



低磁場核磁共振分析儀 Gyrolyzer

操作與維修手冊

201301-1



磁量生技股份有限公司 (MagQu Co., Ltd.)

新北市 231 新店區中正路 538 巷 12 號 3 樓

網址: www.magqu.com

電子郵件: info@magqu.com 電話: 886-2-86671897 傳真: 886-2-86671809

目 錄

安全性須知	2
環境注意事項	3
第一章 核磁共振基本原理	4
第二章 低磁場核磁共振分析儀 Gyrolyzer 介紹	7
第一節 預磁化磁鐵	8
第二節 均勻磁場線圈組	8
第三節 脈衝及接收線圈組	9
第四節 濾波放大電路	9
第五節 函數產生器及訊號擷取單元	9
第六節 核磁共振系統控制軟體	10
第三章 操作程序	11
第一節 作業程式安裝與機台啟動	11
第二節 低磁場核磁共振測量與分析	11
第三節 關機程序	16
第四章 實際應用範例	17
附錄 A. 規格表	18
B. 產品及附件總覽	19
C. 警告圖示說明	20

安全性須知

請檢視下列的安全警告以避免傷害，並預防對此產品或任何相關產品的損害。
為避免潛在的危險，請僅依照指示使用此產品。

避免火災或人身傷害

使用適當的電源線。請只使用本產品所指定以及該國使用認可的電源線。

正確的連接與中斷連接。在連接電腦之前，請確認電腦是否開啟，並在電腦開啟後，打開本機台之電源開關；中斷與電腦間的連接時，請先中斷軟體並作移除之動作，始能將機台關機。

將產品接地。本產品是透過電源線的接地導線與地面連接。為了避免電擊，接地導線必須連接到地面。在與產品的輸入與輸出端子連接之前，請確定產品已正確的接地。

觀察所有的端子功率。為了避免火災或是電擊的危險，請注意產品上的功率及標記。在與產品連接之前，請先參閱產品手冊以便進一步了解有關功率的資訊。

電源中斷連接。電源開關已中斷產品與電源的連接，請參閱指示以確定位置。請勿阻礙電源開關，使用著必須可以隨時電源開關。

請勿在蓋子為蓋上之前即進行操作。如果蓋子取下請勿操作本產品。

懷疑有故障時，請勿操作。若您懷疑此產品已遭損壞，請讓合格的維修人員進行檢查

避免電路外露。當有電流通過時，請勿觸碰外露的連接器及元件

請勿在潮濕的狀態下操作。

請勿在易燃易爆的空氣中操作。

請維持產品表面的清潔與乾燥。

保持空氣的流通。請參考手冊的安裝說明以了解有關如何安裝產品使其具有良好通風的詳細資訊。



警告。警告聲明中可能導致受傷或喪命的情況操作。



小心。小心聲明中指明了可導致損壞此產品或其他物品的情況或操作。

環境注意事項

本節提供此產品對環境所造成的影響之相關資訊。

產品報廢處理

回收儀器或元件時，請參閱下列指引：

設備回收：本設備的生產作業需要自然資源之回收與利用。本設備在產品報廢階段若未正確處理，可能會產生對環境或人類健康有害的物質。為了避免此類物質釋放到環境，並減少使用自然資源，建議您透過適當的系統回收此產品，以確保大部分的材料均適當地回收再利用。



第一章 核磁共振原理與系統簡介

從量子力學的觀點看，當質子數和質量數(mass number)皆為奇數時，原子核(nucleus)之自旋量子數(magnetic quantum number, I)不為零，如氫 $I=1/2$ ，若此時原子核於外加磁場下，其自旋磁矩會分裂成順磁場(自旋磁矩向上)低能量及逆磁場(自旋磁矩向下)高能量兩種能階，其能量差 $\Delta E = \hbar\gamma B_0$ 此處 \hbar 為約化蒲朗克常數(reduced Planck constant)， γ 為旋磁比(gyromagnetic ratio)，如： ^1H 的 $\gamma = 42.58 \text{ MHz / Tesla}$ 。而根據 Boltzmann 分布定律得知，在低能量的磁矩之分布居數(population)會比高能量的磁矩高，其 $N_{\downarrow}/N_{\uparrow}$ 比值為

$$\frac{N_{\downarrow}}{N_{\uparrow}} = \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right), \quad (1)$$

ΔE 是自旋磁矩向上及向下之間的能量差， k 是 Boltzmann's Constant， $1.3805 \times 10^{-23} \text{ J/Kelvin}$ ， T 為自旋系統的溫度(凱氏溫標)。

