

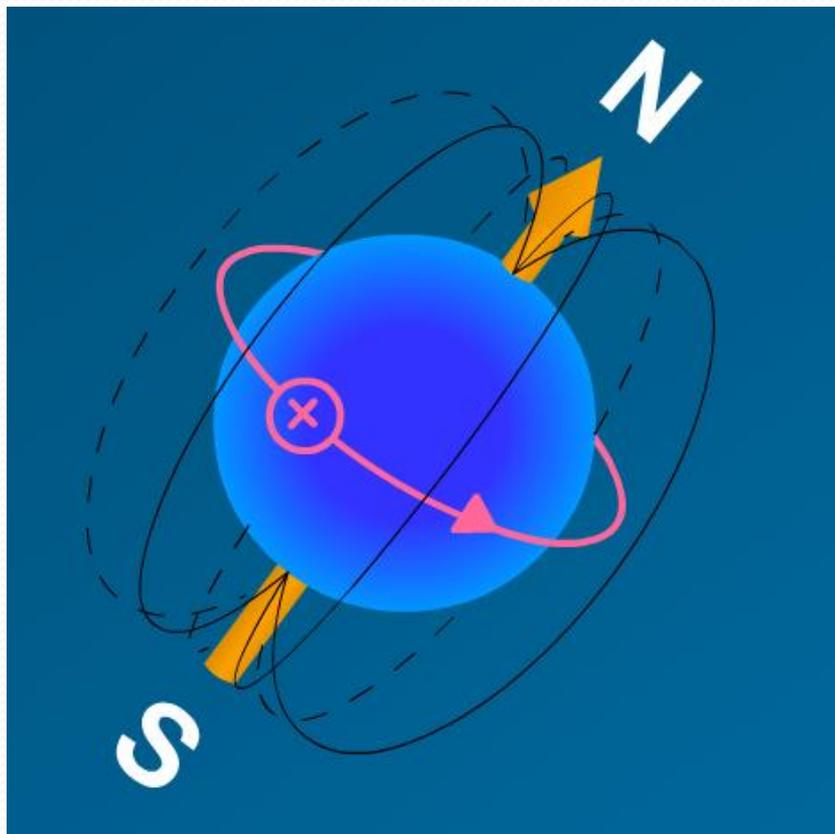
核磁共振成像 (MRI)

大綱

- 核磁共振原理
- 硬體設備
- 如何操作

核磁共振原理

粒子的自旋

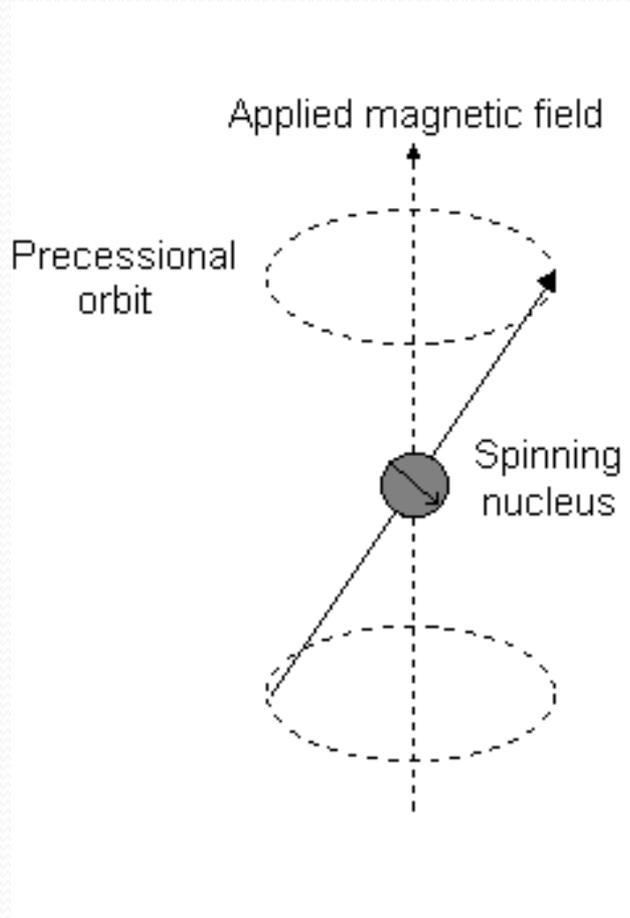


- 粒子內在具有的角動量
- 其量值為量子化的
- 產生磁偶極矩
- 公式:

$$S = \frac{h}{2\pi} \sqrt{s(s+1)}$$

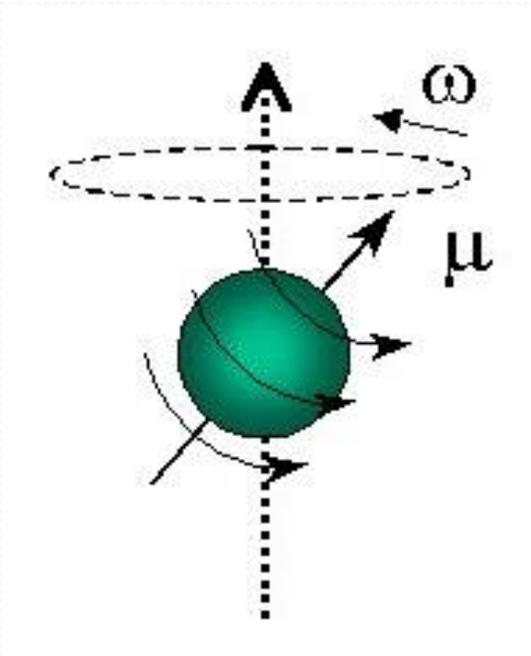
$$\vec{\mu} = \gamma \vec{S}$$

外部磁場下，粒子的旋進

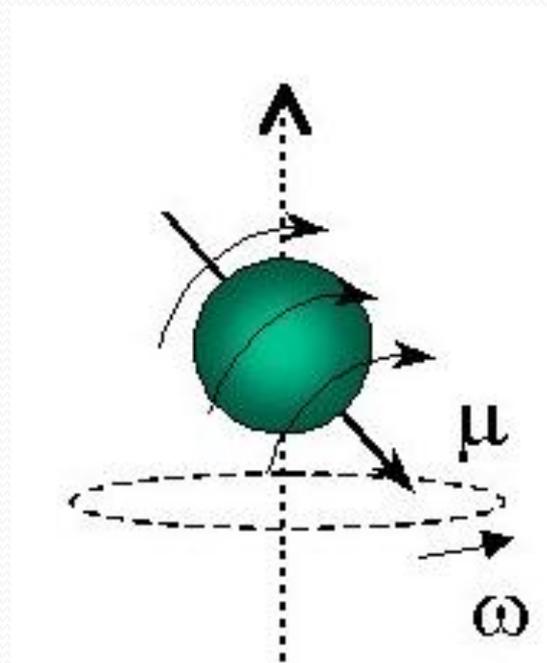


- 在外部磁場的作用下，磁偶極矩將以外部磁場為軸而旋進。
- 旋進的頻率與外部磁場成正比
 - $\omega = \gamma B$
- 磁矩與外部磁場的夾角因磁量子數而異，形成一系列的能階。

氫原子核的兩種能量態

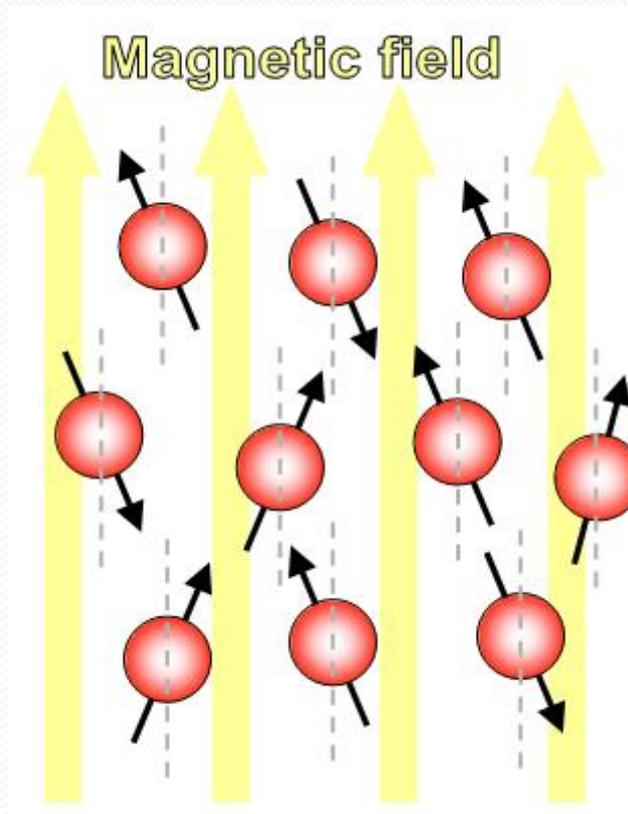
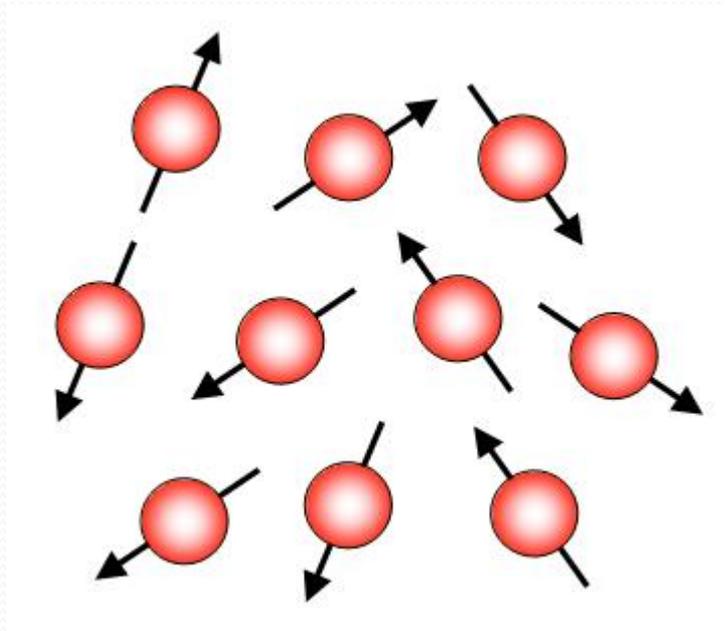


