

1-4 X 射线标识谱与吸收

实验的目的要求:

1. 了解 X 射线标识谱产生的规律, 验证莫塞莱定律;
2. 研究固体对 X 射线吸收的规律;
3. 学习和掌握利用闪烁体探测器测量 X 射线能谱的方法, 了解探测器的结构及其工作原理。

教学内容:

1. 展示 NaI(Tl)探头的结构, 讲述 NaI(Tl)闪烁谱仪系统的工作原理(本实验室内三个实验的学生可集中在一块讲述)。
2. 利用实验室提供的装置和样品, 测量样品产生的 X 射线能谱, 从而验证莫塞莱定律, 即 X 光子频率的平方根与原子序数 Z 间的线性关系。
3. 记录 X 射线谱峰的半高宽, 记谱时间的实时和活时等数据, 以便分析仪器的能量分辨本领随光子频率的变化, 了解谱仪死时间等概念。
4. 测量 Al 对 Mo、Sr、Zn、Ni 和 Fe 等元素的标识 X 射线的质量吸收系数。并考察测量得到的质量吸收系数是否与 X 射线波长 λ 的三次方成正比。
5. 总结不同条件下得到的能谱, 在仔细观察的基础上, 对能谱的变化做出解释。

实验过程中可能涉及的问题: (有的可用于检查预习的情况, 有的可放在实验室说明牌上作提示, 有的可在实验过程中予以引导, 有的可安排为报告中要回答的问题, 对于不同的学生可有不同的要求)

1. 本实验中的内层电子空穴是如何产生的? 是否还可能有其它的方法?
2. 俄歇过程是怎样的? 它与标识 X 射线产生过程的关系如何?
3. 实验中样品和吸收片分置于激发源的下部和上部, 为何有这样的几何设计?
4. 本实验中使用石蜡罐来屏蔽什么射线的辐射? 为什么?
5. 本实验中是如何测量 X 射线的频率的? 是否还有其它的方法?
6. 简要说明闪烁体探测器的原理和多道分析器的功能。
7. 试估算 17keV 能量的光子经康普顿散射后最多会损失多少能量? 1MeV 能量的光子呢?
8. X 射线的吸收规律是怎样的? 是如何得到的? 其成立条件是什么?
9. 定性描述原子的光电吸收截面与入射 X 射线波长的关系, 并说明为何存在吸收限?
10. 实验中锶样品和硒样品分别用的是醋酸锶和氧化硒, 请问这对实验结果产生什么影响? 为什么?
11. 在做验证莫塞莱定律实验时应该先用哪一种靶样品? 为什么?
12. 能谱测量时, 应该如何调节 NaI 闪烁谱仪中的光电倍增管的高压电源和线性放大器的增益? 实验中可分别调节相应的旋钮, 来观察测量能谱的变化。
13. 在做吸收实验时, X 射线的强度如何测量? 能否用峰位附近一定道址范围内的总计数表示强度? 如果能, 道址范围如何确定?
14. 实验要求采用峰值计数的 80% 来确定测量 X 射线强度的道址范围, 那么随着吸收膜层数的变化, 道址范围应该是随着能谱的变化而变化呢, 还是应该保持不变? 为什么?
15. 在采谱软件中, 对重点区积分后, 得到的总计数和净面积分别是什么含义?
16. Al 膜厚度为零时的总计数 I_0 该如何测量?
17. 数据累积需要保证一定的统计量, 那么实验要求的计数大于 10 万 (或 50 万) 是否对于所有不同厚度的 Al 膜而言的? 实验中每一个数据点的获取时间如何确定?
18. 对原子序数较小的样品 (如 Fe), 当 Al 吸收膜较厚时, 在原来峰位的右边 (高能端) 出现了一个新的峰, 请对此给予解释。
19. 对原子序数较小的样品 (如 Fe, Ni), 当 Al 吸收膜较厚时, 实验测量的数据点偏离系统性较大, 其原因是什么? 如何才能获得更准确的数据?

20. 根据实验测得的光电效应的质量吸收系数 τ_m 值, 计算原子光电吸收截面 σ_a 的大小。而根据原子的汤姆逊散射截面计算公式, 试估计汤姆逊散射对结果的影响。
21. 对于实验中不同元素所发射的标识 X 射线, 计算 NaI (TI) 闪烁探测器的能量分辨本领。试解释为什么光子能量越小, 能量分辨本领越高。
22. 考察测量得到的质量吸收系数是否与 X 射线波长的 3 次方成正比, 如是, 为什么是与 3 次而不是与 4 次方成正比?
23. 我们的谱仪系统可以给出实时间、活时间。在计算质量吸收系数时是应该选用根据实际测量时间给出的计数率参加计算还是应该选用根据活时间给出的计数率参加计算?
24. 实验中误差的主要来源是什么? 试做相应的误差分析。

难点:

为何对于原子序数较小的样品, 当 Al 吸收膜较厚时, 能谱高能端会出现了一个新的峰? 如何才能获得相应的更准确的数据?

可进一步探索的问题:

1. 验证莫塞莱定律时, 实验中得到的线性相关度并不是相当高。原因可能是为什么?
2. 验证莫塞莱定律时, 对于不同的样品, 具体分析能谱峰值计数达到 1 万所需的时间与原子序数的关系。为何对于样品中的较轻元素 Ti 和较重元素 Mo, 两者都需要较长的采谱时间?
3. 做吸收实验时, 对所测能谱进行本底扣除测量, 进一步地验证吸收规律。