

物理学院《大学物理 AII》期末考试题 B 卷

2021 年 3 月 28 日 9:50—11:50

学号_____ 姓名_____ 任课教师姓名_____

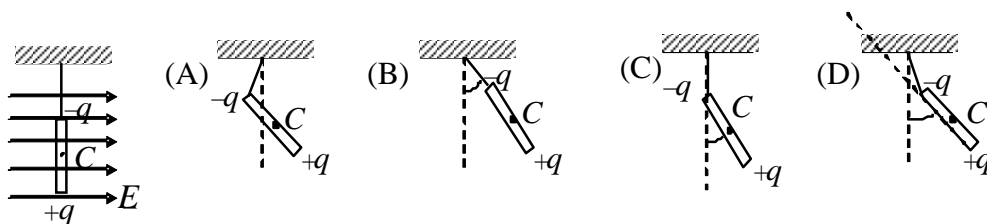
可能用到的物理常数

真空介电常量 $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$,真空磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$,普朗克常量 $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$,基本电荷 $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$,电子质量 $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$,质子质量 $m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

注意: 请勿直接在本卷上答题, 务必将所有题目答案填涂在答题卡上, 否则不计分数。

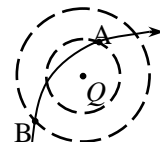
一、选择题 (共 24 分, 单选, 每题 3 分), 请将正确答案填涂在答题卡上。

1. 一根均匀细刚体绝缘杆, 用细丝线系住一端悬挂起来, 先让它的两端分别带上电荷 $+q$ 和 $-q$, 再加上水平方向的均匀电场 \vec{E} , 如图所示. 试判断当杆平衡时, 将处于右面各图中的哪种状态?



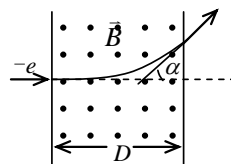
2. 带正电粒子通过点电荷 Q 的电场时运动轨迹如图实线所示, 虚线为等势面, 设 φ_B 和 φ_A 分别为 B 点和 A 点的电势, 若粒子在由 B 到 A 的运动过程中不受其他力作用, 则

- (A) $\varphi_B > \varphi_A$, 粒子电势能减小; (B) $\varphi_B < \varphi_A$, 粒子电势能减小;
(C) $\varphi_B > \varphi_A$, 粒子动能减小; (D) $\varphi_B < \varphi_A$, 粒子动能和电势能总量不变。



3. 一个动量为 p 的电子, 沿如图所示的方向入射并能穿过一个宽度为 D 、磁感强度为 \vec{B} (方向垂直纸面向外) 的均匀磁场区域, 则该电子出射方向和入射方向间的夹角为

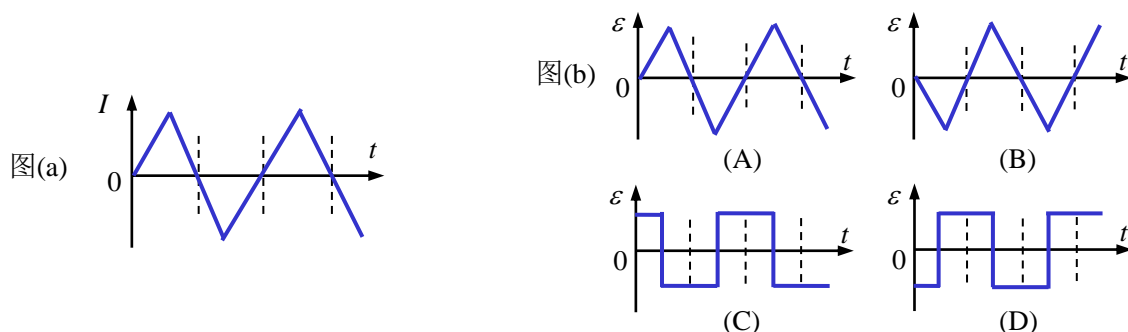
- (A) $\alpha = \sin^{-1} \frac{eBD}{p}$; (B) $\alpha = \cos^{-1} \frac{eBD}{p}$
(C) $\alpha = \sin^{-1} \frac{BD}{ep}$; (D) $\alpha = \cos^{-1} \frac{BD}{ep}$ 。



