

练习六习题 1-2 解

6-1 某一X射线管发出的连续X光谱的最短波长为 0.0124nm ，试问

$$\lambda = \frac{1.24\text{nm}}{V(\text{kV})}$$

它的工作电压是多少？解：依据公式

$$V(\text{kV}) = \frac{1.24\text{nm}}{\lambda} = \frac{1.24}{0.0124} = 100(\text{kV})$$

答：它的工作电压是 100kV 。

6-2 莫塞莱的实验是历史上首次精确测量原子序数的方法。如测得某元素的 K_{α} X射线的波长为 0.0685nm ，试求出该元素的原子序数。

解：由公式 $V_{K_{\alpha}} = \frac{c}{\lambda} = 0.246 \times 10^{16} (Z-1)^2$ Hz；将值代入上式，

$$(Z-1)^2 = \frac{c}{0.0685 \times 0.246 \times 10^{16}} = \frac{3 \times 10^8 \times 10^9}{0.0685 \times 0.246 \times 10^{16}}$$

$$= 1780$$

$$Z = 43$$

即该元素为 43 号元素锝(Te)。

第六章习题 3, 4

6-3 钨原子($Z=60$)的 L 吸收限为 0.19nm ，试问从钨原子中电离一个 K 电子需作多少功？

6-4 证明：对大多数元素 $K_{\alpha 1}$ 射线的强度为 $K_{\alpha 2}$ 射线的两倍。

第六章习题 5, 6 参考答案

6-5 已知铅的 K 吸收限为 0.0141nm ， K 线系各谱线的波长分别为：
 $0.0167\text{nm}(K_{\alpha})$ ； $0.0146\text{nm}(K_{\beta})$ ； $0.0142\text{nm}(K_{\gamma})$ ，现请：

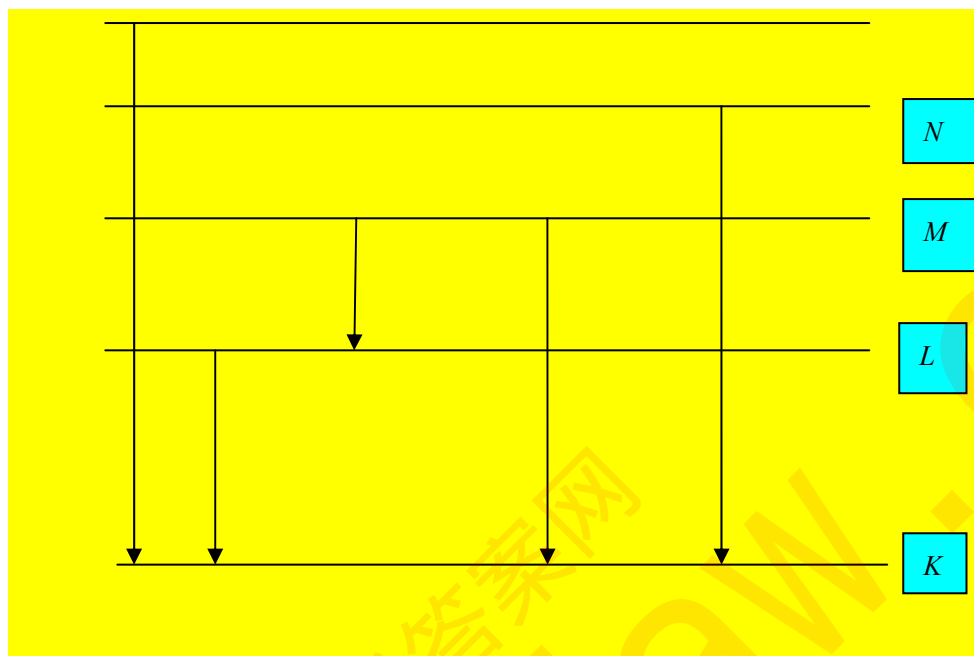
(1) 根据这些数据绘出有关铅的 X 射线能级简图；

(2) 计算激发 L 线系所需的最小能量与 L_{α} 线的波长。

分析要点：弄清 K 吸收限的含义。 K 吸收限指在 K 层产生一个空穴需

要能量. 即 K 层电子的结合能或电离能.

解: (1) 由已知的条件可画出 X 射线能级简图.



