

预习	操作记录	实验报告	总评成绩

《大学物理实验》课程实验报告

专业：实验人姓名：学号：

参加人姓名：

日期：        年        月        日    室温：相对湿度：

实验13    核磁共振效应

一、实验前思考题

1. 简述核磁共振的原理？
2. 简述核磁共振技术的应用。

二、 仪器用具

	使用仪器	数量	型号
1	可调直流（恒流）电源, 3.5A/6.3V	1	BEM-5003
2	核磁共振探测单元（含样品，氢、氟原子核）	1	BEM-5021
3	U 型磁场线圈, 5A, （含扫场线圈，1A）	1	BEM-5023
4	核磁共振实验仪	1	BEM-5704
5	特斯拉计，0-2000.0mT	1	HT201
6	泰克双踪示波器 0-100MHZ	1	TDS2012C
7	导轨，长 300mm	1	BEM-5201-03

三、 前言

1946 年，斯坦福大学的布洛赫(F.Block)和哈佛大学的珀赛尔(E.M.Purcell)分别通过液体水和石蜡发现了核磁共振现象，并由此获得1952 年的诺贝尔奖，开创了磁共振研究领域，此后12位科学家在此领域获得诺贝尔奖。

核磁共振技术作为一种边缘学科，涉及物理、电子、计算机、磁学、化学、医学等多个领域。根据应用领域，大致可以将核磁共振技术可以分为三大类：一、医学领域，主要是核磁共振成像；二、化学领域，主要应用于化学分析；三、工业应用，作为分析仪器用于检测物质含量等。近年来，应用于工业领域的核磁共振分析仪器发展非常迅速，如用核磁共振方法检测种子含油量、含水量，核磁共振测井以及勘探水资源等。

原子核具有自旋运动，因为原子核有电荷，所以也具有自旋磁矩。核的磁距  $\mu$  和它的自旋角动量  $I$  成正比。

$$\mu=\gamma\cdot I$$

式中比例常数  $\gamma$  称为核的旋磁比，它随原子核的结构不同而不同。是表征原子核的重要物理量之一。在外磁场中，核的自旋角动量也是空间量子化的。以外磁场  $B$  为  $z$  轴正向，则核自旋角动量的空间量子化表示为

$$I_z=M\cdot\eta$$

式中  $M$  是核自旋量子数。对不同的核， $M$  可以是整数或半整数。根据核磁矩和角动量的正比关系，可得

$$\mu_z=\gamma\cdot I_z=\gamma\cdot M\cdot\eta$$

磁矩在外磁场中具有和它的指向相联系的能量  $E$ :

$$E=-\mu\cdot B=-\mu_z\ B=-\gamma\cdot M\cdot\eta\cdot B$$

此式说明，核在外磁场中的能量也是量子化的，两个相邻能级之差为  $\Delta E=\gamma\cdot\eta\cdot B$ 。

因此当用电磁波照射核时，它将只吸收如下频率的电磁波:

$$\nu=\Delta E/h=\gamma\ \eta\ B/h=\gamma\cdot B/2\pi$$

这种在外磁场中的核吸收特定频率电磁波的现象就叫核磁共振。

因为磁场的相互作用使磁能级发生塞曼分裂，相邻能级的能量差为， $\Delta E=\gamma\cdot\eta\cdot B$ ，其中  $\eta=h/2\pi$ ， $h$  为普朗克常数。如果在与  $B$  垂直的平面内加一个频率为  $\nu$  的射频场，当

$$\begin{aligned}h\cdot\nu&=\gamma\cdot\eta\cdot B\\ \nu&=(\gamma/2\pi)\cdot B\end{aligned}$$

时, 就发生共振现象。通常称  $\gamma/2\pi$  为原子核的回旋频率。

核磁共振实验是理科高等学校近代物理实验课程中的必做实验之一。利用本装置和示波器可以扫场的方式观察核磁共振现象并测量共振频率。

## 四、实验原理

核磁共振是重要的物理现象, 核磁共振实验技术在物理、化学、生物、临床诊断、计量科学和石油分析勘探等许多领域得到重要应用。1945 年发现核磁共振现象的美国科学家 Purcell 和 Bloch 1952 年获诺贝尔物理学奖。在改进核磁共振技术方面作出重要贡献的瑞士科学家 Ernst 1991 年获得诺贝尔化学奖。

氢原子中电子的能量不能连续变化, 只能取分立的数值, 在微观世界中物理量只能取分立数值的现象很普遍, 本实验涉及到的原子核自旋角动量也不能连续变化, 只能取分立值  $P = \sqrt{I(I+1)} \cdot \hbar$ , 其中  $I$  称为自旋量子数, 只能取 0, 1, 2, 3, ... 等整数值或  $1/2, 3/2, 5/2, \dots$  等半整数值, 公式中的  $\hbar = h/2\pi$ , 而  $h$  为普朗克常数, 对不同的核素,  $I$  分别有不同的确定数值, 本实验涉及质子和氟核  $F19$  的自旋量子数  $I$  都等于  $1/2$ , 类似地原子核的自旋角动量在空间某一方向, 例如  $z$  方向的分量也不能连续变化, 只能取分立的数值  $P_z = m \cdot \hbar$ 。其中量子数  $m$  只能取  $I, I-1, \dots, -I+1, -I$  等  $(2I+1)$  的数值。

