



吉林师范大学

Jilin Normal University

穆斯堡尔效应虚拟仿真实验

物理学院

刘惠莲 教授



实验目的

1. 理解穆斯堡尔效应的基本原理；
2. 熟悉和深入了解穆斯堡尔谱仪的结构和基本的实验方法；
3. 掌握共沉淀法制备 CoFe_2O_4 纳米颗粒的实验方法；
4. 学会运用穆斯堡尔谱学分析 CoFe_2O_4 纳米颗粒的性能。

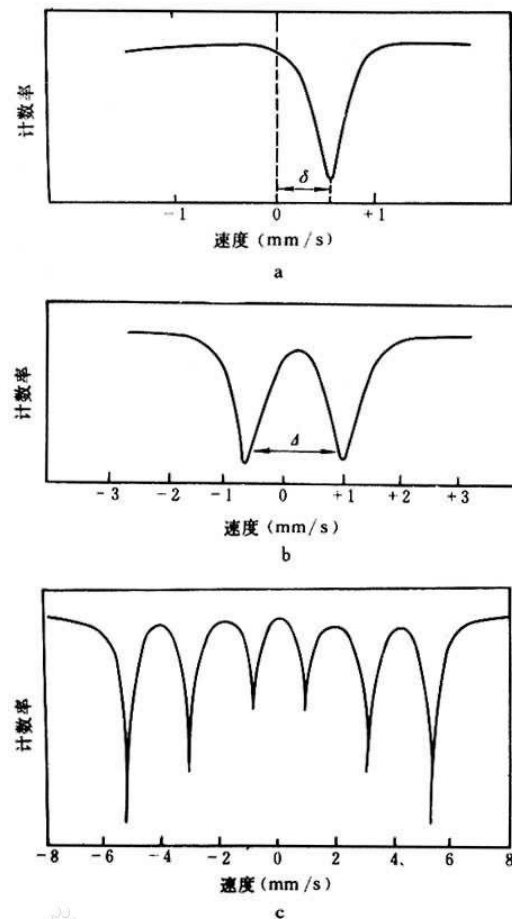


图2 典型的穆斯堡尔谱

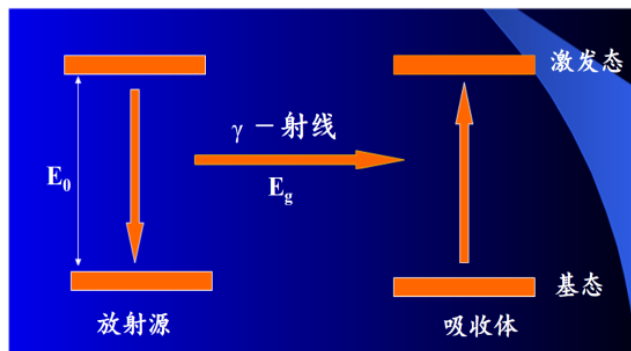


实验原理

穆斯堡尔效应是原子核无反冲的 γ 射线共振吸收或共振散射现象。

1. 共振吸收和共振散射

当放射源中处于激发态的原子核回到基态时，发射出的 γ 光子能量等于两态能量之差。当这个 γ 光子被吸收体中某个处于基态的同类原子核所吸收，使它由基态跃迁到激发态，称为“共振吸收”。当受激的共振原子核由激发态回到基态时，又会发生新的 γ 辐射和内转换电子及X射线发射，但方向是随机的。由此发生的辐射即为共振散射。

