

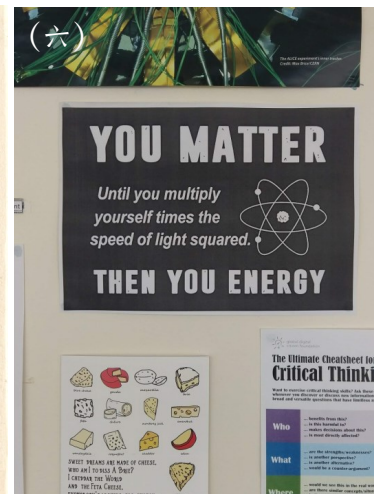
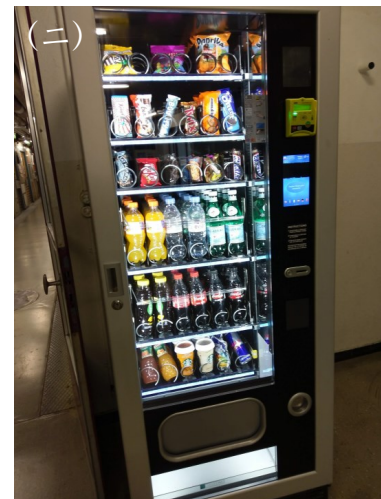
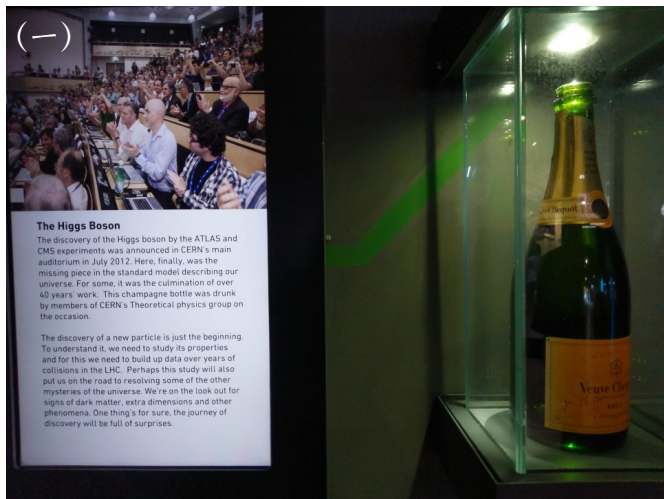
CERN 夏物語



▲ CERN 接待所

文/韋尚甫

身為編輯群的一人，我想說我大概是逃不過要交一篇稿的命運了。原本打算寫一篇最近在教授指導下，參與專題以及學習粒子物理現象學的心得，但是看到某位雖然是物理系、但早已被我們看成出逃電機系的沈同學，寫了一篇上學期在德國交換歐洲的遊記，於是我決定改寫我去年暑假有幸在瑞士的 CERN 實習的心得。畢竟這樣的話，我也不用擔心我對於粒子物理以及現象學一知半水的粗淺知識被教授看到了 XD。



(一)發現希格斯後慶祝喝的酒的酒瓶 (二)可以刷印用卡的很潮販賣機 (三)CERN 園區裡的愛因斯坦路 (四)CERN 園區裡的包立路 (五)LGBT 友善標語 (六)勵志標語

CERN 簡介

CERN，全名是歐洲核子研究組織。最有名的實驗設備是大型強子對撞機(Large Hadron Collider, LHC)，在 2012 年，LHC 上的兩大實驗：ATLAS 團隊以及 CMS 團隊分別都發表了希格斯粒子的存在。CERN 位在瑞士與法國的邊境，最主要的梅漢實驗地點大部分都位在瑞士境內，有一部份在法國境內，所以其實你可以在 CERN 裡面走一走就不小心從瑞士走到法國境內，手機的網路還提醒我現在不是瑞士境內小心漫遊費用 XD。

