

原子物理复习题解答

✎ 写在前面

2025-06-17: 第49题锂原子电离能思路有误, 现已改正

第45题, 学习通答案有问题, 老师说选a

第56题更新了简化的能级差计算公式, 波长单位为埃时, $hc=12400$

第92题特别感谢wc的提醒

2025-06-18 第89题 不能发生跃迁

第59题, 笔误了, 已经改成P

特别感谢js同学的帮助, 检查出了不少错误

📦 存疑的答案

第48题就是一条, 答案四条是错的

第30题 答案是A: 板极A相对阴极K加正电, 答案是不是错了。。。

第94题, 答案为啥是单重我也不知道

123 选a 我也不知道为啥

第69题, 求解答, 课本上没有找到

1. 原子半径数量级: $0.1\text{nm}=10^{-10}\text{m}$

2. 原子核式结构提出是根据 α 粒子散射实验以**小角度散射为主, 少量粒子大角度散射**

3. 进行卢瑟福理论实验验证时发现小角散射与实验不符说明: **小角散射时一次散射不成立。**

小角相当于大b, 此时核外电子作用不能忽略。课本P21原话

4. 用相同能量的 α 粒子束和质子束分别于金箔正碰, 测量金原子核半径上限, 两者测量结果有什么不同?

α 粒子与质子的质量比为 4:1; α 粒子的电荷比质子大 2 倍;公式同5

假设我们用 α 粒子测量得到的金原子核半径上限为 R_α , 质子测量得到的金原子核半径上限为 R_p , 则:

$$R_\alpha \approx 2R_p$$

5. 动能 $E=40\text{keV}$ 的 α 粒子对心接近Pb($z=82$)核而产生散射,则最小距离为(m)?

当一个带正电的粒子 (如 α 粒子) 正对着另一个带正电的原子核 (如 Pb 核) 正碰

时，动能最终完全转化为电势能：

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Z_1 Z_2 e^2}{r_{\min}}$$
$$r_{\min} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Z_1 Z_2 e^2}{E} = a$$

结果为： $5.9 \times 10^{-12}\text{m}$ ，数量级小于原子半径，但大于原子核半径 10^{-15}m

6. 如果用相同动能的质子和氦核同金箔产生散射,那么用质子作为入射粒子测得的金原子半径上限是用氦核子作为入射粒子测得的金原子半径上限的几倍?

同5，氦核电荷量为1 质量为2，质量与最小距离无关，所以是一倍。

7. 在金箔引起的alpha粒子散射实验中,每10000个对准金箔的粒子中发现有4个粒子被散射到角度大于 5° 的范围内.若金箔的厚度增加到2倍,那么被散射的粒子会有多少?

$$4 \times 2 = 8$$

8. 在同alpha粒子源和散射靶的条件下观察到粒子被散射在 90° 和 60° 角方向上单位立体角内的粒子数之比为:1/4

单位立体角内的散射粒子数 $N(\theta)$ 与微分截面成正比：

$$N(\theta)d\Omega \propto \frac{1}{\sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

9. 在alpha粒子散射实验中,若把alpha粒子换成质子,要想得到alpha粒子相同的角分布,在散射物不变条件下则必须使:质子能量是alpha粒子的一半

$$\sigma(\theta) = \left(\frac{a}{4}\right)^2 \frac{1}{\sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right)}, a = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Z_1 Z_2 e^2}{E}$$

所以质量无关，电荷与能量有关，alpha 粒子电荷是质子两倍，所以能量应该减半

10. 若氢原子被激发到主量子数为n的能级,当产生能级跃迁时可能发生的所有谱线总条数应为: $\frac{n(n-1)}{2}$

11. 氢原子光谱赖曼系和巴耳末系的系线限波长分别为: $1/R; 4/R$

里德伯公式 σ 是波数：

$$\sigma = \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} = R \left(\frac{1}{n_{\text{后}}^2} - \frac{1}{n_{\text{前}}^2} \right) \text{这里 } n_{\text{前}} = \infty$$

12. 氢原子赖曼系的线系限波数为R,则氢原子的电离电势为: $\phi = \frac{hcR}{e}$

由波尔模型的频率条件：

$$\sigma = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{hc}(E_{n_{\text{前}}} - E_{n_{\text{后}}})$$

电离能 $\Delta E = E_{\infty} - E_1$ 恰好导出莱曼系的系线限波数 R ，所以 $\Delta E = hcR = e\phi$

13. 氢原子基态的电离电势和第一激发态的电离电势分别是:13.6V,3.4V

解法同12，即 $\phi_1 = \frac{hcR}{e}$, $\phi_2 = \frac{hcR}{4e}$

14. 由玻尔氢原子理论得出的第一玻尔半径 a_0 的数值是: $0.529 \times 10^{-10} \text{m} = 0.529 \text{\AA}$

由玻尔模型的角动量量子化 $J = n\hbar$ 和经典理论 $J = m_e v r = m_e \sqrt{\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e r}} r$ 联立解得:

$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 n^2 \hbar^2}{m_e e^2} \quad n \text{ 取 } 1, \text{ 就是 } a_0,$$

15. 根据玻尔理论,若将氢原子激发到 $n=5$ 的状态,则:10条线,四个线系

16. 欲使处于基态的氢原子发出 H_{α} 线,则至少需提供多少能量: $\frac{8Rhc}{9} = 13.6 \times \frac{8}{9} = 12.09 \text{ eV}$

$H_{\alpha}, H_{\beta}, H_{\gamma}, H_{\delta}$ 都是巴耳末系的谱线, 分别对应3, 4, 5, 6到2能级释放的光子
易错点在于这里是从基态开始的, 所以相当于求基态到第二激发态需要多少能量, 和第一激发态与第二激发态之间的差无关

