

原子物理 第一章 小测验试题

姓名:

学号:

题号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
答案										

- 原子半径的数量级为:
A. 10^{-8} m **B. 10^{-10} m** C. 10^{-12} m D. 10^{-15} m
- 原子核式结构模型的提出是为了解释 α 粒子散射实验中:
A. 绝大多数散射角近 180° B. α 粒子只偏 $2^\circ \sim 3^\circ$
C. 以小角散射为主, 也存在大角散射 **D. 以大角散射为主, 也存在小角散射**
- 在弗兰克-赫兹实验中, 通过改变加速电压来观察收集极电流的变化。当加速电压增加到某一特定值时, 板极电流会突然下降, 这一现象直接证明了什么?
A. 电子具有波粒二象性 **B. 原子内部存在不连续的能量定态**
C. 原子核由质子和中子构成 D. 光电效应的存在
- 用电子轰击原先静止的基态氢原子, 欲使氢原子激发并发出 H_α 线(巴尔末第一条谱线), 电子的动能至少为:
A. 1.9 eV B. 10.2 eV **C. 12.09 eV** D. 13.6 eV
- 根据玻尔原子模型, 基态氢原子的电子围绕原子核运动一周所需要的时间量级为:
A. 10^{-15} s **B. 10^{-16} s** C. 10^{-17} s D. 10^{-18} s
- 氦原子和锂原子的里德伯态从 $n = 109$ 到 $n = 108$ 的跃迁发出的光子能量之比 $h\nu_{\text{H}} / h\nu_{\text{Li}}$ 约等于:
A. 1/4 B. 1/2 **C. 1** D. 4 n 足够大时, 看到的原子实电荷数相同, 忽略原子实质量带来的微小差异
- 一束强度为 I_0 、横截面为 A 的均匀 α 粒子束, 垂直入射到一很薄的金箔上。已知金箔厚度为 t , 数密度为 N , 当碰撞参量为 b 时, 散射角为 θ , 则 $I_0 A N t 2\pi b \, db$ 等于:
A. 单位时间内被金箔散射、且散射角为 θ 的 α 粒子数
B. 单位时间内被金箔散射、且散射角处于 $\theta \sim \theta + d\theta$ 之间的 α 粒子数
C. 单位时间内被金箔散射、且散射角为 θ 处的单位立体角内的 α 粒子数 注意 db 的方向与散射角方向相反
D. 单位时间内被金箔散射、且散射角处于 $\theta \sim \theta + d\theta$ 之间的 α 粒子数
- 依照玻尔理论, 氢原子各定态的总能量 E_n 、角动量 l_n 、电子轨道半径 r_n 及线速度 V_n 与量子数 n 的关系依次如下:
A. $E_n \propto n^{-2}$, $l_n \propto n^{-1}$, $r_n \propto n^2$, $V_n \propto n$
B. $E_n \propto n^{-2}$, $l_n \propto n$, $r_n \propto n^2$, $V_n \propto n^{-1}$
C. $E_n \propto n^2$, $l_n \propto n$, $r_n \propto n^{-2}$, $V_n \propto n^{-1}$
D. $E_n \propto n^2$, $l_n \propto n$, $r_n \propto n^2$, $V_n \propto n^{-1}$
- 将基态 He^+ 离子剥离成裸核, 需要的能量为:
A. 13.6 eV B. 27.2 eV C. 24.6 eV **D. 54.4 eV**
- 正电子与电子相遇可形成一种类氢结构的“电子偶素”, 其电离能等于:
A. 13.6 eV B. 10.2 eV **C. 6.8 eV** D. 5.1 eV

原子物理 第二章 小测验试题

姓名:

学号:

题号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
答案										

- 如果粒子以低速($v \ll c$)运动时, 德布罗意波长为 λ , 当它的动能增至原来的 2 倍时, 其德布罗意波长应为:
A. 2λ B. $\lambda/2$ C. $\lambda/\sqrt{2}$ D. $\sqrt{2}\lambda$
- 在经典理论中, 波和粒子是两个完全独立的概念, 而在量子力学中认为实物粒子具有波粒二象性, 即认为波和粒子可统一起来, 这个统一应理解为:
A. 粒子的定域性和波的广延性 B. 粒子的轨道和波的周期性变化
C. 粒子的颗粒性和波的叠加性 D. 粒子和波都能传递能量
- 将基态 He^+ 离子剥离成裸核, 需要的能量为:
A. 13.6 eV B. 27.2 eV C. 24.6 eV D. 54.4 eV
- 依照玻尔理论, 氢原子各定态的总能量 E_n 、角动量 l_n 、电子轨道半径 r_n 及线速度 V_n 与量子数 n 的关系依次如下:
A. $E_n \propto n^{-2}$, $l_n \propto n^{-1}$, $r_n \propto n^2$, $V_n \propto n$ B. $E_n \propto n^{-2}$, $l_n \propto n$, $r_n \propto n^2$, $V_n \propto n^{-1}$
C. $E_n \propto n^2$, $l_n \propto n$, $r_n \propto n^{-2}$, $V_n \propto n^{-1}$ D. $E_n \propto n^2$, $l_n \propto n$, $r_n \propto n^2$, $V_n \propto n^{-1}$
- 对波函数的下列描述, 其中不正确的是:
A. 波函数是对概率密度的一种描述;
B. 波函数是对粒子统计行为的一种描述;
C. 波函数必须是有限、连续、单值的;
D. 由于粒子在整个空间找到的概率为 1, 因而波函数绝对值不能大于一。
- 在中心力场中运动的粒子的能量本征值仅由径向方程决定, 因此:
A. 与角动量无关 B. 与角动量的 Z 分量无关
C. 与粒子的轨道运动无关 D. 与粒子的角动量量子数无关
- 在不同中心力场中运动的粒子, 它们的定态波函数的差别:
A. 仅仅在于径向部分, 由势场决定 B. 仅仅在于角度部分, 与势场无关
C. 不大 D. 仅仅在于径向部分, 与势场无关
- 在量子力学中, 处在波函数 ψ 描述的状态中的粒子, 其任何一个力学量 A 的平均值可以写成:
A. $\bar{A} = (\psi^*, \hat{A}\psi)$ B. $\bar{A} = \int \psi^* \hat{A} \psi d\tau$ C. $\bar{A} = (\psi, \hat{A}\psi^*)$ D. $\bar{A} = \int \psi \hat{A} \psi d\tau$
- 一个电子被限制在 x 与 $x+\Delta x$ 处两个不可穿透的墙之间, $\Delta x=0.05\text{nm}$, 则电子的最低能量为:
A. 0.2 eV B. 1.5 eV C. 15 eV D. 150 eV

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

$$E = \frac{\pi^2 (\hbar c)^2}{2mc^2 a^2} = \frac{\pi^2 (197 \text{ eV nm})^2}{2 \times 0.511 \text{ MeV} \times (0.05 \text{ nm})^2} \sim 150 \text{ eV}$$

$$\text{利用驻波条件 } p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h}{2a}, \quad E = \frac{p^2}{2m} = \frac{h^2}{8ma^2}$$

10. $t=0$ 时刻，一基态氚原子 (^3H) 通过放出 β 射线衰变为氦离子 ($^3\text{He}^+$)，以下关于氦离子中电子的状态波函数说法正确的是：
- A. $t=0$ 时刻为氢原子基态， $t>0$ 时刻为氦原子基态
 - B. $t=0$ 时刻为氢原子基态， $t>0$ 时刻为氦原子基态与各个激发态叠加态
 - C. $t=0$ 时刻为氦原子基态， $t>0$ 时刻为氦原子基态
 - D. $t=0$ 时刻为氦原子基态， $t>0$ 时刻为氦原子基态与各个激发态叠加态

$t=0$ 时刻电子波函数为氢原子本征态，故为氢原子基态； $t>0$ 时刻原子核变为氦核，电子波函数将由氢原子基态波函数演化为氦原子波函数，波函数按照态叠加原理构成

$$\Psi(t>0) = \sum_n c_n \phi_n e^{-iE_n t/\hbar}$$

其中为 ϕ_n E_n 氦原子 n 态的波函数与本征能量， c_n 为展开系数， c_n 通过 $t=0$ 时刻氦原子各个 n 态的波函数与氢原子基态波函数积分得到。

2025-2026 学年第一学期《原子物理学 A》期中考试

姓名：_____ 学号：_____ 得分：_____

一、选择题（6分/题，共30分）

题号	1	2	3	4	5
答案					

- 氯化钾晶体中，氯离子和钾离子沿 x, y, z 三个轴交错占据位置成立方晶体。已知，氯化钾的密度为 $1.984 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，由 X 衍射实验测得相邻离子间距为 0.3138 nm 。氯化钾的分子量为 74.56，由这些数据，我们可以计算出：
A. 普朗克常数 **B. 阿伏加德罗常数** C. 玻尔兹曼常数 D. 原子的玻尔半径
- 碱金属原子一般结构的能级与氢原子能级相比，其特点是：
A. 对应一个主量子数 n 有 n 个能级，且每个能级数值均小于相同 n 的氢原子能级值
B. 对应一个主量子数 n 仍为一个能级，但数值在相同 n 的氢原子能级之下
C. 对应一个主量子数 n 其能级要由 n, l 决定，其能级数值大于相同 n 的氢原子能级值
D. 对应一个主量子数 n 仍为一个能级，但数值在相同 n 的氢原子能级之上
- 基态原子态为 $^5\text{F}_1$ 和 $^3\text{D}_2$ 的中性原子束，按斯特恩-盖拉赫方法，通过极不均匀磁场后各分裂成多少束？
A. 不分裂和 5 束 B. 不分裂和 3 束 C. 3 束和 5 束 D. 11 束和 7 束
- 已知氦原子 (He) 的第一电离能为 24.59 eV ，其基态一电子感受到的等效核电荷数为：
A. 1 B. 2 **C. 1.34** D. 1.81
- 在外磁场中的原子，若外磁场 B 可视为强磁场，则：
A. μ_l 和 μ_s 先耦合成 μ 再与 B 耦合
B. 由于 B 弱使 μ_l 与 μ_s 不能耦合成 μ
C. 由于 B 弱，所以磁场对原子的作用总可忽略
D. μ_l 与 μ_s 分别同 B 耦合，而后形成总附加能

