

原子物理 期末试题

(物理学院 本科 2007 级用, 试题共 4 页。时间 2.5 小时。卷面共计 100 分。)

姓名

学号

班级

一、填空。答案按序写在答题纸上, 答案字数与空格长度无关 (每空 1 分, 共 35 分)

1. 前 20 种元素中, 原子的第一电离能最大的是____, 最小的是____。
2. 1895 年____首次发现了 X 射线。 1897 年____通过实验证实了电子的存在。
3. 1911 年____通过____实验提出了原子的核式结构模型。
4. 1914 年的夫兰克-赫兹实验表明了____。1921-1927 年间的戴维逊-革末实验表明了_____。
5. 若氢原子从 $n=7$ 能级开始退激, 在玻尔模型框架内, 共可观测到____条谱线。
6. 对于 Li 原子的 $n=3 \rightarrow n=2$ 跃迁, 考虑电偶极跃迁的选择定则、考虑原子实极化和轨道贯穿效应后, 该跃迁分裂为____条; 进一步考虑自旋轨道相互作用后, 原跃迁分裂为____条。
7. 根据海森堡的不确定关系, 如原子处于某能态的平均寿命为 10^{-7}s , 那么这个能态能量的不确定度的数量级约为____电子伏特。
8. 不考虑相对论效应, 若电子和质子的动能都分别等于它们各自的静止质量能, 则它们的德布罗意波长之比 $\lambda_{\text{电子}} : \lambda_{\text{质子}}$ 约为_____。
9. 价电子为同科 d^8 , 按 LS 耦合可形成的原子态数目有____种, 其中最低能量的原子态为____。价电子组态为 sd 时, 可形成的原子态数目有____种。

10. 双原子分子的价电子组态 $\pi\delta$, 可形成的分子态的数目有____种, 其中 在分子轴方向具有最大总角动量的分子态为_____。
11. 束缚态的物理波函数 Ψ 必须满足的三个基本条件可概括为_____。
12. 作为一种纯粹的假设, 假设电子的固有自旋量子数为 $s=1$, 其它量子力学规律不变, 那么 L 主壳层最多可容纳____个电子。
13. 原子处于 ${}^6G_{3/2}$ 态, 其总轨道磁矩为____ μ_B , 总自旋磁矩为____ μ_B , 总有效磁矩为____ μ_B 。
14. 两个 $J \neq 0$ 的单重态之间的光谱跃迁, 在磁场中发生塞曼效应。垂直于磁场方向观察, 不同波长的塞曼谱线的数目____(填写“不确定”或者“有 ? 种”)。平行于磁场方向观察, 不同波长的塞曼谱线的数目_____。
15. 双原子分子的振动能级可表示为____, 转动能级公式可表示为____, 转动轴与分子轴的几何关系为相互____, 振转光谱带中____位置处谱线间隔最大, 约为其它位置处相邻谱线间隔的____倍。
16. 已知 ${}^{110}\text{Pd}_{64}$ 是 Pd 同位素中最重的稳定同位素。据此可判断 ${}^{112}\text{Pd}$ 的 β 衰变方式为____衰变。 ${}^{112}\text{Pd}$ 与 ${}^{114}\text{Ru}_{70}$ 相比, 半衰期更_____。
17. 中子和氢原子质量分别为 1.008665u 和 1.007825u, 则 ${}^{12}\text{C}$ 的结合能为____MeV。
18. 某放射性核经过 1 天后有 2/3 发生了衰变, 再经过 2 天后, 残留的未衰变的原子核的数量是原有数量的_____。
19. 按照玻尔模型, 处于第一激发态的 He^+ 与处于基态 Li^{2+} 的电子轨道半径之比为_____。

二、(6分) 已知一对正负电子绕其共同的质心转动会暂时形成类似于氢原子结构的“电子偶素”。试计算“电子偶素”处于基态时的电离能。

三、(12分) Na 原子光谱项的项值 $T(3S) = 4.144$ 、 $T(3P) = 2.447$ 、 $T(3D) = 1.227$ ，单位均为 10^6 m^{-1} 。不考虑精细结构，计算主线系的系限波长、3P 态的量子数亏损。考虑精细结构，计算 3P 态双层能级的间隔。

四、(13分) $Z=4$ 的 Be 原子的价电子之间服从 LS 耦合。考虑其中一个价电子被激发到 3s 态。画出从基态至该激发态之间的原子能级图（考虑精细结构）。在图中标出每个能级的原子态符号，以及可以发生的电偶极光谱跃迁。指出哪些态属于亚稳态。

五、(14分) 某原子中 $^3D_1 \rightarrow ^3P_2$ 的光谱跃迁在磁场中发生塞曼效应。计算塞曼谱线与原谱线的波数差（表达成外磁场 B 的函数，或者以洛仑兹单位 L 表示）。画出相应的能级图以及跃迁。

六、(12分，各 3、3、4、2分) 针对基态 Tb 原子(原子序数 $Z=65$)，(1) 写出完整核外电子排布式；(2) 写出原子态（以上两问直接给结果，不必写中间过程）；(3) 计算 K_{α} X 射线波数。(4) 估算 K 吸收限

七、(3分) 根据本课程中所学过的内容（例如某些著名的效应和实验），设计出不同类型的两种实验方法 测量普朗克常数 h 。（简述实验思路即可。）

八、(5 分) 按照 ①连续谱、②带状谱、③ 线状谱(或分立谱) 对下述光谱或能谱进行分类。

- A 原子光谱; B 太阳光谱; C 分子光谱;
 D 单色光照射下光电效应的光电子谱; E 铅元素的特征 X 射线谱
 F 单色光照射下康普顿效应的反冲电子谱;
 G 特定能量的质子进入物质后的韧致辐射谱;
 H 原子核衰变产生的 α 粒子谱; I 原子核衰变产生的 β 粒子谱;
 J 原子核退激产生的内转换电子谱;

附录: 试卷中可能会用到的参数及公式

原子质量单位: $u=1.66055 \times 10^{-27} \text{kg} = 931.48 \text{ MeV}/c^2$; 电子静止质量 $m_e=9.1096 \times 10^{-31} \text{kg}$;

电子静止质量能 $m_0 c^2 = 511 \text{ keV}$; 质子静止质量 $m_p=1.6726 \times 10^{-27} \text{kg} \approx 1836 m_e$;

玻尔磁子 $\mu_B = \frac{\hbar e}{2m} = 0.92732 \times 10^{-23} \text{J/T} = 5.788 \times 10^{-5} \text{eV} \cdot \text{T}^{-1}$;

里德堡常数 $R_\infty = \frac{2\pi^2 m e}{(4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^3 c} = 10973731 \text{ m}^{-1}$; 精细结构常数: $\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar c} = \frac{1}{137}$;

真空介电常数 ϵ_0 : $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.99 \times 10^9 \text{ 牛顿} \cdot \text{米}^2 / \text{库仑}^2$;

氢原子第一玻尔半径 $a_1 = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{4\pi^2 m e^2} = 0.529 \text{\AA}$; $\hbar c R = 13.6 \text{ eV}$, $\hbar c = 1.241 \times 10^{-6} \text{ eV m}$;

康普顿散射公式提示: $\Delta\lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\phi)$; 电子的康普顿波长 $\lambda_{eC} = \frac{h}{m_e c} = 0.0243 \text{\AA}$;

单价电子体系精细结构能级提示: $E = -\frac{Rhc(Z - \sigma)^2}{n^2} - \frac{Rhc\alpha^2(Z - s)^4}{n^4} \left(\frac{n}{j + \frac{1}{2}} - \frac{3}{4} \right)$