

• 全国硕士研究生入学考试 •

# 张三慧 《大学物理学》

## 冲刺串讲及模拟四套卷精讲

主讲老师：张艳朝



关注考试点官方微博：

<http://weibo.com/kaoshidian>

意见及建议也可发送邮件至：[service@kaoshidian.com](mailto:service@kaoshidian.com)



客服电话请拨打：

**400-6885-365**

周一至周日：8:00-24:00

## 目 录

冲刺串讲一 ..... 1

冲刺串讲二 ..... 7

冲刺串讲三 ..... 14

冲刺串讲四 ..... 18

冲刺串讲五 ..... 27

模拟第一套卷 ..... 37

模拟第二套卷 ..... 44

模拟第三套卷 ..... 48

模拟第四套卷 ..... 52

## 冲刺串讲一

## 力学(含振动)

## 一、基本内容:

## 1. 运动学

位矢:  $\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$ ,  $d\mathbf{r} = dx\mathbf{i} + dy\mathbf{j} + dz\mathbf{k}$ ,  $|d\mathbf{r}| \neq dr$ .

位移:  $\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t) = \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} + \Delta z\mathbf{k}$ . 一般地:  $|\Delta\mathbf{r}| \neq \Delta r$

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

$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{d\mathbf{r}}{ds} \frac{ds}{dt} = \frac{ds}{dt} \vec{e}_t$ .

$\vec{e}_t = \frac{d\mathbf{r}}{ds}$  是轨道切线方向的单位矢量.

加速度:

$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{dv_x}{dt}\mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt}\mathbf{j} + \frac{dv_z}{dt}\mathbf{k} = \frac{d^2x}{dt^2}\mathbf{i} + \frac{d^2y}{dt^2}\mathbf{j} + \frac{d^2z}{dt^2}\mathbf{k} = a_x\mathbf{i} + a_y\mathbf{j} + a_z\mathbf{k}$ ,

$\mathbf{v}(t) = \mathbf{v}_0 + \int_0^t \mathbf{a}(t) dt$

$\mathbf{r}(t) = \mathbf{r}_0 + \mathbf{v}_0 t + \int_0^t [\int_0^{t'} \mathbf{a}(t'') dt''] dt'$

$v(t)^2 - v_0^2 = 2 \int_{\mathbf{r}_0}^{\mathbf{r}(t)} \mathbf{a}(\mathbf{r}) \cdot d\mathbf{r}$

若是一维且  $\mathbf{a} = \text{常数}$ , 则

$v(t) = v_0 + at$ ,  $x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$ .

$v(t)^2 - v_0^2 = 2a[x(t) - x_0] = 2a\Delta x$ .

相对运动 - 伽利略速度变换:

参考系 V 相对于参考系 E 以速度  $\mathbf{v}_{VE}$  作平动, 一质点在 E 系和 V 系中的位矢分别为  $\mathbf{r}_{SE}$  和  $\mathbf{r}_{SV}$ ,

则:  $\mathbf{r}_{SE} = \mathbf{r}_{VE} + \mathbf{r}_{SV}$ ,  $\Delta\mathbf{r}_{SE} = \Delta\mathbf{r}_{VE} + \Delta\mathbf{r}_{SV}$ ,  $\mathbf{v}_{SE} = \mathbf{v}_{VE} + \mathbf{v}_{SV}$ ,  $\mathbf{a}_{SE} = \mathbf{a}_{VE} + \mathbf{a}_{SV}$ .

圆周运动和一般曲线运动:

角速度:  $\omega = \frac{d\theta}{dt}$ ,  $\omega$  与实际转动方向成右手系.

角加速度:  $\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$ .

速度:  $\mathbf{v} = r\omega\vec{e}_t = \omega \times \mathbf{r}$ ,  $\vec{e}_t$  是切线方向的单位矢量.



$$v = |\mathbf{v}| = r\omega = r \frac{d\theta}{dt} = \frac{d(r\theta)}{dt} = \frac{ds}{dt}$$

加速度:  $\mathbf{a} = \boldsymbol{\alpha} \times \mathbf{r} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v} = \mathbf{a}_t + \mathbf{a}_n$

切向加速度:  $\mathbf{a}_t = r\alpha \vec{e}_t = \boldsymbol{\alpha} \times \mathbf{r}$ ,  $a_t = |\mathbf{a}_t| = r\alpha = \frac{d(r\omega)}{dt} = \frac{dv}{dt}$

法向加速度:  $\mathbf{a}_n = -\omega^2 \mathbf{r} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v}$ ,  $a_n = |\mathbf{a}_n| = r\omega^2 = \frac{v^2}{r}$

$$a = |\mathbf{a}| = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = \sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{r}\right)^2}$$

一般曲线运动:  $a_t = \frac{dv}{dt}$ ,  $a_n = \frac{v^2}{\rho}$

质心:  $\mathbf{r}_c = \frac{\sum_i m_i \mathbf{r}_i}{m}$ ,  $\mathbf{r}_c = \frac{\int \mathbf{r} dm}{m}$ ,  $m = \int dm$

$$\mathbf{v}_c = \frac{d\mathbf{r}_c}{dt} = \frac{\sum_i m_i \mathbf{v}_i}{m}$$

简谐振动:

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

$$v = -\omega A \sin(\omega t + \phi) = v_m \cos(\omega t + \phi + \frac{\pi}{2}),$$

$$a = -\omega^2 A \cos(\omega t + \phi) = -\omega^2 x$$

同频率简谐振动的合成:

$$x = x_1 + x_2 = A_1 \cos(\omega t + \phi_1) + A_2 \cos(\omega t + \phi_2) = A \cos(\omega t + \phi)$$

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos(\phi_2 - \phi_1)}$$

$$\tan \phi = \frac{A_1 \sin \phi_1 + A_2 \sin \phi_2}{A_1 \cos \phi_1 + A_2 \cos \phi_2}$$

相互垂直的同频率简谐振动的合成:

$$x = A_x \cos(\omega t + \phi_x), \quad y = A_y \cos(\omega t + \phi_y)$$

同相:  $\phi_y - \phi_x = 0$ ,  $\frac{y}{x} = \frac{A_y}{A_x} > 0$ , 通过原点斜率为正的直线段;

反相:  $\phi_y - \phi_x = \pi$ ,  $\frac{y}{x} = -\frac{A_y}{A_x} < 0$ , 通过原点斜率为负的直线段;

$\phi_y - \phi_x = \pi/2(3\pi/2)$ , 右(左)旋的椭圆;

$\phi_y - \phi_x$  为其它值, 斜置的椭圆.

## 2. 动力学

牛顿定律:

第一定律: 惯性、力、惯性参考系;

$$\text{第二定律: } \mathbf{F} = \frac{d\mathbf{P}}{dt} = \frac{d(m\mathbf{v})}{dt} = \frac{dm}{dt}\mathbf{v} + m\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{dm}{dt}\mathbf{v} + m\mathbf{a}$$

第三定律: 作用力和反作用力

常见的几种力:  $F = mg$ ,

$$F = -kx,$$

$$f_k = \mu_k N, \quad f_s \leq f_{s,max} = \mu_s N,$$

$$\mathbf{F} = -\frac{Gm_1m_2}{r^3}\mathbf{r}.$$

动量定理:  $d\mathbf{I} = \mathbf{F}dt = d\mathbf{p} = d(m\mathbf{v})$ ,

$$\mathbf{I} = \int_{t_0}^{t'} \mathbf{F}dt = \int_{\mathbf{p}_0}^{\mathbf{p}'} d\mathbf{p} = \Delta\mathbf{p}$$

$\mathbf{F}_{out.} = 0 \implies \Delta\mathbf{p} = 0$ . (动量守恒定律)

火箭: 相对于火箭的喷汽速率为  $u$ ,  $v_f - v_i = u \ln \frac{M_i}{M_f}$ .

火箭发动机的推力:  $F = u \frac{dm}{dt}$ .

质心: 总动量:  $\mathbf{p} = m\mathbf{v}_c = \sum_i m_i \mathbf{v}_i$ .

$\mathbf{F} = \frac{d\mathbf{p}}{dt} = m \frac{d\mathbf{v}_c}{dt} = m\mathbf{a}_c$ .  $\mathbf{F}$  为质点系所受合外力.

角动量(动量矩):  $\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{p} = \mathbf{r} \times m\mathbf{v}$ . 力矩:  $\mathbf{M} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$ .

角动量定理:  $\frac{d\mathbf{L}}{dt} = \mathbf{M}$ .  $\mathbf{M} = 0 \implies \mathbf{L} = \text{常矢量}$ .

功、势能、保守力和动能

$$dA = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} = F_x dx + F_y dy + F_z dz = F|\mathbf{dr}| \cos \phi = F_t ds.$$

$$A_{AB} = \int_{(A)}^{(B)} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} = \int_{x_a}^{x_b} F_x dx + \int_{y_a}^{y_b} F_y dy + \int_{z_a}^{z_b} F_z dz = \int_{(A)}^{(B)} F_t ds.$$

重力的功:  $A_g = mg(h_A - h_B)$ .

弹簧弹力的功:  $A_{ela} = \frac{1}{2}kx_A^2 - \frac{1}{2}kx_B^2$ .

万有引力的功:  $A_{AB} = G m_1 m_2 \left( \frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right)$ .

保守力: 做功与路径无关, 只决定于系统的始末位置, 或: 物体沿闭合路径移动一周时, 力做的功为零.

势能:  $E_{p(A)} = \int_{(A)}^{p_0} \mathbf{F}_{cons} \cdot d\mathbf{r}$   $E_{p^{p_0}} = 0$ .



$$E_p = mgh, \quad E_p = \frac{1}{2}kx^2, \quad E_p = -\frac{Gm_1m_2}{r}$$

保守力的功:  $A_{AB} = -\Delta E_p = E_{pA} - E_{pB}$

保守力与势能:  $\mathbf{F} = F_x\mathbf{i} + F_y\mathbf{j} + F_z\mathbf{k} = -\left(\frac{\partial E_p}{\partial x}\mathbf{i} + \frac{\partial E_p}{\partial y}\mathbf{j} + \frac{\partial E_p}{\partial z}\mathbf{k}\right) = -\nabla E_p = -\text{grad}E_p$

动能定理:

$$A_{AB} = \int_{v_A}^{v_B} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = E_{kB} - E_{kA} = \Delta E_k$$

$$A = \int_{\theta_1}^{\theta_2} M d\theta = \frac{1}{2}J\omega_2^2 - \frac{1}{2}J\omega_1^2 = E_{k2} - E_{k1} = \Delta E_k, \quad E_k = \frac{1}{2}J\omega^2$$

机械能:  $E = E_k + E_p, \quad A_{ex} + A_{in,n-cons} = 0, \Rightarrow E_A = E_B$

碰撞: 完全非弹性碰撞:  $m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = (m_1 + m_2)\mathbf{v}, \mathbf{v} = \frac{m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2}{m_1 + m_2}$

(完全)弹性碰撞:

$$m_1\mathbf{v}_{10} + m_2\mathbf{v}_{20} = m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2, \\ \frac{1}{2}m_1v_{10}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{20}^2 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2,$$

非完全弹性碰撞  $e = \frac{v_2 - v_1}{v_{10} - v_{20}}, \quad e$ : 恢复系数.

$$m_1v_{10} + m_2v_{20} = m_1v_1 + m_2v_2$$

$$v_1 = v_{10} - \frac{(1+e)m_2(v_{10} - v_{20})}{m_1 + m_2}$$

$$v_2 = v_{20} + \frac{(1+e)m_1(v_{10} - v_{20})}{m_1 + m_2}$$

刚体:  $M = J\alpha, \quad M_c = J_c\alpha, \quad J_z = \sum \Delta m_i r_i^2 \Rightarrow \int_{\text{rigid}} r^2 dm, \quad J = J_c + md^2$

流体: 伯努利方程:  $p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{常量}$

振动:

弹簧子(m, k):  $F = -kx = ma, \quad \frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2x = 0, \quad (\omega = \sqrt{\frac{k}{m}})$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}, \quad v = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$A = \sqrt{x_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega^2}}, \quad \phi = \arctan\left(-\frac{v_0}{\omega x_0}\right)$$

单摆(摆长 $l$ , 小角度):  $\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{g}{l}\theta, \quad \omega = \sqrt{\frac{g}{l}}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

在稳定平衡位置附近的微小振动:  $k = \left( \frac{d^2 E_p}{dx^2} \right)_{x=x_0}$ ,  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ .

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \phi)$$

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2 \cos^2(\omega t + \phi) = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \cos^2(\omega t + \phi)$$

$$E = E_k + E_p = \frac{1}{2}m \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 + \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2$$

$$\bar{E}_k = \bar{E}_p = \frac{1}{2}E = \frac{1}{4}kA^2.$$

## 二、重点和难点:

1. 用牛顿定律和转动定律解题,求谐振动的动力学方程;
2. 动量定理,动能定理,角动量定理,功能原理,动量守恒定律,角动量守恒定律,机械能守恒定律综合应用.

## 三、解力学问题的一般方法和应注意的问题:

1. 认真审题,明确题给的已知量和要求的量.做到心中有数,目标明确.
2. 根据问题建立适当的坐标系,其原则是:尽可能取一些已知的矢量为坐标轴的方向,或尽可能使一些矢量在某坐标轴方向的投影为零,简化计算.如对斜面问题,通常取两坐标轴的方向分别沿斜面和垂直斜面,使斜面与物体之间的正压力在斜面方向投影为零.对简谐振动,常取系统的平衡位置为坐标原点.坐标系建立之后,已知的矢量沿各坐标轴的分量的正负即以确定.对要求的矢量的分量,一律以坐标轴正向为其正方向.

3. 熟练应用矢量点乘和叉乘公式,如

$\vec{A} \cdot d\vec{A} = AdA$ , ( $A = |\vec{A}|$ ,  $dA = d|\vec{A}| \neq |d\vec{A}|$ ), 此式的两个直接应用是  $\vec{v} \cdot d\vec{v} = vdv$ ,  $\vec{r} \cdot d\vec{r} = r dr$ , 非常有用. 求功时,作好力沿曲线的积分. 注意应用

$$a(x) = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} = v \frac{dv}{dx} \text{ 等数学技巧.}$$

4. 对振动的运动学问题,将已知的位移表达式与振动的标准表达式比较可得振动问题的三要素: 振幅,圆频率(频率,周期)和初相. 注意用旋转矢量图定初位相. 对振动的合成,注意相位差,直接套公式.

5. 对动力学问题,坐标系建立之后,若涉及转动,要规定力矩的正方向. 作隔离体图,一个不漏地分析力,注意利用辅助关系,然后用牛顿定律和转动定律列方程求解. 求解动力学微分方程,注意用分离变量法,然后积分.

6. 对刚体,求转动惯量时,除直接利用已知刚体的转动惯量公式,要利用转动惯量的可加性和平行轴定理. 同一问题中所涉及的角(加)速度,力矩,动量矩和转动惯量必须对同一轴而言. 注意刚体的



有关量和公式与质点有关量和力学公式的对应.

7. 关于取近似: 打击碰撞问题中, 一些常力可忽略. 对微小振动, 可忽略回复力的非线性项, 以得到谐振动.

8. 解力学题时首先考虑能否用机械能守恒定律, 其次考虑能否用动量或角动量守恒定律, 或联合应用这些定律. 最后一招才是牛顿运动定律和转动定律. 运用各种守恒定律时, 一定要检查各种守恒条件是否满足. 解打击碰撞问题常用动量或角动量守恒定律, 前者用于平动问题, 而后者用于转动问题.

动能定理涉及功的计算, 要注意功是过程量, 与积分路径有关. 动量定理涉及冲量的计算. 冲量是矢量. 从动量的增量可得冲量(含方向), 从冲量也可得动量改变量. 对复杂问题, 用分量式. 简单问题可直接用矢量解之. 用动量矩定理解题与用动量定理的方法基本相同, 但要注意问题中的力矩, 动量矩必须对同一点(轴)而言. 在确定系统可用某一守恒定律后, 要正确写出守恒定律中所涉及的系统初末状态的物理量. 计算势能要选好参考点. 要区分动量守恒定律和角动量守恒定律的条件, 即系统(刚体)所受合外力为零时系统的动量守恒, 而系统所受合外力矩为零时系统的角动量守恒. 系统所受合外力为零时其所受合外力矩不一定为零, 反之, 系统所受合外力矩为零时其所受合外力也不一定为零.

9. 对要做数值计算的题目, 要注意单位的统一与换算, 同时注意计算精度.

## 冲刺串讲二

### 电磁学

电磁学常用的积分公式:

$$\int \frac{dx}{(x^2 \pm a^2)^{3/2}} = \frac{x}{\pm a^2 \sqrt{x^2 \pm a^2}} + C,$$

$$\int \frac{xdx}{(x^2 \pm a^2)^{3/2}} = -\frac{1}{\sqrt{x^2 \pm a^2}} + C.$$

#### 一、基本内容:

##### 1. 电场

电场强度:  $\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q}$ , 电场中任意点的电场强度等于位于该点的单位正电荷所受的电场力.

点电荷的电场:  $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^3} \mathbf{r}$

电场强度叠加原理:  $\mathbf{E} = \sum_{i=1}^n \mathbf{E}_i, \quad \mathbf{E} = \int d\mathbf{E} = \int \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^3} \mathbf{r}.$

##### 2. 电势:

静电场的环路定理:  $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0.$

电势和电势差(电压):  $\varphi(p) = \int_p^{(p_0)} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r}, (\varphi(p_0) = 0)$  (场强积分法)

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \int_{p_1}^{(p_2)} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r}.$$

点电荷的电势:  $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}, \varphi(\infty) = 0.$

电势叠加原理:  $\varphi = \sum \varphi_i, \quad \varphi = \int \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r} (\varphi(\infty) = 0).$

电势梯度:  $E = -\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z} \mathbf{k}\right) = -\text{grad}\varphi = \nabla\varphi$

电荷在外电场中的电势能:

$$W = q_0\varphi, A_{12} = W_1 - W_2 = q_0(\varphi_1 - \varphi_2) = -q_0\Delta\varphi$$

静电能:  $W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i \varphi_i, \quad W = \frac{1}{2} \int \varphi dq$

电场能量:  $w_e = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2, \quad W = \int_V w_e dV = \int_V \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 dV.$



### 3. 导体和电介质:

导体:  $\mathbf{E}_{in} = 0$ ,  $\mathbf{E}_s \perp$  导体表面. 导体是等势体.

电荷: 导体内无净电荷, 电荷只能分布在导体表面.  $\sigma = \epsilon_0 E$

腔内无电荷时, 电荷只能分布在导体外表面;

腔内有电荷时, 腔内电荷和内表面电荷代数和为 0.

面电荷密度与导体表面曲率有关. 曲率越大的地方, 面电荷密度也越大.

电介质:  $\mathbf{p} = q\mathbf{l}$ . 有极分子; 无极分子

电极化强度:  $\mathbf{P} = \epsilon_0(\epsilon_r - 1)\mathbf{E} = \epsilon_0\chi_e\mathbf{E}$ .

$\epsilon_r$ : 相对介电常数;  $\chi_e$ : 电极化率.

面束缚电荷:  $\sigma' = \mathbf{P} \cdot \mathbf{e}_n$ .

体束缚电荷:  $q'_{in} = - \oint_S \mathbf{P} \cdot d\mathbf{S}$ . ( $\rho' = -\nabla \cdot \mathbf{P}$ )

### 4. 高斯定律:

电通量:  $\Phi_e = \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$ ,  $\Phi_e = \oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$ .

电位移矢量:  $\mathbf{D} = \epsilon_0\mathbf{E} + \mathbf{P} = \epsilon_0\epsilon_r\mathbf{E} = \epsilon\mathbf{E}$ ,  $\epsilon = \epsilon_0\epsilon_r$ .

