

The Measurement of the Mean Lifetime of Muons

渺子平均生命期的量測

指導老師 郭榮升 老師

章文箴 老師

鄧炳坤 老師

高雄師範大學物理系 黃馨毅

July & August, 2010

摘要

宇宙射線主要來自太空中恆星內部的核反應，成分大部分為質子。當宇宙射線經過大氣層的時，與大氣中的原子核相互碰撞，質子與質子、質子與中子相互反應產生了不穩定的 π 介子(pions)及K介子(kaons)，而帶電的 π 介子很快衰變為渺子(muon)及其微中子(ν_μ)。

本次實驗為觀察由宇宙射線所產生的muon生命期，muon隸屬於基本粒子中的輕子，帶負電，自旋為 $1/2$ ，其為不穩定的亞原子，相互作用與電子非常相似，因此常將muon視為一較重的電子，也因為重量較重的原因，muon經過一電磁場時並不像電子受磁場影響產生大量的輻射，較能穿過大氣層被測量。

閃爍體受帶電粒子或放射物質射入後，會損失部分能量將閃爍體的分子或電子激發至高能階，並在短時間(10^{-8} s)回到基態而釋放出螢光(fluorescence)，經由光電倍增管將光訊號轉換成電子脈衝訊號並加以放大，成為能被儀器分析的訊號，利用此方法探測muon粒子。使用三片相同面積閃爍體，經由一些邏輯上的判斷及程式上的分析，將所測得的秒數與數量作圖，並依照衰變公式

$N(t) = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}} + N_b$ fitting 其圖形後，得知muon平均生命期。

經過六天測量結果，所得生命期為 $2.201 \pm 0.037 \mu\text{s}$ ，與理論值相接近，而在分析的圖形中發現不符合fitting曲線的点，因此進行分析計數器的效率與訊號所能測得最小值的狀況去探討其原因，經計數器修正過後得到的生命期為 $2.14 \pm 0.036 \mu\text{s}$ 。也嘗試使用單一閃爍體探測器測量muon平均生命期，其結果與使用三片閃爍體比較可發現背景輻射的部分增加，所測得的雜訊較多。

實驗可以透過延長測量的時間增加數據資料量可減少誤差值，或是透過穩定的射源進行探測，儀器的精準度及訊號時間的處理也會影響實驗結果，若要實驗更精準更具參考價值需對此方面進行改善。

目錄

摘要.....	i
目錄.....	ii
第一章 簡介.....	1
1-1 宇宙射線.....	1
1-1.1 何謂宇宙射線.....	1
1-1.2 宇宙射線的發現.....	1
1-1.3 宇宙射線的探測.....	1
1-2 Muon.....	3
1-2.1 基本粒子.....	3
1-2.2 弱作用力.....	4
1-2.3 Muon 性質.....	5
1-2.4 Muon 發現.....	5
1-2.5 Muon 衰變.....	5
1-2.6 衰變(Decay).....	6
第二章 實驗儀器.....	7
2-1 Scintillation Detector.....	7
2-1.1 Scintillator.....	7
2-1.2 Light Guides.....	8
2-1.3 Photomultiplier Tube.....	9
2-2 Nuclear Instrument Module (NIM).....	9
2-2.1 Discriminator.....	10
2-2.2 Linear Fan-in/Fan-out.....	10
2-2.3 4-Fold Logic Unit.....	11
2-2.4 Gate and Delay Generator.....	11
2-2.5 Quad Coincidence.....	11
2-2.6 Dual Counter/Timer.....	11
2-3 Delay Box.....	12
2-4 Clock.....	12
2-5 Power Supply.....	12
2-6 Root.....	12
第三章 閃爍體探測器設置.....	13
3-1 閃爍體擺放.....	13
3-2 Threshold 範圍設定.....	13
3-2.1 Threshold 第一次測量.....	14
3-2.2 Threshold 第二次測量.....	16

3-3	工作平區(Plateau)的測量.....	20
3-3.1	工作平區(Plateau)第一次測量.....	21
3-3.2	工作平區(Plateau)第二次測量.....	27
第四章	線路邏輯與數據解讀.....	33
4-1	量測 muon 邏輯設計.....	33
4-1.1	Start 觸發：A 與 B 有訊號輸出同時 C 無訊號.....	33
4-1.2	Stop 觸發：B 有訊號同時 A 及 C 無訊號輸出.....	34
4-1.3	C 閃爍體的用途.....	34
4-1.4	取樣真正的衰變訊號.....	35
4-2	訊號檢測.....	37
4-2.1	Start 訊號.....	37
4-2.2	Stop 訊號.....	38
4-2.3	Start 觸發 18 μ s Gate.....	38
4-2.4	Start 觸發後經 20 μ s 產生 Stop 訊號.....	39
4-2.5	muon 生命期訊號.....	40
4-3	數據解讀.....	40
4-3.1	Dual 512 Counter/Timer 取數.....	40
4-3.2	數據處理.....	41
第五章	Muon 平均生命期.....	43
5-1	測試實驗.....	43
5-1.1	邏輯經示波器卻認後進行第一次測試.....	43
5-1.2	邏輯經示波器卻認後進行第二次測試.....	44
5-1.3	增加測量時間.....	44
5-1.4	改變訊號寬度 10ns	46
5-1.5	延遲 Start 時間.....	47
5-1.6	所有輸出訊號小於 10ns	48
5-1.7	重新檢查邏輯並將訊號寬度設定 10ns 測試.....	49
5-2	Muon 生命期測量.....	49
5-3	不同時間下的 muon lifetime	50
5-3.1	取樣六天.....	51
5-3.2	取樣三天.....	51
5-3.3	取樣兩天.....	52
5-3.4	取樣一天.....	53
5-4	使用單一探測器測量.....	54
5-4.1	觸發條件與線路.....	55
5-4.2	測量 muon 平均生命期.....	56

第六章 討論.....	58
6-1 二次 plateau 與 threshold 量測.....	58
6-2 閃爍體 B 厚度的功用.....	59
6-3 時間膨脹.....	59
6-4 訂定 18 μs Gate 即 20 μs 停止訊號	59
6-5 實驗延伸與改進.....	60
6-6 第一點測量點(0.5 μs)	61
6-6.1 固定事件數改變訊號間距.....	61
6-6.2 固定訊號間距改變事件數.....	62
參考資料.....	63
附錄 A - 通量測量.....	64
附錄 B - 量測 Muon 生命期實驗數據.....	66
附錄 C - 光電倍增管 Plateau 與 Threshold 矩陣.....	67
附錄 D - 計數器解析.....	71
附錄 E - Root 製作 histogram 與 fitting 程式碼.....	72
附錄 F - Visual Basic6.0 處理數據程式碼.....	73

第一章 簡介

1-1 宇宙射線

1-1.1 何謂宇宙射線

宇宙射線為來自外太空的高能粒子射線，主要由87%的質子、12%的 α 粒子(氦核子)、以及原子核、電子、 γ 射線、超高能微中子等所組成，其動能橫跨了十四個數量級，而不同的能量反應出宇宙射線是由很多不同的源頭產生的。宇宙射線大多產自外太空中恆星內部的核反應，其能量能到達 10^{20} eV，在地球所接受到的宇宙射線大多由太陽產生的，現今越來越多科學家投入宇宙射線的研究。

1-1.2 宇宙射線的發現

1896年法國物理學家亨利·貝克勒(Henri Becquerel)發現放射性後，許多人認為大氣中的電離主要來自地表上土壤中放射性物質或產生出的放射性氣體幅射。19世紀末，英國物理學家查爾斯·威爾遜(Charles Wilson)將驗電器放入密封容器中，內部的空氣濾去塵埃，發現金箔電荷洩漏的情形與在空氣中的洩漏的情形相同，威爾遜當時稱之為「自發電離」。威爾遜覺得「自發電離」的特徵可能由輻射所引起的，他懷疑這種電離可能來自於地球大氣外的放射線所造成，高度越高可能強度會越強，但當時他並沒有到離地表更高的地方測量。

1912年奧地利物理學家赫斯(Viktor F. Hess)帶著電離室，乘著氫氣球上升至五千公尺以上的高空。當氣球開始上升時，輻射所導致的電離因高度的增加而有些微的縮小，但高過2000公尺的高度後，輻射量緩慢地增加，接近5350公尺的高度時，輻射量急速增大，驗電器流失電荷的速率也越快。赫斯也為此現象下結論：「我的觀察結果最好的解釋是設想一種高穿透力的射線從上部進入大氣層。」

在黑斯的實驗之後，許許多多的科學家開始投入其研究，但只能了解到宇宙輻射的增強會隨高度而增加，對於其中的變化卻還不甚了解。1925年美國物理學家密立根(R. A. Millikan)給這些來自於地球外的輻射線定名為「宇宙射線」。

1-1.3 宇宙射線的探測

1911年威爾遜設計雲霧室，將潮濕的空氣裝入空腔內使其膨脹，此過程空氣中的水蒸氣變成過飽和，當空氣中有帶電粒子經過時，造成空氣分子電離，形成「凝結核」，則水蒸氣會在這個凝結核上聚集，如同飛機在高空中飛行時所形成的凝結尾(圖 1-1)。

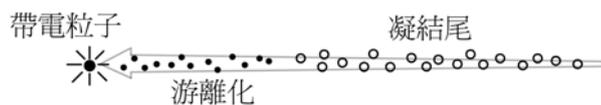
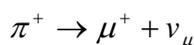
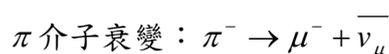
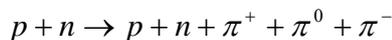
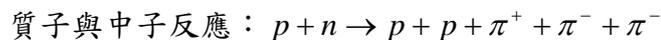
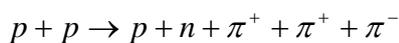
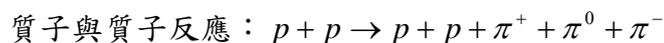


圖 1-1：雲霧室軌跡示意圖

威爾遜將 α 粒子或 β 射入雲霧室內，發現有一特別的軌跡產生(如 α 粒子的軌跡又闊又直， β 粒子較彎曲)，若以 X 射線照射，也能得到相同的結果，因此，雲霧室成為探測帶電粒子軌跡的重要偵測器。

1920 年代，科學家將雲霧室放入強磁場中，觀察宇宙射線的軌跡變化，發現了許多未知的粒子。而在宇宙射線貫穿大氣層同時，會與空氣許多粒子碰撞，產生更多帶電粒子，同時到達離地表的同一高度，散佈在幾百公尺至數十公里的範圍裡，這些過程都在雲霧室中被記錄下來了，科學家們給這個現象稱為「簇射(shower)」。

1930 年代，奧格爾(Pierre Auger)與他的法國同事對簇射做了詳細的研究，當宇宙射線經過大氣層的時，與大氣中的原子核相互碰撞，質子與質子、質子與中子相互反應產生了不穩定的 π 介子(pions)及 K 介子(kaons)，而帶電的 π 介子很快衰變為渺子(muon)及其微中子(ν_μ)。



由於渺子屬於游離輻射，容易被探測器測量，因此本次實驗利用渺子當成測量的粒子。

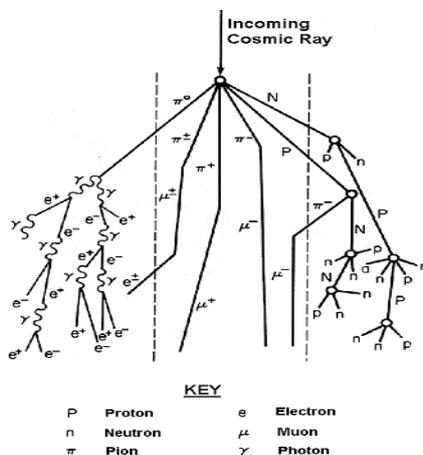


圖 1-2：宇宙射線與空氣接觸示意圖

1-2 Muon

1-2.1 基本粒子

自從人類文明以來，一直在探索什麼是組成這世界的基本單位，中國古老的五行「金、木、水、火、土」；亞里斯多德將元素分類為「空氣、火、水、陸地」。十九世紀初期，英國科學家道耳吞(John Dalton)題出原子說，認為原子是組成所有物質的基本粒子。1897年英國學家湯木生(Joseph John Thomson)證實了電子的存在，打破了道耳吞所推論原子為最小的基本粒子，依續發現了質子及中子，而此基本結構是大部分人所熟悉的質子、中子組成原子核，外面環繞著電子的原子模型(圖 1-3)。

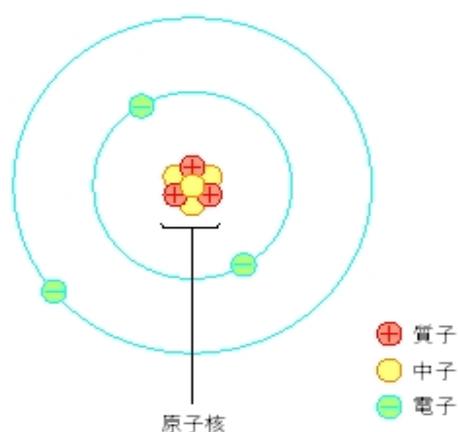


圖 1-3：原子模型

到了 20 世紀，經由科學家不斷的試驗發現了比質子及中子更小的基本粒子，此更小的粒子稱之為夸克，夸克的發現也改變原本的原子模型(圖 1-4)。

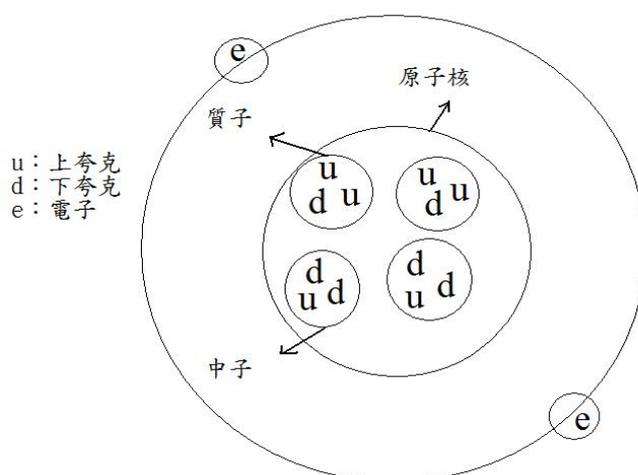


圖 1-4：現代原子模型

夸克總是和其他的夸克成群結隊，而從未發現有單一個存在的。由夸克構成的結合粒子稱為強子。強子可分為重子與介子，重子是由三個夸克(qqq)所組成，如質子由兩上夸克與一下夸克(uud)組成；而介子是由一個夸克與其反夸克($q\bar{q}$)所組成，如 π^+ 是由上夸克與下反夸克($u\bar{d}$)所組成。

另一基本粒子為輕子，早期科學家只發現一輕子，及原子核模型中的電子，爾後陸續發現了不同的輕子。輕子看似點的粒子而且沒有內部結構，其包含了三個帶電及三個不帶電粒子，分別為電子、 μ 介子、 τ 介子及三個不帶電的微中子。

目前夸克、輕子及規範玻色子、希格斯粒子四種粒子為科學家所定義的基本粒子，而本實驗所探測的 muon 隸屬於基本粒子中的輕子。



圖 1-5：夸克與輕子

1-2.2 弱作用力

弱作用力是夸克變成另一種夸克，或是輕子變另一種輕子的過程，此為由較重的夸克和輕子能變成較輕的夸克和輕子的原因，這也是為什麼在我們周遭穩定的物質只包含電子和最輕的兩種夸克(上和下)，弱作用力的攜帶粒子是 W 和 Z 玻色子，原子核的 β 衰變是最先觀察到的弱作用力過程：在一個有足夠能量的原子核中，中子變成質子而放出電子和反電子微中子，這個衰變改變了核的原子數， β 射線就是脫出電子的名字。

弱作用力主要發生在重的夸克和輕子衰變成較輕的夸克和輕子的過程中。當基本粒子衰變時，很怪異的是我們觀察到原粒子消失並且由兩個以上不同的粒子所取代，雖然總質量和總能量是守恒的，但是原來粒子的一些質量轉變成動能並且導致經過衰變後的粒子質量總是小於原來的粒子質量。

Muon 經由衰變後會產生電子及為中子，其衰變過程便有弱作用力產生。

1-2.3 Muon 性質

Muon(μ^-)為一基本粒子，帶負電，自旋為 $1/2$ ，其為不穩定的亞原子，平均壽命為 2.2 微秒，重量為 $105.7 \text{ MeV}/c^2$ ，約為電子的 200 倍，muon 有一反物質 antimuon(μ^+)，電性相反、質量與自旋方式相同。

由於 muon 相互作用與電子非常相似，因此常將 muon 視為一較重的電子，也因為重量較重的原因，muon 經過一電磁場時並不像電子會產生大量的輻射，基於這個原因，muon 可以穿透的深度遠遠超過電子，而宇宙射線與大氣層接觸後產生的 muon 能夠穿過大氣至地表上甚至穿過地層，因此測量宇宙射向時，探測 muon 比探測電子容易。

1-2.4 Muon 發現

1936 年由卡爾·安德森(Carl D. Anderson)研究宇宙射線時發現有一種粒子穿過磁場時彎曲的形態與已知的粒子不同，它的彎曲度比電子小，卻比質子大。安德森推斷這種粒子有與電子相同的電荷，而質量則在電子和質子之間。故他命名此等粒子為「Mesotron」，意為「中間的粒子」。不久，有電子和質子質量之間的粒子陸續被發現，而這些粒子統稱作「介子」。Mesotron 改名為「 μ 介子」。可是 μ 介子與其他介子十分不同，例如它衰變時會放出一中微子和反微中子，而非如其他介子般放出二者其一。這顯出 μ 介子並不是介子，而此名亦遭廢棄，後改稱作「渺子」。

1-2.5 Muon 衰變

Muon 是一不穩定的基本粒子，比電子及微中子重，但輕於其他所有粒子，衰變後經由弱交互作用產生了一個電子和兩個微中子，有時也會夾帶著不帶電的粒子，如光子、正負電子對等。基於輕子守恆定率，一個 muon 粒子會衰變成一個 muon 微中子及電子與其微中子，如圖 1-6 所示

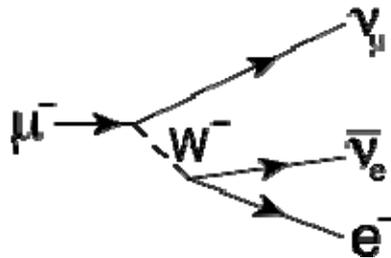


圖 1-6：muon 衰變反應(W：弱作用力載力粒子)

無論 μ^+ 或 μ^- 生命週期皆為 $2.197 019 \pm 0.000 021 \mu s$ ，但 μ^- 有兩種形式進行衰變，其一為 μ^- 粒子被原子核的正電吸引而產生的衰變，放出中子與微中子，

而被原子捕捉住的機率與原子序大小成正比；另一形式則為自發的衰變，產生電子及其微中子和 μ 的反微中子 $\mu^- \rightarrow e^- + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$ 。而 μ^+ 則只有自發的衰變

$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$ 。Muon 的自發衰變約佔所有衰變模式的 98.6%，其他模式如

$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu + \gamma$ 約佔了 1.4%。由於 μ^- 與質子之間有弱交互作用力的關係，生命週期會比 μ^+ 小。

測量 muon 生命週期另外可證明時間膨脹：假設大氣層離地表距離為 $9 \times 10^3 \text{ m}$ ，而 muon 速度約為光速 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，可知宇宙射線在大氣層反應產生 muon 後飛行至地表所需時間為 $\frac{9 \times 10^3 \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} = 30 \mu\text{s}$ ，比理論預估生命期 $2 \mu\text{s}$ 還要大許多，因此能測得 muon 必須符合相對論中的時間膨脹。

1-2.6 衰變(Decay)

假設 $N(t)$ 為隨時間變化的函數，即在某一時間中的粒子個數；衰變速率 (decay rate) 定義為單位時間內粒子變化個數 $(-\frac{dN(t)}{dt})$ ，可視為 N 個粒子數中有多少比例會進行衰變，即 $-\frac{dN(t)}{dt} = \lambda N$ ，其中 λ 為衰變比例常數。將此方程式對時間積分後可得 $N(t) = Ce^{-\lambda t}$ ， C 為積分常數，假設粒子數一開始有 N_0 個，即在衰變時間 $t=0$ 時之個數，則此時 C 將付與物理意義， $C = N_0$ ，方程式將寫成 $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ 。

若為單一粒子，則可定義一的 τ 為平均生命期(mean lifetime)，而 $\tau = \frac{1}{\lambda}$ ，可將方程式寫為 $N(t) = N_0 e^{-t/\tau}$ 。所測量的總 muon 粒子數為未知，但 muon 衰變為機率問題，表示若有大量的 muon 粒子在某一秒內能衰變的粒子數會依照一定的比例進行衰變，因此可藉由測量不同時間內所占有的數量，回推計算出粒子總數，此時 $N(t)$ 、 N_0 及時間 t 皆可知，可推得平均生命期 τ 。

第二章 實驗儀器

2-1 Scintillation Detector

閃爍體受帶電粒子或放射物質射入後，會損失部分能量將閃爍體的分子或電子激發至高能階，並在短時間(10^{-8} s)回到基態而釋放出螢光(fluorescence)，經由光電倍增管將光訊號轉換成電子脈衝訊號並加以放大，成為能被儀器分析的訊號，此為閃爍體探測器基本結構，探測器廣泛使用在粒子物理的探測中。



圖 2-1：閃爍體探測器

2-1.1 Scintillator

閃爍體是一種吸收高能電磁波或帶電粒子輻射而激發放光子的物質，當具有相當能量的帶電質點進入閃爍體後，帶電質點部分的能量會將閃爍體中的價電子自價電帶躍升至導電帶並留下電洞在價電帶內，使閃爍體中的原子處於激發態，時間停留極短(10ns)，接著迅速的帶電質點回到價電帶中，閃爍體由激發態回復至基態，此時會釋放出適當能量的光子，稱為磷光現象，為主要閃爍體反應機制。

閃爍體可提供很多不同的訊息，其中的特點有：

1. 對能量的變化敏感
2. 反應時間很快
3. 可利用閃爍體產生的訊號來判別射入粒子的種類

閃爍體可分為有機閃爍體及無機閃爍體，前者主要以苯環結構為主，優點是反應時間短(約幾 ns)；後者主要組成結構為鹵化物晶體參雜一些活化劑，其優點為藉由本身高密度的特性阻擋能量大的粒子，使閃爍體接收粒子的能量提高，可縮小閃爍體的體積達到相同效果，但無機閃爍體反應時間相對較長(約幾百 ns)，不同性質的閃爍體可依照實驗所需選擇適當的特性使用。

好的閃爍體必須具備以下條件：

1. 能有效率的將粒子的能量轉換成螢光輻射
2. 需要有良好的透光度以便傳輸放出的螢光
3. 激發出的光譜必須能在光電倍增管能反應的範圍

4. 衰減時間短(放出螢光時間)

本次實驗採用有機中的塑膠閃爍體，其結構與有機液體閃爍體類似，由溶劑、溶質和波長轉換劑三部分組成，不同的是塑膠閃爍體的溶劑在常溫下為固態，其特點為可塑性高，容易加工處理，且價格便宜，因此常在實驗中被廣泛使用。通常閃爍體外會用一層黑色物體包裹住，其目的是為了防止光線由閃爍體向外漏出與外界的光線射入閃爍體。



圖 2-2：閃爍體

2-1.2 Light Guides

受於閃爍體的形狀或電磁場作用的關係，閃爍體發出的螢光無法完全被光電倍增管所接收，因此需要借由光導將閃爍體所發出的螢光導入光電倍增管中。光導必須為透光度好，且材質性質與閃爍體接近，經加工成閃爍體及光電倍增管所能接收的形狀，連接於閃爍體與光電倍增管之間，當光的入射角度大於 Brewster 角時，會產生內反射而使光不會向外散射而是在光導裡繼續進行反射至光電倍增管。



圖 2-3：光導

2-1.3 Photomultiplier Tube

由閃爍體內產生微弱的螢光後，必須藉由光電倍增管將微弱的光轉換成能被儀器分析的電訊號。光電倍增管的結構主要分為兩部分，其一為光敏感層 (Photosensitive Layer) 或稱為光陰極 (Photocathode)；另一為電子倍增器的結構組合。光陰極的功能是將入射的光子利用光電效應、康普吞效應、成對產生效應轉換成低能量的電子。由於一般光電轉換只能產生出數百個光電子，數量太少而無法成為實用的訊號，所以必須經過電子倍增器增加電子的數量將訊號放大，經過倍增器放大後的電子數量可達到 $10^7 - 10^{10}$ 個電子，此數量已足可以形成一電訊號進行測量。一般而言，良好的光電倍增管具有良好的線性放大特性，脈衝輸出與原使光電子的數量維持正比的關係，對時間性而言，最多會有 20-50ns 的延遲時間。

電子倍增器的結構包含了多級的次陽極與陽極部分，次陽極是具有加速光電子與電子放大的功能，第一極次陽極與光陰極間維持有一定的電位差，使由光陰極放出的電子經聚焦後往第一級次陽極行進，次陽極與次陽極之間也具有電位差，加速的電子每經過一級會因撞擊次陽極上的材料(如 GaP(Cs))而產生更多電子。經由連續幾級的放大，電子數量由指數倍比例成長，最後由陽極部分將所有的電子收集形成一可分析之訊號。

光電倍增管需供給高壓使次陽極產生電位差放大電子數量，電壓供給太小會導致較弱的訊號因放大不足的關係無法使儀器分析，電壓供給過大，會使光電倍增管本身電路所產生出的雜訊因過度放大而倍儀器所接受，影響探測，因此使用光電倍增管進行探測之前必須找一電壓使其能平穩的工作，不會遺漏過小的訊號及排除過多的雜訊。

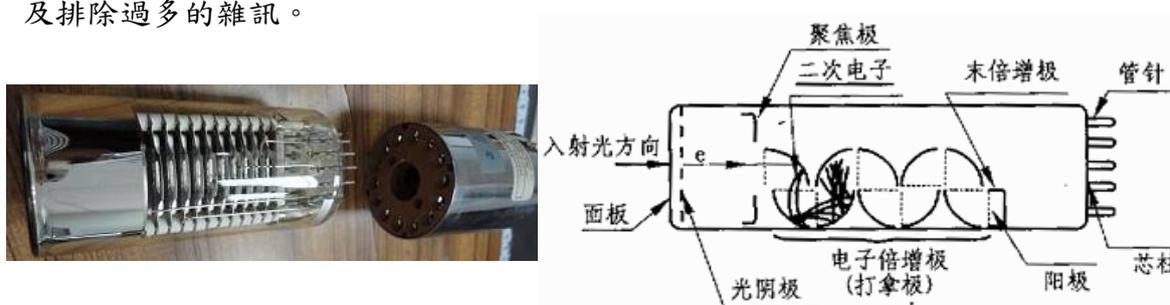


圖 2-4：光電倍增管

2-2 Nuclear Instrument Module (NIM)

NIM 為核物理及高能物理組織在 1964 年所建造出第一個規範儀器形式及用電模組，其目的是提高電子儀器中的流通性及廣用性，便於更新維護及減少工作量所訂定的標準規格。

NIM 提供 $\pm 6V$ 、 ± 12 和 ± 24 幅的直流電源，其連接電源必須是 $\pm 6V$ 的直流電壓或 220V 或 110V 交流電壓，最低標準寬度為 1.35 英寸 (3.43 厘米)，高度為 8.75

英吋 (22.225 厘米)，這些規範使各個模組能夠在同一個模組箱下使用，可依照實驗需求更換不同模組，提高了機動性及便利性。(以下由右至左進行介紹)

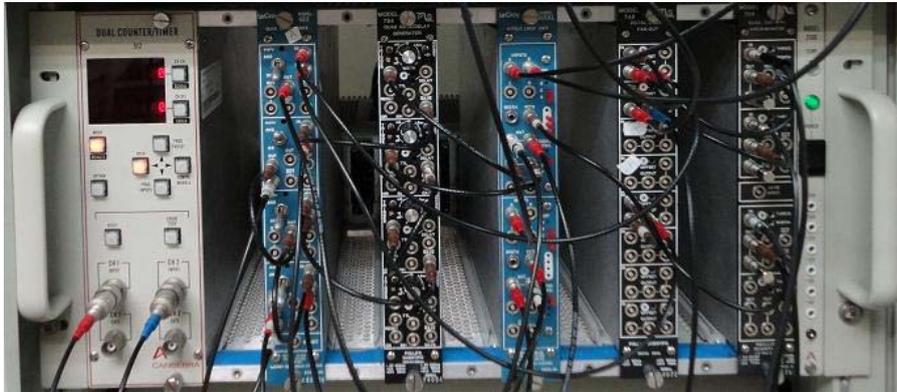


圖 2-5：NIM 儀器組

2-2.1 Discriminator

鑑別器主要的功用是過濾不必要的訊息，利用調整 threshold 的高度，當探測器所產生類比訊號大於 threshold 的值時，鑑別器會將類比訊號轉換成數位訊號；若類比訊號的值小於 threshold 的值時，則不會有訊號產生，此方法可以過濾由儀器或外界所產生出的雜訊。

鑑別器所產生出的邏輯訊號可調整寬度，threshold 的值為了方便測量，使用三用電表測量時通常會放大 10 倍，因此實際值必須為三用電表所顯示出的值少十倍。

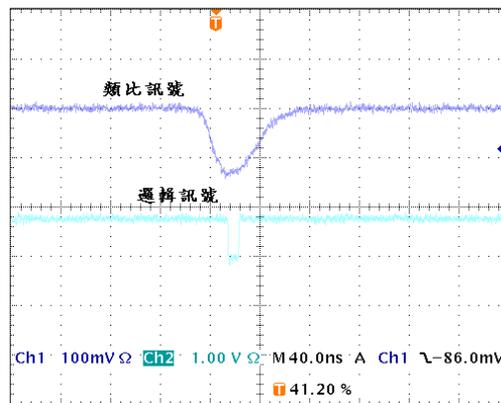


圖 2-6：由 Discriminator 所產生之邏輯訊號

2-2.2 Linear Fan-in/Fan-out

Fan-in 為輸入多個訊號，將各個訊號相加並輸出，而 Fan-out 則是輸入一個訊號，將訊號複製成多個輸出至不同的儀器上，以便探測使用。

Fan-in 和 Fan-out 分成線性及邏輯兩種不同形式，前者可接收線性及邏輯訊號，後者只能接收邏輯訊號，使用時依實驗需求作選擇。

2-2.3 4-Fold Logic Unit

4-Fold Logic Unit 可輸入最多四個訊號作「And」的運用及一個 veto 作訊息是否採用的判別。當「And」有不同的設定時可有不同訊號的邏輯組合，如有四個訊號，而「And」只設定為兩個時，表示四個訊號中任兩個訊號同時產生則會輸出一訊號；當 veto 的訊號產生時，則不會有訊號輸出，可用來作邏輯上的判別。

