武汉大学 2019 --2020 学年第 一 学期

大学物理 A（下）期末试卷 （ A 卷）

学院____________学号________________姓名______________成绩______

考试形式： 闭卷　　　　考试时间长度： 120 分钟

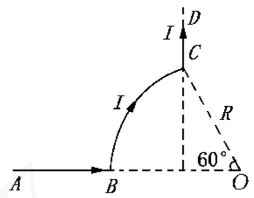
（常用常量：普朗克常量 $h=6.626\times10^{-34}\,\mathrm{J\cdot s}$，电子的静止质量 $m_e=9.11\times10^{-31}\,\mathrm{kg}$，

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（每题 3 分，共 10 小题 30 分）

1．一根长直导线被弯曲成如图所示，其中 AB、CD 为两段互相垂直的长直导线，BC 为圆心在 O 点的一段圆弧形导线，其半径为 R。若导线中的电流为 I，则 O 点处的磁感应强度的大小为（　　　）。



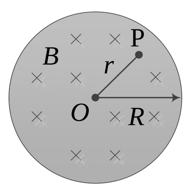
A $\dfrac{\mu_0 I}{12R}$　　B $\dfrac{\mu_0 I}{2\pi R}(1-\dfrac{\sqrt{3}}{2}-\dfrac{\pi}{6})$

C $\dfrac{\mu_0 I}{2\pi R}(1-\dfrac{\sqrt{3}}{2}+\dfrac{\pi}{6})$　　D $\dfrac{\mu_0 I}{2\pi R}(\dfrac{\sqrt{3}}{2}+\dfrac{\pi}{6})$

2. 有一半径为 R、电荷线密度为 λ 的均匀带电圆环，绕通过圆心并与环面垂直的转轴以角速度 ω 旋转。现将转动圆环置入匀强磁场中，磁感应强度 $\vec{B}$ 与环面平行，则圆环受到的磁力矩的大小为（　　　）。

A $\dfrac{\pi\lambda\omega BR^3}{2}$　　B $\dfrac{\pi\lambda\omega BR^3}{4}$　　C $\dfrac{\pi\lambda\omega BR^4}{2}$　　D $\lambda\pi\omega BR^3$

3. 如图所示，在半径为 R 的无限长圆柱形空间内有一个均匀磁场，在某一时刻磁感应强度随时间的变化率为 $\dfrac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t}>0$，假设在磁场内部的 P 点处放置一个电量为 q（$q>0$）的点电荷，则该点电荷所受的电磁力为（　　　）。（不计重力）



A $\dfrac{qr}{2}\dfrac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t}$，方向垂直 OP 沿逆时针方向　　B $\dfrac{qR^2}{2r}\dfrac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t}$，方向垂直 OP 沿逆时针方向

C $\dfrac{qr}{2}\dfrac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t}$，方向沿 OP 方向　　D $\dfrac{qr}{2}\dfrac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t}$，方向垂直 OP 沿顺时针方向

4、在平静的水面上滴一滴油，当油滴展开成油膜时，假设油膜的厚度从中心向外逐渐变薄。在波长为 600nm 的单色光垂直照射下，从反射光中观察油膜所形成的干涉条纹，已知

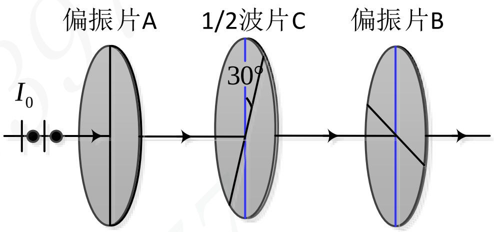
空气的折射率为 1.00，油的折射率为 1.40，水的折射率为 1.33。若油膜中心的厚度为 1000nm。则在整个油膜上最多可看到（　　　　）条明条纹。

A.　3　　　　　B.　4　　　　　C.　5　　　　　D.　6

5、在明亮的教室内，人眼的瞳孔直径约为 3.2mm，假设可见光的波长为 550nm。试估算人眼能区分投影屏上相距为 3.0mm 的两个物点时，人离投影屏的最远距离约为（　　　　）。

A．8m；　　　　B. 10m；　　　　C. 12m；　　　　D. 14m

6、一束强度为 I_0 的自然光垂直入射到两块互相平行、前后放置的偏振片 A、B 上，两块偏振片的偏振化方向互相垂直。现在两偏振片之间插入一块半波片 C，波片的光轴平行于波片的表面、且与偏振片 A 的偏振化方向之间的夹角为 30°，如图所示。则最后通过偏振片 B 的光强度为（　　　　）。



