar{v} > v_p$, 它们都与 $\sqrt{T}$ 成正比, 与 $\sqrt{M}$ 成反比。

4. 氧气和氢气的温度相同, 若氧气分子的平均速率为 $\bar{v}_1$, 则氢气分子的平均速率 $\bar{v}_2$ 为 ()

A. $0.25\bar{v}_1$

B. $0.5\bar{v}_1$

C. $2\bar{v}_1$

D. $4\bar{v}_1$

答案: D

分析: $\bar{v} = 1.6 \sqrt{\frac{RT}{M}}, \quad \frac{\bar{v}_2}{\bar{v}_1} = \sqrt{\frac{M_{O_2}}{M_{H_2}}} = \sqrt{\frac{32}{2}} = 4$

热力学第一定律

功 热量

初态 I (p_1, V_1) 到末态 II (p_2, V_2) 的整个过程中, 热力学系统对外做功是:

$$W = \int_I^{II} dW = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

系统做功的多少与具体的过程相关。

想气体的摩尔定容热容

$$C_{V,m} = \frac{i}{2} R$$

理想气体的摩尔定压热容

$$C_{p,m} = \frac{i}{2} R + R = \frac{i+2}{2} R$$

可得 $Q_p = \nu C_{p,m}(T_2 - T_1)$

$$C_{p,m} - C_{v,m} = R$$

这样，系统在等体过程中，温度由 T_1 上升到 T_2 所吸收的热量为：

$$Q_v = \nu C_{v,m}(T_2 - T_1)$$

这样，系统在等压过程中，温度由 T_1 上升到 T_2 所吸收的热量为：

$$Q_p = \nu C_{p,m}(T_2 - T_1)$$

热力学第一定律

设系统在一个过程中，从外界吸收了热量 Q ，同时系统对外做的功是 W ，内能增量为 $\Delta U = U_2 - U_1$ 。根据能量守恒定律

$$Q = U_2 - U_1 + W = \Delta U + W$$

即系统吸收的热量等于系统热力学能的增量与系统对外做功的总和。这称为热力学第一定律。对于系统状态的无穷小变化过程，热力学第一定律还可以表示为

$$dQ = dU + dW$$

对于理想气体的准静态过程，热力学第一定律可表示为：

$$Q = \frac{m}{M} \frac{i}{2} R(T_2 - T_1) + \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

热力学第一定律对理想气体等值过程的应用

等体过程

$$dW_v = 0; W_v = \int_{V_1}^{V_2} p dV = 0$$

过程中系统热力学能的增量是

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \nu \frac{i}{2} R(T_2 - T_1)$$

再由热力学第一定律可得

$$Q_v = \Delta U = \nu \frac{i}{2} R(T_2 - T_1)$$

例 1 摩尔氦气在等体过程中温度升高 $2K$ ，用 R 表示普适气体常量，过程中氦气吸热（ ）

A. 0

B. $3R$

C. $5R$

D. $6R$

答案: B

分析: $\bar{U} = \frac{i}{2}RT, \Delta\bar{U} = \frac{i}{2}R\Delta T$, 单原子分子, $i=3$, 等体过程,

$$Q_V = \Delta\bar{U} = \frac{i}{2}R\Delta T = iR = 3R$$

理想气体在等压过程中做的功

$$W_p = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p(V_2 - V_1) = \nu R(T_2 - T_1)$$

气体的热力学能的增量是

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \nu \frac{i}{2} R(T_2 - T_1) = \nu C_{V,m}(T_2 - T_1)$$

由热力学第一定律可得气体吸收的热量

$$Q_p = \Delta U + W = \nu \frac{i}{2} R(T_2 - T_1) + \nu R(T_2 - T_1) = \nu \left(\frac{i+1}{2}\right) R(T_2 - T_1)$$

等温过程

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \nu \frac{i}{2} R(T_2 - T_1) = 0$$

等温过程系统对外做功为:

$$W_T = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \nu RT \ln \frac{p_1}{p_2}$$

再由热力学第一定律可得

$$Q_T = W_T = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \nu RT \ln \frac{p_1}{p_2}$$

