

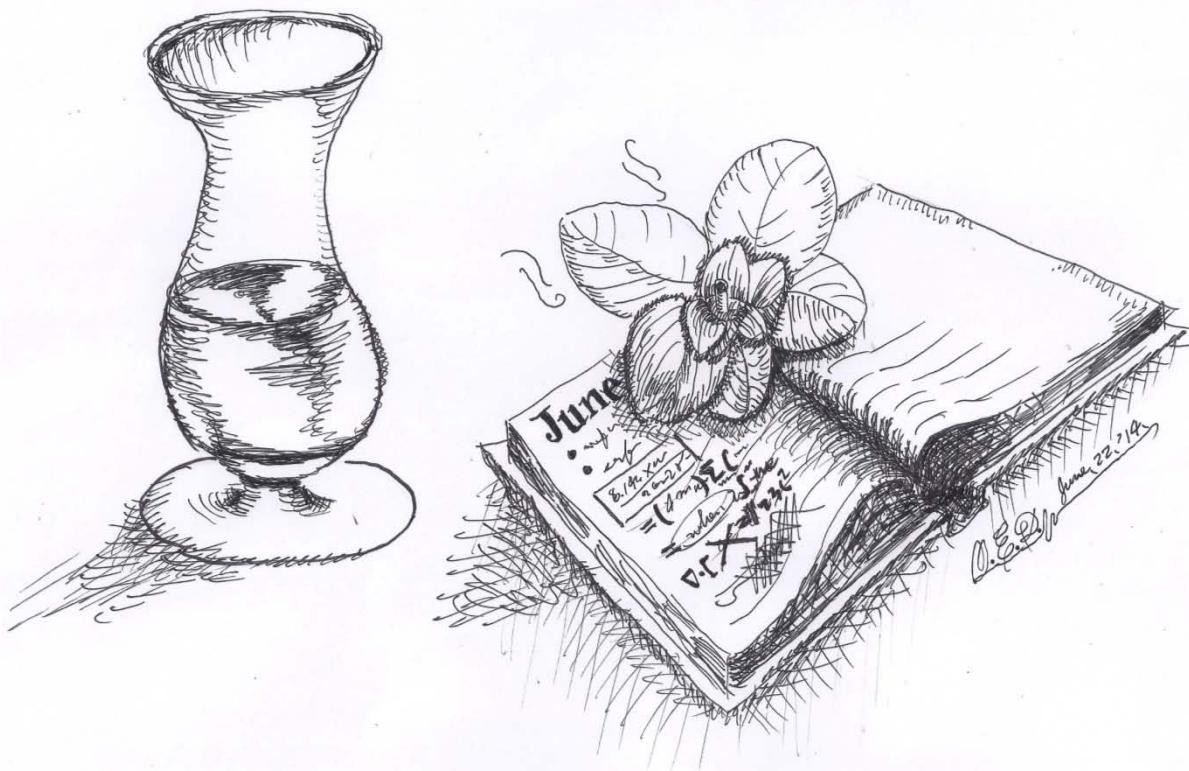
# Space-Time.



# 時空

三十三期

二〇一四年六月



出版

台大物理系系學會

編輯

鄭子宇

歐柏昇

曾可維

吳智弘

顏銓逸

插畫

鄭子宇

召集人

陳毓婷

# 目 錄

編者的話——鄭子宇 .....	3
量子力學的過去與現在——曾可維 .....	4
探索宇宙，真的不入世？——歐柏昇 .....	7
科幻中的物理——曾可維 .....	9
巧奪天工：117 號新元素——高崇文教授 .....	12
黑洞氣象指南——吳智弘 .....	17
波粒島旅遊指南：物理營總召心得——曾德維 .....	25
不一樣的普物課：易富國教授訪談——鄭子宇整理 .....	29
物理教授的民主行動方案：高英哲教授訪談——李宛儒採訪 .....	36
歷史檔案：臺大物理系量子物理修課學生罷課聲明 .....	38
那兩年大二，我在物理系——陳品全 .....	39
引喻失義——蕭維翰 .....	43
孟春夜酌總圖行——鄭子宇 .....	46
三首詩——徐啟峻 .....	47
勇士——大 data .....	48
非線性時變系統——鄭子宇 .....	49
達爾提斯島的星光——大 data .....	51

編注：《達爾提斯島的星光》和《引喻失義》兩文中，部份較為繁雜及晦澀的句子，被編者略作簡化，並已知會其作者，特此聲明。

# 編者的話

今年春天，因為召集人陳毓婷說我文筆好，意外接下總編的工作。結果大家交稿的時間都快到期末考前，身為編輯還滿崩潰的！這其中還要感謝歐柏昇，曾可維，顏銓逸，吳智弘幾位學弟多方邀稿和打聽，還有陳毓婷給了許多意見。

我，身為電機系的雙主修生，雖然只是幫忙最小地修訂來稿的文字，還是因為能幫上系上的公共事務而感到開心。物理系是個溫馨的地方：會有人主動找沉默寡言的同學幫忙物夜；物理營的時候，負責人一個個面試，決定想幫忙的同學適合作什麼；沒事的時候同學去系館晃晃，總是可以發現有人在打桌游，或揪吃飯。物理系有各式各樣的聰明，有個性又獨特的同學；我慶幸我有機會認識大家。有人去參加聲優比賽，有人不知道把量子場論讀到哪一頁去了，有人用電繪設計衣服，有人編出爆笑的 video 劇....。

讀者會注意到，因為本屆的系刊籌備時間較短，誠然相較於以往的系刊間隔一兩年，內容也較少。然而我們希望從本期開始，系刊可以縮短為每學期常態地出刊，成為一個以文會友的園地。台大有出系刊的系似乎不多；真心希望這本小冊子可以把這個傳統延續下去。

本期精彩的內容有：小編特別邀請到的中原大學高崇文教授，為大家介紹正夯的 117 號元素的新發現。超愛說自己雷的物理營總召曾德維，難得願意分享承辦物理營的辛酸。化名“大数据”的才子，終於將他珍藏的奇幻短篇小說問世。厚積薄發而旁徵博引的曾可維，要細說量子力學發展的演義。還有陳品全同學踏入物理系的心路歷程....可惡，偷加洋蔥啦....

那麼，享受吧！

33 屆物理系刊《時空》總編輯

電機三 鄭子宇

謹識



# 量子力學的過去與現在

◇ 物理一 曾可維

## 量子力學的過去：愛因斯坦的質疑及不等式的判決

相信大家在高中時都已經略有耳聞量子論的奇妙現象。在二十世紀的前 15 年，從黑體輻射(blackbody radiation, 1900)、光電效應(photoelectric effect, 1905)、康普吞效應(Compton effect)與氫原子模型(1913)，都一再顯示了，假設離散的能量，能夠解決許多古典體系下難以回答的問題。

當時的許多物理學家樂於接受量子論為解釋世界的新利器，因為其與實驗數據有極為精確的吻合。但是愛因斯坦已經開始感到不安了：玻爾(Bohr)模型成功的使用量子論解釋了類氫原子光譜，卻無法解釋電子在能階中跳躍的原因！不過當時的氛圍把量子論當作是一種現象的描述，相關的懷疑都可以等到完整的動力學建立後回答，所以他也就容忍這缺點。只是當時沒人料到量子論噩夢才正要開始！

1926 年矩陣力學與波動力學的建立和機率詮釋的提出，以及 1927 年不確定性原理的發表，讓世界翻天覆地從此全然改觀！愛因斯坦與薛丁格(Schrodinger)、德布羅意(de Broglie)在第五屆索維爾會議(主題是用干涉狹縫的思想實驗)與第六屆(主題是用光箱的思考實驗)中，與剛成形的哥本哈根學派展開論戰：在這個階段愛因斯坦相信不確定原理必定有內在矛盾，可以被違反、繞過去，摧毀量子力學的迷霧重回真實的懷抱！(特別說明一下，“uncertainty principle”被譯為測不準原理，常會讓人誤以為這代表是仍舊存在準確的物理量，只是被觀測的動作破壞了。這完全是誤導！在哥本哈根詮釋下，我們不討論測量前的物理量，而不確定性原理的描述了測量後其各結果的機率分布。)

愛因斯坦認為，原本意義下的準確物理量不存在，代表物理定律無法再完整的描述這個世界，因為要描述的對象在量子力學看來沒有意義！愛因斯坦無法容忍物理學數百年來愈發精準的描述與定律如此消逝。真實，難道不存在嗎？他不能接受！

1935 年，愛因斯坦發表了影響物理極為深遠的 EPR 論文。他在裡面承認量子力學具有內在一致性，但是不完整；而我們只是不知道那些被隱藏的物理量，不代表不存在！由於愛因斯坦的局域性(遵守相對論)隱變數理論能夠重現當時量子力學對於實驗的預測，兩者的是非似乎只是哲學問題，無法以實驗區分。於是，除了與愛因斯坦論戰三十年的量子教父波爾外，這問題被放在一旁數十年之久。

1964 年，物理學家貝爾想要追隨愛因斯坦的腳步重現物理學的光輝，於是練出一把寶劍：貝爾不等式(Bell's inequality)，從中發現了局域性隱變數與量子力學的差別。以偏振片實驗為例：前者與 $\theta$ 的餘角 $\pi - \theta$ 成正比，但後者與 $\cos \theta^2$ 成正比，預測大不相同。

他卻沒想到，強大的武器是能斬斷一切的雙面刃：如此嚴格的定理最後給出的實驗結果是局域性隱變數的死亡！1970年代的阿斯佩克特(Aspect)實驗指出，雖然貝爾不等式的違反還有一些實驗細節須要克服，但是物理學家竟難得有共識。也就是說，愛因斯坦錯了：世界中若非沒有因果性(因早於果)、就是沒有命定性的現實(因一定造成果)。我們不知道如何捨棄狹義相對論(因果性)，只好放棄描述所謂的現實。

不過物理學家也承認：愛因斯坦對量子力學持續而有力的質疑促進了量子力學的發展，迫使其支持者加深對於對量子力學的科學和哲學意義的理解。難道說明愛因斯坦是錯的就代表哥本哈根學派能高枕無憂了嗎？新的戰爭才正要開始，畢竟沒有理論像是量子力學在給出預測上如此精準，但是對於其理論的意義又如此模糊不清，人們的好奇心總是想要了解更多！

最後以一句話說明愛因斯坦等最後一代古典物理學家的消逝：

“要接受一個新的科學真理，並不用說服它的反對者，而是等到反對者們都相繼死去，新一代從一開始便清楚地明白這一真理。”——蒲朗克 (Max Planck)

## 量子力學的現在：醜陋的觀測與塌陷，以及多世界的救贖

量子力學所給出的不同機率的狀態，如光子激發原子的機率為一半。哥本哈根詮釋認為，在觀察者觀察它塌陷後變成一種單態：換句話說，只有量子過程，沒有量子世界！以薛丁格的貓(Schrodinger's Cat)思想實驗為例：放射性原子有無衰變與毒氣瓶是否被打破和貓是否死亡，無法分開討論。衰變、瓶破、貓死的態在被觀測者觀察後可能坍塌為結果。

這樣的論述看似吻合實驗結果，卻是大有問題：其從來無法有效定義何謂系統外的觀測者。這使得哥本哈根詮釋深受質疑：

1. 誰能當觀測者。如上所述，放射性元素是否衰變，並因此啟動毒氣瓶的機器成為觀察者而會成為疊加態的一環，可能被毒死的貓也是如此進入疊加態的一環。那打開箱子的人類是有何特殊之處不會成為疊加態的一環，反而當上觀測者使系統塌陷？人類也只是由原子分子所組成的複合物；自然界沒有任何理由偏好人類的這種組成模式，而不偏好貓組成的那種型式。

2. 如果量子力學是個遍及於全宇宙皆通行的定律，那麼宇宙這個最大的獨立系統從創生至今所有可能的態——如太陽是否能形成、微波背景輻射(CMB)的起伏大小等——只有一個塌陷成我們今日所見的宇宙。那麼究竟誰是觀測者使得宇宙從不同可能的狀態中塌陷至此？畢竟宇宙是包含一切的代名詞，並沒有系統外可言，任何想要研究量子宇宙論的人都必須正視此問題，也因此宇宙學家中多世界詮釋(many-worlds interpretation)的支持者眾。

對此質疑，約翰惠勒(John Wheeler)認為人類的心智是我們能夠成為觀測者而萬物不行的分別。惠勒後來將哥本哈根詮釋延伸，進一步認為宇宙之所以是現在這樣，是我們觀測而使其塌陷的結果，而宇宙在人類出現並觀測前都處於疊加態。由於參與式宇宙違反了平庸原理：我們沒有任何特別之處，並賦予心靈特殊的的地位，被視為瘋狂言論而未受重視！

為了解決此一問題，惠勒的學生艾弗雷特三世(Everett III)提出多世界詮釋進行解答。他認

為在量子力學中從來沒有波函數塌陷的機制，因此波函數塌陷不存在，所有可能發生的狀態都發生了。

而之所以我們無法與其他分支互動、而可以與電子等微觀粒子互動，原因是這樣。維度愈高的系統，愈易正交。這結論可藉由比較 2 維與 3 維空間中的兩個粒子互動來類比。自由電子是存在於 6 維空間中的質點(三個座標，三個動量分量)，與另外分支的電子的波函數不正交而可以進行干涉，於是兩個世界的互動產生了量子現象。但是一個人是由  $N$  個(超過  $10^{25}$  的數字)組成的巨大物體，因此要與另一個分支的人於  $6N$  為空間中互動，非常可能因為正交而無法進行干涉。

沒有觀測者、沒有觀測、沒有塌陷，一切聽起來都很美好。但是兩個競爭的科學理論必須藉由實驗得分出優劣乃是科學的原則，而至今確實仍未有決斷實驗能讓兩者實際分出高下。

誠然隨著介觀(e.g., 巴克球干涉)與巨觀(e.g., 超導)量子現象的發現與研究，我們活在量子世界的看法已受眾人認同。那多世界詮釋呢？

哥本哈根詮釋認為其它可能的分支都塌陷消失了，而多世界詮釋認為其他分支只是接近正交而無法互動，所以只要擁有足夠強大的量子電腦進行實驗，詢問事件的態在分開後是否又進行干涉。這樣就可望否證兩者中的其中一個：如果分支永遠消失則哥本哈根詮釋正確，如果分支只是因為難以互動但仍舊存在則代表多世界詮釋正確。

# 探索宇宙，真的不入世？

◆ 物理二 歐柏昇

科技部長張善政日前表示，現在政府資源有限，所以學術研究要“入世”：應該作和民眾及社會相關的研究。部長特別點名“**探索宇宙**”與“**登陸月球**”的研究，也就是天文學與太空科學的領域，認為“**那在國外做就好**。”部長的言論，似乎有否定基礎科學研究在台灣發展的意味。

## 在國外做就好？

“在國外做就好”是什麼樣的心態？部長指的國外，或許代表“基礎科學發達”的國家，也或許代表“經濟發展程度高”的國家。但他的意思不外乎：“**人家就是有錢，才去做這些研究。我們需要發展經濟，沒錢給你做這些離人民生活遙遠的研究。**”

然而部長忽略了這樣的事實：經濟發展的基礎是科技；科技背後則是基礎科學的研究。於是基礎科學研究的蓬勃，能夠帶動整個國家的進步。一般人認為的“先進國家”——也就是部長說的“國外”——以龐大的基礎科學研究推動著國家進步，部長卻要求科學人才到國外做就好，那台灣豈有與“國外”競爭的一天？部長看不見長遠的規劃，只看見政府短暫的財政考量，以商人的利益心態衡量學術研究的得失，只支持直接具有經濟利益的研究內容，如此不啻揠苗助長。

## 探索宇宙也是入世的學問

我們接著要反問，“探索宇宙”、“登陸月球”的研究真的“**不入世**”嗎？答案顯然是否定的。天文學不但入世，而且比起眾多研究領域，屬於非常積極入世的學科。天文學看到的是長遠而非短暫的事情，於是常被誤認為與人類生活不切相關。

讀者不妨回想，當年美、蘇搶著登陸月球的目的為何。他們難道是為了“有趣”而做嗎？事實上那與國家發展密切相關，是高度軍事目的之任務。我並不是主張科學研究要以軍事為目標，不過這件事的確顯示，天文學與太空科學絕非不切實際。

舉一個更顯著的例子：人造衛星。沒人能否認人造衛星在現代科技社會的重要性，否則連GPS也不能用了。的確，人造衛星背後挾帶著龐大的科學知識，不僅包括天體力學的衛星軌道運算，還要使用行星科學給予的眾多背景知識，更要了解太陽如何造成太空天氣的變化。

這樣的了解不僅有助於人造衛星的發展，更與地球上的通訊系統息息相關。1859年的太陽活動極大期，發生強烈的太陽風暴，不但使許多人受到極光驚嚇，也嚴重影響電報系統的工作。當時人們不了解太陽活動的本質，因此難以應付。後來對於太陽的研究不斷進步，又搭配著對於其他恆星、甚至更多關於宇宙的研究，人類才能在逐漸豐厚的知識背景之下，知道面對外來事件的應對之道。

我們只是宇宙中的一個小環節，故探索宇宙就是研究我們生存的環境。環境深刻影響著我們；眼睛不往外看，哪可能知道未來會發生什麼事！這並不是**小確幸**，而是**大意識**。反對“探索宇宙”者，簡直是不願面對真相，行掩耳盜鈴之計！

