

這篇文件會簡介我們在使用 CMSSW 所處理的相關工作，而以下從相關單位開始介紹，第一部份是 Large Hadron Collider (大強子對撞機)的介紹，第二部份是 Compact Muon Solenoid (緊湊渺子線圈)，第三部份是第四代夸克 b'的相關物理，第四部份是 CMSSW 的介紹和使用狀況。

## 一、LHC

Large Hadron Collider 是 CERN 下的粒子加速器計有四個對撞點，而這本身是由 34 個國家間的國際計畫所興建。LHC 的地底 50-150 公尺下有一圓周 27km 的隧道，隧道本身直徑 3m，內有質子束管並在液態氦的維持下，使超導磁鐵維持加速管內的質子以相反方向運行，此質子對撞的各種生成反應，即大家所關注的焦點。

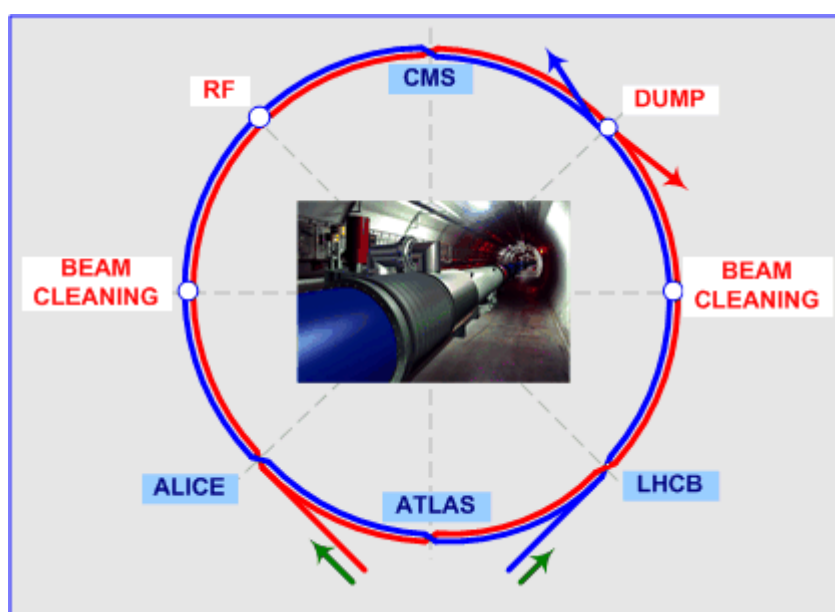
質子對撞的總能量 14 TeV，兩質子各 7 TeV，這比現今最強的 0.98TeV 還大且約是七倍，且能產生更多的衰變模式(其反應率提升至約 100 倍)，更有希望觀測到預測的新粒子。繞行儲存環的時間為 89ms，但是管內的質子是粒子團運行並非連續的粒子流，碰撞週期為 25ns。在加速方面，先由質子同步加速器(PS)加速至 50MeV，然後在質子同步推進器(PSB) 1.4GeV，質子同步加速環可到 26GeV，超級質子同步加速器可到 450GeV，最後加速至 7TeV。這些粒子束將會在隧道內維持 10~20 小時(半衰期)的高能量，在 10 小時內約產生 400M 的反應，而在四個碰撞點，共設了五個偵測器為 LHC 下的子實驗觀察這些反應。(TOTEM 是設在與 CMS 同碰撞點的實驗)

### 大型強子對撞器 (LHC) 所包含的子實驗

#### LHC 子實驗

ATLAS	超環面儀器 (A Toroidal LHC ApparatuS)
CMS	緊湊渺子線圈 (Compact Muon Solenoid)
LHC-b	LHC 底夸克實驗 (LHC-beauty)
ALICE	大型離子對撞器 (A Large Ion Collider Experiment)
TOTEM	全截面彈性散射偵測器 (Total Cross Section, Elastic Scattering and Diffraction Dissociation)