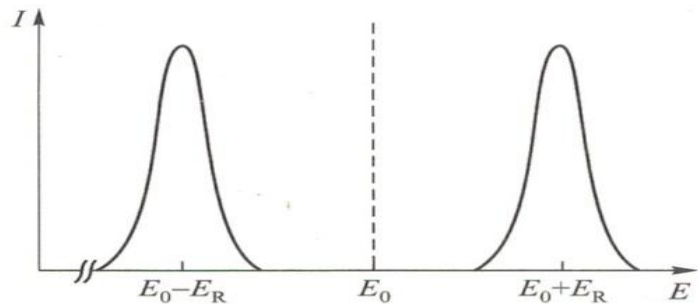




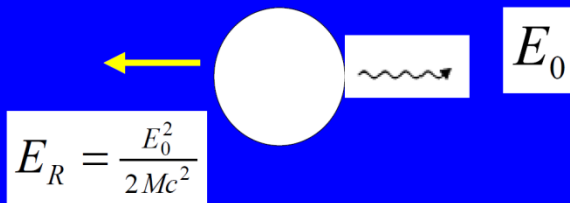
原子核在辐射 γ 光子之后，会承受反冲作用。

$$E_t = E_\gamma + E_R$$

在原子核吸收 γ 射线时，原子核产生和入射的 γ 射线方向相同的运动， γ 射线再次损失大小为 E_R 的能量。所以，辐射的 γ 射线共损失 $2E_R$ 的能量，其远大于 γ 射线的谱线宽度，因此自由原子核的 γ 射线共振吸收是很难观测的。



原子跃迁和原子核跃起的比较



跃迁体系	汞原子	^{198}Hg 原子核
跃迁能量	4.9 eV	412 keV
自然线宽	5.6×10^{-9} eV	1.8×10^{-5} eV
反冲能量	7.5×10^{-11} eV	0.46 eV

2. 多普勒效应

利用多普勒效应可以调制 γ 射线的能量。设能量为 E_γ 的光粒子，以速度 v_0 向观察者运动，其能量变化为

$$\Delta E = (v_0/c) \cdot E_\gamma$$

其中 $E_\gamma = E_0 - E_R + E_D$

对于 ^{57}Fe 的14.4 KeV的谱线，由能量均分定理估计出的室温附近的热多普勒展宽 $D_T \approx 2 \times 10^{-2}$ ，相应的发射谱线与吸收谱线的多普勒展宽如图1所示。

