

## 习 题

1.1 根据汤姆孙的原子模型,已知氢原子的电离能是 13.6 eV.

(1) 试确定氢原子的半径(请先写出均匀电荷分布球内的电势);

(2) 若氢原子的辐射波长为  $0.6 \mu\text{m}$ ,试估算原子的半径.

1.2 动能  $T=0.87 \text{ MeV}$  的质子轰击静止的汞核,当散射角  $\theta = \frac{\pi}{2}$  时,求它们之间的最小距离和瞄准距离.

1.3 一窄束动能为 100 keV 的质子垂直地入射在厚度为  $1.0 \text{ mg/cm}^2$  的金箔上,计数器记录以  $60^\circ$  角散射的质子.计数器圆形输入孔的面积为  $1.0 \text{ cm}^2$ ,它到金箔散射区的距离保持 10 cm,输入孔垂直对着射到它上面的质子.试求射进计数器的质子的百分数(金 Au:  $A = 197, Z = 79, \rho = 1.93 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$ ).

1.4 动能  $T=1.20 \text{ MeV}$  的质子和金原子核散射,散射在从  $\theta = \frac{\pi}{3}$  到  $\pi$  的角间隔内,试计算与此相应的散射截面.

1.5 一束动能为 1.0 MeV 的强度为  $3.6 \times 10^4$  个/秒的  $\alpha$  粒子,垂直地射在厚度为  $1.0 \mu\text{m}$  的金箔上.试求 10 min 内被金原子散射到下列角间隔里的  $\alpha$  粒子数目.

(1)  $59^\circ \sim 61^\circ$ ;

(2)  $\theta > \theta_0 = 60^\circ$ ;

(3)  $\theta < \theta_0 = 10^\circ$ .

1.6 对于氢原子、 $\text{He}^+$ 、 $\text{Li}^{++}$ ,若认为原子核是不动的,试计算

(1) 前两个玻尔轨道的半径及电子在这些轨道上的速度;

(2) 电子在基态的动能和它的结合能;

(3) 第一激发电势及共振线(指第一激发态和基态间的跃迁辐射)的波长.

1.7 已知氢原子的电离能为 13.6 eV.试求  $\text{B}^{+++}$  类氢离子从  $n=2$  能级跃迁到  $n=1$  的辐射能量.

1.8 已知氢原子的巴耳末系及  $\text{He}^+$  的毕克林系的线系限为  $2\,741\,940 \text{ m}^{-1}$  和  $2\,743\,059$



$m^{-1}$ , 求质子与电子质量之比.

1.9 能量为 6.0 MeV 的质子束被金箔散射, 其中有  $1.0 \times 10^{-4}$  的人射质子的散射角大于  $60^\circ$ , 求金箔的厚度.

1.10 当氢原子跃迁到激发能为 10.19 eV 的状态时, 发射一个波长为 485 nm 的光子, 试确定初始能态的结合能.

1.11 某种类氢离子的光谱中, 已知属于同一线系的三条谱线的波长分别为 99.2 nm, 108.5 nm 和 121.5 nm. 试问还可以预言哪些光谱线?

1.12 若氢原子被激发到  $n = 10$  的能级, 试问氢可能发射的谱线有多少条?

1.13 气体放电管用能量为 12.2 eV 的电子去轰击氢原子, 试确定此时的氢所发射的谱线的波长.

1.14 对于一个正电子和负电子所组成的原子体系(电子偶素), 试求出:

(1) 在基态时粒子之间的距离;

(2) 电离电势和第一激发电势;

(3) 里德伯常量和共振线(指第一激发态和基态间的跃迁辐射)的波长.

1.15 若有一个质量为  $207 m_e$ , 负电荷的  $\mu$  介子和  $Z = 1$  的原子核组成一个原子, 试计算:

(1) 基态时  $\mu$  介子和核之间的距离;

(2) 当原子核是质子和氘( $^2\text{H}$ )核时, 原子基态的能量.

1.16 设氢原子原来是静止的, 求当由  $n = 4$  的态直接跃迁到  $n = 1$  的态时原子的反冲速度、发射光子的波长, 并给出与不考虑反冲时光子的波长的差别.

1.17 氢原子由基态激发到  $n = 4$  的状态:

(1) 计算原子吸收的能量;

(2) 原子回到基态时可能发射光子的波长. 并标明它们属于哪个谱系?

1.18 玻尔认为在量子数很大即电子轨道半径很大时, 量子物理计算的结果应和经典物理的规律计算的应该是一致的, 称作对应原理. 试将这思想运用在氢原子的情形, 计算轨道半径并推出轨道角动量量子化的公式.