$\Phi_e = \oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum q_{in} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum (q_{oin} + q'_{in})$ .

$\oint \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = \sum q_{oin}$ , ( $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{1}{\epsilon} \sum q_{oin}$ )

静电场的边界条件:  $E_{1t} = E_{2t}$ ,  $D_{1n} = D_{2n}$ .

5. 电容:  $C = \frac{Q}{U}$ .  $C = \frac{\epsilon_0\epsilon_r S}{d}$ ,  $C = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon_r R_1 R_2}{R_2 - R_1}$ ,  $C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r L}{\ln(R_2/R_1)}$ .

串  $\frac{1}{C} = \sum \frac{1}{C_i}$ , 相接的极板电荷等值反号;

并  $C = \sum C_i$ , 各电容器电压相等。

电容器的能量:  $W = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}QU$ .

介质中的电场能量密度:  $w_e = \frac{\epsilon_0\epsilon_r E^2}{2} = \frac{1}{2}\mathbf{D} \cdot \mathbf{E}$ .

### 6. 典型带电系统产生的电场和电势:

均匀带电直线产生的电场。

$E_x = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 x} (\cos \beta_1 - \cos \beta_2)$ ,  $E_y = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 x} (\sin \beta_2 - \sin \beta_1)$ .

无限长均匀带电直线产生的电场:  $E_x = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 x}$ .

无限大均匀带电平面外的电场:  $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ .

均匀带电细圆环轴线上的电场 ( $R, q > 0$ ):  $E = \frac{qx}{4\pi\epsilon_0(R^2 + x^2)^{3/2}}$ .

电势:  $V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\sqrt{R^2 + x^2}}$ .

均匀带电球面内外的电场 ( $R, \sigma$ ):  $E = \begin{cases} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}, & r \geq R \\ 0, & r < R. \end{cases}$

电势:  $V = \begin{cases} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}, & r \geq R, \\ \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R}, & r \leq R. \end{cases}$

均匀带电球体内外的电场 ( $R, q$ ):  $\mathbf{E} = \begin{cases} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^3} \mathbf{r} = \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0 r^3} \mathbf{r}, & r \geq R \\ \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^3} \mathbf{r} = \frac{\rho}{3\epsilon_0} \mathbf{r}, & r < R. \end{cases}$

7. 恒定电流:  $\mathbf{J} = nq\mathbf{v}$ ,  $I = \int_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S}$ .  $\oint_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S} = 0$ .

电动势:  $\mathcal{E} = \int_{(-)}^{(+)} \mathbf{E}_k \cdot d\mathbf{l}$ ,  $\mathcal{E} = \oint_L \mathbf{E}_k \cdot d\mathbf{l}$ .

欧姆定律:  $U = IR$ ,  $\mathbf{J} = \sigma\mathbf{E}$  (微分形式),

全电路欧姆定律:  $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$ ,  $r$  为电源内阻.

电阻:  $R = \rho \frac{l}{S} = \frac{l}{\sigma S}$ ,  $\sigma$  叫电导率,  $\rho$  叫电阻率.

基尔霍夫定律:  $\sum I_i = 0$ ,  $\sum(\mp \mathcal{E}_i) + \sum(\pm I_i R_i) = 0$ .

电容器充放电: 充电:  $q = C\mathcal{E}(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$ ,  $i = \frac{dq}{dt} = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$ .

放电:  $q = Qe^{-\frac{t}{RC}}$ ,  $i = -\frac{dq}{dt} = \frac{Q}{RC} e^{-\frac{t}{RC}}$ .

$\tau = RC$ : 电路的时间常数.

焦耳定律:  $P = I^2 R$ ,

功率密度 (单位时间单位体积内电能转化的内能)  $p = \sigma E^2$ .

8. 磁场:  $d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I d\mathbf{l} \times \mathbf{e}_r}{4\pi r^2} = \frac{\mu_0 I d\mathbf{l} \times \mathbf{r}}{4\pi r^3}$ ,  $\mathbf{B} = \int_L \frac{\mu_0 I d\mathbf{l} \times \mathbf{r}}{4\pi r^3}$

磁通量:  $\Phi = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$ .

磁学高斯定律 (磁通连续定理):  $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$ .



典型磁场:

$$\text{直线电流: } B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2).$$

$$\text{圆电流轴线上一点的磁场: } B = \frac{\mu_0 R^2 I}{2r^3} = \frac{\mu_0 R^2 I}{2(R^2 + x^2)^{3/2}}.$$

$$\mathbf{m} = I S \mathbf{e}_n, \quad \mathbf{B} = \frac{\mu_0 \mathbf{m}}{2\pi r^3} = \frac{\mu_0 \mathbf{m}}{2\pi(R^2 + x^2)^{3/2}}.$$

$$\text{圆电流中心的磁场: } B = \frac{\mu_0 I}{2R}.$$

$$\text{圆心角为 } \theta \text{ 的弧形电流中心的磁场: } B = \frac{\mu_0 I \theta}{4\pi R}.$$

$$\text{螺线管轴线上一点的磁场: } B = \frac{\mu_0 n I}{2} (\cos \theta_2 - \cos \theta_1).$$

$$\text{无限长螺线管: } B = \mu_0 n I$$

$$\text{运动电荷的磁场: } \mathbf{B} = \frac{\mu_0 q \mathbf{v} \times \mathbf{e}_r}{4\pi r^2} = \frac{\mu_0 q \mathbf{v} \times \mathbf{r}}{4\pi r^3} = \frac{1}{c^2} \mathbf{v} \times \mathbf{E}.$$

9. 安培环路定理:

$$\oint_L \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \sum I_{in}.$$

$$\text{位移电流: } I_d = \varepsilon_0 \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \varepsilon_0 \frac{d\Phi_e}{dt} = \frac{d\Phi_D}{dt}.$$

$$\text{位移电流密度: } \mathbf{J}_d = \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}.$$

$$\text{位移电流的磁场: } \oint_L \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \varepsilon_0 \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = I_d.$$

$$\text{全电流: } I_t = I + I_d,$$

$$\text{普遍的安培环路定理: } \oint_L \mathbf{B} \cdot d\mathbf{r} = \mu_0 (I_c + I_d) = \mu_0 (I_c + \varepsilon_0 \frac{d\Phi_e}{dt}) = \mu_0 (I_c + \varepsilon_0 \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S}).$$

10. 洛伦兹力:  $\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}.$

$$\text{带电粒子在均匀磁场中的运动: } R = \frac{mv_{\perp}}{qB}, \quad T = \frac{2\pi m}{qB}, \quad h = \frac{2\pi m}{qb} v_{\parallel}.$$

$$\text{霍尔效应: } U_H = \frac{IB}{nqb}.$$

上式中  $n$  是载流子密度,  $b$  是导体沿磁场方向的宽度,  $H$  是导体同时垂直于磁场和电流方向的高度.

$$\text{安培力: } d\mathbf{F} = I d\mathbf{l} \times \mathbf{B}, \quad \mathbf{F} = \int_L I d\mathbf{l} \times \mathbf{B}. \quad (\text{分量式?})$$

## 11. 电偶极子和磁偶极子:

电偶极子:  $\mathbf{p} = ql$ .

$$\text{延长线上: } \mathbf{E} = \frac{2p}{4\pi\epsilon_0 r^3} \mathbf{i} = \frac{2\mathbf{p}}{4\pi\epsilon_0 r^3}.$$

$$\text{中垂线上: } \mathbf{E} = \frac{-ql}{4\pi\epsilon_0 r^3} = -\frac{\mathbf{p}}{4\pi\epsilon_0 r^3}.$$

均匀电场中的电偶极子:

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_+ + \mathbf{F}_- = q\mathbf{E} - q\mathbf{E} = 0. \quad \mathbf{M} = ql \times \mathbf{E} = \mathbf{p} \times \mathbf{E}.$$

电势能:  $W = -\mathbf{p} \cdot \mathbf{E}$ .均匀磁场中的载流线圈: 合力:  $\mathbf{F} = 0$ . 力矩:  $\mathbf{M} = \mathbf{m} \times \mathbf{B}$ ,磁矩:  $\mathbf{m} = I\mathbf{S} = ISe_n$ .磁势能:  $W_m = -\mathbf{m} \cdot \mathbf{B}$ . ( $\mathbf{m}$ 与 $\mathbf{B}$ 垂直时 $W_m = 0$ .)12. 磁介质: 顺磁质( $\mu_r > 1$ ), 抗磁质( $\mu_r < 1$ ), 铁磁质( $\mu_r \gg 1$ ).

$$\text{电子的轨道磁矩: } m = ISe_n = \frac{ev}{2\pi r} \pi r^2 e_n = -\frac{e}{2m_v} L$$

电子的自旋磁矩(玻尔磁子)

$$m_B = \frac{e}{m} S = \frac{e}{m} \hbar = 9.27 \times 10^{-24} \text{ J/T}.$$

固有磁矩: 顺磁质有, 抗磁质无.

$$\text{磁化强度: } \mathbf{M} = \frac{\sum m_i}{\Delta V} = \frac{\mu_r - 1}{\mu_0 \mu_r} \mathbf{B} = \chi_m \mathbf{H}. \quad \chi_m: \text{介质的磁化率}.$$

面束缚电流密度:  $\mathbf{j}' = \mathbf{M} \times \mathbf{e}_n$ , (与 $\sigma' = \mathbf{P} \cdot \mathbf{e}_n$ 比较) $\mathbf{e}_n$ 是介质表面的外法线方向的单位矢量.

$$\text{体束缚电流: } I' = \oint_L dI' = \oint_L \mathbf{M} \cdot d\mathbf{l}. \quad (\text{与 } q'_{in} = -\oint \mathbf{P} \cdot d\mathbf{S} \text{ 比较})$$

$$\text{磁场强度矢量: } \mathbf{H} = \frac{\mathbf{B}}{\mu_0} - \mathbf{M}, \quad \mathbf{H} = \frac{B}{\mu_0 \mu_r} = \frac{B}{\mu}.$$

$$\mathbf{H} \text{ 的环路定理: } \oint_L \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \sum I_{0in}. \quad (\text{恒定电流})$$

$$\oint_L \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu \sum I_{0in}, \quad \oint_L \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \sum I_{0in} \quad \oint_L \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 (\sum I_{0in} + I'_{in}).$$

磁场的边界条件:  $H_{1t} = H_{2t}, \quad B_{1n} = B_{2n}$ .

## 13. 法拉第电磁感应定律:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \left( \sum_{i=1}^n \Phi_i \right) = -\frac{d\psi}{dt}.$$

$$\text{动生电动势: } \mathcal{E}_{ab} = \int_a^b (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l}, \quad \mathcal{E} = \oint (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l}.$$



$$\text{感生电动势与感生电场: } \mathcal{E} = \oint \mathbf{E}_i \cdot d\mathbf{r} = -\frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}.$$

14. 麦克斯韦方程组 (真空中)

$$\oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = \sum_i q_i = \int_V \rho dV$$

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0;$$

$$\oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r} = -\frac{d\Phi_m}{dt} = -\int_S \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S},$$

$$\oint_L \mathbf{H} \cdot d\mathbf{r} = \sum(I_i + I_d) = \sum I_i + \frac{d\Phi_D}{dt} = \int_S (\mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}) \cdot d\mathbf{S}.$$

电磁波:  $\mathbf{E}, \mathbf{B}(\mathbf{H}), \mathbf{c}$  三者相互垂直且成右手系.

$$\sqrt{\epsilon} E = \sqrt{\mu} H, \quad \mathbf{B} = \frac{\mathbf{c} \times \mathbf{E}}{c^2}.$$

$$\text{能量密度: } w = w_e + w_m = \frac{\epsilon}{2} E^2 + \frac{B^2}{2\mu} = \frac{\epsilon}{2} E^2 + \frac{\mu}{2} H^2 = \epsilon E^2 = \frac{B^2}{\mu} = \frac{EH}{c}.$$

能流密度(坡印亭矢量):

$$\mathbf{S} = \frac{1}{\mu_0} \mathbf{E} \times \mathbf{B} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}. \quad \mathbf{s} = w\mathbf{c}.$$

$$\text{电磁波的强度: } I = \overline{S} = c\epsilon_0 \overline{E^2} = \frac{1}{2} c\epsilon_0 E_m^2$$

电磁波的动量, 辐射压力(光压)

$$\text{动量密度(单位体积中电磁波的动量): } \mathbf{p} = \frac{\omega}{c^2} \mathbf{c}.$$

绝对黑体受的垂直入射电磁波的辐射压强:

$$p_r = cp = \epsilon_0 E^2 = \omega.$$

完全反射的表面受的垂直入射电磁波的辐射压强

$$p = 2p_r = 2\omega.$$

**三、重点和难点: 电场强度, 电势, 磁感应强度(或磁场强度), 感应电动势的计算**

**四、解电磁学问题的一般方法和应注意的问题:**

求电荷系统在空间产生的电场和一定的电流分布在空间产生的磁场时, 首先考虑系统是否是简单系统(无限长均匀带电直线, 均匀带电球面或球体, 均匀带电圆环或圆盘, 无限大均匀带电平面, 直线电流, 圆形电流轴线上, (无限长)螺线管)的组合, 若是, 则可用相应的已知的简单问题的结果和叠加原理解之; 其次, 考虑问题是否具有对称性(球对称, 轴对称和面对称性), 若有, 则可用高斯定理求电场强度  $\vec{E}$  或电位移  $\vec{D}$ . 用安培环路定理求  $\vec{B}(\vec{H})$ . 用高斯定理和安培环路定理解题的关键是根据问题的对称性做“合适”的高斯面和安培回路, 以保证能把  $E(D)$  和  $B(H)$  提到积分号外. 第三, 对一般的带电或电流系统可根据点电荷的电场强度或电势, 毕萨定律, 电场强度或电势叠加原理, 磁场叠加原理求  $\vec{E}$  和  $\vec{B}$ . 这些方法的基本点是要正确地选取“电荷元”和“电流元”, 写出“电荷元”产生的电场和电势的表达式, “电流元”产生的磁场的表达式, 然后正确地进行积分. 求电势, 既可用“电势叠加

法”,也可用“场强积分法”.电势与其零点的选取有关,同一问题中的电势必须是对同一参考点而言.而求电场,除上边介绍的方法外,还可用电势梯度法( $\vec{E} = -\nabla V$ ).解电场电势问题,磁场问题,还可用“补偿法”,“镜像法”等.

解静电场中的导体问题,要牢记导体静电平衡时导体内电场强度必为零,整个导体是等势体,导体表面是等势面,导体外紧靠导体表面处的电场强度与导体表面垂直.导体内无净电荷,电荷只能分布在导体表面.对有腔导体,解题时要充分利用腔内电荷与内表面电荷的代数和为零这一性质.

对介质中的电场问题,要用含 $\vec{D}$ 的高斯定理,然后再根据 $\vec{D} = \epsilon\vec{E}$ 得到 $\vec{E}$ .要注意电介质的两种极化机理和极化(束缚)电荷的求法.同样对介质中的磁场问题,要用含 $\vec{H}$ 的高斯定理,然后再根据 $\vec{B} = \mu\vec{H}$ 得到 $\vec{B}$ .要注意磁介质磁化(束缚)电流的求法.对电容器,即可用电容的定义 $C = q/u$ 求 $C$ ,也可用电容器的能量公式 $w = \frac{1}{2}CU^2$ 求 $C$ .应记电容器的串并联公式.对电容器进行各种操作(改变尺寸,介质)时,不摘电源,电压不变,摘掉电源,总电荷不变.

无论动生还是感生电动势都可直接用法拉第电磁感应定律求解.用动生和感生电动势公式时,一定要规定好导体的正负端或回路的绕行方向,根据计算结果确定实际电动势的正负端或绕向,必要时可用楞次定律检验.



## 冲刺串讲三

# 气体动理论和热力学

### 一、基本内容:

#### 1. 平衡态, 压强, 温度和内能:

平衡态: 在不受外界影响的条件下, 气体所达到的状态参量不随时间变化的状态. 气体处于平衡态时, 气体中各部分的  $T, p, n$  都将趋于一致.

状态参量: 宏观描述系统平衡态的几个物理量. 理想气体的状态参量是  $P, V, T$ .

理想气体状态方程:  $PV = \nu RT = \frac{m}{M_{mol}} RT$ .  $P = nkT$ .

理想气体模型: 分子本身的限度比分子之间的平均距离小得多, 可以忽略不计; 除碰撞瞬间外, 分子之间和分子与容器壁之间均无相互作用; 分子不停地运动, 分子之间和分子与容器壁之间的碰撞频繁, 这些碰撞是弹性碰撞, 动能守恒; 分子的运动遵从经典力学规律

统计假设: 每个分子运动速度各不相同, 通过碰撞不断发生变化.

平衡态时忽略重力影响, 分子按位置分布均匀. 分子速度按方向的分布是均匀的. 推

论:  $\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} = \frac{1}{3}\overline{v^2}$ .

压强公式:  $p = \frac{1}{3}nm\overline{v^2} = \frac{2}{3}n\overline{\varepsilon_t}$ ,  $\overline{\varepsilon_t} = \frac{1}{2}m\overline{v^2}$ .

温度的微观统计意义:  $\overline{\varepsilon_t} = \frac{3}{2}kT$ , 温度是一个统计概念, 对少数分子无意义.

能量均分定理:  $\frac{1}{2}kT$ .  $\overline{\varepsilon_t} = \frac{3}{2}kT$ .  $\overline{\varepsilon_k} = \frac{i}{2}kT$ .

理想气体的内能:  $E = \frac{i}{2}\nu RT$ .

#### 2. 麦克斯韦速率分布律:

$f(v) = \frac{dN_v}{Ndv} = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} v^2 e^{-mv^2/2kT}$ ;  $\int_0^\infty f(v)dv = 1$ .

$v_p = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2RT}{M_{mol}}} = 1.41\sqrt{\frac{RT}{M_{mol}}}$ .

$f(v) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} v^2 e^{-mv^2/2kT} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} v_p^{-3} v^2 e^{-(\frac{v}{v_p})^2}$ .

$f(v_p) = \frac{4}{v_p e\sqrt{\pi}}$ .

$m$  不变,  $T \uparrow$ ,  $v_p \uparrow$ ,  $f(v_p) \downarrow$ , 曲线变得平坦些, 峰值右移;

$T$  不变,  $m \uparrow$ ,  $v_p \downarrow$ ,  $f(v_p) \uparrow$ , 曲线变得陡一些, 峰值左移.

$$\overline{F(v)}_{v_1, v_2} = \frac{\int F(v) dN}{N_{v_1 \rightarrow v_2}} = \frac{\int_{v_1}^{v_2} F(v) N f(v) dv}{\int_{v_1}^{v_2} N f(v) dv} = \frac{\int_{v_1}^{v_2} F(v) f(v) dv}{\int_{v_1}^{v_2} f(v) dv}.$$

$$\overline{F(v)} = \frac{\int_0^{\infty} F(v) N f(v) dv}{\int_0^{\infty} N f(v) dv} = \int_0^{\infty} F(v) f(v) dv.$$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M_{mol}}} = 1.6 \sqrt{\frac{RT}{M_{mol}}}.$$

$$v_{rms} = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M_{mol}}} = 1.73 \sqrt{\frac{RT}{M_{mol}}}, v_p < \bar{v} < \sqrt{\overline{v^2}}.$$

3. 热力学第一定律:  $Q = E_2 - E_1 + A = \Delta E + A$ ,  $dQ = dE + dA$ .