自旋角动量不为零的原子核具有与之相联系的核自旋磁矩, 其大小为

$$\mu = g \cdot \frac{e}{2M} \cdot P \quad (1)$$

其中  $e$  为质子的电荷,  $M$  为质子的质量,  $g$  是一个由原子核结构决定的因子, 对不同种类的原子核  $g$  的数值不同,  $g$  称为原子核的 **g 因子**, 值得注意的是它可以是正数, 也可能是负数, 因此, 核磁矩的方向可能与核自旋动量方向相同, 也可能相反。

由于核自旋角动量在任意给定  $z$  方向只能取  $(2I+1)$  的分立的数值, 因此核磁矩在  $z$  方向也只能取  $(2I+1)$  的分立的数值。

$$\mu_N = g \cdot \frac{e}{2M} \cdot P_z = g \cdot m \cdot \frac{e \cdot \hbar}{2M} \quad (2)$$

原子核的磁矩通常用  $\mu_N = e \cdot \hbar / 2M$  作为单位,  $\mu_N$  称为核磁子, 采用  $\mu_N$  作为核磁矩的单位后,  $\mu_z$  可记作  $\mu_z = g \cdot m \cdot \mu_N$ , 与角动量本身的大小为  $I(I+1) \hbar$  相对应, 核磁矩本身的大小为  $g \cdot \sqrt{I(I+1)} \cdot \mu_N$ , 除了用  $g$  因子表征核的磁性质外, 通常引入另一个可以由实验测量的物理量  $\gamma$ ,  $\gamma$  定义原子核的磁矩与自旋角动量之比:

$$\gamma = \frac{\mu}{P} = \frac{g \cdot e}{2M} \quad (3)$$

利用  $\gamma$  我们可写成  $\mu = \gamma \cdot P$ , 相应地有  $\mu_z = \gamma \cdot P_z$ 。

当无磁场时, 每一个原子核的能量相同, 所有原子处在同一能级, 但是, 当施加一个外磁场  $B$  后, 情况发生变化, 为了方便起见, 通常把  $B$  的方向规定为  $z$  方向, 由于外磁场  $B$  与磁矩的相互作用能为

$$E = -\mu \cdot B = -\mu_z \cdot B = -\gamma \cdot P_z \cdot B = \gamma \cdot m \cdot \hbar \cdot B \quad (4)$$

因此量子  $m$  取值不同的核磁矩的能量也就不同, 从而原来简并的同一能级分裂为  $(2I+1)$  个子能级, 由

于在外磁场中各个子能级的能量与量子数间隔  $\Delta E = \gamma \cdot \hbar \cdot B$  都是一样的, 而且, 对于质子而言,  $I=1/2$ , 因此  $m$  只能取  $m=1/2$  和  $m=-1/2$  两个数值, 施加磁场前后的能级分别如图 1 中的(a)和 (b) 所示。

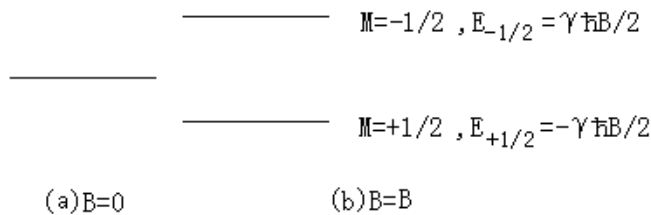


图 1

当施加外磁场  $B$  以后, 原子核在不同能级上的分布服从玻尔兹曼分布, 显然处在下能级的粒子数要比上能级的多, 其实数由  $\Delta E$  大小、系统的温度和系统总粒子数决定, 这时, 若在与  $B$  垂直的方向上再施加一个高频电磁场, 通常为射频场, 当射频场的频率满足  $h \cdot \nu = \Delta E$  时会引起原子核在上下能级之间跃迁, 但由于一开始处在下能级的核比在上能级的核要多, 因此净效果是上跃迁的比下跃迁的多, 从而使系统的总能量增加, 这相当于系统从射频场中吸收了能量。

把  $h \cdot \nu = \Delta E$  时引起的上述跃迁称为跃迁共振跃迁, 简称为共振。显然共振要求  $h \cdot \nu = \Delta E$ , 从而要求射频信号频率满足共振条件:

$$E = -\mu \cdot B = -\mu_z \cdot B = -\gamma \cdot P_z \cdot B = \gamma \cdot m \cdot \hbar \cdot B \quad (5)$$

如果用圆频率  $\omega = 2\pi\nu$  表示, 共振条件可写成:

$$\omega = \gamma \cdot B \quad (6)$$

如果频率的单位用 Hz, 磁场的单位用 T (特斯拉, 1 特斯拉=10000 高斯), 对裸露的质子而言, 经过大量实验得到  $\gamma/2\pi = 42.577469 \text{ MHz/T}$ ; 但是对于原子或分子中处于不同的基团的质子, 由于不同质子所处的化学环境不同, 受到周围电子屏蔽的情况不同,  $\gamma/2\pi$  的数值将略有差别, 这种差别称为化学位移, 对于温度为 25 摄氏度球形容器中水样品的质子,  $\gamma/2\pi = 42.576375 \text{ MHz/T}$ , 本实验可采用这个数值作为很好的近似值, 通过测量质子在磁场  $B$  中的共振频率  $\nu_N$  可实现对磁场的校准, 即

$$B = \frac{\nu_N}{\gamma/2\pi} \quad (7)$$

反之, 若  $B$  已经校准, 通过量未知原子核的共振频率  $\nu_N$  便可求出待测原子核  $\gamma$  值 (通常用  $\gamma/2\pi$  值表征) 或  $g$  因子:

$$\frac{\gamma}{2\pi} = \frac{\nu}{B} \quad (8)$$

$$g = \frac{\nu/B}{\mu_N/h} \quad (9)$$

其中  $\mu_N/h = 7.6225914 \text{ MHz/T}$ 。

通过上述讨论, 要发生共振必须满足  $\nu = \frac{\gamma}{2\pi} \cdot B$ , 为了观察到共振现象通常有两种方法: 一

种是固定  $B$ , 连续改变射场的频率, 这种方法称为扫频方法; 另一种方法, 也就是本实验采用的方法, 即固定射场的频率, 连续改变磁场的大小, 这种发方法称为扫场方法, 如果磁场的变化不是太快, 而是缓慢通过与频率  $\nu$  对应的磁场时, 用一定的方法可以检测到系统对射场的吸收信号, 如图

2 (a) 所示, 称为一手曲线, 这种曲线具有洛伦兹型曲线的特征, 但是, 如果扫场变化太快, 得到的将是如图 35-2 (b) 所示的带有尾波的衰减振荡曲线, 然而, 扫场变化的快慢是相对具体样品而言的, 例如, 本实验采用的扫场的磁场, 对于聚四氟乙烯样品而言, 其吸收信号将如图 2 (a) 所示, 而对液态的水样品而言却是变化太快的磁场, 其吸收信号将如图 2 (b) 所示, 而且磁场越均匀, 尾波中振荡的次数越多。

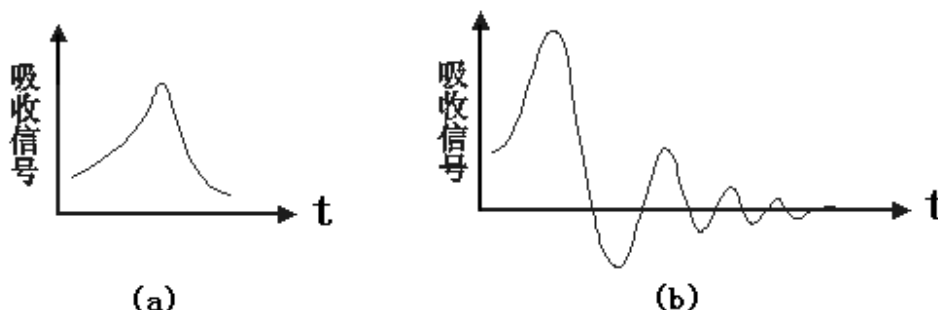


图 2

## 五、实验方法

### 1. 电磁场

核磁共振实验对电磁场的要求是有极强的磁场、足够大的均匀区和均匀性好。本实验所用的电磁场采用的是两组励磁线圈加纯铁芯组成的电磁铁, 其中心磁场  $B_0$  大小可调, 大大增加了实验的灵活性, 可以获得较多的实验数据, 在磁场中心 30mm 范围内, 均匀性优于  $10^{-5}$ 。

### 2. 扫场线圈:

用来产生一个幅度大小在零点几高斯到十几高斯的可调交变磁场, 用于观察共振信号, 扫场线圈的电流由可调变压器的扫场输出端提供, 扫场的幅度可通过变阻器调节。

### 3. 探测器、射频场的产生与共振信号的探测

本实验提供的探测器, 由 RF 射频线圈和边限振荡器组成。探测器的探头与探测样品分离, 样品可以在探头内插拔, 便于更换样品, 用户也可以自制测试样品, 具有很大的拓展性。

其中一个的样品为水 (掺有硫酸铜), 另一个为固态的聚四氟乙烯。

边限振荡器: 是处于振荡与不振荡边缘状态的 LC 振荡器 (也有翻译为边缘振荡器 marginal oscillator), 样品放在振荡线圈中, 振荡线圈和样品一起放在磁铁中。当振荡器的振荡频率近似等于共振频率时振荡线圈内射频磁场能量被样品吸收使得振荡器停振, 振荡器的振荡输出幅度大幅度下降, 从而检测到核磁共振信号。振荡器未经检波的高频信号经由频率输出端直接输出到数字频率计, 从而可直接读出射频场的频率。

### 4. 扫场线圈与共振信号

什么情况下才会出现共振信号? 共振信号又是什么样呢? 由共振条件, 即式(6)可知, 只有  $\omega/\gamma=B$  才会发生共振, 如果磁场是电磁铁的磁场  $B_0$  和一个 50Hz 的交变磁场叠加的结果, 总磁场为:

$$B = B_0 + B' \cos \omega' t \quad (10)$$

其中  $B'$  是交变磁场的幅度,  $\omega'$  是市电的圆频率, 总磁场在  $(B_0 - B')$  到  $(B_0 + B')$  的范围内按图 3 的正弦曲线随时间变化, 只有  $\omega/\gamma$  落在这个范围内才能发生共振, 为了容易找到共振信号, 要加大  $B'$ , (即把可调扫场输出调到较大数值), 使可能发生共振的磁场变化范围增大; 另一方面要调节射频场的频率, 使  $\omega/\gamma$  落在这个范围, 一旦  $\omega/\gamma$  落在这个范围, 在磁场变化的某些时刻的总磁场  $B=\omega/\gamma$ ,

在这些时刻就能观察到共振信号，如图 3 所示；共振发生在数值为  $\omega/\gamma$  的水平虚线与代表总磁场变化的正弦曲线交点对应的时刻，如前所述，水样品的共振信号将如图 2 (b) 所示，而且磁场越均匀尾波中的振荡次数越多，因此一旦观察到共振信号以后，应进一步仔细调节探测器的探测线圈和样品在磁场中的位置，使尾波中振荡的次数最多亦即使探头处在磁铁中磁场最均匀的位置。

