

# 穆斯堡尔谱的测量

李剑彬

北京大学物理学院

学号:1200061305

**摘要:** 在该实验中, 了解和学习了BH1224E型穆斯堡尔谱仪的基本原理和使用方法, 用该仪器测量分别得到了 $\alpha$ -Fe和硝普酸钠作吸收体时的穆斯堡尔谱。并根据 $\alpha$ -Fe的穆斯堡尔谱图计算得到了该谱仪的道增益 $K=0.0576\text{mm/s}$ , 然后定出了 $\alpha$ -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。接着, 根据 $\alpha$ -Fe的穆斯堡尔谱图计算出了 $^{57}\text{Fe}$ 基态的朗道g因子为 $g_s=0.186$ , 核磁矩大小为 $4.697 \times 10^{-28}\text{J} \cdot \text{T}^{-1}$ ; 第一激发态的朗道g因子 $g_e=0.102$ , 核磁矩大小为 $2.576 \times 10^{-28}\text{J} \cdot \text{T}^{-1}$ 。最后, 根据测得的硝普酸钠谱图计算出样品的同质异能移位(相对 $\alpha$ -Fe)为 $0.245\text{mm/s}$ , 样品的四极裂距 $\Delta E_q$ 为 $8.3076 \times 10^{-8}\text{eV}$ 。

**关键词:** 穆斯堡尔谱, 超精细作用, 朗道因子, 同质异能移位

## I. 引言

1957年，德国物理学家穆斯堡尔在研究<sup>191</sup>Ir核的γ射线共振散射现象时发现：在固体中核发射或吸收γ射线时可以有一定的概率不发生核反冲。人们将这种无核反冲的γ射线发射或吸收效应命名为穆斯堡尔效应。穆斯堡尔谱线非常窄，因而常被用来测量核能级的超精细结构、确定核磁矩的大小、核激发态的寿命、固体内电场与磁场的大小以及研究固体的晶格振动等。

由于应用穆斯堡尔效应测量分辨本领特别高，并且抗干扰能力强、实验设备和技术相对简单、对样品无破坏，目前它已成为化学、磁学、固体物理、生物学、冶金学等领域的重要研究手段之一。因为分辨本领特别高，穆斯堡尔效应还被用来测量光子的引力红移。

在本次实验中，用BH1224E型穆斯堡尔谱分别测量了α-Fe和硝普酸钠作吸收体时的穆斯堡尔谱，然后根据α-Fe的穆斯堡尔谱线计算出了道增益、α-Fe谱重心位置、零速度对应的道址以及<sup>57</sup>Fe基态和第一激发态的朗道g因子和核磁矩的大小，再根据测得的硝普酸钠的穆斯堡尔谱线图，计算出了样品的同质异能移位和四极裂距。

通过本次实验，让我对穆斯堡尔效应以及它的基本原理有了一个初步的了解和认识，也了解了BH1224E型穆斯堡尔谱仪的结构和基本的使用方法，对于核物理中所经常涉及到的一些基本参数也有了一些基本的认识。

## II. 实验原理

### (一) 穆斯堡尔谱的产生

如果入射的 $\gamma$ 光子能量和吸收体中的某原子核的能级跃迁能量相等，这种能量的 $\gamma$ 光子就会被吸收体共振吸收。若要测得共振吸收的能量的大小，必须发射一系列不同能量的 $\gamma$ 光子。通过源和吸收体之间的相对运动多普勒效应，可得到一系列不同能量的 $\gamma$ 光子。这种经过吸收体后的 $\gamma$ 射线计数和多普勒速度（代表 $\gamma$ 光子的能量）之间的关系就是穆斯堡尔谱。