准静态过程及其功: 过程进行中的每一时刻, 系统的状态都无限地接近平衡态. 准静态过程可用状态图上的一条曲线表示(常用 PV 图).

$$\text{准静态过程的功: } dA = p dV, \quad A = \int_{V_1}^{V_2} p dV.$$

热容: 任意过程摩尔热容:  $C_{x,m} = \frac{1}{\nu} \left( \frac{dQ}{dT} \right)_x$

理想气体的摩尔热容:  $C_{V,m} = \frac{i}{2} R$ ,  $C_{p,m} = \frac{i+2}{2} R$

$$C_{p,m} - C_{V,m} = R, \quad \gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{C_{p,m}}{C_{V,m}} = \frac{i+2}{i}$$

	$i$	$C_{V,m}$	$C_{p,m}$	$\gamma$
单原子分子气体	3	$\frac{3}{2}R$	$\frac{5}{2}R$	$\frac{5}{3} = 1.67$
双原子分子气体	5	$\frac{5}{2}R$	$\frac{7}{2}R$	$\frac{7}{5} = 1.4$
刚性多原子分子	6	$\frac{6}{2}R = 3R$	$\frac{8}{2}R = 4R$	$\frac{4}{3} = 1.33$

等体过程:  $dV = 0$ .  $\frac{p}{T} = \text{Const.}$   $\Delta E = \nu C_{V,m} \Delta T = \frac{i}{2} \nu \Delta p = Q$ .

$$A = 0, \quad Q = \Delta E = \nu C_{V,m} \Delta T = \frac{i}{2} \nu \Delta p, \quad C_{V,m} = \frac{i}{2} R:$$

等压过程:  $dp = 0$ .  $\frac{V}{T} = \text{Const.}$   $\Delta E = \nu C_{V,m} \Delta T = \frac{i}{2} p \Delta V$ .  $A = p \Delta V = \nu R \Delta T$ .

$$Q = \nu C_{p,m} \Delta T = \frac{i+2}{2} p \Delta V.$$

$$C_p = \frac{i+2}{2} R.$$

等温过程:  $dT = 0$ .  $pV = \text{Const.}$   $\Delta E = 0$ .



$$A = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \nu RT \ln \frac{p_1}{p_2}, \quad Q = A, \quad C_T = \infty.$$

$$\text{绝热过程: } dQ = 0, \quad pV^\gamma = C_1, \quad TV^{\gamma-1} = C_2, \quad p^{\gamma-1}T^{-\gamma} = C_3.$$

$$A = -\Delta E = \frac{1}{\gamma-1}(p_1V_1 - p_2V_2).$$

$$Q = 0, \quad \Delta E = \frac{i}{2}\nu R\Delta T = \frac{i}{2}(p_2V_2 - p_1V_1), \quad C_Q = 0;$$

$p$ - $V$  图上, 绝热线比等温线陡.

4. 循环过程:  $\Delta E = 0$

$$\text{热(正)循环: } \eta = \frac{A}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}.$$

$$\text{致冷(逆)循环: } \omega = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}.$$

$$\text{卡诺循环: } \eta_c = 1 - \frac{T_2}{T_1}, \quad \omega_c = \frac{T_2}{T_1 - T_2}.$$

5. 可逆过程: 外界条件改变无穷小的量就可以使其反向进行的过程, 其结果是系统和外界能同时回到初态. 无摩擦的准静态过程才是可逆过程.

不可逆过程: 自然界的宏观过程都是不可逆的, 且不可逆性相互沟通. 不可逆过程的典型例子是: 功热转换, 热传导, 气体绝热自由膨胀.

热力学第二定律:

克劳休斯表述: 热量不能自动地由低温物体传向高温物体.

开尔文表述: 其惟一效果是热全部转变为功的过程是不可能的.

热力学第二定律的微观(统计)意义: 孤立系统中发生的一切实际过程都是从概率小(包含的微观态数少)的宏观态向概率大(包含的微观态数多)的宏观态进行,

熵: 热力学概率  $\Omega$ : 和同一宏观状态对应的可能微观状态数. 自然过程总是沿着向  $\Omega$  增大的方向进行. 平衡态相应于一定宏观条件下  $\Omega$  最大的状态.

玻尔兹曼熵:  $S = k \ln \Omega$  是玻尔兹曼常数.

熵增原理: 对孤立系统的各种自然过程,  $\Delta S > 0$ .

克劳休斯熵公式: 熵是系统平衡态的态函数.  $dS = \frac{dQ}{T}$  (可逆过程)

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \text{rev} \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

克劳休斯不等式: 对不可逆过程  $dS > \frac{dQ}{T}$

熵增原理:  $\Delta S \geq 0$  (孤立系统, 等号用于可逆过程)

三、重点和难点:压强公式,麦克斯韦速率分布律,热力学第一定律的应用,循环和卡诺循环,热力学第二定律.

四、解热力学问题的一般方法和应注意的问题:

1. 注意热力学温度  $T$  与摄氏温度  $t$  的换算,大气压 atm 与  $P_a$  的换算. 涉及分子数密度时用  $p = nkT$  推导压强公式的步骤大致如下:先求一个分子和器壁碰撞一次所受器壁的冲量,再求单位 ( $dt$ ) 时间内和  $dA$  面积的器壁碰撞的分子个数,下来求这么多分子所受器壁的总冲量,最后得压强

$$p = \frac{\bar{F}}{dA} = \frac{\bar{F}dt}{dAdt} = \frac{dI}{dtdA} \\ = \sum_i mn_i v_{ix}^2 = m \sum_i n_i v_{ix}^2 = nm\bar{v}_x^2 = \frac{1}{3}nm\bar{v}^2 = \frac{2}{3}n\bar{\epsilon}_t$$

2. 理解下列各式的物理意义:  $\frac{3}{2}kT$ ,  $\frac{i}{2}kT$ ,  $\frac{3}{2}RT$ ,  $\frac{i}{2}RT$ ,  $\frac{i}{2}\nu RT$ ;

$f(v)$ ,  $f(v)dv$ ,  $Nf(v)dv$ ,  $vNf(v)dv$ ,

$$\int_{v_1}^{v_2} f(v)dv, \int_{v_1}^{v_2} Nf(v)dv, \int_{v_1}^{v_2} vNf(v)dv,$$

$$\frac{\int_{v_1}^{v_2} v f(v)dv}{\int_{v_1}^{v_2} f(v)dv} = \frac{\int_{v_1}^{v_2} v N f(v)dv}{\int_{v_1}^{v_2} N f(v)dv} = \frac{\int_{v_1}^{v_2} v f(v)dv}{N_{v_1}^{v_2}} = \bar{v}_{v_1, v_2}.$$

注意速率分布曲线与分子量  $m$  和  $T$  的变化关系. 求含有麦克斯韦速率分布函数的积分时,若积分区间很小,则用近似.

3. 熟练掌握四种基本过程中  $\Delta E$ ,  $A$ ,  $Q$  的表达式. 任何过程的  $\Delta E = \nu_2^i R \Delta T$ , 只与初末态有关. 功  $A$  的绝对值等于过程曲线底下与  $v$  轴之间的面积.  $\Delta V > 0$  时,  $A > 0$  (系统对外做功, 正功), 反之,  $A < 0$  (外界对系统做功, 负功). 对等压过程, 既可用  $Q_p = \nu C_p \Delta T$  求  $Q$ , 也可用  $Q = \Delta E + p\Delta V$ . 计算这三个量时, 并不需要一些态参量的具体数值, 而只要知道各态参量之间的关系, 因而计算时, 往往选一个态作基准, 把其它态的参量用基准态的参量表示. 要记住  $R$  的数值.

4. 对循环  $\Delta E = 0$ . 求效率  $\eta$  和制冷系数  $\omega$  可用  $A$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$  中的任两个, 因而只要计算这三个中易求的任两个即可. 一次循环的功的绝对值等于循环曲线所包围的面积. 求  $Q$ , 首先要确定过程是吸热还是放热. 对卡诺循环,  $\eta$  和  $\omega$  仅与高低温热源的温度  $T_1$  和  $T_2$  有关.

5 理解热力学第二定律时, 要注意关键字“自动”, “惟一”和“全部”等. 要能根据热力学第二定律和不可逆性相互沟通性判定一个过程是否是可逆过程.



## 冲刺串讲四 波和光学

### 一、基本内容:

#### 1. 机械波

简谐波函数: 沿 x 轴正向传播的

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

$$y = A \cos\left[2\pi\nu\left(t - \frac{x}{u}\right) + \phi\right]$$

$$y = A \cos\left[2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) + \phi\right]$$

$$y = A \cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(ut - x) + \phi\right]$$

沿 x 轴负向传播的

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

$$y = A \cos\left[2\pi\nu\left(t + \frac{x}{u}\right) + \phi\right]$$

$$y = A \cos\left[2\pi\left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda}\right) + \phi\right]$$

$$y = A \cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(ut + x) + \phi\right]$$

简谐波特征量:  $A, \omega, \nu, T, \phi, \lambda, u$ .  $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{\nu}$ ,  $\lambda = \frac{u}{\nu} = uT$

波的能量:  $w_k = w_p = \frac{1}{2}\rho\omega^2 A^2 \sin^2\left[\omega\left(t - \frac{x}{u}\right) + \phi\right]$

平均能量密度  $\bar{w} = \overline{w_k + w_p} = \frac{1}{2}\rho\omega^2 A^2$ .

通过面积 S 的能流  $P = wuS = \rho u S \omega^2 A^2 \sin^2\left[\omega\left(t - \frac{x}{u}\right) + \phi\right]$

波的强度:  $I = \frac{\bar{P}}{S} = \bar{w}u = \frac{1}{2}\rho\omega^2 A^2 u$ .

声级:  $L = 10 \lg \frac{I}{I_0} (\text{分贝})$ ,  $I_0 = 10^{-12} \text{W/m}^2$   $\lg = \lg_{10}$ .

惠更斯原理: 介质中任一波振面上的各点, 都可以看作是发射子波的波源, 其后任一时刻, 这些子波的包迹就是新的波振面.

波的独立性和叠加原理:几列波可以保持各自的特点(频率,波长,振幅,振动方向等)同时通过同一介质,好像在各自的传播过程中没有遇到其他波一样,这叫波的独立性原理.在几列波相遇或叠加的区域内,任一点的位移为各个波单独在该点产生的位移的合成,这称为波的叠加原理.波的叠加原理仅适用于波的强度(振幅)小,即线性波的情况.

相干波的叠加:相干波:频率相同,振动方向相同,相位差恒定.

$$\text{叠加: } y_1 = A_1 \cos(\omega t - 2\pi \frac{r_1}{\lambda} + \phi_1)$$

$$y_2 = A_2 \cos(\omega t - 2\pi \frac{r_2}{\lambda} + \phi_2)$$

$$y = A \cos(\omega t + \phi)$$

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \Delta\phi}$$

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2} \cos \Delta\phi$$

$$\Delta\phi = (\phi_2 - \phi_1) - 2\pi \frac{r_2 - r_1}{\lambda}$$

干涉加强(相长)

$$\Delta\phi = (\phi_2 - \phi_1) - 2\pi \frac{r_2 - r_1}{\lambda} = \pm 2k\pi, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

$$A_{max} = A_1 + A_2, \quad I_{max} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2}$$

干涉减弱(相消)

$$\Delta\phi = (\phi_2 - \phi_1) - 2\pi \frac{r_2 - r_1}{\lambda} = \pm(2k+1)\pi, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

$$A_{min} = |A_1 - A_2|, \quad I_{min} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1I_2}$$

当 $\phi_1 = \phi_2$ 时,引入波程差 $\delta = r_1 - r_2$  则

$$\delta = r_1 - r_2 = \begin{cases} \pm k\lambda, & k = 0, 1, 2, \dots \\ \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2}, & k = 0, 1, 2, \dots \end{cases}$$

$$\text{驻波: } y_1 = A \cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda}x), \quad y_2 = A \cos(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda}x).$$

$$y = y_1 + y_2 = A \cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda}x) + A \cos(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda}x)$$

$$= 2A \cos(\frac{2\pi}{\lambda}x) \cos(\omega t)$$

$$\text{波腹: } |\cos \frac{2\pi}{\lambda}x| = 1 \implies \frac{2\pi}{\lambda}x = k\pi,$$

$$x = k\frac{\lambda}{2}, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

$$\text{波节: } |\cos \frac{2\pi}{\lambda}x| = 0 \implies \frac{2\pi}{\lambda}x = (2k+1)\frac{\pi}{2},$$



$$x = (2k + 1)\frac{\lambda}{4}, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

相邻波节间各点的振动同相, 而一个波节两边半波长的范围内的各点的振动反相.

两端固定(封闭), (或两端自由(开放)):

$$L = n\frac{\lambda_n}{2}, \quad \lambda_n = \frac{2L}{n}, \quad \nu_n = n\frac{u}{2L}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

一端固定(封闭), 另一端自由(开放):

$$L = n\frac{\lambda_n}{2} + \frac{\lambda_n}{4}, \quad \lambda_n = \frac{4L}{2n+1}, \quad \nu_n = (2n+1)\frac{u}{4L}, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

反射波:

半波损失:  $\rho u$ 大的介质叫波密介质,  $\rho u$ 小的介质叫波疏介质. 当波从波疏介质垂直入射到与波密介质的分界面上反射时, 有半波损失, 形成波节; 反之, 当波从波密介质垂直入射到与波疏介质的分界面上反射时, 无半波损失, 形成波腹.

$$\text{机械波的多普勒效应: } \nu_R = \frac{u + v_R}{u - v_S} \nu_S,$$

$\nu_R$ : 接收器接收到的频率;  $\nu_S$ : 波源的频率;

$u$ : 波在介质中的速度,

$v_R$ : 接收器相对介质的速度, 当 R 接近 S 时, 取正值, 离开时取负值.

$v_S$ : 波源相对介质的速度; 当 S 接近 R 时, 取正值, 离开时取负值.

2. 光的干涉:

相干光: 相干条件 振动方向相同, 频率相同, 相位差恒定.

用普通光源获得相干光的原理: 把光源上同一点发出的光设法分成两部分, 再使这两部分叠加.

分波振面法, 分振幅法.

杨氏实验:  $D$ : 双缝到屏的距离,  $d$ : 两缝的间距,  $r_1$  和  $r_2$  分别是两缝到屏上一点的距离.  $\delta = r_2 - r_1 \approx \frac{d}{D}x$ .

	相长干涉(明纹)	相消干涉(暗纹)
$\Delta\phi = 2\pi\delta/\lambda$	$\pm 2k\pi, k = 0, 1, 2, \dots$	$\pm(2k-1)\pi, k = 1, 2, \dots$
$\delta = \frac{d}{D}x$	$\pm k\lambda, k = 0, 1, 2, \dots$	$\pm(2k-1)\frac{\lambda}{2}, k = 1, 2, \dots$
$x$	$\pm k\frac{D}{d}\lambda, k = 0, 1, 2, \dots$	$\pm(2k-1)\frac{D}{d}\frac{\lambda}{2}, k = 1, 2, \dots$

相邻明(暗)条纹的间距:  $\Delta x = x_{k+1} - x_k = \frac{D}{d}\lambda$ .

中央明纹 $x_0$ 与 $\lambda$ 无关. 若  $k \neq 0$  &  $\lambda_1 < \lambda_2$  则  $x_{k,\lambda_1} < x_{k,\lambda_2}$ .

洛埃镜: 计算方法同双缝实验, 但仅在直射光和反射光相遇区域出现干涉条纹; 半波损失, 折射率 $n$ 大的叫光密介质, 折射率 $n$ 小的叫光疏介质. 光线由光疏介质射向光密介质在界面生反射时有半

波损失(相位突变 $\pi$ ).

谱线宽度 $\Delta\lambda$ : 光强等于最大光强一半的波长范围.

相干长度: $\delta_{max} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda} = L$ ,  $L$ 是波列长度.

薄膜干涉:

光程与光程差: $nr$ 叫做与路程 $r$ 相应的光程, 它是把光在介质中通过的路程 $r$ 按相位变化相同折合到真空中的路程 $nr$ (光在介质中的波长为光在真空中的波长的 $1/n$ ,  $2\pi \frac{r}{\lambda/n} = 2\pi \frac{nr}{\lambda}$ ). 用 $\delta$ 表示光程差, 则相差  $\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda}\delta$ ,  $\lambda$ 是光在真空中的波长.



普适光程差公式:

$$\delta = 2h\sqrt{n^2 - n_1^2 \sin^2 i} \pm \lambda/2 = \begin{cases} 2k \cdot \frac{\lambda}{2} & k = 0, 1, 2, \dots \\ (2k+1) \cdot \frac{\lambda}{2} & k = 0, 1, 2, \dots \end{cases}$$

上式适用于 $n_1, n_2 = n, n_3$ 任意大小关系的反射, 透射干涉.  $0$ 表示根据等号左端 $\lambda/2$ 前取“+”还是“-”等情况决定 $k$ 能否从 $0$ 开始取值.

等厚干涉(分振幅): 光线垂直入射 $i = 0$ 时

$$\delta = 2nh \pm \lambda/2 = \begin{cases} 2k \cdot \frac{\lambda}{2} & k = 0, 1, 2, \dots \\ (2k+1) \cdot \frac{\lambda}{2} & k = 0, 1, 2, \dots \end{cases}$$

劈尖: 明纹:  $2nh + \frac{\lambda}{2} = k\lambda, k = 1, 2, 3, \dots$

暗纹:  $2nh + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}, k = 0, 1, 2, \dots$

相邻明(暗)条纹的厚度差 $\Delta h = h_{k+1} - h_k = \frac{\lambda}{2n}$ .

相邻明(暗)条纹在的劈尖表面的距离:

$$L = \frac{\Delta h}{\sin \theta} = \frac{\lambda}{2n \sin \theta} \approx \frac{\lambda}{2n\theta}$$

当劈尖下表面有凹陷时, 凹陷处条纹向棱边弯曲, 有突起时, 突起处条纹向远离棱边方向弯曲.

牛顿环: 明环半径:  $r_k = \sqrt{\frac{(2k-1)R\lambda}{2n}}, k = 1, 2, 3, \dots$

暗环半径:  $r_k = \sqrt{\frac{kR\lambda}{n}}, k = 0, 1, 2, \dots$

相邻明(暗)环的半径差  $\Delta r = \frac{R\lambda}{2nr_k}$



明(暗)级次从中心向外算. 空气牛顿环上下介质一样时, 中心是暗环.  
等倾干涉:

$$\delta = 2h\sqrt{n^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \lambda/2 = \begin{cases} 2k \cdot \frac{\lambda}{2} & k = 1, 2, \dots \\ (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2} & k = 0, 1, 2, \dots \end{cases}$$

以相同入射角*i* 入射到厚度均匀的平膜上的光线, 经膜上下表面反射后产生的相干光有相等的光程差, 因而形成同一级条纹, 称为等倾条纹. 等倾条纹内疏外密, 条纹级次从外向内算. 干涉图样定域在无穷远处, 要用透镜观察. 用面光源.

迈克尔孙干涉仪: 两平面镜严格垂直时, 观察到等倾条纹; 两平面镜不严格垂直时, 观察到等厚条纹. 用迈克尔孙干涉仪通常是改变光程差 $\delta$ , 观察条纹移动的数目 $\Delta k = N$ .  $\Delta\delta = \Delta k\lambda = N\lambda$ . 移动反射镜或在一条光路中加入介质可改变 $\delta$ .

### 3. 光的衍射

惠更斯—菲涅耳原理: 任一波振面上的各点都可以看做是发射子波的波源, 其后任一时刻这些子波的包迹就是新的波振面. 衍射时波场中各点的强度由各子波在该点的相干叠加决定.

衍射分类:

菲涅耳衍射(近场衍射): 光源和观察者(或二者之一)离开衍射孔(或缝)的距离有限.

夫琅禾费衍射(远场衍射): 光源和观察者都在离衍射孔(或缝)无限远处.

单缝: 半波带法: 用一组相互平行的, 与衍射光线垂直的且相距半波长的平面将单缝分成许多等宽度的长条带, 使相邻两带上的对应点发出的光在屏上相遇点的光程差为半个波长.