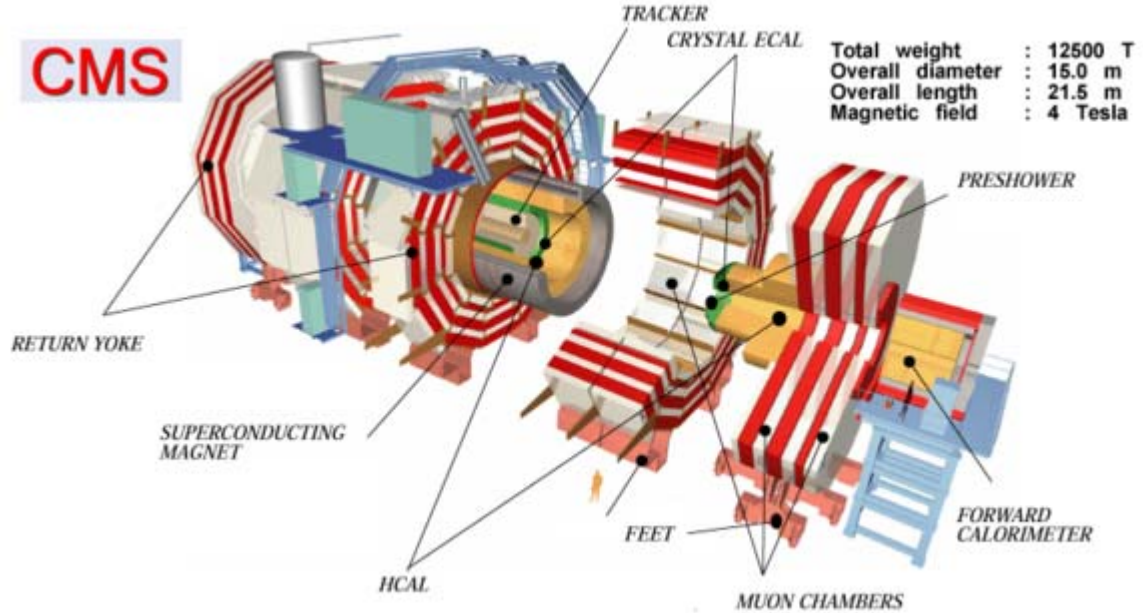
<http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=LHC&variant=zh-tw>



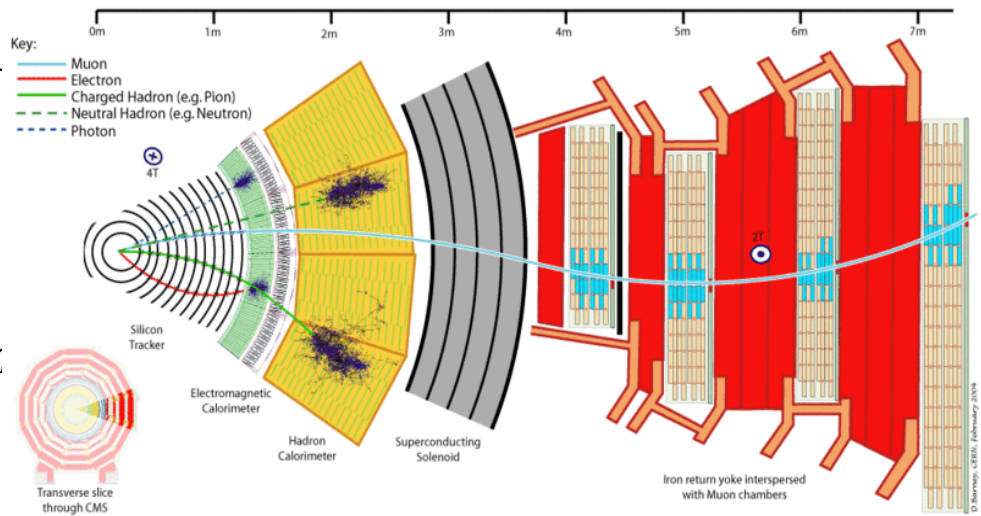
<http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/>

