

2010 年硕士学位研究生入学考试试题参考答案

原子物理与量子力学

一、选择题 (每小题 3 分, 共 33 分)

1. A----(3)
2. B----(3 分)
3. B----(3 分)
4. C----(3 分)
5. C----(3 分)
6. D----(3 分)
7. B----(3 分)
8. D----(3 分)
9. C----(3 分)
10. C----(3 分)
11. C----(3 分)

二、填空题 (共 23 分)

1. ① 1 (1 分); ② 2 (2 分); ③ 3 (2 分) ----(5 分)
2. ① 10 (1 分); ② 4 (2 分); ③ 6 (2 分)。 ----(5 分)
3. ① 207 ----(3 分)
4. ① 朗德间隔 (1 分); ② 3:5 (2 分) (能级 J 的次序为 1/2, 3/2, 5/2)。 ----(3 分)
5. 0.178nm (4 分)

提示: 解法 1. $E_k = kT = 1.38 \times 10^{-23} \times 300 \text{J} = 4.14 \times 10^{-21} \text{J}$

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 1.67 \times 10^{-27} \times 4.14 \times 10^{-21}}} \text{m} = 0.178 \text{nm}$$

解法 2. $E_k = kT = 8.6 \times 10^{-5} \times 300 \text{eV} = 2.58 \times 10^{-2} \text{eV}$

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{hc}{\sqrt{2mc^2 E_k}} = \frac{1.24 \times 10^3}{\sqrt{2 \times 938 \times 10^6 \times 2.58 \times 10^{-2}}} \text{nm} = 0.178 \text{nm} \text{ ----(5 分)}$$

6. 七; $2^2S_{1/2}$; $2^2P_{1/2}$ (每空 1 分)。 ----(3 分)

三、简述题 (共 27 分)

(略)

考试科目: 原子物理与量子力学

第 1 页 共 3 页

四、计算题（6 题，共 67 分）

1. 解：

可能的原子态：（4 分）

4s4s: 1S_0 ;

4s3d: 1D_2 、 $^3D_{3,2,1}$;

4s4p: 1P_1 、 $^3P_{2,1,0}$;