在這分布居數較多是在自旋磁矩向上的狀態，所以會造成淨磁化量(net magnetization)在 z 方向(當 B_0 在 z 方向)，此時在 y 方向施以和原子核之進動頻率(Larmor 頻率)相同之脈衝(pulse, B_1)，使原子核獲得能量，淨磁化量偏移至 x 軸的方向，而偏移的角度和脈衝開啟的時間、強度有關，當靜磁化量的偏移角度為 90° 時，稱之為 90° 脈衝，而靜磁化量的偏移角度為 180° 時，稱之為 180° 脈衝。偏移角與外加脈衝之時間 t 之關係為 $\theta = \gamma B t$ ，當脈衝停止時，淨磁化量受到 B_0 的作用，會使得偏移的磁化量延著磁場方向(z 軸)做進動(precession)。隨著磁化量的進動，加上此磁化量因弛緩(relaxation)而恢復到平衡態(z 軸)，造成此磁化量形成陀螺的軌跡。而原子核從激發狀態回到基態，繞著外加磁場進動，主要有兩個互相獨立之分量：自旋晶格弛緩(spin-lattice relaxation)為 z 分量的回復，其弛緩時間常數(time constant)稱為 longitudinal relaxation time, T_1 ；自旋自旋弛緩(spin-spin relaxation)為 x - y 分量的歸零，其弛緩時間常數稱為 transverse relaxation time, T_2 。淨磁化量之關係是為

$$\begin{aligned} M_{x,y}(t) &= M_{x,y}(O_+) \exp(-t/T_2) \\ M_z(t) &= M_{z,0} [1 - \exp(-t/T_1)] + M_z(O_+) \exp(-t/T_2) \end{aligned}$$

此磁化量的軌跡，會引導一個振盪電流而被記錄下來，這情形正好就如陀螺狀的軌跡在兩個互為垂直平面的投影，稱之為自由感應衰減(FID)訊號，將 FID 訊號經由傅立葉轉換(Fourier Transformation)後，即可得到核磁共振之頻譜訊號，如圖 1。

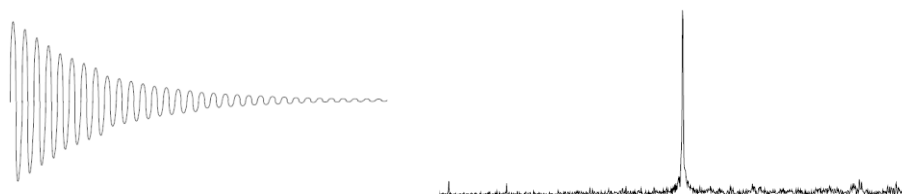
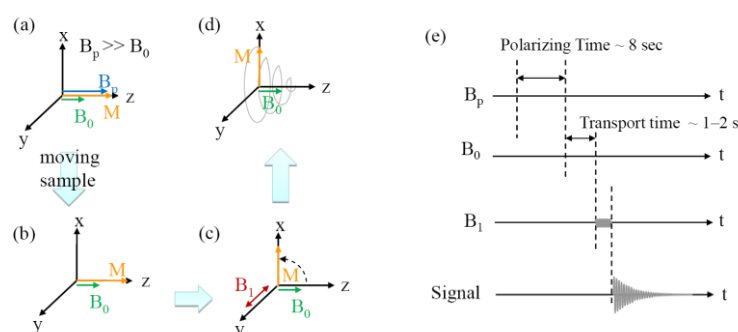


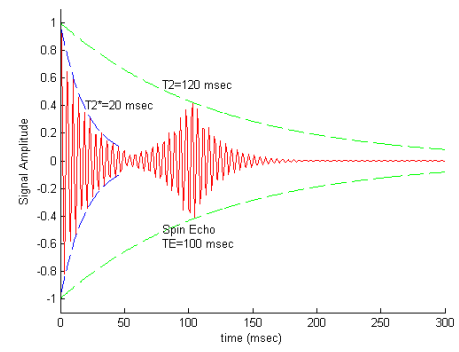
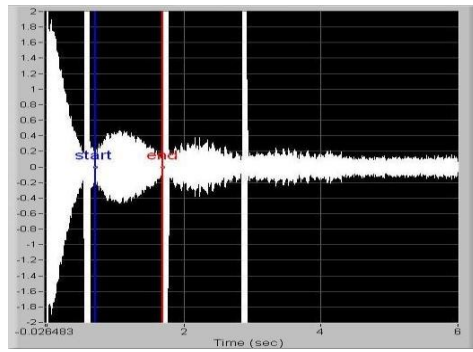
圖 1. 核磁共振實驗所量測到之自由感應衰減(FID)訊號(左)，經由，經由傅立葉轉換可得到核磁共振頻譜訊號(右)。