## 二、CMS

Compact Muon Solenoid 如 LHC 的介紹是其碰撞點之一所設的偵測器，偵測器的直徑約 15m，全長 21.5m，內供應磁場 4Tesla。



而偵測器由內而外，先在 Tracker 得到帶電粒子軌跡的資料，主要是從曲率推算動量；但是電子在 Tracker 近乎直線，光子不帶電，所以要靠 ECAL 得到能量，然後再比較 Tracker 是否帶電判斷是否為光子，而電子習慣上會與在 Tracker 所得的動量一起計算(當比率接近 1 為電子)；再往外層 HCAL 可偵測強子能量並擋下它，而可從 Tracker 比較其是否帶電，如中子就不帶電且會留在 HCAL；最後在外設下重重阻擋(為 Yoke)，而渺子都能穿過，就能回推在 Tracker 的曲率計算渺子能量。材質上，Tracker 是 silicon，ECAL 的測量能量用晶體是  $PbWO_4$ ，HCAL 的測量能量部分是石英。



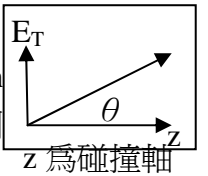
而當初建造這的目的是預期在更高能量的碰撞下會有更大的機會產生罕見粒子，其中幾個新物理的部分也需要有這些罕見粒子的證據，才能有再進一步的理論分析，其中有 Higgs、超對稱粒子以及高能實驗室研究的第四代夸克  $b', t'$ 。

### 三、b'的相關物理

u	c	t	t'
d	s	b	b'

{u,d,c,s,t,b}是已知的六種夸克，而 b't'是假設的第四代底夸克，以研究重點的 b'來說，預計其為電荷 -1/3，down-type，重子數 1/3，spin 1/2，質量上預計先假設 200 ~ 300GeV 的範圍去做對應衰變模式的研究。(因為在不同質量的 b' 前提下，會有偏向特定的衰變模式)主要衰變模式有 {bZbZ} {bZcW} {bZtW\*} {ccWW} {cWtW\*} {t tbar W\*W\*}，每一種模式的機率都會因為不同假設的 b' 質量影響，甚至在特定範圍會以某模式為主。

在衰變模式(b'→bZ)，{bZbZ}(兩個第四代的 b' 都此模式)，在預測上雖然這種反應機率不大(因為在樹狀的分支有動能守恆的限制以及在 CKM 矩陣中對應的係數限制)，但是這個模式的最終粒子容易檢測(因為 Z→2 lepton or 2 jets)，參考其他實驗而作此模式的觀察。在 CDF(Collider Detector at Fermilab)今年六月 22 日所發表的[Search for New Particles Leading to Z+jets Final States in pp Collisions at  $\sqrt{s}=1.96$  TeV]中，假設 b'→bZ 分支衰變率 100%，考慮終態可能有 Z→2 lepton 和另一個 Z→2 jets 以及一開始的 b b-bar，然後從第三高(Esin θ)的 jet 分布得到在以上假設下的 b' 質量大於 268GeV，且在統計上有 95%的信心水準。

