

## 召集人

B02 陳冠文

## 主編

B02 葉津源、陳冠文

## 編輯

B02 王淳儀、曾智亮、薛景中、蘇芃之、劉詠鯤

B03 郭孟修

B04 朱文亞、韋彥丞、洪豈奇、郭庭佑

## 插畫

B04 洪子欽

## 封面設計

B02 陳冠文、葉津源（感謝黃素娥女士提供書法）

當初接下召集人尋找主編時，因系上同學大多課業繁忙，多次遭到婉拒。我很感謝同窗葉津源願意和我共同擔任主編。能在如此繁忙的大三生活中抽出時間編輯系刊，其為系上付出的精神令我相當佩服。

在這次的系刊之中，我也擔任美編組組長。由於美編組人手不足，我也一同參與排版的工作。排版組的所有人都沒有排版刊物的經驗，我們得從頭學習使用排版軟體 InDesign。雖說學會使用新的軟體的確是參與編輯系刊的收穫，但我認為我最大的收穫來自於擔任組長的過程中與組員、共同主編的溝通。我了解到處在領導階層最重要的能力是清楚地向部屬下達指令，並為團隊指引出一個明確的方向。我很感激大家給我這麼寶貴的學習機會。

在此感謝陳毓婷學姊與歐伯昇學長提供關於編輯方面的寶貴建議，讓編輯團隊能更有效率地製作本刊。最後感謝參與本刊製作的所有人，因為你們的努力才有今天的《時空》35，讓台大物理的這項傳統能延續下去！

2016年11月 B02 陳冠文

這一期系刊主要以大一新生為對象，但是其中的文章，不論是探討課程、專題，或是系史跟未來出路相關的訪問及邀稿，一開始都是因為編輯們為了解答自己的問題，蒐集相關的資訊而產生的結果，相信高年級的同學也會有所收穫。

當初只覺得，可以從零規劃一本雜誌很有趣，不明不白的就接了主編的位置。開始之後才發覺，從主題與內容的構想、分配工作到排版的過程都相當複雜。排版和美宣方面，希望這次的經驗能夠幫助往後系刊的發展，讓籌劃的過程能夠更加順利。內容方面，則感覺之前歷屆主編也都是自己摸索，不像其他活動一樣可以複製過去或是別系的作法（像是每個之夜都大概會有男舞女舞）；又感覺系刊不太受到同學的重視，擺在102半年也不會被拿完。因此除了原本的文章之外，也想辦法多做了三個同學介紹，從出刊時間的二三四年級當中各選一個人。希望這樣的方式能夠成為一個模板，也讓系刊有趣一點。至於往後的系刊要不要使用，就看這次成效如何了。

2016年11月 B02 葉津源

# 目錄

時空 35

## 專欄

### 大學生・專題

1-7

實驗專題經驗分享—曾奕晴

理論專題經驗分享—張智凱

教授專訪—朱士維教授

教授專訪—陳恆榆教授

### 物理系課程

8-16

中央大學物理系伊林老師訪談

汪治平老師訪談

自主探索實驗—三大專題基本介紹

朱士維老師訪談—關於電子學課程

## 科普

Anyon—林育平 ····· 19

量子力學的基本詮釋—曾可維 ····· 24

## 系史

### 臺大物理 88 年

28-34

日治時代的臺大物理

戰後至今的臺大物理

與許雲基老師訪談

與林清涼老師訪談

## 投稿

淺談中學物理教育—連苡粧 ····· 36

創業之路—訪問趙育萱學姊 ····· 42

短篇小說〈下課〉 ····· 47

系上情侶專訪 ····· 50

# 大學生。專題

◎薛景中、蘇芃之、朱文亞 / 採訪

◎薛景中、蘇芃之 / 撰文

## 「你專題最近做怎樣？」

一句簡單問候揭露了理工科系特有的生態。

在 3/25 系學會舉辦的留學工作坊中，五位申請上名校的學長都至少發表過一篇論文，並指出專題對申請研究所的優勢及重要性；當然，進實驗室的原因不只是申請，有的人還想了解自己的興趣或是體驗研究生活，由於這種種原因，不少同學進入實驗室各自進行專題。

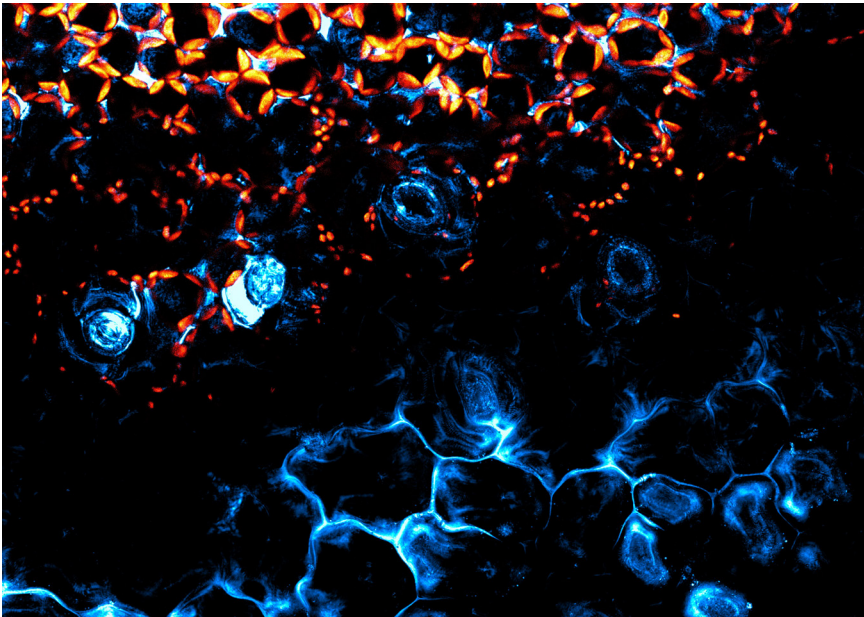
B02 物理系學會在這個學年也辦了許多實驗室參訪活動，除了深入了解物理各領域，也為想進入實驗室的同學提供方向。去年的第 34 期《時空》對系上做專題的情況做了問卷調查，我們以此為契機接著訪問了兩位教授，以及收集兩位學長姐的經驗分享，希望這個專欄可以幫助新生以及還在猶豫的同學。

P.S. B02 系學會學術部所承辦過的參訪活動：

- 1 .2015/12/05 中央研究院物理研究所參訪
- 2 .2015/12/12 系上教授實驗室參訪
- 3 .2016/04/01 新竹參訪（工研院 67 館 ( 洪銘輝、郭瑞年教授 Lab)、TSMC fab12、國家同步輻射研究中心)
- 4 .2016/04/09 原分所參訪

# 大學生專題經驗分享

B01 曾奕晴



上圖為 Confocal Microscopy 下同時接收葉綠素螢光及反射光成像 (False image)。螢光訊號標定植物葉綠體，圖中呈紅色；反射光訊號標定細胞壁，呈藍色。



曾奕晴

研究領域：葉綠素螢光

朱士維老師團隊：2015 - 現今

大學部專題壁報比賽首獎 (2016)

PSROC 專題成果發表 (2016)

大學部書卷獎 (2016)

\*PSROC：中華民國物理學會

## 為什麼要做專題

大學生做專題，就像是物理系學生的使命一般，但在大學歲月中，你問過自己為什麼要想做專題嗎？就我個人認為，這個問題是在跳入專題之前一定要先問過自己的，若動機不夠或意志不堅，很容易半途而廢或是無法享受研究帶來的樂趣，（我本身就有個血淋淋的例子，大二時進到實驗室做專題兩個月就宣告終止。）到大三下學期，在雙主修物理系及森林系的環境薰陶下，我一直很想要找到一個研究主題可以結合兩方面的學識，藉以訓練獨立研究的能力、撰寫研究成果文章，這就是我強烈想要做專題的動機，說來也蠻單純的。

## 如何找老師

在這裡必須強調，找教授是個很重要的步驟，畢竟你們可能會相處一到兩年的時間，教授訓練學生的方式、做實驗的態度能不能和自己合得來都是重要的考慮因素，若是個性不和，在教授的指導下做事不也十分辛苦？我因為大二時修過朱士維老師的課，私底下也和老師單獨聊過老師帶學生的方式，認為老師給學生的題目自由度高、很鼓勵學生自己安排實驗進度，加上最重要的，老師對於植物方面的研究也有興趣，這是我當初決定進到朱士維老師實驗室的契機。朱士維老師的實驗室還有幾項吸引人的特點，包括**每周一次的全英文 Group Meeting**，每個成員會輪流進行口頭報告，可以訓練英文報告能力，老師和學長姐們都會「無私」地提供良好的建議。同時，實驗室裡有國外的 Postdoctoral，可以去找他們訓練口頭報告、問實驗上的問題，也可以單純的和他們聊聊目前的研究進度等等，會使英文能力因此進步不少。除了 Group Meeting 之外，還有 Subgroup Meeting 及 Personal Meeting，老師會每周固定更新學生近況，基本上老師都會讓學生安排自己的實驗進度，Personal Meeting 的用途是讓老師知道學生這周做了哪些事情，以及提供、討論研究上的建議，所以也不用太緊張。總體來說，在朱士維老師的實驗室還算愉快，因為我可以自己調整做實驗的時間、研究進度，加上老師其實是個很可愛又願意鼓勵學生的人。但也許不是每個人都適合老師帶學生的方式和教學態度（相信大家也知道，老師有「鮮明」的個人特質。）所以在進實驗室前，建議還是找老師聊聊，並確認自己在談話的過程中是不是真的喜歡老師的個性，或問問學長姊的經驗，再做決定。

## 找個適合的題目

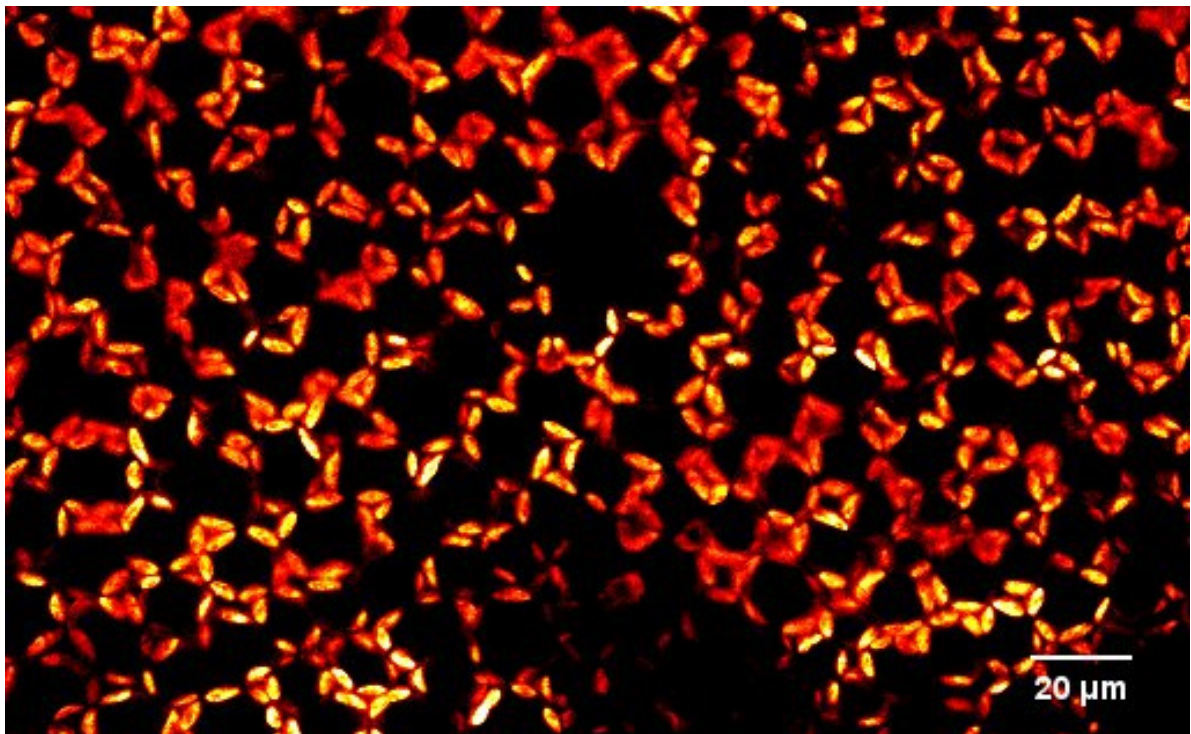
在找專題題目這個階段，我花了半年的時間。就首段提到的，我想要我的題目可以**結合植物生理與光學**，因此，我專攻研究**葉綠素螢光 (Chlorophyll Fluorescence)**，在前半年大量地閱讀葉綠素螢光的相關文獻，了解過去所做的研究，並每周和老師討論可能的研究方向。**不停地閱讀文獻與討論的階段**，是我認為做專題中**最花時間的過程**，很大的原因是因為不僅是我對葉綠素螢光這個題材很陌生，老師對它也很陌生，因此所有關於植物生理反應方面的知識，都要靠我自己從閱讀文獻、書籍或詢問他人得來，老師能提供的，是光學實驗上的協助。這種感覺很像我必須要自己去收集食材，才能請老師幫忙一起煮出一道好菜，若是找的食材不夠多、不夠好，或是根本用錯了，那就甚麼也做不出來。就這樣，從確認要做葉綠素螢光後，就一直埋頭苦讀，一周約消化一到兩篇的 paper，再和老師不停地討論、互相交換新知，到最後想到可以用**共軛焦顯微鏡 (Confocal Microscopy)** 去偵測高時間、空間解析度的葉綠素螢光動態變化，整整花了半年的時間。

找研究題目這個階段，是非常重要的訓練過程，學會如何在大量的文獻中找到自己所需要的資訊、如何快速地抓到一篇 paper 的重點，還有整合歸納後報告給老師，這都是未來做研究重要的能力，最重要的、也是我覺得我做這項專題最可貴的事，就是能夠利用我本身對知識的吸收和消化，讓一個原本我和老師都很陌生的題材，漸漸變成具有研究價值的專題。

## 未來展望

進行了一年的專題逐漸到達尾聲，目前正將實驗成果彙整、撰寫文章投稿至國際期刊，寫文章的過程也是很好的經驗，練習期刊的標準寫作格式，訓練自己使用 Latex 等文書編輯，同時也可回顧一年來的努力過程。就現實面考量，如果未來有計畫要出國讀書的學弟妹，有一篇投稿國際期刊的文章將會有很大的幫助。

做專題可以是一個很有趣、很享受的經驗，我認為，一開始的時候，先不用想自己要從這個專題做到甚麼驚人成果，專心享受獲得新知的喜悅、慢慢地前進，有一天就會發現，原來自己已經成長了這麼多！



上圖為 Confocal Microscopy 下葉綠素螢光成像 (False image)。發出波長 600nm 螢光訊號的葉綠體受到細胞壁的規範排列整齊，形成網狀結構。根據過去研究，植物在強光照射下其螢光強度會隨時間變化，表現出植物的生理特性。此專題即是利用 Confocal 觀測單一葉綠體的螢光反應。

# 大學生專題經驗分享

B00 張智凱



張智凱

研究領域：supersymmetric gauge theory

陳恆榆老師團隊

目前就讀：The University of Chicago

剛結束博士班申請，現在應該是寫心得分享最適合的時間了。雖然個人經驗可能太過繁瑣，而且從我剛加入到現在，理論組的狀況也有了很大的變化，我的經驗不一定會適用在其他人身上，不過我猜我多少還是可以提供一些建議給**對高能有興趣**的學弟妹。

我大一的時候就**決定要做理論**了，理由其實蠻單純，因為學生在系上其實沒有什麼機會可以接觸實驗相關的資訊。除非你很早，可能大一下就和老師談好要到實驗室去看一看，不然的話幾乎不太可能會知道實驗在做什麼，理論就比較開放一點。除了修課以外，網路、圖書館裡的資料也很多，所以我大一的時候大部分的時間都在讀書，我先讀了力學、電磁學、量子物理，平常下課的時候也沒有什麼活動，大概就是去圖書館讀書，把書架上相關的书都翻一翻，看到喜歡的、適合自己的就拿來讀。大二的時候我學了量子力學、量子場論，大三時接觸了固態物理，後來在**凝態理論**和**高能理論**之間猶豫了好一陣子。其實它們兩者的差異也沒有很大，只是**不同能量尺度下的等效理論**，不過後來覺得場論裡有很多細節非常吸引我，想說高能理論說不定比較適合我，於是大三下的時候我就加入陳恆榆老師的組裡，當初我的選擇不多，不過現在組裡新來了兩位老師，總共有四位老師了。

我覺得我們組裡對學生非常友善，可能是研究內容上手的難度比較高吧，我**當初的基礎也只有場論而已**，很多東西都還要學習，老師都會介紹該讀哪些東西，然後每個禮拜撥出一些時間給學生問問題。大約兩個月，等基礎知識補足之後才開始讀比較難的文章、想問題。除此之外，我們組裡還常常會有**小型的讀書會**，由老師來帶學生讀一些經典的文章，大家都可以學一些新東西。平常的**研究生活**大概就是**每天讀文章**，每周定期**跟老師討論**，一旦有想到什麼事情的時候，就立刻去跟老師說，因為辦公室就在旁邊，非常方便。所以我覺得我們組裡的氣氛蠻好的，研究的時候常常會和老師有討論、互動的機會，進步得很快。

如果你對高能理論有興趣的話，可以先到**弦論組的網站**上看看，現在的弦論組總共有四位教授和三位博士後研究員，如果你直接去找老師們的研究興趣的話，大概會看到一堆完全沒見過的字吧，像是 Supersymmetry、Gauge theory、Branes 還有 M-theory 等等非常陌生的詞彙。這些理論都蠻難的，很難用必修課學過的概念來解釋。但是，也不要因此就產生高能理論比較困難、需要懂很多才能上手的這種想法，如果你對我們的研究有興趣的話，**我建議你先修過量子場論這門課**，你會比較清楚近代的高能物理理論的進展和我們想要解決的問題，再來就是非常重要的數學能力了，除了基本的**應用數學**之外，**微分幾何**和**進階的群論**都很重要，對數學沒有興趣的話會過得很痛苦，不過也不用特別著急，這兩個數學理論我都是進來組裡面才學的，了解了這些東西後，如果還是有興趣的話，就直接寫信給弦論組的老師們約時間聊聊天，談談老師最近的研究興趣吧。



朱士維教授主要研究興趣在探討生物組織與光的交互作用，包括線性的吸收和散射及非線性光學效應等，並試圖將這些基礎研究應用到實際的生物體中。

## 實驗室現況

老師有開設實驗物理專題，為物理系的指定選修，因此有不少大學部的專題生曾經參與教授的研究，目前就有兩位專題生，不過老師說除了可以選「實驗物理專題」或「理論物理專題」之外，有一門課名為「專題研究」的碩士班課程也一樣可供大學部選修，幾乎每一位教授都有開設專題研究，而兩種課程是一樣的模式。

## 對專題生的要求

對於大學專題生，老師是來者不拒，只要具有願意學習的決心，老師一再強調現在是一個用以致學的年代，碰到什麼問題再去學相關知識，不再是學了一堆高深理論先放在一邊。老師不會要求學期內一定要做出成果來，因為研究成果是日積月累一點一點慢慢耕耘出來的，只要每周都有進度，出席實驗室的 meeting，就達到老師預期的標準了。一開始最重要問題就是找題目，有的學生一來就有想做的主題，沒有的話會先給 2、3 篇學生有興趣領域的 review

paper，一個月後再決定題目。這些題目有的是跟著學長姐的繼續做下去；有的會開啟一條新的研究方向，老師會要求這種同學至少要待一年以上，如果實驗室的資源提供你學習卻沒有留下一定的成果，對實驗室和專題生來說都是浪費。

## 做專題學到的東西

老師舉了一個例子，如果在實驗課上跟著教學做出了一台機器，其複雜度可能比專題還更高，但是專題需要處理的是從立論到驗證一系列完整的問題。一開始需要查找文獻確定哪些是有人做過的，要有效率地閱讀文獻只需要擷取你在意的資訊，這在現今資訊爆炸的年代是非常重要的能力；儀器操作除了需要熟稔還要了解每一步的目的，才能設計出自己想要的實驗流程。另外，這些精密且昂貴的儀器在使用前，一定要先考取實驗室內 SOP(Standard Operating Procedure)，確定你有獨立操作的能力；最後的討論還有寫出論文，也是在訓練如何檢視以及清楚

地敘述你的實驗。

## 做專題對申請研究所的幫助

申請研究所時最重要的是推薦信，教授在推薦信裡看的是學生的潛力以及能力。如果以修課教授的觀點，只能以學生的課堂表現來撰寫相關的評語，不過單純以修課很難評斷學生的潛力與能力；但如果以一個共事過的教授的觀點，面向可就增加了不少，找問題、處理問題的能力還有研究的態度只有做專題才能顯現出來，而且有論文或會議發表也是證明能力的指標。

## 對專題生的建議

老師希望專題生不要太功利地看待專題這件事，如果對所做的事情沒有興趣只是為了申請學校，目的就偏了。還在猶豫的同學可以勇敢嘗試，不用考慮太多，畢竟人生沒有最佳解，沒努力過根本不知道是不是對該領域有興趣。還有大學生時間不多，會有很大的時間壓力，老師鼓勵大家如果喜歡自己的題目就咬著牙拼下去吧！！



陳恆榆教授的專長在高能物理理論，研究主題包括超對稱規範場論、超弦理論、可積分系統、數學物理。上圖為系刊小組訪問教授時的情景

## 做理論專題的先備知識

對於想加入這門領域的學生，首先要有扎實的量子力學基礎，以及對量子場論有一些瞭解，除此之外，寫程式也是很重要的基本能力。現在教授也有開量子場論的課。更多資訊可以在 NTU string theory group 的網站上找到。

## 專題對研究所的幫助

教授說，開始做專題之後才會發現自己缺少什麼，學到的東西要怎麼應用。加入專題的學生也可以從 group 的網站上看到別人在做什麼，對別人的研究如果有興趣也比較有管道可以去理解，像是參加 journal club、reading group 等。教授說做理論最大的好處就是學習過比較難的東西，之後的學習會比較有信心，對於學習各方面領域也會更容易克服。

## 理論這條路的難處

教授希望加入這項領域的人已經下定決心，因為理論很難找工作，這一門學科的競爭激烈，內容很困難，而

且比實驗還要難上手。此外，在這個領域勝者全拿，只有最頂尖的人才有機會。學校對於 project 會抽成管理費，用來做學校的水電設備等支出，因此學校會看政府的補助來選職缺，實驗比理論的補助多更多，因此理論的工作空間常常被壓縮，在申請學校上和工作市場上能收的人也較少。如果只是要拿個學位，找個教職工作那不太容易，因為常常需要的人常是特定領域的，如果你和所需的人才不同，即使你再厲害也沒用。至於沒有往學界發展的人，有很多去矽谷、GOOGLE，或到金融界程式分析股市趨勢，最近也有很多人走神經科學、生物物理等。