4. 一无限长直圆筒, 半径为 R , 表面带有一层均匀电荷, 面密度为 σ , 在外力矩的作用下, 这圆筒从 $t = 0$ 时刻从静止开始以匀角加速度 β 绕轴转动, 在 t 时刻圆筒内离轴为 r 处的磁感应强度 \vec{B} 的大小为

- (A) $\mu_0 \sigma R \beta t$; (B) 0; (C) $\mu_0 \sigma \frac{R}{r} \beta t$; (D) $\mu_0 \sigma \frac{r}{R} \beta t$

5. 在一自感线圈中通过的电流 I 随时间 t 的变化规律如图(a), 若以 I 的正流向作为 ε 的正方向, 则代表线圈内自感电动势 ε 随时间 t 变化规律的曲线应为图(b)中的



6. 光子能量为 0.5MeV 的 X 射线, 入射到某种物质上而发生康普顿散射。若反冲电子能量为 0.1MeV , 则散射光波长改变量 $\Delta\lambda$ 与入射光波长 λ_0 之比为

- (A) 0.20; (B) 0.25;
(C) 0.30; (D) 0.35.

7. 氢原子中处于 $3d$ 量子态的电子, 描述其量子态的四个量子数 (n, l, m_l, m_s) 可能取的值为

- (A) $(3, 1, 1, -1/2)$; (B) $(1, 0, 1, -1/2)$;
(C) $(2, 1, 2, 1/2)$; (D) $(3, 2, 0, 1/2)$.

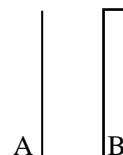
8. 以下说法正确的是

- (A) 半导体的禁带宽度大于绝缘体的禁带宽度;
(B) 导体的价带未被充满;
(C) 本征半导体的导电机制为价带的电子导电和导带的空穴导电;
(D) N 型半导体的多数载流子为价带的空穴, 少数载流子是导带的电子。

二、填空题 (共 30 分), 请将正确答案填写在 答题卡 对应划线上。

1. (3 分) 一均匀带正电的导线, 电荷线密度为 λ , 其单位长度上总共发出的电通量是 _____。

2. (3 分) 如图所示, 一无限大均匀带电平面 A 附近设置一与之平行的无限大平面导体板 B。已知 A、B 所带电量分别为 Q_A 、 Q_B 。则达到静电平衡后, 平板导体 B 的左表面上所带电量为_____。

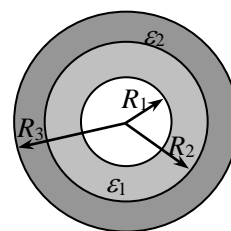


3. (3 分) 有一孤立的平行板电容器, 平板面积为 S , 平板间的距离为 d 。设该电容器极板带电 Q 时, 平板间的电势差为 V 。若再在两平板间平行插入厚度为 t , 且具有与电容器极板面积相同的金属平板, 外界要做的功为_____。

4. (3 分) 一长螺线管单位长度密绕 n 匝线圈, 在其内部轴线上有一面积为 S 的单匝小平面线圈, 小线圈平面法向与螺线管轴向夹角 30° , 它们之间的互感系数为_____ ; 如果螺线管和小线圈均通过电流 I , 则小线圈受到的磁力矩大小为_____。
5. (4 分) 真空中平行极板电容器的圆形极板半径为 R , 充电时, 电容器极板间电场强度的时间变化率为 $\frac{dE}{dt} = k$, 则电容器两极板间的位移电流强度为_____ ; 极板边缘的磁感应强度 B 大小为_____。
6. (4 分) 一个静止的物体自发分裂成两部分, 静止质量分别为 3kg 和 5.33kg , 已知前一部分的速度为 $0.8c$ (c 为真空中的光速), 则分裂前原物体的静止质量为_____ kg 。此过程所遵从的物理规律是_____。
7. (3 分) 匀质细棒静止时的质量为 m_0 , 长度为 l_0 , 当它沿棒长方向作高速的匀速直线运动时, 测得它的长为 l , 则该棒的速度 $v =$ _____, 该棒所具有的动能 $E_k =$ _____。(设光速为 c)
8. (3 分) 用波长为 $0.2\mu\text{m}$ 的单色光照射一铜球, 铜球放出电子。若将铜球充电, 电势至少充到_____ V 时, 再用此种单色光照射, 铜球将不再放出电子。已知铜的逸出功为 4.47eV 。
9. (4 分) 在激发态能级上的钠原子, 发射出波长为 589nm 的光子的时间平均约为 10^{-8}s 。根据不确定关系式 $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$, 光子能量的不确定度为_____ eV , 波长的不确定度为_____ nm 。

