

# 兰州大学 2023 ~2024 学年第 一 学期

## 期末考试试卷 (A 卷)

课程名称: 普通物理 B2 任课教师: \_\_\_\_\_

学院: \_\_\_\_\_ 专业: \_\_\_\_\_ 年级: \_\_\_\_\_

姓名: \_\_\_\_\_ 校园卡号: \_\_\_\_\_

题号	一	二	三	四	五	总分
分数						
阅卷教师						

### 一、选择题 (每小题 3 分, 共 30 分)

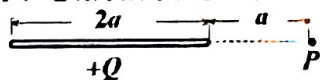
1. 在非匀强电场中, 通过任意曲面  $S$  的电通量的定义式为 (D)。

(A)  $\Phi_e = ES$  (B)  $\Phi_e = \vec{E} \cdot \vec{S}$  (C)  $\Phi_e = \vec{E} \cdot d\vec{S}$  (D)  $\Phi_e = \iint_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$

2. 一根无限长的均匀带电细棒, 电荷线密度为  $\lambda$ , 则距细棒为  $r$  处的电场强度大小为 (B)。

(A)  $\frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 r}$  (B)  $\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$  (C)  $\frac{\epsilon_0 \lambda}{4\pi r}$  (D)  $\frac{\epsilon_0 \lambda}{2\pi r}$

3. 真空中一均匀带电细直杆, 长度为  $2a$ , 总电荷为  $+Q$ 。一运动粒子质量为  $m$ 、带有电荷  $+q$ , 在经过  $P$  点时速率为  $v_0$  (如图所示), 则粒子在电场力作用下运动到无穷远处的速率为 (A)。



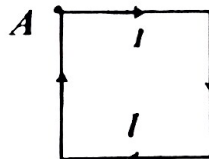
(A)  $\sqrt{\frac{qQ \ln 3}{4\pi\epsilon_0 a m} + v_0^2}$

(B)  $\sqrt{\frac{qQ \ln 3}{8\pi\epsilon_0 a m} + v_0^2}$

(C)  $\sqrt{\frac{3qQ}{4\pi\epsilon_0 a m} + v_0^2}$

(D)  $\sqrt{\frac{3qQ}{8\pi\epsilon_0 a m} + v_0^2}$

4. 如图所示, 边长为  $l$  的正方形线圈中通有顺时针恒定电流  $I$ , 则此线圈在  $A$  点产生的磁感强度大小为 (A)。



(A)  $\frac{\sqrt{2}\mu_0 I}{4\pi l}$

(B)  $\frac{\sqrt{2}\mu_0 I}{2\pi l}$

(C)  $\frac{\mu_0 I}{4\pi l}$

(D)  $\frac{\mu_0 I}{2\pi l}$

5. 体积为  $V$  的近似无限长密绕螺线管通有电流  $I$ , 其单位长度的线圈匝数为  $n$ , 则该螺线管的自感系数为 (B)。

(A)  $\frac{\mu_0 n}{V}$  (B)  $\mu_0 n^2 V$  (C)  $\mu_0 n VI$  (D)  $\frac{\mu_0 n^2 I}{V}$

6. 麦克斯韦方程组中, 表示变化的磁场周围存在电场的方程是 (C)。

(A)  $\iint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \iiint_V \rho_e dV$  (B)  $\iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$

(C)  $\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\iint_S \frac{\partial \Phi_B}{\partial t} \cdot d\vec{S}$  (D)  $\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \iint_S (\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) \cdot d\vec{S}$

