



厦门大学《大学物理 A (上)》课程
期末试卷 (A 卷) 参考答案
(考试时间: 2018 年 6 月)

一、选择题: 本题共 10 小题, 每小题 2 分, 共 20 分。请将每题答案写在答题纸的对应位置。每小题给出的四个选项中只有一个选项正确。错选、多选或未选的得 0 分。

1. 以下说法错误的是: ()

- A. 电场弱的地方电势低, 电场强的地方电势高
- B. 沿着电场线的方向电势降低
- C. 电场强度的方向沿等势面法向
- D. 静电场是无旋场

答案: A

2. 一带电量为 q 的导体置于一导体空腔内。若将两导体用导线连接起来, 则电场能量将:

- A. 增加
- B. 减小
- C. 保持不变
- D. 不能确定变化趋势

答案: B

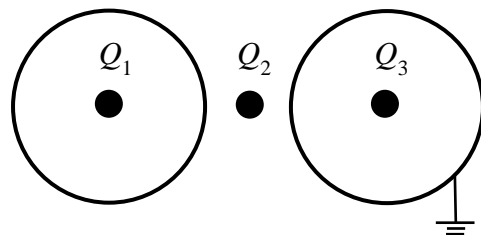
3. 一实心导体球带有自由电荷 q , 周围充满无限大的均匀电介质, 其相对介电常数为 ϵ_r , 则贴近导体球表面的极化电荷总量为:

- A. $\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r} q$
- B. $\frac{\epsilon_r}{\epsilon_r - 1} q$
- C. $\frac{1 - \epsilon_r}{\epsilon_r} q$
- D. $\frac{\epsilon_r}{1 - \epsilon_r} q$

答案: C

4. 如图所示, 三个点电荷分别放在两个导体球壳的球心及两球之间, 右侧导体球壳接地。以下说法正确的是 ()

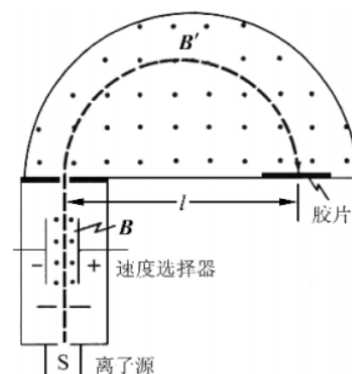
- A. 改变 Q_2 大小, Q_1 处的电势变, Q_3 处的电势变;
- B. 改变 Q_2 大小, Q_1 处的电势变, Q_3 处的电势不变;
- C. 改变 Q_2 大小, Q_1 处的电势不变, Q_3 处的电势变;



D. 改变 Q_2 大小, Q_1 处的电势不变, Q_3 处的电势不变

答案: B

5. 质谱仪的基本构造如右图所示。质量 m 待测的、带电 q 的离子束经过速度选择器 (其中有相互垂直的电场 E 和磁场 B) 后进入均匀磁场 B' 区域发生偏转而返回, 打到胶片上被记录下来。问, 偏转距离为 l 的离子的质量是 ()



- A. $\frac{2qBB'l}{E}$ B. $\frac{qBB'l}{E}$
C. $\frac{qBB'l}{2E}$ D. $\frac{3qBB'l}{4E}$

答案: C

6. 两块平行的大金属板上有均匀电流流通, 电流面密度大小都是 j , 但方向相反, 则板间和板外的磁场分布为 ()

- A. 两板间 $B = 0$, 两板外 $B = 2\mu_0 j$;
B. 两板间 $B = 0$, 两板外 $B = \mu_0 j$;
C. 两板间 $B = 2\mu_0 j$, 两板外 $B = 0$;
D. 两板间 $B = \mu_0 j$, 两板外 $B = 0$;

答案: D

7. 在同一平面内依次有 a, b, c 三根等距离平行放置的长直导线, 通有同方向的电流依次为 1A、2A、3A, 它们单位长度所受力的的大小依次为 F_a, F_b, F_c , 则 $\frac{F_b}{F_c}$ 为 ()