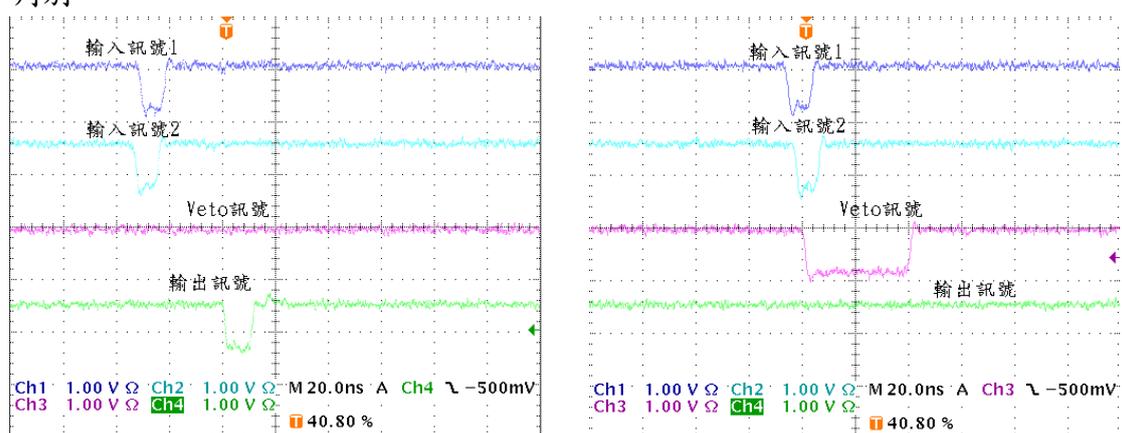


圖 2-7：Veto 訊號與輸出訊號關係

2-2.4 Gate and Delay Generator

當一訊號輸入 Gate Generator 時，依照實驗所需調整 Gate 寬度，輸出一邏輯訊號，其寬度範圍可由數十奈秒至幾秒。Delay Generator 則是將輸入的訊息經過時間延遲再輸出。

2-2.5 Quad Coincidence

Quad Coincidence 主要用於邏輯上的判別，分別為 and 以及 or。and 為兩訊號在同時間輸入，會有一訊號輸出，若兩訊號在不同時間內輸入，則不會有訊號輸出；or 不論兩訊號輸入的時間是否一致，當有一訊號輸入是便會產生一訊號，若兩訊號幾乎同時輸入時，僅會產生一訊號，此與輸入的訊號寬度有密切的關係。無論 and 或 or 皆可調整輸出訊號的寬度。

2-2.6 Dual Counter/Timer

計數器以及計時器，有兩個 channel 可使用，依照不同實驗可有不同的搭配進行使用，本次實驗使用兩種模式，一為 CH1 進行驅動，CH2 進行計數；另一則為 CH1 驅動，CH2 計時。

2-3 Delay Box

Delay Box 主要功用為延遲輸入訊號的時間，範圍由 0.5ns 至 63.5ns，適當的延遲能使儀器在邏輯上的判斷更加準確。



圖 2-8：Delay Box

2-4 Clock

為一 100MHz 的訊號產生器，經過頻率與時間的換算可推得所得計數之對應的時間，因 Dual Counter/Timer 最小時間單位到 $0.1 \mu\text{s}$ ，而利用 Clock 換算的時間可至 $0.01 \mu\text{s}$ ，因此只用 Clock 增加實驗的精準度。



圖 2-9：Clock

2-5 Power Supply

電源供應器，主要提供光電倍增管的工作電壓，有四個通道可應用，可限制最大值，其電壓可提供最高至 5000V。使用三用電表所測量的電壓值必須在乘以 1000 才是實際電壓值，此設計主要為了保護三用電表避免接出太高的電壓造成損毀。

2-6 Root

1990 年代中旬由 René Brun 與 Fons Rademakers 所開發的作圖軟體，主要為高能物理數據分析為主，以 C 與 C++ 語言為主體，可畫直方圖、X-Y 圖、2D、3D 等圖形，此實驗數據以此軟體進行分析。

第三章 閃爍體探測器設置

3-1 閃爍體擺放



圖 3-1：閃爍體擺放位置圖

由上而下分別為編號 A、B 及 C，A 與 C 閃爍體厚度為 1cm，B 閃爍體厚度為 5cm，三片閃爍體面積皆約 800 平方公分。

3-2 Threshold 範圍設定

閃爍體探測器產生的脈衝訊號並非所有的訊號皆能使用，必須利用 threshold 的調整來過濾因電路影響或外界干擾的雜訊。Threshold 也會因供給的電壓不同而導致雜訊大小的不同來調整，以下為測定 threshold 步驟：

1. 依照圖 3-2 所示，將儀器連接完成

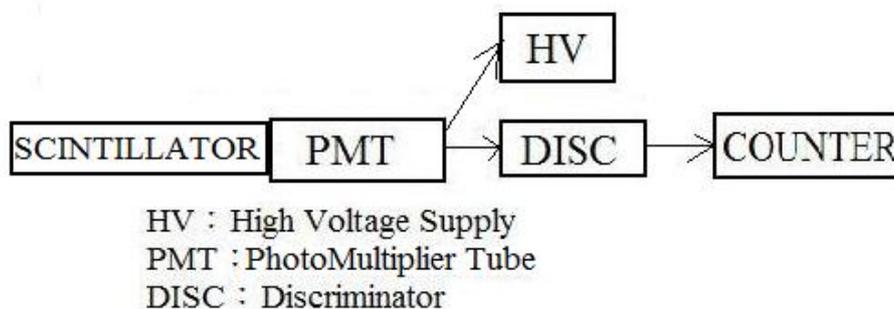


圖 3-2：測量 threshold 之線路圖

2. 固定電壓改變不同的 threshold，由 10mV、20mV 依續往上調整並測量 3 分鐘之計數
3. 由 threshold 對 3 分鐘計數作圖，觀察圖形並推斷 threshold 值
4. 改變不同電壓重複 2. 和 3. 的步驟測量

本次訂定 threshold 的動作共進行兩次，第一次控制變因條件較為粗糙，第二次較嚴謹。考慮測定第二次的原因是進行 muon lifetime 的探測時訊號與推測的狀況不相同，尋找可能原因而猜測是否因 threshold 值定太高使較小的訊號衰變訊號被過濾而無法偵測。

3-2.1 Threshold 第一次測量

條件：電壓：800V ； 測量時間：3 分鐘

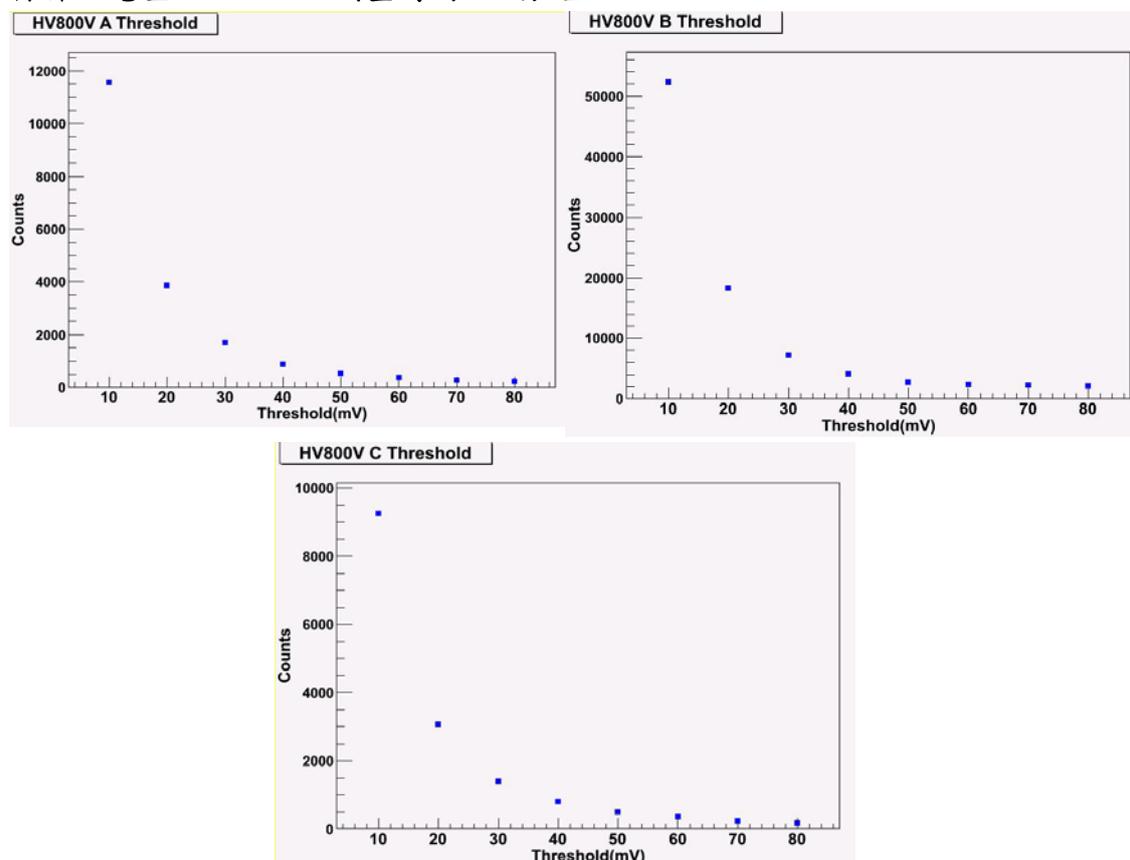


圖 3-3：電壓 800V A、B、C Threshold 與計數圖

依照圖形所示，A、B、C 三個探測器在 30mV 與 50mV 之間斜率開始由陡峭趨於平緩，此為 threshold 可過濾雜訊，且不會因限制太高而導致較小的訊號無法偵測，由圖可將 threshold 預訂於 30mV 至 50mV 之間。

條件：電壓：1000V ； 測量時間：3 分鐘

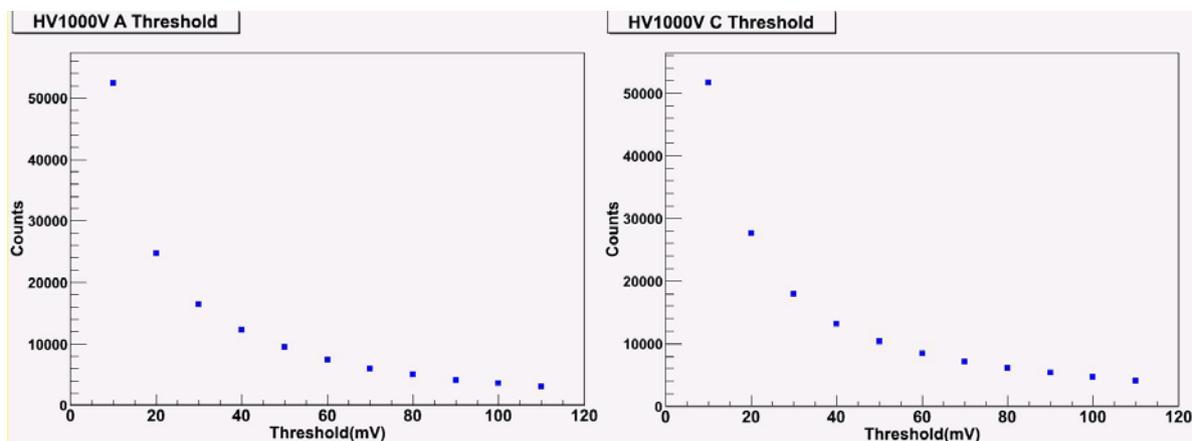


圖 3-4：電壓 1000V A、C Threshold 與計數圖

提高 A 與 C 的電壓進行 threshold 的測定主要原因為 B 探測器在 threshold 30mV-40mV 進行工作電壓平區的測定時有明顯的趨勢，而 A 與 C 並沒有明顯的平區產生，因此考慮調高電壓再進行 threshold 的測定。

由圖顯示 A 與 C 於 30mV 至 50mV 斜率開始趨近於平緩，但 50mV 以後的計數相對比 800V 時提高。

條件：電壓：800V ； 測量時間：3 分鐘 ； Coincidence：A and C

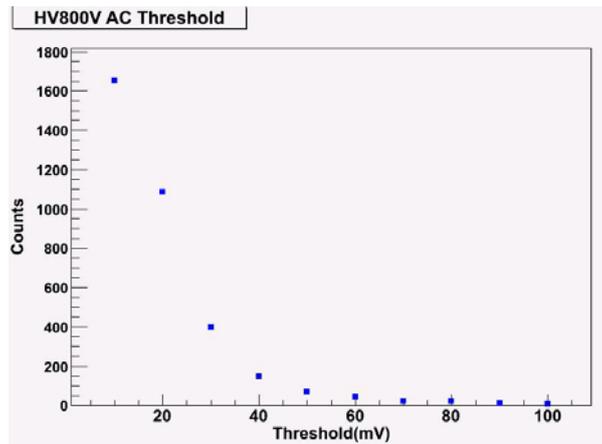


圖 3-5：A⊗C Threshold 與計數圖(⊗：邏輯 and)

A、C 重訂 threshold 後，仍無法測出工作區平坦的圖形，因此嘗試將 A、C 作 and，此方法可以過濾部分單獨探測器所產生的雜訊，A 與 C 同時被粒子穿過將會有訊號輸出。圖中可推得 threshold 約在 30mV-50mV 之間。

條件：電壓：800V ； 測量時間：3 分鐘 ； Coincidence：A and C(A、C 重疊)

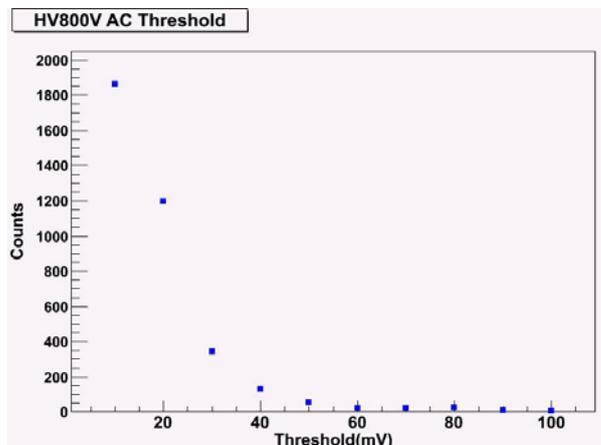


圖 3-6：A⊗C(重疊) Threshold 與計數圖(⊗：邏輯 and)

考慮 A 與 C 之間有一探測器 B 會影響粒子穿過的效率，因此將 B 拿掉使 A、C 重疊，發現影響的狀況並不是很明顯，雖然在低 threshold 有增加的狀況，但到了 30mV 以後差距並不大，可知中間隔了一個探測器 B 時，大部分的粒子還是可以穿越 B 後被 C 探測器所探測。



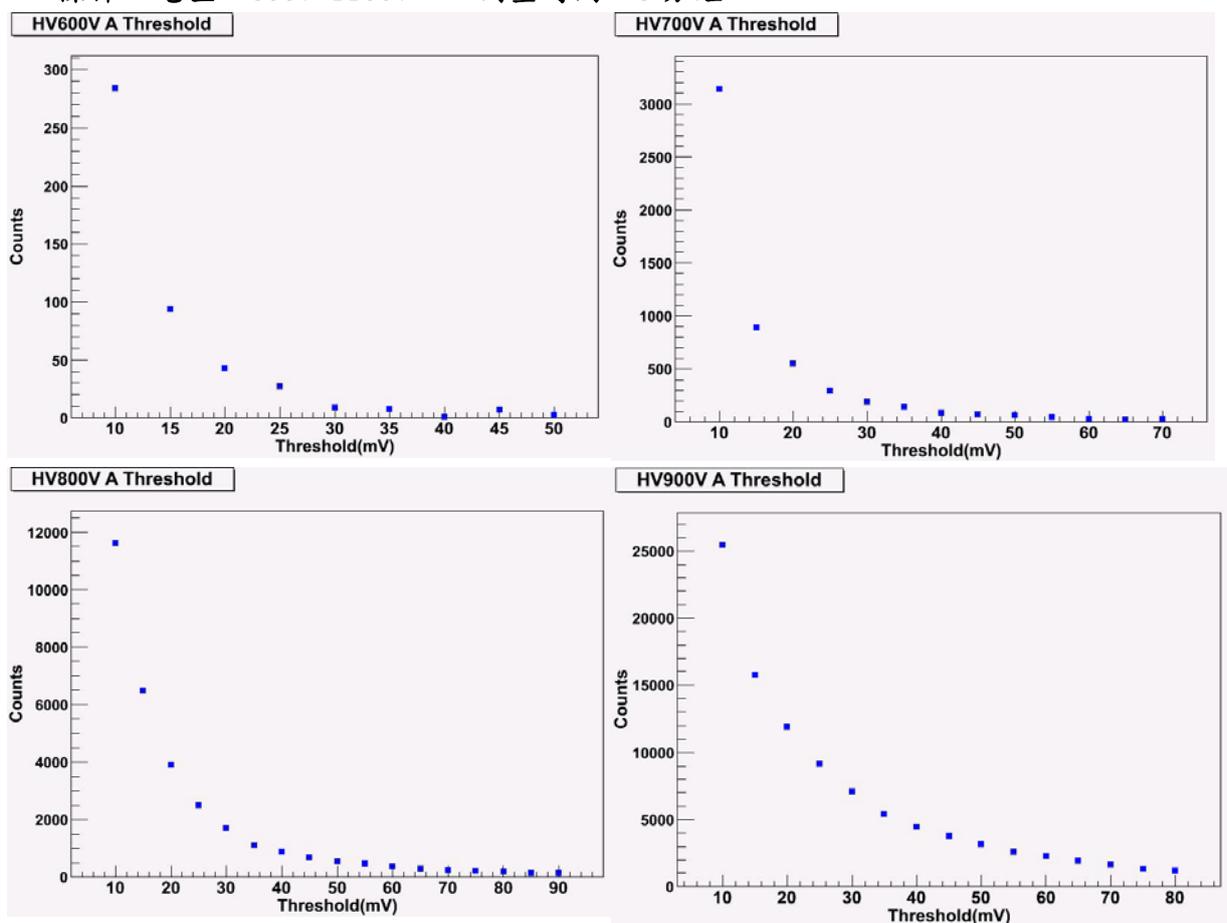
圖 3-7：A⊗C 重疊配置圖

3-2.2 Threshold 第二次測量

第一次測量只取了 800V 與 1000V 作 threshold，並不是由低電壓慢慢改變至高電壓觀察圖形變化的情況，實驗進行至量測 moun lifetime 時遇到了訊號無法出現理想推測的情況，因此回歸到基本的設定推測可能 threshold 因沒有嚴謹的測量造成實驗不準的情況，於是進行第二次 threshold 的量測

PMT-A

條件：電壓：600V-1100V ； 測量時間：3 分鐘



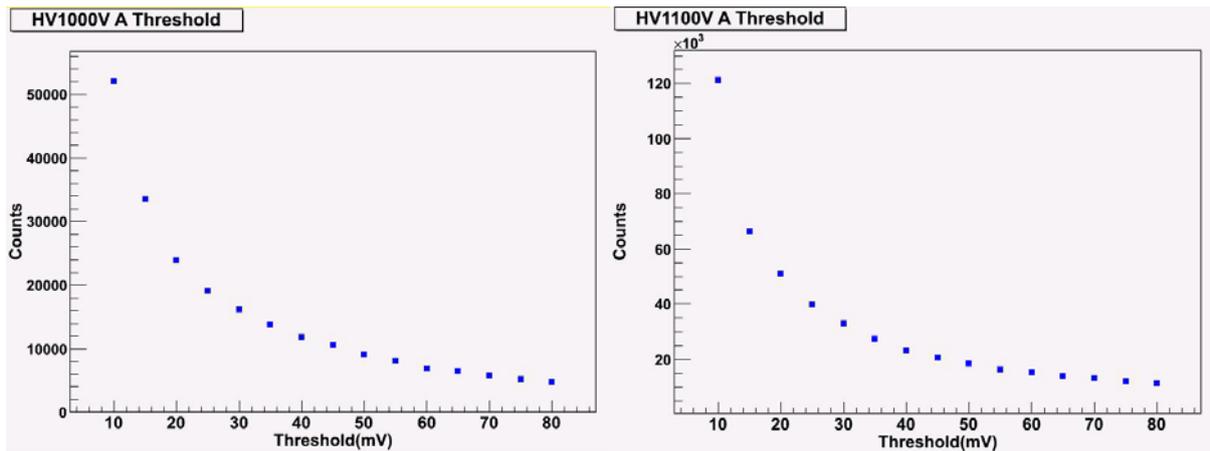
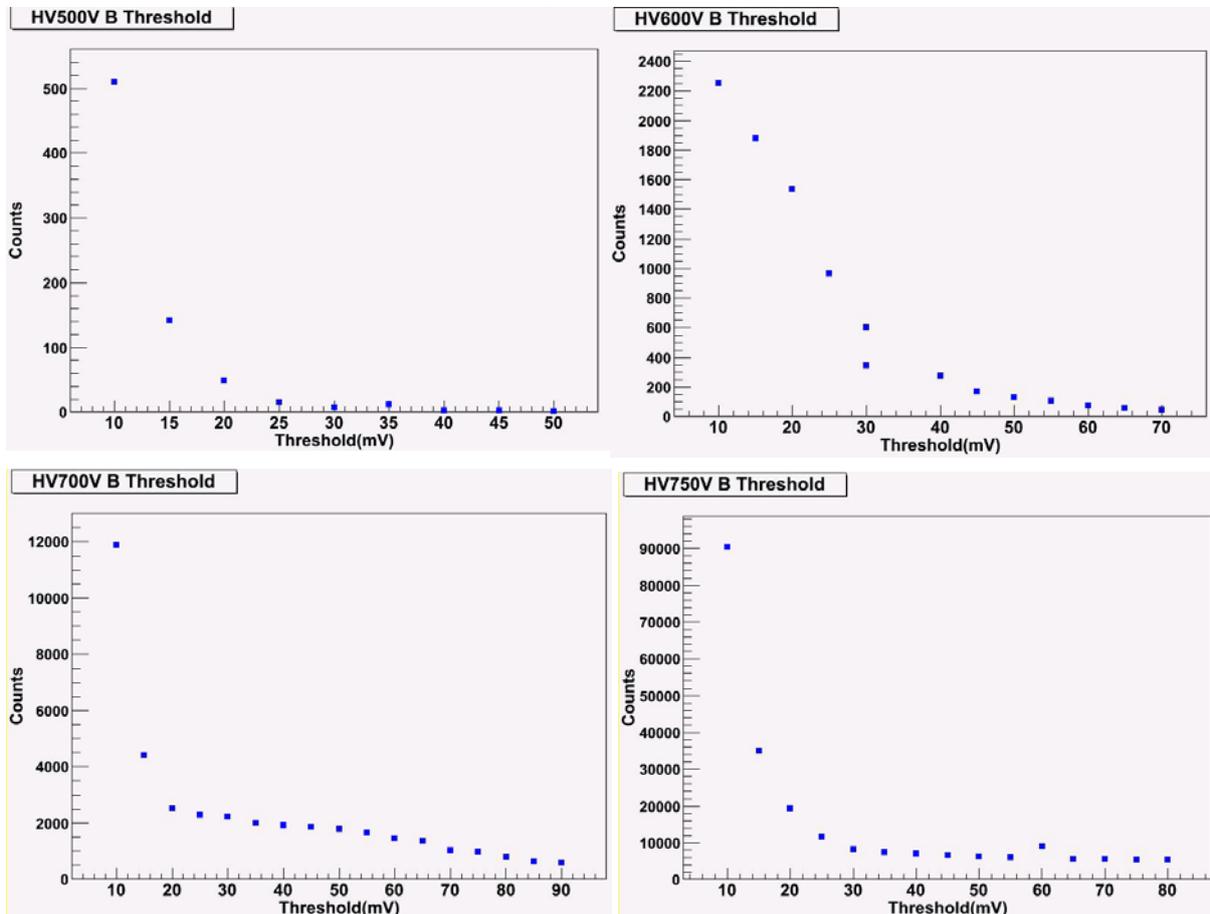


圖 3-8：PMT-A 不同電壓時 Threshold 與計數圖

電壓越高因訊號通過的量越多，由圖可知於 1000V 與 1100V 計數明顯比前面較低電壓的部分多了許多，斜率變化也較不明顯，可發現電壓越高，斜率由頃斜趨向平緩的部分也會跟著提高，表示電壓越高必須由較高的 threshold 進行篩選。600V-800V 的部分 threshold 可訂於 20mV 到 40mV，900V-1100V 可訂於 30mV 至 50mV。

PMT-B

條件：電壓：500V-900V ； 測量時間：3 分鐘



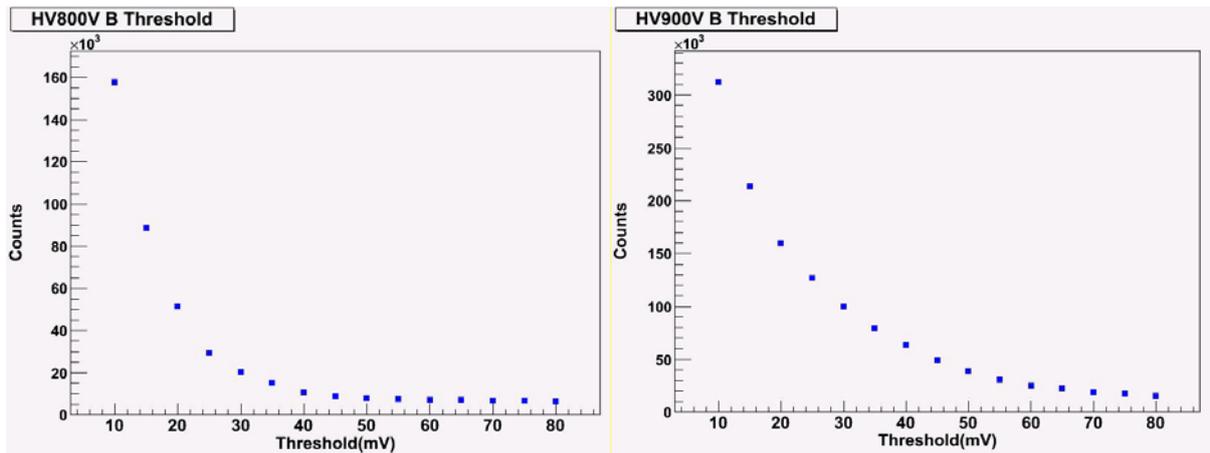
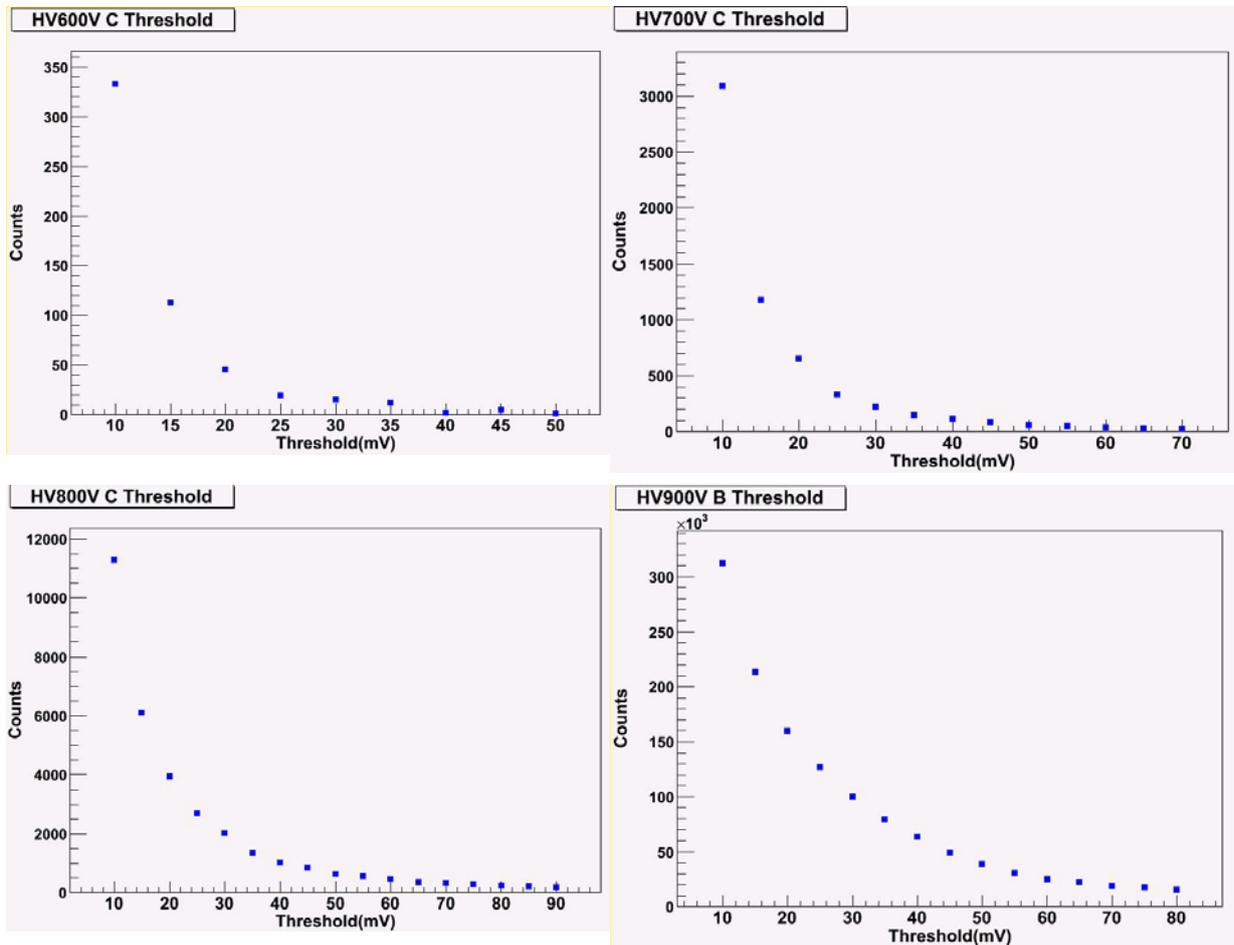


圖 3-8：PMT-B 不同電壓時 Threshold 與計數圖

訊號在 500V-700V 之間不穩定，圖形趨勢不如理想狀況，750V 以上後圖形才近似圓滑的曲線，由 800V 與 900V 的圖推得 threshold 訂於 30mV-40mV。由計數量與通量比較，推測 PMT-B 所測得的訊號數量會較多，可能會有許多雜訊加在其中，因此考慮可將 threshold 的值調比預估的高一些進行測量。