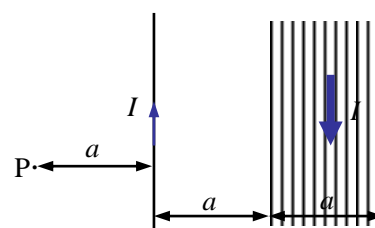
三、计算题 (共 46 分), 请将正确答案填写在答题卡对应题号答题区内, 不可跨区答题!

1. (10 分) 如图所示, 同轴电缆由半径为 R_1 的导线和半径为 R_3 的导体圆筒构成, 在内、外导体间用两层电介质隔离, 分界面的半径为 R_2 , 其介电常数分别为 ϵ_1 和 ϵ_2 。若使两层电介质中最大电场强度相等, 其条件如何? 并求此情况下电缆单位长度的电容。

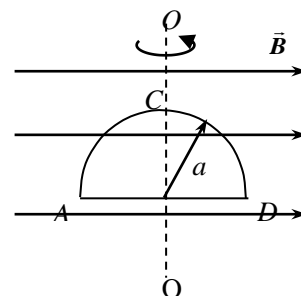


2. (10 分) 如图所示, 通有电流 I 的无限长直导线与一宽为 a 的电流均匀分布的无限长矩形薄平板构成闭合回路, 且彼此平行共面。试求:

- (1) P 点处磁感应强度的大小和方向;
- (2) 单位长度导线所受作用力大小。



3. (10 分) 闭合的半圆形金属线圈, 其电阻为 R , 半径为 a , 如图所示。在匀强磁场中以匀角速度 ω 绕与线圈共面的 OO' 轴逆时针转动 (从上向下看)。当线圈平面转至与磁场方向平行时, 求 (1) 线圈中的感应电流;
(2) 磁场对线圈的磁力矩。



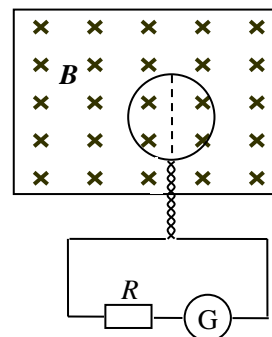
4. (10 分) 质量为 m 的粒子处于宽为 a 的一维无限深势阱中, 其能量的本征波函数表示

如下, $\Psi_n(x) = \begin{cases} A \sin \frac{n\pi}{a} x & (0 < x < a) \\ 0 & (x \leq 0 \text{ 或 } x \geq a) \end{cases} \quad (n=1, 2, 3, \dots)$ 。试求:

- (1) $A = ?$;
- (2) 势阱 $0 \sim a/4$ 内发现粒子的概率;
- (3) n 为何值时, 上述概率最大;
- (4) n 趋于无穷时, 上述概率的极限, 并说明物理意义。

(用到的积分公式: $\int \sin^2 x \, dx = \frac{x}{2} - \frac{\sin 2x}{4} + C$)

5. (6 分) 利用如图所示的圆形探测线圈可以测量匀强磁场的磁感应强度。线圈电阻忽略不计, 可绕虚线所示的直径自由旋转, 线圈与电阻 R 和一个冲击电流计 G (用以测量短时间内流过它的总电量的仪器) 连接构成一个回路。设初始时线圈平面垂直于被测磁场。请写出测量原理的思路, 并用数学方式表达出来。