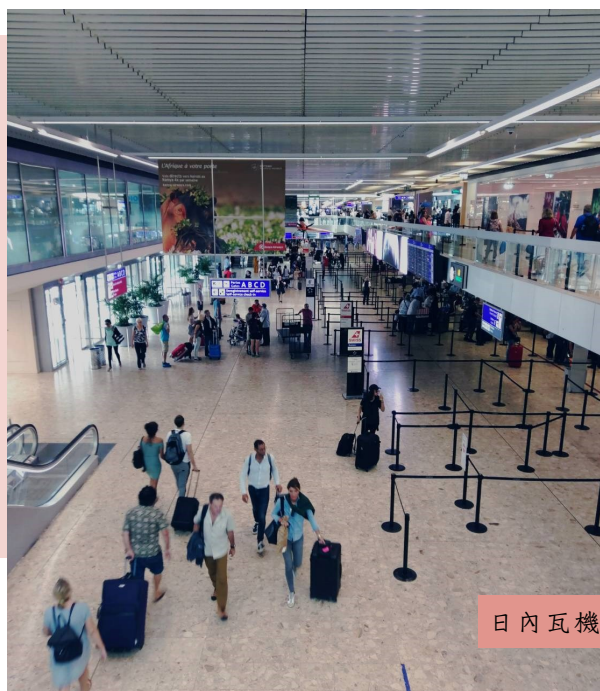
能夠去世界頂級的實驗機構 CERN 參觀已是我多年的夢想了，但我沒有想過機會來得那麼迅速且出乎意料。中研院在暑期都有面向大學生的實習計畫，我當時積極地想要了解高能物理到底在做什麼，又因為自己沒自信能夠參與理論的工作，因此就向中研院做高能實驗的老師送申請了。沒想到王老師給暑期大學生的工

作就是把他一起帶到 CERN 那邊工作。非常幸運地，最後我如願申請上這個實習機會，在暑假坐上飛機，前往粒子物理學的指標實驗機構實習。

不過雖然期待，去之前我怕的要死 XD，第一次去歐洲、第一次自己一個人生活那麼長時間、第一次自己一個人出國、甚至還因為第一次坐需要轉機的航班，很擔心我會不會出了什麼意外，導致自己沒能成功轉機，被丟包在荷蘭的史基浦機場。幸好最後還是成功抵達。

我在 CERN 的日常

我在 CERN 的一天從暑期課程開始。CERN 自己每年都會收 summer students，我因為不是跟著這個計畫去到那邊的，所以我也不是很清楚詳情。但是即使是非會員國，也是可以有學生去的，只是可能一年就一個或兩個，台灣這幾年去的人好像都是清大的學生。總之，設計給這些 summer students 的課程並沒有任何限制，只要你在那個期間在 CERN 裡頭都可以去聽。課程內容非常多元，從理論到實驗都有，隨便舉一下課表裡的東西有：標準模型、標準模型以外的物理、弦論、宇宙學、味物理、統計、探測器、電子學、資料採集、強子對撞機裡的預測、加速器科技……等等，每一門課都是做那一行的專業人士來講，即使是在那邊工作的人有時也會去聽非自己專業領域的



日內瓦機場

課做複習。有這些課真的是難能可貴的資源，只是因為我背景知識太少而且英文跟英聽太爛（爛到前一個月還滿崩潰的 QQ），所以我吸收到的東西真的非常少。幸好這些課程應該是都有放在網路上，而且不是只有暑期學生能看，剛剛也打開確認過了。所以將來等到自己更有一點基礎之後，也許重新挑戰一次就可以學到更多東西了。在這邊附上網址給大家參考：<https://indico.cern.ch/category/345/>。各個年份的暑期課程都有，只是可能會跑得有點慢就是了。

我覺得餐廳算是 CERN 裡面滿特別的地方。即使不是吃飯時間，也常常會看到餐廳裡坐了很多很多人，有些人會習慣在這裡工作或是想事情。之前指導老師請我跟另外一位博士班的學生在餐廳吃冰時，旁邊坐了一個正在拿著紙筆想事情的白髮白鬍子的老先生，老師說他是有名的超對稱理論物理學家。不知道為什麼就是覺得這個場面看起來很厲害，感覺他旁邊整個氣場都不一樣了。至於為什麼會有人喜歡在餐廳工作，我的一位來自馬來西亞的暑期學生朋友說，在餐廳是最有可能遇到自己領域以外的人，也許剛好在這認識了就可以交流一下工作內容，也許會激盪出不一樣的點子。不過我個人是對這個說法有點存疑啦。在 CERN 裡面，ATLAS 團隊跟 CMS 團隊是競爭對手，原則上應該是不能互相分享資訊的，所以我總覺得

