

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

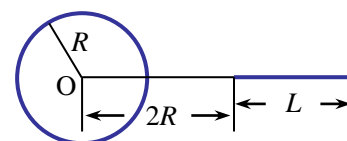
## 模块三 电磁学(63 分)

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\_\_\_\_\_。

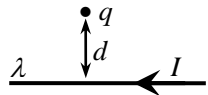
2. (3 分) 用你自己的语言对重力势能、弹性势能和静电势能作一个统一的势能定义, 使它对上述三种情况都适用, 定义为\_\_\_\_\_。

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  $\lambda$  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)

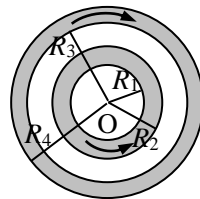


4. (3 分) 两个相同的空气电容器, 电容都是  $900\mu\text{F}$ , 分别充电到  $900\text{V}$  电压后切断电源, 若把一个电容器浸入介电常数为  $2.0$  的煤油中, 再将两电容并联。则并联过程中损失的能量为\_\_\_\_\_J; 损失的能量转化为\_\_\_\_\_。

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。



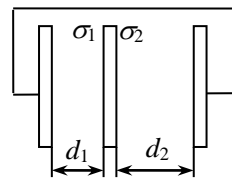
6. (3 分) 如图所示, 两个共面的平面带电圆环, 其内外半径分别为  $R_1$ 、 $R_2$  和  $R_3$ 、 $R_4$ , 外圆环以每秒钟  $n_2$  转顺时针转动, 内圆环以每秒钟  $n_1$  转逆时针转动, 若两圆环电荷面密度均为  $\sigma$ , 则  $n_1/n_2$  为\_\_\_\_\_时, 圆心  $O$  处的磁感应强度为零。



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  $30^\circ$ , 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)

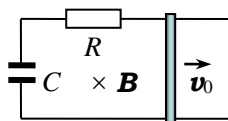
1. (3 分) 如图所示, 三块平行的薄导体板, 相互之间的距离  $d_1$  和  $d_2$  比导体板面积线度小得多, 外面二导体板用导线连接。中间导体板带电, 设左右两面上电荷面密度分别为  $\sigma_1$  和  $\sigma_2$ 。则  $\sigma_1/\sigma_2$  为



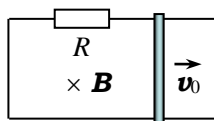
- (A)  $d_1/d_2$ ; (B)  $d_2/d_1$ ;  
(C) 1; (D)  $d_2^2/d_1^2$ 。

[ ]

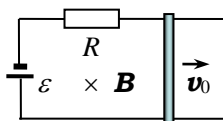
2. (3 分) 图 (a)、(b)、(c) 中除导体棒可动外, 其余部分均固定, 不计摩擦, 导体棒、导轨和直流电源的电阻均可略, 各装置都在水平面内, 匀强磁场  $B$  的方向垂直纸面向里。设导体棒的初始速度为  $v_0$ 。有可能在一直向右运动过程中最终达到匀速 (不包括静止) 状态的是



(a)



(b)



(c)

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

[ ]

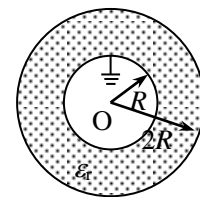
3. (3 分) 一球形电容器中间充有均匀介质, 该介质缓慢漏电, 在漏电过程中, 传导电流产生的磁场为  $B_c$ , 位移电流产生的磁场为  $B_d$ , 则

- (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）

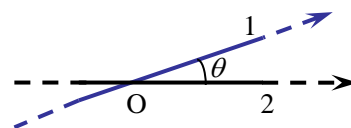
1. (9 分) 如图所示，有一半径为  $R$  的金属球，外面包有一层相对介电常数  $\epsilon_r=2$  的均匀电介质壳，壳内、外半径分别为  $R$  和  $2R$ ，介质内均匀分布着电量为  $q_0$  的自由电荷，金属球接地。试求：



