武汉大学 2019 --2020 学年第 一 学期

大学物理 A（下）期末试卷 （ A 卷）

参考答案

一、选择题（每题 3 分，共 10 小题 30 分）

1-5：CDACD　 6-10：DBCBA

二、填空题（共 8 小题，25 分）

11： $\underline{2.8\times10^4}$

12： $\underline{\sigma_0\omega\pi R^2\cos\omega t}$

13： $\underline{\sqrt{3}=1.73}$ 、 垂直于

14： $\underline{9.35}$

15： $\underline{4a_0}$

16： $\underline{\left(n+\frac{1}{2}\right)h\nu}$

17：$\underline{10}$

18：粒子数反转分布（高能级上的粒子数 大于 低能级上的粒子数）

三、计算题（共 5 小题，45 分）

19 解（本题 9 分）：（1）螺绕环内的磁场分布具有轴对称性。在螺绕环内取一个半径为 r 的圆形回路，由安培环路定理

$$\oint_L \boldsymbol{H}\cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} = 2\pi rH = \sum I = N_1 I \qquad 1\text{ 分}$$

所以环内磁场强度和磁感应强度的分布分别为

$$H=\frac{N_1 I}{2\pi r} \qquad 1\text{ 分}$$

$$B=\mu_0\mu_r H=\frac{\mu_0\mu_r N_1 I}{2\pi r} \qquad 1\text{ 分}$$

（2）在螺绕环的某个横截面上任意取一个长为 h 、宽为 $\mathrm{d}r$ 的面元，则通过该面元的磁通量为

$$\mathrm{d}\Phi=\boldsymbol{B}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{S}=\frac{\mu_0\mu_r N_1 I}{2\pi r}h\mathrm{d}r \qquad 1\text{ 分}$$

所以通过螺绕环横截面的磁通量为

$$\Phi=\iint_S \boldsymbol{B}\cdot d\boldsymbol{S}=\int_{D_1/2}^{D_2/2}\frac{\mu_0\mu_r NI}{2\pi r}h\mathrm{d}r=\frac{\mu_0\mu_r NIh}{2\pi}\ln\frac{D_2}{D_1}$$ 2 分

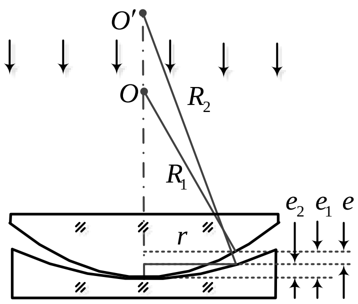
（3）由（2）可知，环内磁场通过正方形线圈的磁链为

$$\Psi=N_2\Phi=\frac{\mu_0\mu_r N_1N_2hi}{2\pi}\ln\frac{D_2}{D_1}=\frac{\mu_0\mu_r N_1N_2hI_0\sin\omega t}{2\pi}\ln\frac{D_2}{D_1}$$ 1 分

所以线圈中的互感电动势为

$$\varepsilon=-\frac{\mathrm{d}\Psi}{\mathrm{d}t}=-\frac{\mu_0\mu_r N_1N_2hI_0\omega\cos\omega t}{2\pi}\ln\frac{D_2}{D_1}$$ 2 分

20 解（本题 8 分）： 假设第 k 级暗条纹的半径为 r，所对应的介质膜的厚度为 e，由反射光干涉相消的条件



$$\delta=2ne+\frac{\lambda}{2}=(2k+1)\frac{\lambda}{2}$$ 3 分

及图中的几何关系：$e=e_1-e_2$，可得

$$2n(e_1-e_2)=k\lambda \qquad ①$$ 1 分

又由勾股定理，可知

$$R_1^2=(R_1-e_1)^2+r^2 \quad , \quad R_2^2=(R_2-e_2)^2+r^2$$

因为 $R_1>>e_1$，$R_2>>e_2$，所以将上两式展开有

$$2e_1\approx r^2/R_1 \quad , \quad 2e_2\approx r^2/R_2 \qquad ②$$ 1+1 分

将②代入①，可得第 k 级暗条纹的半径为

$$r=\sqrt{\frac{k\lambda}{n}\frac{R_2R_1}{(R_2-R_1)}}$$ 2 分

21 解（本题 10 分）：（1）由 $a\sin\theta=k\lambda$，可得单缝衍射第 1 级暗纹的衍射角为

$$\theta_1=\arcsin\frac{\lambda}{a}=\arcsin\frac{600\times10^{-9}}{3.0\times10^{-6}}=11.54°=11°32'$$ 1 分

所以每个单缝单独产生的单缝衍射的中央明文的宽度为

$$\Delta x=2f\tan\theta_1=2\times50.0\times\tan11.54°\ \mathrm{cm}=20\ \mathrm{cm}\ (或\ \ 20.4\ \mathrm{cm})$$ 2 分

（解法二　直接用条纹宽度公式求解，即

$$\Delta x=2\frac{\lambda}{a}f=2\frac{600\times10^{-9}}{3.0\times10^{-6}}\times50.0\times10^{-2}\mathrm{m}=20\ \mathrm{cm}$$ 同样给　3 分）