磁量子數=1/2
能量較低

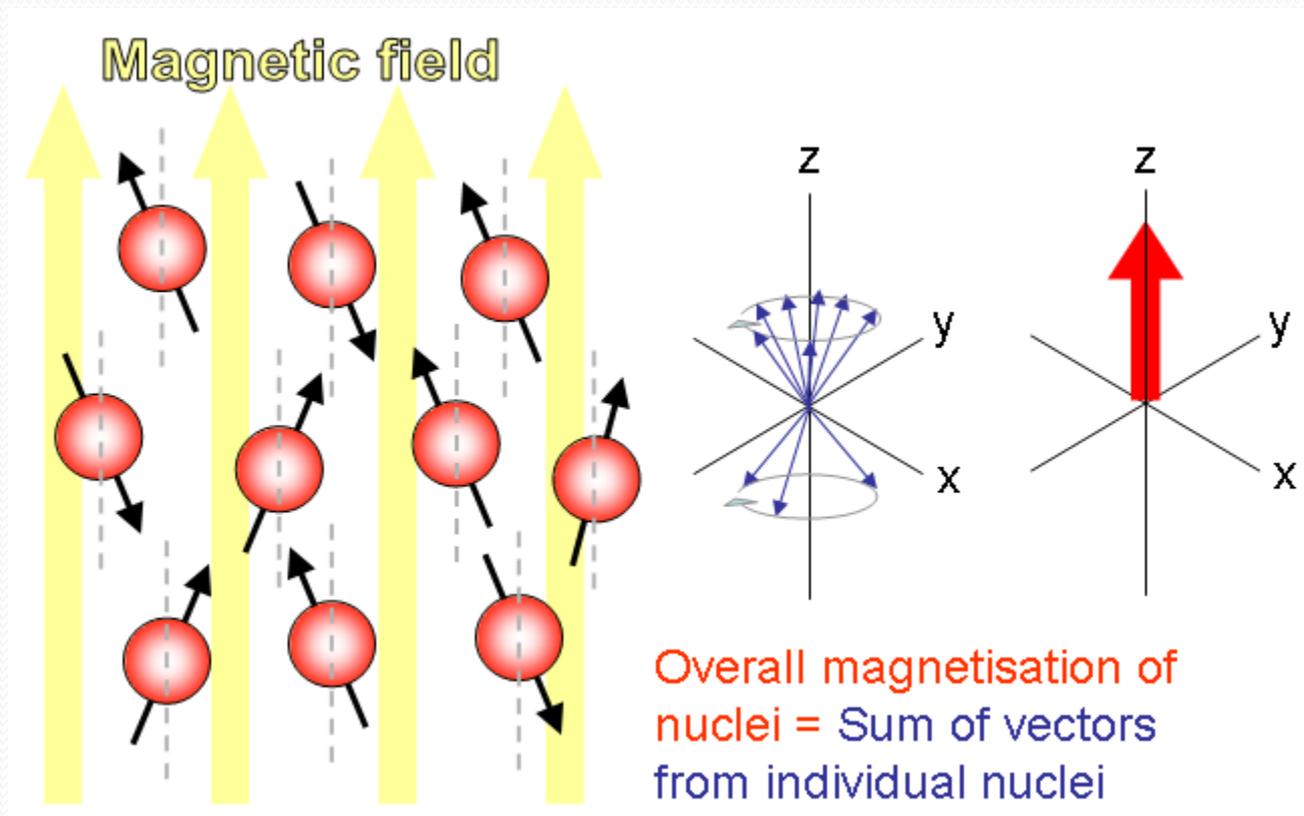


磁量子數=-1/2
能量較高

能量態在巨觀上的分布



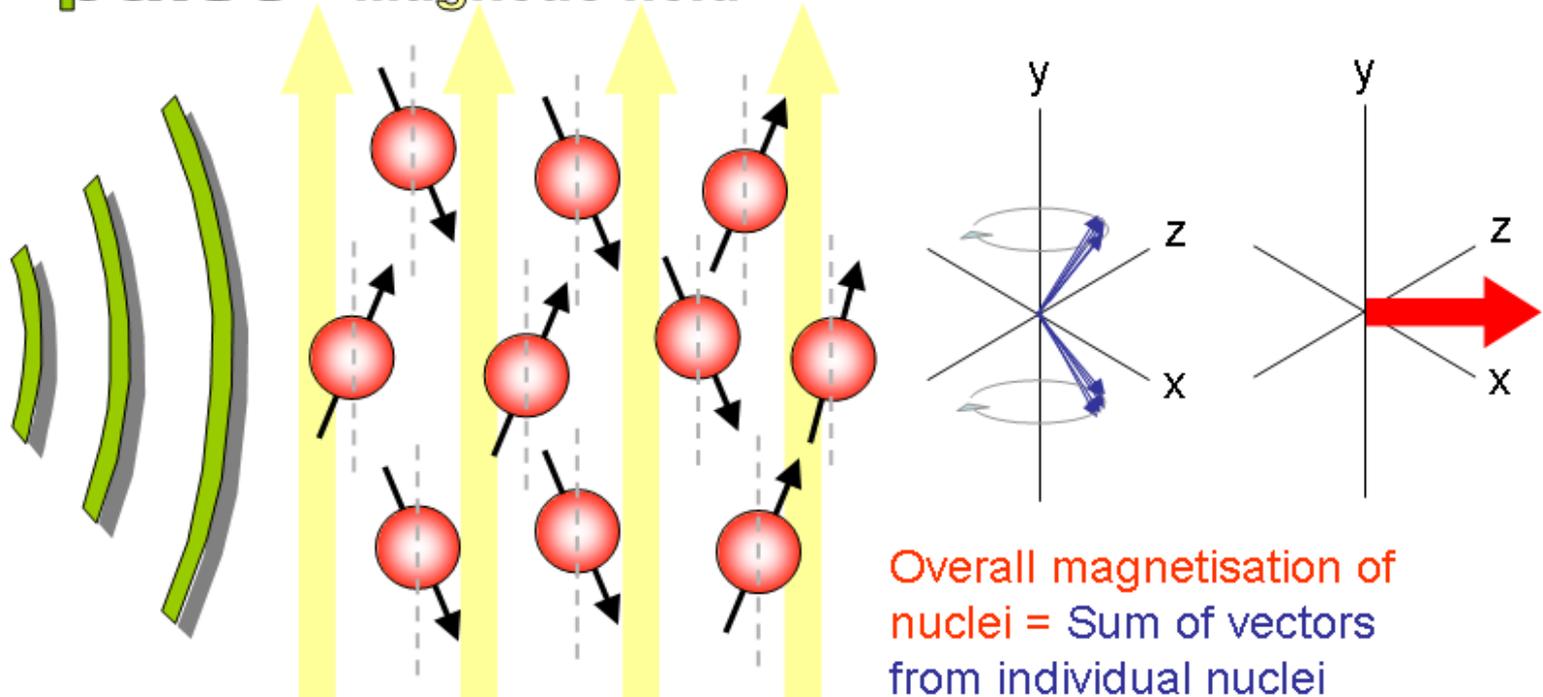
熱平衡狀態下



RF脈衝激發

- 發射脈衝訊號，將粒子激發至高能量態。
- 脈衝的頻率 = 粒子旋進頻率

RF pulse **Magnetic field**

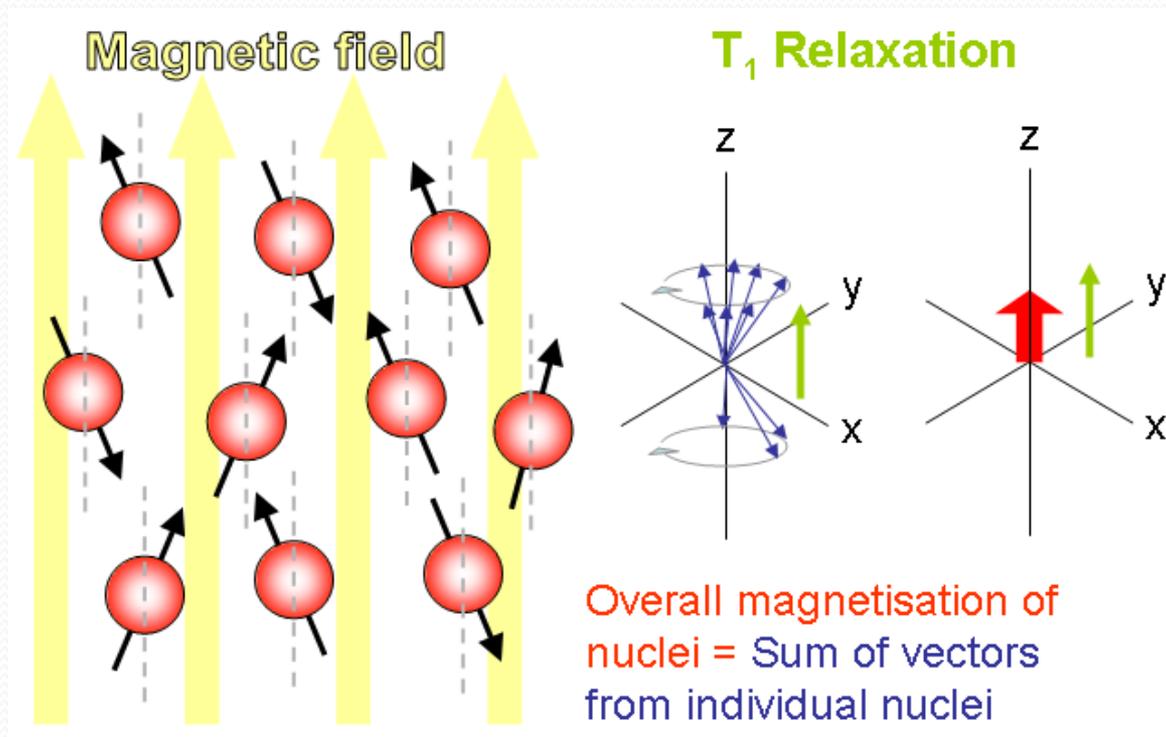


Relaxation

- 磁化強度回復至熱平衡的過程
- 分成T₁ Relaxation 和T₂ Relaxation
- 釋放電磁波
 - ↑ 這就是我們要觀察的東西

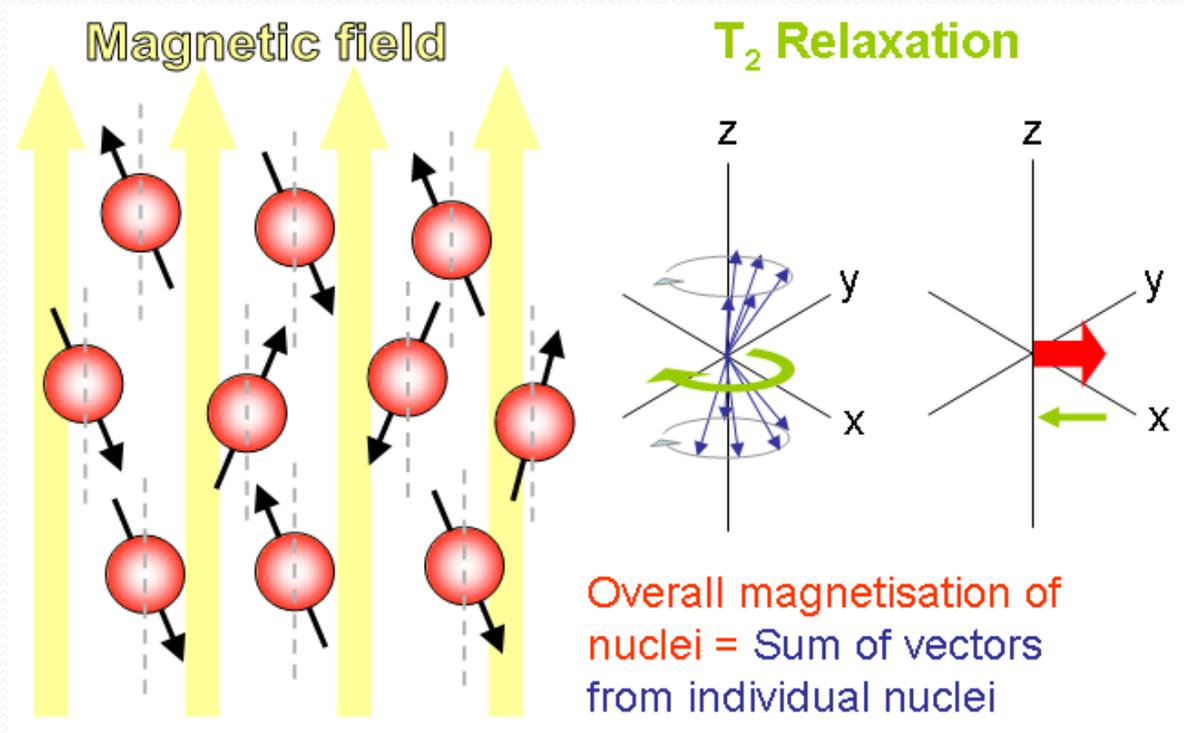
T1 Relaxation

- 平行主磁場
- 回復至熱平衡值
- Exponential
- 時間常數以 T_1 表示



T2 Relaxation

- 垂直主磁場
- 衰減至 0
- Exponential
- 時間常數以 T_2 表示。



T1, T2 代表什麼意義？

- 物質的特性
- 藉由量測T₁, T₂，可以區分不同的物質
