

一、选择题：本题共 10 小题，每小题 2 分，共 20 分。请把正确答案填写在答题纸的正确位置。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. 静电场中，下列论述中正确的是（ ）

- (A) 带正电物体在空间激发的电势均大于零 (B) 物体的电势为零，其一定不带电荷
(C) 电场线与等势面一定正交 (D) 电势高的地方其电场一定也强

参考答案：C

2. 在一椭球面的中心处有一点电荷 q_1 。要使该椭球面的上的电通量发生变化，则应该（ ）

- (A) 使点电荷 q_1 偏离中心，但仍在球内 (B) 将另一点电荷 q_2 放在椭球面外
(C) 使椭球面外另一点电荷 q_2 不断远离该椭球面 (D) 将另一点电荷 q_2 从椭球面外移入到椭球面内

参考答案：D

3. 两个半径相同的带电“孤立”导体球的带电量之比为 1:2，则它们的电容值之比为（ ）

- (A) 1:2 (B) 2:1 (C) 1:1 (D) 1:4

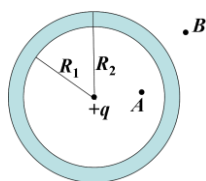
参考答案：C

4. 一导体球外充满相对介电常数为 ϵ_r 的均匀电介质，若测得导体表面附近场强为 E ，则导体球面上的自由电荷面密度 σ 为（ ）。

- (A) $\epsilon_0 E$ ； (B) $\epsilon_0 \epsilon_r E$ ； (C) $\epsilon_r E$ ； (D) $(\epsilon_0 \epsilon_r - \epsilon_0) E$ 。

参考答案：B

5. 如图所示，点电荷 $+q$ 位于一不带电金属球壳的中心，球壳的内外半径分别为 R_1 和 R_2 ，设无穷远处电势为零，A、B 分别为球壳内外的两点，如果此时移去球壳，下列说法正确的是（ ）



- (A) B 点电势增加 (B) B 点场强大小增加 (C) A 点电势增加 (D) A 点场强大小增加

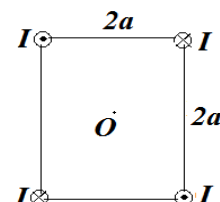
参考答案：C

6. 有一载流圆线圈，若将此线圈的半径增大为 2 倍，且其中电流减小为原来的 $\frac{1}{3}$ ，则载流圆线圈的磁矩变为原来的 ()

- (A) $\frac{2}{3}$ (B) $\frac{3}{2}$ (C) $\frac{4}{3}$ (D) $\frac{3}{4}$

参考答案: C

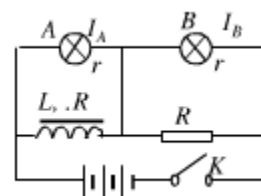
7. 四条皆垂直于纸面的载流细长直导线，每条中的电流皆为 I ，这四条导线被纸面截得的断面如图所示，它们组成边长为 $2a$ 的正方形的四个顶角，电流方向如图所示，则正方形中心 O 点磁感强度的大小与 $\frac{\mu_0 I}{\pi a}$ 的比值为 ()



(A) 2 (B) 1.41 (C) 0 (D) 1

参考答案: C

8. 如图所示的电路中， A 、 B 是两个完全相同的小灯泡，其内阻 $r=R$ ， L 是一个自感系数相当大的线圈，其电阻与 R 相等。当开关 K 接通和断开瞬时，关于灯泡 A 和 B 的情况，下面哪一种说法正确？ ()



- (A) K 接通瞬间， $I_A > I_B$ (B) K 接通瞬间， $I_A = I_B$
(C) K 断开瞬间，两灯同时熄灭 (D) K 断开瞬间， $I_A = I_B$

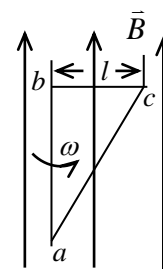
参考答案: A

9. 对于法拉第电磁感应定律，下面理解正确的是 ()