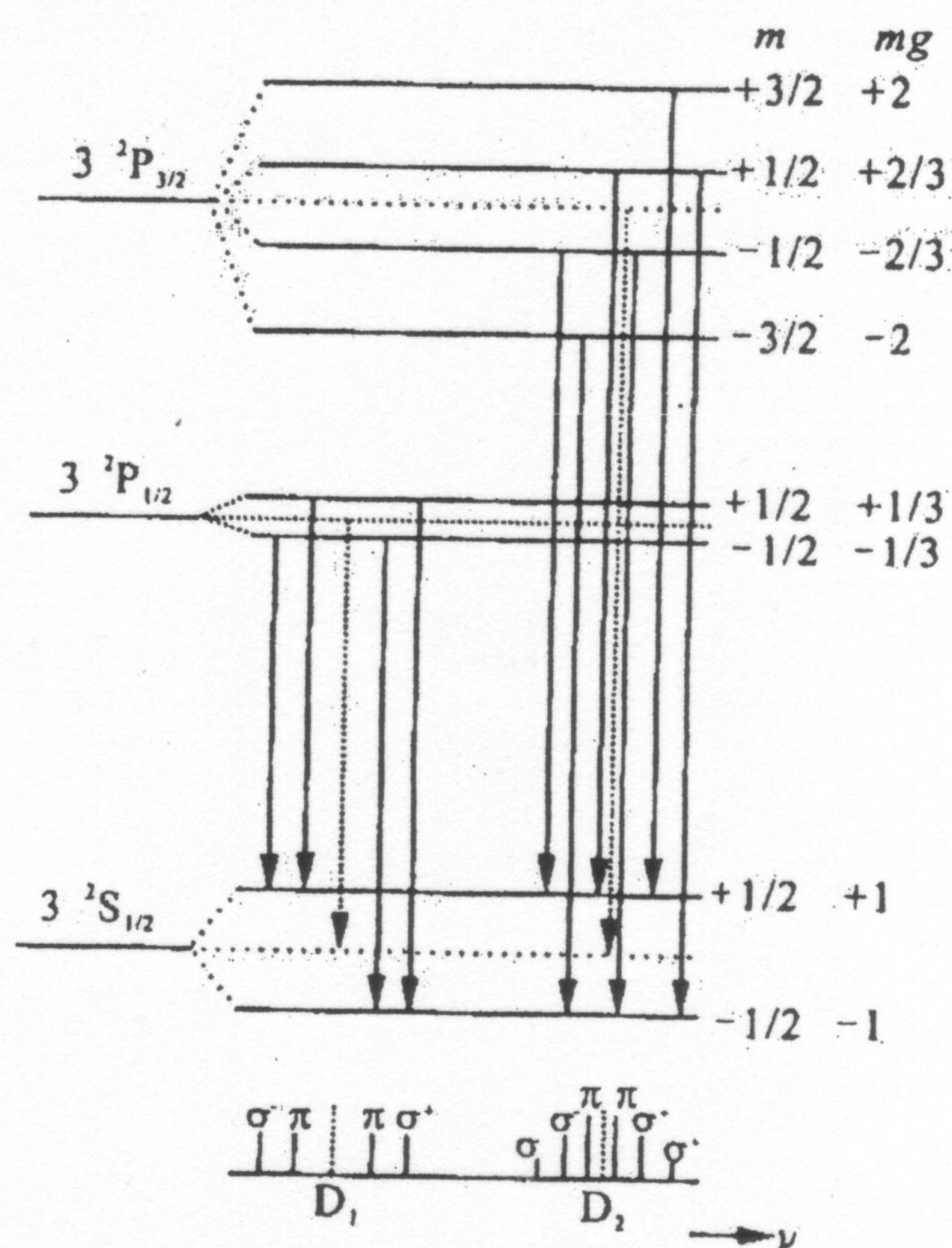
4s5s: 1S_0 、 3S_1 。

能级跃迁图：（6 分）

略

（共 10 分）

2. 解：



能级图（4 分） 跃迁（4 分）

$$\tilde{\nu} = \tilde{\nu}_0 + (m_2 g_2 - m_1 g_1) L, \quad (2 \text{ 分})$$

$$L = \frac{eB}{4\pi m_e C} = 0.466 \text{ cm}^{-1} \quad (1 \text{ 分})$$

$$g_1 = 2, g_2 = 2/3, g_2' = 4/3 \quad (3 \text{ 分})$$

代入：

对 ${}^2P_{1/2}$:

$$\tilde{\nu} - \tilde{\nu}_{01} = \begin{Bmatrix} -4/3 \\ -2/3 \\ 2/3 \\ 4/3 \end{Bmatrix} L = \begin{Bmatrix} -0.621 \\ -0.311 \\ 0.311 \\ 0.621 \end{Bmatrix} \text{cm}^{-1} \quad (2 \text{ 分})$$

对 ${}^2P_{3/2}$:

$$\tilde{\nu} - \tilde{\nu}_{02} = \begin{Bmatrix} -5/3 \\ -1 \\ -1/3 \\ 1/3 \\ 1 \\ 5/3 \end{Bmatrix} L = \begin{Bmatrix} -0.777 \\ -0.466 \\ -0.155 \\ 0.155 \\ 0.466 \\ 0.777 \end{Bmatrix} \text{cm}^{-1} \quad (2 \text{ 分})$$

----(18 分)

3. 解:

$$(1) \text{Li}^{++} \rightarrow \text{Li}^{+++} \text{ 所需能量: } 13.6 \times 3^2 = 122.4 \text{ (eV)} \quad (2 \text{ 分})$$

$$\text{Li} \rightarrow \text{Li}^+ \text{ 所需能量: } 203.4 - (122.4 + 75.6) = 5.4 \text{ (eV)} \quad (2 \text{ 分})$$

$$E_{2s} = -13.6 \times Z^*/2^2 \quad \therefore Z^* = 1.26 \quad (1 \text{ 分})$$

$$n^* = 2/Z^* = 1.6 \quad \therefore \Delta_s = 2 - 1.6 = 0.4 \quad (1 \text{ 分})$$

$$(2) \text{Li}^+ \text{ 中两电子库仑排斥能: } \Delta E = 122.4 - 75.6 = 46.8 \text{ (eV)} \quad (2 \text{ 分})$$

$$\Delta E = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\bar{r}}, \quad \bar{r} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\Delta E} = \frac{14.4}{46.8} \text{ \AA} = 0.31 \text{ \AA}$$

$$\therefore \bar{r} = 0.031 \text{ nm} \quad (1 \text{ 分})$$

----(9 分)

4. 解: (12 分)

略。

5. 解: (8 分)

略。

6. 解: (10 分)

略

考试科目: 原子物理与量子力学

第 3 页 共 3 页

2010 年硕士学位研究生入学考试试题

原子物理与量子力学

所有试题答案写在答题纸上, 答案写在试卷上无效

一、选择题 (每小题 3 分, 共 33 分)

