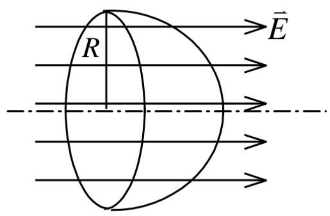
北京工业大学 2013 — 2014 学年第二学期
《普通物理 I -2》考试试卷

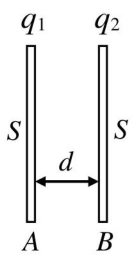
得 分

一、 填空题（共 **32** 分）

1. （本题 2 分）半径为 R 的半球面置于场强为 $\vec{E}$ 的均匀电场中，其对称轴与场强方向一致，如图所示．则通过该半球面的电场强度通量为________________。

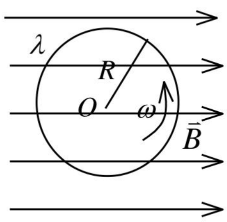


2. （本题 2 分）两块面积均为 S 的金属平板 A 和 B 彼此平行放置，板间距离为 d(d 远小于板的线度)，设 A 板带有电荷 q_1，B 板带有电荷 q_2，则 AB 两板间的电势差 U_{AB} 为________________。



3. （本题 4 分）一平行板电容器，充电后与电源断开，然后使两极板间充满相对介电常量为ε_r 的各向同性均匀电介质，这时两极板之间的电场强度是原来的__________倍，电场能量是原来的_________倍。

4. （本题 4 分）如图，均匀磁场中放一均匀带正电荷的圆环，其线电荷密度为λ，圆环可绕通过环心 O 与环面垂直的转轴旋转．当圆环以角速度 ω 转动时，圆环受到的磁力矩为________________，其方向__________________________。

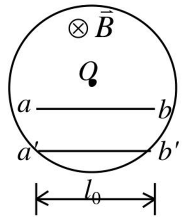


5. （本题 4 分）一个绕有 500 匝导线的平均周长 50 cm 的细环，载有 0.3 A 电流时，铁芯的相对磁导率为 600，则

(1) 铁芯中的磁感强度 B 为________________；

(2) 铁芯中的磁场强度 H 为________________。($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T • m • A^{-1})

6.（**本题 2 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 $\mathrm{d}B/\mathrm{d}t$ 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的大小关系为________________。



(A)　$\varepsilon_2=\varepsilon_1\neq 0$；　　　(B)　$\varepsilon_2>\varepsilon_1$；

(C)　$\varepsilon_2<\varepsilon_1$；　　　(D)　$\varepsilon_2=\varepsilon_1=0$。

7.（**本题 2 分**）在康普顿散射中，若入射光子与散射光子的波长分别为λ和λ'，则反冲电子获得的动能 E_K =________________________________。

8.（**本题 2 分**）　（**本题 2 分**）根据量子力学理论，氢原子中电子的动量矩在外磁场方向上的投影为 $L_z = m_l\hbar$，当角量子数 l =2 时，L_z 的可能取值为__________________________。

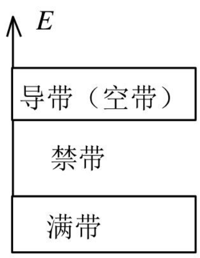
9.（**本题 2 分**）根据量子力学理论，原子内电子的量子态由(n，l，m_l，m_s)四个量子数表征．那么，处于基态的氦原子内两个电子的量子态可由__________________________和____________________________两组量子数表征。

10.（**本题 2 分**）与绝缘体相比较，半导体的导电性能高，其能带结构的特点是____。

11.（**本题 2 分**）太阳能电池中，本征半导体锗的禁带宽度是 0.67 eV，它能吸收的辐射的最大波长是_________________。

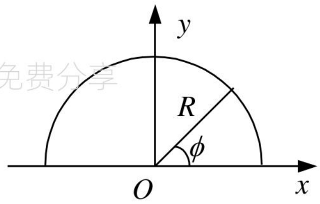
(普朗克常量 h =6.63×10^{-34} J·s，1 eV =1.60×10^{-19} J)

