

10.6212/CPE.2016.1701.10

## 高雄中學特色課程一

### 『夸克、黑洞、相對論』簡介

張峻輔

清華大學物理博士、高雄中學物理科教師  
electron0421@yahoo.com.tw

#### 緣起

本校從 103 學年度針對高一學生開設特色課程，物理科共開設四門特色課程。前三門皆為實作課程，以培養學生動手實作能力為目的，成果豐碩者還能經教師推薦參與校外競賽，將一學期努力的成果轉化成參賽作品。這三門課程是：「生活中物理現象探究與動畫模擬」－教授學生製作 JAVA 動畫模擬生活常見之物理現象、「機器人組裝與程式控制」－指導學生組裝樂高機器人並撰寫程式語言指揮動作、「英文物理辯論與科展專題實作」－以當年度國際青年物理學家辯論競賽（IYPT）題目進行分組辯論。

第四門是理論課程，係考量部分學生對實作課程不感興趣，筆者於 103 學年度應邀開設的，提供給學生在選課時能有其他選擇。一開始科內老師建議可開設科學史方面的課程，但筆者希望學生在修習一學期的特色課後，除了物理學家的故事之外，尚能帶走一些物理知識，想到高中物理教學現場常受限於授課時數不足與考試壓力，多著重於題目的重複演練，既無法開拓學生對物理思考的廣度與深度，也使學生對學習科學漸失興趣。幾經考量後筆者決定揀選高一基礎物理中與近代物理相關之單元，搭配自編教材，加上影片欣賞、教授演講影音檔、期末分組報告等方式，深入淺出帶領學生欣賞近代物理之美妙發展，尤其側重在理論物理部分，期望

培養學生有欣賞物理之美感，並挖掘其對基礎科學研究之好奇心，養成日後主動探索學習新知的習慣。本文介紹的就是這門課程。

#### 課程內容

課程名稱定為「夸克、黑洞、相對論」，原意是想在一學期的課程中逐步帶領學生從微觀粒子物理學走向巨觀宇宙學研究，既能欣賞到粒子間微妙精巧的交互作用，又能讚嘆宇宙的浩瀚無際。研究夸克的高能物理學需要用到狹義相對論，而黑洞物理需要廣義相對論的知識，故以「相對論」這耳熟能詳卻又感覺莫測高深的學問，加到課程名稱當中以提升這門課的吸引力。

一學期課程扣除期中考與學校活動約有 18 週課程，一週上課 2 小時，筆者將課程切割成三大段，按照時序分別講授狹義相對論、高能物理學、黑洞物理學，以下介紹課程大綱。

#### (一)狹義相對論

狹義相對論分成三小節，分別是「古典力學中的相對運動」、「狹義相對論下的運動學」、「相對論性都卜勒效應」，第一節其實是高二物理第一章直線運動中之相對運動單元，但高中物理教學多避談伽利略變換（Galilean transformation）與伽利略相對性原理。筆者先談論慣性與非慣性座標系之差別，並完整說明相對運動中之物理量表達式，再以介紹伽利略相對性原理做結。

課程開始前先向學生表明該節中大部分內容皆屬於高二物理範圍，本校學生程度較佳、求知慾旺盛，故該節授課內容多數學生都能吸收。對學生而言較吃力的部分是假想力在慣性與非慣性座標系間變化的數學推導，筆者搭配日常生活中搭車時司機加速、減速的實例說明，方能讓學生對數學推導之結果有所領會（圖 1）。

