

物理学院《大学物理 AII》期末考试题 A 卷

2019 年 1 月 16 日 9:30 – 11:30

班级_____学号_____姓名_____总分_____

任课教师姓名_____

模块三 电磁学(63 分)

	填空题	选择题	计算 1	计算 2	计算 3	计算 4	合计	复核人
得分								

模块四 近代物理(37 分)

	填空题	选择题	计算 1	计算 2	合计	复核人
得分						

可能用到的物理常数

真空介电常量 $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$,普朗克常量 $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$,电子质量 $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$,真空磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2}$,基本电荷 $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$,质子质量 $m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

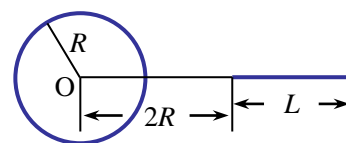
模块三 电磁学(63 分)

一、填空题(共 21 分, 每题 3 分, 将答案写在试卷指定的横线“_____”上)

1. (3 分) 靠近地面和离地面为 h 高处的电场场强大小分别为 E_1 和 E_2 , 方向都垂直于地面向下。则从地面到 h 高度的大气中电荷的平均体密度为_____; 如果地球上的电荷全部均匀分布在表面, 则地面上的电荷面密度为_____。

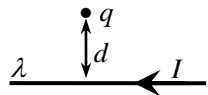
2. (3 分) 用你自己的语言对重力势能、弹性势能和静电势能作一个统一的势能定义, 使它对上述三种情况都适用, 定义为_____。

3. (3 分) 如图所示, 半径为 R 的均匀带电球面, 带电量为 q , 沿矢径方向上有一长度为 L 、电荷线密度为 λ 的均匀带电细线, 球心 O 到细线近端的距离为 $2R$, 设两带电体互相不影响, 则球面和细线组成的系统电势能为_____。(设无穷远电势为零)

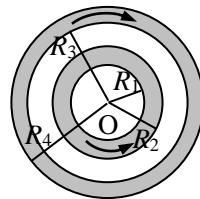


4. (3 分) 两个相同的空气电容器, 电容都是 $900\mu\text{F}$, 分别充电到 900V 电压后切断电源, 若把一个电容器浸入介电常数为 2.0 的煤油中, 再将两电容并联。则并联过程中损失的能量为_____J; 损失的能量转化为_____。

5. (3 分) 一个带电量为 $q>0$ 的粒子以速度 v 平行于一均匀带电的无限长直导线运动, 该导线的电荷线密度为 $\lambda>0$, 并载有传导电流 I , 如图所示。则粒子要以 $v =$ _____速度且沿_____方向运动才能使之保持在一条与导线垂直距离为 d 的平行直线上。



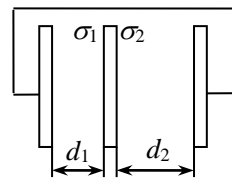
6. (3 分) 如图所示, 两个共面的平面带电圆环, 其内外半径分别为 R_1 、 R_2 和 R_3 、 R_4 , 外圆环以每秒钟 n_2 转顺时针转动, 内圆环以每秒钟 n_1 转逆时针转动, 若两圆环电荷面密度均为 σ , 则 n_1/n_2 为_____时, 圆心 O 处的磁感应强度为零。



7. (3 分) 一长螺线管单位长度密绕 n 匝线圈, 在其内部轴线上有一面积为 S 的单匝小平面线圈, 小线圈平面法向与螺线管轴向夹角 30° , 它们之间的互感系数为_____; 如果螺线管和小线圈均通过电流 I , 则小线圈受到的磁力矩大小为_____。

二、选择题 (共 9 分, 单选, 每题 3 分, 将答案写在试卷上指定的方括号 “[]” 内)

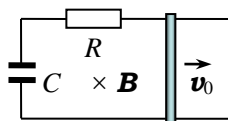
1. (3 分) 如图所示, 三块平行的薄导体板, 相互之间的距离 d_1 和 d_2 比导体板面积线度小得多, 外面二导体板用导线连接。中间导体板带电, 设左右两面上电荷面密度分别为 σ_1 和 σ_2 。则 σ_1/σ_2 为