12.（**本题 4 分**）若硅用锑(5 价元素)掺杂，则成为________型半导体．请在所附的能带图中定性画出施主能级或受主能级。

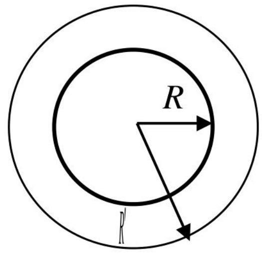


二、计算题（共 **68** 分）

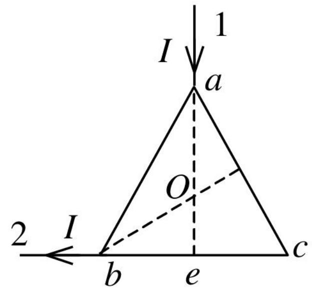
1.（本题 10 分）带电细线弯成半径为 R 的半圆形，电荷线密度为$\lambda=\lambda_0\sin\phi$，式中$\lambda_0$ 为一常数，ϕ为半径 R 与 x 轴所成的夹角，如图所示。试求环心 O 处的电场强度。



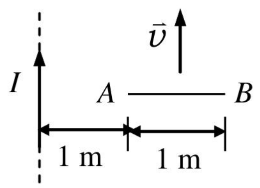
2.（本题 10 分）在一个半径为 R 的金属球之外，有一与金属球同心的均匀各向同性的电介质球壳，其外半径为 R′ ,球壳外面为真空。电介质的相对电容率为ε_r，金属球所带电荷为 Q。 试求其空间各部分的(1) 电场强度的分布；(2)电势分布。



3.（本题 10 分）在真空中，电流由长直导线 1 沿垂直于底边 bc 方向经 a 点流入一由电阻均匀的导线构成的正三角形金属线框，再由 b 点从三角形框流出，经长直导线 2 沿 cb 延长线方向返回电源(如图)。已知长直导线上的电流强度为 I，三角框的每一边长为 l，求正三角形的中心点 O 处的磁感强度 $\vec{B}$。



4.（本题 10 分）金属杆 AB 以匀速 v =2 m/s 平行于长直载流导线运动，导线与 AB 共面且相互垂直，如图所示。已知导线载有电流 I = 40 A，求此金属杆中的感应电动势$\mathcal{E}_i$ 的大小与方向。(ln2 = 0.69)



5.（本题 10 分）已知氢原子光谱的某一线系的极限波长为 364.7nm，其中有一谱线波长为 656.5nm，试求与该波长相应的始态与终态能级的能量。(普朗克常量 h =6.63×10^{-34} J·s，1 eV =1.60×10^{-19} J)。

6.（本题 6 分）考虑到相对论效应，试求实物粒子的德布罗意波长的表达式，设 E_K 为粒子的动能，m_0 为粒子的静止质量。

7.（本题 6 分）波长为 350.0nm 的光子照射某种材料的表面，实验发现，从该表面发出的能量最大的光电子在 B =1.5×10^{-5} T 的磁场中偏转而成的圆轨道半径 R =18 cm，求该材料的逸出功 A 是多少电子伏特？(基本电荷 e =1.60×10^{-19} C，电子质量 m =9.11×10^{-31} kg，普朗克常量 h =6.63×10^{-34} J·s，1eV =1.60×10^{-19} J)

8.（本题 6 分）已知粒子在无限深势阱中运动，其波函数为

$$\psi(x)=\sqrt{2/a}\sin(3\pi x/a) \quad (0 \leqslant x \leqslant a)$$

求发现粒子的概率密度为最大的位置。

参考答案

一、填空题：

1. $\pi R^2 E$　　2. $\dfrac{q_1-q_2}{2\varepsilon_0 S}d$　3. $\dfrac{1}{\varepsilon_r};\dfrac{1}{\varepsilon_r}$

4. $\pi R^3\lambda B\omega$

在图面中向上

5. 0.226 T ；　　300 A/m

6. B

7. $hc\dfrac{\lambda'-\lambda}{\lambda\lambda'}$

参考解：

根据能量守恒定律有

$$m_e c^2 + h\nu = mc^2 + h\nu'$$

则　$$E_K = mc^2 - m_e c^2 = h\nu - h\nu' = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda'} = \frac{hc(\lambda'-\lambda)}{\lambda\lambda'}$$