A.　$I_0/8$　　　　B.　$I_0/4$　　　　C.　$3I_0/16$　　　　D.　$3I_0/8$

7、在狭义相对论中，下列几种说法或结论正确的是（　　　　）。

（1）在所有的惯性系中，所有的物理规律都有相同的数学表达形式；

（2）在真空中，光的速度与光的频率、光源和观察者的运动状态无关；

（3）在某惯性系中发生于同一时刻，不同地点的两个事件在任何其他惯性系中一定不会同时发生；

（4）静止质量为 m_0 的粒子以速度 v 相对于某个惯性系高速运动时，该惯性系中的观察者测得该粒子的动能为：$\frac{1}{2}\frac{m_0 v^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$。

A.　全部正确　　　　　　　　B.　只有 1、2、3 正确

C.　只有 2、3、4、正确　　　　D.　只有 1、2、4 正确

8、关于康普顿散射，下列说法正确的是（　　　　）。

A. 散射波中既有波长变长的成分，也有波长变短的成分，波长偏移量只与散射角有关，与散射物质无关；

B. 散射波中既有波长不变的成分，也有波长变长的成分，波长的偏移量既与散射方向有关，也与散射物质有关；

C. 反冲电子获得的动能等于入射光子的能量与散射光子的能量之差；

D. 反冲电子的动量大小等于入射光子的动量大小与散射光子的动量大小之差。

9、当氢原子从第 2 激发态向第 1 激发态跃迁时，所发出的光子的能量为（　　　　）。

A　1.51 eV　　　　B　1.89 eV　　　　C　2.16 eV　　　　D　2.40 eV

10、某微观粒子被限制在一维矩形无限深势阱中运动，其波函数为

$$\Psi(x,t)=\frac{1}{\sqrt{a}}\cos\frac{3\pi x}{2a}e^{-\mathrm{i}\frac{E}{\hbar}t}$$

其中$-a\le x\le a$，那么粒子在$x=5a/6$处出现的概率密度为（　　　　）。

A. $1/(2a)$　　　B. $1/a$　　　C. $1/\sqrt{2a}$　　　D. $1/\sqrt{a}$

二、填空题（共 8 小题，25 分）

11. （本题 3 分）若要使半径为 4.0 mm 的长直裸铜线表面的磁感强度为 7.0×10^{-5} T，假设电流均匀流过导线的横截面，则铜导线中的电流密度为________ A/m²。（保留 2 位有效数字）

12、（本题 3 分）一平行平板电容器的两极板都是半径为 R 的圆形导体片，两极板间填充了相对电容率为ε_r的均匀电介质。假设电容器工作时，两极板上的电荷面密度按$\sigma=\sigma_0\sin\omega t$的规律变化，式中$\sigma_0$、$\omega$均为常量。略去电场的边缘效应，两极板间位移电流的大小为__________。

13、（本题 4 分）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 $n=$_________，反射光的光振动方向__________反射面（填：垂直于 或 平行于 ）。

14、（本题 3 分）人的正常体温是 37.0℃，假设人体的热辐射可以看成是黑体辐射，则人体热辐射的单色辐出度的峰值对应的波长是________ μm。（取三位有效数字，）

15、（本题 3 分）假设氢原子处于某个激发态时，描述其核外电子运动状态的径向波函数为$R(r)=R_0 r\mathrm{e}^{-r/2a_0}$，式中$R_0$为归一化常数，$a_0$是玻尔半径，则电子在薄球壳内出现概率最大时球壳的半径为_________。

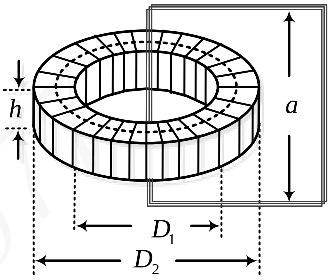
16、（本题 3 分）根据量子力学理论，对于质量为m、频率为ν的一维线性谐振子，各量子态能量的可能取值为_____________。

17、（本题 3 分）在多电子原子系统中，根据泡利不相容原理，在$n=3$、$l=2$的次壳层上，最多可容纳的电子数为_________。

18、　（本题 3 分）要使激光器中的工作物质能够发出激光，必须使工作物质处于______________.状态。

三、计算题（共 5 小题，45 分）

19、（本题 9 分）一个匝数为 N_1、截面为矩形的均匀密绕的螺绕环线圈，与一个总匝数为 N_2、边长为 a 的正方形平面线圈互相环套，环套情况及螺绕环的尺寸如图所示，整个螺绕环缠绕在相对磁导率为 μ_r 的各向同性的均匀磁介质环上。当线圈中通有电流 I 时，试求：