 - Ex. 水跟脂肪，骨骼跟肌肉，...，太多了

Why 氫原子核？

- 人體內含量多
 - 水、脂肪...
- 僅兩種能量態

Let's 復習一下

- What is 核磁共振？
 - 條件 1：穩定強磁場
 - 條件 2：射頻脈衝擾動
 - 結果：粒子旋進的能階變化

- 在聽完了艱深的量子物理之後，
來點“看得到”的東西吧！

MRI硬體介紹

MRI 硬體介紹



MRI 硬體介紹

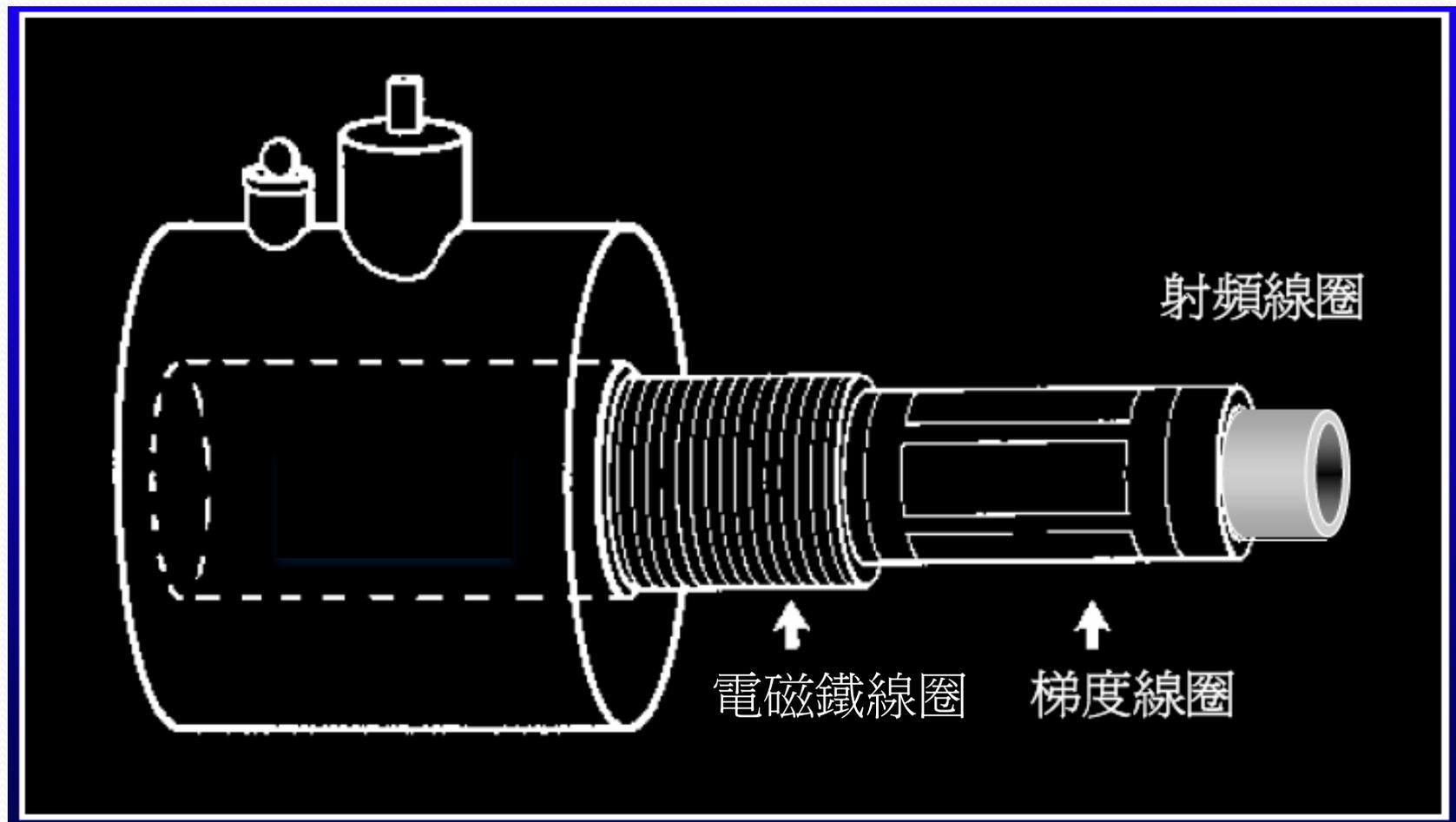
裡面有什麼？



那個甜甜圈的成份:

- 強大電磁鐵-----製造主磁場
- 梯度線圈-----製造梯度磁場，空間編碼
- RF線圈-----製造打擾原子核的電磁波
- 接收線圈-----接收原子核放出來的電磁波

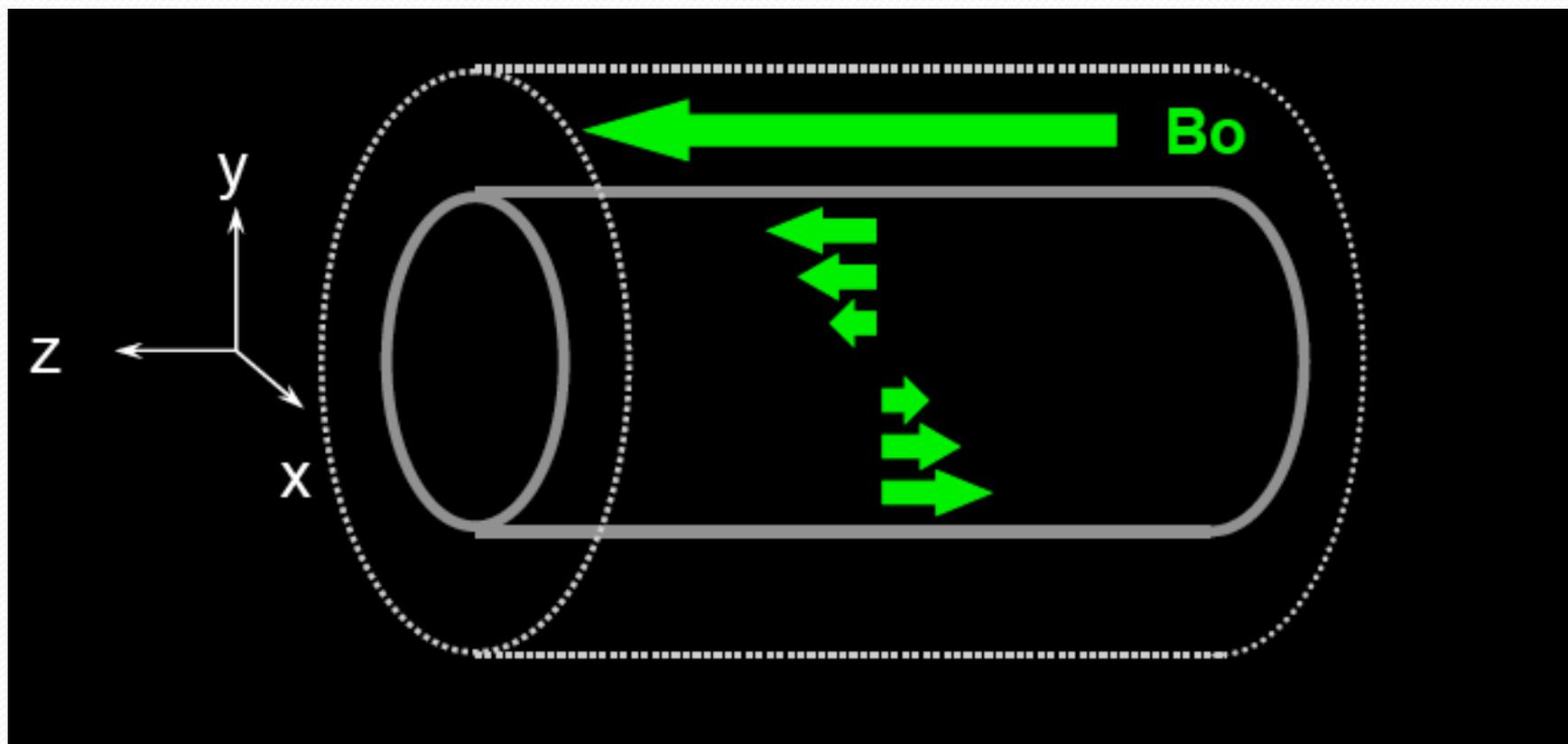
MRI 的 MRI...



主磁場的製造

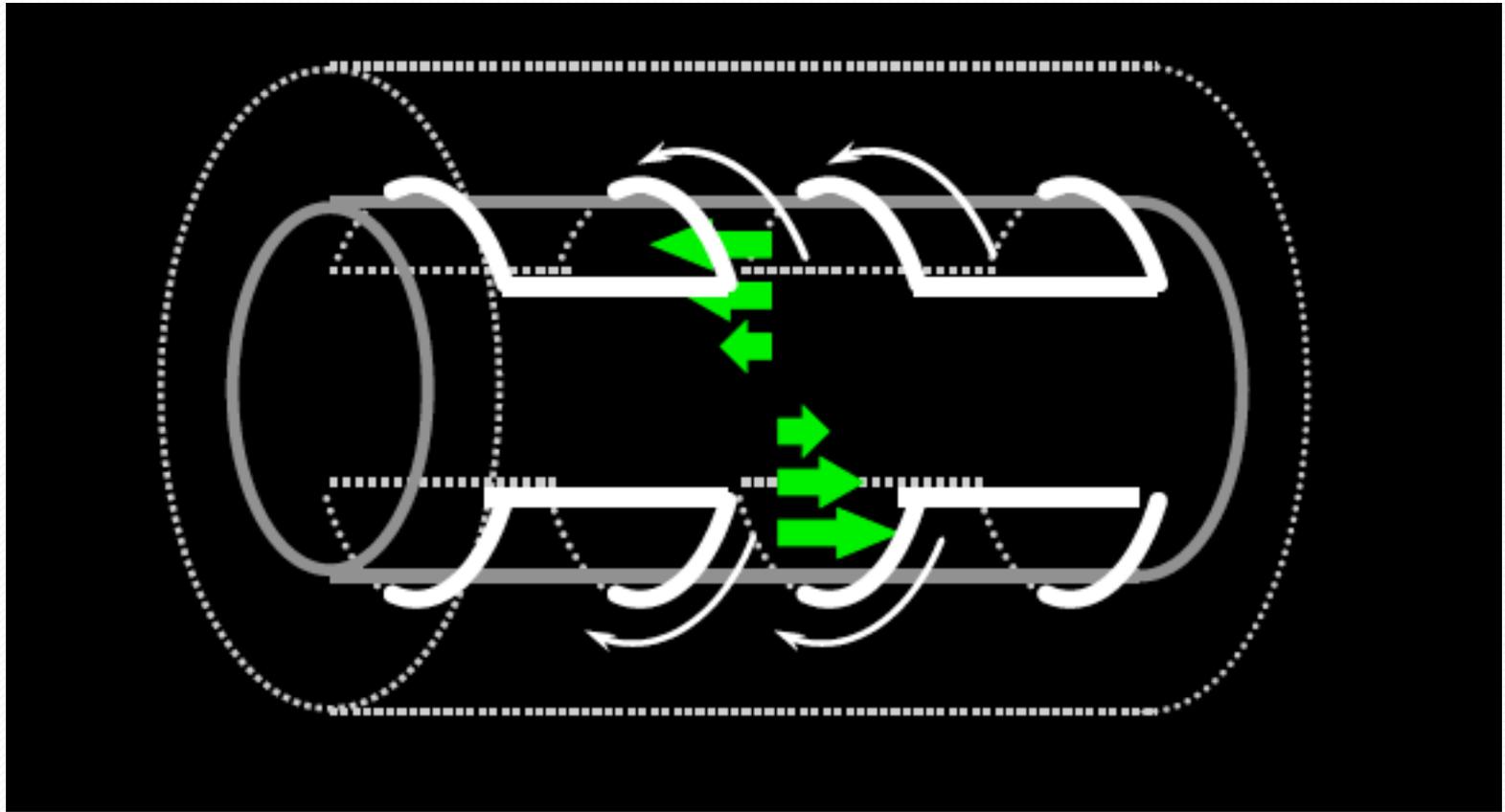
- 超導體電磁鐵
- 3 Tesla, 8 Tesla, and higher
- 液態氮 + 液態氦 + 真空絕熱
 - 電機二館每天早上運來的一卡車液態氮