## 习 题

- 2.1 氦氖激光器发出波长为 632.8 nm 的红光,求激光束中光子的能量.
- 2.2 钾的功函数为 2.2 eV,用波长 350.0 nm 的紫外光照射钾表面,计算光电子的最大动能值.
- 2.3 (1) 若一个 100 MeV 的光子被一个质子散射,计算在  $90^\circ$  方向散射光子的能量;  
(2) 求反冲质子的速度(质子的静止能量为 938.26 MeV).
- 2.4 波长为 0.071 nm 的 X 射线光子被自由电子散射到  $135^\circ$  散射角,求散射光子的能量.
- 2.5 计算下列粒子的德布罗意波长:  
(1) 50 eV 的光子;  
(2) 动能为 50 eV 的电子;  
(3) 动能为 50 eV 的中子(中子的静止能为 940 MeV).
- 2.6 气体分子在室温下的动能为 0.025 eV,请计算室温下氢分子的德布罗意波长,设氢分子的静止能为 1877 MeV.
- 2.7 (1) 显微镜可以分辨的最小线间隔,原则上约等于照射光的波长.一般电子显微镜的电子束能量为 50 keV.计算这种电子显微镜的最高分辨本领.  
(2) 计算动能为 12.4 GeV( $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$ )电子的德布罗意波长.
- 2.8 同时确定一个 15 eV 的电子的位置和动量,若位置的误差为 0.1 nm,试求动量的不确定量.
- 2.9 下列各粒子限制在线度  $L$  的一维盒中,请利用海森伯不确定关系式估计它们具有的最小动能:  
(1) 电子限制在  $L = 1 \text{ \AA}$  的盒子中;  
(2) 电子限制在  $L = 10 \text{ fm}$ (原子核尺寸)的盒子中, $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$ ;  
(3) 中子(静止能量为 940 MeV)限制在  $L = 10 \text{ fm}$  的盒子中;  
(4) 质量为  $m = 10^{-6} \text{ g}$  的粒子限制在  $L = 10^{-6} \text{ m}$  的盒中.



2.10 金属中的电子在近表面处所受到的势场可近似为阶跃势场,试估算铜中的自由电子的透入距离(设铜的功函数为 4 eV).

2.11 质量为  $m$  的粒子在一无限深势阱中运动,它的能量本征函数  $u(x) = \sin kx$ ,试计算它的非相对论动能.

2.12 质量为  $m$  的粒子在一维势场  $V(x) = \frac{1}{2} m\omega^2 x^2$  中运动.

(1) 写出它的定态薛定谔方程;

(2) 已知它的哈密顿算符的本征函数为

$$u_0(x) = e^{-\left(\frac{m\omega}{2\hbar}\right)x^2}$$

$$u_1(x) = 2\sqrt{\frac{m\omega}{\hbar}} x e^{-\left(\frac{m\omega}{2\hbar}\right)x^2}$$

试计算每个本征函数的能量本征值;

(3) 试由不确定关系,  $\Delta x \Delta p \approx \hbar$ , 证明粒子的最低能量  $\approx \frac{1}{2} \hbar \omega$ .

2.13 氢原子的  $2p_{3/2}$  态的平均寿命是  $1.6 \times 10^{-9}$  s, 试求这个状态能量的不确定量(能级的自然宽度).

2.14 假如电子被束缚在一个宽度为  $1 \text{ \AA}$  的无限深势阱中, 试计算它处在最低的三个态的能量.

2.15 分别以波长为  $5000 \text{ \AA}$  和  $0.1 \text{ \AA}$  的光照射到某金属上, 求  $\theta = 90^\circ$  方向上的康普顿散射光的波长.

2.16 粒子相应的约化康普顿波长表示为  $\lambda_c = \frac{\hbar}{m_e c}$ ,  $m_e$  是粒子的静止质量. 电子的经典半径

$$r_e = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e c^2}, \text{ 其中 } m_e \text{ 是电子的静止质量, } e \text{ 是电子的电荷.}$$

(1) 计算电子的约化康普顿波长及经典半径和氢原子的玻尔半径之比, 即  $\frac{\lambda_c}{a_0}, \frac{r_e}{a_0}$ , 并以  $\pi, c, e$  表示;

(2) 已知精细结构常数  $\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar c} \approx \frac{1}{137}$ , 请给出  $\lambda_c$  和  $r_e$  的数值. 已知玻尔半径  $a_0 =$

$$\frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2} \approx 0.53 \text{ \AA};$$

(3) 计算  $\pi$  介子的康普顿波长( $\pi$  介子的静止质量为  $140 \text{ MeV}/c^2$ ).

2.17 在大气层上部由于太阳光子的作用氧分子解离为两个氧原子. 光子能引起氧解离的最长波长为  $\lambda = 1.75 \times 10^{-7} \text{ m}$ . 求氧分子的束缚能.

2.18 人的裸眼能察觉黄光的极限是视网膜接受到的功率为  $1.8 \times 10^{-18} \text{ W}$ . 黄光的波长约  $6000 \text{ \AA}$ . 求此情况下每秒落在视网膜上的光子数目.

2.19 在室温( $\sim 25^\circ \text{C}$ )时处于热平衡下的中子称为热中子. 中子的质量为  $1.675 \times 10^{-27} \text{ kg}$



( $939.5\text{MeV}/c^2$ ), 中子不带电. 求:

(1) 热中子的动能和其相应的德波罗意波长;

(2) 当平行热中子束射在晶格间距为  $2.82 \text{ \AA}$  的 NaCl 晶体, 反射束发生第一个最大时的人射束的角度.

2.20 设一个电子在离质子很远处是静止的, 在与质子的库仑作用下向质子靠近. 求当电子距质子  $1 \text{ m}$  和  $0.5 \text{ \AA}$  处时, 它相应的德波罗意波长.



