

宇宙射線 (cosmic rays)

【目的】

1. 認識宇宙射線，並學習測量宇宙射線的原理和方法。
2. 宇宙射線望遠鏡：測量宇宙射線裡 muon 的通量 (flux)。
3. 測量 muon 的生命期 (life time) (加分)

【原理】

所謂宇宙射線就是從宇宙空間來到地球的高能射線。來源可分為銀河宇宙射線 (galactic radiation) 與太陽宇宙射線 (solar radiation) 兩種。銀河宇宙射線來自於恆星死亡轉變為超新星時的大爆炸所伴隨的加速粒子群，其成分約 90% 是質子，6% 是 α 粒子，約 1% 是較重的原子核及其他。在宇宙空間中，銀河宇宙射線的主要能量在 $\text{GeV}(10^9 \text{ eV}) - \text{TeV}(10^{12} \text{ eV})$ 的範圍。太陽宇宙射線為太陽表面的間接性爆炸所伴隨產生，其能量主要為 MeV 的級次。由於兩者均為宇宙射線最初的來源，又稱為一次宇宙射線。

一次宇宙射線主要成分為荷電粒子，其運動受地球磁場的影響甚巨，容易沿磁力線方向運動，而不易沿磁力線垂直的方向運動。在南北極的磁力線與地球表面垂直，在赤道附近的地磁與地球表面平行，因此，一次宇宙射線在高緯度的南北極容易進入，而不易在低緯度的赤道附近進入，所以，大氣層內的宇宙射線強度隨緯度的不同而有所不同。同時一次宇宙射線的強度也隨海拔降低而漸低，至海拔 20 公里高度時已消失殆盡，是以在這海拔以下，宇宙射線幾乎盡屬於二次宇宙射線。

一次宇宙射線進入大氣層後，與大氣層中的原子、分子碰撞，與其原子核作用，產生二次宇宙射線。二次宇宙射線包含介子、電子、質子、中子、光子等，其中電子、光子是二次宇宙射線的軟性部分， μ 介子穿透物質的能力高，是為硬性部分。人類大部分居住在海拔 5000 公尺以下，在這高度以下，宇宙射線成分最多的是 μ 介子，接著是電子、質子、中子、 π 介子。在海平面的高度上，宇宙射線的 80% 是 μ 介子，其餘 20% 幾乎全為電子，其能譜分佈在 $1\text{MeV} - 1\text{TeV}$ ，大部分在 1GeV 。因地磁而造成宇宙射線的變化會因高度、緯度不同而有所不同。較高處，在不同緯度的宇宙射線強度的差異較大，在海平面高度附近變化不大。

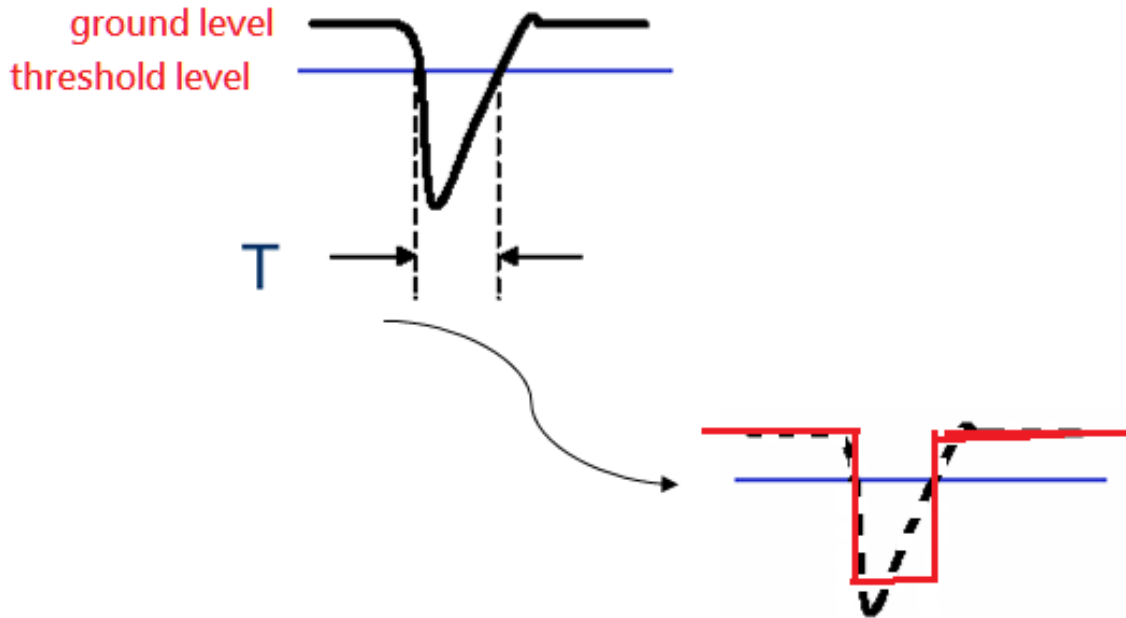
1912 年 8 月，奧地利物理學家維克托·赫斯 (Victor F. Hess) 使用充滿氫氣的氣球，帶著離子化的計數器進行高空測量實驗。此設備用來量測離子化的強度，這種離子化是高能粒子把氣體中正常的中性原子分離成為自由電子及帶正電荷殘留物的結果，所收集的是釋放的電荷，而此電荷量的多寡做為呈現離子化強度的度量。赫斯發現氣球上升愈高，則離子化率愈增加；不論白天或夜晚，結果都一樣，證明離子化與太陽無關。赫斯認為這些帶電荷的粒子是來自外太空。