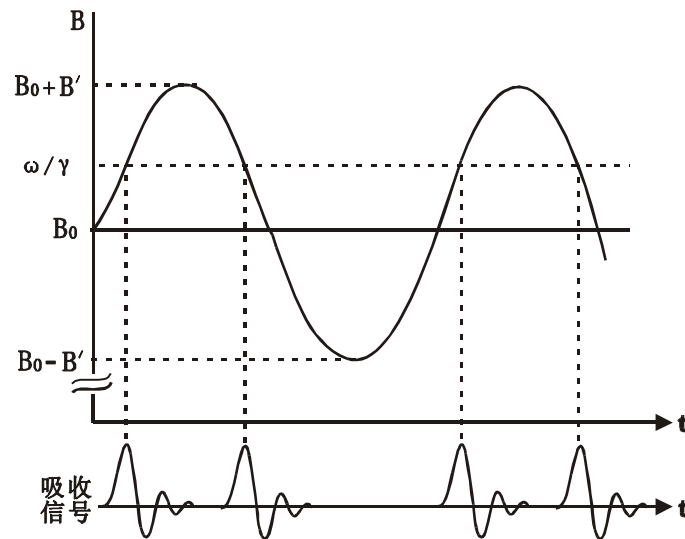


图 3

由图 3 可知，只要  $\omega/\gamma$  落在  $(B_0 - B') \sim (B_0 + B')$  范围内就能观察到共振信号，但这时  $\omega/\gamma$  未必正好等于  $B_0$ ，从图上可以看出：当  $\omega/\gamma \neq B_0$  时，各个共振信号发生的时间间隔并不相等，共振信号在示波器上的排列不均匀，只有当  $\omega/\gamma = B_0$  时，它们才均匀排列，这时共振发生在交变磁场过零时刻，而且从示波器的时间标尺可测出它们的时间间隔为 10ms，当然，当  $\frac{\omega}{\gamma} = B_0 - B'$  或  $\frac{\omega}{\gamma} = B_0 + B'$  时，在示波器上也能观察到均匀排列的共振信号，但它们的时间间隔不足 10ms，而是 20ms，因此，只有当共振信号均匀排列而且间隔为 10ms 时才有  $\omega/\gamma = B_0$ ，这时频率计的读数才是与  $B_0$  对应的质子的共振频率。

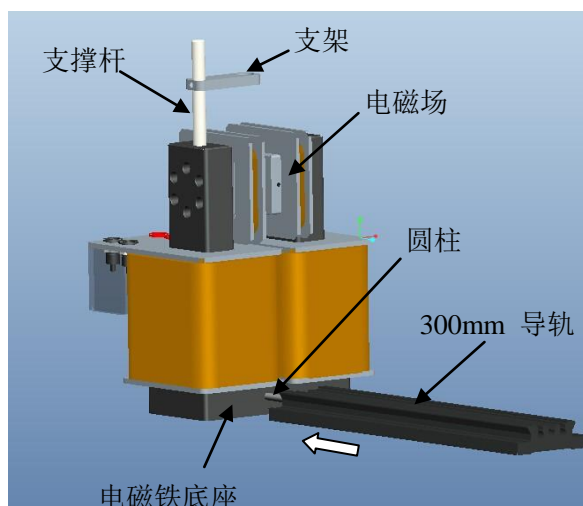
作为定量测量，除了要得到待测量的数值外，还关心如何减小测量误差并力图对误差的大小作出定量估计从而确定测量结果的有效数字，从图 3 可以看出，一旦观察到共振信号， $B_0$  的误差不会超过扫场的幅度  $B'$ ，因此，为了减小估计误差，在找到共振信号之后应逐渐减小扫场的幅度  $B'$ ，并相应地调节射频场的频率使共振信号保持间隔为 10ms 的均匀排列，在能观察到和分辨出共振信号的前提下，力图把  $B'$  减小到最小程度，记下  $B'$  达到最小而且共振信号保持间隔为 10ms 均匀排列时的频率  $\nu_N$ ，利用水中质子的  $\gamma/2\pi$  值和公式 (7) 求出磁场中的  $B_0$  值，顺便指出，当  $B'$  很小时，由于扫场变化范围小，尾波中振荡的次数较少，这是正常的，并不是因为磁场变得不均匀而引起的。

## 六、安装与维护

### 安装电磁场导轨

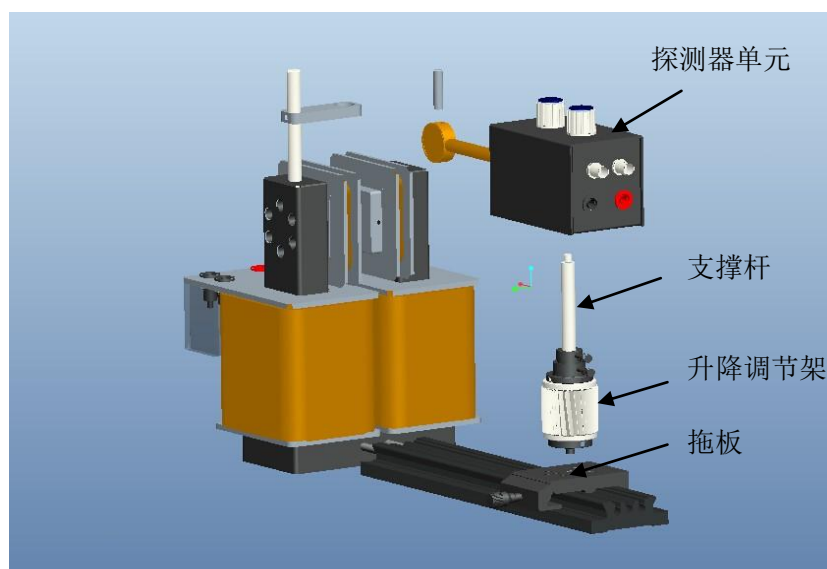
- 把300mm长的导轨插入电磁铁底座侧面的2根圆柱中。
- 把支撑杆旋进电磁铁的顶部螺孔中。
- 把支架套入支撑杆，用手拧螺丝固定。

