

## 一、实验目的

1. 了解X射线与物质的相互作用，及其在物质中的吸收规律。
2. 测量不同能量的X射线在金属铅中的吸收系数。
3. 了解元素的特征X射线能量与原子序数的关系。

## 二、实验原理

一、X射线的吸收：X射线是一种电磁波，它的波长在： $100\text{\AA}$ 到 $0.01\text{\AA}$ 之间。如图5-1所示，当一束单色的X射线垂直入射到吸收体上，通过吸收体后，其强度将减弱，即X射线被物质吸收。这一过程可分为吸收和散射两能分：

1. 光电吸收：入射X射线打出原子的内层电子，如K层电子，结果在K层出现一个空位，接着发生两种可能的过程：(1) 当L层或高层电子迁移到K层空位上时，发出KX射线（对重元素发生几率较大），(2) 放出俄歇电子（对轻元素发生几率较大）。

2. 散射：散射是电磁波与原子或分子中的电子发生作用。散射也分为两种。(1) 波长不改变的散射，X射线使原子中的电子发生振动，扰动的电子向各方向辐射电磁波，其频率与X射线的频率相同，这种散射叫做汤姆逊散射，(2) 波长 $\lambda$ (R)改变的散射，即康普顿散射。对于铅，当X射线的能量低于： $0.04\text{MeV}$ 时，光电效应占优势，康普顿散射可以

忽略。

设一厚度及成份均匀的吸收体，其厚度为  $R$ ，每立方厘米有  $N$  个原子。若能量为  $h\nu$  的准直光束，单位时间内垂直入射到吸收体单位面积上的光子数为  $I$ ，那么通过厚度为  $z$  的物质后，透射出去的光子数为  $I(z)$  并表示为讲义公式 8。

对于金属铅、铜、铝，其质量吸收系数随波长变化。在能量低于  $0.1\text{MeV}$  时，随着能量减小截面显示出尖锐的突变。实验表明，吸收系数突然下降的波长（吸收限）与  $K$  系激发限的波长很接近。在长波长区还有  $L$  突变与  $M$  突变存在，由于  $L$  层和  $M$  层构造的复杂性，这些突变不如  $K$  突变那样明显，并且有几个最大值。

各种元素对不同波长入射  $X$  射线的吸收系数由实验确定。

## 二、 $X$ 射线的特征谱

原子可以通过核衰变过内转换及轨道电子俘获，也可以通过外部射线如  $X$  线、 $\beta$  射线（电子束）、 $\alpha$  粒子或其他带电粒子与原子中电子相互作用产生内层电子空位，在电子跃迁时产生特征  $X$  射线。玻耳理论指出电子跃迁时放出的光子具有一定的波长，且其携带能量与原子序数相关。根据特征  $X$  射线的能量，可以辨认激发原子的原子序数。

苗立扬

PB19000132

### 三、实验内容

1. 用  $Pu$   $\alpha$  射线源激发  $Zn$ 、 $Cu$ 、 $Ni$  等样品产生特征  $X$  射线，并测量特征  $X$  射线在铝中的吸收系数。
2. 测量几种元素的特征  $X$  射线谱。

## 四、实验步骤:

## 1., 测量不同能最的 X射线在铝中的吸收系数。

(1) 如剧 4 安装准直器及源架, 参照图 5 连接仪器并预热。注意接好地线。

(2) 逐渐升高正比计数器高压至额定值, 接通电荷灵敏放大器的直流电源并调节主放大器的放大倍数。

(3) 用多道分析器或单道分析器测量样品如铜金属片的特征 X 射线谱, 并选定单道的甄别阈及道宽。

(4) 插入锡吸收片后, 测量铜样品的特征 X 射线强度, 每增加一片后重复此步骤。结果按 (8) 式用最小二乘法拟合, 求出  $A_m$  值。

(5) 更换样品如镍、锌等金属片依上述重复测量及处理。

## 2, 测量不同元素的特征 X 射线谱。

(1) 用多道分析器 (或单道分析器) 测量源渗发的样品如铍金属片的特征 X 射线谱, 并确定其峰位, 依次如法测量镍、铁、钛等样品的特征 X 射线谱, 从附表 2 查出相应的 X 射线能量, 作峰位—能量关系曲线。

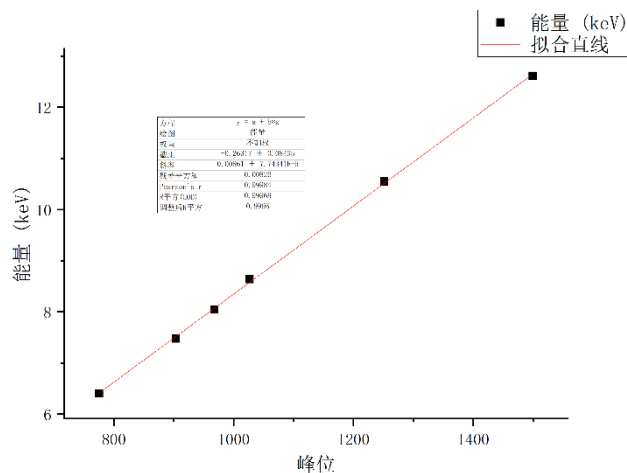
(2) 测量另外一些样品如铜、锰、钒、铬等的 X 射线谱, 根据步骤 (1) 得到的峰位—能量关系确定这些元素的特征 X 射线能量。