1932 年，密立根 (R. A. Millikan) 命名此種輻射為 “cosmic rays 宇宙射線”；1936 年，赫斯因發現宇宙射線而獲得諾貝爾物理獎。

【方法】

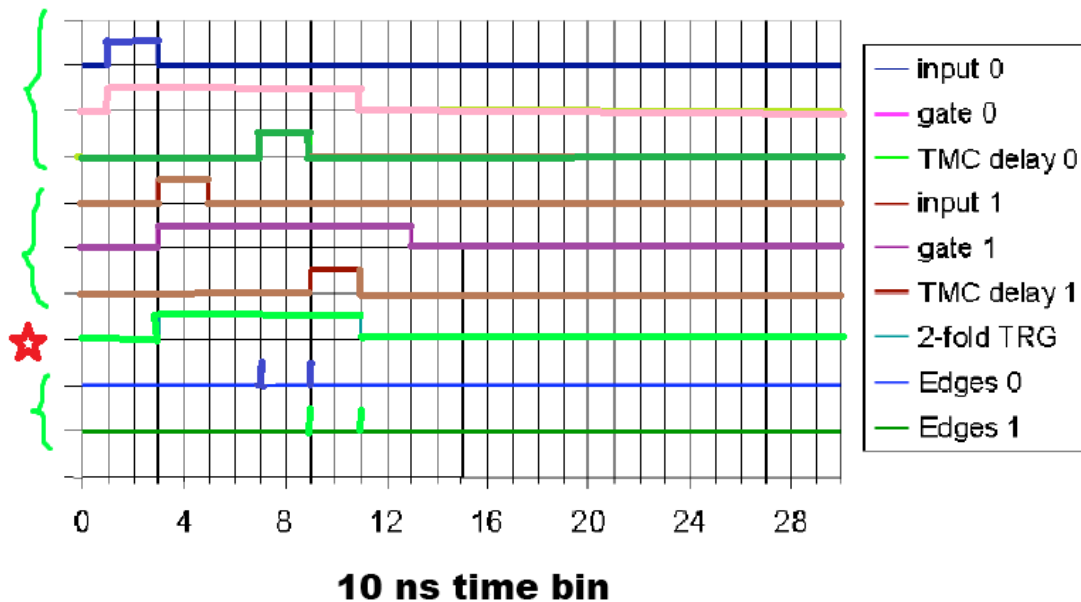
Quark Net 設計了一套宇宙射線探測器 (Cosmic Ray Detector)，主要元件有 1 個 GPS、1 支溫度計、4 支閃爍體計數器 (Scintillator Counter)、1 片數據擷取卡 (Data Acquisition Card, DAQ 卡)、1 個電源供應器。