$K \quad K_{\alpha} \quad L_{\alpha} \quad K_{\beta} \quad K_{\gamma}$

(2) 激发 L 线系所需的能量:

K 层电子的电离能为:

$$\varphi_K = \frac{hc}{\lambda_K} = \frac{1.24 \text{ nm} \cdot \text{keV}}{0.0141 \text{ nm}} = 87.94 \text{ keV}$$

在 L 壳层产生一个空穴相对于 K 壳层所需的能量

$$E_{LK} = \varphi_K - \varphi_L = \frac{hc}{\lambda_{K\alpha}} = \frac{1.24 \text{ nm} \cdot \text{keV}}{0.0146 \text{ nm}} = 84.93 \text{ keV}$$

在 L 壳层产生一个空穴所需的能量

$$E_{LK} = \varphi_K - \varphi_L \quad \varphi_L = \varphi_K - E_{LK} = 87.94 \text{ keV} - 84.93 \text{ keV} = 3.01 \text{ keV}$$

φ 为结合能.

设 L_{α} 线的波长为 λ_{ML} , 则依题意有:

$$\Delta E_{ML} = \frac{hc}{\lambda_{ML}} = \frac{hc}{\lambda_{MK}} - \frac{hc}{\lambda_{LK}}$$

或

$$\frac{1}{\lambda_{ML}} = \frac{1}{\lambda_{MK}} - \frac{1}{\lambda_{LK}}$$

即有 $\lambda_{ML} = \frac{\lambda_{MK} \cdot \lambda_{LK}}{\lambda_{LK} - \lambda_{MK}} = \frac{0.0146 \times 0.0167}{0.0167 - 0.0146} \text{ nm} = 0.116 \text{ nm}$

即 L_{α} 线的波长为 0.116nm.

6-6 一束波长为 0.54 nm 的单色光入射到一组晶面上，在与入射束偏离为 120° 的方向上产生一级衍射极大，试问该晶面的间距为多大？

解：由于入射束在偏离 120° 的方向上产生一级衍射极大 $\sin\theta = \sin 120^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$

依据公式 $n\lambda = 2d \sin\theta$ $n=1$

$$0.54 \text{ nm} = 2 \times \frac{\sqrt{3}}{2}$$

解得 $d=0.312 \text{ nm}$

第六章习题 8 参考答案

6-7 在康普顿散射中，若入射光子的能量等于电子的静止能，试求散射光子的最小能量及电子的最大动量。

6-8 在康普顿散射中，若一个光子能传递给一个静止电子的最大能量为 10 keV，试求入射光子的能量。

解：一个光子和一静止的电子作用后其能量为

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \gamma(1 - \cos\theta)} \quad (1) \quad \text{其中} \quad \gamma = \frac{h\nu}{m_0 c^2}$$

光子去的能量为电子获得的能量 $h\nu - h\nu' = E_k$

依题意，如果电子获得最大能量，则出射光子的能量为最小，(1) 式有最小值的条件是 $\theta=\pi$ 由此可推得

$$h\nu - h\nu' = h\nu - \frac{h\nu}{1 + 2\gamma} = \frac{2\gamma h\nu}{1 + 2\gamma} = E_{\max}$$

由此可算出： $E_{\max} + 2\gamma E_{\max} = 2\gamma h\nu$

$$E_{\max} + 2\frac{h\nu}{m_0c^2} E_{\max} = 2\frac{h\nu}{m_0c^2} h\nu$$

$$2(h\nu)^2 - 2h\nu E_{\max} = E_{\max} m_0c^2$$

代入数据

$$2E_{\text{光}}^2 - 2 \times 10 \times E_{\text{光}} = 10 \times 0.511$$

解之： $E_{\text{光}} = 55.9 \text{ keV}$

第六章习题 9 参考答案

6-9 若入射光子与质子发生康普顿散射, 试求质子的康普顿波长. 如反冲质子获得的能量为 5.7 MeV , 则入射光子的最小能量为多大?