CERN 用餐區



跟餐廳遇到的人談論這些事很怪 XD。總之實際上餐廳就是一個滿讓人放鬆的地方，天氣好時很多人都會在戶外用餐區悠閒地度過。

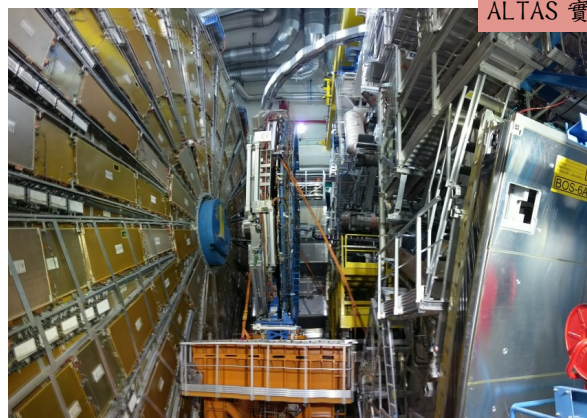
說到 ATLAS 團隊跟 CMS 團隊的競爭關係，這又是一件有趣的事。不像是 LHC 幾個其他比較特定的實驗，像 ALICE 專門做重離子對撞還有 LHCb 專門研究 b 強子物理，ATLAS 跟 CMS 就是兩個最大的主要實驗，能做到的事情很多也很相近，也因此導致了他們之間的競爭關係。這樣的競爭關係某種程度上，顯現了 CERN 做研究的嚴謹，在發現希格斯粒子的新聞稿發布前，兩個團隊有好一段時間是不能互相交流的，以防彼此會影響彼此的研究結果。如此一來，兩個完全獨立的團隊所發表出的結果就有很大的可信度。

但另一方面來說，這就像大公司裡的兩個主要部門，有派系之分是在所難免。我是跟著中研院去到 CERN 的，所以我參與的團隊就是中研院參加的 ATLAS 實驗。而我在那邊有遇到一個台大博班的學長，台大參加的是

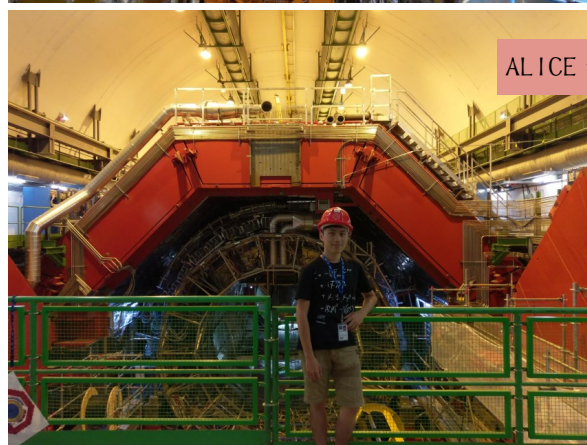
CMS 實驗。所以這個學長一看到我就開玩笑地叫我是叛徒 XD。我的指導老師也說過，在那邊的台灣人多半都是 CMS 實驗的，因為種種原因所以平常也不太方便交流往來，所以對他來說我是很稀有（？）的台灣人。此外，跟同一個 lab 裡的博士班學生聊天時，他也常常提到兩個團隊的一些實驗技術跟團隊風格也是差很多。對於外人來講 ATLAS 和 CMS 就是來自 CERN 的兩個實驗，但是對裡面的人來說可沒有那麼單純呢。

這幾年 LHC 大停機，為的是更新以及升級一些裝置。正因為如此，非常幸運地，LHC 上的幾個比較大的實驗在組團申請後都是可以參觀的。我去看過了 CMS、ALICE、ATLAS、LHCb，也就是最主要的幾個實驗都去看過了。這些裝置都在離地表幾十到

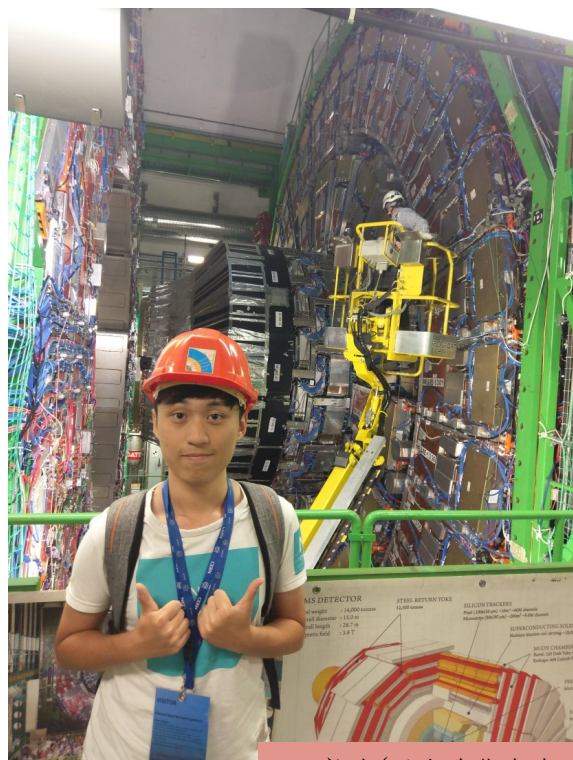
一百多公尺的地底，避免了實驗受到外在環境的干擾，也避免了將人員暴露在輻射的危害之下。