閃爍體計數器的訊號送進 DAQ 卡後，會經過篩檢再數位化，其過程如下圖所示：

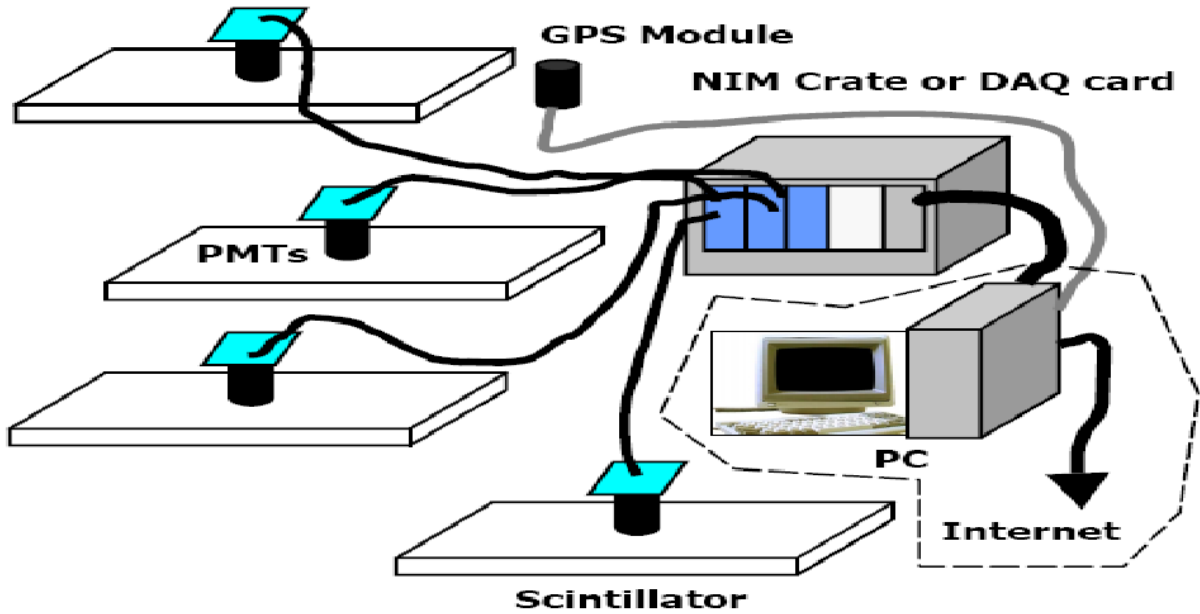


訊號被數位化後，在 DAQ 卡上會將訊號做延遲 (d 值) 及開一個對應的窗 (w 值) 的處理，這個步驟對同時性的判讀是很重要的，請參考下圖。

Signal and gate timing



【裝置】



圖一 實驗儀器連結示意圖

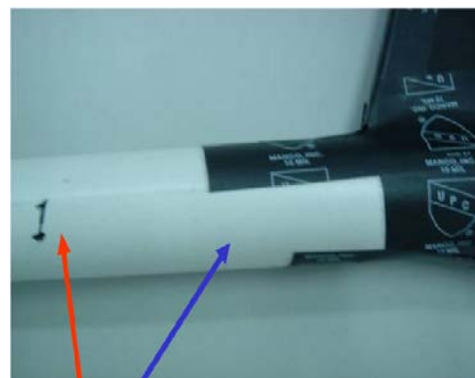
【儀器】

1. 閃爍體

如圖二所示，在透明塑膠中，使用一種螢光藥劑，當帶電粒子通過時，會產生微量的閃爍。



圖二 閃爍體



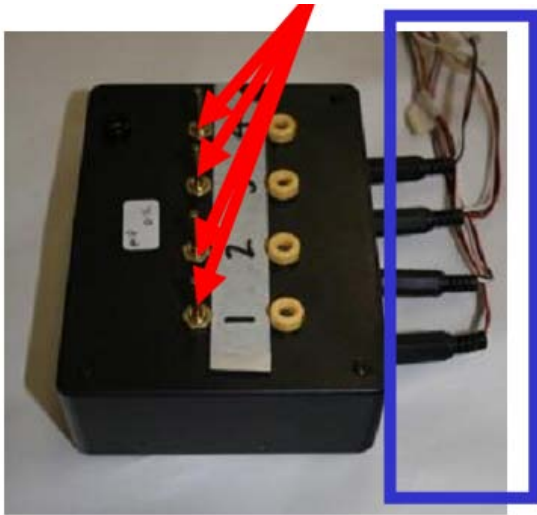
圖三 光電倍增管

2. 光電倍增管 (PMT)

如圖三所示，當閃爍體發出微量的閃爍光，光電倍增管會將光訊號轉成電訊號，並放大此電訊號（右邊箭頭處）。由於需要給 PMT 高壓，所以，管內有一個轉換電壓的裝置（左邊箭頭處）。

3. 電壓控制盒

如圖四所示，為了怕光電倍增管 (PMT) 受損，加給它電壓的部分由電壓控制盒提供。先把與光電倍增管的接線連接好（框框處），再用調整鈕（箭頭處）調整適當電壓。



圖四 電壓控制盒



圖五 資料擷取卡 (DAQ)