17. 一个氢原子被激发后其电子处在第四轨道上运动,按照玻尔理论最多能看到2条线 答案 是三

有坑, 一个氢原子只有一次跃迁, 只能是4开始: 4-1 4-2 4-3

18. 氢原子光谱由莱曼、巴耳末、帕邢、布喇开系...组成,为获得红外波段原子发射光谱, 则轰击基态氢原子的最小动能为

能量越小频率越小颜色越红。要发出红外光谱, 必须至少涉及 $n_f = 3$ 的跃迁系列 (帕邢系及以上) 因此, 激发态电子必须从基态 ($n=1$) 跃迁至 $n=4$ 或更高能级, 然后退激回 $n=3$ 才能产生红外光。

$$\Delta E = E_4 - E_1 = -\frac{13.6 \text{ eV}}{4^2} - (-13.6 \text{ eV}) = 13.6 \left(1 - \frac{1}{16}\right) = 13.6 \cdot \frac{15}{16} = 12.75 \text{ eV}$$

19. 用能量为12.75eV的电子去激发基态氢原子时,一群受激氢原子向低能级跃迁时最多可能出现几条光谱线(不考虑自旋)

同17题, 从第四能级往下跃迁即可

20. 有速度为 $1.875 \times 10^6 \text{ m/s}$ 的自由电子被一质子俘获,放出一个光子而形成基态氢原子,则光子的频率为

电子的初始动能和结合能共同转化为一个光子的能量。电子与质子结合形成氢原子的结合能就是13.6eV, 电子动能:

$$K = \frac{1}{2} m_e v^2 = \frac{1}{2} \cdot 9.11 \times 10^{-31} \cdot (1.875 \times 10^6)^2 = 1.601 \times 10^{-18} \text{J} = 10 \text{eV}$$

光子频率由 $\nu = \frac{E}{h}$ 决定，解得 $\nu = 5.71 \times 10^{15} \text{Hz}$

21. 按照玻尔理论基态氢原子中电子绕核运动的线速度约为光速的多少倍？ 1/137
经典轨道向心力公式：

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

角动量量子化：

$$L = n\hbar = mvr \Rightarrow r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 n^2 \hbar^2}{m_e e^2}$$

联立得：

$$v = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar} \cdot \frac{1}{n} \quad (\text{自然单位中可写为}) \quad v = \alpha c, \text{ where } \alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar c} \approx \frac{1}{137}$$

22. 玻尔磁子 μ_B 为多少焦耳/特斯拉 $\mu_B = 9.274 \times 10^{-24} \text{J/T}$

玻尔磁子 (**Bohr magneton**) 是电子的磁矩的基本单位，公式为

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} = \frac{1}{2} \alpha e a_1, \quad \alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar c}, \quad a_1 = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2}$$

这里头其实还有个大门道：**磁旋比** γ ，在电动力学[旋转带电球问题](#)就已经出现过了

$$\gamma := \frac{e}{2m_e} = \frac{Q}{2M}$$

玻尔磁子正有如下关系：

$$\mu_B \propto \gamma (= \hbar\gamma)$$

磁旋比建立了电子轨道磁矩和轨道角动量之间的关系式：

$$\vec{\mu} = -\gamma \vec{L}$$

又因为电子轨道角动量量子化，所以才有了玻尔磁子里的 \hbar ，才有了电子磁矩一定是玻尔磁子正整数倍的结论，这本质上其实是角动量量子化的等价表述。

23. 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的结构的“正电子素”
那么该“正电子素”由第一激发态跃迁时发射光谱线的波数应为

正电子素是一个由一个电子 (e^-) 和一个正电子 (e^+) 组成的束缚态系统, 相当于氢原子的质子换成了正电子 因此相比氢原子, 正电子素的约化质量变了

$$\mu = \frac{m_e \cdot m_e}{m_e + m_e} = \frac{m_e}{2}$$

$$\mu_H = \frac{m_e m_p}{m_e + m_p} \approx m_e$$

因此, 正电子素的能级是氢原子的一半:

$$E_n^{\text{Ps}} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{13.6 \text{ eV}}{n^2} = -\frac{6.8}{n^2} \text{ eV} = -\frac{E_\infty}{2n^2} = -\frac{Rhc}{2n^2}$$

正电子素从第一激发态到基态的跃迁能量:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = -\frac{E_\infty}{2 \times 4} - \left(-\frac{E_\infty}{2 \times 1} \right) = \frac{3}{8} E_\infty$$

代入波数公式即可

$$\sigma = \frac{1}{\lambda} = \frac{E}{hc} = \frac{3}{8} R$$

24. 电子偶素 (正电子素) 的基态电离能是 **氢原子的基态电离能的一半**, 注意电离能是 **正数**

25. 根据波尔理论, 氦离子的第一轨道半径是第一波尔半径 a_0 的多少倍? **1/2**

氢样离子 (即只有一个电子的原子或离子, 例如 He^+ 、 Li^{2+} 等) 的轨道半径公式为:

$$r_n = \frac{n^2 a_0}{Z}$$

Z为核电荷数

26. 第一激发态也满足上述关系, 所以是第二波尔半径 a_1 的一半: $\frac{2^2 a_0}{2} = 1.06 \times 10^{-10} \text{ m}$

27. 假设氦原子的一个电子已被电离, 如果还想把另一个电子电离, 若以 eV 为单位至少需提供的能量为 54.4 eV

类氢原子的基态电离能公式:

$$E_{\text{ion}} = Z^2 \cdot 13.6 \text{ eV}$$

28. 同27

29. 弗兰克赫兹实验验证了 **原子能量量子化**

30. 夫兰克-赫兹实验使用的充气三极管是在相对阴极来说板极加负电压,栅极加正电压
三极管的三极分别是阴极, 栅极, 阳极, 各自的作用如下:

电极	极性 (相对阴极)	作用
阴极K	接地	发射电子
栅极G	正电压	加速电子
阳极A	微小负电压 约-1V	形成势垒, 筛选电子

参考课本P51装置图, 注意看电源的极性

31. 处于基态的氢原子被能量为12.09eV的光子激发后,其轨道半径增为原来的9倍
用到23题的跃迁能量公式和25题的半径公式。

32. 氢原子处于基态吸收波长为1026Å的光子后电子的轨道磁矩为原来的(3)倍
氢原子能级公式:

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2}$$

光子能量 $\Delta E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \approx 12.09 \text{ eV}$, 由31题结论可知跃迁到第三能级。再用圆周运动的
电子的经典轨道磁矩公式:

$$\mu = \frac{1}{2}erv = \frac{e}{2m_e}L$$

角动量量子化:

$$L = n\hbar$$

代入可得轨道磁矩:

$$\mu_n = \frac{e\hbar}{2m_e} \cdot n = n\mu_B$$

33. 为了证实德布罗意假设,戴维孙-革末于1927年在镍单晶体上做了电子衍射实验从而证
明了 电子具有波动性
衍射——波动

34. 德布罗意假设可归结为什么关系式?

$$p = \frac{h}{\lambda}, E = \hbar\omega = h\nu$$

注意带不带bar, 因为频率 ν 和圆频率 ω 的关系是: $\omega = 2\pi\nu$

35. 为使电子的德布罗意波长为10埃,应加多大的加速电压?

$$\lambda = 10 \text{ \AA} = 10^{-9} \text{ m}$$

错误思路：由波长可算频率，进而算能量，于是有电压。因为电子不同于光子（或电磁波），波速未知，频率不可求

正确思路：用德布罗意波求动量 $p = \frac{h}{\lambda}$ ，进而算能量 $\frac{p^2}{2m} = E = eU$ ，于是有电压 $U = \frac{h^2}{2me\lambda} = 1.5 \text{ V}$ 。

36. 基于德布罗意假设得出的公式 $\lambda = \frac{12.26}{\sqrt{V}} \text{ \AA}$ 的适用条件是：- 非相对论电子

欲搞明白此题，只需知道该公式从何而来：V即为加速电压，和能量相关：

$$E = eV$$

而能量又和动量相关：

$$E = \frac{p^2}{2m}$$

通过动量即可得到德布罗意波长：

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2m_e eV}}$$

代入电子质量和单位电荷和普朗克常量即可得之。而“非相对论性”体现在相对论动能

$$T = W - W_0 = \gamma mc^2 - mc^2, W = \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4}$$

37. 如果一个原子处于某能态的时间为 10^{-7} s ，原子这个能态能量的最小不确定数量级为（以焦耳为单位）： 10^{-28} ，*本题用的科学计数法可能是0.1-1的那种，所以是* 10^{-27}
能量时间不确定性关系：

$$\Delta E \cdot \Delta t \gtrsim \frac{\hbar}{2}$$

解得：

$$\Delta E \gtrsim \frac{\hbar}{2\Delta t} = \frac{1.055 \times 10^{-34}}{2 \times 10^{-7}} = 5.275 \times 10^{-28} \text{ J}$$

38. 将一质子束缚在 10^{-13} cm 的线度内，则估计其动能的量级为：MeV。
位置动量不确定性关系：

$$\Delta x \cdot \Delta p \gtrsim \frac{\hbar}{2}$$

解得：

$$\Delta p \gtrsim \frac{1.055 \times 10^{-34}}{2 \times 10^{-15}} = 5.275 \times 10^{-20} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

用动能-动量关系（非相对论）：

$$E_k \sim \frac{(\Delta p)^2}{2m} = \frac{(5.275 \times 10^{-20})^2}{2 \cdot 1.67 \times 10^{-27}} \approx \frac{2.78 \times 10^{-39}}{3.34 \times 10^{-27}} \approx 8.3 \times 10^{-13} \text{ J}$$

换算为电子伏特：

$$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J} \Rightarrow E_k \approx \frac{8.3 \times 10^{-13}}{1.602 \times 10^{-19}} \approx 5.2 \text{ MeV}$$

39. 按量子力学原理,原子状态用波函数来描述. 不考虑电子自旋,对氢原子当有确定主量子数 n 时,对应的状态数是: n^2

主量子数为 n , 则允许的角量子数 l 可以从0取到 n 。每一个 l 对应一个SO(3)群的不可约表示, 维度为 $2l+1$ 。于是:

$$\text{总状态数} = \sum_{l=0}^{n-1} (2l+1) = n^2$$

40. 按量子力学原理, 原子状态用波函数来描述。不考虑电子自旋, 对 (于) 氢原子 (而言,) 当确定 n, l 后, 对应的状态数为: $2l+1$

解法见39

41. 按量子力学原理, 原子状态用波函数来描述。考虑电子自旋, 对 (于) 氢原子 (而言,) 当确定 n, l 后, 对应的状态数为: $2(2l+1)$

电子只有上下两个自旋态, 所以乘个2即可

42. 按量子力学原理, 原子状态用波函数来描述。考虑电子自旋, 对 (于) 氢原子 (而言,) 当确定 n, l, m 后, 对应的状态数为: 2

n, l, m 同时确定意味着空间部分波函数完全确定, 只剩下自旋部分的波函数有两种态

43. 单个f 电子总角动量量子数的可能值为: $\frac{7}{2}, \frac{5}{2}$

轨道类型	s	p	d	f	g
角量子数 l	0	1	2	3	4

f电子对应的轨道角动量量子数 $l=3$, 自旋量子数 $s = \frac{1}{2}$,所以总角动量量子数
 $j = l \pm s = 3 \pm \frac{1}{2}$