PMT-C

條件：電壓：600V-1100V；測量時間：3 分鐘



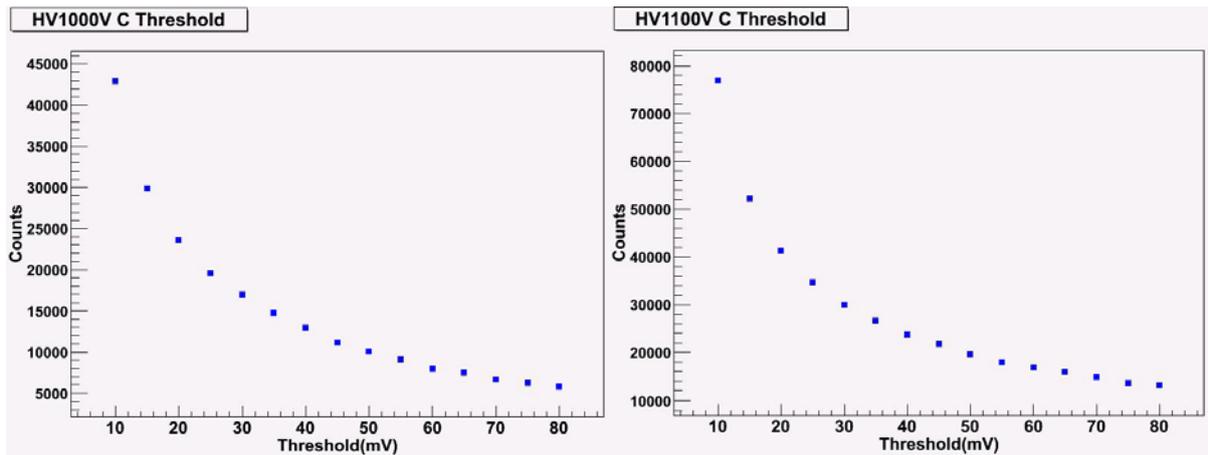
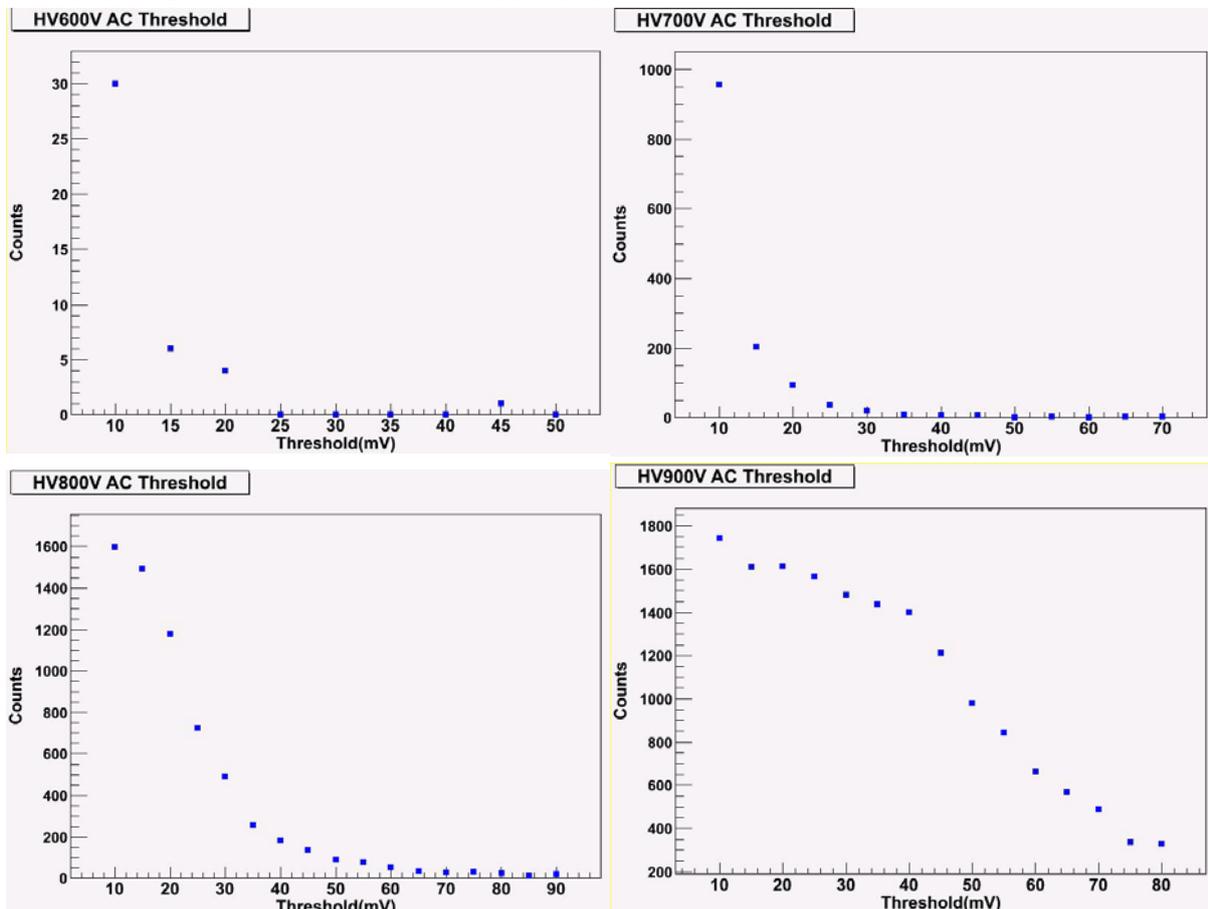


圖 3-9：PMT-C 不同電壓時 Threshold 與計數圖

PMT-C 圖形趨勢與 PMT-A 的圖類似，由此可猜測 A 與 C 的光電倍增管效率為差不多的狀況，threshold 的值也大約在 30mV 至 50mV，可將 A、C 倍增管視為相同條件而進行 Coincidence A and C，將其視為同一個 PMT 進行 threshold 測定，雖然 Coincidence A and C 會過濾掉大部分的訊號而無法與單一個探測器的狀況相比較，但主要目的是找出可以區分訊號及能使訊號在依穩定的情況下進行分析，所以可以利用此法找出 A 與 C 的 threshold 值。

PMT-A ⊗ C (⊗：邏輯 and)

條件：電壓：600V-1100V；測量時間：3 分鐘；Coincidence：A ⊗ C



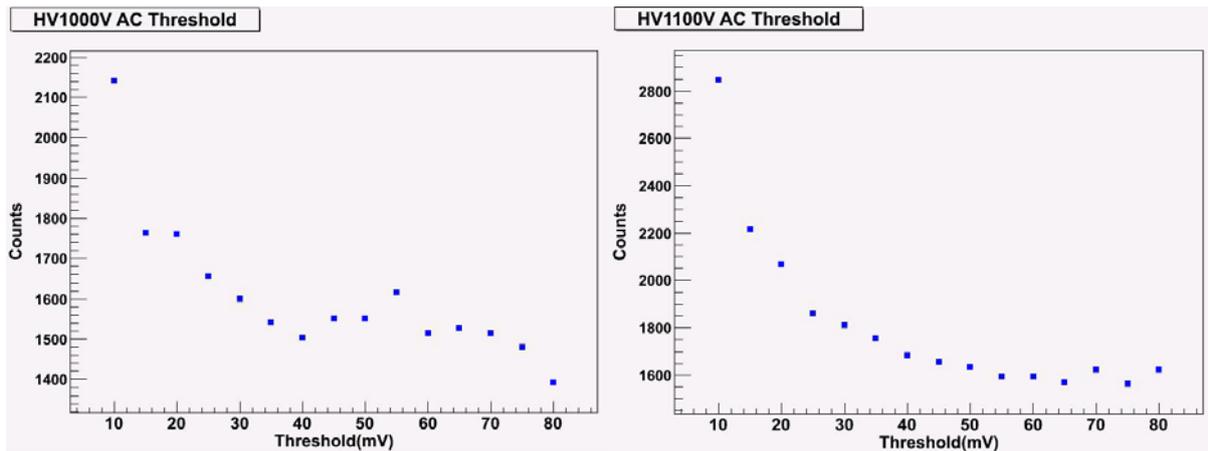


圖 3-10：PMT-A⊗C 不同電壓時 Threshold 與計數圖(⊗：邏輯 and)

由圖形可知 900V 與 1000V 的趨勢與以往所認知的不太相同，推測可能在此狀況下個別的雜訊出現的時間剛好一致，導致 A、C 作 and 時也能同時測到本身的雜訊，因此在 900V 時計數並沒有突降的趨勢，而在 1000V 時會有不穩定的曲線產生，小於 900V 與大於 1000V 的圖形並有此現象發生，才以個別雜訊方向思考。

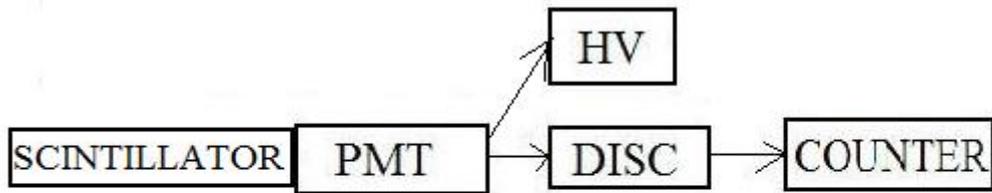
結論：

總括所有圖形 A、C 探測器 threshold 範圍大約在 30mV-40mV 之間，B 於 30mV-50mV 之間，由於 threshold 的大小也會隨電壓的不同而改變，因此必須在所訂定的範圍內進行工作平原區的測量才能作最後的確定。

3-3 工作平區(Plateau)的測量

光電倍增管輸出訊息會因電壓的強弱而產生不同大小的脈衝振幅，在入射強度相同的條件下，某一特定範圍的電壓中，光電倍增管所輸出的訊號多寡較不會因電壓的改變而有明顯的變化。當由電壓的變化對計數作圖時，通常計數值會因電壓的增大而增加，但在此範圍的電壓中，電壓增加時，計數增加的幅度並不明顯，連接線段近似水平線，稱為工作平區，其意義表示此電壓範圍內所偵測到的訊號為一穩定的訊號，輸入較小的訊號能夠越過 threshold 被儀器解析，光電管本身擁有的雜訊不會因放大越過 threshold 而影響分析的狀況，於此範圍電壓進行實驗較能接收到正確的訊號。測定工作平區的方法如下：

1. 儀器如圖 3-11 連接完成



HV : High Voltage Supply
 PMT : PhotoMultiplier Tube
 DISC : Discriminator

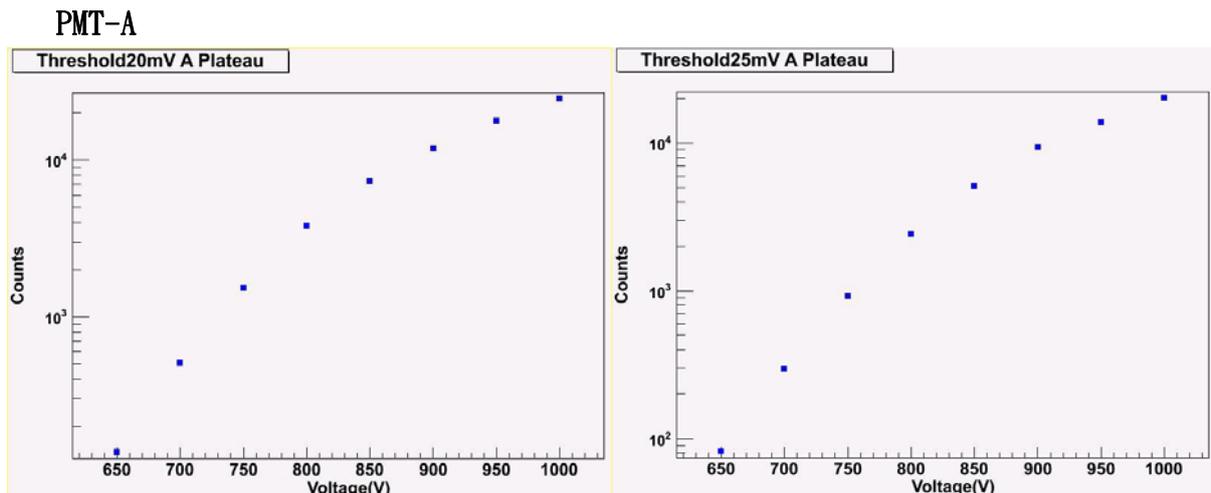
圖 3-11：測量 threshold 之線路圖

2. 固定一 threshold 值，改變不同電壓在固定時間內計數
3. 由電壓的大小對計數值作圖，觀察位於平區時電壓的範圍
4. 改變不同的 threshold 值重複步驟 2. 和 3.
5. 由 threshold 與 plateau 圖形的觀察訂定實驗時工作的電壓與 threshold

尋找工作平區與測定 threshold 情況相同，進行了兩次動作，第一次尋找工作區的控制變因不嚴謹，並無良好的規劃而是經由判定的 threshold 範圍隨機增加或減少的情況下尋找工作平區，因此當測量 muon lifetime 無法達到所預測的結果時，考慮是否因不在工作電壓內進行測量的原因，於是進行了第二次的測量。

3-3.1 工作平區(Plateau)第一次測量

條件：Threshold：20mV-40mV ； 測量時間：3 分鐘 ； 間隔：100V 測量一次



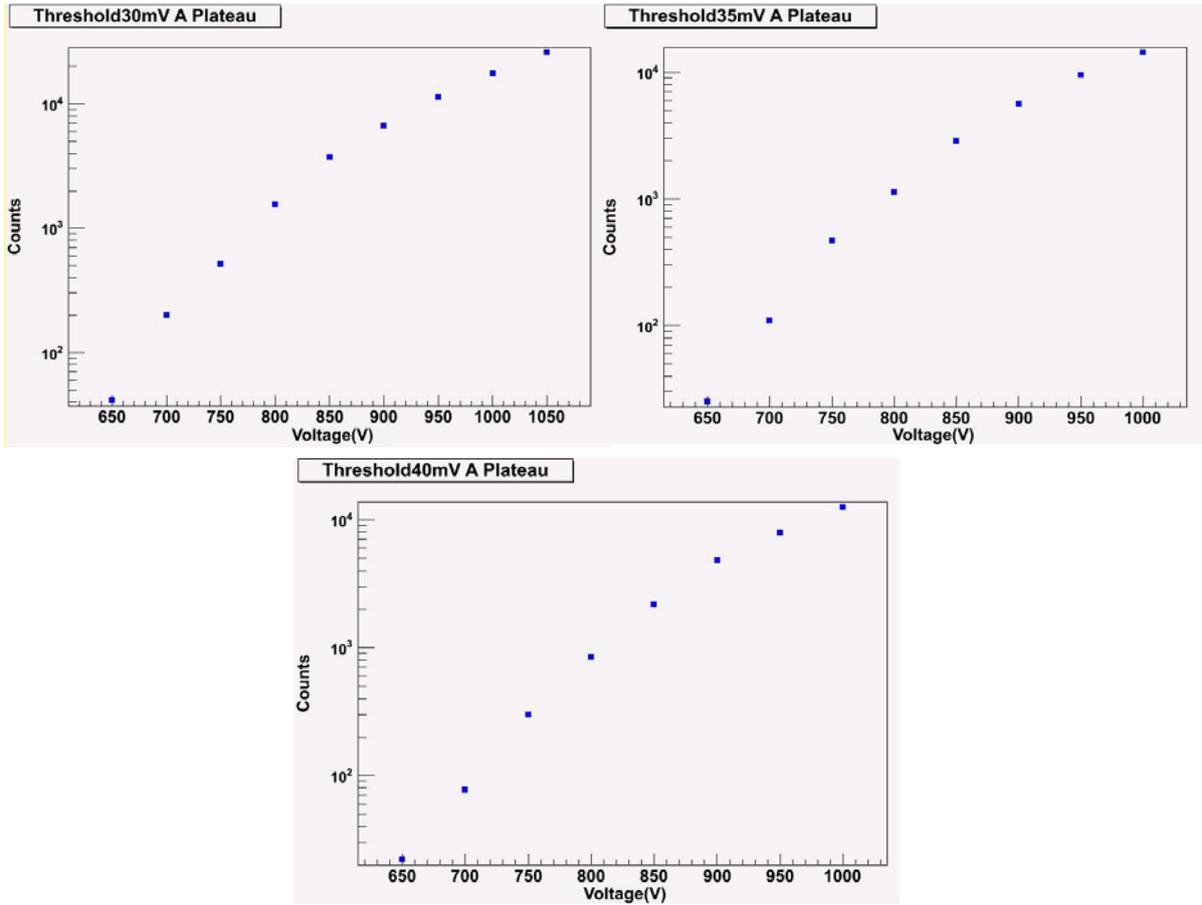
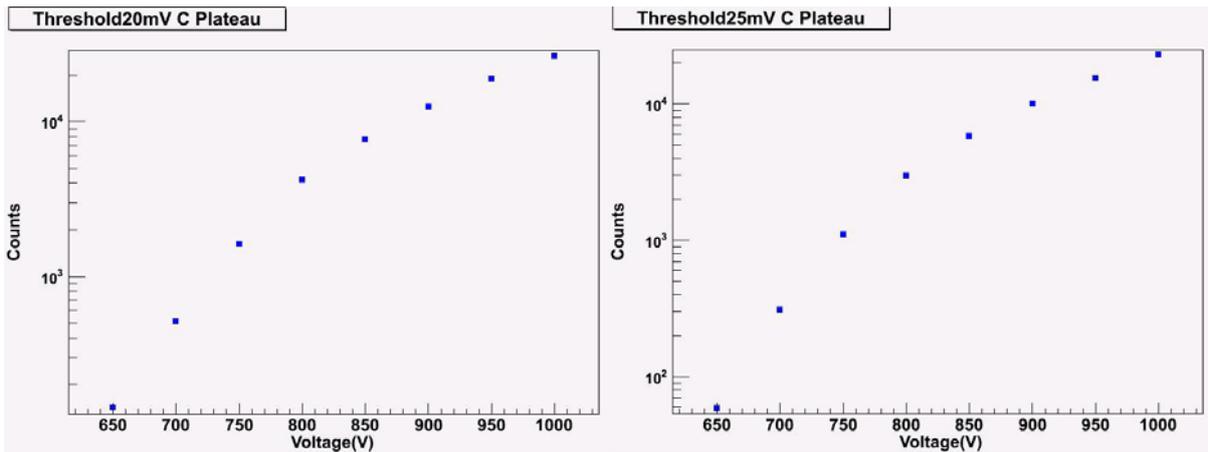


圖 3-12 : PMT-A Threshold 20mV-40mV 時電壓與計數圖

PMT-C



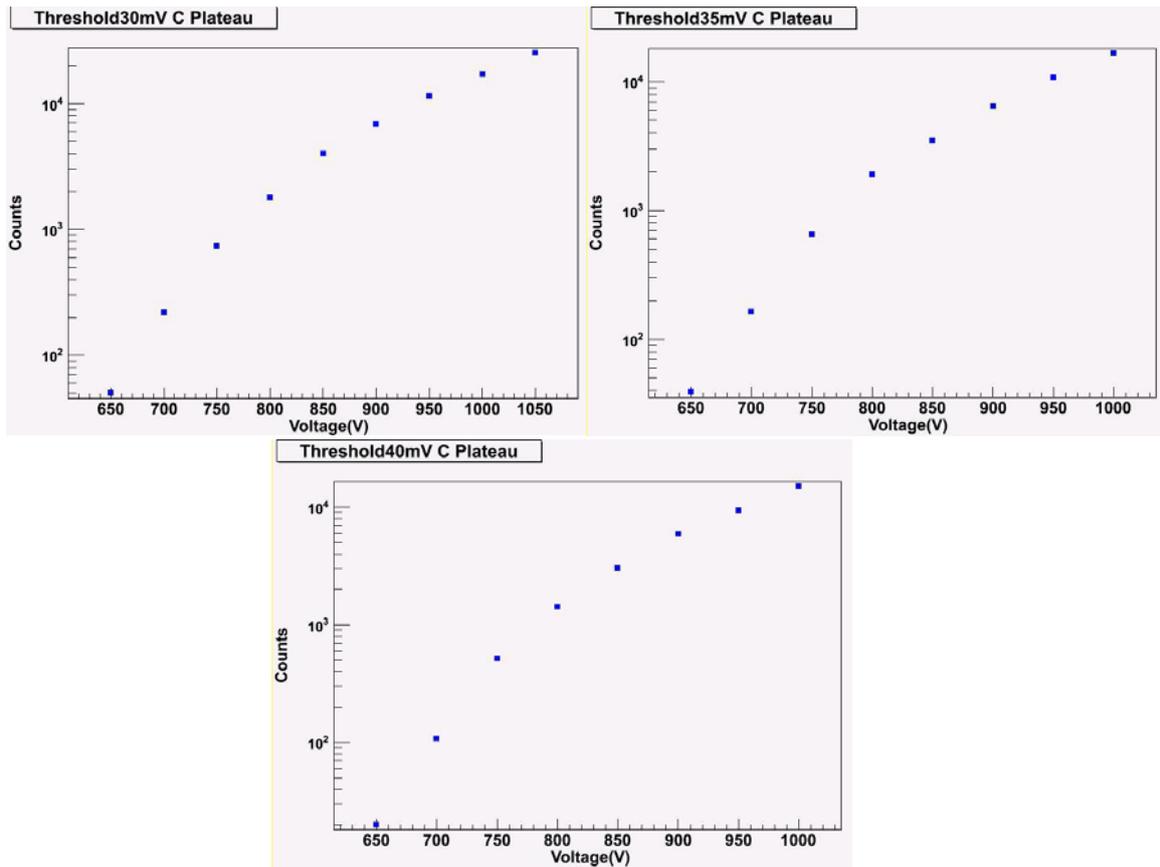


圖 3-13：PMT-C Threshold 20mV-40mV 時電壓與計數圖

PMT-A 與 PMT-C 圖形的情況類似，因此 A 與 C 共同討論。由之前推斷 threshold 的範圍進行工作平區的尋找，由上數圖可知此 threshold 內並無明顯的平區出現，皆依電壓的提升而明顯上升。造成此結果可能的因素有三，一為高壓的最高值未能到達平區的部分，必須增加高壓的上限繼續尋找；二為平區及在此高壓範圍內，但因平區出現的範圍很小，需縮小一電壓值與下一電壓的取樣間隔進行更精細的測量。三為此範圍的 threshold 無法明顯看出工作平區的趨勢，需提升 threshold 繼續尋找。

條件：Threshold：45mV-70mV ； 測量時間：3 分鐘 ； 間隔：50V 測量一次

PMT-A

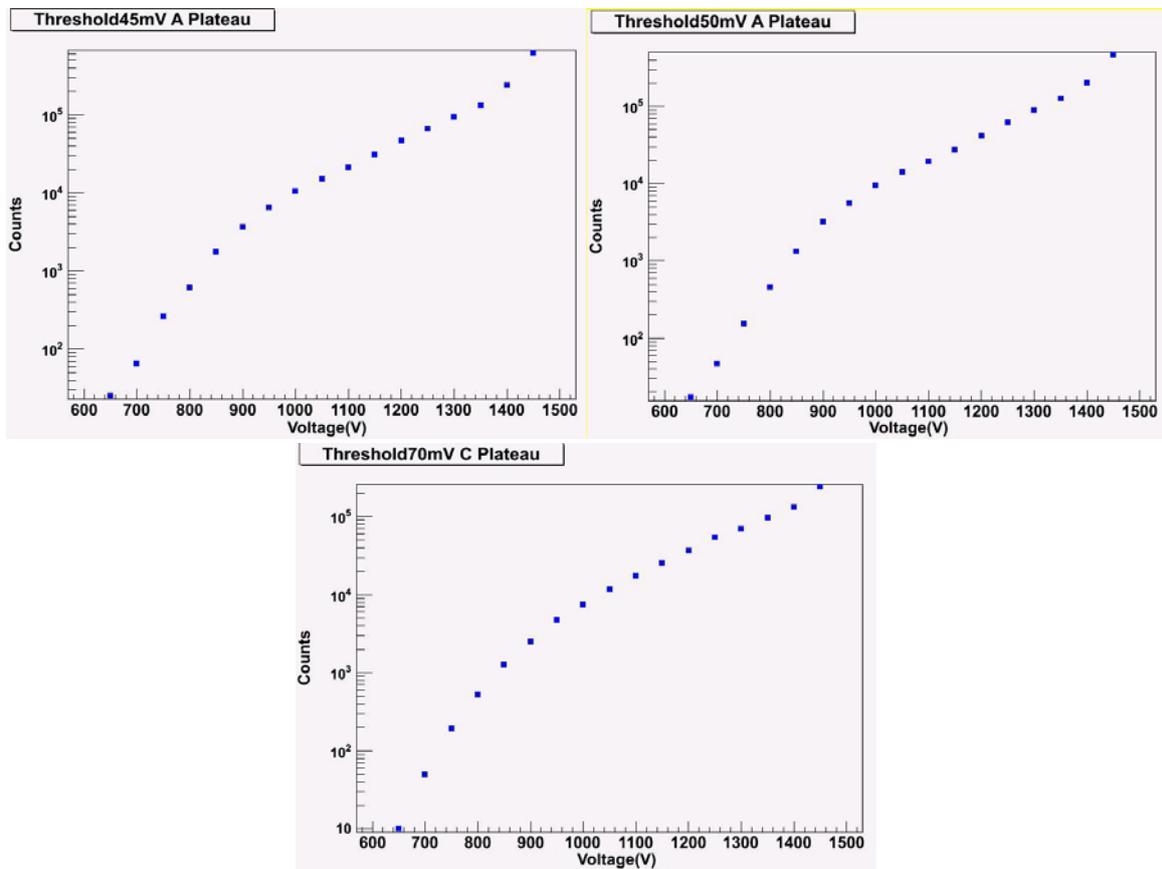
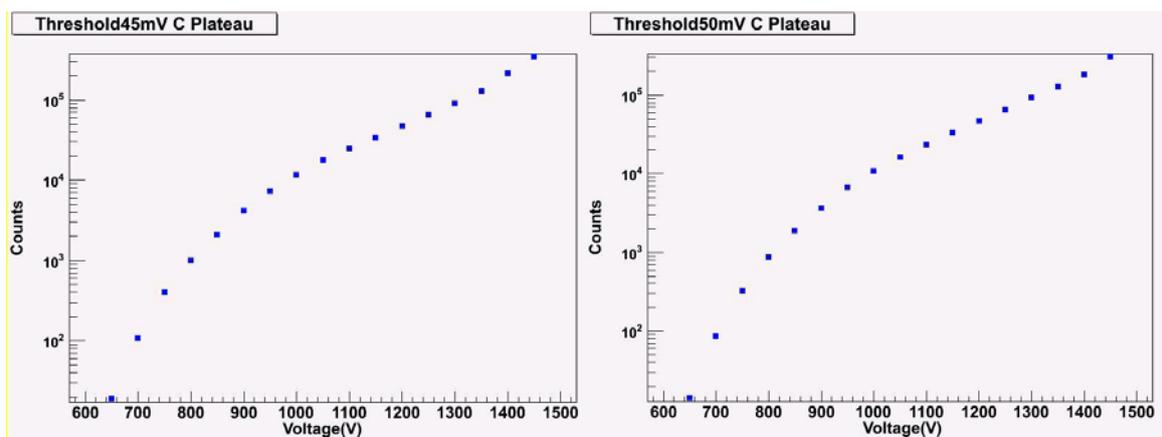


圖 3-14：PMT-A Threshold 45mV-70mV 時電壓與計數圖

PMT-C



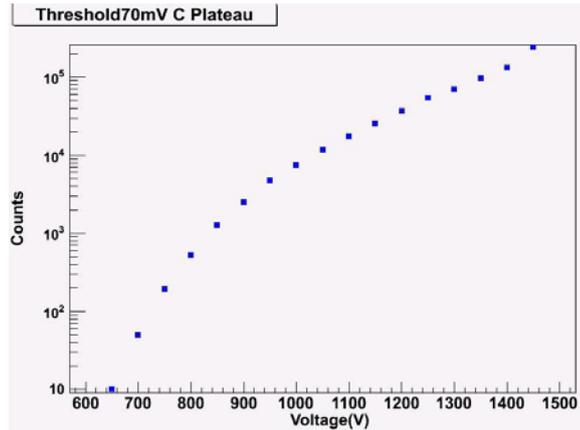


圖 3-15：PMT-C Threshold 45mV-70mV 時電壓與計數圖

增高了測量的電壓、threshold 與減小取樣的間隔後，並無出現明顯的平區，表示 A 與 C 的平區可能因雜訊的干擾而不明顯，利用示波器觀察訊號的圖形，在 1200V 以後所顯現的波形極不穩定，接受到很多雜訊，因此平區位置不可能比 1200V 還要高，而 threshold 的大小影響並不大，主要還是以電壓的變化為主。

單獨測量 A 與 C 無法明顯看出平坦的趨勢，因此在假設兩者條件相同的情況下考慮將兩者作 and 的設置，可過濾部分單獨的雜訊。

條件：Threshold：30mV-50mV ； 測量時間：3 分鐘 ； 間隔：50V 測量一次
Coincidence：A ⊗ C (⊗：邏輯 and)

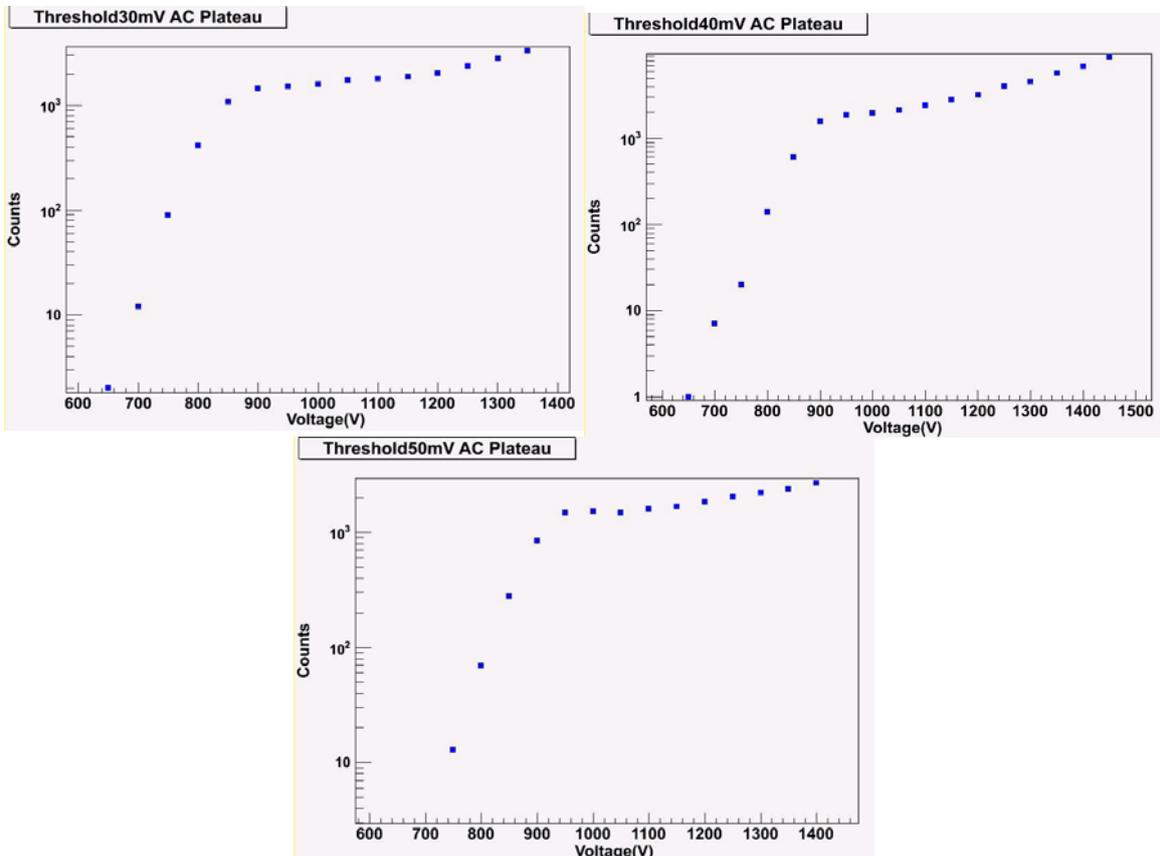


圖 3-16：PMT-A and PMT-C Threshold 45mV-70mV 時電壓與計數圖

將 A 與 C 作 and 後，圖形有明顯的平區產生，而平區的起始點會因 threshold 的調高而變高，threshold 30mV 至 threshold 50mV 之工作平區大約座落於 900V-1200V 之間，因此將 PMT-A 與 PMT-C 工作電壓定為 1000V，threshold 定為 30mV。