### (二) 核磁偶极相互作用——核塞曼分裂

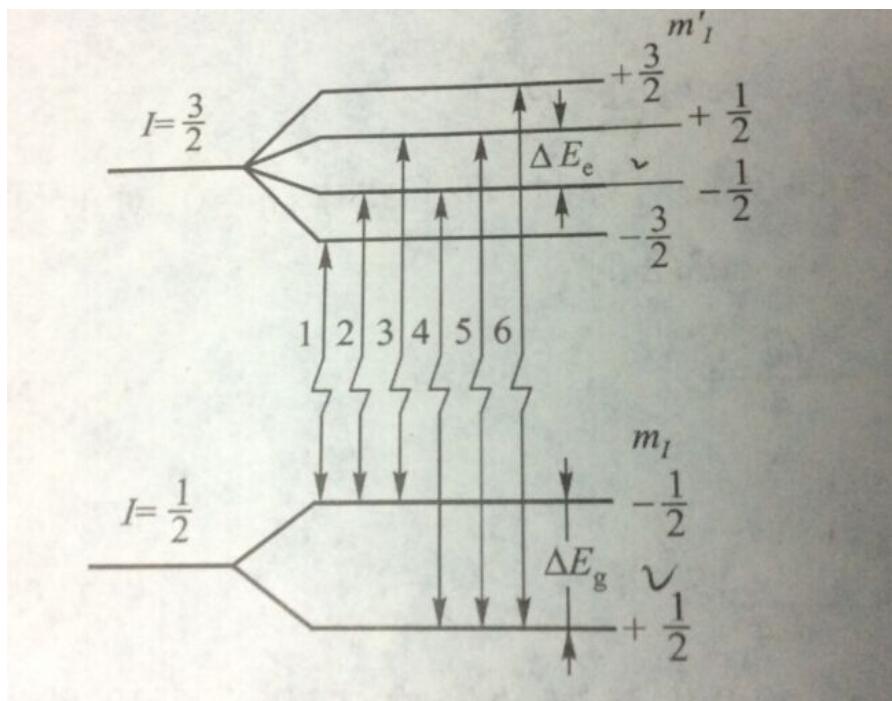


图 1.  $^{57}\text{Fe}$  基态和激发态的塞曼分裂

磁偶极相互作用使核自旋为  $I$  的态分裂成  $(2I+1)$  个等间距的支能级。相邻能级间的间距为：

$$\Delta E = g_N \mu_N B \quad (1)$$

如图 1 所示， $^{57}\text{Fe}$  的基态  $I=1/2$ ，分裂为  $m_I=\pm 1/2$  的两个能级，则有

$$\Delta E_g = g_g \mu_N B \quad (2)$$

$^{57}\text{Fe}$  14.4KeV 的第一激发态,  $I=3/2$ , 分裂为  $m_I=\pm 3/2, \pm 1/2$  四个能级, 同样, 有