## 大的入世：科學革命與思想變革

除了幫助全人類、全地球的永續生存之外，“探索宇宙”的學問在大社會裡還有啟動變革的重大意義。這是大的、漸進的、長遠的變化，一兩年內當然不能見到成效，但放諸歷史而觀，這種過程顯而易見。這種大的改變過程大致有兩種。

**第一，基礎科學發展帶動科技進步。**我們以哥白尼的天文學革命來討論。從哥白尼(Copernicus)、伽利略(Galileo)、克卜勒(Kepler)，一直到牛頓力學的出現，這一連串的科學革命，先由天文學首次鳴槍。於是基礎科學層面產生重大改變，最後這些科學知識進一步成為十八世紀歐洲產業革命的基礎。

**第二，科學革命帶動思想變革。**孔恩(Thomas Kuhn)的名著《科學革命的結構》(*The Structure of Scientific Revolutions*)提及：“革命是世界觀的改變。”(\*注) 如哥白尼的天文學革命，徹底打破了原先人們的世界觀，以不同的方式看待這個世界。世界觀的變革，不僅是“宇宙長什麼樣子”的知識本身，更牽動著整個社會的思想革新。哥白尼革命即是試圖由宗教主導的社會解放出來，迎向一個科學化的新社會。

天文學家改變大眾長遠的觀念、思想。研究宇宙的人，怎會與民眾不相干呢？

## 科普活動的入世價值

天文社時常舉辦科普活動，於是不乏接觸民眾，向他們推廣科普知識的機會。我們常積極讓民眾體會“宇宙尺度”的問題：也就是認識我們的地球、太陽系、本銀河系、一直到遙遠的星系，其中到底是怎麼樣的空間概念。這可說是一個“重構世界觀”的過程。

當民眾聽到了科學新知，重新建立了心中的世界觀時，總是抱持著滿滿的喜悅。這不僅是“長知識”的喜悅，更讓大家打破非科學的成見，學習以更加科學化的方式來思考問題。

科學化的思考，在當代公民社會有推廣的必要。“探索宇宙”與“登陸月球”之研究，在實際經驗中，的確深沉地促進公民社會的思想進步。

## 對“入世”的誤解

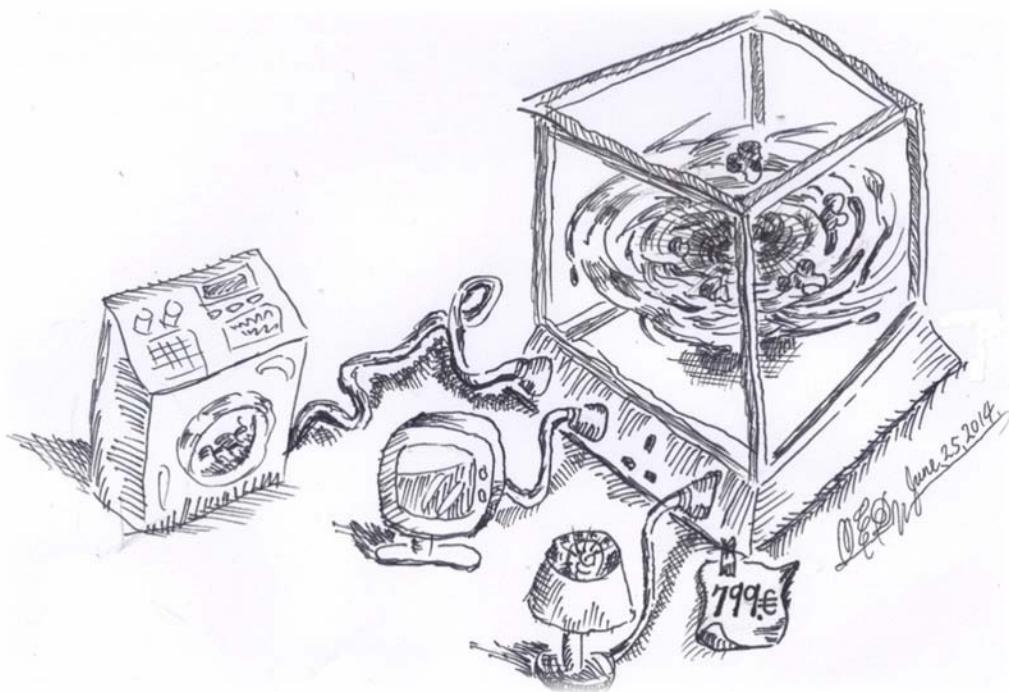
部長以為“入世”只限於科技，並直觀地以為只有如此能促進國家經濟成長，於是否定基礎科學研究。然而在當代，很少有一個不重視科學的國家，能夠擁有進步的技術與思想。

“探索宇宙”的功能，有超越產業脈動的長遠價值，卻絕非在一兩年就能看見。基礎科學的研究之所以“入世”，就是在於它並不短視近利。這是**大的入世、長期的入世**。我正盼望科學更加入世，才在此提出這些觀點供大家思考。

\*注：孔恩著，程樹德等譯，《科學革命的結構》(台北市：遠流，2012)，頁165。

# 科幻中的物理

✧ 物理一 曾可維



許多人會認為科學在發現事實的同時限制了人類揮灑想像力的空間，讓我們受到理論的束縛。但是，我要說事實正好相反。

在牛頓定律及白努力定律被提出之前，人們幻想中的巫師從未能騰空而飛。反而，後來才據此製造出飛行器及太空梭，讓人們翱翔天際、探索宇宙。

雙股螺旋 DNA 的功能及構造被提出前，人們從未見到長生不老的仙人。反倒是今日對於基因的了解，讓我們認知到老化的機制，也能發展出個人化藥物、標靶療法(target therapy)、誘導幹細胞等方法來延壽命。

量子論的不可複製定理(no-cloning theorem)被提出前，人們總是期待能突破不確定性原理找回古典真實，沒想到定理被提出後，這斬釘截鐵的限制，反而讓人們開啟量子遙傳(quantum

transportation)這新興學門，成功做到完全傳遞資訊，連古典世界中常有的觀察者效應都沒有！

所以我要說科學理論所創造出來的高牆不會阻礙人類的可能性，反而是讓人們更有能力盤點手頭上具有的能力並善加利用。這個世界不需要魔法就能創造奇蹟，因為，“任何足夠先進的科技，和魔法是難以區分的”，亞瑟·克拉克(Arthur Clarke)曾說。

況且科學上能有多少確實聳立的高牆？絕對時空觀的打破、量子論的完備與宇稱不守恒(parity non-conservation)——可能只有質能守恆、(角)動量守恆、電荷守恆、熵的增加等等才讓人死守——都顯示了許多所謂的高牆只是踏腳石，讓我們能看的更遠！

科幻，一個現代文明才存在的概念，某種層面來說是一種以理性對人類未來樂觀的情懷，也當然也有反烏托邦的反思。它推敲現有理論的精妙潛力以預測未來：畢竟今日之科幻，很可能就是明日之科學與日常生活。

偉大的科學家都不見得擁有科幻的遠見。像凱爾文爵士(Lord Kelvin)都曾說過“無線電沒有未來”，“比空氣重的飛機飛不起來”等發言。反過來說，凡爾納(Verne)這位科幻小說之父所具有的洞察眼光幾乎讓他勾勒出了 20 世紀的樣貌，在 19 世紀中葉時成功預言了 20 世紀中期的高樓大廈、全球網路、登陸月球的方法等！

另一方面，科幻也試探科學的疆界，而了解邊界唯一的方法便是稍微跨過邊界，嘗試化不可能為可能。費曼(Feynman)曾經說過，“瘋子是隨心妄想，而科學是帶著現實的枷鎖狂想，科幻在我來看則是把科學的枷鎖放鬆點，讓人們透透氣望向未來。”所以當有一天看到科幻小說中出現超光速、心電感應、時光機時，不要急著嗤之以鼻，看看作者如何鋪陳、設定、合理化。說不定有一是科幻成真時，原本的猜測雖不中亦不遠矣，又具有啟發性呢。

隨著科學日益昌明，我們發現**不可能**是一種相對的概念。根據《2100 科技大未來》，人類文明現在只不過是一個擁有數百年科學技術的 0.7 級文明，就算對於百年後的行星文明(1 級)，我們都難以想像其能力，更何況是數千年後的恆星文明(2 級)與百萬年後的星系文明(3 級)呢？我們在他們面前都如同猿猴一樣原始。

所以在反覆檢視我們手頭上的物理法則之後，大家將發現所謂不可能的事情其實極少。《電影中不可能的物理學》估計，只有預知的不可能性與永動機的不可能性，是我們可以斷言的。大部分都只是現有的技術不可行，或短期人類難以企及罷了！

最後我來與大家分享一個例子：如果有一顆黑洞我們能幹嘛呢？如果大到太陽質量的恆星級黑洞，我們除了丟垃圾進去後，再用潘羅斯過程(Panrose process)提取部分能量外，確實難以應用，況且還要擔心其失控之風險——因為他的壽命太長。

這種等級之黑洞確實難以應用！但是如果我們可以擁有更小質量之微型黑洞，除了霍金(Hawking)會拿諾貝爾獎之外，這會許可以解決人類的能源危機，開創一片無窮的可能。

微型黑洞之霍金輻射相當之明顯，其能量損失的功率非常高。這除了代表功率高之外，微型黑洞在自然界只要不大量餵食能量就會非常快的自動耗散，可以將之固定在地球與太陽間的

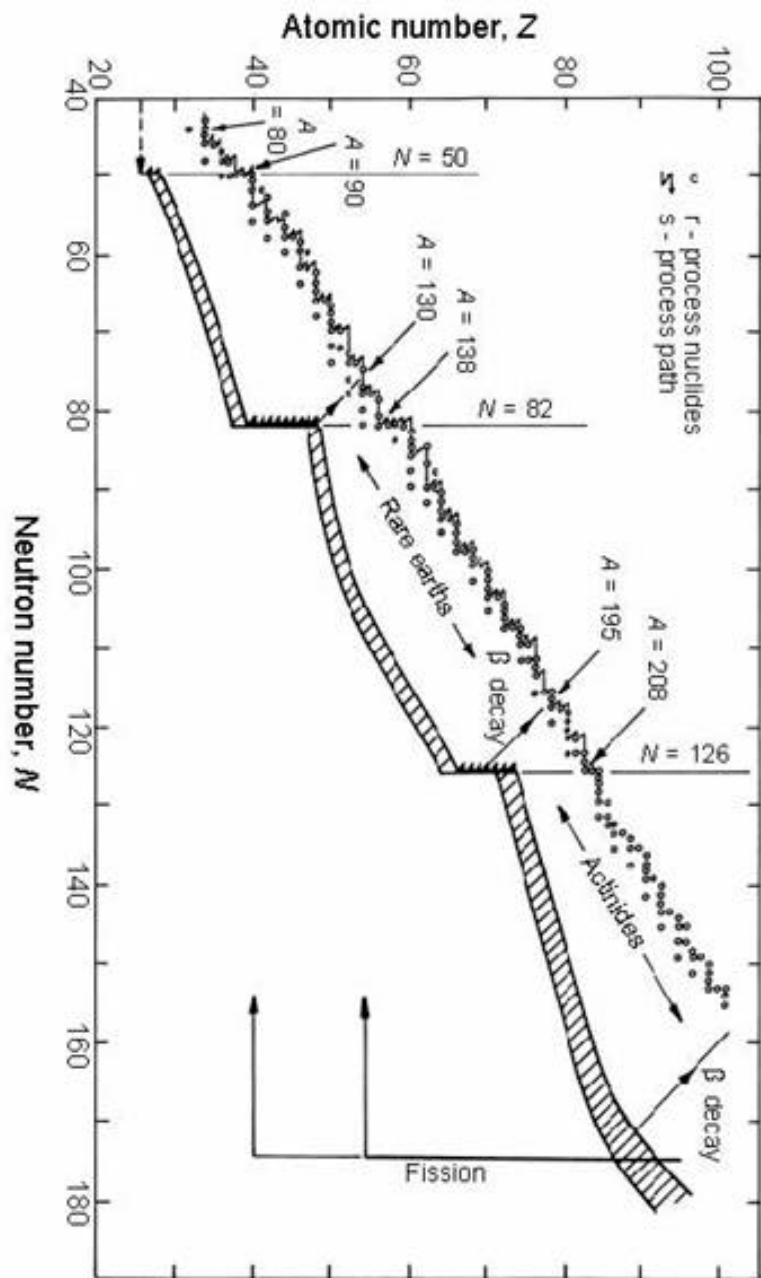
拉格朗日點(Lagrange point)上(這樣他相對於地日就可以保持不動)，也可以使其帶靜電荷以電磁場拘束。再以太陽能板(或其它方式)儲能，並以微波(或其它方式) 傳回地球即可。二十噸的黑洞只有約一秒的壽命，代表只要持續產能，它每一秒可以轉化二十噸的質能。現在世界能源年消耗約 150PWhr，這樣一黑洞的供給能量約為此數字的十億倍！

當然還有許多困難要克服。其表面高達 $10^{18}$ 度實在太高，目前無法儲存與利用。而壽命太短、難以持續每秒提供二十噸質量：地球質量可以用 10 兆年，只是運輸及準確投擲的問題。更何況要先製造出這樣一顆黑洞就是難事：自然界的已經蒸發光了，人能造出原子級的就不錯了！但是我相信可以計算出質量、壽命、溫度、功率皆可接受的黃金比例，這是一種超越核融合效率的完全反應之產能方式，還能清垃圾。或許將來會發現第二級文明除了戴森球(Dyson Sphere)外，操縱黑洞做為能源基礎也是其象徵！

參考資料：本文之內容啟發自加來道雄教授的《2100 科技大未來》、《電影中不可能的物理學》。他是一位日裔美籍的理論物理學家、超弦理論的奠基者，同時也是科幻愛好者，常會在 Discovery 頻道、Youtube 上看見他。他也是一位科普著作等身的科學知識推廣者，個人認為凡其出品必為佳作！要了解未來學巨作的核心思想，我首推《2100 科技大未來》。

# 巧奪天工：117 號新元素

◇ 高崇文教授



↑各元素的 $\alpha$ 和 $\beta$ 衰變示意圖

大家在國中時都學過周期表，甚至還背過它，但是你有注意過原子序最高的是哪一個元素嗎？其實你如果比翻你國中化學課本裡的周期表，你有發現到它跟現在的周期表有所不同嗎？甚至於如果你在家裏的舊書堆，找到哥哥姐姐甚至叔叔阿姨用過的化學課本，你會赫然發現他們當年讀的周期表少了好多元素呢！

這些近年來所合成的新元素稱之為超重元素(Super Heavy element, SHE)。超重元素的背後隱含了哪些有趣的物理？為何合成超重元素是相當困難的事？為何物理學家千方百計要挑戰原子序更高的超重元素？這些都是大哉問呀！希望這篇介紹性的短文能拋磚引玉，喚起大家對這個在臺灣相對冷門的領域的一些興趣。

大家記得，原子核由質子與中子組成。質子數相同而中子數不同的原子被稱為同位素(isotope)。由於電子數與質子數相同，同位素的化學性質完全相同，然而同位素之間的物理性質卻可能相差甚多。

其實周期表中，天然的元素只到鈮(原子序 94)以及它的同位素。為什麼大自然沒有原子序比鈮高的元素呢？這要從質子與中子如何形成原子核說起。

質子與質子之間存在著庫倫斥力，而中子又不帶電，所以電磁力是無法解釋原子核的形成。事實上，原子核的形成是由於核子間強大的吸引力所造成的。這個作用力被稱為強作用力(the strong interaction)。

強作用力雖然非常強大，作用範圍卻是非常短。以強作用力的媒介， $\pi$ 介子，為例，它重達 140 MeV。依照測不準原理可以估計其作用範圍只有幾個費米(fm, 即 $10^{-15}$  m)。所以當原子核大到一個地步的時候，每個核子只能藉強作用力吸引周圍的幾個核子。於是，質子間的長距離的庫倫斥力使原子核變的極不穩定，進而導致核分裂。這就是為什麼，巨大原子核的壽命遠短於其它衰變方式所預測的壽命。

然而物理學家也發現，某些原子核的平均束縛能特別大：也就是說這些原子核相較原子序接近的其他原子核，顯的格外穩定。為什麼呢？

1949 家邁耶(Maria Goeppert Mayer)和延森(Hans Jensen)等人建立了原子核的殼層(shell)模型。他們兩人因此獲得 1963 年的諾貝爾物理獎。核子之間有種非常強的“自旋—軌道”耦合機制 (spin-orbital coupling)。根據這項機制，原子核擁有類似原子中電子的“殼層”結構。這些殼層被填滿的原子核，會特別穩定。

殼層允許的能階數稱為“魔數”或“幻數”(Magic number)。目前已經確認的幻數有：2、8、20、28、50、82、126 這七個幻數。自然界廣泛存在的氦、氧、鈣、鎳、錫、鉛元素的質子或中子數，分別對應 2 到 82 的幻數。當質子數與中子數都是“幻數”時被稱為“雙幻核”。例如自然界存在質子數 82、中子數 126 的鉛同位素  $^{208}\text{Pb}$ ，就具有雙幻數，也的確顯得異常穩定。