PMT-B

條件：Threshold：40mV-55mV；測量時間：3 分鐘；間隔：50V 測量一次

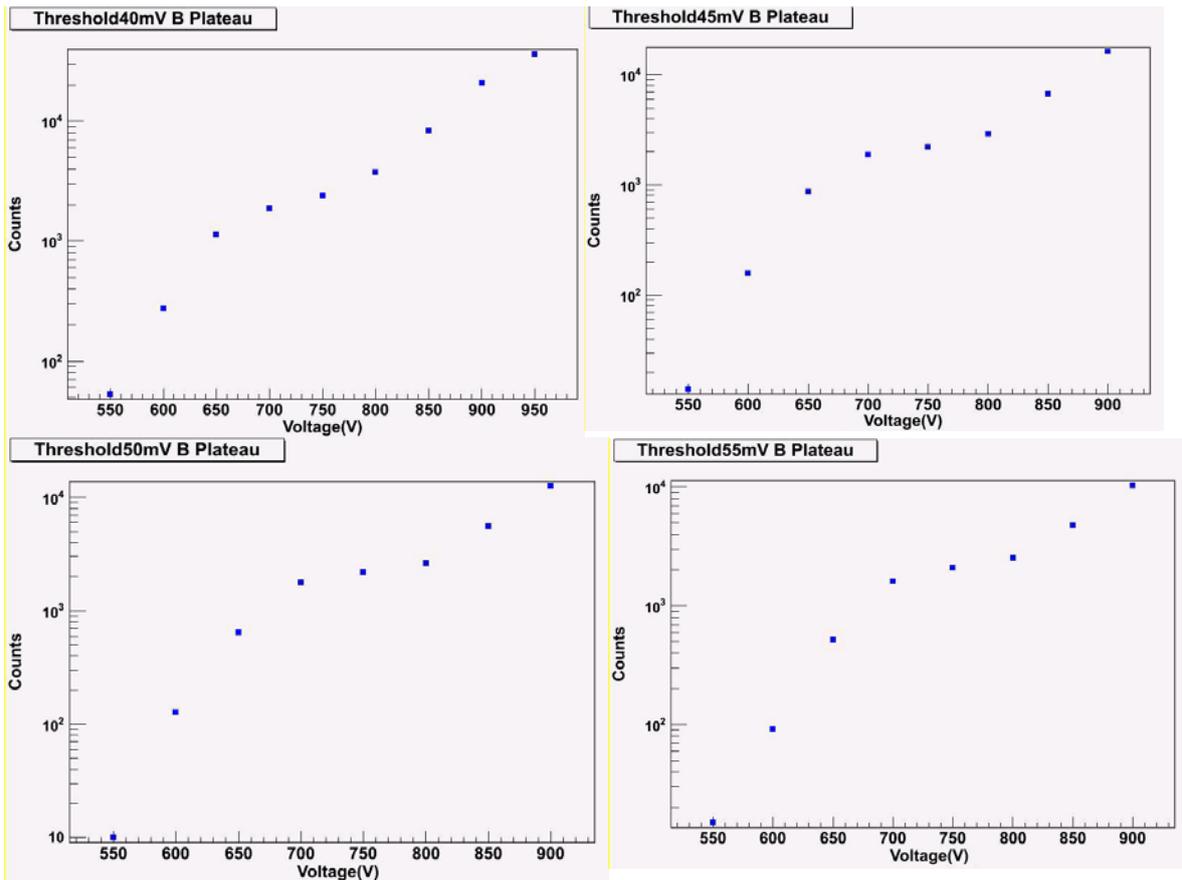


圖 3-17：PMT-B Threshold 40mV-55mV 時電壓與計數圖

B 工作平區相當明顯，約在 700V 與 800V 之間，因此將 PMT-B 的工作電壓定為 750V，threshold 為 45mV。

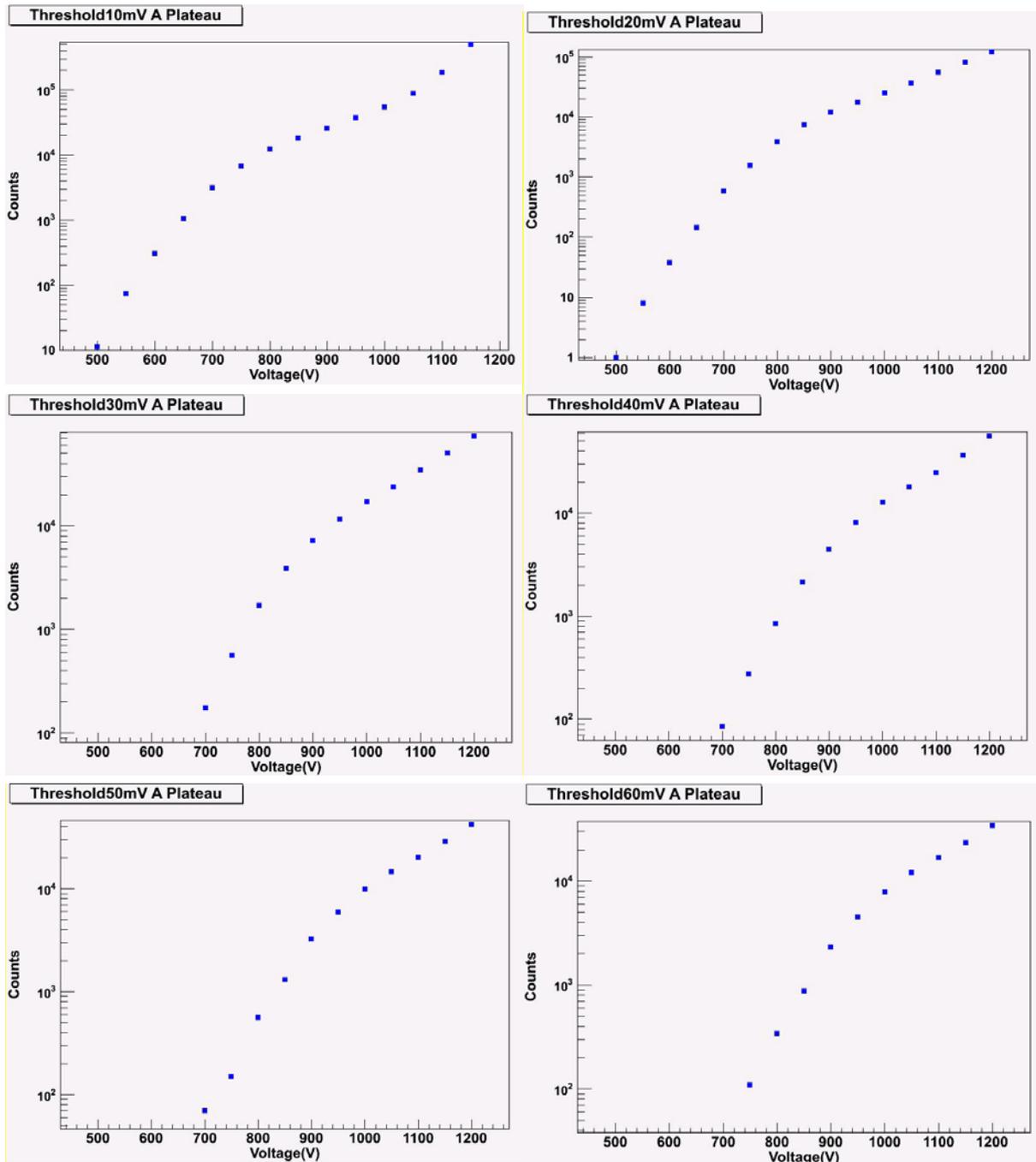
訂定工作電壓與 threshold 為了讓光電倍增管能在較好的狀態下工作，只需判斷是在穩定的平區及雜訊是否會通過訂定的 threshold，由本次測定所作出的圖形判斷，將 A 與 C 的工作電壓定為 1000V，threshold 為 30mV；B 的工作電壓為 750V，threshold 定為 45mV 下進行實驗的測量。

3-3.2 工作平區(Plateau)第二次測量

由於進行 muon lifetime 實驗時，無法有效的測出衰變時間，推斷是否因工作電壓給太小或 threshold 定太高所造成，因此進行了工作電壓第二次的測量，此次測量與第一次不同點在於依照 threshold 由小而大進行工作平區的測量，控制變因較嚴謹。

條件：Threshold：10mV-70mV ； 測量時間：3 分鐘 ； 間隔：50V 測量一次

PMT-A



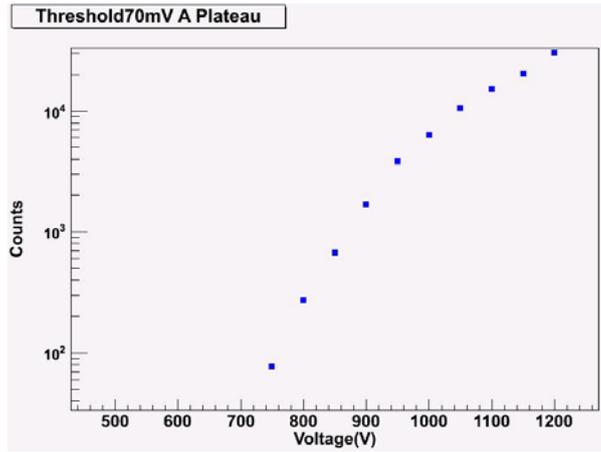
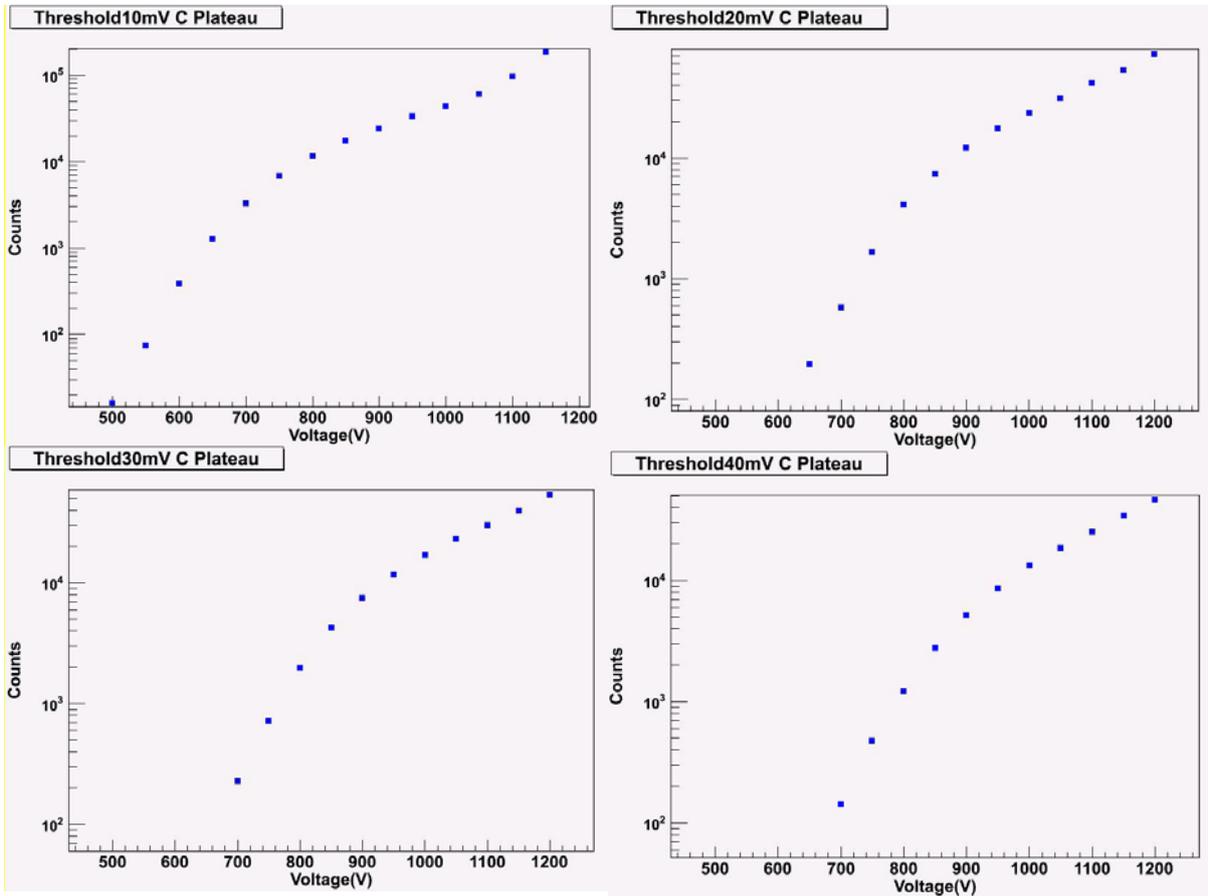


圖 3-18 : PMT-A Threshold 10mV-70mV 時電壓與計數圖

PMT-C



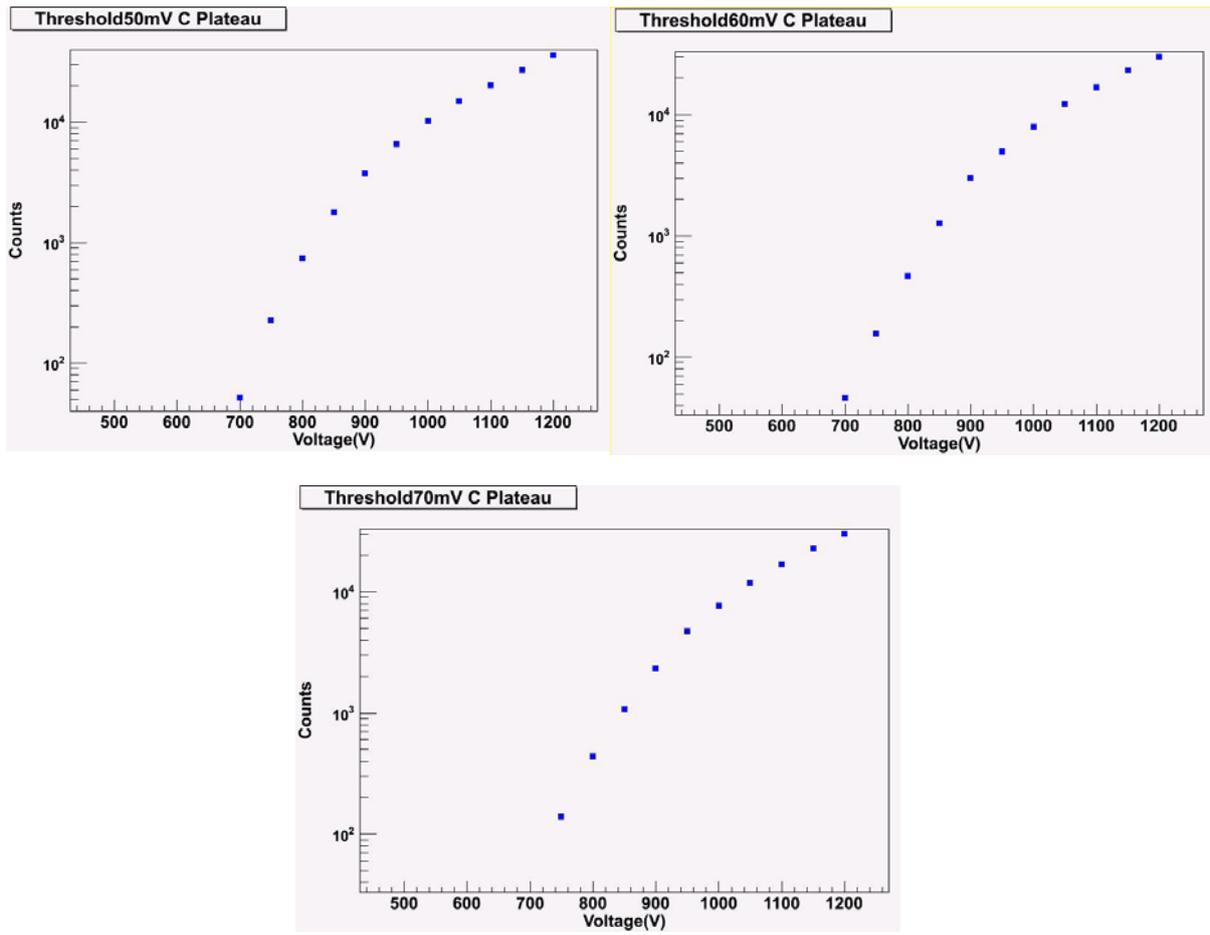
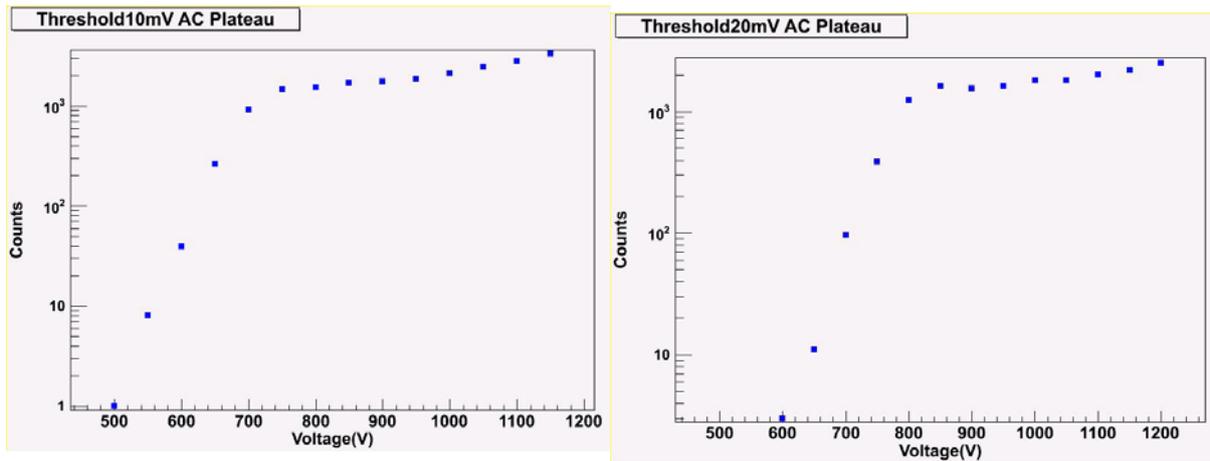


圖 3-19：PMT-C Threshold 10mV-70mV 時電壓與計數圖

PMT-A ⊗ PMT-C (⊗ : 邏輯 and)



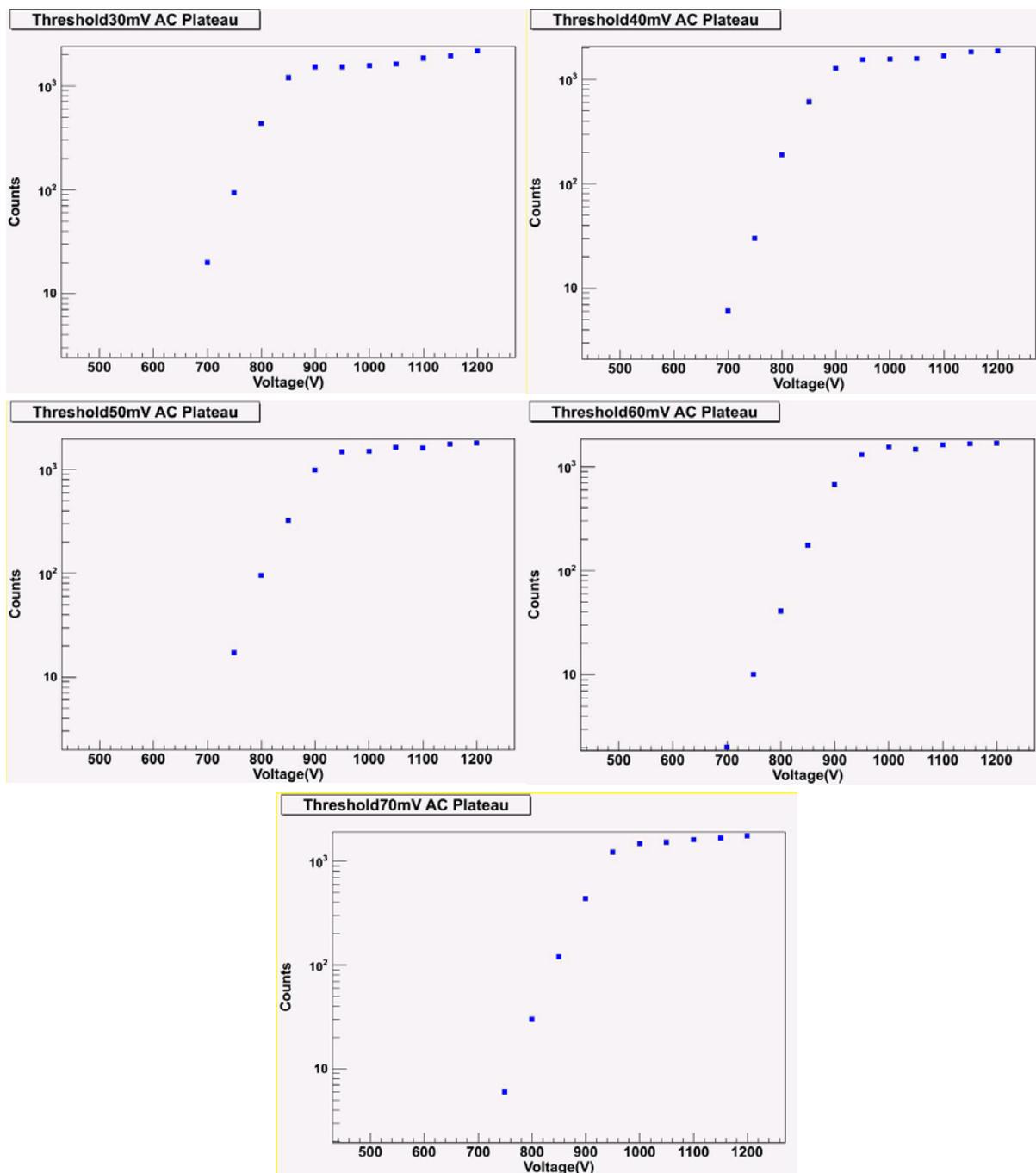


圖 3-20 : PMT-A and PMT-C Threshold 10mV-70mV 時電壓與計數圖

結果與第一次比較相符，A 與 C 各別分開測量並無法得到明顯的工作平區，A 與 C 作 and 的處理後便有明顯的平區產生，範圍約在 800V 與 1200V 之間，由 threshold 30mV 圖可證實驗在電壓 1000V 在工作平區之內，因此第一次所定之電壓與 threshold 值為光電倍增管穩定範圍，故不需更改。

PMT-B

條件：Threshold：10mV-70mV；測量時間：3分鐘；間隔：50V 測量一次

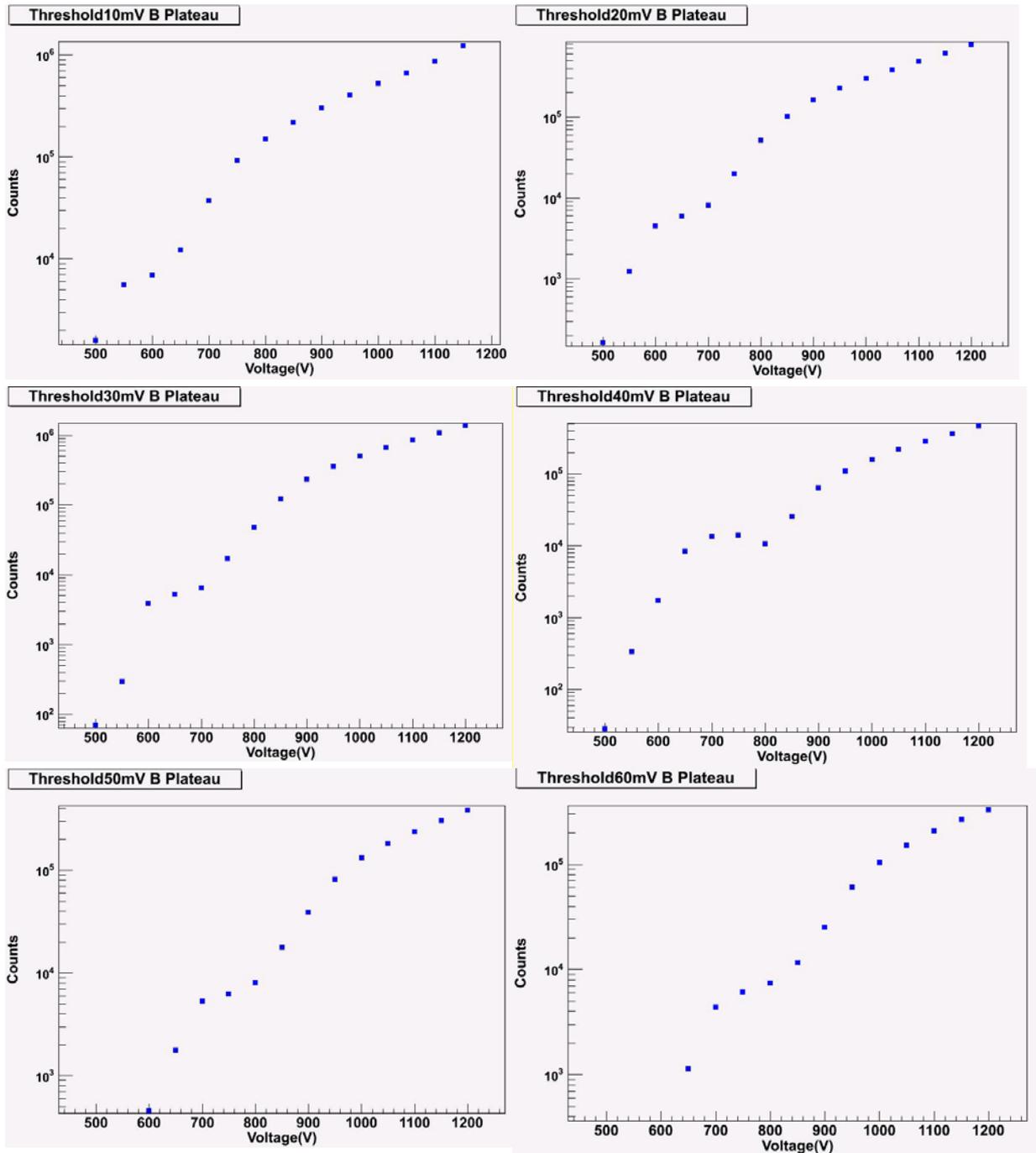


圖 3-21：PMT-B Threshold 10mV-70mV 時電壓與計數圖

由圖與第一次測量作比較，發現平區位置大部分在 700V~800V 之間，因邏輯所需大部分訊號會在 B 出現，考慮衰變出較小的訊號無法通過所設定 threshold 值，因此將電壓由 750V 調高至 800V，也因電壓的提高 threshold 值也從原本的 45mV 提高至 50mV 預防雜訊通過。

第二次測量的結果與第一次所測出的差別並不大，因此推翻了工作電壓與 threshold 沒有符合光電倍增管穩定工作範圍的猜測，最後訂定 A 與 C 的工作電壓為 1000V 與 threshold 30mV；B 工作電壓為 800V、threshold 50mV。

	工作電壓(V)	Threshold(mV)
PMT-A	1000	30
PMT-B	800	50
PMT-C	1000	30

表一：各個閃爍體的工作電壓及 threshold 值

將第二次測量 plateau 的數據全部結合後，可整理出一組屬於單一光電倍增光的 plateau 與 threshold 矩陣(參見附錄 C)，此矩陣可畫出由不同的 threshold 下測量的 plateau 所有圖形結合，成為一組 threshold、電壓、計數三維的圖形。也可從矩陣得知，若要尋找一光電倍增管的工作電壓及 threshold，只需完成此一矩陣，在不同方向上便可找出工作電壓與 threshold(如橫向為 threshold、縱向為工作電壓)，而不必將 threshold 與 plateau 的測量分開。

第四章 線路邏輯與數據解讀

4-1 量測 muon 邏輯設計

本實驗所觀測的 muon 無法由肉眼直接觀察，也無法確定 muon 哪時候會入射至探測器，為了讓探測器所探測到的訊號為真正測量的訊號，必須透過多重的檢驗來過濾錯誤的訊號。本次實驗採用三支閃爍體來判別 muon 是否真正通過，三支閃爍體由上而下分別為 A、B、C 相疊，面積相同。假設 muon 通過 A 與 B 時，此事件為 Start 的觸發條件，開始啟動 Clock 進行計數或計時器開始計時，若 muon 在 B 進行衰變，則只有 B 有訊息產生，A 及 C 則無，此時觸發了 Stop 的條件，停止了 Clock 的計數與計時器的計時，於 Start 與 Stop 所經過的時間則為 muon 衰變的時間。

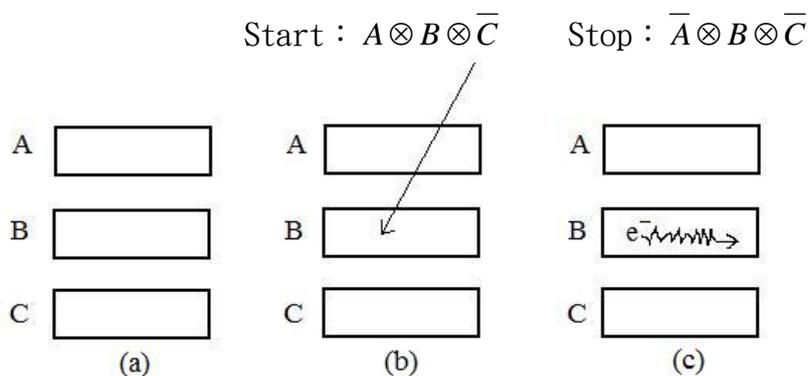


圖 4-1：(a)三支閃爍體擺放情形 (b)觸發 Start 條件 (c)觸發 Stop 之條件

4-1.1 Start 觸發：A 與 B 有訊號輸出同時 C 無訊號

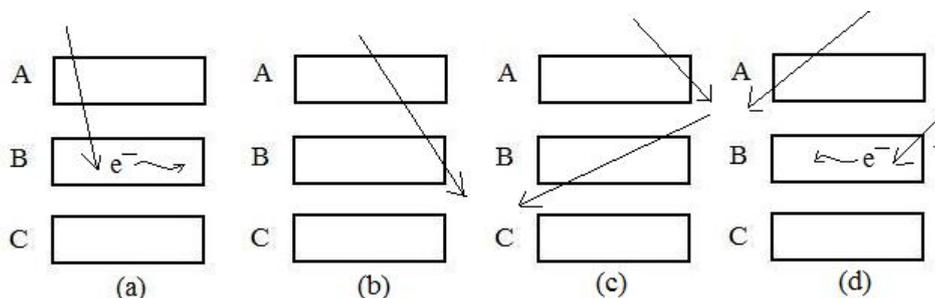


圖 4-2：(a)muon 於 B 閃爍體衰變 (b)muon 穿過 A 與 B 閃爍體離開探測器
(c)兩個 muon 同時個別穿透 A 與 B (d)兩個 muon 粒子同時 A 與 B，其中 B 閃爍體中的 muon 衰變