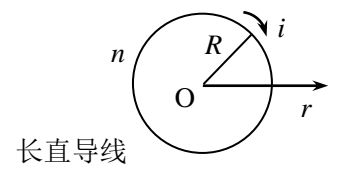
(1) 金属球所带电量？

(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  $\theta$ ，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。

## 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\_\_\_\_\_， $v$  的大小为\_\_\_\_\_。

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\_\_\_\_\_。

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\_\_\_\_\_eV，发射波长的不确定度为\_\_\_\_\_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\_\_\_\_\_。

5. (3 分) 由  $6 \times 10^{23}$  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\_\_\_\_\_eV；发出光电子的最大动能为\_\_\_\_\_eV。（假设不考虑轨道简并，只考虑自旋简并）

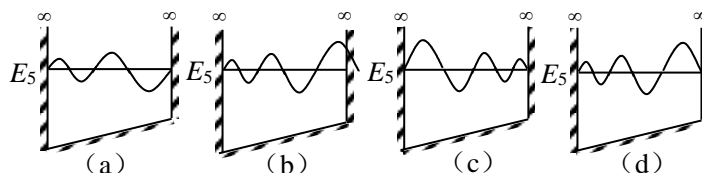
二、选择题（共 6 分，单选，每题 3 分，将答案写在试卷上指定的方括号“[ ]”内）

1. (3 分) 静止的氢原子吸收能量为  $h\nu$  的光子后，由基态跃迁至第一激发态。把该过程看作是具有一定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) -13.6eV; (D) 3.4 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)。

[ ]

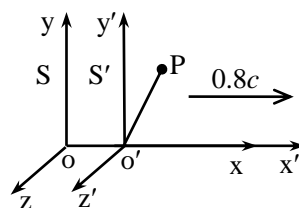
三、计算题（共 16 分，将答案写在试卷空白处）

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  $60^\circ$ ，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

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

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

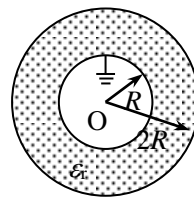
金属球接地, 即表示金属球与无限远等电势, 于是有

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

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

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

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

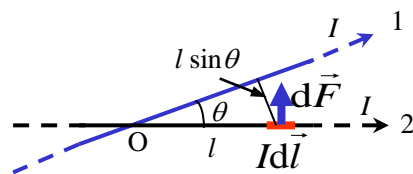


2. (9 分) 解: 在任一根导线上(如导线 2)取一线元  $dl$ , 该线元距 O 点为  $l$ , 导线 1 在该处的磁感应强度为

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

电流元  $I dl$  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  $q$ ,

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

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

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

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

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

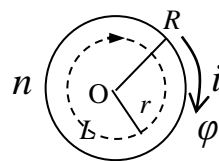
$$\text{故电场能量增加的速率: } P_e = \frac{\partial W_e}{\partial t} = \frac{1}{2C} \frac{dq^2}{dt} = \frac{q}{C} \frac{dq}{dt}; \quad \therefore P_s = P_e \quad \text{证毕} \quad (1 \text{ 分})$$



3. (9分) 解: (1) 由题意可知  $\vec{E}_{\text{感}} = E_{\text{感}}(r) \cdot \vec{e}_{\varphi}$ ;  $\vec{e}_{\varphi}$  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

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



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

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

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

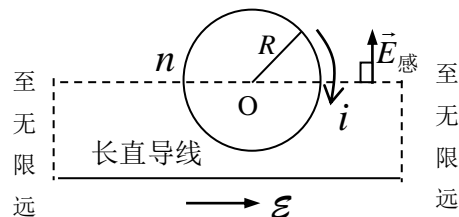
$$r > R: \quad E_{\text{感外}} \cdot 2\pi r = -\frac{d\Phi}{dt} = -\pi R^2 \cdot \mu_0 n k$$

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

(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  $\mathcal{E}$ :

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

