

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 物理與天文學科

051803

快來喵喵喵 喵喵 「紗」電感應——仰角與遮
蔽物對紗子接收的影響

學校名稱：桃園市立武陵高級中等學校

作者： 高二 林馳耘 高二 連奕維 高二 楊晨鍾	指導老師： 林威呈
-----------------------------------------------	------------------

關鍵詞：紗子、顯影

摘要

利用有機閃爍體連接電源供應器和示波器接收繚子，再連接電腦用 Labview 去記錄，來測量不同仰角的繚子數量分布。並用電腦程式 Geant4 去模擬真實探測活動以及其他條件下的實驗。

壹、研究動機

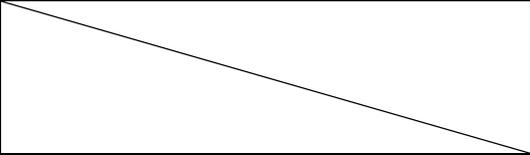
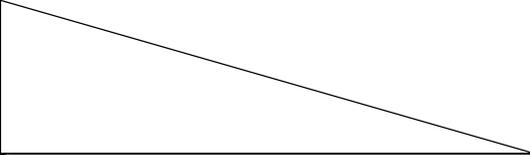
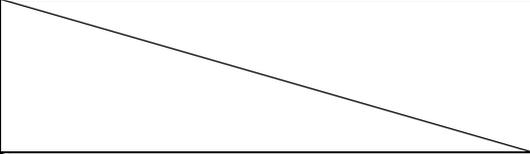
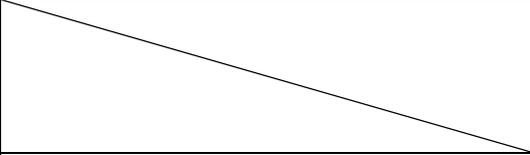
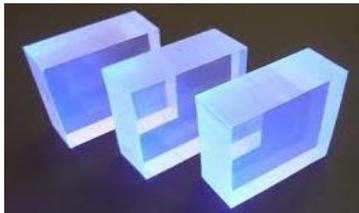
在網路上找到利用繚子找出金字塔中神秘大空間的報導，引起了我們對繚子成像的興趣，希望利用自己的能力使用繚子成像探測大型建築物，便開始與老師討論和著手設計在各種不同大小、形狀和密度的建築物的遮蔽下，空間中可能穿越的繚子個數分布狀況的實驗，以及在不同仰角下，地表上所能接收到的繚子數的實驗。希望藉由實驗結果，統計出接收位置、方向與地理環境的分布關係，並擬合出近似公式，以便於在地理探查或建築物探測中可藉由繚子的分布，推估出探查目標之可能密度或結構。

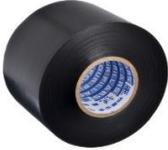
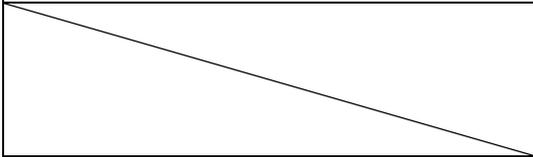
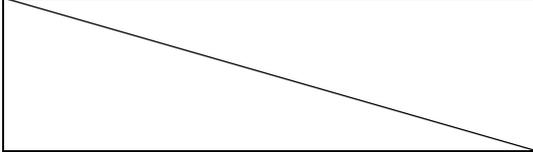
貳、研究目的

- 一、找出不同仰角對繚子數分布的影響
- 二、用程式模擬找出水泥牆與穿透繚子數量的通式
- 三、用程式模擬找出 101 阻尼器的位置

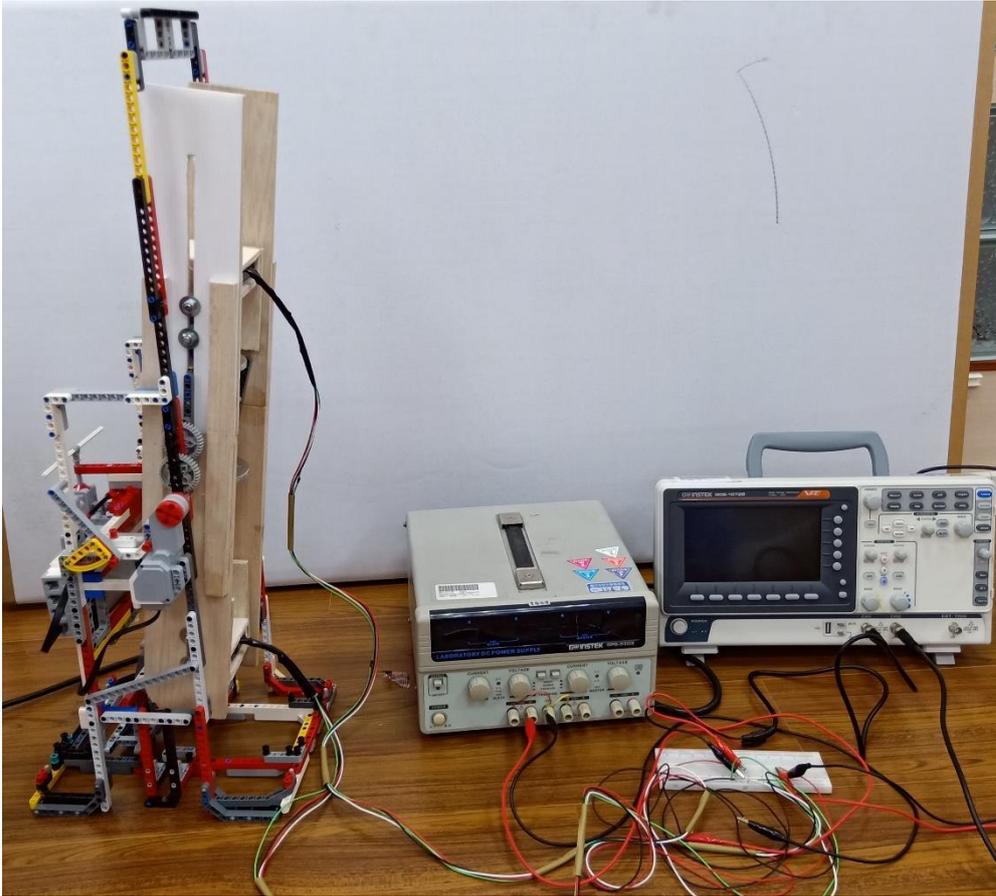
參、 研究設備及器材

一、研究設備

圖片	名稱
	程式：Geant4
	筆記型電腦
	程式：LabView
	程式：Dev-C++
	飛機木板
	有機閃爍體 (Plastic Scintillator)

	<p>電源供應器</p>
	<p>示波器 (GWInstek GDS2000E)</p>
	<p>絕緣膠帶(不透光)</p>
	<p>電線</p>
	<p>樂高積木(EV3)</p>
	<p>厚紙板</p>
	<p>鉛板</p>

二、實裝置架構圖



肆、 研究方法及過程

一、實驗一：找出不同仰角對縲子數分布的影響

(一)、 實驗目的

研究不同仰角縲子數量的分布

(二)、 實驗原理

縲子是類似電子的基本粒子，不過縲子的質量約為電子的兩百倍，這提供了縲子更大的動量與穿透力。雖然縲子的平均壽命為 2.2 微秒，但因為速度接近光速，根據狹義相對論的齒縮效應，仍可以穿透 15 公里的大氣，讓有機閃爍體感測到。本實驗將利用縲子的穿透力在不同的情況進行研究。宇宙射線是縲子的來源，在質子與外圍大氣中分子碰撞產生 π 介子後， π 介子會在離海平面 15 公里左右衰變為縲子與縲微中子。入射輻射在閃爍體內損耗並沉積能量，引起閃爍體中原子（或離子、分子）

的電離激發，之後受激粒子退回基態放出波長接近於可見光的閃爍光子，由訊號放大器將訊號放大，並用示波器觀測。

(三)、 實驗器材製作

1. 將有機閃爍體使用切割機切割至 5(公分)x5(公分)
2. 用砂紙與磨砂膏將表面磨製光亮



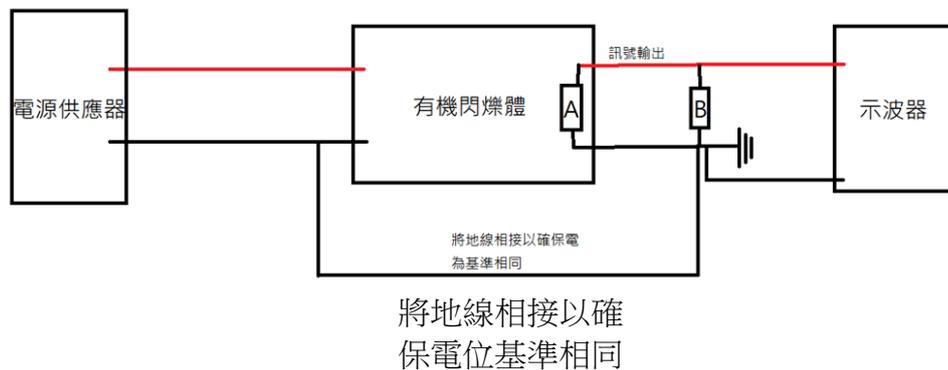
上圖從左而右為尚未切割、100 號的砂紙打磨、400 號的砂紙打磨、800 號的砂紙打磨、使用 800 號的砂紙打磨、使用 1600 號的砂紙打磨、使用 3200 號研磨劑研磨的有機閃爍體

3. 將訊號放大器焊接 4 條電線
兩條為電源與地線(分別使用綠線和白線)
另外兩條為訊號輸出與地線(分別為紅線與黑線)
4. 將有機閃爍體其中一邊鑽孔並鎖上訊號放大器
5. 以絕緣膠帶包圍訊號放大器以保護電路
6. 將有機閃爍體用鋁箔包覆住
7. 用繃帶纏緊有機閃爍體。鋁箔貼合有機閃爍體，使有機閃爍體放出的閃爍光子大概率被訊號放大器所接收
8. 將有機閃爍體用不透光的黑色膠帶纏繞，使訊號接收器只接收有機閃爍體所放出的閃爍光子，不被太陽光干擾
9. 才出符合有機閃爍體外殼的木板
10. 將 2 片 10(公分)x10(公分)的木板中間鑽 2 個孔並鎖上螺絲
11. 將 10(公分)x10(公分)的木板與外殼用保利龍膠黏起來
12. 將 2 個木板連起來並在中間刻出長 50(公分)的洞(做 2 組)

