

穆斯堡尔效应

钱思天

北京大学物理学院 北京市 1600011388: *

(日期: 2019 年 9 月 28 日)

摘要

通过对 $\alpha - \text{Fe}$ 和硝普酸钠样品的穆斯堡尔效应研究, 对 BH1224E 型穆斯堡尔谱仪的基本原理和使用方法有了一定的了解和学习. 对 $\alpha - \text{Fe}$ 的穆斯堡尔谱图的数据处理中, 首先计算得到了该谱仪的道增益 $k = 0.0576 \text{mm/s}$, 进而定出 $\alpha - \text{Fe}$ 谱的重心位置 $v_{c, \alpha - \text{Fe}} = 130.75$, 相应得出零速度对应的道址为 134 道. 利用 $\alpha - \text{Fe}$ 谱的重心位置计算出 ^{57}Fe 的基态朗德 g 因子为 $g_g = 0.186$, 核磁矩大小为 $\mu_g = 4.697 \times 10^{-28} \text{J/T}$; 第一激发态的朗德 g 因子为 $g_e = 0.102$, 核磁矩大小为 $\mu_e = 2.576 \times 10^{-28} \text{J/T}$. 由测得的硝普酸钠谱, 可以计算出样品的同质异能位移为 0.245mm/s , 样品的四极裂距为 $\Delta E_Q = 8.3076 \times 10^{-8} \text{eV}$.

关键词: 穆斯堡尔效应, 多普勒效应, 放射性实验, 朗德 g 因子

* stqian@pku.edu.cn; (86)15375244846

I. 引言

1957 年, 穆斯堡尔在研究 ^{117}Ir 核的 γ 射线共振散射现象时, 发现在固体中的核, 在发射或吸收 γ 射线时, 可以有一定的概率不发生核反冲. 这一效应极大地影响了人们的观念, 被命名为穆斯堡尔效应. 穆斯堡尔也因发现和解释了这一效应而获得了 1961 年的诺贝尔物理学奖.

由于穆斯堡尔谱线很窄, 常常被用来测量核能级的高精细结构、确定核磁矩的大小、核激发态的寿命等, 还可以被用来测量光子的引力红移.

穆斯堡尔谱线的分辨本领很高, 同时又具有抗干扰能力强、实验设备和技术相对简单、对样品无破坏性等优良特性. 目前已经成为化学、磁学、固体物理、生物学、冶金学等领域的重要研究手段之一.

II. 实验装置与内容

A. 实验装置设置

实验装置如图1所示: 其中主要部件及作用解释如下:

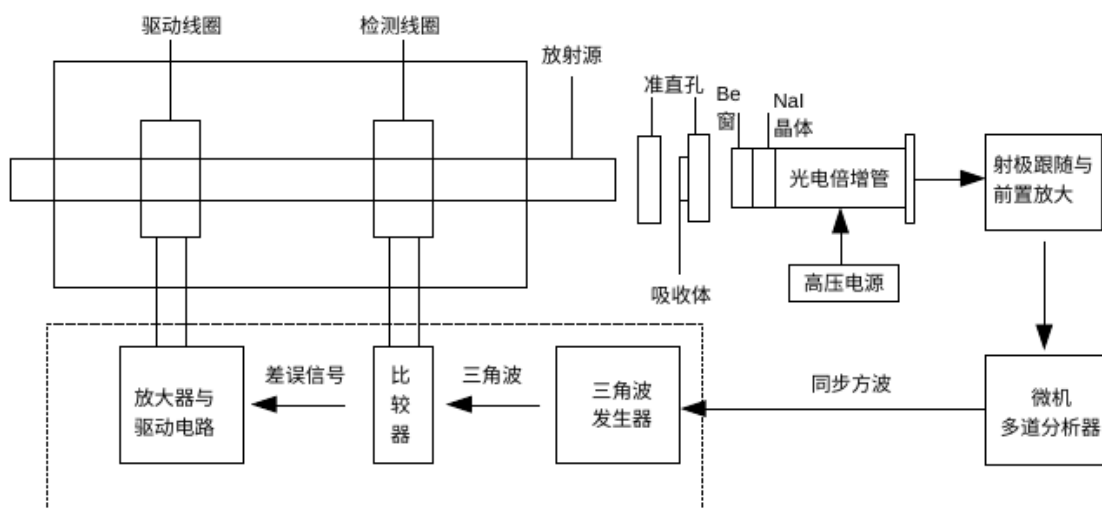


图 1: 实验装置图

- a. 放射源: 本实验采用的是以 Pd(钯) 为衬底的 ^{57}Co 放射源. 为了使源发射的穆斯堡尔谱线是单色的, 通常选用非磁性且具有立方晶系结构的金属做衬底. 此外, 所选金属也应具有较高的德拜温度以提高无反冲系数 f . 此外, 选用金属做衬底的另一好处是, 由于金属中电子的弛豫时间极短, 前级衰变产生的局域电荷态将很快消失不起作用.
- b. 电磁驱动器: 本实验采用的是背靠背双扬声器结构, 其中分别含有一个驱动线圈和一个拾波线圈. 驱动线圈用以达成周期性调制穆斯堡尔源所放出的 γ 射线的能量, 拾波线圈则用来监测驱动线圈产生的信号.
- c. 驱动电源: 来自多道分析器的同步方波经积分电路后变成三角波输入比较器. 比较器将它与拾波线圈两端的信号相比较, 其差值经放大器放大后再加于驱动线圈. 实验中通常用示波器观察误差信号的大小, 以监视驱动杆的运动是否正常.
- d. γ 射线探测器: 本实验使用的探测器是 NaI(Tl) 闪烁体探测器.
- e. 微机多道分析器: 在通用微机内插上线性放大卡、模数转换卡和多道分析卡就构成一台微机多道分析器. 有脉冲幅度分析 (PHA) 和多道定标 (MCS) 两种功能. 为了去除除 14.4keV 的 γ 射线的影响, 需要调节上下阈电位器.

B. 实验操作内容安排

1. 上下阈值的确定

在不放置吸收体时, 利用多道分析器的幅度分析工作方式测量实验所用的 ^{57}Co 放射源的 γ 能谱, 并辨认出 14.4keV 的峰. 然后合理设定上下阈值以滤除其他谱线.

2. 采集穆斯堡尔谱

取多道分析器道数为 512 道, 道时间间隔由电磁驱动器的固有周期 (约 0.1s) 计算. 正确设定多道分析器的参量后, 开始采谱, 并用示波器监视三角波信号或误差信

号, 必要时可调节驱动电源. 分别测量 $\alpha - \text{Fe}$ 和硝普酸钠做吸收体时的穆斯堡尔谱.

III. 结果与分析

实验采集的穆斯堡尔谱图分别如下:

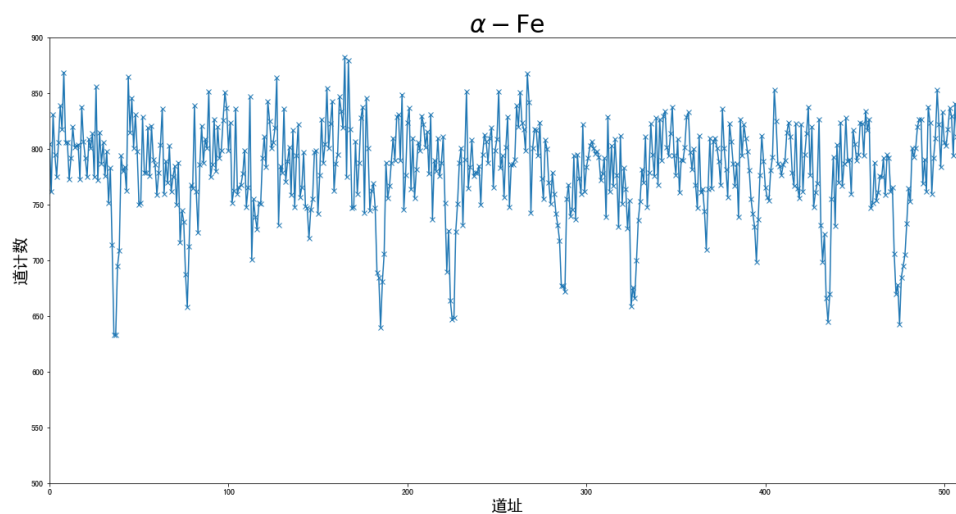


图 2: $\alpha - \text{Fe}$ 的穆斯堡尔谱图

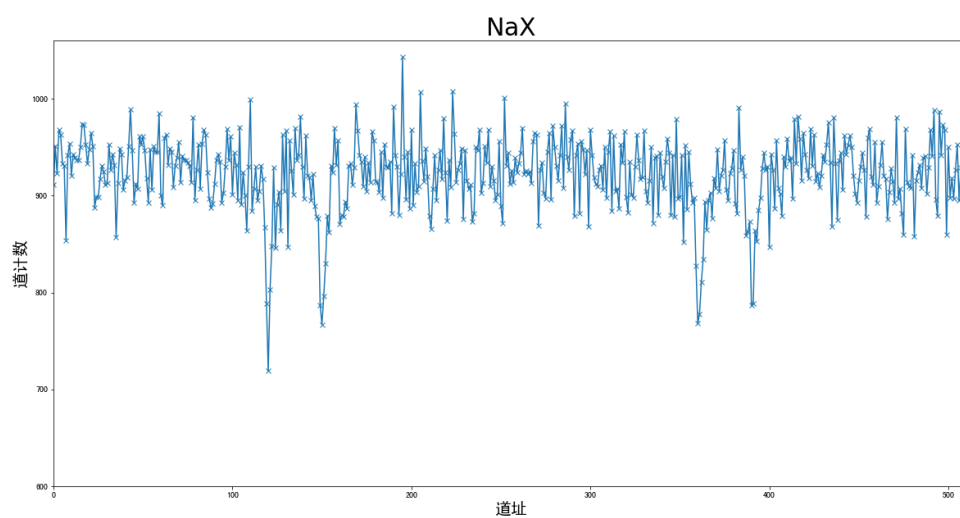


图 3: NaX 的穆斯堡尔谱图

记录穆斯堡尔谱各峰位道址如下:

v_i	1	2	3	4	5 ,	6
道址 1	37	77	113	145	185	225
道址 2	475	435	395	367	325	288

表 I: $\alpha - \text{Fe}$ 的穆斯堡尔谱峰位

v_i	1	2
道址 1	120	150
道址 2	390	360

其中, 穆斯堡尔效应左右分别有一谱, 且左侧从小到大, 右侧从大到小。

表 II: NaX 的穆斯堡尔谱峰位

下根据穆斯堡尔谱图及数据进行分析:

A. 计算道增益 K

根据公式

$$K = \frac{10.656}{v_6 - v_1} \text{mm/s}$$

考虑由于存在批裂, 采用如下式计算:

$$K = \frac{10.656 * 2}{|v_6^1 - v_1^1| + |v_6^2 - v_1^2|} \text{mm/s}$$

得到道增益 $K = 0.056832 \text{mm/s}$.

B. 零速度对应道址

首先分别确定两组谱线对应的重心位置, 根据重心公式:

$$v_{c,\alpha-\text{Fe}} = \frac{v_1 + v_2 + v_5 + v_6}{4}$$

结合求出的道增益 K , 可得重心位置为

$$v_{c,\alpha-\text{Fe}}^1 = 131; v_{c,\alpha-\text{Fe}}^2 = 380.75$$

由于重心位置在 -0.185mm/s 处, 利用道增益可分别计算出零速度道址为:

$$v_0^1 = 134.25\text{mm/s}, v_0^2 = 377.49\text{mm/s}$$

IV. 结论

首先要给出实验结果, 然后再给出由实验结果分析得到的结果和结论. 此部分给出的内容要比摘要中的全面, 用词要更准确.

V. 致谢

感谢王思广老师的悉心指导, 也感谢和我一起参加实验的郜瑞啸同学, 以及在同一实验室进行实验的赵萌同学.

[1] 吴思诚, 荀坤 2015 近代物理实验 (第四版) (北京: 高等教育出版社) 第 80-91 页.

附录 A: 思考题

1. 问题一

在发射 (吸收) γ 射线后, 核的质量会有一定的下降 (上升), 带来的后果是, 穆斯堡尔谱线会有一定的位移, 但是由于多普勒效应的调节能量, 加上 γ 射线引起的质量偏差很小, 所以仍然可以看到穆斯堡尔谱.

2. 问题二

当核赛曼分裂显著大于电四极裂距时, ^{57}Fe 的能谱图应该接近于赛曼效应能谱图, 而穆斯堡尔谱图也接近, 如下: 当核赛曼分裂显著小于电四极裂距时, ^{57}Fe 的能谱图

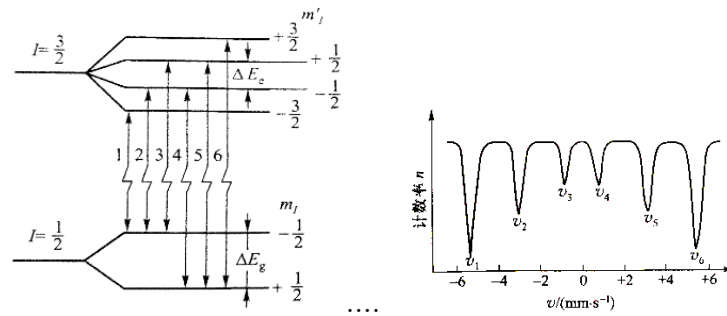


图 4: 核赛曼分裂显著大于电四极裂距, 左图为能谱, 右图为穆斯堡尔谱

应该接近于电四极裂距能谱图, 而穆斯堡尔谱图也接近, 如下:

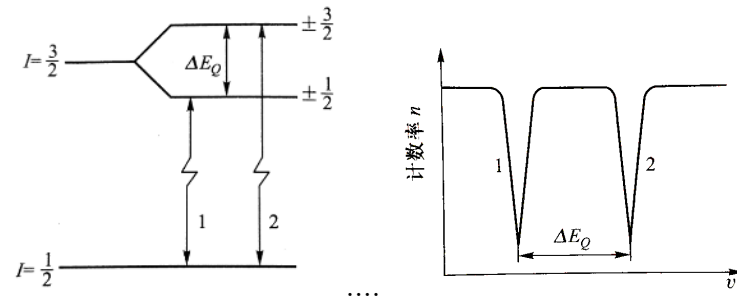


图 5: 核赛曼分裂显著小于电四极裂距, 左图为能谱, 右图为穆斯堡尔谱

3. 问题三

在源和吸收体较厚时, γ 射线被吸收的可能性增大, 使得吸收谱相应变宽.

4. 问题四

考虑到 v_3 和 v_4 相隔较近, 而峰值较小, 误差较大, 故不采用.