1960 年代晚期，Glenn Theodore Seaborg 延伸原子核的殼層模型延伸而提出”穩定島”(island of stability)理論。他認為即使對非常巨大的原子核，只要質子數是所謂幻數，那麼殼層帶來的穩定作用，足以抵銷庫倫斥力，而避免發生核分裂，並改以別的方式來衰變。於是半衰期長得

足以在實驗室中被觀測到。如果我們可以找到適當的輕核讓它們產生碰撞，製造出幻核產物，甚至雙幻核產物，就形成了半衰期相對較長的超重元素。之所以可能人工合成超重元素，就是這樣。

然而要在實驗室合成超重元素其實困難重重：首先科學家發現巨大的原子核會產生變形，所以殼層模型需要被修正，而相應的“幻數”也會改變。這樣一來我們需要足夠好的理論來選擇適當的靶與粒子束；適合當作靶的同位素通常必須有較高的中子數，但他們往往要不是非常不穩定，要不然就是很難在實驗室製造出足夠的量。所以有時候科學家必需費盡心思才能合成新的超重元素。

更慘的是通常合成的新元素，很快就會循各種途徑衰變掉。要確定新元素正確的質子數與中子數，得先確定衰變產物(稱之為子同位素，daughter isotope)。可是往往這些衰變產物常常是首次被製造出來，這使得確定衰變產物往往困難重重。偏偏這又是決定性的一個步驟。

歷史上最著名的就是當年費米(Erico Fermi)用中子轟擊鈾而誤以為自己造出超鈾元素，當時只有女化學家 Ida Noddack 力排眾議，認為費米得到的並非是超鈾元素。但是當時大家都接受費米的主張；費米還因此獲得 1938 年的諾貝爾物理獎呢！後來才發現費米得到的只是核分裂的產物。所以要確定合成新的元素要非常謹慎，否則是會鬧笑話的！

順帶一提，筆者接觸到超重元素是在德國法蘭克福大學理論物理所擔任宏博學者的時候。當時的所長曾建議筆者去計算質子數與中子數都為 120 的原子核性質。他認為，既然  $\alpha$  粒子是由兩個質子與中子所組成，如果形成類似碳 60 (巴克球)的足球形結構，恰好能使質子數與中子數都為 120，應該可以非常穩定。不過筆者雖然花了不少工夫參詳文獻，卻發現整個計算非常龐雜就跑去作別的題目啦！

\*\*\*\*\*

以下讓我們看看新元素 117 是如何歷經千辛萬苦才成功合成的故事：

一開始是位於俄羅斯莫斯科州 Dubna 的聯合核研究所(JINR)的一個團隊，於 2004 年提議進行合成 117 號元素的實驗。(JINR 粒子加速器是世界上用於合成超重元素的最強大的粒子加速器) 他們嘗試用 $^{48}_{20}\text{Ca}$ 粒子束轟擊 $_{97}^{249}\text{Bk}$ (鉽)的靶。為什麼非用鈣和鉽元素不可呢？因為要產生高能離子束，需要較輕的同位素。 $^{48}_{20}\text{Ca}$ 是具有多個過剩中子的穩定同位素中，最輕的。次輕的同位素則是鋅-68，其質量比鈣高出許多，會讓實驗難以進行。要與含有 20 個質子的鈣結合成原子序為 117 的同位素，就需要含有 97 個質子的鉽。

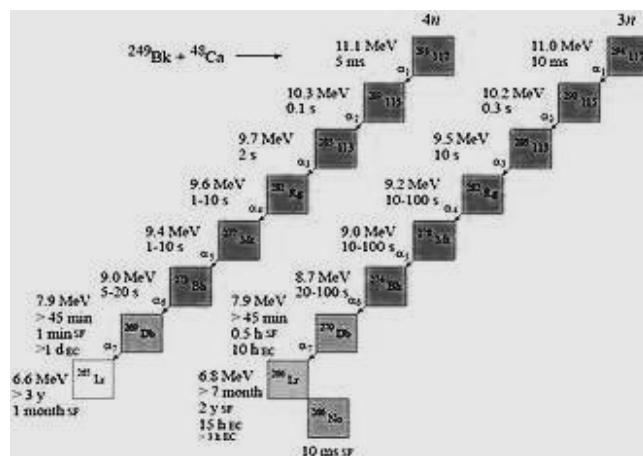
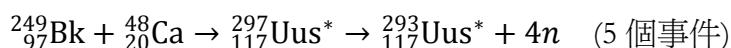
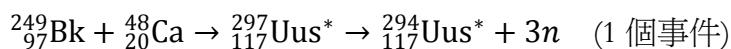
但由於美國橡樹嶺(Oak Ridge)國家實驗室是世界上唯一能夠製成鉽的實驗室，而他們宣稱產量不足，未能提供這一元素。俄羅斯團隊決定轉而用鈣轟擊 $_{98}^{252}\text{Cf}$ (鉢)，嘗試合成 118 號元素。之後他們宣稱成功合成 118 號元素，但 IUPA 至今尚未正式認可。

後來美國團隊在 2008 年重啟了製造鉽的計劃，並與俄羅斯團隊建立了合作關係。該計劃產生了 22 微克的鉽——這樣的量足以進行 JINR 提議的實驗。鉽樣本經 90 天被冷卻，再經 90 天的化學純化過程後，必須及時送往俄羅斯，因為鉽-249 的半衰期只有 330 天(每 330 天因衰變

而減半)。實驗必須在鉛靶運輸算起的六個月之內進行，否則當樣本量過小時實驗就無法進行了。

2009年夏，這些鉽被裝在五個鉛製容器中，“搭上”紐約至莫斯科的航班送到俄羅斯。令人傻眼的是俄羅斯海關居然兩次以文件不全為由拒絕了樣本的通關，因此樣本前前後後五次飛越大西洋，一共花費了幾天時間。成功通關之後，它被送往烏里揚諾夫斯克州季米特洛夫格勒(Dimitrovgrad, Ulyanovsk Oblast)，在那裡鉽被固定在鈦薄片上，然後火速運往杜布納，安裝在JINR粒子加速器上。

實驗在 2009 年 6 月展開。到了 2010 年 1 月，弗廖洛夫核反應實驗室(Flerov Laboratory of Nuclear Reactions)的科學家首次在內部宣佈成功探測到原子序為 117 的新元素的放射性衰變。總共兩條衰變鏈，一個是奇數－奇數同位素，一個是奇數－偶數同位素。前者經 6 次  $\alpha$  衰變後自發核分裂；後者經 3 次  $\alpha$  衰變後自發核分裂。這兩條衰變鏈分別屬於  $^{294}\text{Uus}$  和  $^{293}\text{Uus}$  同位素，其合成反應分別為



### ↑Uus 的衰變路徑圖

其中 Uus 是 Ununseptium 的簡寫。這是根據 1979 年國際純粹與應用化學聯合會(IUPAC)發佈了有關新元素命名的建議而為 117 號元素命名的暫名。

2010年4月9日，團隊在《物理評論快報》(Physical Review letter)上刊登該項發現的正式論文。由於當時所有Uus的子同位素都尚未被發現，所以這項結果不能用於向IUPAC/IUPAP聯合工作小組(IWP)申請證實元素的發現。

終於等到了 2011 年時 Uus 的其中一個衰變產物  $\text{Uup-289}$  被直接合成，其性質與合成 Uus 時所測得的數據相符。有趣的是當 JWP 在 2007 至 2011 年審閱各種原子序比  $_{112}\text{Cn}$ (鑷)還大的元素時，竟然發現杜布納團隊並沒有向 JWP 提出申請。杜布納團隊在 2012 年成功重複了實驗，其結果與先前的實驗吻合，之後也補交了發現新元素的申請書。目前 JWP 正在審閱這一申請。

好消息是在 2014 年 5 月 2 日，德國 Darmstadt 的亥姆霍茲重離子研究中心(GSI Helmholtz Center for Heavy Ion Research)的科學家宣佈，證實了 Uus 的發現。不僅如此，他們還發現了新的  $^{266}_{103}\text{Lr}$ (鎘)同位素。該同位素是  $^{270}_{105}\text{Lr}$ (鉿) $\alpha$  衰變產物(在杜布納進行的實驗中  $^{270}_{105}\text{Lr}$  進行的是自發裂變)。半衰期為 11 小時，它是所有超重元素的已知同位素中，壽命最長的了。鎘-266 可能就位於穩定島的“岸邊”。這使得 Uus 的存在幾乎無庸置疑。

由於 Uus 屬於元素週期表中的 17 族，五個鹵素的正下方(氟、氯、溴、碘和砹)，他們都具有 7 個價電子，形成  $ns^2np^5$  價電子分布，所以 Uus 的許多性質都會接近鹵素。但是 Uus 和鹵素之間還有不少顯著的差別。

其中一個最大的因素是自旋—軌道作用。這一作用在超重元素中特別強，因為它們的電子運動速度比輕元素快得多，而且軌道半徑非常長。對於 Uus，該作用降低了 7s 和 7p 電子能階，使這些電子更加穩定。

Uus 的放射性半衰期小於 1 秒，但這仍然比預測值高。杜布納團隊相信，這一元素的成功合成直接證明了穩定島的存在。量子穿隧模型的計算預測，到  $^{303}\text{Uus}$  為止，有多個 Uus 的同位素都能進行半衰期長達 40 毫秒的  $\alpha$  衰變，其中以  $^{296}\text{Uus}$  最為顯著。另一項利用液滴模型的研究得出了相似的結果，而且還發現，質量比  $^{301}\text{Uus}$  高的同位素有穩定性增加的趨勢。這些都足以鼓舞科學家繼續嘗試合成更重的超重元素。

也許再過幾年你打開你小孩的化學課本，你會發現周期表又變長了呢！

■高崇文是國立台灣大學物理系學士，美國馬里蘭大學物理博士。現任中原大學物理系教授，專長高能物理。

# 黑洞氣象指南

✧ 物理一 吳智弘

“黑洞是上帝除以零的地方！”



他是誰？

史蒂芬·霍金(Stephen Hawking, 1942-)，出生在伽利略逝世及牛頓誕生那年的 300 周年；曾任劍橋大學盧卡斯講座(Lucasian Chair of Mathematics)教授，他很自豪以前牛頓也當過；最近卸下職務並且寫了一本自傳。

他怎麼了？

他得了肌肉萎縮性側索硬化症，全身癱瘓，不能發音，只能藉由高科技輔助，打字及靠臉部肌肉溝通。他喜歡與人打賭，不但逢賭必輸且樂此不疲。(當然都是物理學的賭注啦！我們下面就要介紹其中一個)之前他因黑洞上新聞版面，最近又因預測世界盃奪冠方程式上新聞！

他說了什麼？

“黑洞不存在！”

為什麼呢？且聽我娓娓道來。

## 一個不整理房間的理由

在進入正題之前，得先介紹一些 trivial 但核心的想法，那就是熱力學第二定律的概念——熵(entropy)。熵是一種混亂程度的定量指標，而熱力學第二定律想告訴你的就是這個宇宙的混亂程度只會一直增加！

試想你的房間現在髒亂不堪入目，它現在混亂程度肯定很高，你辛辛苦苦花了大把力氣整理，讓它變得整潔有秩序，你肯定以為房間的“熵”下降了，實則不然：在你花這些體力的同時，你的熵也增加了，而且增加的幅度必定大於等於你使房間熵減少的幅度！唉...真是可憐阿，白忙了一場，所以以後這便可以作為你不整理房間的藉口啦。

更令人感到恐怖的是，熱力學第二定律說明了這個宇宙只會不斷混亂下去，永無止盡，直到“熱寂”為止.....我們還是回歸正題吧！

## 前所未見的聯繫

以下的內容假設讀者已經對黑洞有一些基本認知。雖說基本，其實你只要知道，事件視界(event horizon)是一個連光都無法逃出的時空，因為奇異點的無限性質導致廣義相對論和其他物理定律都在那邊失效了。黑洞是一個由廣義相對論預測的奇異點，外面包裹著事件視界——不然就是“裸”奇異點啦。

時間在 1970 年，霍金在女兒出生幾天後有次他睡前的靈光一閃——不要懷疑，有些人是我們無法企及的天才。霍金稱這是他對黑洞研究的一次“大澈大悟”：他發現了一個公式  $S = Ac^3/4\hbar G$ 。 $(S$ 是熵， $A$ 是視界面積， $c$ 是光速， $G$ 是牛頓重力常數， $\hbar$ 是化約的普朗克常數)

貝肯斯坦(Bekenstein)跟霍金發現當兩個黑洞碰撞合併時，最後黑洞的表面積(事件視界的面積)會大於先前兩個黑洞的表面積相加。這種性質跟熵非常類似，顯示視界的面積似乎可以當作是黑洞的熵。

這暗示了重力與熱力學之間有著前所未見的深奧連繫！於是黑洞不管是站著看坐著看趴著看還是躺著看都像是有熵，有熵就表示有溫度，有溫度就會有輻射.....等等，黑洞不是一個連光都無法逃逸的東西嗎？嘿嘿，其實不然，但我們還得先介紹另一個概念。

## 天下“有”白吃的午餐

除了為人熟知的共軛變數間的不確定性原理(uncertainty principle)，還有一個時間與能量的不確定性原理告訴我們： $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2$ 。 $\Delta E$ 代表了能量的不準度， $\Delta t$ 則代表了時間的不準度。(當然這兩個量有明確的意思，不過等到你修量子力學再去追究吧！)

這個量子力學中最美妙且最詭異的公式，深刻地指出了真空的性質。怎麼說呢？請看著上面的，想著你如果不斷的把 $\Delta t$ 調小， $\Delta E$ 便相應的增大，如此我們便能預測在真空中會不斷的有能量冒出來，形成一對對正反粒子的纏結對；當正反粒子相遇又會互相湮滅形成光子。這件事我們稱之為量子起伏(quantum fluctuation)。這表明了真空一點都不空，它其實非常狂亂！但這豈不是違反能量守恆？沒有關係，你只要在有限的時間內歸還即可，天下是”有”白吃的午餐

喲！

## 黑洞一點都不“黑”

霍金將上述的想法套用到黑洞上，發現了一件大概可說是其學術生涯的最高成就——霍金輻射，說明了他先前對於黑洞有熵的想法是正確的：黑洞也確實一點都不黑，它會放出令反核人士聞而色變的輻射呢！

這個機制大致是這樣的。黑洞在事件視界附近會不斷因為量子起伏產生正反粒子的纏結對。當帶著負能量的反粒子被黑洞的重力場吞噬的同時，正粒子逃脫出來，也就從“虛擬”變成“真實”的了。因為反粒子的負能量同時使得黑洞質量減少，結果就好像黑洞放出輻射一般！但不是說連光都逃不出去嗎？其實，輻射是在事件視界外面“一點點”產生的！而這個事實也正是我們接下來要談的“資訊喪失悖論”的原因。

如果有輻射就表示黑洞會隨著時間蒸發！且質量越大速度就越慢，聽起來很唬人對不對？但現在多數理論物理學家相信這是對的。儘管霍金輻射的結果還沒為霍金贏得諾貝爾物理學獎，但霍金豁達的認為自己已經得到比諾貝爾獎更珍貴的“基礎物理獎”，這是頒給儘管尚未獲得實驗證明，但對理論有重大貢獻的人的獎項，其金額超過諾貝爾獎金。好了，我們即將進入一個波瀾壯闊的戰場，繫好安全帶吧！

## 閣樓上惹出的麻煩

1981年，霍金已經專注黑洞研究十五年之久，幾乎沒有人認為霍金輻射是有問題的概念。但某天在舊金山的一處閣樓上，他宣佈了一件事，使他的物理學同事們大感不安！不過他漸漸明白，黑洞的方程式固然簡潔而優美，但在其樞紐卻潛藏著一個悖論，必將侵蝕物理學的根基！

這個悖論威脅到量子力學的根本原則——資訊守恆定律(the law of information conservation)。也就是說，我們不再保證，資訊永遠不會從宇宙流失！

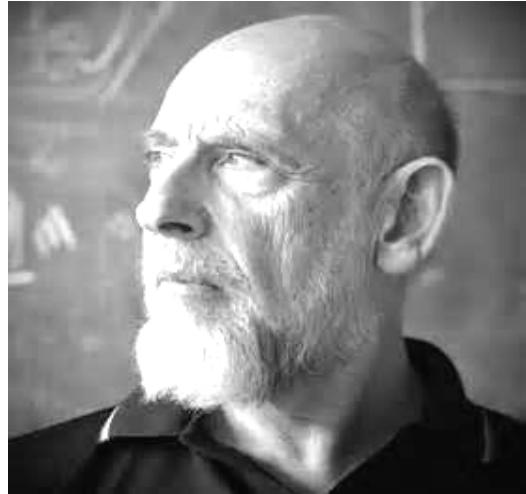
但是“資訊”指的是什麼呢？可以想像一個貝肯斯坦提出的思考實驗。沒有什麼東西墜入黑洞時，能比光子所帶的資訊更少，但光子本身仍會把落入黑洞的地點資訊帶進去。要是我們放進一個資訊量僅僅一個位元的光子，那麼根據測不準原理，它的不確定性達到最高，也就是說墜入點的機率好像散開在整個事件視界了，其波長必定極長(能量極小)。但這顆光子實際在黑洞內部，增加黑洞質量，同時擴增事件視界的面積。黑洞帶有資訊，就是這個意思。

