

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 6 月 11 日

实验名称	微波电子顺磁共振						
姓 名	郑卜凡	年 级	大三	学 号	202402022016	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							
<p>一、实验目的</p> <p>1. 研究微波波段电子顺磁共振现象。</p> <p>2. 测量DPPH中的g因子。</p> <p>3. 了解、掌握微波仪器和器件的应用。</p> <p>4. 理解谐振腔中TE10波形成驻波的情况，确定波导波长 λ_g。</p> <p>二、主要实验仪器</p> <p>电磁铁系统，微波系统和电子检测系统</p> <p>三、实验原理</p> <p>在外磁场 B_0 中，电子自旋磁矩和磁场相互作用会导致塞曼分裂，能级劈裂差值正比于磁场大小：</p> $\Delta E = g\mu_B B_0$ <p>这里g是电子的朗德因子，在与B0垂直的平面内加一频率为f的微波磁场B1，当满足：</p> $f = \frac{\Delta E}{h} = \frac{g\mu_B B_0}{h}$ <p>时，处于低能级的电子就会吸收微波磁场的能量，在相邻能级间发生共振跃迁，即顺磁共振。同时处于高能级的电子也会跃迁到低能级，所以共振信号只有当低能级电子不等于高能级电子数的时候才能被观测到，而这两者遵从Boltzmann分布：</p> $\frac{N_2}{N_1} = e^{-\Delta E/KT} \approx 1 - \frac{\Delta E}{KT}$ <p>由此可知，外磁场越强，射频或微波场频率f越高，温度越低，则粒子数差越大。因为微波波段的频率比射频波波段的频率高得多，所以微波顺磁共振的信号强度比较高。此外，微波谐振腔具有较高的Q值，因此微波顺磁共振有较高的分辨率。</p> <p>微波顺磁共振有通过法和反射法。反射法是利用样品所在谐振腔对于入射波的反射状况随着共振的发生而变化，因此，观察反射波的强度变化就可以得到共振信号。反射法利用微波器件魔T来平衡微波源的噪声，所以有较高的灵敏度。</p> <p>与核磁共振等实验类似，为了观察共振信号，通常采用调场法，既在直流磁场B0上还加一个交变调场这样当磁场扫过共振点：</p> $B = \frac{hf}{g\mu_R}$ <p>时，发生共振，改变谐振腔的输出功率或反射状况，通过示波器就能显示出共振信号。本实验使</p>							

用的样品为DPPH，也就是叫做二苯基苦酸基联氨，分子式为 $(C_6H_5)_2N-NC_6H_2(NO_2)_3$ ，本实验观测的时第二个氮原子上的未耦合自由电子的自旋共振现象。

实际上样品是一个含有大量不成对的电子自旋所组成的系统，在热平衡时，分布于各赛曼能级上的粒子数服从玻尔兹曼分布，即低能级上的粒子数总比高能级的多一些。因此，即使粒子数因感应辐射由高能级越迁到低能级的概率和粒子因感应吸收由低能级越迁到高能级的概率相等，但由于低能级的粒子数比高能级的多，也是感应吸收占优势，从而观测不到共振现象，即所谓的饱和。但实际上共振现象仍可继续发生，这是驰豫过程在起作用，驰豫过程使整个系统有恢复到玻尔兹曼分布的趋势。两种作用的综合效应，使自旋系统达到动态平衡，电子自旋共振现象就能维持下去。电子自旋共振也有两种驰豫过程。一是电子自旋与晶格交换能量，使得处在高能级的粒子把一部分能量传给晶格，从而返回低能级，这种作用称为自旋—晶格驰豫。自旋—晶格驰豫时间用 T_1 表征。二是自旋粒子相互之间交换能量，使他们的旋进相位趋于随机分布，这种作用称自旋—自旋驰豫。自旋—自旋驰豫时间用 T_2 表征。这个效应使共振谱线展宽， T_2 与谱线的半高宽 $\Delta\omega$ 有关系 $\Delta\omega \approx \frac{2}{T_2}$ 。故测定线宽后便可估算 T_2 的大小。

四、实验内容与步骤

1) 将可变衰减器顺时针调到最大。打开三厘米固态波信号源的电源，按下三厘米固态信号源的“电压”和“等幅”按钮。预热20分钟。将磁共振实验仪的旋钮和按钮作如下设置：“磁场”调节逆时针调到最低，“扫场”调节顺时针调到最大。

