

Some Commonly Used Constants and Conversion Factors

(see Appendix A for a more complete list)

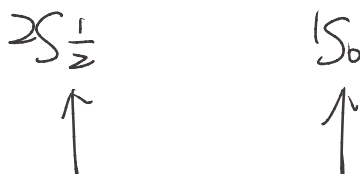
Speed of light	$c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$
Electronic charge	$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
Boltzmann constant	$k = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K} = 8.617 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$
Planck's constant	$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} = 4.136 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$
Avogadro's constant	$N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mole}^{-1}$
Electron mass	$m_e = 5.49 \times 10^{-4} \text{ u} = 0.511 \text{ MeV}/c^2$
Proton mass	$m_p = 1.007276 \text{ u} = 938.3 \text{ MeV}/c^2$
Neutron mass	$m_n = 1.008665 \text{ u} = 939.6 \text{ MeV}/c^2$
Bohr radius	$a_0 = 0.0529 \text{ nm}$
Hydrogen ionization energy	13.6 eV
Thermal energy	$kT = 0.02525 \text{ eV} \cong \frac{1}{40} \text{ eV} (T = 293 \text{ K})$
$hc = 1240 \text{ eV}\cdot\text{nm} (\text{MeV}\cdot\text{fm})$	$\hbar c = 197 \text{ eV}\cdot\text{nm} (\text{MeV}\cdot\text{fm})$
$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} = 1.440 \text{ eV}\cdot\text{nm} (\text{MeV}\cdot\text{fm})$	$1 \text{ u} = 931.5 \text{ MeV}/c^2$
	$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$

考生可准备一张 A4 纸用来标记自己所需的公式、数据或知识点，并携带入考场，可携带计算器和笔。除此之外，不携带任何对考试有帮助的工具和电子产品。

基础知识选择题:

1. 斯特恩-盖拉赫实验中观察到基态银原子束在不均匀磁场中分裂为双层。这个实验现象说明 (D)

- (A) 空间量子化;
- (B) 电子自旋假设的正确;
- (C) 电子自旋磁矩取值只有两个;
- (D) 以上三点都对。



2. 斯特恩-盖拉赫实验中, 如果将银 (Ag) 原子换成汞 (Hg) 原子, 预计能观测到原子束分成几层? 已知 Hg 原子基态为 $1S_0$ 。 (A)

- (A) 不分裂;
- (B) 分裂为双层;
- (C) 分裂为三层;
- (D) 分裂为四层。

3. 原子有效总磁矩应理解为 (B)

- (A) 原子内轨道磁矩和自旋磁矩的代数和;
- (B) 原子总磁矩在总角动量方向的投影值;
- (C) 原子内轨道磁矩和自旋磁矩的矢量和;
- (D) 原子总磁矩垂直于总角动量方向的投影值。

4. 原子精细结构主要是由 (A) 引起的。

- (A) 电子轨道运动引起的磁场与自旋磁矩的作用
- (B) 外电场与电子轨道磁矩
- (C) 外磁场与轨道磁矩的相互作用
- (D) 外电场与自旋磁矩

5. 下面哪个实验现象与电子自旋无直接关系? (C)

- (A) 钠光谱中的双黄线; (B) 反常塞曼效应;
(C) 斯塔克效应; (D) 银原子在非均匀磁场中的分裂现象。

↓
原子自旋

6. 氢原子的基态为 (A)

- (A) $1S_0$ (B) $2S_{1/2}$ (C) $3S_1$ (D) $1P_1$

$$l=0, S=0$$

7. 氢原子由状态 $1s2p$ ($^3P_{2,1,0}$) 向 $1s2s$ (3S_1) 进行跃迁, 可产生的谱线条数为 (C)

- (A) 0; (B) 2; (C) 3; (D) 1



8. 对于每个主壳层 n , 它最多可以容纳的电子数为 (B)

- (A) n^2 ; (B) $2n^2$; (C) n ; (D) $2n$

$$2n^2$$

9. 主导原子核衰变的主要相互作用是 (C)

- (A) 电磁相互作用和引力
(B) 强相互作用和电磁相互作用
(C) 强相互作用和弱相互作用
(D) 弱相互作用和电磁相互作用

10. 下面哪种说法不正确? (B)

- (A) 电子以及中微子都属于轻子;
- (B) 质子与中子都属于强子, 由夸克组成;
- (C) 弱相互作用通过交换 W 或者 Z 玻色子发生;
- (D) 对于所有相互作用过程, 宇称都需要保持守恒。

第一部分半经典原子物理:

1. 德布罗意波的动量以及动能。如果光子与电子具有相同的波长 $\lambda = 40 \text{ nm}$ (纳米)

(1) 求光子与电子的动量之比是多少?

(2) 求光子与电子的动能之比是多少?

2. De Broglie Waves in Hydrogen Atom: In the Bohr model of Hydrogen atom, the angular momentum of the electron is given by $n\hbar$, where \hbar is the reduced Planck's constant $h/2\pi$, and $n=1,2,3\dots$ for different orbits of the electron.

