

2026 年 1 月 9 日

有关数据:	真空介电常量	$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$
	真空的磁导率	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1}$
	普朗克常量	$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
	基本电荷	$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
	电子质量	$m_e = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg} = 0.511 \text{ MeV}/c^2$
	质子质量	$m_p = 1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$

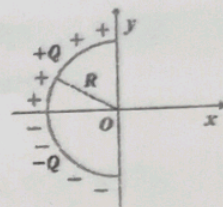
装

## 一、选择题 (每题 3 分, 共 24 分)

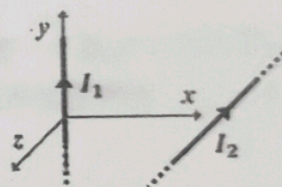
1. 关于高斯定理的理解有下面几种说法, 其中正确的是:

- (A). 如果高斯面上  $\vec{E}$  处处为零, 则该面内必无电荷;  
 (B). 如果高斯面内无电荷, 则高斯面上  $\vec{E}$  处处为零;  
 (C). 如果高斯面上  $\vec{E}$  处处不为零, 则该面内必有电荷;  
 (D). 如果高斯面内有净电荷, 则通过高斯面的电通量必不为零;  
 (E). 高斯定理仅适用于具有高度对称性的电场。

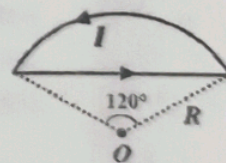
订

2. 一个细玻璃棒被弯成半径为  $R$  的半圆形, 沿其上半部分均匀分布有电荷  $+Q$ , 下半部分均匀分布有电荷  $-Q$ , 如图所示。则圆心  $O$  处的电场强度为:

- (A).  $\frac{-Q}{\pi^2 \epsilon_0 R^2} \hat{y}$       (B).  $\frac{2Q}{\pi^2 \epsilon_0 R^2} \hat{y}$       (C).  $\frac{Q}{2\pi \epsilon_0 R^2} \hat{y}$   
 (D).  $\frac{-\pi Q}{4\epsilon_0 R^2} \hat{y}$       (E).  $\frac{-\pi^2 Q}{2\epsilon_0 R^2} \hat{y}$

3. 两根无限长载流直导线相互正交放置, 如图所示。  $I_1$  沿  $y$  轴的正方向,  $I_2$  沿  $z$  轴负方向。若载流  $I_1$  的导线不能动, 载流  $I_2$  的导线可以自由运动, 则载流  $I_2$  的导线开始运动的趋势是

- (A). 沿  $x$  轴平动      (B). 绕  $x$  轴转动  
 (C). 沿  $y$  轴平动      (D). 绕  $y$  轴转动  
 (E). 静止不动

4. 如图所示的弓形线框中通有电流  $I$ , 则圆心  $O$  处的磁感应强度  $\vec{B}$  为:

- (A).  $\frac{2\mu_0 I}{R} \left( \frac{3}{\pi} - \frac{\sqrt{3}}{3} \right)$ , 垂直纸面向外;  
 (B).  $\frac{2\mu_0 I}{R} \left( \frac{\sqrt{3}}{\pi} - \frac{1}{3} \right)$ , 垂直纸面向外;  
 (C).  $\frac{\mu_0 I}{2R} \left( \frac{\sqrt{3}}{\pi} - \frac{1}{3} \right)$ , 垂直纸面向里;  
 (D).  $\frac{\mu_0 I}{3R} \left( \frac{\sqrt{3}}{3} - \frac{1}{\pi} \right)$ , 垂直纸面向里;  
 (E).  $\frac{\mu_0 I}{2R} \left( \frac{1}{3} - \frac{1}{\pi} \right)$ , 垂直纸面向里。