- A. 4/9 B. 8/15 C. 8/9 D. 1

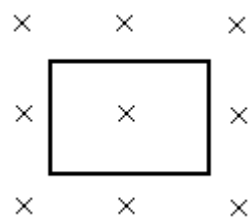
答案: B

8. 室温下, 铜导线内自由电子数密度 $n = 8.85 \times 10^{28} m^{-3}$, 导线中电流密度 $j = 2 \times 10^6 Am^{-2}$, 则电子定向漂移速率为 ()

- A. $1.4 \times 10^{-4} ms^{-1}$ B. $1.4 \times 10^{-2} ms^{-1}$ C. $5.4 \times 10^2 ms^{-1}$ D. $1.1 \times 10^5 ms^{-1}$

答案: A

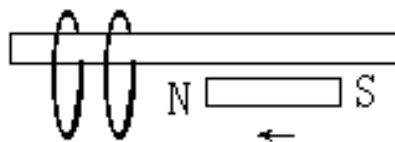
9. 如图示, 一矩形线圈长宽各为 a, b , 置于均匀磁场 B 中, 且 B 随时间 t 的变化规律为 $B = B_0 - kt$, 线圈平面与磁场方向垂直, 则线圈内感应电动势大小为 ()



- A. $ab(B_0 - kt)$ B. abB_0 C. kab D. 0

答案: C

10. 两个闭合的金属环, 穿在一极光滑的绝缘杆上 (如图), 当条形磁铁 N 极自右向左靠近圆环时 (不考虑两线圈之间的互感), 两圆环的运动是 ()



- A. 边向左移边分开;
B. 边向左移边合拢;
C. 边向右移边合拢;
D. 同时同向移动。

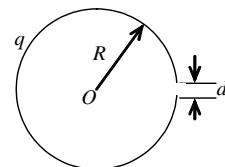
答案: B

二、**填空题:** 本大题共 10 空, 每空 2 分, 共 20 分。请将每题答案写在答题纸的对应位置。错填、不填均无分。

1. 在真空中相距 l 的两个正点电荷, A 带的电量是 B 的 4 倍; 在 AB 线上, 电场强度为零的点距离 B 点_____。

答案: $l/5$

2. 一半径为 R 的带有一缺口的细圆环, 缺口长度为 d ($d \ll R$) 环上均匀带有正电, 电荷为 q , 如图所示。则圆心 O 处的场强大小 $E =$ _____; 圆心 O 点处的电势 $V =$ _____。



答案: $\frac{qd}{8\pi^2\epsilon_0 R^3}$; $\frac{q}{4\pi\epsilon_0 R}$

3. 一均匀静电场, 电场强度 $\vec{E} = (400\vec{i} + 600\vec{j}) \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$, 则点 $a(3,2)$ 和点 $b(1,0)$ 之间的电势差 U_{ab}

=_____。(点的坐标 x, y 以米计)

答案: $-2 \times 10^3 \text{ V}$

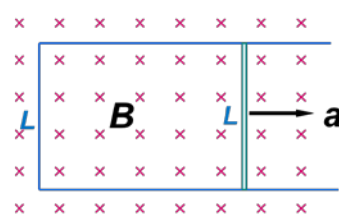
$$U_{ab} = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_a^b (400\vec{i} + 600\vec{j}) \cdot (dx\vec{i} + dy\vec{j}) = \int_3^1 400dx + \int_2^0 600dy = -2 \times 10^3 \text{ V}$$

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 $L =$ _____。

答案: 0.4 H

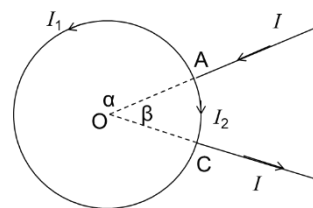
5. 如图, 长度为 L 的细导线, 由静止状态从 0 时刻开始以加速度 a 向右做匀加速直线运动, 磁场强度为 B , 则 t 时刻导线两端电动势的大小为_____。

答案: $BLat$



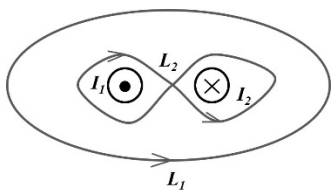
6. 两根导线沿半径方向引到匀质金属环上的 A 和 C 两点, 电流方向如图所示, 环中心 O 处的磁感应强度为_____。

