武汉大学 2021 --2022 学年 第 一 学期

大学物理 C1（下）期末试卷 （B 卷）

学院____________学号________________姓名___________成绩_____

考试形式：闭卷　　　　　考试时间长度：120 分钟

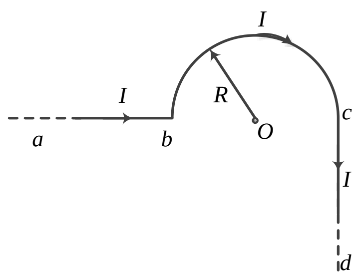
（常用常量：普朗克常量$h=6.626\times10^{-34}\,\mathrm{J\cdot s}$，电子的静止质量$m_e=9.11\times10^{-31}\,\mathrm{kg}$，

基本电荷$e=1.60\times10^{-19}\,\mathrm{C}$，真空磁导率$\mu_0=4\pi\times10^{-7}\,\mathrm{N\cdot A^{-2}}$，

维恩位移常量$b=2.898\times10^{-3}\,\mathrm{m\cdot K}$，斯特潘-玻尔兹曼常量$\sigma=5.67\times10^{-8}\,\mathrm{W\cdot m\cdot K^{-4}}$）

一、选择题（本大题共 10 个小题，每小题 3 分，合计 30 分）

1. 一根无限长的载流导线被弯曲成如图所示形状，其中 bc 段是半径为 R 的半圆弧，ab 段沿半径方向，cd 段与 ab 段垂直。若导线中的电流强度为 I，则半圆弧圆心处的磁感应强度的大小为［　　］。



(A) $\dfrac{\mu_0 I}{4R}-\dfrac{\mu_0 I}{4\pi R}$　　(B) $\dfrac{\mu_0 I}{4R}+\dfrac{\mu_0 I}{4\pi R}$

(C) $\dfrac{\mu_0 I}{4R}-\dfrac{\mu_0 I}{2\pi R}$　　(D) $\dfrac{\mu_0 I}{2R}+\dfrac{\mu_0 I}{4\pi R}$

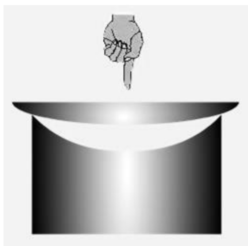
2. 半径 R，电荷线密度为 λ 的带电半圆环，以角速度 ω 绕通过其圆心且垂直环面的轴旋转时，其圆心处的磁场能量密度为［　　］。

(A) $\dfrac{\mu_0\lambda^2}{32\omega^2}$　　(B) $\dfrac{\lambda^2\omega^2}{64\mu_0}$　　(C) $\dfrac{\mu_0\lambda^2\omega^2}{32}$　　(D) $\dfrac{\mu_0\lambda^2\omega^2}{64}$

3. 一束波长为 λ 的单色光由空气垂直入射到折射率为 n 的透明薄膜上，透明薄膜放在空气中，要使透射光发生相消干涉，则薄膜最小的厚度为［　　］。

(A) $\lambda/4$　　(B) $\lambda/(4n)$　　(C) $\lambda/2$　　(D) $\lambda/(2n)$

4. 单色光垂直向下照射在如图所示的类似于牛顿环的装置上。现用手指按住凸透镜中心使其缓慢下移，此时可观察到这些环状干涉条纹［　　］。



(A) 所有条纹都向外扩张

(B) 所有条纹都向中心收缩

(C) 最外侧的暗纹不动，其他条纹向外扩张

(D) 最外侧的暗纹不动，其他条纹向中心收缩

5.在迈克耳孙干涉仪一条臂的光路中，放入一折射率为 n、厚度为 d 的透明薄片，放入后，这条光路的光程改变了［　　］。

(A) $2(n-1)d$　　(B) $2nd$　　(C) $(n-1)d$　　(D) nd

6. 单缝夫琅禾费衍射实验所用单色光波长为 $\lambda=600\mathrm{nm}$，第一级暗纹发生在衍射角为 $\theta=30^\circ$ 的方位