$$\Delta E_e = g_e \mu_N B \quad (3)$$

### III. 实验

#### (一) 实验装置

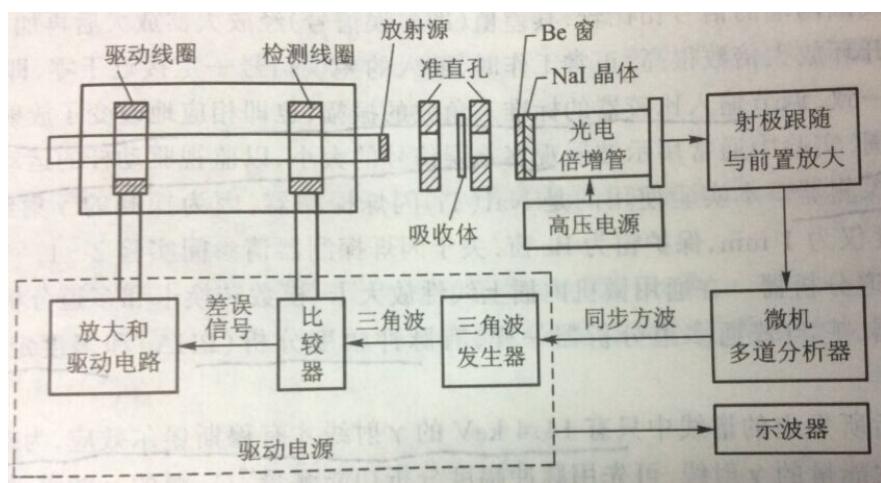


图 2. 穆斯堡尔效应实验装置图

1. 放射源 为了使源发射的穆斯堡尔谱线是单色的, 通常选用非磁性的, 具有立方晶系结构的金属作衬底。所选金属要求有较高的德拜温度, 以提高无反冲分数f。本实验用的是以Pd为衬底的 $^{57}\text{Co}$ 放射源。
2. 电磁驱动器 在驱动电源驱动下, 使顶端安装有放射源的轻质驱动杆, 以每秒10Hz左右的频率在水平方向上往返做等加速运动, 以达到周期性地线性调制穆斯堡尔源所放出的 $\gamma$ 射线能量的目的。
3. 驱动电源 来自微机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。调节输入比较器的标准三角波的振幅, 也即相应的改变了放射源在一个周期中速度变化范围。

4.  $\gamma$  射线探测器 本实验使用的是NaI(Tl)闪烁探测器。
5. 微机多道分析器 有脉冲幅度分析（PHA）和多度定标（MCS）两种功能。

## （二）实验内容

### 1. 上下阈值的确定

开机后先预热30分钟，打开计算机上控制穆斯堡尔谱仪的程序，接着在不存在吸收体时，用多道分析器的PHA分析模式，测量所用 $^{57}\text{Co}$ 放射源的 $\gamma$ 能谱。用鼠标卡 $^{57}\text{Co}$ ，14.4KeV光电峰的半高宽度，去掉其他光电峰。

### 2. 采集 $\alpha$ -Fe的穆斯堡尔谱

在图2中的吸收体位置放上  $\alpha$ -Fe样品，在计算机程序中转到Pass Control 菜单，多道分析器的通道数取512道；触发方式选择外触发；道停顿方式选择外步进；获取方式选择累加方式，选好后，点击ok键。接着调节FH1083B功率放大器的速度，粗调在0.2档，速度细调在3.20左右。打开时间发生器。接着在计算机操作界面上点击start键，仪器开始自动测量  $\alpha$ -Fe的穆斯堡尔谱线。

