

主管
领导
审核
签字

哈尔滨工业大学 2021 学年 春 季学期
大学物理 II 期末 试 题

得分	签字

一、填空题（共 40 分）

1. （本题 4 分）

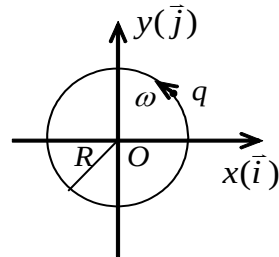
有很大的剩余磁化强度的软磁材料不能做成永磁体,这是因为软磁材料_____, 如果做成永磁体_____。 矫顽力小 、 容易退磁

2. （本题 4 分）

如图所示,一电量为 q 的点电荷,以匀角速度 ω 作圆周运动,圆周的半径为 R . 设 $t = 0$ 时 q 所在点的坐标为 $x_0 = R, y_0 = 0$, 以 $\vec{i}$ 、 $\vec{j}$ 分别表示 x 轴和 y 轴上的单位矢

量,则圆心处 O 点的位移电流密度为_____.

$$\frac{q\omega}{4\pi R^2}(\sin\omega t\vec{i}-\cos\omega t\vec{j})$$



3. （本题 3 分）

真空中,有 A, B 两导体大平板,面积均为 S,平行放置, A 板带电荷+ Q_1 , B 板带电荷+ Q_2 , 如果使 A 板接地,则 A, B 间电场强度的大小 $E =$ _____.

4. （本题 3 分）

一平行板电容器的两极板都是半径为 R 的圆形导体片,在充电时,板间电场强度的变化率为 dE / dt , 若略去边缘效应,则两板间的位移电流为_____.

5. （本题 4 分）

A 、 B 两个电子都垂直于磁场方向射入一均匀磁场而作圆周运动. A 电子的速率是 B 电子速率的两倍. 设 R_A , R_B 分别为 A 电子与 B 电子的轨道半径; T_A , T_B 分别为它们各自的周期. 则 $R_A : R_B =$ 2, $T_A : T_B =$ 1.

6. （本题 3 分）

一个不带电的金属球壳的内、外半径分别为 R_1 和 R_2 , 今在中心处放置一电荷为 Q 的点电荷,则球壳的电

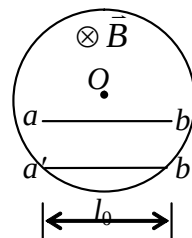
草 纸

（草纸内不得答题）

势 $U =$ _____.

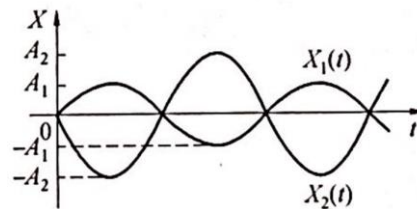
7. (本题 3 分)

在圆柱形空间内有一磁感强度为 $\vec{B}$ 的均匀磁场, 如图所示, $\vec{B}$ 的大小以速率 dB/dt 变化. 有一长度为 l_0 的金属棒先后放在磁场的两个不同位置 1(ab)和 2($a'b'$), 则金属棒在这两个位置时棒内的感应电动势 ε_1 和 ε_2 的大小关系为_____ $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$



8. (本题 4 分)

两个同方向的谐振动曲线如图所示, 则合振动的振动方程为_____.



9. (本题 3 分)

反映电磁场基本性质和规律的积分形式的麦克斯韦方程组为

$$\oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = \int_V \rho dV \quad ①$$

$$\oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \int_S \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S} \quad ②$$

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0 \quad ③$$

$$\oint_L \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \int_S (\mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}) \cdot d\mathbf{S} \quad ④$$

试判断下列结论是包含于或等效于哪一个麦克斯韦方程式的. 将你确定的方程式用代号填在相应结论后的空白处.

(1) 变化的磁场可以产生涡旋电场_____;

(2) 磁感线是无头无尾的_____;

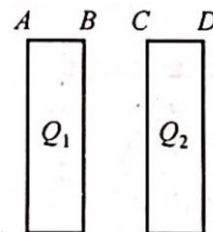
(3) 电荷总伴随有电场_____.

10. (本题 3 分)

平行板电容器的电容 C 为 $25.0 \mu F$, 两板上的电压变化为 $dU/dt = 1.50 \times 10^5 V/s$, 则该平行板电容器中的位移电流为=_____.