霍金所言對在場的物理學家而言並無特別之處。因為固然外界無法取得資訊，但像這種守密不宣的資訊並未違反資訊守恆，資訊仍然留存在黑洞中，所以整個宇宙的資訊仍是守恆的：縱使黑洞將所有有序的資訊全都打亂，但我們也可以將其重新編碼組裝成原來的樣子，就好比滴一滴紅墨水到水缸中，等紅墨水擴散完畢後，我們似乎沒辦法讓它重回原樣。但是如果你有錄影的話，你只需將它倒著放即可，你會看到紅墨水恢復成一滴。而這中間並未違反物理學定律，資訊怎麼會流失呢？

其實很簡單，答案就藏在霍金輻射中：因為霍金輻射是在事件視界外面一點點產生的，所以不會攜出黑洞本身的資訊；可是黑洞的質量卻減少了，這豈不是意味著有資訊從這個宇宙中流

失了呢？

## 黑洞戰爭



上面這兩張聳動的照片，對戰雙方分別是：

劍橋大學史蒂芬·霍金 v.s. 史丹佛大學萊納·薩斯金 (Leonard Susskind)

目前這場戰爭一波未平一波又起，傷亡人數不明！

薩斯金當時人就在那座閣樓上。他事後回顧心中的震撼，“倘若資訊果真喪失在黑洞中一去不返，資訊的喪失肯定不只發生在那裡——宇宙一定有某些片段遺失了。那麼我們自以為是的科學認識，沒有一種可以相信。我們可以把可預測性忘掉，忘了因果相依關係。”而霍金也察覺，現場大概只有薩斯金能夠完全瞭解他這項宣布的意涵。他回顧道，“萊納·薩斯金心煩意亂。”

他們為什麼這麼說呢？

**跟我有什麼關係？**

因為資訊喪失悖論將導致量子決定論的崩潰！

古典決定論的概念從牛頓時代就有了。我們知道，一個系統的行為原則上可以完全被牛頓定律描述。法國科學家拉普拉斯(Laplace, 1749-1827)曾經提出一個有趣的概念——“拉普拉斯的惡魔”：試想如果有一個強大的智能生物，能夠知道宇宙中每個原子確切的位置和動量，也可以數值地解出聯立的二階方程式，便能推算宇宙事件的整個過程，包含過去與未來。這便是古典決定論的觀點。

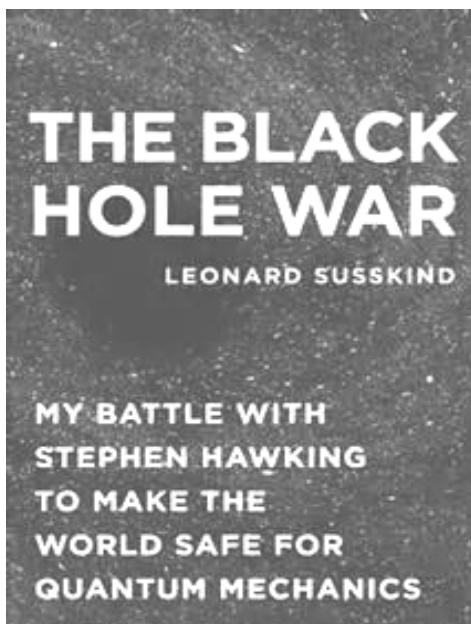
但是大家知道，在近代物理以後，這樣的古典決定論已經被宣告不可能了：所謂明確的位置和動量的概念已經被拋棄了。取而代之的是量子決定論：因為所有的量子事件都可以用機率來表示，所以在原則上一個極為強大的智能仍然能夠推算過去與未來每件事情發生的機率。

但是如果資訊從宇宙中遺失了，從此你再也不能夠以此做任何推測，量子決定論將會崩潰！這可跟你大有關係了，牽涉到你是否還能繼續留存在這個宇宙中而不會隨時消失！

## 另闢戰場

與此同時，霍金也開啟了另一場賭盤，他與索恩支持資訊會從黑洞遺失，但是 Preskill 不相信。於是他們簽下一張賭據，輸的人要賠償贏者一本百科全書，以補償遺失的資訊。不過霍金可是“逢賭必輸”，最後的結果想當然耳是霍金在 2004 年認輸了。但是索恩仍舊負隅頑抗，最後霍金賠給 Preskill 一本棒球百科全書，Preskill 將它高舉過頭，彷彿是贏得溫布頓網球比賽男子冠軍一樣。

不過霍金是怎麼輸的呢？



薩斯金回顧那場閣樓之會：“史蒂芬臉上有種史蒂芬式的神情，以一抹淡淡微笑表示：‘你就算不相信它，我還是對的，這點可別搞錯。’我們絕對肯定史蒂芬錯了，卻看不出是為什麼。”

而在接下來的幾年，薩斯金始終無法放手不管資訊悖論的問題：“從某個角度而言，我腦中所想的一切，幾乎都可以牽扯上墮入黑洞的資訊最後的命運為何，全都為了因應那個深邃、精闢的問題而發。……逼得我們必須重新思考物理學的底層基礎。”由此薩斯金為了擊敗霍金而發展出了一套理論，他也對於這個理論改變了物理學的現狀感到非常滿意。這套理論最早的版本是由另一位諾貝爾獎得主特霍夫特發展出來的，由薩斯金重新命名為“全像原理”(holographic principle)。

## 只是個投影？

我們來作個思考實驗，：假設有個人叫包柏，另一個人叫艾莉絲，他們小倆口吵了架，包柏一把將艾莉絲推入黑洞(真殘忍)，因為相對論的效應，艾莉絲會感覺自己很快的墮入黑洞之中。在此之前她已經因為頭腳間的重力差被拉成麵條了，所以她不會有四分五裂的痛苦的，所以請不用擔心。,包柏在外面幸災樂禍的看著，他將會看到艾莉絲憤恨與哭泣的眼神瞪著他，然後越來越慢，因為光需要更長的時間才能抵達包柏的眼睛。直到通過事件視界之後光逃不出來了，包柏似乎看到艾莉絲那幽怨的眼神永遠凝結在黑洞表面一般，而驚嚇的雙腿軟下，但他應該不需要擔心鬼魂索命，因為沒有東西可以逃出黑洞！

包柏認為艾莉絲凝住了，艾莉絲卻認為自己不斷墜落，這兩個觀點是相當不同的。薩斯金決定深入探究為何兩種觀點可以同時成立。關鍵是，因為艾莉絲越過了事件視界，不可能再回來跟我交換意見，就算包柏緊追艾莉絲一起跳下，艾莉絲依然大幅領先朝向奇異點，包柏永遠都追不上。他們兩個都不可能知道彼此故事版本間是矛盾的。

於是薩斯金等人提出了黑洞互補原理(black hole complementarity)，來說明這種觀察者雙方都永遠看不出哪裡出問題的現象，這得名自二十世紀早期量子力學革命的哥本哈根學派領導者波耳的互補原理(complementarity principle)，亦即波粒二象性(wave-particle duality)。就好像光可以同時是粒子又是波，兩種描繪不相容且彼此矛盾，但卻都是必要的。所以到底是內部還是外部的觀察者是對的呢？答案是：兩者都是對的！

為什麼？根據全像原理，黑洞的資訊不是儲存在內部，而是在其邊界的事件視界上。如同全像圖一般，一幅三維的影像事實上儲存在一個二維表面上，資訊並沒有因為進入黑洞而被毀，艾莉絲的訊息一直都攤放在表面上，就在那裡，並沒有喪失。所以位於在事件視界上的霍金輻射也可以帶走資訊了！

### 弦(閒)論登場

但這一切要怎麼發生呢？弦論給了一個解釋。我知道有許多物理學家對於弦論抱持不置可否的看法，不過現在黑洞資訊悖論確實圍繞在弦論的議題上，我們只需要稍為提要即可：這個理論認為所有的基本粒子(夸克與電子)都是由一條條的“弦”所構成！而這些弦的不同震盪模式化身成不同種類的粒子。夠簡單吧？但是這樣的理論卻要求我們的宇宙是具有 11 個維度的。(以上只不過是概略的描述) 所以說，現在討論的黑洞根本不是一個我們宇宙中真正四維時空的黑洞啦！

回到剛剛的思想實驗。既然基本粒子是由一條條振動的弦所構成，包柏在視界之外觀看弦墜入黑洞，而弦的振動也隨之減緩下來，就這樣慢慢的……慢慢的“攤開”，隨著那條弦向外攤開，它攜帶的所有資訊全都散開在整個事件視界，各個弦最後構成一席綿密的網絡，既然所有事物都是由弦構成，所有掉入黑洞的東西都會像這樣攤開來，形成覆蓋黑洞表面的巨大弦織面。所以就包柏而言，艾莉絲根本沒有落入黑洞，她到了視界就停止，隨後輻射回太空，看來他要擔心鬼魂索命啦！(可參考 Discovery 摩根費里曼之穿越蟲洞系列中的黑洞謎團，在最後有薩斯金的現身說法，並提供弦論解釋的生動動畫)

薩斯金宣布戰爭結束，同時把所有的故事寫在下面那本書中，但他堅稱，其實早就該結束了：“只怪霍金就像個不幸士兵在森林徘徊多年，卻不知道戰爭早已結束。”因為霍金沒有完全接受這套解釋而設法自己提出了一套解法，但是霍金已經接受黑洞不會喪失資訊的這個共識而在 2004 年賠償 Preskill 一套棒球百科全書。

但戰爭真的結束了嗎？

### 乾脆弄個防火牆！

更多的人投入了這場戰爭，這將會是一場人力與物力的總體戰！因為最新的研究顯示，黑洞互補原理的解法中，有一些理論上的不一致。

剛剛提到，霍金輻射中的那對正反粒子是一對糾纏得你儂我儂的纏結對。薩斯金想要讓霍金輻射帶走訊息的方法，就是要那個跑出去的正粒子同時與反粒子還有之前黑洞內部的粒子纏結，這樣才能攜有黑洞的訊息。不過這將會違反一個原理，叫做“monogamy of entanglement”：

一個粒子不能夠同時跟兩個粒子進行纏結。“monogamy”，一夫一妻制，就是說如果你把正粒子想成花心的老公，反粒子想成獨守空閨的結髮妻，那黑洞中的粒子就是小三啦，一個男人怎麼可以同時搞上兩個女人呢？這是不合情不合理也不合法的！

於是一群突發奇想的物理學家們在 2012 年提出了一個稱為“黑洞防火牆”(black hole firewall)的想法。因為不能夠同時進行纏結，可能要有某種機制在“瞬間”打斷這種纏結，而這種打斷的過程可能會放出大量的能量，由此便在黑洞的事件視界上建造了一座“防火牆”，燒毀任何想通過事件視界的資訊。不過這樣的解釋可能會違反愛因斯坦的廣義相對論！

## 重啟黑洞戰爭

霍金在今年(2014)的一月提出一篇沒有任何方程式的論文，僅短短四頁，一頁是摘要，另一頁是參考資料，故實僅兩頁。題為 *Information Preservation and Weather Forecasting for Black Holes*。他認為如果有事件視界及防火牆，將違反量子場論的一個根本定理——CPT 對稱。

CPT 的意思是說，當我們把一個系統的時間軸反轉，電荷帶負號，座標系也鏡射之後，物理定律應該要保持不變。因為 CPT 若不成立，羅倫茲對稱(符合狹義相對論的一個座標變換)也會失效，這是非常嚴重的事情。

既然他認為沒有事件視界，也就沒有防火牆，也不可能有黑洞！他又提出，我們或許可以用一新的表觀視界(apparent horizon)來取代事件視界。他寫道，“Thus, like weather forecasting on Earth, information will effectively be lost, although there would be no loss of unitarity.”

但是這篇論文的內容隱晦不明，現在許多的物理學家仍舊在思考霍金論文中想表達的意見，也有一些人對此提出了批評。這也見證了薩斯金所說：“真正的科學是非常人性的，而且吵鬧不休！”

## 結語

我們繞了一大圈才終於大致掌握了霍金今年初所說的話。不要相信新聞媒體的報導，如果你有看到的話；因為當初正是因為我不相信新聞所講的莫名其妙的報導，才驅使我去探究其中的來龍去脈。其實科學家所言看似難以理解的話語，背後都是有一個複雜且深遠的脈絡的。

但是資訊喪失悖論仍舊是一個物理學未解決的問題，它似乎暗示著一些我們尚未理解的黑洞性質。黑洞本身也是一個重大的難題，它的解決相信可以同時帶領我們解決宇宙初始的問題。可是若要探討宇宙初生的那一瞬間，我們必須找到一個真正的量子重力理論！(量子力學和廣義相對論的結合)

如果照霍金講的，廣義相對論、資訊守恆還是量子場論沒有辦法相容，所以我們究竟要放棄哪一個呢？這三個都是構成當代物理學根基中的一塊，缺一將會導致近代物理學的大翻轉，以及新的革命的開始，期待新一代的物理學家繼續投入探索這個看似心懷惡意的大自然！

最後仍要聲明，雖然我很希望未來能夠從軍參戰以報效國家，但以上言論不代表本人立場，有任何問題請直接聯絡霍金本人。如果他的電話打不通，不要氣餒，直接上飛機吧！

## 參考資料

以下的作品都可以做為進一步的延伸閱讀，除了前三項是教科書及論文外，其它皆屬科普類，可以看到許多非常有趣的物理學概念以及研究者的第一手描述。

1. Sean Carroll. *An Introduction to General Relativity: Spacetime and Geometry*. Upper Saddle River: Pearson, 2004.
2. Stephen Hawking (2014, 22 Jan.). “Information Preservation and Weather Forecasting for Black Holes.” *arXiv*, 1401.5761. Retrieved March 15 2014, from: <http://arxiv.org/abs/1401.5761>
3. Ahmed Almheiri, Donald Marolf, Joseph Polchinski, James Sully (2013, Feb. 11). “Black holes: complementarity or firewalls?” *arXiv*, 1207.3123. Retrieved March 15 2014 , from: <http://arxiv.org/abs/1207.3123>
4. Leonard Susskind. *The Black Hole War: My Battle with Stephen Hawking to Make the World Safe for Quantum Mechanics*. New York: Little Brown and Company, 2008.
5. 史蒂芬·霍金(著)，吳忠超(譯)，《時間新簡史》，藝文印書館，2006。
6. 史蒂芬·霍金(著)，杜欣欣、吳忠超(譯)，《黑洞與嬰兒宇宙以及相關文章》，藝文印書館，1995。
7. 史蒂芬·霍金(著)，葉李華(譯)，《胡桃裡的宇宙》，大塊文化，2001。
8. 史蒂芬·霍金(著)，郭兆林、周念縈(譯)，《圖解時間簡史》，大塊文化，2012。
9. 史蒂芬·霍金(著)，郭兆林、周念縈(譯)，《大設計》，大塊文化，2011。
10. 史蒂芬·霍金(著)，郭兆林、周念縈(譯)，《我的人生簡史》，大塊文化，2014。
11. 吉蒂·弗格森(著)，蔡承志(譯)，《時空旅行的夢想家－史蒂芬·霍金》，時報文化，2013。
12. Lee Smolin(著)，丘宏義(譯)，《量子重力》，天下文化，2003。
13. Brian Greene(著)，林國弘、侯孟奇、朱祖慧、蕭祺哲(譯)，《優雅的宇宙》，商務印書館，2003。
14. 丘成桐、史蒂夫·納迪斯(著)，翁秉仁、趙學信(譯)，《丘成桐談空間的內在形狀》，遠流，2012。
15. Clifford A.Pickover (著)，黃啟明(譯)，《黑洞旅遊指南》，年輪科學，2003。
16. Discovery 頻道，《摩根費里曼之穿越蟲洞——黑洞謎團》。

# 波粒島旅遊指南：物理營總召心得

✧ 物理三 曾德維



↑2014 物理營的外套 logo (郭宇安設計)

這次的物理營的構想，大概發軔於宿營時。最早主要是賴致雍，林琪皓，陳奕先，郭宇安，林聖恩和我這幾個人，因為注意到宿營籌備過程不盡完善之處，或宿營結束時還意猶未盡，那時常聚在一起打打嘴砲。雖然僅限紙上談兵，卻也成為物理營的濫觴。

當時我們結論，一個營隊除了活動本身好玩以外，“**故事性**”也要夠強，才容易留在小隊員的記憶中。於是陳奕先提出了幾點，算是造就了這次的物理營吧：

1. 故事設定在一個小鎮，都是課本裡的著名科學家的後代。營隊中所有的工人都是這個故事裡的腳色。
2. RPG (角色扮演) 有多個支線，卻沒有任一個占主導地位。小隊可以選擇派系。

我們覺得躍躍欲試，而幾次討論後，想起波粒二象性(wave-particle duality)這項物理史上的經典論戰，恰好可以從枯燥的爭辯搖身變成絕妙的背景故事，於是確立了本次“營包”——營隊故事的主軸。

\*\*\*\*\*

說了這麼多，我只是不免要自誇一下，這次物理營不同於一般營隊之處——至少與我參加過的相比：

#### **1. 故事性強烈。**

我們的營包劇是由一個完整的故事組成。相較之下，一般的營包劇通常不連貫，甚至完全缺乏，僅偶爾以簡短的串場充數，例如說“那麼現在開始玩大地遊戲！”之流。

#### **2. 每個工人，從頭到尾，都是故事裡的一個角色。**

例如說“牛牛頓”是裡面的一個角色；他的演員，從大地 1，RPG，到大地 2 每次的出場，都以“牛牛頓”的面貌與小隊員相見。這樣小隊員就會漸漸加深對他的印象——不論是喜歡，厭惡，或可笑——至少不再陌生。