### 3. 采集硝普酸钠做的穆斯堡尔谱

取出  $\alpha$ -Fe样品，在图2中吸收体的位置上换上硝普酸钠样品，按相同的方法采集硝普酸钠的穆斯堡尔谱线。

## IV. 实验结果及分析讨论

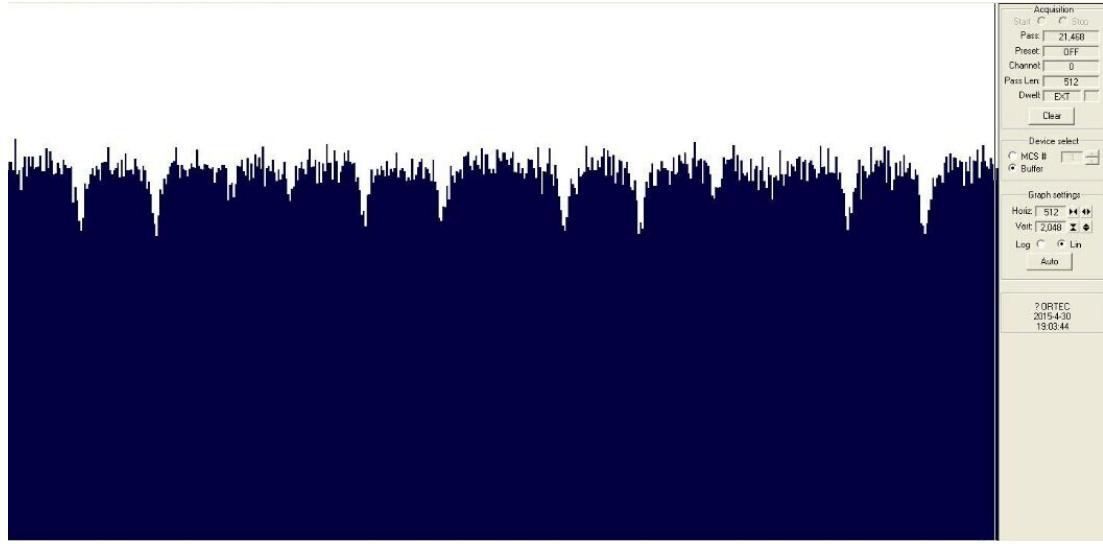


图3. 实验测得的 $\alpha$ -Fe的穆斯堡尔谱

从图3中，可以清楚的看到有两组 $\alpha$ -Fe的穆斯堡尔谱。在左半边的图中 $\alpha$ -Fe六条谱线的位置（道数） $v_1-v_6$ 分别为38、77、114、146、185、223；在右半边的图中 $\alpha$ -Fe六条谱线的位置（道数） $v_1-v_6$ 分别为288、327、365、395、434、474，此时对应的速度调节旋钮的位置为速度粗调在0.2档，速度细调为3.20。为了方便，在数据处理的过程中采用了第一组数据进行处理。

由实验测得的 $v_1$ 与 $v_6$ 的道数之差，根据公式

$$K = \frac{10.656}{(v_6 - v_1)_{\alpha-Fe}} \text{ mm/s} \quad (4)$$

计算可得该穆斯堡尔谱仪的道增益 $K=0.0576\text{mm/s}$ 。

对于我们所用的衬底为Pd的 $^{57}\text{Co}$ 源，已知 $\alpha$ -Fe六线谱的中心应在-0.185mm/s的位置，根据公式

$$v_{c,\alpha-Fe} = \frac{v_1 + v_2 + v_5 + v_6}{4} \quad (5)$$

$$\text{零速度对应道址} = v_{c,\alpha-Fe} + \frac{0 - (-0.185)}{K} \quad (6)$$

用1、2、5、6四个道求出 $\alpha$ -Fe的穆斯堡尔谱的重心位置 $v_{c,\alpha\text{-Fe}}=130.75$ , 从而得到零速度所对应的道址为134道。

由于已知 $\alpha$ -Fe的内磁场 $B=33T$ , 根据图1可以中的对应关系, 为了尽量减小因人为观察所带来误差, 分别采用2、3、4、5四个道, 以及1、2、5、6四个道, 根据公式

$$\Delta E_g = \frac{v_4 + v_5 - v_2 - v_3}{2} \times K \quad (7)$$

$$\Delta E_e = \frac{v_2 + v_6 - v_1 - v_5}{2} \times K \quad (8)$$

由于对于14.4keV的谱线,  $1\text{mm}/\text{s}=4.80766 \times 10^{-8}\text{eV}$ , 最后把单位换算成J, 计算得到 $\Delta E_g=3.1015 \times 10^{-26}\text{J}$ ,  $\Delta E_e=1.7058 \times 10^{-26}\text{J}$ ; 再根据公式(2)和(3), 通过计算可以得到基态的朗道g因子 $g_g=0.186$ , 核磁矩大小 $=4.697 \times 10^{-28}\text{J} \cdot \text{T}^{-1}$ ; 第一激发态的朗道g因子 $g_e=0.102$ , 核磁矩大小 $=2.576 \times 10^{-28}\text{J} \cdot \text{T}^{-1}$ 。