44. 单个 d 电子的总角动量大小的可能值为: $\frac{\sqrt{35}}{2} \hbar, \frac{\sqrt{15}}{2} \hbar$

解法参考68题, 务必看清是总角动量大小而不是总角动量量子数 (z投影)

45. 已知一个价电子的 $l = 1, s = \frac{1}{2}$, 由 $m_j = m_l + m_s$, 求 m_j 的可能值
 只需要找到上下界: $\pm(1 + \frac{1}{2})$, 然后按规矩搜索即可 (注意没有0)

46. 锂原子主线系的谱线在不考虑精细结构时,其波数与光谱项之间的关系:

课本151页原话: 主线系: $nP \rightarrow 2S$; 锐线系: $nS \rightarrow 2P$, 因为这里是求波数, 所以是作差

47. 碱金属原子的光谱项为: $T = \frac{R}{n^{*2}}$

- 核电荷 Z 被内层电子屏蔽后, 最外层电子感受到的是一个有效核电荷 $Z^* \approx 1$
- 由于屏蔽效应不同, 能级不像氢原子那样严格 $\propto \frac{1}{n^2}$, 需要一个修正项: 量子缺陷 δ_l

46. 锂原子从3P态向基态跃迁时,产生多少条被选择定则允许的谱线(不考虑精细结构) **答案错了, 应该是1条**

碱金属中锂原子最简单最具代表性, 要记住课本57页的结论: 四套动项spdf; 三套固定项2s 2p 3d; 两个量子数nl; 角量子数电偶极跃迁选择定则:

$\Delta L = \pm 1, \Delta S = 0, \Delta n$ 任意。

本题可以对照课本58页锂原子能级图来解释电偶极跃迁选择定则: 要往基态跃迁, p只能去s, 符合选择定则的s只有2s和3s。

特别地, 锂原子的 $3p \rightarrow 3s$ 不被允许, 因为锂原子第三能层 $n=3$ 不同能级(sp)能量差几乎为零, 不能放出光子(课本58页没有画就说明没有)

加了外磁场下的塞曼效应才要考虑磁量子数, 否则就是简并的

磁量子数电偶极跃迁选择定则: $\Delta m_J = 0, \pm 1$

47. 已知锂原子光谱主线系最长波长为6707埃,辅线系线系限波长为3519埃,则Li原子的电离电势为:

短的波长对应第一激发态到连续谱; 长的波长对应基态到第一激发态:

$$E_1 = h\nu_1 = \frac{hc}{\lambda_1} = 1.85\text{eV}, E_2 = \frac{hc}{\lambda_2} = 3.52\text{eV}$$

相加即可得到电离能: 5.38eV, 去掉e即为电势

48. 钠原子基项3S的量子改正数为1.37,试确定该原子的电离电势:

参考第47题:

$$E_n = \frac{R_H}{n^{*2}} = \frac{R_H}{(n - \delta)^2} = \frac{13.6\text{eV}}{(3 - 1.37)^2} \approx 5.12\text{eV}$$

49. 碱金属原子能级的双重结构是由于**价电子的自旋-轨道耦合**产生

50. 产生钠的两条黄谱线的跃迁是: $3^2P_{\frac{3}{2}} \rightarrow 3^2S_{\frac{1}{2}}, 3^2P_{\frac{1}{2}} \rightarrow 3^2S_{\frac{1}{2}}$

见课本155页钠的黄色D线图

注意原子态的表达形式: $n^{2S+1}X_J$ 中 n 是主量子数, $2s+1$ 是能级的层数, X对应spdf(能级 l), J是总角量子数。

关于n的判断：基态钠最外层电子在第三层，所以 $n=3$ ；基态氢最外层电子在第一层，所以 $n=1$ ；第一激发态氢最外层电子在第二层（高中化学选修三），所以 $n=2$...

关于大写S的判断：

- 原子物理研究的光谱项一般都是碱金属（类氢原子）原子的正常态（闭壳层+1个价电子），此时唯一一个未配对电子就是单费米子体系，对应 $S = \frac{1}{2}$ 即二分之一自旋，为双重态（小写 $s = \pm\frac{1}{2}$ ）（参考量子期末压轴题惨痛教训）
- 对于多电子体系（比如两电子激发产生两个未配对电子的氦原子激发态），此时会有一自旋（ $S = 1$ 自旋三重态：正氦）和零自旋（ $S = 0$ 自旋单态：仲氦）两种情况

53. 若已知K原子共振线双重成分的波长等于7698.98埃和7664.9埃,则该原子4p能级的裂距为多少eV?数量级是 10^{-3} eV

$$\Delta E = E_{4p_{3/2}} - E_{4p_{1/2}} = hc \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)$$

54. 对锂原子主线系的谱线,考虑精细结构后,其波数公式的正确表达式应为:

$$n^2 P_{\frac{3}{2}} \rightarrow 2^2 S_{\frac{1}{2}}, n^2 P_{\frac{1}{2}} \rightarrow 2^2 S_{\frac{1}{2}}$$

记住主线跳到S，其他的参考第52题。

55. 碱金属原子光谱精细结构形成的根本物理原因:电子自旋的存在。参考51题

56. 已知钠光谱的主线系的第一条谱线由 $\lambda_1=5890$ 埃和 $\lambda_2=5896$ 埃的双线组成,则第二辅线系极限的双线间距(以电子伏特为单位):2.14meV

课本57页: s到2p是锐线系（第二辅线系）；d到2p是漫线系（第一辅线系）

主线系第一条（高能层的会衰减）谱线分裂双线间距，就等于第二辅线系（锐线系）的双线间距（不衰减），由此直接代公式 $E = \frac{hc}{\lambda}$ 作差即可。