13. 將才好的木板接合
14. 用樂高做出可以支撐木頭裝置的支架
參考二、實驗裝置架構圖



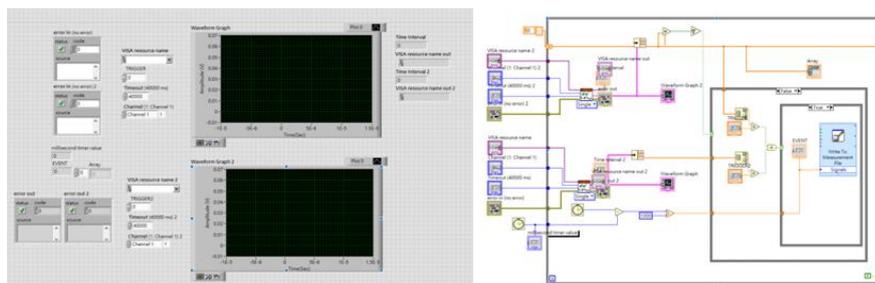
15. 將探測器固定在準備好的木頭裝置中
16. 將木頭裝置連接樂高馬達
17. 將樂高裝置用厚紙板蓋住並在上面放鉛板
18. 將探測器連接麵包板
19. 將電源供應器連接麵包板
20. 將示波器連接麵包板與電腦



上圖為電路示意圖，其中有機閃爍體上訊號放大器輸出端的內電阻 A 為 50 歐姆。因此，運用阻抗匹配，選用 50 歐姆的外接電阻 B 使訊號最大化。

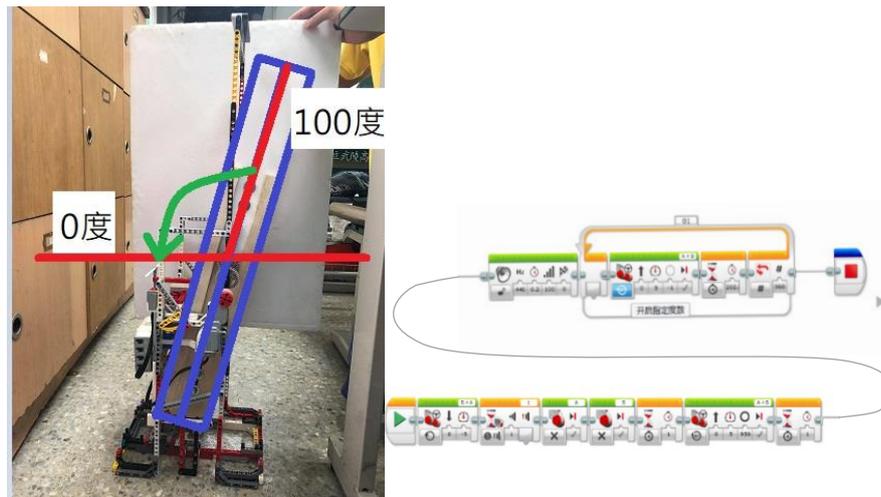
(四)、 實驗步驟

1. 將實驗器材用樂高程式調為仰角 80 度
2. 開啟電腦上的 Labview 並開始執行



上圖由左而右為示波器的介面和 trigger 的程式

3. 用樂高程式使實驗器材每固定設定時間旋轉 1 度
直到經過 100 度至仰角 0 度並停止



上圖分別為探測器 0~100 度之定義與 54 小時的程式

4. 先定義探測器轉至按壓到後方的觸碰感測器並校正至仰角 80 度為重置
5. 重置接下來使伺服馬達每設定時間轉動 1 度
6. 將齒輪組的配置(1 : 9)，得出需迴圈 960 次才能在 54 小時後轉 100 度

二、實驗二：用程式找出水泥牆與穿透縲子數量的通式

(一)、 實驗目的

用程式找出水泥牆與穿透縲子數量的通式

(二)、 實驗原理

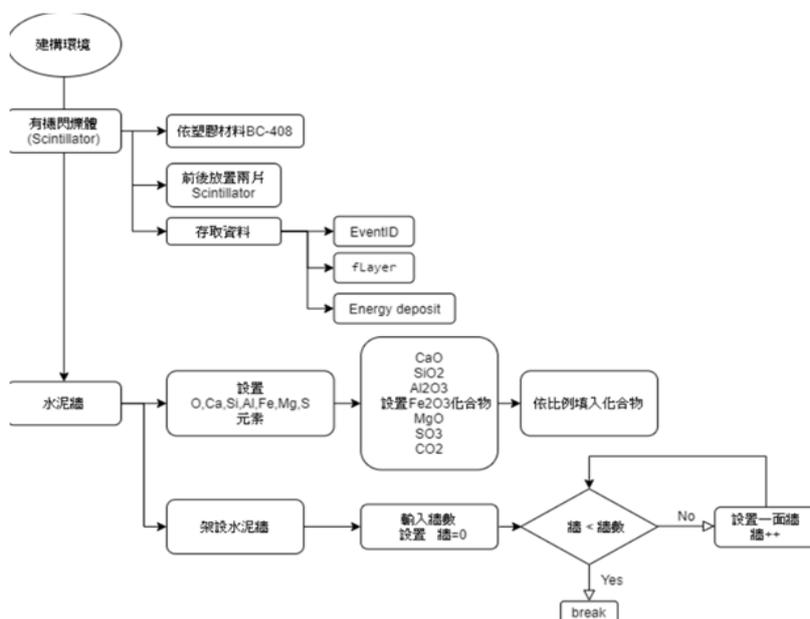
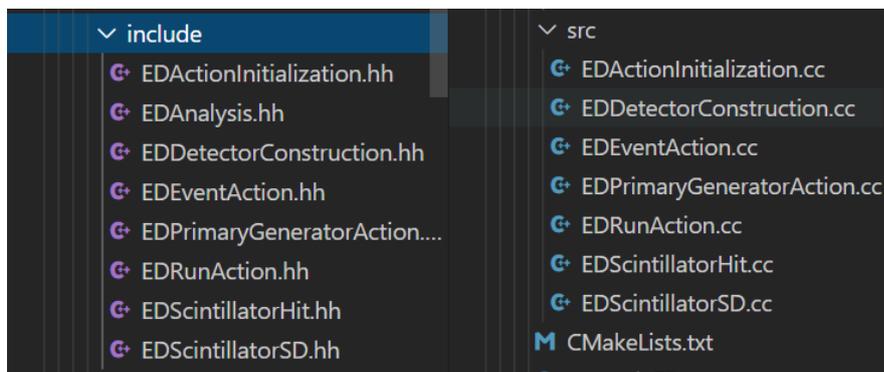
用程式 Geant4 模擬

(三)、 實驗器材架設

1. 在 lxplus 底下設置 geant4 的環境

```
source /afs/cern.ch/sw/lcg/contrib/gcc/4.9/x86_64-slc6/setup.sh source
/afs/cern.ch/sw/lcg/external/geant4/10.1.p02/x86_64-slc6-gcc49-opt-MT
/CMake-setup.sh\export CXX=/afs/cern.ch/sw/lcg/contrib/gcc/4.9
/x86_64-slc6/bin/g++ export CC=/afs/cern.ch/sw/lcg/contrib/gcc/4.9
/x86_64-slc6/bin/gcc
```

2. 下載 Virtual Box 虛擬器
3. 建構水泥方塊與探測器
4. 在/src 中可以看到主要的設置檔案
 - (1). EDActionInitialization.cc Action 設置檔案
 - (2). EDDetectorConstruction.cc 為設置偵測器結構以決定 sensitive detector 的範圍
 - (3). EDPrimaryGeneratorAction.cc 設置 beam 的位置、方向以及粒子種類和能量
 - (4). EDScintillatorSD.cc 決定 sensitive detector 要列出或存入怎樣的粒子資訊
 - (5). EDRunAction.cc 建立 AnalysisManager 並宣告 root file 的內容
5. 在/include 中有各個宣告函數內容的 hh 檔
 - (1). EDScintillatorHit.hh 宣告在這個 sensitive detector 的交互作用中能獲哪些物理資訊



```

//牆
G4double wall_hx=10*m;
G4double wall_hy=2.5*m;
G4double wall_hz=0.5*m;

//wall
G4VSolid*wallS=
new G4Box("wall",wall_hx,wall_hy,wall_hz);
G4LogicalVolume*wallLV=
new G4LogicalVolume(wallS,Concrete,"wall");

//wall放置起點、間距
offset_z=1950*cm;
interval_z=-100*cm;

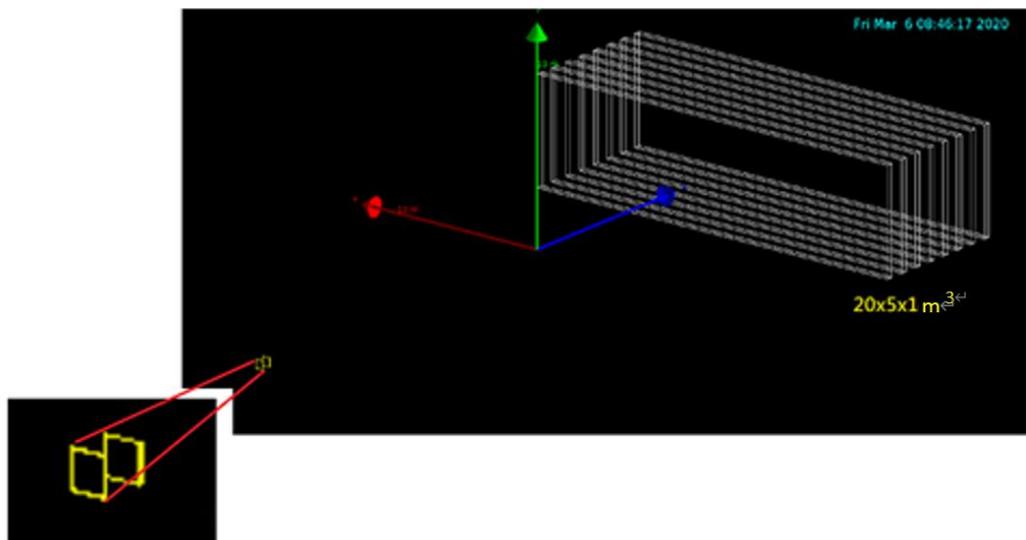
//放置 n 層 wall
layer_number=0;
for(G4int i=0;i<layer_number;i++){
new G4PVPlacement(0,
G4ThreeVector(0*m,0,offset_z+i*interval_z),
wallLV,
"wall",
worldLV,
false,
i,
checkOverlaps);
}