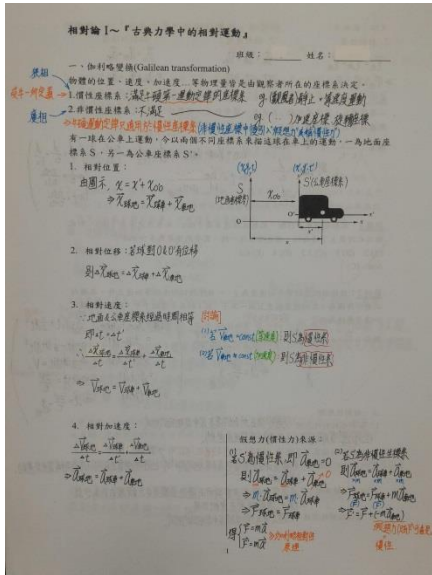


圖 1：學生上課抄寫的古典相對運動筆記。

筆者每節課末會給學生回家作業，主要練習該節內容、查詢部分上課不及說明或下節課會用到的先備知識。比如在進入狹義相對論之前，先要求學生查閱「馬克士威方程式」內容，對高一學生而言要看懂馬克士威方程式的數學表達是他們能力所不及的，但物理不是只有數學，也不是非得學會高等數學才能理解理論物理，故筆者要求學生弄懂馬克士威方程式之圖片內容與文字說明，不能只重複高一基礎物理課中學到之簡短陳述。

要學生先查閱馬克士威方程式之內容，其實是要為第二節課進入狹義相對論做準備，本節課筆者會淺談牛頓力學與馬克士威電磁學之差異，從真空電容率（vacuum permittivity）與真空磁導率（vacuum permeability）就能得到光速不變這一事實，介紹光速不變原理與狹義相對性原理。不可諱言對高中生而言，要理解愛因斯坦創建狹義相對論之動機是困難的，但筆者繞過複雜的物理理論，只擷取馬克士威理論最重要的精隨——從慣性系中的基本常數就能決定光速，學生還是能欣賞愛因斯坦思考的奧妙之

處。緊接著筆者推導出愛因斯坦於 1905 年《論動體的電動力學》論文中最重要的一項結論：時間膨脹（time dilation）與長度收縮（length contraction）效應，用的完全是原始論文中的解法，最後舉數例說明，如：科學家如何用飛機上的時鐘測量時間膨脹效應、地表觀察鈾子衰變（muon decay）數量與預期的差異、太空旅行的耗時...等等。

對學生來講學習過程中最難的不是數學，因為數學計算他們都能理解，最難的部分其實是抽象的物理思考，例如其中巧妙的座標變換的物理概念最令他們挫折，但相對論是許多高中生感興趣的題材，所以他們大都能聚精會神上課，想盡辦法理解黑板上的式子，學習用愛因斯坦著名的光鐘想像實驗看待問題。課程結束筆者會指定作業，要求學生查詢「孿生子悖論」，部分學生能完全理解上課內容並給出符合相對論概念的回答。（圖 2）。

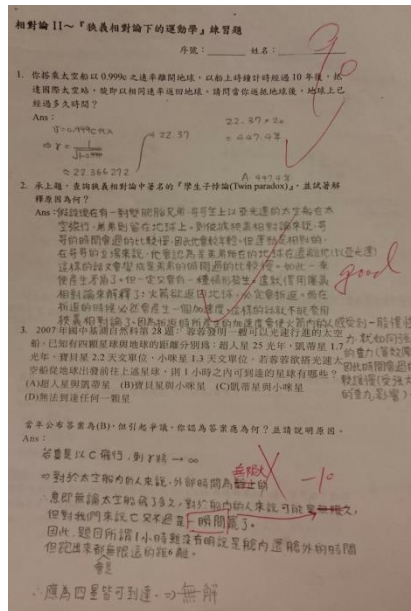


圖 2：學生繳交的相對論作業。

相對論的第三節課，筆者用上節課教授的時間膨脹效應推導「光的都卜勒效應」，讓學生直接感受基礎物理課程中所說的光譜紅

移、藍移到底是怎麼一回事。接著介紹哈伯定律，並用哈伯常數估算宇宙年齡並帶入宇宙學發展歷史。這裡筆者會淺談廣義相對論的概念，介紹重力場幾何化、重力是時空曲率的表現。網路上有不少模擬廣義相對論概念的動畫可當作教學影片，視學生反應與上課時數可能還會談到大霹靂模型的由來、宇宙微波背景輻射、暗物質與暗能量等概念。最近熱門的科學新聞：LIGO 發現重力波也是學生感興趣的題材，筆者趁此熱門新聞當頭向學生介紹重力波與電磁波的異同、重力波曲折的發展歷史、愛因斯坦一度不相信重力波的故事...等等。