## 习 题

- 3.1 试问基态氢原子是否能吸收可见光?
- 3.2 试问氢原子处于  $n=2$  的能级有多少个不同的状态? 并列出来各个状态的量子数.
- 3.3 已知氢原子的状态波函数为

$$u_{nlm} = \frac{1}{81 \sqrt{6\pi a_0^3}} \left(\frac{r}{a_0}\right)^2 e^{-r/3a_0} (3\cos^2\theta - 1)$$

试通过对  $u_{nlm}$  的主要特征的分析, 确定量子数  $n, l, m_l$  的值.

- 3.4 试给出氢原子中电子在基态时的平均电势.
- 3.5 对氢原子中的 2s 和 2p 电子, 试分别计算它们进入  $r < 10^{-13}$  cm (即在原子核内) 的概率.



率(近似计算,给出数量级).

3.6 (1)计算氢原子  $l=3$  量子态的角动量矢量的大小.

(2)给出在外磁场中(设磁场方向为  $z$ ),此原子角动量在磁场方向的分量.

3.7 估计跃迁时发射波长为 500 nm 光子的原子激发态的寿命,设电偶极矩振幅  $d \approx 10^{-8}$  cm.

3.8 氢原子处于  $n=3$  的能态,假设由  $n=3 \rightarrow n=2$  和  $n=3 \rightarrow n=1$  跃迁的电偶极矩是相同的,试估算发射谱线的相对强度.

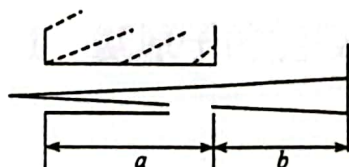
3.9 试求  $T=3000$  K 时处在主量子数  $n=2$  状态的氢原子与基态的氢原子的相对数目.

3.10 在原子的两个激发态之间跃迁的结果,产生  $\lambda=532$  nm 的光谱线.原子在这两个激发态的平均寿命等于  $1.2 \times 10^{-8}$  s 和  $2.0 \times 10^{-8}$  s,试估计这条谱线的自然宽度  $\Delta\lambda$ .

3.11 试证明对  $\Psi_{200}$  和  $\Psi_{100}$  组成的混合态,它的电偶极矩振幅为零.

3.12 氢原子 2p 能级的电偶极辐射的平均寿命是 1.6 ns,试估计一价氦离子的 2p 能级的寿命.

3.13 在施特恩-格拉赫的实验里,窄银原子束通过不均匀磁场而射到屏上.已知磁场区长度  $a=10$  cm,屏和磁场边缘的距离  $b=20$  cm,  $v=300$  m/s.试问当磁场强度梯度值为多大时,线束在屏上的裂距为 2 mm?



习题 3.13 图

3.14 对于  $l=1$  和  $s=1/2$ ,计算  $l \cdot s$  的可能值.

3.15 计算氢原子 2p 态时电子轨道运动在原子核处所产生的磁场.

3.16 试计算氢原子莱曼线系第一条谱线的精细结构裂距  $\Delta\lambda$ .

3.17 试确定氢原子的朗德因子值的变化范围.

3.18 计算处于  $^2D_{3/2}$  态原子的朗德因子,及实验可测得的磁矩值.

3.19 已知  $s=1/2, j=5/2, g=6/7$ ,试写出原子态,且以符号表示.

3.20 试计算氢原子基态时的磁矩.

3.21 试求  $^{208}\text{Pb}$  ( $Z=82$ ) 的  $\mu$  原子 2p 能级的精细结构裂距.(已知  $\mu$  子的质量  $m_\mu = 207m_e$ .)

3.22 当  $n$  和  $l$  增加时,双重态的裂距迅速减小.试问在氢原子中 2p 双重态的裂距与 3d 双重态的裂距之比值为多大?

3.23 考虑氢原子基态和  $n=2$  的激发态:

(1)不考虑精细结构,画出它们的能级图;

(2)考虑相对论效应后画出新能级且表明其光谱符号  $(n, l, j)$ ;

(3)计算相对论修正引起的能级移动和双层能级的间隔;

(4)考虑兰姆移位后对能级会有哪些影响?

3.24 一束自由电子经过一个  $B=5000$  Gs 的均匀磁场,试问自旋“平行”和“反平行”于磁



场  $B$  的电子的能量相差多少? 哪种电子的能量较大?

若用与上述能量差相应的光子照射电子, 会引起电子的“自旋反转”跃迁. 此现象称作“电子自旋共振”. 试求能引起共振的光子的波长与频率.

3.25 由于核磁矩的超精细作用使氢原子基态的能级发生劈裂. 试给出它的能级图, 并表示出它的总角动量量子数  $F$ .

3.26 (1) 以一简单模型来估计氢原子基态时电子运动所产生的磁场: 设电子作圆轨道运动, 轨道半径为  $r$ , 运动的速率为  $v$ , 试计算它在质子处所产生的磁场  $B_e$ .

(2) 质子的磁矩和它的自旋方向平行, 磁矩数值为  $\mu = 2.8\mu_N$ ,  $\mu_N = \frac{e}{2M_p}\hbar$ ,  $M_p$  是质子的质量. 试证明使质子磁矩反向所需能量为

$$\Delta E = 2.8 \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\hbar v}{M_p c^2 r^2}$$

并估计氢原子基态时, 此能量的大小.