```

上面程式碼為建立牆壁的程式碼

函數中以邏輯空間來指定擺放對象以及擺放邏輯空間

指定點是每個邏輯空間的中心點



上圖為模擬介面的示意圖，其中白色的部分為牆壁，黃色部分為閃爍體探測器(兩層)

6. 設置 region cut

```
G4ProductionCuts*cuts=newG4ProductionCuts();
G4doublecuts_length=5*cm;
cuts->SetProductionCut(cuts_length,"gamma");
cuts->SetProductionCut(cuts_length,"e-");
cuts->SetProductionCut(cuts_length,"e+");
returnworldPV;
```

選擇五公分當成計算粒子的路徑長度，以在運行時間內達到最合理的運算結果

7. 打亂隨機函數，這樣每次 random seed 都會不同，模擬的軌跡就不會再是重複的

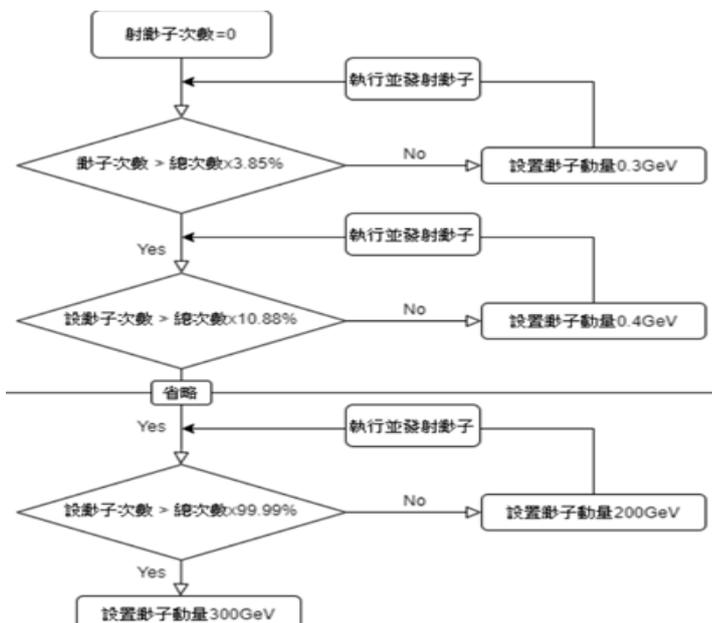
```
#include"CLHEP/Random/RandomEngine.h"
#include"time.h"
```

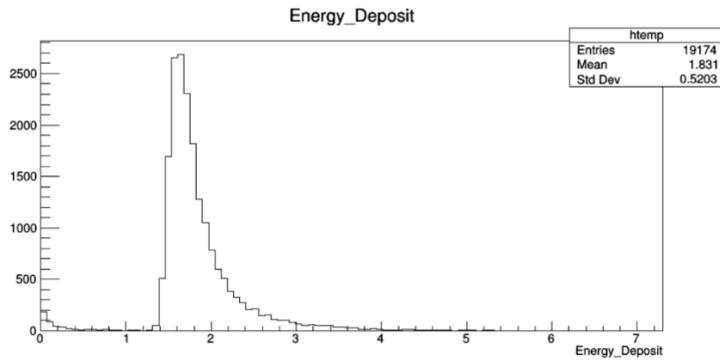
```
CLHEP::HepRandom::setTheEngine(newCLHEP::RanecuEngine());
G4longseed=time(NULL);
CLHEP::HepRandom::setTheSeed(seed);
if(argc>9){
PrintUsage();
return1;
```

8. 開啟 Ubuntu 作業系統

9. 開啟 terminal 載入 Geant4 和 root 執行系統

10. 設定粒子動量初設值（設置變數 EventID，粒子動量隨 EventID 上升而增加）





上圖為零面牆壁時探測器接收能量分布的 root 檔

11. 在範圍內以隨機角度、位置釋放繃子

```
//randomdirection
if(fRandom) {
G4doubletheta=0.1*deg;
G4doublephi=360.*deg;
G4doubletheta=G4UniformRand()*dtheta;
G4doublephi=G4UniformRand()*dphi;
fParticleGun->SetParticleMomentumDirection(
G4ThreeVector(sin(theta)*cos(phi),
                sin(theta)*sin(phi),cos(theta)));
}

//randomposition
if(fRandom){
G4doubley=0.25*m;
G4doubley=(G4UniformRand()-0.5)*2*dy;
G4doublex=0.25*m;
G4doublex=(G4UniformRand()-0.5)*2*dx;
G4ThreeVectorposition(x,y,20.1*m);
fParticleGun->SetParticlePosition(position);
}
```

寫出針對不同厚度之水泥牆平均數據及判別是否為有效通過(同一 EventID 粒子)通過兩層閃爍體的程式

```
stringpath1="/home/a330chuan/last/root/root0/ED_all01.root";
cout<<"Path1is"<<path1<<endl;

TFile*File1=TFile::Open(path1.c_str());
TTree*HitInfoTree1=(TTree*)File1->Get("Sci1");

//宣告一個 1Dvector,EventData,來存放成功的 Event
vector<int>EventData1;
EventData1.clear();
EventData1.resize(1);
//宣告一個 1Dvector,HitData,來暫時存放每次 Hit 的 Slice
//並且用來和 Tree 物件,HitInfoTree 互動
vector<int>HitData1;
```

```

HitData1.clear();
HitData1.resize(2);

HitInfoTree1->SetBranchAddresses("EventID",&HitData1[0]);
HitInfoTree1->SetBranchAddresses("Layer",&HitData1[1]);

for(intHit=0;Hit<HitInfoTree1->GetEntriesFast();Hit++) {
//刷新 HitData
HitInfoTree1->GetEntry(Hit);

//比對 Indicator,若是同一 event,直接 push_back
if(HitData1[0]==EventProcessIndicator)
    EventData1.push_back(HitData1.at(0));
EventProcessIndicator=HitData1.at(0);
}
one=EventData1.size();
oneo=HitInfoTree1->GetEntriesFast();

```

(四)、 實驗步驟

1. 設置水泥牆數量
2. 一次打 100 萬顆
3. 使用已準備好之程式平均數據並匯出
4. 重複步驟 1~3 十次
為了因應現實需求，大部分建築物的牆壁厚度都不超過一公尺
因此會將模擬著重在 0~1 公尺的數據蒐集
5. 將匯出之數據用 Dev-C++ 使用最小平方方法進行擬合

```

#include<iostream>
#include<math.h>
usingnamespacestd;
doublefit(doublea,doubleb,doublec,doubled){returnc+b*exp(d*a);}
intmain(){
doublemin=40000000;
doubleerr=0;
doublea,b,c;
doubley[20],x[20];
for(i=0;i<20;i++){
cin>>y[i]>>x[i]; //輸入 y(通過粒子數)與 x(牆壁厚度)
}

for(inti=5500;i<=7750;i++){

```

```

for(int j=-2000;j<=2000;j++){
for(double h=-0.010;h<=-0.002;h+=0.0001){
rr=0;
for(int k=0;k<=19;k++){
rr=(fit(x[k],i,j,h)-y[k])*(fit(x[k],i,j,h)-y[k]);
rr+=rr;}
if(min>rr){
a=i;
b=j;
c=h;
min=rr;}}
cout<<i<<endl;}
cout<<min<<endl;
cout<<a<<endl;
cout<<b<<endl;
cout<<c<<endl;}

```

三、實驗三：用程式模擬找出 101 阻尼器的位置

(一)、實驗目的

用程式模擬找出 101 阻尼器的位置

(二)、實驗原理

用程式 Geant4 模擬

(三)、實驗器材架設

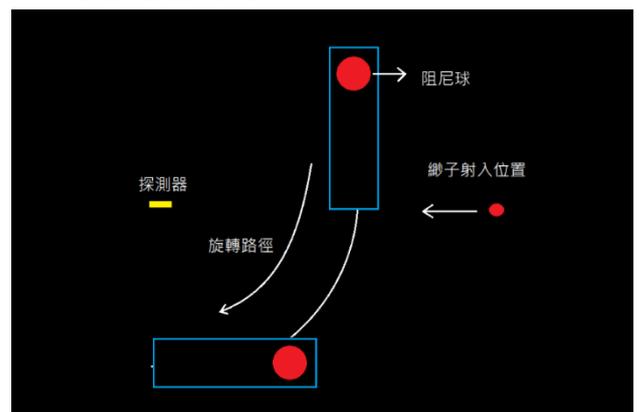
同實驗二實驗器材架設步驟 1~9

1. 以固定角度、固定位置向有機閃爍體射入繃子
2. 依照實驗一測得結果隨 EventID 增加每射固定數量繃子，就以兩有機閃爍體邏輯空間指定點為中心，旋轉大樓五度，以下為示意圖