## 研究室現況

教授的研究室中一般而言有三個研究生，目前的三位皆為碩、博士生，沒有大學生。每個研究生都有自己的專題，大三下加入專題研究，畢業後通常會自願多留一年繼續研究，之後也會走研究的領域。從進入研究室到實際上做東西幾乎都要一年以

上，因為背景知識很多，即使書卷獎、物奧得獎的同學要把基礎弄懂也需約一年的時間。實驗室的限制有兩點：時間，在實驗室中研究生可能只要負責處理處理數據，而且會有學長姐幫忙帶領，再加上教授每周 meeting，但在理論方面的則需要教授個別教導，因此教授才會將人數控制在三人左右，目的是要分配給研究生更多時間。薪水，教授相信沒有做白工的，因此要做就要做到最好，研究生甚至在暑假出國去加入跨國合作會議、上冬季學校等。



對於物理系的學生而言，專題固然相當重要。社團亦是大學生活中的重要元素，讓我們來聽聽兩位教授分享他們學生時代的社團經歷。

### 朱士維教授 嚕啦啦社

朱士維教授大學時雖然就讀於電機系，卻笑稱自己主修的是「嚕啦啦社」。「嚕啦啦社」是個救國團自強活動社團，主要是在山區舉辦體能、求生技巧等的訓練。教授因為高中時，曾經參加過嚕啦啦社所舉辦的「曲冰拓荒活動」，便對於成為嚕啦啦社的服務員懷抱了滿心的憧憬。「曲冰拓荒活動」是個五天四夜的山間健走活動，一路上要背著沉重的背包，從早上八點開始出發，直到晚上八點才能休息，還要自己撿柴升火煮飯，教授說，直到那個時候才知道大拇指還會抽筋。雖然無論是吃、睡，都是非常惡劣的體驗，但在五天的磨練下來，反而會與夥伴們產生深刻的友誼。

而說到大學時最印象深刻的事，便是第一年入社時各種極其艱苦的服務員訓練。一開始是體力的測驗，由北區各地集結而來的四百人要繞著中正紀念堂跑步十圈，有許多人在這個階段就知難而退了。到了元旦時，為了確保服務員能撐過比學員更嚴酷的條件，這些服務員見習生們更要在三天內走完「曲冰拓荒」的路線，每天健行的時間長達十六個小時。活動的第一天，原本還很開心的十點就寢，沒想到凌晨一點就被挖起來，一路走到了天亮，身邊還有人走一走掉到水溝裡面，那時候還只覺得自己等一下也有可能走到水溝裡。這樣艱苦的經驗無論是誰都不想再經驗一次。

經過一連串的試煉，最初的四百人最後篩選出八十人成為了服務員，不但服務員間產生了深厚的感情，這些經驗也讓服務員能夠游刃有餘的帶領學員們在山區活動。由此教授體悟到「不難的事情不值得做」，如果只做簡單的事情，你的信心不會提升，能力也被自己的想法給侷限了；但若是能挑戰困難的事，雖然不一定會成功，但最終能力、信心都會有所成長。第二項體悟，是團隊的形成從來不是吃飯聊天可以達到的。唯有共同經過艱苦的體驗，團隊才能夠凝聚為一體，並向同一個目標前進。

至於社團與學業之間的協調，教授自認為自己念書時很會抓概念，所以通常在大考前最後一刻才唸書，拚到及格。像是考碩士班時，就用一個禮拜的時間念完大抄，就去考了。這樣說並不是鼓勵大家不需要認真念書，而是找出自己最想要做的事情，並拚盡全力去做，如此便是一項了不起的成就了。

### 陳恆瑜教授 留學英國

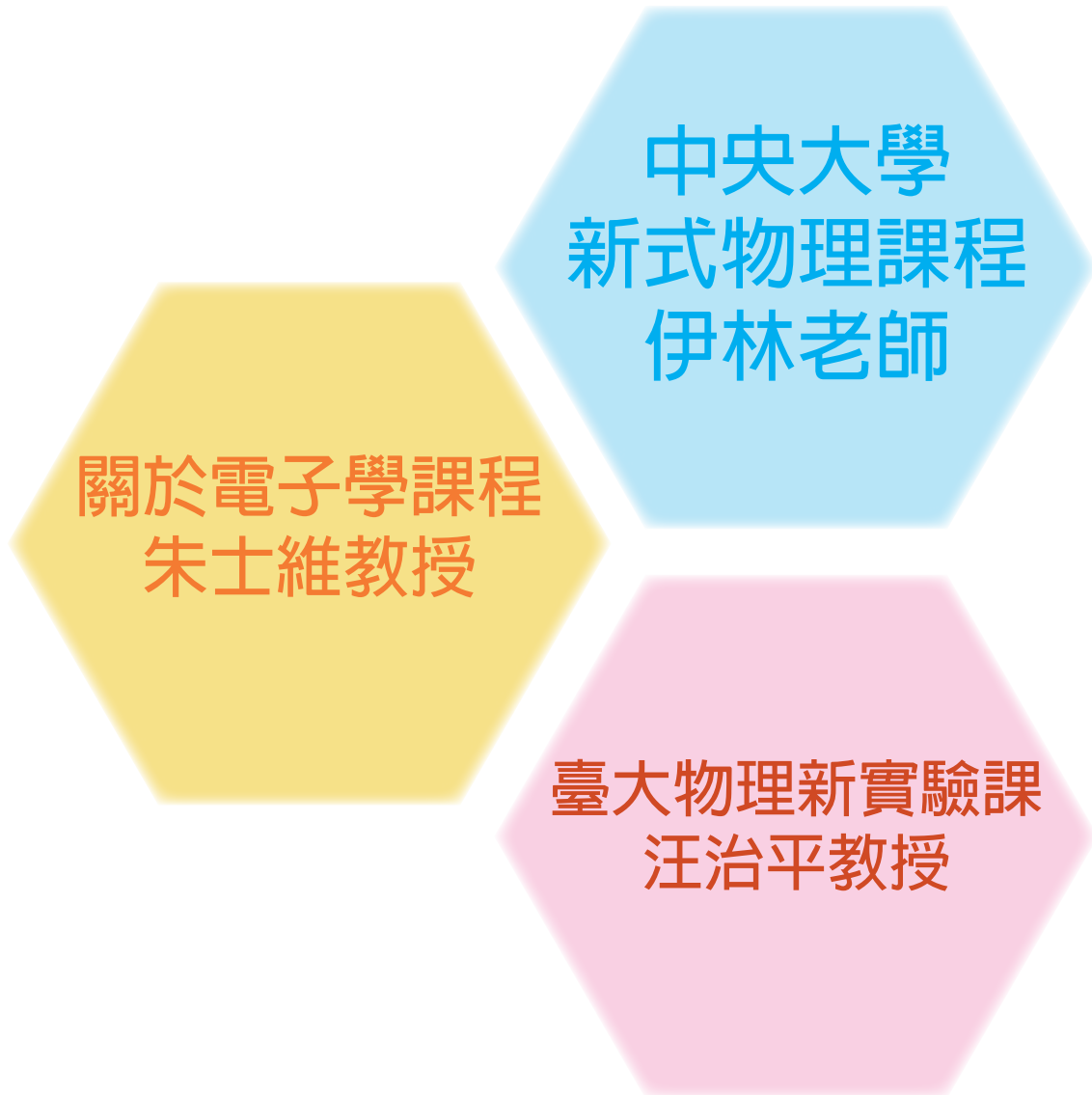
陳恆瑜教授在高中時前往英國留學，大學則就讀於劍橋大學他說到，國外大學與台大有很大的差別是在社交方面。國外大學學系內的聯繫並不強烈，他形容學系就只是一個上課的地方，一旦下課，同學就與你很少互動，但學院就相對較為緊密，如同一個被強迫加入的社團一樣，生活、社交都其中，學院裡包含各種不同科系的人，可以讓不同領域的人互相交流。而另外社交的場還有酒吧、社團等，是可以放鬆與交朋友的地方。台灣的社團通常會有目的性，刻意的去舉辦活動或是為達成某個目標而努力，但英國的社團就純粹是個擁有相同興趣的人聚集的社交場合。

陳恆瑜教授認為學校存在的目的並不只是為了教授專業的知識給學生，提供社交的場合也很重要，一個真正的好學校，除了知識外，還會讓學生有更大的機會可以認識很多不同領域、有才能的同學，而通識課也是類似的概念，課堂中你可以認識其他領域的同學，如果有相同的想法，不同領域的人就可以互相交流。

教授認為學校不應該干涉過多，不需要提供一個很制式化的環境，所有的事物都由教授來教導或學校來安排，將學生保護得很好，讓他們遠離所有誘惑。他也說到：最後要走的路自己就會走出來。並非要隨著固定的體制一路順利地走下去，有時去做一些瘋狂的事，人生才會更為完整，而如何去平衡社交與課業，才是真正的問題。

# 物理系課程

◎劉詠鯤 / 撰文



## 關於實驗課程，你的看法是？

從大一的普通物理實驗、大二的選修電子學實驗到大三的基物、近物實驗，四年大學生涯中至少有一半以上時間都有實驗陪著物理系的學生。但對於進行已久的實驗課程模式，學生和老師似乎都未必滿意。本篇專欄試圖了解外校實驗課的發展、系上的新式課程及課程委員會老師的看法。我們分別訪問了中央大學新式物理課的創始人伊林教授，系上開設自主探索實驗課的汪治平教授以及課程委員會的朱士維老師。希望讀者在看完這幾篇專訪後，能對系上實驗課程的設計有更多想法，在學生及老師的共同努力下一起完善我們的實驗課程。

# 伊林老師訪談

劉詠鯤 / 採訪

為中央物理課程帶來巨大改變的伊林老師，在受訪時指出現今物理教學體制有諸多不足。且從目前中央的成果來看，這些年推動的課程計畫頗有成效，希望在未來，能夠將這套方法推廣，不只在中央，而能慢慢地改變現今台灣的物理教育體制。

中央大學物理系十多年來在伊林老師的推動下，改進了大學的實驗課程。將原本的一年普通物理實驗增長為兩年，並將課程內容重新規劃，讓學生能完整地學到做實驗該會的知識。在大二下學期規劃了物理系小年會，所有物理系修實驗課的學生都必須展出自己組的作品，和來參與的學生、評審老師說明講解，就像是中大物理自己的科展！

近年來，除了實驗課程的更動，中大物理系也將目光放到理論課程上。有別於以往的傳統課程（甲制），學生可以選擇是否要修新制（乙制）的課程。乙制的課程沒有了普通物理，而以基礎物理課程取代，直接在大一到大二，以每次一個學期將四大力學上完。不僅內容編排不同，上課也以學生報告、討論來進行；除了實驗物理與基礎物理外，剩下的必修課只有大三大四每學期六學分的研究專題，畢業時則如同碩士生，必須撰寫論文及口試。

以下以簡表方式比較台大物理系、中央甲制、中央乙制於物理必修相關科目上的課程差異：

	台大	中央甲制	中央乙制
大一上	普物 + 普物實驗	普通物理 + 實驗物理	力學 + 實驗物理
大一下			電磁學 + 實驗物理
大二上	電磁學 + 力學	電磁學 + 力學 + 實驗物理	熱物理 + 實驗物理
大二下	電磁學 + 力學	電磁學 + 力學 + 實驗物理	量子物理 + 實驗物理
		小年會	
大三、四	量物 + 熱物 + 基礎物理、近代物理實驗	量物 + 熱物	專題研究 畢業論文專題口考

這些課程設計有別於傳統物理系的進行方式，當初進行課程變革的動機、目前實行成效令人十分好奇。我們因此訪問到了這些課程變革的主力推手，中央大學物理系伊林教授。

**請問老師想要改變課程設計的初衷，以及預期學生達到的目標是甚麼？**

老師：

在我讀書時，物理系的實驗一年級為普物實驗，二、三年級有電磁學實驗、熱力學實驗、光學實驗等等。三十幾年前我回國時，二年級有兩學期的實驗物理，大三有近代物理實驗。我覺得很奇怪，物理的發展有兩隻腳，一隻是理論，一隻是實驗。我們現在是怎麼去學科學呢？常常是反過來的。例如我們教力學時，直接教萬有引力定律，方程式就出來了。但是牛頓當初是怎麼得到這個的呢？他前面還有伽利略，伽利略前面又參考了許多觀測數據，這些觀測數據又是來自於持續不懈的觀測，前期更有望遠鏡製造、磨玻璃工藝，這樣一直推回去，甚至可以回推到波斯人製造玻璃。那為何我們只學習最後面這一段呢？而在實驗課程中僅匆匆的做些套裝實驗。

那時我想，應該要將實驗課程革。我在外國讀研究所時，修了一門很好的實驗課，因實驗室很窮，很多東西都要自學、自造。博士畢業後又在高科技產業從事研發工作二年餘，回台後又轉進了幾個不同新領域進行研究，知道為了基礎與應用研究需要，應培養怎樣的探索實戰人才，想把這些經驗引進台灣。簡言之，實驗研究是選個議題，建個舞台，請上帝在上面表演，把祂的表現記下來，分析，建立模型，或與理論比對，完成論述，供理論與眾人參考。當你在進行上述過程時，會牽涉到探索的方法學、各領域的背景物理與技術、團隊經營管理，甚至受到身心上的挫折與鍛鍊。

如果說物理是一門探索的科學，你覺得現在的大學物理教育程序中具有探索的訓練嗎？我發現一件很有趣的事，在我的研究實驗室裡，不管高中、大學生、或者沒有受探索訓練的研究生，進行相同的題目，若參與研究過程

中，受到相似程度的實驗訓練，做出來的結果沒什麼差異，代表了大學的實驗訓練幾乎就是空白。也代表高中的物理、數學，加上研究時的邊做邊學，其實就足夠了。如果將我們自小到大學所受數學訓練中的加減乘除，甚至都學到了微積分，應用數學等，與我們傳統物理系大學部的實驗物理訓練相較，到大學畢業，我們的實驗訓練可能連相當數學中的除法都沒到，不是很可怕嗎？因此我想設計適當的系列實驗物理課程，對實驗探索研究中所需要的探索方法學與相關的背景物理與技術，進行身、心、道、術的全方位鍛鍊。學生掌握探索之鑰後，如同掌握了一把萬能鑰匙，有膽識能力挑戰與開啟任何領域探索之門。

二十年前，同事提到大部分同學在大一時，對物理充滿熱忱，但到大三對物理則沒什麼系興趣。那時我剛好是系主任，覺得這還蠻可恥的。如果大一學生不行，可能是高中教師的責任。但到了大三，不就是我們自己的問題嗎？雖然當時只有在大二兩學期的實驗物理課程中，已經教了實驗基本技巧並讓他們在第二學期自己做專題，但還是很不夠。想想我們數學從小訓練十幾年，做實驗的方法怎麼可能一次到位呢？當時說服同仁，把實驗改一改，將實驗物理課在大一大二進行四學期較深度的實戰訓練。教學生實驗物理的探索方法、技術，就和我們做研究一樣。

很多學生和我說：「老師，我忽然對物理沒興趣」，我問他：「你過去的興趣是從哪來的？是看了篇文章、聽了個演講就有興趣了嗎？」我覺得這是假的，會隨時消失。要讓學生自己進行真正的探索過程，做完後再來評斷自己到底有沒有興趣。所以希望實驗室成為一個探索物理的實戰平台，在上面整合背景物理概念與鍛鍊各式技術。讓學生每次都要整合前期實驗進行一個小專題，過程中，也訓練了學生自我與團隊學習、思考辯證、設計與進行實驗、團隊合作、口頭與書面報告的能力。最後再將小專題，像樂高一樣逐步拼成較大的專題。我們現在沒有大一普物實驗，我們希望訓練出學生的技術，有了這個技術，就可以自己做出超越普物實驗的內容。

**中央大學近年來在實驗物理的課程設計上獨樹一格，有別於以往物理系的安排。老師能和我們簡單介紹目前中央大學課程規劃及實行情況嗎？**

老師：

我們目前實驗物理為必修，每一屆分三個班（每班約二十個學生），每班獨立進行大一至大二連續四學期的實驗訓練，但整體內容

大同小異。以我的班級為例，第一學期我們鍛鍊實驗的基礎功，類比電子。每週6小時中，2小時課堂討論，4小時動手實驗，一組二至三人，前次上課教師就把下次上課與實驗議題訂好，在上課之前，每組學生就要透過自我與團隊學習，進行相關資料搜尋與閱讀、小組討論，把上課內容弄清楚，然後寫成英文報告。報告包含前次實驗的總結、下次上課的內容與實驗的計畫。上課時以學生上台報告與、討論、辯證為主。老師扮演挑戰、統整、救援的角色。有時上課學生花了三十分鐘討論一個議題後，要求他們以五分鐘、三分鐘甚至一分鐘進行總結，學生可能說時間太短辦不到，我就示範給他們看，讓他們進行短時間掌握不同層級精要的鍛鍊。在每週結束，每個人要交一份約二百五十字的回顧總結報告。我覺得學校要求學生修英文課、考托福，都沒切中要點。直接讀英文文獻、用英文思想、論述，久而英文自然會好。

後三分之一學期，學生須設計並完成類比電路的系統，例如耶誕節時，學生設計個電路，控制紅燈、綠燈分開閃，可以控制頻率、亮度，學生做得很高興，還回家拿給家人分享。有次，我問學生說你覺得實驗課最受震撼是甚麼，很多學生說我生平會焊第一條電線。一把焊槍大概不到百元，但我們學生竟然到大一，最震撼的是焊了第一條電線，我們的教育系統到底在做甚麼？

第二學期，我們進行一些數位邏輯電路、程式設計、數值模擬、介面數位操控，期中考後每組就要設計與完成一個銜接上學期至今所學的類比、邏輯線路、數位控制、數位分析的儀器或實驗裝置。

第三學期，進入機械工廠學習操控各型機具，並要求他們透過前二學期所學，從設計、系統建構、量測分析等，建構完整實驗系統裝置的軟、硬體設施，進行一個完整的實驗研究，例如複擺的非線性動力行為。該學期每一組學生亦須對當代物理的重要技術如雷射、真空技術、微影與蝕刻技術、各式顯微技術、同步輻射、雷射冷卻、大強子碰撞機、無線電望遠陣列等，進行深度文獻調查後，給予四十五分鐘的口頭英文報告。

第三學期末，指定一些頂級期刊近五年內論文給他們看，寒假中進行深度文獻調查，讓他們從裡面找出一些值得但尚未被探討的議題，設計實驗，在第四學期就該領域的背景知識每組以英文進行四十分鐘的口頭報告，並將所設計的實驗在第四學期以一學期完成。期末辦一個小年會，展出成果。

基本上就是要讓他們學會自主學習、思考辯證、議題訂定與執行、口頭與書面論述、團隊經營合作等探索方法學，與基礎的實驗技術。上述過程中，辯證方法的鍛鍊尤為重要，因為在做實驗中常常有許多隱藏的因子，我們需要將許多線索歸納出模型理論，這個過程中是需要非常多的辯證。然而我們教育體系欠缺此鍛鍊，所以易妄信不精準的言論。

**中央目前有兩套並行的上課制度(甲制、乙制)，請問老師當初的構想是怎樣的？**

老師：

物理到現在已經幾百年了，我回想了一下，在我研究所時的顯學其實是理論中的高能物理。我修了很多課、做了很多的習題，但後來幾乎沒有用到。我自己做的領域，都是我自己從沒修過課，獨立學習的。所以我問我自己一個問題：在一個知識由網路垂手可得的時代，什麼可以刪掉？我們就移除或改成選修；大家都需要的課程，就變成必修。我和一個同事說，我們來實驗一下看能不能在大一普物課，就把四大力學的精華架構與數學觀念教完，測試的結論是肯定的。

所以我們建立一個系統，能在大一、大二把四大力學上完。大三、大四每學期各有六學分的研究專題，並需完成論文與口試。因為既有體制中，學生從沒受過專題、論文、口試的經驗，但是考試、演算題目，受過許多的訓練，為何要一直重複早就會的東西呢？我在新制大一基礎物理課，基本上照著 Landau 力學的架構教，從對稱守恆、Lagrangian 開始。有一天，我的書掉在地上，學生看到，問我說老師這本書是你何時讀的？我說研究所。學生說老師你怎麼拿研究所的東西教我們？我說對呀！但你聽不懂嗎？心理上的恐懼，往往是學習的最大障礙。

當然，新制在系上推動時，也是蠻難的。畢竟和大家習慣的不一樣。我們的目標是希望可以在四大力學中找到約四十個基礎概念，將整個領域貫穿。等到從事研究活動需要的時候再溫故知新，反覆進行更深度的了悟。這樣到三年級時，就再也沒有除了研究專題外的物理必修課了。可以去做專題、去修研究所的課，很多學生表現的都比研究生還好。以前大三很多要修的各式學分，現在都被精簡化，學生就可以修自己想修的課，有更大的自由。學生有選擇權，避開不適合的課程，就很像自由市場一樣。其實我覺得大學不需要有必修課，讓學生去選自己想的東西，對自己的選擇負責，不是很好嗎？

**請問老師新制課程目前實行起來如何？**

老師：

這樣的課程設計，有很高的效率，很多學生在大三時進入研究團隊，參與第一線研究，表現極佳，不再到補習班，為了升學，複製以往的學習程序。我們在大學的物理基礎課程，鮮少超過一九三零年代。但當你進入研究團隊，進行最現代的科學研究，邊做邊學即可。就不一定需要去修傳統的近代物理實驗，畢竟如密立根的油滴實驗也不算太「近代」。

甲制是和以前一樣，乙制是新制度。除了基礎物理、實驗課、化學、國文之外，只剩專題必修。重點就是透過專題來學習。就像你其實不用很會數學，你要複雜積分，Mathematica 可以替你做，但是你至少要知道積分的基本概念與操作。因此在實驗上，也不用很會做車床，但需要做過，不然怎麼設計請人家製造呢？而且有的東西，自己做很快就可以解決了。

**老師目前的課程改革看起來蠻成功的，對於別的學校想學習這種新式課程有甚麼看法呢？**

老師：

我們做實驗的人，要透過思想、方法、實驗的驗證，逐步累積成功經驗，鞏固信念，持續改進推動。我們進行的課程改革也是一種實驗，在以學生為班級的主角，從做中學，錯中學的主動探索學習理念下，實行的方法仍需要不斷的逐步調整，我們畢竟亦花了近二十年才有今日的成果。若其他物理系亦欲推動，可在此精神與理念下，參考我們的做法，因地制宜，適當調整。教學其實是需要做研發的。我們過往多年推動改革的困難，與歷史中任何的改革相似，在於新法顛覆主事者個人成長的經驗與價值，造成很多人覺得「祖宗之法不可變」，墨守成規，行禮如儀。因此需要教師的共同參與及不斷的溝通與交換經驗，由小至大，就像攀岩，一次不可以動太多支撐點，始可逐步高升。