(3) 如果氢原子基态超精细能级发生“自旋反转”跃迁, 试估计其谱线的波长.

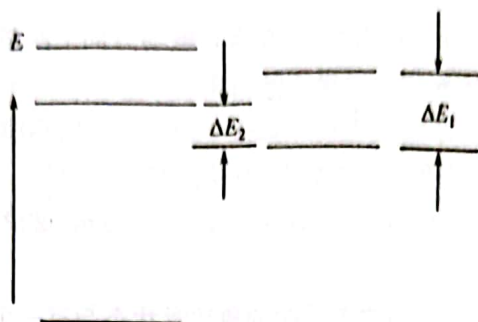
3.27 假定原子核是一个半径为  $R$ 、电荷均匀分布的球, 试求由体积效应引起的能量修正.





## 习 题

4.1 氦原子基态和  $n=2$  激发态的能级可用下图表示,请给出:



习题 4.1 图

- (1) 这五个态的原子态符号;
- (2) 解释形成能量差  $\Delta E_1$  和  $\Delta E_2$  物理原因;
- (3) 画出这五个能级间的允许跃迁.

4.2 氦原子中两个电子分别激发到 2p 和 3d 状态. 试求原子总轨道角动量子数  $L$  的可能取值和可组成的各原子态.

4.3 写出碳原子基态的电子组态,并给出可能组成的原子态.

4.4 请分别写出硫原子 ( $Z=16$ ) 和铁原子 ( $Z=26$ ) 的基态电子组态,并根据洪德定则确定基态原子态.

4.5 分别以  $LS$  耦合和  $jj$  耦合写出 3p 和 3d 电子的合成状态,并证明它们具有相等的状态数.

4.6 写出两个等效和非等效 d 电子可以构成的原子状态.

4.7 写出下列谱项表示的原子态的量子数,并指出哪些原子态是不存在的:

$${}^2S_{3/2}, {}^3D_2, {}^5P_3, {}^5F_0, {}^1P_2, {}^2D_2$$

4.8 试画出从  ${}^4D$  态到  ${}^4P$  态的所有可能的跃迁.

4.9 试求出电子组态  $1s^2 2s^2 2p^5 3p^1$  在  $LS$  耦合情况下所有可能的谱项,并以惯用的光谱符号  ${}^{2S+1}L_J$  表示.

4.10 某种原子服从  $LS$  耦合,它的一个五重态的相邻能级间隔之比为 1:2:3:4(按能量增加的次序),试确定这些能级的量子数  $S, L, J$ .

4.11 一个原子的电子组态  $1s^2 2s^2 p^2$ ,问这个组态可能组成哪些原子态,并给出这个原子基态原子态.

4.12 碳原子某一激发态为三重结构,三层精细结构能级分别比基态高出  $60333 \text{ cm}^{-1}$ 、 $60353 \text{ cm}^{-1}$ 、 $60393 \text{ cm}^{-1}$ ;

- (1) 已知碳原子为  $LS$  耦合,试确定这些精细结构能级的量子数  $L, S, J$ ;
- (2) 碳的基态也为三重结构,其  $J$  值分别为 0, 1, 2. 试给出这两个态的精细结构能级图,标明相应的光谱符号,画出可能的电偶极跃迁.



4.13 在磁场中钙原子的一条  $\lambda = 422.7 \text{ nm}$  谱线呈现正常塞曼效应. 求  $B = 3 \text{ T}$  时, 分裂谱线的频率差和波长差.

4.14 钠原子从  $3^2P_{1/2} \rightarrow 3^2S_{1/2}$  跃迁的光谱线波长为  $589.6 \text{ nm}$ , 在  $B = 2.5 \text{ Wb} \cdot \text{m}^{-2}$  的磁场中发生塞曼分裂. 问从垂直于磁场方向观察, 其分裂为多少条光谱线, 并给出其中波长最长和最短的两条光谱线的波长.

4.15 当镉光源放在  $8.6 \text{ mT}$  的磁场中, 在垂直磁场方向上测量光谱时, 镉的红线分裂为三条谱线, 其频率间隔为  $120 \text{ MHz}$ , 试计算电子的荷质比.

4.16 分析 Cd 原子波长为  $6438 \text{ \AA}$  由  $^1D_2 \rightarrow ^1P_1$  跃迁产生的谱线的塞曼效应, 说明各谱线的偏振状态, 并分别讨论在垂直与平行于磁场方向进行观察的结果.

4.17 如果原子中电子的状态以量子数  $n, l, s, j, m$  表示, 试求  $n = 3$  的壳层上最多能容纳多少个电子?

4.18 试证  $l = 1$  支壳层上有五个电子时的角动量状态与有一个电子时的相同.

4.19 硼原子的电离能是  $8.3 \text{ eV}$ , 它的  $1s$  电子的结合能为  $259.3 \text{ eV}$ . 若用电子轰击硼靶, 问电子至少要有多大的动能才能产生 KX 射线?

4.20 已知某元素的  $K_{\alpha}$  X 射线能量为  $6.375 \text{ keV}$ , 问这是什么元素?