- (A) 穿过线圈的磁通量越大，感应电动势越大
(B) 穿过线圈的磁通量为零，感应电动势一定为零
(C) 穿过线圈的磁通量变化越大，感应电动势越大
(D) 穿过线圈的磁通量变化越快，感应电动势越大

参考答案: D

10. 如图所示，直角三角形金属框架 abc 放在均匀磁场中，磁场 \vec{B} 平行于 ab 边， bc 的长度为 l 。当金属框架绕 ab 边以匀角速度 ω 转动时， abc 回路中的感应电动势 ε_i 和 a 、 c 两点间的电势差 $U_a - U_c$ 分别为 ()



- (A) $\varepsilon_i = 0, U_a - U_c = \frac{1}{2} B \omega l^2$ (B) $\varepsilon_i = 0, U_a - U_c = -\frac{1}{2} B \omega l^2$
(C) $\varepsilon_i = B \omega l^2, U_a - U_c = \frac{1}{2} B \omega l^2$ (D) $\varepsilon_i = B \omega l^2, U_a - U_c = -\frac{1}{2} B \omega l^2$

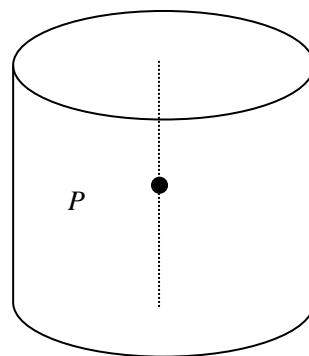
参考答案: B

二、填空题：本大题共 10 小题，每小题 2 分，共 20 分。请把正确答案填写在答题纸的正确位置。错填、不填均无分。

1. 在真空中，有一半径为 R ，带电量为 Q 的实心金属球，球心处的电势为_____。（选无穷远处为电势零点）

参考答案： $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}$

2. 如图所示，一半径为 R 、长度为 L 的均匀带电圆柱体，电荷体密度为 ρ ，则圆柱轴线的中点 P 点的电场强度为_____。



参考答案： 0

3. 平行板电容器的两极板 A 、 B 的面积均为 S ，相距为 d ，极板间充满相对介电常数为 ϵ_r 的各向同性均匀电介质，极板上分别带有 $\pm Q$ 的电荷，则此电容器储存的能量 W_e =_____。（忽略边缘效应）

参考答案： $\frac{d}{2\epsilon_0\epsilon_r S} Q^2$

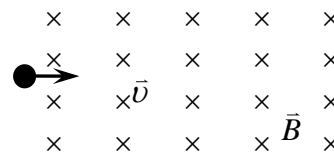
4. 地球表面有净电荷，因而在地球表面附近存在电场，其电场强度约为 $100\text{N}\cdot\text{C}^{-1}$ ，方向竖直向下，如果把地球看成一个半径为 $6.38\times 10^6\text{m}$ 的导体球，其所带电荷为_____C。（ $\epsilon_0=8.85\times 10^{-12}\text{C}^2\cdot\text{N}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ ， $\pi=3.14$ ，保留 3 位有效数字）

参考答案： -4.52×10^5

5. 两个点电荷在真空中相距为 r_1 时相互作用力等于它们在某一“无限大”各项同性均匀电介质中相距为 r_2 时的相互作用力，则该电介质的相对介电常数 ϵ_r =_____。

参考答案： $\frac{r_1^2}{r_2^2}$

6. 如图所示，一电荷为 $+q$ ，质量为 m 的带电粒子，以与均匀磁场垂直的速度 \vec{v} 射入磁场内，磁感强度的大小为 B ，则该粒子在磁场中运动轨道的半径为_____。



参考答案： $R = \frac{mv}{Bq}$

7. 一直导线放在 $B=0.10\text{ T}$ 的均匀磁场中，通以电流 $I=2.0\text{ A}$ ，导线电流方向与磁场方向成 120° 角，导

线上长 0.20 m 的一段受的磁力为 _____N。(若用小数表示保留 3 位有效数字)

参考答案: $0.02\sqrt{3}$ (或 3.46×10^{-2})