答案: 0



7. 如图所示, 两根无限长载流直导线相互平行, 通过的电流分别为 I_1 和 I_2 , 则 $\oint_{L_1} \vec{B} \cdot d\vec{l} =$ _____;

$$\oint_{L_2} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \text{_____}.$$



答案: $\mu_0(I_1 - I_2), -\mu_0(I_1 + I_2)$

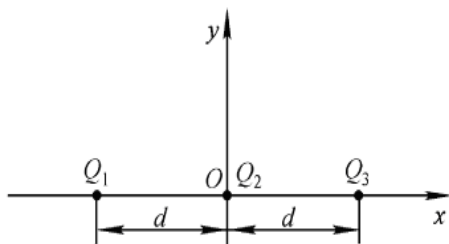
8. 把一圆形线圈放入匀强磁场中, 线圈半径为 r , 通有电流 I , 周围磁感应强度为 B , 则线圈所受的最大力矩大小是_____。

答案: $BI\pi r^2$

三、**计算题：**本大题共 5 小题，每小题 12 分，共 60 分。请在答题纸上按题序作答，并标明题号。

1. 如图所示，有三个点电荷 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 沿一条直线等间距分布，已知 $Q_1 = Q_3 = q$ ，其中任一点电荷所受合力均为零，求

- (1) 点电荷 Q_2 的电量；
- (2) 由点电荷 Q_1 、 Q_3 在 y 轴上产生的电场强度；
- (3) 在固定 Q_1 、 Q_3 的情况下，将 Q_2 从点 O 移到无穷远处外力所作的功。



分析 由库仑力的定义，根据 Q_1 、 Q_3 所受合力为零可求得 Q_2 。外力做功 W' 应等于电场力做功 W 的负值，即 $W' = -W$ 。求电场力做功的方法有两种：

- (1) 根据功的定义，电场力作的功为

$$W = \int_0^{\infty} Q_2 E dl$$

其中 E 是点电荷 Q_1 、 Q_3 产生的合电场强度。

- (2) 根据电场力做功与电势能差的关系，有

$$W = Q_2 (V_0 - V_{\infty}) = Q_2 V_0$$

其中 V_0 是 Q_1 、 Q_3 在点 O 产生的电势 (取无穷远处为零电势)。

解： (1) 4分

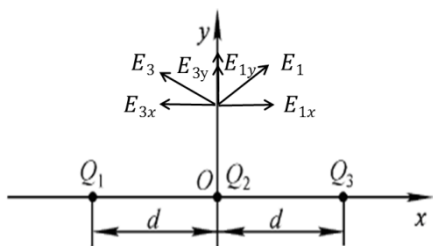
由题意 Q_1 所受的合力为零

$$Q_1 \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 d^2} + Q_1 \frac{Q_3}{4\pi\epsilon_0 (2d)^2} = 0$$

解得

$$Q_2 = -\frac{1}{4} Q_3 = -\frac{1}{4} q$$

- (2) 4分



由点电荷电场的叠加， Q_1 、 Q_3 激发的电场在 x 轴方向上的合场强为零， y 轴上任意一点的电场强度为

$$E = E_{1y} + E_{3y} = \frac{qy}{2\pi\epsilon_0(d^2 + y^2)^{3/2}}$$

(3) 4分

将 Q_2 从点 O 沿 y 轴移到无穷远处，外力所作的功为

$$\begin{aligned} W' &= -\int_0^\infty Q_2 \vec{E} \cdot d\vec{l} \\ &= -\int_0^\infty \left(-\frac{1}{4}q\right) \frac{qy}{2\pi\epsilon_0(d^2 + y^2)^{3/2}} dy = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 d} \end{aligned}$$

解2 与解1相同，在任一点电荷所受合力均为零时 $Q_2 = -\frac{1}{4}q$ ，并由电势的叠加得 Q_1 、 Q_3 在点 O 的电势

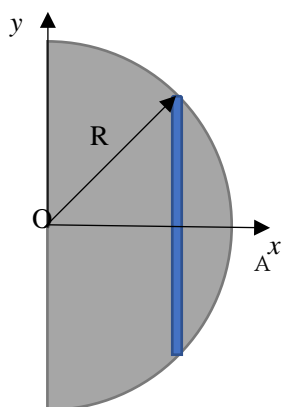
$$V_0 = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 d} + \frac{Q_3}{4\pi\epsilon_0 d} = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 d} \quad (2分)$$