2) 将单螺调配器的探针逆时针旋至最大刻度（最浅），调节样品谐振腔的可调终端活塞到最长。

3) 调节“可调谐振腔旋钮”，样品置于磁场的中央，即将样品位置刻度值置于90mm左右处。

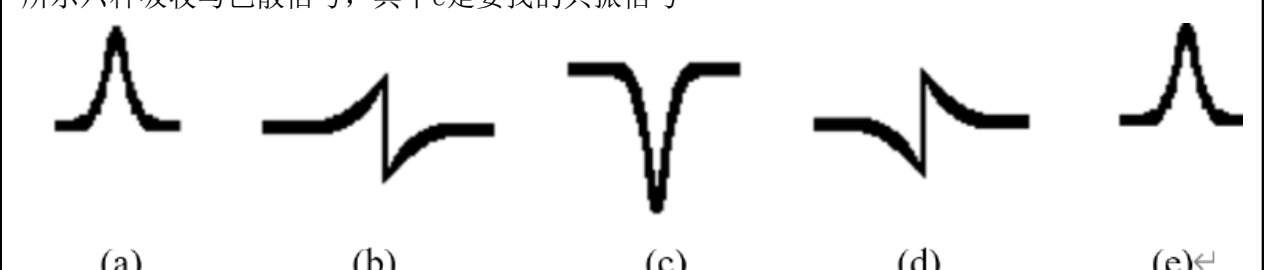
4) 按下“检波”旋钮。调节可变衰减器及“检波灵敏度”旋钮使磁共振实验仪的调谐电表指示占满度的2/3（70%）以上。

5) 根据“3cm空腔波长表频率刻度对照表”，调整信号源频率调节杆的刻度，使振荡频率在9370MHz左右。调整微波频率，方法如下：

- 参考“频率—测微器刻度对照表”上的数值，仔细调整频率测微器（垂直方向的振荡频率调节杆），使信号源输出波长约处于9370MHz；
- 旋转波长计的测微头，找到磁共振实验仪的调谐电表跌落点，读取测微头读数，根据该读数查“波长表频率刻度对照表（二）”即可确定实际输入振荡频率；
- 本系统实际工作频率应为9370MHz，若实际振荡频率不是9370MHz，应再微调调节信号源的振荡频率调节杆，根据调谐电表跌落点再次判断此时的实际输入频率，可反复调节（此过程需要配合调节可变衰减器和检波灵敏度，使得保证电表指示占满度的2/3），最终使得实际工作频率为9370MHz附近。
- 调节完成后将波长计调到远离谐振频率的位置，以避免波长计的吸收对实验造成影响。

6) 为使样品谐振腔对微波信号谐振，调节样品谐振腔的可调终端活塞，使调谐电表指示最小。为了提高系统的灵敏度，可减小可变衰减器的衰减量，使调谐电表显示尽可能提高。

7) 按下“扫场”按钮，顺时针调节磁场电流，当电流达到1.7至2.1A之间时示波器上出现下图所示六种吸收与色散信号，其中c是要找的共振信号



五、数据表格

频率(MHz)	磁场(Gs)	z1(mm)	z2(mm)
9382	3346	69	90
9413	3358	68	90

六、数据处理及结果表述

(1) g 因子计算. 利用 $g = \frac{hf}{\mu_B B_0}$

$$\Rightarrow g_1 = 2.003336.$$

$$g_2 = 2.002773. \Rightarrow \bar{g} = 2.00305$$

$$g_{\text{理论}} = 2.00232 \quad \text{相对误差为 } 0.3\%. \text{ 故测量结果十分精确.}$$

(2) 求波导波长

$$(a) \lambda_{g1} = 2 \times |90 - 69| \text{ mm} = 42 \text{ mm}$$

$$\lambda_{g2} = 2 \times |90 - 68| \text{ mm} = 44 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \bar{\lambda}_g = (\lambda_{g1} + \lambda_{g2}) / 2 = 43 \text{ mm}.$$

$$(b) \lambda_g = \lambda / \sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}, \lambda = \frac{c}{f}, a = 22.8 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \lambda_{g1} = 44.79 \text{ mm}$$

$$\lambda_{g2} = 44.50 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_g = 44.65 \text{ mm}$$

(a), (b) 比较发现, 两者只相差 3.77%.
理论上系统工作于 9370 MHz. $\lambda = 3.1995 \text{ cm}$. 又据 $\lambda_g \approx 44.90 \text{ mm}$.

测量相对误差分别为 4.2% 和 0.56%. 所以测量误差很小.

八、习题.

① 电子能级在磁场的作用下发生分裂, 当入射的电磁波的能量刚好等于分裂能级之差时, 会发生共振吸收.

② 产生驻波. 以便在样品上加入调制磁场. $f = \frac{c}{4L}$.

③ 应位于谐振腔磁场最强的位置, 这样信号才大.

④ 加上调制磁场. 用扫场电压控制. 可以选到频率合适的电磁波从而发生核磁共振.

教师评语

指导教师:

年 月 日

武汉大学物理实验数据记录单

学院: 物理 专业: 物理 姓名: 郑凡 学号: 202102022016

实验名称: 电子自旋共振 实验仪器台号: _____

①. 信号: 3.989 振荡器 对应 9.37 GHz

实测: 4.789 对应 9382 MHz.

电流 2.063 A, $B = 3346$ Gs

$$\mu_1 = 2.003336$$

$$z_1 = 69 \text{ mm} \quad z_2 = 90 \text{ mm}$$

② 信号: 4.059 振荡器 对应 9.40 GHz

实测: 4.570 对应 9413 MHz.

电流: 2.069 A. $B = 3358$ Gs.

$$\mu_{me} = 2.00232.$$

$$\mu_2 = 2.002773$$

$$z_1 = 68 \text{ mm} \quad z_2 = 90 \text{ mm}.$$

指导教师:

杨

年 6 月 4 日