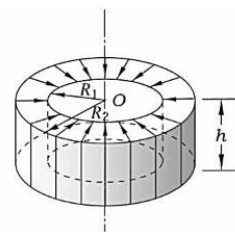
8. 真空中长度相等、单层密绕匝数相同的两支长直螺线管, 螺线管半径之比 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{4}$ 。当螺线管线圈中通
过相同电流时, 螺线管贮存的磁能之比为 $\frac{W_1}{W_2} =$ _____。

参考答案: $1/16$

9. 长度为 26cm 的导线构成的闭合回路, 通以 10A 的电流, 放在磁感应强度为 0.15T 的匀强磁场中。如
果保持导线总长以及所载电流不变, 回路在此磁场中所能得到的最大力矩大小为 _____N·m (保留 3
位有效数字)

参考答案: 8.07×10^{-3}

10. 横截面为矩形的密绕螺绕环, 总匝数为 N , 内、外半径分别为 R_1 和 R_2 , 厚度
为 h , 则螺绕环的自感 $L =$ _____。



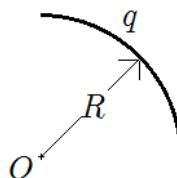
参考答案: $\frac{\mu_0 N^2 h}{2\pi} \ln \frac{R_2}{R_1}$

三、计算题: 本题 12 分。请在答题纸上按题序作答, 并标明题号。

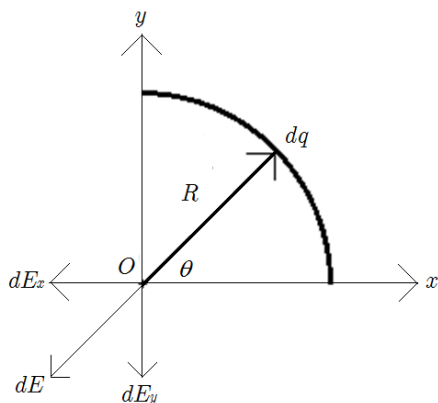
已知均匀带电的四分之一圆弧上所带电荷量为 q , 圆弧半径为 R 。试求: 圆心 O 处

(1) 电场强度大小;

(2) 电势大小。



参考答案:



如图所示, θ 角对应的微元 $d\theta$ 所带的电量为 $dq = \frac{q}{\pi R/2} R d\theta = \frac{2q}{\pi} d\theta$

$$(1) \text{ 其在圆心处形成的电场强度大小 } dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{R^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2q}{\pi R^2} d\theta$$

$d\vec{E}$ 的 x 方向分量为 $dE_x = dE \cos \theta$, 相应地有

$$E_x = \int_0^{\pi/2} dE \cos \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2q}{\pi R^2} \int_0^{\pi/2} \cos \theta d\theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2q}{\pi R^2}$$

$d\vec{E}$ 的 y 方向分量为 $dE_y = dE \sin \theta$, 相应地有

$$E_y = \int_0^{\pi/2} dE \sin \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2q}{\pi R^2} \int_0^{\pi/2} \sin \theta d\theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2q}{\pi R^2}$$

$$\text{则圆心处的电场强度大小为 } E_O = \sqrt{E_y^2 + E_x^2} = \frac{\sqrt{2}q}{2\pi^2 R^2 \epsilon_0}$$

(2) 圆心处的电势为

$$V = \int \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r} = \int_0^{\pi/2} \frac{\frac{2q}{\pi} d\theta}{4\pi\epsilon_0 R} = \frac{q}{2\pi^2 \epsilon_0 R} \int_0^{\pi/2} d\theta = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R}$$

四、计算题：本题 12 分。请在答题纸上按题序作答，并标明题号。

两共轴的导体圆筒，内筒半径为 R_1 ，外筒内半径为 R_2 ， $R_1 < R_2$ ， $R_2 < 2R_1$ ，其间有两层均匀介质，分界面的半径为 R ，内层介质的相对介电常数为 ϵ_{r1} ，外层介质的相对介电常数为 ϵ_{r2} ， $\epsilon_{r2} = \epsilon_{r1} / 2$ ，两层介质的击穿场强都是 E_b ，当电压升高时，哪层介质先被击穿？并求所加最大电压。