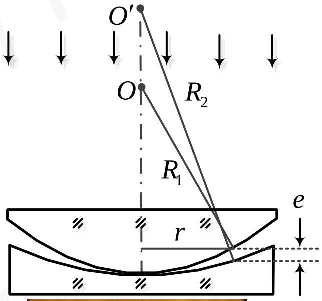


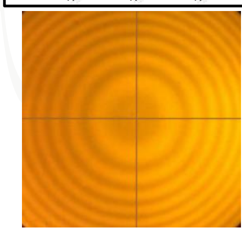
（1）环内磁场强度和磁感应强度的分布；

（2）通过螺绕环线圈中任一横截面的磁通量；

（3）若螺绕环线圈中的电流 $I = I_0 \sin\omega t$，式中 I_0、ω 均为常量，求矩形平面线圈中的互感电动势。

20、（本题 8 分）如图所示，在牛顿环实验中，将一个半径为 R_1 的平凸透镜放置在一个半径为 R_2（$R_2 > R_1$）凹透镜上，两透镜的折射率相等均为 n_0，两球面之间充满了折射为 n（$n_0 > n$）的透明液体。现用波长为 λ 的单色平行光垂直照射，试求：在反射光的干涉中第 k 级暗条纹的半径。





21.（本题 10 分）一块透射光栅，每 mm 内有 100 条透光狭缝，每个透光缝的宽度 $a = 3.00\times10^{-3}\text{mm}$，透镜焦距 $f = 50.0\text{cm}$，现用 $\lambda = 600\text{nm}$ 的单色平行光垂直照射。试求：

（1）观察屏上每个缝单独产生的单缝衍射的中央明条纹的宽度；

（2）观察屏上 ±1 级光栅衍射条纹之间的间距；

（3）在单缝衍射中央明纹的范围内可出现哪几条光栅衍射的明条纹?

22.（本题 9 分）甲、乙、丙三艘宇宙飞船，它们的静止质量均为 m_0、固有长度都是 L_0，现在它们分别在三条互相平行的直线上沿同一方向运动，飞船甲上的观察者测得飞船乙的长度为 $L_0/2$，乙上的观察者测得丙的长度也为 $L_0/2$，甲发现丙比乙快。试求：

（1）飞船甲上的观察者测得丙的速度和长度；

（2）飞船甲上的观察者测得丙的动能；

23、（本题 9 分）假设原子从某一激发态向基态跃迁时发出的谱线的波长为 $121.5\,\text{nm}$，由于激发态的寿命有限，导致该谱线有一定的宽度。假设该谱线的宽度为 $2.0\times10^{-4}\text{nm}$，试根据不确定关系式 $\Delta x\cdot\Delta p \ge h$、$\Delta E\cdot\Delta t \ge h$，计算（结果均保留 2 位有效数字）：

（1）在测定光子位置时，光子位置的不确定度 Δx；

（2）该激发态的平均寿命 τ。

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）

11：2.8×10^4

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

13：$\sqrt{3}=1.73$ 、 垂直于

14：9.35

15：$4a_0$

16：$\left(n+\dfrac{1}{2}\right)h\nu$

17：10

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

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

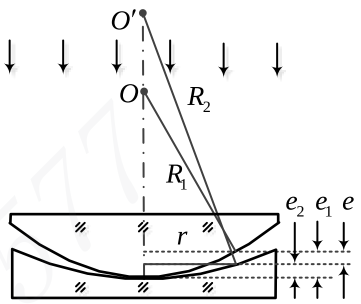
（3）由（2）可知，环内磁场通过正方形线圈的磁链为

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

所以线圈中的互感电动势为

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

$$\theta_1=\arcsin\frac{\lambda}{a}=\arcsin\frac{600\times10^{-9}}{3.0\times10^{-6}}=11.54^\circ=11^\circ32'$$ 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

$$\Delta x=2f\tan\theta_1=2\times50.0\times\tan 11.54^\circ\ \mathrm{cm}=20\ \mathrm{cm}$$ （或 20.4 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

$$\theta'_{\pm1}=\pm\arcsin\frac{\lambda}{d}=\pm\arcsin\frac{600\times10^{-9}}{1.00\times10^{-5}}=\pm3.44^\circ\ (=\pm3^\circ26'=\pm6.0\times10^{-4}\mathrm{rad})$$ 2 分

所以光栅衍射中±1 级明纹之间的距离为

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

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

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

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

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

（2）根据频率条件：

$$h\nu = h\frac{c}{\lambda} = E_n - E_1 \qquad 1\text{ 分}$$

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

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

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

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