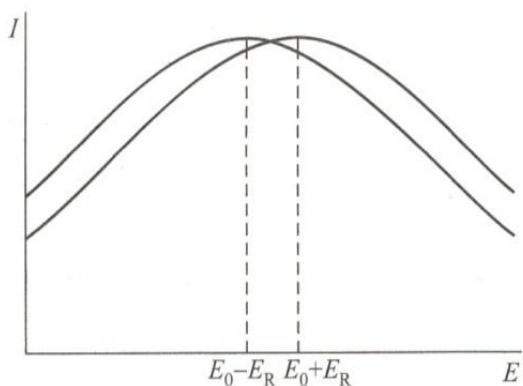


图1 热多普勒效应引起谱线展宽，但谱线下的总面积不变

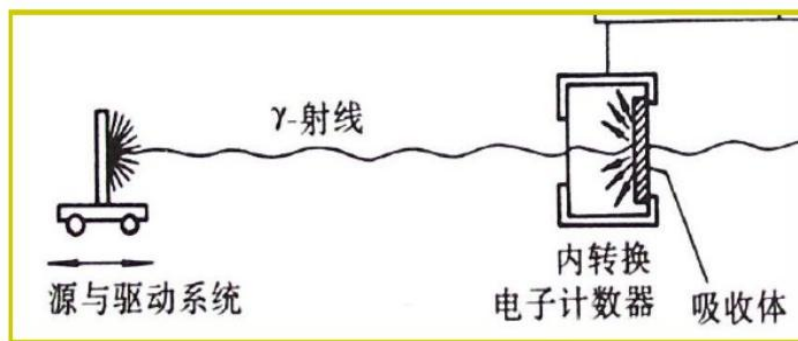


图2 穆斯堡尔谱仪设计原理图



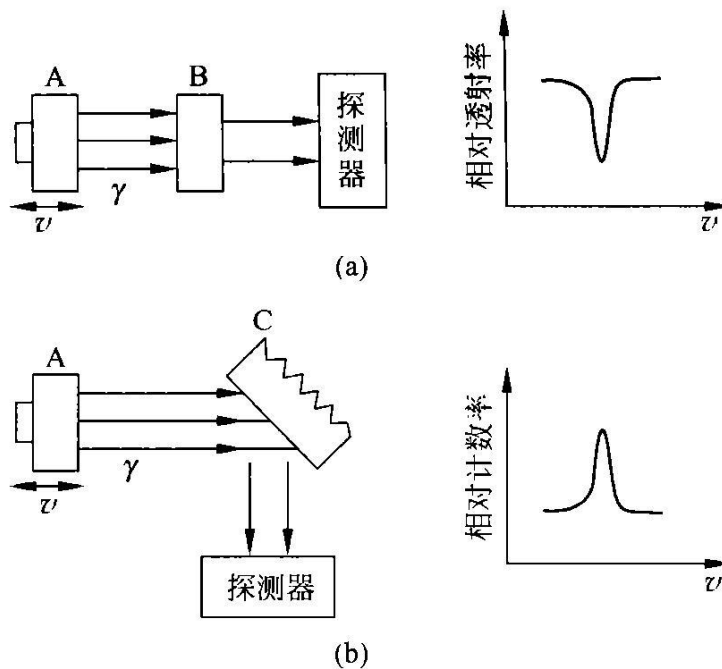
3. 无反冲分数 f

原子核无反冲的 γ 发射（吸收）的几率称为无反冲分数 f ，其大小与温度有关，当 $T \rightarrow 0$ 时最大。 f 的理论公式为

$$f = \exp\left[-4\pi^2 \frac{\langle x^2 \rangle}{\lambda^2}\right]$$

4. 穆斯堡尔谱

通过调整辐射源和吸收体之间的相对速度使其发生共振吸收，测得 γ 射线吸收率(或者透射率)与相对速度之间的变化曲线就称为穆斯堡尔谱。



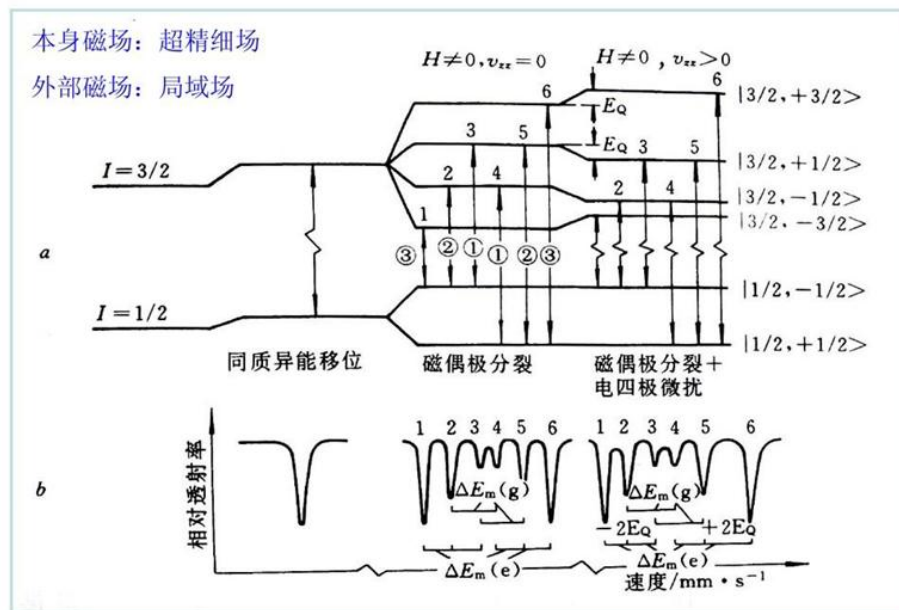


在穆斯堡尔谱中，有三种可以观测到的超精细相互作用：

◆**电单极相互作用**：原子核的核电荷分布与核外电子密度分布之间的库仑相互作用。它仅能使核能级产生移动，而由于这些移动而引起的谱线能量的相对移动，通常称为同质异能移。

