

2014 年 1 月 9 日 大学物理（下）试卷

得分	
----	--

一、填空题 [每空 2 分，共 30 分]

1. 当温度升高到某一温度时，铁磁质的铁磁性就完全消失了，铁磁质退化成顺磁质，这是因为剧烈的分子热运动瓦解了铁磁质内的_____，该温度称为_____。

【解】磁畴，居里温度

2. 均匀磁场被限制在半径为 R 的圆柱形空间内，以 dB/dt 均匀增加，则距离圆柱轴线 $r = 0.5R$ 处的点的感应电场强度的大小为_____； $r = 2R$ 处的大小为_____。

【解】 $E = \frac{r}{2} \frac{dB}{dt} \Big|_{r=0.5R} = \frac{R}{4} \frac{dB}{dt}$, $E = \frac{R^2}{2r} \frac{dB}{dt} \Big|_{r=2R} = \frac{R}{4} \frac{dB}{dt}$

3. 均匀电场被限制在半径为 R 的圆形电容器内，以 dD/dt 均匀增加，则在电容器极板间距离圆心 $r = 0.5R$ 处的点的位移电流密度值为_____； $r = 2R$ 处的值为_____。

【解】 $J_d = \frac{dD}{dt}$, 0

4. 由自然光和线偏振光组成的部分偏振光垂直通过偏振片，以光束为轴旋转偏振片，测得透射光强度最大值是最小值的 3 倍，则线偏振光与自然光的光强比值为_____，该偏振光的偏振度为_____。

【解】设自然光光强 I_n ，偏振光光强 I_p

最大值： $I_{\max} = \frac{I_n}{2} + I_p$ ，最小值： $I_{\min} = \frac{I_n}{2}$ ， $\frac{I_n}{2} + I_p = \frac{3}{2} I_n$ ，所以： $\frac{I_p}{I_n} = 1$

偏振度： $p = \frac{I_p}{I_n + I_p} = \frac{1}{2}$ ，或： $p = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \frac{1}{2}$

5. 在单轴晶体中，寻常光（又称 o 光）光矢量的振动方向_____其主平面；而非寻常光（又称 e 光）光矢量的振动方向_____其主平面。

【解】垂直；平行

6. 在单缝夫琅禾费衍射中，屏上 p 点对应于第三级暗纹中心，若将单缝的宽度缩小一半， p 点将变成第_____级的_____。

【解】一级 明纹

$$a \sin \phi = 3\lambda$$

$$\frac{a}{2} \sin \phi = (2 \times 1 + 1) \frac{\lambda}{2}$$

7. 一维运动的粒子, 其动量的不确定量等于它的动量, 根据不确定关系 $\Delta x \Delta p \geq h$, 此粒子的位置不确定量与它的德布罗意波长的关系式为_____。

【解】 $\Delta x \Delta p \geq h$, $\Delta x \geq \frac{h}{p} = \lambda$

8. 在均匀、各向同性的透明介质中, 如果无自由电荷、无传导电流, 有 $\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0, \mu \approx \mu_0$, 按照折射率的定义, 该介质的折射率 n 可以表示为_____。

【解】 $u = \frac{1}{\sqrt{\mu \varepsilon}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r \varepsilon_0 \mu_0}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}} = \frac{c}{n}$, 其中: $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r \varepsilon_0}}$, $n = \sqrt{\varepsilon_r}$

9. 原子中的电子处于 $3d$ 态, 则其角动量的大小为 $L =$ _____。

【解】 $l = 2$, $L = \sqrt{l(l+1)}\hbar = \sqrt{6}\hbar$

得分	
----	--

二、计算题 [9 分] 在光滑水平面上有一矩形的垂直向下的均匀磁场 \vec{B} , 一个边

长为 l 质量为 m 电阻为 R 的正方形金属线框, 以初速率 v_0 进入磁场 (见俯视图)。求: ①线框是

加速还是减速进入磁场? ②线框能够全部进入磁场的磁感应强度 \vec{B} 的最大值; ③对于磁感应强度

小于最大值的 \vec{B} , 线框全部进入磁场后的速率。

【解】

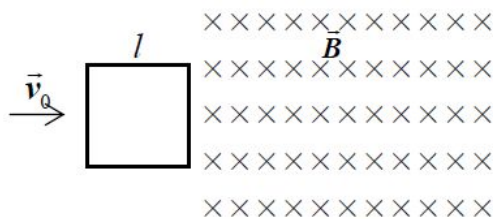
(1) 线框减速进入磁场

(2) 线圈速度为 v 时的电动势为:

$$\varepsilon = Blv,$$

$$\text{电流为: } I = \frac{Blv}{R},$$

$$\text{受到磁场阻力为: } F = BIl = \frac{B^2 l^2}{R} v$$



$$\text{加速度: } a = -\frac{F}{m} = -\frac{B^2 l^2}{mR} v = \frac{dv}{dt} = -\frac{B^2 l^2}{mR} \frac{dx}{dt},$$

$$\int_{v_0}^v dv = -\frac{B^2 l^2}{mR} \int_0^l dx, \text{ 得到: } v = v_0 - \frac{B^2 l^3}{mR} \geq 0$$

能够进入磁场的最大磁场为:

$$B_{\max} = \sqrt{\frac{v_0 m R}{l^3}}$$

(3) 对于磁场小于最大值 B_{\max} ，线圈能够完全进入磁场，线圈的速度为

$$v = v_0 - \frac{B^2 l^3}{mR}$$

得分	
----	--

三、计算题 [8 分] 在康普顿散射中，若照射光光子能量与电子的静止能量相等，

求：①散射光光子的最小能量；②反冲电子的最大动量。

【解】

(1) 由已知： $h\nu_0 = \frac{hc}{\lambda_0} = m_0 c^2$ ， 则有 $\lambda_0 = \frac{h}{m_0 c}$

$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda = \lambda_0 + \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\phi)$ ， 散射光子能量最小时，其波长最大，

此时 $\phi = \pi$ ， $\lambda_{\max} = \lambda_0 + \frac{2h}{m_0 c} = \frac{3h}{m_0 c}$

$$\varepsilon_{\min} = h\nu_{\min} = \frac{hc}{\lambda_{\max}} = \frac{1}{3}m_0 c^2 = 0.17\text{MeV}$$

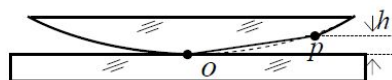
(2) 当散射光子有最小能量时，反冲电子的动能最大，则反冲电子的动量最大。由动量守恒 $\frac{h}{\lambda_0}\vec{e}_0 = \vec{p} + \frac{h}{\lambda_{\max}}\vec{e}$ ， 则反冲电子的最大动量：

$$p = \frac{h}{\lambda_0} + \frac{h}{\lambda_{\max}} = \frac{4}{3}m_0 c = 3.64 \times 10^{-22} \text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}$$

得分	
----	--

四、计算题 [9 分] 用中心波长为 λ 的准单色光垂直照射在曲率半径为 R 的牛顿

环装置上（见图一），得到显微镜中的牛顿环（见图二），虚线代表暗纹中心，图中 O 点为上下玻璃接触点， P 点对应第四级暗纹中心。①计算 P 点空气膜的厚度 h ；②根据公式 $r_k = \sqrt{k\lambda R}$ 计算相邻暗纹中心间的面积；③如果用一个垂直纸面且过 O, P 两点的平面把玻璃凸面削平，请在图二中画出相应部分的干涉暗纹中心。



