

大学物理B 复习总结

第一章 质点运动学

第二章 守恒定律

第三章 刚体和理想流体

第四章 振动和波动

第五章 气体和液体的基本性质

第一章 质点运动学

基本要求：

- 1 掌握描述质点运动的物理量的定义和性质
- 2 掌握并能运用描述质点运动的三种常用坐标系
- 3 理解并掌握牛顿三定律的内容、概念
- 4 清楚的认识力学中常见的三种力的性质，能够运用

第一章 质点运动学

1-1 质点和参考系

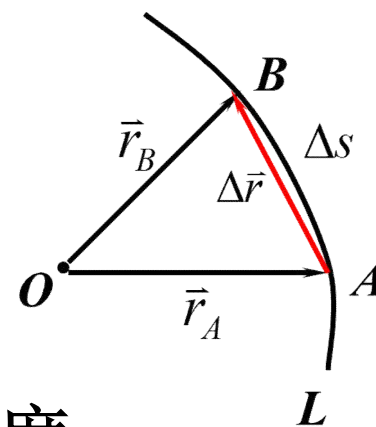
质点：没有体积和形状，只具有一定质量的理想物体，一种理想力学模型，一种物理上的抽象。

参考系：为了描述物体机械运动，必须选择另一个物体或者物体群作参照物，被选作参照的物体或者物体群。

1-2 描述质点运动的物理量

位移：质点在一段时间内位置的改变。

路程 Δs ： Δt 时间内物体所经过路线的总长度。



$$|\Delta \vec{r}| \neq \Delta r \neq \Delta s$$

第一章 质点运动学

1-2 描述质点运动的物理量

➤ 平均速度 $\bar{\vec{v}} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \vec{i} + \frac{\Delta y}{\Delta t} \vec{j}$

➤ 平均速率 $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

➤ 瞬时速度 $\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{ds}{dt} \vec{e}_t$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{大小: } |\vec{v}| \\ \text{方向: 切线方向} \end{array} \right.$

➤ 瞬时速率 $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$

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

第一章 质点运动学

加速度：描述速度变化快慢的物理量。

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \frac{dv_x}{dt} \vec{i} + \frac{dv_y}{dt} \vec{j} + \frac{dv_z}{dt} \vec{k}$$

加速度大小 $a = |\vec{a}| = \left| \frac{d\vec{v}}{dt} \right| \neq \frac{d|\vec{v}|}{dt} \quad a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \right| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$

讨论

一运动质点在某瞬时位于矢径 $\vec{r}(x, y)$ 的端点处，其速度大小为

(A) $\frac{dr}{dt}$ (B) $\frac{d\vec{r}}{dt}$ (C) $\frac{d|\vec{r}|}{dt}$ (D) $\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$

第一章 质点运动学

1-3 描述质点运动的坐标系

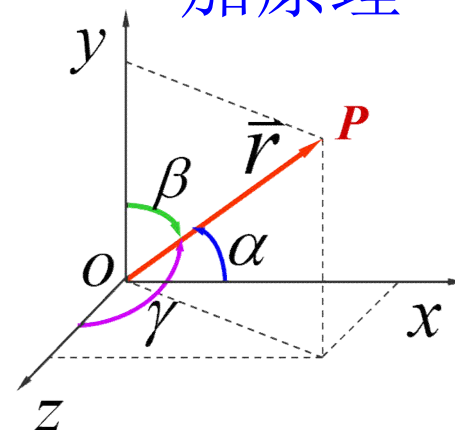
1、直角坐标系 (rectangular coordinate)

位置矢量可表示为 $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$

位矢大小 $r = |\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$

$$\cos \alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos \beta = \frac{y}{r}, \quad \cos \gamma = \frac{z}{r}$$

运动叠加原理



$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\vec{i} + \frac{dy}{dt}\vec{j} + \frac{dz}{dt}\vec{k} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j} + v_z\vec{k}$$

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt} \quad v = |\vec{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

第一章 质点运动学

二、平面极坐标系(planar polar coordinates)

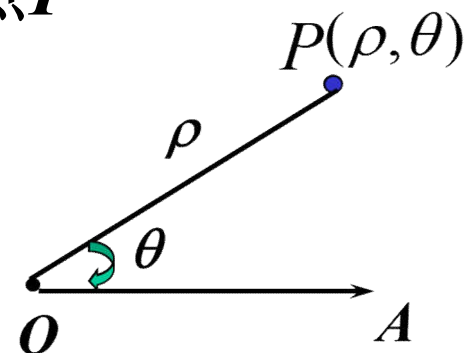
用平面极坐标系处理圆周运动一类的平面运动。

极轴：取参考系上一固定点 O 作极点, 过极点所作的一条固定射线 OA 。

极径：质点处于点 P , 连线 OP 称为点 P 的, 用 ρ 表示;

极角：从 OA 到 OP 转过的角 θ 。

极坐标：用 (ρ, θ) 来表示点 P 位置。



第一章 质点运动学

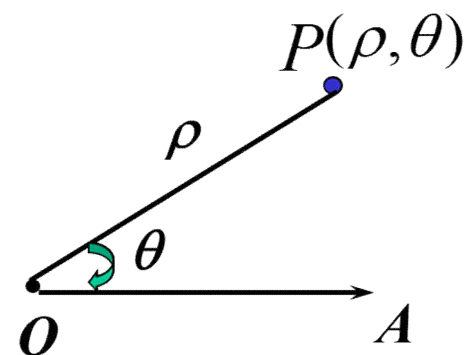
P 的位置矢量: $\vec{r}(t) = \rho(t) \vec{e}_\rho(t)$