11. (本题 3 分)

如图所示, 两块很大的导体平板平行放置, 面积都是 S , 有一定厚度, 带电荷分别为 Q_1 和 Q_2 . 如不计边缘效应, 则 A , B , C , D 四个表面上的电荷面密度分别为_____, _____, _____,



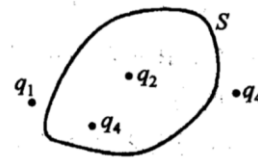
草 纸

(草纸内不得答题)

12. (本题 3 分)

点电荷 q_1 , q_2 , q_3 和 q_4 在真空中的分布如图所示. 图中 S 为闭合曲面, 则通过该闭合曲面的电场强度通量 $\Phi_E =$ _____.

$$\frac{q_2 + q_4}{\epsilon_0}$$

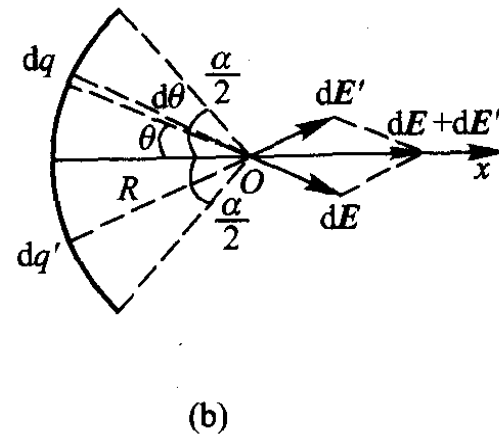
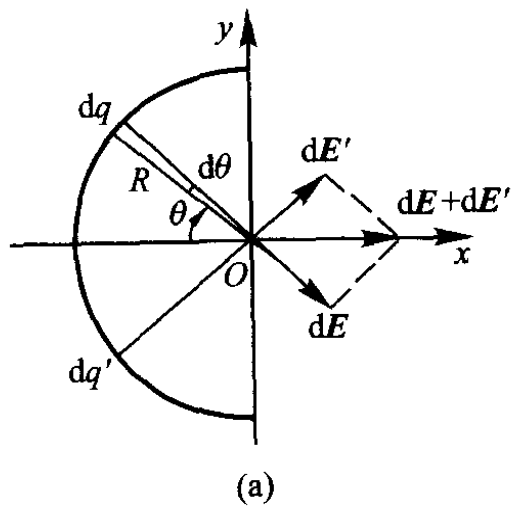


二、理论推导题 (共 10 分)

(本题 10 分)

一根细玻璃棒被弯成半径为 R 的半圆形, 其上电荷均匀分布, 总电荷为 q , 试推导半圆中心 O 点的场强.

解: 以半圆圆心为原点, 对称轴为 x 轴, 建立坐标系.



在棒上取电荷元 $dq = \lambda dS = \frac{q}{\pi R} R d\theta = \frac{q}{\pi} d\theta$. dq 与其对称电荷元 dq' 在 O 点产生的场强沿 y 轴的分量抵消, 合场强沿 x 轴正向. 关于 x 轴对称分布的任一对电荷元皆如此. 因此, $E_O = E_{Ox} \mathbf{i} = \mathbf{i} \int_q dE_x$.

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 R^2} dq = \frac{q}{4\pi^2\epsilon_0 R^2} d\theta$$

$$dE_x = dE \cos \theta = \frac{q}{4\pi^2\epsilon_0 R^2} \cos \theta d\theta$$

故

$$E_O = \mathbf{i} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{q}{4\pi^2\epsilon_0 R^2} \cos \theta d\theta = \frac{q}{2\pi^2\epsilon_0 R^2} \mathbf{i}$$

或

$$E_O = 2\mathbf{i} \int_0^{\pi/2} \frac{q}{4\pi^2\epsilon_0 R^2} \cos \theta d\theta = \frac{q}{2\pi^2\epsilon_0 R^2} \mathbf{i}$$

草 纸

(草纸内不得答题)

讨论:对于均匀带电的弧形棒,本题的解法(特别是选择对称轴为一坐标轴)具典型意义.