上，则单缝宽度为［　　　］

(A) 2.40μm　　(B) 1.80μm　　(C) 1.20μm　　(D) 0.600μm

7. 正常光照下，人眼的瞳孔直径约为$3.0\,\text{mm}$，人眼的明视距离约为$25\,\text{cm}$，人眼的敏感波长约为$550\,\text{nm}$，则根据瑞利判据，人眼能分辨的最小线距离为［　　　］。

(A) $2.23\times10^{-5}\,\text{m}$　　(B) $5.60\times10^{-5}\,\text{m}$　　(C) $1.12\times10^{-4}\,\text{m}$　　(D) $4.47\times10^{-4}\,\text{m}$

8. 光强均为I_0的自然光和线偏振光混合后，垂直通过一理想的偏振片，测得透射光强度为I_0，可以判定入射线偏振光的振动方向与偏振片的偏振化方向的夹角为［　　　］。

(A) 30°　　(B) 45°　　(C) 60°　　(D) 90°

9. 要使处于基态的氢原子受激后可辐射出可见光谱线，最少应供给氢原子的能量为［　　　］。

(A) 12.09 eV　　(B) 10.20 eV　　(C) 1.89 eV　　(D) 1.51 eV

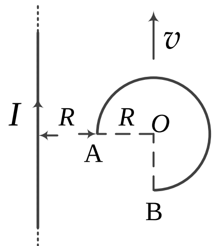
10. 已知在一维无限深势阱中运动的粒子波函数为

$$\Psi_n(x)=\sqrt{\frac{2}{a}}\sin\frac{n\pi x}{a}\ ,\quad n=1,\ 2,\ 3,\ldots\qquad (0\le x\le a)$$

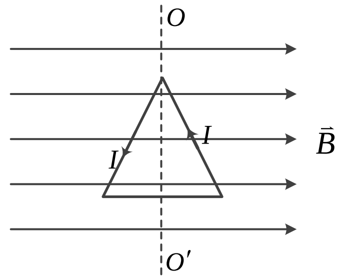
当$n=1$时，粒子在$a/4<x<3a/4$区间内出现的概率为［　　　］。

(A) 26%　　(B) 42%　　(C) 66%　　(D) 82%

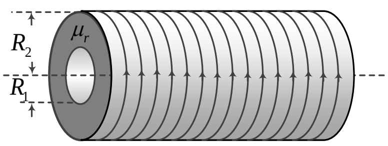
二、填空题（本大题共 7 个小题，单空题 3 分，双空题 4 分，合计 24 分）



11. 如图所示，一根半径为R的圆弧形导线 AB 与一通有电流I的长直导线共面，并以匀速v沿平行于长直导线的方向移动，图中O为圆弧形导线的圆心，OB 平行于长直导线，OA 垂直于长直导线，A 端与长直导线之间距离等于R。则导线 AB 中的感应电动势大小为____________。



12. 如图所示，在均匀磁场$\vec{B}$中有一边长为a的正三角形形载流线圈。线圈中通有电流I。若以OO'为轴，此线圈所受磁力矩的大小为______，方向______。



13. 如图所示，将漆包线（表面绝缘的导线）均匀密绕在一根内外半径分别为R_1和R_2的长直圆筒上形成一个长直螺线管线圈。已知圆筒的相对磁导率为μ_r（$\mu_r<1$），沿轴线单位长度上线圈的匝数为n。当线圈中通有电流为I时，圆筒内表面上磁化电流密度的大小为________，方向为_______。

14. 在杨氏双缝干涉实验中，已知双缝到观察屏的距离$D=1.20\text{m}$，当用波长$\lambda=600\text{nm}$的单色平行光垂直入射到双缝上时，测得中央明条纹两侧的两个第五级明条纹的间距为$6.00\,\text{cm}$，则双缝间的距离为________ mm。