1. 某碱金属原子的价电子从 3d 态跃迁到 3p 态, 则可能的跃迁为:

A. ${}^2D_{5/2, 3/2} \rightarrow {}^2P_{3/2}$, ${}^2D_{3/2} \rightarrow {}^2P_{1/2}$; B. ${}^2P_{3/2} \rightarrow {}^2D_{5/2, 3/2}$, ${}^2P_{1/2} \rightarrow {}^2D_{3/2}$;

C. ${}^2D_{3/2} \rightarrow {}^2P_{3/2, 1/2}$, ${}^2D_{1/2} \rightarrow {}^2P_{1/2}$; D. ${}^2D_{5/2, 3/2} \rightarrow {}^2P_{3/2}$, ${}^2D_{5/2} \rightarrow {}^2P_{1/2}$ 。

2. X 射线连续谱的短波极限 (最短) 波长为 0.0496nm, 则加于 X 射线管的电压为:

A. 30kV; B. 25kV; C. 15kV; D. 10kV。

3. 按泡利原理, 对主量子数为 n 的壳层, 可容纳的电子数为:

A. n^2 ; B. $2n^2$; C. $2(2l+1)$; D. $2j+1$ 。

4. 已知原子中一个价电子的 $l=1, s=1/2$, 求 j 的值:

A. $3/2$; B. $3/2, 1/2, -1/2, -3/2$;

C. $3/2, 1/2$; D. 0。

5. 质量为 M 的原子核与质量为 m_e 的电子结合成一个单电子离子。该离子的里德伯常数

R_M 与 R_∞ 的关系为:

A. $R_M = R_\infty$; B. $R_M = R_\infty (1 + \frac{m_e}{M})$;

C. $R_M = R_\infty / (1 + \frac{m_e}{M})$; D. $R_M = R_\infty \frac{m_e}{M}$ 。

6. 若原子处于 1D_2 和 ${}^2S_{1/2}$ 状态, 它们的朗德因子 g 的值分别为:

A. 1 和 $2/3$; B. 2 和 $2/3$; C. 1 和 $4/3$; D. 1 和 2。

7. 1.00MeV 的质子射向静止的金原子核 ($Z=79$) 时, 所能达到的最近距离为:

A. $11.4 \times 10^{-18}m$; B. $11.4 \times 10^{-14}m$;

C. $11.4 \times 10^{-12}m$; D. $11.4 \times 10^{-10}m$ 。

8. 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. $3p4f$ 。

9. 由壳层结构理论和洪德定则可知, 磷原子 ($Z=15$) 基态时的原子态应是:

A. ${}^2P_{3/2}$; B. ${}^2P_{1/2}$; C. ${}^4S_{3/2}$; D. 1S_0 。

考试科目: 原子物理与量子力学

第 1 页 共 3 页

10. 力常数为 $k = 35.5 \text{ eV}/\text{\AA}^2$ 的氢分子(H_2)的振动能级间距为:

- A. 2eV; B. 10eV; C. 0.542eV; D. 0.054eV。

11. 若 ΔE_e , ΔE_v , ΔE_J 分别表示电子能级间隔、振动能级间隔和转动能级间隔, 则:

- A. $\Delta E_v > \Delta E_e > \Delta E_J$; B. $\Delta E_v > \Delta E_J > \Delta E_e$;
C. $\Delta E_e > \Delta E_v > \Delta E_J$; D. $\Delta E_e > \Delta E_J > \Delta E_v$ 。

二、填空题 (共 23 分)

1. (5 分) 按氢原子的玻尔理论, $n=2$ 时有 ① 个能级。若考虑了电子自旋-轨道耦合及相对论效应, 则此能级将分裂为 ② 个能级。若再考虑兰姆移动的影响, 则此玻尔能级将分裂为 ③ 个能级。

2. (5 分) 铍原子 ($Z=4$) 的一个外层电子被激发到 $3p$ 态, 则当它向低能态、直至基态跃迁时共可产生 ① 条谱线, 其中单重态间跃迁的谱线有 ② 条, 三重态间跃迁的谱线有 ③ 条。

3. (3 分) 一个 μ^- 子 ($m_\mu = 207m_e$) 被铅核 ($^{208}\text{Pb}, Z=82$) 所俘获, 形成一个 μ^- 子原子, 该原子的里德伯常数等于 ① R_∞ 。

4. (3 分) 由 LS 耦合得到的原子多重能级的间隔大小之比服从 ① 定则。按此定则, 对于正常次序的 4P 态的几个能级间隔之比 (由下而上) 为 ②。

5. (4 分) 已知质子质量约为 $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$, 则处于 $T=300\text{K}$ 的热平衡条件下的质子 (平均动能为 kT) 的德布罗意波长为 $\lambda =$ ① nm 。