Y 梯度磁場



磁場方向仍是 Z 方向，磁場大小沿 Y 軸變化

製造 Y 梯度的線圈



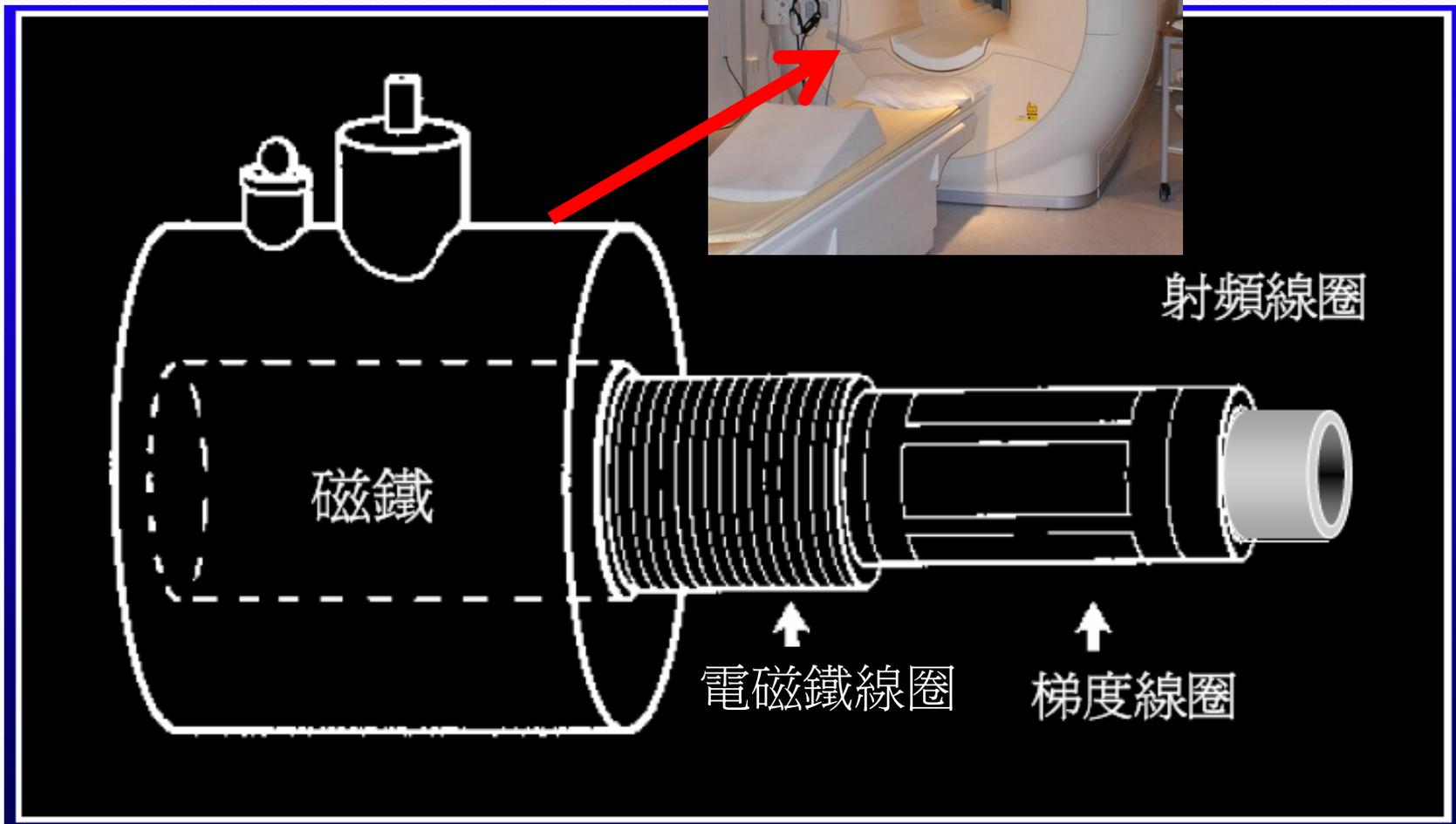
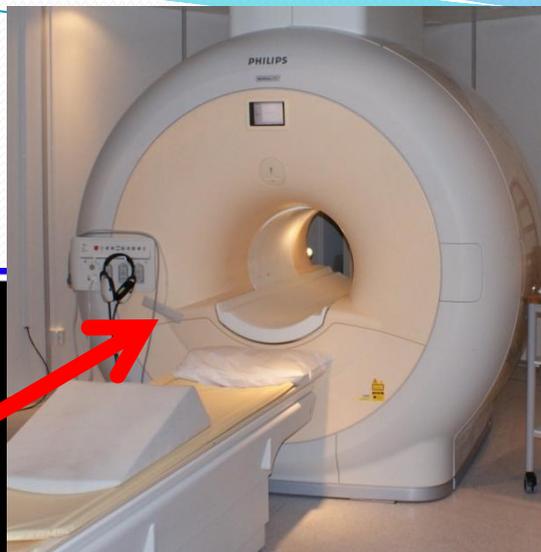
那 x 梯度線圈您應該會了...



RF線圈、接收線圈

- 就是電波組的看家本領----antenna
- 避免電磁波的磁場方向與主磁場方向相同
- 有很多種類
 - 體線圈、膝部線圈、頭部線圈、表面線圈、陣列線圈...

Overview



- 硬體介紹完了，您可能會有的疑問：
- 要怎樣操作呢？
- 梯度線圈是幹什麼用的？

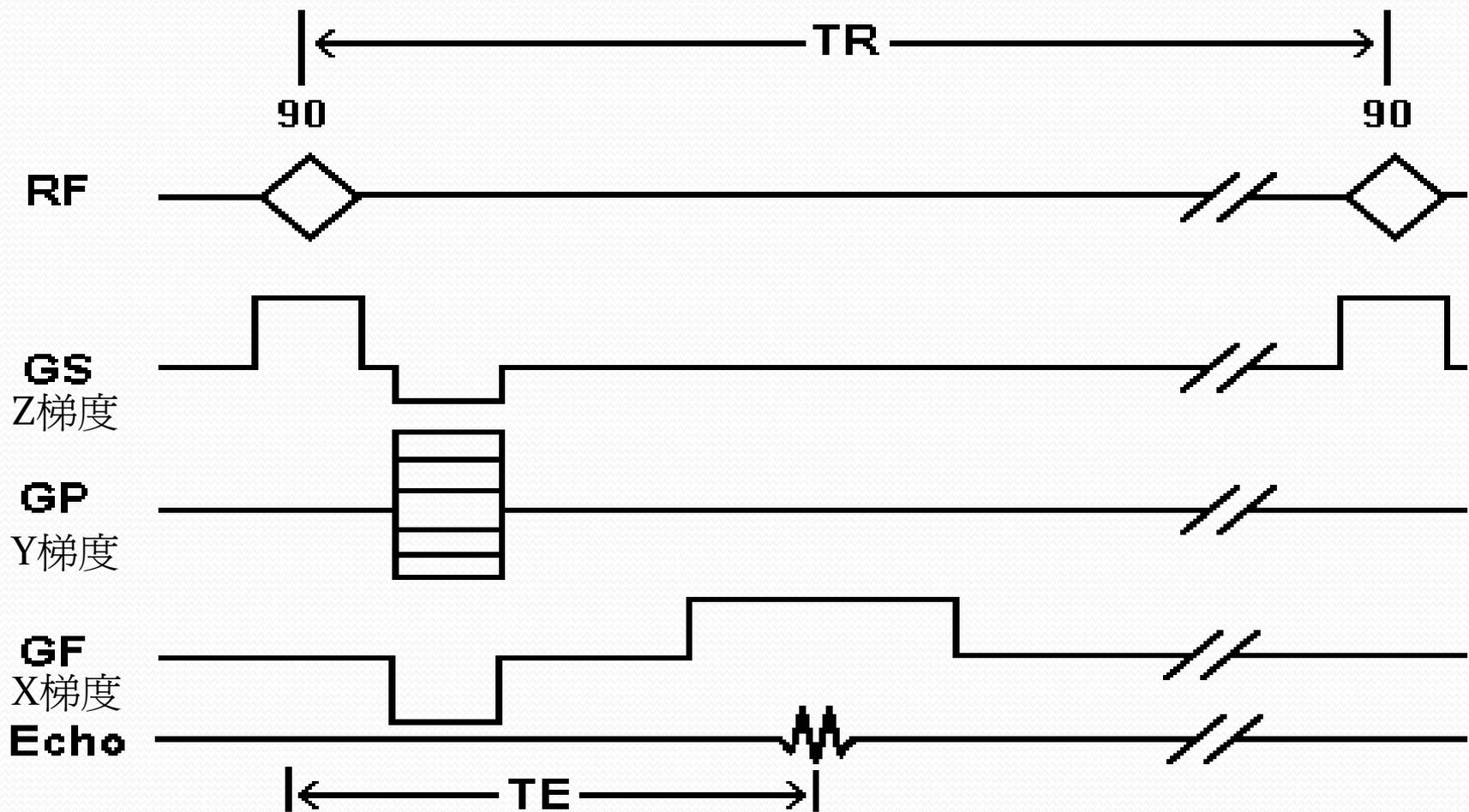
MRI脈衝序列

MRI的主要功能

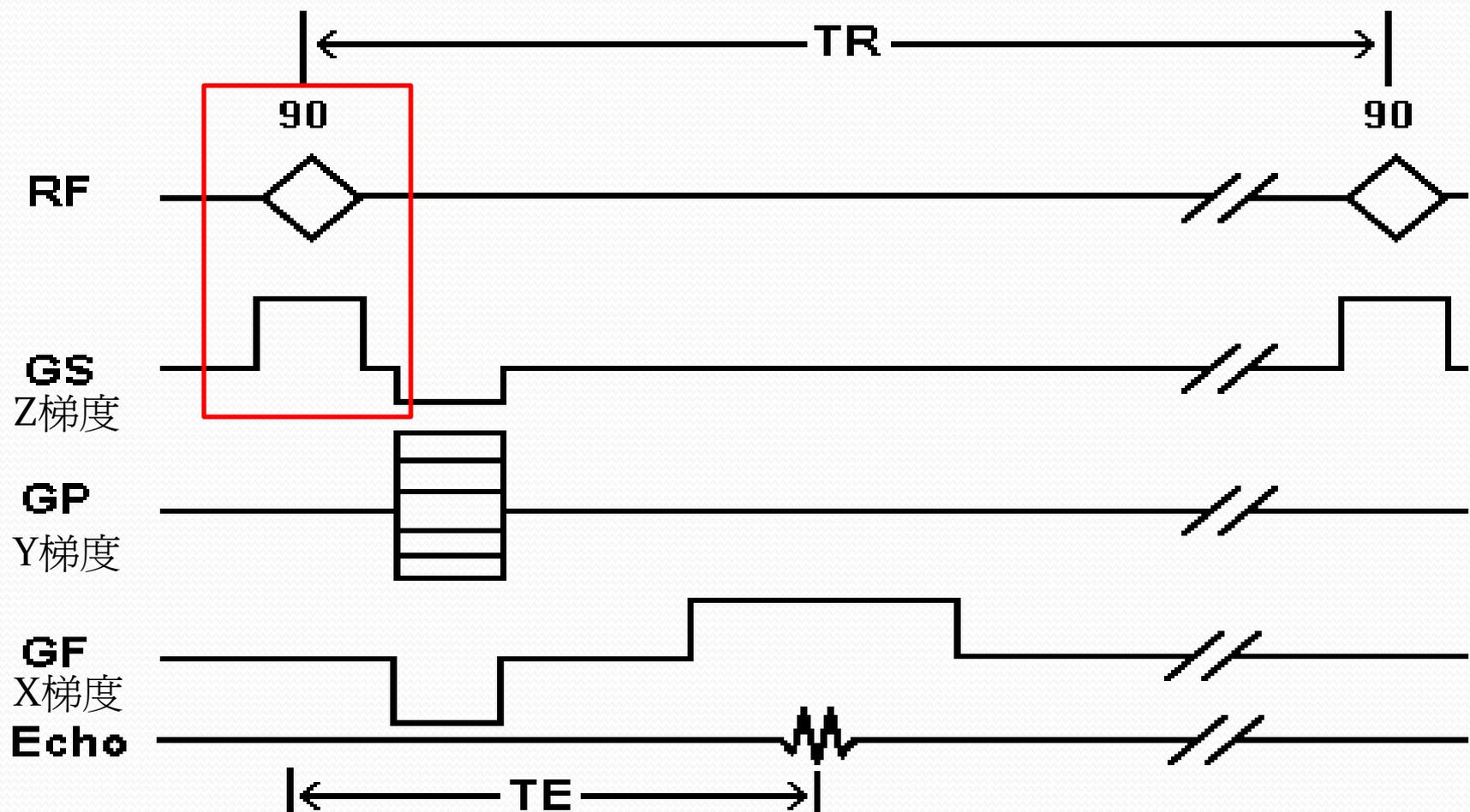
- 分辨物質----Who are you?
- 判斷位置----Where are you?

- Who are you?
 - Ans: 由 T_1 , T_2 的值來區分。
- Where are you???