（2）由光栅方程：$d\sin\theta'=k\lambda$，且 $d=\frac{1}{100}\mathrm{mm}=1.00\times10^{-5}\mathrm{m}$，可得光栅衍射 ±1 级明纹的衍射角为

$$\theta'_{\pm}=\pm\arcsin\frac{\lambda}{d}=\pm\arcsin\frac{600\times10^{-9}}{1.00\times10^{-5}}=\pm3.44°\ \left(=\pm3°26'=\pm6.0\times10^{-4}\mathrm{rad}\right)$$ 2 分

所以光栅衍射中±1 级明纹之间的距离为

$$\Delta x = f\tan\theta_1' - f\tan\theta_{-1}' = 2\times 50.0\times\tan 3.44^\circ\ \mathrm{cm} = 6.0\ \mathrm{cm} \qquad 2\text{ 分}$$

（3）在单缝衍射的第 1 级暗纹 $\theta' = \theta_1 = 11^\circ 53'$ 处，光栅衍射出现明条纹的级次为

$$k = \frac{d\sin\theta'}{\lambda} = \frac{1.00\times 10^{-5}\sin 11.54^\circ}{600\times 10^{-9}} = 3.3 \qquad 2\text{ 分}$$

所以在单缝衍射中央明纹的范围内可出现 0、±1、±2、±3 共 7 条光栅衍射的明条纹。

1 分

注：用其它方法求解，只要能正确指出可出现 0、±1、±2、±3 共 7 条光栅衍射的明条纹在同样给分。

22 解（本题 9 分）：（1）由长度收缩：$L = L_0\sqrt{1-v^2/c^2}$，可得

飞船乙相对于飞船甲、飞船丙相对于飞船乙的速度均为

$$v_{\text{乙-甲}} = v_{\text{丙-乙}} = \sqrt{1-\frac{L^2}{L_0^2}}\cdot c = \sqrt{1-\frac{1}{4}}\cdot c = \frac{\sqrt{3}}{2}c \qquad 2\text{ 分}$$

以甲为 S 系、乙为 S' 系，则由洛伦兹速度变换，可得丙相对于甲的速度为

$$v_{\text{丙-甲}} = \frac{v_{\text{丙-乙}} + v_{\text{乙-甲}}}{1+\dfrac{v_{\text{丙-乙}}v_{\text{乙-丙}}}{c^2}} = \frac{\sqrt{3}c/2 + \sqrt{3}c/2}{1+\dfrac{3}{4}} = \frac{4\sqrt{3}}{7}c \qquad 2\text{ 分}$$

所以甲上的观察者测得飞船丙的长度为

$$L' = L_0\sqrt{1-v_{\text{丙-甲}}^2/c^2} = L_0/7 \qquad 2\text{ 分}$$

（2）甲上的观察者测得飞船丙的动能为

$$E_k = mc^2 - m_0c^2 = m_0c^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-v_{\text{丙-甲}}^2/c^2}}\right) = 6m_0c^2 \qquad 2+1\text{ 分}$$

23 解（本题 9 分）：（1）由光子的动量公式 $p = \dfrac{h}{\lambda}$，可得光子动量的不确定量为

$$\Delta p = \left|-\frac{h}{\lambda^2}\Delta\lambda\right| = \frac{h}{\lambda^2}\Delta\lambda \qquad 2\text{ 分}$$

所以由 $$\Delta x\cdot\Delta p = \Delta x\cdot\frac{h}{\lambda^2}\Delta\lambda \ge h$$

可得测量光子位置时光子位置的的不确定度为

$$\Delta x \ge \frac{h}{\Delta p} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda} = \frac{(121.5\times^{-9})^2}{2\times 10^{-13}}\ \mathrm{m} = 0.074\ \mathrm{m} = 7.4\mathrm{cm} \qquad 2\text{ 分}$$

（2）根据频率条件： $$hv = h\frac{c}{\lambda} = E_n - E_1 \qquad 1\text{ 分}$$

同时注意到基态能级是稳定的，其能级不确定度 $\Delta E_1 = 0$，所以该激发态能级的不确定度为

$$\Delta E_n = \left| -\frac{hc}{\lambda^2}\Delta\lambda \right| \quad \left(= \frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{-8}}{\left(121.5\times10^{-9}\right)^2}\times2\times10^{-13}\ \mathrm{J} = 2.69\times10^{-24}\ \mathrm{J} \right) \qquad 2\text{ 分}$$

再由能量与时间的不确定关系$\Delta E\cdot\Delta t \ge h$，可得该激发态的平均寿命$\tau$为

$$\tau = \Delta t \approx \frac{h}{\Delta E_n} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda\cdot c} \quad \left(= \frac{6.63\times10^{-34}}{2.69\times10^{-24}}\ \mathrm{s} \right) \approx 2.5\times10^{-10}\ \mathrm{s} \qquad 2\text{ 分}$$