将 Q_2 从点 O 推到无穷远处的过程中，外力做功

$$W' = -Q_2 V_0 = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 d} \quad (2分)$$

2. 一半径为 R 的半球面均匀带电，其携带的电荷电量为 Q 。求球心 O 处的电场强度。

解：



建立坐标系如图所示。

均匀带电圆环场强为

$$E = \frac{qx}{4\pi\epsilon_0(x^2+y^2)^{3/2}} \quad 3 \text{ 分}$$

将带电半球面分解为一系列同轴圆环，宽度为 $Rd\theta$ 的小圆环，则

$$dE = \frac{x dq}{4\pi\epsilon_0(x^2+y^2)^{3/2}}$$

$$dq = \sigma \cdot 2\pi R \sin\theta \cdot Rd\theta$$

$$x = R\cos\theta, y = R\sin\theta$$

因此，

$$E = \int dE = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \int_0^{\pi/2} \sin\theta \cos\theta d\theta = \frac{\sigma}{4\epsilon_0} \quad 4 \text{ 分}$$

$$\sigma = \frac{Q}{2\pi R^2}, \quad E = \frac{Q}{8\pi\epsilon_0 R^2} \quad 2 \text{ 分}$$

电场强度方向：

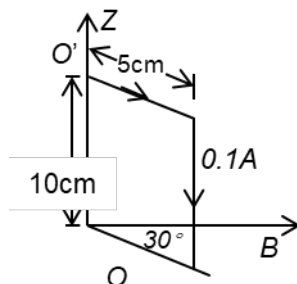
当 Q 为正电荷时， E 的方向沿着 x 轴负方向；

当 Q 为负电荷时， E 的方向沿着 x 轴正方向。 3 分

3. 一矩形载流线圈由 20 匝互相绝缘的细导线绕成，矩形边长为 10.0cm 和 5.0cm，导线中的电流为 0.1A，这线圈可以绕它的一边 OO' 转动，如图所示，当加上 $B=0.5T$ 的均匀外磁场，且 B 与线圈平面成 30° 角时，求

(1) 线圈受到的力矩；

(2) 保持线圈的电流不变，当线圈转到平衡位置时，求磁场做的功。



参考解答：

解：(1) 矩形载流线圈平面线圈的磁矩为 $m = NIS$ (2 分)

则线圈受到的力矩 $M = mB \sin \theta$ (2 分)

θ 为线圈法线与 B 的夹角, 当 $\theta = 60^\circ$ 时, $M = 4.3 \times 10^{-3} (N \cdot m)$ (2 分)

(2) 磁场对线圈做功, 表现在力矩做功, 沿力矩方向的角位移为 $-d\theta$, 那么

$$A = \int -M d\theta = \int_{60^\circ}^{0^\circ} -NISB \sin \theta d\theta = \frac{1}{2}NISB = 2.5 \times 10^{-3} J \quad (4 \text{ 分})$$

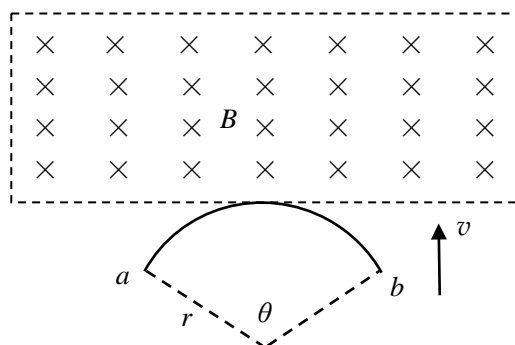
或者

$$A = \int Id\varphi = I\Delta\varphi = I(NBS - NBS \cos 60^\circ) = \frac{1}{2}NISB = 2.5 \times 10^{-3} J$$