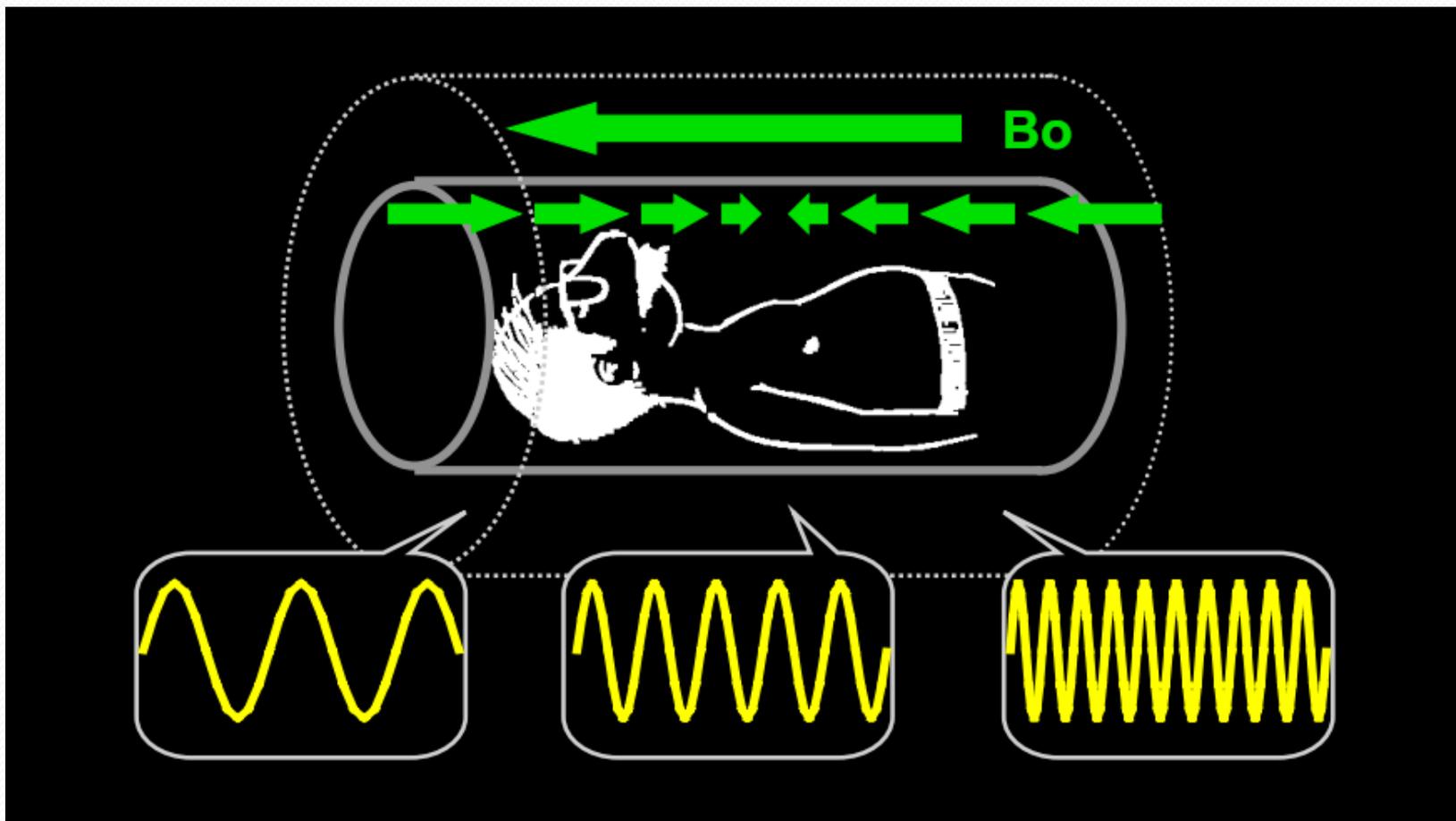
MRI脈衝序列



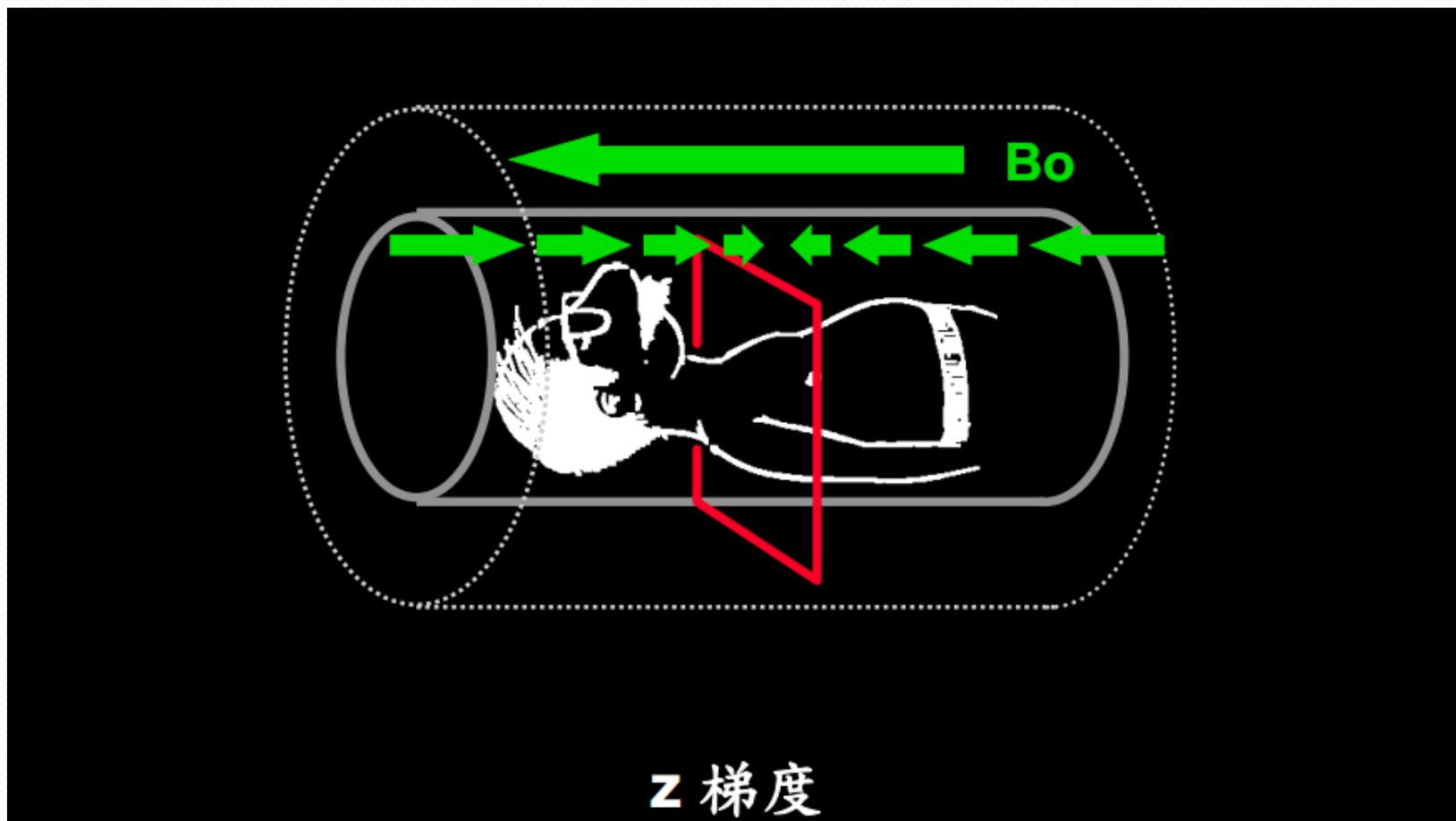
切面選擇



切面選擇

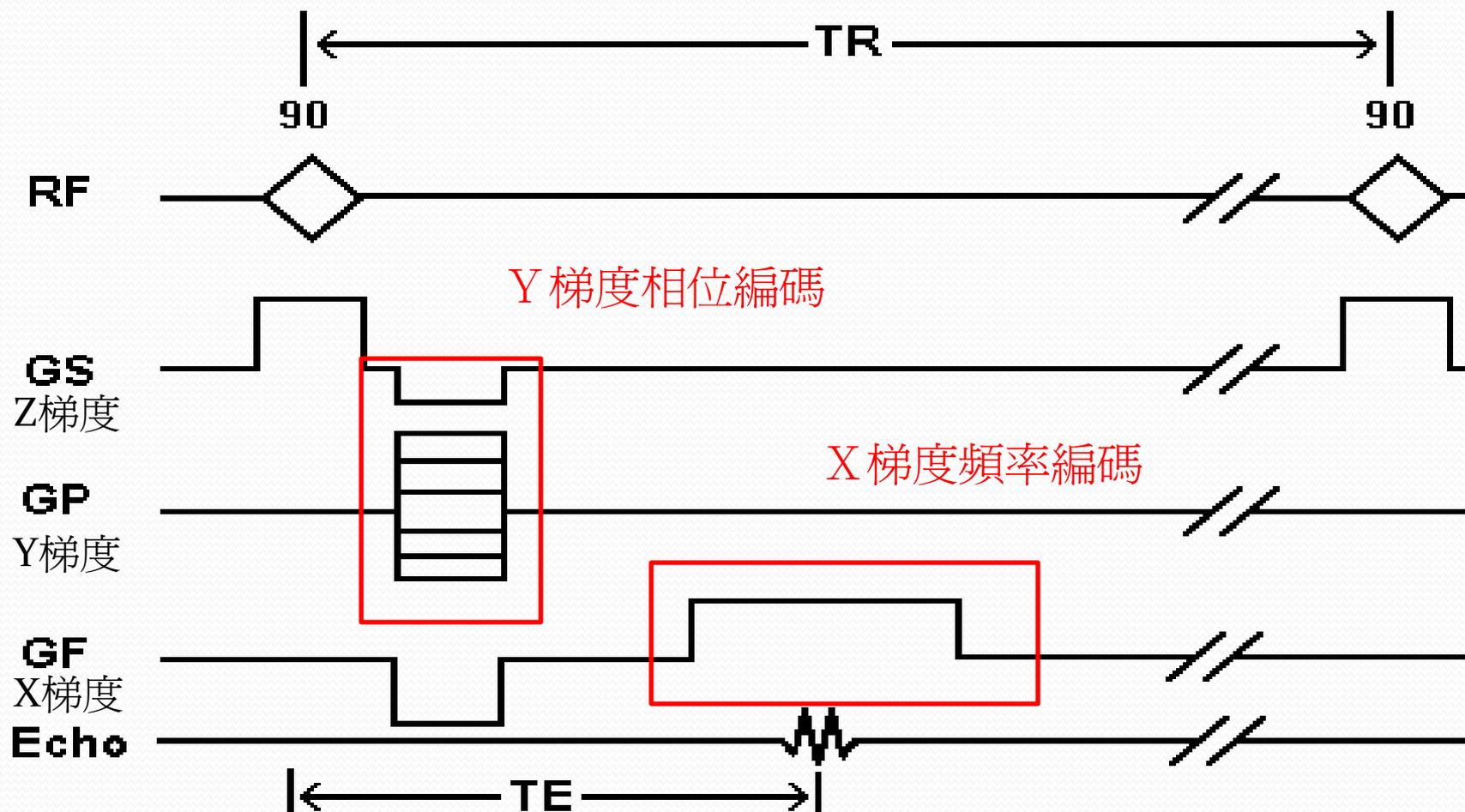


切面選擇