$\vec{e}_\rho(t)$: 极径方向的单位矢量, 方向是时间的函数

$$\vec{v}(t) = \frac{d}{dt}(\rho \vec{e}_\rho) = \frac{d\rho}{dt} \vec{e}_\rho + \rho \frac{d\vec{e}_\rho}{dt}$$

$$\vec{v} = \frac{d\rho}{dt} \vec{e}_\rho + \rho \frac{d\theta}{dt} \vec{e}_\theta$$

径向速度
横向速度



$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(v_\rho \vec{e}_\rho + v_\theta \vec{e}_\theta)$$

$$= \frac{d^2\rho}{dt^2} \vec{e}_\rho + \frac{d\rho}{dt} \frac{d\vec{e}_\rho}{dt} + \left(\frac{d\rho}{dt} \frac{d\theta}{dt} + \rho \frac{d^2\theta}{dt^2} \right) \vec{e}_\theta + \rho \frac{d\theta}{dt} \frac{d\vec{e}_\theta}{dt}$$

$$\vec{a} = \left[\frac{d^2\rho}{dt^2} - \rho \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right] \vec{e}_\rho + \left[\rho \frac{d^2\theta}{dt^2} + 2 \frac{d\rho}{dt} \frac{d\theta}{dt} \right] \vec{e}_\theta$$

第一章 质点运动学

三、自然坐标系 (natural coordinates)

沿着质点的运动轨道所建立的坐标系

$\vec{e}_t$: 指向质点运动方向的切向单位矢量

$\vec{e}_n$: 垂直于切向并指向轨道凹侧的法向单位矢量

速度矢量: $\vec{v}(t) = v(t)\vec{e}_t(t)$

加速度矢量为: $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(v\vec{e}_t) = \frac{dv}{dt}\vec{e}_t + v\frac{d\vec{e}_t}{dt}$

$$\vec{a} = a_t\vec{e}_t + a_n\vec{e}_n = \frac{dv}{dt}\vec{e}_t + \frac{v^2}{\rho}\vec{e}_n$$

切向加速度 法向加速度

第一章 质点运动学

1-4 牛顿运动定律

1、牛顿第一定律

任何物体都要保持其静止状态或匀速直线运动状态，直到其他物体所作用的力迫使它改变为止。

2、牛顿第二定律

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

3、牛顿第三定律

作用力与反作用力：大小相等，方向相反

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

做功等值异号？✗

第一章 质点运动学

1-5 力学中常见的力

1、万有引力(Gravitational force)

矢量形式: $\vec{F}_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2} \left(\frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}} \right)$

2、弹性力(Elastic force)

弹性限度内: $F = -kx$

3、摩擦力 (friction force)

最大静摩擦力与支撑力的关系: $F_{\max} = \mu_0 F_N$

滑动摩擦力: $F = \mu F_N$

第二章 力学中的守恒定律

基本要求：

- 1 掌握描述保守力、功、动能、势能的基本涵义
- 2 掌握并能运用动能定理、功能原理、机械能守恒定律
- 3 理解并掌握动量、冲量、动量定理、动量守恒定律
- 4 理解并掌握完全非弹性碰撞、完全弹性碰撞
- 5 理解并掌握力矩、角动量、角动量定理、角动量守恒定律

第二章 力学中的守恒定律

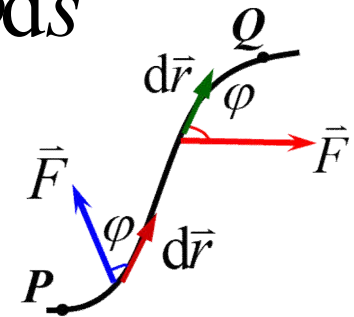
2-1 机械能守恒定律

一、功和功率

1、功（**work**）：力在物体移动过程中的空间效果

$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{r} = F \cos \varphi |d\vec{r}| = F \cos \varphi ds$$

$$A = \int_P^Q dA = \int_P^Q \vec{F} \cdot d\vec{r}$$



第二章 力学中的守恒定律

二、势 能

引力势能：以无穷远处为零势能点。

$$E_P = \int_r^\infty -G \frac{Mm}{r^2} dr = -GMm \frac{1}{r}$$

重力势能：以地面为零势能点。

$$E_P = \int_y^0 -mg dy = -mg(0 - y) = mgy$$

弹性势能：以弹簧原长为零势能点。

$$\Delta E_P = \int_x^0 -kx dx = -\left(0 - \frac{1}{2} kx^2\right) = \frac{1}{2} kx^2$$