ATLAS 實驗

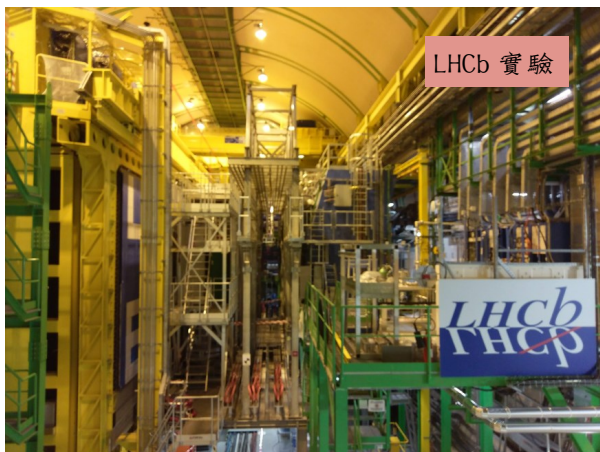


ALICE 實驗



CMS 實驗(圖中為作者本人)

進去前的安全管理非常嚴格，工作人員甚至要掃指紋跟虹膜才能進去。導覽員在講解安全須知時有幾件事情很有趣。第一件事情是電梯，常識都跟我們說發生火災跟地震的時候不要搭電梯，但是他們都跟我們說如果發生了什麼事，因為電梯的電源是獨立開來的，所以務必要搭電梯不要走樓梯，讓我不禁懷疑旁邊的樓梯到底是為什麼原因存在的。再來是為了安全考量，他們的安全帽上會戴一個蓋格計數器，而且跟我們說如果上面的數字不是 0 的話請告訴他，但即使告訴他，好像也不能做什麼的樣子 XD。



LHCb 實驗



ALTA 實驗的猛男導覽員

看到實驗裝置的第一個感想是好多，每個實驗裝置都好大。為了要偵測到對撞後以高能量飛散的產物，探測器要一層一層包覆住對撞點。ATLAS 的直徑就高達 25 公尺。事後的一個感想是感動，人類耗費巨大的資金、時間、人力來建造這些實驗裝置，為的就是去探尋更多的物理。在這點意義上，物理可以說是現代版的神話信仰也不為過，而這些（好的意

味上的）瘋狂的實驗就是信仰的儀式。我深深為其所感動。

我幫忙參與的研究

來說說我在那邊實習的內容。在那邊兩個月主要做的事情有兩個：一是分析探測器的測試資料，二是試著用機器學習去分辨新物理以及標準模型裡的物理過程。

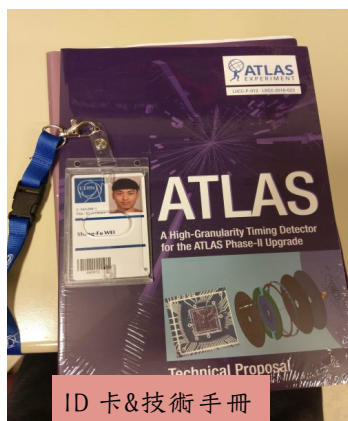
LHC2019 以及 2020 年大停機，在這期間 ATLAS 跟 CMS 都會維護並升級整個實驗裝置。ATLAS 其中一項升級就是探測器 HGTD (High Granularity Timing Detector) 的實裝。ATLAS 和 CMS 的外型都像是一個大桶子，而桶子的兩端通常是解析度最差的地方。因此兩個實驗在此次升級都有致力要處理這部份的問題。其中一個就是位在 ATLAS 端帽上的 HGTD。

但是在正式實裝前，總是要對探測器做很多測試，其中一個測試就是去看這裡面的 sensor 在被粒子打到時，能不能很好地發出訊號。而我的工作就是去分析這些測試資料供他們後續做設計跟改良的參考。具體來說就是去掉測試資料裡的背景雜訊後，用函數擬合出信號後再紀錄結果。這些工作用的程式，大體上老師跟在那的博士生都已經給了我很多幫助，剩下就只是做些小修改跟大量重複這個工作，其實也沒有特別困難。

不過在第一次看到這些測試數據也滿驚訝的，為了在不同條件下看 sensor 會如何表現，所以很多組不同的實驗都要變換一些變因。令我驚訝的是有些數據竟然會一次變動兩個變因，很難去分析單一變因的影響是什麼，搞的我做的時候常常滿頭問號 XD。