4.21 X 射线管的加速电压为  $45 \text{ kV}$  时, 求发射谱的最短波长.

4.22 当 X 射线管加速电压由  $10 \text{ kV}$  增加到  $20 \text{ kV}$  时, 发射谱的  $K_{\alpha}$  线与短波限的波长差增加了两倍, 试问阳极是哪种元素组成的?

4.23 测得钨的 X 射线 K 吸收限是  $0.1782 \text{ \AA}$ , 试求 K 壳层的电子能量  $E_K$ . 如果将钨原子的电子逐个电离, 只剩下一个电子与原子核构成类氢离子, 试求该离子的基态能量  $E_1$ . 说明为什么  $E_1$  和  $E_K$  不相同?

4.24 已知镍的  $K_{\alpha}$  线的波长为  $1.66 \text{ \AA}$ ,  $K_{\beta}$  线的波长为  $1.50 \text{ \AA}$ , K 吸收限为  $1.49 \text{ \AA}$ .

(1) 试确定镍原子的原子序数  $Z$ ;

(2) 用高能电子束轰击镍靶, 若要观察到  $L_{\alpha}$  线, 问电子的动能至少为多大? 这时产生的连续 X 射线谱的最短波长为多大?

4.25 由下列数据求:

元 素	K 壳层束缚能 / keV	$K_{\alpha}$ / keV	$K_{\beta}$ / keV
Zr	17.996	15.7	17.7
Nb	18.986	16.6	18.6
Mo	20.000	17.4	19.6

(1) Zr, Nb, Mo 的 L 壳层的束缚能;

(2) Zr 的原子序数.

4.26 用钨的  $K_{\alpha}$  特征 X 射线, 在氯化钠晶体的天然晶面上“反射”, 当掠射角  $\theta = 7.27^\circ$  时产生一级衍射极大. 已知晶体的密度为  $2165 \text{ kg/m}^3$ , 求晶体的晶格常数和阿伏伽德罗常量.

4.27 用钨的  $K_{\alpha}$  线 ( $E = 59.1 \text{ keV}$ ) 照射放在真空中的银. 由银表面飞出的电子的能量有:  $55.8 \text{ keV}$ ,  $33.7 \text{ keV}$ ,  $21.6 \text{ keV}$  和  $18.8 \text{ keV}$ . 请分别给出产生这些电子的物理过程. (已知银的 K 吸收限  $E = 25.4 \text{ keV}$ , L 吸收限  $E = 3.3 \text{ keV}$ , M 吸收限  $E = 0.5 \text{ keV}$ .)



4.28 (1) 已知钨的K吸收边是0.0178 nm, K系线的波长(忽略精细结构)为  $K_{\alpha}$ :0.0210 nm,  $K_{\beta}$ :0.0184 nm 及  $K_{\gamma}$ :0.0179 nm. 请画出钨的能级及给出K、L、M和N壳层的能量.

(2) 试给出激发钨的L线系的最低能量及L线的波长.

4.29 X射线通过铝片, 每片铝片为0.4 cm厚. 当X射线通过0、1、2、3、和4片时, 用盖革计数器测得的计数分别是:  $8 \times 10^3$ ,  $4.7 \times 10^3$ ,  $2.8 \times 10^3$ ,  $1.65 \times 10^3$  和  $9.7 \times 10^2$  计数/每分钟. 试计算铝的线吸收系数.

4.30 (1) 已知下列元素的原子态: 钒( $^4F$ )、锰( $^6S$ )和铁( $^5D$ ), 这些原子束在施特恩-格拉赫实验中分裂为4、6、9线. 试计算它们在磁场方向磁矩的最大值.

(2) 一个单态在  $B_0 = 0.5 \text{ T}$  的外磁场中能级分裂值为  $\tilde{\nu} = 1.4 \text{ cm}^{-1}$ , 写出这个态的谱项.



## 习 题

5.1 用均匀磁场质谱仪测量某一单电荷正离子,离子先在电势差为 1000V 的电场中加速,然后在 1000Gs 的磁场中偏转,测得离子轨道半径为 18.2cm. 试求(1)离子速度;(2)离子质量;(3)离子质量数.

5.2 计算下列各原子核的半径: ${}^4_2\text{He}$ , ${}^{107}_{47}\text{Ag}$ , ${}^{238}_{92}\text{U}$ , 设  $r_0 = 1.45\text{fm}$ .

5.3 试计算 ${}^3\text{H}$ , ${}^3\text{He}$ , ${}^4\text{He}$ 核的比结合能  $B/A$ . 已知它们原子量为  $M({}^3\text{H}) = 3.016\ 050\ \text{u}$ ,  $M({}^3\text{He}) = 3.016\ 029\ \text{u}$ ,  $M({}^4\text{He}) = 4.002\ 603\ \text{u}$ ,  $M({}^1\text{H}) = 1.007\ 825\ \text{u}$ ,  $M_n = 1.008\ 665\ \text{u}$ .

5.4 已知 ${}^{34}_{16}\text{S}$ 的原子量  $M = 33.967\ 865\ \text{u}$ , 求其质量亏损及比结合能.

5.5 计算动能分别为 0.5 MeV, 2.0 MeV, 10 MeV 和 100 MeV 的电子的德波罗意波长.