循环过程与循环效率

循环过程

在一个循环过程中, 系统净对外做功, 其数值就是图中闭合曲线所包围的面积。我们称这种对外做净功的循环为正循环, 或称为热机循环。

设热机内的工作物质在整个循环过程中从全部高温热源吸收总热量 Q_1 , 对外做净功 W , 并且向全部低温热源放出总热量 Q_2 , 由于完成一个循环过程后系统回到初态, 热力学能不变, 应用热力学第一定律, 有

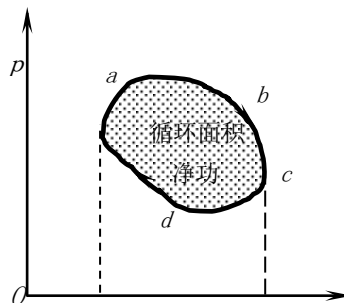


图 理想气体的循环过程

$$Q_1 - Q_2 = W$$

这个式子说明, 循环过程对外做的净功 W , 等于从高温热源吸收的热量 Q_1 与放给低温热源的热量 Q_2 的差值。或

$$Q_1 = Q_2 + W$$

即在正循环中, 热机里的工作物质从高温热源吸收的热量, 一部分放给低温热源,

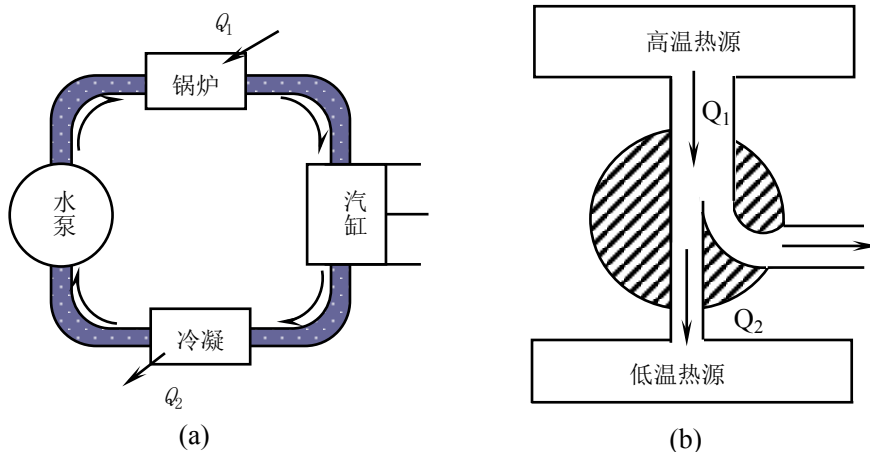


图 正循环热机工作示意图和能流图

另一部分用于对外做功。图(a)是热机(蒸汽机)工作示意图, 其能流图如图(b)所示。

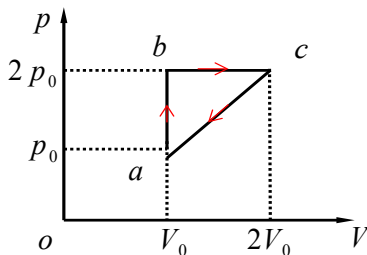
为了衡量热机对外做功的效益, 人们考虑热机里的工作物质在一次正循环中, 从高温热源所吸收的热量有多大的比例被转换为机械功。因此, 定义**热机的效率**为

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

上式表明, 由于热机要向低温热源放出一部分热量, $Q_2 \neq 0$, 热机的效率小于 1。

1mol 刚性双原子理想气体经历如图所示的循环过程。求:

(1) 气体在一次循环过程中所做的静功 W ;



题 28 图

(2) 循环效率 η 。

解析:(1)循环净功=过程曲线包围的面积

$$\text{循环净功} \quad W = \frac{1}{2}(2p_0 - p_0)(2V_0 - V_0) = \frac{1}{2}p_0V_0 \quad (3)$$

(2) ab 等体过程,

$$Q_{ab} = \nu C_{v,m}(T_b - T_a) = 2.5R\nu(T_b - T_a) = 2.5(p_b v_b - p_a v_a) = 2.5p_0 v_0 \quad (2)$$

$$\text{bc 等压过程, } C_{p,m} = C_{v,m} + R = 3.5R \quad (1)$$

$$Q_{bc} = \nu C_{p,m}(T_c - T_b) = 3.5R\nu(T_c - T_b) = 3.5(p_c v_c - p_b v_b) = 7p_0 v_0 \quad (1)$$

$$Q_{\text{吸}} = Q_{ab} + Q_{bc} = 9.5p_0 V_0 \quad (2)$$

循环效率

$$\eta = \frac{W}{Q_{\text{吸}}} = \frac{0.5}{9.5} = 5.3\% \quad (2)$$

热力学第二定律

一切与热现象有关的实际宏观过程都是不可逆的过程

电磁学

电通量

通过任意有限曲面 S 的电通量为

$$\Phi_e = \int d\Phi_e = \iint_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