引力、重力、弹性力：功=势能增量的负值：

$$A = -(E_{PQ} - E_{PP})$$

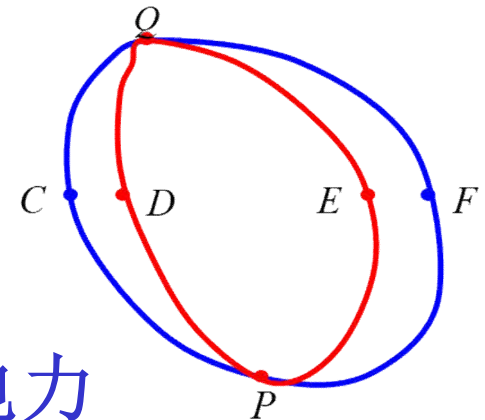
第二章 力学中的守恒定律

3、保守力 (conservation force)

$$\oint \vec{F} \cdot d\vec{l} \equiv 0$$

保守力: 重力、弹性力、万有引力、静电力

非保守力: 摩擦力、空气阻力、磁场力、爆破力



1、只要有保守力，就可引入相应的势能。

2、势能是状态函数。质点在某一点的势能大小等于在相应的保守力的作用下，由所在点移动到零势能点时保守力所做的功。

3、势能仅有相对意义，所以必须指出零势能参考点。

~~4、势能是属于具有保守力相互作用的质点系统的。~~

第二章 力学中的守恒定律

三、动能和动能定理

质点的动能定理:

$$A = \int_P^Q \vec{F} \cdot d\vec{r} = \frac{1}{2}mv_Q^2 - \frac{1}{2}mv_P^2 = E_{KQ} - E_{KP}$$

质点系的动能定理:

$$A_{\text{外}} + A_{\text{内}} = E_{\text{k}Q} - E_{\text{k}P}$$

系统的功能原理:

$$A_{\text{外}} + A_{\text{非保内}} = E(Q) - E(P)$$

机械能守恒定律:

如果 $A_{\text{外}} + A_{\text{非保内}} = 0$ 则有 $E(Q) = E(P)$

第二章 力学中的守恒定律

2-2 动量守恒定律

动量: $\vec{p} = m\vec{v} \quad \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$

冲量: $\int_0^t \vec{F} dt = \int_{P_0}^P d\vec{p} = \vec{p} - \vec{p}_0$

动量定理: $\vec{I} = \vec{P} - \vec{P}_0 = m\vec{v} - m\vec{v}_0$

质点系动量定理:
$$\left\{ \begin{aligned} \int_{t_0}^t \sum_{i=1}^n \vec{F}_i dt &= \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i - \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_{i0} \\ \sum_{i=1}^n \vec{F}_i &= \frac{d}{dt} \left(\sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i \right) \end{aligned} \right.$$

动量守恒定律: $\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0$ 则 $\sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \text{恒矢量}$

第二章 力学中的守恒定律

1、完全弹性碰撞：机械能守恒、动量守恒

$$u_1 = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right)v_1 + \left(\frac{2m_2}{m_1 + m_2}\right)v_2$$
$$u_2 = \left(\frac{2m_1}{m_1 + m_2}\right)v_1 + \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}\right)v_2$$

2、完全非弹性碰撞：动量守恒

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2)u$$

$$u = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

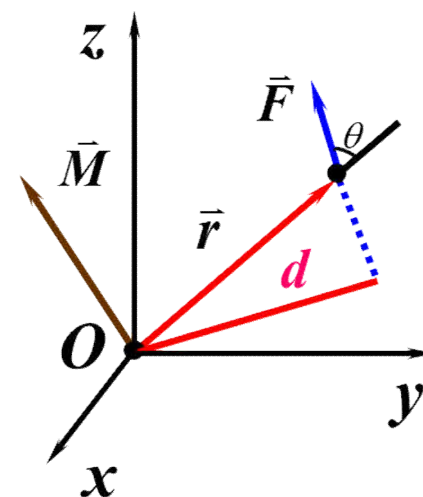
2-3 角动量守恒定律

1、力矩的一般意义

力矩 $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$

大小 $M = F d = F r \sin \theta$

方向 右手定则



2、力对轴的力矩

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x & y & z \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix} \quad \begin{aligned} M_z &= M \cos \gamma \\ &= r F \sin \theta \cos \gamma \end{aligned}$$

$$= (yF_z - zF_y)\vec{i} + (zF_x - xF_z)\vec{j} + (xF_y - yF_x)\vec{k}$$

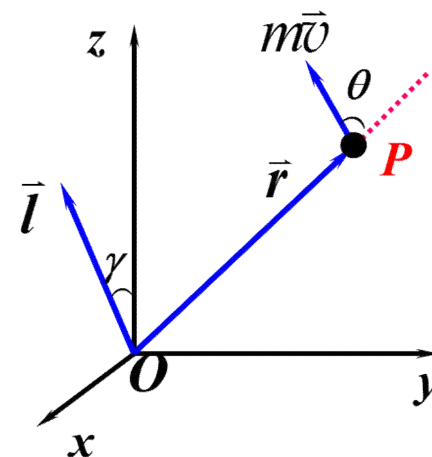
3、角动量 (angular momentum)

质点相对参考点 O 的角动量定义为

$$\vec{l} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times m\vec{v}$$

大小 $l = rmv \sin \theta$

方向 右手螺旋定则判定



质点对通过参考点 O 的任意轴线 Oz 的角动量 l_z ，是质点相对于同一参考点的角动量 l 沿该轴线的分量。

$$l_z = l \cos \gamma$$

第二章 力学中的守恒定律

4、质点的角动量定理

$$\int_{t_1}^{t_2} \vec{M} dt = \vec{l}_2 - \vec{l}_1$$

6、质点系的角动量定理

$$\sum \vec{M}_{\text{外}} = \frac{d\vec{L}}{dt}$$

5、质点的角动量守恒定律

$$\vec{M} = 0 \quad \frac{d\vec{l}}{dt} = 0 \quad \text{即} \quad \vec{l} = \text{恒矢量}$$

