

武汉大学物理科学与技术学院

物理实验报告

物理学院 物理专业 2024 年 5 月 28 日

实验名称	核磁共振						
姓 名	郑凡	年 级	大三	学 号	2021302022016	成 绩	
实验报告内容： 一、实验目的 二、主要实验仪器 三、实验原理 四、实验内容与步骤							
五、数据表格 六、数据处理及结果表达 七、实验结果分析 八、习题							
一、实验目的 1. 掌握NMR波谱仪的工作原理和所需要的基本设置及仪器。 2. 了解NMR技术是测量核磁矩和磁场精确定标的方法之一。 3. 观察核磁共振稳态吸收信号及尾波信号。 4. 测量γ因子和g 因子。							
二、主要实验仪器 核磁共振实验仪主要包括磁铁及扫场线圈、探头（由边限振荡器电路盒和样品盒组成）、磁场扫描电源、频率计及示波器。样品有水和固态的聚四氟乙烯两种。							
三、实验原理 原子核的总磁矩在其角动量P→方向上的投影称为核磁矩μ，它们之间的关系为： $\vec{\mu} = \gamma \cdot \vec{P}, \quad \gamma = g_N \cdot \frac{e}{2m_p}$ γ是旋磁比，gN为朗德因子。对氢核来说，gN = 5.5851。根据角动量量子化： $P = \sqrt{I(I + 1)}\hbar, \quad I = 0, \frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2}, \cdots, \quad P_z = m\hbar$ 在磁场中核磁矩在磁场方向投影为： $\mu_B = g_N \frac{e}{2m_p} P_B = g_N (\frac{eh}{2m_p}) m = g_N \mu_N m, \quad \mu_N = 5.050787 \times 10^{-27} J T^{-1}$ 在磁场中原子能级会产生塞满分裂，任何两个能级之间的能量差为： $\Delta E = E_{m1} - E_{m2} = -g_N \cdot \mu_N \cdot B \cdot (m_1 - m_2) \propto B$ 如果实验时外磁场为B0，在该稳恒磁场区域又叠加一个电磁波作用于氢核，如果电磁波的能量恰好等于这时氢核两能级的能量差，即hν0 = gNμNB0。则原子核核就会吸收电磁波的能量，发生跃迁，这就是核磁共振吸收现象，共振条件一般写为： $\nu_0 = (\frac{g_N \cdot \mu_N}{h}) B_0, \text{ 即 } \omega_0 = \gamma \cdot B_0$ 上面讨论的是单个的核放在外磁场中的核磁共振理论。但实验中所用的样品是大量同类核的集合。如果处于高能级上的核数目与处于低能级上的核数目没有差别，则在电磁波的激发下，上下能级上的核都要发生跃迁，并且跃迁几率是相等的，吸收能量等于辐射能量，我们就观察不到任何核磁共振信号。只有当低能级上的原子核数目大于高能级上的核数目，吸收能量比辐射能量							

多，这样才能观察到核磁共振信号。在热平衡状态下，核数目在两个能级上的相对分布由玻尔兹曼因子决定：

$$\frac{N_1}{N_2} = \exp(-\frac{\Delta E}{kT}) = \exp(-\frac{g_N \mu_N B_0}{kT}) \approx 1 - \frac{g_N \mu_N B_0}{kT}$$

最后取了gNμNB0 << kT近似。代入一些数值可以发现，在室温下，每百万个低能级上的核比高能级上的核大约只多出7个。这就是说，在低能级上参与核磁共振吸收的每一百万个核中只有7个核的核磁共振吸收未被共振辐射所抵消。所以核磁共振信号非常微弱，检测如此微弱的信号，需要高质量的接收器。且可以看出，温度越高，粒子差数越小，对观察核磁共振信号越不利。外磁场越强，粒子差数越大，越有利于观察核磁共振信号。所以核磁共振要求强磁场，就是为了要求实验共振信号明显。

另外，要想观察到核磁共振信号，仅仅磁场强一些还不够，磁场在样品范围内还应高度均匀，否则磁场多么强也观察不到核磁共振信号。原因之一是，如果磁场不均匀，则样品内各部分的共振频率不同。对某个频率的电磁波，将只有少数核参与共振，结果信号被噪声所淹没，难以观察到核磁共振信号。