5.6 试由  $\beta$  稳定线经验公式分别确定 ${}^{57}\text{Ni}$  和 ${}^{140}\text{Xe}$  经  $\beta$  衰变生成的  $\beta$  稳定性核素, 并分别写出它们的  $\beta$  衰变链.



- 5.7 根据壳模型给出 ${}_{29}^{63}\text{Cu}$ ,  ${}_{29}^{65}\text{Cu}$ 核基态的自旋和宇称.
- 5.8 试由核壳层模型求 ${}^7\text{Li}$ 核基态的自旋.
- 5.9 根据核模型给出 ${}^4_2\text{Be}$ ,  ${}^{14}_7\text{N}$ ,  ${}^{37}_{17}\text{Cl}$ 核基态的自旋和宇称.
- 5.10 实验测得 ${}^{210}_{84}\text{Po}$ 的 $\alpha$ 粒子能量为 5.3 MeV, 试求其衰变能.
- 5.11 计算 ${}^{27}_{13}\text{Al}$ 的核半径及对 $\alpha$ 粒子的位垒; 若动能分别为 5.3 MeV 和 8.6 MeV 的 $\alpha$ 粒子射向核, 试给出它们可靠拢的最近距离.
- 5.12 利用核素质量, 计算 ${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He}$ 的 $\beta$ 谱的最大能量.
- 5.13 氡 $\beta$ 衰变的半衰期为 12.33 年(a), 求 1ml 氡发出的 $\beta^-$ 粒子的强度.
- 5.14 样品中含 RaE(即核素 ${}^{210}_{88}\text{Bi}$ ) 4.0 mg, 它的半衰期为 5.01 天(d), 放出的 $\beta$ 粒子的平均能量为 0.33 MeV, 试求样品的能量辐射率  $W$ .
- 5.15 (1) 已知 ${}^{137}_{55}\text{Cs}$ 核具有 $\beta^-$ 放射性, 它放出的两组电子的最大能量为 1.176 MeV 和 0.515 MeV, 同时放出 $\gamma$ 射线, 能量为 0.661 MeV, 试说明此过程并给出它的衰变图.  
 (2) 已知 ${}^{137}_{56}\text{Ba}$ 核外 K 层电子的电离能  $E_K = 37 \text{ keV}$ , L 壳层的电离能  $E_L = 6 \text{ keV}$ , 试给出内转换电子的能量;  
 (3) 实验中探测到能量为 31 keV 的 X 射线, 试说明它的来源.
- 5.16 核反应  ${}^{16}_8\text{O} + d \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + p$ , 试计算此反应中释放出的能量. 已知  $M({}^{16}_8\text{O}) = 15.994\ 915 \text{ u}$ ,  $M({}^{17}_8\text{O}) = 16.999\ 133 \text{ u}$ ,  $M({}^2_1\text{H}) = 2.014\ 102 \text{ u}$ .
- 5.17 天然铀中 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 组分的含量为 99.27%,  ${}^{235}_{92}\text{U}$ 组分含量为 0.72%. 它们都具有 $\alpha$ 放射性,  ${}^{238}_{92}\text{U}$ 的半衰期为  $4.5 \times 10^9 \text{ a}$ ,  ${}^{235}_{92}\text{U}$ 的半衰期为  $7.05 \times 10^8 \text{ a}$ . 可以认为在元素形成时, 它们的数量应是相同的, 试由此估算地球的年龄.
- 5.18 活的树木中每克碳的计数是每分钟  $(16.1 \pm 0.3)$  个. 用计数效率为  $(5.40 \pm 0.14)\%$  的探测器来测量考古样品, 考古的木样品中含碳 8 g 重, 用探测器测到每分钟计数为  $(9.5 \pm 0.1)$  个, 而没有样品时的本底计数是  $(5.0 \pm 0.1)$  个. 已知 ${}^{14}_6\text{C}$ 的半衰期为 5730 a, 试估计此样品的年代.
- 5.19  ${}^{113}_{48}\text{Cd}$ 核吸收热中子的截面  $\sigma_a = 21000 \text{ b}$  ( $10^{-24} \text{ cm}^2$ ), 镉的密度为  $8.7 \text{ g/cm}^3$ , 若要使中子束的强度减到 0.01%, 问要用多厚的镉片?
- 5.20 设一大湖容量为  $20\ 500 \text{ km}^3$ , 计算水中全部的氡原子可释放的聚变能. 已知氡的丰度为 0.0156%.
- 5.21 实验测得 ${}^{241}_{95}\text{Am}$ 原子光谱的超精细结构由六条谱线组成, 已知相应原子能级的电子总角动量大于核的自旋, 试求 ${}^{241}_{95}\text{Am}$ 核的自旋.
- 5.22  ${}^{130}_{52}\text{Te}$ 可以经双 $\beta^-$ 衰变生成 ${}^{130}_{54}\text{Xe}$ , 试计算此两核素的基态的能量差.
- 5.23 已知 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 每次衰变放出一个 $\alpha$ 粒子, 实验测得 1mg  ${}^{238}_{92}\text{U}$ 每分钟发射 740 个 $\alpha$ 粒子. 试计算 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 的半衰期.
- 5.24 入射氘核的能量为 0.150 MeV, 发生 ${}^3_1\text{H}(d, n){}^4_2\text{He}$ 反应, 问在  $90^\circ$  和  $0^\circ$  方向出射的中子的能量是多大?
- 5.25  ${}^3_1\text{H}(p, n){}^3_2\text{He}$ 是常用作中子源的一种反应. 反应的  $Q$  值为  $-0.764 \text{ MeV}$ . 试计算(1) 阈能; (2) 当入射质子动能为 1.120 MeV 时, 在  $30^\circ$  方向出射中子的能量.



