课程代号：HO180121　　　　北京理工大学 2018－2019 学年第一学期

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 $\varepsilon_0 = 8.85\times10^{-12}\ \mathrm{C^2\cdot N^{-1}\cdot m^{-2}}$，　　真空磁导率 $\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}\ \mathrm{N\cdot A^{-2}}$，

普朗克常量 $h = 6.63\times10^{-34}\ \mathrm{J\cdot s}$，　　基本电荷 $e = 1.60\times10^{-19}\ \mathrm{C}$，

电子质量 $m_e = 9.11\times10^{-31}\ \mathrm{kg}$，　　质子质量 $m_p = 1.67\times10^{-27}\ \mathrm{kg}$.

模块三 电磁学(63 分)

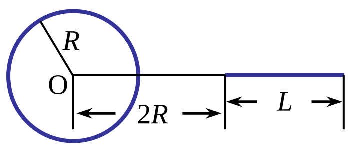
一、填空题（共 21 分，每题 3 分，将答案写在试卷指定的横线“______”上）

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____

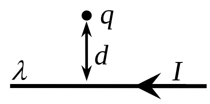
____。

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）

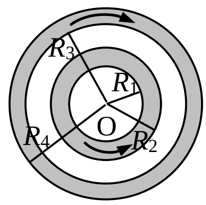


4.（3 分）两个相同的空气电容器，电容都是 900uF，分别充电到 900V 电压后切断电源，若把一个电容器浸入介电常数为 2.0 的煤油中，再将两电容并联。则并联过程中损失的能量为________________J；损失的能量转化为________________________________。

5.（3 分）一个带电量为 $q>0$ 的粒子以速度 υ 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 υ =________________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。



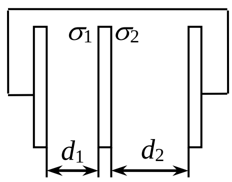
6.（3 分）如图所示，两个共面的平面带电圆环，其内外半径分别为 R_1、R_2 和 R_3、R_4，外圆环以每秒钟 n_2 转顺时针转动，内圆环以每秒钟 n_1 转逆时针转动，若两圆环电荷面密度均为 σ，则 n_1/n_2 为___________________时，圆心 O 处的磁感应强度为零。



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

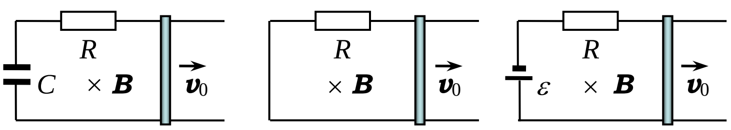


(A) d_1/d_2；　　(B) d_2/d_1；

(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 $\boldsymbol{B}$ 的方向垂直纸面向里。设导体棒的初始速度为 $\boldsymbol{\upsilon}_0$。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 $\boldsymbol{B}_c$，位移电流产生的磁场为 $\boldsymbol{B}_d$，则

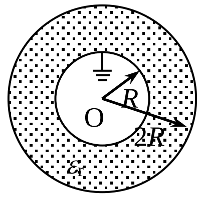
(A) $\boldsymbol{B}_c\neq0$，$\boldsymbol{B}_d=0$；　　(B) $\boldsymbol{B}_c=0$，$\boldsymbol{B}_d\neq0$；

(C) $\boldsymbol{B}_c=\boldsymbol{B}_d=0$；　　(D) $\boldsymbol{B}_c=\boldsymbol{B}_d\neq0$。

[　　]

三、计算题（共 33 分，将答案写在试卷空白处）

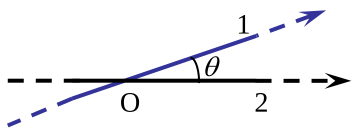
1.（9 分）如图所示，有一半径为 R 的金属球，外面包有一层相对介电常数ε_r=2 的均匀电介质壳，壳内、外半径分别为 R 和 $2R$，介质内均匀分布着电量为 q_0 的自由电荷，金属球接地。试求：