# 汪治平老師訪談

劉詠鯤 / 採訪

於去年 (2015) 開設新實驗課的汪治平老師，從實驗物理學家的觀點審視系上現行的實驗課程，認為其設計有許多不足。希望能藉由一門新的實驗課，讓學生從中學到足夠的動手能力，並在自己設計實驗的過程中，重新檢視過去所學，探索自己的不足。

大三除了基礎物理實驗外，多出了一個新的選項—自主探索物理實驗。這門實驗課為期一年，可以抵代基物、近物實驗。據修過這門課的同學表示，這門課的進行方式有別於以往修過的實驗課。到底這門課開設的意義以及預期達到的目標是甚麼？我們訪問到了這門課授課老師，物理系及原分所合聘教授汪治平老師。

**請問老師這學期開自主探索實驗的初衷和預期達到的目標是甚麼呢？**

老師：

根據我自己的觀察，覺得學生對這個的世界了解太少。如果對日常事情了解都很少，那要怎麼當實驗物理學家？我覺得這是一個通病，從我讀高中、大學到我女兒讀物理系，整個體制都沒有改變。就是一個自我複製的生物體。這種風氣就是我非常想要改變的。我們過去這麼多年做實驗，還有我從台灣跑去美國，發現能不能動手這件事是非常關鍵的。不是說一定要當實驗物理學家才關鍵，如果念到博士也許只有 1/3 才當實驗物理學家，很多人跑去業界（航空、太空、半導體）。也都需要動手的能力。台灣缺乏動手能力，對我來說是很不好的情形。而且也是對社會風氣不當的鼓勵，不會動手的人他只要功課好也可以拿到很多的好處。但實際上社會需要會動手的人。不是說社會不需要愛因斯坦，只是那種人很少，不要特別去期待那種人的出現。但是，一屆那麼多學生，能達到最大的貢獻，還是需要會動手的人。當然，會動手是廣義，像寫程式當然也算是。

要開課，就是希望能對社會有所改變，這樣開才值得。如果都是照課本做，學生自己看就可以了。我覺得在台大有種情況，一方面老師不太願意去改變這個課程，一方面老師和學生間沒有很好的互動，老師的角色也侷限於念念課本。這樣就比較沒意思，對學習也比較沒有幫助。這樣的根扎不深，縱使當場了解了，過一年就忘記了。因為課堂上都是照著老師的邏輯走一遍，就像檢察一個證明題一樣，可能當下一行一行照著看覺得每一步都很有道理，但是過不了多久，要自己證時就完全做不出來。這是因為在這過程中，都沒有去想其他的問題，這樣的理解就很表面。所以我希望開的這門課，是可以讓學生有機會重新檢索自己。

**老師對於中央大學乙制（新制）課程的看法？**

老師：

我覺得那個設計最好的地方就在於他不會重複同樣的東西，很多學生在大一時會把功課荒廢掉，因為他發現這課本就跟高中差不多。因為我們現在使用的課本，是針對美國主流大學的學生。但是其實這些學生和我們前幾名大學的學生相比，他們是輸我們的。我們的學生可能看到這些課本，就覺得蠻簡單，沒什麼大不了的。所以用中大那種系統，他一進來就不容易荒廢掉，因為它直接就是我們所謂的大學水準。我們以前讀物理系，是讀了三層，普通物理是重複高中，大二大三讀了四大力學，認真的學生大四去修研究所的課。但這樣重複的東西弄了三遍，也是很浪費時間。

**老師希望以甚麼模式進行這門課？**

老師：

我曾想過另一個思維，就是逼，逼到學生的潛力出來。就像擠毛巾要擠出兩倍的水很容易，只是看我要不要擠而已。不過這個方法在現在看來行不通。不過這就很可惜，原本有機會變得更厲害，但是就沒有被逼出潛力。我覺得現在很多學生沒有體悟到這點，一方面也是沒有一個好的範例，讓他們看到可以從多差變成多好。所以不管是中大還是我，都是希望讓學生看到自己的成長，了解到自己的潛力有多少。只是現在我們不能用痛苦來逼迫學生，只能用快樂來導引他。不過用快樂終究是有限的，畢竟用快樂來導引學生，競爭對手實在太多了。

所以我們現在做這個課程，就是希望找出一條新的路可以走。中大那個課程好是好在有新鮮感及挑戰性，而且很多東西在普物的層次其實講不清楚。實驗我覺得不動手的實驗就是假的實驗，但是也不能貪多，不然就和看 Youtube 一樣。我以前就不喜歡這樣的實驗，早就知道預期的結果，有問題也不能對儀器更改，所以大家在心態上也不是很認真看待這件事情。

目前課程設計是在大三、大四，以後老師會希望將課程提早嗎？

老師：

目前看中央課程的設計，我覺得提早到大一、大二很不錯。不過有一些基本能力的培訓還是很重要。我覺得有四大基本能力：機械加工、電腦程式、電子學、英文能力。這些東西不太需要物理，都是實際操作的能力，所以可以早一點培養起來。這些基本能力，最好在一年級時就訓練好，二年級時就可以做個經典實驗或自己想做的實驗，自己設計、分析。這樣就不只訓練實驗的能力，還有個人的能力、團隊的能力。而且這種課程對學生的成長是多方面的，讓學生可以長成一個比較平衡的人。

雖然說到了大三，很多基本知識已經學過了，上手比較快速。不過大一的學生還是比較好帶，他比較沒有自己的意志。我如果和他說，你這樣程度不行，完全不符合台大的標準。他也不知道甚麼是台大的標準，你和他說差太遠他就覺得差太遠。但是到了大三，我講這話，你也不會相信，你會想說我都已經在這兩年了，大家都是這樣啊！所以還是一年級比較好。

老師對目前系上的課程還有甚麼看法或覺得可以改進的地方呢？

老師：

其實電子學應該要整合到實驗課裡面，馬上學馬上用，這樣才好玩。不然你也不知道電子學在學甚麼。畢竟課本的電路是理想電路，實際運用會多出很多問題。你可能要直到你發現做出來的成果和別人差那麼多，去看了規格、操作手冊才發現原來只是一些核心元件的性質有差異，這種東西在課本裡完全不會教到。而且一年級就學這些東西其實也不會妨礙到其他科目，這些東西高中生也可以學會。

我倒是覺得要用到有準備的東西，不要那麼早去教。像是普物、普化裡面都提到了 Entropy、Enthalpy，很多學生都搞不清楚。我自己的普通化學是四年級才讀的，因為我是從數學轉物理，那時我就很可以讀得很懂，因為量子物理、熱物理都學過了。

所以我覺得上課的順序很重要，像我覺得就應該先上應用數學、在上物理、化學，這樣建立在彼此的基礎上，才能讀的通。

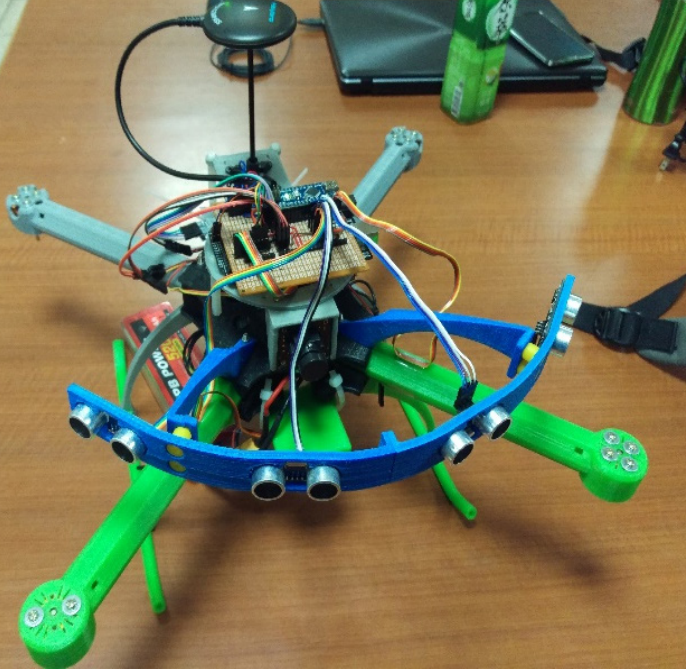
我覺得大學是一個多方面的學習，分系只是主修的差別，你還是要會別人的東西。就像電機系也要學物理，不然他要怎麼往下一個世代的技术發展。物理系的也要學電機，不然你的研究工具就會很差。就像程式、硬體之類的，如果你跟不上，就很難和別人競爭。我覺得實驗物理學家最重要的就是要博學，如果你不懂得比別人還多，就很難在實驗上超過別人。

## 自主探索實驗——三大專題基本介紹

汪治平老師 2015 年新開的自主探索實驗，第一學期共 3 組 9 人，每一組製作的題目自訂，要會用到電子學、程式語言等技巧，為第二學期的物理實驗做準備。這門課就像小型的專題，老師基本不主動教學生，而是學生在自己製作的過程中，發現問題、自己學習並解決。這三組的主題分別是：自動閃避四軸、電子琴、四足機器人。以下簡單介紹各組的作品，讓讀者能更了解這門課在做甚麼。

請見下一頁的圖解！

## 第一組



## 自動閃避四軸飛行器

四軸飛行器在市面上很常見，可以平穩飛行很普通，但能自動閃避障礙物的就特別了。平常在空闊地區玩四軸時，不會有撞到障礙物的問題。但若是在公園樹木、障礙物比較多的地方，對於操控技術不好的玩家，四軸就很容易撞上障礙物，輕則墜機，重則螺旋槳、機身斷裂。

本組希望製作一台四軸飛行器，可以自動閃避障礙物。主要是在飛行器前方增加四個超聲波，藉由偵測不同超聲波感應到的距離，來判斷障礙物位於飛機前方哪一個方位。進而控制飛行器要往哪一個方向閃避。

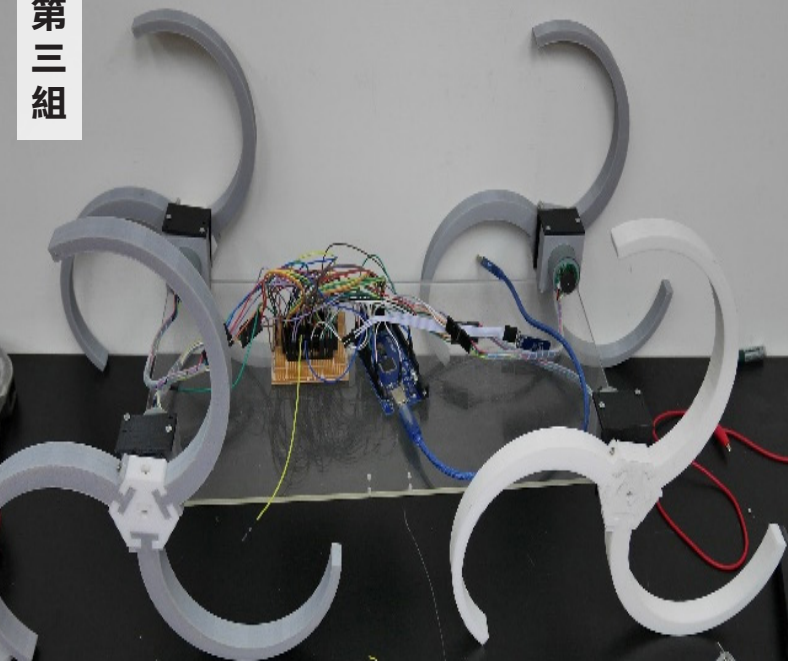
## 自製電子琴

這是一台看起來不起眼但其實基本鋼琴功能皆已完善的電子琴（雖然只做了八度音）。琴鍵由木料、彈簧和壓電材料組成，利用壓電材料受不同壓力產生不同電壓的特性，按下琴鍵力道不同時，透過壓電材料及一系列比較器來使輸出音訊有大小聲差異；利用非常快速的掃描壓電材料訊號，使得同時按下和弦可以被感知，再透過 Arduino 處理器來輸出混和的音訊；最後還做出了一個鋼琴中的延音踏板。全部訊號透過 Arduino 整合後，透過 MIDI 晶片輸出音訊。只要接上喇叭，這就是一台可以演奏的簡易電子琴了。

## 第二組



## 第三組



## 爬樓梯四足機器人

這台四足機器人，除了可以在地面上行走也可以爬上樓梯。為了能爬樓梯，使用了較大扭力的馬達及形狀特別的腳，使機器人遇到障礙物或樓梯時，能將自己“撐”過去。透過 3D 列印的腳，除了可以實現爬樓梯的功能，也能達到輕量化及耐用的目標，如此才不會使整體機身過重，降低續航力。本組也加入了藍芽遙控的功能，搭配上自己寫的簡單 app 就可以利用手機藍芽遙控機器人。



# 朱士維老師訪談

## 關於電子學課程

◎劉詠鯤、葉津源、薛景中 / 採訪 · 劉詠鯤 / 紀錄

開設了電子學(實驗)一的朱士維老師，在課程上採取了全新的翻轉教室模式，在實驗課引進了專題的設計。老師表示這些設計對學生解決問題的能力有很大的訓練。但從課程委員會委員的角度來看，新的課程設計需要一段時間嘗試，也要看課程的成效與學生的評價來決定未來課程設計走向。

在系上常聽到有人抱怨實驗課無聊，像是不知道普物實驗課在做甚麼，照著手冊從頭跟著步驟最到尾就結束了，縱使有數據還是不太清楚它在幹嘛？這類的話想必大家在大一時都常常聽到。系上的實驗課設計已經行之有年，想必不是最近幾屆的學生才有此反應。

我們訪問物理系課程委員會的朱士維老師，朱老師以做專題的實驗形式搭配翻轉的上課方式。會採取新式的教學方式，想必朱老師對於現今的課程設計有著不一樣的想法，那這樣的課程模式實行成效如何？而系上對於現今實驗課體制又是抱持著什麼樣的態度。我們希望能在和朱老師的訪談中獲得一些答案。

### 老師對於電子學課程有甚麼規劃，及預期的目標？

老師：

主要有兩個主要目標。學術上來說，要了解各式各樣的原件，理解非線性的現象。教育上來說，搭配這個課程，我更希望學生知道大學到底要學會甚麼。因為在大學裡面很多學到的”知識”，其實很多都不會用到。學到的知識，其實是一個載體，他載著的是背後要學生學習思考的能力。更重要的是遇到一個問題時，要怎麼樣去切入。還有如何表達自己的看法，要會想還要會講，講到別人聽得懂。最近這幾年還加入了團隊合作，讓大家學習團隊互動，一起達成共同目標。

### 期末專目前實行成效如何？是否是評估學習成效一個不錯的指標？

老師：

先解釋一下目前課程的設計，現在電子學分成兩個學期，兩個學期都有專題的課程。第一個學期是有範圍的專題，主要就是做收音機。做收音機是因為他是類比電路的大成，包含了訊號的接收、擷取、放大，搭配上學期是講類比電路。這個專題裡面，學生的自由度在於它可以增加各式各樣的功能。我們會給他基本的電路，只要接上去有聲音，就算達到基本的目標。再給了學生自由度之後可以發現許多創意、巧思，這是紙筆測驗、考試所無法看出來的。上學期我覺得算是限制蠻大的，但還是很多學生可以做出很多東西。像有學生就作出了一個木馬屠城記中木馬形狀的收音機，他說這個是當小時候看到登陸火星的登陸艇的樣子，當初就深受吸引，因而讀物理。如果要說對於學生有沒有幫助，我覺得幫助不是來自於我這邊，而是讓學生可以把他的想法落實，

讓他有一個舞台，這對增加學生的信心、成就感有很大的幫助。

下學期就完全沒有限制，下學期的課程是數位電路，大概有半學期的時間在做基本練習，最後有八周的時間專心做專題。因為已經學會數位、類比電路了，所以可以做出很多東西。主題就是做出能解決現實問題的東西。其實從這些學生做的專題可以看出來為甚麼我要他們做可以解決「現實問題」的東西，因為你在這個過程中會發現單一學科是不夠用的，幾乎任何問題都是跨學科的。這是我希望同學能體會的概念，不要一直鑽在某一個部分，這樣是沒有辦法解決實際問題的。

### 老師這樣的課程設計持續多久了？

老師：

我是 99 學年度開始接電子學，不過一開始模式不是這樣。一開始是有幾個設計好的實驗讓學生做，不過我真的覺得這樣很不有趣。隔年就開始改變方法，把專題加入實驗的部分，在隔年，把電子二也一起改變。所以這些設計其實也是慢慢演化出來的。不過這樣做之後，發現學生的動力也高了許多。照著寫好的東西照著做，很多學生其實也不知道他在做甚麼，你要想辦法設計成照著前面的東西湊著湊著，最後就能做出一個可以動的東西。

**普物實驗比較像是照著範本製作，而且這個設計也行之已久，學生基本上覺得比較枯燥。系上是否想換個模式進行？**

老師：

所以系上在今年請汪老師開了自主探索實驗。但是還是要看學生接受度有多高。我

覺得很有趣，因為目前選那門課的人數很少。那如果我們把全系的課變成那樣，會發生甚麼事？真的會比較好嗎？所以目前就是一個測試階段，先設計一個可以抵代的課，看一下學生的反應程度。我覺得做這件事要很小心，不可以一下子想說要全部翻盤，直接把原本的必修砍掉。所以這學期就是在試水溫。學生講說原來的課很無聊，那我們就開一個讓學生自己設計的課，那學生為甚麼不想修？總不能說又不想無聊，又不想花時間。這兩者是完全衝突的。不想無聊，就要願意設計、願意探索，這是一定要花時間的。所以試水溫這件事情，可能還要觀察。我們還要觀察這件事值不值得這樣改變，如果說這樣的做法有足夠多學生來選擇這門課，那原本的課程就可以被取代掉了。但目前看起來並不是這樣，所以我覺得是學生心中的矛盾沒有解開。這種時候硬去推這件事，也許不是好作法。其實現在普物也有在考慮這件事，普物實驗換了一個新的老師在帶，他也想做一些新的改變。只是普物的規模更大，需要更加謹慎。

我同意現在的普物實驗不太理想，但是你花很少時間。所以這個事情是發展了四五十年的系統達到的一個平衡。畢竟大一學生已經修了太多的學分，如果想要像中央那種模式，學生要必須投注遠比目前多得多的時間在物理實驗課程上。系上不是不知道這件事情，只是推動起來沒有想像中的那麼簡單。畢竟任何新作法，都會受到原有習慣的批評。所以從我的角度來看，讓學生有更多的自主性是一個好的方向。但在推動上我們要格外小心。

**從現實面來說，有可能增加實驗課的學分嗎？**

老師：

這是一個可能的方向，但這就牽涉到更多結構上的問題。因為一但擴張這門課，那就相當於會排擠到別的科目。所以我只能說可以做，但也不容易。我覺得這是不錯的想法，讓學生理解要投注在上面更多的時間。其實我並不真的覺得4學分是很少的學分，因為這四學分不是就4個小時，以一個學分投注3個小時來看，其實也要12個小時。而且不只學生間會有爭議，老師也會有。這個我們也有考慮過，不過目前還沒有打算實行。

**現在許多問題都是跨領域，那老師是否有覺得哪些基礎能力是必備，必須掌握的方向呢？**

老師：

我覺得就是掌握你有興趣的領域，因為你才知道你真正需要甚麼。我原本想說電磁學，但如果你對生物物理、寫程式有興趣，那有可能完全用不到電磁學。所以我覺得你至少要模

糊糊的講出來你想要的方向，這樣你才能知道甚麼東西對你有幫助。方向不一定要是一個具體的主題，只要有個大概就可以，你會在摸索中找到你真正需要的東西。不然所謂的基礎科目，在台大裡太多了。重要的是這些科目要和你有連結。我常和學生說這個年代已經不是「學以致用」而是「用以致學」的年代。所以是看你做甚麼事情，當你發現有甚麼東西你不會，趕快去學。這樣學習才會有效率，才不會學了一大堆東西，但以後真的完全不會用到，我覺得這很可惜。

# 來 102 找我下棋吧！

媽寶在此誠摯邀請各方好手  
來 102 挑戰他的不敗傳說





### 經歷

於大一物理營被稱為**媽寶**，大二物夜扮演**媽寶**的角色，大三物理營.....