7. 下列关于简谐交流电的说法错误的是 (D)。

(A) 频率、峰值和相位是描述简谐交流电的三个特征量

(B) 反映元件上的电压和电流关系有两个, 分别是阻抗和相位差

(C) 纯电感或纯电容元件的阻抗与交流电的频率有关

(D) 含有  $RLC$  的交流电路中, 并联电路的总阻抗的倒数等于各支路阻抗的倒数之和

8. 下列关于光学理论的说法错误的是 (C)。

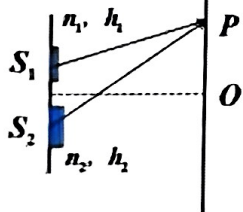
(A) 光程的定义是光传播的路程和所在介质的折射率的乘积

(B) 光波的干涉条件是同频率、有平行的振动分量、有固定的相位差

(C) 镜头直径越大的望远镜, 第一级暗纹的衍射角越大, 分辨率越高

(D) 自然光通过起偏器后变为线偏振光

9. 如图所示, 在杨氏双缝干涉实验中, 如果分别用折射率为  $n_1$ 、厚度为  $h_1$  和折射率为  $n_2$ 、厚度为  $h_2$  的透明介质薄片遮盖  $S_1$  和  $S_2$  狭缝, 已知  $n_1 > n_2$ ,  $h_1 < h_2$ , 则干涉条纹如何变化? (D)



- (A) 干涉条纹整体下移 (B) 干涉条纹不动  
(C) 干涉条纹整体上移 (D) 不确定

10. 下列关于近代物理知识的说法正确的是 (C)。

(A) 只有光具有波粒二象性

(B) “量子”这个概念最早来源于爱因斯坦的光子论

(C) 在适当的条件下, 电子也可以发生双缝干涉现象

(D) 在微观世界中, 牛顿力学、能量守恒和动量守恒均不再适用

## 二、简答题 (每小题 5 分, 共 35 分)

1. 简述真空中静电场高斯定理的内容, 写出其表达式。

答: 静电场的高斯定理的表达式为  $\Phi_e = \oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum q_i$ , 通过

任意闭合曲面  $S$  的电通量, 等于该闭合曲面所包围的电量除以  $\epsilon_0$ , 而与  $S$  以外的电荷无关, 表明静电场为有源场。

2. 利用磁场的安培环路定理, 证明无限长直导线通有恒定电流  $I$  时,

距离导线  $a$  处的磁感应强度大小为  $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$ 。

答: 通电无限长直导线的磁场具有对称性, 选择以导线为圆心, 半径为  $a$  的圆形环路为积分路径, 积分方向为磁感应强度方向, 利用安培

环路定理得  $\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = B 2\pi a = \mu_0 I$ , 则  $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$ 。

3. 在经典电磁理论中, 感应电动势有哪两种类型, 提供这两种电动势的非静电力分别是什么?

答: 在经典电磁理论中, 感应电动势有动生电动势和感生电动势两类, 提供动生电动势的非静电力是洛伦兹力, 提供感生电动势的非静电力是变化磁场周围存在的感生电场 (涡旋电场) 对电荷的作用力。

4. 将电阻  $R$ 、电感  $L$  和电容  $C$  串联到交流电压  $u(t) = U_0 \cos \omega t$  两端, 用复数法求解该串联电路的阻抗和相位差。

答:  $RLC$  串联的总复阻抗为  $\bar{Z} = R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})$ ,

$$\text{阻抗为 } z = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$$

$$\text{相位差为 } \varphi = \arctan \frac{(\omega L - \frac{1}{\omega C})}{R} = \arctan \frac{(\omega^2 LC - 1)}{\omega RC}$$

5. 为了获得较为清晰明亮的照片, 往往需要在相机镜头表面涂敷一层增透膜, 减小某些光波的反射。与之相反, 有些器件则需要增大某些光波的反射率, 在器件表面涂敷一层增反膜, 试利用薄膜干涉简述增反膜的工作原理, 并列增反膜的一种应用实例。

答: 在光学器件表面涂敷一层透明介质膜, 调整薄膜厚度、折射率、入射波长, 根据薄膜干涉(等倾干涉)的原理,

$$\Delta = 2necosr + \frac{\lambda}{2} = 2k \frac{\lambda}{2} (k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots)$$

使得某些光波在介质层时产生干涉加强, 则可实现其反射率的提高。

应用实例: 玻璃幕墙增加光反射, 降低室内温度; 汽车前挡玻璃, 减少光线对驾驶员影响以及保护隐私; 光路中的反射镜, 激光光学腔的反射镜; 家居装饰: 广告牌, 提高效应等。