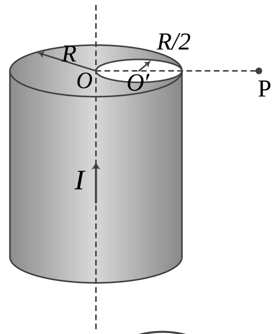
15. 实验发现，当一束自然光以60°的入射角斜入射到某介质表面时，反射光恰好为完全偏振光，则该

介质的折射率 $n=$_________。

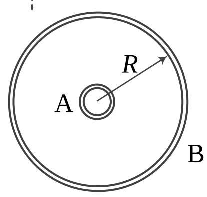
16. 实验测得在炼钢高炉炉壁的小孔（可看成黑体）上的热辐射功率为 $50\,\mathrm{W\cdot cm^{-2}}$，则炉膛热辐射本领的极大值对应的波长为_________ m。

17. 一光电管的阴极用逸出功 $A=2.2\mathrm{eV}$ 的金属制成，今用一单色光照射此光电管，测得遏止电势差大小为 $U_a=5.0\mathrm{V}$，则入射单色光的波长为________；此光电管中阴极材料的红限波长为__________。

三、计算题（本大题共 5 小题，合计 46 分）



19.（**本题 10 分**）如图所示，在半径为 R 的长直圆柱形导体内部，挖出一个与轴线平行的、半径为 $R/2$ 的长直圆柱形空腔，两轴线之间的距离为 $R/2$。现有电流 I 沿导体的轴向流动，并均匀分布在空腔型导体的横截面上。求：(1) 圆柱轴线 O 上的磁感应强度的大小；(2) 在两轴线所在的平面上离轴线 O 距离为 $2R$ 的 P 点处的磁感应强度的大小。



20.（**本题 10 分**）如图所示，一面积为 $2.00\ \mathrm{cm^2}$、共 50 匝的小圆线圈 A 放在半径为 $20.0\ \mathrm{cm}$、共 100 匝的大圆线圈 B 的中央，两圆线圈同心共面。试求：

（1）两线圈之间的互感系数；

（2）当小线圈 A 中通有电流 $I=10.0\sin(100\pi t)$ A 时，大线圈 B 中的互感电动势。

21.（**本题 8 分**）用一束具有 $\lambda_1=600\mathrm{nm}$ 和 $\lambda_2=400\mathrm{nm}$ 两种波长的平行光垂直入射在光栅上，发现 λ_1 光的第 k 级主极大和 λ_2 光的第 $(k+1)$ 级主极大在距中央明纹 $5.00\,\mathrm{cm}$ 处相重合，已知放置在光栅与观察屏之间的透镜的焦距 $f=50.0\,\mathrm{cm}$，试问：(1) 上述 $k=$? (2) 光栅常数 $d=$?

22.（**本题 10 分**）：已知波长为 $3.00\times10^{-12}\mathrm{m}$ 的光子入射到散射物上后，测得反冲电子的速度为 $0.6c$，试求：

（1）散射光子的波长及散射角；

（2）反冲电子的运动方向与光子入射方向的夹角。

23.（**本题 8 分**）假定原子的某激发态的平均寿命为 $\Delta t=1.00\times10^{-11}\mathrm{s}$，原子从该激发态向基态跃迁时发出的光谱线的波长为 $\lambda=600\ \mathrm{nm}$。试求：

（1）该光谱线波长的不确定量（即该单色光的光谱线宽度）；

（2）其光子动量的不确定量。

武汉大学 2021 --2022 学年 第 一 学期

大学物理 C1（下）期末试卷（B 卷）

参考答案

一、选择题（本大题共 10 个小题，每小题 3 分，合计 30 分）

1-5：BCBDA　**6-10**：CBBAD

二、填空题（本大题共 7 个小题，单空题每题 3 分，双空题每题 4 分，合计 24 分）

11：$\dfrac{\mu_0 I v}{2\pi}\ln 2$　(3 分)

