

2022-2023春季学期 普通物理I-2期末模拟

可能用到的常数和单位换算

$$\hbar c \simeq 197 \text{MeV} \cdot \text{fm} = 197 \text{eV} \cdot \text{nm}$$

$$\text{精细结构常数 } \alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c} \simeq \frac{1}{137}$$

$$1 = 10^9 \text{nm} = 10^{10} \text{\AA} = 10^{15} \text{fm}$$

$$1 \text{MeV} = 10^3 \text{keV} = 10^6 \text{eV}$$

一、单选及多选题（共10题，每题3分，共30分）

1. 关于电学规律，下列说法中**错误**的是

- A. 积分形式高斯定律仅在具有特定对称性的高斯面上成立
- B. 一个梯度的旋度永远是0， $\nabla \times \nabla f \equiv 0$ ，因此静电场总可以用电势来描述
 $\vec{E} = -\nabla\phi$
- C. 库仑定律仅适用于描述静电场，而高斯定律是一个普遍的经典电磁学规律，适用于任何电场
- D. 一个变化磁场感应出的电场无法写成电势梯度的形式
- E. 以上皆对

2. 一带正电 Q 的金属球浸在相对电容率为 ϵ_r 的油中。则油中任一点距离金属球心为 r 的电场大小 $E \equiv |\vec{E}|$ 及贴近金属球表面的油面上的束缚电荷电量 Q' 为：

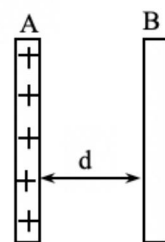
- A. $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r^2}, -\left(1 - \frac{1}{\epsilon_r}\right)Q$
- B. $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}, \left(1 - \frac{1}{\epsilon_r}\right)Q$
- C. $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r^2}, -Q$
- D. $0, -\left(1 - \frac{1}{\epsilon_r}\right)Q$

3. 关于电流，下列说法中**错误**的是

- A. 电流密度在面元 $d\vec{S}$ 上的通量是流过这个面元的电流，当这个面元垂直于电流密度时通过面元的电流最大

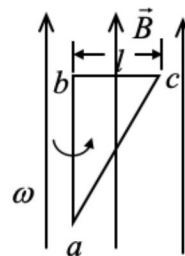
- B. 电流密度 \vec{J} 与电荷密度 ρ 的变化率存在关系 $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{J} = 0$ ，它说明电荷不能从一点消失的同时在另外一个相距有限距离的另一点出现
- C. 如果一个电流是恒定的，流入任何一个闭合曲面必然等于流出这个曲面的电流
- D. 恒定电流可以在有限大空间中始于某一点，终于另一点
- E. 以上皆对

4. 如图所示，把一块原来不带电的金属板B，移到已带有正电荷Q的金属板A附近平行放置。设两板面积都是S，板间距离是d，忽略边缘效应。记B板不接地时两板间电势差为 V_{AB} ，B板接地时电势差为 V'_{AB} ，则



- A. $V_{AB} = \frac{Qd}{\epsilon_0 S}$, $V'_{AB} = \frac{Qd}{\epsilon_0 S}$ B. $V_{AB} = \frac{Qd}{2\epsilon_0 S}$, $V'_{AB} = \frac{Qd}{\epsilon_0 S}$
- C. $V_{AB} = \frac{Qd}{2\epsilon_0 S}$, $V'_{AB} = \frac{Qd}{2\epsilon_0 S}$ D. $V_{AB} = \frac{Qd}{\epsilon_0 S}$, $V'_{AB} = \frac{Qd}{2\epsilon_0 S}$

5. 如图所示，直角三角形金属框架 abc 放在均匀磁场中，磁场 \vec{B} 平行于 ab 边， bc 的长度为 l 。当金属框架绕 ab 边以匀角速度 ω 转动时， abc 回路中的感应电动势 \mathcal{E} 和 a 、 c 两点间的电势差 $V_{ac} \equiv \phi_a - \phi_c$ 为