至於一般營隊，工人會分飾多角。例如大地遊戲的關主，也是 RPG 的警察，或“逃走中”搖身變成獵人。這樣的安排一方面使故事性顯得薄弱；另一方面小隊員不容易與之熟識，甚至到營隊後期仍相當陌生。

#### **3. 活動之間有連貫性。**

例如，RPG 結束後他們製作的一個武器，能以大地 1 獲得的道具提升等級，又在大地 2 派上用場，並配合營包劇情節。相較一般的營隊，大地遊戲通常只是個獨立的遊戲，RPG 又是完完全全不同的故事。而每個活動的目的就是賺取分數，整個營隊實質上流於“比出總分高下並頒獎”而已。

我敢說營隊整體的連貫性相當不錯。美中不足的是，教授演講，作實驗還有晚會，這三個活動還是沒辦法被融入故事。

#### **4. 小隊員融入故事。**

小隊員的定位是，來到 Pauli-Island 的訪客；所有角色都不知道什麼是小隊員，然後經過一連串的事件，得知他們是光子。光子有波粒二象性，這使得波粒兩派就和解了。這個安排除了趣味以外，重要的是增加小隊員的重要性，甚至融入故事全局。另一方面，一般的營隊中，小隊員常常是局外人，起碼未擁有明確角色定位。

#### **5. 每個活動的負責人都很罩！**

最後我得說，本次營隊的活動內容特別好，不完全是我的主觀：成功的關鍵是，每個項目的負責人都對該活動內容相當有經驗，甚至說拿手。例如大地 2 不但困難而複雜，但交給致雍，這種經驗豐富且細心的人，就把整體規劃得很好。還有其他人，恕不一一列舉囉。

\* \* \* \* \* \* \* \* \* \* \* \* \* \* \* \* \* \* \* \* \* \* \* \* \* \* \* \* \*

一個營隊要好有太多的因素：營包有趣，活動好玩，表演精彩，實驗跟演講引人入勝，是必備的；但是小隊員間，與小隊員與工人間，的感情，甚至伙食的品質，下榻的是否舒適，每

一項都影響甚鉅。

這些林林總總的要素接踵而至，我必須坦承以我有限的經驗，時常無法面面俱到。因為第一次當總召沒有經驗，我又很不細心，常常丟三落四，手足無措，甚至到死線才勉強湊合好事情。收到一些小隊員負向的回饋，多少讓人難過；也許我再爭氣點，可以使他們更快快樂地經歷這段時光。所以最不滿意的，還是我自己吧。

其他要改進的之中，主要是學術。我本身不是很學術性，但是跟我比較熟又有意願來幫忙辦物理營的同學，又恰好不那麼熱衷學術；遺憾的是，比較學術一點的大三同學都在忙。於是學術部的籌畫這部分我也就疏忽了。雖然最後也沒有出大紕漏，還是有些整體環節有待改進。

至於一些雜七雜八的，像是沒借到場地，小隊員有個性怪怪的啦，有些人覺得實驗不好玩或演講不夠難，還是活動太難懂或時間太長太累人...這些問題，每個營隊都會有的。畢竟，有一百個小隊員就有一百種看法：滿足所有的人是不可能的。

特別嚇到我的是一名小隊員的身心狀況——這裡就不明說了，但相信在場的工人應該都嚇到了。沒遇過這種情況，我們也就無法控制，因為從報名表上根本看不出來呀(攤手)。

但是真正的大問題，起碼不曾發生。我說大問題是指，例如在我參加過的某次營隊，有小隊跑錯關啦，坐在草皮上一直空等，過了三四個小時才有事作，結束時都凌晨了。

整體而言，我可以自豪地宣稱，2014 年的物理營，相較於我自己參加過的營隊裡面——身為小隊員或工人都算——最令人驚艷，最挑不到毛病的一次。看到 facebook 上小隊員或工人正面的心得文，至少表示物理營至少給了好些人難忘的回憶，也是一種肯定，總覺得辛苦都值得了。

另外我要特別感謝賴致雍，擔任系學會長之餘，還來物理營當副召跟四個活動負責人。對你感到有些抱歉，也感謝你幫了這麼多忙，教會了我許多東西。

\*\*\*\*\*

總召是個又累又煩的工作，況且學期間除了物理營以外的事情，也就自顧不暇了。雖然如此，從中學到了辦活動的方法，與人共事的經驗，這些都是學校不會教的事(<—我好八股喫)。既然成果算是令人滿意了，我也就可以順理成章地功成身退；總之短時間內，也許不會像宿營結束的那刻，有滿腔的熱血想再辦營隊了吧！

除此之外，最關鍵的是...慶功宴那家的肉真的好好吃，好吃到我都流淚了 OAQ 來辦物理營就有這種好康阿，你，還在等什麼？(我不是幫“火之舞慕品燒”置入行銷喫)

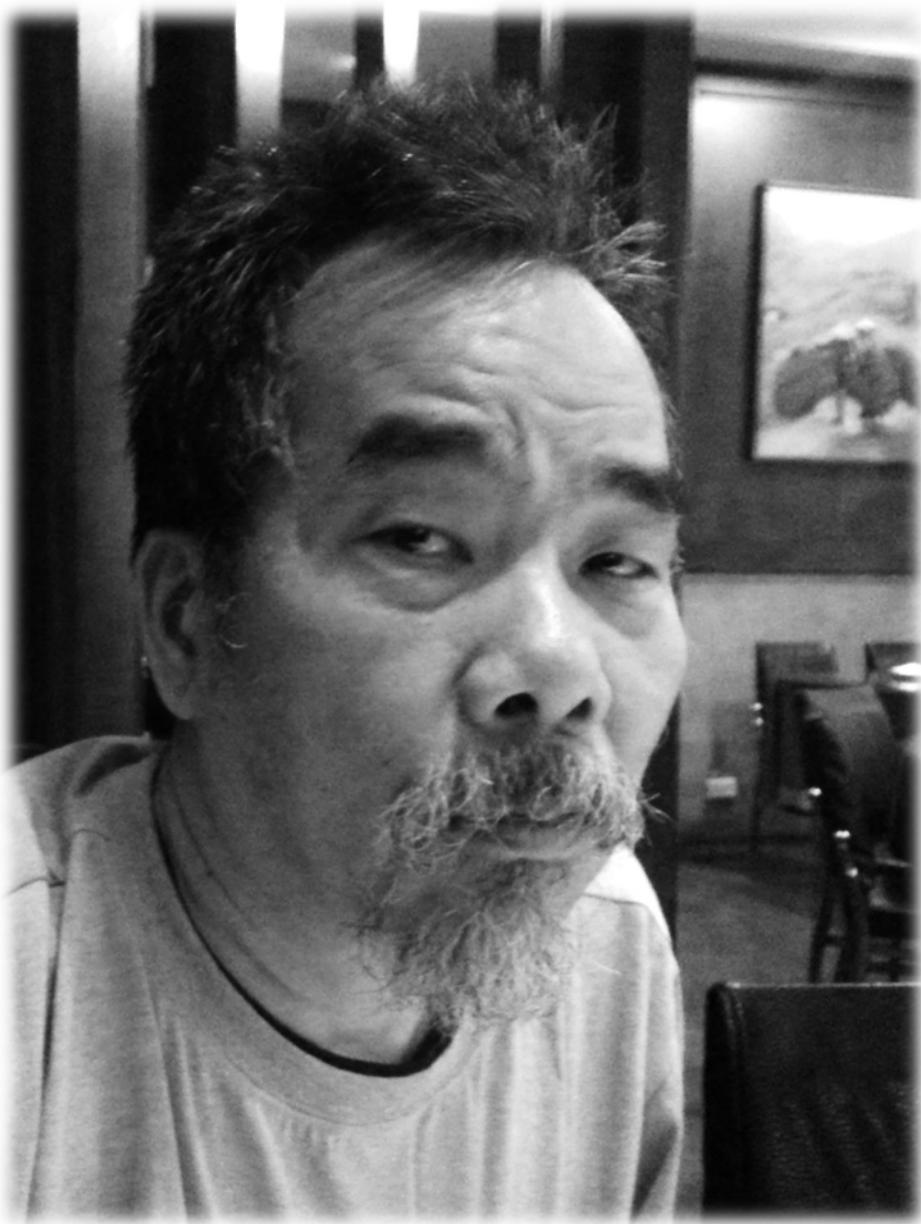


↑最後一天的工人大合照

# 不一樣的普物課：易富國教授訪談

✧ 曾可維/鄭子宇/歐柏昇 / 訪問

✧ 鄭子宇 / 紀錄, 創修



↑訪問當天在六樓休息室幫教授拍的照

5月10日，一個悶熱的晴天，我們一行人來到凝態館六樓的教師休息室；易老師早已倒好水在等我們。老師手裡抱著一本光學的歷史，和往常一樣穿著舊舊的T恤和短褲，完全沒有架子，像面對老朋友一樣，漫談物理，吐出年輕往事。訪談完已經一點多了，老師帶我們到新生南路上的翠薪越南餐廳吃午餐，還超熱心堅持請客！



↑訪問當天在翠薪餐廳合照

曾可維：教授主要研究的是？系上研究光學的比較少；為什麼會想選光學？

易富國教授：我只是選了一些跟光學有關的作為工具。光學是很廣的東西，也有它的傳統。但是我沒有發揚光大——

曾：教授別這樣說。

易：——甚至連薪火相傳都有問題(苦笑)。多半都是應用。但越來越萎縮了。

曾：我去化學系修課，突然好奇為何物理系沒有很多光學的教授。連普物自己都沒把幾何光學教完。我對量子光學有點興趣，希望以後能作管希聖教授的研究。

鄭子宇：老師年輕時，有沒有什麼啟發您對科學的興趣？

易：十歲左右我看了牛頓傳，其他就想不起來了。中學時候聽到四維時空，覺得太奇怪了，到

底是什麼，就直接去看了愛因斯坦寫的一本介紹狹義跟廣義相對論的書，裡面沒有什麼數學，滿容易懂的。

鄭：高中的時候已經確定方向了嗎？

易：高一的時候我已經把微積分看得差不多，我就開始讀費曼物理講義(Feynman's Lectures on Physics)，可說是我的啓蒙吧。那時就確定要念台大物理，也順利考上了。

鄭：高中的時候有沒有作什麼瘋狂的事？

曾：老師真的有從椰子樹上滑下來，把兩隻手都磨破了嗎？坊間還有很多這種傳言。(大家笑)

易：(忍住微笑)這個，關於這個我表示沈默。

鄭：那時候就堅定未來要走物理了嗎？

易：沒有。其實我對經濟學也是有興趣。特別影響我的是施建生老師開的經濟學：他是熊彼得(Joseph Schumpeter)的弟子，對經濟思想史很熟。

物理方面反而沒太用功。我大學時代幾乎沒在物理系上過課。當然我還是有苦練[習題]，但不是特別有興趣，最後總平均才六十多分。你讀了費曼的書，品味就會變得太好了，甚至看其他人的書都覺得乏味。

鄭：那個時候就決心繼續求學嗎？

易：我服完兵役，有做了三年的技師，幫忙準備大二的實驗。我大學成績太差，又不想教書，不知道該怎辦。但是 1970 年代——那時新竹科學園區才剛剛破土呢——標準模型(standard model)已經出來了，卻連 W 和 Z 玻色子都沒被發現，讓我覺得興奮。那時候跟高涌泉揪人組讀書會，卻也讀不太懂(傻笑)。

又作了三年四年，覺得這樣沒什麼搞頭，想換到新的環境。我第一年申請，一個學校也沒上。第二年，幸好有一個學校給我獎學金，[紐約市]哥倫比亞(Columbia)，剛好是我想去的。

開始到美國的頭三四年，跟一個年輕的教授 Stuart Samuel 研究 X Y model——這在液晶裡有些用途，可以算他的相變(phase-transition)的熱力學性質——但是作作也沒什麼興趣。我還是比較喜歡場論跟基本粒子。

歐：為什麼很乏味？

易：因為沒看出物理的核心，只是在計算。

鄭：後來呢？

易：就換了一個教授，Tom Marshall，和他研究自由電子雷射(Free Electron Laser, FEL)——就是讓電子束進入“空間週期性”的磁場，會做蛇行運動，可以產生很好的 X 光源，很有實用價值。

值。跟這兩個教授，前後各花了四五年，大概總共十年吧。

那個時候我常常一個人去紐約看戲和電影，也認識了一些喜歡戲劇的朋友。不過我只是愛看戲，不是演戲的料。大學的時候我演過《等待果陀》(*Waiting for Godot*)裡的乞丐。結果教授一聽就皺眉頭，我一聽就知道我沒有天分。

鄭：那時老師一直都單身？(大家笑)

易：對呀，覺得單身比較自由自在的。一直到前幾年朋友介紹認識才結婚。

鄭：老師博士後研究以後，就回台灣了嗎？

易：對。其實我對國外教書沒有興趣。那個時候冷戰，很多人待在美國，作的不外乎軍武研究。

可能貝爾實驗室(Bell Labs)，或是噴射推進(Jet Propulsion Lab)。我做的電子雷射，是雷根(Reagan)時代的新武器；星際大戰想像中的雷射也是從這個啟發的。做物理的研究跟國防常常難以切割，預算也是從國防部來的。但是我對基本粒子有興趣，就不想繼續做軍武。

剛回台灣，也沒有什麼研究的壓力。我對自由的環境比較嚮往。其實我一直沒有放棄年輕的研究。但是既然決定一個人回來台灣，我在研究方面就乏善可陳了。因為在台灣就沒辦法向美國一樣有好的資源，有時會覺得很孤獨。後來研究漸漸不是我人生中很重要的目標，我的選擇就是培育人才。

像是郭兆林[鄭按：最近因為設計望遠鏡偵測到重力波的物理學家]二十年前上的是我的量子力學。現在看來那時花的精神並沒有白費，至少沒有誤導他。學生的青春一旦被耽誤，就不能挽回了。教育的功能可以把一個人的資質提高很多。

曾：說到這裡，我覺得物理真的很難自己讀。現代研究物理的人這麼多，聰明的人也多如牛毛。光是前人累積的知識，學到二十五歲也學不完。

易：把基本的東西學好，不要貪多。你要知道重要的東西，不要忽略歷史發展。讀書的時候要可以知道這本書最後在講什麼，用一兩句來總結。

舉例來說，我大學的普物的書什麼內容都有，但是連個 entropy(熵)的物理意義都寫不好。熱力學很重要！愛因斯坦說所有物理中，最後崩潰的一定是熱力學第二定律。你知道黑體輻射(black-body radiation)公式怎麼來的？

曾：是 fit [擬合]的結果？

易：(猛搖頭)不是！(激動) 不是！擬合之後你還是不知道他的物理意義！

鄭：(插嘴)普化的時候是引入波茲曼因子來推。但是，最近上陳義裕教授統計物理導論，他有推了熵的形式，就是含有 log 的那個公式。波茲曼(Boltzmann)心裡先假設很多諧振子所具有的總熵，才猜出黑體輻射的分布。

易：對！假如一開始從微觀角度來介紹熱力學，就不知道這個歷史發展了。

再舉個例子。現在的教科書講相對論的時候，太強調羅倫茲變換(Lorentz transformation)了。如果從光速不變的現象直接推導，會簡單許多。費曼講義的狹義相對論部分，有一句話說，

“We know of no other place in physics where such a simple and accurate general principle requires for its real understanding an analysis in terms of two different phenomena....there does not appear to be any such profound implication.” [鄭按：II-17-1 節最後幾段]

這裡應該直接提到相對論性原理這件事，否則可以說是忽略它的核心，很令學生困惑。愛因斯坦 1905 年的論文一開頭就是法拉定感應定律啟發了他對相對性原理在電動力學裡的信心。

鄭：大一我上老師的普通物理，老師介紹了不少經典的論證。為什麼要讀經典，像是牛頓的書？

易：經典中的論證，都是以簡潔方式切入問題。同學覺得難讀，多半是因為不熟悉古典論證的風格。可是我們讀物理，大多是出於船堅炮利——要立即見效。

(向曾)你讀這麼多書，有沒有貫通？你有沒有讀過牛頓的書？

曾：沒有。我只有聽說過，但實在讀不太下去。

易：(向曾)你知道為什麼看不懂嗎？

鄭：(插嘴)因為他用的是希臘傳統。我國一的時候看了《幾何原本》(*Elements*)，覺得很有興趣，和《原理》(*Principia*)的風格類似。張海潮教授有把牛頓的書選譯成易懂的方式。

易：要看牛頓的書，那需要用到 Appolonius of Perga [鄭按：古希臘人]發展出來一些圓錐曲線的性質。**現在的教育很少提到幾何 insights**。大一的時候我選過項武義教授開的數學概論。他把所有的重要的數學思想都在一年內都叫了，對我影響很大。我也推薦他的基礎代數，幾何，解析學。

又如力學，重要的只有兩個：刻普勒問題(Kepler's problem)，和 loaded string [鄭按：一條弦上面有均勻質點，可以近似波動的現象，推出波動方程]。從前者可以推到氫原子；彈簧問題可以推到波動方程。這些不是一堆無關的東西。

