武汉大学 2023—2024 学年第一学期

大学物理 B（下）A 卷

参考答案及评分标准

一、选择题（本大题共 8 小题、每小题 3 分，共 24 分）

1-4：B D A D　　5-8：C B A C

二、填空题（本大题共 8 小题，共 30 分）

9（3 分）答案：$\mu_0 I_1$ ；$\mu_0\left(I_1+I_2\right)$ ；$-\mu_0 I_2$　　每空各 1 分

10（4 分）答案：$\sigma_0\omega\cos\omega t$ ；$\pi R^2\sigma_0\omega\cos\omega t$　　每空 2 分

11（3 分）答案：7

12（4 分）答案：增大 ；$3.54\times10^{4}\,\mathrm{nm}$ 或 $3.54\times10^{-5}\,\mathrm{m}$ 或 $35.4\,\mu\mathrm{m}$　　每空 2 分

（无单位不给分）

13（4 分）答案：$\sqrt{1-\dfrac{1}{n^2}}\cdot c$ 或 $\dfrac{\sqrt{n^2-1}}{n}c$ ；$m_{e0}c^2\left(n-1\right)$　　每空 2 分

14（4 分）答案：493 ；6.75×10^{7}　　每空 2 分

15（4 分）答案：$\arccos\left[1-\dfrac{m_0 c}{h}\left(\lambda'-\lambda\right)\right]$ 或 $\arccos\left[1-\dfrac{\lambda'-\lambda}{\lambda_C}\right]$ ；$hc\left(\dfrac{1}{\lambda}-\dfrac{1}{\lambda'}\right)$　　每空 2 分

16（4 分）答案：$\sqrt{2/a}$ ；$1/4$　　每空 2 分

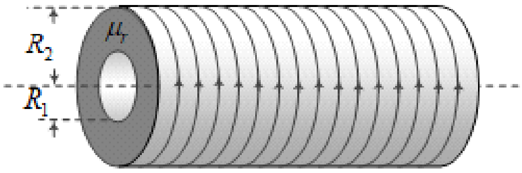
三、计算题（本大题共 5 小题，共 46 分）

17.（10分）如图所示，一个螺线管线圈均匀密绕在内外半径分别为 R_1 和 R_2 的磁介质圆管上。已知线圈的总匝数为 N，总长度为 L（$L >> R_2$），磁介质的相对磁导率为 μ_r（$\mu_r > 1$）。当线圈中通有电流 I 时，试求

（1）该线圈内部磁场强度和磁感应强度的分布；

（2）磁介质圆管内表面（即半径为 R_1 的磁介质表面）上的磁化电流密度的大小和方向。

（3）螺线管内磁场的总能量（不考虑磁场的边缘效应）。



解：（1）由安培环路定理可知，螺线管内的磁场强度为

$$H = nI = NI/L \qquad 2分$$

方向平行于沿螺线管的轴线向左，所以环内的磁感应强度的分布为

$$B = \mu H = \begin{cases} \mu_0 NI/L & r < R_1 \\ \mu_0 \mu_r NI/L & R_1 < r < R_2 \end{cases} \qquad 2 分$$

方向同上。

（2）由介质的磁化规律可知，介质内部的磁化强度为

$$M = \chi_m H = (\mu_r - 1)H = (\mu_r - 1)NI/L \qquad 1 分$$

$\mu_r > 1$，$\vec{M}$ 的方向与 $\vec{H}$ 同向，所以圆管内表面上磁化电流密度的大小为

$$j_S = \left|\vec{M} \times \vec{n}\right| = M = (\mu_r - 1)NI/L \qquad 1 分$$

方向与线圈中的电流方向相反　　1 分

（3）由（1）可知，此螺线管内磁场的能量密度的分布为

当 $r < R_1$ 时，　$w_1 = \dfrac{1}{2}B_1 H = \dfrac{\mu_0 N^2 I^2}{2L^2}$　　1 分

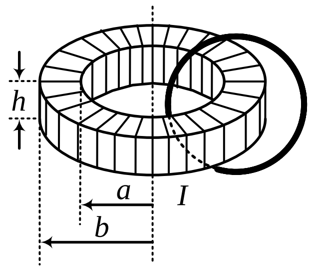
当 $R_1 < r < R_2$ 时，　$w_2 = \dfrac{1}{2}B_2 H = \dfrac{\mu_0 \mu_r N^2 I^2}{2L^2}$　　1 分

所以螺线管内磁场的总能量为

$$W = W_1 + W_2 = w_1 \pi R_1^2 L + w_2 \pi \left(R_2^2 - R_1^2\right) L$$

$$= \frac{\mu_0 N^2 I^2}{2L} \pi R_1^2 + \frac{\mu_0 \mu_r N^2 I^2}{2L} \pi \left(R_2^2 - R_1^2\right) \qquad 1 分$$