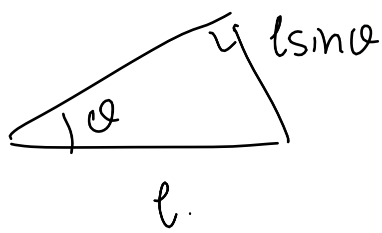


（1）金属球所带电量？

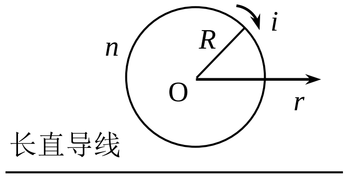
（2）介质壳外表面的电势？（设无穷远电势为零）

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 $\vec{E}_{感内}$ 和 $\vec{E}_{感外}$。

（2）长直导线中的感应电动势 $\mathcal{E}$ 的大小，并指明其方向。

(1) $\Phi = \mu_0 n I S = \mu_0 n k t \pi R^2$ $\quad \because \oint E_{感内} dl = \frac{d\Phi}{dt} = \mu_0 n k \pi r^2 = E_{感内} 2\pi r$

$\therefore E_{感内} = \frac{\mu_0 n k r}{2}$

$E_{感外} = -\frac{R^2}{2r}\mu_0 n k$

(2) $\mathcal{E} = \int_l E_{感外} \cos\theta \, dl = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} E_{感外} \cos\theta \frac{r\,d\theta}{\cos\theta}$

$= \frac{1}{2}\pi R^2 \mu_0 n k$

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。

$l = l'\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \rightarrow \frac{\sqrt{3}}{3}$ S $u = \frac{\sqrt{6}}{3}c$ $\sqrt{3}a$ P v

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 υ 作匀速运动，且 υ 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 υ 的方向为__沿一条高的方向__，υ 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__。

$\Delta E \geq \frac{\hbar}{\Delta t}$

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__$6.6\times10^{-8}$__eV，发射波长的不确定度为__$1.84\times10^{-5}$__nm。

$E = \frac{hc}{\lambda}$

$\Delta E = \frac{hc}{\lambda^2}\Delta\lambda$

$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{hc}\Delta E$

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

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

$\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{a}}$

$n=\sqrt{3}$

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__$\frac{1}{4}$__。 $f(x) = |\psi_2(x)|^2$

$1N_A$

5.（3 分）由 6×10^{23} 个钠原子（电子组态 $1s^22s^22p^63s^1$）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 1.00×10^{-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）

$p = \frac{h\nu}{c}$

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 = 1.67×10^{-27}kg）；

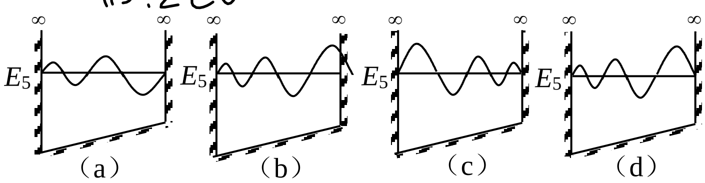
$K_H = \frac{p^2}{2m} = \frac{(10.2eV)^2}{2mc^2}$

(A) 10.2 eV； (B) 5.54×10^{-8} eV； (C) −13.6eV； (D) 3.4 eV。

[B]

$\frac{13.6eV}{1^2} - \frac{13.6eV}{2^2} = 10.2eV$

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） （b） （c） （d）

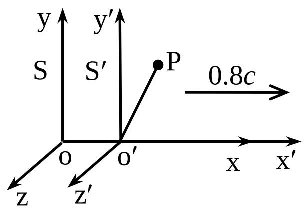
(A) 图（a）； (B) 图（b）；

(C) 图（c）； (D) 图（d）。

[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：$x'=\dfrac{x-ut}{\sqrt{1-u^2/c^2}}$，$y'=y$，$z'=z$，$t'=\dfrac{t-ux/c^2}{\sqrt{1-u^2/c^2}}$）

(1) $x' = \frac{c}{2}t'\cos 60°$　　$y' = \frac{c}{2}t'\sin 60°$　　$t' = \dfrac{t-\frac{0.8cx}{c^2}}{\sqrt{1-\left(\frac{(0.8c)^2}{c^2}\right)}}$

$\dfrac{x-ut}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}} = \dfrac{c}{2}\cdot\dfrac{t-\frac{ux}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}$　　$x=0.875ct$，同理 $y=0.217ct$.