8. 0，$\hbar$，$-\hbar$，$2\hbar$，$-2\hbar$

9. (1，0，0，$\dfrac{1}{2}$)　　1 分

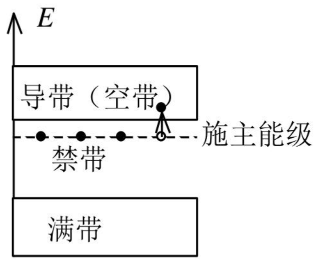
(1，0，0，$-\dfrac{1}{2}$)　　1 分

10.半导体的禁带宽度较绝缘体窄。

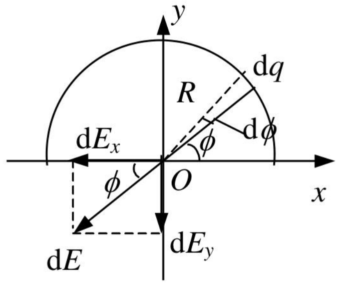
11.1.85×10^4 Å = 1.85×10^3 nm

12. n　　2 分

答案见图　　2 分



二、计算题



1.解：在ϕ处取电荷元，其电荷为

$$dq = \lambda dl = \lambda_0 R\sin\phi\, d\phi$$

它在 O 点产生的场强为

$$dE = \frac{dq}{4\pi\varepsilon_0 R^2} = \frac{\lambda_0 \sin\phi\, d\phi}{4\pi\varepsilon_0 R} \qquad 3\text{分}$$

在 x、y 轴上的二个分量

$dE_x = -dE\cos\phi$　　1 分

$dE_y = -dE\sin\phi$　　1 分

对各分量分别求和　$E_x = \dfrac{\lambda_0}{4\pi\varepsilon_0 R}\displaystyle\int_0^{\pi}\sin\phi\cos\phi\, d\phi = 0$　　2 分

$$E_y = \frac{\lambda_0}{4\pi\varepsilon_0 R}\int_0^{\pi}\sin^2\phi\, d\phi = -\frac{\lambda_0}{8\varepsilon_0 R} \qquad 2\text{分}$$

∴ $$\vec{E} = E_x\vec{i} + E_y\vec{j} = -\frac{\lambda_0}{8\varepsilon_0 R}\vec{j} \qquad 1\text{分}$$

2 解：(1) 由 $\oint_s \vec{D}\cdot d\vec{S} = \sum q_i$　　得　$D = \dfrac{Q}{4\pi r^2}$

所以　$E = 0 \quad (r < R)$　　1 分

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r r^2} \quad (R < r < R') \qquad 2\text{分}$$

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \quad (r > R') \qquad 1\text{分}$$

（2）
$$\varphi_1 = \int_R^{R'}\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r r^2}dr + \int_{R'}^{\infty}\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r r^2}dr$$
$$= \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r R} + \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R'}(1 - \frac{1}{\varepsilon_r}) \quad (r < R) \qquad 2\text{分}$$

$$\varphi_2 = \int_r^{R'}\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r r^2}dr + \int_{R'}^{\infty}\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r r^2}dr$$
$$= \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r r} + \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R'}(1 - \frac{1}{\varepsilon_r}) \quad (R < r < R') \qquad 2\text{分}$$

$$\varphi_3 = \int_r^{\infty}\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}dr = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r} \quad (r > R') \qquad 2\text{分}$$

3. 解：令 $\vec{B}_1$、$\vec{B}_2$、$\vec{B}_{acb}$ 和 $\vec{B}_{ab}$ 分别代表长直导线 1、2 和三角形框 ac、cb 边和 ab 边中的电流在 O 点产生的磁感强度．则 $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_{acb} + \vec{B}_{ab}$

$\vec{B}_1$：由于 O 点在导线 1 的延长线上，所以 $\vec{B}_1 = 0$．　2 分

$\vec{B}_2$：由毕奥－萨伐尔定律，有 $B_2 = \dfrac{\mu_0 I}{4\pi d}(\sin 90° - \sin 60°)$

式中
$$d = \overline{Oe} = \frac{1}{2} l \cdot \tan 30° = \sqrt{3} l / 6$$

$$B_2 = \frac{6\mu_0 I}{4\pi \cdot \sqrt{3} l}\left(1 - \frac{\sqrt{3}}{2}\right) = \frac{\mu_0 I}{4\pi l}(2\sqrt{3} - 3)$$ 2 分