简化的单位公式（波长单位为Å）：

$$\Delta E = 12400 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) \quad (\text{单位: eV})$$

57. 考虑电子自旋,碱金属原子光谱中每一条谱线分裂成两条且两条线的间隔随波数增加而减少的是什么线系? 主线系

参考课本151页插图

58. 如果 l 是单电子原子中电子的轨道角动量量子数,则偶极跃迁选择定则为:

$$\Delta l = \pm 1, \Delta j = 0, \pm 1$$

59. 碱金属原子的价电子处于 $n=3, l=1$ 的状态,其精细结构的状态符号应为: $3^2 P_{\frac{1}{2}}, 3^2 P_{\frac{3}{2}}$

参考52题

60. 原子态 $1^2 S_{\frac{1}{2}}$ 在碱金属原子中是不存在的，因为氢原子属于碱金属族却不是碱金属原子

61. 碱金属原子的一堆态中，实际存在的是 选D

排除法， $1^2 S_{\frac{1}{2}}$ 不对，这是60题结论； $2D$ 不对，因为 $n=2$ 只有SP没有D。

62. 氢原子光谱形成的精细结构(不考虑蓝姆移动)是由于 自旋-轨道耦合和相对论修正

63. 对氢原子考虑精细结构之后,其赖曼系一般结构的每一条谱线应分裂为?

赖曼系是终点在 $n=1$ 的线系, 对应的 l 只能为0, 总角动量 $j = l \pm \frac{1}{2} > 0$, 终点只有一个允许的自旋态, 所以终点不分裂;

而起点必然有 $n \geq 2$, 因此起点由于单电子二分之一自旋对应双重态, 有两条能级分裂。所以谱线分裂条数=2

64. 考虑精细结构,不考虑蓝姆位移,氢光谱 $H\alpha$ 线应具有几线? **五线**

$H\alpha$ 线是巴耳末系 (终点是 $n=2$) 的最低能的线 (所以是 $n = 3 \rightarrow n = 2$)

枚举上下能级的精细结构:

• **$n = 3$:**

- $3s_{1/2}$
- $3p_{1/2}, 3p_{3/2}$
- $3d_{3/2}, 3d_{5/2}$

• **$n = 2$:**

- $2s_{1/2}$
- $2p_{1/2}, 2p_{3/2}$

根据58题的电偶极跃迁选择定则: $\Delta l = \pm 1$, $\Delta j = 0, \pm 1$, 可以枚举出所有允许的跃迁路径:

上能级 ($n=3$)	下能级 ($n=2$)
$3s_{1/2}$	$2p_{1/2}$
$3s_{1/2}$	$2p_{3/2}$
$3p_{1/2}$	$2s_{1/2}$
$3p_{3/2}$	$2s_{1/2}$
$3d_{3/2}$	$2p_{1/2}$
$3d_{3/2}$	$2p_{3/2}$
$3d_{5/2}$	$2p_{3/2}$

在不考虑朗姆位移的情况下, 我们认为同一能层 n 中, 若两个电子态的 j 相等, 则能量相等。于是上能级中, $3s_{1/2}$ 、 $3p_{1/2}$ 简并, $3p_{3/2}$ 、 $3d_{3/2}$ 简并, $3d_{5/2}$ 独立; 下能级中, $2s_{1/2}$ 、 $2p_{1/2}$ 简并, $2p_{3/2}$ 独立。所以问题退化为上三下二的问题, 所以是五线。

课本P178的图画得很好, 上面的狄拉克理论 nj 决定能量就是我们用到的知识

65. 氢原子巴尔末系的谱线, 计及精细结构和蓝姆位移, 其谱线分裂条数为 **七条**

同64, 只是退简并, 问题变成上五下三。还是去看课本178页, 务必注意跃迁选择定则, 千万别画多了。

66. 已知锂原子主线系最长波长为 $\lambda_1=6707.4$ 埃, 第二辅线系的线系限波长为 $\lambda_2=3519$ 埃, 则锂原子的第一激发电势和电离电势依次为 1.85V, 5.38V

同49题

67. 钠原子由 nS 跃迁到 $3P$ 态和由 nD 跃迁到 $3P$ 态产生的谱线分别属于什么线系? 第二辅

线系和漫线系

中文翻译太恶心了，其实起点能级对应了线系首字母。我们结合课本57页把所有线系英文名拉一个表格出来：

钠原子（基态 $n=3$ ）：

线系名称	跃迁路径形式
Principal	nP to $3S$
Diffuse (1辅)	nD to $3P$
Sharp (2辅)	nS to $3P$
Fundamental(柏)	nF to $3D$

锂原子（基态 $n=2$ ）：

线系名称	跃迁路径形式
Principal	nP to $2S$
Diffuse (1辅)	nD to $2P$
Sharp (2辅)	nS to $2P$
Fundamental(柏)	nF to $3D$

68. d电子的总角动量大小取值可能为 $\frac{\sqrt{15}}{2}\hbar$ 和 $\frac{\sqrt{35}}{2}\hbar$

$$j = \ell \pm s = 2 \pm \frac{1}{2} = \frac{3}{2}, \frac{5}{2}$$

$$|\vec{J}| = \sqrt{j(j+1)}\hbar$$

代公式即可

69. 关于氦原子光谱下列说法错误的是： **$1s2p\ 3P_{2,1,0}$ 能级是反常次序**
我还没有在课本上找到什么是反常次序。。

70. 氦原子由状态 $1s2p\ 3P_{2,1,0}$ 向 $1s2s\ 3S_1$ 跃迁,可产生的谱线条数为 3
双电子态的表示结构：

$$n_1 l_1\ n_2 l_2\ ^{2S+1}L_J = 1s2p\ ^3P_{2,1,0}$$

项	含义说明
$1s2p$	一个电子在 $1s$, 另一个在 $2p$
3	多重度 $2S+1=3$, 故 $S=1=\frac{1}{2}+\frac{1}{2}$: 两个电子的自旋平行, 是三重态
P	总轨道角动量 $L=1$ (由 $l_1=0, l_2=1$ 得来)

