

# 医学物理作业4

## 1 详细叙述核磁共振的物理机制

对于自旋的原子核，会产生磁矩

对于外加了磁场的自旋原子核，在外界磁场方向（z轴向）的自旋角动量满足

$$P_{Iz} = m_I \hbar, m_I = I, I-1, I-2, \dots, -I$$

式中 $I$ 是核自旋量子数， $m_I$ 为自旋磁量子数，共 $2I+1$ 个可能值

对于 $I \neq 0$ 的核，其在外加磁场中会产生核磁矩，对于z向的分量，有

$$\mu_{Iz} = g_N \frac{e}{2m_p} P_{Iz} = g_N \frac{e}{2m_p} m_I \hbar = m_I g_N \mu_N$$

其中 $\mu_N \triangleq \frac{e\hbar}{2m_p}$ ，是核磁子

由于塞曼效应，核磁矩在磁场中的能量是量子化的，有

$$\begin{aligned} E_n &= -\vec{\mu} \cdot \vec{B}_0 = m_{I_n} g_N \mu_N B_0 \\ \Rightarrow \Delta E &= \Delta m_I g_N \mu_N B_0 \cos \phi = g_N \mu_N B_0 \end{aligned}$$

在外磁场中，核会产生进动，有

$$\omega_N = \gamma B_0$$

式中 $\gamma$ 对于同一种核是常数 在MR的过程中，会使用到RF脉冲，向各个核发射光子，当光子的能量 $h\nu$ 满足

$$h\nu = \Delta E = g_N \mu_N B_0$$

时，原子核会吸收光子而跃迁，化简上式可得

$$\nu = \frac{\gamma}{2\pi} B_0 \Leftrightarrow \omega = \gamma B_0$$

即可得到使原子核跃迁所需的RF脉冲的能量，这就是共振

当不加RF脉冲时，大部分核处于低能级，宏观磁矩与外磁场同向；当加上特定频率光子的RF脉冲时，大量核吸收光子，跃迁到高能级，磁矩与外磁场反向，使得宏观磁矩与外磁场产生夹角

一段时间后除去RF脉冲，原子核在磁场作用下回到低能级，放出能量。水平方向的磁矩相互作用，宏观上抵消，宏观水平磁矩趋于0，称横向弛豫；纵向在磁场的作用下宏观磁矩恢复到未加RF脉冲前，称纵向弛豫。利用横向弛豫和纵向弛豫过程中产生的电场信号，可以得到核的密度、周围组织等信息。

## 2 详细说明如何实现三维磁共振成像

### 选择层面

外加Z方向主均匀磁场 $B_0$ ，再叠加同方向的线性梯度场 $G_z \propto z$ ，得到

$$B = B_0 + zG_z$$

要使氢核跃迁，RF的频率也要随 $z$ 改变，有

$$\nu = \frac{\gamma}{2\pi} (B_0 + zG_z) \Leftrightarrow \omega = \gamma (B_0 + zG_z)$$

不同的共振频率表示自旋核所在层面， $G_z$ 称为**选片梯度场**，由此完成z轴定位

### 选择位置

在x轴向叠加 $G_x$ 编码相位，在y轴向叠加 $G_y$ 编码频率，确定坐标

具体而言，在RF的照射下，向x轴向加一个很小的线性梯度场，使得核进动角速度

$\omega_N = \gamma(B_0 + xG_x)$ 随x轴变大；一段时间后停止RF照射，撤去 $G_x$ ，同层面的所有核进动角速度又变得一致，但是产生了稳定的相位差，分出了x坐标

在停止脉冲的前提下，加上较大的线性梯度场 $G_y$ ，改变进动的频率，进行频率编码，接收信号时分出了y坐标

最终依靠三个坐标分辨出了体素的位置