實際情況



實驗模擬架設



(四)、 實驗步驟

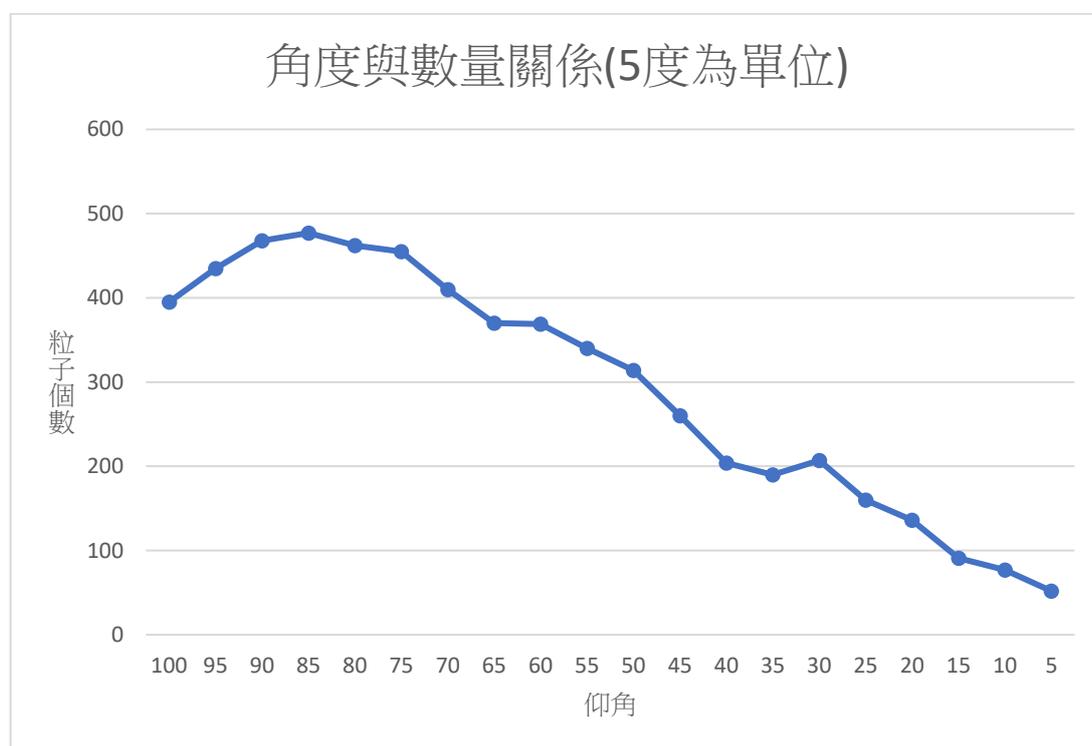
1. 設置 101 大樓及中間的阻尼器，阻尼器材料為純鐵，大樓材料為水泥
2. 分別從 0 度到 90 度每 5 度向閃爍體探測器射入繃子
3. 將實驗一的理想曲線除以數據

伍、 研究結果

一、實驗一：找出不同仰角對繃子數分布的影響

(一)、 不同仰角對繃子數分布的影響

1. 實驗數據



2. 分析

- (1). 最高點約為仰角 90 度
- (2). 從 90 度開始隨著角度遞增或遞減繃子接收數量下降
- (3). 在約 35 和 65 度時數據不穩定

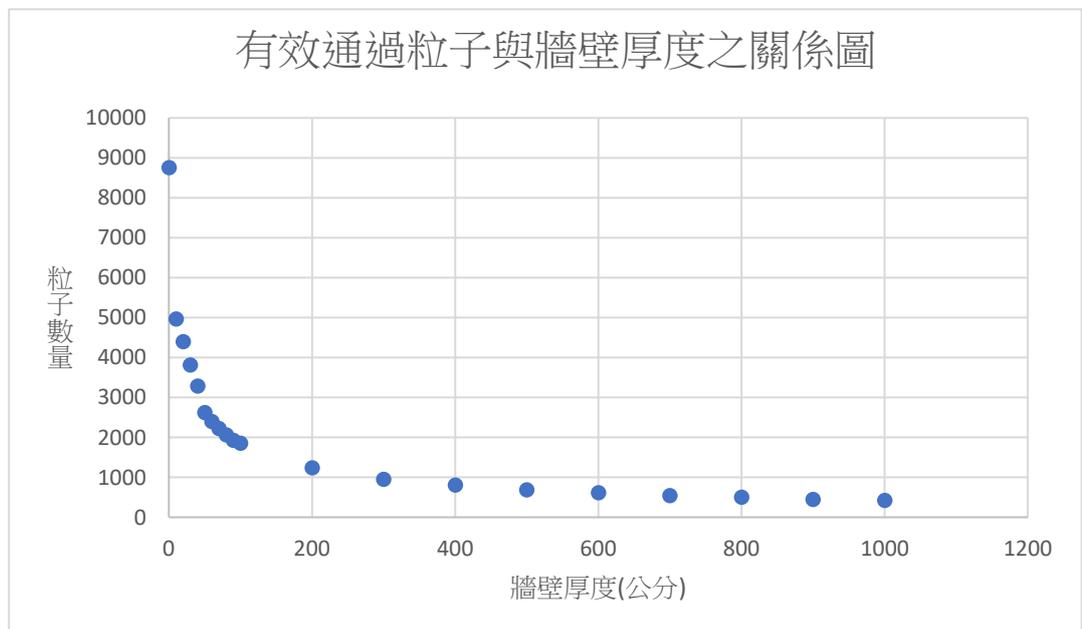
二、實驗二：用程式找出水泥牆與穿透繃子數量的通式

(一)、 用不同函數的擬合程式找出水泥牆與穿透繃子數量的通式

1. 實驗數據

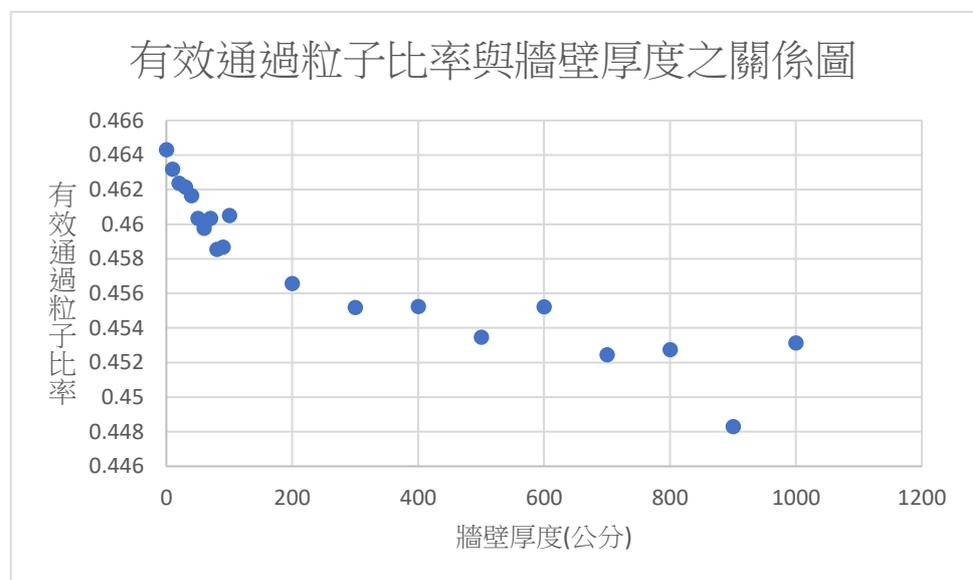
(1). 通過粒子與牆壁厚度之關係

牆壁厚度(公分)	總通過粒子	有效通過粒子
0	18841.6	8748.5
10	10705.5	4958.6
20	9492.2	4389
30	8234.8	3805.7
40	7099.3	3277.4
50	5693	2620.7
60	5197.8	2389.8
70	4808.4	2213.5
80	4494.5	2061
90	4187	1920.5
100	4023.8	1853
200	2697.3	12231.5
300	2078.9	946.3
400	1757.3	800
500	1509.9	684.7
600	1331.4	606.1
700	1194.6	540.5
800	1096.4	496.4
900	978.8	438.8
1000	919.8	416.8



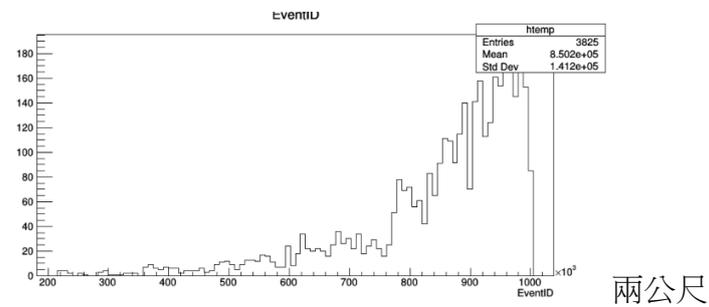
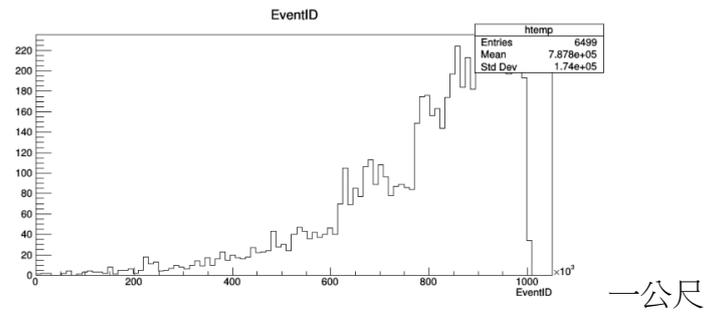
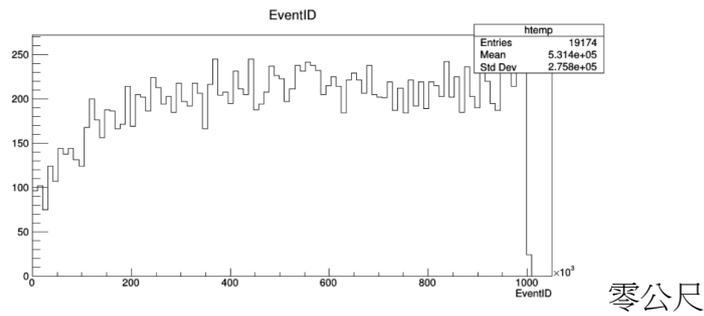
(2). 有效通過粒子比率與牆壁厚度之關係

牆壁厚度(公分)	有效通過粒子比率
0	0.464318
10	0.463182
20	0.46238
30	0.462148
40	0.461651
50	0.460337
60	0.459771
70	0.46034
80	0.45856
90	0.458682
100	0.46051
200	0.456568
300	0.455193
400	0.455244
500	0.453474
600	0.455235
700	0.452453
800	0.452754
900	0.448304
1000	0.453142