6. 在光电效应现象中, 经典物理学认为光电子的初动能应该与光强有关, 而且只要光照足够强, 光电子就能产生, 不存在频率的限制(红限), 但这与实验结果相矛盾。请利用光子论和光电效应的爱因斯坦方程解释之。

答: 根据爱因斯坦的光子论和光电效应方程, 光子的能量为  $h\nu$ ,

$$h\nu = E_A + A, h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + A. \text{ 金属表面的电子获得光子的能量 } h\nu$$

后, 一部分提供逸出功  $A$ , 剩余的部分转化为光电子的初动能, 因此光电子的初动能只与频率有关。当光子频率小于  $A/h$ , 电子获得的能

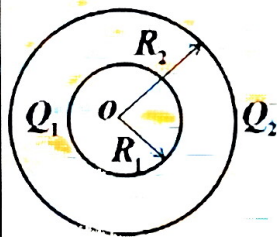
量小于逸出功, 则无光电效应, 因此存在红限。

7. 有人认为物理宏观实验上的“不确定度”是源自微观粒子的“不确定关系”, 你觉得对吗? 为什么?

答: 这种说法不对。实验的“不确定度”来自于测量误差, 而“不确定关系”是由微观粒子的基本性质决定的,  $\Delta x \Delta p_x \geq \frac{h}{2}, \Delta x \Delta p_x \geq h$ , 因为  $h$  很小, 在宏观尺度上可以忽略不计。

### 三、计算题(共35分)

1. 如图所示, 两个同心的均匀带电导体薄球面, 半径分别为  $R_1$  和  $R_2$ , 如果内球面带电荷  $Q_1 (> 0)$ , 外球面带电荷  $Q_2 (> 0)$ , 求(1)空间各点的电场强度分布;(2)空间各点的电势分布(以无穷远处为电势零点); (3)这两个同心球面构成电容器的电容。(12分)



解: (1) 电场强度分布,  $r$  为到球心距离  
分区域讨论, 根据高斯定理得

$$r < R_1, E_1 = 0 \quad R_1 < r < R_2, E_2 = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad r > R_2, E_3 = \frac{Q_1 + Q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

(2) 电势分布(以无穷远处为电势零点),  $r$  为到球心距离  
分区域讨论, 根据电势的定义得

$$r < R_1, V_1 = \int_r^\infty E_1 dr + \int_{R_1}^{R_2} E_2 dr + \int_{R_2}^\infty E_3 dr = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 R_1} + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 R_2}$$

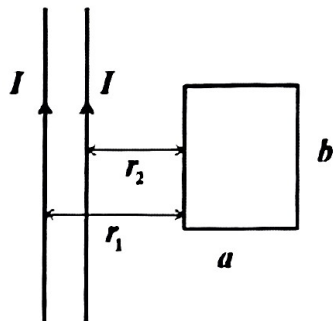
$$R_1 < r < R_2, V_2 = \int_r^{R_2} E_2 dr + \int_{R_1}^r E_3 dr = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 R_2}$$

$$r > R_2, V_3 = \int_r^\infty E_3 dr = \frac{Q_1 + Q_2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

(3) 根据电容的定义

$$C = \frac{Q_1}{U}, U = \int_{R_1}^{R_2} E_3 dr = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{R_2 - R_1}{R_1 R_2} \right), C = \frac{4\pi\epsilon_0 R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$

2. 如图所示, 两条平行无限长直导线和一个矩形线圈共面, 且线圈的一个边与导线平行。已知矩形线圈到两导线的距离分别为  $r_1$ 、 $r_2$ , 线圈长为  $a$ 、宽为  $b$ 。(1) 若两导线通有恒定电流  $I$ , 矩形线圈通有顺时针的相同电流  $I$ , 求线圈受到的安培力;(2) 若两导线均通有交变电流  $I = I_0 \cos \omega t$ , 其中  $I_0$  和  $\omega$  为常数, 矩形线圈中无电流, 求线圈中的感应电动势和系统的互感系数。(假设毕奥萨伐尔定律仍成立) (12分)