(2). $\dfrac{dx}{dt}=0.875c$　　$\dfrac{dy}{dt}=0.217c$　　$\therefore v=\sqrt{(0.875c)^2+(0.217c)^2}$

$=0.9c$

轨迹为直线

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。

$$\begin{cases} h\nu_0 = h\nu + E_K \\ \dfrac{h\nu_0}{c} = \dfrac{h\nu_1}{c} + p_e \end{cases} \Rightarrow h\nu_0 = \frac{E_k}{2} + \frac{cp_e}{2}$$

又 $c^2p_e^2 = E^2 - m^2c^4 = (mc^2+E_K)^2 = E_K^2 + 2m_0c^2E_K$

$h\nu_0 = \dfrac{E_k}{2}\left(1+\sqrt{1+2m_0c^2/E_k}\right)$.

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

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

4. 60.8J；　　介质的动能，最后通过摩擦转化为热能（内能）

5. $\dfrac{\lambda}{\varepsilon_0\mu_0 I}$；　电流　　　　6. $\dfrac{n_1}{n_2}=\dfrac{R_4-R_3}{R_2-R_1}$　　　　7. $\dfrac{\sqrt{3}}{2}\mu_0 nS$，　$\dfrac{1}{2}\mu_0 nSI^2$

二、选择题（每题 3 分，共 9 分）

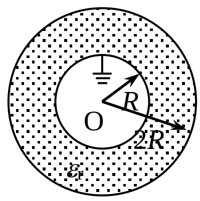
B　　A　　C

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

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

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



金属球接地，即表示金属球与无限远等电势，于是有

$$\int_{2R}^{R}E_1\mathrm{d}r=\int_{2R}^{\infty}E_2\mathrm{d}r \qquad （2 分）$$

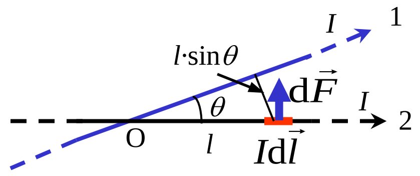
$$\frac{1}{8\pi\varepsilon_0}\int_{2R}^{R}\left(\frac{q}{r^2}+\frac{q_0 r}{7R^3}-\frac{q_0}{7R^2}\right)\mathrm{d}r=\frac{q+q_0}{4\pi\varepsilon_0}\int_{2R}^{\infty}\frac{dr}{r^2}$$

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

（2）介质壳外表面的电势为　$\varphi=\int_{2R}^{\infty}E_2\mathrm{d}r=\dfrac{5q_0}{168\pi\varepsilon_0 R}$　　　　（2 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

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



电流元 $I\cdot\mathrm{d}l$ 受到的磁力为

$$\vec{F}=I\mathrm{d}\vec{l}\times\vec{B} \qquad （1\text{ 分}）$$

$$\mathrm{d}F=IB\cdot\mathrm{d}l=\frac{\mu_0 I^2\cdot\mathrm{d}l}{2\pi l\cdot\sin\theta}$$ 方向：垂直于导线 2 向上 （2 分）

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

任一段单位长度的导线所受磁力对 O 点的力矩为

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

4.（6 分）证：设 t 时刻电容器带电量为 q，

平行板电容器内电场强度为 $E=\dfrac{q}{\varepsilon_0\pi a^2}$ （1 分）

磁场强度为 $H=\dfrac{I_\mathrm{d}}{2\pi a},I_\mathrm{d}=\dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$ （1 分）

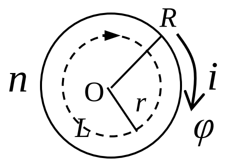
能流密度矢量 $S=EH=\dfrac{q}{2\pi^2a^3\varepsilon_0}\dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$ （1 分）

流入电容器的能量速率：$P_S=2\pi arS=\dfrac{qr}{\pi a^2\varepsilon_0}\dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}=\dfrac{q}{C}\dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$， C 为电容器的电容 （1 分）