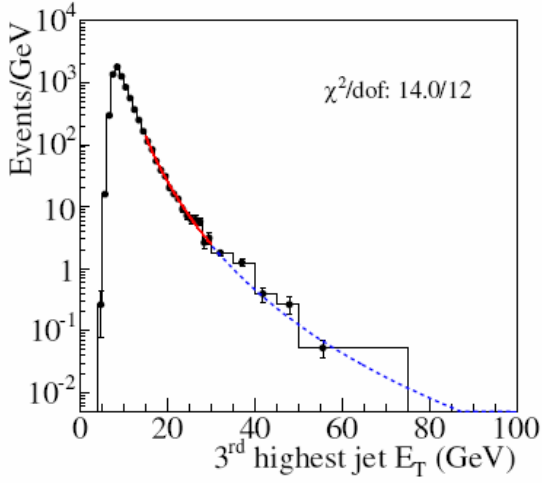


ps.在 bZbZ 的資料中，bZbZ 的 Z 會受到背景訊號的 Z 混雜，而 CDF 文中所使用資料是 integrated luminosity  $1.06\text{fb}^{-1}$  且經過電子渺子的儀器條件限制，電子  $E_T > 18\text{GeV}$   $p_T > 9\text{eV}/c$ ，渺子  $p_T > 18\text{GeV}/c$ ，然後再從這些背景訊號得到 Z 應該要取  $p_T > 20\text{GeV}/c$  和不變量質量的範圍為  $81 < M_{LL} < 101\text{GeV}/c^2$ 。

右圖為第三高  $E_T$  的分佈，其事件為  $Z \rightarrow \mu \mu$ ，然後取 [15,30]GeV 的範圍

作  $f(E_T) = p_0 \frac{e^{-E_T/p_1}}{E_T^{p_2}}$  的最小誤差曲線再

外推至  $>30\text{GeV}$  的部分，然後其他參數的順序是：先在  $>30\text{GeV}$  為 1jet 和 2jets 的  $E_T$  分布去找 { $p_1, p_2$ }，再用線性方式外推當  $>30\text{GeV}$  為 3jets(甚至更多的  $p_1$ ，而其找法都以此方式重複在不同事件上，就不再贅述。



所以由以上這些重要的衰變模式，將要以物理足夠模型進行計算和模擬產生碰撞和生成狀況，特別是在大量產生下與其對應的反應機率要能符合物理估計，所以相關的物理模型必須正確的寫入模擬程式中，而因為有相對應的計算在模擬的技巧以及工作平台的選擇，必須能快速且有效的支援以期得到足夠多的樣本進行分析。而再進一步分析時，將會使用到預先準備的樣本，以過濾背景訊號，或是預先準備的常見衰變模式，才能做比對的工作，則在這方面必須作好樣本的資料庫，所以估計上需要大量空間。

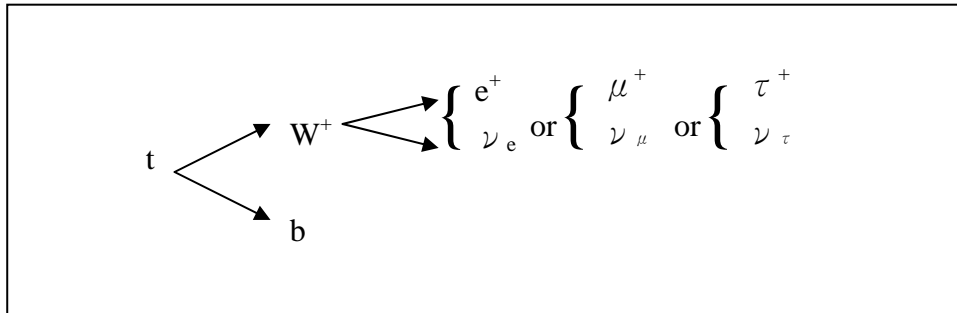
#### 四、CMSSW 的使用

CMS Software 是 CERN 開發專為 CMS 設計的軟體，目的是得到對撞後的模擬和從偵測器所得的資料重建碰撞和生成情況以分析而機率上以蒙地卡羅法求得模擬數據：1 產生碰撞生成粒子.2 模擬生成粒子在偵測器的碰撞情況.3 考慮衰減與偵測器效率的數位化數據。所以在 CMS 還未運作前可將預測新物理部份的模式設定參數以模擬數據狀況，就能得到純偵測器所得的資料結果。而 CMS SW 的另一項功能重建碰撞生成，主要是用在當 CMS 開始運作後從實際資料所得的重建計算。