**物理學家不需要知道很多數學，但是需要很深入。**向量微積分，線性代數，這些差不多就夠了。學太多數學，反而有負擔。從純粹的形式入手外，也要從物理的例子切入。很久以來，大家把物理問題當數學來解，這是不對的。反過來，解決重要的物理了，自然衍生出很多數學了。

歐：老師會不會覺得，高中的物理計算的太多，以至於有人可以只會計算但是不懂，還是拿到高分？

易：因為考試的制度要求明確的答案。

曾：我想很多人最後遇到物理就是高中或大一。如果他們之後不會再碰到物理，我們期待他們學到什麼？如果是預備未來會念物理系的人的知識，他們又應該學到什麼？

易：其實我的理念已經放在我自己的普物教學裡。**普物的教學要有一定連貫性，但不同科系也無妨有調整。**

如果他以後不會用到物理，這也不失為一個認識外在世界的管道，也讓他們有一定的科學素養。在美國中南部一些州，演化論是不能教的！相較之下，台灣已經不錯了。**通識應該讓我們反省一些深信不疑的價值**，至少在台大該是這樣。有的通識只是科普，但我希望通識作到更多。

鄭：我還是覺得科普的理想滿難達成的。我記得我小學一年級看《愛麗絲漫遊量子奇境》(*Alice in Quantumland*, 天下有中文版)，介紹了不少量子現象，但是不懂的人就是不懂；原來懂的也不會去看。

曾：搞不好有懂與不懂之間的疊加態。(大家笑)

歐：那科幻就可以給物理學家靈感吧！

曾：滿喜歡加來道雄(Michio Kaku)的幾本書。他在不違反科學之下，預言了科幻中的物理。——我個人在科幻社，有不少志同道合的同學：滿多物理系同學都喜歡科幻。——如果物理給我們十分的可能性，人類只能做到一分，剩下九分就是科幻。科幻可以衍生科學，因為幾十年前不可能的事情，現在都可能了。例如說霍金輻射(Hawking radiation)，給定出黑洞質量，衰變速率等等，有人早就算出餵核廢料進去之後，是否可以當成能源來用。還有人利用麥士那效應(Meissner effect)，預測高溫超導體會不會讓磁能時代來臨呢。

老師，我今天本來想問一些哲學問題的。物理學是在解釋這個世界，還是發現這個世界的規則？針對實在論(realism)的態度不一樣，如果不同理論各有優劣，選就不同了。實在論者，常常就可以接受弦論(string theory)，反之則否。

鄭：像是說地心說跟日心說它們各有優劣，但是從工具論來講他們都有效。面對理論不同，立場不同的科學家選擇也會不同。這樣子，我們心裡若沒有一個答案，怎麼能學物理呢？

易：我不是哲學專業，只好存而不論。我不想遽下定論這個實在論的問題，雖然我們都是嘗試瞭解這個世界。

鄭：有人說念物理比較沒出路，老師覺得？

易：為什麼會這樣說？物理系畢業可以去半導體產業，光電產業。相對於電機系，物理系學的不容易過時。

在我畢業的時候，物理系除了去教中學，沒有其他可能。1980 建立的半導體產業，1990 後期的面板產業，關於這些產業都有很大需求。大立光這種公司就需要光學人才啦。

曾：當初物理系就是我第一志願。那時覺得如果我一開始就念電機，恐怕不容易再做基礎研究。

還是從物理系學基礎的再開始應用，比較容易。如果我大三大四念一念得沒有感覺，那再去轉應用也無妨呀。

歐：老師覺得台灣物理的學術界發展怎樣？

易：產量很大，但是急功近利。很多論文都做出瑣碎的東西。像 SSCI 這種評鑑，只是衡量人的平庸。真正擲地有聲的東西還不存在。

像郭兆林，作了第一代[指望遠鏡]，第二代，都沒有結果，還是不放棄。這樣的氣魄，才能做出重大的東西。台灣沒有合適的客觀環境。

曾：收益越大，風險越大，這是經濟學講的。

易：人生多半是這樣，算是一種賭博吧。

曾：物理界中，有趣或待解的問題，有沒有教授特別執著或是好奇的？像是大家就算不親身去鑽入，也總是列出暗物質，暗能量這些重大的議題。

易：學物理的人心裡應該要有這個清單，但是我沒有。就是郭兆林的發現，希格斯玻色子(Higgs boson)，這種問題吧。現在越來越少了。

曾：我自己是覺得觀測問題很有趣，這麼久都沒有一個定論。牛頓物理發展了這麼久，也沒有遇到這樣難以解決的問題。如果根據傳統的哥本哈根詮釋(Copenhagen interpretation)，你在作任何事情就區分系統內和系統外，那放到整個宇宙，什麼是系統外呢？

許多人覺得這個方向很美妙，投入大量心力，但是在我看來這些努力最終還是不可驗證的。也許要靠近幾年來量子模擬與量子資訊的進展，可以解決觀測問題。發現真實世界的本質。量子計算可以快得不可思議，也是很有趣的。

鄭：可是目前只有幾個問題適合用量子計算，其他的你沒辦法隨意提取所要的資訊，因為輸出是機率的，而且觀測也會導致塌縮。

易：二十年前我有一個學生現在還在做量子資訊。這樣的夢想要花很久時間。像是說愛因斯坦對古典有一種莫名的堅持，一生都在追求隱變數(hidden variable)理論。雖然最後沒有成功，他一直質疑是好事，一直挑戰，讓量子論有很長足的進步。

鄭：還有沒有幾句話要給物理系同學？

**易：總之把基本的東西學好，不要貪多。你們都修太多門課了。一學期只要修三到四門就好，要下苦功，要寫習題。**

# 物理教授的民主行動方案：高英哲教授訪談

◆ 物理二 李宛儒 / 採訪、整理

(感謝 One More Story 團隊授權刊登本文)



↑四月一號早上高教授在青島東路為罷課學生帶來“街頭量物教室”。(攝影：施中右)

學生衝進行政院後兩天，我[高教授]決定執行自己的公民不服從——禮拜二[Mar. 25]上課時，我把量子物理課本中只寫到第二階的微擾理論，推導到第十階。我就花了兩個小時，在做這件完全不重要的事情。

事後就有同學問說他們想做一點事情，但不知道該怎麼辦。我給的建議是：如果你們要響應罷課，那是你們自己的公民不服從，你們要找到足夠的人一起作出決議。

於是班上就有幾個同學開始籌劃。禮拜四上課時我讓他們開班會，花了大約三個小時討論要不要罷課、以什麼形式、要發什麼樣的聲明……後來大家決議罷課，我就尊重，讓那天停課，但我跟學生說我會把課帶到青島東路去上。

四月一號那天早上，我們到立法院旁邊，一開始用了半個小時左右準備場地，我們弄到了一個白板，開始上課前請同學念了他們的罷課聲明。雨下得很大，大家就撐傘或穿雨衣，利用NGO 會館前的場地來上課。你可以想像，在那邊上課效果一定不太好，但這就是我們以行動來支援學運。我原本以為只有五六個人會出現，結果現場還是來了快要二十個同學，讓我蠻驚訝的。

當然有些同學不贊同罷課。一開始在討論要不要罷課時，就有同學表示認為沒必要。我也引導他們討論，該如何補償不贊同罷課同學的權益？後來他們在青島東路上課時就有錄影，讓沒來的也看得到。

我覺得這是一個很好的學習過程。其實學生開班會時，我蠻期待正反兩方的意見是可以勢均力敵的——最重要的不是罷課，而是你怎麼用實踐的方法，去學習民主是怎麼一回事：不只是少數服從多數，少數也有他說不要的自由，這整個說服和妥協的過程是很重要的。

在這次運動裡我能出的力其實不多，相信很多物理系同學也有相同的感覺。對我來說，這次運動最重要的就是去中心化——每個人都可以當成一個節點，去發揮、去想像這個未來應該是怎麼樣的。

比如說我會寫程式，很多同學也會寫程式，那麼臨時政府裡就有很多東西是我們可以幫忙的。你要怎麼把一堆資料變成可以輕易解讀的、比較有衝擊性的圖表？這就好像我們做實驗一樣：我們測量很多東西，要怎麼用有效的方法分析這些數據、把它表現出來？你如果要變成一個科學家，就是要去分析很多很複雜的資訊。我們現在有這麼多新的科技能幫助你找到訊息、分析資訊，就物理系同學來講，其實是很好的訓練。

身為科學家，我們遇到不對的事情不會退讓，這也跟這次運動的精神是一樣的。

- 高英哲是臺灣大學物理系教授。本學期開設量子物理課程。

# 歷史檔案：臺大物理系量子物理修課學生罷課聲明

臺大物理系量子物理課程修課同學經開會討論達成共識，決議更改該課程之上課方式。

自三月十八日學生佔領立法院消息之一出迄今的這段時間裡，同學們的心早已是“振動袂定”，然而說振動其實更是“震動”。這段時間裡，我們看到許多的老師都已打破沉默、挺身而出——我們的國家正走在這樣的一個關口上，屬於人民應該決定的未來，竟遭當前政府以小丑式的闖關佐以鴨霸式的包裹這樣“反民主”的程序硬生否決。

然而如果不是當前政府其手法如此驚駭，也不會讓我們憬察到原來我們的國家正“加足馬力”衝向一個我們無法信任的未來。臺灣的處境或許舉步維艱，然而我們相信因此更要步步為營。馬英九總統在立院遭佔的六天之後終於回應，強調《兩岸服貿協議》已是臺灣唯一的出路，我們不禁要問：如果臺灣真的已經窮蹙其途如斯，我們難道不需要更多的共識以及謹慎來走度此關嗎？

豈料，我們的憂心還未釋，三月二十四日凌晨展開的驅離已先令我們心痛。昔日的江宜樺老師甚至能容忍“暴力”的抗議，因為正如他所說，“如果一個體系宣稱自己是民主體制，但是它對成員的訴求沒有認真回應，那麼抗議是有正當性的，哪怕是暴力的抗議。”

然而今日的江宜樺院長卻為了其辦公時間之不可一刻或延，竟不惜請離驅離現場的媒體，遮住我們大家的雙眼，卻只讓事後聽聞現場情況的大家更無可忍。昔日的江宜樺老師到了今天難道已經忘記他自己的話：“手無寸鐵的抗議者如何能完成‘流血的革命’？而靜坐前還拼命在訓練義工維持秩序的人民運動，為何要去為軍警的武力鎮壓及不特定支持者與反對者的衝突負責？”

余英時院士關注此次運動，特別提醒我們：“這次公民抗議是一場保衛並提高臺灣民主體制的運動，對於人民和政府具有同等的重要性。”臺灣的民主之珍貴大家都有同感，可惜其理想主義今日仍嫌稀薄，於是乎才會面臨今日之危機。在這樣的情況下，學生的參與必須當仁不让！故我們以此聲明譴責有關當局之過當手段，並響應臺大學生會之號召，以自主罷課、積極介入的方式，聲援堅守立院之學生，更籲請當前政府正面回應我們的訴求：

**一、落實國會監督，兩岸協商監督法制化：亦即，立刻推動制定兩岸協議監督條例。**

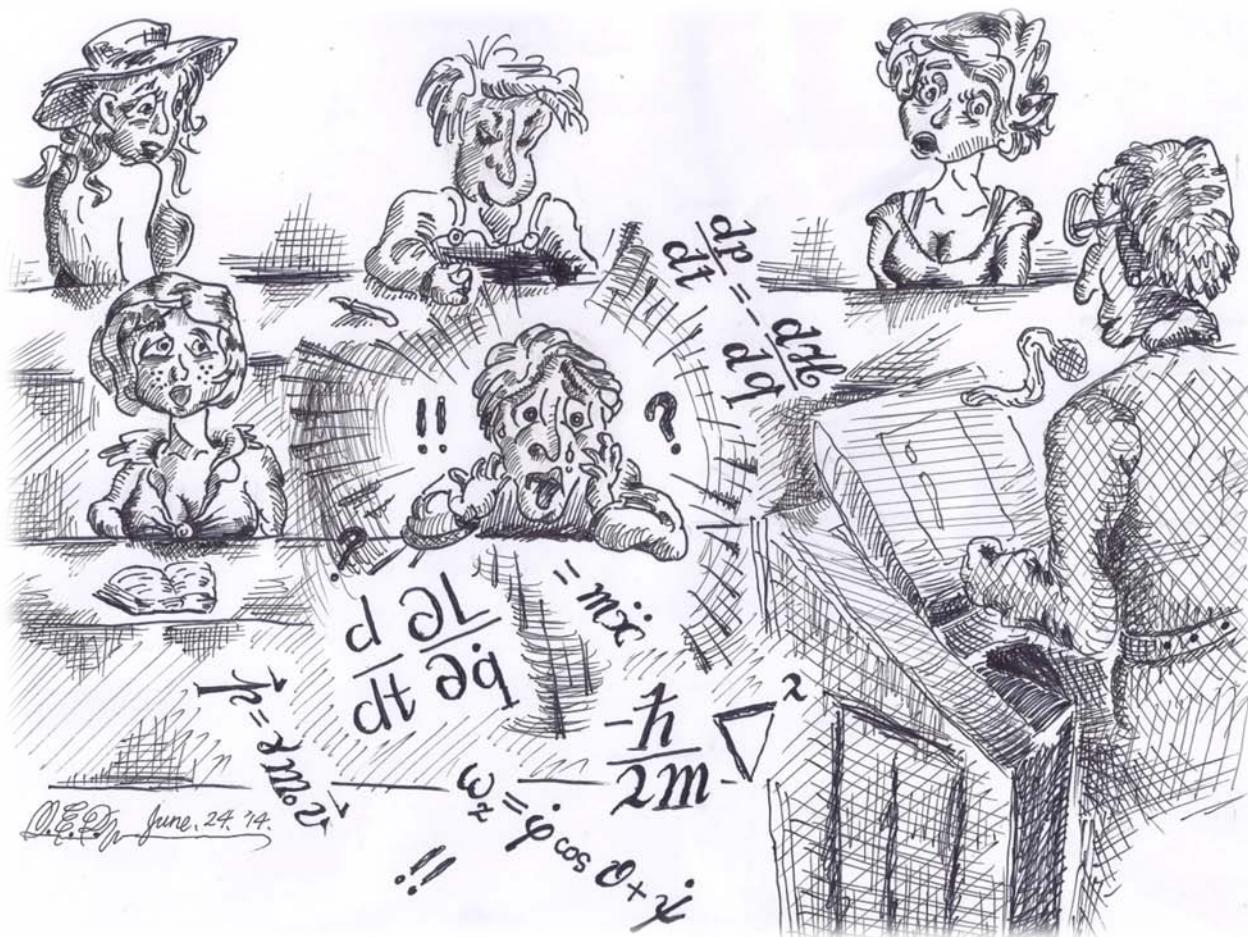
**二、法制化完成以前，服貿協議不應審議。**

**三、譴責“國家暴力”：政府須負起其關乎暴力鎮壓之責任。**

民國一〇三年三月二十八日

# 那兩年大二，我在物理系

✧ 大氣二 陳品全



在升上大二的那個暑假，我向學校提出了轉進以及雙主修物理系的申請，但是無緣錄取。然而經歷一年在工科海洋的時間，我發覺自己絕對不是適合讀工學院的學生，物理始終還是我最想要讀的科系。所以我決定把工科海洋大二的課全部退掉，去修讀物理系大二的課程。

還記得校內課程初選的時候，物理系的必修課因為會擋外系生，所以只選到了手球校隊和一門通識。幸好後來必修課的老師們最後都同意讓我加簽，不至於讓我真的變成在讀台大手球系。那個時候我選到的必修課們是力學、電磁學、應用數學二、以及電子學(以及實驗)。

在開學的第一天，我一個人坐在楊金豹演講廳 [物理系一樓的教室] 的角落，周圍幾乎沒有一個認識的人，除了大一同樣是工科的瀚文，以及同樣是從成功高中畢業的昱名和書璋。那時的我十分懼怕物理系的學生會因為是全台數一數二最強的系而驕傲自大而排外，所以整堂力學課都很緊張，幾乎沒有在聽課。

老師後來出了作業；我看了之後簡直傻眼，因為這等級根本跟我大一時修微積分的難度完全不同呀！當時用的課本是 Marion & Thornton，老師每次出作業都是出 10 題題目，難度變化很高。於是我就問昱名，“欸，作業你都會寫嗎？我...我覺得好難。”結果他說，“不會啊，這些都是作業，不都是讀一讀就該要會寫了嗎？”我心中一陣淒涼。作業通常有幾行就寫得完的，但也有就算有解答也懶得抄的。不過為了 A+ 還是勉強的寫完了。

當時除了力學，另一門也很讓人崩潰的課就是電磁學。電磁學是唯一有分班的必修課；最初在選課的時候，我曾猶豫應該要修比較甜的雙班，還是難度較高，而且分數是常態分佈的單班。後來我選了單班，去聽擁有“人體積分器”外號的男人——蔡爾成老師的電磁學。第一章只是介紹數學工具，聽聽覺得還跟得上就沒換去雙班了。沒想到到了第二章的時候，出現了更多不熟悉的數學，有時候上課聽一聽真的覺得很坐不住，因為自己程度不夠根本聽不懂。於是到了後來期中考，不意外地，考炸了。

說到電子學，我不得不提一下朱士維老師。他是一位相當陽光的老師。他的教學方式與其他的老師非常不同，互動性非常高，也常跟我們分享許多課堂外的事情。只可惜電子學這門學問並不起我的興趣；據說當時物理系上喜歡與不喜歡電子學的學生各佔一半。[鄭子宇按：不要以為電機系喜歡的比率會比較高...]也幸好我沒有繼續在工科修課，不然這類偏向應用的學問恐怕會讓我無法負荷。