因电容器的电场能为 $W_e=\dfrac{q^2}{2C}$ （1 分）

故电场能量增加的速率：$P_e=\dfrac{\partial W_e}{\partial t}=\dfrac{1}{2C}\dfrac{\mathrm{d}q^2}{\mathrm{d}t}=\dfrac{q}{C}\dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$； $\therefore P_S=P_e$ 证毕 （1 分）

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

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

$$B=\mu_0 ni=\mu_0 nkt$$ （1 分）

$r<R$： $$E_{感内}\cdot 2\pi r=-\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}=-\pi r^2\cdot\mu_0 nk$$

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

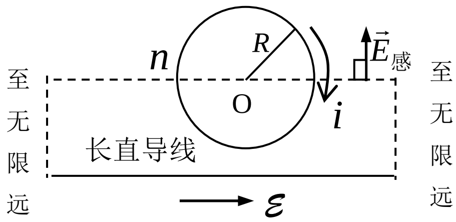
$r>R$： $$E_{感外}\cdot 2\pi r=-\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}=-\pi R^2\cdot\mu_0 nk$$

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

$$\mathcal{E}=-\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{\pi R^2}{2}B\right)=-\frac{1}{2}\pi R^2\mu_0 nk$$ （3 分）

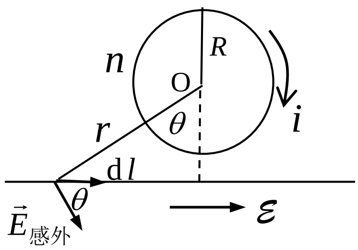
$\mathcal{E}$ 的指向如图所示。 （1 分）



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

$$\mathcal{E}=\int E_{感外}\cos\theta\cdot\mathrm{d}l=\int_{-\pi/2}^{\pi/2}E_{感外}\cos\theta\cdot\frac{r\mathrm{d}\theta}{\cos\theta}$$

$$=\int_{-\pi/2}^{\pi/2}\frac{R^2\mu_0 nk}{2}\mathrm{d}\theta=\frac{1}{2}\pi R^2\mu_0 nk$$



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；$\sqrt{2/3}c = 2.45\times10^{8}\,\mathrm{m/s}$

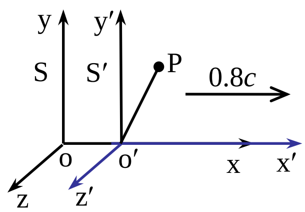
2. 德布罗意波是几率波，波函数不表示某实在物理量在空间的波动，其振幅无实在的物理意义。 3. 6.6×10^{-8} ； 1.85×10^{-5} 4. 0.25

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 $\mathrm{o'P} = \frac{c}{2}t'$， 即 $x' = \frac{c}{2}t'\cos60°$， $y' = \frac{c}{2}t'\sin60°$ （3 分）

由洛伦兹变换得

$$\gamma(x-ut) = \frac{c}{2}\gamma(t-\frac{ux}{c^2})\cos60° \text{ 和 } y = \frac{c}{2}\gamma(t-\frac{ux}{c^2})\sin60°，\ \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-u^2/c^2}}，\ u=0.8c$$

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 $\upsilon_x = 0.875c$， $\upsilon_y = 0.217c$，

在 S 系中，质点 P 的运动速度大小为 $\upsilon = \sqrt{\upsilon_x^2+\upsilon_y^2} \approx 0.9c$； （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 θ =π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：

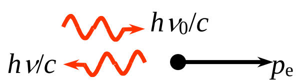
$$h\nu_0 = h\nu + E_k \qquad ① \qquad （2 分）$$

由动量守恒有：

$$\frac{h\nu_0}{c} = -\frac{h\nu}{c} + p_e \qquad ② \qquad （2 分）$$

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：

$$c^2p_e^2 = E^2 - m_0^2c^4 = (m_0c^2+E_k)^2 - m_0^2c^4 = E_k^2 + 2m_0c^2E_k \qquad （1 分）$$

入射光子的能量为 $h\nu_0 = \frac{E_k}{2}\left(1+\sqrt{1+2m_0c^2/E_k}\right)$ （1 分）