项	含义说明
$J = 2$	总角动量 $J = L + S = 1 + 1 = 2$, 也可能为 0, 1, 但这里指定为 2

解决跃迁可能还得看跃迁选择定则: $\Delta J = 0, \pm 1$, 但不允许 $J = 0 \rightarrow J = 0$, 所以可能的跃迁为:

初态 J	末态 J=1
0	1
1	1
2	1

所以三种精细结构能级对应了三种谱线

71. 氦原子由状态 $1s3d \ 3D_{3,2,1}$ 向 $1s2p \ 3P_{2,1,0}$ 跃迁时可产生的谱线条数为 6
同70题

72. 氦原子有单态和三重态两套能级, 从而它们产生的光谱特点是: **单重能级各线系皆为单线, 三重能级各线系较为复杂, 不一定是三线**。
因为71题都六个线了

73. 氦原子基态是 1S_0 基态是自旋单态, 两个电子都在 $n=1$ 能层。

74. 氦原子的电子组态为 $n1pn2s$, 则可能的原子态为: $n1pn2s \ 3P_{2,1,0}$ 和 $n1pn2s \ 1P_1$
P 对应总轨道角动量, 由 $s+p=0+1$ 决定; J 可以分类讨论, 对于 $L=1$ 的情形, 自旋三重态就是 210 , 单态就是 1

75. C^{2+} 离子由 $2s3p \ 3P_{2,1,0}$ 到 $2s3s \ 3S_1$ 两能级的跃迁, 可产生 **3** 条光谱线
同70题

76. 氦原子有单态和三重态, 但 $1s1s3S_1$ 并不存在, 其原因是 **泡利不相容原理**
什么情况下用泡利不相容原理? 两个电子处于同能层同能级的时候, 如果 m_l 也相等, 就说明他俩的空间态全同, 此时自旋态必须相反, 所以必然是单态。
课本**203**页的表格本质上是 **SO(3)** 群的不同表示 (j) 的直积空间对应的 **CG** 分解

77. 若某原子的两个价电子处于 $2s2p$ 组态, 利用 L-S 耦合可得到其原子态的个数是 4
这道题两个电子空间部不同, 因此不用考虑泡利不相容原理。只用下面的总角动量加法规则即可

$l_1 = 0, l_2 = 1$ 得 $L = |l_1 - l_2|, \dots, l_1 + l_2 = |0 - 1|, \dots, 0 + 1 \Rightarrow L = 1$ 只能是 P
两电子自旋均为 $\frac{1}{2}$ 得 $S = |s_1 - s_2|, \dots, s_1 + s_2 = 0, 1$ 对应单态和三重态, 即 $^1P, ^3P$

总角动量: $J = |L - S|, \dots, L + S$, $^1P: S = 0, L = 1 \Rightarrow J = 1$,
 $^3P: S = 1, L = 1 \Rightarrow J = 0, 1, 2$ 所以有四个态。

78. $^4D_{\frac{3}{2}}$ 态的轨道角动量的平方取值是: $6\hbar$
参考68题

79. 一个p电子与一个s电子在L-S耦合下可能有原子态为 $^1P_1, ^3P_{0,1,2}$
同77题

80. 设原子的两个价电子是p电子和d电子,在L-S耦合下可能的原子态有12个
参考77题

81. 电子组态 $2p4d$ 所形成的可能原子态有 $^1P, ^1D, ^1F, ^3P, ^3D, ^3F$
同80题

82. 硼的一价阳离子 B^+ 离子若处于第一激发态,则电子组态为 $2s2p$
因为基态是 $2s2s$ 的自旋单态, 那么第一激发态就是让一个电子往上走一个能级。第二能层 $n=2$ 恰好有 $2p$ 与 $2s$ 相邻。

83. 铍原子若处于第一激发态,则其电子组态也是 $2s2p$
由化学知识知, 本题同82

84. 若镁原子处于基态,它的电子组态应为 $3s3s$
参考82题

85. 题干不同于答案D, 不过不难判断 $n=1$ 无p, $n=2$ 无d

86. $^3D_{1/2}$ 不可能存在
 3 说明 $S=1$, 整数自旋角动量不可能对应半整数总角动量

87. 试判断原子态: $1s1s3S1, 1s2p3P2, 1s2p1D1, 2s2p3P2$ 中下列哪组是完全存在的?
 $1s2p3P2$ $2s2p3P2$ 参考77题加法规则

88. 在铍原子中,如果 $3D_{1,2,3}$ 对应的三能级可以分辨,当有 $2s3d3D_{1,2,3}$ 到 $2s2p3P_{2,1,0}$ 的跃迁中可产生6条光谱线
参考70题总角动量的跃迁选择定则

89. 状态 $2p3d3P$ 到 $2s3p3P$ 的跃迁 不能发生
电偶极跃迁选择定则要求: 要在 l_1+l_2 奇偶不同时才能跃迁
课本P197选择规则要求初态末态宇称相反。