参考答案：

设导体圆筒自由电荷线密度为 λ ，由高斯定理内外层介质的场强分别为

$$E_1 = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_{r1}\epsilon_0 r_1} \quad (R_1 < r_1 < R)$$

$$E_2 = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_{r2}\epsilon_0 r_2} \quad (R < r_2 < R_2)$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\epsilon_{r2} r_2}{\epsilon_{r1} r_1} = \frac{r_2}{2r_1}$$

$\because r_2 < R_2 < 2R_1 < 2r_1, \therefore E_1 < E_2$ 即外半层介质先被击穿

外层介质在内表面 ($r_2 = R$) 取场强最大值 E_b

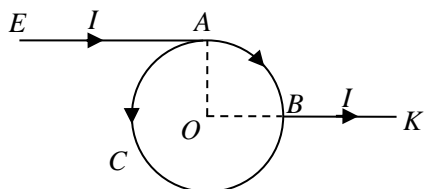
$$E_b = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_{r2}\epsilon_0 R}$$

所加最大电压

$$U = \int_{R_1}^R E_1 dr_1 + \int_R^{R_2} E_2 dr_2 = \frac{RE_b}{2} \ln \frac{R}{R_1} + RE_b \ln \frac{R_2}{R} = \frac{RE_b}{2} \ln \frac{R_2^2}{RR_1}$$

五、计算题：本题 12 分。请在答题纸上按题序作答，并标明题号。

如图所示，两根半无限长载流导线接在圆导线的 A 、 B 两点，圆心 O 和 EA 的距离为 R ，且在 KB 的延长线上， $AO \perp BO$ ，如导线 ACB 部分的电阻是 AB 部分电阻的 2 倍，当通有电流 I 时，求中心 O 的磁感应强度。



参考答案：

由于半无限长直导线 KB 延长线通过圆心 O ，在 O 点的磁感应强度为零，即

$$B_{KB}=0$$

半无限长直导线 EA 在 O 点的磁感应强度为

$$B_{EA} = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \quad (\text{方向垂直纸面向里})$$

两个圆弧导线 ACB 、 AB 并联，由于导线 ACB 部分电阻是 AB 部分电阻的 2 倍，所以流过圆弧 ACB 的电流为 $I/3$ ，流过圆弧 AB 的电流为 $2I/3$ 。圆弧 ACB 在 O 点的磁感应强度为

$$B_{ACB} = \int_0^{\frac{3\pi R}{2}} \frac{\mu_0 \frac{I}{3} dl}{4\pi R^2} = \frac{\mu_0 I}{8R} \quad (\text{方向垂直纸面向外})$$

圆弧 AB 在 O 点的磁感应强度为

$$B_{AB} = \int_0^{\frac{\pi R}{2}} \frac{\mu_0 \frac{2I}{3} dl}{4\pi R^2} = \frac{\mu_0 I}{12R} \quad (\text{方向垂直纸面向里})$$

选择方向垂直纸面向里为正方向，则 O 点总的磁感应强度大小为

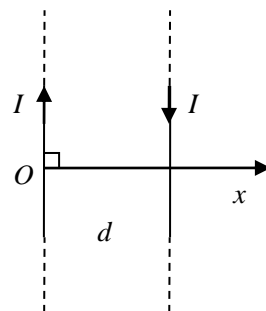
$$B = B_{EA} + B_{AB} - B_{ACB} = \frac{(6-\pi)\mu_0 I}{24\pi R} \quad (\text{方向垂直纸面向里})$$