學期結束時，成績為：力學上 A，應數二 A-，電子學 A-，電磁學上 C+。對於想要轉系的我來說，這是相當危險的分數。不過反正也不回工科了，那就乾脆就繼續把物理系的課程修完吧。

\*\*\*\*\*

轉眼間便到了大二下，物理系同學們都忙著籌劃物理之夜的演出。當時本彥問我要不要去串場劇客串，我覺得好玩便答應了。他們給我的角色是那時很夯的機車行老闆平偉，而台詞只有一句：“你是在大聲什麼啦？”結果後來串場劇發現還要再加劇情，我的台詞從一句，變成幾句，最後變成好幾幕都有戲份。而角色也從平偉變成了某個邪教的神棍。隨著物夜逼近，串場劇的約練次數也越來越多，我也跟物理系有了更多交集，感覺也不再像是單純只來修物理課的外系生。

大二上的我因為跟物理系不熟，讀書基本上都是在總圖 B1。但是那邊的空氣品質很糟，而且課本的內容看了好幾遍也看不懂，最後都變成是在昏昏沉沉之中度過，然後回家繼續睡。物夜結束了之後，我開始喜歡在 102 讀書。在這裡可以與物理系的朋友們打屁聊天，讀書遇到問題也能跟神手們討論，不必再一個人獨自在總圖 B1 想破頭卻也想不出所以然，讓我當時在人際與課業上都被某種程度上救贖了。

同時，電磁學從無聊的靜電靜磁進入到了動電動磁的 Maxwell Equations，讓我看到了對稱性的美；力學也在講 Lagrangian & Hamiltonian mechanics。雖然完全看不懂 Marion 的證明是在寫什麼東西，但是 Lagrangian 和 Hamiltonian 的實用性確實讓我驚艷。

只可惜學期末出來的成績仍然不盡理想：力學下 A，電磁學下 B+，應數三 A。我清楚認知到以這樣的成績，物理系願意收我的可能性實在不高，於是又報考了轉學考。結果轉學考只上了大氣系，轉系和雙主修也都沒有申請上物理系，一樣是降轉到了大氣系。後來知道自己轉學考只差 2 分就可以上物理系時，我真的很不甘心。但我心裡也知道，很明顯沒有盡全力去拚。所以我決定再給自己一次機會，但這次不能再天真的以為只要去讀就有用，更重要的是成績。況且經過一年電磁學的訓練，我的數學程度好歹也有提升。

\*\*\*\*\*

雖然已經當了一年大二的學生，但是當物理系的同學們升上了大三，我還是只能當一個大二的學弟，跟學長姐們一起修課。由於希望可以早一點去做理論專題，我並沒有去修應用數學四，而是去修賀培銘老師開的量子力學。其他的則跟大三的學長姐們一樣，量子物理、熱物理、以及基礎物理實驗。

其中量子力學和基礎物理實驗真的很令人崩潰。量子力學使用的課本 Weinberg，坦白說對我來說真的太難了。加上因為是初版，書中內容錯誤百出，而且整本課本連一張圖都沒有，讀起來真的很痛苦。至於基礎物理實驗，則是因為有許多實驗原理都是從未接觸過的知識，寫起報告來格外吃力。量子物理則因為我期中考考得實在太爛而停修掉了。四門大課中似乎只有熱物理是比較輕鬆的。

總之，大三上——其實應該說是第二個大二上，不過就簡稱大三吧——時間的分配大約是，量子力學：基礎物理實驗：熱物理 = 7 : 2 : 1 吧。也幸好最後成績出來都還有在 A 字輩，我才不至於過完大三上就放棄申請雙主修的希望。

\*\*\*\*\*

現在到了大三下，我選了更多我覺得有趣的課：量子力學二、數值分析與程式設計、相對論、統計物理導論、粒子天文物理之實驗技巧。

說到量子力學二，我轉到了高涌泉老師的班上去了。涌泉老師用的教科書是 Townsend，跟 Weinberg 一樣是新書。不同的是 Townsend 把量子力學寫得簡單易懂，理論講得非常清楚，讀起來比當初在讀 Griffiths 時更為舒適。而且最重要的是裡面充滿了圖片！這本大書雖然不便宜，但是對於我來說比 Weinberg 更能讓我了解量子力學。

數值分析與程式設計的授課老師是陳凱風老師，也是一位對教學充滿熱情的老師。我大一時在他系修的 C++ 與凱風老師的數值課根本不能相提並論。他的熱情帶動了我的學習動機，覺得程式並不單單是無聊的 debugging 而已。

然後最吸引我的的是陳義裕老師開的相對論。雖然前幾個星期是在講狹義相對論，但這釐

清了許多我大二時修力學時弄不懂的概念。例如：了解相對論裡面 Lorentz Transformation 不一定要用光速才能推導出來，而是有其他利用對稱性的導法；也讓我知道相對論並不會像是 Marion 寫得那樣 sloppy，好像很多東西都是突然蹦出來，然後就可以直接宣稱那是一個符合相對論四維空間特性的物理量。

現在學期並還沒有結束，我也不知道是否真的能如願轉進，或雙主修，物理系，但是不管結果如何，我絕對不會後悔在大一升大二暑假時所做的決定。如果那時仍然待在工科海洋，我想現在的我恐怕會比大一時更加抑鬱吧。

在物理系的這兩年，我不只學到了物理，提升了數學能力，更重要的是結識了物理系的同學們——好啦，是學長姊——以及學弟妹們。謝謝你們當初沒有排擠我這個自不量力想要在物理系拿 A+ 的物系生，甚至讓我參加物夜、物理宿營、物理營、以及系上各種活動。期望能夠名正言順的以物理系學生的身分與你們一同度過大學生活中的第四年。(我應該還有第五年啦，但那時你們大多都畢業了吧)

\*\*\*\*\*

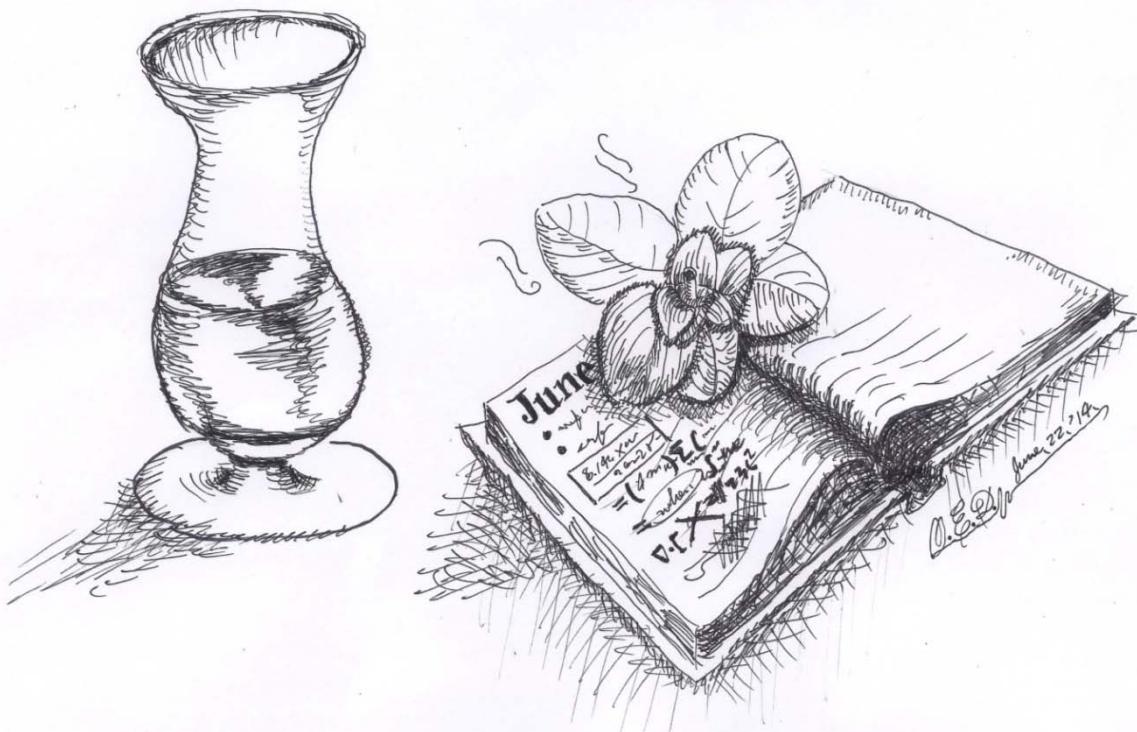
最後我還要說幾句話，給跟我一樣想要學習物理的外系生們。

如果跟我一樣數學能力不是很好的話，一開始讀力學和電磁學的時候會很痛苦。但是經過大量作業的摧殘之後會好很多的。然後如果大一沒有修線性代數的話，強烈建議上物理系大二必修以前要先學會線代的基本概念；個人很推 MIT 的線上課程。

另外，我也想說雖然教科書很重要沒錯，但是當有一本書看了很久都看不懂時，不要猶豫，直接去找其他的書來參考吧。像當時在讀 Marion 講轉動(chap. 11)時，我覺得他寫得真的是非常不怎麼樣，於是就找了 Fowles 來看就弄清楚了一些概念。[鄭子宇注：Marion 的書常常不會再推導前跟讀者說他大概要用什麼思路，所以十分費解。]不過有幾本書真的是非常推的：像 Griffiths 的電磁學和 Townsend 的量子力學真的都是好書。

# 引喻失義

✧ 物理四蕭維翰



大學最後一個學期的寒假，《時空》的編輯捎來一則訊息，與我討論是否有意願整理成文字，今年寒假在物理營分享的對於大學物理系教育的看法。我內心矛盾：既不希望自己一廂情願的理解貽笑大方，卻又奢望畢業前能，再次在系刊上，忝署自己的名姓。周末，適逢安排好的一趟南返，我與友人在成功大學午後小聚，便以此事為引。

大學路 22 巷的咖啡廳。揀了一個落地窗旁的座位。服務生送來菜單。我翻開筆記中謄錄的作業計算過程，利用零散的時間完善一些計算細節。五月日滿安平，鳳凰花城街道溽暑蒸騰，友人腳尖踏著行道樹的倒影而來，汗滿雙鬢。

“你記得我上次同你說，”我開口，“寒假作剛、穎任和我被物理營邀去經驗分享的事嗎？之後負責編輯《時空》的學弟跟我談了一下將這段對話轉化成文字的想法。

“這感覺很怪。相信過三個月我大概就可以，臉不紅氣不喘地，說出與原本的自己矛盾的論述。寒假時我也對聽者們坦誠，這是我最誠摯的允諾罷。你記得楊牧是這麼說的，

“歲月 / 是河流，忽陰忽陽 / 岸上的人不能追究 / 閃爍的得失”

“那麼隨波逐流載浮載沉的人又怎麼去評價與論斷呢？”

“不好意思。蘋果蜂蜜醋飲是？……”服務生送上兩杯飲料。

友人忙啜了一口醋飲解渴。雙臂拉得直直的，我又往後倒入沙發中。落地窗外陽光在路樹樹葉上翻滾，踏下金色的足印，翻進窗內，寄色澤於冷飲。重來又是三年。問訊湖邊春色，拜別了一城的鳳凰花，北問他鄉的杜鵑後，現下與窗外的阿勃勒對眼。重來又是三年。這條路，以前我常走，遇得上還沒結婚的化學老師在這裡挑衣服，偶爾吃麥當勞或喝星巴克。那個十字路口左彎勝利路就是宿舍——三餐都得走那條路的，什麼非慣性坐標、彈性碰撞的圖像，常常就是在行走時構思的，同時閃避阿勃勒的果實。

“你四月回來沒能細說，所以你究竟講了什麼？”友人說。

“記得我把題目命名得很玄，但主要是想闡述一些差異：進物理系前後到作專題這些階段對讀物理的想法。”

宿舍在分部。一條地道外，接著校區。紅樓外的小走廊是科學教育大樓，工作桌上散落電子元件、實驗樣品。鍍膜後還得送進高溫爐燒結，再送去成大給電子顯微鏡拍照。五年前有次實驗室內化學材料沒收好，醋酸味瀰漫教室整整一星期。還懵懂無知的年紀，只覺得新潮，彷彿昂貴尖端的儀器才得以測量、實證科學。

幾個街區外就是車站；金石堂、敦煌等連鎖書店列在路上，從波哥轉上民族路。天下版 Feynman's *Lecture on Physics* 中譯還沒出完的夏日，好幾個週末我窩在敦煌的二樓讀電與磁的分冊、觀念物理化學，腳尖輕敲地板，打出不休止的鼓聲。那幾年學物理我有很多想像、手繪的痕跡：最常操作的數學技術是三角函數，都是視覺性的。

“或透過參與一些科學、現象學的創造與觀測，”我繼續說，“如你我分別見證超導體的奇異，與一些無機、有機奈米材料基板的電性，抑或，透過流利地標記一些  $0$  角，描繪一些拋物線、橢圓，我們幾乎覺得——天真而自滿地——更深刻地認知了這個世界：“看！這就是衛星的脫離速率。”之流。對於自己藉由類似手法認識世界的能力及極限有了更深一層的想像。回想起來挺可怕，我們甚至在一年級時就上杜鵑花節宣傳這樣的想像。”

“那物理系的物理又是怎麼樣呢？”他問道。

“你是說，你也曾經歷過的……瑣事嗎？”

我吸了一口紅茶堤拉。裝飾的巧克力粉一呼氣就散在桌面上，細碎而繁瑣。

“進物理系，”我繼續說，“尤其是大二後，學習物理的認知好似被重新定義了一樣。也未必適應不良，但少時的想像就被扭曲了：我們不再畫力圖，直接寫下 Lagrangian 以及運動方程式，甚至各種曲線的古典圖像也被放棄了，被以一個路徑積分搪塞了事。這些 formalism 就像是成年禮：你非得親自解出氫原子光譜，證明每個以法文命名的特殊函數的正交關係，才算複驗了入門時的那投名狀。”

抽了一張衛生紙擦拭吹落的巧克力粉，一時間也沒辦法將桌面清得俐落，卻留下提拉米蘇的那種質地。“儘管，”我說，“物理訓練的本質更清楚了——雖然我們又如何斷言什麼是本質？——卻也轉移往別的花叢，一些人的寄託與殘餘的熱情。

*“So, we'll go no more a-roving  
So late into the night,*

*Though the heart be still as loving,  
And the moon be still as bright.'*

“Byron 是這樣教我們如何溫柔道別。其他人的離去甚至更堅決，揮手自茲去。”

“那你現在認知的學物理呢？”他又問。

“與其上綱到物理，我承認自身的經驗已經被窄化為理論物理研究的體驗。

“物理，作為一種現象學，其理論本應是瞎子摸象式地鋪陳。然而，這種哲學在形式化後的課程規劃內沒有機會實現：物理學被當成一門演繹式的學問，以邏輯為指導原則；這並不常是猜想、躍進的依據。

“進研究室體驗科研生活時面對的基本上就是大海撈針了。如洪銘輝教授所說：‘在 Bell Lab 你必須在六個月內變成一個項目的專家。’跳上第一線後，要學一個在 80 頁的概念，已經喪失從序言閱讀的權利了，必須從第 70 頁趕鴨子上架。或甚至透過直接與同行討論去汲取受用的概念與技能。

“我的確曾，兜售夢想式地，與人分享，‘你或許會成為地球上第一個知道某件秘密的人。’但生活的常態其實是忍受挫折與寂寞——無常如北國的雨水，只在南返的週末能撿拾阿勃勒的花瓣，能在此處並坐。不過，這總算是真實的，就像 *Before Midnight* 裡 Jesse 說，

“*It's not perfect, but it's real.*”

“正像我們意欲師法的對象一樣。”

“來這裡的車程上其實我有努力擬定一個詞彙去抽象化這些論述，或說再次故弄玄虛，兜來兜去；最後總算是擰出了一箇。”

“喔？”

“引喻失義。”

服務生收回空杯，並重拭桌面回它初生的乳白色，半張桌面流著日光刺眼。

“無論是認為自己適合什麼，或者對於一些客體有多餘的想像，某種意義上都是引喻失義。然而藉由摧毀想像與認知的重新形塑：見樹，見林，見樹，或許就能更迫近自身期待的真實。”

我們走在大學路上，在阿勃勒盛開的季節躲避不了陽光，四年一日。林禹暄在〈那些我們名之為島的〉一詩中寫道，

“而你是否記得，我們總是輕易地  
“用詩句引喻失義了自己？”

一首，我們太年輕時掉以輕心的詩。重來又是三年，而今我們再坐於南國的屋簷下啜茶，是否能不再對自己引喻失義？或許明日，一夢之遙，我們便足以細析見樹見林的層次，但當我們駐足河岸，也未必合適再追究這些得失，僅能在與友人的對話間，盡力重述，使之成文於雜記。

# 孟春夜酌總圖行 幷序

✧ 電機三 鄭子宇

吾友天龍 Jason Chien，屆期中考姑偷閒，facebook 揪團，夜酌假總圖階前。家國板盪，余傷懷感時，遂不顧粗劣，為文以志。甲午鶴公七年三月十四日。

蟬聲寂，椰林曳，蔽天浮雲自迤邐。君不見、路過表特吸睛，雪膚賽冰。君不見、雙載鴛鴦放閃，挽袖呢喃。展書玉顏猶相伴，蕭邦夜曲愀然。未罄 debugging，先聞鷗鳴。茉莉書店出清，小確幸。