90. 氯原子的原子态是 $2P_{1/2}; 2P_{3/2}$
单个空轨道等价于单个电子, 所以 $3p^5 = p^1$

91. 原子处在多重性为5,J的简并度为7的状态,试确定轨道角动量大小的最大取值 $\sqrt{30}\hbar$
 多重性对应 $2S + 1 = 5 \Rightarrow S = 2$; J简并度为7对应 $2J + 1 = 7 \Rightarrow J = 3$, 要想求L的最大值, 就说明J=3是L-S的结果, 所以L的最大值就是 $S+J=5$, 但是这是z分量, 总的公式参考68题
92. 试确定D_{3/2}谱项可能的多重性 2468
 $L=2, J=3/2$, 所以S可能=1/2, 3/2, 5/2, 7/2。因为J是 $|\mathbf{L}-\mathbf{S}|$ 到 $\mathbf{L}+\mathbf{S}$ 的值, 所以看两个端点就好了
93. 某系统中有三个电子分别处于s态.p态.d态,该系统可能有的光谱项个数是?
 光谱项个数就是原子态个数。先找S和L的上下界, 再以步长1遍历: $S = \frac{3}{2}, \frac{1}{2}$,
 $L = 3, 2, 1$
 接下来就是 $2 \times 3 = 6$ 个组合, 每个组合分别求LS耦合下的所有J的取值, 加起来即可: $4 + 4 + 3 + 2 + 2 + 2 = 17$
94. 钙原子的能级应该有几重结构? 答案是单重, 我选的双重
 两原子体系同氦原子
95. 在正常塞曼效应中,沿磁场方向观察时将看到2条谱线
 只有在垂直磁场方向才能看到三条, 磁场方向看不到 $\Delta m = 0$ 的圆偏振。课本P162原话
96. 正常塞曼效应总是对应三条谱线,是因为 每个能级在外场中劈裂后的间隔相同和磁量子数的选择规则导致的
 课本P158原话
97. B原子态 $^2P_{1/2}$ 对应的有效磁矩($g=2/3$)是?
 直接代有效磁矩公式: 课本146页
- $$\mu_{\text{eff}} = g_J \cdot \sqrt{J(J+1)} \cdot \mu_B = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} + 1 \right)} \mu_B = \frac{\sqrt{3}}{3} \mu_B$$
98. 在强外磁场中原子的附加能量除正比于B之外,同原子状态有关的因子有 磁量子数、朗德因子
 参考课本157页公式22-2及文字叙述: m是角动量J在z方向的投影, 即磁量子数 (J²算符的本征值)
99. 塞曼效应中观测到的 π 和 σ 成分,分别对应的选择定则为?
 σ 成分: $\Delta M_J = \pm 1$, π 成分: $\Delta M_J = 0$ 课本P162
100. 原子在 $^6G_{3/2}$ 状态,其有效磁矩为0
 因为朗德因子为0, 注意计算公式里的 $\hat{j} = \sqrt{j(j+1)}$, 表示总量本征值而非分量本征

值

$$g_j = \frac{3}{2} + \frac{\frac{1}{2}(\hat{s}^2 - \hat{l}^2)}{\hat{j}^2} = 0$$

101. 原子在 1D_2 和 $^2S_{1/2}$ 状态下的朗德 g 因子:1, 2

参考100题

102. 由朗德因子公式当 $L=S, J \neq 0$ 时, 可得g值为零

参考100题

103. 由朗德因子公式当 $L=0$ 但 $S \neq 0$ 时, 可得g值为2

104. 如果原子处于 $^2P_{1/2}$ 态, 它的朗德因子g值=2/3

105. 某原子处于 $^4D_{1/2}$ 态, 若将其放于弱磁场中, 则能级 **不分裂**

要看能级分不分裂, 首先要看g因子为不为零, 零则不分裂, 非零则分裂成 $2J+1$ 个

106. 判断处在弱磁场中, 下列原子态的子能级数哪一个是正确的 **B**

107. 如果原子处于 $2P_{3/2}$ 态, 将它置于弱外磁场中时, 它对应能级应分裂为 **4个**

108. 态 $1D_2$ 的能级在磁感应强度B的弱磁场中分裂 **5个** 子能级

以上三题均参考105

109. 钠黄光 D_2 线对应着 $3P_{3/2} \rightarrow 3S_{1/2}$ 态的跃迁, 把钠光源置于弱磁场中谱线将分裂成 **6条**

为什么是六不是八, 因为要满足磁量子数跃迁选择定则: $\Delta m_J = 0, \pm 1$, 这道题也是课本163页钠黄双线图

110. 使窄的原子束按照施特恩-盖拉赫的方法通过极不均匀的磁场, 若原子处于 $5F_1$ 态, 试问原子束分裂成几条?

不分裂 原理同105

111. 伦琴连续光谱有一个短波限 λ_{\min} , 它 **与阳极材料无关, 与入射电子能量有关**

课本p243: 韧致辐射连续谱的面积随靶核的原子序数增大而增大, 但连续谱的最小波长只依赖于外加电压V, 而与原子序数Z无关

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{1eV} = \frac{12400}{V(\text{伏特})} \text{埃}$$

112. 原子发射伦琴射线标识谱的条件是 **原子内层电子被移走**

空穴: **内层电子 (如 K 层、L 层) 被击出 (电离或激发离开)**。然后外层电子跃迁填补这一空位时, 释放出特征能量的 X 射线。课本P246

113. 各种元素的伦琴线状谱有如下特点：与阳极材料有关,有相仿结构,形成谱线系.
线状谱就是特征谱。

114. 莫塞莱经验公式表明，x射线特征频率跟 $(z-1)$ 平方成正比，理论上可以给予解释,它的适用范围是只对K线系成立
P245最后一句话

115. 可以基本决定所有原子核性质的两个量是质量数和电荷数
质量数－电荷数=中子数，而中子数和电荷数（原子序数）对应着核素图的横纵坐标

116. 原子核的大小同原子的大小相比,其R核/R原的数量级应为 10^{-5}

117. 原子核可近似看成一个球形,其半径R可用什么公式来描述?

$$R = r_0 A^{1/3}$$

原子核的体积大致与核子数成正比： $V \propto A \Rightarrow R \propto A^{1/3}, r_0 \approx 1.2 \sim 1.3 \text{ fm}$ 是经验常数

118. 核外电子的总角动量量子数 $J=2$ ，原子核的总角动量量子数 $I=3$ ，求原子的总角动量量子数F的可能取值

原子的总角动量仍满足角动量加法规则： $F = |I - J|, |I - J| + 1, \dots, I + J$
所以F可以取3-2到3+2的所有整数：12345

119. 已知钠原子核 ^{23}Na 基态的核自旋为 $I=3/2$,因此钠原子基态 $3^2S_{1/2}$ 能级的超精细结构能级数为2个

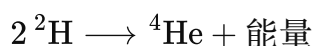
超精细结构能级数就是F的可能取值的个数，I是3/2,J是1/2，所以F只能取1、2.