四、实验内容与步骤

本实验数据采集不难，难点在于找到共振吸收信号，总共要完成两次测量：

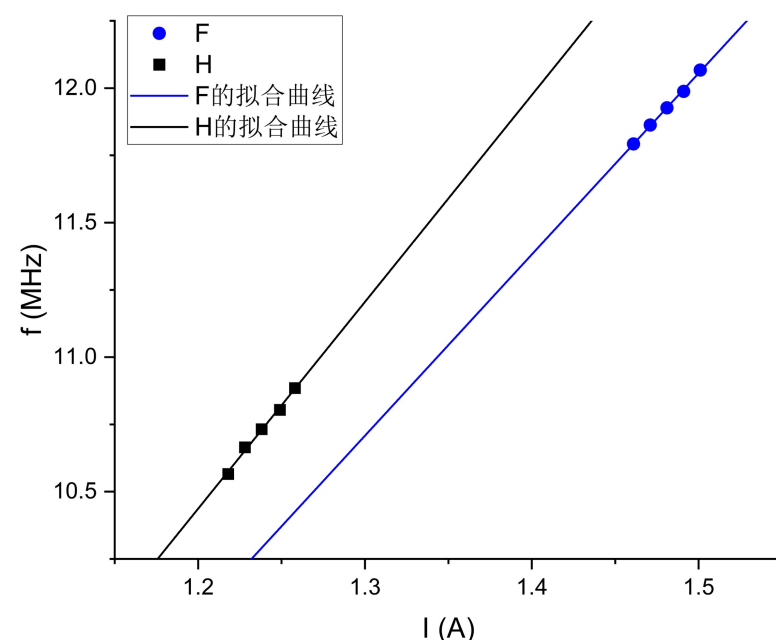
1. 用水做样品，观察质子的核磁共振吸收信号，并测量磁场强度。
2. 用聚四氟乙烯（固态样品），观察氟核的共振，并测得其旋磁比，g因子和核磁矩。
 - 1) 打开实验仪器使得信号处于中心对称位置并且把频率计设置为output unity，调节频率和扫场直到出现示数。
 - 2) 首先调节频率到样品粘贴的测试频率和磁场电流，、然后调节边振调谐旋钮，使得示波器信号处于共振（信号振幅很大，且满屏）和不共振边缘（信号稳而幅度小）的不共振区域（左图），然后调节频率计使得示波器上出现共振信号(右图)（判断标准：共振信号的大小会随着磁场的变化而同步移动，而随着调相而相向运动，且共振附近频率计读数随着频率调节很敏感）。
- 3) 调节磁场使得两路信号微偏离中心，调节频率计或者样品在磁场中的位置，使得信号更好（稳、强、重合性好）。
- 4) 调节调相旋钮使得两个信号重合，然后小心移动磁场电流，使得重合信号在正中间（判断严格共振的条件），记录此时的共振频率和磁场电流
- 5) 改变共振频率到某值（或者磁场电流到某值），重复步骤2和3，找出其对应最好共振信号时的磁场电流（或对应频率）。（频率也会改变共振信号的大小和位置），每个样品测量5组数据
- 6) 画出两个样品（H和F）的I-f图，然后利用二线延长作图法求出gH/gF

五、数据表格

F	磁场电流(A)	1.461	1.471	1.481	1.491	1.501
	共振频率(MHz)	11.7928	11.8629	11.9265	11.9879	12.0671
H	磁场电流(A)	1.218	1.228	1.238	1.249	1.258
	共振频率(MHz)	10.5661	10.6649	10.7323	10.8044	10.885

六、数据处理及结果表达.

利用上面的实验数据绘制得到下面的 $I-f$ 曲线并进行线性拟合



拟合结果为 $R_H^2 = 0.99714$, $R_F^2 = 0.99911$, 故线性非常好. 且斜率 $K_H = 7.68697$, $K_F = 6.736$. 利用 $g_N \propto \frac{f}{I}$ 有

$$\frac{g_H}{g_F} = \frac{K_H}{K_F} = 1.141.$$

与推荐值 $\frac{5.4}{5.1} \approx 1.059$ 相比相对误差仅为 7.74%.

利用已知 H 的 $g_H = 5.5851$, 可求出:

$$g_F = 5.5851 / 1.141 = 4.895$$

七、实验结果分析.

本次实验利用已知 H 的 g 因子, 测得了 F 的 g 因子, 体会到了磁共振实验为什么需要强磁场. 及其在精密测量中的应用. 本次实验还有待改进的地方. 比如没有利用特斯拉计测量磁场强度. 如果已知磁感应强度 B, 可以进一步求出 μ_F 和 γ_F . 另外本次实验取点个数较少. 这也导致偶然误差较大. 这也是因为核磁共振实验本身无法在共振频率附近处进行测量导致的.

八、习题

①: 温度降低, 磁场增大, 且中心磁场越均匀越好.

② 三 T. 水平两个: 永磁体给恒定磁场, 促进能级分裂, 线圈给调制磁场, 寻找共振信号. 竖直一个电磁场, 使能级跃迁发生共振.

③ 稳态和弛豫两个过程.

$$\textcircled{4} B_0 = \frac{fh}{\mu_N g_N} = 14.09 \text{ T}, \quad f = \frac{\mu_N g_N}{h} B_0 \Rightarrow \frac{f}{14.09} = \frac{14.09}{1}$$

$$\Rightarrow f = 150.84 \text{ MHz}.$$

⑤ 因为能量耗散到环境中, 故尾波信号幅度减少;

由于 NMR 信号是频率分量的叠加. 由于相干激发导致信号间隔宽. 随着时间推移, 不同频率分量之间相位差异变大, 峰间隔由于干涉效应也越来越小.

教师
评语

指导教师:

年 月 日

武汉大学物理实验数据记录单

技术学院
学院: 物理科学与 专业: 物理学类 姓名: 丁逸夫/郑一凡 学号: 2021302022018/20106

实验名称: 核磁共振实验 实验仪器台号: _____

氟:

磁场电流(A) 共振频率(MHz)

1.461 11.7928

1.471 11.8629

1.481 11.9265

1.491 11.9879

1.501 12.0671

水:

1.218 10.3661

1.228 10.6649

1.238 10.7323

1.249 10.8044

1.258 10.8850

指导教师:

何

年

5月

28日