12：$\dfrac{\sqrt{3}}{4}a^2BI$　(3 分) 、竖直向上　(1 分)

13：$(\mu_r-1)nI$　(3 分)、从左向右观察沿逆时针方向 或 与线圈中的电流方向相同　(1 分)

14：0.120　(3 分)

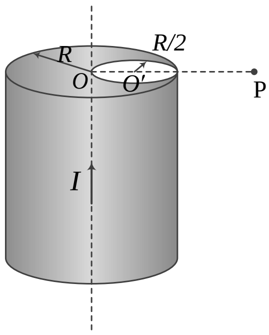
15：1.73　(3 分)

16：1.68×10^{-6}　(3 分)

17：173nm　(3 分) 、565nm　(1 分)

三、计算题（本大题共 5 小题，合计 46 分）

19.（本题 10 分）如图所示，在半径为 R 的长直圆柱形导体内部，挖出一个与轴线平行的、半径为 $R/2$ 的长直圆柱形空腔，两轴线之间的距离为 $R/2$ 。现有电流 I 沿导体的轴向流动，并均匀分布在空腔型导体的横截面上。求：（1）圆柱轴线 O 上的磁感应强度的大小；（2）在两轴线所在的平面上离轴线 O 距离为 $2R$ 的 P 点处的磁感应强度的大小。



19、解（本题 10 分）：利用填补法，即空间各点处的磁感应强度可看作是半径为 R ，电流强度为 I_1 和半径为 $R/2$ ，电流强度为 $-I_2$ 且电流在横截面上均匀分布的两圆柱导体在该点的磁感应强度的矢量叠加。其中，

$$I_1=\frac{IR^2}{R^2-(\frac{R}{2})^2}=\frac{4I}{3}\quad,\quad I_2=\frac{I(\frac{R}{2})^2}{R^2-(\frac{R}{2})^2}=\frac{I}{3}\qquad 2\text{ 分}$$

(1) 由安培环路定理可知，在圆柱轴线 O 上：

电流 I_1 产生的磁感应强度　$B_1=0$ ，　1 分

电流$(-I_2)$产生的磁感应强度的大小为 $B_2=\dfrac{\mu_0 I_2}{2\pi\dfrac{R}{2}}=\dfrac{\mu_0 I}{3\pi R}$ 1 分

所以，圆柱轴线 O 上的磁感应强度的大小为 $B_O=B_2=\dfrac{\mu_0 I}{3\pi R}$ 1 分

(2) P 点处的磁感应强度的大小：

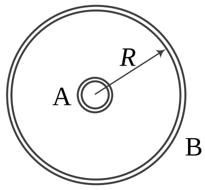
电流 I_1 产生的磁感应强度的大小为 $B_{1\mathrm{p}}=\dfrac{\mu_0 I_1}{2\pi\cdot 2R}=\dfrac{\mu_0 I}{3\pi R}$ 1 分

电流 I_2 产生的磁感应强度的大小为 $B_{2\mathrm{p}}=\dfrac{\mu_0 I_2}{2\pi\cdot\dfrac{3R}{2}}=\dfrac{\mu_0 I}{9\pi R}$ 1 分

由右手螺旋法则可知，B_1' 和 B_2' 方向相反 1 分

P 点处的磁感应强度的大小为 $B_{\mathrm{P}}=B_{1\mathrm{P}}-B_{2\mathrm{P}}=\dfrac{\mu_0 I}{3\pi R}-\dfrac{\mu_0 I}{9\pi R}=\dfrac{2\mu_0 I}{9\pi R}$ 2 分

20.（本题 10 分）如图所示，一面积为 $2.00\ \mathrm{cm}^2$、共 50 匝的小圆线圈 A 放在半径为 $20.0\ \mathrm{cm}$、共 100 匝的大圆线圈 B 的中央，两圆线圈同心共面。试求：