此兩狀況下 A 與 B 皆有訊號產生而 C 無訊號產生，觸發了 Start 的條件，(a) 為所需要的訊號，使 muon 粒子於 B 閃爍體衰變而冊德生命期；(b) 雖然也觸發了 Start，但 muon 未停留在 B 而是直接離開了閃爍體，此條件下無法量測生命期，因此必須使用一停止訊號停止被 Start 所觸發的動作。(c) 與 (d) 同時都有兩個粒子射入 A 與 B 造成條件處發，其中 (d) 可以量測生命期而 (c) 不行，因此 (c) 須使用一停止訊號停止。

4-1.2 Stop 觸發：B 有訊號同時 A 及 C 無訊號輸出

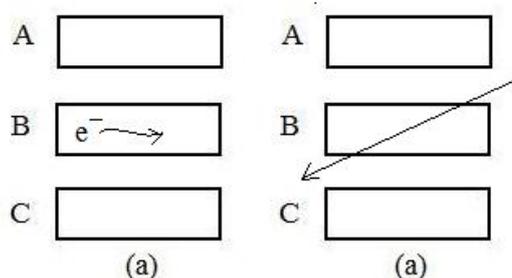


圖 4-3：(a) 粒子於 B 閃爍體衰變 (b) 有一粒子穿透 B 閃爍體

(a) 圖為本次測量所預期的測量方式，當 muon 粒子在 B 閃爍體衰變成電子時產生一訊號輸出，此訊號觸發了 Stop 的條件，使計數器停止。但有另一狀況可能如 (b) 圖所示，當粒子穿過 A 射入 B 觸發了 Start 條件，而此時正好有一粒子單獨穿透 B 閃爍體觸發了 Stop 的條件，此計數器所計時的時間並非 muon 的生命期，但此情況可用一 $20\ \mu\text{s}$ 作為一個 muon 事件的時間範圍來排除，依照通量(附錄)，平均每 0.11 秒會有一 muon 通過，遠大於所設定的 $20\ \mu\text{s}$ ，而且還有角度上的問題，必須避開 A 與 C 閃爍體只穿透 B 的角度才能觸發，因此可推斷於 $20\ \mu\text{s}$ 內射入兩個 muon 的機會很少。

4-1.3 C 閃爍體的用途

由 Start 與 Stop 觸發觀察，似乎使用 A 與 B 兩個閃爍體就能達到邏輯所需要的條件，那麼為何要使用第三片 C 閃爍體進行邏輯上的判斷呢？大部分考慮 muon 入射都推測由上往下入射，及由處在位置正上方的大氣層向下入射，但地球是圓的，有可能由另一半的大氣層產生 muon 粒子穿透地層有下而上射出，此時 C 閃爍體便能過濾掉此狀況，圖 4-4 為有無 C 閃爍體接收到粒子的狀況。

另外 C 閃爍體也可幫助確認 muon 是否停留在 B 探測器衰變而沒有穿過 B 探測器到達 C 探測器。

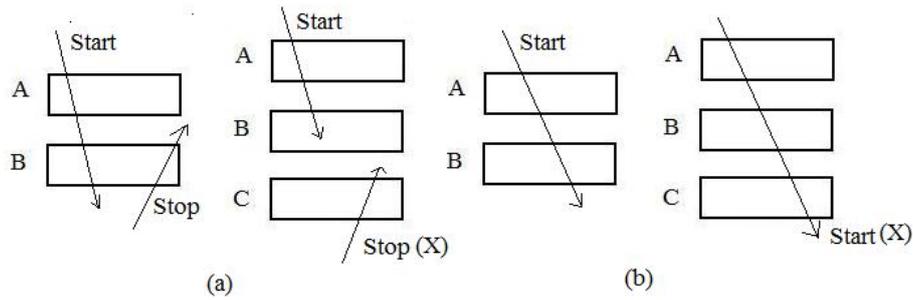


圖 4-4 : (a)過濾由下而上的 Stop 觸發條件
(b)過濾直接穿透而不在 B 閃爍體衰變的事件

由下而上的發生機率並不多，因此 C 閃爍體還可作為判斷 muon 粒子衰變方向的情形，當粒子停留在 B 閃爍體後有可能會往四面八方衰變，因此由 C 可以探測出 muon 粒子往下衰變的情形，如圖 4-5(a)。

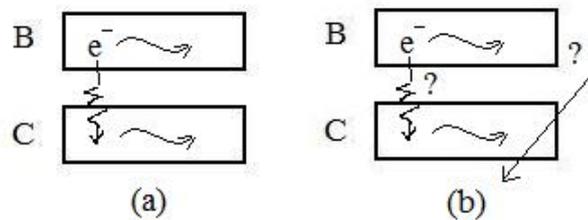


圖 4-5 : (a)muon 進入 B 後往 B 及 C 方向衰變
(b)muon 進入 B 後另一粒子射入 C

若將 C 列為 Stop 的條件，則邏輯判斷為 $\overline{A} \otimes B \otimes C$ ，此時也可能產生如圖 4-5(b)的狀況，無法明確指出當 Stop 觸發時是否衰變至 C，也可能為一粒子單一射入 C 閃爍體中，若有多一層閃爍體於 C 之下層，則可考慮以此邏輯下進行，因此本次實驗邏輯還是採用於 B 衰變作為 Stop 的觸發條件。

4-1.4 取樣真正的衰變訊號

由上述觸發 Start 的條件有很多種狀況，因此必須使用 NIM 的搭配來過濾不必要的訊號，主要使用 Gate and Delay Generator 與 Coincidence 的搭配，當 Start 條件成立並觸發同時利用 Start 輸出的訊號產生一些 Gate 來過濾是否粒子停在 B 閃爍體進行衰變：

1. 產生一 $18 \mu s$ 的 Gate :

此 Gate 必須與後來由 muon 在 B 閃爍體所衰變出 Stop 的訊號作 and，主要目的在於確定 Stop 的訊號必須出現於 Start 之後，並採用在 $18 \mu s$ 內 Stop 的訊號。

2. 產生一 $20 \mu s$ 的 \overline{Gate} 後產生一 $10 ns$ 的 Gate :

$\overline{\text{Gate}}$ 的功用與 Delay 相同，當 Start 的訊號產生後經過 $20\ \mu\text{s}$ 若無 Stop 的訊號產生，如圖 4-2(b) 的入射情況，則會有一與 Start 相距 $20\ \mu\text{s}$ 的訊號產生， $20\ \mu\text{s}\ \overline{\text{Gate}}$ 為 Delay 20 秒後， $10\text{ns}\ \text{Gate}$ 為一 Stop 的訊號產生，讓計數器停止計數或計時，此作用在於將 $20\ \mu\text{s}$ 為一事件的時間，避免前一個 Start 計到下一個 Start， $20\ \mu\text{s}$ 若無 muon 衰變訊號產生則將會產生一假 Stop 訊號將其停止作為一完整的事件，否則會將下一事件的 Start 作為停止事件而非所需要的衰變時間。

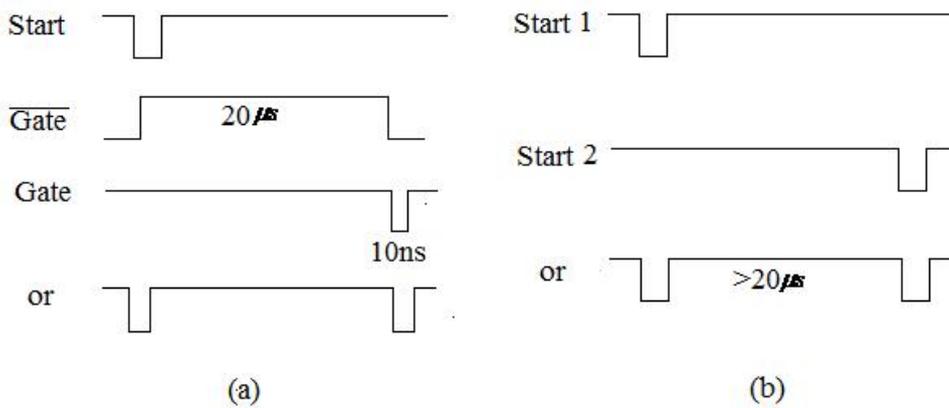


圖 4-6 : (a) 由 $20\ \mu\text{s}$ 的假 Stop 訊號作為一完整事件
(b) 兩個 Start 所產生的一事件(錯誤事件)

將 1. ($18\ \mu\text{s}\ \text{Gate}$ 與 Stop 訊號 and) 與 2. ($20\ \mu\text{s}$ 假停止訊號) 作 or 處理，當 $18\ \mu\text{s}$ 內有 Stop 訊號產生時測得 muon 的生命期，而 $18\ \mu\text{s}$ 內無 Stop 產生則由 $20\ \mu\text{s}$ 後所產生的一個假 Stop 訊號將此事件做停止，進行下一事件的測量。

3. 線路圖

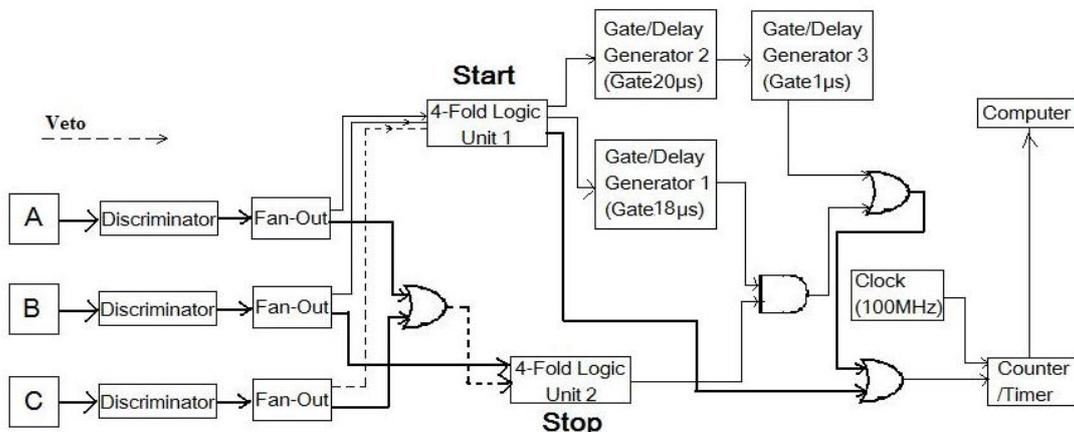


圖 4-7 : 實驗所用的 module 及線路圖

1. A 與 B 作 and 而與 C 作 Veto 的選擇，當 A 與 B 有訊號產生 C 無訊號發生時觸發 Start
2. 將 A 與 C 作 or 後作 Veto 再與 B 作選擇的動作，如果 A 與 C 其中一個閃爍體有訊號產生時則無 Stop 產生
3. Start 觸發後產生三個訊號，一個作為 $18\mu\text{s}$ Gate，一個為 $20\mu\text{s}$ 停止訊號，另一個為計數器所接收的 Start 訊號
4. Stop 訊號與 Start 產生的 $18\mu\text{s}$ Gate 作 and 後再進入計數器

4-2 訊號檢測

4-2.1 Start 訊號

當 A 與 B 有訊號輸出而 C 無訊號時，符合 Start 邏輯並輸出一訊號至計數器，若 C 有訊號輸出則經由 Veto 的選擇，此一條件狀況視為否決的狀況，將無訊號輸出至計數器。

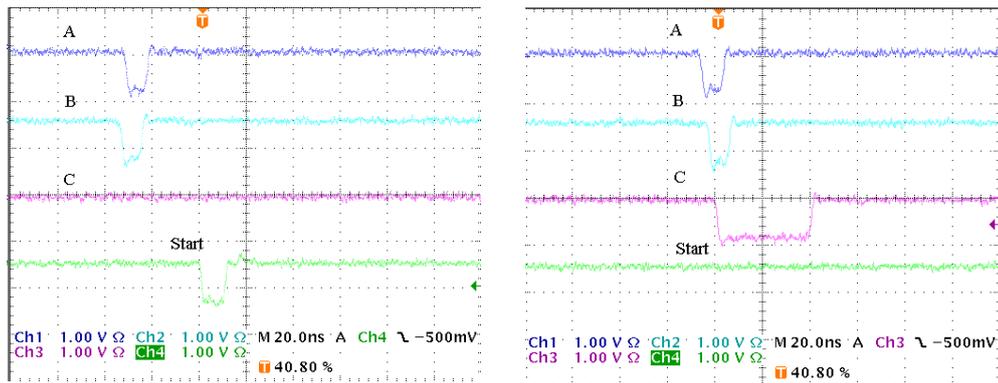


圖 4-8 左：示波器上 A 與 B 有訊號時產生一 Start 訊號
右：示波器上 C 有訊號時則 Start 無訊號產生

由示波器所顯示的圖很明顯可看出 Start 訊號符合所預訂的標準，A 與 B 同時有訊號產生而且 C 無訊號產生時，會有一 Start 訊號產生，而 C 有訊號時則無，其中可發現訊號 C 的寬度比 A 與 B 還大，因訊號 A、B、C 所接受到輸出訊號時間會有 $10\text{ns}\sim 20\text{ns}$ 的誤差，將 C 訊號寬度放大能讓 A 與 B 訊號包含於其中，表示只要有 C 訊號出現，無論 A 或 B 是否有訊號產生都會進入 Veto 的選擇，假設 A 與 B 沒有在 C 訊號範圍內，則邏輯判斷會認為 A 與 B 產生訊號而 C 沒有，將會有 Start 的訊號產生，此狀況不符合預設的條件，因此 C 訊號必須能加寬至 40ns ，而 A 與 B 為 10ns 。

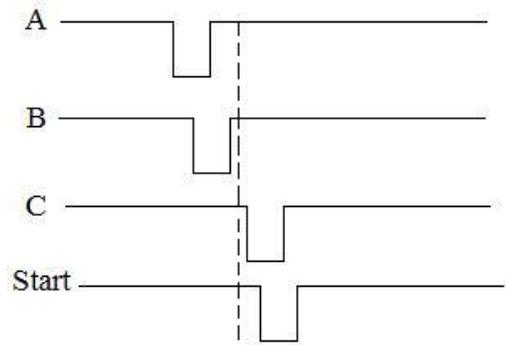


圖 4-9：A 與 B 於 C 的寬度外，邏輯判斷成 A 和 B 有訊號而 C 沒有，因此有 Start 產生，但實際上 C 有訊號

4-2.2 Stop 訊號

只有 B 訊號產生時才會產生 Stop 輸出，若 A 與 C 其中一個訊號產生則無，將 A 與 C 經過 or 後，只要有 A 或 C 訊號產生都會從 or 輸出，再將 or 接至 Veto 使其作選擇，讓有 A 或 C 訊號產生時不會有 Stop 的訊號輸出。

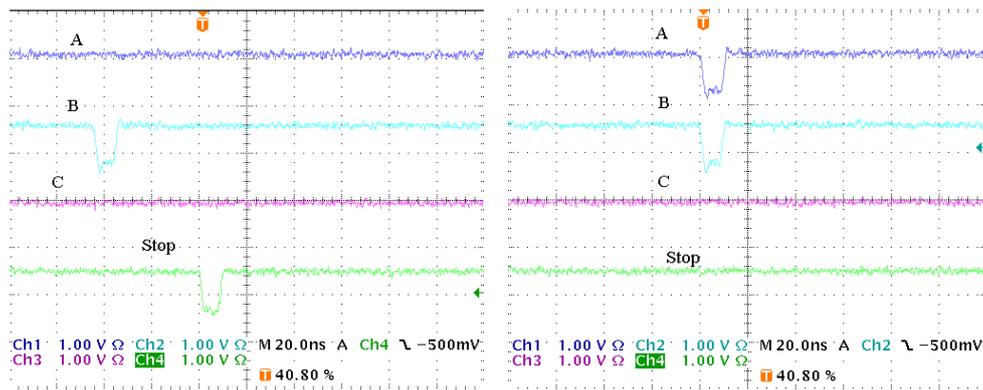


圖 4-10 左：示波器上 B 有訊號時產生一 Stop 訊號
右：示波器上 A 與 B 有訊號時無 Stop 訊號產生

由圖可知只有單獨 B 訊號才會產生 Stop，同 Start 的 C 訊號一樣，必須將 or 輸出的訊號調至 40ns，使 B 所產生的時間誤差能包含在裡面，若 B 不包含在裡面，則儀器會認為是只有 B 訊號而輸出 Stop，並非正確的訊號。

4-2.3 Start 觸發 18 μ s Gate

18 μ s Gate 與 Stop 的訊號作 and，主要為了使 Stop 的訊號能夠在 Start 訊號後出現，當 Start 訊號產生後會產生一 18 μ s 寬的訊號。

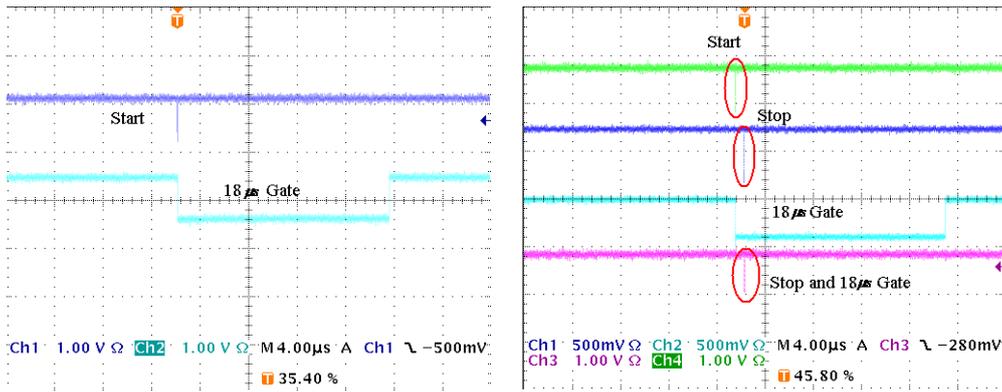


圖 4-11 左：示波器上由 Start 產生一 $18\ \mu\text{s}$ Gate 訊號
 右：示波器上 Start 觸發 $18\ \mu\text{s}$ Gate 與 Stop 作 and 所顯示之訊號

由圖可知 Stop 能夠出現在 Start 後，且依照邏輯的判斷，Start 與 Stop 之間的時間及是 muon 的生命期。

4-2.4 Start 觸發後經 $20\ \mu\text{s}$ 產生 Stop 訊號

此 Stop 訊號為假的 Stop 訊號，是由 Start 觸發一 $20\ \mu\text{s}$ $\overline{\text{Gate}}$ 訊號作為 delay 時間 $20\ \mu\text{s}$ ，爾後再觸發一 10ns 寬的 Gate 訊號作為 Stop 訊號，目的在於防止事件沒 Stop 的衰變訊號產生而下一個 Start 的訊號被觸發後所接受到兩個 Start 的訊號，影響實驗的觀測，因此製造一個訊號表示一個事件的結束。

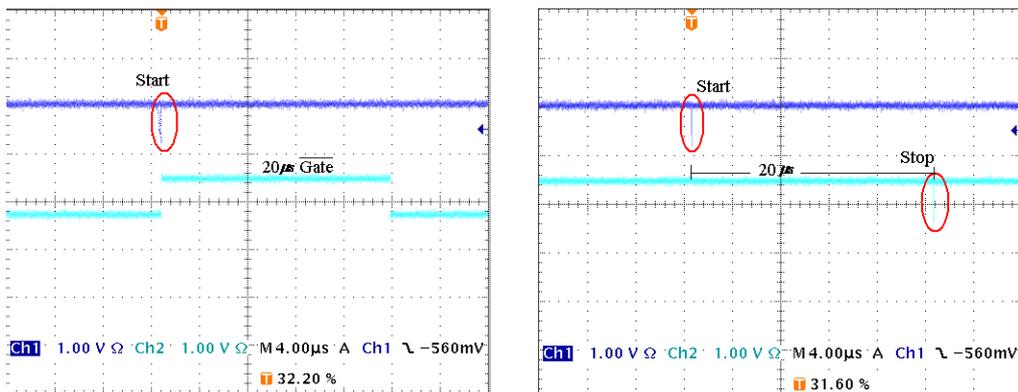


圖 4-12 左：示波器上由 Start 產生一 $20\ \mu\text{s}$ $\overline{\text{Gate}}$ 訊號
 右：示波器上 Start 觸發經 $20\ \mu\text{s}$ 後產生假 Stop 訊號
 結束此事件

4-2.5 muon 生命期訊號

當 Start 觸發後表示一 muon 通過探測器，而 Stop 在 $18\mu s$ 內產生表示此 muon 於閃爍體 B 進行衰變後所產生的訊號，此 Start 與 Stop 之間的時間將是此實驗所測量的 muon 生命期，將邏輯線路接妥後，利用示波器觀察每個訊號相對時間是否符合之前所預測的關係。

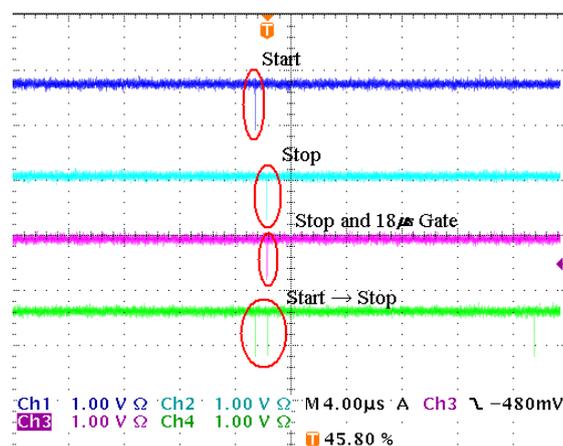


圖 4-13：示波器上所觀察邏輯的完整訊號

由圖 4-13 第四條訊號將是進入計數器觸發計時與停止的訊號，經由示波器的觀察可知此 Stop 在 Start 後，且不超過 $18\mu s$ ，因此判斷此訊號將是此實驗所要觀測的 muon 生命期。

4-3 數據解讀

4-3.1 Dual 512 Counter/Timer 取數

當 Start 訊號進入計數器後，利用計數器 Pset+HRT(一個 channel 觸發開始與結束，另一 channel 進行高解析計時)與 Pset+Ctr(一 channel 觸發開始與結束，另一 channel 進行計數)的功能來測量，再使用 RS-232 系統將計數器與電腦連結，於電腦撰寫 Visual Basic6.0 程式進行操控計數器並將計數器所得出的數值存進電腦進行分析，由計數器所讀出的格式依照功能的不同分為兩種：

1. Pset+HRT：

當 Ch1 接收到邏輯所送 Start 訊號時，Ch0 會開始進行計時；而當下一個訊號及 Stop 訊號進入 Ch1 時，Ch0 將停止計時。由電腦所讀出格式如圖()

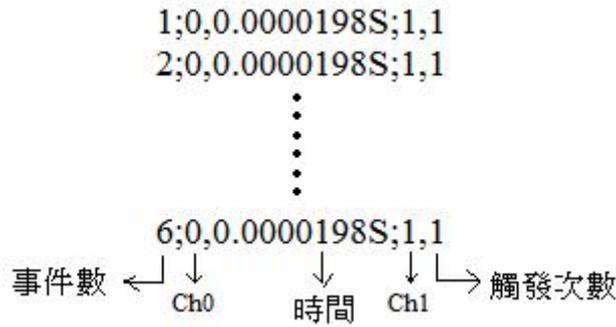


圖 4-14：電腦取得計數器之紀錄(Pset+HRT)

記錄中主要取時間的部分進行分析，利用 Visual Basic6.0 撰寫程式將原本的格式挑選出時間的部分，而時間最小的單位為 $0.1 \mu s$ 。

2. Pset+Ctr：

當 Ch1 接收到邏輯所送 Start 訊號時，當 Ch2 開始進行計數的工作，Ch2 接上一台 Clock，此 Clock 為 100MHz 的訊號；當下一個訊號即 Stop 訊號進入 Ch1 時，Ch2 將停止計數。



圖 4-15：電腦取得計數器之紀錄(Pset+Ctr)

主要取最後計數的部分，由 100MHz 換算成秒數後，計數 1 所表示的秒數為 $0.01 \mu s$ 為最小單位，因此圖中的 2008 表示 $20.08 \mu s$ ，為一 Start 與 Stop 兩訊號之間的時間。

4-3.2 數據處理

1. 過濾由假 Stop 所測得的時間

電腦取出的數據大部分都為 $20 \mu s$ 後所產生的停止訊號，此時間並非實驗所要觀測的 muon 生命期，因此利用 Visual Basic6.0 撰寫程式(附錄 F)將需要的時間過濾出來進行分析。

2. 使用 Root 軟體分析

將所得資料利用 Root 軟體製作直方圖(附錄 E),再利用衰變曲線公式(參見標題 1-2.5) $N(t) = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}} + N_b$ fitting 直方圖,其中 $N(t)$ 為衰變時間為 t 的 muon 個數, N_0 為全部的 muon 數, t 為衰變時間, τ 為 lifetime, N_b 為背景個數,通常為儀器本身的雜訊或其他外來的輻射所產生。而在 Root 所設定公式對照為 $y = b e^{-\frac{x}{lifetime}} + a$, 其中 b 為 N_0 , a 為 N_b , 在 y 為計數 x 為時間的圖中 fitting 出來結果的 lifetime 數值即為本次實驗所測之 muon 生命期。

第五章 Muon 平均生命期

5-1 測試實驗

經由閃爍體的設置、邏輯線路的判斷、計數器的測量、運用程式整理數據後畫圖，將衰變公式將圖作 fitting 的動作，找出 muon 生命期，而在測量的同時進行實驗精準度的改進，設定不同的 bin size 也會影響 fitting 出來的結果。本次實驗經過多次改正測試後，於 2010 年 8 月 23 日 20 時 30 分開始進行測量，至 2010 年 8 月 30 日 9 時 30 分，歷經六天又 13 個小時的取數作為此次實驗所觀測的 muon 生命期。

5-1.1 邏輯經示波器確認後進行第一次測試

時間：2010 年 7 月 28 日 20 時 至 2010 年 7 月 29 日 10 時 共 15 小時

訊號寬度：20ns

計時方式：Clock 計數轉換

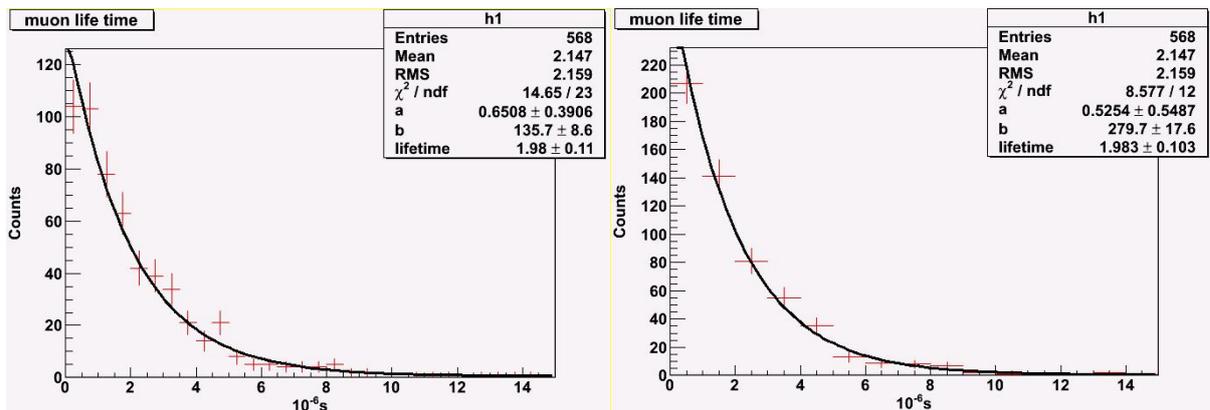


圖 5-1 左：bin size $0.5 \mu\text{s}$ ；右：bin size $1 \mu\text{s}$

此次測量出的生命期為 $1.98 \mu\text{s}$ ，正負誤差於 $0.11 \mu\text{s}$ ，與實際理論 $2.19 \mu\text{s}$ 較不相符，而在 bin size $0.5 \mu\text{s}$ 的圖可發現，於靠近 0 的第一個點依照 fitting 的線段比對，有往下掉的趨勢，若以 fitting 線段為標準應該比此圖第一點還要高一點，約在 120 的 Count 數。

5-1.2 邏輯經示波器卻認後進行第二次測試

時間：2010年7月29日20時至2010年7月30日10時共14小時

訊號寬度：20ns

計時方式：計數器直接計時

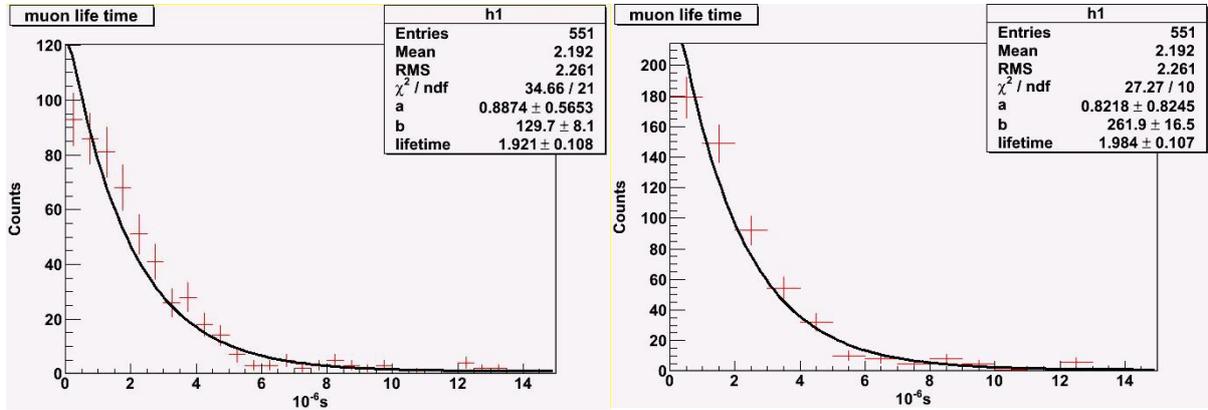


圖 5-2 左：bin size $0.5 \mu\text{s}$ ；右：bin size $1 \mu\text{s}$

直接由計數器計時的最小單位是 $0.1 \mu\text{s}$ ，而使用 Clock 計數最小單位可測得 $0.01 \mu\text{s}$ ，兩次測量的數值在 bin size 為 $1 \mu\text{s}$ 時差不多，但在 bin size 為 $0.5 \mu\text{s}$ 時所 fitting 出的生命期就與第一次測量的有差別，推斷此現象應與所能測得的最小解析度有關，當 bin size 寬度變小後，所需要的解析單位也會跟著變小，因此在 $0.1 \mu\text{s}$ 以下測不到的話，將會在接進 0 的第一點部分少計很多個，由 100 多變成低於 100 的計數。而兩次的生命期皆與理論值有段差距，而誤差值在正負 0.1 可以經由長時間測量進行改善，使其誤差值減少。