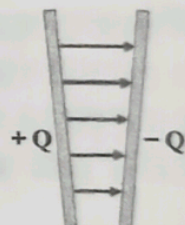
线



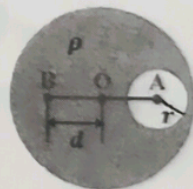
5. 对位移电流, 有下述五种说法, 请指出哪一种说法正确
- (A). 位移电流是由变化的电场产生的;  
 (B). 位移电流是由变化的磁场产生的;  
 (C). 位移电流的热效应服从焦耳—楞次定律;  
 (D). 位移电流的磁效应不服从安培环路定理;  
 (E). 位移电流的产生要求有真实的电荷运动。
6. 一列长 300 米的火车匀速通过一条长 200 米的直隧道。火车速度达到一定值时, 隧道外面侧方的观察者会看到火车有一瞬间整体在隧道内。而火车上的乘客会观察到车头到达隧道出口的时间相比于车尾到达隧道入口的时间, 符合下面哪个选项
- (A). 晚  $3.73 \times 10^{-7}$  秒      (B). 早  $7.45 \times 10^{-7}$  秒      (C). 早  $4.97 \times 10^{-7}$  秒  
 (D). 晚  $1.49 \times 10^{-6}$  秒      (E). 以上都不对
7. 能量为  $E_0 = 341 \text{ keV}$  的单色  $\gamma$  射线照射静止自由电子。发生康普顿散射后, 若反冲电子的动能恰好等于散射光子的能量, 则散射角  $\theta$  应为多少? (取电子静止能量  $m_e c^2 = 511 \text{ keV}$ )
- (A).  $45^\circ$       (B).  $60^\circ$       (C).  $90^\circ$       (D).  $120^\circ$       (E).  $180^\circ$
8. 某一维谐振子的归一化波函数为:  $\Psi(x) = \sqrt{\frac{1}{2}}\varphi_0(x) + \sqrt{\frac{1}{6}}\varphi_2(x) + c\varphi_3(x)$ 。其中,  $\varphi_n(x)$  是归一化的谐振子的定态波函数,  $\nu$  为谐振子固有频率。该谐振子系统的能量期望值  $\bar{E}$  为:
- (A).  $\frac{7}{6}h\nu$       (B).  $\frac{4}{3}h\nu$       (C).  $\frac{3}{2}h\nu$       (D).  $\frac{5}{3}h\nu$       (E).  $\frac{11}{6}h\nu$

## 二、填空题 (共 31 分)

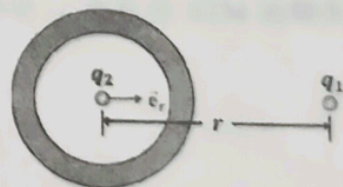
9. (4 分) 一个由两块导体板组成的电容器, 两板稍微不平行。今使两板分别带有  $+Q$  和  $-Q$  的电荷, 有人将两板间的电场线画成如图中所示。指出图中画法的错误并修正 (写出两处, 并忽略边缘效应):  
 \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_。



10. (3 分) 一球体内均匀分布着电荷体密度为  $\rho$  的正电荷, 若保持电荷分布不变, 在该球体中挖去半径为  $r$  的一个小球体, 球心为 A, 两球心间的距离  $OA = d$ , 如图所示。在 A 关于 O 的对称点 B 处, 电场强度的大小为 \_\_\_\_\_。

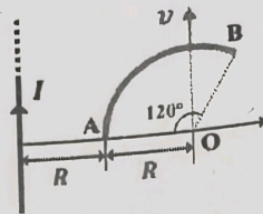


11. (4 分) 一个整体不带电的导体球壳内是球形空腔, 在空腔中心放置一电量为  $q_2$  的点电荷, 球壳外离球心  $r$  处有一电量为  $q_1$  的点电荷, 如图所示。则  $q_1$  作用在  $q_2$  上的力为 \_\_\_\_\_;  $q_2$  的受力为 \_\_\_\_\_。(设  $\vec{e}_r$  指向  $q_1$  的空间单位向量为  $\vec{e}_r$ )



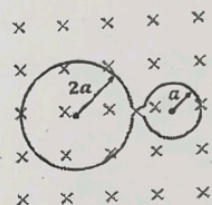


12. (3分) 电流为  $I$  的无限长直导线旁有一弧形导线 (两者共面), 圆心角为  $120^\circ$ , 几何尺寸及位置如图所示。当圆弧形导线以速度  $v$  平行于长直导线方向运动时, 弧形导线中的动生电动势为 \_\_\_\_\_。(包括方向)



13. (3分) 一种用小线圈测磁场的方法如下: 做一个小线圈, 单位长度的匝数为  $n$ , 内部充满磁导率为  $\mu$  的均匀介质, 已知它自感为  $L$ 。将它的两端与一个测量电量的冲击电流计相连, 它和电流计线路的总电阻为  $R$ 。先把它放到待测磁场处, 并使线圈平面与磁场方向垂直, 然后把它急速的移到磁场外边, 这时电流计给出的通过电量是  $q$ 。试用  $n$ 、 $\mu$ 、 $L$ 、 $R$  和  $q$  表示待测磁场  $B$  的大小为 \_\_\_\_\_。

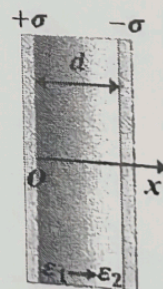
14. (3分) 电阻为  $R$  的闭合线圈折成半径分别为  $a$  和  $2a$  的两个圆, 如图所示。将其放置在与两圆平面垂直的匀强磁场中, 磁感应强度按  $B = B_0 \sin \omega t$  的规律变化。已知  $a = 0.1\text{m}$ ,  $B_0 = 2 \times 10^{-2}\text{T}$ ,  $\omega = 50\text{rad/s}$ ,  $R = 10\Omega$ , 则线圈中感应电流的最大值为 \_\_\_\_\_ A。(图中两线圈相接处是交叉的)