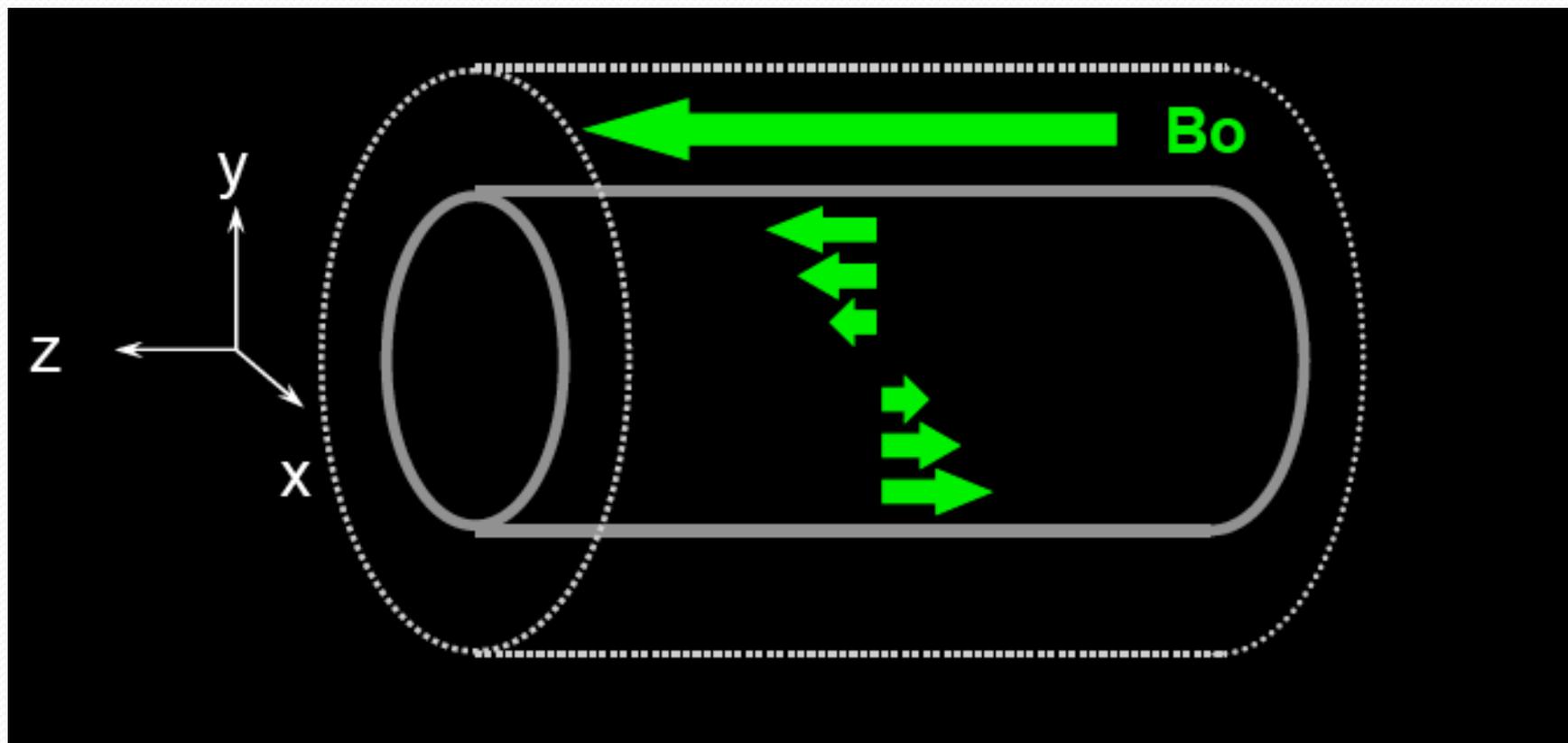


- 透過切面選擇，鎖定了 Z 座標
- 還有兩個座標需要定位
- 千萬不要認為再做兩次切面選擇就可以了

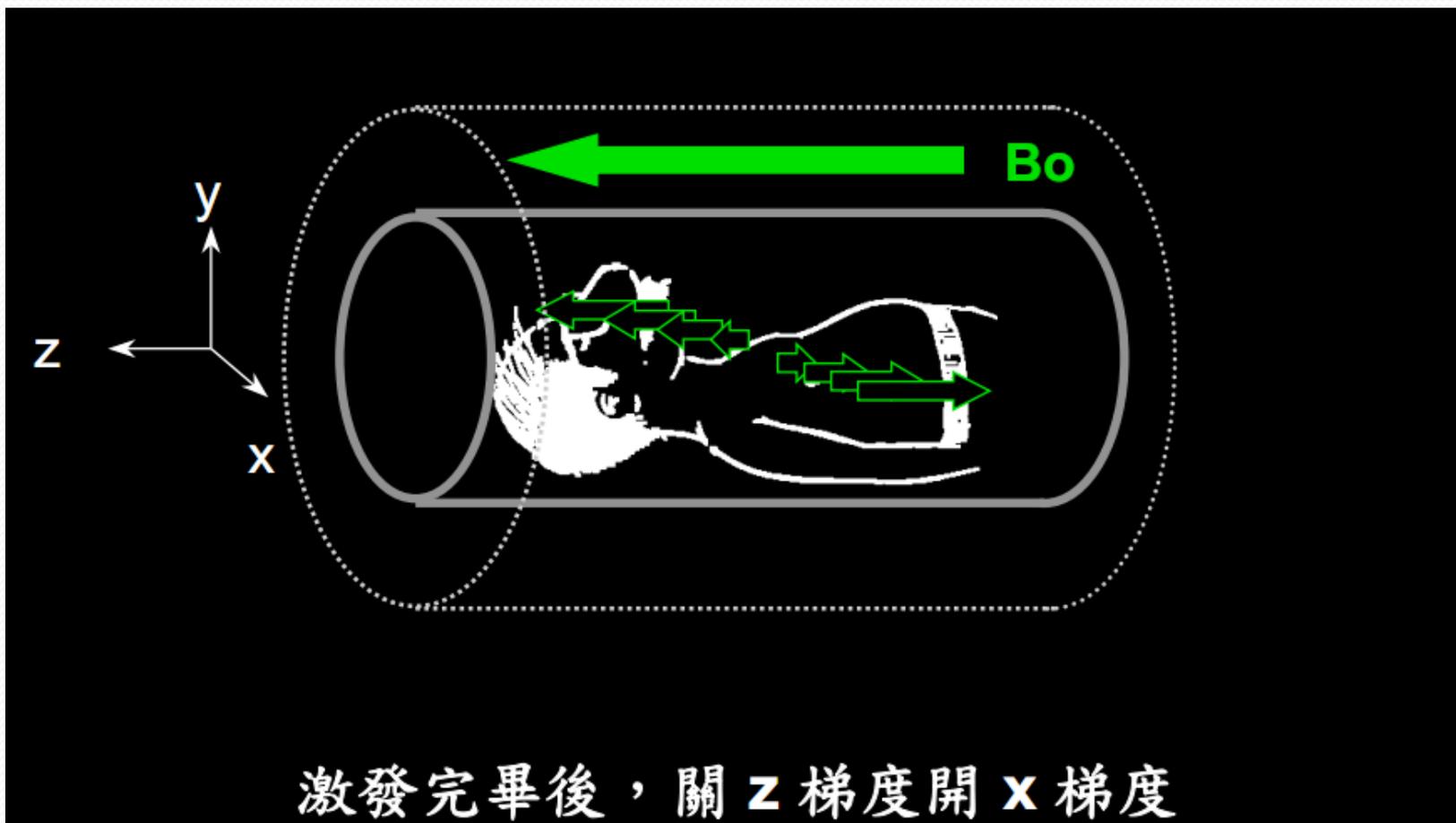
相位編碼、頻率編碼 (Y X 梯度)



Y 梯度 (相位編碼)



X 梯度 (頻率編碼)