使用方式只要在設置檔內呼叫對應模組就能執行計算，而其設置檔如下：

```
process PROD = {
  service = serviceA
  {...} #一些參數
  service = serviceB   {...}
  include "...
  module= moduleA
  {...} #一些參數
}
```

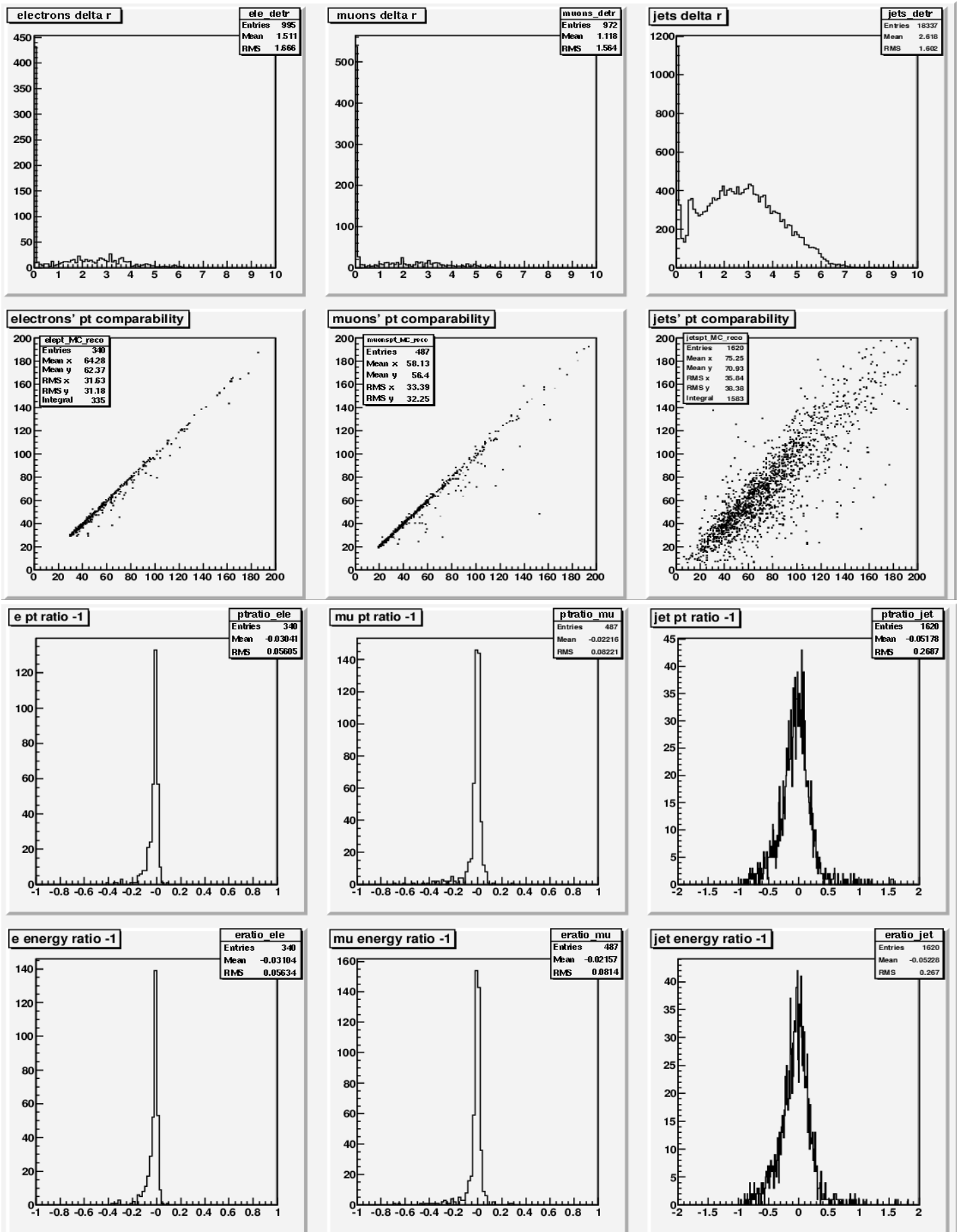
即將工作流程或計算順序寫在程序檔，而模組以及相關參數則在對應位置的 src/xxx.cc 下，而建立自訂的模組需要再使用 SCRAM 編譯才能直接使用。