六、计算题：本题 12 分。请在答题纸上按题序作答，并标明题号。

两根半径为 a 的长直圆柱形导体平行放置，且中心轴距离为 d ，通有相向恒定电流 I ，若在两导线平

面内建立如图所示坐标系，且两导体内部磁通量忽略不计，试求：

- (1) 导体外， x 轴上各点磁感应强度大小；
- (2) 这对导线单位长度上的自感系数。



参考答案：

- (1) 根据安培环路定理，左侧电流在 x 轴上产生的磁感应强度大小为

$$B_1 = \left| \frac{\mu_0 I}{2\pi x} \right|$$

右侧电流在 x 轴上产生的磁感应强度大小为

$$B_2 = \left| \frac{\mu_0 I}{2\pi(d-x)} \right|$$

x 轴上的磁感应强度大小为

$$B = \begin{cases} \left| \frac{\mu_0 I}{2\pi x} \right| - \left| \frac{\mu_0 I}{2\pi(d-x)} \right| = -\frac{\mu_0 Id}{2\pi x(d-x)} & (x < -a) \\ \left| \frac{\mu_0 I}{2\pi x} \right| + \left| \frac{\mu_0 I}{2\pi(d-x)} \right| = \frac{\mu_0 Id}{2\pi x(d-x)} & (a < x < d-a) \\ \left| \frac{\mu_0 I}{2\pi(d-x)} \right| - \left| \frac{\mu_0 I}{2\pi x} \right| = \frac{\mu_0 I(2x-d)}{2\pi x(d-x)} & (d+a < x) \end{cases}$$

- (2) 将两平行长直导线看成是无限长，并在无限远处构成回路，则在两导线间长度为 l 的区域的磁通量为

$$\Phi = \oint_s \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int_a^{d-a} \frac{\mu_0 Id}{2\pi x(d-x)} l dx = \frac{\mu_0 Il}{\pi} \ln \frac{d-a}{a}$$

所以导线单位长度上的自感系数为

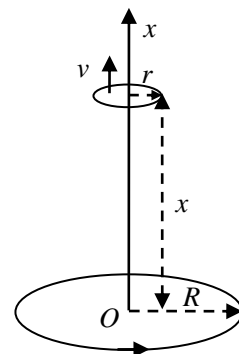
$$L = \frac{\Phi}{Il} = \frac{\mu_0}{\pi} \ln \frac{d-a}{a}$$

七、计算题：本题 12 分。请在答题纸上按题序作答，并标明题号。

两个半径分别为 R 和 r 的同轴圆形线圈，小的线圈在大的线圈上面相距为 x 处，若大线圈通有电流 I ，方向如图所示，而小线圈沿 Ox 轴方向上以速率 v 运动，试求：

- (1) 大线圈中电流在小线圈圆心产生的磁感应强度大小；
- (2) 若 $r \ll R$ ，小线圈回路中产生的感应电动势大小；
- (3) 若 $r \ll R$ ，两线圈的互感系数。

参考答案：



(1) 在大线圈上取一电流元 $I dl$ ，则电流元在小线圈圆心处产生的磁感应强度微元大小为：

$$dB = \frac{\mu_0 I dl}{4\pi(R^2 + x^2)}$$

将磁感应强度微元分解成平行于 Ox 分量 dB_{\parallel} 和垂直于 Ox 轴分量 dB_{\perp}

$$dB_{\parallel} = dB \frac{R}{\sqrt{R^2 + x^2}} = \frac{\mu_0 I R dl}{4\pi(R^2 + x^2)^{3/2}}$$

$$B_{\parallel} = \int_0^{2\pi R} \frac{\mu_0 I R dl}{4\pi(R^2 + x^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}}$$

根据对称性可知

$$B_{\perp} = 0$$

所以在小线圈圆心处磁感应强度大小为

$$B = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}}$$

(2) 若 $r \ll R$ ，大线圈在小线圈内产生的磁场可以看作均匀磁场，其磁感应强度大小等于 $(0, x)$ 处的磁感应强度大小，则通过小线圈的磁通量为

$$\Phi = B \pi r^2 = \frac{\mu_0 I R^2 \pi r^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}}$$

小线圈沿 Ox 轴方向上以速率 v 运动，在小线圈内产生的感应电动势为

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = \frac{3\mu_0 I R^2 \pi r^2 x v}{2(R^2 + x^2)^{5/2}}$$

(3) 互感系数为

$$M = \frac{\Phi}{I} = \frac{\mu_0 R^2 \pi r^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}}$$