- A. $\mathcal{E} = 0$, $V_{ac} = \frac{1}{2}B\omega l^2$ B. $\mathcal{E} = 0$, $V_{ac} = -\frac{1}{2}B\omega l^2$
- C. $\mathcal{E} = B\omega l^2$, $V_{ac} = -\frac{1}{2}B\omega l^2$ D. $\mathcal{E} = B\omega l^2$, $V_{ac} = \frac{1}{2}B\omega l^2$

6. 关于双缝干涉实验，下列说法中**错误**的是

- A. 当双缝的距离远大于电子德布罗意波长时，电子的干涉现象不明显，此时电子更像一个经典粒子
- B. 干涉现象是粒子波动性的体现
- C. 如果在双缝上安排一个探测器确定电子经过的是哪一个狭缝，此时电子的干涉图样会消失
- D. 在一个仪器都足够灵敏的光双缝干涉实验中，如果慢慢调低光源的亮度，荧光屏上的干涉条纹会始终存在，直至渐变地消失
- E. 以上皆对

7. 关于量子力学中的叠加原理，下列说法中**错误**的是

- A. 叠加原理是量子力学中的基本原理，它反映了薛定谔方程是线性方程的实质

B. 叠加原理的含义是，如果反映粒子的两个不同状态的波函数 Ψ_1 和 Ψ_2 是薛定谔方程的两个解，那么它们的线性组合 $a\Psi_1 + b\Psi_2$ 必然也是这个薛定谔方程的解

C. 如果一个粒子处于状态 Ψ_1 时，某一观测量 A 有确定的观测值 a_1 ，处于状态 Ψ_2 时同一观测量 A 有一不同但也确定的观测值 a_2 ，那么粒子处于叠加态 $a\Psi_1 + b\Psi_2$ 时，对同一观测量 A 的观测值不确定，有 $|a|^2$ 的几率观测到 a_1 ，有 $|b|^2$ 的几率观测到 a_2

D. 当一个粒子的状态由波函数 Ψ_1 描述时，它在 t_0 时刻处于位置 x 的几率密度 为 $|\Psi_1(x, t_0)|^2$ ，当它处于波函数 Ψ_2 ，在 t_0 时刻处于位置 x 的几率密度 为 $|\Psi_2(x, t_0)|^2$ ，则当它处于叠加态 $\Psi_1 + \Psi_2$ 时，在 t_0 时刻处于位置 x 的几率密度 为 $|\Psi_1(x, t_0) + \Psi_2(x, t_0)|^2$

E. 以上皆对

8. 光子能量为0.5 MeV的X射线，入射到某种物质上而发生康普顿散射．若反冲电子的能量为0.1 MeV，则散射光波长的改变量 $\Delta\lambda$ 与入射光波长 λ_0 之比为

A. 0.20 B. 0.25 C. 0.30 D. 0.35

9. 根据能量守恒与电荷守恒，下列衰变可以发生的是：

A. ${}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{231}\text{Th} + \alpha$ B. ${}_{88}^{224}\text{Ra} \rightarrow {}_{86}^{219}\text{Rn} + \alpha$

C. $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$ D. $\bar{n} \rightarrow \bar{p} + e^- + \bar{\nu}_e$

10. (多选题) 关于原子中的电子下列说法正确的是

A. 一个处于束缚态的粒子其能级总是分立的，因此原子核外电子有分立的能谱

B. 当电子处于主壳层 $n = 2$ 时，它有可能具有大小为 $-2\hbar$ 的确定角动量 z 分量

C. 一个处于电子组态 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4 4p^1$ 的氯原子(原子序数17)处于激发态

D. $5f$ 壳层上最多可以容纳9个电子

E. 电子之所以不会掉入原子核中心而有一个稳定的最低能级，是不确定性原理的一种体现

F. 以上皆错

二、填空题 (共7题, 共20分)