(3). 有效通過粒子數與通過牆壁厚度之關係

以下為不同牆壁厚度下有效通過粒子數與 EventID 的關係



2. 分析

(1). 通過粒子與牆壁厚度之關係

- A. 猜測該函數為指數函數遞減
- B. 一有牆壁總接受數量就急遽下降，但在牆壁越來越多時下降趨勢漸緩

(2). 有效通過粒子比率與牆壁厚度之關係

- A. 牆壁越厚與比率有負相關
- B. 由於在參考報告資料時，低能量粒子佔多數，所以牆壁厚到一個程度，有效通過粒子比率下降程度減緩

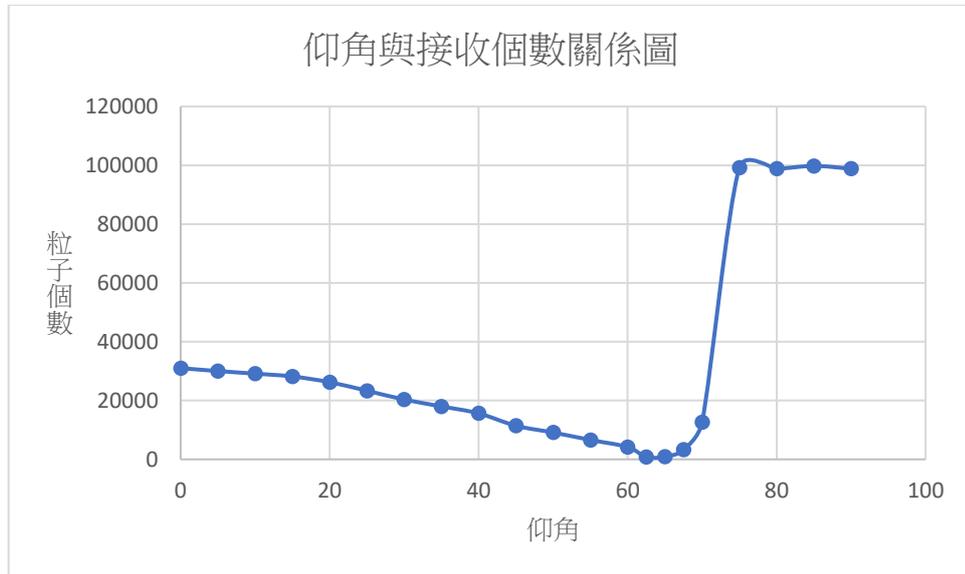
(3). 有效通過粒子數與通過牆壁厚度之關係

- A. 當 EventID 越大時，會有越多的有效通過粒子數
- B. 當牆壁數增加，EventID 低的有效粒子通量會急遽下降，EventID 較高的也會下降，使直方圖越來越靠右

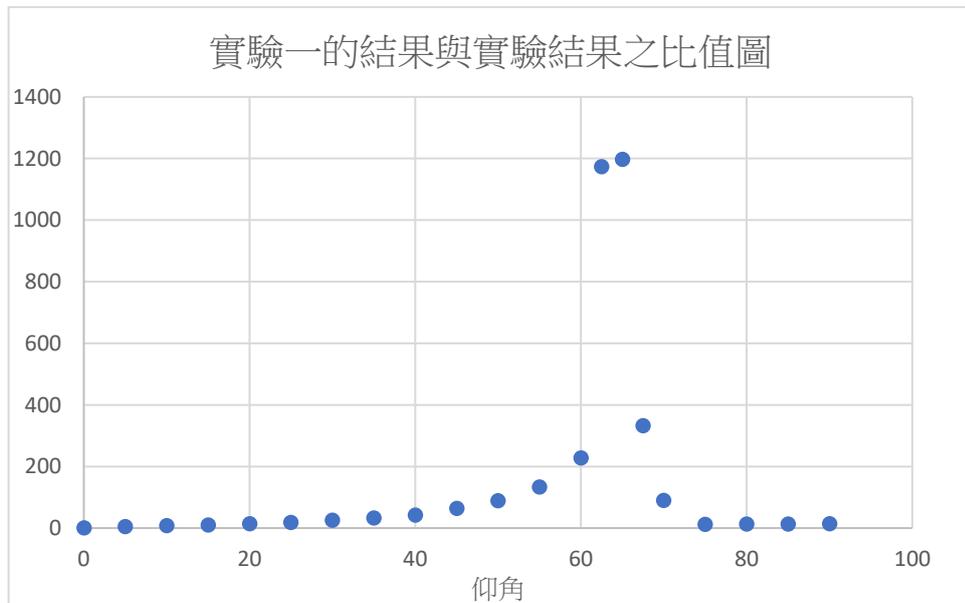
三、實驗三：用程式模擬找出 101 阻尼器的位置

(一)、 用程式模擬找出 101 阻尼器的位置

1. 實驗數據



上圖為隨著探測器仰角增加，所改變的接收量關係。



上圖為實驗一之實驗結果與實驗三之結果之比值。

2. 分析

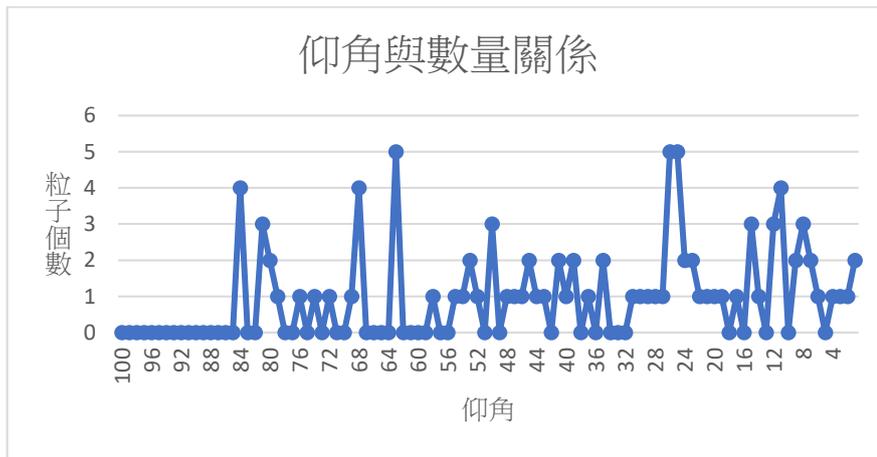
- (1). 仰角與通量關係圖中，在 60 度時，開始大幅上升。

- (2). 在與實驗一之結果比較圖中約 65 度時，比值達到最高點，且最高點遠高於其他點。
- (3). 65 度以前，比值有稍微上升的趨勢。
- (4). 在 65 度後呈現明顯下降趨勢。

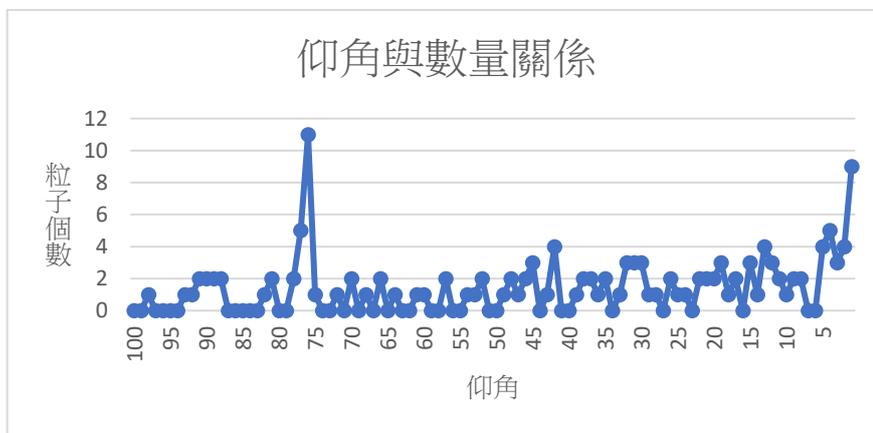
陸、 討論

一、找出不同仰角對縲子數分布的影響

- (一)、 一開始實驗時間為 12 小時，數據量很少且起伏不定推測為實驗時間太短，但經過增加時間數量也沒有大量的增加。



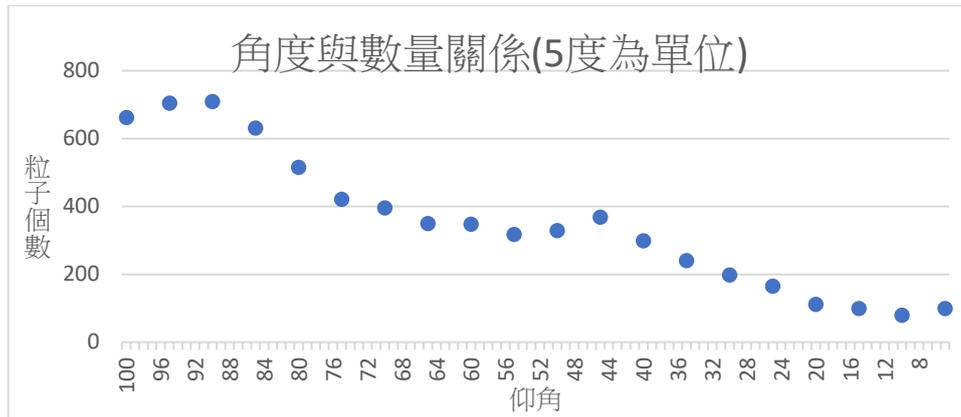
上圖為 12 小時的實驗結果，因為粒子數量少，無法看出趨勢。



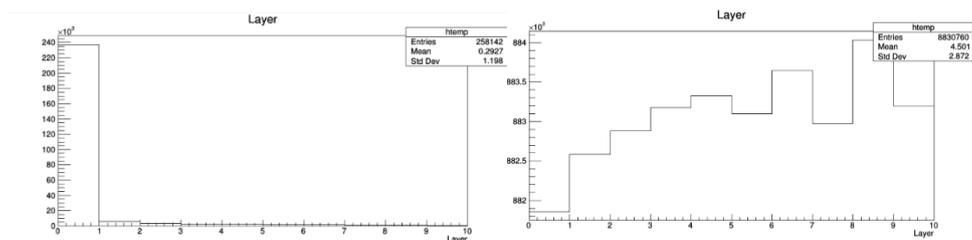
上圖為 18 小時的實驗結果，因為粒子數量少，無法看出趨勢

- (二)、 經過資料查詢能量低的粒子佔了大部分，但因為會有雜訊干擾，所以我們一開始把振幅紀錄最低值調較高。經過再包一層不透光膠帶雜訊

有明顯下降，因此將振幅紀錄最低值調低，並延長實驗至 54 小時以收集更多的數據。

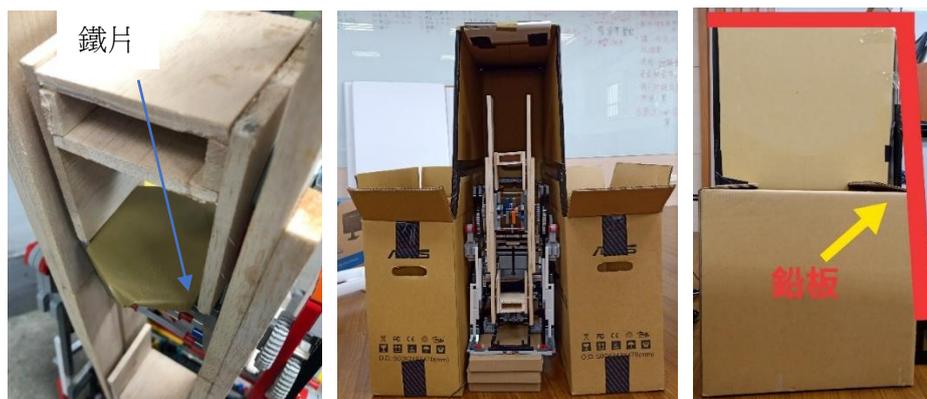


(三)、 看到 54 小時的圖後，我們懷疑是有繃子以外的粒子通過探測器，所以導致在約 45 度時有小高峰。因此我們把一開始的鐵片調整成鉛板以阻擋大部分繃子外的粒子。經過查詢 gamma 射線的能量，發現其不足以累積足夠超過最低電壓值得的能量，而某些其他粒子可以。經過電腦模擬 0.2 公分的鉛板可以擋下約 99% 能量為 0.005GeV(速度約為 99.87% 光速)的電子，而繃子還有近 90% 通過。