注意：上述装配较为紧密。



### 安装支撑杆和探测器单元

- 把支撑杆旋到探测器单元的底部，并且使之紧固。
- 把升降调节架旋到拖板上，并且使之紧固。
- 把支撑杆套进升降调节架中。
- 把拖板放置在导轨上，调节探测器高度，固定升降架上螺丝。
- 调节升降架高度，使探测器的探头可以平移进出磁场间隙中。

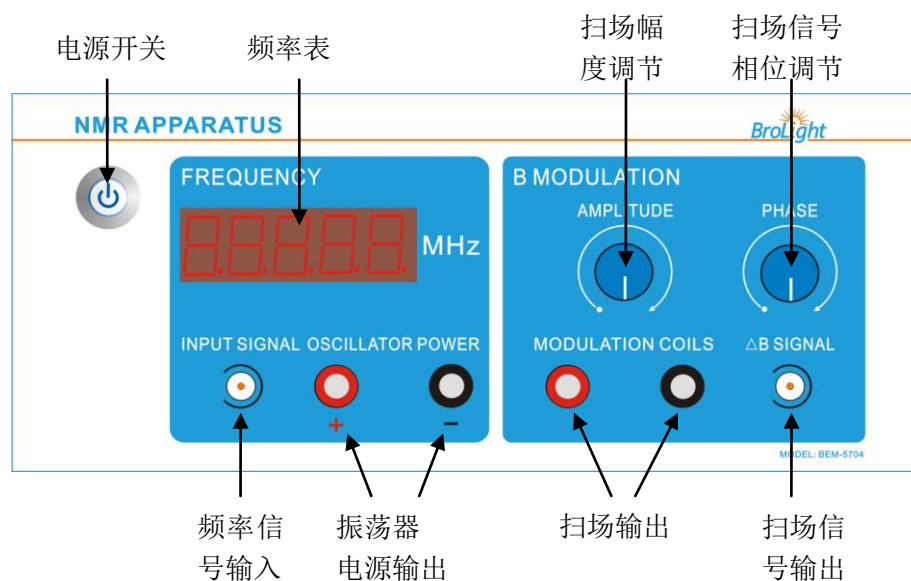


注意：若探测器探头未能顺畅进出磁隙中，可以小幅旋转探测器单元及前后略微摆动导轨。

## 七、实验准备

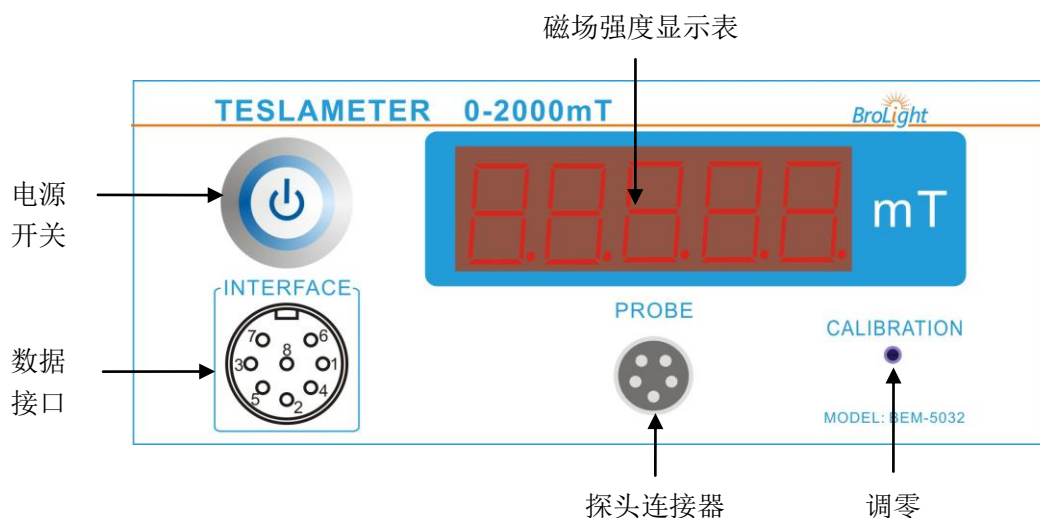
### 面板介绍

核磁共振实验仪 (NMR APPARATUS)