暗纹: 缝宽为  $a$ , 衍射角为  $\theta$ , 缝被分成偶数个半波带

$$a \sin \theta = \pm k\lambda, \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

明纹条件(近似), 缝被分成奇数个半波带:  $a \sin \theta = \pm(2k + 1)\frac{\lambda}{2}, \quad k = 1, 2, 3, \dots$

( $k \neq 0$ , 否则  $a \sin \theta$  就在暗纹内了)

中央明纹半角宽度:  $\theta \approx \sin \theta = \frac{\lambda}{a}$ ,

中央明纹线宽度:  $\Delta x = 2f \tan \theta \approx 2f \sin \theta = 2f \frac{\lambda}{a}$ ,  $f$  为透镜焦距.

$$\text{光强分布: } I = I_0 \left( \frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2, \quad \beta = \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}.$$

圆孔: 艾里斑: 圆孔直径为  $D$ . 第一暗环所包围的中央亮斑叫做艾里斑, 其光强约占整个光束总光强的84%, 其半角宽度(角半径)

$$\theta \approx \sin \theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

瑞利判据: 一个点光源的衍射图样的主极大刚好和另一点光源的衍射图样的第一个极小相重合.

最小分辨角 $\delta\theta$ : 两物点刚好能被分辨时在透镜处的张角,  $\delta\theta = \theta \approx \sin \theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$

$$\text{分辨本领: } R \equiv \frac{1}{\delta\theta} = \frac{D}{1.22\lambda}$$

光栅衍射: 光栅及其参数: 大量等宽的狭缝等距离地排列起来形成的光学元件叫光栅, 透光缝宽为  $a$ , 不透光部分宽度为  $b$ ,  $a + b = d$  叫光栅常数.  $N$  为光栅总缝数.

主极大: 光栅方程:  $d \sin \theta = \pm k\lambda$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots$

缺级:  $k = \pm \frac{d}{a} k'$ ,  $k' = 1, 2, 3, \dots$

第  $k$  级主极大的半角宽度:  $\Delta\theta = \frac{\lambda}{Nd \cos \theta}$

暗纹与次极大: 在两个主极大之间有  $N - 1$  个暗纹, 其衍射角:

$$Nd \sin \theta = \pm k''\lambda, \quad k'' = 1, 2, \dots, N - 1, N + 1, \dots, 2N - 1, 2N + 1, \dots$$

在两个主极大之间有  $N - 2$  个次极大(几乎看不见).

$$\text{光强分布: } I_{\theta} = I_0 \left( \frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2 \left( \frac{\sin N\gamma}{\gamma} \right)^2, \quad \beta = \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}, \quad \gamma = \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda}..$$

斜入射的光栅方程: 设光线入射角为  $\phi$ ,

$$d(\sin \phi + \sin \theta) = \pm k\lambda, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

入射线和衍射线在光栅法线的同侧时,  $\phi, \theta$  取同号, 反之异号.

斜入射时衍射条纹的级次分布不对称, 缺级级次相同, 完整级次数不变, 可得到更高级次的光谱, 能提高分辨率.

光栅的分辨本领: 波长差为  $\delta\lambda$  的两条  $k$  级谱线的角间隔  $\delta\theta$  等于谱线本身的半角宽  $\Delta\theta$  (即某一极大的中心到相邻的一级极小的角距离) 时, 两条谱线刚能分开. 分辨本领

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = kN$$

X 射线衍射的布拉格公式:

$$2d \sin \phi = k\lambda, \quad k = 1, 2, 3, \dots \text{ 式中 } d \text{ 为各晶面间距, } \phi \text{ 为掠射角.}$$

### 3. 偏振光

光是电磁波(横波), 电场强度矢量是光矢量. 光矢量方向和光的传播方向构成振动面.

自然光(非偏振光): 在垂直于其传播方向的平面内光矢量的分布各向均匀, 而且各方向光振动的振幅都相同.

偏振光:

完全(线)偏振光: 在垂直于其传播方向的平面内光矢量  $\mathbf{E}$  只沿一个固定的方向振动.

椭圆偏振光(圆偏振光): 光矢量  $\mathbf{E}$  在沿着光的传播方向前进的同时, 还绕着传播方向均匀转动.

如果光矢量的大小不断改变, 其端点描绘出一个椭圆, 则其称为椭圆偏振光, 如果光矢量的大小不变,



即是圆偏振光. 左旋, 右旋.

部分偏振光: 介于自然光和完全偏振光之间. 部分偏振光可看成是自然光和线偏振光的混合, 设部分偏振光的强度为  $I_t$ , 其中自然光强度为  $I_n$ , 线偏振光的强度为  $I_p$ , 则有  $I_t = I_p + I_n$ ,

$$\text{偏振度 } p = \frac{I_p}{I_t} = \frac{I_p}{I_p + I_n}.$$

$p = 1$ , 线偏振光;  $0 < p < 1$ , 部分偏振光;  $p = 0$ , 自然光.

$$\text{马吕斯定律: } I = I_0 \cos^2 \alpha.$$

$\alpha$  是线偏振光的光矢量振动方向与检偏器的偏振化方向之间的夹角.

布儒斯特定律:

入射角  $i$  等于起偏振角 (布儒斯特角)  $i_b$  时, 反射光成为光振动垂直于入射面的线偏振光,

$$\tan i_b = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} \quad (\text{布儒斯特定律})$$

$i = i_b$  时, 反射线和折射线垂直, 即  $i_b + r = \frac{\pi}{2}$ ;

这时, 尽管反射光是完全偏振光, 但折射光是平行振动多于垂直振动的部分偏振光.

双折射:

o 光和 e 光: 当光线射入某些各向异性晶体时, 折射光分成两束, 称为双折射. 其中一束光线服从通常的折射定律, 称为寻常光线 (o 光); 另一束光线不服从折射定律, 称为非常光线 (e 光).

光轴: 晶体内的某些特殊方向. 光沿着这些特殊方向传播时, o 光和 e 光的折射率相同, 传播速度也相等, 不发生双折射.

主平面: 在晶体中, 某光线的传播方向和光轴方向构成的平面叫做该光线的主平面. o 光的振动垂直于其主平面, e 光的振动在其主平面内.

正晶体与负晶体: 晶体内 o 光和 e 光的波振面分别是球面 (o 波面) 和旋转椭球面 (e 波面). o 光和 e 光沿光轴方向速度相等, 所以两波面在光轴方向相切. 在垂直于光轴方向上, 两光线传播速度相差最大. 设 o 光的速度为  $v_o$ , 折射率为  $n_o$  ( $n_o = c/v_o$ ); 设 e 光的速度为  $v_e$ , 折射率为  $n_e$  ( $n_e = c/v_e$ ).  $n_o$  和  $n_e$  称为晶体的主折射率.

正晶体 (如石英):  $v_o > v_e$ ,  $n_o < n_e$ ;

负晶体 (如方解石):  $v_o < v_e$ ,  $n_o > n_e$ ;

波片: 让线偏振光通过晶片, 可获得振动方向相互垂直而相差一定的两束光, 叠加形成椭圆偏振光.

	位相差 $\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)d$	光程差 $\delta = (n_o - n_e)d$	晶片厚度 $d$
四分之一波片	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\lambda}{4}$	$\frac{\lambda}{4(n_o - n_e)}$

二分之一波片	$\pi$	$\frac{\lambda}{2}$	$\frac{\lambda}{2(n_o - n_e)}$
--------	-------	---------------------	--------------------------------

线偏振光透过四分之一波片后成为椭圆偏振光,如果入射偏振光的振动方向与四分之一波片的光轴方向的夹角为 $\alpha$ ,当 $\alpha = \pi/4$ 时,成为圆偏振光;线偏振光透过二分之一波片后仍为线偏振光,但其振动面转了 $2\alpha$ 角.

偏振光的干涉:自然光依次通过偏振片  $P_1$ , 晶片 C, 偏振片  $P_2$ , 即得两束相干的偏振光.

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)d + \frac{\pi}{2} = \begin{cases} 2k\pi, & k = 1, 2, \dots, \text{increase;} \\ (2k + 1)\pi, & k = 1, 2, \dots, \text{decrease.} \end{cases}$$

附加相差 $\pi$ 与  $P_1$  和  $P_2$  的偏振化

方向的相对位之置有关.  $P_1$  和  $P_2$  的偏振化方向正交时,有 $\pi$ ,

$$(n_o - n_e)d = \begin{cases} (2k - 1)\frac{\lambda}{2}, & k = 1, 2, \dots, \text{increase;} \\ 2\lambda, & k = 1, 2, \dots, \text{decrease.} \end{cases}$$

**三、重点和难点:波函数, 双缝干涉, 薄膜干涉, 单缝和光栅衍射. 双折射.**

**四、解波动和波动光学问题的一般方法和应注意的问题:**

1. 用对比法求波的特征量.

2. 将原点处波源的振动表达式中的  $t$  换成  $t - \frac{x}{u}$ , 得沿  $x$  轴正向传播的波的波函数, 将  $t$  换成  $t + \frac{x}{u}$  得沿  $x$  轴负向传播的波的波函数. 若波源不在原点, 先取波源为原点, 写出波函数, 再用坐标变换换回原坐标. 把  $t$  时刻的波形图沿波的传播方向平移  $u\Delta t$ , 得  $t + \Delta t$  时刻的波形图, 反之, 把  $t$  时刻的波形图逆着波的传播方向平移  $u\Delta t$ , 得  $t - \Delta t$  时刻的波形图. 注意利用波的空间周期性( $\lambda$ ) 和时间周期性( $T$ ) 解题.

3. 波的干涉完全决定于参与叠加的波在相遇点的相位差. 根据入射波和反射波会求驻波表达式及其波腹和波节的位置.

写反射波表达式的步骤:

根据入射波表达式写出入射波引起的反射点的振动表达式;

根据有无半波损失, 写出反射波引起的反射点的振动表达式;

以反射点为新原点, 建立与原坐标轴同向的坐标轴  $x'$ , 并写出反射波在此坐标系中的表达式;

进行坐标变换, 得到原坐标系中反射波的表达式.

4. 引入光程差的概念后, 由光程差求位相差, 要用真空中光的波长除光程差, 再乘  $2\pi$ . 干涉的明暗条纹完全由两束光在相遇点的位相差决定. 由产生明暗条纹的位相差条件可得出产生明暗条纹的光程差条件, 进而得出明暗条纹的位置, 间距等.

5. 薄膜干涉的关键是要判定是否有半波损失. 若总的半波损失有偶数次, 则不计半波损失, 若总的半波损失有奇数次, 仅计一次. 另外, 薄膜干涉反透互补, 即反射加强时, 透射必减弱; 反之, 反射减弱时, 透射必加强. 反射加强也可按透射减弱解, 反之亦然.

6. 惠更斯—菲涅耳原理是处理衍射问题的理论基础(易出简答题). 了解衍射分类. 理解半波带



法. 对一定的衍射角,  $a \sin \phi$  是  $\lambda/2$  的多少倍, 缝宽  $a$  就可分成多少个半波带. 若缝宽  $a$  被分成偶数个半波带, 即出现暗纹; 分成奇数个半波带, 即出现明纹; 分的半波带数越多, 明纹光强越小. 暗纹条件  $a \sin \theta = \pm k \lambda$  中的  $k$  不能取 0. 注意这个公式与用光程差表示的干涉加强公式的区别. 记艾里斑角半径公式, 理解并会运用瑞利判据.

7. 对光栅衍射注意缺级和斜入射. 注意垂直入射光栅方程和布拉格公式的区别, 两公式中角度意义不同.

8. 自然光通过偏振片光强减半. 对光线先后通过多个偏振片问题, 建议画图, 标出相邻的两个偏振片的偏振化方向之间的夹角, 示意地标出光通过每个偏振片后的光强  $I_i$ , 然后逐级求解.

应用布儒斯特定律时, 注意当入射角等于儒斯特角时, 反射线和折射线垂直.

9. 记  $o$  光和  $e$  光的特性. 理解光轴, 注意其方向, 以便确定  $o$  光和  $e$  光. 注意在晶体内只有  $e$  光在垂直光轴的平面内时, 才可形式地应用折射定律.

10. 注意线偏振光通过四分之一波片和二分之一波片后的变化, 即  $o$  光和  $e$  光相位 (或光程差) 的变化. 要产生有固定相位差的  $o$  光和  $e$  光, 可使线偏振光通过波片. 波片不能把自然光变成偏振光. 通过波片的偏振光并不能干涉, 要产生干涉, 必须使其再通过一个偏振片.

## 冲刺串讲五

### 近代物理

#### 一、基本内容:

##### 1. 狭义相对论

爱因斯坦相对性原理:物理规律对所有惯性系都是一样的,不存在任何一个特殊的(例如“绝对静止”的)惯性系。(背,且与力学相对性原理比较)。

光速不变原理:在所有惯性系中,光在真空中的速率都相等。(背)

洛伦兹变换:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \text{ (正变换)}$$

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad y = y', \quad z = z', \quad t = \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \text{ (反变换)}$$

事件时空间隔的洛伦兹变换:

$$\Delta x' = \frac{\Delta x - v\Delta t}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad \Delta y' = \Delta y, \quad \Delta z' = \Delta z, \quad \Delta t' = \frac{\Delta t - \frac{v}{c^2}\Delta x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$\Delta x = \frac{\Delta x' + v\Delta t'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad \Delta y = \Delta y', \quad \Delta z = \Delta z', \quad \Delta t = \frac{\Delta t' + \frac{v}{c^2}\Delta x'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$\text{速度的洛伦兹变换: } v'_x = \frac{u_x - v}{1 - \frac{vu_x}{c^2}}, \quad v'_y = \frac{u_y}{1 - \frac{vu_x}{c^2}} \sqrt{1 - v^2/c^2}, \quad v'_z = \frac{u_z}{1 - \frac{vu_x}{c^2}} \sqrt{1 - v^2/c^2}.$$

同时的相对性:在一个惯性系中同时且同地发生的两个事件在任何惯性系中都同时;

在一个惯性系中同时不同地(或同地不同时)发生的两个事件在别的惯性系中都不同时;

在一个惯性系中不同时且不同地发生的两个事件在别的惯性系中有可能同时( $\Delta t - \frac{v}{c^2}\Delta x = 0$ ),也有可能不同时( $\Delta t - \frac{v}{c^2}\Delta x \neq 0$ )。

同时的相对性并不违背因果律。

时间延缓(膨胀):固有时(原时) $\tau_0$ :在某一惯性系中同一地点先后发生的两个事件之间的时间

$$\text{间隔, } \tau = \Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} \geq \tau_0.$$

长度收缩:固有长度(静长) $l_0$ :在与棒相对静止的惯性系中测得的棒的长度称为棒的固有长度。

测固有长度时记棒两端的坐标时,对时间无要求。

运动长度:在与棒相对运动的惯性系中测棒的长度时必须同时记下棒两端的坐标,

$$l = l_0 \sqrt{1 - u^2/c^2}. \quad l_0 \text{ 是固有长度.}$$



$$\text{相对论质量: } m = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = \gamma m_0, \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}.$$

$$\text{相对论动量: } \mathbf{P} = m\mathbf{v} = \frac{m_0\mathbf{v}}{\sqrt{1-v^2/c^2}}.$$

$$\text{相对论动力学方程: } \mathbf{F} = \frac{d\mathbf{p}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\mathbf{v}) = \frac{d}{dt}\left(\frac{m_0\mathbf{v}}{\sqrt{1-v^2/c^2}}\right).$$

$$\text{相对论能量: } E = mc^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = \sqrt{p^2c^2 + m_0^2c^4}.$$

$$\text{动能: } E_k = E - E_0 = mc^2 - m_0c^2 = m_0c^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} - 1 \right).$$

质量亏损:  $\Delta m_0$ 。释放的能量  $\Delta E = \Delta m_0c^2$ 。

## 2. 波粒二象性:

光谱辐射出射度  $M_\nu$  (单位:  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Hz})$ ) 单位时间内从物体单位面积发出的频率  $\nu$  在附近单位频率区间的电磁波的能量。

普朗克公式:

$$M_\nu = \frac{2\pi h}{c^2} \frac{\nu^3}{e^{h\nu/(kT)} - 1}$$

$$\text{斯特藩 - 玻耳兹曼定律: } M = \int_0^\infty M_\nu d\nu = \frac{2k^4\pi^5}{15c^2h^3} T^4 = \sigma T^4,$$

$$\text{斯特藩 - 玻耳兹曼常量 } \sigma = \frac{2k^4\pi^5}{15c^2h^3} = 5.670\ 51 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$$

维恩位移律: 在温度为  $T$  的黑体辐射中, 光谱辐射出射度最大的光的频率:

$$\nu_m = C_\nu T. \quad C_\nu = 5.880 \times 10^{10} \text{Hz}/\text{K}.$$

爱因斯坦的光子理论: 光子的静止质量  $m_0 = 0$ , 能量  $E = mc^2 = h\nu$ ,

$$\text{质量 } m = \frac{h\nu}{c^2}, \quad \text{动量: } p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}.$$

$$\text{德布罗意假设: } E = mc^2 = h\nu, \quad p = m\mathbf{v} = \frac{h}{\lambda}.$$

玻恩解释: 物质波描述粒子在各处被发现的概率, 因此德布罗意波是概率波。

光电效应: 截止电压  $U_a$ , 红限频率  $\nu_0$ , 入射光频率  $\nu > \nu_0$  时才有光电效应。

$$\frac{1}{2}m\nu_m^2 = eU_a = h\nu - A = h(\nu - \nu_0), \quad A \text{ 是逸出功.}$$

康普顿散射(效应): 改变波长的散射。

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\phi) = \lambda_c(1 - \cos\phi) = 2\lambda_c \sin^2\frac{\phi}{2}.$$

$$\text{康普顿波长: } \lambda_c = \frac{h}{m_0c} = 0.024 \times 10^{-10}(\text{m}) = 0.0024(\text{nm}).$$

不确定关系:

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}, \quad \Delta y \Delta p_y \geq \frac{\hbar}{2}, \quad \Delta z \Delta p_z \geq \frac{\hbar}{2}, \quad \Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}.$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.054\ 588\ 7 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

3. 薛定谔方程: 一维定态薛定谔方程:  $-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi(x)}{\partial x^2} + U(x)\psi(x) = E\psi(x)$

波函数  $\Psi(x, y, z, t)$ : 描述微观粒子的状态,  $\Psi$  叫概率幅,  $|\Psi|^2$  为概率密度.

$$\int_V |\Psi|^2 dv = \int_V \Psi \Psi^* dv \text{ 给出在 } V \text{ 中发现粒子的概率.}$$

波函数必须满足的标准条件: 单值, 有限, 连续.  $\int_{-\infty}^{\infty} |\psi(x)|^2 dx = 1.$

一维无限深势阱:  $U = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq a \\ \infty, & x < 0, x > a \end{cases}$

定态波函数:  $\psi_n = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{n\pi}{a} x, \quad n = 1, 2, 3, \dots$

能量本征值:  $E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2} n^2, \quad n = 1, 2, 3, \dots$

$n$  称为量子数,  $n = 1$  (能量最低) 的态叫基态, 其它态叫激发态.

谐振子:  $U = \frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} m\omega^2 x^2$

$$\frac{d^2 \psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - \frac{1}{2} m\omega^2 x^2) \psi = 0$$

$$E_n = (n + \frac{1}{2}) \hbar \omega = (n + \frac{1}{2}) h \nu, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

能量量子化, 有零点能  $E_0 = \frac{1}{2} h \nu$ , 能级等间距  $\Delta E_n = h \nu$ .