2020-2021-1 大学物理 AII 期末考试题 B 卷参考答案和评分标准

一、选择题（每题 3 分，共 24 分）

C C A A D B D B

二、填空题（共 30 分）

1. λ / ϵ_0 3 分

2. $\frac{1}{2}(Q_B - Q_A)$ 3 分

3. $-\frac{\epsilon_0 V^2 S t}{2d(d-t)}$ 3 分

4. $\frac{\sqrt{3}}{2} \mu_0 n S, \frac{1}{2} \mu_0 n S l^2$ 3 分

5. $\epsilon_0 k \pi R^2$ 2 分 $\frac{\mu_0 \epsilon_0 k R}{2}$ 2 分

6. 11.66; 2 分 分裂前后系统能量和动量守恒 2 分

7. $c\sqrt{1-(l/l_0)^2}$; $m_0 c^2 (\frac{l_0 - l}{l})$ 3 分

8. 1.74 3 分

9. 6.6×10^{-8} ; 2 分 1.85×10^{-5} 2 分

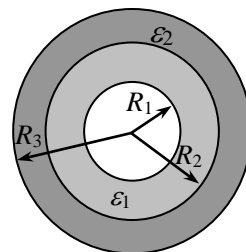
三、计算题（共 46 分）

1. (10 分) 解：设内层导线带电的电荷线密度为 λ ，则内层电介质中的最大电场强度（在

$r = R_1$ 处）为 $E_{1\max} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_1 R_1}$ 2 分

外层电介质中的最大电场强度（在 $r = R_2$ 处）为

$$E_{2\max} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_2 R_2} \quad 2 \text{ 分}$$



由于 $E_{1\max} = E_{2\max}$ 所以 $\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_1 R_1} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_2 R_2}$ 即 $\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} = \frac{R_2}{R_1}$ 2 分

在此条件下，两导体间的电势差为 $U = \int \vec{E} \cdot d\vec{r} = \int_{R_1}^{R_2} E_1 dr + \int_{R_2}^{R_3} E_2 dr$

$$= \int_{R_1}^{R_2} \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_1 r} dr + \int_{R_2}^{R_3} \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_2 r} dr$$

$$= \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_1} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_2} \ln \frac{R_3}{R_2} \quad 2 \text{ 分}$$

则电缆单位长度的电容为 $C = \frac{\lambda}{U} = \frac{2\pi}{\frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{R_3}{R_2}}$ 2 分

2. (10 分) 解: (1) 无限长直电流在 P 点处的磁感应强度为

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \quad \text{方向: 垂直于纸面向外} \quad 2 \text{ 分}$$

宽为 a 的电流均匀分布的无限长薄平板在 P 点处的磁感应强度为

$$B_2 = \int_{2a}^{3a} \frac{\mu_0 I}{2\pi ar} dr = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \ln \frac{3}{2} \quad \text{方向: 垂直于纸面向里} \quad 2 \text{ 分}$$

P 点处的磁感应强度为

$$B = B_1 - B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} - \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \ln \frac{3}{2} \quad \text{方向: 垂直于纸面向外} \quad 2 \text{ 分}$$

(2) 宽为 a 的电流均匀分布的无限长薄平板在无限长载流直导线处的磁感应强度为

$$B_3 = \int_a^{2a} \frac{\mu_0 I}{2\pi ar} dr = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \ln 2 \quad \text{方向: 垂直于纸面向里} \quad 2 \text{ 分}$$

无限长直导线上取电流元 Idl , 则单位长度无限长直导线受到的作用力为

$$F = \int_0^1 Idl \cdot B_3 = \frac{\mu_0 I^2}{2\pi a} \ln 2 \quad 2 \text{ 分}$$

3. (10 分) 解: (1) \mathbf{n} 为金属框所围面积的法向, 设时间 $t=0$ 时, \mathbf{n} 与 \mathbf{B} 的夹角为 0; 任一时刻 t 通过线圈中的磁通量:

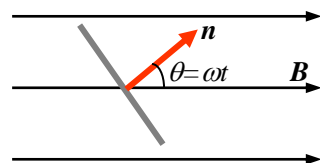
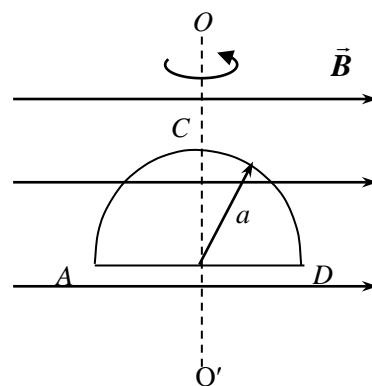
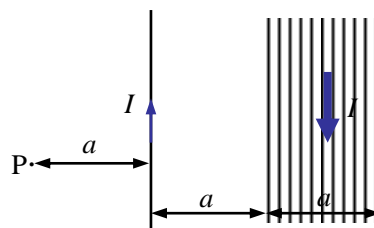
$$\Psi_m = BS \cos \omega t \quad 2 \text{ 分}$$

由法拉第电磁感应定律:

$$\varepsilon = -\frac{d\Psi_m}{dt} = \omega BS \sin \omega t \quad 2 \text{ 分}$$

由题意: $\varepsilon_{\max} = BS = \frac{\omega \pi a^2 B}{2}$ 方向: ACDA

线圈中的感应电流: $I = \frac{\varepsilon_{\max}}{R} = \frac{\omega \pi a^2 B}{R}$ 方向: ACDA 2 分



(2) 磁场对线圈的磁力矩:

$$\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B} \quad M = ISB = \frac{\pi^2 a^4 B^2 \omega}{4R} \quad \text{方向: } OO' \quad 4 \text{ 分}$$

4. (10 分) 解: (1) 波函数归一化条件:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\Psi_n(x)|^2 dx = 1 \quad 2 \text{ 分}$$

$$A^2 \int_0^a \sin^2\left(\frac{n\pi}{a}x\right) dx = A^2 \frac{a}{2} = 1 \quad A = \sqrt{\frac{2}{a}} \quad 1 \text{ 分}$$

(2) 概率密度函数为

$$\rho_n(x) = |\Psi_n(x)|^2 = \begin{cases} \frac{2}{a} \sin^2\left(\frac{n\pi}{a}x\right) & (0 < x < a) \\ 0 & (x \leq 0 \text{ 或 } x \geq a) \end{cases} \quad (n=1, 2, 3, \dots) \quad 2 \text{ 分}$$

$$P_n = 2 \int_0^{a/4} \frac{2}{a} \sin^2\left(\frac{n\pi}{a}x\right) dx = \frac{1}{2} - \frac{1}{n\pi} \sin \frac{n\pi}{2} \quad 2 \text{ 分}$$

(3) n 取 3 时, 上述概率值最大。 1 分

(4) n 趋于无穷时, $P_{(n \rightarrow \infty)} = \frac{1}{2}$ 1 分

此时粒子均匀分布在一维势阱中, $1/2$ 空间中出现的概率为 $1/2$ 。 1 分

5. (6 分) 解: 当线圈绕直径急速转动时, 总磁通量 Φ_m 发生变化, 线圈中有电动势 ε 产生, 从而在线圈与电流计的回路中产生感应电流, 其值为

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = -\frac{1}{R} \frac{d\Phi_m}{dt} \quad (R \text{ 为回路的总电阻}) \quad 3 \text{ 分}$$

四分之一一个旋转周期内, 通过冲击电流计的总电量为

$$Q = \int_0^{T/4} Idt = \frac{1}{R} \int_0^{T/4} -d\Phi_m = \frac{1}{R} (\Phi_{m0} - 0) = \frac{\Phi_{m0}}{R} \quad 2 \text{ 分}$$

其中 Φ_{m0} 为初始时刻的磁通量。

所以所测磁场的磁感应强度为

$$B = \frac{\Phi_{m0}}{S} = \frac{QR}{S} \quad 1 \text{ 分}$$

其中 S 为线圈面积。