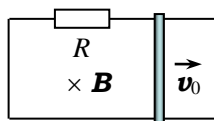
- (A) d_1/d_2 ; (B) d_2/d_1 ;
(C) 1; (D) d_2^2/d_1^2 。

[]

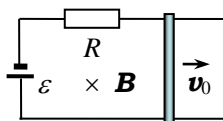
2. (3 分) 图 (a)、(b)、(c) 中除导体棒可动外, 其余部分均固定, 不计摩擦, 导体棒、导轨和直流电源的电阻均可略, 各装置都在水平面内, 匀强磁场 B 的方向垂直纸面向里。设导体棒的初始速度为 v_0 。有可能在一直向右运动过程中最终达到匀速 (不包括静止) 状态的是



(a)



(b)



(c)

- (A) 图 (a); (B) 图 (b);
(C) 图 (c); (D) 都不可能。

[]

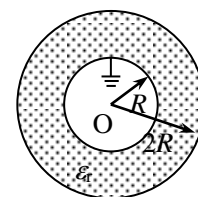
3. (3 分) 一球形电容器中间充有均匀介质, 该介质缓慢漏电, 在漏电过程中, 传导电流产生的磁场为 B_c , 位移电流产生的磁场为 B_d , 则

- (A) $B_c \neq 0, B_d = 0$; (B) $B_c = 0, B_d \neq 0$;
(C) $B_c = B_d = 0$; (D) $B_c = B_d \neq 0$ 。

[]

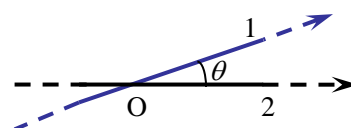
三、计算题（共 33 分，将答案写在试卷空白处）

1. (9 分) 如图所示，有一半径为 R 的金属球，外面包有一层相对介电常数 $\epsilon_r=2$ 的均匀电介质壳，壳内、外半径分别为 R 和 $2R$ ，介质内均匀分布着电量为 q_0 的自由电荷，金属球接地。试求：

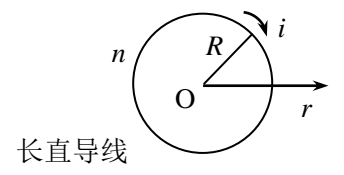


- (1) 金属球所带电量？
- (2) 介质壳外表面的电势？（设无穷远电势为零）

2. (9 分) 如图所示，两根相互绝缘的无限长直导线 1 和 2 绞接与 O 点，两根相互绝缘导线间的夹角为 θ ，并通有相同电流 I ，方向如图。试求单位长度的导线所受磁力对 O 点的力矩。



3. (9 分) 半径为 R 的圆柱形中空长直螺线管垂直于纸面放置，该螺线管单位长度上密绕了 n 匝线圈，线圈中通有 $i = kt$ 的电流 (k 为正的常量， t 为时间)，电流流向如图所示。已知磁场所激发的电场只在平行于纸面且沿任一径向 r 的垂直方向上不等于零。在螺线管外有一无限长直导线平行于纸面放置，试求：



- (1) 螺线管内、外空间的感生电场强度 $\vec{E}_{\text{感内}}$ 和 $\vec{E}_{\text{感外}}$ 。
- (2) 长直导线中的感应电动势 \mathcal{E} 的大小，并指明其方向。

4. (6 分) 电磁波在传播时，其能流密度矢量 $\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$ ，其中 \vec{E} 和 \vec{H} 分别为电场强度矢量和磁场强度矢量。一电容器由相距为 r 的两个半径为 a 的圆形导体板所构成 (忽略边缘效应)。求证：对电容器充电时，设 t 时刻电容器带电量为 q ，流入电容器的能量速率等于其电场能量增加的速率。

$$\lambda = \lambda' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\frac{\sqrt{3}}{3} \rightarrow S \rightarrow u = \frac{\sqrt{3}}{3}c \rightarrow \sqrt{3}a \rightarrow P \rightarrow$$