7、质点系的角动量守恒定律

$$\text{当 } \sum \vec{M} = 0 \text{ 时} \quad \vec{L} = \text{恒矢量} \quad \text{外力对参考点 } O \text{ 的力矩}$$

$$\text{当 } \sum M_z = 0 \text{ 时} \quad L_z = \text{恒量} \quad \text{外力对 } z \text{ 轴的力矩}$$

第三章 刚体和理想流体

基本要求:

- 1 掌握描述刚体定轴转动的物理量的基本涵义
- 2 掌握并能运用平行轴定理、垂直轴定理
- 3 理解并掌握力矩做功、转动动能定理、转动定律
- 4 理解并掌握刚体对转轴的角动量、角动量定理、角动量守恒定律
- 5 理解定常流动的基本含义
- 6 理解并掌握理想流体的连续性方程、伯努利方程

$$\begin{array}{l} a \quad v \quad \vec{r} \quad m \quad F \quad dA = Fd\vec{r} \quad E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad \vec{P} = m\vec{v} \\ \alpha \quad \omega \quad \theta \quad J \quad M \quad dA = Md\theta \quad E_k = \frac{1}{2}J\omega^2 \quad L_z = J\omega \end{array}$$

第三章 刚体和理想流体

3-1 刚体的运动

一、平动和转动 (Translation and rotation)

平动 可用质心运动讨论

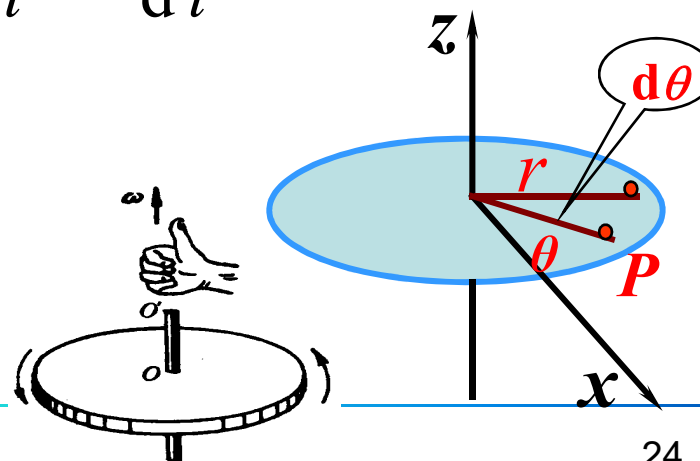
转动 转轴，刚体的平面运动

二、刚体的定轴转动 (Fixed-axis rotation)

角速度(矢量): $\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$

角加速度:

$$\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2 \theta}{dt^2}$$

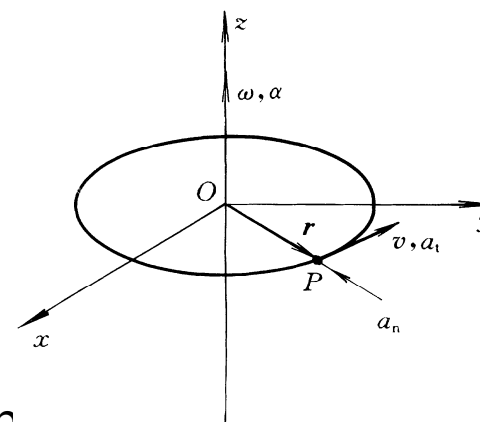


第三章 刚体和理想流体

刚体运动学中角量和线量的关系

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

$$v = r\omega \quad a_t = r\alpha \quad a_n = r\omega^2$$



3-2 刚体动力学

一、刚体的转动动能 二、刚体对转轴的转动惯量

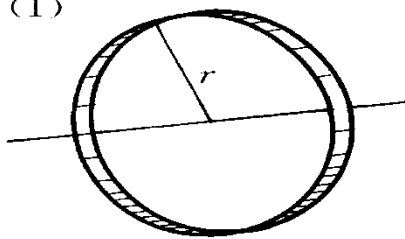
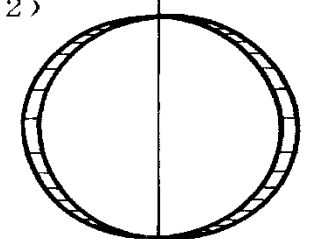
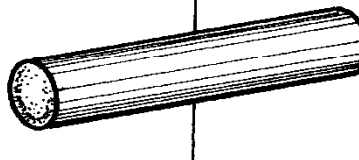
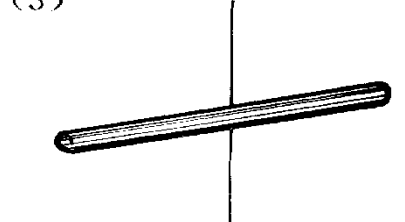
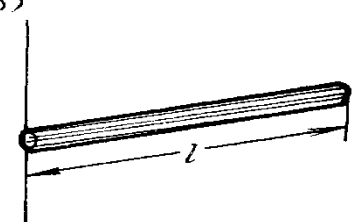
$$E_k = \frac{1}{2} J \omega^2$$