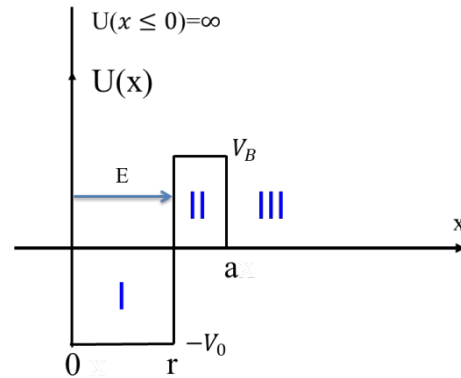
(1) What is the De Broglie wavelength of the electron in the first excited state ($n=2$) ?

(2) When the electron jumps from the first excited state to the ground state, the atom emits a photon. What is the De Broglie wavelength of this photon?

第二部分量子力学初步:

1. 1D Schrodinger Equation for Alpha Decay: Alpha decay can be described by a 1D Schrodinger Equation of an alpha particle trapped inside the nucleus by a flat barrier. The potential energy is shown in the following:

$$U(x) = \begin{cases} \infty, & x \leq 0 \\ -V_0, & 0 < x < r, & I \\ V_B, & r \leq x \leq a, & II \\ 0, & x > a, & III \end{cases}$$



If the alpha particle has a positive total energy $E < V_B$, answer the following questions:

- What are the 1D time-independent Schrodinger Equations of an alpha particle with a mass of m in the region I, II and III? Please write down these equations and find the general solutions.
- Show explicitly how to apply the boundary conditions to determine the arbitrary constants in the general solutions found in (a)? (Hint: you only need to write down the specific equations which determine the arbitrary constants, but you are not required to solve them.)
- For the alpha particle has a positive total energy E , what is the probability of alpha decay? (Hint: Use the arbitrary constants in the general solutions to represent your results.)



第三部分利用量子力学的原子物理:

1. 铍原子由 Be 原子核以及四个核外电子构成。

- (1) 请给出该原子基态的电子组态, 并按 L-S 耦合写出该组态可以耦合成的原子态。
- (2) 若基态组态中一个电子被激发到 3p 态及其以下的所有可能能级, 给出相应的电子组态以及按照 L-S 耦合所有可能的原子态。

2. 在钠原子的光谱线中, 谱线 D2 来自第一激发态 $3^2P_{3/2}$ 到基态 $3^2S_{1/2}$

的跃迁, 其波长为 λ (589.0nm), 当钠原子放在磁场中时, D2 线将分裂成六条谱线。设外磁场的磁感应强度为 B, 玻尔磁子 μ_B

- (1) 做出此塞曼效应的能级图;
- (2) 给出各原子态的朗德 g 因子;
- (3) 在能级图中标出所有可能的跃迁;
- (4) 计算六重线中最小和最大两条谱线的频率差。

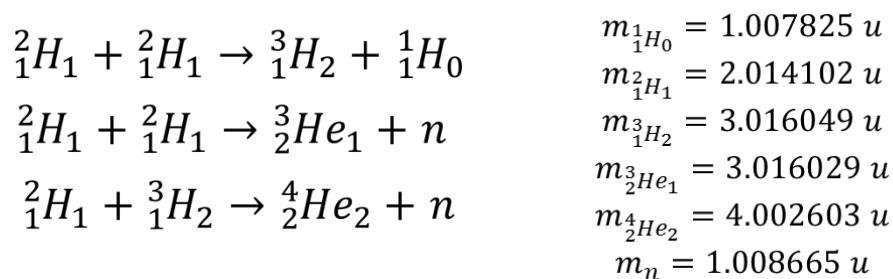
3. 铯原子 ^{133}Cs 的超精细能级与塞曼效应。

量子数 ($n, l, m_l, s, m_s, j, m_j$) 用于描述原子的电子状态和能级, 其中 l, s 和 j 分别表示为轨道角动量、自旋角动量和总角动量量子数, m_l, m_s 和 m_j 表示相应角动量在 z 方向上的分量量子数。 ^{133}Cs 原子是 55 号元素, 原子核自旋 $I=7/2$ 。

- (1) 给出 ^{133}Cs 原子的电子组态; (5 分)
- (2) 确定 ^{133}Cs 原子基态 ($L=0$) 的量子数 (j, m_j) 的可能数值; (5 分)
- (3) 给出 ^{133}Cs 原子基态的超精细能级; (5 分)
- (4) 确定上述超精细能级在弱外磁场下分裂而成的塞曼能级。 (5 分)

第四部分核物理与粒子物理:

1. Fusion Energy: For a controlled thermonuclear reactor, there exist several reactions for Fusion Energy, such as



Here u is the unit of atomic mass. Please

- (a) Calculate the release energy Q for each reaction in terms of the unit of eV
- (b) For 900 deuterium atoms, what is the maximum energy that can be generated through the above fusion reactions in term of the unit of eV

2. Standard Model of Particle Physics: Please answer the following questions about the Standard Model.

- (a) There are two different categories of elementary material particles in Standard Model according to their statistical properties. What are these two categories and what kind of elemental particles are in each category? (5 pts)
- (b) What are the three generations of quarks? (5 pts)
- (c) What are the Higgs Bosons? (5 pts)
- (d) What is the dark matter? (5 pts)