设弧形棒上电荷线密度为 λ ,弧所对圆心角为 α . 如解图(b)建立坐标系,取电荷元 $dq = \lambda dS = \lambda R d\theta$, $dE = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 R^2} dS$. 由图示对称性分析知

$$E_o = 2i \int_0^{\frac{\alpha}{2}} dE_x = 2i \int_0^{\frac{\alpha}{2}} \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 R^2} \cos \theta d\theta = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 R} \sin \frac{\alpha}{2} i$$

当弧形为半圆,即 $\alpha = \pi$ 时, $\sin \frac{\alpha}{2} = 1$, $\lambda = \frac{q}{\pi R}$, 则

$$E_o = \frac{q}{2\pi^2 \epsilon_0 R^2} i$$

与前述结论一致.

三、计算题（共 42 分）

得分	签字

（本题 6 分）

将一物体放在水平木板上，已知物体与板面间的最大静摩擦系数为 0.50，请计算：

- （1）当此板沿水平方向作频率为 2.0Hz 的简谐运动时，要使物体在板上不致滑动，振幅的最大值应是多大？
 （2）若令此板改作竖直方向的简谐运动，振幅 5.0cm，要使物体一直保持与板面接触，则振动的最大频率是多少？

解 （1）物体不沿板滑动,要求

$$\mu_s mg = ma_m = m A \omega^2 = m A (2\pi\nu)^2$$

$$A = \frac{\mu_s g}{(2\pi\nu)^2} = 0.50 \times \frac{9.8}{(2\pi \times 2.0)^2} = 3.1 \times 10^{-2} \text{ m}$$

（2）物体总与板保持接触,要求

$$mg = ma_m = m A (2\pi\nu)^2$$

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{A}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{9.8}{0.05}} = 2.2 \text{ Hz}$$

得分	签字

（本题 10 分）

一导体球半径为 R_1 ，其外同心地罩以内外半径分别为 R_2 和 R_3 的厚导体壳，此系统带电后内球电势为 Ψ_1 ，外球所带总电量为 Q 。求此系统各处的电势和电场分布。

草 纸

（草纸内不得答题）

解 设内球带电为 q_1 , 则球壳内表面带电将为 $-q_1$, 而球壳外表面带电为 $q_1 + Q$, 这样就有

$$\varphi_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_1}{R_1} - \frac{q_1}{R_2} + \frac{Q+q_1}{R_3} \right)$$

由此式可解得

$$q_1 = \frac{4\pi\epsilon_0 R_1 R_2 R_3 \varphi_1 - R_1 R_2 Q}{R_2 R_3 - R_1 R_3 + R_1 R_2}$$

于是, 可进一步求得

$$r < R_1: \quad \varphi = \varphi_1, \quad E = 0$$

$$R_1 < r < R_2: \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_1}{r} + \frac{-q_1}{R_2} + \frac{Q+q_1}{R_3} \right), \quad E = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$R_2 < r < R_3: \quad \varphi = \frac{Q+q_1}{4\pi\epsilon_0 R_3}, \quad E = 0$$

$$r > R_3: \quad \varphi = \frac{Q+q_1}{4\pi\epsilon_0 r}, \quad E = \frac{Q+q_1}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

草 纸

(草纸内不得答题)

封

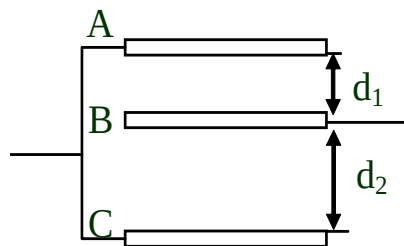
得分	签字

(本题 12 分)

如图所示, 三块相互平行的相同规格导体板, 外面两块用导线相连, 原来不带电, 中间一块所带面电荷密度为 $1.3 \times 10^{-5} \text{C/m}^2$, 板间隙分别为 $d_1=3.0\text{cm}$, $d_2=5.0\text{cm}$, 板面积为 0.15m^2 。(忽略边界效应, $\epsilon_0=8.85 \times 10^{-12}\text{F/m}$)

(1) 求每块板两个表面的面电荷密度各是多少?

(2) 将它作为一个电容器使用其电容值是多少?