5-1.3 增加測量時間

時間：2010年8月6日20時至2010年8月9日10時共63小時

訊號寬度：20ns

計時方式：Clock 計數轉換

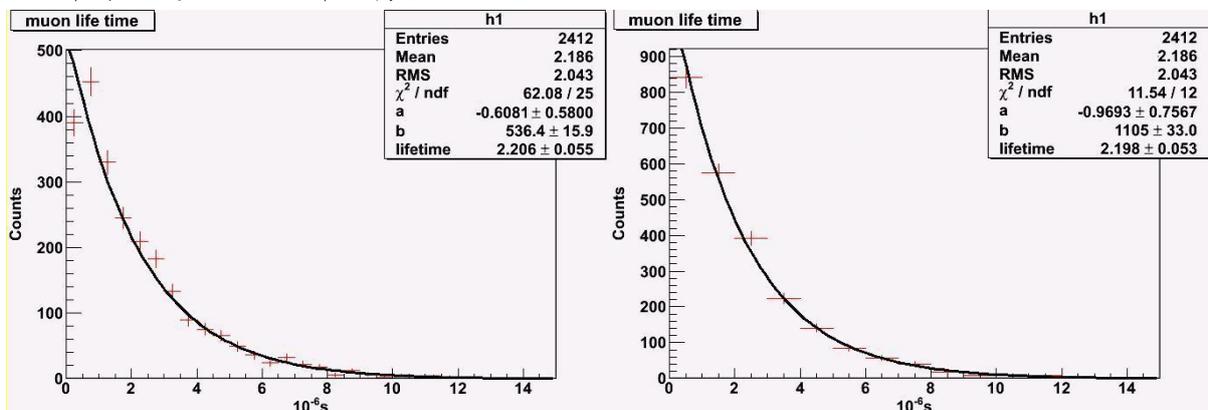


圖 5-3 左：bin size $0.5 \mu\text{s}$ ； 右：bin size $1 \mu\text{s}$

由 bin size $0.5 \mu\text{s}$ 圖可明顯看出測量時間增長後，誤差值從原本的 0.1 縮小為 0.055，而所測得 muon 生命期也從原先的 $1.98 \mu\text{s}$ 變為 $2.2 \mu\text{s}$ ，較接近理論值，但將測量時間延長後，接進 0 的第一點也明顯的下降許多，為了改善此狀況，將訊號寬度從原本的 20ns 減少至 10ns，可測量出比原先還要小的時間。

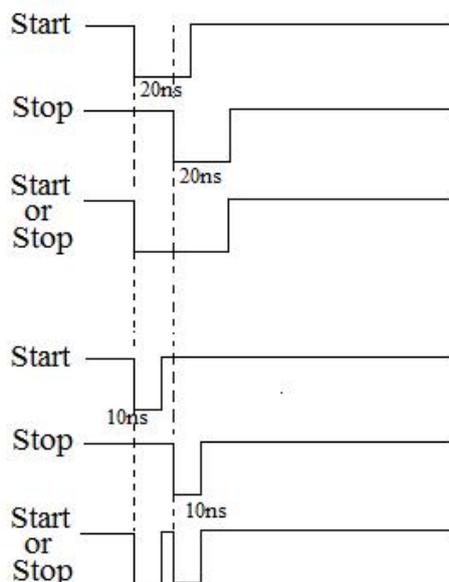


圖 5-4：訊號寬度影響的輸出結果

圖中可明顯看出當訊號出現的間隔一樣時，20ns 的寬度會與之後出現的訊號重疊，造成輸出訊號無法判斷為兩個訊號而只輸出一次訊號，而此訊號就無法測得 Stop，若改成 10ns 的寬度，因訊號沒有重疊現象，輸出訊號可判別兩個訊號 Start 與 Stop，因此在相同時間間隔的情況下，寬度較小的訊號可解析，這樣接近 0 的第一點將會有更多的計數，也可改善往下掉的跡象。

另外也可將 bin size $0.5 \mu\text{s}$ 接近 0 的第一點去掉重新作圖，其得出結果如下圖 5-5。

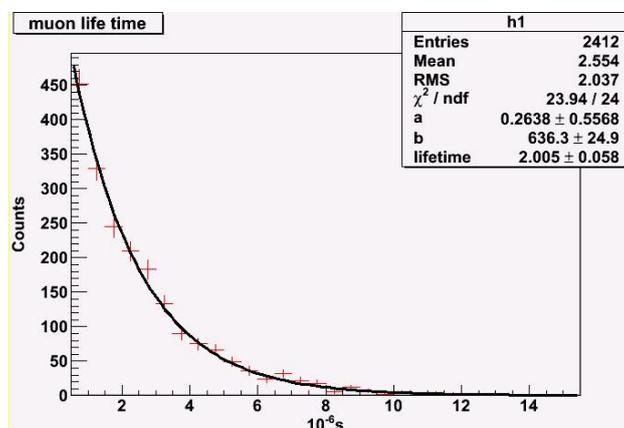


圖 5-5：截去小於 $0.5 \mu\text{s}$ 計數重新 fitting

將第一點去除後，可發現圖上的點與 fitting 的曲線較之前吻合，但所得出的生命期因曲線前段的斜率變大而減少成 $2.0 \mu\text{s}$ ，誤差值並無改變，因此可知小於 $0.5 \mu\text{s}$ 範圍的這一點仍然會影響 fitting 出來的結果。

5-1.4 改變訊號寬度 10ns

時間：2010 年 8 月 9 日 20 時 至 2010 年 8 月 10 日 9 時 共 13 小時

訊號寬度：10ns

計時方式：Clock 計數轉換

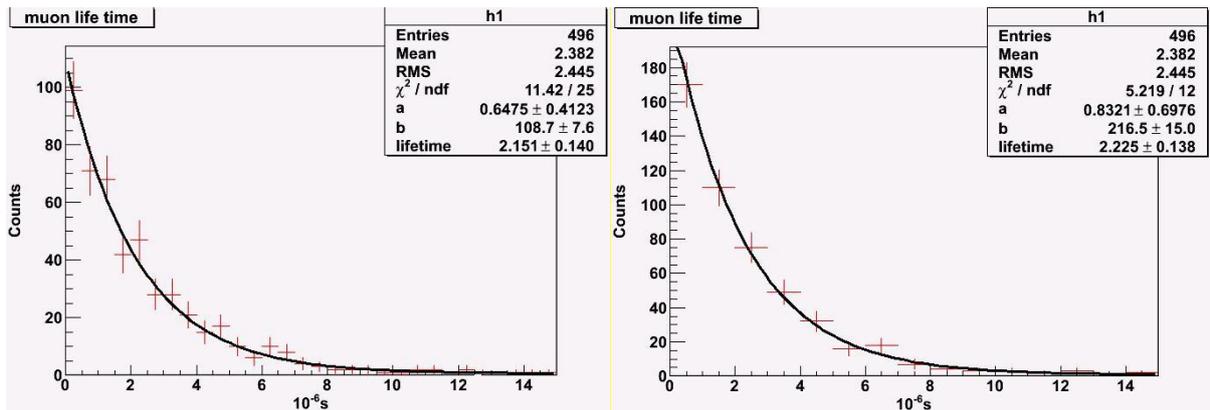


圖 5-6 左：bin size $0.5 \mu\text{s}$ ； 右：bin size $1 \mu\text{s}$

訊號改成 10ns 後，明顯得可以看出在 bin size $0.5 \mu\text{s}$ 圖上的第一點沒有往下掉的現象，表示秒數較少的部分因訊號寬度縮小的關係可以解析並計數，但若再將 bin size 縮小至 $0.25 \mu\text{s}$ 後，就可發現仍然有第一點會往下掉的趨勢(如圖 5-7 所示)，若需要更小的 bin size 進行解析的話，則訊號寬度就必須縮小，但訊號寬度也有本身的極限，因此訊號寬度與 bin size 必須互相搭配找出最佳的 fitting 值。誤差的部分因測量時間較少的關係而增加至 $0.14 \mu\text{s}$ 。

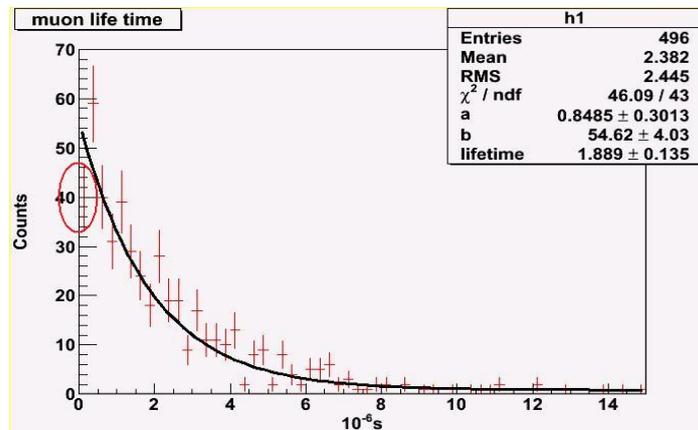


圖 5-7：bin size $0.25 \mu\text{s}$

5-1.5 延遲 Start 時間

進行單獨使用 B 閃爍體進行 muon 生命期實驗時(參見標題 5-4)，發現測出的時間都為相同時間，約 60ns，此為兩相同 Start 訊號經過不同儀器的延遲所測出的時間，表示必須將前頭 Start 的訊號作延遲的動作與後者出現的 Start 同步，才不會造成儀器判斷錯誤。而將 Start 延遲也使原先出現在 Start 後的 18 μ s Gate 與 Start 同步出現。

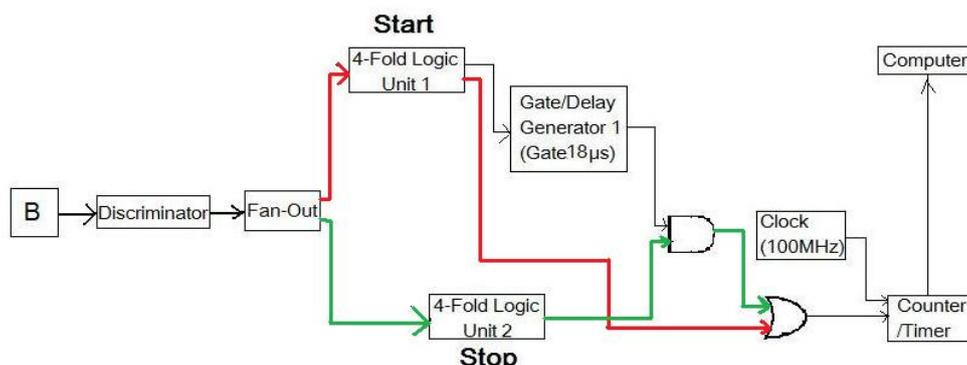


圖 5-8：接收兩相同訊號示意圖

圖中可知當同一訊號由 Fan-out 輸出後，會進入兩不同的線路，其一為經 Start 邏輯後直接進入計數器，而另一訊號先經過 Stop 邏輯後再與 18 μ s Gate 作用 and 後進入計數器，因此經由 Stop 邏輯的訊號比經由 Start 訊號因儀器的延遲而慢了幾時奈秒，造成計數器前 Coincidence or 判斷成兩不同訊號而輸入計數器，使其進行兩訊號間時間測量的工作。

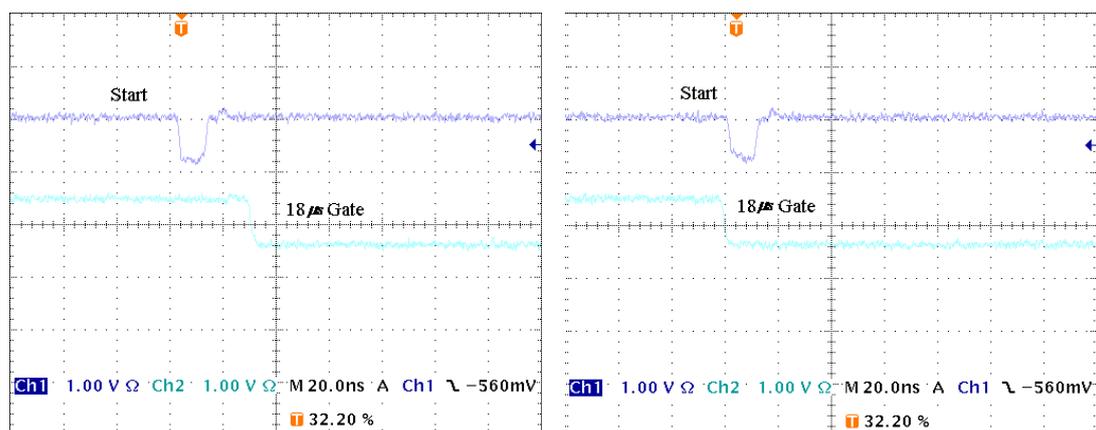


圖 5-9 左：未延遲 Start ； 右：延遲 Start

左圖顯示出 Start 所觸發的 18 μ s Gate 比 Start 出現的時間晚了約 30ns 表示在 30ns 內若出現 Stop 的訊號將不會被接受到，因此將 Start 延遲後可改善此狀況的發生。

時間：2010年8月13日17時至2010年8月16日10時共65小時

訊號寬度：10ns

計時方式：Clock 計數轉換

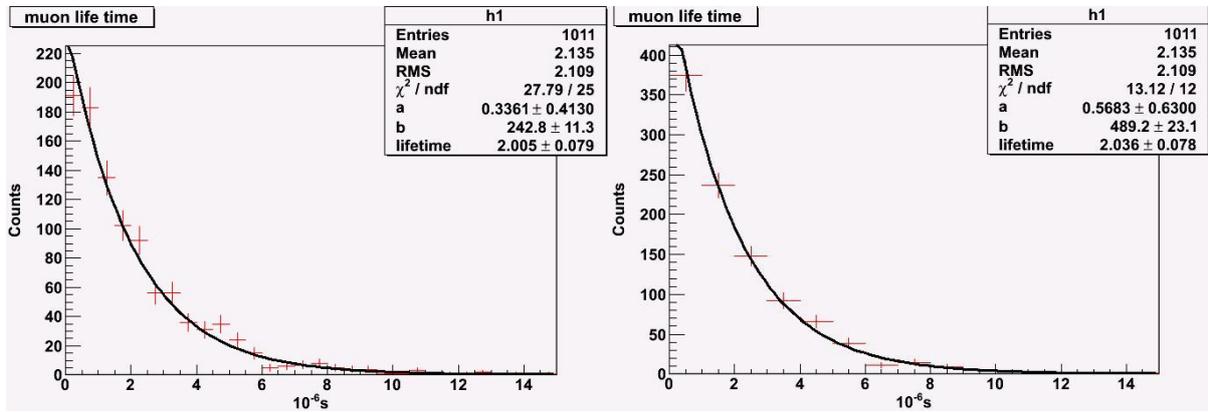


圖 5-10 左：bin size 0.5 μs ； 右：bin size 1 μs

此次測量歷時 65 個小時，但所測得的數量卻比之前測 63 小時來得少，由兩千多個減少至一千多個，推測可能的狀況有兩種，其一為延遲了 Start 後減少了記到兩相同訊號的狀況，另一個情況可能在調整延遲時移動到前面的邏輯，依照電腦所讀出檔案大小少一倍推斷，造成觸發 Start 數量明顯變少，因此將從頭檢查是否邏輯設置出現問題。

5-1.6 所有輸出訊號小於 10ns

時間：2010年8月17日20時至2010年8月18日10時共14小時

訊號寬度：小於 10ns

計時方式：Clock 計數轉換

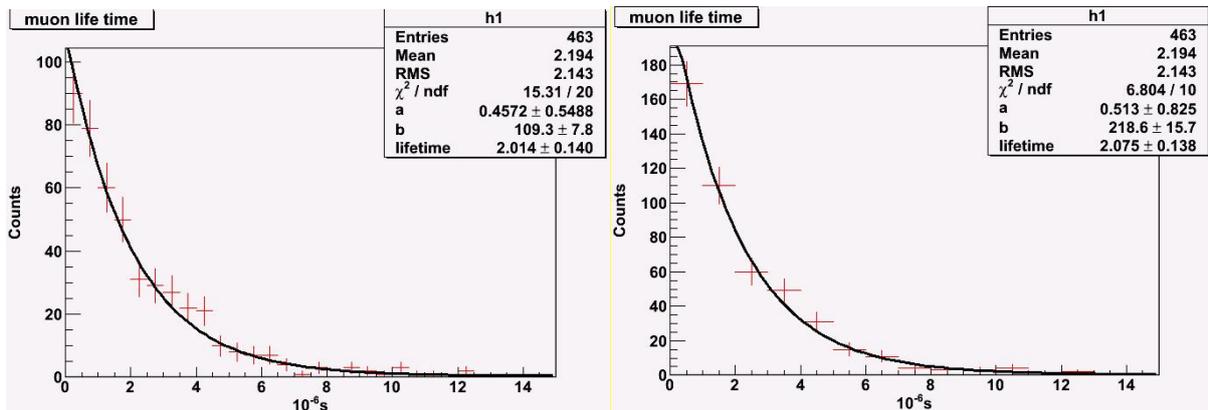


圖 5-11 左：bin size 0.5 μs ； 右：bin size 1 μs

訊號寬度由 20ns 調整至 10ns 時，可測得更小時間的 muon 生命期，因此將訊號寬度調整小於 10ns 後，可測得比訊號寬 10ns 所能測得的秒數還小，增加實驗的精準度。但結果並不如此，訊號寬度減少後，所出現的時間不穩定，而在作 Coincidence and 的時候，因訊號寬度不夠大無法產生重疊的部分而遺失了許多訊號，所測得之數據並無比訊號寬度 10ns 來得準確，因此將訊號寬度改回 10ns 進行 muon 生命期的實驗。

5-1.7 重新檢查邏輯並將訊號寬度設定 10ns 測試

時間：2010 年 8 月 19 日 20 時 至 2010 年 8 月 22 日 10 時 共 64 小時

訊號寬度：10ns

計時方式：Clock 計數轉換

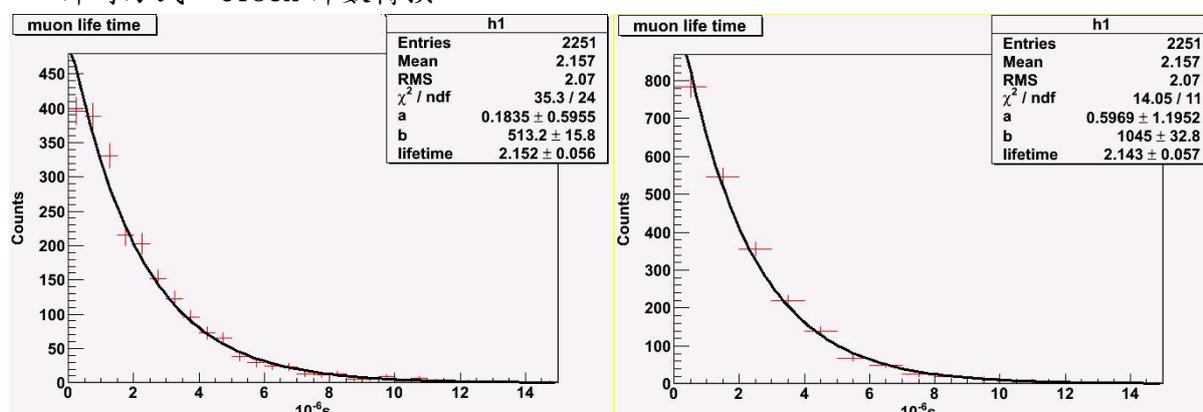


圖 5-12 左：bin size $0.5 \mu\text{s}$ ； 右：bin size $1 \mu\text{s}$

此次測量所得出的 muon 生命期已接近理論值，而誤差部分也因測量時間延長減少許多，主要還是在 bin size $0.5 \mu\text{s}$ 接近 0 的第一點部分並沒有在 fitting 曲線上，雖然與之前訊號寬 20ns 時相比情況有明顯改善，但可能還有更少秒數的生命期無法計到而造成計數量無法與理想中的數量相同。

5-2 Muon 生命期測量

時間：2010 年 8 月 23 日 20 時 30 分 至 2010 年 8 月 30 日 9 時 30 分

共 157 小時

訊號寬度：10ns

計時方式：Clock 計數轉換

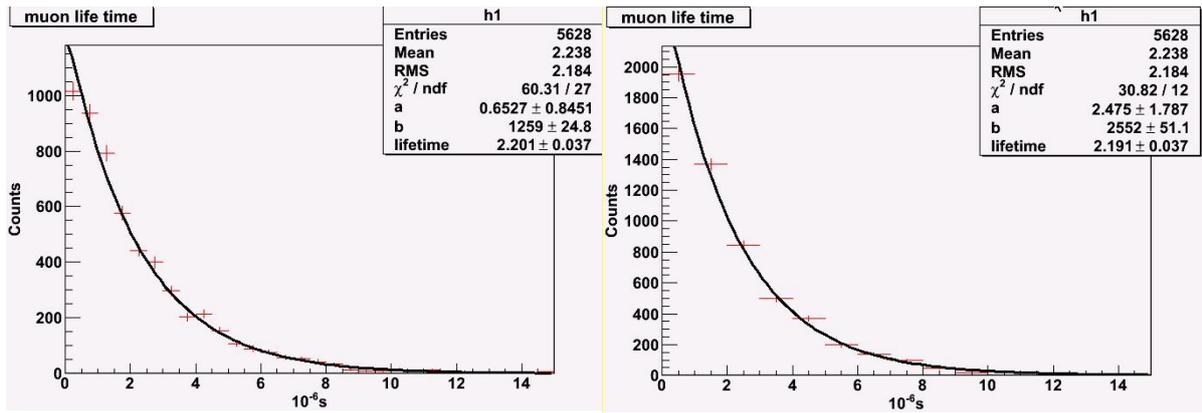


圖 5-13 左：bin size $0.5 \mu\text{s}$ ； 右：bin size $1 \mu\text{s}$

由此次的實驗可知 muon 生命期與理論質相當符合，bin size $0.5 \mu\text{s}$ 所 fitting 出的生命期為 $2.20 \mu\text{s}$ ，而 bin size $1 \mu\text{s}$ 為 $2.19 \mu\text{s}$ ，其誤差為 $0.037 \mu\text{s}$ ，比前幾次測量都要來的少，表示若要減少誤差值必須增加測量時間，由此結論可推斷 muon 的生命期在 $2.19 \mu\text{s}$ 及 $2.20 \mu\text{s}$ 之間。

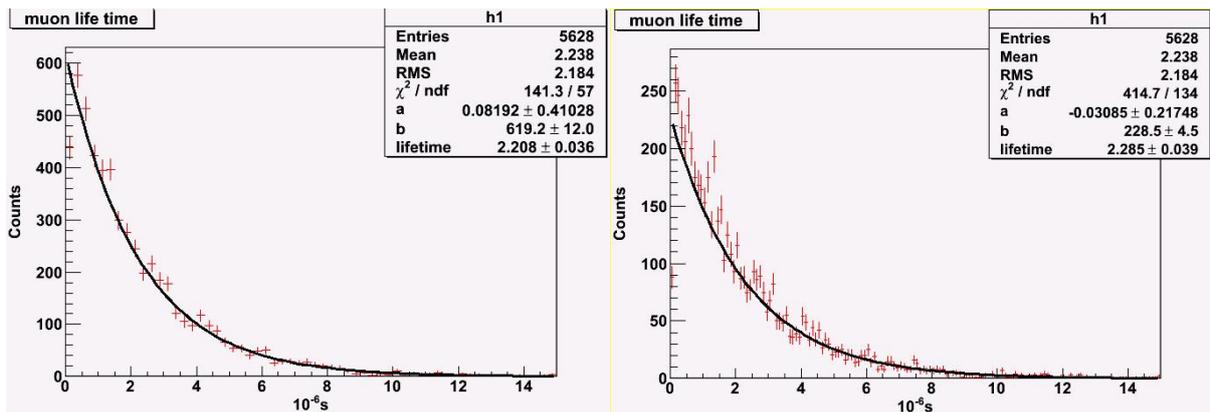


圖 5-14 左：bin size $0.25 \mu\text{s}$ ； 右：bin size $0.1 \mu\text{s}$

5-3 不同時間下的 muon lifetime

全部測量時間為六天又 13 小時，取六天整共 144 小時分割不同時間對於 muon 生命期的結果，分成六天為一個單位，三天為一個單位，兩天為一個單位，一天為一個單位進行分析，採計時間由 2010 年 8 月 24 日 0 時 至 2010 年 8 月 30 日 0 時。

5-3.1 取樣六天

時間：2010年8月24日0時至2010年8月30日0時

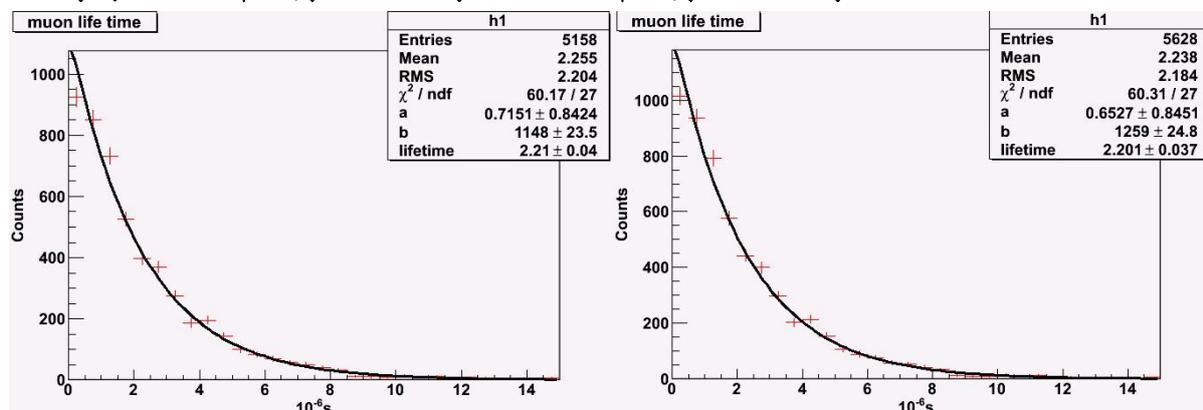


圖 5-15 左：144 小時；右：157 小時

取樣 144 小時與原先相差 13 小時，取樣數少 500 個，fitting 出 muon lifetime 為 2.21，誤差於 0.04，此取樣與總數取樣比較並無相差太多，而點所分部的位置也與總數取樣相似，計數量約略下降，由此比較可知相差 13 小時對於實驗結果影響並無太大關聯性。

5-3.2 取樣三天

時間：2010年8月24日0時至2010年8月27日0時

2010年8月27日0時至2010年8月30日0時

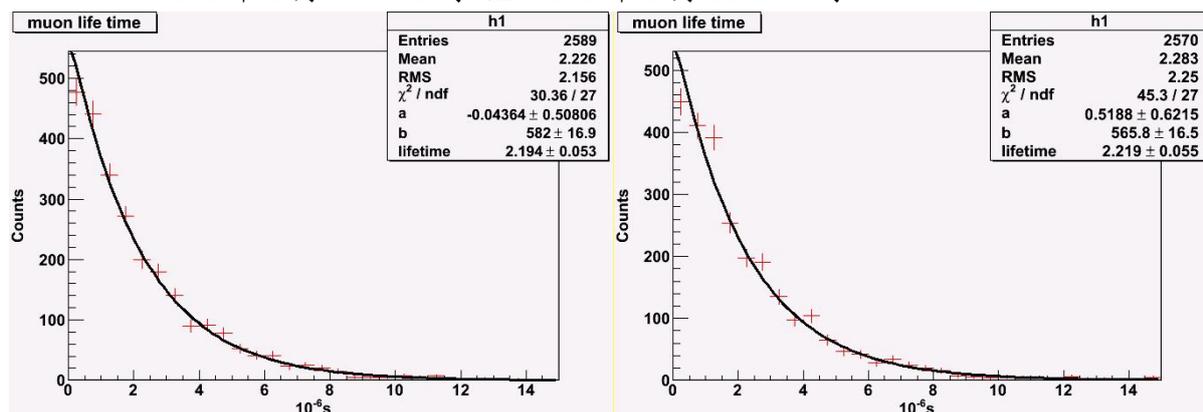
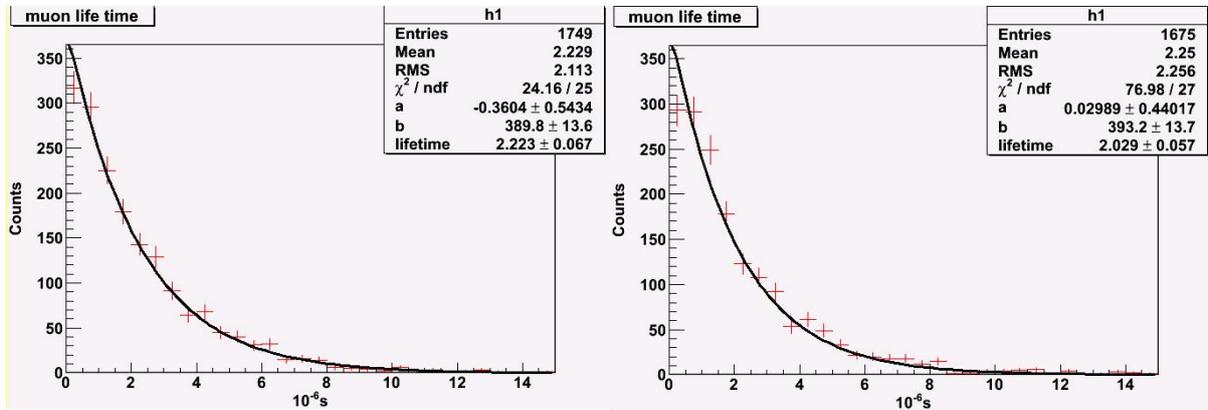


圖 5-16 左：2010 年 8 月 24 日 0 時起；右：2010 年 8 月 27 日 0 時起

前三天與後三天取樣數相差不多，表示通量約相同，前三天點與 fitting 曲線較吻合，測出的 muon 生命期也較接近理論值；後三天在於 $1.5 \mu\text{s}$ 的數量比前三天高出許多， $3 \mu\text{s}$ 與 $4.5 \mu\text{s}$ 部分計數也明顯增加，相對於第一點的計數比前三天少，導致斜率降低而使 fitting 出的 muon 生命期增加(參考 fitting 公式)。