本公司製造的低磁場核磁共振儀於實驗時，先將待測物放置於預磁化磁鐵中以增加樣品的磁化量，之後將待測物移動至脈衝及接收線圈組內給予 B_1 脈衝後並接受磁共振訊號，其 wave sequence 及 magnetization dynamics 如下圖所示：



得到磁共振訊號後可分析待測樣品的 T_2^* relaxation time 以及經由改變背景磁場強度測量磁共振頻率計算出待測樣品的 gyromagnetic ratio。

若再額外加上一個翻轉角 180 度的脈衝，將不同旋進速率的自旋一下子反轉，變成跑得快的在後，跑得慢的在前，隨著時間，跑得快的漸漸追上跑得慢的，則橫磁向量漸漸排在一起；當排在同一方向上時，可以發現此時自旋訊號強度達到最高峰。此時若再重覆給與一個脈衝，相同的現象會再發生一次，直到其完全弛緩，其時間稱為弛緩時間 T_2 。



整段過程訊號慢慢回覆，到達最高峰，再慢慢消逝；相對於自由感應衰減是一激發就出現的自旋反應訊號，其與激發當下隔了一段時間，像個迴音一樣，故稱為自旋迴訊(spin echo)

在第二章中，將就構成低磁場核磁共振儀 Gyrolyzer 的各項重要器件，一一介紹。

第二章 低磁場核磁共振分析儀 Gyrolyzer 介紹

低磁場核磁共振儀 Gyrolyzer 的架構示意如圖 2 所示。主要包括下列部份：

1. 預磁化磁鐵
2. 均勻磁場線圈組
3. 脈衝及接收線圈組
4. 濾波放大電路
5. 函數產生器及訊號擷取單元
6. 磁共振系統控制軟體

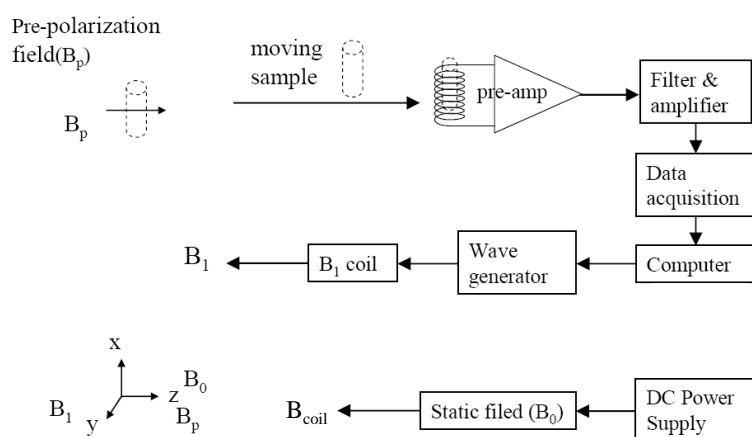
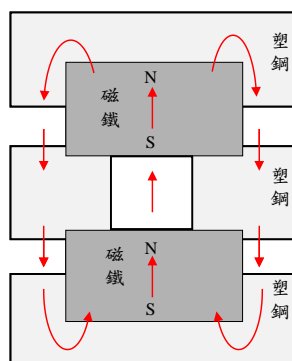


圖 2. 本公司所推出的低磁場核磁共振分析儀照片(上)及結構方塊圖(下)。

以上所列各部份的規格與功能，將在以下各節述明。

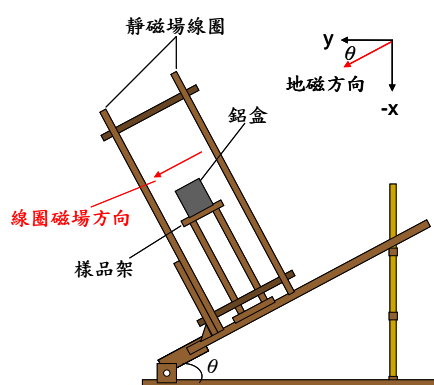
第一節 預磁化磁鐵

於低磁場核磁共振儀 Gyrolyzer 中為了於地磁強度的背景磁場下測量磁共振訊，因此實驗過程中需先將待測物放置於預磁化磁鐵中以增加樣品的磁化量，預磁化場由兩顆大小為 5 cmx5 cmx5 cm 大小之鈹鐵硼磁鐵所組成，中間磁場強度可達 0.7 Tesla。其構造如下圖所示。