解: (1)

自上而下设各板所带面电荷密度分别为 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5, \sigma_6$, 则根据静电平衡条件下各导体板内部电场为零可得

$$0 = \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma_3}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma_4}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma_5}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma_6}{2\epsilon_0} \quad 1 \text{ 分}$$

$$0 = \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma_3}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma_4}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma_5}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma_6}{2\epsilon_0} \quad 1 \text{ 分}$$

$$0 = \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma_3}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma_4}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma_5}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma_6}{2\epsilon_0} \quad 1 \text{ 分}$$

此三方程中任意两个可由根据高斯定理和静电平衡条件给出以下两式代替

$$0 = \sigma_4 + \sigma_5 \quad 1 \text{ 分}$$

密

封

线

$0 = \sigma_2 + \sigma_3$

1 分

再根据电荷守恒定律可得

$\sigma = \sigma_3 + \sigma_4 = 1.3 \times 10^{-5} \text{ C/m}^2$

1 分

$0 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_5 + \sigma_6$

1 分

再根据导体板等电势，所以可写出电压关系如下 $U_{AB} = U_{CB}$

$(\frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma_3}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma_4}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma_5}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma_6}{2\epsilon_0})d_1 = -(\frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma_3}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma_4}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma_5}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma_6}{2\epsilon_0})d_2$

2 分

接得

$\sigma_1 = \sigma_6 = 6.5 \times 10^{-6} \text{ C/m}^2$

$\sigma_2 = -\sigma_3 = -8.1 \times 10^{-6} \text{ C/m}^2$

$\sigma_4 = -\sigma_5 = 4.9 \times 10^{-6} \text{ C/m}^2$

2 分

(2) 此组合电容器可以看成两个电容器的并联，根据电容并联公式

$C = C_1 + C_2 = \frac{\epsilon_0 S}{d_1} + \frac{\epsilon_0 S}{d_2} = \frac{\epsilon_0 S(d_1 + d_2)}{d_1 d_2}$

2 分

代入可得

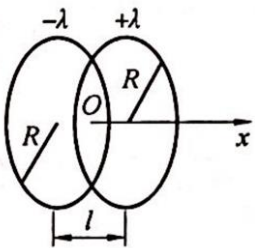
$C = 7.08 \times 10^{-11} \text{ F} = 70.8 \text{ pF}$

1 分

得分	签字

(本题 6 分)

如图所示，两个平行共轴放置的均匀带电圆环，它们的半径均为 R ，电荷线密度分别为 $+\lambda$ 和 $-\lambda$ ，相距为 L ，试求以两环的对称中心 O 为坐标原点垂直于环面的 x 轴上任一点的电势。
(以无穷远处为电势零点)



得分	签字

(本题 8 分)

沿绳子行进的横波波函数为 $y = 8 \sin(0.4x - \pi t)$ ，式中长度的单位是 m ，时间的单位是 s 。试求：(1) 波的振幅、频率、传播速率和波长；(2) 绳上某质点的最大横向振动速率。

草 纸

(草纸内不得答题)

四、理论解释题（共 8 分）

（本题 4 分）

得分	签字

任何一个实际的弹簧都是有质量的，如果考虑弹簧的质量，弹簧振子的振动周期将变大还是变小？

答：从质量的意义上说，质量表示物体的惯性。弹簧本身的质量计入时，系统的质量增大，更不易改变运动状态。对不断地周期性改变运动状态的弹簧振子的简谐运动来说，其进程一定要变慢。这就是说，考虑弹簧的质量时，弹簧振子的振动周期要变大。

。（本题 4 分）

得分	签字

将磁铁插入闭合线圈，一次是迅速地插入，另一次是缓慢地插入，问：

- （1）两次插入线圈，线圈中的感应电荷是否相同？理由是什么？
- （2）两次插入线圈，手推磁铁之力（反抗电磁力）所作的功是否相同？

答：(1)
$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{|\mathcal{E}|}{R} = \frac{N}{R} \left| \frac{d\Phi}{dt} \right|$$

故
$$Q = \frac{N}{R} |\Delta\Phi|$$

无论是迅速插入,还是缓慢插入,因为线圈匝数 N 、线圈导线总电阻 R 和前后穿过线圈磁通量的改变量 $|\Delta\Phi|$ 都相同，所以两次线圈中的感应电荷量相同.

（2）线圈中产生感应电流,手推磁铁之力所作的功转换为电能 W_E .

由于 $W_E = Q\mathcal{E} = QN \left| \frac{d\Phi}{dt} \right|$,与磁通量变化率成正比,故快速插入时手推磁铁之力所作功大一些.

草 纸

（草纸内不得答题）