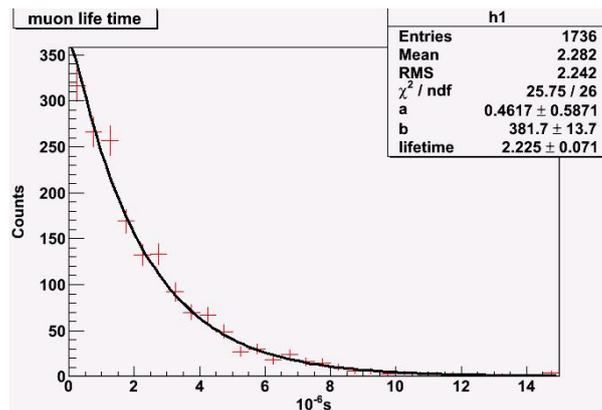
5-3.3 取樣兩天

時間：2010年8月24日0時至2010年8月26日0時
 2010年8月26日0時至2010年8月28日0時
 2010年8月28日0時至2010年8月30日0時



(a)

(b)



(c)

圖 5-17 (a)：2010年8月24日0時起 (b)：2010年8月26日0時起
 (c)：2010年8月28日0時起

分為前兩天，中間兩天，跟後兩天分析，中間兩天取樣量少約70個，而第一點的部分明顯與另外兩張圖低許多，幾乎與第二點相同，推測此兩天生命期較短的數量比較少，使全部時間平均後得到的結果降低了第一點 $0.5 \mu\text{s}$ 的計數，因此取前兩天與後兩天合起來作圖觀察 $0.5 \mu\text{s}$ 的計數是否符合 fitting 曲線。

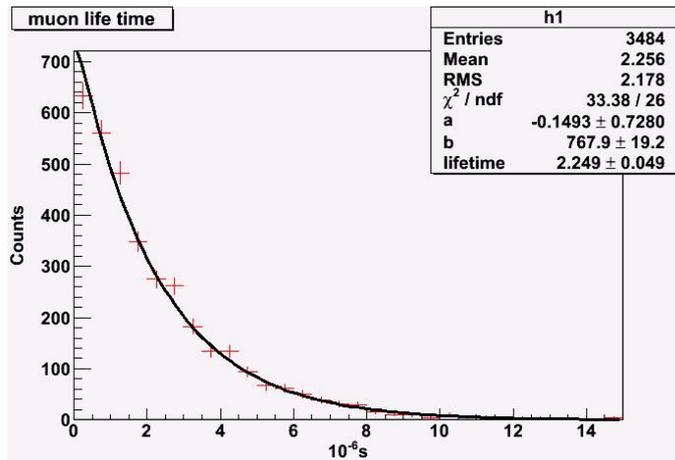
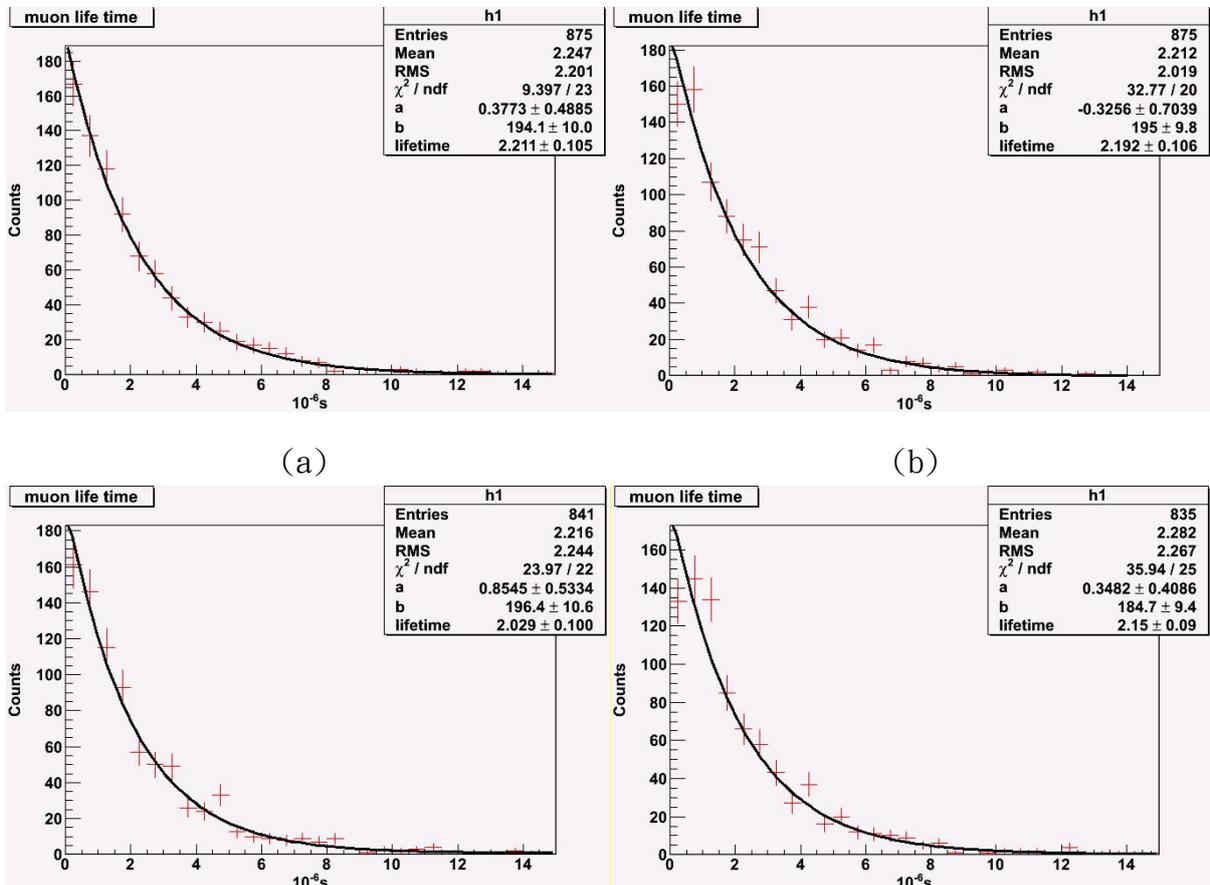


圖 5-18：採計 24 日 0 時~25 日 0 時、28 日 0 時~30 日 0 時

圖中可明顯看出沒有之前所測第一點 $0.5 \mu\text{s}$ 計數往下掉的情況，點也幾乎在 fitting 的曲線上，但生命期取樣總數的時間要來的高，原因為 26 日 0 時至 28 日 0 時在生命期 $2 \mu\text{s}$ 以後計數明顯比前後兩天少，而只採計前後兩天的數量則 $2 \mu\text{s}$ 以後計數因沒有與中間兩天平均，因此整個計數往上提升，使得斜率下降，導致 muon lifetime 上升。

5-3.4 取樣一天



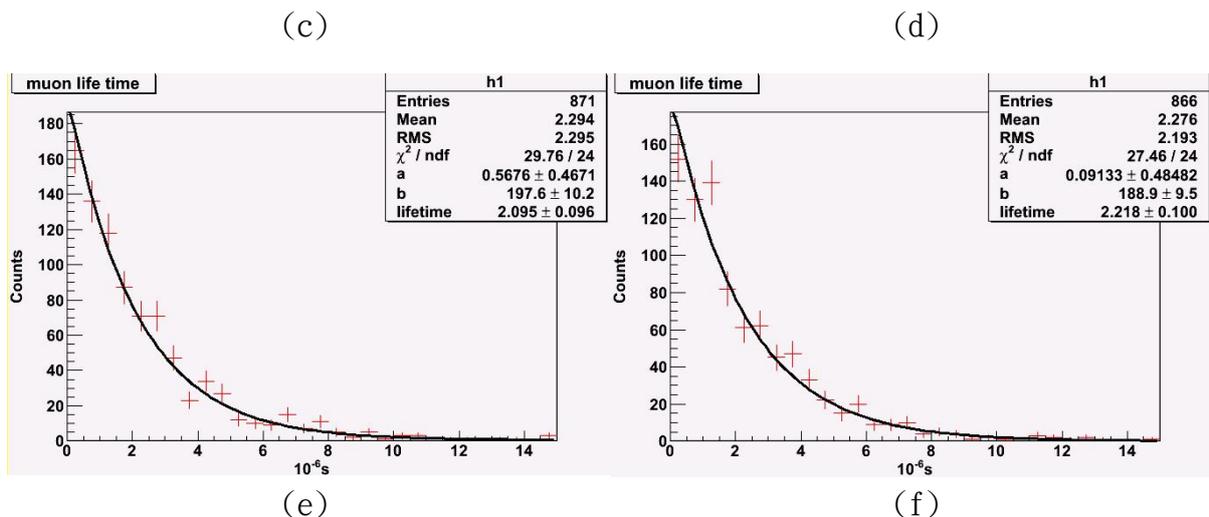


圖 5-19 (a)：2010 年 8 月 24 日 0 時起 (b)：2010 年 8 月 25 日 0 時起
(c)：2010 年 8 月 26 日 0 時起 (d)：2010 年 8 月 27 日 0 時起
(e)：2010 年 8 月 28 日 0 時起 (f)：2010 年 8 月 29 日 0 時起

不同天所取樣的數據所 fitting 出的 muon lifetime 值有高有低，因此取樣總數將這些平均後取得平衡接近 2.19，不同天的分析看出範圍大約在 $2.0 \mu\text{s} \sim 2.2 \mu\text{s}$ 之間，通量每天也不盡相同，大約在 850 左右。

由每一天的分析可知，若實驗只取一天進行量測，所得出的 muon 生命期無法取得穩定的時間，只能知道在一範圍內，而將取樣數量拉長至三天後，平均過後的計數將彼此的誤差縮小，因此結果相差不遠，由此可知測量時間的長度對於 muon 生命期實驗有很大個影響，測量時間越長，所測出 muon 生命期變動的幅度越少，越具參考價值。

5-4 使用單一探測器測量

A、B、C 三個閃爍體重疊所設計出的探測邏輯中，以中間 B 的角色最為重要，他包含了接收 muon 的射入及 muon 的衰變，而 A 及 C 的功用在於增加實驗的精準度，判斷是否為 muon 射入探測器，且是否停留在 B 探測器中進行衰變，因此單獨使用 B 探測器即可測量 muon 的生命期，而與三片閃爍體的差別在於無法過濾不必要的訊號而增加了實驗的誤差。

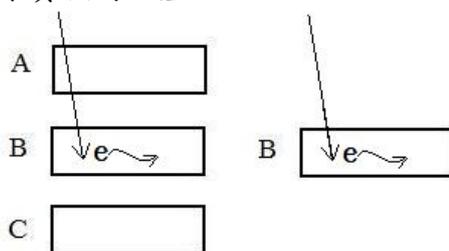


圖 5-20：三片閃爍體與一片閃爍體探測比較

5-4.1 觸發條件與線路

少了 A 與 C 上下兩層的過濾，B 所能觸發的條件增多，而多的訊息可能成為後來所探測到的背景及雜訊，以下是單獨使用 B 探測器所觸發的條件。

Start 觸發條件：

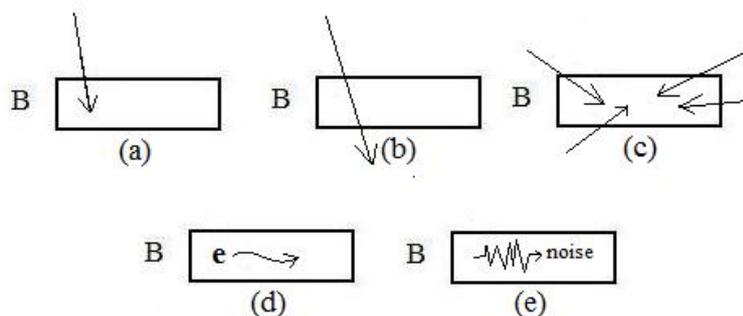


圖 5-21：各種 Start 觸發狀況

- (a)：理想情況觸發 Start 訊號輸出。
- (b)：muon 直接通過探測器而非停在探測器中進行衰變。
- (c)：四面八方的粒子射入探測器皆可觸發。
- (d)：停在閃爍體衰變的 muon 訊號也可能因無法判斷先後的關係而將其當成 Start 訊號，開始進行時間測量。
- (e)：若探測器中的雜訊超過 threshold 則也會被當成 Start 訊號。

Stop 觸發條件：

Stop 的觸發狀況大致與 Start 相同，所要探測的訊號為圖 5-21(d)，因觸發的條件相當多，因此可以預測實驗會紀錄不必要的訊號。

線路圖：

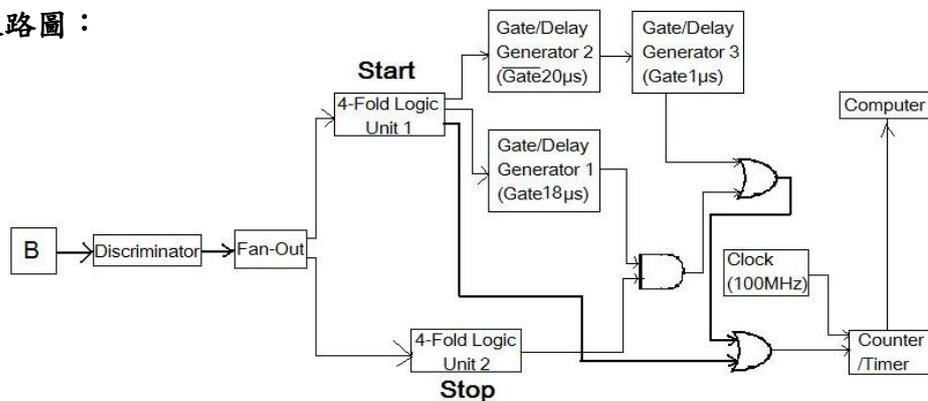


圖 5-22：單獨使用 B 探測器測量之線路圖

與三片閃爍體探測時相同，利用 Start 觸發一 $18\mu s$ 的 Gate 與一 $20\mu s$ 的停止訊號，而在 $20\mu s$ 內同時出像兩個 muon 通過探測器的機率很小，因此可以過濾掉許多上述觸發的狀況。

5-4.2 測量 muon 平均生命期

第一次測量：

時間：2010 年 8 月 11 日 21 時 至 2010 年 8 月 12 日 10 時 共 13 小時

地點：中央研究院物理所四樓 403 室

訊號寬度：10ns

計時方式：Clock 計數轉換

此次測量出的數據全部都為 60ns，明顯可知是一次錯誤的測量，推測造成此原因的狀況有兩種：

1. Start 所觸發 $18\mu s$ Gate 訊號會比 Start 訊號晚幾個奈秒出現(如圖 5-9 左)，因此 60ns 可能為此兩訊號間的時間。
2. 可能為兩相同訊號經由不同線路的延遲使兩訊號出現的時間不同所造成(如圖 5-8)

第一個狀況因 $18\mu s$ Gate 必須要有另外 Stop 訊號與其 and 後才可能產生訊號輸出，此 Stop 的訊號並不會是一定值，且若此狀況成立，則之前使用三片探測器測量時即會出現此狀況，因此排除第一個狀況的可能性。

第二個狀況因 Start 及 Stop 接由 B 輸出，沒有其他探測器進行篩選，而從 B 探測器出來的訊號會同時送入 Start 與 Stop，Stop 又必須與 $18\mu s$ Gate 作 and 多接了一台儀器，因此相同的訊號在此兩線路變會有不同的延遲情形，造成數據皆為 60ns。

將 Start 輸出訊號延遲後，使兩相同訊號在不同線路時輸出時間相同，經過此調整後進行測量改善錯誤的狀況。

第二次測量

時間：2010 年 8 月 16 日 18 時 至 2010 年 8 月 17 日 10 時 共 17 小時

地點：中央研究院物理所四樓 403 室

訊號寬度：10ns

計時方式：Clock 計數轉換

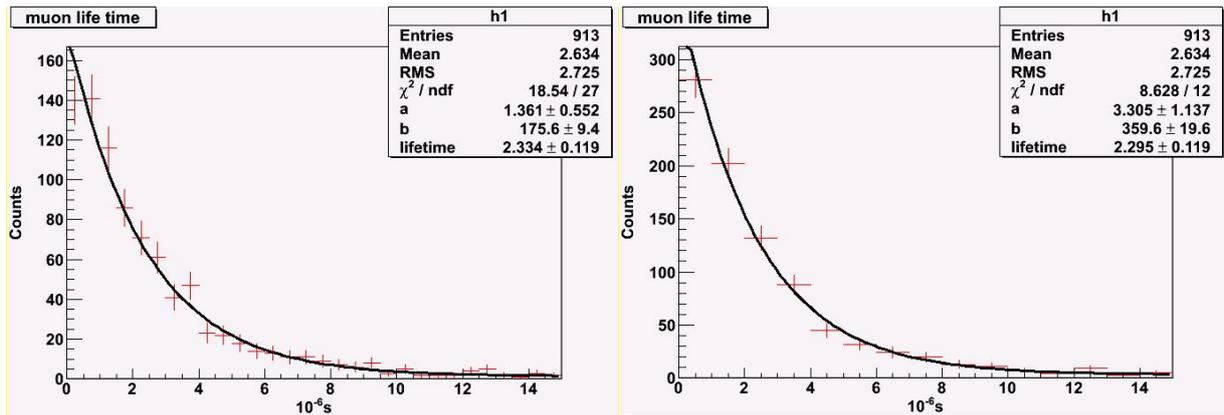


圖 5-23 左：bin size $0.5 \mu\text{s}$ ； 右：bin size $1 \mu\text{s}$

單獨使用一個探測器測量最大的差別在於所探測到的雜訊較多，在圖中可看出背景的 a 值比使用三片探測器時要來的高，所測到的訊號也比相同測量時間所得的訊號還多，測出的 muon lifetime 也比理論值稍大一點，可預測在測量許多不是 muon 衰變訊號後，使秒數較多的部分明顯往上升，這也導致斜率的下降，因此生命期上升。

在 bin size $0.5 \mu\text{s}$ 圖中第一點 $0.5 \mu\text{s}$ 的部分比 fitting 的曲線要少許多，因此將第一點排除後重新作圖並進行分析。

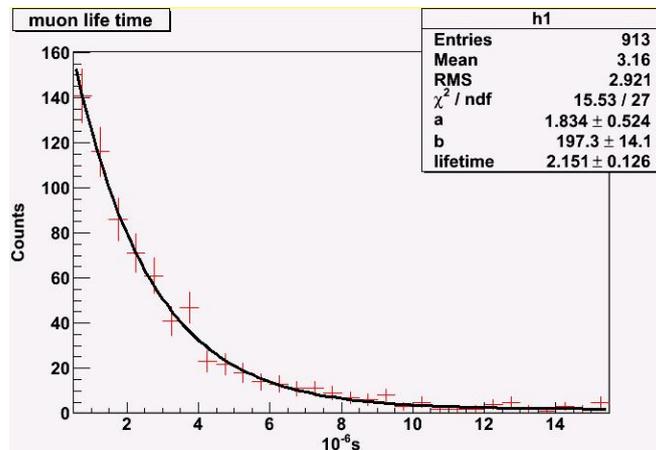


圖 5-24：排除第一點 $0.5 \mu\text{s}$ 重新作圖

不計算第一點後，fitting 斜率明顯提升而使生命期下降，圖上的點也較能與曲線吻合，生命期較接近理想值。

第六章 討論

6-1 二次 plateau 與 threshold 量測

工作電壓訂定的嚴謹度是此兩次實驗所探討的部分，第一次測量主要訂定大概的位置，控制變因也依照測出來數據而作調整，並無依照順序使控制變因由小而大逐一測量；第二次測量是以較嚴謹的方法，先固定電壓後，進行不同 threshold 與計數的測量，當一組數據完成後，在慢慢提高電壓進行下一組數據的測量。Plateau 的測量是如此，先固定 threshold 值，進行不同電壓與計數的測量，爾後再加大 threshold 進行下一組數據的量測。

會進行第二次測量的原因為進行 muon 生命期的測量時，在示波器上及計數器上皆無法測出所推測的時間，檢查邏輯時並無錯誤，因此考慮是否為工作電壓太小導致衰變出來的訊號接收不到，而懷疑工作電壓是否正確，進行重測 plateau 及 threshold 的工作。

重測的結果並無太大的改變，因此排除了工作電壓所造成的原因，而最後檢查的結果主要的原因有二：其一為當時並無用 Start 觸發 18 μ s Gate 的訊號與 Stop 作 and 而不能確定 Stop 出現在 Start 之後，也無觸發 20 μ s 的結束訊號，導致常常計到兩個 Start 的訊號而非一個 Start 與 Stop。另外使用示波器觀看訊號時，當 trigger 示波器的訊號調成 Start 或 Stop 時，皆可以看到訊號一兩秒就會出現一個，但無法看到另外一個訊號在之後或之前出現(圖 6-1)，與推測出的狀況不同，而轉由 Stop 與 18 μ s Gate and 的輸出訊號 trigger 後，等待 10 秒左右仍無訊號產生，因此懷疑線路或某部分的調整出現問題，但後來發現並不是儀器上或接線上的錯誤，而是時間上的問題，平均每五分鐘才會有一個衰變的訊號出現，爾後在進行示波器觀測時，都必須等待約五分鐘的時間才能看出一個完整的訊號。

經過兩次不同方式的測量可知，只要能找到工作平區的地方即是光電倍增管較穩定的地方，在此電壓下進行量測較能得到準確的實驗結果，而在平區中無法看出哪一點才是最穩定的一點，只能依照實驗所需，在平區範圍內進行調高電壓或降低電壓的工作。

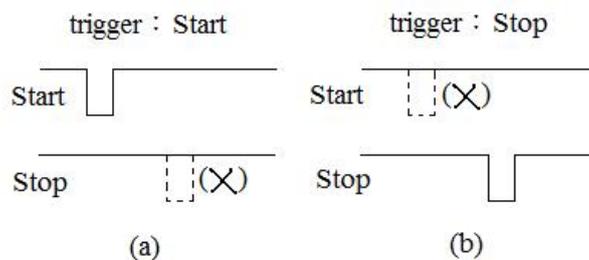


圖 6-1 (a) : Start 後並無 Stop 出現
(b) : Stop 前並無 Start 出現

6-2 閃爍體 B 厚度的功用

在三片閃爍體中，A 與 C 厚度為 1 公分，而 B 為 5 公分，將較厚的 B 擺放置中間主要目的是使更多的 muon 在閃爍體中進行衰變。一般來說粒子穿透一物體或停留在物體內的機率與此物體的厚度有關，越厚的物體越難穿透，而邏輯的配置是假設 muon 穿透最上一層閃爍體 A 射入 B，在 B 中進行衰變而無法穿透 B，因此 B 閃爍體厚度比 A 與 C 還厚，且擺放置中央，使 muon 停留在 B 閃爍體的機率增加。

6-3 時間膨脹

假設 muon 在大氣高度 10km 產生，行進速度為光速 3×10^8 m/s，可推得當 muon 到達海平面時所花費的時間為 $\frac{9 \times 10^3 \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} = 3 \times 10^{-5} \text{ s} = 30 \mu\text{s}$ ，大於所測得 muon 生命期 $2.2 \mu\text{s}$ ，表示當 muon 還未到達海平面進行探測時，已經衰變至大氣中而無法探測，那為什麼在接近海平面高度還是能測到 muon 的生命期呢？

地球上所觀測的 muon 生命期並非靜止的生命期，而是每個粒子以接近光速 (0.999c) 向地球行進，因此在地球上觀測的座標就必須經由狹義相對論的修正再進行計算。

Lorentz transformation 中定義 $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ ，將 0.999c 代入其中可

得 $\gamma = 22$ ，因此當 muon 以光速行進時的生命期為 $22 \times 2.2 \mu\text{s} = 48.4 \mu\text{s}$ ，比 muon 由大氣到達海平面的時間還要來得長，因此大部分 muon 粒子皆能在海平面被探測，而由探測器所測到的生命期因 muon 停留在探測器中進行衰變，測到的時間即是 muon 靜止的生命期。

6-4 訂定 $18 \mu\text{s}$ Gate 即 $20 \mu\text{s}$ 停止訊號

由 Start 所觸發的 $18 \mu\text{s}$ Gate 和 $20 \mu\text{s}$ 的結束訊號是如何訂定其時間的長短呢？依據衰變公式 $N(t) = N_0 e^{-t/\tau}$ ，假設生命其 τ 值為 $2 \mu\text{s}$ ，個數的多寡依照指數遞減，若 t 以 $20 \mu\text{s}$ 代入後可發現在指數的部分已經到達了 $e^{-10} \cong 4.5 \times 10^{-5}$ ，而所測的 N_0 最多為 2500 個，與指數相乘後所得值趨近於 0，可推斷在 $20 \mu\text{s}$ 所測到的計數大約是 0，因此訂定 $20 \mu\text{s}$ 後不會出現粒子數進行衰變，而為一個 muon 粒子衰變事件的結束時間。

採用 $2 \mu\text{s}$ 當成兩訊號的緩衝時間，避免 Start 所觸發的兩訊號重疊，因此訂定了 $18 \mu\text{s}$ Gate，表示在 $18 \mu\text{s}$ Gate 都會有衰變訊號產生，但實際上在 $15 \mu\text{s}$ 以後發生衰變的機率相當少。

6-5 實驗延伸與改進

受於儀器的限制及環境的關係，實驗上難免會有誤差，如何減少誤差增加實驗結果的參考價值便是改進的重點，而本次實驗在儀器上有三片閃爍體可使用，測量時間為六天，測量的最小解析時間到達 10ns，已經有辦法測出接近理論值的生命期，但其中誤差值稍微大一點，因此還可以進行改進使實驗參考價值提高。

- (1)增加測量時間：延長測量時間可取樣較多的 muon 粒子，當數據變多後經由平均可將誤差值降低
- (2)擴大閃爍體面積：增大粒子的接受面積主要目的在於增加單位時間內可測得粒子數機率，使數據量增加來降低誤差值。
- (3)增加閃爍體數量：閃爍體數量增多可以有更多的應用來過濾不必要的雜訊，如增加不同方向的測量，可過濾掉從旁邊射入單一探測器的粒子。也可以增加更多的 Stop 數據，因 muon 衰變成電子方向是隨機的，因此可接收到的方向增多後即可在相同時間內增加數據的數量。

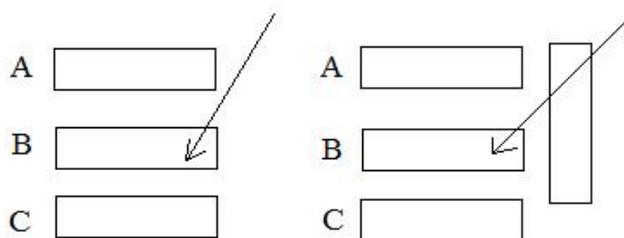


圖 6-2：使用不同方向的探測器過濾不必要的粒子射入

- (4)增加 Clock 的頻率：本次實驗使用的 Clock 所能計到最小值為 10ns，10ns 以下的時間將無法計到，因此可能漏計好幾個衰變時間。
- (5)儀器穩定後再進行測量：當儀器由靜止後啟動，溫度會慢慢上升，而不同溫度下線路傳送訊息的速度也因電阻的不同而有所改變，因此可將儀器開啟一段時間後再進行測量較為穩定。
- (6)使用加速器產生 muon：此狀況必須要由加速器才能到達此結果，探測由加速器所產生的 muon 可減少很多不必要的背景輻射，使實驗結果更為準確。
- (7)加快計數器的反應：計數器記錄一事件後，會有 0.01 秒的延遲時間，而在觸發計數的同時也有幾奈秒的延遲時間，因此實際上能夠測得最小的值只有 20ns，改善此狀況必須增加計數器的敏銳度及反應時間，使其能計到更小的秒數及更多的數量

6-6 第一點測量點(0.5 μs)

本次實驗遇到最常發生的問題是進行直方圖作圖時，常出現第一點即 0.5 μs 的計數約略較少的趨勢，在之前的討論提到訊號寬度會影響可解析最小秒數值，但訊號的寬度有限，小於 10ns 後極不穩定，而計數器的解析也有一定的極限，因此考慮已測量計數器對兩訊號時間間隔的極限作解析，利用此方法回推第一點計數值可能的正確數值。

利用 Gate and Delay Generator 製作穩定的訊號輸入計數器進行測量，採用兩種方法測試，其一固定事件數改變兩訊號寬度進行解析，另外再固定兩訊號寬度增加不同的事件數。

6-6.1 固定事件數改變訊號間距

示波器上顯示兩訊號間距(μs)	計數器事件數(次)	實際事件數(次)	效率(%)
1	1589	1588	100.1
0.5	1590	1590	100.0
0.4	1553	1554	99.9
0.3	1593	1593	100.0
0.2	1554	1553	100.1
0.1	1553	1553	100.0
0.05	1397	1403	99.6
0.04	1459	1459	100.0
0.03	1459	1459	100.0
0.02	1458	1458	100.0
0.012	0	1455	0.0

表二：計數器對於不同訊號間距之效率

在大約相同的事件數中，大於 0.02 μs 可解析的事件數幾乎接近百分之百，但在 0.02 μs 以後卻無法解析，因此可推測 0.5 μs 這一點可能漏計很多 0.02 μs 以下的數量導致比直方圖 fitting 出的值降低許多。

由上表已知數據將 0.5 μs 以下的解析度經由平均後可得平均解析度為 89.95%，利用此效率修正實際數量重新作圖。

測量值：1015 回推實際值：1015/89.95%=1128

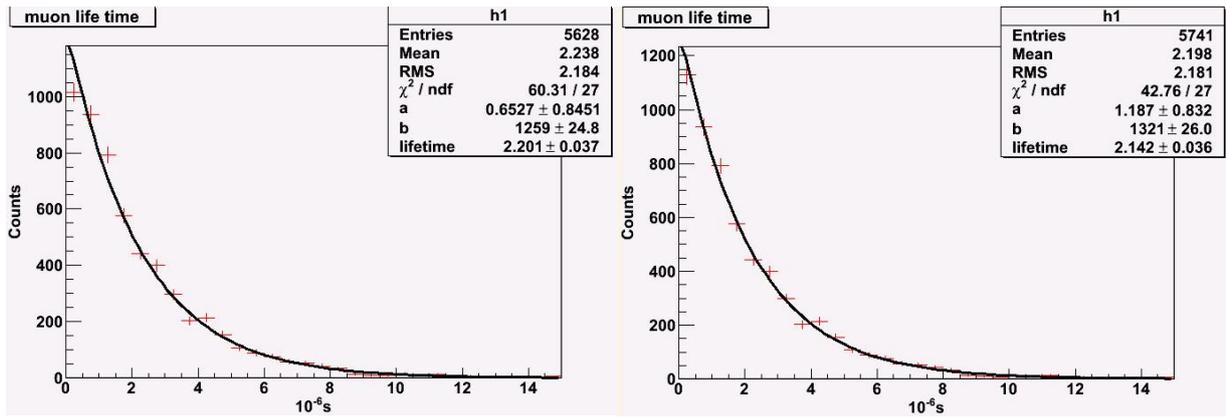


圖 6-3 左：修正前；右：修正後

修正後的點較能與 fitting 曲線吻合，圖形顯示的結果較具參考價值，因此可知在 $0.2 \mu\text{s}$ 以下的部分也擁有一定的數量，只是計數器無法量測，必須經由效率的修正才能得到此數量。修正後所得 muon 生命期為 $2.14 \pm 0.036 \mu\text{s}$ 。