什麼叫 X X 編碼

- 把位置的資訊，表現到 X X 裡面
- 相位編碼：把位置儲存到相位裡面（用相位來表現）
- 頻率編碼：把位置儲存到頻率裡面（用頻率來表現）

- $V(t) = \cos(\omega t + \phi)$

頻率

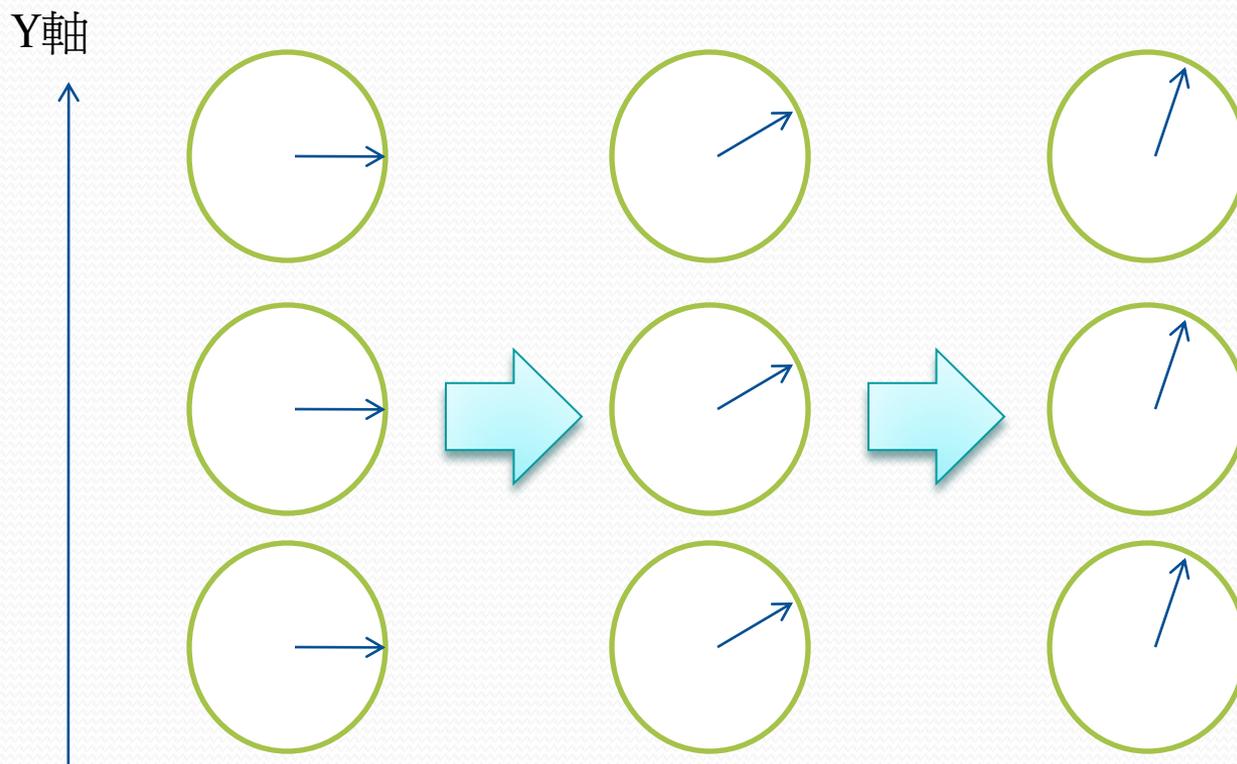
相位

相位編碼

- 相位是指“原子核旋進的相位”
- Recall 原子核小磁鐵在磁場中會旋進
- 旋進速度正比於磁場大小： $\omega = \gamma B$

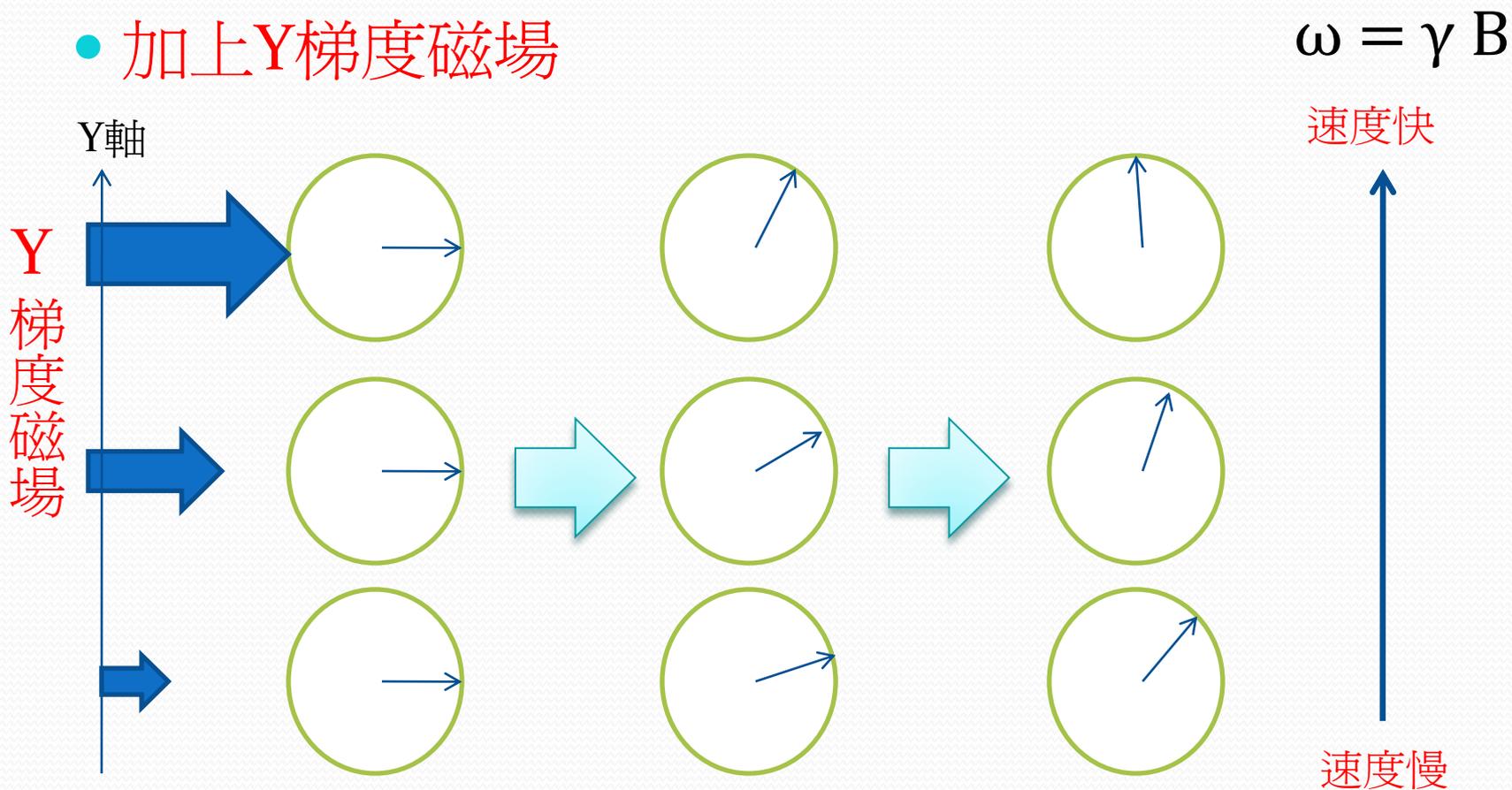
沒有相位差的旋進

- 等速旋進



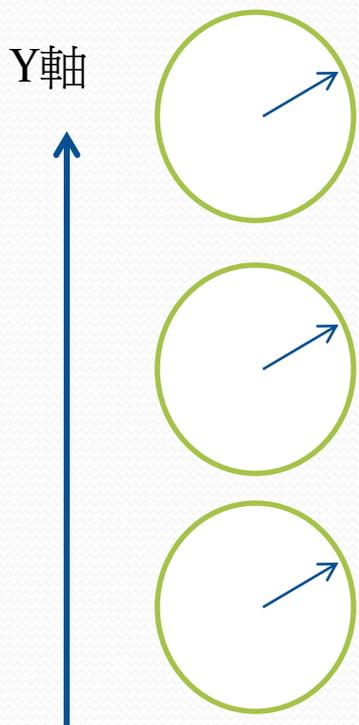
有相位差的旋進

- 加上Y梯度磁場



- 旋進的相位會反應到電磁輻射的相位
- 如此便把”位置“的資訊表現到”相位“裡面
- **Note:** 不是一對一對應，而是類似傅立葉轉換的關係

沒有相位差的旋進



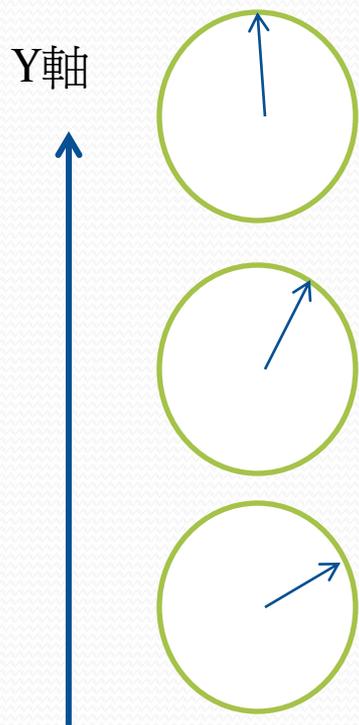
電場強度



Y軸

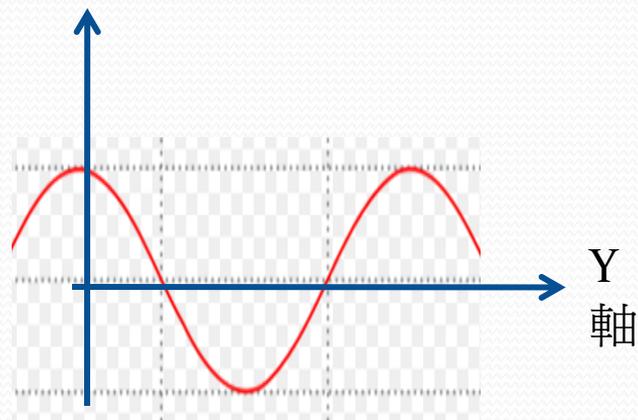
因為同相

有相位差的旋進

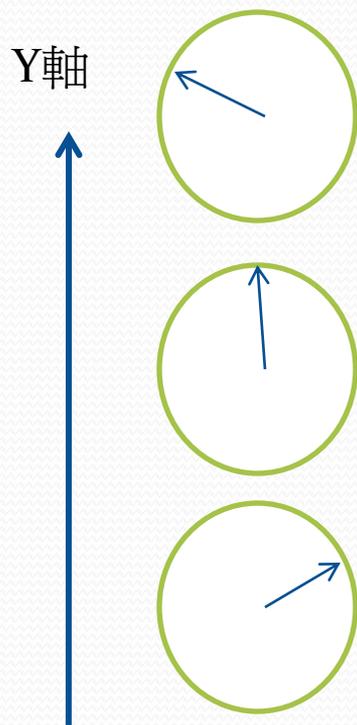


從這裡往上走看到的電場強度

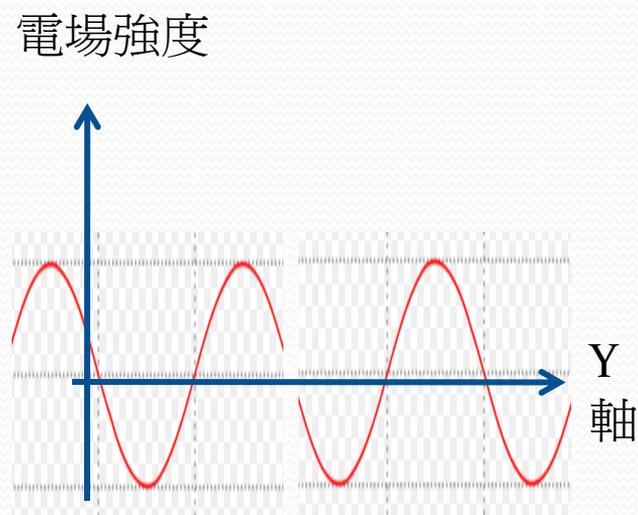
電場強度



更大相位差的旋進



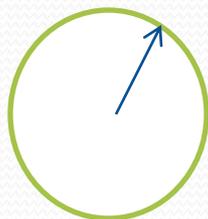
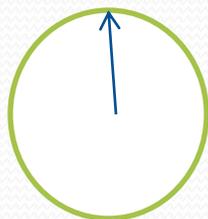
從這裡往上走看到的電場強度



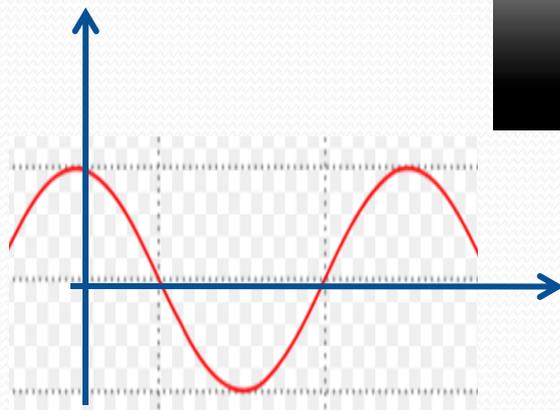
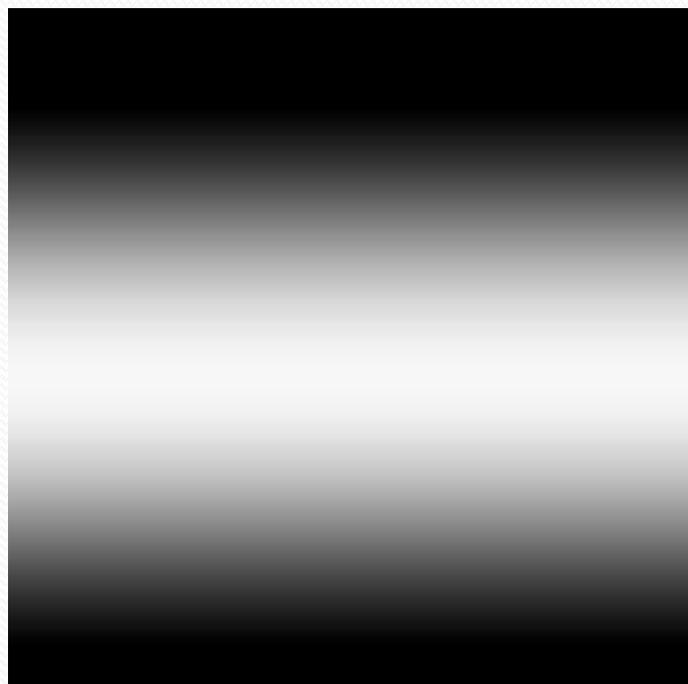
沿著Y軸看到的電場變動更快了

相位差小

Y軸

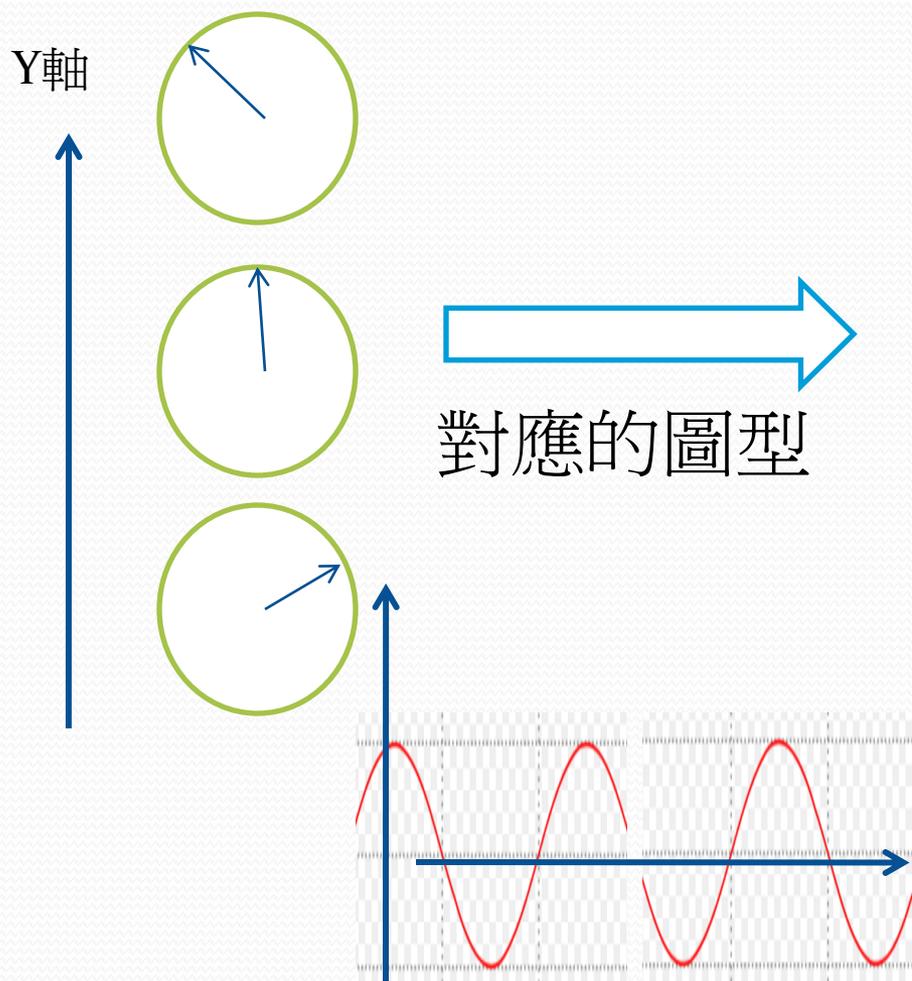


對應的圖型



電場 == 亮度

相位差大



電場 == 亮度

空間中的弦波



兩張圖分別代表兩種空間中的弦波

權重

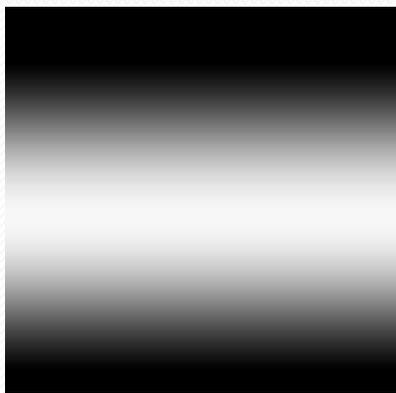


每張圖都有不同的權重。
接收到電場的大小，就是這張圖的權重。

空間傅立葉轉換

$$\Sigma (\text{空間弦波} * \text{權重}) = ???$$

Ex.



* (2225000)



相加 \Rightarrow ???