模块四 近代物理(37分)

一、填空题(共15分,每题3分,将答案写在试卷指定的横线“ ”上)

1. (3分) 在惯性系S中有一个静止的等边三角形薄片P。现令P相对S以v作匀速运动,且v在P所确定的平面上。若因相对论效应而使在S中测量P恰为一等腰直角三角形薄片,则可判定v的方向为 沿一边的方向, v的大小为 $\frac{\sqrt{6}}{3}c$ 。

2. (3分) 德布罗意波的波函数与经典波的波函数的本质区别为 德布罗意波是概率波,振幅无实际意义。

3. (3分) 在激发态能级上的钠原子,发射出波长为589nm的光子的时间平均约为 $10^{-8}s$ 。根据不确定关系式 $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$, 光子能量的不确定度为 $6.6 \times 10^{-8} eV$, 发射波长的不确定度为 $1.84 \times 10^{-5} nm$ 。

4. (3分) 质量为m的电子处于宽为a的一维无限深势阱中,其能量和波函数表示如下

$$E_n = \frac{n^2 \pi^2 \hbar^2}{2ma^2}, \quad \psi_n(x) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{n\pi}{a} x, & 0 < x < a \\ 0, & x \leq 0, x \geq a \end{cases} \quad n=1,2,3,\dots$$

该电子吸收 $\Delta E = \frac{3\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$ 能量后在不同能级间发生跃迁。则跃迁后在 $0 < x < a/4$ 区间内发现电子的概率为 $\frac{1}{4}$ 。

5. (3分) 由 6×10^{23} 个钠原子(电子组态 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$) 结合成钠金属后,其3s能级形成价带。设价带最低端能级能量为-5.00eV和价带内密集的能级平均间隔为 $1.00 \times 10^{-23} eV$, 用波长为300nm的单色光照射钠金属,钠金属的逸出功为 2.00 eV; 发出光电子的最大动能为 2.13 eV。(假设不考虑轨道简并,只考虑自旋简并)

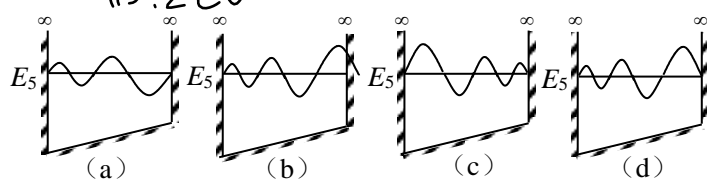
二、选择题(共6分,单选,每题3分,将答案写在试卷上指定的方括号“[]”内)

1. (3分) 静止的氢原子吸收能量为hv的光子后,由基态跃迁至第一激发态。把该过程看作是具有动量的光子与氢原子的碰撞,则氢原子获得的反冲动能为(氢原子质量 $m_H = 1.67 \times 10^{-27} kg$);

(A) 10.2 eV; (B) $5.54 \times 10^{-8} eV$; (C) -13.6 eV; (D) 3.4 eV。

$$K_H = \frac{p^2}{2m} = \frac{(10.2 eV)^2}{2m c^2} = \frac{13.6 eV}{12} - \frac{13.6 eV}{22} = 10.2 eV$$

2. (3分) 无限深斜底势阱中有一粒子处于 $n=5$ 的激发态(能量为 E_5) 时的波函数曲线,如图所示。正确的是



(A) 图(a); (B) 图(b); (C) 图(c); (D) 图(d)。

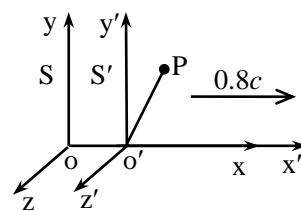
三、计算题（共 16 分，将答案写在试卷空白处）

1.（8 分） S' 系相对于 S 系沿 xx' 轴正向以 $0.8c$ （ c 为真空中的光速）的速度运动，一质点在 $ox'y'$ 平面内以 $c/2$ 的速度匀速直线运动，轨迹与 x' 轴的夹角为 60° ，过 o' 点，如图所示。试求：