4. 氢原子: 势能:  $U(r) = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$ , (对类氢离子  $U(r) = -\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}$ )

波函数:  $\psi(r, \theta, \phi) = R_{n,l}(r) \Theta_{l,m_l}(\theta) \Phi_{m_l}(\phi)$

$$E_n = -\frac{m_e e^4}{2(4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^2 n^2} = -\frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 \hbar^2 n^2} = \frac{E_1}{n^2} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

$$E_1 = -\frac{m_e e^4}{2(4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^2} = -\frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 \hbar^2} = -13.6 \text{ eV} \quad (n = 1, \text{基态能量})$$

激发态:  $n > 1$ .

电离能: 使氢原子电离所需的最小能量: 对第  $n$  个能级为  $|E_n|$ ,

玻尔频率条件:  $h\nu = E_h - E_l$ ,  $E_h$  和  $E_l$  分别表示高能级和低能级.

氢原子的谱线系:



高能级  $\Rightarrow n = 1$  (基态), 莱曼系 (紫外区); (记)

高能级  $\Rightarrow n = 2$ , 巴耳末系 (可见光区); (记)

高能级  $\Rightarrow n = 3$ , 帕邢系 (红外区);

轨道量子数  $\ell$ :  $L = \sqrt{\ell(\ell+1)}\hbar$ ,  $\ell = 0, 1, 2, \dots, n-1$

轨道磁量子数  $m_\ell$ :  $L_z = m_\ell\hbar$ ,  $m_\ell = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \ell$ .

径向概率密度  $P(r)$ : 在半径为  $r$  和  $r + dr$  的两球面间的体积内电子出现的概率为  $P(r)dr = |R|^2 r^2 dr$ .

$$a_0 = \frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{m_e e^2} = 0.529 \times 10^{-10} \text{ m} = 0.0529 \text{ nm} \quad (\text{波尔半径})$$

径向概率密度  $P(r)$  在  $r_n = n^2 a_0$  处取得极大值, 相应于经典理论里的第  $n$  个轨道半径.

电子自旋:  $S = \sqrt{s(s+1)}\hbar = \sqrt{\frac{3}{4}}\hbar$ ,  $s = \frac{1}{2}$  叫自旋量子数.

自旋在空间某一方向的投影:  $S_z = m_s\hbar$ ,  $m_s = \pm \frac{1}{2}$  自旋磁量子数.

自旋轨道耦合: 电子的总角动量:  $J = L + S$  (自旋轨道耦合)

$J = \sqrt{j(j+1)}\hbar$ ,  $l = 0$  时,  $j = s = 1/2$ ;

$l \neq 0$  时,  $j = l + s = l + 1/2$  或  $j = l - s = l - 1/2$

自旋磁矩:  $\mu_s = -\frac{e}{m_e} S, \mu_{s,z} = \frac{e}{m_e} S_z = \frac{e}{m_e} \hbar m_s = \pm \frac{e\hbar}{2m_e} = \pm \mu_B$

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} = 9.27 \times 10^{-24} \text{ J/T}.$$

因自旋轨道耦合电子具有的能量  $E_s = -\mu_s \cdot B = -\mu_{s,z} B = \mp \mu_B B$

$E_{n,l,s} = E_{n,l} + E_s = E_{n,l} \pm \mu_B B$  (能级分裂  $l = 0$  除外, 精细结构).

## 5. 多电子原子:

波色子: 波函数对称, 自旋量子数为 0 或正整数;

费米子: 波函数反对称, 自旋量子数为半整数 ( $1/2, 3/2, 5/2$  等);

基态原子的电子填充壳层遵循的两条规律

能量最低原理: 电子总处于可能最低的能级. 一般地,  $n$  越大,  $\ell$  越大, 能量越高. 有例外:  $(n + 0.7l)$

泡利不相容原理: 对一个电子系统, 如果描述状态的量子数包括自旋量子数, 则该系统的任何一个确定的状态内不可能有多于一个的电子存在. 即同一状态 (四个量子数  $n, \ell, m_\ell, m_s$  都已确定) 不可能有多于一个电子存在.

核外电子的壳层结构和电子组态:

$n, \ell, m_\ell$  相同, 但  $m_s$  不同的可能状态有两个;

$n, \ell$  相同, 但  $m_\ell, m_s$  不同的可能状态有  $2(2\ell + 1)$  个, 组成一个次 (分) 壳层;

$n$ 相同,但,  $l, m_l, m_s$ 不同的可能状态有  $\sum_{l=0}^{n-1} 2(2l+1) = 2n^2$ 个,组成一个壳层.

电子组态表示方法:数字表示壳层的  $n$  值,其后的小写字母 ( $s, p, d, \dots$ ) 表示壳层中次壳层的符号,右上角的指数表示该次壳层中的电子数.

多电子原子和原子谱项:

LS 耦合:设两个电子的轨道角动量量子数和自旋角动量量子数分别为  $l_1, s_1$  和  $l_2, s_2$ ,则总的轨道角动量量子数和总的自旋角动量量子数分别为

$$L = l_1 + l_2, l_1 + l_2 - 1, \dots, |l_1 - l_2|$$

$$S = s_1 + s_2, s_1 - s_2, \text{即 } 0 \text{ 和 } 1.$$

$$\text{总角动量为 } \sqrt{J(J+1)}\hbar, J = L + S, L + S - 1, \dots, |L - S|$$

原子态(谱项)的记号:总轨道角动量量子数  $L$  不同的态分别用以下的大写拉丁字母标记

$$L = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, \dots$$

$$S, P, D, F, G, H, I, J, K, L, M, N, \dots$$

这些字母左上角标以数值  $2S+1$  (该谱项的重数),右下角标以总角动量量子数  $J$ , 如  ${}^2P_{1/2}$ ,  ${}^2P_{3/2}$  分别表示  $L=1, S=1/2, J=1/2$  和  $J=3/2$  的谱项.

洪德定则(F. Hund, 1925):能量最低的谱项具有(所给电子组态中)最大可能的  $S$  值以及(对这个  $S$  值而言)最大可能的  $L$  值.

朗德间隔定则(1923):  $\Delta E_{j, j-1} \propto AJ$ ,  $A$  是标记所给(未分裂谱项的)常数. 即在一个多重能级的结构中,能级的两相邻间隔同有关的二  $J$  值中较大的那一值成正比.

多电子原子中跃迁:

$$\text{偶性态} (\sum l_i = \text{偶数}) \iff \text{奇性态} (\sum l_i = \text{奇数})$$

选择定则(LS 耦合):

$$\Delta S = 0; \Delta L = 0, \pm 1; \Delta J = 0, \pm 1 (0 \rightarrow 0 \text{ 除外}).$$

原子受外磁场作用的附加能量:  $\Delta E = Mg\mu_B B$ , 其中

$$\text{磁量子数 } M = J, J-1, \dots, -J,$$

$$\text{朗德因子}(LS): g = 1 + \frac{J(J+1) - L(L+1) + S(S+1)}{2J(J+1)},$$

$$\text{波尔磁子}: \mu_B = \frac{he}{4\pi m} = 0.927 \times 10^{-23} J/T.$$

6. 分子的转动和振动能级:

$$\text{转动能级}: J = I\omega = \sqrt{j(j+1)}\hbar, j = 0, 1, 2, \dots (j \text{ 是转动量子数})$$

$$\text{转动能量}: E_{rot} = \frac{1}{2}I\omega^2 = \frac{J^2}{2I} = \frac{1}{2I}j(j+1)\hbar^2, j = 0, 1, 2, \dots$$

数量级为  $10^{-3} \sim 10^{-4} eV$ .

$$\text{转动光谱}: \nu_{rot} = \frac{E_{j+1} - E_j}{h} = \frac{\hbar}{2\pi I}(j+1), j = 0, 1, 2, \dots$$



选择定则:  $\Delta j = \pm 1$ , 转动光谱在红外甚至微波范围内.

振动能级:

$$E_{vib} = (v + \frac{1}{2})\hbar\omega_0, v = 0, 1, 2, \dots, (v \text{ 是振动量子数}, \omega_0 \text{ 是振动角频率})$$

数量级为  $10^{-1} \sim 10^{-2} eV$ , 振动光谱在红外区.

分子总能量:  $E = E_{elec} + E_{vib} + E_{rot}$

$$v = v_{elec} + v_{vib} + v_{rot}$$

7. X 射线: 由入射高能电子与靶原子发生非弹性碰撞发出的(韧致辐射). 存在截止波长.  $\lambda_{cut} =$

$$\frac{c}{v_{max}} = \frac{hc}{E_k}, E_k \text{ 是入射电子的动能.}$$

同一电压下不同材料的 x 射线的截止波长一样.

线状谱 特征谱线: 入射电子把靶原子内层电子击出而产生空穴, 引起靶原子内层电子在内壳层间跃迁而发出光子.

莫塞莱公式:  $\sqrt{\nu} = 4.96 \times 10^7 (Z - 1)$ .  $Z$  是靶原子的原子序数.

外层电子跃入  $K, L, M, N, \dots$  壳层空穴而形成的诸谱线分别组成 x 射线的  $K, L, M, N$  系等.

8. 激光:

受激辐射: 入射光子的能量等于相应的能级差, 而且在高能级上有原子存在, 入射光子的电磁场引发原子从高能级跃迁到低能级, 同时放出一个与入射光子的频率, 相位, 偏振方向和传播方向度完全相同的光子.

粒子数布居反转 即  $N_h > N_l$ .

激光器: 激光是完全相干光, 光强与原子数平方成正比, 光强大.

激光器两端反射镜之间的距离控制其间驻波的波长, 使激光的单色性极高.

激光器两端反射镜严格与管轴垂直, 使激光有高度的指向性.

9. 固体: 金属中的公共电子在周期性势场中运动, 可认为是自由电子, 其集体称为自由电子气.

$$\text{单位体积内能量小于 } E \text{ 的自由电子的可能状态总数为 } n_s = \frac{N_s}{a^3} = \frac{1}{3} (2m_e)^{3/2} \frac{E^{3/2}}{\pi^2 \hbar^3}$$

自由电子可能占据的最高能级: 费米能级

$$E_F = (3\pi^2)^{2/3} \frac{\hbar^2}{2m_e} n^{2/3}$$

$$\text{费米速度: } v_F = \sqrt{2E_F/m_e}$$

$$\text{费米温度: } T_F = E_F/k$$

态密度: 单位体积内单位能量区间的量子态数

$$g(E) = \frac{dn_s}{dE} = \frac{(2m_e)^{3/2}}{2\pi^2 \hbar^3} E^{1/2}$$

费米-狄拉克分布(FD): 由费米子组成的系统, 在热平衡状态下, 能量为  $E$  的量子态上存在的粒子数平均为

$$n_{FD,1}(E) = \frac{1}{e^{(E-E_F)/kT} + 1}$$

T: 系统的热力学温度;  $E_F$  叫系统的化学势, 即 0K 时的费米能量.

$$\text{费米子按能级的分布: } dn_{FD} = \frac{g(E)}{e^{(E-E_F)/kT} + 1} dE$$

其中  $g(E) = \frac{(2m_e)^{3/2}}{2\pi^2 \hbar^3} E^{1/2}$  为能量为 E 处的态密度.

玻色 - 爱因斯坦分布 (BE): 由玻色子组成的系统, 在热平衡状态下, 能量为 E 的量子态上存在的粒子数平均为

$$n_{BE,1}(E) = \frac{1}{e^{(E-\mu)/kT} - 1}, \mu \text{ 是化学势}$$

麦克斯韦 - 玻尔兹曼分布 (MB):

$$n_{MB}(E) = Ce^{-E/kT}, C \text{ 为归一化常数.}$$

当粒子的德布罗意波长 大于或等于离子的平均间距 d 时, 量子效应将突出地显现. 量子统计的适

$$\text{用范围: } \frac{hn^{1/3}}{\sqrt{4mkT}} \geq 1$$

能带 N 个原子聚集成晶体时, 由于泡利不相容原理, 孤立原子的每一个能态都分裂成 N 个能态, 分裂的程度随原子间距的减小而增大. 分裂能级的间距很小, 可以认为这 N 个能级形成一个能量连续的区域, 称之为能带. 能带的总宽度  $\Delta E$  决定于原子的间距, 与原子数 N 无关.

满带: 被电子填满的能带叫满带.

空带: 所有能级都没有电子填入的能带叫空带.

价带: 能带中最上面的有电子存在的能带, 即由价电子能级分裂而形成的能带叫价带.

导带: 价带上面相邻的那个空着的能带和未被电子填满的价带都叫导带.

禁带: 在能带之间没有可能量子态的区域叫禁带.

导体: 价带中有电子但未被填满的晶体为导体, 电阻率  $< 10^{-8} \Omega \cdot m$ .

绝缘体: 价带被电子填满而且价带和导带间的禁带宽度甚大 ( $\Delta E_g$  约为 3 - 6eV) 的晶体为绝缘体.

半导体: 0K 时价带被填满, 导带空着, 但价带和导带间的禁带宽度较小 ( $\Delta E_g$  约为 0.1 - 1.5eV). 常温下有电子从价带跃入导带, 电导率随温度升高而明显增大, 可以导电. 半导体导电分电子导电和空穴导电. 四价元素纯硅纯锗电子和空穴数目相等, 为本征半导体.

杂质半导体:

N 型半导体: 四价元素 (如硅) 半导体中掺入五价杂质 (如砷), 杂质能级在禁带中但靠进导带, 其与导带的能量差  $E_D$  远小于禁带宽度  $\Delta E_g$ . 受到热激发时, 杂质价电子易向导带跃迁, 供给导带电子. 这种半导体称为电子型半导体或 N 型半导体, 电子是多子, 空穴是少子. 这种杂质称为施主, 其能级称为施主能级.

P 型半导体: 四价元素 (如硅, 锗) 半导体中掺入三价杂质 (如硼, 镉), 杂质能级在禁带中但靠



进价带,其与价带顶的能量差  $E_A$  远小于禁带宽度  $\Delta E_g$ . 受到热激发时,价带中的电子很容易跃入杂质能级而在价带中产生大量空穴. 这种半导体称为空穴型半导体或 P 型半导体,电子是少数,空穴是多数. 这种杂质称为受主,其能级称为受主能级.

PN 结: 在本征半导体的两部分分别掺入 3 价和 5 价杂质,在 N 型和 P 型半导体的交界处形成一薄层,在这一薄层内由于电子和空穴向对方扩散形成一 PN 结,薄层内存在由 N 侧指向 P 侧的电场. PN 结有单向导电作用.

10. 原子核:核 = 质子 + 中子,质子和中子统称为核子,质子和中子都是费米子,自旋为  $1/2$ . 质子和中子质量大约是电子质量的 1840 倍. 质子带的电量与电子电量等值反号,中子不带电.

原子质量单位  $1\mu = 1.660\ 540\ 2 \times 10^{-27}\text{kg} = 931.4943\text{MeV}/c^2$

中子数  $N$ ,质子数  $Z$ (原子序数),质量数  $A = Z + N$ .

原子核表示:  ${}^A_Z\text{X}$ , X 是该核所属的元素符号.  $Z$  常被省略.

同位素:质子数相同而中子数不同的核.

核半径:  $R = r_0 A^{1/3}$ ,  $r_0 = 1.2\text{fm} = 1.2 \times 10^{-15}\text{m}$ .

核自旋和磁矩: 质子:轨道磁矩  $\mu_L = \frac{e}{2m_p}L$ ,

$$\mu_{L,z} = \frac{e}{2m_p}L_z = \frac{eh}{2m_p}ml = \mu_N ml$$

中子:无轨道磁矩.

自旋磁矩:质子和中子都有自旋磁矩

$$\mu_s = g_s \left(\frac{e}{2m_p}\right)S, \mu_{s,z} = g_s \left(\frac{eh}{2m_p}\right)m_s = g_s \mu_N m_s, m_s = \pm \frac{1}{2}$$

$g$  因子:  $g_{s,p} = 5.5857$ ,  $g_{s,n} = -3.8261$

整个核自旋角动量和磁矩:  $\sqrt{I(I+1)}\hbar$ ,

$$I_z = m_I \hbar, m_I = \pm I, \pm (I-1), \dots, \pm \frac{1}{2} \text{ or } 0$$

偶偶核( $Z, N$  均为偶数),核自旋为 0;

奇奇核( $Z, N$  均为奇数),核为波色子, $I$  为整数;

奇偶核( $Z, N$  中一个为奇数,一个为偶数),核为费米子, $I$  为半整数.

磁矩:

$$\mu = g \frac{e}{2m_p}I, \mu_z = g \frac{e}{2m_p}I_z = g \frac{eh}{2m_p}m_I$$

$$\text{核磁子: } \mu_N = \frac{eh}{2m_p} = 5.057\ 866 \times 10^{-27}\text{J/T}$$

核的结合能  $E_b$ :把一个核分解成单个的中子或质子所需要的能量.

$$E_b = (Zm_p + Nm_n - m_N)c^2 = (Zm_H + Nm_n - m_a)c^2 = \Delta mc^2$$

放射性:不稳定的核发射出一些射线而本身变为新核的现象,也叫放射性和衰变(蜕变).

三种射线: $\alpha$  射线是  $\alpha$  粒子,即氦核( ${}^4\text{He}$ )流; $\beta$  射线是电子流;

$\gamma$  射线是光子流.

衰变规律:  $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ ,  $\lambda$  衰变常量,  $N_0$  是  $t=0$  时放射性核的数目.

$$\text{平均寿命: } \tau = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t(-dN) = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t\lambda N dt = \int_0^{\infty} t\lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

$$\text{半衰期: } \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-t_{1/2}\lambda} \Rightarrow t_{1/2} = (\ln 2)\tau = 0.693\tau = \frac{0.693}{\lambda}$$

活度(又称放射性强度): 每秒钟衰变的次数:

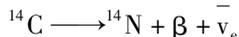
$$A(t) = -\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \lambda N = A_0 e^{-\lambda t}, A_0 = \lambda N_0 \text{ 是起始活度.}$$

活度单位: 贝克勒尔(Bq),  $1 \text{ Bq} = 1 \text{ 次核衰变/秒}$ .

常用单位: 居里(Ci),  $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ 次核衰变/秒}$ .

$$1 \text{ Bq} = \frac{1}{3.7 \times 10^{10}} \text{ Ci}$$

$^{14}\text{C}$  放射性鉴定法: 利用 $^{14}\text{C}$ 的天然放射性来鉴定有生命物体遗物年龄的方法.  $^{14}\text{C}$ 的衰变



空气中的 $^{14}\text{C}$ 已达恒定的自然丰度(约  $1.3 \times 10^{-10}\%$ ). 动植物活着时吸收  $\text{CO}_2$ , 死了就不吸收  $\text{CO}_2$  了. 其遗体中的 $^{12}\text{C}$ 含量不变, 但 $^{14}\text{C}$ 因衰变不断减少, 此衰变的活度也不断减少. 测量一定遗体的活度即可判定其年龄.

核反应:  $x + X = y + Y + Q$  可简写为  $X(x, y)Y$

上式中  $x, X, y, Y$  分别代表入射粒子, 靶核, 出射粒子和剩余核.

Q 值: 核反应释放的能量, 可通过质量亏损算出

$$Q = (m_x + m_X - m_y - m_Y)c^2,$$

$Q > 0$ , 放能反应;  $Q < 0$ , 吸能反应.

阈能: 引发吸能核反应的入射粒子的最小能量.

$$E_{av} = \frac{1}{2}m_x v_x^2 + \frac{1}{2}m_X v_X^2$$

$$= \frac{1}{2}m_x \left( \frac{m_X}{m_x + m_X} v_x \right)^2 + \frac{1}{2}m_X \left( -\frac{m_x}{m_x + m_X} v_x \right)^2$$

$$= \frac{m_x}{m_x + m_X} E_{k,x}$$

$E_{av} > |Q|$  时才能引发吸热核反应, 由此得阈能

$$E_{th} = (E_{k,x})_{\min} = \frac{m_x + m_X}{m_x} |Q| = \left( 1 + \frac{m_x}{m_X} \right) |Q|$$

相对论的核反应的资用能为:

$$E_{av} = \sqrt{2m_x c^2 E_{k,x} + [(m_x + m_X)c^2]^2}$$

**二、重点和难点: 长度收缩, 时间膨胀, 质能关系; 一维定态薛定谔方程:**

一维无限深势阱, 氢原子, 多电子原子电子组态和光谱项, 激光, 固体能带结构, 半导体, 核的结合



能和核反应.