(3) 综合以上八个元素特征谱的数据, 用最小二乘法作直线拟合, 求出常数  $c$  和  $d$  并对结果进行分析讨论。

## 五、实验数据处理:

### 1、元素特征谱定标

实验原始数据见附纸。拟合结果如下图:



通过拟合我们得知, 元素特征谱的能量与通数的关系式  $E = kx + E_0$  的斜率  $k$  为  $8.6092 \times 10^{-3}$ , 截距  $E_0$  为  $0.26317 \text{ keV}$ 。拟合优度  $r$  为  $0.9998382412$ , 结果较好。可以用作之后的标定。

### 2、未知元素测量:

实验原始数据见附纸。

实验测得未知元素  $X_1$  与一毛的硬币外壳的元素  $X_2$  的  $X$  特征谱峰位通数分别为  $768.35$  与  $778.60$ 。按照 1 中给定的能量刻度, 标定后的能量分别为  $6.2517 \text{ keV}$  与  $6.4400 \text{ keV}$ 。查

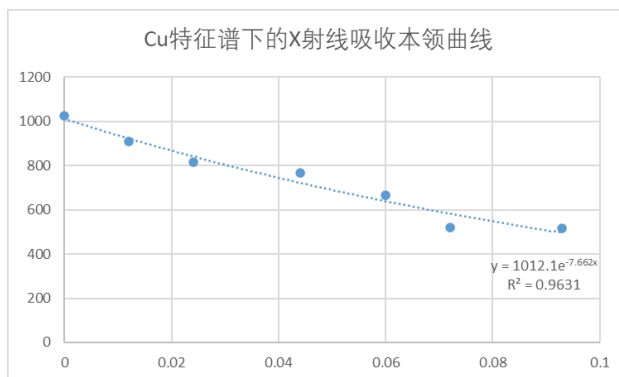
阅发现两组能量与铁元素的特征谱能量较为接近,说明两组未知元素 $X_1$ ,  $X_2$ 都是铁元素。

### 3、X射线的吸收系数测量:

实验原始数据见附纸。其中在第一组实验中,我们固定统计区间为800~1300道;在第二组实验时,我们固定统计区间为800~1400道。

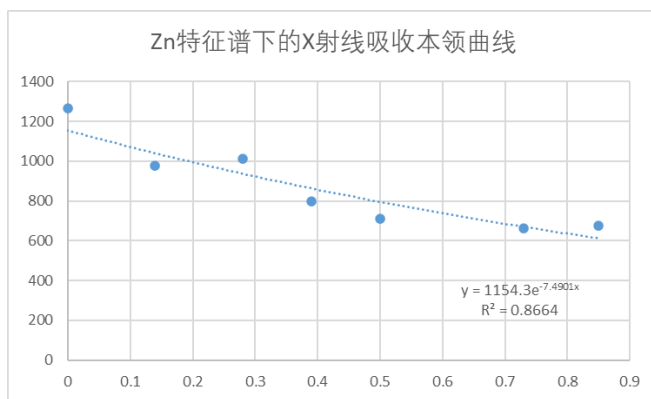
考虑到强度的定义为单位时间内通过的粒子数,我们利用给定统计区间内的总计数与时间的比值作为 $I$ ,并将其与铝箔的厚度进行指数拟合。

Cu特征谱下的X射线吸收本领曲线:



得到 $\mu_m$ 的值为7.662,拟合优度为0.9631。进一步求得在该X射线能量下 $\mu_m$ 的值为28.38。结果较好。

Zn特征谱下的X射线吸收本领曲线:



得到  $\mu_m$  的值为 7.490, 拟合优度为 0.8664。进一步求得在该 X 射线能量下  $\mu_m$  的值为 27.74。结果较好。

#### 六、思考题:

1、Pu 源的  $\alpha$  X 射线能量在 11.6-21.7 keV 之间, 试说明 Pu 源能否激发 Ag 的  $K_\alpha$  线。

利用公式 11 计算得到 Ag 的  $K_\alpha$  线能量为 22.55 keV, 小于入射 X 射线能量, 所以不能激发。

2、试比较每个原子的汤姆逊散射截面与铝原子的光电效应截面。你认为汤姆逊散射截面是否重要?

取入射 X 射线能量为 11.6 keV, 对铝原子来说, 光电效应截面为  $2.785 \times 10^{-45} \text{ cm}^2/\text{atom}$ , 而对于汤姆逊散射, 粒子截面量级远高于光电效应截面。由于每个原子内的电子数是  $10^4$  量级, 因此可以说, 相较于光电效应截面, 汤姆逊散射截面更

为重要。

3、假设一束非理想准直束，其发散角为 $10^\circ$ ， $25^\circ$ ，试估计对铝的线性吸收系数实验值的影响。

考虑极端情况，即X射线均以指定角度打在铝箔上，则实际穿透为 $e/\cos(\theta)$ （ $\theta$ 为入射角度），计算得到的线性吸收系数也为原来的 $1/\cos(\theta)$ 倍。对于 $10^\circ$ 和 $25^\circ$ 的情况，线性吸收系数分别为原来的1.015倍与原来的1.103倍。