### 特殊事蹟

曾任圍棋社社長，任內吃光社產，讓體重增加~~7~~公斤，並在102擺放高檔圍棋棋盤與棋子，隨時**指導同學圍棋奧義**。

為了某個神秘的重要原因，每天維持**晚上十點就睡**，**早上七點起床**的超健康作息。

曾收到一枚，回家卡。

### 經典名言

「如果有讀書，結果考差，心情一定會覺得很沮喪。如果你沒讀書，考差一定覺得理所當然。但是如果沒讀書又考好，那就賺翻拉！（媽寶，你又在灌輸學弟妹什麼奇怪的思想？）不是啊，來物理系就是來玩啊！」

### Ma-bao God

在跳級修讀研究所重課——**爾成**的**古典電力學**時，媽寶就取得**A-**的超優秀成績（比李志中學長還高）。他打算繼續修完所有研究所的課，有望挑戰 Kappa God 的地位，成為新一代的 Ma-bao God。

Q：為什麼你應該要加入圍棋社？

A：因為只要繳了社費，就可以大吃大喝，一年內保證賺回來。

如果不會下千古傳承、刺激腦力、物理系同學必學的圍棋，也可以來打 LoL，打爐石，打桌遊，打嘴砲，媽寶隨時奉陪。

### 難道是近藤瑄與佐維？！



# Anyon: A Strange Kind of Particles in 2D Plane

Yu-Ping Lin (林育平)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics, National Taiwan University, Taipei 10607, Taiwan

(Dated: April 8, 2016)

自 1900 年普朗克 (Max Planck) 提出黑體輻射的量子論以來，量子物理在這一百多年中已經發展成爲一門頗具規模的學門，並逐漸成爲許多物理領域中不可或缺的要素。不僅高能、凝態方面以量子物理爲根基發展已久，近年來一些比較新的領域，例如生物物理，也出現了一些將量子理論引入的嘗試。本文旨在爲讀者們介紹量子物理中一種因二維平面的結構而產生的奇特粒子——任意子 (anyon)，並簡單說明其在凝態物理中實現的可能。

## 全同粒子與對換

在古典物理中，所有的物體都是可以被分辨的，就像當 A 和 B 兩個人站在面前時，我們總是可以辨認出誰是 A 誰是 B。但是，在量子物理中，我們引入了「全同粒子」(identical particles) 的概念——所有同一種類的粒子都是一樣而無法被分辨的 (indistinguishable)。舉例來說，假如有兩顆電子分別在空間中的 A 點和 B 點上，我們只能知道有兩顆電子分別在這兩個位置上，但不能用「A 電子」和「B 電子」來區別它們。以量子物理的語言來說，這兩顆電子構成了一個共同的量子態 (quantum state)，而這些由多顆全同粒子構成的量子態產生了量子物理中許多有趣的新奇現象。

由於有這樣不可分辨的特性，全同粒子間位置的交換對整體量子態的影響就成了一個有趣的問題。方便起見，我們在這裡考慮一個只有兩顆粒子的系統。假設這兩顆粒子分別在位置  $\mathbf{x}_1$  和  $\mathbf{x}_2$  上，並且它們共同組成的量子態波函數 (wave function) 是

$$\psi(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) \quad (1)$$

當這兩顆粒子交換時，它們的量子態會被一個算子 (operator)  $P$  作用而變成一個新的態

$$\psi(\mathbf{x}_2, \mathbf{x}_1) = P\psi(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) \quad (2)$$

我們想要探討的就是這個新的態與原本的態之間的關係。爲了方便接下來的討論，我們首先給予「交換」這個動作一個較爲具體的圖像。從 Fig. 1(a) 可以發現，兩顆粒子之間的交換可以看成是將一個粒子繞行 (wind) 另一個粒子半圈 (這裡的標記 1 跟 2 指的是「位置 1」和「位置 2」)，繞行一圈則是做兩次交換。這樣的描述可以讓我們更容易想像及討論全同粒子交換的特性。

## 三維空間的全同粒子：玻色子與費米子

有了以繞行來描述交換行爲的概念之後，我們首先看看三維空間裡的情形。從 Fig. 1(b) 可以發現，一個粒子圍繞另一個粒子走一圈的路徑  $R_1$  可以被連續的變換到一個沒有圍繞的路徑  $R_2$

$$R_1 \rightarrow R' \rightarrow R_2 \quad (3)$$

這表示這兩個路徑應該互相等價——粒子走完兩條路徑之後得到的結果是相同的。由於沒有環繞的路徑  $R_2$  不會對量子態造成影響，我們知道環繞一圈的  $R_1$  也不會使其改變。由此可知，兩個全同粒子交換兩次後，它們的共同量子態是不變的

$$P^2\psi(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) = \psi(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) \quad (4)$$

由於這對任意的量子態都成立，我們可以得到

$$P^2 = 1 \quad (5)$$

的推論。因此，交換算子  $P$  會有兩個本徵量 (eigenvalue)  $\pm 1$ ，而它們對應到的本徵態 (eigenstate) 則代表了兩種全同粒子的量子態

$$P\psi(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) = \pm\psi(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) \quad (6)$$

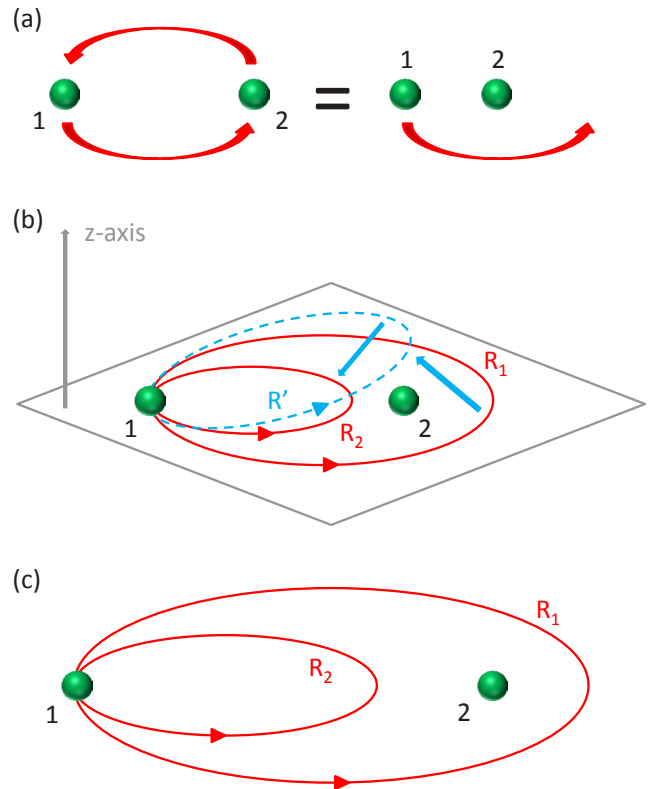


FIG. 1. (a) 粒子間的「交換」可以看成是讓一個粒子繞行另一個粒子半圈。(b) 在三維空間中，一個粒子繞行另一個粒子的路徑  $R_1$  可以被連續的變換到一個沒有繞行的路徑  $R_2$ ，因此它們是等價的。(c) 在二維平面中，一個粒子有繞行另一個粒子的路徑  $R_1$  和沒繞行的路徑  $R_2$  是不等價的。

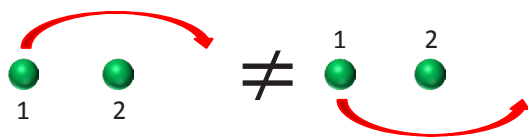


FIG. 2. 任意子以順時針和逆時針方向交換的結果會不一樣。

我們將本徵量是  $+1$  的量子態稱為「玻色子」(boson)，而本徵量為  $-1$  的則是「費米子」(fermion)。目前標準模型 (standard model) 中的基本粒子都屬於這兩種全同粒子。構成物質的夸克、電子等等屬於費米子，而光子、膠子這類基本作用力的介子則是玻色子。這些不同種類的全同粒子共同組成了我們所居住的宇宙。

由於兩個只相差一係數的量子態表現出的行為是相同的，我們所看到的現象在同種類的玻色子或費米子交換後並不會改變。然而在費米子系統中，當兩個粒子位於同一點時，由 Eq. (2) 和 Eq. (6) 可知量子態乘一個  $-1$  是不變的。這表示其量子態為  $0$ ，也就是兩個費米子不能共存於同一個位置，而這個現象就是我們所熟知的包利不相容原理 (Pauli's exclusion principle)。玻色子則不會有這個現象。

### 二維平面的全同粒子：任意子

雖然我們居住在三維空間的世界中，但還是可以在很多地方看到較低維度的系統。例如在兩個不同種類半導體之間的夾層中，可以實現所謂的二維電子氣 (2D electron gas, 2DEG)；除此之外，我們也可以在一些晶體中看到準一維 (quasi-1D) 的結構。這些系統的低維度空間讓許多在三維空間中無法出現的現象得以實現，而二維平面中全同粒子的奇特行為也包含在此列。

在二維平面中，全同粒子的交換和三維空間有很大的不同。從 Fig. 1(c) 中可以發現，我們無法將一個粒子環繞另一個粒子一圈的路徑  $R_1$  連續的變形到沒有圍繞的路徑  $R_2$ ，因為被圍繞的粒子會阻礙我們做這樣的連續變換。這件事說明了這兩條路徑是不等價的，因此三維空間中「交換兩次後量子態不變」的限制在這裡並不適用。由此可知，在二維平面的系統中，交換算子  $P$  對量子態造成的變化可以是任意的。韋爾切克 (Frank Wilczek) 將這樣的量子態命名為「任意子」。

我們可以用量子態在交換前後變化的方式來對任意子做分類，一般主要分成阿貝爾任意子 (Abelian anyon) 和非阿貝爾任意子 (non-Abelian anyon) 兩種。在阿貝爾任意子的系統中，當我們將兩粒子交換時，量子態會差一個複數的相位

$$P\psi(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) = e^{\pm i\theta}\psi(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) \quad (7)$$

其中以順時針和逆時針方向環繞所得到的相位會互相差一個負號 (Fig. 2)。當  $\theta = 0$  時，交換後得到的係數是  $1$ ，也就是玻色子；而當  $\theta = \pi$  時交換會給予量子態一個

$-1$  的係數，因此是費米子。非阿貝爾任意子的交換則比阿貝爾任意子複雜許多。當我們交換兩個非阿貝爾任意子時，量子態會被一個么正算子 (unitary operator)  $U$  作用

$$P\psi(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) = \begin{cases} U\psi(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2), & \text{逆時針} \\ U^\dagger\psi(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2), & \text{順時針} \end{cases} \quad (8)$$

而變成一個不同的態，其中順時針和逆時針交換會給我們是不一樣的結果 (Fig. 2)。由於任意兩個么正算子  $A$  和  $B$  並不對易 (non-commute)

$$AB \neq BA \quad (9)$$

交換粒子的順序會影響其最終的量子態。這也是我們稱它為非阿貝爾任意子的原因。

### 任意子的實現

在量子物理中，當一個帶電的粒子  $q$  圍繞一束無窮長的磁通量 (magnetic flux)  $\Phi$  逆時針走一圈時，這個粒子的量子態會得到一個複數的相位 [Fig. 3(a)]

$$\psi \rightarrow e^{iq\Phi/\hbar c}\psi \quad (10)$$

其中  $\hbar$  是普朗克常數， $c$  是光速。只要這個路徑對於磁通量來說是逆時針環繞一圈，不管帶電粒子怎麼走，量子態得到的相位都會是一樣的。這個現象我們稱之為阿哈諾夫-波姆效應 [Aharonov-Bohm (AB) effect]。在二維平面中，一束垂直穿透此平面的磁通量等效於一個平面中的向量勢 (vector potential) 渦旋 (vortex)，因此可以當成

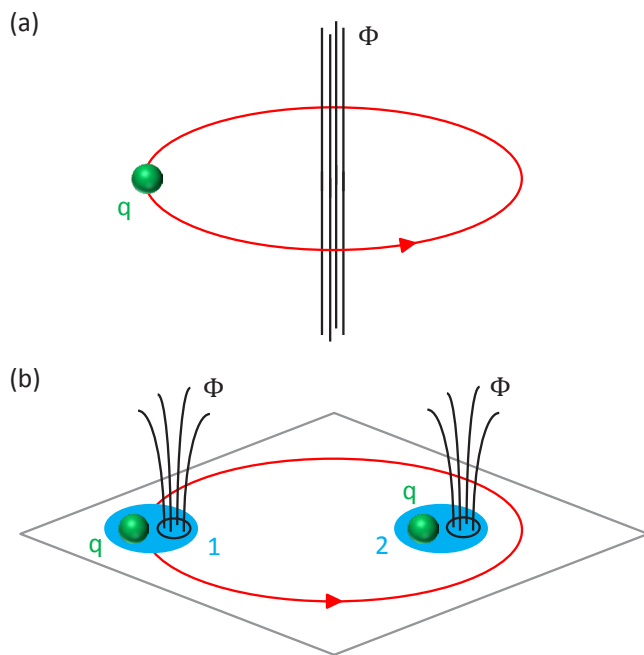


FIG. 3. (a) AB 效應：帶電粒子環繞一束無窮長的磁通量一圈會得到一個複數的相位。(b) 任意子可以由一個帶電粒子跟一個渦旋組成的準粒子實現。

一個二維的準粒子 (quasiparticle) 來看待。假如我們把一個帶電粒子跟一個渦旋綁在一起形成一個新的準粒子，並將它環繞另一個同樣類型的準粒子走一圈 [Fig. 3(b)]，渦旋與帶電粒子之間的 AB 效應會讓這兩個準粒子的共同量子態得到一個複係數的相位。因為這樣的特性，這種「電荷-磁通量」的配對可以視為阿貝爾任意子。

我們從場論的角度來看看這種配對的實現。考慮 2+1 維閔考斯基時空間 [2+1 Minkowski spacetime, (+, -, -)] 中一個包含電磁場  $A(x)$  和複數純量物質場 (complex scalar matter field)  $\phi(x)$  的系統，其中物質場的質量為  $m$ 、電荷為  $e$ 。由於這個系統的拉格朗日量 (Lagrangian)

$$\begin{aligned} \mathcal{L} &= D_\mu \phi^* D^\mu \phi - m^2 \phi^* \phi - \frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu}, \\ D_\mu \phi &= (\partial_\mu + ieA_\mu) \phi, \quad D_\mu \phi^* = (\partial_\mu - ieA_\mu) \phi^*, \\ F_{\mu\nu} &= \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu, \quad A^\mu = (A^0, \mathbf{A}) \end{aligned} \quad (11)$$

經過局域 U(1) 群的變換 [local U(1) transformation]

$$\begin{aligned} \phi(x) &\rightarrow \phi(x) - i\Lambda(x)\phi(x), \\ \phi^*(x) &\rightarrow \phi^*(x) + i\Lambda(x)\phi^*(x), \\ A_\mu(x) &\rightarrow A_\mu(x) + \frac{1}{e}\partial_\mu\Lambda(x) \end{aligned} \quad (12)$$

後不會改變，其作用量 (action)

$$S = \int d^3x \mathcal{L} \quad (13)$$

也不變。這意味著系統有 U(1) 規範對稱 [U(1) gauge symmetry]，也就是不受局域 U(1) 群變換的影響，而這個對稱性對於所有電磁場系統都成立。由於 U(1) 群是一個阿貝爾群

$$AB = BA, \quad \forall A, B \in U(1) \quad (14)$$

我們將遵守 U(1) 規範對稱的電磁場稱為一個阿貝爾規範場 (Abelian gauge field)。因此，前一段所介紹的「電荷-磁通量」配對可以看成是一個從阿貝爾規範場中生成阿貝爾任意子的例子。事實上，這樣的配對可以藉由引入阿貝爾的「陳-西蒙斯項」(Abelian Chern-Simons term)

$$\mathcal{L}_{CS} = -\frac{\kappa}{2} \epsilon^{\mu\nu\rho} A_\mu \partial_\nu A_\rho \quad (15)$$

來產生，其中  $\kappa$  是一個常數， $\epsilon^{\mu\nu\rho}$  則是列維-奇維塔符號 (Levi-Civita symbol)

$$\begin{aligned} \epsilon^{012} &= \epsilon^{120} = \epsilon^{201} = 1, \\ \epsilon^{102} &= \epsilon^{021} = \epsilon^{210} = -1, \\ \text{Others} &= 0 \end{aligned} \quad (16)$$

這個項會修改原本的高斯定律 (Gauss's law)，使電荷密度  $\rho$  與磁場有關

$$\rho = \nabla \cdot \mathbf{E} + \kappa B \quad (17)$$

當我們增加平面中任意一點的磁場時，該點的電荷密度會隨之改變，「電荷-磁通量」配對的阿貝爾任意子就這樣產生了。

我們同樣也可以從非阿貝爾規範場 (non-Abelian gauge field) 中生成非阿貝爾任意子。一個經典的非阿貝爾場例子是 SU(2) 的「楊-米爾斯理論」(Yang-Mills theory)。在這個場論中，物質場  $\phi(x)$  和規範場  $\mathbf{W}(x)$  都帶有「電荷」 $g$ ，並且都是存在於一個三維內在空間 (internal space) 裡的向量

$$\phi = (\phi_1, \phi_2, \phi_3), \quad \mathbf{W}^\mu = (W_1^\mu, W_2^\mu, W_3^\mu) \quad (18)$$

它們共同組成的拉格朗日量

$$\begin{aligned} \mathcal{L} &= \frac{1}{2} D_\mu \phi \cdot D^\mu \phi - \frac{1}{2} m^2 \phi \cdot \phi - \frac{1}{4} \mathbf{W}_{\mu\nu} \cdot \mathbf{W}^{\mu\nu}, \\ D_\mu \phi &= \partial_\mu \phi + g \mathbf{W}_\mu \times \phi, \\ \mathbf{W}_{\mu\nu} &= \partial_\mu \mathbf{W}_\nu - \partial_\nu \mathbf{W}_\mu + g \mathbf{W}_\mu \times \mathbf{W}_\nu \end{aligned} \quad (19)$$

符合非阿貝爾的 SU(2) 規範對稱，也就是在局域 SU(2) [在這裡是 SO(3)，兩者等價] 群變換

$$\begin{aligned} \phi(x) &\rightarrow \phi(x) - \Lambda(x) \times \phi(x), \\ \mathbf{W}_\mu(x) &\rightarrow \mathbf{W}_\mu(x) - \Lambda(x) \times \mathbf{W}_\mu(x) + \frac{1}{g} \partial_\mu \Lambda(x) \end{aligned} \quad (20)$$

下不變。我們可以利用非阿貝爾的陳-西蒙斯項 (non-Abelian Chern-Simons term)

$$\mathcal{L}_{CS} = -\frac{\kappa}{2} \epsilon^{\mu\nu\rho} \left( A_\mu^a \partial_\nu A_\rho^a - \frac{1}{3} \epsilon_{abc} A_\mu^a A_\nu^b A_\rho^c \right) \quad (21)$$

將這個系統中一個帶有「電荷」的粒子與一個規範場的「渦旋」配對成準粒子。這樣的準粒子滿足非阿貝爾交換規則，因此是非阿貝爾任意子。

### 量子霍爾效應與任意子

在前一小節中，我們看到了以「電荷-磁通量」的配對來產生任意子的概念，而它最為人所知的應用是在量子霍爾效應 (quantum Hall effect, QHE) 的理論中。我們在這裡對 QHE 以及其中的任意子做個簡單的介紹。

1879年，當時還在約翰·霍普金斯大學 (John Hopkins University) 讀博班的霍爾 (Edwin Hall) 在實驗中發現，假如對一個放在  $x$ - $y$  平面上的金屬薄片通以  $x$  方向的電流  $I_x \hat{x}$  並加上  $z$  方向的外加磁場  $B_z \hat{z}$ ，在  $y$  方向也會量到電位差  $V_H$  [Fig. 4(a)]。這樣的現象被稱為霍爾效應。我們可以用勞倫茲力 (Lorentz force)

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (22)$$

來說明霍爾效應產生的原因。當加入外加磁場  $B_z \hat{z}$  時，電子受到勞倫茲力的影響開始繞圈 (cyclotron motion)，並且因此逐漸被分散到金屬薄片的側邊。這些被沖到側邊的電子會產生  $y$  方向的電場  $E_y \hat{y}$ 。當系統達到平衡時，電場和磁場造成的勞倫茲力互相抵銷，我們將這時候  $y$  方向的飽和電位差定義為  $V_H$ 。

在古典霍爾效應中，當磁場變大時，「霍爾電阻」 $R_H$  以及「霍爾導電率」 $\sigma_H$

$$R_H = \frac{V_H}{I_x}, \quad \sigma_H = \frac{1}{R_H} \quad (23)$$

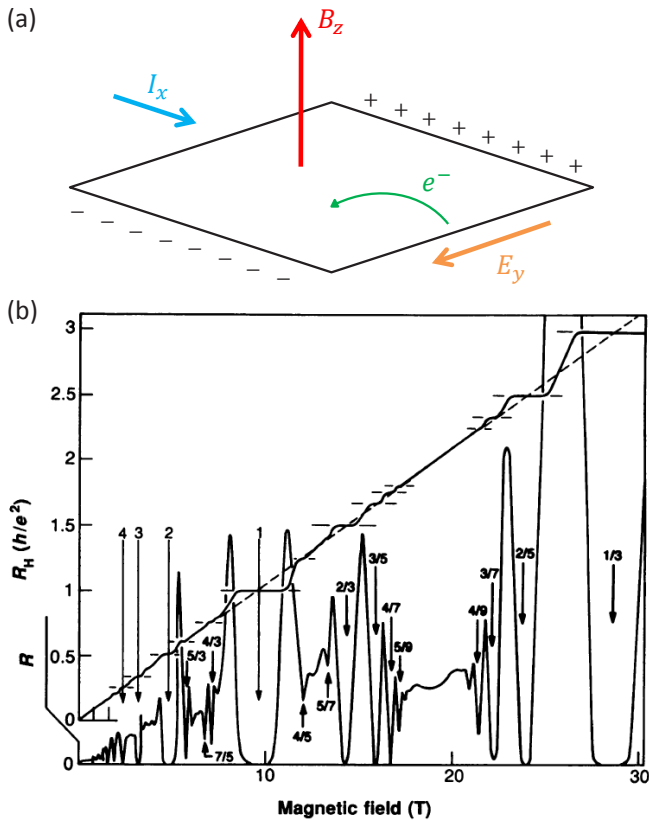


FIG. 4. (a) 霍爾效應示意圖。(b) 量子霍爾效應 [取自 J. P. Eisenstein and H. L. Stormer, *Science* 248, 1510 (1990).]: 隨著磁場的增加, 霍爾電阻  $R_H$  的變化曲線在某些特定區段會有平台, 對應的數字表示在該點的  $\nu$  值。

應該是分別是嚴格遞增及遞減的。然而, 馮·克立青 (Klaus von Klitzing) 在 1980 年發現, 當兩塊異質半導體之間的 2DEG 處於低溫強磁場的環境下時, 霍爾電阻  $R_H$  和霍爾導電率  $\sigma_H$  的變化會在一些特定區段停止 [Fig. 4(b)]

$$\sigma_H = \nu \frac{e^2}{h}, \quad \nu = 1, 2, 3, \dots \quad (24)$$

使其變化曲線產生平台。其中  $e$  是電子的電荷大小, 而  $h = 2\pi\hbar$ 。由於平台出現時的霍爾導電率  $\sigma_H$  有整數量子化的特性, 人們稱之為整數量子霍爾效應 (integer quantum Hall effect, IQHE)。在這樣的系統中, 電子受到外加磁場作用而進行的回旋運動被量子化, 產生「朗道能階」(Landau level)。當電子處於第  $n$  個朗道能階時, 繞行一圈會使其波函數經過  $n$  個週期 (可以用繩圈上的週期波來想像), 而每個朗道能階的簡併態 (degenerate state, 能量相同的態) 數量是相同的

$$n_d = \frac{eB_z}{hc} \quad (25)$$

由於金屬薄片中的電子密度  $\rho$  不變, 隨著磁場增大, 每單位面積被填充的朗道能階數量—填充因子 (filling factor)

$$\nu = \frac{\rho}{n_d} \quad (26)$$

會越來越小。事實上, 填充因子  $\nu$  就是霍爾導電率 [Eq. (24)] 與  $e^2/h$  的比值。而在 IQHE 中, 霍爾電阻和霍爾導電率變化曲線的平台是在填充因子  $\nu$  為整數時出現 [Fig. 4(b)]。

1982 年, 崔琦、施特默 (Horst L. Stormer) 以及高薩德 (Arthur Gossard) 發現了「分數量子霍爾效應」(fractional quantum Hall effect, FQHE) —  $R_H$  的曲線在一些  $\nu$  是分數的地方也出現了平台。1983 年, 勞夫林 (Robert B. Laughlin) 考慮了電子之間的強關聯效應而給出了一個多粒子的基態 (ground state) 波函數—勞夫林態 (Laughlin state) 來描述這樣的現象, 文小剛則給出了一個形象化的解釋。在文小剛的描述中, 我們可以想像電子們跳著一支大合舞, 其中每一個舞步代表一個波函數的週期。這些電子在跳舞的過程中遵守著三個規則:

- 每個電子都各自以整數步走一圈 (也就是在朗道能階上)
- 每個電子都以奇數步環繞其他電子一圈 (因為電子是費米子)
- 電子之間盡量保持最遠的距離

在這樣的嚴格規定下, 電子的集合態 (collective state) 是十分穩定且不可壓縮的 (incompressible), 我們說這種有穩定集體內在模式的態是包含在拓樸相 (topological phase) 的範疇內。此外, 由於這些態的表現是由電子們的集體行為構成的, 我們在研究它們的性質時不能單單只看局域表現, 必須同時考慮所有電子的運動。這樣的特性大大增加了理論與實驗上判斷相 (phase) 與相變 (phase transition) 的難度。文小剛在 1990 年前後提出了「拓樸序」(topological order) 的概念嘗試為這些態的相做分類, 這方面的研究在近年來成為了凝態物理學界最火紅的研究課題之一。

雖然上面三條規定看似大大減少了舞步的種類, 電子們仍然能夠跳出許多不同形式的大合舞, 而這些不同的大合舞則可以分別對應到不同  $\nu$  的情況。舉例來說, 假如每個電子都在第一個朗道能階上, 並且分別都以  $m$  步環繞另一個電子, 那麼這個大合舞就是對應到  $\nu = 1/m$  的勞夫林態。電子互相以不同步數繞行的組合態則可以對應到其他奇數分母的  $\nu$ 。

勞夫林態的激發態可以藉由微幅改變外加磁場來得到, 我們在這裡用一個簡單的例子說明。假如在  $\nu = 1/m$  的勞夫林態上一個點增加一單位磁通量

$$\Phi_0 = \frac{hc}{e} \quad (27)$$

這個磁通量會在該點開出一個帶有電荷  $e/m$  的準電洞 (quasihole)。以文小剛的圖像來說, 這相當於在電子的大合舞內插入一根非常細的柱子, 而這根柱子會將電子們稍稍排開一些, 因此形成準電洞。由於準電洞和磁通量是成對出現的, 我們可以把這個「電荷-磁通量」的配對當成一個帶有分數電荷 (fractional charge)  $e/m$  的準粒子。這樣的準粒子符合阿貝爾任意子的交換規則—兩個準粒子交換一次會使波函數產生一個複數的相位

$$e^{\pi/m} \quad (28)$$



因此被認為是一種阿貝爾任意子，而這類 FQH 態則被稱為阿貝爾 FQH 態 (Abelian FQH state)。此外，物理學家們也從「電荷-磁通量」配對激發態的出現聯想到阿貝爾的陳-西蒙斯理論，進而以之為阿貝爾 FQH 態的低能量有效場論 (low-energy effective field theory) 做了許多研究，使 FQHE 的理論發展得更加精彩。1997 年，阿貝爾 FQH 態中的分數電荷在實驗中被證實存在。這個發現不但讓勞夫林、崔琦以及施特默獲得了 1998 年的諾貝爾物理學獎，也使阿貝爾任意子在阿貝爾 FQH 態中的存在得到了更有力的支持。值得一提的是，這是第一次發現夸克以外帶有分數電荷的新奇粒子。像這樣以集合態生成新奇粒子的探討也是凝態物理中近年來十分流行的研究方向。

由於電子是費米子，FQHE 中霍爾電阻  $R_H$  和霍爾導電率  $\sigma_H$  變化曲線的平台通常都是在  $\nu$  的分母為奇數時出現。然而， $\nu$  的分母為偶數的平台其實也已經在實驗中被發現，例如  $\nu = 5/2$  的平台。這類 FQH 態的理論同樣也給出了電荷與渦旋配對而成的準粒子，不過這裡的準粒子遵守的是非阿貝爾任意子的交換規則。因此，非阿貝爾任意子在這類非阿貝爾 FQH 態中找到了實現的可能，而非阿貝爾的陳-西蒙斯理論也在這方面的理論研究上受到了重用。近幾年來，實驗學家們透過不同的方法驗證了一些非阿貝爾任意子理論在非阿貝爾 FQH 態上預測的現象，使其可信度得到進一步的提升。

在非阿貝爾 FQH 態中，量子態是十分穩定的集合態，不太會受到局域微小變化的影響。此外，其激發態候選—非阿貝爾任意子的交換有前後順序的差別，可以讓我們藉由操作交換順序來控制得到的結果。由於這些特性，有些物理學家認為非阿貝爾 FQH 態是很有機會實現拓撲量子計算 (topological quantum computation) 的系統，並對此做了不少研究。目前在這方面比較常受到討論的是  $\nu = 12/5$  的非阿貝爾 FQH 態—只包含真空 1 和費波那契任意子 (Fibonacci anyon)  $\sigma$  兩種粒子的非阿貝爾任意

子系統。這樣的系統被認為有機會實現量子比特 (qubit) 的  $\{|0\rangle, |1\rangle\}$  結構，因此受到了不少人的關注。

## 結語

自 1980 年前後任意子的概念被提出以來，由於其在 FQHE 理論中的重要地位，人們對它的研究在這三十多年間不曾間斷。除了物理性質方面的探討，部分物理學家也將非阿貝爾任意子視為實現量子資訊的希望，並在這方面做了許多嘗試。此外，也有研究者將強關聯電子系統 (strongly correlated electronic system) 中電子交互作用的理論推廣到任意子的系統，建立了可以透過共形場論 (conformal field theory, CFT) 與強關聯電子系統模型相互對應的理論，大大擴展了強關聯領域的發展可能。相信未來對於任意子的研究一定能讓我們對大自然的了解有更長足的進步。

- 
- [1] F. Wilczek, in *The Spin: Poincaré Seminar 2007*, edited by B. Duplantier, J.-M. Raimond and V. Rivasseau (Birkhäuser Verlag AG, Basel, Switzerland, 2009) Chap. 2, pp. 61-70.
  - [2] L. H. Ryder, *Quantum Field Theory*, 2nd ed. (Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1996).
  - [3] P. Phillips, *Advanced Solid State Physics*, 2nd ed. (Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2012).
  - [4] J. P. Eisenstein and H. L. Stormer, *Science* **248**, 1510 (1990).
  - [5] X.-G. Wen, "An Introduction of Topological Orders", preprint, MIT.
  - [6] X. Wan, Z.-H. Wang, and K. Yang, *Physics*, 2013, **42**, 558.
  - [7] E. Fradkin, *Field Theories of Condensed Matter Physics*, 2nd ed. (Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2013).
  - [8] 中文標題：〈任意子—二維平面中的奇特粒子〉

# 量子力學的基礎詮釋

曾可維

量子力學從 1920 年代建立以後，迅速地成為人類歷史上最精準的理論。如量子電動力學的 g factor 測量（以一個量表示磁矩與角動量的關係，在量子力學歷史上有重要的實驗意義：如蘭姆位移）影響了現代社會的各個層面，包括現代資訊工業的基礎 --- 半導體、雷射、核物理、核磁共振等。但是即使它是如此有效而成功的理論，如何詮釋量子力學的紛爭卻從未停止。量子教皇波耳說：「沒有被量子力學震驚的人從未理解量子力學」，費曼也說：「我想沒有人懂量子力學」。我們究竟是否能夠理解量子力學？還是量子力學的真義將永遠隱藏在奧妙的方程式底下？本文將試著綜合量子力學的發展歷史和理論架構，來分析不同量子力學詮釋帶來的洞見與困惑。

## 哥本哈根詮釋

首先是最普遍的哥本哈根詮釋：二十世紀的天才馮紐曼在其《量子力學的數學基礎》中定義哥本哈根詮釋包括三個公設

- 1、運用完備的波函數、算符與希爾伯特的 複數空間來代表量子態
- 2、量子態遵循決定性的演化：即遵守波動方程式（如：薛丁格方程式）
- 3、量子態於觀測後塌陷：隨機性的出現和 疊加態的消失（波恩機率）

第一點與第二點指的是量子態已代表系統所有資訊，並照方程式決定性的演化；第三點反映我們總是觀察到「正常」的日常古典世界。稍微停下來思考，我們會發現第一、二部分和第三部分產生矛盾。量子力學系統反常的現象、連續的演化，如何經過不連續的塌陷過程，形成我們日常所見的古典世界？如果量子力學是適用於微觀和巨觀的普世理論，這個內在的不一致性便會讓人感到相當不快。對此波耳說：「沒有量子世界，只有抽象的量子物理描述」。這可以解釋成量子力學不追求底層的真理，而只尋求表面現象的解釋。除此之外，波函數只是用來描述微觀世界的數學工具，而波函數的完備性只是數學意義上的完備而已，適用於無法直接觸及的微觀量子世界；而量子世界的奇異，則與符合古典物理的日常世界隔開。當量子數很大時量子現象可以退化逼近古典定律。

這說明了哥本哈根詮釋具有極強的實用屬性：量子力學的奇異只要透過實驗設置（互補原理）、由觀測者進行測量後，便會消失無蹤，而實驗之前的東西屬於超出操作型定義外的無意義。至於非連續性的塌陷和觀測者的身份，以及古典量子的界線都是可以擱置的問題，畢竟有誰能不透過實驗設置觀察奇異的量子世界？由於以上務實的優點，哥本哈根詮釋即使有「觀測者觀察導致塌陷」這種難看的缺陷如影隨形，哥本哈根學派對於量子力學的解釋長久以來都是主流看法。不過就如愛因斯坦說：「我不看月亮的時後月亮還在那裡嗎？」，一直有前仆後繼的不同觀點試圖挑戰哥本哈根詮釋地位！

## 局域實在論：反對論點一的釜底抽薪

愛因斯坦身為著名的局域實在論者，對於哥本哈根微觀世界機率性的描述和觀測者創造的現實感到非常不滿。具體來說，他認為理論應遵守相對論的因果律、並要求物理性質：如自旋和動量在測量前即獨立存在。但不論其如何提出精妙的思想實驗想要衝破哥本哈根學派的謬誤，從未能越過波耳的雷池一步。不論是光箱實驗還是雙狹縫干涉實驗都挑戰失敗，如費曼所說：「測不準原理保護了量子力學」，於是愛因斯坦只能繼續低吟「上帝不擲骰子」，堅持物理學要有局域性和實在性，以 EPR 理論作為最終武器說明量子力學的不完備。但是 EPR 提出之後的三十年，這場量子力學創始人之間的辯論彷彿煙消雲散不起波瀾，物理學

世界朝核物理和粒子物理的方向狂奔，把這些惱人的問題丟在一邊，直到約翰貝爾橫空提出那美妙的不等式。貝爾理解到古典實在論認為哥本哈根詮釋的論點一是否正確，不僅只是哲學上的爭論，還可以化為實驗進行檢測。他所提出的不等式如果正確，量子力學不僅是不完備、而且是錯誤的；但如果是正確的話，則隱變數勝券在握。可惜最終實驗結果出爐，被否證的是局域實在論！EPR 糾纏態粒子的超強連結看似逼迫人們放棄局域實在性的美好幻想，貝爾和諾貝爾獎得主胡夫特仍舊堅持局域實在論的正確性：他們假設宇宙在大霹靂時所有的物質都已經交換完資訊且已決定了未來，所以相關實驗的類空空間都只是假象，不等式被違反只是決定論中的欺騙，未來、過去與現在都是被決定的，只是以隱諱的方式存在，故此看法被稱為最終決定論。

### 導波理論：反對論點一、三（量子的機率隨機源自亞量子的決定機制）

以上是較為常見的量子力學詮釋爭議歷史，著重於局域隱變數理論和愛因斯坦的攻擊，但其實愛因斯坦和薛丁格也曾在 1920 年代支持德布羅意的導波理論。導波理論是指：量子力學的波函數底下其實隱藏著具有明確的軌跡和位置的粒子（反對論點一），而波函數會引導粒子移動，使其表現出隨機性的表象、但本身是決定性的理論。導波理論可重現非相對論性的量子力學預測，但由於 1930 年代時馮紐曼錯誤地宣稱自己用五條公設（錯在第五條）證明了隱變數理論的不可能定理，使得一時紅透半邊天的導波理論被打入冷宮。偶然的歷史錯誤就此把讓導波理論消聲匿跡，要在三十年後才由約翰貝爾翻案、大力推廣。可惜大勢已去，即使後來波姆重建了導波理論、引入量子勢重現經典力學的預言，允許超光速機制渡過貝爾不等式門檻成為非局域隱變數理論，導波詮釋仍舊不受親睞。另外的理由也包含它難以推廣到多粒子系統。值得一提的是，導波理論預言波恩機率只是一個長時間的平衡近似（反對論點三）。

### 多世界理論（去相干理論）：反對論點三（塌陷與觀察者不存在）

當艾佛雷特三世提出多世界詮釋時，主流物理學界沒有反應、也不置可否。他認為孤立的波函數真實存在，從未塌陷（反對論點三），只是分裂（如同宇宙）或者稱去相干。量子系統之所以反映古典的性質有以下兩種類似解釋：自由度不高的量子系統與環境交互作用後由於自由度大增使不同可能性的波函數接近正交（例如最初電子孤立於環境，處於自旋向上與向下的疊加態，與環境接觸後，環境與電子的總波函數仍舊疊加存在，處於不同分支中的觀測者只能看到向上或向下的態）、密度矩陣對角化退化為古典（注意是接近正交而非完全正交，所以原則是可逆的），也可以說系統與環境產生量子糾纏，而由於實驗者只能掌握巨大量子糾纏的一部份，使波函數間的干涉遺失無法追蹤（去相干）。實驗的進展使人們已經可以觀測到分子量上萬的物質能有干涉效應、可以觀測去相干（塌陷）的連續過程甚至逆轉此過程，使去相干的系統再度同調，充分攻擊了哥本哈根詮釋的弱點（古典量子界線問題、波函數不連續塌陷演化等），加上人們對於量子力學是否能適用在宇宙學的興趣增加，使得多世界理論成為目前次受支持的理論，僅次於哥本哈根詮釋。

### 量子意識詮釋：對於量子力學主流詮釋提出近似異端的少數派看法，反對論點一、二點（意識是具基本物理學意義的現象）

潘羅斯爵士因為廣義相對論和數學物理的研究獲得狄拉克獎章和沃爾夫獎，但他最著名的理論應是其於〈皇帝新腦〉中提出的量子腦詮釋，他從哥德爾不完備定理顯示了人類可以構造「無法證明」但可「理解為真」的命題存在，來論證人類的直覺是不可計算的現象，而量子力學中塌陷的不可計算過程看似是人類的靈感來源，故結論意識是基本物理學的研究範圍而非僅是生物學的複雜現象。他認為我們需要一套關於意識的物理學（反對論點一、二）；另外，他也認為量子力學的不可計算是源自量子重力的現象（後者因為無限大故無法計算），所以人類的意識也是宏觀的量子重力現象。認為意識具有基本物理學地位的科學家雖然是少數，但是也有不少大師如馮紐曼、諾貝爾獎得主約瑟芬和物理巨人惠勒認同，後者的宇宙自

觀測理論（又稱最終人擇原理）是相對正統、由哥本哈根詮釋演繹的極端意識版本。為甚麼宇宙是我們現在看到的樣子？因為我們的意識使宇宙波函數塌陷所以宇宙必須如此，宇宙的演化歷史在人類出現之前都可以說是未塌陷的疊加，直到觀察者現身創造世界（賦予意識物理意義反對論點一，意識創造波函數演化結果反對論點二）。

### 量子貝氏機率詮釋：以不同的機率論重新檢視量子力學（反對論點一）

受量子資訊領域啟發的量子貝氏詮釋與哥本哈根詮釋非常類似，但其認為後者使用客觀機率（即拉普拉斯機率）是錯誤的類比，量子力學方程式所描述的波方程並不是客觀世界的事件機率分布（反對論點一），而是反映觀測者主觀資訊的主觀機率理論（即貝氏機率），量子力學的塌陷是指不同的系統在更新之後的資訊分布（如同股票操盤手交換資訊改變看法），從頭到尾的悖論都是妄圖把描述系統內的方程式外推成跨系統也適用（機率與資訊是主觀而非客觀的），此舉沒有意義，因為觀測是個交換資訊創造現實的過程。此外，此詮釋已經使用量子資訊的方法推導出等價波恩規則的版本。

### 交易者詮釋：古典世界的形成是一個客觀的非時間過程（反對論點三）

此看法受到費曼和惠勒吸收子理論啟發，指出不只是電磁學定律，薛丁格方程的演化也會有順時波和逆時波（超前波），並且把方程式的時間演化對稱性提高到核心的地位，所有時空中的事件都會發射順逆時間的機率波進行演化和干涉，以雙狹縫干涉為例：光子的波函數順時演化（出價波）與屏障的逆時波函數（確認波）發生建設性干涉，產生我們所看見的事件（塌陷），兩者的順時波函數與逆時波函數都會發生相消性干涉，所以物理性的事件只會在兩個時間點（發射光子與接觸屏幕）被觀測，這種看法精妙的解釋古典事件如何從量子世界中浮現，並且迴避主流詮釋中關於觀測者導致塌陷的缺點（誰是觀測者？何時觀測？怎麼樣算觀測？）此詮釋的問題在於部分理論主張其要求非加速擴張的宇宙才能成立與事實不符，即宇宙的演化如果能以超光速存在（大撕裂），則出價波到達接收者之後，確認波要如何逆時演化抵達發出者會出現機率守恆的問題。

### 小結

量子力學基本的數學結構並非十分複雜，相信大多數的人都能在課程結束後有相當的掌握，但其背後的意涵詮釋和隨之而來的哲學問題卻是難以驅離的附骨之蛆，我們固然可以選擇「閉嘴計算詮釋」，或者如同阿斯佩克特將量子力學的奇異當成可利用的計算資源，卻也可以擁抱此爭議正面面對，說不定跨時代的洞見就在其中！愛因斯坦之所以在科學史上成為超脫的獨特，除了物理上的直接貢獻外，濃厚的哲學修養、深刻探究根本問題的特質也功不可沒，謹以他的名言期許對量子力學詮釋爭議有興趣的讀者：「關於歷史與哲學背景的知識，可以提供給那些大部份正受到當代偏頗觀念所左右的科學家們一種不隨波逐流的獨立性。這種由哲學的洞察力所創造的獨立性，依我來看，正是一個工匠或專家，與一個真正的真理追尋者之間，最大的區別。」

# 新會長

## 牛奶花生挑戰

物理  
三

彭  
達  
剴



學歷：臺北市立成功高級中學  
經歷：物理營隊輔、迎新宿營隊輔、物理之夜  
深夜劇負責人、迎新宿營隊輔長  
政見：

1. 舉辦各種有趣活動，培養系內感情
2. 加強學術部活動宣傳，讓同學們可以更有效運用學術部豐富資源
3. 維護學生活動空間整潔，提升同學使用意願
4. 找出滅蚊方案，處理系館蚊子猖獗問題
5. 建立系學會與同學間交流平台，更有效接收同學們的意見
6. 讓牛奶花生重出江湖

※ 歷任學生會長學號 ※

B99202010

B00202010

B01202010

B02202010

B03202060

想要一睹系館守護神【奇桓獸】的风采嗎？  
歡迎來敲 308 的門！

# 臺大物理 88 年

## 物理系系史

周品君



### 日治時代的臺大物理

臺大物理系成立於 1946 年 8 月。當時與蔣介石總統關係良好的戴運軌教授跟隨國民政府接收臺大，建立物理系並成為首任系主任。其實日治時代的臺大（臺北帝國大學）就有物理學講座，隸屬於理農學部化學科，為今日物理系的前身。所謂「講座」是與今日的物理系一樣有開課、有理論與實驗團隊的機構。第一任講座教授（系主任）為荒勝文策（Arakatsu Bunsaku）教授。

荒勝教授生於明治 23 年（1890 年），是日本兵庫縣人，畢業自京都帝國大學。他在 1926 年 6 月被臺灣總督府任命為高等農林學校（理農學部前身）教授，籌備日後臺大物理學講座的成立。不過荒勝教授並未直接來臺就任，而是接受總督府的贊助，以在外研究員的身份前往歐洲取經。他先到了柏林大學跟隨愛因斯坦研究理論物理，後來又到瑞士蘇黎世聯邦理工學院跟隨保羅·謝樂（Paul Scherrer，CERN 的創建者之一）進行鋰原子中自由電子分布的研究。最後他到劍橋大學著名的卡文迪西實驗室，師從湯姆森、拉塞福、查兌克等知名物理學大師約二年半。這讓荒勝教授的興趣漸漸從理論轉向了實驗。



荒勝文策

這時臺北帝國大學的籌辦正如火如荼地進行著。1925 年接任總督的伊澤多喜男接下了前任總督田健治郎在臺灣籌辦大學的計畫。當時他曾向日後成為臺大第一任總長（校長）的幣原坦說：「我是臺灣的總督，不是內地人的總督！」並稱臺大「應以真正地成為發展臺灣文化中心為創設目標」。1928 年 3 月 17 日，臺北帝大正式設立，其中理農學部有 6 個講座，但並不包含物理學講座。據稱這是因為荒勝教授當時還在歐洲，校方要等他回國才成立物理學講座。

1928年10月，荒勝文策抵達臺北，並於12月成為首任物理學講座教授，開設普通物理、輻射學、原子論等相關課程，傳承了京大物理科輻射放射學講座的研究。初期他主要致力於研究光譜學。1932年4月，他閱讀Nature雜誌上卡文迪西實驗室利用考克饒夫-瓦爾頓加速器製造快速質子，成功首次擊破鋰原子核的論文後，與當時擔任助手的木村毅一（Kimura Kiichi）立即投入物理學講座全部資源，建造直線粒子加速器以追試此實驗。當時全日本共有三個實驗室正在做同樣的原子核實驗，其中臺灣團隊的資源、成員最少，設備也最差。



木村毅一

他們開始在二號館101室建造考克饒夫-瓦耳頓型加速器，並與當時的應用化學教室合作，採集北投石並從中提煉出鈾，作為實驗之 $\alpha$ 射線源。也曾利用X射線照射甘蔗改良品種，因此獲得鹽水港製糖株式會社的贊助與支持。1934年7月25日晚間，荒勝教授在木村毅一、太田賴常（Ota Yoritsune）與植村吉明（Uemura Yoshiaki）等人的協助下，成功完成原子核擊破實驗。這是亞洲第一次、世界第二次成功的實驗。該次實驗重現並證實了 ${}^1\text{H}_1 + {}^5\text{B}_{11} \rightarrow 3{}^2\text{He}_4$ 反應，並發現用高速氬離子撞擊鋰也能使鋰同位素產生 ${}^1\text{H}_2 + {}^3\text{Li}_6 \rightarrow 2{}^2\text{He}_4$ 分裂反應。為了紀念實驗的成功，眾人推舉木村毅一之提案，在加速器下水泥小屋的木製門上，由木村毅一用白色油漆留下此實驗成功的日期以慶祝。實驗成果一發佈，日本物理學界一片震驚；臺灣竟然搶先日本內地做出如此重大的物理學成就。