二、填空题（6分/题，共30分）

- 微观粒子的运动状态用波函数 $\psi(x, y, z, t)$ 描述，对波函数的统计解释是：_____；在球坐标下，设粒子的波函数为 $\psi(r, \theta, \varphi)$ ，该粒子在球壳 $(r, r + dr)$ 内被观测到的概率为：_____；在 (θ, φ) 方向立体角元 $d\Omega$ 中找到粒子的概率为：_____。

它的模平方表示微观粒子在 t 时刻，位置 (x, y, z) 处单位体积内出现的概率

$$\int_0^{2\pi} \int_0^\pi |\psi(r, \theta, \varphi)|^2 \sin\theta d\theta d\varphi r^2 dr; \quad [\int_0^\infty |\psi(r, \theta, \varphi)|^2 r^2 dr] \sin\theta d\theta d\varphi$$

2. 若考虑自旋, 氢原子 $n=3$ 的能级简并度为 18。
3. 原子的总角动量为 J , 轨道角动量为 L , 自旋角动量为 S , 其量子数分别为 J, L, S , LS 的表达式为 $\frac{1}{2}[j(j+1) - l(l+1) - s(s+1)]\hbar^2$ 。
4. 在原子中轨道磁距 μ_L 与轨道角动量 L 方向相反, 自旋磁距 μ_S 与自旋角动量 S 的方向相反, 但总磁距 μ_J 与总角动量 J 一般不共线, 这是由于 轨道磁矩与自旋磁矩的旋磁比不相等 的结果。
5. Li 原子($Z=3$) 3S、3P、3D 的谱项依次为: 16280.5cm^{-1} 、 12559.9cm^{-1} 和 12202.5cm^{-1} , 则相应的有效量子数依次为: 2.596, 2.956, 2.999。

$$T = R/(n^*)^2, n^* = \sqrt{R/T},$$

$$R = 109737 \text{ cm}^{-1}.$$

$$2.596, 2.956, 2.999$$

三、计算题 (20 分/题, 共 40 分)

1. μ 子的质量约为电子质量的 208 倍, 除质量不同外, 其余性质均与电子相同。类似于电子偶素, 正负 μ 子也可以形成缪子偶素, 不考虑缪子的衰变, 求缪子偶素的基态能量。如果考虑精细结构, 缪子偶素莱曼系的第一条谱线 (波数最小的谱线) 分裂成几条, 对应的分裂的相邻谱线的波数差是多少?

解:

$$\text{缪子偶素能量 } E_n = -\frac{1}{2}\mu(\alpha C)^2 \frac{Z^2}{n^2}, \text{ 其中 } \mu = \frac{208}{2}m_e \text{ 为缪子偶素的折合质量}$$

$$\text{基态能量 } E_1 = 104 * (-13.6 \text{ eV}) = -1.414 \text{ keV}$$

$$\text{考虑精细结构: } E_{n,j} = E_n - E_n \frac{\alpha^2 Z^2}{n^2} \left(\frac{3}{4} - \frac{n}{j+1/2} \right)$$

莱曼系的第一条谱线对应 $n=2$ (2p) 到 $n=1$ (1s) 跃迁,

2p: $^2P_{3/2, 1/2}$

1s: $^2S_{1/2}$

分裂成两条谱线

$$\text{相邻谱线的波数差 } \Delta\tilde{\nu} = \frac{E_{2, 3/2} - E_{2, 1/2}}{hc} = -\frac{1}{4}\alpha^2 E_2 / hc$$

$$\text{其中 } E_2 = \frac{1}{4} * 104 * (-13.6 \text{ eV}) = -353.6 \text{ eV}, hc = 1240 \text{ eV nm},$$

$$\Delta\tilde{\nu} \approx 37.98 \text{ cm}^{-1}$$

6. 强度和能量均相等的质子束和 α 粒子束分别垂直的入射到相同的金箔 ($Z=79$) 上, 若散射角大于 120° 的质子数为 n_1 , 散射角大于 60° 的 α 粒子数为 n_2 ,