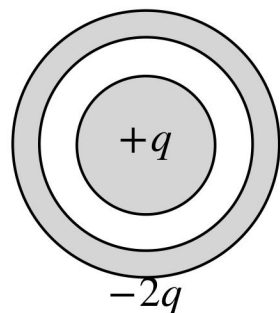
1. (2分) 一个均匀线性电介质 (介电常数 ϵ) 中有均匀恒定电场 \vec{E} ，则电介质内部的体束缚电荷密度为_____。

资料由公众号【工大喵】收集整理并免费分享

2. (2分) 如图所示, 在半径为 a 的无限长薄壁导体管上, 沿轴向割去一宽度为 d ($d \ll a$) 的无限长窄条, 再沿轴向均匀地通上电流, 面电流密度为 K , 轴线上磁场_____。

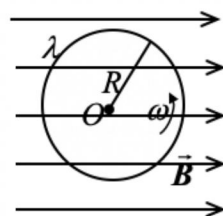


3. (4分) 如图所示, 一导体球外套一同心导体球壳, 内球带电荷 $+q$, 外球壳带电荷 $-2q$ 。静电平衡时, 外球壳的电荷分布为: 内表面_____; 外表面_____。现将两导体用导线相连, 静电平衡时, 外球壳的电荷分布为: 内表面_____; 外表面_____。



4. (4分) 为了使平行板电容器获得尽可能大的电容, 你可以采取哪些办法_____。

5. (2分) 如图, 均匀磁场中放一均匀带正电荷的圆环, 其线电荷密度为 λ , 圆环可绕通过环心 O 与环面垂直的转轴旋转。当圆环以角速度 ω 转动时, 圆环受到的磁力矩大小为_____。



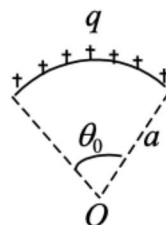
6. (4分) 一个被冷却到几乎静止的氢原子从 $n = 5$ 的状态跃迁到基态时发射的光子波长为_____ nm, 氢原子的反冲速度大约为_____倍光速。

7. (2分) 一个质量为 1kg , 以一米每秒速度 (约为光速的 3.3×10^{-9} 倍) 运动的宏观物体的德布罗意波长为_____ ($1\text{kg} \simeq 5.6 \times 10^{35} \text{eV}/c^2$)。

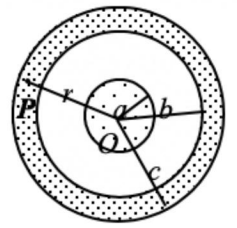
三、计算题 (共5题, 共 50分+附加10分)

(要求: 画图, 指明坐标系, 标明未知量, 注意矢量符号, 利用建立的坐标系标记矢量的方向, 注明利用什么对称性)

1. (10分) 一段半径为 a 的细圆弧, 对圆心的张角为 θ_0 , 其上均匀分布有正电荷 q , 如图所示。试以 a , q , θ_0 表示出圆心 O 处的电场 \vec{E} 与电势 ϕ 。

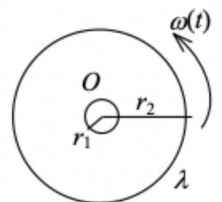


2. 如图所示，一半径为 a 的带电金属球，其电荷面密度为 σ 。球外同心地套一内半径为 b 、外半径为 c 的均匀线性电介质球壳，其介电常量为 ϵ 。试求：



- (1) (5分) 介质球壳内距离球心为 r 处的 P 点的电场；
 (2) (5分) 金属球的电势（设无限远处的电势为零）。

3. 如图所示，一半径为 r_2 电荷线密度为 λ 的均匀带电圆环，里边有一半径为 r_1 总电阻为 R 的导体环，两环共面同心($r_2 \gg r_1$)，当大环以变角速度 $\omega = \omega(t)$ 绕垂直于环面的中心轴旋转时，求：



- (1) (5分) 大环的电流产生的磁矩表达式；
 (2) (5分) 小环中的感应电流，其方向如何 (忽略自感)?