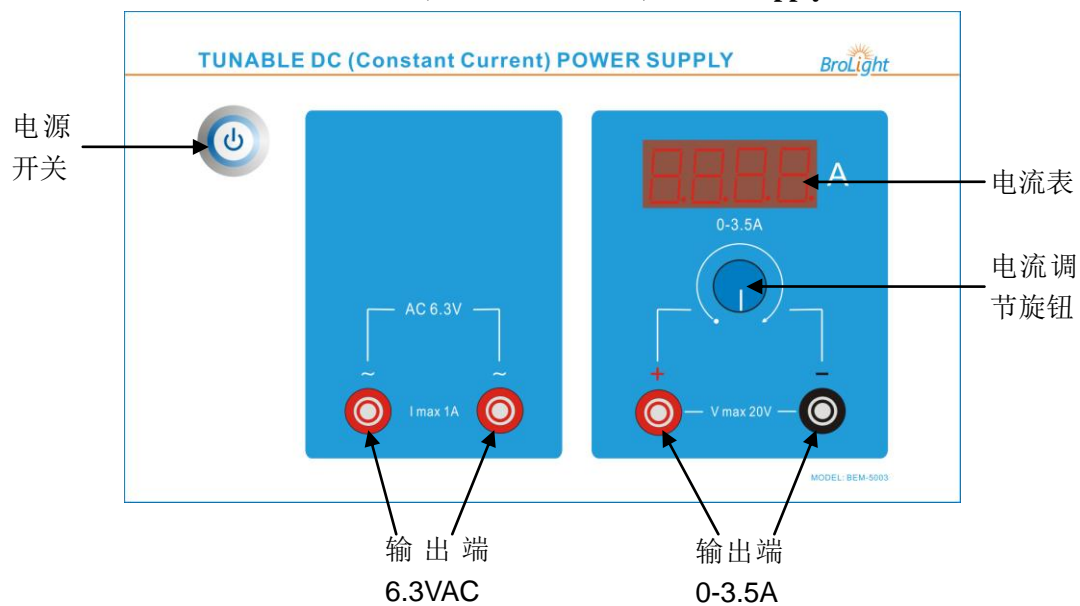
- 电源开关：控制设备电源的开和关。
- 频率表：显示核磁共振的频率。
- 频率信号输入：输入核磁共振的频率信号。
- 振荡器电源输出：输出振荡器的工作电源。
- 扫场输出：输出扫场线圈的电源。
- 扫场信号输出：输出扫场电源的波形信号。
- 扫场幅度调节：调节通过扫场线圈的电源幅度大小。
- 扫场信号相位调节：设置扫场信号输出的相位差。

### 特斯拉计， 0-2000mT



- 电源开关：控制设备电源的开和关。
- 探头连接器：连接特斯拉计的探头。
- 调零：调节显示表为零。
- 磁场强度显示表：显示特斯拉计测量到的磁场强度数值。
- 数据接口：连接到数据采集器，0-2000.0mT VS 0-2.0V。