（1）两线圈之间的互感系数；

（2）当小线圈 A 中通有电流 $I=10.0\sin(100\pi t)$ A 时，大线圈 B 中的互感电动势。

（已知真空中的磁导率 $\mu_0=4\pi\times10^{-7}\ \mathrm{N\cdot A^{-1}}$）

20 解（本题 10 分）：（1）由题意可知，大线圈 B 的半径远大于小线圈 A 的半径，所以大线圈通电后在小线圈内部区域产生的磁场可以认为是均匀的。为此假设大线圈 B 中通有电流 I_1，则它在小线圈 A 内产生的磁场的磁感应强度的大小为

$$B_{21}=N_1\cdot\frac{\mu_0 I_1}{2R}$$ 3 分

式中 $N_1=100$ 是大线圈 B 的匝数，于是通过小线圈 A 的磁通量为

$$\Phi_{21}=B_{21}S_2=N_1\frac{\mu_0 I_1}{2R}S_2$$ 2 分

式中 $S_2=2.00\ \mathrm{cm}^2$ 是小线圈 A 的面积。所以两线圈的互感为

$$M=\frac{\Psi_{21}}{I_1}=\frac{N_2\Phi_{21}}{I_1}=\frac{\mu_0 N_1 N_2 S_2}{2R}=3.14\times10^{-6}\ (\mathrm{H})$$ 2 分

式中 $N_2=50$ 是小线圈 A 的匝数

（2）当小线圈中通有电流 I 时，大线圈 B 中的互感电动势为

$$\varepsilon_M=-M\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t}$$ 2 分

$$=-3.14\times10^{-6}\times10\times100\pi\cos100\pi t=-9.86\times10^{-3}\cos100\pi t\ (\mathrm{V})$$ 1 分

21.（本题 8 分） 用一束具有 $\lambda_1 = 600\text{nm}$ 和 $\lambda_2 = 400\text{nm}$ 两种波长的平行光垂直入射在光栅上，发现 λ_1 光的第 k 级主极大和 λ_2 光的第 $(k+1)$ 级主极大在距中央明纹 $5.00\,\text{cm}$ 处相重合，已知放置在光栅与观察屏之间的透镜的焦距 $f = 50.0\,\text{cm}$，试问：(1) 上述 $k=$？ (2) 光栅常数 $d=$？

21.（本题 8 分） (1) 由题意，$d\sin\theta = k\lambda_1$，$d\sin\theta = (k+1)\lambda_2$　　3 分

得　$k\lambda_1 = (k+1)\lambda_2$，　即 $k = \dfrac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} = 2$　　1 分

(2) 由题意，　$x = f\tan\theta$　　2 分

∴　$d = \dfrac{k\lambda_1}{\sin\theta} \approx \dfrac{k\lambda_1}{\tan\theta} = \dfrac{k\lambda_1 f}{x} = 1.20\times10^{-3}\text{cm}$　　2 分

22（本题 10 分）： 已知波长为 $3.00\times10^{-12}\,\text{m}$ 的光子入射到散射物上后，测得反冲电子的速度为 $0.6c$，试求：

（1）散射光子的波长及散射角；

（2）反冲电子的运动方向与光子入射方向的夹角。

22 解（本题 10 分）： (1) 由能量守恒可得

$$h\nu_0 - h\nu = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}} - m_0c^2 \qquad 3\text{ 分}$$

$$\nu = \nu_0 - \frac{m_0c^2}{h}\left(\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} - 1\right) = \frac{\text{c}}{\lambda_0} - \frac{m_0c^2}{h}\left(\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} - 1\right)$$

$$= \frac{3\times10^8}{3.00\times10^{-12}} - \frac{9.1\times10^{-31}\times\left(3\times10^8\right)^2}{6.63\times10^{-34}}\left(\frac{1}{\sqrt{1-0.6^2}} - 1\right) = 6.91\times10^{19}\text{Hz}$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3\times10^8}{6.91\times10^{19}} = 4.34\times10^{-12}\,\text{m} \qquad 1\text{ 分}$$