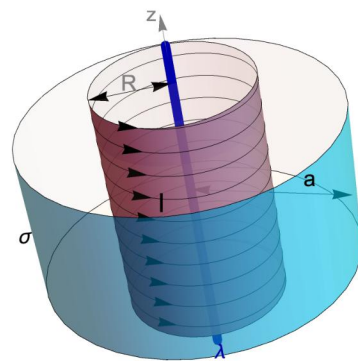
4. 如图，一通电 I 的长螺线管 (n 匝每单位长度) 中插入一根带电长直导线 (电荷密度 λ)

(1) (3分) 求螺线管内的电场 \vec{E} 和磁场 \vec{B}

(2) (2分) 求能流密度矢量 \vec{S} ?

(3) (3分) 现在通电螺线管外套入一个可绕 z 轴自由转动的柱形绝缘长套 (半径 a)，套上均匀带电，电荷的面密度为 $\sigma = -\frac{\lambda}{2\pi a}$ ，当缓慢关掉电流时，绝缘套会开始旋转，最终每单位长度的绝缘套获得角动量 $\vec{l} = ?$

(4) (2分) 这个问题看上去破坏了角动量守恒，怎么理解这件事?



5. (10分+10分) 根据Weizsäcker提出的液滴模型，原子核的结合能满足半经验公式：

$$B = a_V A - a_S A^{2/3} - a_C Z^2 A^{-1/3} - a_A \frac{(Z - A/2)^2}{A} + \frac{(-)^Z + (-)^N}{A} a_P A^{-1/2}$$
，其中重要的是前四项，即**体积能**、**表面能**、**库仑能**和**不对称能**。请利用学过的电磁学规律验证库仑能的上述形式并估计 a_C 的大小。对原子核 ${}_Z^A X$ ，假设正电荷连续均匀地分布在球状原子核中，设原子核半径为 R (提示： $R = r_0 A^{1/3}$, r_0 为经验常数)

(1) (3分) 原子核内外的电场?

(2) (3分) 全空间内的总电场能?

(3) (4分) 现在你能证明半经验公式中的库仑能具有上面的表达式了 (注意：库仑能是负的是因为原子核电荷分布产生的总电场能可被看成是原子核固有能量的一部分，注意结合能 B 与原子核固有能量 (即静能量 $m_X c^2$) 之间存在关系

$B = A m_N c^2 - m_X c^2$) 你可以代入数值估计 a_C 的大小，以 MeV 为单位把它写出来。

其中参数 $r_0 = 1.2 \text{ fm}$ 。另外估值时需要利用精细结构常数 $\alpha \simeq \frac{1}{137}$ 。

- (4) (附加问10分) 利用结合能的半经验公式验证重核 ${}_Z^AX$ 裂变到它一半大小的核从能量上可能的条件 $Z^2/A \gtrsim 18$ 。
- a. (5分) 设裂变成两个相同子核 ${}_{Z/2}^{A/2}Y$, 你需要利用半经验公式计算裂变后每个原子核 Y 的结合能 $B(Y)$ 及裂变前原子核 X 的结合能 $B(X)$, 注意: 公式中的第五项**配对能**可忽略。
 - b. (3分) 若这一裂变过程可以发生, 反应释放能量 Q 需要大于0, 释放的能量 Q 即裂变前后的束缚能差 $Q = 2B(Y) - B(X)$, 利用上一问得到的结合能表达式, 你可以由能量条件 $Q > 0$ 推出条件 $Z^2/A \gtrsim 18$ 了 (利用数值: $a_S = 18.3 \text{ MeV}$, $a_C = 0.72 \text{ MeV}$)
 - c. (2分) 按照这一计算, 你日常看到的贵金属 (金、银、铂金等) 都不能稳定存在, 显然事实不是这样。试定性找出它们能稳定存在的原因?