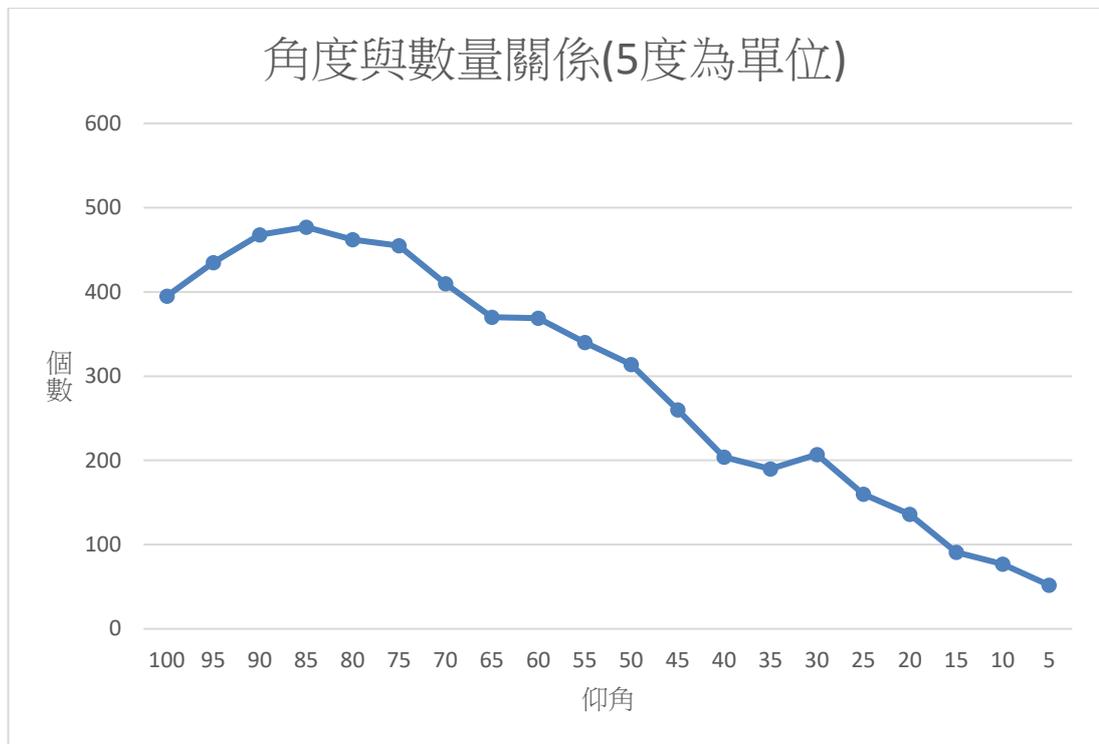


上圖為電子被阻擋的情形

上圖為繃子被阻擋的情形



左圖為原本擺放鐵片的裝置，中間和右邊二張圖為加上鉛板的裝置圖



(四)、 最後可以發現沒有上個實驗在約 45 度的高峰，但在約 35 度時依然不穩定，而 90 度依然是繃子接受最多的角度。

二、用程式找出水泥牆與穿透繃子數量的通式

(一)、 用程式找出水泥牆與穿透繃子數量的通式

1. 一開始只做了每 100 公分一次模擬，而擬合出的結果誤差在所有厚度較為平均。之後為了模擬出較實際的狀況，著重於 0 到 100 公分內的模擬，在 0 到 100 公分內每 10 公分進行一次模擬，100 公分以外每 100 公分進行一次模擬，擬合結果對低厚度較為貼合。
2. 因為粒子在通過牆壁時，能量不足的粒子會被擋下或是折射出偵測範圍，所以通過粒子會隨著牆壁厚度的增加，呈現遞減趨勢，又在各種常見於擬合的函數中(例如線性回歸、指數函數、對數函數、多項式函數，三角函數等等)，可以先替除掉在 x (牆壁厚度)為 0 呈現無限大的函數(對數函數，雙曲等等)，因為在需要實用時，較不需要使用到牆壁非常厚的情況，因此在 x 為無限大、 y 不為 0 的情況不排除。經過幾次不同函數用最小平方法擬合，得到指數函數的 R^2 最小(約為 1.00029×10^{-10})。

(二)、有效通過粒子比率與牆壁厚度之關係

1. 推測比率下降是因為打進水泥牆而產生的偏折。越厚的水泥牆計算偏折的次數越高，在 region cut 中為五分鐘計算一次，因此有效通過粒子比率隨牆壁厚度增加下降。
2. 下降趨勢有不規則的數據推測是因為有重設 random seed，使數據變得不穩定，或是數據量不足，才導致下降趨勢不規則
3. 由於設定繃子動量值時，我們非隨機設置，而是從低動量繃子漸漸增加繃子動量至高量繃子，所以當 EventID 越大時，會有越多的有效通過粒子數
4. 當牆數增加時，大部分低能量的粒子會先被擋下，動量較高的繃子也會被擋下，所以當牆數增加，EventID 低的有效粒子通量會急遽下降，EventID 較高的也會下降，使直方圖整體越來越靠右

三、用程式模擬找出 101 阻尼器的位置

(一)、用程式模擬找出 101 阻尼器的位置

1. 在約 65 度時比值達到最大值，利用畢氏定理得出阻尼器的位置和我們所架設的一致
2. 65 度後會有下降趨勢而不是直接垂直下降的原因為：粒子通過的大樓厚度開始減少，所以比值呈現減少的趨勢
3. 65 度以前比值上升的原因為：粒子通過的大樓厚度開始變厚，所以比值有上升的趨勢

柒、結論

- 一、每一度 36 分鐘的實驗下，個數與仰角關係以線性擬合為 $y=1.2854x+5.794$ 其中 x 為仰角， y 為粒子數量。

二、以 100 萬顆粒子從 50 公分×50 公分隨機去打水泥牆

閃爍體探測器 5 公分 x5 公分接受的粒子數量會滿足 $y = 9071e^{-0.0098x} + 782$ 的等式，其中 y 是粒子數，x 是牆壁厚度(公分)。

三、確實可以藉由閃爍體探測器測的未知的物品。

捌、參考資料及其他

一、Lorenzo Bonechia,1 , Raffaello D' Alessandrob,1,2, and Andrea Giammancoc,3. Atmospheric muons as an imaging tool

二、Prashant Shukla, Sundaresh Sankrith Energy and angular distributions of atmospheric muons at the Earth

三、P. J. HAYMAN & A. W. WOLFENDALE. The Momentum Spectrum of Cosmic Ray Muons near Sea Level in the Momentum Range 0.4-10 GeV/c

四、水泥氧化物成分及其含量百分比（自網路圖表）

玖、未來展望

目前我們雖然大致找出仰角與鈔子量的關係，也模擬出鈔子可以探測到的建築物的要求，但是礙於時間關係，我們還來不及探測適合的建築物，希望未來可以做到以下三點：

一、經過鈔子仰角數量的關係圖與水泥穿透比率，可以應用在探測建築物的大小以及其內部空間。

二、藉由有機閃爍體數目和層數的上升加上每塊體積的縮小，可以大幅增加成像的解析度。就可以畫出每個鈔子的軌跡以更精確的分析內部空間架構。

三、根據實驗結果鈔子在仰角 90 度數量最多加上穿透力夠強，可以埋在地底下以檢測土壤的變動或地下水層的改變。藉由不同密度、厚度、材質與鈔子接受數量的關係，可以利用鈔子探測未知的大型地形以推測組成。

【評語】 051803

本作品探討利用宇宙射線所造成對縵子通過物體後之數目分佈探測建築物內部結構的可能，特別是利用有機閃爍體接收縵子，再以電腦記錄來測量不同仰角的縵子數量分布。以縵子佈探地表結構是所謂的 muography，過去已有這樣的實驗與研究，但還是有探討的空間。本實驗在設計、數據、分析上雖均能顯現所要探討議題，但比較可惜的是實際的實驗測量不夠，雖然模擬可以找出仰角與縵子量的關係，但並沒有找到足以分析建築內部之結果。

研究動機—金字塔中神秘大空間

某次的新聞報導，引起了我們對縵子成像的興趣，於是我們便開始深入研究，並與老師討論和著手設計各種不同的實驗，統計並擬合出近似公式。希望可以幫助地理探查或建築物探測的活動。