4. 資料擷取卡 (DAQ)：如圖五所示

- (1) 連接光電倍增管輸出線
- (2) 連接 USB 接頭到電腦
- (3) 連接 GPS 接收器與熱電偶 (兩者接線先接到 QUARKNET GPS SER. NO. 6206)
- (4) 連接與電壓控制盒的電壓線
- (5) 連接資訊擷取卡的電源線



圖六 資料擷取卡接線完成圖

5. GPS 接收器

如圖七所示，可以放在屋頂或是玻璃窗戶上，用途為偵測實驗裝置的地理位置(經緯度)。



圖七 GPS 接收器



圖八 熱偶線



圖九 GPS 和熱偶線黏貼圖

6. 熱偶線

如圖八所示，測量環境溫度。

註：為了方便操作，將 GPS 接收器和熱電偶以膠帶黏貼於棒子，如圖九所示，實驗操作前，將棒子前端移出格子窗外，衛星才能精確的接收到 GPS 接收器的位置經緯度。

【注意事項】

1. 電壓控制盒提供的電壓變化劇烈，請緩慢旋轉旋鈕。旋鈕若鬆脫，請告知助教處理。
2. 光電倍增管 (PMT)、電壓控制盒、資料擷取卡 (DAQ) 的接線不需拔除，避免損壞，只需拔除資訊擷取卡的電源插頭即可。
3. 電壓控制盒的電壓值可能會跳動，小數點第 3 位跳動並不影響實驗結果，小數點第 2 位跳動可能會影響實驗結果，請告知助教處理。
4. 資料擷取卡 (DAQ) 為高價商品 (1000 元美金)，請小心使用，切勿摔落。
5. 有關指令和數據的意義，請參閱桌上資料夾。

【步驟】

註：一和二只需 2 支閃爍體計數器進行操作即可，三則需使用 4 支閃爍體計數器來進行實驗。

一、基礎實驗 (目的：校正閃爍體計數器，使其保持在最佳工作狀態。)

(一) 設定閃爍體計數器的 threshold level (TL)

1. 選取 2 支閃爍體計數器，將其分開放置後，分別將接線接上電壓控制盒和 DAQ 卡。
2. 調整電壓控制盒的電壓為 0.7V，使光電倍增管保持在合理的工作狀態。
3. 打開 ttt-超級終端機，使用 TL 指令，調整閃爍體計數器接 DAQ 輸入端的 threshold level 值 (每次增加 0.1V，指令 TL 4 100~TL 4 700)，再輸入指令 ST 3 3，記錄 DAQ 卡上數字計數器 3 分鐘的讀數，再除以 3 可得 singles counting rate。
註：若超級終端機一直有數據出現，請輸入指令 RB (歸零)。
4. 以 TL 值 (V) 為橫軸、singles counting rate 為縱軸，作圖。TL 值增加時，讀數會減少，當曲線成為水平線時，即為該閃爍體的 threshold level (可取稍大值，以減少雜訊)。
註：若出現數據異常增大時，請重新測量。

(二) 平坦區 (Plateau)：閃爍體計數器的最佳工作電壓值

1. 將兩支閃爍體計數器堆疊整齊放置。

2. 使用 TL 指令，輸入閃爍體計數器的 threshold level (TL) 和指令 WC 00 13。

註：0 和 1， $n=3$ ；0 和 2， $n=5$ ；1 和 2， $n=6$ ；0 和 3， $n=9$ ；1 和 3， $n=A$ ；2 和 3， $n=C$

3. 慢慢增加電壓控制盒的電壓值，直到 DAQ 卡上數字計數器恰好開始計數，此為開始電位。

4. 每次增加電壓控制盒上的電壓 $0.02V\sim 0.03V$ ，輸入指令 ST 3 3，分別紀錄 DAQ 卡上數字計數器 3 分鐘的讀數，再除以 3 可得 singles counting rate 和兩者的 double coincidence counting rate。

註：電壓控制盒的電壓旋扭不易調整，請把握以下兩個原則操作即可，①兩者電壓盡可能接近，相等最佳；②電壓大約等間距增加。

5. 以電壓(V)為橫軸、singles counting rate 和 double coincidence counting rate 為縱軸，作圖。如果出現相對於電壓變化的平坦區，則出現平坦區的電壓就是這支閃爍體計數器的最佳工作電壓值。

二、探討實驗：宇宙射線望遠鏡：測量宇宙射線裡 muon 的通量 (flux)。

(一) 收集數據

1. 建立新檔

以滑鼠點選上列表單的“轉送”，再選取“擷取文字”，出現“擷取文字”的視窗，點選“瀏覽”，出現“選擇擷取檔”的視窗，選擇存檔位置和輸入檔名後，按“儲存”，再按下“啟動”，開始儲存數據。