講課的過程筆者會講授當代的物理史與相關物理學家之生平軼事，提升學生上課專注度。諾貝爾物理學獎得主溫伯格（Steven Weinberg）曾說過，多學一些科學史是有幫助的，從中知道前人如何面對問題、解決問題，也能幫助學子了解知識形成之過程，知道科學成果得來不易，絕不是紙上談兵、一蹴可幾的。

## (二)高能物理學

高能物理學這一部份的講課範圍是以高一基礎物理第二章中的「原子與原子核的組成」與第四章中的「強力與弱力」為骨架，進一步介紹現代粒子物理標準模型（Standard model）。不同於相對論的講課以板書推導為主，這部份的授課是以筆者自製的投影片與講義上課，內容主要是從電子、質子、中子的發現開始，到蓋爾曼（Murray Gell-Mann）提出夸克概念的猜想與受到的質疑，費曼（Richard Feynman）等物理學家如何從深度非彈性散射實驗驗證夸克模型的正確性，加速器的發展歷史、大型強子對撞機（LHC）與希格斯粒子的發明與發現...等主題。

若碰上當年度的諾貝爾獎屬於高能物理學領域，如：2013 年的希格斯粒子、2015

年的微中子振盪，筆者亦會補充相關知識。

有關強作用力之介紹，主要從湯川秀樹的介子(meson)概念出發，介紹核子間之強作用力，夸克、膠子(gluon)、色荷等被發現之後，又有夸克禁閉與漸近自由的奇異現象。弱作用力的部分會談到 $\beta$ 衰變與包立的微中子假說、費米的弱作用理論等等。這部分講課是以概念為主，搭配日常生活的經驗譬喻，讓學生盡量理解微觀世界的運作原理，並可與巨觀世界的物理做比較，這部分不會介紹過多繁雜的物理定律或數學計算，希望學生透過概念的講解能了解微觀世界的運作法則，進而欣賞近代物理的美妙。(圖 3、4)。

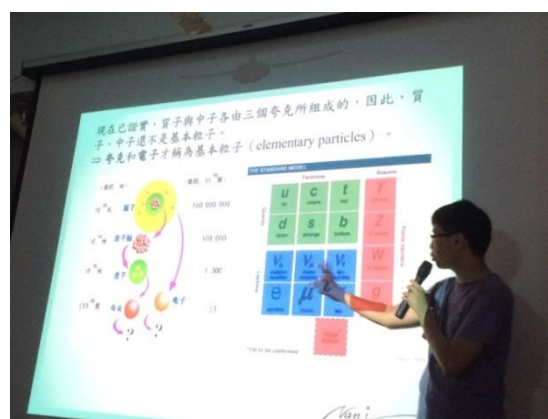


圖 3：筆者講解標準模型的上課照片。



圖 4：介紹 LHC 的投影片。

### (三)黑洞物理學

期末預留四到五週時間讓學生分組上台報告，報告題目由各組自訂，只要符合這堂課的主題即可。不可諱言的，這門課的授課內容對部分學生而言頗有難度，故與其讓學生漫無目的的上網搜尋報告題目，筆者也會準備幾個題目讓真的找不到適合主題的組別採用，所以「黑洞物理學」這部份的講課，常會被筆者指定為報告題目。

每組報告一節課，至少報告 30 分鐘，留 10 分鐘讓台下同學提問，剩下約 10 分鐘筆者會針對一些疑問再加以說明，對於能問出好問題的同學，以及能給出符合物理原理之回答的學生均額外加分。筆者認為鼓勵學生多問問題、問好的問題、能以物理學家的思考模式提問，是很重要的訓練，因為一個好的科研問題才有可能導致傑出的研究成果。