第二節 均勻磁場線圈組

低磁場核磁共振儀 Gyrolyzer 中的均勻磁場線圈組是由兩對不同半徑大小所組成之線圈，其設計為：將兩對線圈之半徑大小分別改為 24.3 cm、8 cm，並以同圓心的方式擺設，且同一對線圈彼此相距 20 cm。此架構係經由數據模擬得知，當線圈半徑為 24.3 cm 之線圈匝數為 70 匝、線圈半徑為 8 cm 之線圈匝數為 2 匝且時，可得最佳之均勻度，其磁場不均勻度於不均勻度，於中心之 4 cm × 4 cm × 4 cm 立方體下，為萬分之五。線圈所提供的磁場強度為 2.945 gauss/A。於本系統中此均勻線圈組的電流源採用雙儀 TP-1303XT，電流強度最大可達 1 安培，電流精準度為 1 毫安培。線圈組架構圖如下圖所示。



磁量生技股份有限公司 (MagQu Co., Ltd.)

新北市 231 新店區中正路 538 巷 12 號 3 樓

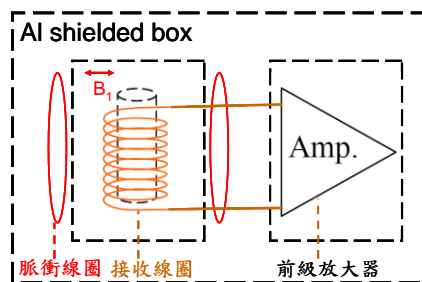
網址: www.magqu.com

電子郵件: info@magqu.com 電話: 886-2-86671897 傳真: 886-2-86671809

於實驗時，可經由調整線圈組的傾角及水平方向將線圈組的磁場方向調整至與地磁方向同向，此時低磁場核磁共振儀 Gyrolyzer 的磁共振背景磁場強度即為地磁強度加上線圈組所供給的磁場($B=B_{\text{earth}}+B_{\text{coil}}$)，實驗者可藉由調整線圈磁場將度改變待測樣品於磁共振實驗中的共振頻率。

第三節 脈衝及接收線圈組

低磁場核磁共振儀 Gyrolyzer 偵測核磁共振訊號是使用一脈衝線圈改變原子核磁矩方向後，使用法拉第感應線圈作為感測器，偵測磁矩於背景磁場下進動的磁訊號，再經由前級放大器將感應的電訊號放大後再送出，以減少微小訊號傳輸時，受環境雜訊影響的程度。接收線圈於前級放大器各放置於一鋁屏蔽盒中，再一同放置於一較大的鋁屏蔽盒中以減少環境交流雜訊的影響，其配置示意圖如下圖所示。



第四節 濾波放大電路

為了進一步放大訊號並且提高訊雜比，因此共振訊號經由接收線圈讀出並經由前級放大器放大後，仍需要再經過濾波放大電路，將非共振頻率外的雜訊過濾掉，並且再度將訊號放大。本系統採用的濾波器為 5 階的 Butherworth 高通濾波器及 2 階 Butherworth 低通濾波器，其截止頻率(cut-off frequency)分別為 1.3 kHz 及 10 kHz，此外電路放大倍率為 40 倍。

第五節 函數產生器及訊號擷取單元

低磁場核磁共振儀 Gyrolyzer 中採用的訊號擷取單元 NI USB-6211。其中 A00 端經由 BNC 端子接線，提供脈衝磁場電源給低磁場核磁共振儀中的脈衝線圈；而接收線圈所量到的磁共振訊號，經由前級放大器及濾波放大電路後從 BNC

端子接線傳送到 NI USB-6211 的 AIO 接端；
NI USB-6211 再將此訊號透過 USB 端子送到電腦處理。詳細規格請見所附之說明書。

第六節 磁共振系統操作軟體

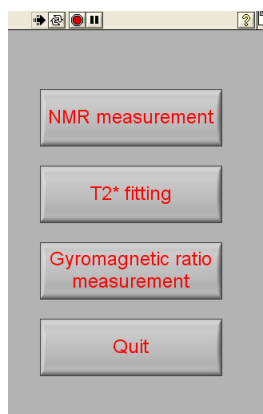
此軟體負責控制磁共振實驗過程的時序處理及訊號分析，控制 NI-USB 6211 於控制的時間提供脈衝磁場並接收讀取訊號，並具有軟體濾波、傅立葉轉換、 T_2^* fitting、gyromagnetic ratio 分析等功能。軟體部分亦將功能區分為 NMR measurement、 T_2^* fitting、gyromagnetic ratio analysis 等 3 大區塊。詳細情形，請見第三章所述。