18.（8 分）一个密绕N匝线圈的螺绕环，环内均匀充满了磁导率为μ的均匀磁介质，螺绕环的内半径为a，外半径为b，其横截面是高为h的矩形。螺绕环外套了一个半径为R的铁环，铁环平面与螺绕环的环面垂直，铁环的圆心恰好与螺绕环横截面的中心重合，如图所示。试求：螺绕环和铁环之间的互感系数，并求当螺绕环中通以交变电流$I = I_0 \cos\omega t$时，铁环中感应电动势的大小。



解：螺绕环中通有电流I时，由安培环路定理$\oint_L \vec{H} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = \sum I$，可得它在螺绕环内部产生的磁场强度和磁感应强度的大小分别为

$$H = \frac{NI}{2\pi r} \qquad B = \frac{\mu NI}{2\pi r} \qquad 2分$$

由于此电流在螺绕环外部产生的磁场为 0，所以螺绕环通电后在铁环内产生的磁通量为

$$\Psi = \int_S \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{S} = \int_a^b \frac{\mu NI}{2\pi r} h\mathrm{d}r = \frac{\mu NhI}{2\pi} \ln\frac{b}{a} \qquad 2分$$

故得互感系数为

$$M = \frac{\Psi}{I} = \frac{\mu Nh}{2\pi} \ln\frac{b}{a} \qquad 2分$$

所以铁环内感应电动势的大小为

$$\varepsilon = -M\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t} = \frac{\mu Nh\omega}{2\pi} \ln\frac{b}{a} \sin\omega \mathrm{t} \qquad 2分$$

19.（10 分）两块完全相同的平板玻璃一端密接，另一端用纸片垫起，形成一个$\theta = 1.0 \times 10^{-4}\,\mathrm{rad}$的空气劈尖，若用波长$\lambda = 600\mathrm{nm}$的单色平行光垂直入射，观察反射光的等厚干涉条纹。试求：

（1）从劈尖的棱边算起，第15个明纹中心到劈尖棱边的距离；

（2）若在劈尖中充以某种透明液体后，观察到第15个明纹中心向劈尖的交棱方向移动了$1.25\mathrm{cm}$，求该液体的折射率。

解法一：

（1）由题意，第 15 个明纹中心处空气膜的厚度e_{15}应满足

$$\delta = 2e_{15} + \frac{\lambda}{2} = 15\lambda \qquad 2分$$

即：$e_{15} = \dfrac{14.5}{2}\lambda = 4.35 \times 10^3\,\mathrm{nm} = 4.35 \times 10^{-6}\,\mathrm{m}$　　1 分

所以，第 15 个明纹中心到劈尖棱边的距离为

$$L_{15} = \frac{e_{15}}{\sin\theta} \approx \frac{e_{15}}{\theta} = \frac{14.5}{2\theta}\lambda = 4.35\mathrm{cm} \qquad 2分（=1+1）$$

（2）在劈尖中充满折射率为n的液体后，明纹条件变为

$$\delta' = 2ne'_{15} + \frac{\lambda}{2} = 15\lambda \qquad 1\text{ 分}$$

所以第 15 个明纹中心处液膜的厚度以及到劈尖交棱的距离分别为

$$e'_{15} = \frac{14.5\lambda}{2n} = \frac{e_{15}}{n}$$

$$L'_{15} = \frac{e'_{15}}{\sin\theta} \approx \frac{e_{15}}{n\theta} = \frac{L_{15}}{n} = \frac{4.35}{n}\text{cm} \qquad 2\text{ 分}$$

由题意可知：$\Delta L = L_{15} - L'_{15} = \frac{e_{15}}{\theta}\left(1-\frac{1}{n}\right) = L_{15}\left(1-\frac{1}{n}\right) = \frac{14.5\lambda}{2\theta}\left(1-\frac{1}{n}\right)$

由此解得

$$n = \frac{e_{15}}{e_{15} - \Delta L\theta} = \frac{L_{15}}{L_{15} - \Delta L} = \frac{14.5\lambda}{14.5\lambda - 2\Delta L\theta} = 1.40 \qquad 2\text{ 分（=1+1）}$$

解法二：（1）由劈尖干涉的条纹特征可知，空气劈尖的条纹间距为

$$\Delta l_0 = \frac{\lambda}{2\sin\theta} \approx \frac{\lambda}{2\theta} \qquad 2\text{ 分}$$