### 三、解近代物理问题的一般方法和应注意的问题:

1. 对相对论运动学问题,要搞清楚已知的和待求的事件的时空坐标是在哪个惯性系中测量的,然后套洛伦兹变换公式解之.对长度收缩和时间膨胀及同时性问题,要明确固有长度和固有时是在哪个惯性系中测量的,然后用长度收缩和时间膨胀公式求解,也可回避这两个公式,直接用两个事件的时空间隔在不同惯性系间的洛伦兹变换解之.

2. 相对论中碰撞除动量守恒外,总有总能量守恒.要注意在质量动量和能量公式中的因子  $\sqrt{1-v^2/c^2}$  中的  $v$  是粒子在选定的坐标系中的速度,而不是不同的惯性系的相对运动速度.无论解哪类问题,都不要忘了而是要自觉地应用光速不变原理.

3. 记波粒二象性的关系式(能量  $E$  和动量  $p$ , 频率  $\nu$ , 波长  $\lambda$ ), 爱因斯坦的光电效应方程,要理解并会求红限  $\nu_0$  (相应的  $\lambda_0$ ), 逸出功  $A$ , 截止电压  $U_a$ , 光电子的最大速率(动能). 饱和光电流与照射光强成正比. 康普顿散射中入射光子和自由电子碰撞,动量和能量守恒,要能写出这两个守恒方程.

4. 对给定的势函数  $U(x)$ ,能写出一维定态薛定谔方程. 会求解一维无限深势阱中粒子的能级和波函数,波函数的归一化常数,概率密度最大的位置. 对任意的一维波函数,要能定出相应的能量本征值和归一化常数. 要记一维谐振子能量本征值公式.

5. 记氢原子基态能量  $E_1$ , 玻尔半径  $r_1$  等常数值. 记氢原子光谱的前 3 个线系的  $n_1$  和  $n_2$  值. 明确四个量子数的符号,取值和作用. 每个主,分壳层最多能填充的电子数. 电子填充壳层所服从的两条规律.

6. 对激光,关键是要知道产生激光的条件,激光的三大特点和谐振腔的作用.

7. 对固体,要能解释下列名词: 满带,空带,价带,导带,禁带,导体(电阻率  $< 10^{-8} \Omega \cdot m$ ), 绝缘体 ( $\Delta E_g$  约为 3-6eV), 半导体 ( $\Delta E_g$  约为 0.1-1.5eV), 本征半导体, 杂质半导体, N 型半导体, P 型半导体, 施主能级, 受主能级, PN 结.

8. 解原子核题目,要记住核半径,核的结合能公式. 能看懂核反应方程并会求  $Q$  值, 阈能.

## 模拟第一套卷

时间:180分钟 满分:150分

### 一、选择题(每题3分,共30分)

1. 质点作曲线运动, $\vec{r}$ 表示位置矢量, $\vec{v}$ 表示速度, $\vec{a}$ 表示加速度, $S$ 表示路程, $a_t$ 表示切向加速度,下列表达式中,( )

(1)  $dv/dt = a$ ,      (2)  $dr/dt = v$ ,      (3)  $ds/dt = v$ ,      (4)  $|d\vec{v}/dt| = a_t$

- A. 只有(1)、(4)是对的;      B. 只有(2)、(4)是对的;  
C. 只有(2)是对的;      D. 只有(3)是对的;

2. 一轻绳绕在有水平轴的定滑轮上,滑轮的转动惯量为  $J$ ,绳下端挂一物体。物体所受重力为  $P$ ,滑轮的角加速度为  $\alpha$ 。若将物体去掉而以与  $P$  相等的力直接向下拉绳子,滑轮的角加速度  $\alpha$  将 ( )

- A. 不变;      B. 变小;      C. 变大;      D. 如何变化无法判断

3. 下面列出的真空中静电场的场强公式,其中哪个是正确的( )

A. 点电荷  $q$  的电场:  $\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{r}$  ( $r$  为点电荷到场点的距离)

B. “无限长”均匀带电直线(电荷线密度  $\lambda$ )的电场:  $\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r^3} \vec{r}$  ( $\vec{r}$  为带电直线到场点的垂直于直线的矢量)

C. “无限大”均匀带电平面(电荷面密度  $\sigma$ )的电场:  $\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

D. 半径为  $R$  的均匀带电球面(电荷面密度  $\sigma$ )外的电场:  $\vec{E} = \frac{\sigma R^2}{\epsilon_0 r^3} \vec{r}$

( $\vec{r}$  为球心到场点的矢量)

4.  $\alpha$  粒子与质子以同一速率垂直于磁场方向入射到均匀磁场中,它们各自作圆周运动的半径比  $R_\alpha / R_p$  和周期比  $T_\alpha / T_p$  分别为( )

- A. 1 和 2;      B. 1 和 1;      C. 2 和 2;      D. 2 和 1

5. 一定量的理想气体贮于某一容器中,温度为  $T$ ,气体分子的质量为  $m$ 。根据理想气体分子模型和统计假设,分子速度在  $x$  方向的分量的平均值( )

A.  $\bar{v}_x = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$       B.  $\bar{v}_x = \frac{1}{3}\sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$       C.  $\bar{v}_x = \sqrt{\frac{8kT}{3\pi m}}$       D.  $\bar{v}_x = 0$



6. 1mol 的单原子分子理想气体从状态 A 变为状态 B, 如果不知是什么气体, 变化过程也不知道, 但 A、B 两态的压强、体积和温度都知道, 则可求出( )

- A. 气体所作的功; B. 气体内能的变化;  
C. 气体传给外界的热量; D. 气体的质量.

7. 下列函数  $f(x, t)$  可表示弹性介质中的一维波动, 式中 A、a 和 b 是正的常量。其中哪个函数表示沿 x 轴负向传播的行波? ( )

- A.  $f(x, t) = A \cos(ax + bt)$ ; B.  $f(x, t) = A \cos(ax - bt)$ ;  
C.  $f(x, t) = A \cos ax \cdot \cos bt$ ; D.  $f(x, t) = A \sin ax \cdot \sin bt$ .

8. 用白光光源进行双缝实验, 若用一个纯红色的滤光片遮盖一条缝, 用一个纯蓝色的滤光片遮盖另一条缝, 则( )

- A. 干涉条纹的宽度将发生改变; B. 产生红光和蓝光的两套彩色干涉条纹;  
C. 干涉条纹的亮度将发生改变; D. 不产生干涉条纹.

9. 一火箭的固有长度为 L, 相对于地面作匀速直线运动的速度为  $v_1$ , 火箭上有一人从火箭的后端向火箭前端上的一个靶子发射一颗相对于火箭的速度为  $v_2$  的子弹。在火箭上测得子弹从射出到击中靶的时间间隔是:(c 表示真空中光速)( )

- A.  $\frac{L}{v_1 + v_2}$ ; B.  $\frac{L}{v_2}$ ; C.  $\frac{L}{v_2 - v_1}$ ; D.  $\frac{L}{v_1 \sqrt{1 - (v_1/c)^2}}$

10. 用频率为  $\nu$  的单色光照射某种金属时, 逸出光电子的最大动能为  $E_k$ ; 若改用频率为  $2\nu$  的单色光照射此种金属时, 则逸出光电子的最大动能为:( )

- A.  $2E_k$ ; B.  $2h\nu - E_k$ ; C.  $h\nu - E_k$ ; D.  $h\nu + E_k$ .

## 二、填空题(每题 3 分, 共 30 分)

1. 一质点沿 x 方向运动, 其加速度随时间变化关系为  $a = 3 + 2t$  (SI), 如果初始时质点的速度  $v_0$  为 5 m/s, 则当 t 为 3s 时, 质点的速度  $v =$  \_\_\_\_\_。

2. 一飞轮以角速度  $\omega_0$  绕光滑固定轴旋转, 飞轮对轴的转动惯量为  $J_1$ ; 另一静止飞轮突然和上述转动的飞轮啮合, 绕同一转轴转动, 该飞轮对轴的转动惯量为前者的二倍。啮合后整个系统的角速度  $\omega =$  \_\_\_\_\_。

3. 一个半径为 R 的薄金属球壳, 带有电荷 q, 壳内真空, 壳外是无限大的相对介电常量为  $\epsilon_r$  的各向同性均匀电介质。设无穷远处为电势零点, 则球壳的电势  $U =$  \_\_\_\_\_。

4. 长直电缆由一个圆柱导体和一共轴圆筒状导体组成, 两导体中有等值反向均匀电流 I 通过, 其间充满磁导率为  $\mu$  的均匀磁介质。介质中离中心轴距离为 r 的某点处的磁场强度的大小  $H =$  \_\_\_\_\_, 磁感强度的大小  $B =$  \_\_\_\_\_。

5. 一定量的理想气体贮于某一容器中, 温度为 T, 气体分子的质量为 m。根据理想气体分子模型和统计假设, 分子速度在 x 方向的分量的下列平均值  $\bar{v}_x =$  \_\_\_\_\_,  $\overline{v_x^2} =$  \_\_\_\_\_。

6. 压强、体积和温度都相同的氢气和氦气(均视为刚性分子的理想气体),它们的质量之比为  $m_1 : m_2 =$  \_\_\_\_\_, 它们的内能之比为  $E_1 : E_2 =$  \_\_\_\_\_, 如果它们分别在等压过程中吸收了相同的热量,则它们对外做功之比为  $W_1 : W_2 =$  \_\_\_\_\_。(各量下角标 1 表示氢气,2 表示氦气)

7. 在弦线上有一驻波,其表达式为  $y = 2A \cos(2\pi x / \lambda) \cos(2\pi \nu t)$ ,两个相邻波节之间的距离是 \_\_\_\_\_

8. 在双缝干涉实验中,所用单色光波长为  $\lambda = 562.5 \text{ nm}$  ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ),双缝与观察屏的距离  $D = 1.2 \text{ m}$ ,若测得屏上相邻明条纹间距为  $x = 1.5 \text{ mm}$ ,则双缝的间距  $d =$  \_\_\_\_\_。

9. 牛郎星距离地球约 16 光年,宇宙飞船若以 \_\_\_\_\_ 的匀速度飞行,将用 4 年的时间(宇宙飞船上的钟指示的时间)抵达牛郎星。

10. 原子内电子的量子态由  $n, l, m_l$  及  $m_s$  四个量子数表征。当  $n, l, m_l$  一定时,不同的量子态数目为 \_\_\_\_\_; 当  $n, l$  一定时,不同的量子态数目为 \_\_\_\_\_; 当  $n$  一定时,不同的量子态数目为 \_\_\_\_\_。

### 三、计算题(,共 90 分)

1. (15 分) 发射一宇宙飞船去考察一质量为  $M$ , 半径为  $R$  的行星. 当飞船静止于空间中离行星中心  $5R$  处时,发射一包仪器,如图所示. 仪器包的质量  $m$  远小于飞船的质量,要使该仪器包恰好掠过行星表面着陆, $\theta$ 角应是多大?



2. (15 分) 一个细玻璃棒被弯成半径为  $R$  的半圆形,沿一半均匀分布有电荷  $+Q$ ,另一半均匀分布有电荷  $-Q$ 。试求圆心  $O$  处的电场强度。

3. (15 分) 一轻弹簧在  $60 \text{ N}$  的拉力下伸长  $30 \text{ cm}$ 。现把质量为  $4 \text{ kg}$  的物体悬挂在该弹簧的下端并使之静止,再把物体向下拉  $10 \text{ cm}$ ,然后由静止释放并开始计时。求:

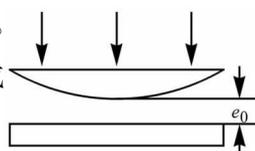
(1) 物体的振动方程;

(2) 物体在平衡位置上方  $5 \text{ cm}$  时弹簧对物体的拉力;

(3) 物体从第一次越过平衡位置时刻起到它运动到上方  $5 \text{ cm}$  处所需要的最短时间。

4. 储有  $1 \text{ mol}$  氧气,容积为  $1 \text{ m}^3$  的容器以  $v = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的速度运动。设容器突然停止,其中氧气的  $80\%$  的机械运动动能转化为气体分子热运动动能,问气体的温度及压强各升高了多少?(氧气分子视为刚性分子,普适气体常量  $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

5. (10 分) 如图所示,牛顿环装置的平凸透镜与平板玻璃有一小缝隙  $e_0$ 。现用波长为  $\lambda$  的单色光垂直照射,已知平凸透镜的曲率半径为  $R$ ,求反射光形成的牛顿环的各暗环半径。



6. (10 分) 地球的半径约为  $R_0 = 6376 \text{ km}$ ,它绕太阳的速率约为  $v = 30 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ ,在太阳参考系中测量地球的半径在哪个方向上缩短得最多? 缩短了多少?(假设地球相对于太阳系来说近似于惯性系)



## 模拟第一套卷参考答案

### 一、选择题(每题3分,共30分)

1. 解: 选 D.

2. 解: 挂物体时,  $P - T = \frac{p}{g}a$ ,  $TR = J\alpha$ ,  $a = R\alpha$ ,

$$\text{解得: } \alpha = \frac{gpR}{gJ + pR^2} = \frac{pR}{J + pR^2/g}$$

去掉物体后,  $pR = J\alpha \Rightarrow \alpha = \frac{pR}{J} > \frac{pR}{J + pR^2/g}$

选 C.

3. 解: 矢量不能等于标量, 所以 A 和 C 错; (B) 中“无限长”均匀带电直线(电荷线密度  $\lambda$ ) 的电场

强度大小不对, 应为  $E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$ , 只有 D 对.

4. 解:  $q_\alpha = 2e$ ,  $q_p = e$ ,  $\frac{m_\alpha}{m_p} = \frac{4}{1}$

$$\frac{R_\alpha}{R_p} = \frac{\frac{m_\alpha v}{q_\alpha B}}{\frac{m_p v}{q_p B}} = \frac{m_\alpha}{m_p} \cdot \frac{q_p}{q_\alpha} = 4 \times \frac{1}{2} = 2$$

$$\frac{T_\alpha}{T_p} = \frac{\frac{2\pi R_\alpha}{v}}{\frac{2\pi R_p}{v}} = \frac{R_\alpha}{R_p} = 2, \quad \text{选 C.}$$

5. 解: 选 D.

6. 解:  $\nu = 1$ ,  $i = 3$ ,  $\Delta E = \frac{3}{2}R\Delta T$ , 选 B.

7. 解: 对沿 x 轴负向传播的行波, x 和 t 前同号. 选 A.

8. 解: 非相干光, 不能干涉. 选 D.

9. 解: 选 B.

10. 解:  $E'_k = 2h\nu - A = h\nu + h\nu - A = h\nu + E_k$  选 D.

### 二、填空题(每题3分,共30分)

1. 解:  $v = v_0 + \int_0^t (3 + 2t)dt = v_0 + 3t + t^2$ ,  $v_{t=3} = 5 + 3 \times 3 + 3^2 = 23m/s$

2. 解: 角动量守恒  $J_1\omega_0 = (J_1 + 2J_1)\omega = 3J_1\omega$ ,  $\Rightarrow \omega = \omega_0/3$

$$3. \text{解: } u = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r R}$$

$$4. \text{解: } H = \frac{I}{2\pi r}, \quad B = \frac{\mu I}{2\pi r}$$

$$5. \text{解: } \bar{v}_x = 0, \quad \bar{v}_x^2 = \frac{1}{3}v^2 = \frac{13kT}{3m} = \frac{kT}{m}$$

6. 解: 氢气和氦气的压强、体积和温度都相同, 说明摩尔数相同:  $\nu_1 = \nu_2$

$$m_1 : m_2 = 2 : 4 = 1 : 2,$$

$$E_1 : E_2 = \frac{5}{2} : \frac{3}{2} = 5 : 3,$$

$$\left. \begin{aligned} W &= p\Delta v = pv_2 - pv_1 = R\Delta T \\ Q &= C_p\Delta T = \frac{i+2}{2}R\Delta T \end{aligned} \right\} \Rightarrow W = \frac{2}{i+2}Q$$

$$W_1 : W_2 = \frac{i_2 + 2}{i_1 + 2} = \frac{3 + 2}{5 + 2} = 5 : 7$$

7. 解:  $\lambda/2$ .

$$8. \text{解: } \Delta x = \frac{D}{d}\lambda \Rightarrow d = \frac{D}{\Delta x}\lambda = \frac{1.2}{1.5 \times 10^{-3}} \times 562.5 \times 10^{-9} = 0.00045\text{m} = 0.45\text{mm}$$

$$9. \text{解: } 4 \text{ 年是原时 } \tau_0, \quad \Delta t = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = \frac{L}{v}, \quad (L = 16 \text{ 光年}) \quad \text{即}$$

$$\frac{\tau_0 c}{c\sqrt{1-v^2/c^2}} = \frac{\tau_0 c}{\sqrt{c^2-v^2}} = \frac{L}{v} \quad (\tau_0 c = 4 \text{ 光年}) \quad \text{即} \quad \frac{4}{\sqrt{c^2-v^2}} = \frac{16}{v}$$

$$\text{解得: } v = \frac{4}{\sqrt{17}}c = 2.91 \times 10^8 \text{ m/s}$$

10. 解:  $2, 2(2l+1), 2n^2$ .

### 三、计算题(, 共 90 分)

1. 解: 因仪器包的质量  $m$  远小于飞船的质量, 所以可忽略飞船的反冲. 设仪器包落地时的速度为  $v$ , 根据能量守恒和角动量守恒,

$$\frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{GMm}{5R} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{GMm}{R}$$

$$mv_0 \sin \theta \cdot 5R = mvR$$

$$\text{解得: } \theta = \arcsin \left( \frac{1}{5} \sqrt{\frac{8GM}{5Rv_0^2} + 1} \right), \quad \left( v = v_0 \sqrt{\frac{8GM}{5Rv_0^2} + 1} \right)$$

$$2. \text{解: 如图建立坐标系. } dE_+ = \frac{\lambda_+ dl}{4\pi\epsilon_0 R^2} = \frac{Qd\theta}{(\pi/2)4\pi\epsilon_0 R^2} = \frac{Qd\theta}{2\pi^2\epsilon_0 R^2}$$



$$dE_- = \frac{\lambda_- dl}{4\pi\epsilon_0 R^2} = \frac{-Qd\theta}{(\pi/2)4\pi\epsilon_0 R^2} = \frac{-Qd\theta}{2\pi^2\epsilon_0 R^2}$$

由对称性可看出,  $E_x = 0$

$$\begin{aligned} dE_y &= -(dE_+ + dE_-) \cos\theta = -2 \cos\theta dE_+ \\ &= -2 \cos\theta \cdot \frac{Qd\theta}{2\pi^2\epsilon_0 R^2} = -\frac{Q \cos\theta d\theta}{\pi^2\epsilon_0 R^2} \end{aligned}$$

$$E_y = \int dE_y = -\int_0^{\pi/2} \frac{Q \cos\theta d\theta}{\pi^2\epsilon_0 R^2} = -\frac{Q}{\pi^2\epsilon_0 R^2}, \quad \vec{E} = -\frac{Q}{\pi^2\epsilon_0 R^2} \vec{j}$$

3. 解:  $k = \frac{60}{0.3} = 200 \text{ N/m}, \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{200}{4}} = \sqrt{50} \approx 7.07 \text{ rad/s.}$

(1) 选平衡位置为原点,  $x$  轴指向下方,  $x_0 = 0.1, v_0 = 0, \phi = 0,$

振动方程:  $x = 0.1 \cos(7.07t) \text{ (m)}.$

(2)  $\Delta x = \frac{mg}{k} - 0.05$

$$\begin{aligned} F &= -k\Delta x = -k\left(\frac{mg}{k} - 0.05\right) \\ &= -mg + 0.05k = -4 \times 9.8 + 0.05 \times 200 = -29.2 \text{ N} \end{aligned}$$

“-”表示拉力.