图一

【解】（1）计算 p 点空气膜的厚度

暗纹公式

$$2h + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

$$k=4, \Rightarrow h=2\lambda$$

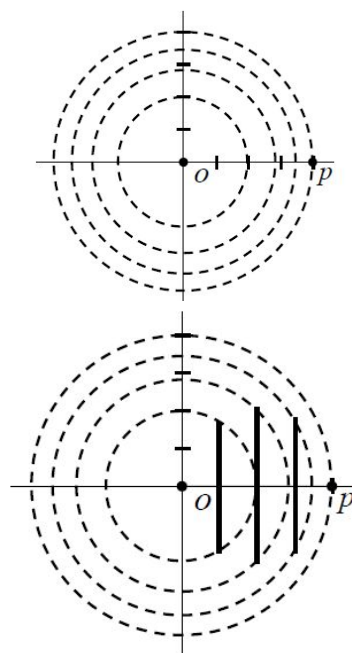
（2）计算相邻安环间的面积

$$r_k = \sqrt{k\lambda R}$$

$$\Delta s_k = s_{k+1} - s_k = \pi(r_{k+1}^2 - r_k^2)$$

$$= \pi\lambda R$$

与 k 无关，说明：外环间距变密。



③相应部分的干涉条纹：直线 op 被三条垂直的线段四等分、三条线段不等长，自左至右分别是从小到大三个圆周的弦线。（2 分）

得	
分	

五、计算题 [8 分] 波长为 $\lambda = 500 \text{ nm}$ 的单色光以 30° 的倾角入射到光栅上，已知光栅常数 $d = 2.1 \mu\text{m}$ 、透光缝宽 $a = 0.7 \mu\text{m}$ 。求：所有能看到的谱线级次。

【解】

五 计算题 [8 分]

因为 $d = 2.1 \mu\text{m}$ 、 $a = 0.7 \mu\text{m}$ ，所以缺 $3k$ 级：

$$\because d(\sin \theta \mp \sin \theta_0) = k\lambda \quad (5 \text{ 分})$$

$$\therefore k = \frac{d(\sin \theta \mp \sin \theta_0)}{\lambda}$$

$$|k_{\max}| \leq \left| \pm \frac{d(1+0.5)}{\lambda} \right| = |\pm 6.3| = 6, \quad |k_{\min}| \leq \left| \pm \frac{d(1-0.5)}{\lambda} \right| = |\pm 2.1| = 2$$

有 +5、+4、+2、+1、0、-1、-2 级；

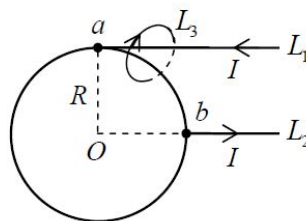
或 -5、-4、-2、-1、0、+1、+2 级。（3 分）

得分	
----	--

六、计算题 [8 分] 如图, 两平行的半无限长直导线 L_1 和 L_2 距离为 R , 半径为 R

且电阻均匀分布的导体圆环与 L_1 相切于 a 点、与 L_2 相交于 b 点, 然后通以稳恒电流 I 。①求圆环

中心 O 点的 \vec{B} ; ②沿图中的闭合路径 L_3 的环路积分 $\oint_{L_3} \vec{B} \cdot d\vec{l}$ 等于什么?



【解】

六 计算题 [8 分]

①求圆环中心 O 点的 \vec{B} :

圆弧在圆心的 $B = \frac{\mu_0 I}{2R} \frac{l}{2\pi R} = \frac{\mu_0}{4\pi R^2} Il$, 因电阻均匀, 所以两段圆弧的电阻比为 1:3 且为

并联, 又因 $U_1 = U_2 \rightarrow I_1 l_1 = I_2 l_2$, 两弧在圆心处的磁场反向, 故抵消;

半无限长直导线 L_2 的延长线过圆心, 磁场为零;

半无限长直导线 L_1 的磁场为 $B = \frac{1}{2} \times \frac{\mu_0 I}{2\pi R} = \frac{\mu_0 I}{4\pi R}$, 方向垂直纸面向外。(6 分)

②根据安培环路定理和电阻的并联特点, 有 $\oint_{L_3} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum_i I_i = \frac{1}{4} \mu_0 I$ (2 分)

得分	
----	--

七、计算题 [8 分] 在宽度为 a 的一维无限深方势阱中运动的粒子定态波函数, 阱

外为零、阱内为 $\Psi(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{n\pi}{a} x$ ($0 \leq x \leq a$)。求: ①基态粒子出现在 $\frac{a}{3} \leq x \leq \frac{2a}{3}$ 范围内的