方向：垂直纸面向里．　1 分

$\vec{B}_{acb}$ 和 $\vec{B}_{ab}$：由于 ab 和 acb 并联，有 $I_{ab} \cdot R_{ab} = I_{acb} \cdot R_{acb}$　2 分

又由于电阻在三角框上均匀分布，有 $\dfrac{R_{ab}}{R_{acb}} = \dfrac{\overline{ab}}{\overline{ac} + \overline{cb}} = \dfrac{1}{2}$

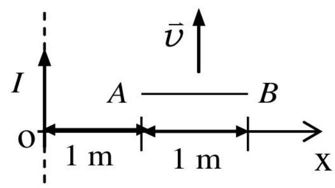
∴ $I_{ab} = 2 I_{acb}$

由毕奥－萨伐尔定律，有 $B_{acb} = B_{ab}$ 且方向相反．　1 分

∴ $B = B_2 = \dfrac{\mu_0 I}{4\pi l}(2\sqrt{3} - 3)$，$\vec{B}$ 的方向垂直纸面向里．　2 分

4.解：如图选取坐标

对于 x-x+dx 线元,有 $d\varepsilon_i = (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l} = -vBdx = -\dfrac{\mu_0 I v dx}{2\pi x}$　3 分



于是：$\varepsilon_i = \int d\varepsilon_i = -\dfrac{\mu_0 I v}{2\pi} \int_1^2 \dfrac{dx}{x} = -\dfrac{\mu_0 I v}{2\pi} \ln 2$　4 分

动生电动势：$|\varepsilon_i| = \dfrac{\mu_0 I v}{2\pi} \ln 2 = 1.1 \times 10^{-5}\ V$　1 分

电动势方向从 B 到 A　2 分

5. 解：极限波数 $\tilde{\nu} = 1/\lambda_\infty = R/k^2$ 可求出该线系的共同终态．　1 分

$$k = \sqrt{R\lambda_\infty} = 2$$ 2 分

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$ 2 分

由 λ =6565 Å 可得始态 $n = \sqrt{\dfrac{R\lambda\lambda_\infty}{\lambda - \lambda_\infty}}$ =3　2 分

由
$$E_n = \frac{E_1}{n^2} = -\frac{13.6}{n^2}\ \text{eV}$$ 1 分

可知终态　n =2，$E_2 = -3.4$ eV　1 分

始态　n =3，$E_3 = -1.51$ eV　1 分

6. 解：据 $$E_K = mc^2 - m_0c^2 = (m_0c^2/\sqrt{1-(\upsilon/c)^2}) - m_0c^2$$ 2 分

得 $$m = (E_K + m_0c^2)/c^2$$ 1 分

$$\upsilon = c\sqrt{E_K^2 + 2E_K m_0 c^2}\,/(E_K + m_0c^2)$$ 1 分

将 m，υ 代入德布罗意公式得

$$\lambda = h/m\upsilon = hc/\sqrt{E_K^2 + 2E_K m_0 c^2}$$ 2 分

7. 解：先求粒子的位置概率密度

$$|\psi(x)|^2 = (2/a)\sin^2(3\pi x/a)$$ 2 分

当 $\sin(3\pi x/a) = \pm 1$ 时，$|\psi(x)|^2$ 有最大值. 1 分

在 $0 \leqslant x \leqslant a$ 范围内可得 $3\pi x/a = (2k+1)\frac{\pi}{2}$

∴ $$x = \frac{1}{4}a; \frac{1}{2}a; \frac{3}{4}a\ .$$ 3 分

8. 解： $$e\upsilon B = (m/R)\upsilon^2 \quad ①$$ 1 分

$$h\nu = \frac{1}{2}m\upsilon^2 + A \quad ②$$ 2 分

由① $$\upsilon = (eBR)/m$$ 1 分

代入② $$A = h\nu - \frac{1}{2}m\upsilon^2 = \frac{hc}{\lambda} - \frac{(eBR)^2}{2m}$$

$= 4.66\times10^{-19}$ J $=2.91$ eV 2 分