6-6.2 固定訊號間距改變事件數

兩訊號間距 (μs)	兩事件間 距(s)	計數器事件數 (次/1min)	實際事件數 (次/1min)	效率 (%)
1	0.101	595	594	100.2
1	0.098	613	613	100.0
1	0.0351	878	1708	51.4
1	0.0037	1465	16377	8.9

表三：計數器對於不同事件密集度之效率

計數器記錄一事件後需要 0.01 秒的延遲才能在記錄下一個事件，因此兩事件數相差時間比 0.01 秒小的一欄，效率明顯很差，但為什麼在兩事件間距為 0.035 秒一欄效率並無法到達百分之百？0.035 秒比 0.01 秒還長，理論上在計數器反應時間內，推測可能實際上所需要反應的時間比 0.01 秒還要多，計數器經由一個通道觸發後需要經過一些時間使計數器反應，因此 0.01 秒必須再加上觸發後到計數器開始計數這段時間，才是真正計數器紀錄兩事件間的延遲時間。

依照理論值通量 $1 \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ 換算可知閃爍體每分鐘的通量大約為 600 個 muon 通過，表中第一列及第二列所顯示的個數與通量大致相符，計數器接收效率為百分之百，因此此實驗較不會因單位時間內出現太多的事件數而影響結果。

一般來說事件數多寡只會影響在單位時間內數據取樣的多少，將實驗時間延長後便能改善，並不影響秒數解析與實驗的結果。因此真正造成計數 $0.5 \mu\text{s}$ 往下掉的原因為 $0.02 \mu\text{s}$ 以下的秒數無法解析。

參考資料

- “Wikipedia, the free encyclopedia, Muon” <http://en.wikipedia.org/wiki/Muon>
- “Preston College Cosmic Ray Group” <http://teachers.web.cern.ch/teachers/archiv/hst2000/teaching/expt/muoncalc/lifecalc.htm>
- “Wikipedia, the free encyclopedia, Decay” http://en.wikipedia.org/wiki/Exponential_decay
- “The Particle Adventure” <http://www.particleadventure.org/>
- “科學資料庫 Science DB” <http://www.phy.cuhk.edu.hk/astroworld/cosmic/sciDB.html>
- William R. Leo “Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments”
- James William Rohlf “Modern Physics from α to Z^0 ”
- David Van Baak, 6/18/2010 “Conceptual Introduction to Muon Physics”
- H. Lubatti and D. Pengra, 13 May 2008 “Muon lifetime measurement”
- T.E. Coan and J. Ye “Muon Physics”
- 王國榮 1998/11/15 “新觀念的Visual Basic 6.0教本”
- 廖琬洲 2004/02/29 “撰寫C程式不發呆-從程式撰寫過程學起”

附錄A - 通量測量

1. 固定閃爍體B與C之距離

測量時間：3min

A 與 B 間距 (cm)	B 與 C 間距 (cm)	Coincidence A⊗B	Coincidence A⊗C	Coincidence B⊗C	Coincidence A⊗B⊗C
1.2	1.3	1638	1614	1581	1325
3.2	1.3	1553	1440	1573	1238
6.2	1.3	1395	1316	1592	1140
7.8	1.3	1381	1284	1578	1107
9.1	1.3	1293	1224	1664	1061

表四：改變 A 與 B 距離之通量關係

2. 固定閃爍體A與B之距離

測量時間：3min

A 與 B 間距 (cm)	B 與 C 間距 (cm)	Coincidence A⊗B	Coincidence A⊗C	Coincidence B⊗C	Coincidence A⊗B⊗C
1.2	1.3	1638	1614	1581	1325
1.2	3.2	1632	1445	1479	1232
1.2	6.2	1684	1344	1365	1142
1.2	7.8	1741	1347	1428	1173
1.2	9.1	1684	1184	1223	1029

表五：改變 B 與 C 距離之通量關係

兩張表中的第一列皆為探測時的距離，即muon生命期實驗時閃爍體間距，此部分可作為通量參考，可知通量大約在1600左右，與理論值 $1\text{ cm}^{-2}\text{ min}^{-1}$ 換算的2400約小一些，因為必須考慮兩片閃爍體間所能接受的立體角，所以有部分的粒子只能通過一片而無法紀錄，因此所測得的通量在立體角的考慮下具有參考的價值。

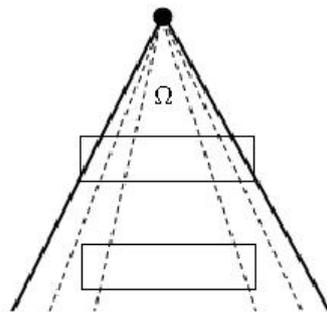


圖 7-1：立體角與閃爍體位置關係圖

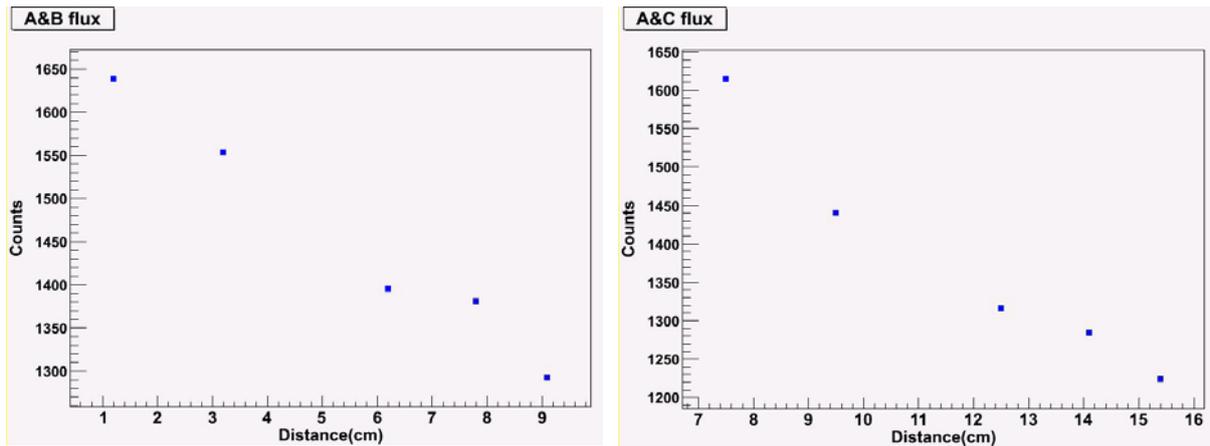


圖 7-2 左：A 與 B 不同距離通量關係圖
右：對應之 A 與 C 不同距離通量關係圖

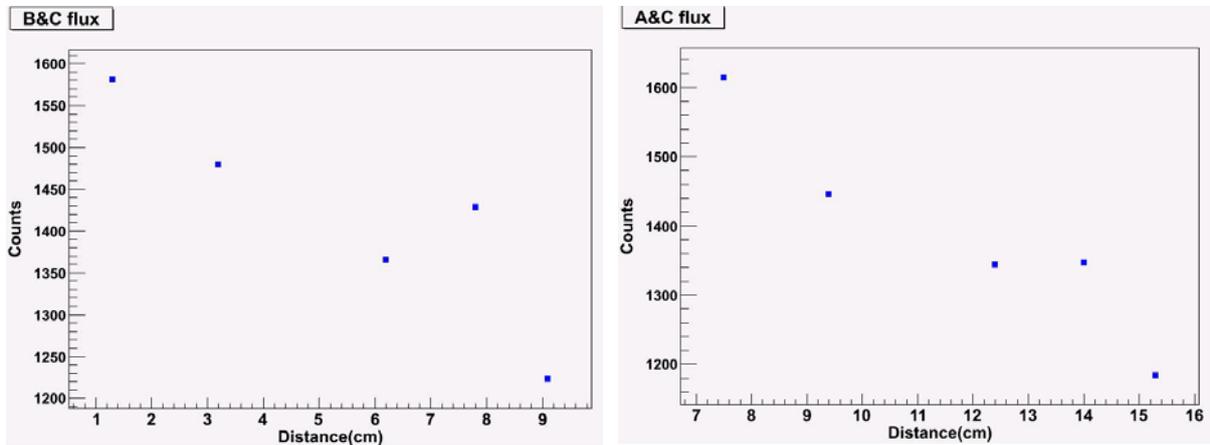


圖 7-3 左：B 與 C 不同距離通量關係圖
右：對應之 A 與 C 不同距離通量關係圖

距離對計數作圖，當距離增大時，所對應的計數因立體角的關係而減少，圖中關係大致呈線性關係遞減，但測量距離最大只達 15 公分，可能無法看出立體角與計數的正確關係。依照理論推斷當距離越大時，所能被探測的立體角度會漸漸減少，當距離到達一定量時，入射角度可能只有唯一的角度能夠被探測，計數也會趨向一定值，因此推斷距離與計數的關係可能為圖 7-4。

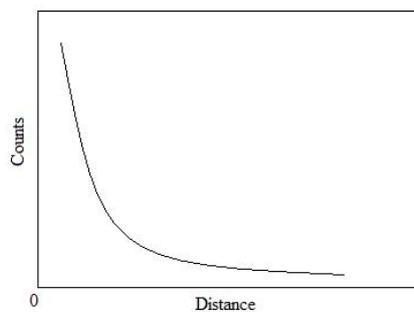


圖 7-4：預測距離與計數關係圖

附錄B - 量測Muon生命期實驗數據

Time (μ s)	Count	Time(μ s)	Count						
0.1	88	3.1	68	6.1	25	9.1	3	12.1	2
0.2	257	3.2	82	6.2	14	9.2	3	12.2	1
0.3	246	3.3	50	6.3	19	9.3	3	12.3	3
0.4	218	3.4	50	6.4	8	9.4	1	12.4	0
0.5	206	3.5	48	6.5	11	9.5	1	12.5	2
0.6	229	3.6	55	6.6	8	9.6	2	12.6	3
0.7	200	3.7	37	6.7	15	9.7	3	12.7	0
0.8	175	3.8	36	6.8	15	9.8	0	12.8	2
0.9	168	3.9	39	6.9	11	9.9	4	12.9	1
1	164	4	36	7	9	10	0	13	0
1.1	153	4.1	54	7.1	11	10.1	2	13.1	1
1.2	175	4.2	49	7.2	10	10.2	7	13.2	1
1.3	134	4.3	34	7.3	8	10.3	3	13.3	1
1.4	193	4.4	44	7.4	8	10.4	1	13.4	1
1.5	137	4.5	34	7.5	16	10.5	2	13.5	0
1.6	147	4.6	42	7.6	13	10.6	4	13.6	1
1.7	103	4.7	27	7.7	7	10.7	1	13.7	0
1.8	125	4.8	34	7.8	8	10.8	3	13.8	1
1.9	108	4.9	30	7.9	7	10.9	1	13.9	1
2	93	5	21	8	8	11	2	14	1
2.1	116	5.1	23	8.1	7	11.1	2	14.1	0
2.2	87	5.2	23	8.2	8	11.2	3	14.2	0
2.3	88	5.3	25	8.3	7	11.3	1	14.3	1
2.4	75	5.4	16	8.4	8	11.4	3	14.4	0
2.5	77	5.5	21	8.5	4	11.5	4	14.5	1
2.6	93	5.6	21	8.6	0	11.6	3	14.6	1
2.7	86	5.7	14	8.7	5	11.7	0	14.7	1
2.8	89	5.8	15	8.8	5	11.8	1	14.8	1
2.9	75	5.9	20	8.9	4	11.9	0	14.9	1
3	58	6	20	9	1	12	2		

表六：Muon 平均生命期測量數據

附錄C - 光電倍增管Plateau與Threshold矩陣

PMT-A

Voltage (V)	Threshold(mV)							
	Counts	10	20	30	40	50	60	70
500		11	1	0	0	0	0	0
550		74	8	2	0	1	0	0
600		307	38	12	5	1	2	0
650		1051	145	60	23	12	9	6
700		3139	576	175	85	69	33	12
750		6709	1550	563	272	148	109	77
800		12111	3844	1690	847	558	340	271
850		18007	7345	3887	2145	1299	872	671
900		25635	11822	7170	4439	3260	2309	1673
950		37307	17499	11516	8107	5865	4507	3816
1000		53452	24958	17142	12617	9918	7834	6255
1050		87295	36408	23716	17794	14615	12058	10530
1100		185795	54673	34618	24715	19914	16907	14963
1150		493600	79341	50694	36280	28642	23365	20269

表七：PMT-A 電壓、Threshold、計數關係

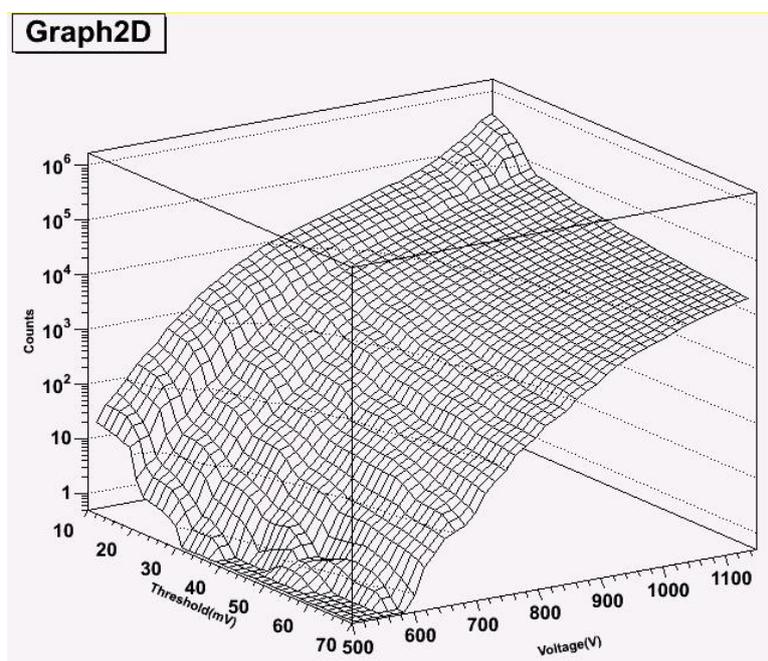


圖 7-5：PMT-A 電壓、Threshold、計數關係

PMT-B

Voltage (V)	Threshold(mV)							
	Counts	10	20	30	40	50	60	70
500		1589	162	70	28	0	0	0
550		5541	1222	297	329	81	30	30
600		6939	4504	3862	1715	453	270	180
650		12159	5940	5282	8365	1767	1131	849
700		37142	8163	6435	13601	5256	4399	3657
750		92828	19572	16857	13976	6234	6141	5601
800		150643	51536	47120	10666	8049	7395	6651
850		218296	101292	120279	25636	17603	11641	8563
900		302649	161932	230127	63743	38754	25110	19874
950		402176	225159	354327	109780	81723	60556	45421
1000		523078	297778	496385	160386	131929	104273	87560
1050		666960	384000	656067	219300	181822	151418	131775
1100		863200	485878	842574	283320	237439	206440	182833
1150		1240052	618448	1075381	360935	305534	267348	234326

表八：PMT-B 電壓、Threshold、計數關係

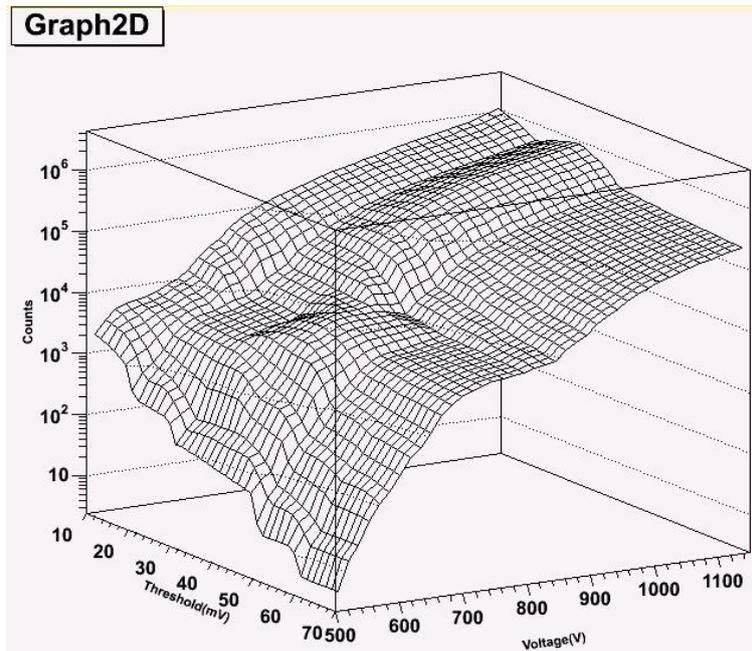


圖 7-6：PMT-B 電壓、Threshold、計數關係

PMT-C

Voltage (V)	Threshold(mV)							
	Counts	10	20	30	40	50	60	70
500	16	0	1	0	0	0	0	0
550	74	2	0	0	1	0	0	0
600	389	42	20	4	0	2	0	0
650	1264	196	58	31	19	14	10	0
700	3271	576	226	141	51	46	29	0
750	6707	1659	714	471	225	156	138	0
800	11578	4075	1976	1220	740	465	435	0
850	17476	7369	4250	2767	1759	1259	1068	0
900	23956	12020	7465	5169	3755	2992	2302	0
950	33345	17659	11730	8556	6490	4926	4703	0
1000	44064	23413	16908	13301	10109	7946	7658	0
1050	60193	30981	23021	18390	14793	12166	11795	0
1100	95459	41450	30090	25046	20133	16773	16671	0
1150	185574	52940	39490	33836	26701	22989	22597	0

表九：PMT-C 電壓、Threshold、計數關係

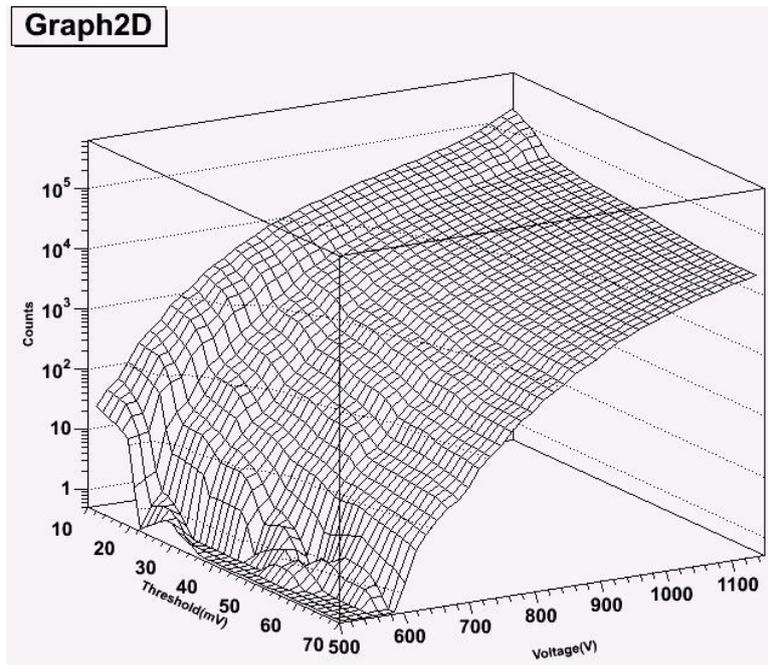


圖 7-7：PMT-C 電壓、Threshold、計數關係

PMT-A ⊗ C

Voltage (V)	Threshold(mV)							
	Counts	10	20	30	40	50	60	70
500		1	0	0	0	0	0	0
550		8	0	0	0	0	0	0
600		39	3	2	0	0	0	0
650		263	11	2	1	1	0	0
700		919	96	20	6	1	2	1
750		1477	387	93	30	17	10	6
800		1550	1234	435	189	94	41	30
850		1704	1608	1187	610	321	176	120
900		1760	1558	1518	1265	983	669	435
950		1869	1613	1510	1537	1468	1297	1223
1000		2114	1795	1560	1558	1487	1557	1471
1050		2444	1809	1630	1583	1615	1460	1525
1100		2815	2014	1835	1684	1613	1615	1602
1150		3304	2199	1949	1807	1742	1661	1673

表十：PMT- A ⊗ C 電壓、Threshold、計數關係

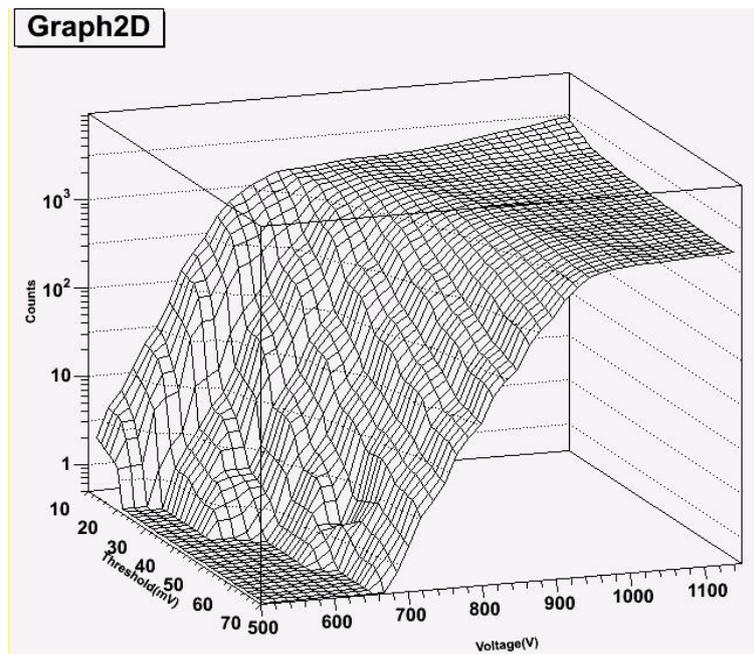


圖 7-8：PMT-A ⊗ C 電壓、Threshold、計數關係

附錄D - 計數器解析

示波器上所看到的訊號間距與計數器所測得的時間會有少許的誤差，範圍大約在 $0.01 \mu\text{s} \sim 0.02 \mu\text{s}$ 不規則出現，推測可能與訊號不穩定或計數器本身無法準確的量測有關，以下是所有事件中所測得的秒數分布。

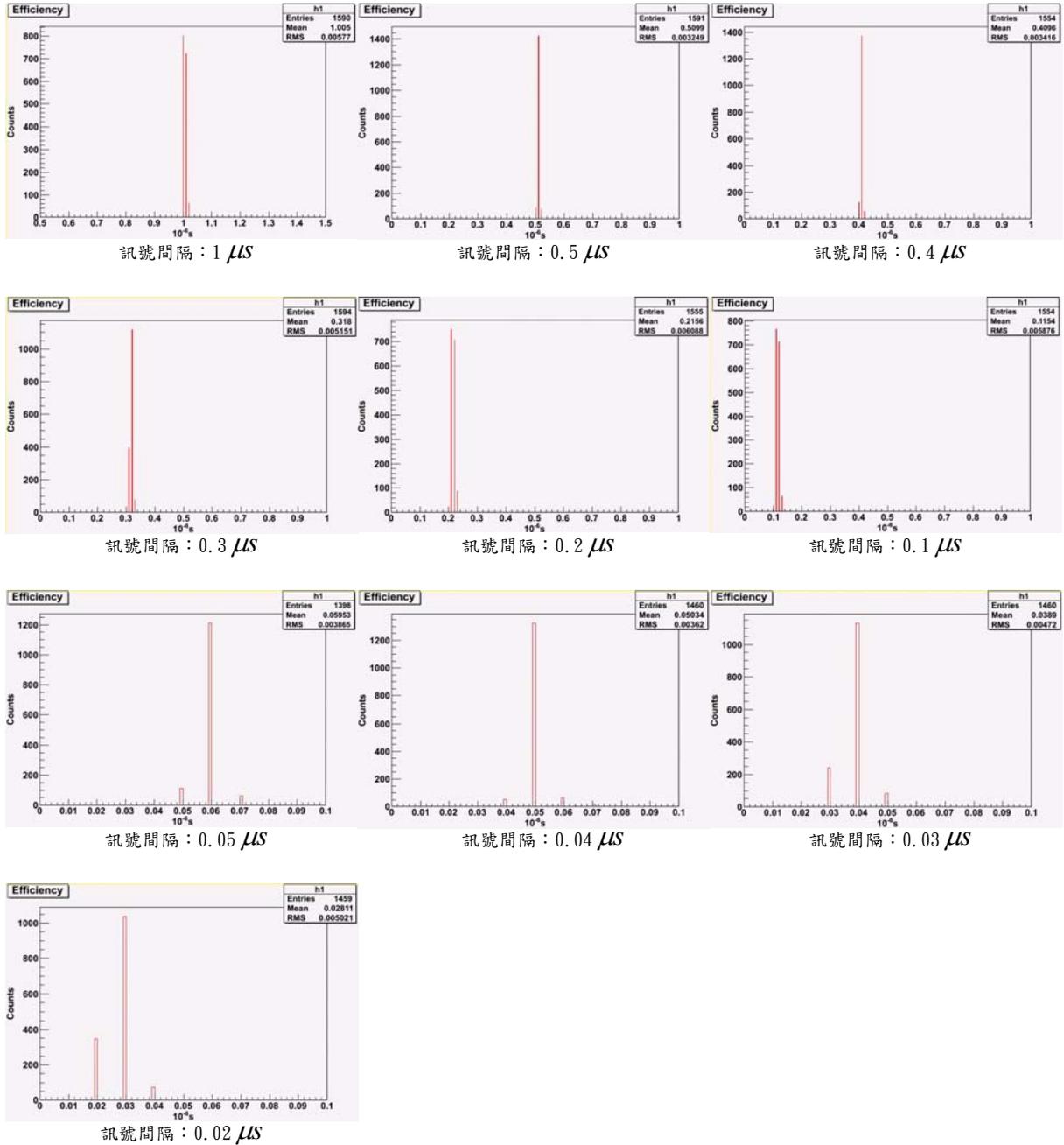


圖 7-9：計數器計數分布圖

附錄E - Root製作histogram與fitting程式碼

```
void lifetime()
{
    double max=15,min=0,bin=30;
    c1=new TCanvas("c1","lifetime histogram",200,10,700,500);
    h1=new TH1D("h1","lifetime",bin,min,max);
    ifstream fin("./muonLifetime/data/lifetime/final.txt");
    double a,wide;
    while(!fin.eof())
    {
        fin>>a;
        h1->Fill(a*1000000);
    }
    fin.close();
    wide=(max-min)/bin;
    for(a=0;a<bin;a++)
    {
        cout<<a*wide<<"    "<<h1->GetBinContent(a)<<endl;
    }
    TF1 *t1 = new TF1("t1","[0]+[1]*exp(-x/[2])",0,10);
    t1->SetParNames("a","b","lifetime");
    t1->SetParameter(0,0);
    t1->SetParameter(1,270);
    t1->SetParameter(2,2.2);
    h1->GetXaxis()->CenterTitle();
    h1->GetYaxis()->CenterTitle();
    h1->GetYaxis()->SetTitleOffset(1.30);
    h1->SetTitle("muon life time");
    h1->SetXTitle("10-6s");
    h1->SetYTitle("Counts");
    h1->Fit("t1");
    gStyle->SetOptFit(0001);
    h1->Draw("E");
    //h1->Draw("H");
    h1->SetLineColor(2);
    h1->SetMarkerColor(2);
}
```

附錄F - Visual Basic6.0 處理數據程式碼

```
Dim p_drivename, p_pathname, p_filename

Private Sub Command1_Click()
y = Val(Text1.Text)
m = Val(Text2.Text)
d = Val(Text3.Text)
h = Val(Text4.Text)
r = Val(Text5.Text)
Dim hi As Double
Dim lo As Double
hi = Text8.Text
lo = Text6.Text
op = Label1.Caption & "\" & y & m & d & "_" & r & ".txt"
Open op For Output As #1
For i = 1 To r
re = Label1.Caption & "\" & y & "_" & m & "_" & d & "_" & h & ".txt"
Open re For Input As #2
Do Until EOF(2)
Line Input #2, a
b = Split(a, ";2,")
If (UBound(b) > 0) Then
If (b(1) < hi And b(1) > lo) Then
c = b(1) * 10 ^ -8
Print #1, c
End If
End If
Loop
Close #2
h = h + 1
If (h >= 24) Then
h = h - 24
d = d + 1
End If
Next
Close #1
Label9.Caption = op
```

End Sub

```
Private Sub Command2_Click()  
y = Val(Text1.Text)  
m = Val(Text2.Text)  
d = Val(Text3.Text)  
h = Val(Text4.Text)  
r = Val(Text5.Text)  
Dim hi As Double  
Dim lo As Double  
hi = Text10.Text  
lo = Text9.Text  
op = Label1.Caption & "\" & y & m & d & "_" & r & ".txt"  
Open op For Output As #1  
For i = 1 To r  
re = Label1.Caption & "\" & y & "_" & m & "_" & d & "_" & h & ".txt"  
Open re For Input As #2  
Do Until EOF(2)  
Line Input #2, a  
b = Split(Split(a, "S")(0), ",")  
If (UBound(b) > 0) Then  
If (b(1) < hi And b(1) > lo) Then  
Print #1, b(1)  
End If  
End If  
Loop  
Close #2  
h = h + 1  
If (h >= 24) Then  
h = h - 24  
d = d + 1  
End If  
Next  
Close #1  
Label9.Caption = op  
End Sub
```

```

Private Sub Dir1_Change()
p_pathname = Dir1.Path
Label1.Caption = Dir1.Path
File1.Path = p_pathname
End Sub

```

```

Private Sub Drive1_Change()
On Error GoTo quit
p_drivename = Drive1.Drive
Dir1.Path = p_drivename
Label1.Caption = Dir1.Path
File1.Path = p_pathname
quit:
End Sub

```

```

Private Sub Form_Load()
Text1.Text = ""
Text2.Text = ""
Text3.Text = ""
Text4.Text = ""
Text5.Text = ""
Text6.Text = ""
Text8.Text = ""
Text9.Text = ""
Text10.Text = ""
Dir1.Path = App.Path
Label1.Caption = Dir1.Path
Label9.Caption = ""
End Sub

```

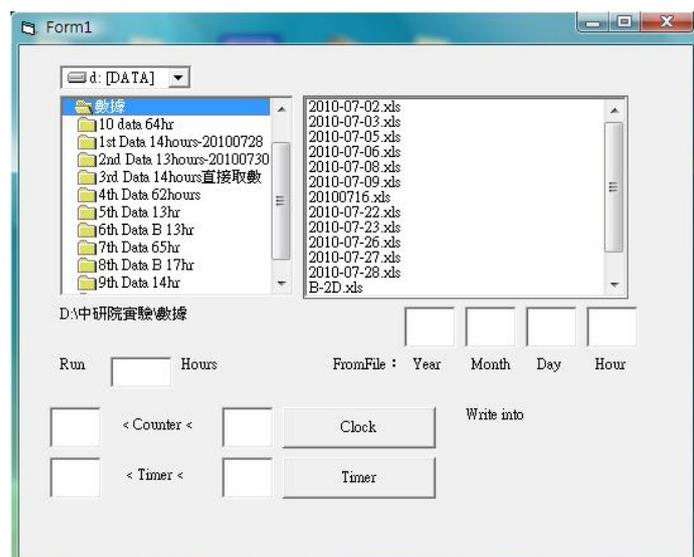


圖 7-10：執行擋面板