6. (3 分) 考虑兰姆移动后, 巴耳末系第一条应是 ① 线结构, 这是由于能级—②—比能级—③—略高一些。

三、简述题 (共 27 分)

1 (7 分). 简述波函数的物理意义及其边界条件。

2 (7 分). 简述交换效应及其对波函数的限制。

3 (7 分). 什么是算符的期望值(平均值)? 其物理意义是什么?。

考试科目: 原子物理与量子力学

第 2 页 共 3 页

4 (6 分). 在光子的双缝干涉实验中, 如果试图探测光子从哪个狭缝通过, 还能得到干涉图样吗? 为什么?

四、计算题 (6 题, 共 67 分)

1 (10 分). 钙原子 ($Z=20$) 基态的电子组态是 $4s4s$, 若其中一个电子被激发到 $5s$ 态 (中间有 $3d$ 和 $4p$ 态), 当它由 $4s5s$ 组态向低能态直至基态跃迁时, 可产生哪些光谱跃迁? 画出能级跃迁图 (钙原子能级属 LS 耦合, 三重态为正常次序)。

2 (18 分). Na 原子 $3P \rightarrow 3S$ 跃迁的精细结构为两条。波长分别为 589.593nm 和 588.996nm 。试求在 1T 外磁场中 Na 原子的能级分裂情况, 画出能级图、在图中画出允许跃迁及每一跃迁在垂直于外磁场方向的偏振特性, 同时计算磁场中跃迁谱线与原来谱线的波数差。(假设磁场为弱场) (18 分)

3 (9 分). 已知将 Li 原子 ($Z=3$) 电离成 Li^{+++} 离子需要 203.4eV 的能量, 而将 Li^+ 离子电离成 Li^{++} 离子需要 75.6eV 的能量。试求: (1) Li 原子中 $2s$ 电子受到的有效核电荷及量子数的亏损值; (2) 估计 Li^+ 离子中两个 $1s$ 电子的平均距离。

4 (12 分) 一个质量为 m 的粒子在一维无限深势阱 ($0 \leq x \leq a$) 中运动, $t=0$ 时刻的初态波函数为

$$\psi(x, 0) = \sqrt{\frac{8}{5a}} \left(1 + \cos \frac{\pi x}{a}\right) \sin \frac{\pi x}{a}$$

试求: (1) $t=t_0$ 时刻体系的波函数; (2) 体系在 $t=0$ 时刻和 $t=t_0$ 时刻的平均能量; (3) $t=t_0$ 时刻, 粒子出现在势阱左半部 ($0 \leq x \leq a/2$) 的概率。

5 (8 分) 设 λ 是线性算符 \hat{A} 的一个本征值, 试证明: (1) λ^2 是 \hat{A}^2 的本征值; (2) 更一般的情况下, 设 $f(\lambda)$ 是 λ 的多项式, 则 $f(\lambda)$ 是 $f(\hat{A})$ 的本征值。

6 (10 分) 试问下列算符是否线性算符? 是否厄密算符? 并说明之。 (1) 角动量算符 $\mathbf{l} = \mathbf{r} \times \mathbf{p}$; (2) $x p_x$ 。

常数表

普朗克常数	$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s} = 4.136 \times 10^{-15} \text{eV}\cdot\text{s}$
基本电荷	$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{C}$
复合常数	$hc = 1240 \text{eV}\cdot\text{nm}$
电子质量	$m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{kg} = 0.511 \text{MeV}/c^2$
质子质量	$m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{kg} = 938 \text{MeV}/c^2$
玻尔半径	$a_0 = 0.529 \times 10^{-10} \text{m}$

里德堡常数	$R_\infty = 1.097 \times 10^7 \text{m}^{-1}$
阿伏伽德罗常数	$N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$
玻耳兹曼常数	$k = 1.380 \times 10^{-23} \text{J}\cdot\text{K}^{-1} = 8.617 \times 10^{-5} \text{eV}\cdot\text{K}^{-1}$
质子质量	$m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{kg} = 938 \text{MeV}/c^2$
玻尔磁子	$\mu_B = 9.274 \times 10^{-24} \text{J}\cdot\text{T}^{-1} = 5.788 \times 10^{-5} \text{eV}\cdot\text{T}^{-1}$
原子质量单位	$u = 1.66 \times 10^{-27} \text{kg} = 931 \text{MeV}/c^2$