(3)  $\Delta\phi = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{3} = \frac{\pi}{6}, \quad \Delta t = \frac{\Delta\phi}{\omega} = \frac{\pi/6}{7.07} = 0.074 \text{ s}$

4. 解:  $\nu = 1, \quad \Delta E = \frac{5}{2} R \Delta T = 0.8 \times \frac{1}{2} m v^2$

$$\Delta T = \frac{0.8 m v^2}{5 R} = \frac{0.8 \times 0.032 \times 10^2}{5 \times 8.31} = 0.062 \text{ K}$$

$$\Delta p = \frac{R \Delta T}{v} = \frac{8.31 \times 0.062}{1} = 0.51 \text{ Pa}$$

5. 解: 设某暗环半径为  $r$ , 根据几何关系可知,

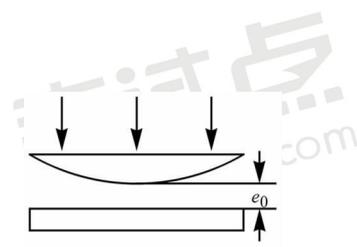
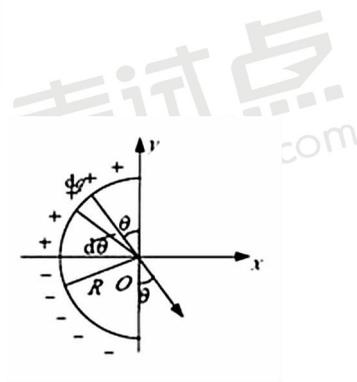
$$r^2 = R^2 - [R - (h - e_0)]^2 \approx 2R(h - e_0)$$

膜厚  $h = \frac{r^2}{2R} + e_0,$  代入暗纹条件

$$2h + \frac{\lambda}{2} = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

解得  $r_k = \sqrt{R(k\lambda - 2e_0)},$  是整数且  $k > [\frac{2e_0}{\lambda}],$   $[\ ]$  表示取整.

6. 解: 在太阳参照系中测量地球的半径在它绕太阳公转的方向缩短得最多.



在太阳参照系中在地球速度的方向测得地球的半径为

$$R = R_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}},$$

$$\begin{aligned} \Delta R &= R_0 - R = R_0 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}\right) \approx R_0 \left[1 - \left(1 - \frac{v^2}{2c^2}\right)\right] \\ &= \frac{R_0 v^2}{2c^2} = \frac{6376 \times 10^3 \times (30 \times 10^3)^2}{2(3 \times 10^8)^2} = 3.2 \text{ cm} \end{aligned}$$



## 模拟第二套卷

时间:180 分钟

满分:150 分.

### 一、选择题(每题 3 分,共 30 分)

1. 质量为 20 g 的子弹沿 X 轴正向以 500 m/s 的速率射入一木块后,与木块一起仍沿 X 轴正向以 50 m/s 的速率前进,在此过程中木块所受冲量的大小为( )

- A.  $9 \text{ N} \cdot \text{s}$ ;      B.  $-9 \text{ N} \cdot \text{s}$ ;      C.  $10 \text{ N} \cdot \text{s}$ ;      D.  $-10 \text{ N} \cdot \text{s}$

2. 如图所示,一静止的均匀细棒,长为 L、质量为 M,可绕通过棒的端点且垂于棒长的光滑固定轴 O 在水平面内转动,转动惯量为  $\frac{1}{3}ML^2$ 。一质量为 m、速率为 v 的子弹在水平面内沿与棒垂直的方向

射出并穿出棒的自由端,设穿过棒后子弹的速率为  $\frac{1}{2}v$ ,则此时棒的角速度应为( )

- A.  $\frac{mv}{ML}$ ;      B.  $\frac{3mv}{2ML}$ ;      C.  $\frac{5mv}{4ML}$ ;      D.  $\frac{7mv}{4ML}$



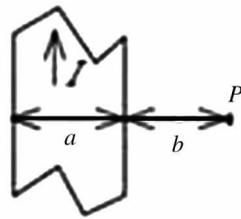
俯视图

3. 高斯定理( )

- A. 适用于任何静电场;  
 B. 只适用于真空中的静电场;  
 C. 只适用于具有球对称性、轴对称性和平面对称性的静电场;  
 D. 只适用于虽然不具有(C)中所述的对称性、但可以找到合适的高斯面的静电场.

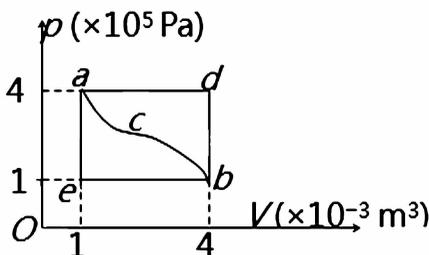
4. 有一无限长通电的扁平铜片,宽度为 a,厚度不计,电流 I 在铜片上均匀分布,在铜片外与铜片共面,离铜片右边缘为 b 处的 P 点(如图)的磁感强度 B 的大小为( )

- A.  $\frac{\mu_0 I}{2\pi(a+b)}$ ;      B.  $\frac{\mu_0 I}{2\pi a} \ln\left(\frac{a+b}{b}\right)$ ;  
 C.  $\frac{\mu_0 I}{2\pi b} \ln\left(\frac{a+b}{b}\right)$ ;      D.  $\frac{\mu_0 I}{\pi(a+2b)}$



5. 一定量的理想气体经历 acb 过程时吸热 500 J。则经历 acbda 过程时,吸热为( )

- A.  $-1200 \text{ J}$       B.  $-700 \text{ J}$   
 C.  $-400 \text{ J}$       D.  $700 \text{ J}$



6. 设高温热源的热力学温度是低温热源的热力学温度的  $n$  倍, 则理想气体在一次卡诺循环中, 传给低温热源的热量是从高温热源吸取热量的( )

- A.  $n$  倍                      B.  $n-1$  倍                      C.  $\frac{1}{n}$  倍                      D.  $\frac{n+1}{n}$  倍

7. 若一平面简谐波的表达式为  $y = A \cos(Bt - Cx)$ , 式中  $A, B, C$  为正值常量, 则:( )

- A. 波速为  $C$ ;                      B. 周期为  $1/B$ ;                      C. 波长为  $2\pi/C$ ;                      D. 角频率为  $2\pi/B$ .

8. 把双缝干涉实验装置放在折射率为  $n$  的水中, 两缝间距离为  $d$ , 双缝到屏的距离为  $D$  ( $D \gg d$ ), 所用单色光在真空中的波长为  $\lambda$ , 则屏上干涉条纹中相邻的明纹之间的距离是( )

- A.  $\frac{\lambda D}{nd}$ ;                      B.  $\frac{n\lambda D}{d}$ ;                      C.  $\frac{\lambda d}{nD}$ ;                      D.  $\frac{\lambda D}{2nd}$ .

9. 某核电站年发电量为 100 亿度, 它等于  $36 \times 10^{15} \text{ J}$  的能量, 如果这是由核材料的全部静止能转化产生的, 则需要消耗的核材料的质量为( )

- A. 0.4 kg;                      B. 0.8 kg;                      C.  $(1/12) \times 10^7 \text{ kg}$ ;                      D.  $12 \times 10^7 \text{ kg}$

10. 在氢原子的 K 壳层中, 电子可能具有的量子数 ( $n, l, m_l, m_s$ ) 是( )

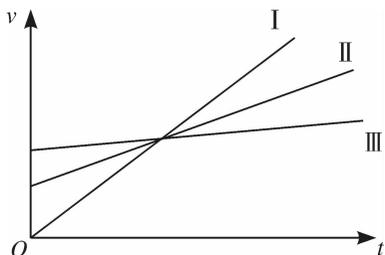
- A.  $(1, 0, 0, \frac{1}{2})$ ;                      B.  $(1, 0, -1, \frac{1}{2})$ ;                      C.  $(1, 1, 0, -\frac{1}{2})$ ;                      D.  $(2, 1, 0, -\frac{1}{2})$ .

## 二、填空题(每题 3 分, 共 30 分)

1. 在  $v-t$  图中所示的三条直线都表示同一类型的运动:

(1) I、II、III 三条直线表示的是\_\_\_\_\_运动;

(2)\_\_\_\_\_直线所表示的运动的加速度最大。



2. 两个同方向同频率的简谐振动, 其振动表达式分别为:

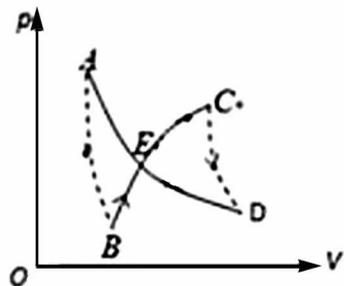
$$x_1 = 6 \times 10^{-2} \cos(5t + \frac{\pi}{2}) \text{ (SI)}, \quad x_2 = 2 \times 10^{-2} \sin(\pi - 5t) \text{ (SI)}$$

它们的合振动的振幅为\_\_\_\_\_, 初相为\_\_\_\_\_。

3. 任意形状的带电导体, 其电荷面密度分布为  $\sigma(x, y, z)$ , 则在导体表面外附近任意点处的电场强度的大小  $E(x, y, z) =$ , 其方向\_\_\_\_\_。

4. 一自感线圈中, 电流强度在 0.002 s 内均匀地由 10 A 增加到 12 A, 此过程中线圈内自感电动势为 400 V, 则线圈的自感系数为  $L =$ \_\_\_\_\_。

5. 如图所示, 绝热过程 AB、CD, 等温过程 DEA, 和任意过程





BEC, 组成一循环过程。若图中 ECD 所包围的面积为 70J, EAB 所包围的面积为 30J, DEA 过程中系统放热 100J, 则:

- (1) 整个循环过程(ABCDEA)系统对外做功为\_\_\_\_\_。
- (2) BEC 过程中系统从外界吸热为\_\_\_\_\_。

6. 一气体分子的质量可以根据该气体的定体比热来计算。氩气的定体比热  $c_v = 0.314kJ^{-1} \cdot K^{-1}$ , 则氩原子的质量  $m =$ \_\_\_\_\_。

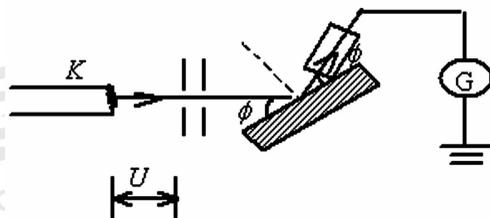
7. 两相干波源  $S_1$  和  $S_2$  的振动方程分别是  $y_1 = A\cos(\omega t + \varphi)$  和  $Y_2 = A\cos(\omega t + \varphi)$ ,  $S_1$  距 P 点 3 个波长,  $S_2$  距 P 点 4.5 个波长。设波传播过程中振幅不变, 则两波同时传到 P 点时的合振幅是\_\_\_\_\_。

8. 若一双缝装置的两个缝分别被折射率为  $n_1$  和  $n_2$  的两块厚度均为  $e$  的透明介质所遮盖, 此时由双缝分别到屏上原中央极大所在处的两束光的光程差  $\delta =$ \_\_\_\_\_。

9. 以速度  $v$  相对于地球作匀速直线运动的恒星所发射的光子, 其相对于地球的速度大小为\_\_\_\_\_。

10. 在戴维孙——革末电子衍射实验装置中, 自热阴极 K 发射出的电子束经  $U = 500V$  的电势差加速后投射到晶体上。这电子束的德布罗意波长

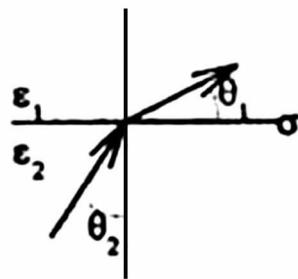
$\lambda =$ \_\_\_\_\_ nm。



### 三、计算题(共 90 分)

1. 质量为  $M$  的宇宙飞船在星际空间飞行. 它用一面积为  $A$  的洞捕集静止的氢(每单位体积的质量为  $\rho$ ), 再将其排出, 排气的方向与飞船飞行的方向相反, 排气的速率相对飞船为  $v_r$ , 问非船的速率  $V$  等于多少时, 它的加速度最大? 用  $M, \rho, A, v_r$  表示此最大加速度。

2. 两介质的介电常数分别为  $\epsilon_1$  和  $\epsilon_2$ , 在它们接触的分界面上有一层自由电荷, 面密度为  $\sigma$ . 这面两边上的电场强度分别为  $\vec{E}_1$  和  $\vec{E}_2$ , 它们与分界面法线的夹角分别是  $\theta_1$  和  $\theta_2$ , 如图所示. 证明:

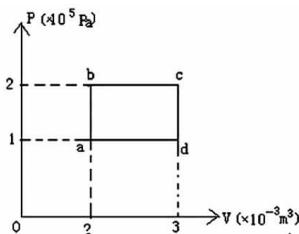


$$\epsilon_2 \cot \theta_2 = \epsilon_1 \cot \theta_1 \left( 1 - \frac{\sigma}{\epsilon_1 E_1 \cos \theta_1} \right)$$

3. 如图所示, abcd 为 1 mol 单原子分子理想

气体的循环过程, 求:

- (1) 气体循环一次, 在吸热过程中从外界共吸收的热量
- (2) 气体循环一次对外做的净功;
- (3) 证明在 abcd 四态, 气体的温度有  $T_a T_c = T_b T_d$ 。



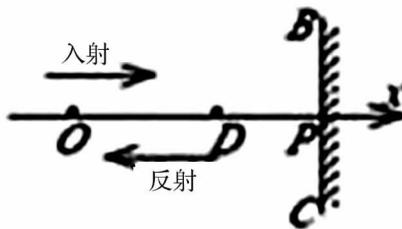
4. 一衍射光栅, 每厘米 200 条透光缝, 每条透光缝宽为  $a = 2 \times 10^{-3}$

cm, 在光栅后放一焦距  $f = 1 \text{ m}$  的凸透镜, 现以  $\lambda = 600 \text{ nm}$  ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) 的单色平行光垂直照射光栅, 求:

- (1) 透光缝  $a$  的单缝衍射中央明条纹宽度为多少?
- (2) 在该宽度内, 有几个光栅衍射主极大?

5. (10 分) 氢原子波函数为  $\Psi = \frac{1}{\sqrt{10}}(2\Psi_{100} + \Psi_{210} + \sqrt{2}\Psi_{211} + \sqrt{3}\Psi_{310})$ , 其中  $\Psi_{nlm}$  是氢原子的能量本征态, 求  $\epsilon$  的可能值、相应的概率及平均值。

6. (15 分) 如图所示, 一平面简谐波沿  $x$  轴正方向传播,  $BC$  为波密媒质的反射面。波由  $P$  点反射,  $OP = 3\lambda/4$ ,  $DP = \lambda/6$ 。在  $t = 0$  时,  $O$  处质点的合振动是经过平衡位置向负方向运动。求  $D$  点处入射波与反射波的合振动方程。(设入射波和反射波的振幅皆为  $A$ , 频率为  $\nu$ )



模拟第二套卷答案参考考试点视频



## 模拟第三套卷

时间:180 分钟

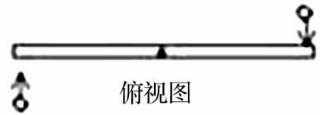
满分:150 分

### 一、选择题(每题 3 分,共 30 分)

1. 有一劲度系数为  $k$  的轻弹簧,原长为  $l_0$ ,将它吊在天花板上。当它下端挂一托盘平衡时,其长度变为  $l_1$ 。然后在托盘中放一重物,弹簧长度变为  $l_2$ ,则由  $l_1$  伸长至  $l_2$  的过程中,弹性力所作的功为 ( )

(A)  $-\int_{l_1}^{l_2} kx dx$ , (B)  $\int_{l_1}^{l_2} kx dx$ , (C)  $-\int_{l_1-l_0}^{l_2-l_0} kx dx$ , (D)  $\int_{l_1-l_0}^{l_2-l_0} kx dx$

2. 光滑的水平桌面上,有一长为  $2L$ 、质量为  $m$  的匀质细杆,可绕过其中点且垂直于杆的竖直光滑固定轴  $O$  自由转动,其转动惯量为  $\frac{1}{3}mL^2$ ,起初杆静止。桌面上有两个质量均为  $m$  的小球,各自在垂直



于杆的方向上,正对着杆的一端,以相同速率  $v$  相向运动,如图所示。当两小球同时与杆的两个端点发生完全非弹性碰撞后,就与杆粘在一起转动则这一系统碰撞后的转动角速度应为( )

(A)  $\frac{3v}{2L}$ , (B)  $\frac{4v}{5L}$ , (C)  $\frac{6v}{7L}$ , (D)  $\frac{8v}{9L}$ , (E)  $\frac{12v}{7L}$ .

3. 关于高斯定理的理解有下面几种说法,其中正确的是( )

- (A) 如果高斯面上  $\vec{E}$  处处为零,则该面内必无电荷;
- (B) 如果高斯面内无电荷,则高斯面上  $\vec{E}$  处处为零
- (C) 如果高斯面上  $\vec{E}$  处处不为零,则高斯面内必有电荷
- (D) 如果高斯面内有净电荷,则通过高斯面的电场强度通量必不为零

4. 在感应电场中电磁感应定律可写成  $\oint_L \vec{E}_K \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt}$ ,式中  $\vec{E}_K$  为感应电场的电场强度。此式表明( )

- (A) 闭合曲线  $L$  上  $\vec{E}_K$  处处相等;
- (B) 感应电场是保守力场;
- (C) 感应电场的电场强度线不是闭合曲线;
- (D) 在感应电场中不能像对静电场那样引入电势的概念。

5. 一定量的某种理想气体起始温度为  $T$ , 体积为  $V$ , 该气体在下面循环过程中经过三个平衡过程:

(1) 绝热膨胀到体积为  $2V$ , (2) 等体变化使温度恢复为  $T$ , (3) 等温压缩到原来体积  $V$ , 则此整个循环过程中( )

- (A) 气体向外界放热; (B) 气体对外界作正功;  
(C) 气体内能增加; (D) 气体内能减少;

6. 气缸内盛有一定量的氢气(可视为理想气体),当温度不变而压强增大一倍时,氢气分子的平均碰撞频率 $\bar{z}$ 和平均自由程 $\bar{\lambda}$ 的变化情况是( )

- (A)  $\bar{z}$ 和 $\bar{\lambda}$ 都增大一倍; (B)  $\bar{z}$ 和 $\bar{\lambda}$ 都减为原来的一半;  
(C)  $\bar{z}$ 增大一倍而 $\bar{\lambda}$ 减为原来的一半; (D)  $\bar{z}$ 减为原来的一半而 $\bar{\lambda}$ 增大一倍.

7. 把一根十分长的绳子拉成水平,用手握其一端。维持拉力恒定,使绳端在垂直于绳子的方向上作简谐振动,则( )

- (A) 振动频率越高,波长越长; (B) 振动频率越低,波长越长  
(C) 振动频率越高,波速越大; (D) 振动频率越低,波速越大.

8. 若把牛顿环装置(都是用折射率为 1.52 的玻璃制成的)由空气搬入折射率为 1.33 的水中,则干涉条纹( )

- (A) 中心暗斑变成亮斑; (B) 变疏; (C) 变密; (D) 间距不变.