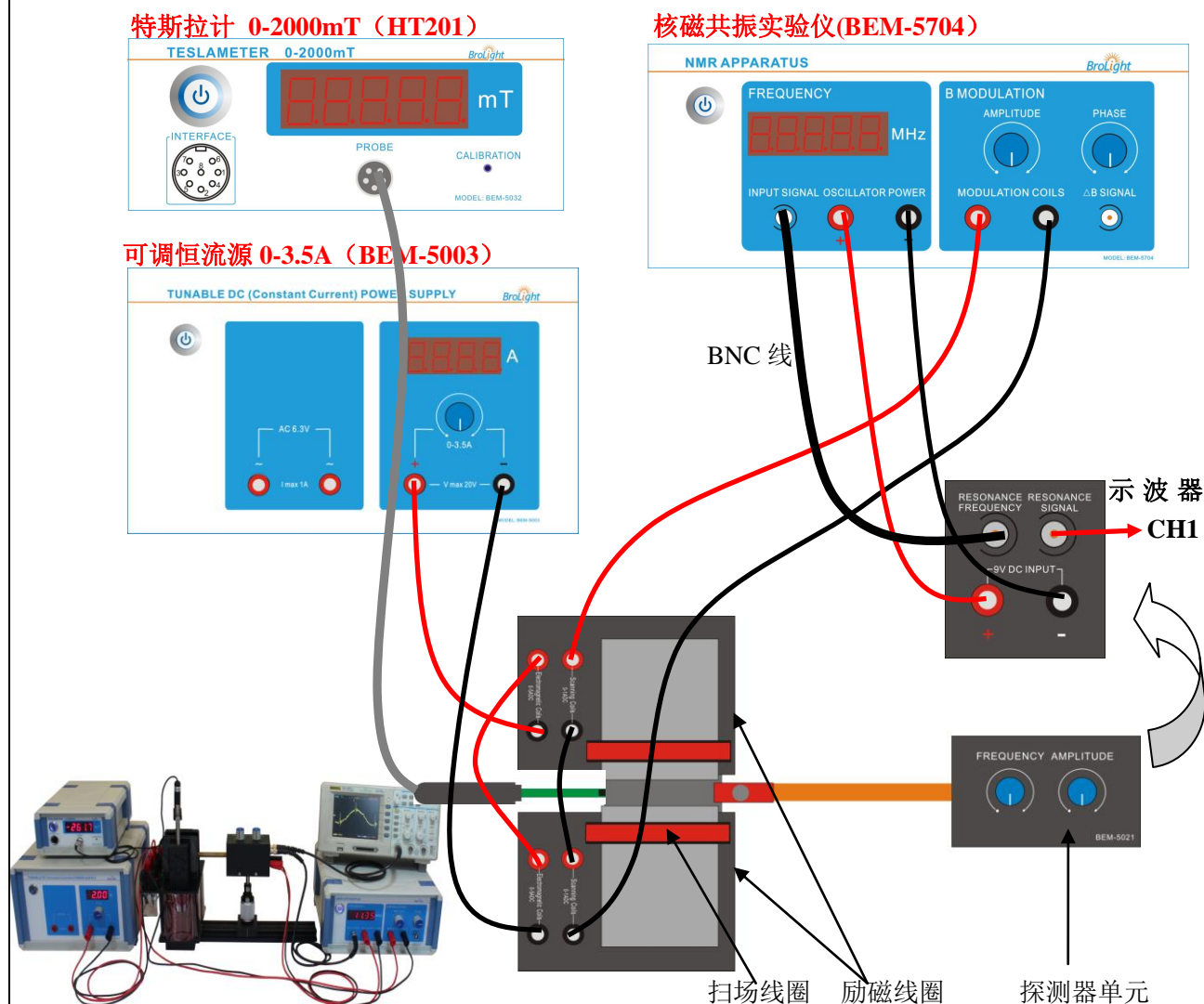


**可调恒流电源 0-3.5A (Tunable DC (Constant Current) Power Supply)**

- 电源开关：开启或者关闭设备电源.
- 电流调节旋钮：调节输出电流大小.
- 输出端：输出工作电源.
- 电流表：显示输出端口的电流值.

**导线的连接**

### 核磁共振实验接线图：



- 把2个励磁线圈串联连接到可调恒流电源0-3.5A的正负输出端（因为2个线圈磁场方向相反，所以励磁线圈串联接线方式为：黑-红-红-黑），如上图。
- 把2个扫场线圈串联连接到核磁共振实验仪的磁场扫场输出端“**MODULATION COILS**”（第一个线圈的黑线连接第二个线圈的红线（如图），第一个线圈的红线和第二个线圈的黑线连接到NMR实验仪的扫场输出端“**MODULATION COILS**”），如上图。
- 把探测器单元的电源正输入端“**9VDC INPUT**”“+”（红）连接到核磁共振实验仪的振荡器电源“**OSCILLATOR POWER**”正输出端“+”（红），负输入端“**9VDC INPUT**”“-”（黑）连接到核磁共振实验仪的振荡器电源“**OSCILLATOR POWER**”负输出端“-”（黑）。
- 用BNC导线连接探测器单元的频率端“**RESONANCE FREQUENCY**”和核磁共振实验仪的频率输入端“**INPUT SIGNAL**”。
- 用BNC线连接探测器单元共振信号端“**RESONANCE SIGNAL**”和示波器通道1（CH1）。
- 把特斯拉计探头连接到BEM-5032仪表的“**PROBE**”上。
- 连接各个设备的电源线，用电源线连接设备后面的“**AC POWER CORD, AC 110-120V~/220-240V~, 50/60Hz**”插口和市电插座。(注意: 110-120V~ OR 220-240V~)

**注意：核磁共振励磁线圈磁场较强，请避免手表、手机等物品靠近，以免损坏。**

## 八、实验内容

用特斯拉计测量磁感应强度 $B$ 、观察液态和固态样品的核磁共振现象并且记录共振频率和电流

1. 按要求连接导线。

2. 用特斯拉计测量磁感应强度 $B$ ：旋开特斯拉计探头的保护套，探头固定在电磁铁顶部的支架上，把探头置于磁场中，调节探头与磁场方向垂直。打开所有设备电源开关，调节恒流电源 BEM-5003 0-3.5A 电流输出为 1.6A 到 3.4A，按照每增加 0.2A 测一组磁感应强度，填入附表1中，与仪器提供的数据作比较。

3. 测水样品和即四氟乙烯：设置示波器为 CH1 通道，。

4. 小心地将水样品放入探测线圈中，并轻轻地推动导轨上的拖板，使探测线圈和样品大致置于磁场的中心。

注意：由于玻璃元件，放置样品需小心。

5. 打开所有设备电源开关。

6. 调节恒流电源 BEM-5003 0-3.5A 电流输出为 0。

7. 调节核磁共振实验仪的扫场幅度调节旋钮到较大幅度（一般为总输出的 1/4-1/2，即转小半圈左右）。

8. 调节探测器单元的幅度调节旋钮“AMPLITUDE”到最右边（即顺时针旋到底）。

9. 调节探测器单元的频率调节旋钮到较小的幅度（即逆时针旋到底后，顺时针旋 2 圈左右）。

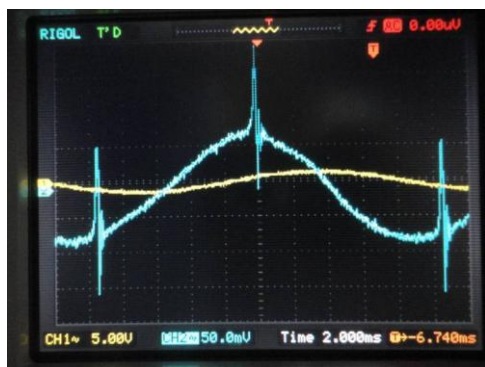
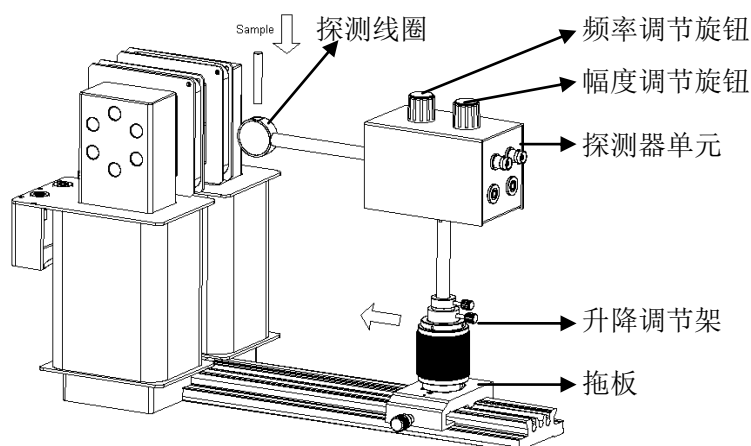
10. 慢慢地调节 0-3.5A 恒流电源的旋钮，增加电磁铁线圈的电流，加大磁场强度，直到在示波器上看到 NMR 信号，若信号太大或太小，可以调节示波器电压增益旋钮。