解:(1) 根据安培定律可知, 矩形线圈垂直与导线的两边受力平衡, 仅需考虑平行于导线的两边的受力情况, 左右两边受力方向相反

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B} \quad B = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}$$

$$F = F_{\Delta} - F_{\bullet} = \frac{\mu_0 I^2 b}{4\pi} \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1 + a} - \frac{1}{r_2 + a} \right) \quad \text{方向向左}$$

(2) 矩形线圈在  $t$  时刻的磁通量为

$$\begin{aligned} \Phi &= \Phi_1 + \Phi_2 = \int_{r_1}^{r_1+a} \frac{\mu_0 b I_0 \cos \omega t}{4\pi x} dx + \int_{r_2}^{r_2+a} \frac{\mu_0 b I_0 \cos \omega t}{4\pi x} dx \\ &= \frac{\mu_0 b I_0 \cos \omega t}{4\pi} \ln \frac{(r_1 + a)(r_2 + a)}{r_1 r_2} \end{aligned}$$

另法: 以左侧导线为坐标原点, 总磁感应强度为

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \left( \frac{1}{x} + \frac{1}{x - r_1 + r_2} \right)$$

$$\begin{aligned} \Phi &= \int_{r_1}^{r_1+a} \frac{\mu_0 b I_0 \cos \omega t}{4\pi} \left( \frac{1}{x} + \frac{1}{x - r_1 + r_2} \right) dx \\ &= \frac{\mu_0 b I_0 \cos \omega t}{4\pi} \ln \frac{(r_1 + a)(r_2 + a)}{r_1 r_2} \end{aligned}$$

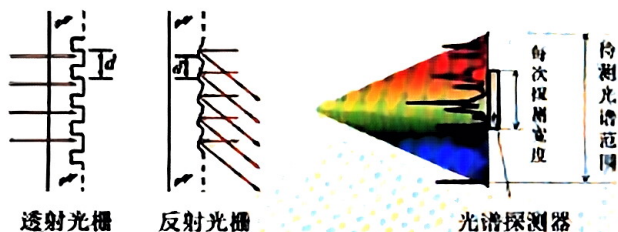
根据法拉第电磁感应定律得:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt} = \frac{\mu_0 b \omega I_0 \sin \omega t}{4\pi} \ln \frac{(r_1 + a)(r_2 + a)}{r_1 r_2}$$

系统的互感系数为:  $M = \frac{\Phi}{I} = \frac{\mu_0 b}{4\pi} \ln \frac{(r_1 + a)(r_2 + a)}{r_1 r_2}$



3. 用波长为  $633\text{nm}$  的平行光垂直照射光栅。已知光栅上每毫米中有 500 条刻痕，且刻痕的宽度与其间距相等。(1) 求最多能观察到几条亮条纹？(2) 常见的光栅有透射光栅和反射光栅两种，如图所示。实际应用中，光学仪器的光谱探测器往往需要固定不动，而且其探测的空间区域有限，每次仅能记录一部分光谱。为了在测试时，获得范围较宽的光谱信息，请设计一个解决的方案。(11 分)



(1) 光栅常量  $d = \frac{1.00 \times 10^{-3} \text{m}}{500} = 2.00 \times 10^{-6} \text{m}$ ,  $d = 2a$

根据光栅方程  $d \sin \phi = k\lambda (k = 0, \pm 1, \dots)$

最大的衍射角  $\phi = \pm \frac{\pi}{2}$

$$k = \pm \frac{d}{\lambda} = \frac{2.00 \times 10^{-6} \text{m}}{633 \times 10^{-9} \text{m}} = \pm 3.2$$

即可能出现的谱线为 3, 2, 1, 0, -1, -2, -3

考虑缺级现象  $k = \frac{a+b}{a} k' (k' = \pm 1, \dots)$   $k = \frac{d}{a} k' = \frac{2a}{a} k' = 2k'$

消失的谱线级数为 2 和 -2 级，则最多能观察到五条亮条纹，分别为 3, 1, 0, -1, -3

(2) 使用反射光栅，利用反射原理，通过转动光栅来移动光谱，探测器多次获取不同位置的光谱（扫描），完成大范围的光谱测试。

探测器