學生對黑洞的概念很有興趣，筆者會針對學生找到的素材發揮，學生有興趣的問題不外乎：怎樣的情況會形成黑洞？為什麼光也無法逃離黑洞？人若掉進黑洞會發生什麼事？部份程度較佳學生會提問：何謂「史瓦西黑洞」？什麼是「霍金輻射」？何謂「黑洞無毛定理」？...等五花八門問題，筆者會盡己所能回答，以深入淺出方式嘗試讓學生理解強重力場附近發生的物理現象，期望學生透過自己找資料與教師的後續講解，能對廣義相對論與黑洞物理有粗淺的認識，並對宇宙學產生更大的興趣，甚至日後自行探索相關知識。

### 反思與結語

特色課程不管是授課方式還是教材內容都有別於傳統課程，以筆者開設的這門課為例，教師可以從學生繳交的作業與期末報告，窺見學生對於物理學習的盲點或是心得等等。

這門課開設時間不長，筆者也尚在摸索試探該融入哪些教材，方能幫助學生理解授課內容，比如：一開始開課之初，筆者曾在相對論的講課中放入勞倫茲變換 (Lorentz transformation)，但發現大多數的學生跟不上進度顯得興趣缺缺，後筆者更改方式把勞倫茲變換當作期末分組報告題目，便開始有組別自願報告，還主動去圖書館查詢相對論的書籍做成筆記找老師討論，深怕上課時給帶給同學錯誤的觀念。(圖 5、6)。

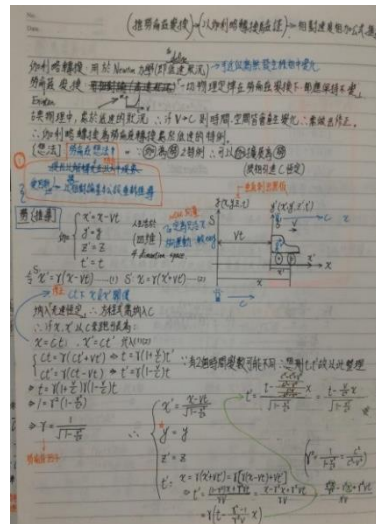


圖 5：學生為報告勞倫茲變換準備的授課筆記(I)。

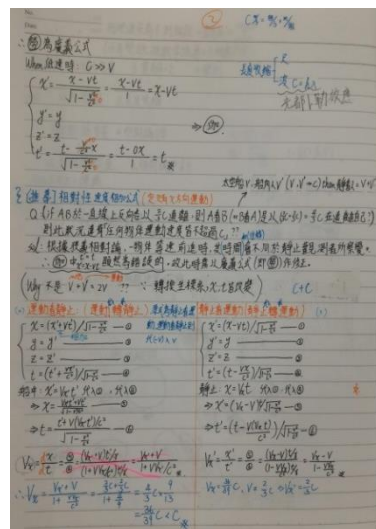


圖 6：學生為報告勞倫茲變換準備的授課筆記(II)。

即使本校教務處會事先將課程大綱上網，方便同學選課時有所參考，但有部分同學選課時便誤會這門課內容，以為這是一門科幻課程。第一節課時，筆者會向同學簡介一學期的上課內容，強調這是一門科普課程而非科幻課程，但這些同學也不願退選，導致一開始進入正題後，便失去學習動力，浪費一學期特色課時間，這是比較可惜之處。另外黑洞本身有許多有趣的物理可以探討，但礙於授課時數，在這部分的著墨較少，同學也覺得可惜，接下來的授課筆者想加強這部分的内容，希望能全面兼顧課程主題。

開設特色課是一種有趣的經驗，從備課的過程、上課師生互動、課後討論等等，都帶給筆者滿滿的收穫與自我成就感，學生也從這門課知道更多近代物理學的發展，腦袋中知識不只侷限於高一基礎物理的狹小範疇，這是筆者最感欣慰的。期待有更多教師願意投入特色課程的研發與授課，讓高中教學能朝更多元化方向發展，也希望閱讀此文的教育界先進能不吝給予批評指教，使筆者能更為精進。(圖 7)。



圖 7：筆者應邀至新竹高工分享特色課程。