解: 由康普顿波长定义

$$\lambda = \frac{hc}{m_0c^2} = \frac{1.24}{511} = 0.002426 \text{ nm}$$

则 质子的康普顿波长为

$$\lambda = \frac{hc}{m_p c^2} = \frac{1.24}{938 \times 10^3} = 0.00132 \text{ fm}$$

依 6-8 题公式

$$2(h\nu)^2 - 2h\nu E_{\max} = E_{\max} m_p c^2$$

可得出： $h\nu = 54.6 \text{ MeV}$

6-10 康普顿散射产生的散射光子, 再与原子发生相互作用, 当散射角 $\theta > 60^\circ$ 时, 无论入射光子能量多么大, 散射光子总不能再产生正负电子偶. 试证明之.

第六章习题 11, 12

6-11 证明: 光子与自由电子相碰, 不可能发生光电效应.

6-12 证明: 在真空中不可能发生“光子—电子对”过程.

第六章习题 13、14 参考答案

6-13 已知铯($Z=45$)的电子组态为 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^8 5s^1$, 现请:

(1) 确定它的基态谱项符号;

(2) 用它的 K_α X射线作康普顿散射实验, 当光子的散射角为 60° 时, 求反冲电子的能量(已知 K_α 的屏蔽系数 $b=0.9$);

(3)在实验装置中用厚为 0.30cm的铅屏蔽该射线. 如果改用铝代替铅, 为达到同样的屏蔽效果, 需要用多少厚的铝? ($\mu_{Pb}=52.5 \text{ cm}^{-1}$; $\mu_{Al}=0.765 \text{ cm}^{-1}$)

解: (1) 电子组态中 $4d^8 5s^1$ 未填满, 所以为基态的电子组态 $4d^2 5s$

$$l_1 = l_2 = 2, l_3 = 0$$

其原子态计算先 2d 电子耦合, 得出最低态 $^3F_{4,3,2}$. 找出基态 3F_4 , 再与 s 耦合, 得 $^4F_{9/2}$. 为基态.

(2) 因为 $K_{\alpha} X$ 射线的能量为: $h\nu_{K\alpha} = 0.248 \times 10^{16} h(z-b)^2$

$$b \approx 0.9$$

反冲电子的能量为: $E_K = h\nu_{K\alpha} \frac{\gamma(1-\cos\theta)}{1+\gamma(1-\cos\theta)}$

$$\gamma = \frac{h\nu_{K\alpha}}{m_0 c^2}$$

$$\theta = 60^\circ \quad \text{代入上式得} \quad E_K = 384 \text{ eV}$$

(3) 由郎伯-比耳定律可得:

$$\text{用 Pb 屏蔽时} \quad I = I_0 e^{-\mu_{Pb} x_1} \quad (1)$$

$$\text{用 Al 屏蔽时} \quad I = I_0 e^{-\mu_{Al} x_2} \quad (2)$$

比较 (1) (2) 式可得: $\mu_{Pb} x_1 = \mu_{Al} x_2$

$$\text{其中} \quad \mu_{Pb} = 52.5 \text{ cm}^{-1} \quad \mu_{Al} = 0.765 \text{ cm}^{-1}$$

$$x_1 = 0.3 \text{ cm}$$

$$\text{得:} \quad x_2 = 20.59 \text{ cm}$$

6-14 已知铜和锌的 K_{α} X射线的波长分别为 0. 015 39 nm, 和 0. 014 34 nm, 镍的 K 吸收限为 0.148 9 nm, 它对铜和锌的 K_{α} X射线的质量吸收系数分别为 $48 \text{ cm}^2 / \text{g}$ 和 $325 \text{ cm}^2 / \text{g}$. 试问: 为了使铜的 K_{α} 射线与锌的

K_{α} 射线的相对强度之比提高 10 倍，需要多厚的镍吸收片？

解：按朗伯-比耳定律

$$I = I_0 e^{-\mu x} = I_0 e^{-\frac{\mu}{\rho} x \rho}$$

经镍吸收片吸收后，铜的强度

$$I = I_0 e^{-48 x \rho_1}$$

锌的强度

$$I' = I_0' e^{-325 x \rho_2}$$

由于 $I_0 = I_0'$

所以

$$\frac{I}{I'} = \frac{I_0 e^{-48 x \rho}}{I_0' e^{-325 x \rho}} = e^{-277 x \rho} = 10$$

$$\rho x = 8.31 \text{ mg/cm}^2$$

镍的密度为 $\rho = 8.9 \text{ g/cm}^3$

所以 $x = 9.3 \text{ } \mu\text{m}$