## 习 题

6.1 试说明由于违反什么守恒律,使下列反应不能发生:

(1)  $n \rightarrow p + e^-$

(2)  $n \rightarrow \pi^+ + e^- + \nu_e$

(3)  $n \rightarrow p + \gamma$

(4)  $n \rightarrow p + \pi^-$

6.2 判断下列各反应中哪些是禁戒的,分别指出这些反应属于哪种相互作用.

(1)  $p \rightarrow \pi^+ + e^- + e^+$ ;

(2)  $n + p \rightarrow \Lambda^0 + \Sigma^+$ ;

(3)  $\Sigma^+ \rightarrow p + \gamma$ ;

(4)  $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$ ;

(5)  $\mu^- \rightarrow e^- + \nu_e + \nu_\mu$ .

6.3 用高能质子轰击液氢靶时,求产生  $\pi$  介子的阈能.

6.4 已知  $K^+$  介子的夸克组成是  $(u\bar{s})$ , 试定出  $K^-$  介子和  $\Sigma^+$  (质量为 1 189.4 MeV) 超子的奇异数.

6.5 求静止的  $\pi$  介子衰变产生的  $\mu$  子和中微子的动能.

6.6 已知带电  $\pi$  介子的寿命为  $2.6 \times 10^{-8}$  s, 在实验室中测得飞行中的  $\pi$  介子的寿命为 75 ns ( $ns = 10^{-9}$  s), 求  $\pi$  介子的速度、动能和动量.

6.7 一个高速电子与静止电子碰撞, 求产生反电子的阈动能.

6.8 以  $\pi^+$  介子轰击静止质子时, 测到有质量为 1 690 MeV 的共振态, 求这时入射  $\pi$  介子的最低能量.

6.9 由夸克模型写出下列强子的电荷  $Q$ 、同位旋  $I$  及  $I_3$ 、奇异数  $S$ 、重子数  $B$  和超荷  $Y$ .

$$\bar{K}(\bar{s}d), \phi(\bar{s}s), \Delta(uuu), \Xi(ssd)$$

6.10 说明正电子素  $^3S_1$  态不可能衰变为两个光子的理由.

6.11 试问下列粒子: 光子, 中微子, 中子和电子.

(1) 哪些不参与电磁相互作用?

(2) 哪些不参与强相互作用?



(3) 哪些不参与弱相互作用?

6.12 在北京正负电子对撞机上的实验中测到质量为 3.1 GeV 的  $J/\Psi$  粒子



求这一反应的阈能. 如果以  $e^+$  撞击静止的  $e^-$ , 则产生  $J/\Psi$  的阈能为多大?

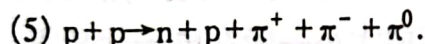
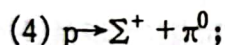
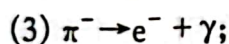
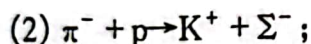
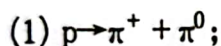
6.13  $J/\Psi$  粒子是由粲夸克和反粲夸克组成的, 已知它的  $J^{PC}$  为  $1^{--}$ , 请给出这个粲夸克素的轨道角动量、自旋角动量、同位旋量子数.

6.14 已知  $\Xi^-$  的  $Q = -1, B = 1, S = -2$ . 请写出它的夸克组成, 它的同位旋多重态中其他粒子的组成、 $Q, B$  和  $S$ .

6.15  $\rho^-$  介子是由  $\pi^-$  和  $p$  散射得到的介子共振态, 其反应为:  $\pi^- + p \rightarrow \rho^- + p$ , 试由守恒关系给出  $\rho^-$  介子的同位旋、同位旋第三分量、奇异数和重子数.

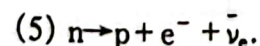
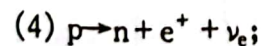
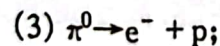
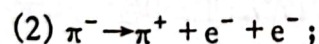
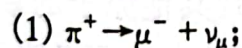
6.16 实验测得  $\rho$  的质量宽度为 150 MeV, 求它的平均寿命.

6.17 指出并说明下列哪些反应或衰变是守恒定律允许的.



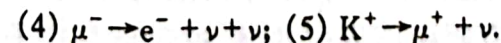
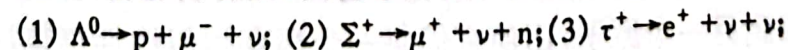
6.18 衰变过程  $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$  是一个弱作用过程, 请给出判断的理由.

6.19 试判断下列衰变过程哪些是可能发生的, 哪些是不可能发生的, 并加以说明.



6.20 根据夸克模型, 认为强子中含有的夸克或反夸克总数为多少?