第三章 操作程序

在此簡介使用低磁場核磁共振儀 Gyrolyzer 的操作程序。

第一節 作業程式安裝與機台啟動

1. 請依說明書所載，逐步安裝 NI USB-6211 驅動程式。
2. 將 Gyrolyzer Software 光碟中的 Gyrolyzer.exe 檔，複製到電腦中，即完成所有軟體安裝。
3. 使用接線將電源供應器與 B0 線圈相連接後將電源供應器的電源開關打開，但不輸出。
4. 使用接線，將 NI USB-6211 上的 AO1 端與脈衝線圈端相連接。
5. 將接收線圈輸出端與濾波放大電路輸入端接上。
6. 再將濾波放大電路的輸出端接至 NI USB-6211 上的 AI0 端。
7. 將 NI USB-6211 的 UBS 輸出端子，接上電腦。
8. 開啟濾波放大電路電源，開啟 Gyrolyzer.exe，電腦螢幕會出現功能選擇視窗，如下圖，即完成安裝與開機程序。



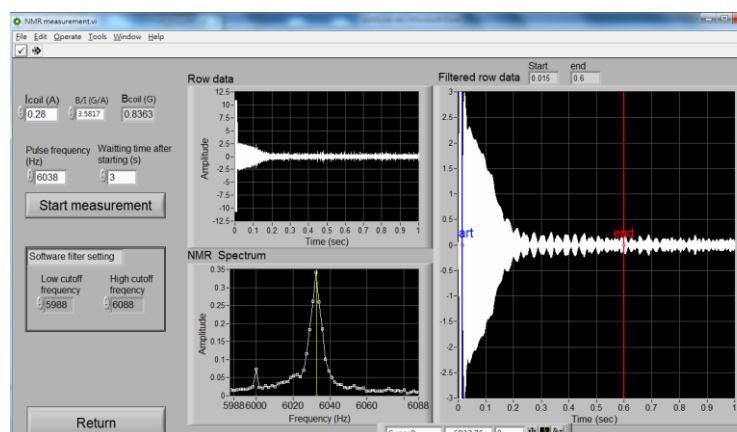
第二節 低磁場核磁共振測量與分析

由開啟畫面可以選擇使用者欲選擇的功能，其中"NMR measurement"提供使用者進行單純的核磁共振測量及傅立葉頻譜分析；"T₂* fitting"可將經由"NMR measurement"測量後的數據進行 T₂* fitting 計算出 T₂* relaxation time；而"Gyromagnetic ratio measurement"可讓使用者重複進行磁共振實驗並將共

振頻率及 B_0 線圈提供的磁場記錄下來，並進行 Gyromagnetic ratio analysis 得到地磁強度以及 Gyromagnetic ratio，詳細的操作流程如下所示：

1. NMR measure

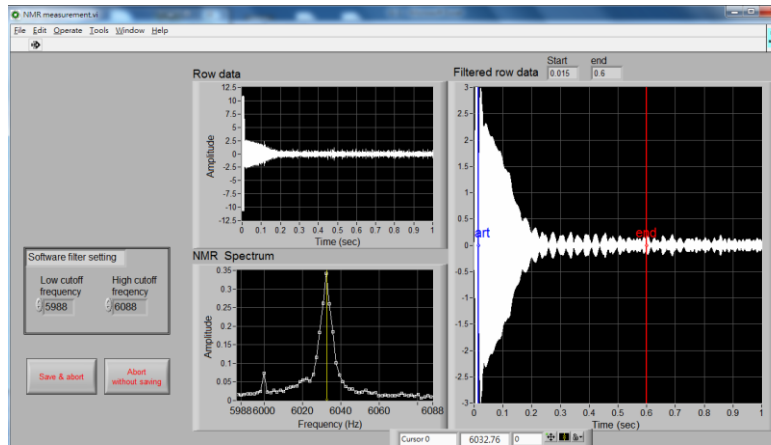
點選” NMR measure” 後將出現一個新的視窗如下圖所示：



先針對圖中左邊各項設定參數進行說明：

- $I_{coil}(A)$ 請輸入電源供應器所提供的電流，線圈供給的磁場大小會於 $B_{coil}(G)$ 處計算出。
- Pulse frequency 為脈衝線圈所輸出的脈衝頻率
- Waiting time after starting 可設定按下” Startment measurement” 後經過多少時間才開始給出脈衝進行磁共振實驗。若為單人操作可先預估按下” Start measurement” 後將樣品移動至脈衝線圈及接收線圈組所需的時間，一般建議為 3 秒；若是雙人操作可設置 0 秒，待一操作者將樣品放進線圈組後再按下” Start measurement”。
- Software filter setting 可設定軟體濾波器的頻率範圍，預設值為 Pulse frequency \pm 50Hz 且會依每次實驗設定的 Pulse frequency 自動調整。