$$J = \sum_{i=1}^n \Delta m_i r_i^2$$

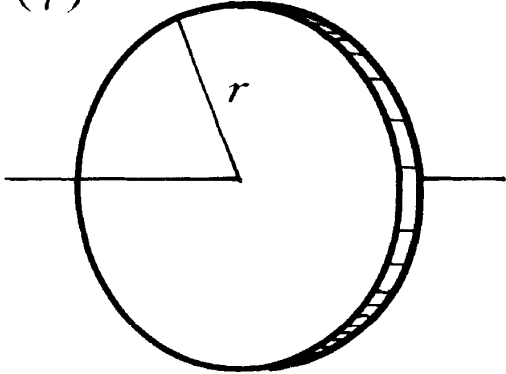
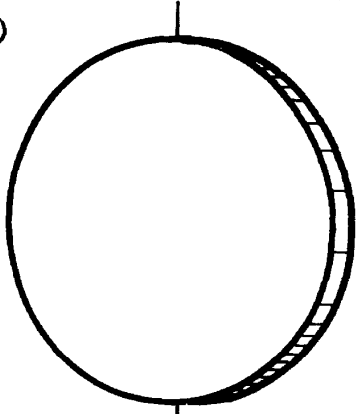
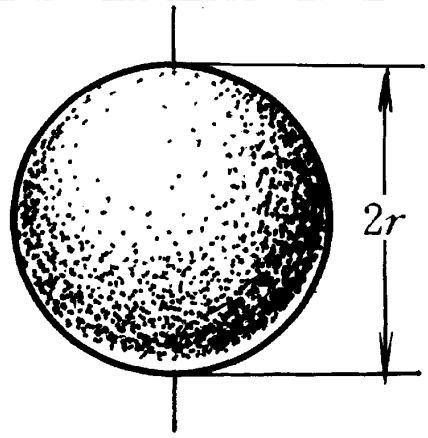
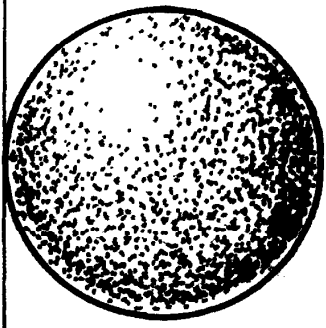
第三章 刚体和理想流体

1. 平行轴定理: $J = J_C + md^2$

2. 垂直轴定理: $J_z = J_x + J_y$

(1) 	圆环 转轴通过 中心并与 环面垂直 $J = mr^2$	(2) 	圆环 转轴沿环 的直径 $J = \frac{1}{2}mr^2$
(3) 	圆柱体 转轴沿几 何轴 $J = \frac{1}{2}mr^2$	(4) 	圆柱体 转轴通过 中心并与 几何轴垂 直 $J = \frac{1}{4}mr^2 + \frac{1}{12}ml^2$
(5) 	细棒 转轴通过 中心并与 棒垂直 $J = \frac{1}{12}ml^2$	(6) 	细棒 转轴通过 端点并与 棒垂直 $J = \frac{1}{3}ml^2$

第三章 刚体和理想流体

(7) 	薄圆盘 转轴通过 中心并与 盘面垂直 $J = \frac{1}{2}mr^2$	(8) 	薄圆盘 转轴沿着 直径 $J = \frac{1}{4}mr^2$
(9) 	球体 转轴通过 球心 $J = \frac{2}{5}mr^2$	(10) 	球体 转轴沿着 切线 $J = \frac{7}{5}mr^2$

第三章 刚体和理想流体

三、力矩作的功

$$dA_i = F_i r_i \sin \phi_i d\theta = M_{zi} d\theta$$

$$dA = \sum_{i=1}^n dA_i = \left(\sum_{i=1}^n M_{zi} \right) d\theta = M_z d\theta$$

$$A = \int_{\theta_1}^{\theta_2} M_z d\theta$$

四、动能定理

$$A = \frac{1}{2} J \omega_2^2 - \frac{1}{2} J \omega_1^2$$

五、转动定理

$$M_z = J \alpha$$

第三章 刚体和理想流体

3-3 定轴转动刚体的角动量守恒定律

一、刚体对转轴的角动量

$$L_z = \sum l_{zi} = (\sum r_i^2 \Delta m_i) \omega = J \omega$$

二、刚体对转轴的角动量定理

$$M_z = \frac{d}{dt}(J\omega) = \frac{dL_z}{dt} \quad \int_{t_1}^{t_2} M_z dt = J\omega_2 - J\omega_1$$

三、刚体对转轴的角动量守恒定律

在定轴转动中,如果 $M_z = 0$, 则

$$dL_z = d(J\omega) = 0 \quad \text{或} \quad L_z = J\omega = \text{恒量}$$

第三章 刚体和理想流体

1. 理想流体 (ideal fluid)

理想流体 绝对不可压缩和完全没有黏性的流体。

2. 定常流动 (steady flow)

流体质点流经空间任一给定点的速度是确定的，且不随时间变化，称为**定常流动**。(液体在空间的速度分布不随时间变化的流动叫定常流动)