（1）该质点在 S 系中的运动方程；

（2）在 S 系中观察质点 P 的运动速度大小和运动轨迹如何？

（洛伦兹变换： $x' = \frac{x-ut}{\sqrt{1-u^2/c^2}}$ ， $y'=y$ ， $z'=z$ ， $t' = \frac{t-ux/c^2}{\sqrt{1-u^2/c^2}}$ ）



2.（8 分）在一次康普顿散射中，入射光子传递给静止电子的最大能量为 E_k ，电子的静止质量为 m_0 ，试求入射光子的能量。

2018-2019-1 大学物理 AII 期末试题 A 卷参考答案和评分标准

考试日期 2019.1.16

模块三 电磁学 (63 分)

一、填空题 (每题 3 分, 共 21 分)

1. $\frac{\varepsilon_0(E_1 - E_2)}{h}$; $-\varepsilon_0 E_1$

2. 质点 (物体) 在空间某点的势能等于它从该点移到势能零点处保守力 (如重力、弹力或静电力) 做的功。

3. $\frac{q\lambda}{4\pi\varepsilon_0} \ln \frac{2R+L}{2R}$

4. 60.8J; 介质的动能, 最后通过摩擦转化为热能 (内能)

5. $\frac{\lambda}{\varepsilon_0 \mu_0 I}$; 电流

6. $\frac{n_1}{n_2} = \frac{R_4 - R_3}{R_2 - R_1}$

7. $\frac{\sqrt{3}}{2} \mu_0 n S$, $\frac{1}{2} \mu_0 n S I^2$

二、选择题 (每题 3 分, 共 9 分)

B A C

三、计算题 (共 33 分)

1. (9 分) 解: (1) 设金属球上带电量为 q , r 为场点到 O 的距离, 由高斯定理可求得

$$\text{介质壳内电场强度为 } E_1 = \frac{q + \frac{r^3 - R^3}{(2R)^3 - R^3} q_0}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r r^2} = \frac{1}{8\pi\varepsilon_0} \left(\frac{q}{r^2} + \frac{q_0 r}{7R^3} - \frac{q_0}{7r^2} \right) \quad (\varepsilon_r=2) \quad (3 \text{ 分})$$

$$\text{介质外的电场强度为 } E_2 = \frac{q + q_0}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \quad (1 \text{ 分})$$

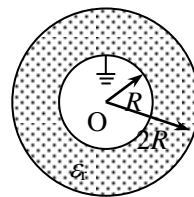
金属球接地, 即表示金属球与无限远等电势, 于是有

$$\int_{2R}^R E_1 dr = \int_{2R}^{\infty} E_2 dr \quad (2 \text{ 分})$$

$$\frac{1}{8\pi\varepsilon_0} \int_{2R}^R \left(\frac{q}{r^2} + \frac{q_0 r}{7R^3} - \frac{q_0}{7R^2} \right) dr = \frac{q + q_0}{4\pi\varepsilon_0} \int_{2R}^{\infty} \frac{dr}{r^2}$$

可求得金属球上带电量为 $q = -\frac{16q_0}{21} \quad (1 \text{ 分})$

(2) 介质壳外表面的电势为 $\varphi = \int_{2R}^{\infty} E_2 dr = \frac{5q_0}{168\pi\varepsilon_0 R} \quad (2 \text{ 分})$

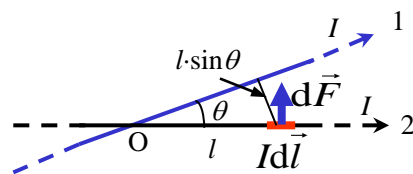


2. (9 分) 解: 在任一根导线上(如导线 2)取一线元 dl , 该线元距 O 点为 l , 导线 1 在该处的磁感应强度为

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi l \sin \theta} \quad \text{方向: } \otimes \quad (2 \text{ 分})$$