概率; ②主量子数 $n=2$ 的粒子出现概率最大的位置。

【解】

七计算题 [8 分]

① 基态粒子出现在 $\frac{a}{3} \leq x \leq \frac{2a}{3}$ 范围内的概率:

$$\begin{aligned}
 P &= \int_{x_1}^{x_2} \Psi \Psi^* dx = P = \int_{\frac{a}{3}}^{\frac{2a}{3}} \frac{2}{a} \sin^2 \frac{\pi}{a} x dx \\
 &= \frac{2}{a} \times \frac{a}{\pi} \int_{\frac{a}{3}}^{\frac{2a}{3}} \sin^2 \frac{\pi}{a} x d \frac{\pi}{a} x = \frac{2}{\pi} \int_{\frac{a}{3}}^{\frac{2a}{3}} \sin^2 \frac{\pi}{a} x d \frac{\pi}{a} x \\
 &= \frac{2}{\pi} \int_{\frac{1}{3}\pi}^{\frac{2}{3}\pi} \sin^2 y dy = \frac{1}{\pi} \int_{\frac{1}{3}\pi}^{\frac{2}{3}\pi} (1 - \cos 2y) dy = \frac{1}{3} + \frac{\sqrt{3}}{2\pi}
 \end{aligned}$$

(4 分)

② 主量子数 $n=2$ 的粒子出现概率最大的位置。

$$\begin{aligned}
 \rho(x) &= \Psi \Psi^* = \frac{2}{a} \sin^2 \frac{2\pi}{a} x \\
 \rho(x) &= \frac{2}{a} \rightarrow \frac{2\pi}{a} x = k\pi + \frac{\pi}{2} \\
 x &= \left(\frac{k}{2} + \frac{1}{4}\right)a \rightarrow x_0 = \frac{1}{4}a, \quad x_1 = \frac{3}{4}a
 \end{aligned}$$

(4 分)

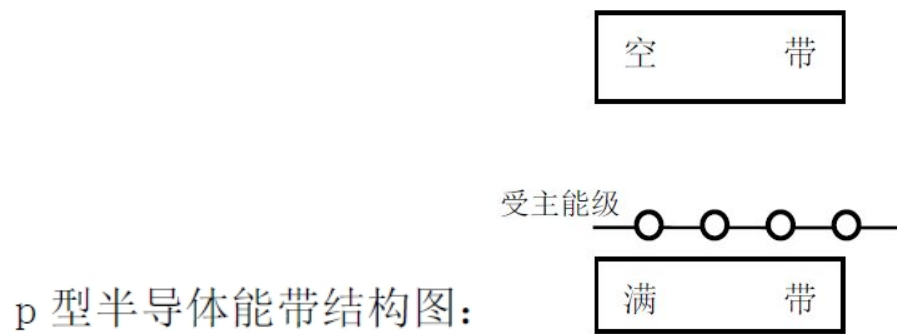
得 分	
--------	--

八、简答题 [每题 4 分，共 20 分]

1. 为什么阳光下的膜（如肥皂泡、油膜等）必须“很薄”才能显现出色彩斑斓的干涉图？怎样薄才算“很薄”？

【答】因为阳光的相干长度短，薄膜稍厚就会使光程差超过相干长度，因而就不会出现干涉现象。因此，只要薄膜产生的光程差小于光源的相干长度，就可以出现干涉现象，就可以说该膜“很薄”。

2. 画出 p 型半导体能带结构图，并指明杂质能级的特点。



3. 2013 年我国成功发射的嫦娥三号在月球表面实现了着陆器和巡视器（即玉兔号月球车）的多次互拍，传回照片的黑色背景怎么解释？

【答】因为月球没有大气层，因而不能产生太阳光的散射，所以形成黑色的背景。

4. 写出激光器中光学谐振腔的作用。

【答】

答：作用有三：选频率、定方向、光放大、选横模、选纵模等。

5. 请解释光电效应中遏止电压（也称截止电压）的物理意义。

【答】一定频率的光子入射到金属表面产生具有移动动能的光电子，形成光电流，使光电流为零的反向电压称为遏止电压。