日本時代的二號館

由於荒勝團隊的成果舉國震驚，日本核物理之父仁科芳雄便大力邀請荒勝團隊回母校京都帝國大學任教。他們便於1936年11月轉任京大，留下太田助教授，並從京大延攬宇宙射線專家河田末吉（Kawata Suekichi）接任物理學講座教授。而加速器由於荒勝教授計劃在京大繼續進行相關研究，一併被帶回日本內地了。但他留下一些次要的小零件，太田助教授也收藏了實驗中用以抽真空的油與相關資料、材料，成為戰後臺大加速器重建的基礎。



太田賴常

河田教授接任講座教授一職後，經常與太田助教授、內藤實與伊藤貢二位助手在玉山與阿里山等高山地區利用探空氣球收集中子數據，並借用醫學部竹中繁雄的設備分析進行宇宙射線研究。這段期間河田團隊持續接受日本學術振興會原子核小組及帝國學士院等單位的補助，據稱背後可能是荒勝教授與仁科教授等人支持。當時太田助教授也曾向河田教授提議重建加速器，但並未被採納。



物理文物廳的考克饒夫-瓦爾頓加速器

不久後第二次世界大戰爆發，臺灣成為大日本帝國的南進基地，人力物力被大量動員支援。幸虧宇宙射線研究在總督府看來對戰爭並無幫助，起初河田團隊未被捲入戰時動員，加上經費充足，得以繼續專心進行純學術研究。然而隨戰況逐漸不利日方，太田賴常與伊藤貢一同被總督府工業部天然瓦斯研究所聘任，以協助解決戰爭期間能源問題，接任助理教授的內藤實也遭軍方強制徵兵，物理學講座於是僅存河田教授一人，支撐著臺大物理的延續。

重要事件年表

時間	事件
1928年12月	物理學講座成立，荒勝文策任首任講座教授
1934年7月25日	亞洲首次原子核擊破實驗成功
1936年11月	荒勝文策轉任京都帝大，河田末吉接任講座教授
1941年3月	太田賴常轉任臺北高校
1945年11月15日	臺北帝國大學被接收
1946年夏	臺大物理系成立

參考資料

1. 張幸真．台灣知識社群的轉變－以台北帝國大學物理講座到台灣大學物理系為例．2003-07-31
2. 臺灣物理史數位典藏計畫．行政院國家科學委員會．2007-03-29
3. 鄭伯昆．台大核子物理實驗室（四）有關的日本科學家．物理雙月刊（臺北市：中華民國物理學會）．2008年10月，3(5): 574-580

## 戰後至今的臺大物理

1945年8月15日，日本對盟軍無條件投降，同年10月，國民政府接收臺灣。11月，羅宗洛等教授來臺接收臺北帝國大學，改名為「國立臺北大學」，並於隔年1月初再改為現名「國立臺灣大學」。1946年夏，物理系開始正式招生，學生大多來自帝大預科畢業生。

接收物理學講座、籌辦物理學系的是第一位系主任戴運軌教授。戴教授和總統蔣介石關係密切，同是浙江省奉化縣人。他與先前物理學講座的主要成員一樣都是從京都帝國大學物理科畢業。他把物理學講座與農學部氣象學講座、工學部力學講座和工業物理講座合併成物理學系後，續聘河田教授與太田副教授等日籍學者。當時河田與戴運軌一同進行計數器之組合與X射線晶體分析研究。此時國民政府有感核物理對二戰的影響，開始致力發展。

1946年9月，戴教授詢問河田教授有關重組加速器的事宜，但當時河田教授對此表示消極態度，認為「儀器太少，恐難以成功」。但在戴教授與太田教授的堅持努力

下，重組加速器之計畫仍在該年10月開始進行。化學系張茗旭助教也推薦從電機系畢業的許雲基老師加入團隊。參與重建的還有許玉釧、周木村、林松雲等技師。為了保持進度，他們在實驗室過夜，醒來後便繼續工作。實驗材料除了蒐集荒勝教授時代遺留的零件，也向當時資源較多的化學系拿。藉由戴教授的關係，也向中廣、臺電等單位要到了報廢的真空管、大彈殼等物品。1947年後，由於二二八事件的發生，河田等多位日籍教授遭臺灣省政府遣返回日本。此後物理系外籍學者僅剩太田教授與德籍學者克洛爾（Wolfgang Kroll）。



戴運軌



1948年5月13日晚上8時35分，臺大物理團隊成功以高速質子撞擊鋰，使其原子核分裂成兩個 $\alpha$ 粒子，完成了戰後全亞洲首次人工撞擊原子核實驗。同年6月20日，他們重複進行實驗證明再現性。這項實驗的成功吸引前國防部長白崇禧及國防科學委員會常委李運華等人，獲得研究經費補助；蔣總統亦對此高度關注。1949年太田教授被遣返日本，此後實驗室交由許雲基教授主持。



當年的原子核實驗室成員合照（左起：許東湯、周木春、許雲基、劉遠中、林松雲、許玉釧）

許雲基老師團隊在魚類輻射汙染、碳14定年法鑑定文物、化石與地層、長濱文化遺跡年代的測定、宇宙射線的相關研究讓臺大物理系原子核實驗室成為1960年代亞洲最先進的原子核實驗室。當時也有鍾盛標與崔伯銓老師的光學研究、方聲恆老師的聲學與凝態研究。由於經費與設備不足，許多老師相繼他去。1950年代末化學系從2號館遷走，數學系也遷出，1956年後除了二樓留給中研院數學所使用，整個二號館都屬於物理系，故取名為物理館。1957年，李政道與楊振寧榮獲諾貝爾獎，使臺大物理系在1958年至1972年成為二類組的第一志願，聯考前30名幾乎都選擇進入臺大物理系，畢業後大多出國留學。直到中華民國退出聯合國，臺籍物理學家在美就業變得困難，物理系排名才下滑。1965年，臺大物理學會（系學會）成立，《時空》系刊也創刊。臺大物理學會由去年年底剛過世、《科學月刊》創辦人林孝信學長發起，劉源俊學長擔任第一屆會長。1968年，鄭伯昆老師從密西根留學返國，籌建固態物理實驗室，研究強磁場溫度下的霍爾效應、磁阻變化及梅思堡效應。1972年，系上發生了著名的中子源事件（詳見上一期系刊）。後因為舊館空間不足，決定興建新館。1999年11月新館完工，2001年2月遷入。

克洛爾教授1906年出生於當時德國北部的Greifswald（現屬波蘭），在布列斯勞（Breslau）受大學教育。他受神學教授父親影響，對東方文化非常嚮往。1930年至1937年他於萊比錫跟隨海森堡進行研究，結識了氫彈之父泰勒。由於對納粹反感，在學校安排下與朝永振一郎進行交換訪問，於1937年到東京大學。由於帝大規定非日本籍者不得擔任教授，他轉往北海道札幌大學擔任講師，並在當地商校兼差德文教師。1942年轉任教臺北帝大預科從事德文教學。



克洛爾（Wolfgang Kroll）

戰後，克洛爾教授一手獨撐多數物理系高年級的理論物理課程。他與學生們打成一片，但課程要求十分嚴格。當時許多外省教授滿口上海話與寧波話，臺籍學生常聽不懂，於是他們共組讀書會，找克洛爾教授推薦相關書籍、以日語發問。1976年，克洛爾教授從臺大退休，親人四散而不喜共產主義的他並未返國，獨居於台北。物價上漲使克洛爾教授的退休金不足支撐生活，陷入困境，甚至生病時醫藥費無著落。1991年，時任系主任的楊信男教授募集克洛爾教授基金超過新臺幣100萬元，才暫時解燃眉之急。當年的系刊也刊載克洛爾教授的訪問，可明顯發現他的身體狀況很衰弱。1992年初，克洛爾教授因肺氣腫逝世，享壽87歲。克洛爾教授基金則轉而用以舉辦克洛爾教授紀念演講。

1985年，許雲基老師也退休。他的原子核實驗室被改建成低溫實驗室，林松雲和許玉釧二位技師因不捨而將零件分藏在倉庫、地下室、浴室天花板等處。1992年，侯維恕教授回系上任教，於1994年提出「先導先行實驗計畫」，催生了臺大物理系的高能實驗團隊，並加入日本KEK的Belle團隊、歐洲CERN的LHC計劃和中國的大亞灣實驗，恢復臺大物理系的粒子物理學研究。2005年，許老師協同許玉釧與林松雲技師重建原子核實驗室，成為現在舊館的物理文物廳。該次重建過程被製成《衝破原子核》紀錄片。

黃振麟教授在 1952 年至 1955 年間曾和克洛爾教授合作，從比熱數據推導固體聲子頻譜。黃振麟教授使用 Newton's iteration method 解，根據 Born-von Karman theory 由 Secular Equation 導出固體頻譜，建立可推展到任何 3D 晶格的方法。此方法由黃振麟教授獨創，被譽為「不用電子計算機方法中最方便的方法」。1952 年起，黃振麟教授連續四年以單一作者身份在 Journal of Chemical Physics 和 The Physical Review 發表四篇論文。1962 年 2 月，他自東京大學原子核研究所留學歸來，轉向原子核理論。黃教授於 1992 年 11 月因肝病過世，享年 66 歲。



黃振麟

2003 年台大天文物理研究所成立、2008 年應用物理研究所成立。至此系上的研究領域逐漸齊全，舉凡高能、天文、凝態、光電、原子分子、核物理、光學、生物物理等，都有為數不少的研究成果。目前系館旁的宇宙學大樓正在興建，期盼落成後能讓臺大物理系的發展更上一層樓。

#### 參考資料

1. 張幸真．台灣知識社群的轉變－以台北帝國大學物理講座到台灣大學物理系為例．2003-07-31
2. 臺灣物理史數位典藏計畫．行政院國家科學委員會．2007-03-29
3. 鄭伯昆．台大核子物理實驗室（四）有關的日本科學家．物理雙月刊（臺北市：中華民國物理學會）．2008 年 10 月，3 (5): 574-580
4. 林清涼老師提供的許多珍貴歷史資料

#### 重要事件年表

時間	事件
1946 年夏	臺大物理系成立
1947 年 4 月	河田末吉被遣返日本
1948 年 5 月 13 日	戰後亞洲首次原子核擊破實驗
1949 至 1950 年	普物實驗室興建
1955 年	黃振麟老師發表首篇以臺灣為單位的 Physical Review 論文
1956 年	舊館成為物理館
1960 年	碩士班成立
1963 年	中華民國物理學會成立，《中華民國物理學刊》創刊
1965 年	系學會成立，《時空》系刊創刊
1968 年	鄭伯昆老師籌建固態物理實驗室
1969 年	博士班成立
1972 年	中子源事件
1994 年	侯維恕老師提出「先導先行實驗計畫」
1999 年 11 月	新館開幕
2001 年 2 月	物理系遷入新館
2003 年	天文物理研究所成立
2005 年 11 月 21 日	物理文物廳開幕
2008 年	應用物理研究所成立

# 與許雲基老師訪談

提問——林清涼老師、周品君  
紀錄——簡靖  
整理——周品君  
時間——2016年1月27日  
地點——許雲基老師住家



這一天 16:00，我們跟著林清涼老師，從系館出發、到新生南路路口坐計程車到許雲基老師的住處，離學校不遠的一棟大樓。在計程車上，林清涼老師跟我們提到許雲基老師在退休後把古典電磁學課本的所有習題重新做了一遍，讓我們感到很驚訝。

到了許雲基老師住處，受到了許老師與他的家人的歡迎。我們也發現許老師和家人的對話主要是臺日語混雜的。一開始，許老師拿出了 iPad，讓我們看維基百科上面他的條目。我跟許老師說那篇條目是我寫的，老師感到非常高興。我問老師我寫的有沒有錯誤，老師說都是正確的。（大家也可以去看看喔～）

首先，林清涼老師以日語向許老師發問，問他當年參與加速器建造的故事（林老師說要考考許老師的記憶力）。許雲基老師說，民國 37、38 年時，他和太田賴常教授一起做儀器，把農學院的金工廠租了 10 個月在那邊做，整天待在那裡，時常和太田教授睡在地板上過夜。許老師也提到他們當時都用 Pyrex 玻璃，而在燒儀器玻璃時的關鍵則在於電極放入處，而這個技術目前已經失傳了。當時他們的材料很多是透過許老師在化學系任職的同學的關係，像化學系拿來的。重水的製造在地下室進行，氘（D）的來源來自把水電解分離出重水，而氚（T）的來源則是用買的。抽真空也是自己做幫浦，10-7mmHg 很困難，花了大概半年。

接著，我們詢問許老師對河田末吉教授的印象如何。許老師表示對他的印象不多，只記得他大約在民國 35 年左右離開臺大（註：實際上是 1947 年 4 月）。

後來林老師再問他對荒勝文策教授的印象，許老師說當時日本時代荒勝教授離開臺灣時，把加速器拆回日本。我們追問許老師說是全部拆走嗎？許老師說不是，還有留下一些小零件，例如電阻之類，但是重要的零件大多被拿回日本了，所以之後他們重建大多是用自製的。許老師也說到當時他在日本京都帝國大學就讀，有去修荒勝教授的理論力學課，荒勝教授也會在課堂上講有關他當時在臺灣的實驗。

我們也詢問許老師當初的實驗戴運軌教授是否有參與。許老師說基本上沒有參與，但是提供了很多經費。許老師也說到戴教授跟蔣介石總統的關係很好，蔣總統也常常過來，甚至實驗成功時蔣總統也有在現場，而且有資料照片（註：暫未查到）。許老師也說戴教授和蔣總統是同鄉，而且「跟戴家相比，蔣介石像ごろつき（註：小混混之意）」，因為戴家在當地有錢有勢。許老師也說，蔣總統也曾經請他們到中山科學院做原子彈。

許老師在跟我們談到實驗原理時，還特別拿書出來翻，確認自己記得的反應式對不對，很認真地翻了有一陣子。許老師也跟我們提到最近的微中子震盪報導，老師說他是從日本物理學會雜誌中翻到的，可見許老師退休後仍然非常關注物理學的最新進展。當我們要離開時，許老師和他的家人們非常熱情地邀請我們一起共進晚餐，我們再三推辭，才道別了許老師與他的家人們，順利地完成了這次獲益良多的訪談。

# 與林清涼老師訪談

參與者——周品君、曾可維、顏敬哲

錄音——顏敬哲

整理——曾可維

時間——2016年1月21日

地點——林清涼老師辦公室

林老師提供了大量的文件，期許我們整理利用和分類造冊，因為系學會交接產生了資產的流失讓老師覺得頗為可惜（很多東西都不見了，如當初依照人體工學設計的椅子），尤其需要保存林孝信老師的紀念文章（林孝信老師的同屆創辦時空月刊），接著話鋒一轉，林老師強調早期台大學生在學校營運中佔有決定性的影響力，以物理系學生會為例：早期擁有匿名投訴老師的信箱（可惜搬到新館後沒有復原），光復後的學生自治會也實質掌握宿舍的日常營運（包含伙食、會計），老師認為現在學生沒有掌握權力是錯誤的，教授與學生都要負擔責任！

林老師提到二號館（舊物理館）三號、四號教室保存非常不好，即使三號教室後來重建希望恢復原貌，仍舊用鐵椅子替代原本的木頭椅子。老師也認為應該紀念物理系德國籍的克洛爾教授，他對物理系的貢獻長久且深遠，卻幾乎不為現在的物理系學生所知（除了克洛爾紀念講座之外），教授深厚的物理知識造福的非常多早期的系友（他有許多德國籍同僚都獲得諾貝爾獎），晚景卻不是非常美好，退休後生活拮据是靠著學生系友捐款照顧，可惜林老師擁有的克洛爾教授的資料都已經四散了，部分在王元均教授、部分在 fisher 教授那裡。

林清涼老師曾做過物理系的口述史在物理系一甲子：包含許雲基教授和荒勝文策教授（加速器與亞洲第一次原子核撞擊），可惜資料也大多已送出和散失（黃振麟老師的資料則是幾乎沒有，但是黃老師貢獻極大，當時在國家風雨飄搖之際撐下物理系營運，並且還創辦了物理學刊，基本上維持了當時

的台灣物理界），老師再度強調當初物理系在實際決策時，學生、技工、職員都能夠參加決策並在利害相關時投票，這是真正的自由民主。

林老師也提到當時在國共內戰後政府遷台，許多原本預計要買到中國大陸各大學的儀器機器都在國外動彈不得，在傅斯年校長的任期左右才努力把儀器儲存藏到台大各處，另外，處理圖書館文件資料的歸檔過程更加漫長，連陳丕燊老師、蔡力行學長都曾參與過。其中同屆一學長非常傑出，具有卓越的領導與計畫能力，對於資料的整理獻極大，老師話鋒一轉，再度提到物理系當時給予學生絕對的自由和經濟上的資助（物理系不缺教育用的錢），圖書館的借閱管理便是由學生所主導的！林老師也提到人要沒有私心很難，但是私心過多便是自私份子而不是知識份子。

林老師也說到她主持了黃振麟教授和克洛爾教授的喪禮，如果要做物理系歷史，應該先從還活著的許雲基教授優先，老師期許我們對等、能夠無話不談。最後她並提供我們許多珍貴的系史相關資料，供我們參考。老師也期望我們都能成為具備充足自信與自尊的學生。

# 2017 物理之夜主題：我是誰？

## 物理二

### 黃安荷

這個問題，想著想著  
一年就過去了……

某次期末考時黃安荷心裡想著：「唉，這題要怎麼算啊……」高中時，物理對黃安荷來說，明明就不會太難。當時沒有特別喜歡什麼科目，所以就想說念個物理相關的，怎麼進來之後，卻發現物理系都在算數學，覺得真是很棘手。現在的情形，也相當棘手。再過二十分鐘就要交卷了，腦子裡，卻一直想著幾個月前和學長組 band 上物夜的時候。在台上講黃色笑話的感覺，真的很爽；和系女籃學姐們練球，打比賽一直贏，雖然都沒有上場但是在板凳尖叫的很開心；因為普通物理作業寫程式和物理們寫到死、探討普化教授究竟再說些什麼，建立深厚寫作業情誼……

但考卷這麼難寫真不爽。

「我到底進物理系幹麻呢？」黃安荷不禁這麼想。學長姐畢業之後好像都會考研究所，或是進實驗室。但我又沒有很想進實驗室，也沒特別想研究的東西。以後可能當個物理老師吧。如果未來哪天不想當老師，就去賣雞排，成為姊妹花雞排 2.0！

從前有個女孩考進了物理系，然後她就被當掉了。

### 前言

對物理系學生而言，高中以前的物理學習或許代表了啟發專業興趣和才能的基石。大學物理系對學生的專業訓練是承接了學生在中學所學到的物理知識和能力而來。大多數就讀物理系的學生，都是經過國小、國中、高中的物理教育，培養出一定程度的物理能力或興趣，帶著想要進一步探究物理的動機，選擇進入大學物理系學習。然而，在受過中學物理教育的學生中，最後選擇要進一步鑽研物理的人只是少數。因此，中學物理教育並不僅僅是為了專業人才的養成而設計。對於大多數不以物理當作未來專業的學生，國高中的物理教育期許的是提供國民基本的物理素養，培養他們解讀、判斷、簡單應用物理的能力。

在此篇文章中，筆者將以身為一個物理系和中等教育學程學生的觀點，去解讀中學物理教育的意義、實踐方式和展望。文章一開始會先分析中學物理教育的目標和 E 時代的教育新需求，再透過其他國家的物理教科書和試題討論各國對中學物理教育的期許，最後以國內十二年國教的發展，刻畫新時代下物理教育的願景。

### 物理教育要教什麼？

談到物理教育要教什麼、該怎麼教，或許每位理化和物理老師都會有自己的一套獨特看法和進行方式。但臺灣的整體教育方針又是什麼呢？想要知道全國的中小學教育的共識，勢必得透過教育部的課程綱要來了解當前教育政策擬定者的想法。

在自然與生活科技學習領域的九年一貫課綱中，課程目標有以下 6 點（全文）：

1. 培養探索科學的興趣與熱忱，並養成主動學習的習慣。
2. 學習科學與技術的探究方法和基本知能，並能應用所學於當前和未來的生活。
3. 培養愛護環境、珍惜資源、尊重生命的知能與態度，以及熱愛本土生態環境與科技的情操。
4. 培養與人溝通表達、團隊合作及和諧相處的能力。
5. 培養獨立思考、解決問題的能力，並激發開展潛能。
6. 察覺和試探人與科技的互動關係。

高中必修基礎物理的課綱中所提到的課程目標則包含（節錄）：

1. 銜接國民中小學九年一貫課程自然及生活科技學習領域教材，進一步介紹物理學的基本知識，使學生認識一般物理現象的因果關係和其間所遵行的規律。
2. 介紹物理學的基本精神及物理學的範圍，引起學生對大自然的好奇，激發學生追求事物原理的興趣，同時使學生體認物質科學的發展對人類生活和環境的影響與其重要性，啟發學生在科學創造及應用上的潛在能力。
3. 藉由師生互動與實驗活動，養成學生良好的科學態度，使其熟悉科學方法，提升學生縝密思考、探索真理及解決問題的能力。

依據課綱的描述，筆者認為我國中學物理的教育方向可以列出五個重點：

1. 引導學生具備學習科學的興趣和能力
2. 讓學生知道如何進行定性和定量的科學分析
3. 帶領學生善用科學素養界定、解決問題
4. 培養學生安排及執實驗的能力
5. 提升學生對人類和大自然關係的敏銳度

值得注意的是，課綱中所提到的幾個主要教育目標，在目前的中學物理教育現況裡是否都能兼顧實行？有沒有哪些能力是特別被強調、或是在無意間被輕忽的？就筆者在教育現場的觀察看來，過去在考試引導的風氣之下，物理教學在分析和計算的能力上下了比較多的功夫，而實驗和實作能力的培養相對而言是較為缺乏的。然而對某部份學生而言，分析和計算又容易顯得枯燥，導致學生學習興趣不高。在物理理論和實作能力的表現上，臺灣學生則有理論能力落差大、實作能力普遍低落的狀況。當這樣的教學情形遇上 E 時代的興起，又會遭逢哪些新的挑戰？教學者又應該如何調整教育的重點呢？

## E 時代的教育需求

近年來智慧型手機和平板電腦的興起對教育的型態產生了很大衝擊。由於青少年也幾乎成為擁有智慧型裝置的「滑世代」，學生學習的方式不再侷限於課本或是學校老師的講授。除了可以透過搜尋引擎即時收集想要的資訊之外，還有來自全世界大學的線上課程，或是像可汗學院、均一教育平台等等有系統的教育網站，可以讓學習者按照自己的進度學習並檢視成果，甚至將自己的成果透過網路社群分享給更多人。便利且多元的學習管道，使得主動學習成為 E 世代學生自身能力養成的關鍵。網路世代的學生可以挑選適合自己的內容和方式來學習，也可以自行安排學習的時間和空間。

然而，E 時代的特性也對學習產生了一些負面的影響。因為網路資訊龐雜，學生的觀念可能會被錯誤資訊誤導。習慣聲光刺激的學生，在使用傳統講述教學的課堂中，比較容易會有注意力不集中的狀況。由於日常所接觸的文字大多是朋友所發的動態，較少閱讀長篇文章，在閱讀實體書的時候可能會發生跳行、沒有耐心讀完整篇文章、或是曲解文意的問題。