研究目的

1. 找出不同仰角對縵子數分佈的影響
2. 用程式模擬找出水泥牆與穿透縵子數量的通式
3. 用程式模擬找出101阻尼器的位置

研究設備及器材

一. 研究設備

實驗器材	模擬器材
筆記型電腦	Geant4
飛機木板	Labview
有機閃爍體	Dev-C++
電源供應器	
示波器	
鉛板	

二. 實驗裝置架構圖



研究方法及過程

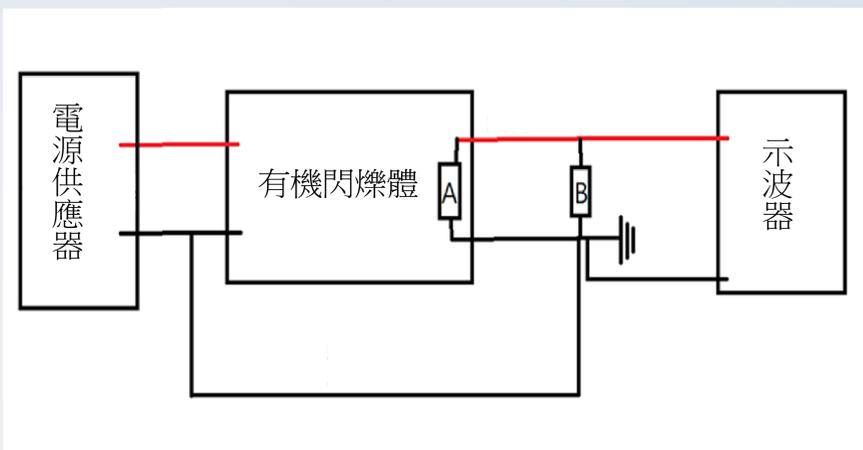
實驗一

研究不同仰角縵子數量的分布

實驗原理：

縵子的入射輻射在閃爍體內損耗沉積能量，之後受激粒子退回基態放出波長接近於可見光的閃爍光子，由訊號放大器將訊號放大，並用示波器觀測。

實驗一：實驗裝置



訊號放大器輸出端內電阻A為50歐姆，運用阻抗匹配，選用相同電阻的外接電阻B使訊號最大化。

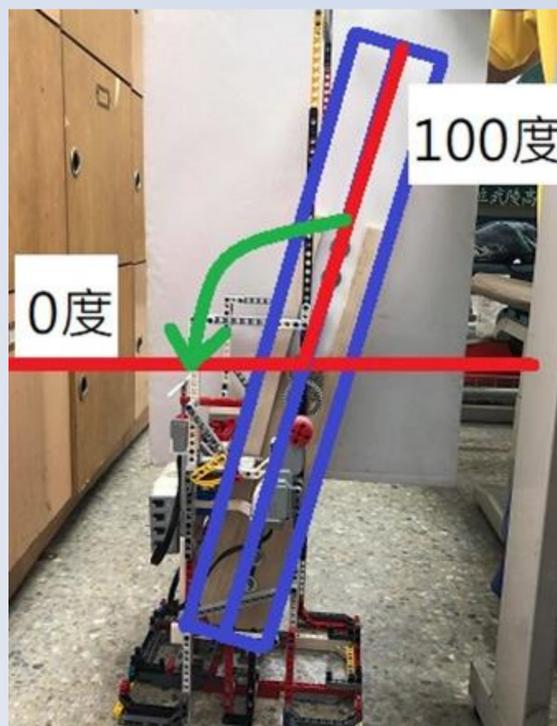
實驗二、三

實驗二:找出水泥牆厚度與縵子通量的通式

實驗三:模擬找出101大樓阻尼器的位置

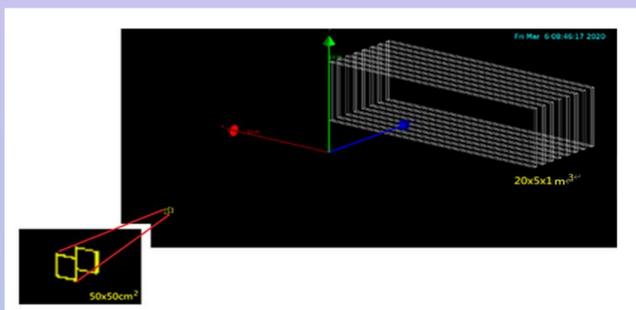
實驗原理：

Geant4分為許多模組，分別負責處理幾何跟蹤、探測器回應、執行管理、視覺化和使用者介面。對許多物理類比來說，可以在實現細節上花費較少時間。在實驗二中我們要用Geant4模擬找出水泥牆與穿透縵子數量的通式。而在實驗三中，我們結合實驗一之實驗結果，模擬找出101大樓阻尼器的位置。