15. (4分) 将一个电子从  $0.5c$  加速到  $0.8c$  需要施加 \_\_\_\_\_ kV 的电压, 此时电子的波长为 \_\_\_\_\_ pm ( $1\text{pm} = 10^{-12}\text{m}$ )。(电子静止质量  $m_e = 9.11 \times 10^{-31}\text{kg} = 0.511\text{MeV}/c^2$ )
16. (3分) 火箭 A 以  $0.8c$  的速率相对地球朝正北方向飞行, 火箭 B 以  $0.6c$  的速率相对地球朝正西方向飞行。则在火箭 B 中观察 A 的速度大小为 \_\_\_\_\_。(以光速  $c$  的倍数表示)
17. (4分) 原子中核外电子的  $4d$  状态, 最多可以容纳 \_\_\_\_\_ 个电子。若一个静止的氢原子的核外电子处于该状态, 当发生跃迁辐射时, 氢原子获得的最小反冲速度约为 \_\_\_\_\_ m/s。

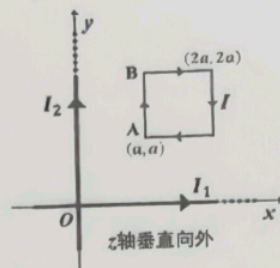
### 三、计算题 (共 45 分)

18. (10分) 一平行板电容器, 面积为  $S$ , 板间距为  $d$ , 两板分别带面密度为  $\pm\sigma$  的均匀面电荷。板间充满电介质, 从一侧板到另一侧板, 介电常数从  $\epsilon_1$  到  $\epsilon_2$  线性变化。如图, 以一侧板为原点, 垂直指向另一侧板为正方向, 在板间建立  $x$  坐标系。试计算: (1) 各处电位移矢量  $\vec{D}(x)$ ; (2) 以原点为电势零点, 各处的电势  $U(x)$ ; (3) 总电容  $C$ ; (4) 总静电能  $W_e$ 。





19. (10分) 在  $O-xyz$  直角坐标系中, 两根长直导线分别位于  $x$  和  $y$  轴上, 且各自载有电流  $I_1$  和  $I_2$ , 方向均沿所在坐标轴的正方向, 如图所示。试求: (1) 在  $O-xy$  平面内  $(x, y)$  点的磁感应强度  $\vec{B}(x, y)$  (写出第一象限的点即可); (2) 如图, 在以  $(a, a, 0)$  和  $(2a, 2a, 0)$  为对角的方框内, 磁通量是多少? (3) 若图中方框载有顺时针电流  $I$ , 则  $AB$  段导线的受力为何?



20. (10分) 面密度为  $\sigma$  的电荷均匀分布在半径为  $a$  的很长的圆筒表面, 圆筒绕中心轴旋转的角速度为  $\Omega = \Omega_0 \cos \omega t$ 。一半径为  $2a$ 、自感为  $L$  的单匝线圈套在圆筒上, 如图所示。求: 线圈上的感应电流  $I(t)$  (忽略线圈的电阻, 并设初始时刻电流为  $I(0) = 0$ )。



21. (10分) 已知氢原子的核外电子在  $1s$  态的定态波函数为  $\psi_{100} = Ae^{-r/a}$ , 式中  $a$  为正的常量 (玻尔半径)。试求: (1) 归一化常数  $A$ ; (2) 沿径向找到电子概率最大的位置。

(积分公式:  $\int_0^\infty r^n e^{-\alpha r} dr = \frac{n!}{\alpha^{n+1}}$ ,  $\alpha > 0$ ,  $n \in \mathbb{N}$ )

22. (5分) 扫描隧道显微镜 (STM) 是利用量子隧穿效应来探测材料原子级表面结构的革命性工具。其工作原理大致如下: 一个极细的金属针尖在样品表面上方极近的距离 (几埃,  $1\text{\AA} = 10^{-10}\text{m}$ ) 扫描, 针尖与样品间存在一个微小的真空势垒。尽管经典物理学不允许电子“跳过”这个真空区域, 但根据量子力学, 电子的波函数有一定概率“渗出”到势垒中, 并“隧穿”过去, 形成可测量的隧道电流  $I$ 。

在大学物理中, 对于能量为  $E$  的电子, 穿过一个宽度为  $a$ 、高度为  $U_0$  的矩形势垒 ( $E < U_0$ ), 其隧穿概率  $T$  (即穿透系数) 近似有:  $T \approx e^{-2\kappa a}$ , 其中  $\kappa = \frac{\sqrt{2m(U_0 - E)}}{\hbar}$  为衰减常数。

现有一台 STM 在扫描某金属样品时, 电子需要克服的有效势垒高度为  $U_0 = 4.50\text{eV}$ , 电子能量为  $E = 1.00\text{eV}$ 。

- (1) 势垒宽度  $a = 5\text{\AA}$  时, 隧穿概率  $T$  为多少?
- (2) 在某个位置, STM 测得的隧道电流为  $I_1 = 1.0\text{nA}$ , 随后针尖在垂直方向抬高一个微小距离  $\Delta a$ , 导致隧道电流降至  $I_2 = 0.1\text{nA}$ 。试计算  $\Delta a$  (以  $\text{\AA}$  为单位), 并解释 STM 能够实现原子级分辨的原因。