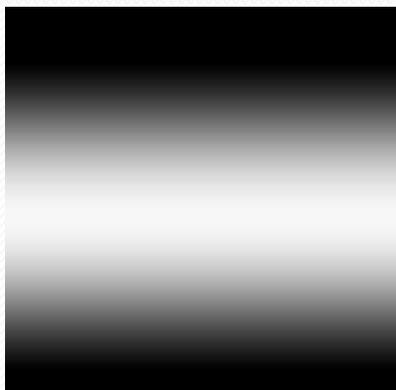
* (583000)



空間傅立葉轉換

$$\Sigma (\text{空間弦波} * \text{權重}) =$$

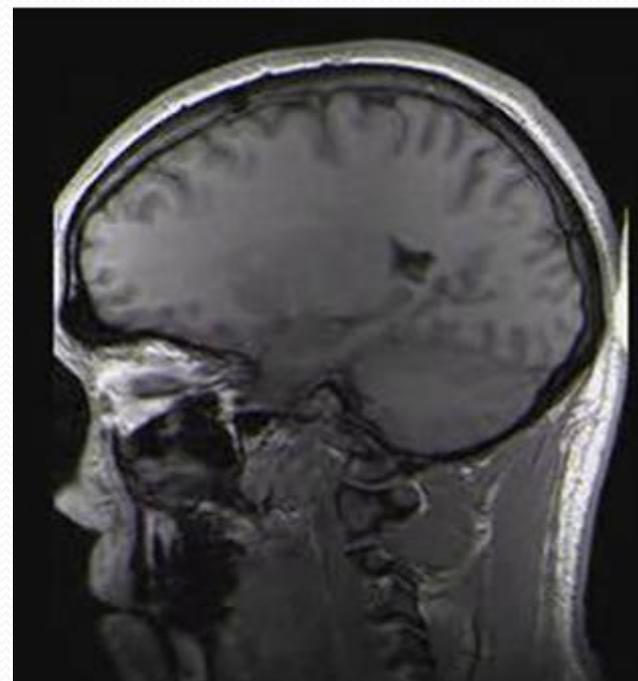
Ex.



$$* (2225000)$$

相加 \Rightarrow

$$* (583000)$$



當然是加了很多項之後

不信嗎？

- 請上<http://mrilab.org/course/mri/KspaceEPIEn.pdf>
- 鍾孝文教授的 MRI 講義
- 裡面會告訴您這張圖怎麼來的



Summary of phase encoding

- (1) 加梯度磁場
- (2) 每一點旋進速度不同
- (3) 產生相位差(position dependent)
- (4) 天線接收電磁波
- (5) 復原圖像 by inverse Fourier transform

請對照

$$f(t) = \sum a_k^* \cos(k\omega_0 t)$$

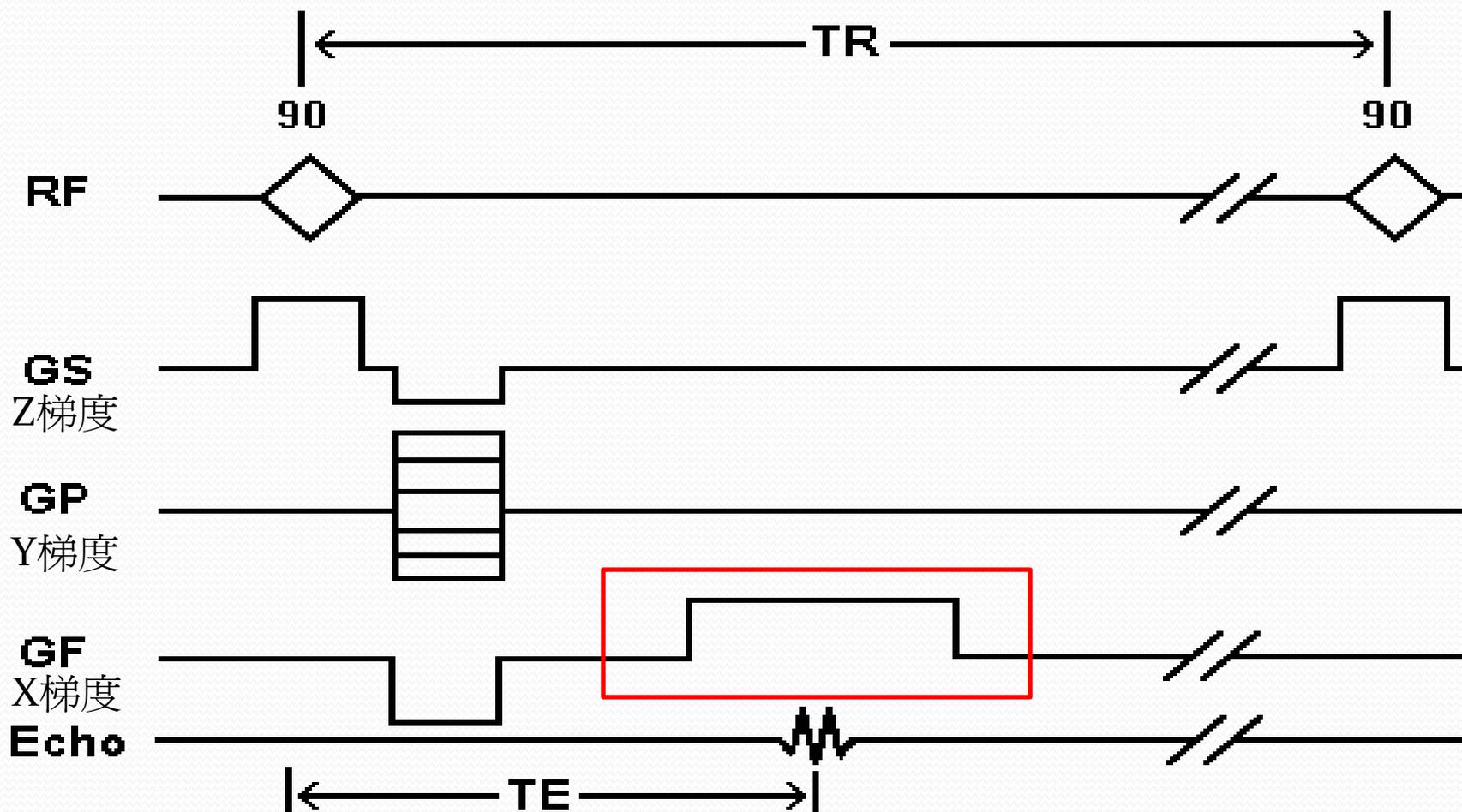
由相位差的大小決定

由接收到的電場大小決定

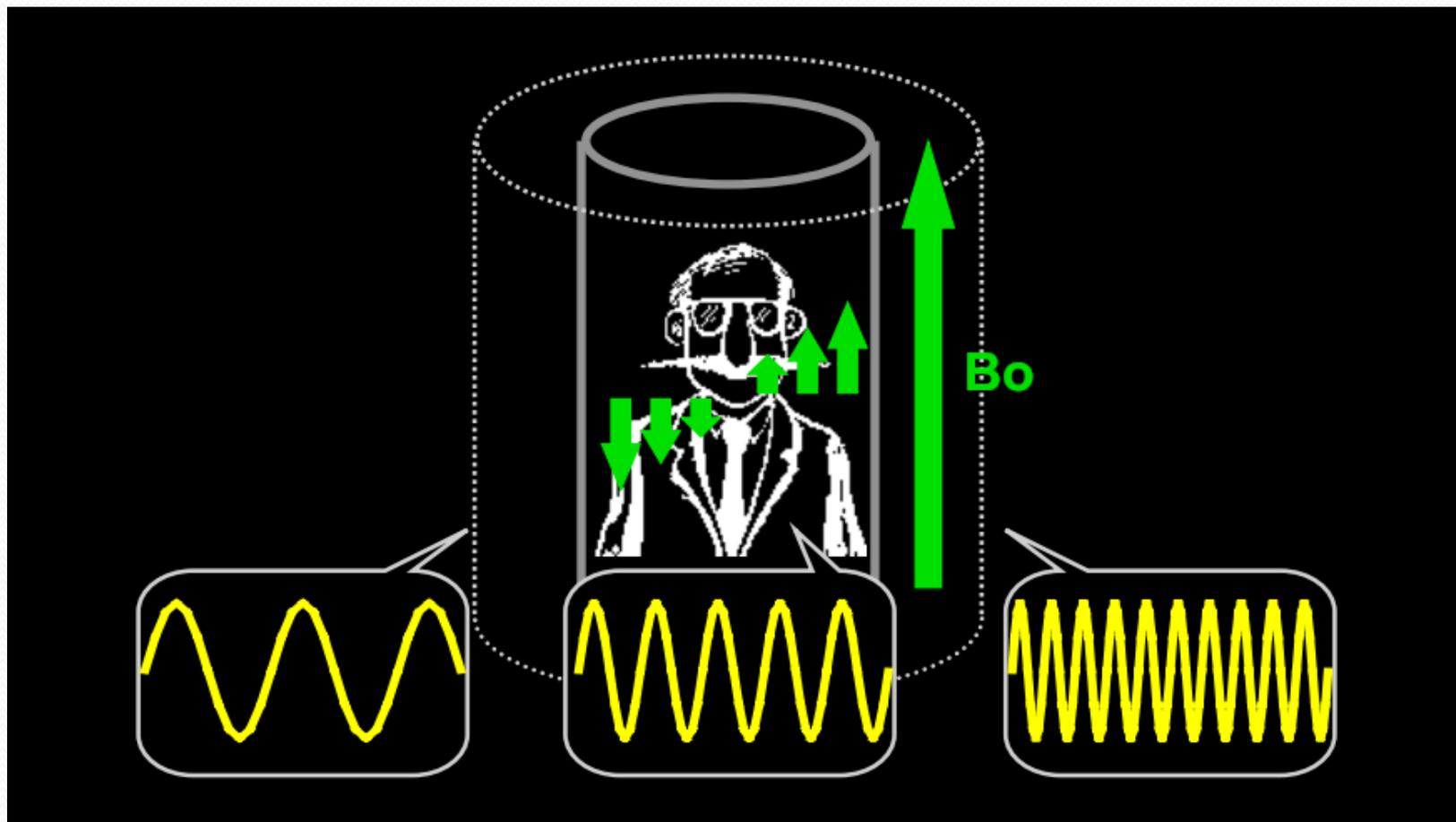
- Y座標用相位編碼
- X座標用頻率編碼

- → 2D Fourier Transform

頻率編碼(儲存X座標)

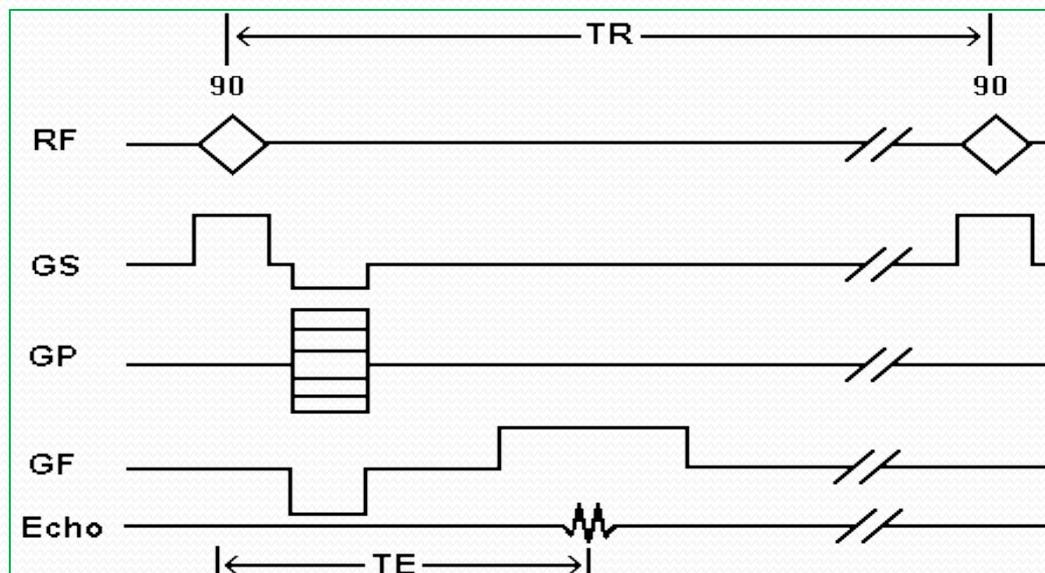


頻率編碼



您可能會有的疑問

- 到底什麼是”空間編碼“？
- 爲什麼梯度磁場要這樣安排？



- 爲什麼你們講得模稜兩可？

關於這些問題

- 其實我們也不懂
- MRI是一學期的課
- 我們只報告15分鐘
- 如果您聽懂了，那您大概也有機會拿諾貝爾獎了

Summary

- MRI 的原理：量子力學，磁矩的能階
- 分辨物質：衰減的時間長數 T_1 , T_2
- 重建位置：相位編碼、頻率編碼、空間傅立葉變換

The End

- 謝謝大家。
- 特別感謝：醫用磁共振造影實驗室的程正傑學長
- Reference:
- Wikipedia:
 - <http://en.wikipedia.org/wiki/File:MRI-Philips.JPG>
 - http://en.wikipedia.org/wiki/File:Structural_MRI_animation.ogv
 - http://en.wikipedia.org/wiki/Sine_wave
- MRILAB.org:
 - <http://mrilab.org/course/mri/KspaceEPIEn.pdf>
 - <http://mrilab.org/course/mri/mri.htm>
- Others:
 - <http://www.cardiff.ac.uk/biosi/researchsites/emric/basics.html>
 - <http://www.mri-tutorial.com/>