则 $n_1:n_2=\underline{\hspace{1cm}1:36\hspace{1cm}}$ 。

$$\operatorname{ctg}\frac{\theta}{2}=\frac{2b}{D},$$

$$D=\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2Z}{E},$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}=\left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\right)^2\left(\frac{2Ze^2}{4E}\right)^2\frac{1}{\sin^4(\theta/2)}$$

$$\frac{dn}{n}=\frac{d\sigma}{d\Omega}Ntd\Omega$$

$$n\propto \pi b^2\propto z^2\left(\operatorname{ctg}\frac{\theta}{2}\right)^2$$

$$n_1:n_2=1*(\operatorname{ctg}60)^2\quad:\quad2^2*(\operatorname{ctg}30)^2=1*(1/\operatorname{sqrt}(3))^2\quad:\quad4*\operatorname{sqrt}(3)^2\quad=1:36$$

原子物理 第四章 小测验试题

姓名:

学号:

题号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
答案										

1. 氦原子的基态是下列哪个原子态:

- A. 1P_1 B. 3P_0 C. 3S_1 D. 1S_0

2. Mg 原子 ($Z=12$) 的两个价电子可以组成下列哪一电子组态:

- A. $2s3p$ B. $2d3p$ C. $3s3f$ D. $3p4f$

3. 铍原子 ($Z=4$) 处于第一激发态时其电子组态为:

- A. $2s2s$ B. $2s2p$ C. $1s2p$ D. $2s3p$

4. 某原子中三个未满支壳层的电子分别处于 s、p、d 态, 按照 LS 耦合该原子可能有的原子态数应是 (考虑精细结构劈裂):

- A. 7 B. 8 C. 17 D. 18

$$s_1=1/2, s_2=1/2, s_3=1/2$$

$$l_1=0, l_2=1, l_3=2$$

$$S = 1/2, 3/2; \quad 2S+1 = 2, 4$$

$$L=1, 2, 3; \quad P D F$$

$$^2P_{1/2, 3/2}$$

$$^2D_{3/2, 5/2}$$

$$^2F_{5/2, 7/2}$$

$$^4P_{1/2, 3/2, 5/2}$$

$$^4D_{1/2, 3/2, 5/2, 7/2}$$

$$^4F_{3/2, 5/2, 7/2, 9/2}$$

共 17 个

5. μ^- 粒子的质量约为电子的 207 倍, 带电量与电子相同, μ^- 粒子与氮离子 (N^+) 组成的符合体系化学性质类似于:

- A. 硼原子 B. 碳原子 C. 氮原子 D. 氮离子

6. 根据 LS 耦合, 由 $2p4d$ 电子组态所组成的全部可能原子态为

$$A. ^1P_1, ^3P_{2, 1, 0}, ^1F_3, ^3F_{4, 3, 2}$$

$$B. ^1P_1, ^3P_{2, 1, 0}, ^1D_2, ^3D_{3, 2, 1}, ^1F_3, ^3F_{4, 3, 2}$$

$$C. ^1F_3, ^3F_{4, 3, 2}$$

$$D. ^1S_0, ^3S_1, ^1P_1, ^3P_{2, 1, 0}, ^1D_2, ^3D_{3, 2, 1}$$

7. 氩原子为第六周期最后一个原子, 关于其价壳层电子态, 以下正确的是:

- A. 既需要考虑非中心力，也需要考虑自旋轨道相互作用
- B. 只需要考虑非中心力，不需要考虑自旋轨道相互作用
- C. 不需要考虑非中心力，只需要考虑自旋轨道相互作用
- D. 既不需要考虑非中心力，也不需要考虑自旋轨道相互作用

8. 在 LS 耦合下, $2p3p$ 组态可能形成的全部原子态为_____,
 $2p^2$ 组态可能形成的全部原子态为_____, 两者的区别是由于_____。

$^1S_0, ^3S_1, ^1P_1, ^3P_{2,1,0}, ^1D_2, ^3D_{3,2,1}; ^1S_0, ^3P_{2,1,0}, ^1D_2$; 泡利不相容原理

9. 在 LS 耦合下, He 原子 $1s2s$ 激发态可以形成的全部原子态为_____,
 其中能量最低的态为_____, 这是由于_____。

$^1S_0, ^3S_1; ^3S_1$; 全同粒子的交换效应导致三重态的电子空间波函数重叠程度显著小于单重态, 库仑排斥能降低。

10. 由壳层结构理论和洪特定则, 碳原子 ($Z=6$) 基态时的电子组态与原子态分别是_____, _____。

$1s^2 2s^2 2p^2, ^3P_0$