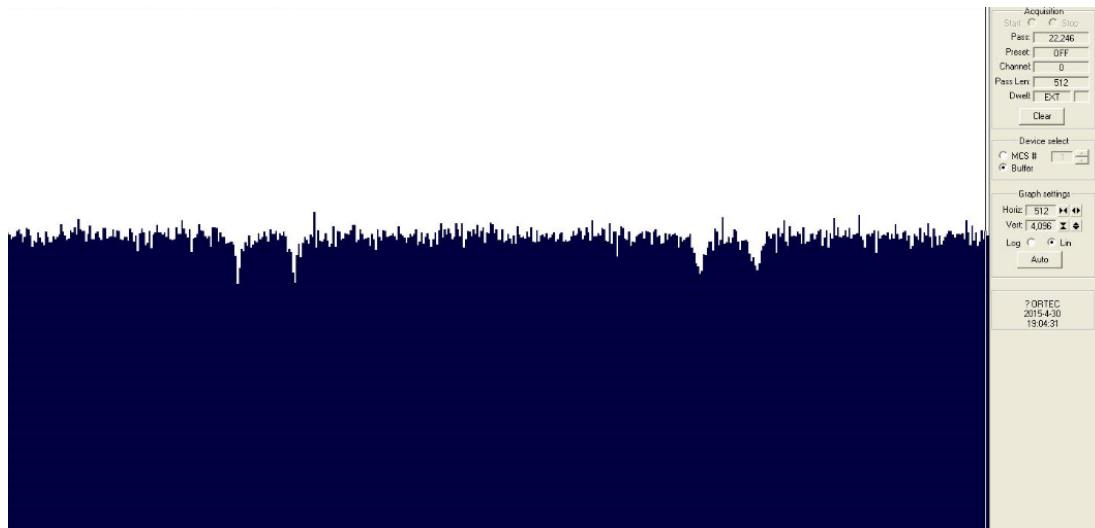


图4. 实验测得的硝普酸钠的穆斯堡尔谱

从图4中, 同样可以清楚地看到有两组的硝普酸钠穆斯堡尔谱。在左半边的图中硝普酸钠两条谱线的位置(道数) $v_1-v_2$ 分别为120、150; 在右半边的图中硝普酸钠两条谱线的位置(道数) $v_1-v_2$ 分别为361、391。

$$\text{因为} \quad \text{同质异能移位} = \left[ \left( \frac{\nu_1 + \nu_2}{2} \right) - \nu_{c,\alpha-Fe} \right] \times K \quad (9)$$

$$\text{四极裂距 } \Delta E_Q = (\nu_2 - \nu_1) \times K \quad (10)$$

计算可得，样品的同质异能移位=0.245mm/s（相对 $\alpha$ -Fe），而样品的四极裂距 $\Delta E_Q=8.3076 \times 10^{-8}$ eV。

## V. 结 论

该实验中，我们分别测出了 $\alpha$ -Fe 和硝普酸钠作吸收体时的穆斯堡尔谱。根据 $\alpha$ -Fe 的穆斯堡尔谱图计算得出该穆斯堡尔谱仪的道增益 $K=0.0576$ mm/s，求出了零速度对应的道址为 134 道。根据 $\alpha$ -Fe 的穆斯堡尔谱图计算出了 $^{57}\text{Fe}$ 基态的朗道 g 因子为 $g_g=0.186$ ，核磁矩大小为 $4.697 \times 10^{-28} \text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$ ；第一激发态的朗道 g 因子 $g_e=0.102$ ，核磁矩大小为 $2.576 \times 10^{-28} \text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$ 。最后，根据测得的硝普酸钠谱图计算出样品的同质异能移位（相对 $\alpha$ -Fe）为 0.245mm/s，样品的四极裂距 $\Delta E_Q$ 为 $8.3076 \times 10^{-8}$ eV。

由于本实验得到的穆斯堡尔谱线的峰并不是很尖锐，所以对于峰的顶点的确定是由人眼观察自行确定所得到的，因此在 $\nu_1-\nu_6$ 道数的取值可能存在一定的误差，所以计算得到的结果也可能会因此存在一定的误差。

---

## 参考文献

[1]吴思诚,王祖铨 2005 近代物理实验(第三版)(高等教育出版社) 第95-106页.

## 致谢

感谢张双全老师对实验的耐心指导,感谢施文娴同学在合作实验时所提供的帮助。