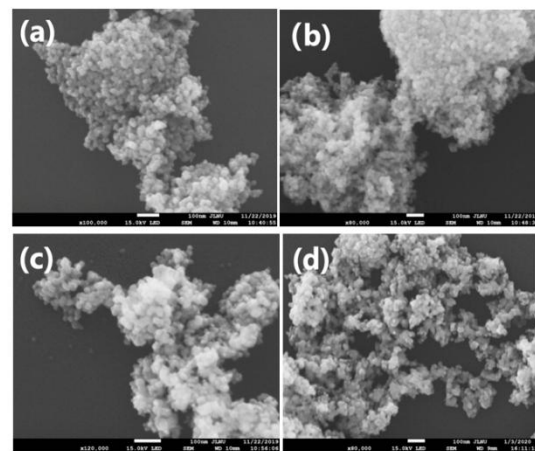
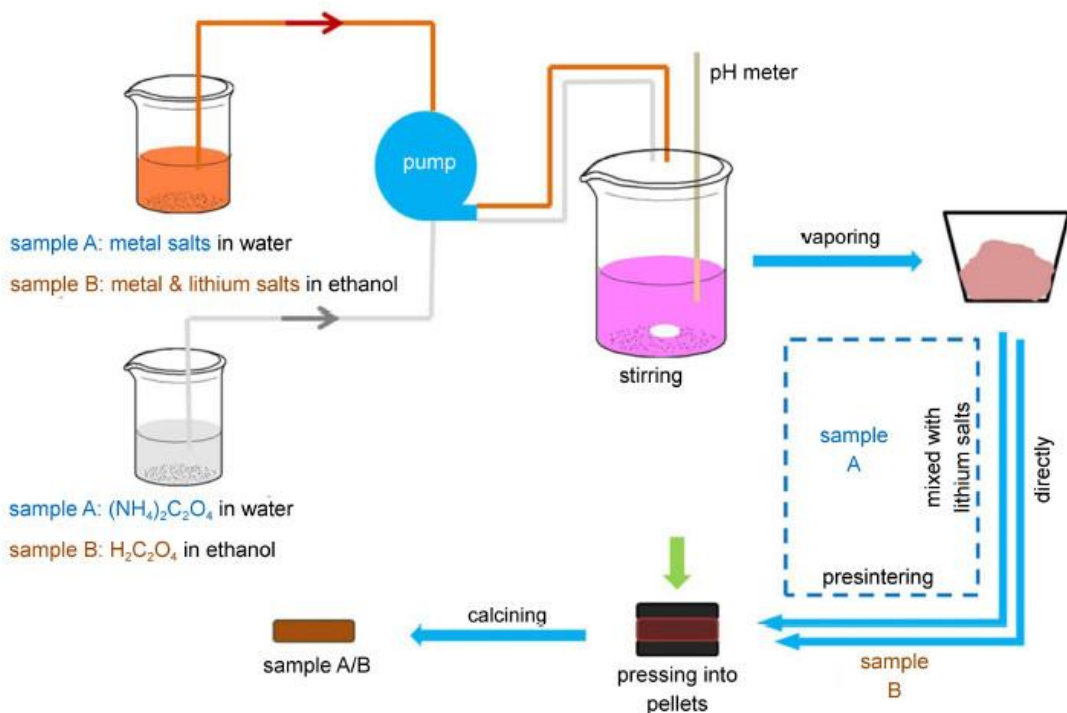
◆**电四极相互作用**：在原子核所在处，原子核的电四极矩与核外环境所引起的电场梯度之间的相互作用。它能使核能级产生细微的分裂，从而引起谱线的分裂，称为四极分裂。

◆**磁偶极相互作用**：在原子核处，原子核的磁偶极矩与外环境所引起的磁场之间的相互作用。它能使核能级产生分裂，完全消除简并。而由于这些能级分裂，使激发态的亚能级和基态的亚能级间发生跃迁，从而引起谱线的分裂。这种分裂称为磁超精细分裂。



5. 共沉淀法

沉淀法是指在溶液中含有两种或多种阳离子，它们以均匀相存在于溶液中，加入沉淀剂，经沉淀反应后，可得到各种成分的均一的沉淀，它是制备含有两种或两种以上金属元素的复合氧化物超细粉体的重要方法。





实验器材

1. 仿真实验中涉及到的实验器材:

电子天平、搅拌台、温控仪、离心机、干燥箱、马弗炉和穆斯堡尔谱仪。

2. 虚拟仿真软件:

共沉淀法合成 CoFe_2O_4 纳米颗粒3D仿真软件、穆斯堡尔谱仪3D仿真软件、穆斯堡尔谱分析3D仿真软件。

3. 操作电脑:

CPU推荐使用i5 3.20GHz以上级别；内存4G以上；显卡2G显存以上；硬盘存储空间500G以上；Windows 7及以上版本。



实验内容和步骤

1. 共沉淀法制备CoFe₂O₄纳米颗粒（共91步骤）

称量

电子天平

搅拌，调PH值

磁性搅拌台，PH试纸

热分解

温度控制仪

离心，清洗

离心机

干燥

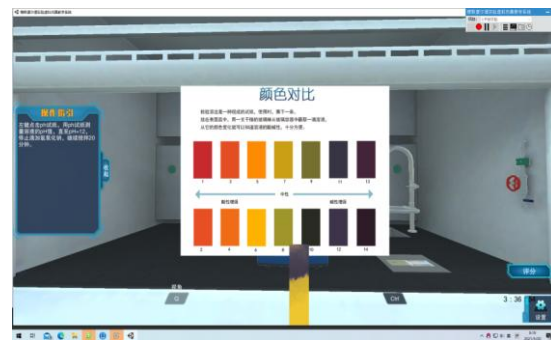
干燥箱

研磨

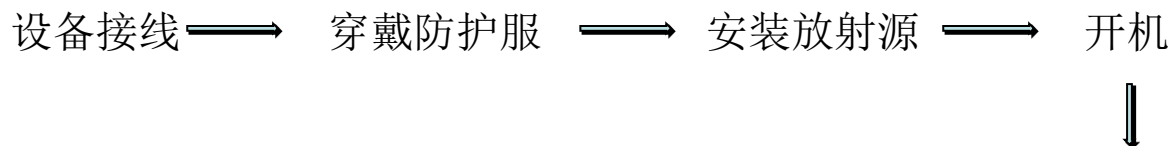
研钵

热处理

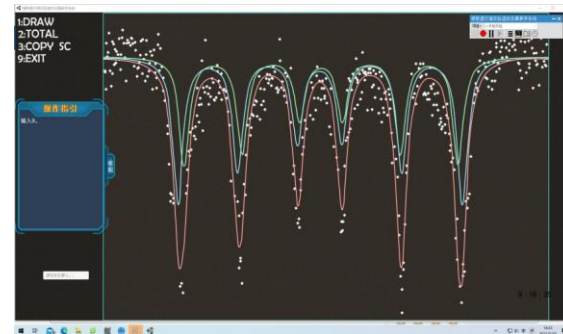
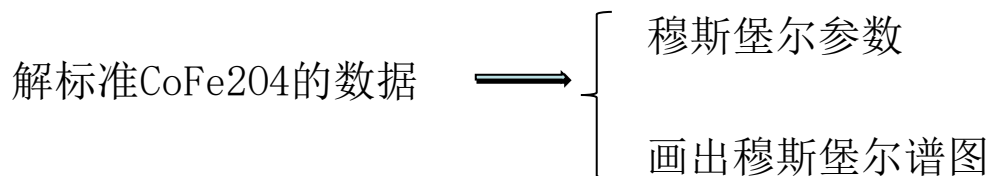
马弗炉



2 穆斯堡尔谱的测量 (共37步骤)



3 穆斯堡尔谱的分析 (共41步骤)





实验数据

表1.标准样品 α -Fe的穆斯堡尔谱中，六个峰的位置

峰	1	2	3	4	5	6
位置						

最大速度：

中心位置为：

表2 CoFe_2O_4 纳米颗粒的穆斯堡尔参数

	同质异能移动 (mm/s)	四极分裂 (mm/s)	内磁场 (kOe)	半峰宽 (mm/s)	面积 (%)
六线峰1					
六线峰2					

对 CoFe_2O_4 纳米颗粒的穆斯堡尔参数进行分析。



注意事项

1. 计算机操作系统和版本要求

仿真程序客户端操作系统采用Windows 7及其以上版本

管理平台服务器操作系统采用Windows Server 2008 R2及其以上版本

2. 网址：<http://www.obrsim.com/?id=jlsfdxwlyx>

3. 有条件的学生，请提前预习，安装所需插件或软件，使用推荐的浏览器，由于目前虚拟仿真实验系统只支持电脑操作，**不支持手机操作**，不能参加虚拟仿真实验的同学，请提前向学生所在学院报备。



课后讨论

1. 穆斯堡尔效应实验为什么适合虚拟仿真实验。
2. 我国核事业的现状及其发展过程。



下课