以產生  $t$   $\bar{t}$  的背景訊號為例，用 TopRexSource 設定為  $t$   $\bar{t}$  production 並將 W 打開 lepton neutrino 的衰變

```
"MDME(206,1)=1           !(W+ --> e+   nu_e   ON)",
"MDME(207,1)=1           !(W+ --> mu+  nu_mu  ON)",
"MDME(208,1)=1           !(W+ --> tau+  nu_tau  ON)",
```

然後將產生的碰撞生成資料，以之前所提的順序，開始作模擬生成粒子在偵測器的碰撞情況.....，直到最後重建碰撞生成關係。



上圖為事件 1000 的  $t\bar{t}$  production 下，將重建的粒子物理性質與產生的碰撞生成粒子作比較後，找符合對應的一對，然後對非軸向的動量所作的圖。同時也看

出在 CMSSW 計算後，電子有效重建數量 340，渺子 487，b 夸克 1620(電子和渺子數理想為 667)。所以其能量比較和橫截向動量比較的峰值約 1，所以此可當成需要的背景數據。

但是以能當成樣本的等級，其每一種生成狀況只有一千是不夠的，至少在萬和十萬左右的數量級，才能與實際數據進行分析。而以  $bZbZ$  來說，其中有大部分的背景訊號來自  $Z \rightarrow 2 \text{ leptons}$ ，則需要從  $Z \rightarrow e^+ e^-$  或  $Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$ ，希望在這兩個產生的資料中找到顯著的特徵，以用來區分出所需要的訊號。(其他相關所需的背景訊號如  $b'$  的衰變中已提)

另外附上在之前使用 ntutest3 帳號所生成各種資料的開始與結束時間

	Gen+Sim		Digi+Reco	
10K_01	5/25 17:09	5/27 21:30	5/30 12:30	5/30 15:02
10K_02	6/01 11:44	6/03 12:21	6/03 18:47	6/03 21:18
10K_03	6/06 16:29	6/08 16:27	6/08 16:30	6/08 19:04
10K_04	6/08 19:16	6/10 13:30	6/11 17:03	6/11 19:32
10K_05	6/11 17:01	6/13 12:37	6/13 13:16	6/13 15:48
10K_06	6/14 19:36	6/16 19:26	6/19 10:02	6/19 12:33
10K_07	6/13 13:15	6/15 07:16	6/15 15:57	6/15 18:27
10K_08	6/19 10:06	6/21 10:30	6/21 18:03	6/21 20:45
10K_09	6/21 17:54	6/23 17:52	6/27 13:27	6/27 16:12
10K_10	6/24 15:25	6/26 15:52	6/27 16:23	6/27 19:02
10K	470.7hr 5.6GB		26.4hr 47GB	

Gen: Generation 指產生碰撞生成粒子以及事件

Sim: Simulation 是模擬粒子碰撞到偵測器的狀況

Digi: Digitization 是將偵測器上的碰撞狀況從能量或動量所得的數位化數據

Reco: Reconstruction 是從得到的數據重建碰撞的生成狀況

所以在考慮許多物理機制下，和模擬各個粒子與偵測器碰撞關係會有相當龐大的運算時間，所以在複雜度為  $t\text{-bar}$  這樣的衰變模式要有一萬個事件量則需要約 20 天的運算時間(單一 CPU)才能模擬出來，則在要模擬生成像未來 CMS 啟動後的數據量，以 1M 的事件數量在同樣的控制下會需要 2000 天(單一 CPU)的模擬計算。