作者辦公室外走廊



ID 卡&技術手冊

另一份工作是機器學習。實驗在運作時，裝置收集到的數據不會直接告訴我們剛剛的對撞到底發生什麼事，而是在經過重建 (reconstruct) 的分析後會告訴我們：剛剛哪個位置可能通過了電子，橫截面動量是多少；剛剛哪個位置可能通過了 jet (夸克跟膠子形成的錐狀結構)，能量又是多少多少。我們要從這些資料去做統計分析：同樣是兩個輕子與兩個 jet 的過程，去統計各個物理變量的分佈，看看這其中是否有可能藏著新物理的過程。

而這就很有機器學習發展的潛力在。我們首先會有模擬的資料，如果我們的理論的過程存在的話，末狀態就會有這些粒子，分別帶著不同的物

理量 (例如：能量以及動量)，同時我們也會知道標準模型會產生什麼過程，又分別會帶什麼物理量。由於這些資料都是自己模擬出來的，我們知道每一次的對撞事件，是來自新理論還是標準模型，這些會作為機器學習的參考資料，看看他有沒有辦法只看這個對撞事件的各種物理量，就能判斷這個事件是不是來自新理論。訓練機器成功之後就可以把他自己學出來的分類法套用到實驗數據上，如果我們的理論是對的，我們應該可以看到結果會跟做模擬時相近。

我做的部份就是在監督機器去學著分辨兩個過程：一個是藉由 vector boson fusion 去看新物理的 di-Higgs pair production，以及標準模型裡的 t-quarks pair production。其實就是調演算法的各種參數然後看報表而已啦，也不是自己真的下去刻那個演算法，因為我也不會 QQ。

整體心得

最後談談觀察到的一些幾點心得。高能實驗真的非常巨大，不管是資金、設備、人力還有技術都是。每個實驗的細節都是一門大學問。從一開始讓粒子在管道裡旋轉加速開始就是一門大學問了，除此之外還有製作探測器、數據收集、平行運算、統計分析.....等等，都不是是單一個人或是單一個團隊能做到的。我所做到的也是非常小的一部分，舉例來說機

器學習的那個工作，我們只考慮了兩個過程，實際上有同樣末狀態的過程遠遠不只這些，例如標準模型裡還有 gluon-gluon Higgs 這個過程。這巨大的工作量會分配給不同的團隊，每個人都在為了物理的研究貢獻一己之力。

此外也可以觀察到，一個重視基礎科學的社會與這樣的一個基礎科研機構，是如何對話的。CERN 需要優質的人才，而在有深厚基礎科學研究內蘊的歐洲，正是能夠提供這樣的人力與技術。另一方面來說，CERN 也積極提供各種大眾向的科普教育，也提供年輕學生機會來實習。我看到的是 CERN 取於社會、回饋社會、而又再從中受益。如何讓更多人投入基礎科學研究，我想這是身在台灣的台大以及台大生要努力的目標。

有關食物的 murmur

在那邊早上上完課後就是午餐。我個人覺得午餐是滿不錯的交際場合，我後來在瑞士期間比較熟一點的馬來西亞朋友，也是午餐時聊天認識的。

但是在這邊真的要說一句，私以為瑞士的食物大概分三種：很貴、很難吃、很貴而且很難吃。有可能真的是歐洲的食物吃不習慣，我還是很難參透他們的主食是什麼。大致上是沙拉、麵包之類，然後再加上起司跟生

火腿。除此之外就是一些組合餐、披薩、特餐之類的。在那邊生活了幾天之後我超想吃米飯之類的東西，所以就嘗試了那邊某種很像小粒米（？）的的穀物，結果超級強烈的香料味讓我覺得超不舒服。重點是：這些東西都很貴。

其實在 CERN 裡消費已經比瑞士的其他地方便宜了，但是換算成台幣還是要 200~300 塊（在外面吃的話還要再兩倍），如果要吃比較特別一點的特餐（通常是亞洲食物）還會更貴。一開始還想說就省點錢吃些便宜一點的東西，之後轉念一想，反正不管怎麼省都還是那麼貴，不如吃點好吃的東西不然太痛苦。所以我就不管了 XD，不管是 300 塊的炒飯還是 450 的咖喱飯我都花下去了，金錢觀真的會壞掉……所以通常來說在那邊的人都是自己買菜、自己煮最便宜，只是我租的房子不能開火，我能做的食物大致上都是土司夾起司跟火腿的三明治。在那邊跟我同一間 lab 的巴基斯坦博士生，偶爾會救濟我他做的咖喱飯，我的指導老師後來也有幫我準備便當之類的。吃到這些亞洲食物的時候在心裡感動到快哭出來 XD



Main Building