面對 E 世代的學生，教師的教學方式也必須因應時代趨勢做出調整。許多資訊元素開始被融入教學中，例如：有些老師使用翻轉教室的方式進行教學，讓學生事先在家觀看教學影片，上課的時間則拿來進行互動式的活動，讓學生討論、分享、競賽、實際動手操作等等。而除了教學方式的改變之外，教師為學生設計的學習重點也在漸漸轉變。由於資訊的取得非常方便，記憶式學習的需求變得越來越低。相較之下，如何透過學校教育讓學生得到帶得走的能力便成了更重要的課題。舉凡讓學生學習判斷資訊的正確性、加強實際操作的技能、培養分析並解決問題的能力、練習在不同的情境下和其他人互動合作、養成學習的興趣、習慣和信心……，都是在知識本身的傳授之外，教師社群也正在積極影響學生的面向。

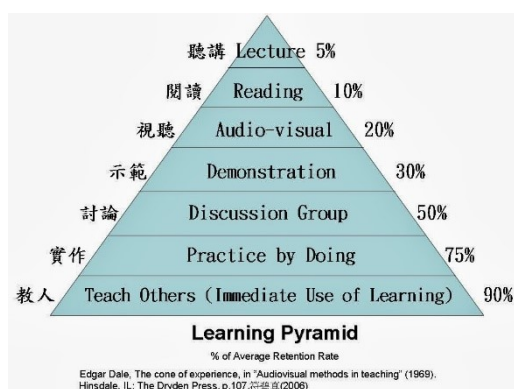
## 他山之石：其他國家物理教科書與試題

在接下來的篇幅中，筆者能夠帶大家一起略窺其他國家對物理教育的期待。在此希望能夠透過教科書和試題的比較，來看出其他國家設計物理教育的重點。以下的資料內容包含中國大陸、新加坡、美國、芬蘭的物理教科書或考題，以及 PISA 測驗的科學試題。考題部分的取材是來自筆者曾在教育學程修習的學習評量課程，教科書內容則是在國家教育研究院教科書圖書館所收集的。由於資源有限，這些由教育研究院和教育學程老師多年累積而來的資料，課本和試題的年份、設計所針對的學生年級都有所不同，在分析比較可能也不那麼精確。筆者希望的是能透過這些有限的珍貴資料，挑選出其他國家的教科書和試題設計和臺灣不同之處，去思考各國在培養及挑選人才時所著重的能力和臺灣有何差異。

## 探究學習 中國大陸物理教科書

探究教學法指的是讓學生主動去探索並解決問題的過程，以學生為主體，透過閱讀、觀察、實驗、思考、討論等方式去探究相關的知識並給出結論，老師在過程中負責的只是提供問題和例子。教育理論中的「學習金字塔」理論指出，經由不同學習方式所得到的知識，在學習後兩週所留下的記憶比例是不同的。如右圖所示，由聽講所學習到的知識，在兩週過後只會剩下 5% 的記憶；相對的，如果藉由實作的方式來學習，在兩週過後所留下的記憶可以達到 75%。探究式教學的目的就是建立在這個理論之上，希望透過學生自行探索，提升學習有效的程度。

在大學出版社 2005 年的九年級物理課本中，比較特別的是幾乎每個章節都安排有「探究活動」。探究活動的設計，是期待透過探索式的學習，加強學生的學習印象，並且經由親身的研究、思考的過程，認識進行科學活動的方法，並建立獨立解決問題的信心。



## 重視實驗 上海高考物理科試題、新加坡大學入學考題

高考是中國大陸高中升大學的入學考試，由於中國大陸幅員廣大，全國的高考會分為好幾個區域來施測。由於上海在 2009 年加入國際 PISA 測驗後，在 2009 年和 2012 年的閱讀、數學、科學三項能力指標皆拿到世界排名第一，因此筆者在本文中特地選擇了上海地區高考的物理科考題來觀摩。

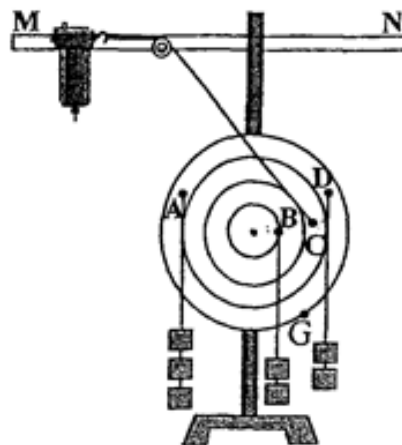
2015 年上海高考物理科的考試時間為 120 分鐘，滿分為 150 分。各大題的配分為：單選一 8 題共 16 分、單選二 8 題共 24 分、多選 4 題共 16 分、填充 5 題共 20 分、實驗 4 題組共 24 分、計算 4 題組共 50 分。雖然考試時間長達兩小時，但要完成的小題數一共有 56 題，平均每兩分鐘就要完成一個小題，時間可說是相當緊湊，這點和臺灣的指考似乎有異曲同工之妙。題型方面則大多是以填充、計算、問答等非選題的方式為主，對考生而言是相當具有挑戰性的題目。

### 2015 年上海高考實驗題之一

28. (8 分) 改進後的“研究有固定轉動軸物體平衡條件”的實驗裝置如圖所示，力傳感器、定滑輪固定在橫桿上，替代原裝置中的彈簧秤。已知力矩盤上各同心圓的間距均為 5cm。

- (1) (多選題) 做這樣改進的優點是
- (A) 力傳感器既可測拉力又可測壓力
  - (B) 力傳感器測力時不受主觀判斷影響，精度較高
  - (C) 能消除轉軸摩擦引起的實驗誤差
  - (D) 保證力傳感器所受拉力方向不變

(2) 某同學用該裝置做實驗，檢驗時發現盤靜止轉動時 G 點始終在最低處，他仍用該盤做實驗。在對力傳感器進行調零後，用力傳感器將力矩盤的 G 點拉到圖示位置，此時力傳感器讀數為 3N。再對力傳感器進行調零，然後懸掛鈎碼進行實驗。此方法 \_\_\_\_\_ (選填“能”、“不能”) 消除力矩盤偏心引起的實驗誤差。已知每個鈎碼所受重力為 1N，力矩盤按圖示方式懸掛鈎碼後，力矩盤所受順時針方向的合力矩為 \_\_\_\_\_ N·m。力傳感器的讀數為 \_\_\_\_\_ N。



若和臺灣的指考考題比較，上海高考試題在題目內容上比較少生活化的題目，而在實驗上規劃了很大的比例。從這點來看，臺灣升大學的入學考試比較在乎學生是能運用學過的物理知識去分析生活中的情境，上海的考題則更希望挑選出懂得操作原理和流程的學生。

而提到重視實驗的物理測驗，就不得不提到新加坡的大學入學考題。在入學考試等大型的測驗中，礙於材料和人力成本，實際透過操作來測驗學生的實驗能力往往是困難的。但新加坡的作法相當特別，在他們的大學入學考試中，考試的題目只有兩個紙筆測驗的實驗題組。提供學生簡單的實驗目的之後，便要求學生設計出整個實驗的過程、所需要的儀器、控制變因、預計的實驗結果、實驗安全事項等等。雖然這樣的測驗和實際動手操作相比之下還是稍微理想化，但學生如果沒有充足的實驗知識和經驗，要在短短的測驗時間內擬定完整的實驗內容是有相當的難度的。

### 新加坡大學入學考題

1. A changing e.m.f. in a coil can induce an e.m.f. in another coil. Fig. 1.1 shows a coil (coil X), which is wound on a cardboard tube. Coil X has cross-sectional area A. A student winds another coil (coil Y) tightly around coil X. The student wishes to investigate how the e.m.f.  $V$  in coil Y depends on A. It is suggested that  $V$  is directly proportional to A. Design a laboratory experiment to investigate the suggested relationship. You should draw, on page 3, a diagram showing the arrangement of your equipment. In your account you should pay particular attention to
- (a) the procedure to be followed,
  - (b) the measurements to be taken,
  - (c) the control of variables,
  - (d) the analysis of the data,
  - (e) the safety precautions to be taken.
- [15]

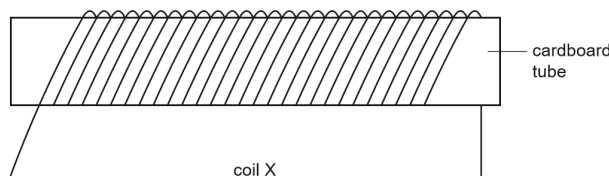


Fig. 1.1



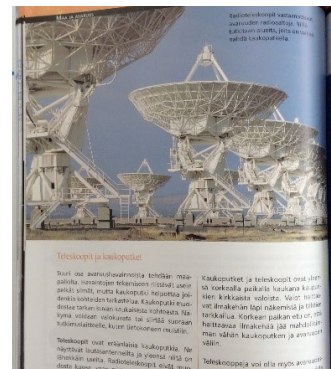
## 接軌科學、科技發展 美國與芬蘭的物理教科書

相對先前提到，在考題中強調實驗重要性的上海和新加坡，美國的物理教科書中比較強調的是物理原理的應用。像是右圖中，在摩擦力的單元裡，會延伸介紹汽車煞車系統的構造和運作方式。和生活中的科技結合，除了可以讓學生對真實世界的物理運作更有概念、不再只是紙上談兵之外，也能引起學生發現學習物理原理的用處，進而引起學生的學習動機。



美國教科書內頁剪影

至於在芬蘭的物理教科書中，在介紹科學知識的同時，也會一併介紹科學家在研究該領域所使用的新方法和技術。例如在天文單元中除了關於星體的知識之外，也能讓學生認識科學家如何運作太空望遠鏡、火箭等設備，因此，學生在得到知識的同時，也知道了人類拓展自己視野的方式。



芬蘭教科書內頁剪影

## 科學分析 PISA 測驗、美國自然科試題

另外一類重要的自然科學能力，是 PISA 測驗中所重視的科學分析。近年來 PISA 國際學生能力評量計劃是國際間評估各國教育競爭力的重要指標，而 PISA 為了能夠制定跨文化的評量標準，命題方向大多為科學現象的判斷和分析，目的是在測驗學生是否具有基本的科學常識和解讀觀察事實的素養。在 PISA 測驗中，物理的內容是包含於自然科，自然科同時也包含了生物、化學、地球科學的內容，也會有跨領域的題目。PISA 測驗所期待學生具備的科學分析能力，也讓其他許多國家開始改變教育的方式和評量的面向，美國的自然科試題便是其中一例，而臺灣也曾經討論過以類 PISA 試題作為國中教育會考出題方式的可能性。這類問題通常是提供學生一個需要進一步分析發生原因的現象，提出數個可能的假設，然後讓學生去思考各個假設在科學推理上是否合理。下方兩張圖片即是 PISA 測驗題中的熱襁病和美國的自然科考題中的閃電發生原因。在類 PISA 試題的激盪下，學生所被期待的是具備科學推論的思維，以及在進行科學操作所需要的細膩敏感。

### PISA 測驗題 (節錄)

S195：賽邁爾維斯日記

賽邁爾維斯日記 (一) 「1846 年 7 月。下星期我便要到維也納 總醫院婦產科第一病房當醫生。那裡的病人死亡率實在高得可怕。在這個月內，208 名產婦中，竟有 36 名死亡，而全部都死於產褥熱。生孩子就像得到第一級肺炎那樣危險。」

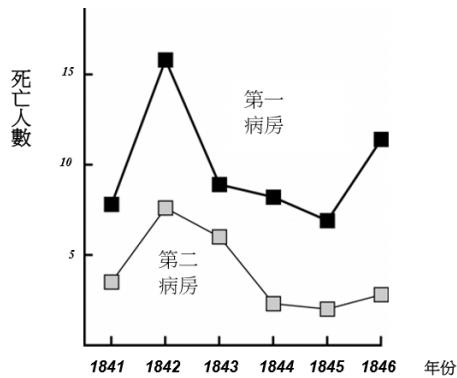
這幾行選自賽邁爾維斯 (1818-1865) 的日記，描述了導致很多婦女產後死亡的傳染病——產褥熱的可怕影響。折線圖呈現了賽邁爾維斯所搜集到的產褥熱 病人死亡數量，分別來自於第一 和第二病房。

包括賽邁爾維斯在內，很多內科醫生都不知道產褥熱的真正病因。日記又寫著：

「1846年12月。為什麼這麼多順利生產的產婦，產後死於這疾病？數個世紀以來的科學研究告訴我們，她們都是死於一種看不見的傳染病，原因可能是空氣的變化或外太空的影響或地球本身的活動，如地震。」

時至今日，很少人會相信外太空影響或地震是這疾病的可能起因，但是在賽邁爾維斯生活的年代，很多人，即使是科學家都會相信這樣的說法！我們現在已知道這疾病的起因是與衛生條件有關。賽邁爾維斯知道外太空的影響或地震不大可能是這疾病的起因。他根據所搜集到的資料，嘗試去說服他的同事（見圖解）。

每一百名產婦中，死於產褥熱的人數



圖解

### 大考中心翻譯美國試題（節錄）

#### 《題組五》

閃電是一種可見的放電現象，常發生於頂部帶正電而基部（底部）帶負電的雲。關於積雨雲帶電並產生閃電的機制，有兩種理論：

#### 引力理論

請參見圖一。階段一：在成熟的積雨雲（開始降雨的雲）中，大部份的凝結微粒（如雨滴、雪花，或冰晶）最初呈電中性（不帶電）。階段二：雲層頂部較大的微粒（水滴或冰晶）因重力而落下，經過並磨擦較小的微粒，產生靜電，使較大的微粒落至雲的基部時帶負電，而較小的微粒則帶正電。階段三：較小的微粒升至雲的頂部。雲中正負電荷分離的現象是產生閃電的必要條件。

#### 對流理論

此理論認為積雨雲內的空氣對流會造成正負電荷分離。階段一：在接近地面處，有些空氣分子帶正電。地表的上升氣流（垂直向上流動的空氣）在形成積雨雲的同時，也會將這些正電荷帶至雲中。階段二：整個雲最初帶正電。階段三：大氣中帶負電的微粒受到帶正電的雲所吸引，雲的表面因而帶有一層負電荷。階段四：積雨雲成熟後，開始降雨，形成強大的下沉氣流，將雲表面的負電荷帶至雲的基部。整體來看，對流現象將帶正電的微粒從大氣帶至雲的頂部，並將帶負電的微粒從雲的表面帶至雲的基部。在雲消失前，此循環會一直進行。

### 臺灣中學教育進行式：十二年國民基本教育校本特色課程

臺灣的中學教育在十二年國教的教育優質化與均質化方案下，有一個新重點是要促進高中職學校發展各校的特色；而要讓每間學校都要有其特色亮點，所要透過的方式是發展校本特色課程。校本特色課程是每間學校根據自己特殊的文化情境，綜合課綱、學生未來發展、社區特色、學校資源、教師專長等等條件，所設計出來的一套獨特課程。校本特色課程的開發並非由教育部主導，而是由各學校「由下而上」來建構，在發展的時候必須兼顧獨特性、優異性、創新性、整體性、普及性與延續性等六項規準，替自己學校的學生設計出程度適當、具有啟發性的內容（註：特色課程和特色招生之間並沒有絕對關係，每間學校都發展特色課程並不代表每間學校都要進行特色招生。）

特色課程的設計可以有很多取向，可以是學術的或是實踐的、跨領域的統整或單一領域的加深加廣、教學活化或是學習歷程取向……。對物理教育而言，無論是從生活中的物理切入、進行深入的科學專題研究、結合科技實作、甚至是跨領域的結合，在特色課程的推行下都有很多發展空間。至於實際的課程內容，也會因為每間學校的特色而異，例如傳統的明星學校可能會開設比較多的專題討論課程，而綜合高中可以結合高中和高職教師的專長讓學生學習數位化、精細化物理實驗的方法。由學校本位去設計特色課程，讓原本學科之間固定分明的教育得以因應時空的變動來調整出適合不同學生的學習形態，因材施教的教育理想在十二年國教的教育制度下也開始變得可行。

高一	休閒數學與解題
	「物」出一番道理
	生活與趣味化學
	顯微鏡下的世界
	科學研究導論
高二	數學專題研究
	物理專題研究
	化學專題研究
	生物專題研究
	地球科學專題研究
	電子的世界
	有機世界趣味多
高三	微積分
	光電科技概論
	生活奈米應用

某高中科學類特色課程

### 總結

教育工作看似數十年如一日，然而其內涵和運作模式必須靈活地因應時代變遷而調整。在急遽變動的社會中，十年後人力市場所需要的職業大部份可能都還沒有出現，而那時新的物理科學和科技發展可能也是當下我們所無法想像的。在物理教育方面，教育者除了教導學生知識和科學素養之外，也有責任提醒學生要具備前瞻性的視野，去面對未來科技和社會的變動。新時代教師的工作將不再只是單純的知識傳授，唯有早一步看出未來的脈動並且在教學之前學會新時代的技能，教師才可以帶領學生習得他們未來需要的能力。在未來的衝擊下，一開始所提到的「物理教育要教什麼」的問題，也將需要學術界、教育界和社會共同以清澈的洞察力，靈活地實踐屬於每個世代的答案。

### 資料來源

國民中小學九年一貫課程綱要自然與生活科技學習領域  
 修正普通高級中學課程綱要  
 中等教育學程田芳華老師「學習評量」課程  
 中等教育學程王秀槐老師「課程發展與設計」課程  
 國家教育研究院教科書圖書館

# 創業之路—訪問趙育萱學姐

◎葉津源 / 採訪



趙育萱學姐在大四轉到外文系之後，因緣際會開始了創業之路。她創立了無熵 Bosion 公司，獲得許多成果，準備要出國拓展事業。在她出國前，她特別找了一個空檔，和時空系刊談談她創業的經驗，也分析她對物理系的觀察，以及物理系的人才如何能在創業圈發光發熱。

趙育萱學姊（以下簡稱趙） 《時空》（以下簡稱時）

**趙：** 我覺得物理系的人有一個很有趣的特質，就是大家都可以上電機系，大部分人都可以，但是都會選擇自己要做的事情。這個特質其實跟做 startup 創業很像。創業其實很多種，擺個攤車在路邊賣紅豆餅也可以。但我要說的 startup 是特定的創業。有一種專門投資早期 startup 的公司叫做創投，我們稱它叫風險投資 (VC, venture capital)，就是像詹益鑑學長創辦的之初創投 (Appworks)。這種創業不管是對做創業的人來講，或是對投資他們的人來講，都是很高風險的一個活動。對於創業的人，你不太有所謂的 work life balance。你全部時間都在工作，然後把全部的身家都投進去，反正你死了又再來一次，或者說你死了就死了。而且你有幾乎百分之八十以上的機會都會失敗。但是即使它是高風險，對風險投資的人來講，它早期的策略寧願錯投一百家也不要錯過一家。原因是 startup 起飛的時候，他成長速度是很快的。如果投中的話，成長的速度根本就是 delta function，投資報酬率就不錯，所以儘管失敗的風險大，整體來看還是賺得到錢。

對做 startup 的人來講，可能會有很多犧牲，但是大家還是選擇出來創業。比方說我現在大五，上下學期都休學，有可能拿不到臺大的學位。跟我一起創業的，有人是從國外很好的博士班退回來，當初博士班還有拿全額獎學金；其他從很好的大公司來的，可能本來年薪都 n 百萬的。出來大家一起領很低的薪水，勉強維持生活。做創業的人通常都有一種冒險的心：面對百分之八十以上都會失敗的機率，大家也都放棄了這麼好的機會回來做，因為可能會有成功的機率、或是追求比較快速的個人成長等因素，我們還是會覺得這樣的冒險是值得的。

所以說，通常這種人都比較像物理系的。你念到現在才知道說畢業之後不知道可以幹麻；你有時候會在那邊唸說如果在來一次的話我可能不會選物理系，去選個電機好了。可是你其實知道如果可以再選一次，你還是會這樣選。

**時：** 所以學姐為什麼會開始創業呢？

**趙：** 為什麼會開始創業其實是很有趣的故事。我高中的時候其實一直想要念文組，可能經濟或者是外文；我高中就有學拉丁文，英文也不錯。但是我 somehow 選了自然組。因為我覺得那些都是生活基本常識，然後（當時）我又唸得起來，why not？反正東西

知道得多不吃虧。其實這也是一個很重要的特質；我們在物理系沒有感覺，好像大家對事情都滿追根究柢一樣，但其實世界上絕大多數的人不是這樣子的。我當初在自然組遇到一個很好的物理老師，所以滿喜歡物理的。大家都說物理很難，但是我唸得很輕鬆。普物唸一唸，在北一女的物理競賽就拿第一名。後來一路比到全國賽，剛好要填志願了，我就想說是不是可以來唸物理，所以我就跑來物理系了。

上大學之前，因為競賽的關係，中研院天文所有多一個 summer student 的位置，他們就讓我去，後來我也繼續在那裡做。大二上的時候滿有趣的，臺大應力所有位老師在作軟物質。我不知道老師怎麼找到我的，但是他就找我當他的研究助理，幫他寫一本書；即使我什麼都不知道也沒關係，他一邊講我一邊寫，變成有點像他當我的家教，我再幫他寫出來。後來我就在應力所作專題，做了大概快一年，大三寒假還在物理年會發表。因此我大三下離開物理系的時候，已經有一些跟著老師做研究的經歷，對於研究環境大概是什麼樣子似乎已經有種感覺了。我考上物理系的時候就覺得我要當研究員，要成為 faculty。但先不論能力夠不夠，我觀察到現在的研究環境跟我自己的個性其實不是很適合。我沒有別人聰明，又好像沒有辦法犧牲自己的生活專心做研究，現在學術環境又很差。反正物理本來就不是我最擅長的，我對語言也本來就非常有興趣，於是就想說到外文系看看好了。

我去外文系後覺得有點閒，暑假就接了一份實習。這也是物理系學生比較缺少的部份。有時候我們會覺得比較茫然，不知道自己可以作什麼。我會覺得儘早進實驗室開始做研究，或者乾脆去實習，會比較有方向。大家可能會覺得我什麼課都沒有修完，去實習可能什麼都不會。但其實就算把系上所有課修完，還是不足以應付你在研究上、或是在工作上所需。大家考得上物理系，都是喜歡思考的，所以把態度拿出來，直接 onsite 在那個位置上學會最好。你會發現我們在物理系學一些我們覺得不著邊際的東西，其實在比較進階的領域幫助思考很有用。像我的實習跟物理其實完全無關，我當時做的是行銷。我幫一家新加坡公司做台灣市場，所以要幫忙翻譯它的一些東西，不管是 software 本身、還是一些寫給使用者的東西，或是安排訪問、談一些贊助，我們贊助別人、找合作機會，線上線下的互動、辦媒體發表會等等。這些事情每個人都可以做，但是你要用多少的 effort 做到多大的效果，其實會用到物理系訓練出來的直覺。比方說寫文案，寫了三個之後，要怎麼知道下一輪要往什麼方向去？這些都是數據，在寫的時候就是實驗組跟對照組的差別，在 marketing 上我們叫 A/B test。