3、理想流体的连续性方程

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 \quad \rho S v = \text{恒量}$$

4、伯努利(Bernoulli)方程

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = \text{恒量}$$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho gh_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho gh_2$$

第四章 振动和波动

基本要求:

- 1 掌握描述简谐振动的特征量、矢量图
- 2 理解阻尼振动、受迫振动、共振
- 3 理解并掌握机械波基本特征量、波函数
- 4 理解并掌握波的干涉原理

第四章 振动和波动

一、简谐振动(simple harmonic wave)

$$F = -kx \quad \frac{d^2 x}{dt^2} + \omega^2 x = 0 \quad x = A \cos(\omega t + \varphi)$$

二、描述简谐振动的特征量

$$A \quad T \quad \nu \quad \omega \quad \omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T} \quad \nu = \frac{1}{T}$$

相位(phase)和初相位(initial phase): $\omega t + \varphi$ 和 φ 。

$$\left. \begin{aligned} v &= \frac{dx}{dt} = -A\omega \sin(\omega t + \varphi) \\ x_0 &= A \cos \varphi \\ v_0 &= -A\omega \sin \varphi \end{aligned} \right\} \quad \left. \begin{aligned} A &= \sqrt{x_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega^2}} \\ \varphi &= \arctan\left(-\frac{v_0}{\omega x_0}\right) \end{aligned} \right\}$$

三、简谐振动的矢量图解法

第四章 振动和波动

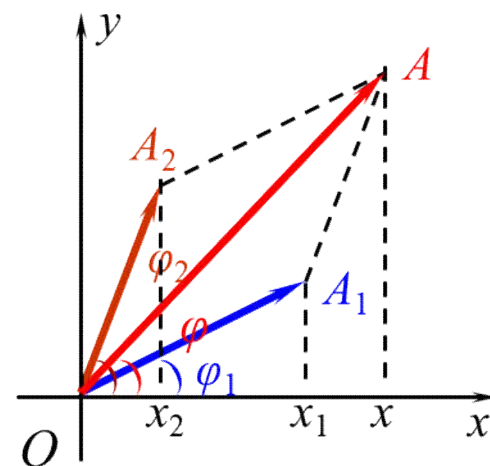
四、同一直线上两个同频率简谐振动的合成

$$x_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1) \quad x_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

$$\text{合振动: } x = x_1 + x_2 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1) + A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

$$x = A \cos(\omega t + \varphi)$$

$$\left\{ \begin{aligned} A &= \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)} \\ \varphi &= \arctan \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2} \end{aligned} \right.$$



$\varphi_2 - \varphi_1 = \pm 2k\pi \quad k = 0, 1, 2, \dots$ 合振幅最大, 振动加强

$\varphi_2 - \varphi_1 = \pm(2k+1)\pi \quad k = 0, 1, 2, \dots$ 合振幅减小, 振动减弱

$$|A_1 - A_2| < A < |A_1 + A_2|$$

第四章 振动和波动

五、阻尼振动(damped vibration)

振幅随时间减小的振动称为阻尼振动

物体的振动方程 $m \frac{d^2 x}{dt^2} + \gamma \frac{dx}{dt} + kx = 0$

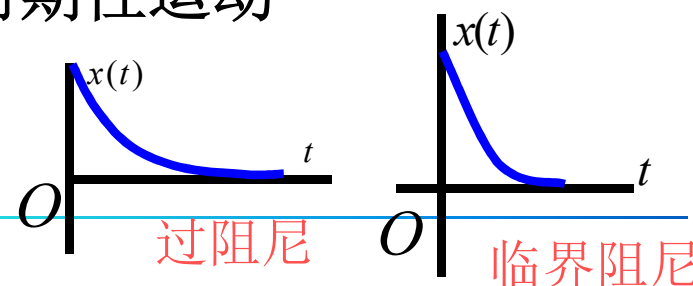
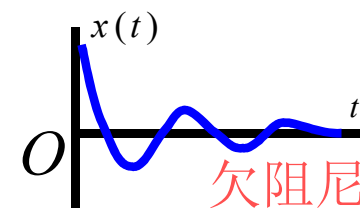
令 $\omega_0^2 = \frac{k}{m}, 2\beta = \frac{\gamma}{m}$, 则有 $\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0$

式中 ω_0 称为振动系统的固有角频率, β 称为阻尼常量。

当 $\beta^2 < \omega_0^2$ 时, 阻尼较小, 一种准周期性运动

当 $\beta^2 > \omega_0^2$ 时, 即过阻尼, 不再是周期性运动

当 $\beta^2 = \omega_0^2$ 时, 处于临界阻尼状态



第四章 振动和波动

六、受迫振动(forced vibration)

在周期性外力作用下发生的振动，称为**受迫振动**。

引起受迫振动的周期性外力称为**驱动力**。

$$x = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha) + A \cos(\omega' t - \psi)$$

阻尼振动

简谐振动

$$\psi = \arctan \frac{2\beta\omega'}{\omega_0^2 - \omega'^2} \quad A = \frac{h}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega'^2)^2 + 4\beta^2\omega'^2}}$$

受迫振动的初相位 ψ 和振幅 A 不仅与振动系统自身的性质有关，而且与驱动力的频率和幅度有关。

第四章 振动和波动

共振(resonance)