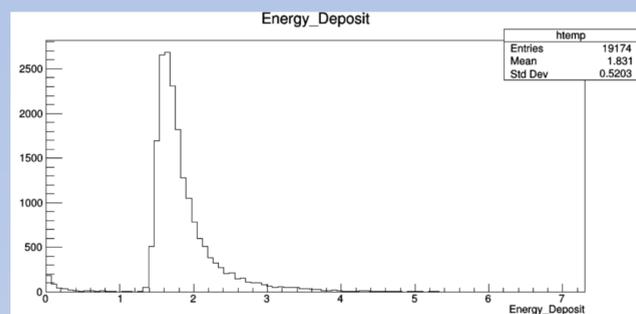


探測器 0 ~ 100 度之定義

實驗二：實驗裝置

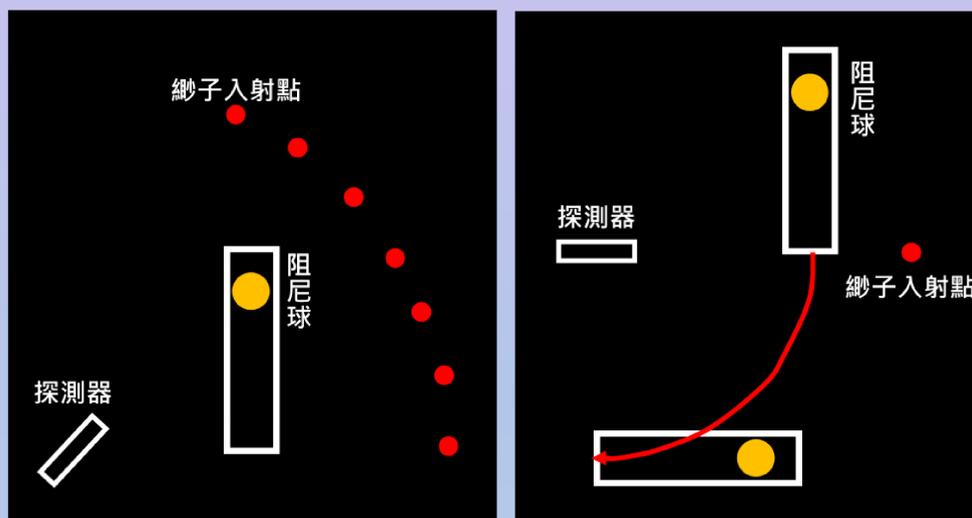


白色部分為牆壁
黃色部分為有機閃爍體探測器



上圖為發射能量分布的root檔

實驗三：實驗裝置

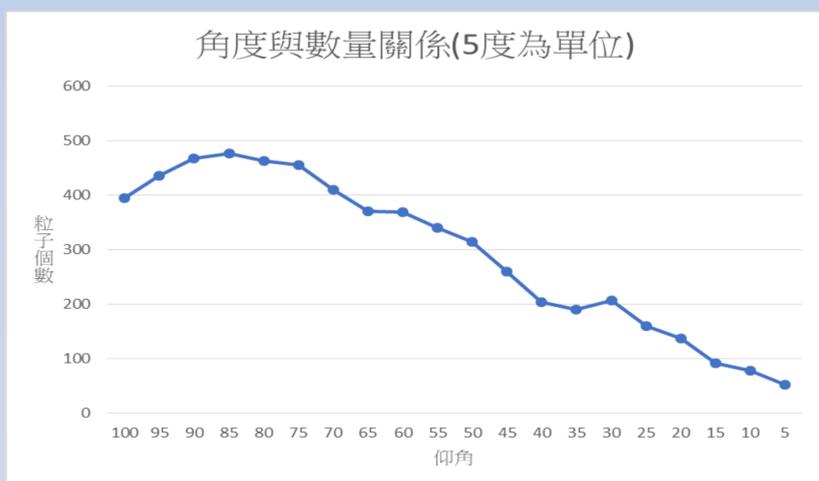


左圖為實驗三之示意圖，為保持程式的簡潔，故在程式運行時，採用右圖的方法

研究結果

實驗一：找出不同仰角對紗子數分布的影響

實驗數據

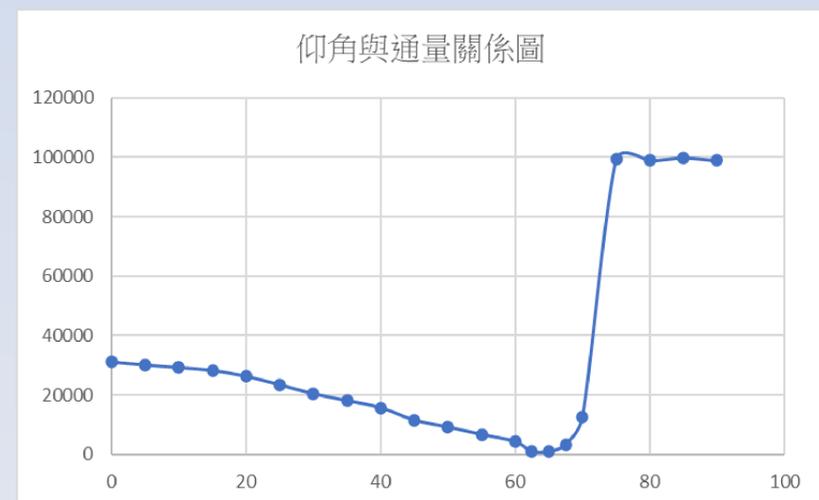


分析：

最高點約為仰角90度、在約35度時數據不穩定

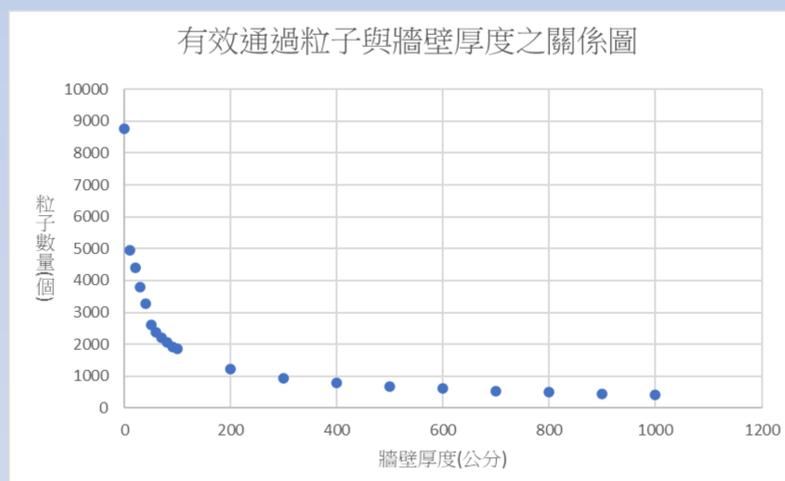
實驗三：模擬找出101大樓阻尼器的位置

實驗數據



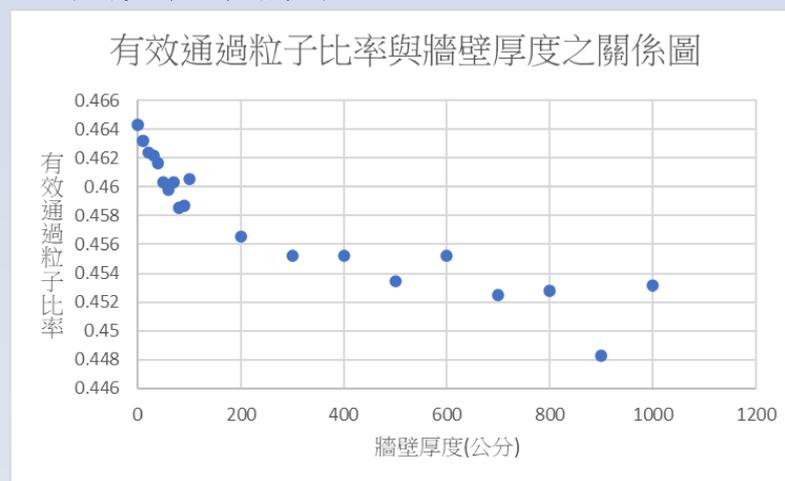
實驗二：找出水泥牆厚度與紗子通量的通式

實驗數據



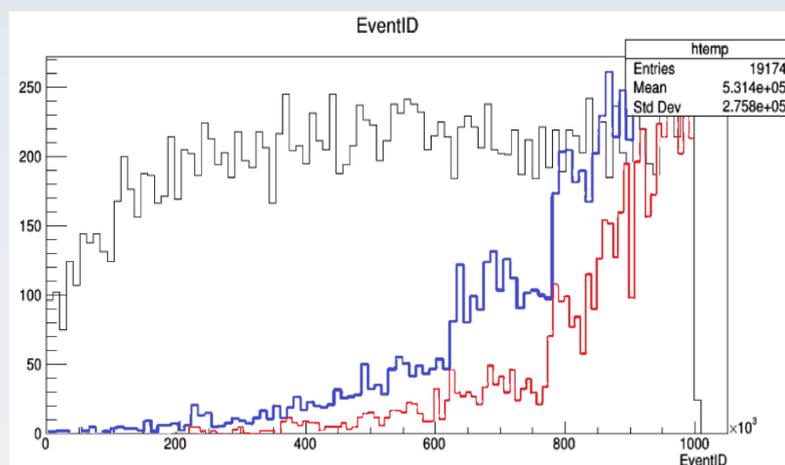
分析：

1. 依數據猜測該函數為指數函數遞減。
2. 一有牆壁有效粒子總數就急遽下降，但在牆壁越來越多時下降趨勢漸緩。



分析：

1. 牆壁厚度與比率有負相關。
2. 由於低能量紗子佔多數，所以 牆壁厚到一個程度，通過粒子比率下降程度減緩。

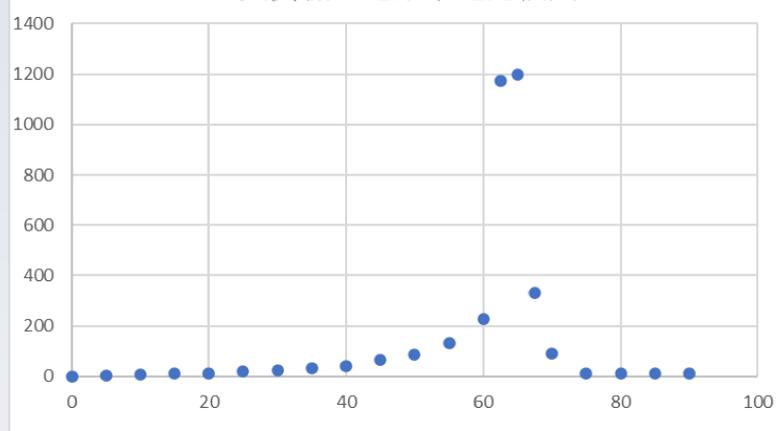


分析：

當動量越大時，會有越多的有效通過粒子數。

當牆厚度增加，動量低的有效粒子接收數量會急遽下降

與實驗一之結果之比較圖



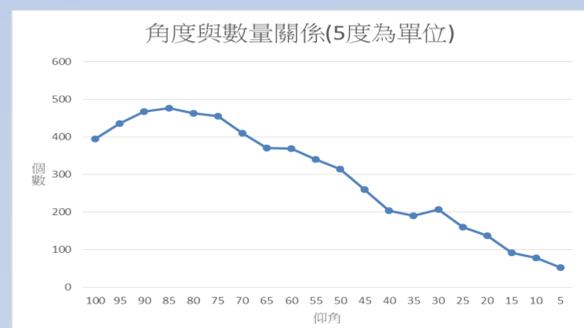
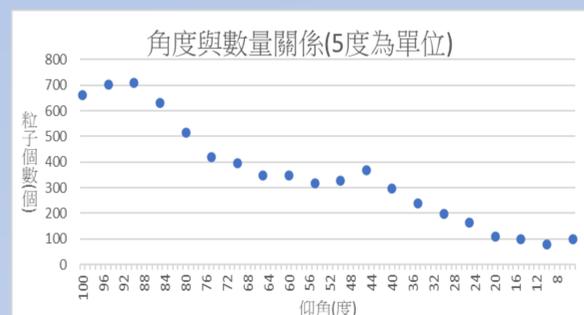
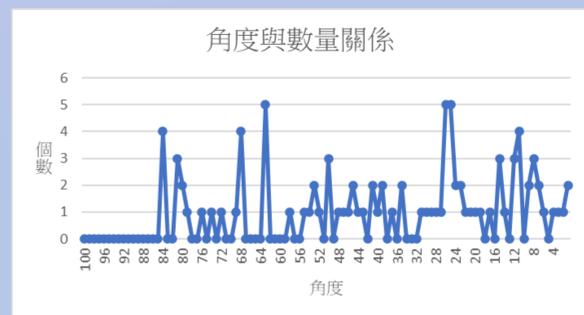
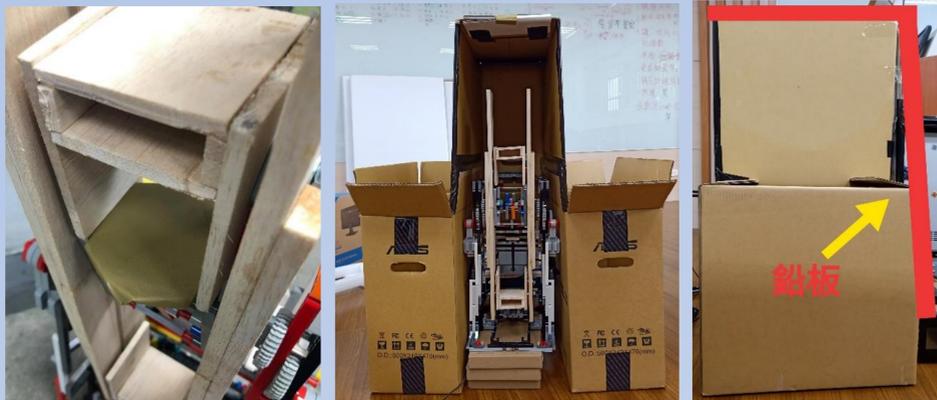
分析：

1. 在與實驗一之結果比較圖中約65度時，比值達到最高點，且最高點遠高於其他點。
2. 在65度後呈現明顯下降趨勢。
3. 65度以前，比值有稍微上升的趨勢。

討論

實驗一:找出不同仰角對縵子數分佈的影響

1. 一開始實驗時間為12小時，數據量很少且起伏不定推測為實驗時間太短，但經過增加時間數量也沒有大量的增加。因為會有雜訊干擾，一開始把振幅紀錄最低值調較高。經過再包一層不透光膠帶雜訊明顯下降，因此將振幅紀錄最低值調低，並延長至54小時以收集更多數據。
2. 我們懷疑是有縵子以外的粒子通過探測器。因為電子和縵子性質相似，所以我們把目標放在避免電子干擾。經過模擬，2mm的鉛板可以擋下約99%接近光速的電子，而縵子還有近90%通過。



實驗二:用程式找出水泥牆厚度與穿透縵子數量的通式

一、用程式找出水泥牆厚度與穿透縵子數量的通式

1. 為因應真實需求，在0到100公分內每10公分進行一次模擬，100公分以外每100公分進行一次模擬，擬合結果對低厚度較為貼合。

二、有效通過粒子比率與牆壁厚度之關係

1. 推測比率下降是因為打進水泥牆而產生的偏折。越厚的水泥牆計算偏折的次數越高，在region cut 中為五分鐘計算一次，因此有效通過粒子比率隨牆壁厚度增加下降。
2. 當牆數增加時，大部分低能量的粒子會先被擋下，動量較高的縵子也會被擋下，所以當牆數增加，EventID低的有效粒子通量會急遽下降，EventID較高的也會下降，使質方圖越來越靠右

實驗三:用程式模擬找出101阻尼器的位置

1. 在約65度時比值達到最大值，利用畢氏定理得出阻尼器的位置和架設的一致
2. 65度以前比值上升和65度後的下降趨勢的原因為：粒子通過的大樓厚度開始變厚和減少，所以比值呈現上升和減少的趨勢

結論

1. 每一度36分鐘的實驗下，個數與仰角關係以線性擬合為 $y=1.2854 x +5.794$ 其中x為仰角，y為粒子數量。
2. 以100萬顆粒子從50公分x50公分隨機去打水泥牆，閃爍體探測器5公分x5公分接受的粒子數量會滿足 $y = e^{-0.0098x} + 782$ 的等式，其中y是粒子數，x是牆壁厚度(公分)。
3. 確實可以藉由閃爍體探測器測的未知的物品。

未來展望

1. 經過縵子仰角數量的關係圖與水泥穿透比率，可以應用在探測建築物的大小以及其內部空間。
2. 藉由有機閃爍體數目和層數的上升加上每塊體積的縮小，可以大幅增加成像的解析度。就可以畫出每個縵子的軌跡以更精確的分析內部空間架構。
3. 根據實驗結果縵子在仰角90度數量最多加上穿透力夠強，可以埋在地底下以檢測土壤的變動或地下水層的改变。藉由不同密度、厚度、材質與縵子接受數量的關係，可以利用縵子探測未知的大型地形以推測組成。