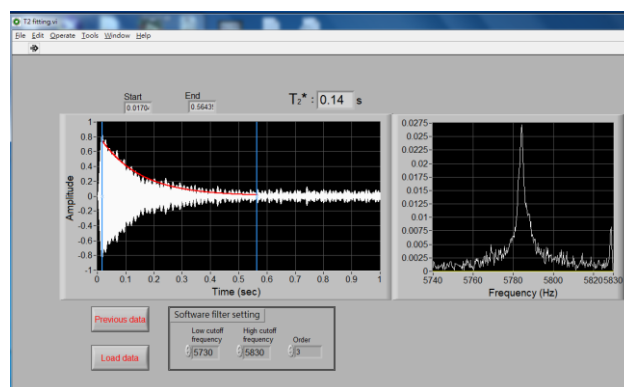
實驗時，使用者需先將待測樣品，如：水，先置放於預磁化磁鐵中靜置 8-10 秒將樣品先磁化，同時設定面板上的參數，包括 I_{coil} 、Pulse frequency、Waiting time after starting = 0，之後一名操作者將樣品迅速自預磁化磁鐵移出並放入脈衝及接收線圈組內，此時另一名操作者按下軟體上” Start measurement” 按鈕。此時系統會給出脈衝磁場並記錄下磁共振訊號於軟體視窗上，且視窗選項亦會改變如下圖所示：



視窗中左上圖 (Row data) 為自接收線圈經由濾波放大電路所擷取到的訊號，因仍有外界雜訊干擾，故無法看出磁共振訊號，右圖 (Filtered row data) 為經由軟體濾波後的磁共振訊號，可看出 free induction decay (FID) 的訊號特徵，右圖中藍色與紅色的直線分別可選取欲進行傅立葉轉換將時域訊號轉換成頻譜的時間範圍之起點與終點，而轉換後的頻譜會即時顯示與左下圖中 (NMR spectrum)。此外於圖中左下有 2 個選擇鈕可選擇是否存檔以供使用者自行分析。按下且存檔完成後，視窗會回復至實驗前的狀況，可供使用者再次進行實驗或者是按下 Return 回到主視窗。

2. T_2^* fitting

點選” T_2^* fitting” 後會出現新視窗，如下圖：

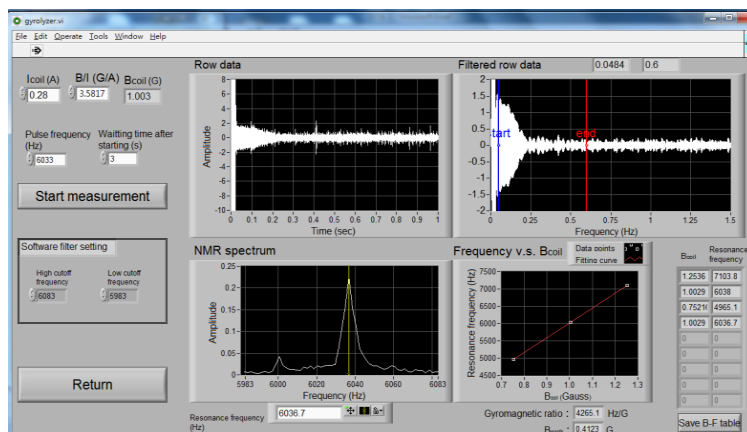


此時若是使用者剛進行完 NMR measurement，可點選 Previous data 將可自動讀入之前進行 NMR measurement 的 row data 或是按下 Load data 讀入使用者之前實驗存檔的資料進行分析。讀入後經過軟體濾波的資料會顯示在左圖，右圖為左圖資料經由傅立

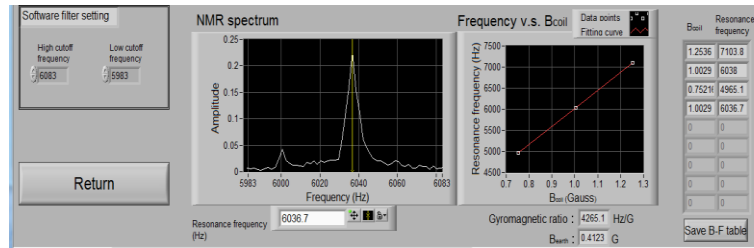
葉轉換後得到的頻譜，使用者可設定 Software filter setting，以降低資料的雜訊使得 fitting 數值更準確，左圖中藍色直線所選取的區域會自動進行 fitting，選用的函數為 $a \exp(-t/T_2^*)$ ，為 NMR FID 的函數形式，fitting 的曲線會於左圖中以紅色線表示，而 fitting 得到的 T_2^* 亦顯示於圖上。使用者可於分析完後按下” Return” 鈕再回到主視窗。