当驱动力角频率接近系统的固有角频率时，受迫振动振幅急剧增大的现象，称为共振。振幅达到最大值时的角频率称为共振角频率。

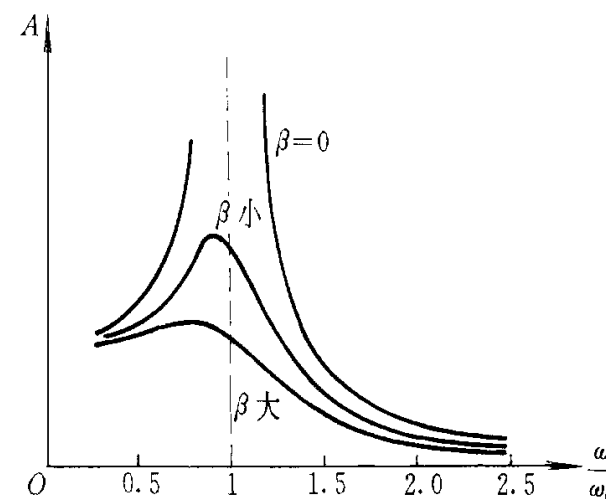
对(7)式求极大值得共振角频率为

$$\omega_r = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2} \quad (8)$$

可见，系统的共振角频率既与系统自身的性质有关，也与阻尼常量有关。

共振时振幅峰值为

$$A_r = \frac{h}{2\beta\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}$$



第四章 振动和波动

一、波的产生和传播

弹性介质和波源

二、横波(transverse wave)和纵波(longitudinal wave)

横波：垂直 纵波：平行

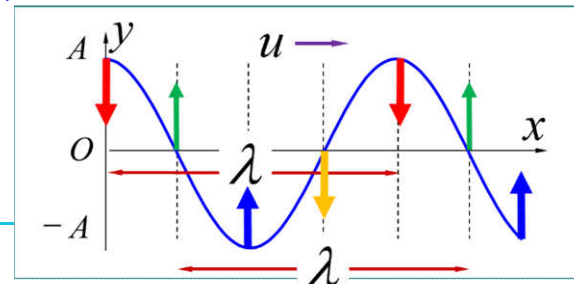
三、波线和波面

波线-从波源沿各传播方向所画的带箭头的线。

波面-所有振动相位相同的点连成的面。

四、波速、波长以及波的周期和频率

$$v = \frac{1}{T} \quad u = v\lambda = \frac{\lambda}{T}$$



第四章 振动和波动

一、平面简谐波的表示

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

各质元相对平衡位置的位移

波线上各质元平衡位置

波函数

$$y = A \cos \left[w \left(t - \frac{x}{u} \right) + \varphi \right]$$

U沿x轴正向

$$y = A \cos \left[w \left(t + \frac{x}{u} \right) + \varphi \right]$$

U沿x轴负向

第四章 振动和波动

一、波的干涉现象和规律

相干条件： 频率相同、振动方向相同、相位差恒定。

$$y = y_1 + y_2 = A \cos(\omega t + \varphi)$$

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1 - 2\pi \frac{r_2 - r_1}{\lambda})}$$

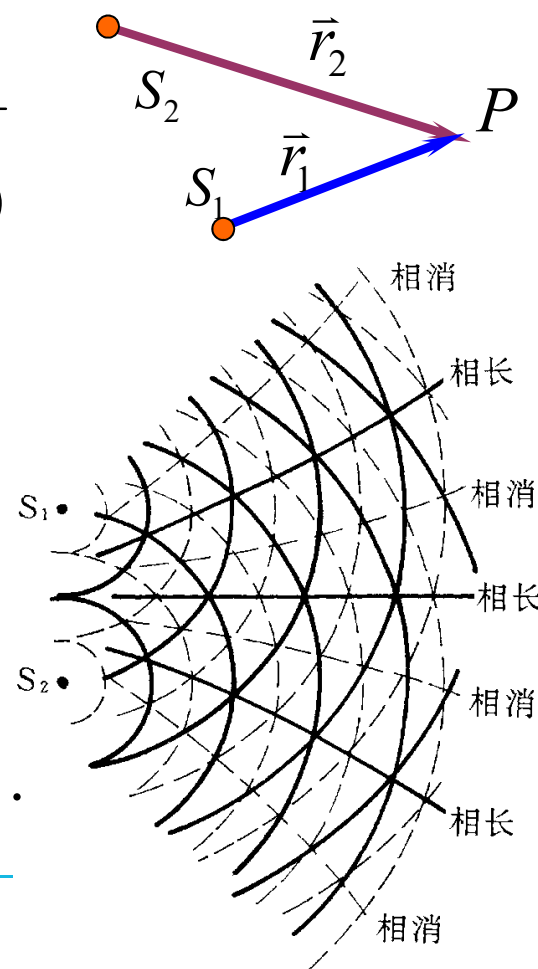
$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 - 2\pi \frac{r_2 - r_1}{\lambda}$$

若 $\varphi_1 = \varphi_2$ ，则有

干涉相长： $\delta = r_1 - r_2 = \pm 2k \frac{\lambda}{2}, k = 0, 1, 2, \dots$

干涉相消： $\delta = r_1 - r_2 = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, k = 0, 1, 2, \dots$