每次觀察到一些不符預期的現象，要往回去推說到底影響它的因素是哪些。有很多因素的時候，我們就要判斷到底哪一個是比較主要的；就是控制變因跟操縱變因嘛。這些對我們來講都是理所當然的，但是其實對有些人，甚至是像我合作對象有 computer science 的、有電機的，對他們來講可能就沒有那麼直觀。這跟物理系有什麼相關？我們在物理系常常在算一些什麼 EOM 或 phase diagram，其實這世界上看過 phase diagram 的人真的沒幾個 (XD)，然後我們也非常擅長處理多變數的式子、非常擅長設計實驗去驗證哪一個 variable 是重要的。不只是驗證重不重要，還要找出是以什麼方式在影響：是 power law 還是常數係數、幾何？這能力很重要。現在大部份的 startup 都是做 computer science，要處理的 data 就很大，有時候需要去猜從哪裡先下手，因為運算資源有限。物理系的我們有時候會想要先畫一下再來看。但資料量達到 gigabyte 或是 terabyte，光是把資料取出來，還沒有做什麼事就很耗時間了。所以猜答案這個能力就很重要，因為你不可能每次都等畫出來才看，資料量太大了。

**時：** 那麼就創業而言，會需要處理什麼樣的資料呢？

**趙：** 以產品來講，有很多 key matrix 看我們要怎麼定義使用者喜不喜歡這個功能。最簡單的像是點擊率、曝光率、留存率...留存率就是一種時間的函數，函數怎麼定是一件重要的事。或是有些更 advanced 的，像是對臉書來說，你有幾個朋友就是一個重要的 matrix，它決定你這個使用者是不是 active。如果你不夠 active，你的 decay rate 是多少？他們一定有一個 matrix 是說你要是三十天內沒有加到多少朋友，我有多少機會永遠流失你，所以要在那之前把你搶救回來，但是我又不能一直寄信給你讓你覺得很煩；所

以我要測試要在什麼樣的時間點戳你一下，跟你說你再多加幾個朋友。這種程序都要設計實驗、verify、再執行。要說物理系的人可以做什麼？真的沒辦法做什麼，但是你要隨便找個人來做我剛剛說的這些事嗎？其實這種人又非常難找。這就是我們在 startup 裡面很不可取代的技能吧。

另外一個點是溝通能力。物理系的我們雖然沒辦法直接做產品，但是我們也算是寫過程式嘛。工程師的一些想法、一些設計上的概念，我們很容易理解。這種問題像是註冊的時候，是先寄驗證信給你、你再設定密碼，還是你要先設定密碼、我再寄驗證信給你。工程上因為架構的不同，可能要花的力氣差很多。我們花一點時間 study 之後可以理解這些事，但是對一般在做行銷的人可能比較難。

我覺得物理系的人有個好處是我們本來就喜歡思考，只要把人際互動 / 表達能力這塊 build up 起來，就會是很好的人才。像我自己有時候找一些 marketing 的 intern，我都喜歡找理工背景的人。這當然是偏見，但是偏見會出現都是一些統計的結果，就是經驗法則嘛。我通常覺得收到一封履歷時，理工背景的人傾向把自己寫得太弱，社科背景的人傾向把自己寫得太強。比方說我不會說我曾經做了什麼，因為我會覺得那個式子也不是我自己導出來的，我只是拿來用；你要是很認真問我每一個 variable 是什麼意思、為什麼這樣寫，我會有點心虛。我們有這樣的情況，又很常發生，我就不會說這是我自己做的。我們會說我們套用了什麼、或是我們修改了什麼，反正就是「我應用了一點點但是這東西不是我弄出來的」。但是其他領域的人可能就會直接說，我在什麼方面有如何如何的貢獻。然後再加上理工科的人（這也是 bias），但是一般來說理工人真的比較耐操。其他人就可以去之夜、可以去舞會、可以去幹嘛幹嘛的，而你會發現別人在玩的時候我們常常都在寫作業，熬夜的能力跟他們差很多。(XD)

**時：** 所以實習之後是怎麼開始創業的呢？

**趙：** 所以說我一直是個很不務正業的人。我在上大學那個暑假，因為一個計畫有機會去美國矽谷，有點像選秀。那個計畫有好幾屆，不同屆的人有時候會回去做義務性的幫忙，我就有機會認識一些學長是在創業的。我後來創業也不是受他們影響，但是因為在臉書上常看他們的文章，我比一般人對創業有比較多接觸。後來我就覺得做這個事情也不是那麼困難（後來就發現是錯誤的啊啊啊～），我也有一些想要做的事，於是我就找了以前比競賽認識的人去比一個創業競賽，因為他以前待過 Google、我以前也有一些工作經驗，合作的時候比較有 sense。

那場比賽沒有得到好成績，但我們還是不甘心，想把東西做出來。把東西做出來就算是開始了一點點創業的過程。中間當然有經過很多奇奇怪怪的事情，有跟人合作過、有賺錢過，但那都是後來的事情，主要是團隊很對。我們有一些媒體曝光，拿到了一些資源，包括參加台灣最大加速器 AppWorks、NTU Garage 等等。不過以上講的都不算什麼，最重要的還是把產品做出來，然後找到人使用你的產品並付錢 (XD)。

我們嘗試過很多題目，當一個產品沒有做起來的時候，我們就趕快換；我們那時候有在想是不是要解散，各自去找別的工作或加入別的團隊。但是大家都很不想，因為我們都有跟別人合作過，在這裡相比就覺得真的很好。因此後來我們中途做過 4、5 個題目吧。有些有賺錢，有些沒有。即使有賺錢，有些我們也覺得不符合我們的興趣。即使可以賺錢，還是要思考我真的要做這個東西做五到十年嗎？總結而言，不管產品成不成功，我們整個團隊所累積的，不管是經驗也好、技術也好，各種事情一回生二回熟，會覺得整個團隊是在向上的。

**時：** 那可以談一下你們做的產品是什麼嗎？

**趙：** 我做過很多不同的題目，但是因為我的題目可能還是會換吧，所以我公司真的被投資的時候你再來問我這個問題可能比較好 (XD)。我先簡單講：它的背景是機器學習、語意分析、跟推薦系統。前陣子 AlphaGo 很紅。AlphaGo 算是強 AI，然後 machine

learning 算是弱 AI。Machine learning 要做的事可能是...比方說我給你一堆紅貴賓跟泰迪熊的照片，分辨到底誰是紅貴賓誰是泰迪熊。或者是我給你一堆有標誌的資料，讓機器自己去學習，然後你要幫它改考卷，它就會越來越好。這個是有 data label 的 machine learning。也有完全沒有標籤的。但是那個就需要用 neural network (類神經網路)，它會有一些回饋機制。所以我們比較是在做弱 AI，我們是 data company。我還不敢講自己是 big data company，因為並不是很多資料就叫 big data。我覺得物理系的學生還滿適合切入這個領域的，這是我必須一再重複強調的一點，就是很喜歡思考。我們會建立 model 處理資料。所以比方說我自己的工作就是資料收進來，我稍微看一下，然後我就請我們工程師去 verify 我的假設... (笑)。因為我自己不會寫，或是我寫得沒有那麼快。在真實的世界裡，通常想一個方向之後，寫程式要寫很久。就算是很頂尖的 programmer，同時有 programing skill set 跟 data skill set 的人也不多。所以如果你知道要怎麼跟他們溝通的話，這兩個是可以互相配合的。(註：像現在這個時間點，就有一個新的角色在科技公司裡越來越重要，就是兩個技能兼備的資料科學家跟資料工程師)

**時：** 所以基本上你們是研發這樣的技術、分析語言資料、找出一些關鍵？

**趙：** 找關聯性，對，簡單來說就是這樣。不過你們真的可以不用很 focus 在我做什麼東西上面，只要知道我現在是在做的事是跟資料相關的，會用到語意分析。比方說，機器要能分辨說「棒」是好的意思、「好棒」是很棒的意思，但是「好棒棒」就是完全相反的意思。你要處理一些像這樣的問題。我們前陣子在分析哪些因素會影響大家要不要買車。我們就去汽車的論壇，然後找某個車款底下大家講自己在買這台車的時候是怎麼樣決定去買或是不買。我們作詞頻分析後，有意料之外的發現。你可以想說外觀啦、舒適度、安全性，這些我們都猜得到。但比較意外的是：家人跟寵物。家人裡面最重要的，是女兒。大家很常提到女兒，但是幾乎沒有人提到兒子。所以你就會發現有趣的事情，再回去想為什麼。像可能女兒比較會抱怨 (而且爸媽會聽)，或是狗需要後座空間比較大，這就已經進入一個推理的過程了。這個例子比較直觀，也有一些比較不直觀的，我們就要去看說這個是 signal or noise。如果是 noise 那就放掉；如果是 signal 的話，是什麼造成這個 signal？有時候可能直覺會想說要去做實驗，但是胡亂做實驗的成本又很高，要花工程師去寫程式，所以這時候猜答案的能力就很重要。

**時：** 可以描述一下創業的生活嗎，像是怎麼規劃自己的未來？

**趙：** 在學術界的時候可能對自己的人生每一年的規劃都很有把握。可能畢業就去當個兵、讀個書、然後去國外拿個博士。可能算起來就兩年碩班、一年當兵、國外讀博士，博士完做個 postdoc，之後找個教職 (如果找得到的話 QQ)。但是在這裡創業的時候，像我上禮拜出發去日本，其實我是上上禮拜才確定要去的。我連預測下個月自己要做什麼事都沒有辦法。

其實像當初我也沒有刻意要去比競賽，但是當你決定要做什麼事之後，就要 put your ass in it。就好像一個學期都沒有去上課，但是明天就得期末考。當你覺得心甘情願、各人造業各人擔時，就會有一種關關難過關關過的感覺。剩下的事情你就去 google，google 不到的時候你就可以 google 看看你要問誰。

創業跟玩社團不一樣的就是，到後期我有實習生、有員工，我要付薪水。那個責任感就不一樣。不能說今天我累了，兩手一攤就不做了。當然你可以這樣做，但是你在這個圈子的名聲就臭掉了。就會開始想比較遠一點，你要怎麼兼顧，讓那群很相信你才會加入的人 - 他們都很好，都能找到很好的公司，是因為你才願意拿比較低的薪水加入。要怎麼在你也不是很清楚知道方向的情形下讓他們願意持續跟著你一起做事，又不會覺得心裡很焦慮。

其實現在對你們講這些都還太早，但是我覺得你們要心裡沒有什麼成見，多方嘗試，然後發現幾個比較有趣的方向，再更深入去看它。絕對不是很腦衝說，好熱血就來了，因為創業並不是大家想的那麼 fancy。有時候你很容易有媒體曝光，然後通常他們都會把

你寫得很厲害，好像人生勝利組一樣。但是說真的，這些採訪邀約我常常都沒有去。就是你被採訪了，so what？這份採訪會為你多爭取到幾個使用者嗎？還是你只是看了自我感覺良好？還是你可以拿這些報導跟你媽說，你看我都沒去上班上課，我都在做這個？

所以有時候你會被一些光環迷惑。或者像是我去參加一些展覽，看起來好像很炫，但是我真的在那邊的時候，我不會說，啊，有紅牛可以喝好棒。而是去之前你要先搞清楚你這次去到底要幹嘛。真的開始創業的時候就是 **business is business**。以前可以只是去晃晃聊聊，但是現在要 **survey** 好這個場子，會出現誰可能會對你有興趣、你想要跟他聯絡。到那個場子後其實是一直找這些人，然後假裝在他們旁邊拿飲料，然後，「哎嚶你是做什麼的？」「啊真的啊我也是作資料相關的...」然後怎樣怎樣怎樣「...請保持聯絡」。這是一份很有趣的工作，有時候你覺得我在玩但是其實我在工作。

**時：** 那你覺得你在玩還是在工作？

**趙：** 我覺得滿好的。做物理的人就有這種覺悟吧，你的研究就是你的生活。所以如果你硬要把研究跟生活分得很開，那也許你不適合作研究，是吧？就算你人不在實驗室，你也在想相關的東西。做 **startup** 很有這種感覺。



「不要再讀書了。」

我有些遲疑地抬了抬頭，望向座位左方的男孩。現在是早上第二節下課，吵鬧的、玩耍的、補眠的、早早跑去福利社買便當的，也有和他一樣掛上耳機、低頭玩著手機遊戲的。

「不要再讀書了，休息一下。」他側坐著面向我，低著頭、雙手捧著橫躺的手機，大拇指不停在螢幕上來回跳動，我總是不懂那到底是怎樣的遊戲，也從來沒想要懂過。

「你才是該多讀一點書了吧，再不久就要大考了。」我沒有多加理會他，拉回注意力，排定這節下課要讀的書還沒讀完呢。

「不過妳根本不需要別人叫妳多讀一點書，反倒需要有人叫妳別一直讀書吧。」我愣住了，好不容易凝聚的注意力再次被打散，轉頭望了望他，他早已拿掉半邊耳機，正巧也望著我，就只是對著我笑了笑。

「妳已經夠認真了，休息一下吧。」

上課鈴聲響起，打斷了我們的交談，也幸虧鈴聲適時打攪，我一點也不想被發現那一瞬間心中瀰漫的複雜滋味，因為連我自己也不懂，為什麼會因此感到浮躁卻又心平。數學老師準時走進教室，與平時相同，不多贅述便切入重點。死命想理解黑板上一條條證明，手中筆記也正一行行填滿，這樣快步調的疲勞轟炸足以使我專注全身精力而不再多想方才的插曲。

只依稀記得，下一節下課我反常地睡得很安穩。

我其實還是不懂，那句話為何如此刻骨銘心。

每每夜半獨自坐在書桌前，埋首於繁重課業時，那句話總會浮現在腦中，雖然我並不會因為這樣就撇開書不顧，逕自打混去，可是總深深覺得那話改變了什麼，關於我內心深處的某個部分……。

他是第一個叫我不讀書的人。

從小父母總是耳提面命，既然是學生就要對自己的課業負責，要盡全力去讀書，也唯有認真念書，才能有好的大學、才能選擇自己想要的校系，這些都不容質疑，因為的確這也都是事實。我並非無奈地接受，而是真正理解，所以選擇了這樣的路，選擇了用盡生命去看待讀書這件事情。

『妳已經夠認真了。』不，還不夠，永遠也不夠，只要捫心自問自己是不是夠認真了，是不是沒辦法再更認真了？答案永遠都是不夠。

我沒有改變，所以我更加不懂，那句話為什麼深深植入靈魂中。

停課後的教室顯得格外寧靜，甚至帶有一絲悠閒愜意，六五方陣的座位只零星坐了

四五個人，豔陽、蟬鳴、湛藍天空，入夏時分高雄獨有的濃濃暑意在矩形窗框繪成一幅掛畫。突如其來地，下課鐘聲打斷了我的神遊，真是糟糕！竟然在最後幾分鐘時分神。原本想趕緊振起精神，繼續念書，卻意外瞥見了教室另一側的他……。

下課鐘一響，坐在教室正中央的他兀自站起身，選了靠牆的座位，用玩手機時一貫的側坐，戴上他的純白色耳塞式耳機，逕自拋下現實，望自己的世界漫遊而去。

不知道當時的我是不是被暑氣沖昏了頭？放下了緊握而被手汗濕透的自動鉛筆，任參考書大喇喇地敞開，穿越了教室，在他身後的位置坐下，撇頭盯著他專注的神情、和螢幕裡不斷下落的灰色長條。

「妳要不要玩玩看？」他突然拿下半邊耳機遞給我，這突如其來的舉動令我有些不知所措。

「學過鋼琴的妳玩起來應該很上手，它的譜面和音樂有很大的關係，重點是歌超級好聽的！」他不等我答應，將那半邊耳機塞進我手心中，把手機面向我放在桌面上，選了一首「Wings of piano」，還刻意把難度從原先的 Hard 調成 Easy。

「等等只要灰色長條碰到線就按一下，如果是黃色的就要按著移動喔！」我也不知怎麼的，竟聽話地戴起了半邊耳機，樂音開始流瀉而出。

我想，這是我聽過最美的一首曲子吧。

「我要再一次！」看著曲終後顯示的分數——57.12%，一股莫名的不服氣湧上心頭，明明我每次瞥到他手機的數字都是顯示九十幾%的啊！

「第一次這樣不錯了，喜歡這首歌嗎？這是最愛的一首歌。」他微笑著說道，重新設定了一次遊戲。

「很好聽……」

「喜歡就好，妳可以去找找看 V.K. 克這個鋼琴家，他的曲子都很好聽！」

他開始自顧自地說起，他總愛聽些輕音樂，尤其喜歡純粹鋼琴編曲的作品，只是苦於總是聽不懂古典樂。我則一次又一次霸佔著他的手機，那些話自然沒有認真地進到耳裡，卻又似乎不知不覺地停留在了心中。下課就在我的「再一次」中無預警結束，我這才從沉浸中驚醒，有些愧疚的他整個下課都沒有玩到，也有些愧疚自己竟然花了那麼多時間在一個遊戲中。

可是卻愧疚的很令人舒坦。

不知道為什麼，只覺鬱悶、煩躁與不安退去了大半。

或許他其實是個魔法師吧。

誤闖我的生命，對我施下了魔法，讓我不再對未來感到害怕、不再對自己感到卑怯、他彷彿讓我擁有了全世界，卻悄悄的、不著痕跡的離開了，回到屬於他的國度。

直到很久很久以後，我才了解了那句話的意義。

「妳根本不需要別人叫妳多讀一點書，反倒需要有人叫妳別一直讀書吧。」

「妳夠認真了，休息一下吧。」

那不是勸退，而是一種救贖。我並沒有因為那句話而有所改變，心靈最深處卻因此解脫而感到舒坦。終究有人能夠看到我的努力、終究有人願意包容我的任性，終究我是能夠稍稍停下腳步，享受一下身邊的事物，而不是一味的看著遙遠的未來，逕自不安。

「考不考得上不差這十分鐘啦。」他總是喜歡這樣對我說。

而我也會不甘示弱地回答「每天十分鐘，一年就有 3650 分鐘了欸！」

但我還是會放下手中的書，在下課短短的十分鐘內霸佔他的手機，還有他。

或許十分鐘真的能改變甚麼，但是得到的那股心安，卻是更加無可替代的。

現在的他，在三百公里外那座與我無關的城市中，擁有著屬於他的世界，而他意外給我的羽翼，帶著我飛往了沒有他的未來，琴聲卻還飄盪在回憶中那段短短的下課中。每當聽起那首歌，回憶便如潮水般與洶湧的音符一同奔騰而出，早已記不得用盡生命死讀的書寫了甚麼，卻怎麼也忘不了他曾說過的那些話、忘不了一同聽過的歌——忘不了那短短的十分鐘，卻充滿了整個夏天的下課。



# 情侶

◎蘇芃之、朱文亞 / 採訪 & 撰文 · 洪子欽 / 插圖

大學期間，除了應付繁忙的課業之外，愛情也是許多人的選修學分之一，但也只有幸運的人才能嘗到箇中滋味。那麼何不看看情侶們的故事，一探究竟呢？



## 情侶 大二

在擔任物理營同一小隊的隊輔之後，就變得熟識起來。雖然一開始兩人的個性、價值觀有頗多差異，但交往過程中漸漸改變，也變得越來越互補。像是平時會找共同的空堂時間見面、念書，若有另外忙活動則抽空在系館約會。出去遊玩時，會分別支付自己的花費，不過費用差太多時還是會互相幫忙。但目前新的學期共同的空堂時間變少，還在尋找新的相處模式。交往後，因為彼此而認識了更多人，但也因此少了跟高中朋友碰面的時間；對於未來的規劃，兩人還沒有想到那麼多。

當產生摩擦的時候，兩人會各自表達看法，試著達成共識。但個性上的差異並不容易消除，總是要在輪番吵架與達成共識的循環之下，才終於能夠達成平衡。這些過程雖然辛苦，但只要能互相信任與尊重，終究能夠從困難中找到出路。

對於物理系還未 CP 的同學，希望大家明白「魯」是一種心態，而非一種狀態。對於自認為「魯」到入味的人，就算外在條件很好，社交手腕也沒問題，也很容易因為自我設限，而與好的機會擦身而過。從心態上先脫「魯」，才有辦法把握緣分，向前邁進！

## 情侶 大三

因為常常一起念書、寫作業，就自然而然的成為了現在的關係，過程中很難說到底為什麼會被對方吸引，只能說喜歡不需要什麼特別的理由吧。這樣的默契也展現在金錢方面，吃飯或遊玩的費用都是輪流出錢，大概各出一半。交往後，兩人有空時會特別規劃不同的活動，因此有了更多時間接觸不同的人事物。但這樣不代表兩人總是要黏在一起，有時也會留給彼此空間，各自忙各自的事情，再抽空散散步。

兩人偶爾也會有所摩擦，通常是因為其中一方有所堅持，另一方又不想退讓。如果能夠包容彼此，就可以將造成摩擦的癥結點轉變為互補之處。但是要改變一個人的想法並不容易，所以當兩人沒有時間心力去溝通時，就更容易吵架。

交往至今，雖然漸漸發現彼此對於許多事情有不同的看法，又或是擁有不同的興趣，但是這些不同之處反而能夠擴展彼此的視野，了解自己從未想過的觀點。



個性上的差異是必然，只要能互相信任及尊重，透過不斷地溝通與形成共識，雙方終究能達到平衡



懂得包容彼此，才能將造成摩擦的癥結點轉變為互補的特質

## 情侶 大一

當初會變熟識因為上了同一堂通識課，接下來又會時常互相問功課，約出去一起寫作業，也因為個性很合所以常會聊天。越來越熟後，就漸漸的被對方認真的樣子所吸引。交往後，相處模式依然是聊天，偶而約出去寫作業。常在系或是到外面的咖啡廳，不會因為交往而忽略課業，反而會互相幫助對方；也常常會約出去吃飯，吃飯時不會一直都由單方付錢，而是各付各的。

對於交往後的人際關係影響，主要是因為彼此在一起的時間更多，所以會較少與同學一同行動，但也並不是完全沉浸在兩人的世界裡面，並沒有連上課時間都隨時坐在一起閃別人，還是會有跟朋友一起相處的時間，或是自己社團之類課外的時間，也會因為跟對方的朋友一起吃飯而拓展原本的交友圈。交往後也並沒有覺得對方個性跟原本有差異，也還沒有摩擦出現，一直都很穩定。

對物理系上還沒有成為cp的同學的建議，就是不用強求，也不要一直為了交男女朋友而刻意地去做甚麼，順其自然就夠了。