11. 慢慢的调节扫场电源幅度调节旋钮，使共振信号最大（若信号移位或者消失，可以微调励磁电流旋钮便可使其出现）。

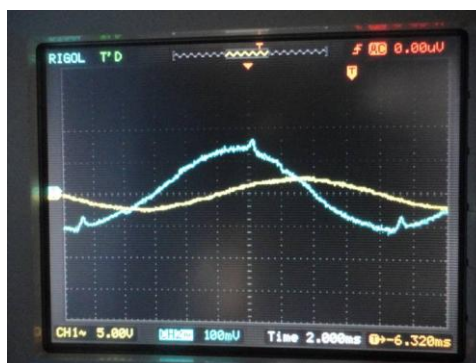
12. 慢慢的移动拖板和升降调节架，即改变样品在磁场中的位置，找到共振信号最大最强的位置即可（若信号移位或者消失，可以微调励磁电流旋钮便可使其出现）。

13. 调节频率旋钮或者改变励磁电流大小，使共振信号均匀分布（几个信号在示波器 x 轴上等间距）在示波器的显示屏上。

14. 换上聚四氯乙烯样品，重复上述步骤 4-12。



水样品， $\nu=12.05\text{MHz}$ ,  $I=2.30\text{A}$ ,  $B=279\text{mT}$



聚四氯乙烯， $\nu=12.07\text{MHz}$ ,  $I=2.80\text{A}$ ,  $B=299\text{mT}$

测量水样品和聚四氟乙烯样品

- 1. 将水样品放入探测线圈中，重复前面步骤，找到最佳共振信号。
- 2. 调节频率旋钮或者改变励磁电流大小，使示波器上每个共振信号的时间间隔一样（几个信号在示波器x轴上等间距）。
- 3. 读出核磁共振实验仪表上频率计的显示频率 $\nu$ ，把他们记录在表2中。
- 4. 增加频率 $\nu$ ，调节励磁电流大小，使示波器上又一次出现时间间隔一样的共振信号。在表2中记录下电流和共振频率 $\nu$ 。
- 5. 重复上述步骤，测量多组数据记录于表2中。
- 6. 更换聚四氟乙烯样品，重复上述步骤，测量多组数据记录在表3中。

表1 电流与磁感应强度B

恒流电源电流（A）	特斯拉计测得值（mT）
1.6	
1.8	
2.0	
2.2	
2.4	
2.6	
2.8	
3.0	
3.2	
3.4	

表2：水样品

	$\nu(\text{MHz})$	共振时电流（A）
1		
2		
3		
4		
5		
6		

表3：聚四氟乙烯样品

	$\nu(\text{MHz})$	共振时电流（A）
1		
2		
3		
4		
5		
6		

九、分析和计算

- 1. 根据公式： $g = h\nu / \mu_n B_0$ ；其中： $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{J s}$ ； $\mu_n = 5.051 \times 10^{-27} \text{J/T}$ ；计算 $g_H$ 公认值： $g_H = 5.5857$ ； $g_F = 5.2567$ 。 计算误差值。
- 2. 画出 $\nu$ -----B曲线

附录 A：主要技术参数

电 源 电 压：110-120V~/220-240V~  
电压波动范围:  $\pm 10\%$   
频 率: 50/60Hz  
保险丝 规 格: 250 V T2A  
显 示 方 式: 3-1/2 or 4-1/2 显示  
使用 环 境：室内  
温 度 范 围：工作: 0℃ to 40℃, 贮藏: -20℃ to 50℃  
工 作 海 拔：0 to 2000 meters  
相 对 湿 度：不凝固 < 10℃, 90% from 10℃ to 30℃; 75% from 30℃ to 40℃  
污 染 等 级：2  
认 证 标 志：CE  
安 规 标 准：IEC/EN 61010-1  
过压保护等级: II  
保 护 度: IP20  
正 常 能 耗：5J

	描述
核磁共振实验仪	输入频率范围: 1~20MHz; 4 位数显; 9VDC(纹波 < 1%), $I \leq 1A$ ; 磁场调制电源: 0~6.3VAC, $I \leq 1A$ ; 50Hz/60Hz, 相位 $\leq 180^\circ$ ;
可调直流（恒流）电源	0~3.5ADC, $V \leq 20V$ (纹波 < 1%); 3.5 位数显; 6.3VAC, $I \leq 1A$ , 50Hz/60Hz; 3.5 位数显。
核磁共振探测单元	输出频率范围: $\leq 20MHz$ ; 边限振荡器电源: 9.0VDC; 共振信号输出: $V_{p-p} \geq 50mV$
U 型磁场线圈	1000 匝 磁隙: 11.0~13.0mm $I \leq 5A$
扫描线圈	220 匝 $I \leq 1ADC$