4. 如图, 在匀强磁场中, 磁场强度大小为 B 。一半径为 r , 弧度 $\theta = 2\pi/3$ 的圆弧导线 ab 以速度 v 沿垂直于其弦的方向运动。设如图所示时为 $t = 0$, 磁场范围在远端无限延伸, 求:

1) 圆弧导线上所产生的感应电动势随时间的变化情况;

2) 若将导线 ab 两端用直导线连接起来组成闭合回路, 闭合回路电阻为 R , 试求线圈在进入磁场区域过程中产生的感应电荷量 q 。



解: 1) 8 分

由动生电动势基本原理可知:

$$\varepsilon = \int_L (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}$$

由题知, 当 $0 < t < r/v$, 圆弧导线的一部分进入磁场,

t 时刻进入磁场范围的导线对应弦长为:

$$l = \int_{a'}^{b'} d\vec{l} = 2\sqrt{vt(2r - vt)}$$

故, 其感生电动势为:

$$\varepsilon = \int_L (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l} = Blv = 2Bv\sqrt{vt(2r - vt)}$$

当 $t > r/v$ 时, 圆弧导线全部在磁场范围内,

t 时刻进入磁场范围的导线对应弦长为:

$$l = \int_{a'}^{b'} d\vec{l} = 2\sqrt{3}r$$

$$\varepsilon = \int_L (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l} = Blv = 2\sqrt{3}Brv$$

2) 4 分

$$q = \int_{t_1}^{t_2} I_i dt = \frac{1}{R}(\Psi_1 - \Psi_2) = \frac{(4\pi - 3\sqrt{3})r^2}{12R}$$

5. 有一个半径为 R 的无限长直薄圆筒均匀带电，电荷面密度为 σ 。圆筒从静止开始 ($t=0$)，绕其中心轴线以角加速度 β 做匀加速转动。求：

(1) t 时刻，空间的磁感应强度大小的分布；

(2) t 时刻，空间的感生电场强度大小分布。

解：(1) 6 分

由题可知，当圆筒转动时，其等效为一根通有电流的密绕长直螺线管。

磁场只分布在圆筒内部，且 t 时刻，筒内磁场为匀强磁场。

选取如右图所示的矩形闭合回路 $abcd$ ， ab 平行于转轴， ab 长为 l 。

则 t 时刻，穿过 $abcd$ 的电流强度 I 为：

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{2\pi R l \sigma}{\frac{2\pi}{\beta t}} = R l \sigma \beta t$$

根据安培环路定理有：

$$\int_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = Bl = \mu_0 R l \sigma \beta t$$

得：

$$B = \mu_0 R \sigma \beta t$$

故：

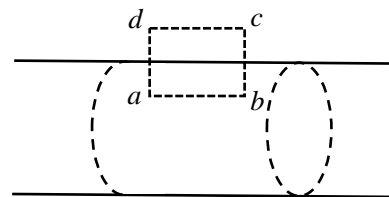
在圆筒外 $B = 0$

在圆筒内 $B = \mu_0 R \sigma \beta t$

(2) 6 分

作横截面如图所示，轴心处为坐标原点 O ，沿一径向方向为 r 的正方向。

有题意可知，感生电场分布具有轴对称性。选取积分路径为以 O 为圆心半径为 r 的圆。则有：



$$\mathcal{E} = \oint_L \vec{E}_k \cdot d\vec{l} = 2\pi r E_k$$

根据法拉第电磁感应定律有：

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \oint_s \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (\text{其中 } S \text{ 以 } L \text{ 为边界的圆})$$

当 $r < R$ 时

$$\oint_s \vec{B} \cdot d\vec{S} = \mu_0 R \sigma \beta t \cdot \pi r^2$$

固有：

$$E_k = \frac{1}{2} \mu_0 R \sigma \beta r$$

当 $r > R$ 时

$$\oint_s \vec{B} \cdot d\vec{S} = \mu_0 R \sigma \beta t \cdot \pi R^2$$

故有：

$$E_k = \frac{1}{2r} \mu_0 R^3 \sigma \beta r$$

所以感生电场大小分布为：

$$E_k = \begin{cases} \frac{1}{2} \mu_0 R \sigma \beta r & r < R \\ \frac{1}{2r} \mu_0 R^3 \sigma \beta r & r > R \end{cases}$$