由于在反射光干涉中有附加光程差$\lambda/2$，所以劈尖交棱处为等厚干涉的暗纹中心，故第 15 个明纹中心到交棱的距离相当于 14.5 个条纹间距。故第15个明纹中心到劈尖棱边的距离为

$$L_0 = 14.5\Delta l_0 = 14.5\frac{\lambda}{2\theta} = \frac{14.5\times 600\times 10^{-9}}{2\times 1.0\times 10^{-4}}\text{m} = 4.35\text{cm} \qquad 3\text{ 分（=2+1）}$$

（2）当劈尖内充满了折射率为n的透明液体时，条纹间距变为

$$\Delta l = \frac{\lambda}{2n\sin\theta} \approx \frac{\lambda}{2n\theta} \qquad 1\text{ 分}$$

同理，第15个明纹中心到劈尖棱边的距离为

$$L = 14.5\Delta l = 14.5\frac{\lambda}{2n\theta} = \frac{L_0}{n} \qquad 2\text{ 分}$$

由题意可知：$L_0 - L = L_0 - \frac{L_0}{n} = \Delta L = 1.25\text{cm}$，所以

$$n = \frac{L_0}{L_0 - \Delta L} = \frac{14.5\lambda}{14.5\lambda - 2\theta\cdot\Delta L} = 1.40 \qquad 2\text{ 分（1+1）}$$

20.（8分）一束波长为210nm的单色光照射在金属铝表面，已知铝的逸出功为$4.08\,\text{eV}$，试求：从金属铝表面逸出的光电子的德布罗意波长的最小值。

解：由光电效应方程可知，从金属铝表面一处的光电子的最大初动能为

$$E_{k\max} = h\nu - A = \frac{hc}{\lambda} - A \qquad 3\text{ 分}$$

$$=\frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{210\times10^{-9}}-4.08\times1.60\times10^{-19}\ (\mathrm{J})=2.94\times10^{-19}\ \mathrm{J}$$ 1 分

再由德布罗意关系式，可得光电子的德布罗意波长的最小值为

$$\lambda=\frac{h}{P}=\frac{h}{\sqrt{2m_0E_{k\max}}}$$ 3 分

$$=\frac{6.63\times10^{-34}}{\sqrt{2\times9.11\times10^{-31}\times2.94\times10^{-19}}}\mathrm{m}=9.06\times10^{-10}\mathrm{m}=0.906\mathrm{nm}$$ 1 分

21.（**10 分**）当氢原子从某初始状态跃迁到激发能(从基态到激发态所需的能量)为$\Delta E=10.19\mathrm{eV}$的状态时，发射出光子的波长是$\lambda=486\mathrm{nm}$，试求该初始状态的能量和主量子数，以及该光子的能量及动量。

解法一：由爱因斯坦的光子概念，该光子能量和动量分别为

$$\varepsilon=hc/\lambda=4.09\times10^{-19}\mathrm{J}=2.56\mathrm{eV}$$ 2 分

$$p=h/\lambda=1.36\times10^{-27}\mathrm{kg\cdot m\cdot s^{-1}}$$ 2 分

因氢原子的基态能量为$E_1=-13.6\mathrm{eV}$，所以氢原子在激发能为 10.19 eV 的能级时，其能量为

$$E_K=E_1+\Delta E=-13.6\mathrm{eV}+10.19\mathrm{eV}=-3.41\mathrm{eV}$$ 2 分

氢原子在初始状态的能量为

$$E_n=\varepsilon+E_K=-0.85\mathrm{eV}$$ 2 分

由氢原子的能级公式$E_n=E_1/n^2$，可得该初始状态的主量子数为

$$n=\sqrt{\frac{E_1}{E_n}}=4$$ 2 分

解法二：由爱因斯坦的光子概念，该光子能量和动量分别为

$$\varepsilon=hc/\lambda=4.09\times10^{-19}\mathrm{J}=2.56\mathrm{eV}$$ 2 分

$$p=h/\lambda=1.36\times10^{-27}\mathrm{kg\cdot m\cdot s^{-1}}$$ 2 分

由氢原子光谱的里德堡公式

$$\frac{1}{\lambda_{n-m}}=R_H\left(\frac{1}{m^2}-\frac{1}{n^2}\right)$$ 2 分

容易算得，当$m=2$、$n=4$，$\lambda_{4-2}=\lambda=486\mathrm{nm}$，即$\lambda=486\mathrm{nm}$的谱线是氢原子从$n=4$的第 3 激发态向$m=2$的第 1 激发态跃迁时发出的谱线，属于巴尔末线系。所以该氢原子在初始状态的主量子数为：$n=4$ 2 分

再由氢原子的能级公式，可得相应的能级值为

$$E_4=E_1/4^2=-0.85\mathrm{eV}$$ 2 分