9. 一宇航员要到离地球为 5 光年的星球去旅行。如果宇航员希望把这路程缩短为 3 光年,则他所乘的火箭相对于地球的速度应是( )(c 表示真空中光速)

- (A)  $v = (1/2)c$ ; (B)  $v = (3/5)c$ ;  
(C)  $v = (4/5)c$ ; (D)  $v = (9/10)c$ .

10. 按照原子的量子理论,原子可以通过自发辐射和受激辐射的方式发光,它们所产生的光的特点是( )

- (A) 两个原子自发辐射的同频率的光是相干的,原子受激辐射的光与入射光是不相干的;  
(B) 两个原子自发辐射的同频率的光是不相干的,原子受激辐射的光与入射光是相干的;  
(C) 两个原子自发辐射的同频率的光是不相干的,原子受激辐射的光与入射光是不相干的;  
(D) 两个原子自发辐射的同频率的光是相干的,原子受激辐射的光与入射光是相干的.

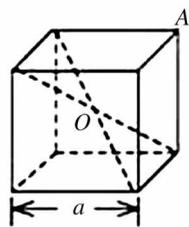
## 二、填空题(每题 3 分,共 30 分)

1. 一质量为  $m$  的质点沿着一条曲线运动,其位置矢量在空间直角坐标系中的表达式为  $\vec{r} = a \cos \omega t \vec{i} + b \sin \omega t \vec{j}$ ,其中  $a, b, \omega$  皆为常量,则此质点对原点的角动量  $L =$  \_\_\_\_\_;此质点所受对原点的力矩  $M =$  \_\_\_\_\_.

2. 两个同方向同频率的简谐振动,其合振动的振幅为 20 cm,与第一个简谐振动的相位差为  $\varphi - \varphi_1 = \pi/6$ 。若第一个简谐振动的振幅为  $10\sqrt{3} = 17.3\text{cm}$ ,则第二个简谐振动的振幅为 \_\_\_\_\_ cm,第一、二两个简谐振动的相位差  $\varphi_1 - \varphi_2$  为 \_\_\_\_\_.

3. 静电场中有一立方体均匀导体,边长为  $a$ 。已知立方体中心  $O$  处的电势为  $U_0$ ,则立方体顶点  $A$  的电势  $U_A$  为 \_\_\_\_\_。

4. 无限长密绕直螺线管通以电流  $I$ ,内部充满均匀、各向同性的磁介质,磁导率为  $\mu$ 。管上单位长度绕有  $n$  匝导线,则管内部的磁感强度为 \_\_\_\_\_,内部的





磁能密度为\_\_\_\_\_。

5. 已知一容器内的理想气体在温度为 273 K、压强为  $1.0 \times 10^{-2}$  atm 时, 其密度为  $1.24 \times 10^{-2} \text{kg/m}^3$ , 则该气体的摩尔质量  $M_{\text{mol}} =$  \_\_\_\_\_; 容器单位体积内分子的总平动动能 = \_\_\_\_\_。

6. 一个作可逆卡诺循环的热机, 其效率为  $\eta$ , 它逆向运转时便成为一台致冷机, 该致冷机的致冷系数  $w = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$ , 则  $\eta$  与  $w$  的关系为\_\_\_\_\_。

7. 一驻波表达式为  $y = 2A \cos(2\pi x / \lambda) \cos \omega t$ , 则  $x = -\frac{\lambda}{2}$  处质点的振动方程是\_\_\_\_\_; 该质点的振动速度表达式是\_\_\_\_\_。

8. 一束自然光从空气投射到玻璃表面上(空气折射率为 1), 当折射角为  $30^\circ$  时, 反射光是完全偏振光, 则此玻璃板的折射率等于\_\_\_\_\_。

9. 两个惯性系中的观察者 O 和 O' 以  $0.6c$  ( $c$  表示真空中光速) 的相对速度互相接近。如果 O 测得两者的初始距离是 20 m, 则 O' 测得两者经过时间  $\Delta t' =$  \_\_\_\_\_ s 后相遇。

10. 线性谐振子的能量可取为\_\_\_\_\_; 若  $\psi = \sqrt{\frac{3}{10}}u_0 + \sqrt{\frac{2}{5}}u_2 + \sqrt{\frac{3}{10}}u_3$ ,  $u_n$  是谐振子的第  $n$  个能量本征函数, 则体系的能量平均值为\_\_\_\_\_。

### 三、计算题( 每题 15 分, 共 90 分)

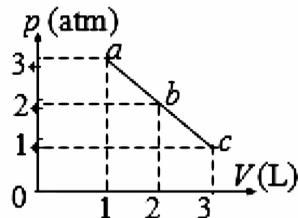
1. (15 分) 质量为  $M$  和  $m$  的两物体系在原长为  $a$ , 倔强系数为  $k$  的弹簧两端, 并放在光滑水平面上。现使  $M$  获得一与弹簧垂直的速度  $v_0$ , 若  $v_0 = 3a\sqrt{\frac{k}{2\mu}}$ , 其中  $\mu$  为折合质量。试证明: 在以后的运动过程中, 两物体之间的最大距离为  $3a$ 。

2. (15 分) 一球形电容器, 内外半径为  $r_1$  和  $r_2$ , 带电为  $Q$ , 自转转动惯量为  $I$ , 静置于一均匀磁场  $B$  中, 当将  $B$  撤消时, 求电容器自转角速度的大小和方向。

3. (15 分) 一定量的理想气体, 由状态  $a$  经  $b$  到达  $c$ 。

(如图,  $abc$  为一直线) 求此过程中

- (1) 气体对外作的功;
- (2) 气体内能的增量;
- (3) 气体吸收的热量。(  $1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$  )



4. (10 分) (1) 一波源(振动的频率为  $2040 \text{Hz}$ ) 以速度  $v_s$  向一反射面接近(见图) 观察者在 A 点听得拍音的频率为  $\Delta\nu = 3 \text{Hz}$ , 求波源移动的速度  $v_s$ , 设声速为  $340 \text{m/s}$ ;



(2) 若(1)中波源没有运动, 而反射面以速度  $v = 0.20 \text{m/s}$  向观察者人接近, 所听得拍音频率  $\Delta\nu = 4 \text{Hz}$ 。求波源的频率。

5. (15 分) 一束平行光垂直入射到某个光栅上, 该光束有两种波长的光,  $\lambda_1 = 440 \text{nm}$ ,  $\lambda_2 = 660 \text{nm}$  ( $1 \text{nm} = 10^{-9} \text{m}$ )。实验发现, 两种波长的谱线(不计中央明纹)第二次重

合于衍射角 $\phi = 60^\circ$ 的方向上。求此光栅的光栅常数  $d$ 。

6. (10 分) 功率为  $P$  的点光源, 发出波长为  $\lambda$  的单色光, 在距光源为  $d$  处, 每秒钟落在垂直于光线的单位面积上的光子数为多少? 若  $\lambda = 6630 \text{ \AA}$ , 则光子的质量为多少?

模拟第三套卷答案参考考试点视频

考试点  
kaoshidian.com



## 模拟第四套卷

时间:180 分钟 满分:150 分

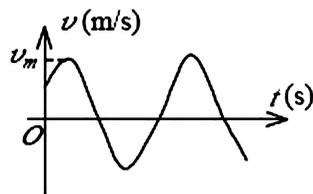
### 一、选择题(每题 3 分,共 30 分)

1. A、B 两木块质量分别为  $m_A$  和  $m_B$ , 且  $m_B = 2m_A$ , 两者用一轻弹簧连接后静止于光滑水平桌面上, 如图所示。若用外力将两木块压近使弹簧被压缩, 然后将外力撤去, 则此后两木块运动动能之比  $E_{KA}/E_{KB}$  为( )



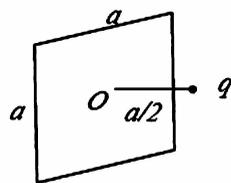
- (A)  $\frac{1}{2}$ ; (B)  $\frac{\sqrt{2}}{2}$ ; (C)  $\sqrt{2}$ ; (D) 2.

2. 一质点作简谐振动。其运动速度与时间的曲线如图所示。若质点的振动规律用余弦函数描述, 则其初相应为( )



- (A)  $\pi/6$ ; (B)  $5\pi/6$ ; (C)  $-5\pi/6$ ; (D)  $-\pi/6$ ; (E)  $-2\pi/3$ .

3. 有一边长为  $a$  的正方形平面, 在其中垂线上距中心  $O$  点  $a/2$  处, 有一电荷为  $q$  的正点电荷, 如图所示, 则通过该平面的电场强度通量为( )



- (A)  $\frac{q}{3\epsilon_0}$ ; (B)  $\frac{q}{4\pi\epsilon_0}$ ; (C)  $\frac{q}{3\pi\epsilon_0}$ ; (D)  $\frac{q}{6\epsilon_0}$ ;

4. 一空心导体球壳, 其内、外半径分别为  $R_1$  和  $R_2$ , 带电荷  $q$ 。当球壳中心处再放一电荷为  $q$  的点电荷时, 则导体球壳的电势(设无穷远处为电势零点)为( )

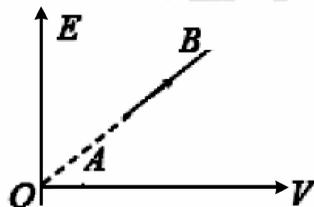
- (A)  $\frac{q}{4\pi\epsilon_0 R_1}$ ; (B)  $\frac{q}{4\pi\epsilon_0 R_2}$ ; (C)  $\frac{q}{2\pi\epsilon_0 R_1}$ ; (D)  $\frac{q}{2\pi\epsilon_0 R_2}$ .

5. 水蒸气分解成同温度的氢气和氧气, 内能增加了百分之几(不计振动自由度和化学能)? ( )

- (A) 66.7%; (B) 50%;  
(C) 25%; (D) 0.

6. 某理想气体状态变化时, 内能随体积的变化关系

如图中 AB 直线所示。A→B 表示的过程是( )



- (A) 等压过程;  
(B) 等体过程;  
(C) 等温过程;  
(D) 绝热过程;

7. 一简谐横波沿  $Ox$  轴传播。若  $Ox$  轴上  $P_1$  和  $P_2$  两点相距  $\lambda/8$  (其中  $\lambda$  为该波的波长), 则在波的

传播过程中,这两点振动速度的( )

- (A) 方向总是相同; (B) 方向总是相反;  
(C) 方向有时相同,有时相反; (D) 大小总是不相等.

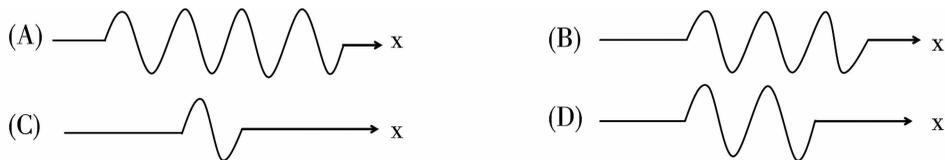
8. 在双缝干涉实验中,入射光的波长为  $\lambda$ ,用玻璃纸遮住双缝中的一个缝,若玻璃纸中光程比相同厚度的空气的光程大  $2.5\lambda$ ,则屏上原来的明纹处( )

- (A) 仍为明条纹; (B) 变为暗条纹;  
(C) 既非明纹也非暗纹; (D) 无法确定是明纹,还是暗纹.

9. 在某地发生两件事,静止位于该地的甲测得时间间隔为 4 s,若相对于甲作匀速直线运动的乙测得时间间隔为 5 s,则乙相对于甲的运动速度是( $c$  表示真空中光速)( )

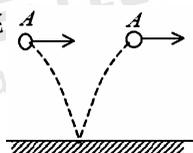
- (A)  $(4/5)c$ ; (B)  $(3/5)c$ ; (C)  $(2/5)c$ ; (D)  $(1/5)c$ .

10. 设粒子运动的波函数图线分别如图(A)、(B)、(C)、(D)所示,那么其中确定粒子动量的精确度最高的波函数是哪个图?( )



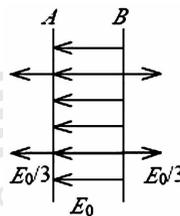
## 二、填空题(每题3分,共30分)

1. 一质量为  $m$  的小球 A,在距离地面某一高度处以速度  $\vec{v}$  水平抛出,触地后反跳,小球 A 跳回原高度,速度仍沿水平方向,速度大小也与抛出时相同,如图。则小球 A 与地面碰撞过程中,地面给它的冲量的方向为,冲量的大小为\_\_\_\_\_。



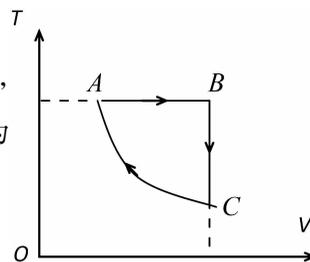
2. 质量分别为  $m$  和  $2m$  的两物体(都可视为质点),用一长为  $l$  的轻质刚性细杆相连,系统绕通过杆且与杆垂直的竖直固定轴  $O$  转动,已知  $O$  轴离质量为  $2m$  的质点的距离为  $1/3$ ,质量为  $m$  的质点的线速度为  $v$  且与杆垂直,则该系统对转轴的角动量(动量矩)大小为\_\_\_\_\_。

3. A、B 为真空中两个平行的“无限大”均匀带电平面,已知两平面间的电场强度大小为  $E_0$ ,两平面外侧电场强度大小都为  $E_0/3$ ,方向如图。则 A、B 两平面上的电荷面密度分别为  $\sigma_A =$  \_\_\_\_\_,  $\sigma_B =$  \_\_\_\_\_。



4. 一空气电容器充电后切断电源,电容器储能  $W_0$ ,若此时在极板间灌入相对介电常量为  $\epsilon_r$  的煤油,则电容器储能变为  $W_0$  的\_\_\_\_\_倍。如果灌煤油时电容器一直与电源相连接,则电容器储能将是  $W_0$  的\_\_\_\_\_倍。

5. 1 mol 理想气体(设  $\gamma = C_p/C_v$  为已知)的循环过程,如  $T-V$  图所示,其中 CA 为绝热过程,A 点状态参量( $T_1, V_1$ )和 B 点的状态参量( $T_2, V_2$ )为已知。



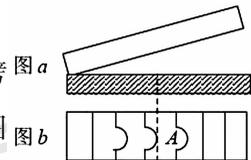
试求 C 点的状态参量:  $V_c =$  \_\_\_\_\_,  $T_c =$  \_\_\_\_\_,  $p_c =$  \_\_\_\_\_。



6. 可逆卡诺热机可以逆向运转。逆向循环时,从低温热源吸热,向高温热源放热,而且吸的热量和放出的热量等于它正循环时向低温热源放出的热量和从高温热源吸的热量. 设高温热源的温度为  $T_1 = 450\text{K}$ , 低温热源的温度为  $T_2 = 300\text{K}$ , 卡诺热机逆向循环时从低温热源吸热  $Q_2 = 400\text{J}$ . 则该卡诺热机逆向循环一次外界必须做功  $W =$  \_\_\_\_\_。

7. A, B 是简谐波波线上的两点。已知 B 点振动的相位比 A 点落后  $\frac{\pi}{3}$ , A、B 两点相距  $0.5\text{ m}$ , 波的频率为  $100\text{ Hz}$ , 则该波的波长  $\lambda =$  \_\_\_\_\_ m, 波速  $u =$  \_\_\_\_\_ m/s。

8. 图 a 为一块光学平板玻璃与一个加工过的平面一端接触, 构成的空气劈尖, 用波长为  $\lambda$  的单色光垂直照射。看到反射光干涉条纹(实线为暗条纹)如图 b 所示。则干涉条纹上 A 点处所对应的空气薄膜厚度为  $e =$  \_\_\_\_\_。

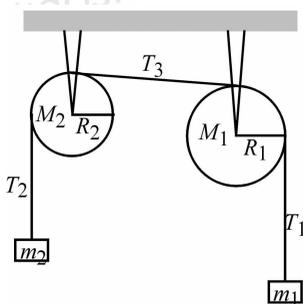


9. 某加速器将电子加速到能量  $E = 2 \times 10^6\text{ eV}$  时, 该电子的动能  $E_k =$  \_\_\_\_\_ eV。(电子的静止质量  $m_e = 9.11 \times 10^{-31}\text{ kg}$ ,  $1\text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19}\text{ J}$ )

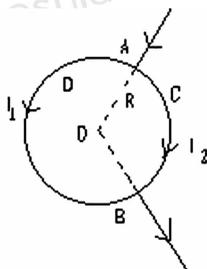
10. 当一个质子俘获一个动能  $E_k = 13.6\text{ eV}$  的自由电子组成一个基态氢原子时, 所发出的单色光频率是\_\_\_\_\_。

### 三、计算题(共 90 分)

1. (15 分) 一个如图所示的装置, 其中,  $m_1$  和  $m_2$ ,  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $R_1$  和  $R_2$  都已知, 且  $m_1 > m_2$ , 滑轮都是圆盘形的. 设绳子长度不变, 绳子的质量和滑轮轴上的摩擦力均可不计, 绳子与滑轮间不打滑, 滑轮质量均匀分布. 求  $m_2$  的加速度  $a$  及绳子的张力  $T_2$  和  $T_3$ .

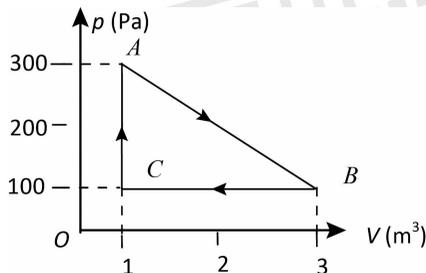


2. (10 分) 如图, 两根导线沿半径方向引到铁环上的 A、B 两点, 并在很远处与电源相连, 求环中心的磁感应强度。



3. (15 分) 一定量的某种理想气体进行如图所示的循环过程。已知气体在状态 A 的温度为  $T_A = 300\text{ K}$ , 求:

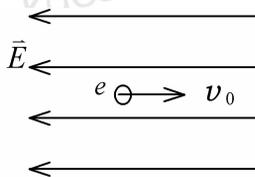
- (1) 气体在状态 B、C 的温度；  
 (2) 各过程中气体对外所作的功；  
 (3) 经过整个循环过程，气体从外界吸收的总热量（各过程吸热的代数和）。



4. (15 分) 用每毫米 300 条刻痕的衍射光栅来检验仅含有属于红和蓝的两种单色成分的光谱。已知红谱线波长  $\lambda_R$  在  $0.63—0.76\mu\text{m}$  范围内，蓝谱线波长  $\lambda_B$  在  $0.43—0.49\mu\text{m}$  范围内。当光垂直入射到光栅时，发现在衍射角为  $24.46^\circ$  处，红蓝两谱线同时出现。

- (1) 在什么角度下红蓝两谱线还会同时出现？  
 (2) 在什么角度下只有红谱线出现？

5. (10 分) 如图所示，一电子以初速度  $v_0 = 6.0 \times 10^6 \text{ m/s}$  逆着场强方向飞入电场强度为  $E = 500 \text{ V/m}$  的均匀电场中，问该电子在电场中要飞行多长距离  $d$ ，可使得电子的德布罗意波长达到  $\lambda = 1 \text{ \AA}$ 。（飞行过程中，电子的质量认为不变，即为静止质量  $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ；基本电荷  $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ ；普朗克常量  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ）。



6. (15 分) 空间有两小球，球心间的距离小于半径之和，因此有一部分重叠。今使一球充满密度为  $\rho$  的均匀正电荷，另一球充满密度为  $-\rho$  的均匀负电荷，重叠区域则无电荷。求这重叠区域的电场强度  $E$ ，说明  $E$  是均匀电场。

模拟第四套卷答案参考考试点视频