再由康普顿效应的波长偏移公式

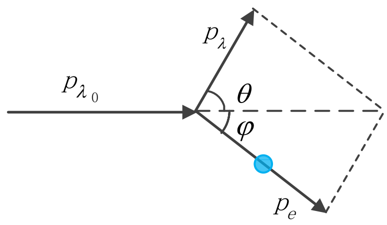
$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = \frac{h}{m_0c}\left(1-\cos\theta\right) \qquad 2\text{ 分}$$

得：

$$\cos\theta = 1 - \frac{m_0c}{h}\left(\lambda - \lambda_0\right) = 1 - \frac{9.1\times10^{-31}\times3\times10^8}{6.63\times10^{-34}}\left(4.34-3\right)\times10^{-12} = 0.448$$

所以散射光子的散射角为：　$\theta = 63.4°$　　1 分

（2）首先作出光子与电子的碰撞图，如图所示。由碰撞时的动量守恒，可知碰撞后散射光子与反冲电子的总动量在垂直于入射光子的方向上的分量为零，即



$$P_\lambda \sin\theta - \frac{m_0 v}{\sqrt{1-v^2/c^2}}\sin\varphi = 0 \qquad 2\text{ 分}$$

由此得

$$\sin\varphi = \frac{P_\lambda \sin\theta\sqrt{1-v^2/c^2}}{m_0 v} = \frac{h\sin\theta\sqrt{1-v^2/c^2}}{\lambda m_0 v}$$

$$= \frac{6.63\times10^{-34}\sin63.4°\times\sqrt{1-0.6^2}}{4.34\times10^{-12}\times9.1\times10^{-31}\times0.6\times3\times10^8} = 0.667$$

由此得反冲电子的运动方向与光子入射方向之间的夹角为：

$$\varphi = \arcsin 0.667 = 41.8° \qquad 1\text{ 分}$$

23.（本题 8 分）假定原子的某激发态的平均寿命为$\Delta t = 1.00\times10^{-11}\,\text{s}$，原子从该激发态向基态跃迁时发出的光谱线的波长为$\lambda = 600\,\text{nm}$。试求：

（1）该光谱线波长的不确定量（即该单色光的光谱线宽度）；

（2）其光子动量的不确定量。

23. 解（本题 8 分）：（1）由能量和时间的不确定关系式

$$\Delta E\cdot\Delta t \ge \hbar/2 \qquad 2\text{ 分}$$

可得该激发态能级的不确定量为：

$$\Delta E \ge \frac{h}{4\pi\Delta t} = \frac{6.63\times10^{-34}}{4\pi\times1.0\times10^{-11}}\,\text{J} = 5.28\times10^{-24}\,\text{J} \qquad 1\text{ 分}$$

假定该原子的基态能级为E_1，激发态能级为E_k，由频率条件假设

$$E_k - E_1 = h\nu = hc/\lambda \qquad 1\text{ 分}$$

在等式两边同时取微分，同时注意到基态能级的不确定度为零，得

$$\mathrm{d}E_k = -\frac{hc}{\lambda^2}\mathrm{d}\lambda \qquad 1\text{ 分}$$

所以该谱线的宽度为

$$\Delta\lambda \approx |\,\mathrm{d}\lambda\,| \approx \frac{\lambda^2\Delta E_k}{hc} \ge \frac{\lambda^2}{4\pi c\Delta t} = 9.6\times10^{-12}\,\text{m} \qquad 1\text{ 分}$$

（2）由$p = \dfrac{h}{\lambda}$，可得

$$\Delta p = \frac{h}{\lambda^2}\Delta\lambda = 1.77\times10^{-32}\,\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1} \qquad 2\text{ 分}$$