电流元 $I \cdot dl$ 受到的磁力为

$$\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B} \quad (1 \text{ 分})$$



$$dF = IB \cdot dl = \frac{\mu_0 I^2 \cdot dl}{2\pi l \cdot \sin \theta} \quad \text{方向: 垂直于导线 2 向上} \quad (2 \text{ 分})$$

该力对 O 点的力矩为 $\vec{M} = \vec{l} \times d\vec{F}$ (1 分)

任一段单位长度的导线所受磁力对 O 点的力矩为

$$M = \int dM = \int_l^{l+1} \frac{\mu_0 I^2 dl}{2\pi \cdot \sin \theta} = \frac{\mu_0 I^2}{2\pi \cdot \sin \theta} \quad \text{方向: } \odot \quad (3 \text{ 分})$$

4. (6 分) 证: 设 t 时刻电容器带电量为 q ,

$$\text{平行板电容器内电场强度为 } E = \frac{q}{\epsilon_0 \pi a^2} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{磁场强度为 } H = \frac{I_d}{2\pi a}, I_d = \frac{dq}{dt} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{能流密度矢量 } S = EH = \frac{q}{2\pi^2 a^3 \epsilon_0} \frac{dq}{dt} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{流入电容器的能量速率: } P_s = 2\pi arS = \frac{qr}{\pi a^2 \epsilon_0} \frac{dq}{dt} = \frac{q}{C} \frac{dq}{dt}, \quad C \text{ 为电容器的电容} \quad (1 \text{ 分})$$

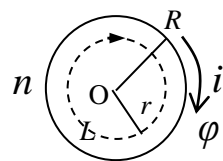
$$\text{因电容器的电场能为 } W_e = \frac{q^2}{2C} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{故电场能量增加的速率: } P_e = \frac{\partial W_e}{\partial t} = \frac{1}{2C} \frac{dq^2}{dt} = \frac{q}{C} \frac{dq}{dt}; \quad \therefore P_s = P_e \quad \text{证毕} \quad (1 \text{ 分})$$

3. (9分) 解: (1) 由题意可知 $\vec{E}_{\text{感}} = E_{\text{感}}(r) \cdot \vec{e}_{\varphi}$; \vec{e}_{φ} 为任一径向 r 的垂直方向上的单位矢量

选半径为 r (可大于 R 、可小于 R) 的环路 L , 有

$$\oint_L \vec{E}_{\text{感}} \cdot d\vec{l} = E_{\text{感}} \cdot 2\pi r = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (2 \text{ 分})$$



$$B = \mu_0 n i = \mu_0 n k t \quad (1 \text{ 分})$$

$$r < R: \quad E_{\text{感内}} \cdot 2\pi r = -\frac{d\Phi}{dt} = -\pi r^2 \cdot \mu_0 n k$$

$$\text{得 } E_{\text{感内}} = -\frac{r}{2} \cdot \mu_0 n k \quad \vec{E}_{\text{感内}} = -\frac{r}{2} \cdot \mu_0 n k \vec{e}_{\varphi} \quad (\text{沿圆周切向与电流流向相反}) \quad (1 \text{ 分})$$

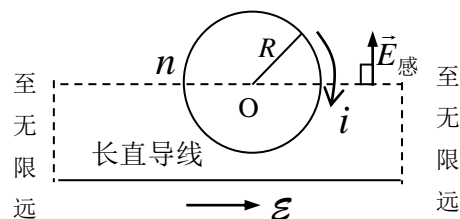
$$r > R: \quad E_{\text{感外}} \cdot 2\pi r = -\frac{d\Phi}{dt} = -\pi R^2 \cdot \mu_0 n k$$

$$\text{得 } \vec{E}_{\text{感外}} = -\frac{R^2}{2r} \cdot \mu_0 n k \vec{e}_{\varphi} \quad (\text{沿圆周切向与电流流向相反}) \quad (1 \text{ 分})$$