2. 讀取數據

輸入指令 DG，確認衛星接收的數量，輸入指令 WC 00 13 和 ST 2 1，輸入指令 CE，開始讀取數據，待 30 分鐘後，輸入指令 CD，停止讀取數據。

3. 整理數據 (讀取數據過程中，可能會有亂碼，有亂碼的數據無法上傳，必須清除乾淨。)

打開“Data”程式，輸入檔名，並於檔名末端加上“.txt”，按下“Enter”，開始檢查數據，檢查完畢後，數據會儲存於“correct_output”的檔案裡，開啟該檔案，進行“另存新檔”。

註：1. 欲檢查的檔案必須和“Data”程式放在同一個資料夾下才行，故統一放到桌面。

2. “Data”程式在檢查數據完畢後，會將數據儲存於“correct_output”的檔案裡，請記得“另存新檔”，以免新的數據覆蓋而消失。

(二) 上傳數據

打開 Quarknet 網頁，點選“Student Home”，輸入 Username：nckuhep、Password：nckuhep123，點選“Login”，點選橫列表單中的“Upload”，點選“Upload”，選擇 detector：6205，點選“選擇檔案”，找到欲上傳的檔案後，於下方空白處輸入欲上傳檔案的註解，以便作為將來與其他檔案的區分，最後，點選“Upload”，開始上傳資料。

(三) 分析數據

點選橫列表單中的“Data”，點選“View Data”，點選“nckuhep”，找到自己上傳的檔案；分別點選“Performance”、“Flux”、“Shower”，進行數據分析。(操作方法請參閱桌上資料夾)

註：分析結果會自動儲存於 Analyses 中，保留 24 小時後，自動刪除。

三、進階實驗：測量 muon 的生命期(life time) (加分)

註：測量 muon 的生命期需要收集至少一天以上的數據才能進行分析。

(一) 物理所用以下的指令取數據

```
TL 4 1000 threshold=1V
WC 00 01 只用一支閃爍體計數器
WT 01 00 delay 值  $d=6_H=6$  ticks= $6 \times 24 \text{nsec}=144 \text{nsec}$ 
WT 02 06
WC 02 00 gate width  $w=800_H=2048$  ticks= $2048 \times 24 \text{nsec}=5e-5 \text{sec}$ 
WC 03 08
```

在 e-Lab 處理時，可以用以下兩組參數值算得生命期值：

1. Analysis Controls

Gate width (seconds) : $2e-5$

Plot Controls

Number of Bins : 30

2. Analysis Controls

Gate width (seconds) : $5e-5$

Plot Controls

Number of Bins : 50

(二) 以下資料是用 3 支閃爍體計數器

設定為 **double coincidence** , $d=6$, $w=400$ hex= 1024 ticks= $2.5e-5 \text{sec}$ 。

```
WT 01 00
```

```
WT 02 06
```

```
WC 02 00
```

```
WC 03 04
```

參考之資料

是：https://www18.i2u2.org/elab/cosmic/posters/display.jsp?name=lifetime_method_comparison.data

及

https://www18.i2u2.org/elab/cosmic/posters/display.jsp?name=lifetime_method_comparison.data

(三) 用 3 支閃爍體計數器

設定為 **singles signal processing** , $d=2$, $w=190_H=400$ ticks= 9600ns 。

參考資料是 6000 使用手冊 p32 , 分析時要用 **double coincidence** 。

```
WT 01 00
```

```
WT 02 02
```

```
WC 02 90
```

```
WC 03 01
```

註：分析結果會自動儲存於 Analyses 中，保留 24 小時後，自動刪除。

【問題】

1. 試說明 muon。
2. 該實驗若是在太空中進行，數據會有哪些變化？為什麼？
3. 試解釋數據隨時變化的原因。
4. 實驗進行中，為何需將兩支閃爍體計數器堆疊放置，並測量 coincidence rate？

【參考資料】

1. 睿智神工 基本粒子探測，黃豔華、江向東著，李精益審定，世潮出版有限公司，臺北縣新店市，2002年10月，CH4。
2. 原子科學導論，翁寶山編著，國立編譯館主編，茂昌圖書有限公司，臺北市，民國84年9月，CH16。
3. 從夸克到宇宙李德曼、薛拉姆合著，姚珩審訂，蔡信行譯，世潮出版有限公司，臺北縣新店市，2004年11月，CH3。