6.21 指出下列过程中哪些是中微子, 哪些是反中微子, 并写出是属于哪种类型的.



6.22 假设某种玻色子的下列量子数都不为 0, 试问这种玻色子和它的反粒子的哪一个量子数是相同的?

(1) 奇异数; (2) 粲数; (3) 内禀宇称; (4) 磁矩; (5) 电荷.



## 习 题

7.1 钾的电离能为 4.34 eV, 氯的电子亲和势为 3.62 eV. 氯化钾分子的平衡距离为 0.279 nm. 由这些数据估算 KCl 分子分解为 K 原子和 Cl 原子所需的能量.

7.2 对  $\text{H}^{35}\text{Cl}$  分子, 核间距离为  $R_e = 0.12746 \text{ nm}$ , 计算这个分子的

(1) 转动谱常数  $B$ , 分别以  $\text{cm}^{-1}$  及 MHz 为单位表示;

(2)  $J = 0, 1, 2, 3, 4, 5$  的转动能级的能量;

(3) 在 300 K 时这 5 个态的相对布居.

7.3 对 HF,  $\text{H}^{35}\text{Cl}$ , HBr 和 HI 分子的振动能级的间隔分别为  $3958.4 \text{ cm}^{-1}$ ,  $2885.6 \text{ cm}^{-1}$ ,  $2559.3 \text{ cm}^{-1}$ ,  $2230.0 \text{ cm}^{-1}$ . 计算这些分子的键力常数.

7.4  $^{127}\text{I}^{35}\text{Cl}$  的谱常数为  $\tilde{\nu}_e = 384.18 \text{ cm}^{-1}$ ,  $x_e \tilde{\nu}_e = 1.465 \text{ cm}^{-1}$ . 该分子的解离能是 2.153 eV, 计算

(1) 在  $v = 0$  和 1 之间跃迁的谱线的波数;

(2) 在  $v = 1$  和 2 之间跃迁的谱线的波数;

(3) 分子位势曲线的深度.

7.5 已知 HCl 的势阱深度为 5.33 eV,  $\tilde{\nu}_e = 2989.7 \text{ cm}^{-1}$ ,  $x_e \tilde{\nu}_e = 52.05 \text{ cm}^{-1}$ . 试估计

(1) HCl 的解离能;

(2) DCl 的解离能 ( $m_D = 2.014 \text{ u}$ ).

7.6 一个双原子分子的  $J = 5$  到  $J = 6$  的吸收线的波长为 1.35 cm. 请计算

(1)  $J = 0$  到  $J = 1$  的转动吸收线的波长和频率.

(2) 计算分子的转动惯量.

7.7 HI 分子的振动能级  $v = 0$  到  $v = 1$  的跃迁, 相应的频率是  $6.69 \times 10^{13} \text{ Hz}$ . NO 分子相应能级跃迁频率为  $5.63 \times 10^{13} \text{ Hz}$ . 试计算两种分子的键力常数和振动幅度.

7.8 HF 分子的转动常数  $B = 20.95 \text{ cm}^{-1}$ , 计算

(1) HF 分子的核间距.

(2) 分别给出氢的两种同位素的氟化物 ( $^2\text{DF}$ ,  $^3\text{TF}$ ) 分子转动谱线的间隔.

7.9 氢分子的解离能是 4.5 eV, 假定分子就像简谐振子一样振动, 振动频率为  $8.277 \times 10^{14} \text{ rad/s}$ . 求相应于解离能 4.5 eV 的振动量子数.

7.10  $^{35}\text{Cl}_2$  的振动拉曼谱, 有一组斯托克斯线, 它们的间距为  $0.9752 \text{ cm}^{-1}$ , 它的反斯托克斯线的间距也是这值. 求  $\text{Cl}_2$  的键的长度.

7.11 入射光的波数为  $20487 \text{ cm}^{-1}$ , 求  $^{14}\text{N}_2$  的  $J = 2$  到 0 的散射斯托克斯线的波数.  $\text{N}_2$  的平衡核间距离是 109.76 pm.

7.12 氧分子  $\text{O}_2$  的键长为 120.75 pm, 拉曼谱仪用的入射光波数  $20623 \text{ cm}^{-1}$ . 求在瑞利谱线附近的 2 条斯托克斯线和 2 条反斯托克斯线的波数.

7.13 Morse 势

$$U(R) = U_0[1 - e^{-\beta(R-R_0)}]^2$$

可以用来描述双原子分子的振动运动, 其中  $U_0$ ,  $\beta$  和  $R_0$  可根据实验数据来取得. 试证明:





- (1)  $R_0$  就是核间的平衡距离, 而  $U_0$  是两个原子相距很远时的位势;
- (2) 在  $R_0$  附近, Morse 势可近似为简谐势, 力常数  $k = m\omega^2 = 2U_0\beta^2$ ;
- (3) 已知氢分子的  $R_0 = 0.074$  nm, 解离能为 4.52 eV, 力常数  $k = 573$  N/m, 求相应的 Morse 势的参数.

7.14 试问 $^2D_2$  分子的拉曼散射谱的 O 支中两相邻谱线的强度比, 说明强度大的谱线所对应的转动量子数的奇偶性.