δ 称为波程差。



第五章 气体和液体的基本性质

基本要求:

- 1 理解并掌握理想气体的平衡态、气体物态方程
- 2 理解并掌握自由度、能量均分定理
- 3 理解并掌握理想气体内能的计算方法
- 4 理解麦克斯韦方程、三种速率

第五章 气体和液体的基本性质

5-1 气体动理论和理想气体模型

一、理想气体的模型

1. 构成理想气体系统的分子是具有一定质量的单个质点或多个质点的某种组合。
2. 视为质点的气体分子遵从牛顿运动定律。
3. 气体分子之间和分子与容器器壁分子之间，除以碰撞的形式发生相互作用外，不存在分子力的相互作用。
4. 气体分子之间以及气体分子与容器器壁分子之间的碰撞都是完全弹性碰撞，因而碰撞前、后不但动量守恒，而且动能也保持不变。

第五章 气体和液体的基本性质

二、理想气体状态的描述

1. 气体系统的平衡态---热动平衡态

一个稳定的、其宏观性质不随时间变化的状态

2. 态参量

$$V \quad p \quad T \quad t = T - 273.15$$

3. 理想气体物态方程

$$pV = \frac{m}{M}RT \quad \text{或} \quad pV = \nu RT$$

$$p = nkT \quad pV = NkT$$

第五章 气体和液体的基本性质

5-2 理想气体的内能

气体动理论观点：**内能是系统内大量分子作热运动所具有的能量。**

运动形式：平动、转动和分子内原子之间的振动。

一、分子运动自由度

自由度是指决定一个分子在空间的位置所需要的独立坐标数目

t :平动自由度; r :转动自由度; s : 振动自由度

单原子分子(自由运动质点): $t = 3$

刚性双原子分子: $t = 3, r = 2$ $i = t + r + s$

~~非刚性双原子分子: $t = 3, r = 2, s = 1$~~

第五章 气体和液体的基本性质

二、 能量均分定理

$$\overline{\varepsilon_k} = \frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{3}{2} kT$$

能量按自由度均分定理：每一个自由度平均动能都应相等，等于 $kT/2$

三、理想气体的内能

分子的平均能量：
$$\overline{\varepsilon} = \frac{1}{2} (t + r + 2s) kT = \frac{1}{2} (i + s) kT$$

理想气体的内能：
$$U = \frac{m}{M} N_0 \overline{\varepsilon} = \frac{m}{M} \frac{1}{2} (i + s) RT$$

第五章 气体和液体的基本性质

5-3麦克斯韦速率分布律

速率分布函数 $\cdots$ $f(v) = \frac{dN}{N \cdot dv}$

最概然速率 v_p $v_p = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = 1.41 \sqrt{\frac{RT}{M}}$

平均速率 $\bar{v}$ $\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = 1.60 \sqrt{\frac{RT}{M}}$

方均根速率 $\sqrt{v^2}$ $\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = 1.73 \sqrt{\frac{RT}{M}}$

第5章 气体和液体的基本性质

例1 求在标准状态下， 1 m^3 的体积内所包含的气体分子数目。

解 当温度和压强一定时，任何气体单位体积内所包含的分子数目都相等。

$$\because p = nkT \quad \therefore n_0 = \frac{p_0}{kT_0}$$

将标准状态的条件($p_0=1.01325\times 10^5\text{ Pa}$, $T_0=273.15\text{ K}$)
代入上式，得

$$n_0 = \frac{1.01325 \times 10^5}{1.380658 \times 10^{-23} \times 273.15} \text{ m}^{-3} = 2.68676 \times 10^{25} \text{ m}^{-3}$$

n_0 通常称为洛施密特常量。

第五章 气体和液体的基本性质

例1 一容器内贮存有氧气0.100kg，压强为10.0atm，温度为47°C，现在放掉一部分气体后，系统的压强变为原来的5/8，温度降为27°C。求放气后系统的内能。（假设为理想气体，能量均分定理适用）。

解 根据放气前的已知条件，求出容器的体积 V

$$V = \frac{m}{M} \frac{RT}{p} = \frac{0.100 \times 8.31 \times (273 + 47)}{0.0320 \times 10 \times 1.013 \times 10^5} \text{m}^3 = 8.20 \times 10^{-3} \text{m}^3$$

根据放气后的已知条件求出容器内剩下的气体质量 m'

$$\begin{aligned} m' &= \frac{Mp'V}{RT'} = \frac{0.0320 \times (5/8) \times 10.0 \times 1.013 \times 10^5 \times 8.20 \times 10^{-3}}{8.31 \times (273 + 27)} \text{kg} \\ &= 66.6 \times 10^{-3} \text{kg} \end{aligned}$$

第五章 气体和液体的基本性质

可根据内能公式求出放气后系统的内能

$$U = \frac{m'}{M} \frac{i + s}{2} RT'$$

对双原子分子: $i = 6, s = 1$

将 $m' = 6.66 \times 10^{-2} \text{ kg}, T' = 300 \text{ K}$

一起代入上式, 得

$$U = \frac{66.6 \times 10^{-3} \times 7 \times 8.31 \times 300}{0.0320 \times 2} \text{ J} = 1.82 \times 10^4 \text{ J}$$