通过某个闭合曲面 S 的电通量可表示为

$$\Phi_e = \oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \oiint_S E dS \cos \theta$$

高斯定理

静电场的高斯定理可以表述为:

在真空中, 静电场内通过任意闭合曲面的电通量, 等于该曲面所包围的电荷的代数

和 $\sum_{i=1}^n q_i$ 除以 ϵ_0 。即

$$\Phi_e = \oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i$$

例: 对于静电场高斯定理的理解, 下列说法正确的是 ()

- A. 高斯面上各点处的电场强度仅与该面内的电荷有关
- B. 高斯面上各点处的电场强度仅与该面外的电荷有关
- C. 通过高斯面的电场强度通量仅与该面内的电荷有关
- D. 通过高斯面的电场强度通量仅与该面外的电荷有关

答案：C

请记住下面一些特殊带电体的场强分布
半径为 R 带电量为 Q 的均匀带电球面的场强分布

$$E = \begin{cases} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} & (r > R) \\ 0 & (r < R) \end{cases}$$

无限长均匀带电直线的空间场强分布。已知直线上的电荷线密度为 λ ，场点到直线的距离为 r 。

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$$

当 $\lambda > 0$ 时， $\vec{E}$ 的方向沿径向(垂直于轴线)指向外；当 $\lambda < 0$ 时， $\vec{E}$ 的方向沿径向指向直线。

无限大均匀带电薄平板的空间场强分布，设电荷面密度为 σ 。

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

当 $\sigma > 0$ 时 $\vec{E}$ 的方向垂直平板指向外，说明无限大均匀带电薄平板两侧的电场是均匀电场。

应用上面的结果和场强叠加原理，可求得一对电荷面密度等值异号的无限大均匀带电平行平板间匀强电场的场强大小为

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

其方向从正板指向负板，而两平行平板外侧空间的场强为零。

静电场的环路定理与电势

静电场的环路定理

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$

记公式：均匀带电球面电场中任一点 P 处的电势。设球面半径为 R ，总带电荷量为 q 。在空间产生的电势为：

$$U = \begin{cases} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R} & (r \leq R) \\ \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} & (r \geq R) \end{cases}$$

这说明均匀带电球面内各点的电势相等，且等于球面上各点的电势值。在 $r = R$ 的球壳处电势是连续变化的，在 $r > R$ 的区域与所有的电荷集中在球心产生的电势相同。

例：真空中的两个同心的均匀带电球面，内球面半径为 R_1 ，带电荷量 Q_1 ，外球面半径为 R_2 、带电荷量 Q_2 。设无穷远处为电势零点，则在距球心为 $r (r > R_2)$ 处的电势为 ()

$$\begin{array}{ll} \text{A. } \frac{Q_1 + Q_2}{4\pi\epsilon_0 r} & \text{B. } \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 R_1} + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 R_2} \\ \text{C. } \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 R_2} & \text{D. } \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 R_1} + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 r} \end{array}$$

答案：A

分析：均匀带电球面产生的场强，内部为零，外部与所有电荷集中于球心处产生的场强相同

静电场中的导体

导体的静电平衡条件

处于静电平衡状态下的导体，其内部和表面的电场具有如下性质：

- (1) 在导体内部，场强处处为零；
- (2) 导体是一个等势体，导体面是一个等势面。导体表面场强垂直导体表面。

4. 导体表面附近的场强

处于静电平衡的导体，其表面上各点的电荷面密度与表面邻近处场强成正比。

导体表面电荷面密度为 σ ，则该处导体表面邻近处的场强

$$E_{\text{表}} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} e_n$$

静电平衡时导体上的电荷分布

1. 实心导体

处于静电平衡状态的实心导体，其内部各处净电荷为零，电荷只能分布于导体外表面。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/345144224211011340>