120. 若某原子其电子轨道量子数 $L=2$,自旋量子数 $S=0$,核自旋量子数 $I=3/2$,则该原子总角动量量子数为 $7/2, 5/2, 3/2, 1/2$;

参考118题

121. 若电子总角动量量子数 $J=1/2$,原子核自旋角动量量子数 $I=3/2$,则原子总角动量量子数F的取值个数为2个 参考118题

122. 氘核每个核子的平均结合能为1.11MeV,氦核每个核子的平均结合能为7.07 MeV.有两个氘核结合成一个氦核时放出多少能量?



$$Q = E_{\text{He}} - E_{2\text{H}} = 28.28 \text{ MeV} - 2.22 \text{ MeV} = \boxed{26.06 \text{ MeV}}$$

123. 由A个核子组成的原子核的结合能为 $E = \Delta mc^2$,其中 Δm 指：A个核子的静止质量和核静止质量之差

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - m_{\text{nucleus}}$$

124. 原子核平均结合能以中等核最大, 其值大约为 $8.5\sim 8.7\text{MeV}$
对应的核: 例如 **铁-56** (^{56}Fe)、**镍-62** (^{62}Ni)
125. 氘核每个核子的平均结合能为 1.09MeV , 氦核每个核子的平均结合能为 7.06MeV . 有两个氘核结合成一个氦核时, 其能量的变化为 23.88MeV , 氦核比氘核稳定
参考122题
126. 原子核的平均结合能随A的变化呈现出下列规律: **轻核很小, 中等核最大, 其它核一般在 $7.5\sim 8.0\text{MeV}$**
参考课本P277原子核平均结合能曲线: 速升缓降
127. 放射性原子核衰变的基本规律是 $N = N_0 e^{-\lambda t}$, 式中 N_0 代表的物理意义是: $t=0$ 时刻的核数
128. 已知某放射性核素的半衰期为2年, 经8年衰变掉的核数目是尚存的15倍
参考127计算规则
129. 参考127
130. 核力的力程数量级 10^{-15} (以米为单位)
课本P281: 短程力, 小于 10^{-14} 就是 10^{-15}
131. 核力与电荷无关, 课本281页原话: 电荷对称性和电荷无关性
132. 核力具有以下性质: 是具有饱和性的交换力
短程型和饱和性是核力最重要的两个特性; 核力不仅有中心吸引力, 在极短程内还存在斥力; 介子理论认为核力是一种交换力; μ 子不参与强相互作用, 不是介子, π 子才是 (P284)
133. 汤川介子理论认为核力是交换下列粒子而产生: π^\pm, π^0
参考132
134. 元素周期表中: 同周期各元素的性质不同, 同族各元素的性质基本相同
初中化学, 不会就重开吧
135. 当主量子数 $n=1, 2, 3, 4, 5, 6$ 时, 用字母表示壳层依次为KLMNOP
高中化学, 第七层是Q
136. 下列哪一个元素其最外层电子具有最小电离能, Na
初中化学, 不会就重开吧

137. 在原子壳层结构中,当 $l=0,1,2,3,\dots$ 时,如果用符号表示各次壳层,依次用下列字母表示
spdfgh
高中化学, 不会就重开吧
138. 电子填充壳层时, 错误的是C: 必须是填满一个支壳层以后再开始填充另一个新支壳层
反例是元素周期表第六副族 $3d^5 4s^1$
139. 实际周期表对K.L.M.N.O.P主壳层所能填充的最大电子数依次为2,8,18,32,50,72;
代公式 $2n^2$
140. 按泡利原理,主量子数 n 确定后, 最多可填充几个电子?
同139
141. 某个中性原子的电子组态是 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^3 p$,此原子是处于激发态的Mg原子 (碱土金属族)
高中化学
142. 氩原子基态的电子组态及原子态是 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6, {}^1S_0$
多电子原子基态规则: 若原子为闭壳层结构, 则总自旋 $S = 0$ 、总轨道角动量 $L = 0$, 总角动量 $J = 0$
参考课本P208表格
143. 某个中性原子的电子组态是 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 5g^1$,此原子是
参考141题
144. 有一原子, $n=1,2,3$ 的壳层填满, $4s$ 支壳层也填满, $4p$ 支壳层填了一半,则该元素是As
元素推断, 镓锗砷回到主族, 从 $4p$ 开填
145. 由电子壳层理论可知,不论有多少电子,只要它们都处在满壳层和满支壳层上,则其原子态就都是 1S_0
参考142题
146. 氖原子的电子组态为 $1s^2 2s^2 2p^6$,根据壳层结构可以判断氖原子基态为 1S_0
同142题, 惰性气体光谱项全国统一

☞ 写在后面

由于我太懒了, 最近也有一堆麻烦事要解决, 断断续续总算提前一天写完这份习题解答。希望能对后天的考试有所帮助, 也希望能对未来学习原子物理的同学有所帮助。

祝大家考试顺利，科科满绩。

—— by 2023级 welcover