(2) 如图所示, 过 O 点画一条平行长直导线的长直线, 它与长直导线在两端无限远处闭合, 形成一个回路。该回路中的电动势就是长直导线中的电动势。

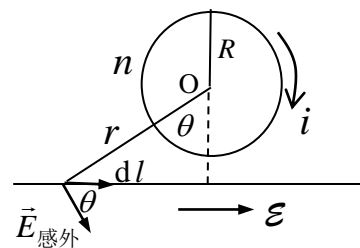
$$\mathcal{E} = -\frac{d}{dt} \left(\frac{\pi R^2}{2} B \right) = -\frac{1}{2} \pi R^2 \mu_0 n k \quad (3 \text{ 分})$$

\mathcal{E} 的指向如图所示。 (1 分)



该题也可以由 $\vec{E}_{\text{感外}}$ 的积分求得 \mathcal{E} :

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= \int E_{\text{感外}} \cos \theta \cdot dl = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} E_{\text{感外}} \cos \theta \cdot \frac{rd\theta}{\cos \theta} \\ &= \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{R^2 \mu_0 n k}{2} d\theta = \frac{1}{2} \pi R^2 \mu_0 n k \end{aligned}$$



模块四 近代物理(37 分)

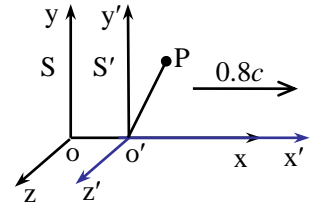
一、填空题（每题 3 分，共 15 分）

1. 沿静止等边三角形的一条高的方向； $\sqrt{2/3}c = 2.45 \times 10^8 \text{ m/s}$
2. 德布罗意波是几率波，波函数不表示某实在物理量在空间的波动，其振幅无实在的物理意义。
3. 6.6×10^{-8} ; 1.85×10^{-5} 4. 0.25
5. 2.00; 2.14

二、选择题（单选，每题 3 分，共 6 分）

B D

三、计算题（共 16 分）



1. (8 分) 解：(1) 设 $t'=0$ 时，质点位于 S' 系的 o' 点，则

质点在 S' 系中 $o'P = \frac{c}{2}t'$ ，即 $x' = \frac{c}{2}t'\cos 60^\circ$ ， $y' = \frac{c}{2}t'\sin 60^\circ$ (3 分)

由洛伦兹变换得

$$\gamma(x-ut) = \frac{c}{2}\gamma(t - \frac{ux}{c^2})\cos 60^\circ \text{ 和 } y = \frac{c}{2}\gamma(t - \frac{ux}{c^2})\sin 60^\circ, \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-u^2/c^2}}, \quad u=0.8c$$

该质点在 S 系中的运动方程为 $x=0.875ct$ ， $y=0.217ct$ 。 (2 分)

(2) 运动方程对时间求导得 $v_x = 0.875c$ ， $v_y = 0.217c$ ，

在 S 系中，质点 P 的运动速度大小为 $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \approx 0.9c$ ； (2 分)

由运动方程消去时间 t 得 $x=4.032y$ ，运动轨迹为直线。 (1 分)

2. (8 分) 解：由题意可知，光子的散射角 $\theta = \pi$ 时，电子获得的能量最大，电子的反冲速度沿入射光子的运动方向。 (2 分)

设 ν_0 为入射光子的频率， ν 为散射光子的频率， p_e 为反冲电子的动量。则由能量守恒有：

$$h\nu_0 = h\nu + E_k \quad \text{①} \quad (2 \text{ 分})$$

由动量守恒有： $\frac{h\nu_0}{c} = -\frac{h\nu}{c} + p_e \quad \text{②} \quad (2 \text{ 分})$

由①、②式得
$$h\nu_0 = \frac{E_k}{2} + \frac{cp_e}{2}$$

又由相对论能量与动量关系有：



$$c^2 p_e^2 = E^2 - m_0^2 c^4 = (m_0 c^2 + E_k)^2 - m_0^2 c^4 = E_k^2 + 2m_0 c^2 E_k \quad (1 \text{ 分})$$

入射光子的能量为
$$h\nu_0 = \frac{E_k}{2} \left(1 + \sqrt{1 + 2m_0 c^2 / E_k} \right) \quad (1 \text{ 分})$$