3. Gyromagnetic ratio measurement

於主視窗按下” Gyromagnetic ratio measurement” 後，會跳出此功能視窗如下圖所示：



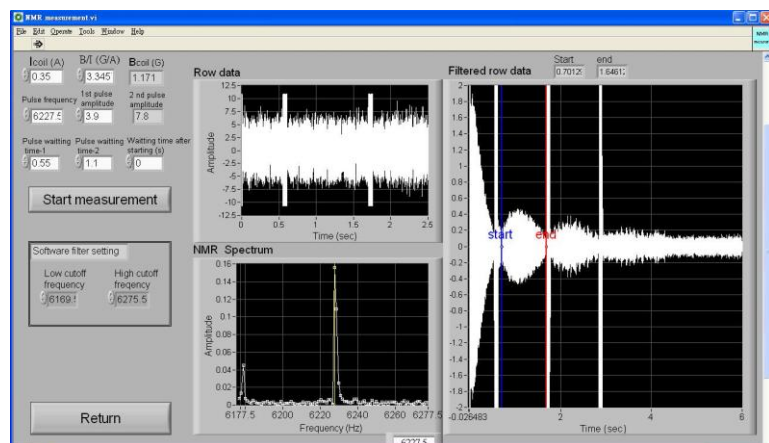
此部份於實驗操作部分與 NMR measurement 相同，主要提供使用者改變 I_{coil} 及 Pulse frequency 進行不同磁場下的磁共振實驗並紀錄共振頻率 (Resonance frequency) 計算出迴旋磁比 (Gyromagnetic ratio) 以及地球磁場 (B_{earth})，本系統線圈所提供的磁場隨電流增加而增加，約略每增加 0.08 A 增加的磁場會使得共振頻率約增加 1000 Hz，故使用者可以藉由此參數迅速調整至正確的 Pulse frequency 以降低實驗的難度。實驗時首先將電源供應器提供的電流輸入至程式中可得到此時的線圈磁場，於設定完 Pulse frequency 後，移動樣品並按下 Start measurement 進行實驗(此部份同功能 NMR measurement 故在此不作贅述)。得到的 NMR spectrum 將顯示與左下圖，此時可移動圖中黃色的直線至共振頻率後紀錄共振頻率，如下圖所示：



使用者按下”Record and save”或”Record without” save 均會記錄圖中左下 Resonance frequency 數值以及之前經由設定 I_{coil} 所計算出的 B_{coil} 顯示於圖中右邊的圖 (Frequency v.s. B_{coil}) 並將數值紀錄於右邊，2 者的差別僅在於是否有存 Row data；若此次實驗失敗，可以按下”Abort”，如此將不會紀錄共振頻率以及 B_{coil} 。當按下此 3 個按鈕中任一個之後，畫面將會回到之前還沒測量的狀態。此時改變 I_{coil} 及 Pulse frequency 再重複測量 NMR 並紀錄共振頻率的動作後，程式將會自動 fitting Frequency v.s. B_{coil} 並將 Gyromagnetic ratio 及 Bearth 計算出來。實驗完成後按下 Return 即可再回到主視窗。

4. Spin echo

在比較高階的版本中，”NMR measurement”也提供 spin echo 的量測



與原本的程式大略相同，但是增加了下列參數：

- 1st pulse amplitude 是指第一次脈衝的大小，單位為伏特，2nd pulse amplitude 是第二次脈衝的大小，必為第一次脈衝的二倍。
- Pulse waiting time-1 是指第一次 echo 脈衝和第

一次脈衝的間隔，單位為秒。Pulse waiting time-2 為第二次 echo 脈衝之後和其前一次 echo 脈衝之間隔，一般而言，pulse waiting time-2 為 pulse waiting time-1 之二倍。

第三節 關機程序

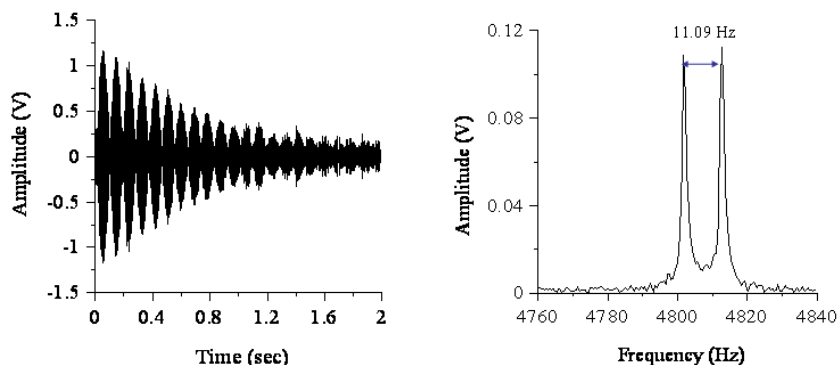
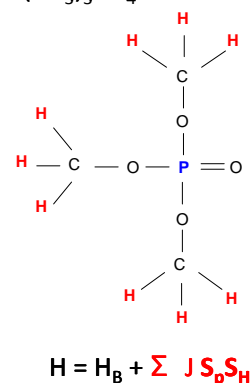
1. 若要結束量測，請先回到主視窗後按下 Quit 鍵即可將程式自動結束。
2. 若要關閉低磁場核磁共振儀，僅需將濾波放大電路以及直流電源供應器關閉即可。

第四章 實際應用範例

J-coupling detection

J-coupling 是指受到鄰近原子核自旋的交互作用導致訊號的分裂，與外加磁場之大小無關。當一個原子核自旋所產生的微小磁場會影響到鄰近原子核而有了 J-coupling 訊號，其分裂所產生之訊號間距會受到原子核之間的化學鍵數量影響，而化學鍵數決定了分裂的峰與峰之頻率差，其差值稱之為耦合常數 (Coupling constants)，且互相作用之原子核會有相同的耦合常數。可由耦合常數得知分子的幾何結構，像是原子間的角度、分子間摺疊的關係。隨著原子核之間的鍵結數越多，原子核之間的影响越小，耦合常數也會隨之變小。然而具有 $I = 1/2$ 之原子核的數量也決定了分裂後訊號的振幅大小和峰的數量。本範例是量測三甲基磷酸 $(\text{CH}_3)_3\text{PO}$ 其結構式及 Hamiltonian 的如右圖所示，由於 ^{31}P 與 ^1H 之間會有交互作用因此多一項 $\sum J S_P S_H$ ，由於 H 受到 1 個 P 的作用因此能態因為 2 者 Nuclear spin 同向或反向而分裂成 2 個能態，因此其 NMR spectrum 會分裂成 2 個峰值，下圖為於 1.13 Gauss 下所測得的 NMR raw data 以及經過傅立葉轉換後得到的頻譜。

Trimethyl phosphate
 $(\text{CH}_3)_3\text{PO}_4$



可以從頻譜中清楚的看出，其 NMR 峰值有 2 個且相隔的頻率為 11.09Hz 即可得到其 coupling constant $J[S_P, S_H] = 11.09 \text{ Hz}$ 。

附錄 A. 規格表

1. Gyrolyzer 線圈組含傾斜底座：
 - 線圈組
長：50 cm，寬：50 cm，高：23 cm
提供磁場：2.3~2.7 G/A
 - 傾斜底座
長：80 cm，寬：55 cm
可調整角度：0~50 度
2. 脈衝及接收線圈組(含鋁屏蔽盒及前級放大器)
 - 尺寸
長：22.2 cm，寬：14.6 cm，高：7.5 cm
 - 脈衝線圈
電阻：1~3 ohm
線圈匝數=20 turns × 2
 - 接收線圈
電阻：1.9~2.2 kohm
線圈匝數：20000 turns
 - 前級放大器：
放大倍率：180~220 倍
3. 濾波放大電路：
 - 頻率範圍：1.3 kHz~10 kHz
 - 放大倍率：30~50 倍
4. 輸入電壓： AC 110V
5. 軟體操作平台：Windows XP professional

B. 產品及附件總覽

Gyrolyzer 產品及配件總覽	
品 名	數 量
低磁場線圈組	1
脈衝及接收線圈組 (含鋁屏蔽盒及前級放大器)	1
濾波放大器	1
直流電源供應器	1
函數產生器與數據擷取二合一	
界面盒 (含電源線與 USB 輸出線)	1
連接線(兩端皆為 BNC 端子)	3
操作軟體光碟	1
操作與維修手冊	1

C. 警告圖示說明



正面朝上



小心易碎



保持乾燥



遠離磁場