黃湯下肚，台啤沁骨，齊將真言吐。憶輕狂、萬緒千言，換不成 s-domain。傲嬌最是月姐：聞八卦、附耳樽前，又恐素顏，急把花容掩。醉眼醺，步履逡，錯當 precession；笑看天津、繞箇圈兒巡。

Random walking 須問天，焉得漸近直線？未知 Hamiltonian——莫提初始條件！總憾緣慳，叵奈一廂痴情念念、卻掛牽。知不可得，貪戀黃粱夢迴刻刻，根本厂！SSCI 雖狀元，西歸豈得倖免？孜孜系 K 幾更天，廚餘終隨化遷。待昧爽、罷了洗梳，復次勞形案牘，積分導數。



# 三首詩

✧ 物理二 徐啟峻

## I. 佇

彷彿 曾經  
 印象中的印象 家門口  
 梯形的光出現黑色影子的山羊角 空洞張大的嘴是時間的洞窟  
 血是血

我聽到滴滴的雨聲

## II. 快

快來不及長大然後遺忘只是淡了就該向前至少是個方向哪裡並不重要至少不曾遇見比失去美

## III. 塚

夜深了  
 妳又在哪一顆星星下  
 睡著了

我以為下墜是美麗的  
 她  
 屏息以待

# 勇士

◇ 大 data

有一天，在小鎮裡有人貼出了一張懸賞，徵求勇者。原來，公主被綁架了。

小鎮們議論紛紛，思考到底該推派誰去惡龍的城堡裡，拯救公主。這時一位勇士走進人群，瞥了一眼懸賞單，便下定決心。他回到家，整理好隨身的裝備和珍藏的寶劍，踏上屠龍之旅。

一路上的險阻沒有讓他卻步；一路上的艱辛沒有讓他畏縮。一心只想拯救公主的他，斬斷荊棘，劈開巨石，往惡龍的城堡邁進。歷盡千辛萬苦，他來到了惡龍的城堡。不論自身存亡，他一定要從惡龍手中救出公主。

但就在他撬開了大門，準備與惡龍來一場生死決鬥之時，卻只看見了荒涼的大廳，和華麗卻空虛的各種擺飾。勇者翻箱倒櫃，打開了每一扇門，卻沒有任何一個人的身影，或是惡龍的蹤跡。

最後勇者走到了最上層，看見公主的房門。總算，他心想。他滿心歡喜想破門而入，迎接美麗的公主。

突然他看到門上有幾個字：

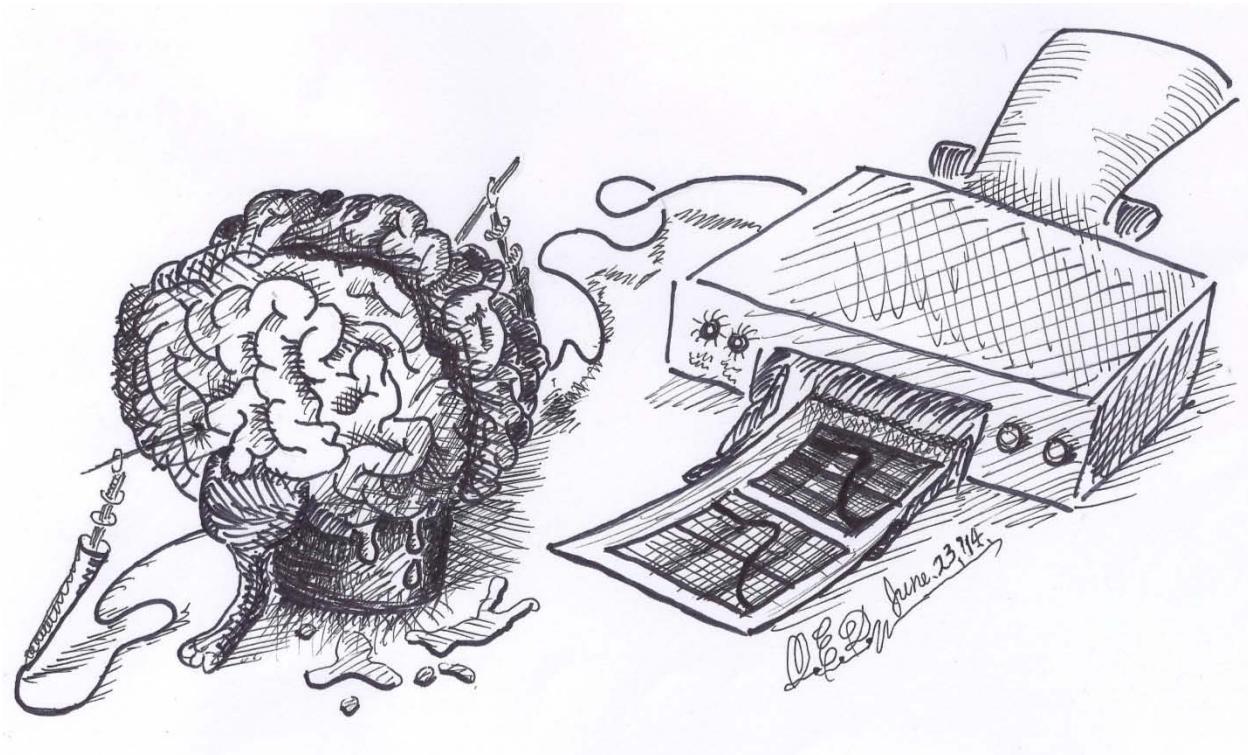
“如果是真的勇者，此門就自動開啟”

那位勇者的手握著，靜靜地，在門把上，不敢推開。接著他鬆手了，轉過身緩緩走下樓。

原來根本沒有什麼惡龍，沒有所謂的勇者懸賞單：——他明白了一——能不能拯救公主，唯一的關鍵是，他自己是不是那個勇者。

# 非線性時變系統

✧ 電機三 鄭子宇



今天的控制系統課，有一個分組報告題目是，給定一個系統(的 simulink 模型)，試測試它是不是 linear time invariant system (線性非時變系統, LTI)。也就是說，不同的訊號相加，其輸出會是分別的輸出相加嗎？今天輸出和明天輸出會一樣嗎？如果這種課本裡才有的事，真的發生，那你真幸運，因為理論上只要輸入 impulse，再把結果作 convolution，他的行為就一清二楚了。

實務上，我們只能輸入許多不同的方波，測試這些不同的頻率的重疊，是否都看似 LTI 的表現。即使這樣，還是不能確定每個頻率都是線性的，或它的往後表現都會相同。

我想起最近看的一本科普書，心理學家 Timothy Wilson 寫的 *Strangers to Ourselves*，介紹許多出乎意料的潛意識行為。人會受到 subliminal perceptions (意識尚不能察覺的感官訊息)影響我們判斷，並自圓其說地猜測自己的錯誤動機；無意識的學習促成熟練的自動化過程，像是腸胃分泌跟反射運動，卻不為我們所知；活躍易變的環境條件不知不覺孕育偏見，悄悄的改變個體的行為。

顯然人不是 time-invariant 也不是 linear。例如說艾莉絲滿足巴柏自以為的擇偶條件，巴柏卻

發現自己無動於衷。克萊兒昨天如癡如醉地拉著小提琴，今天卻覺得厭煩和噁心。丹尼爾發誓要以寫出最美的詩句為業，但過不了多久就結論這是浪費時間。

更糟的是，就算我們真有充分時間考察的話，連探究其 transfer function 的方法論都付之闕如。你看：為什麼我點了奶油蛤蜊麵，而不是青醬培根麵，真是神秘！我交出菜單的一刻，這麼滑溜溜，一下子就逝去了。我只知道我用紅筆畫了一橫，卻不知道那一刻我在想什麼——沒時間知道，不曉得要怎麼知道，更不曉得怎麼樣才叫“知道”。

從小我就害怕人類感性易變的一面——包括自己——而感到萬分恐懼。假如大多數人不這麼覺得，肯定是他並未體會到他有多不瞭解自己。他們不加思索地一個個幾近隨機的抽搐的真正因果關係，活在自己的泡泡裡面，糊里糊塗地隨著大風大浪擺動。

要是我不是 LTI system 該怎麼辦？會不會我其實是非線性時變系統呢？不只這樣，如果我不知道那些動機促成我的行為，那些邊界條件——機率地或決定地——貢獻了我的決定。這樣子，每個決定都令我心虛，因為“希望”“喜歡”等等用詞失去了意義。就像我在一個 equivalent class 上訂了運算，卻忘記它是 ill-defined——它的每個元素加起來的結果都不同——使得一整頁的手稿頓成為廢紙。

我們因為驚人的偏見影響決策，促成不公不義。看似簡單的“快樂”一詞的定義，變得噁心的複雜：我要怎麼權衡過去未來的迥異的價值觀，最大化我的利益？沒有一個量是共同的，沒有一個函數有良好定義。

效益一詞，從來都是人類的幻想。除非我們不論潛意識的影響來釐清喜好：但這恰好沒有意義的，因為意識只是一個巨觀認知現象：它從這些蟄伏的暗潮一小部份湧動，隨即浮現出來。移除了水面下的冰山，我們要怎麼喜歡？怎麼希望？

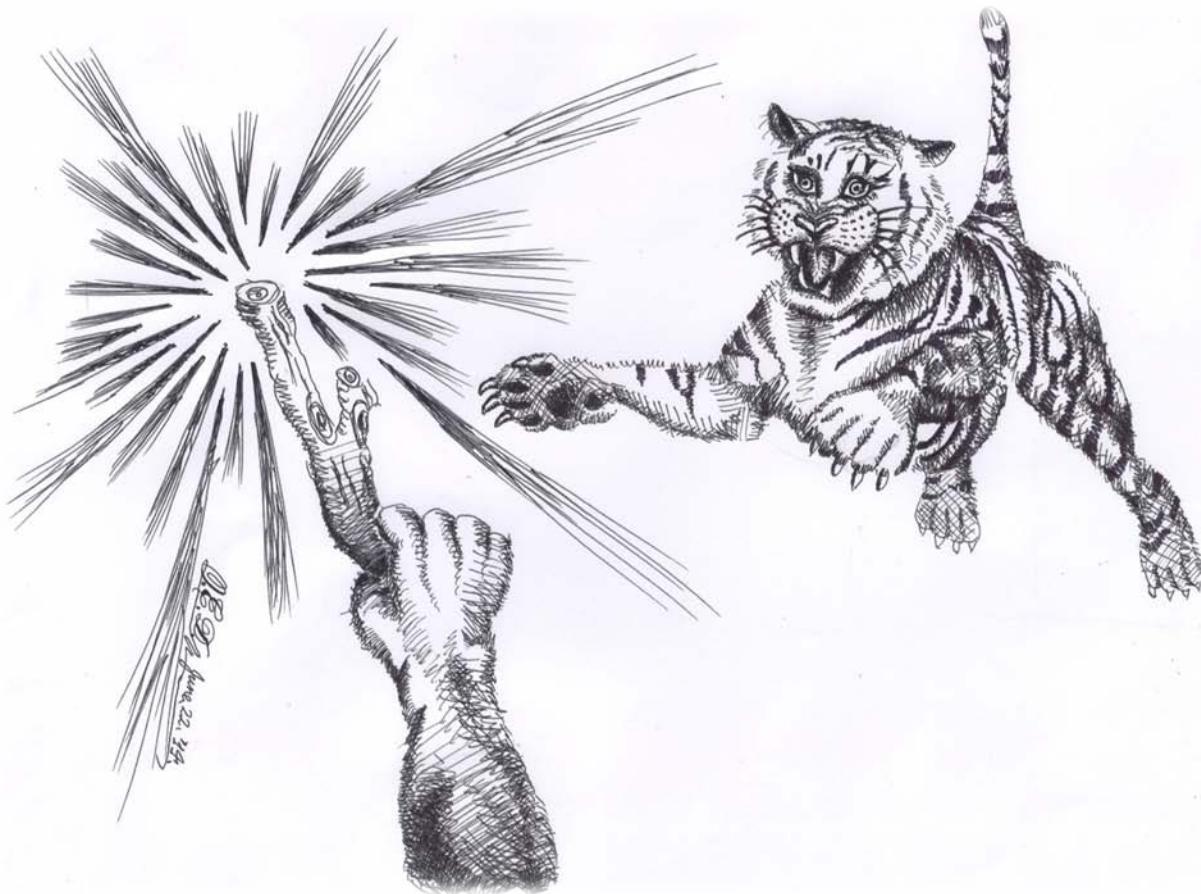
我想教育有一個功用，是盡量勸我們刻苦地自我批判，才能更接近一點 LTI system，並用最不具偏見的方式釐清自己。雖然這樣說，以上這些要點的方法論——這個人類幸福的關鍵——目前，即使心理學家，也所知有限。

也許有個形上學的可能世界裡面，這位老闆會盡量不因為第一印象影響是否錄用應徵者；那位大叔不用煩惱買哪件衣服給她太太，因為他可以清楚計算每個配件的貢獻；這位年輕人不用現在找了工作，以後會不會厭倦，因為他只要坐下來，掃描自己的大腦，選擇那些物理量要最大化，最後提筆計算機率。我好想活在這個世界中。

蘇格拉底天天勸雅典的路人，“了解你自己”(Know thyself)。過了兩千五百年，我們還是作不到。越想這些，我越覺得已經夠短的此生，顯得更無奈。我好痛恨自己也是個人類，注定是另一個發散的背景噪音，漲落的泡沫一角，隨機行走的草履蟲，卻還自大的以為知道，我是誰，我在作什麼。

# 達爾提斯島的星光

◇ 大 data



在電燈泡未被發明的年代，在黑夜中獲得光明的唯一方法是點燃火焰，讓火焰的光輝代替夜晚中缺席的陽光。然而不是所有人都買得起蠟燭或是油燈。一度，夜晚的光輝開始象徵奢侈，證明財富。除了在這裡——達爾提斯島，一個座落於高緯地區的小島。

在黑暗的中世紀歐洲，這是一個被隔絕於爭鬥和貪婪的純樸之地。離歐洲大陸有著一段距離，加上海上交通尚未發達，島民可說是與世隔絕，自給自足，有獨特的國家制度與民情。

然而這座島並未得到太多祝福。這裡潛伏著無數猛獸，島民常因為猛獸的襲擊而危及生命，每天都活在被野獸攻擊的恐懼中。

不過天無絕人之路：老天爺給了這座島的猛獸一個共通的弱點——光。只要有光，就可以驅逐猛獸，可以保護自己。

但在這島上，潮濕的氣候使木材不易點燃；燈油這類的東西，更是罕有的資源，所以普通老百姓很難在黑夜中利用火焰，避免野獸的侵擾。

於是這座島上的人民之所以能存活至今，的確是有原因的。

與當時世界各國都不相同，這島上有種獨特的職業“獵光師”。島民相傳古老的神秘魔法，可以藉由獵取天上的星光到特製的法杖上，作為照明。只要對著星星純熟地施展法術，便可以讓星星的光輝稍微黯淡下來，是法杖上的閃耀光輝取而代之。這可以持續三到四個小時，在黑夜中照亮環境。唯一的缺點是使用過後，這個星光並不會回到星星上面。也就是說，若對同一顆星施展過多次魔法，它就再也不會發光了。

永遠不再發光。

\*\*\*\*\*

“這樣子不對吧？”夜晚，在小木屋中學習獵光術的學徒，喬爾(Joel)，向老師父發問。“哪一天我們把星星的光輝全部拿完的話，不就沒有人可以在晚上出去打獵了？”

“鏘！”突然，老師父將手上的木棍丟向喬爾身上。

“老師，你為什麼要突然...打我啦，很痛耶！”喬爾說，摸著剛剛被砸到的地方。

“第一，我在上課的時候不准打斷我。”老師父說話的時候，碩大的鷹勾鼻因為要強忍生氣的憤怒，鼻樑有些抽動。滿臉皺紋、有著蒼白頭髮與嚴肅表情的他，板著一張臉，眼神中帶著靜默的殺氣。“第二，這是祖先傳了一百多年的魔法。這座島上四週的森林中都潛伏著兇惡的猛獸。他們唯一害怕的就是‘光’。如果沒有這個魔法的話，你爸媽...喔不，是你的祖父祖母們，或許早就死於猛獸嘴裡了，豈有你這傢伙在這裡大放厥詞。

“最後...”老師父一邊說著，一邊走近倒在地上的喬爾，用高傲的眼神看著他。”我收過的學徒中，從來沒有你這麼忤逆的學生。你最好給我珍惜這個機會，要當我的學徒，可不是這麼容易的。”

喬爾並沒有因此感到畏懼，反而用一種不屑的神態回敬了老師父。“可是，我爸媽說因為你是所有師父中收費最便宜的才帶我...”

“閉嘴！”老師父不等喬爾說完，直接對他嘶吼，為這場一面倒的辯論畫下句點。激辯的餘音還迴繞在這狹小的木屋內，老師父頭也不回地走出門，留下屋裡的喬爾，以及其他兩位看好戲的學徒。

“早知道就不要來這裡學獵光術了...”喬爾一邊站起來，一邊如此嘀咕著。摸摸自己的棕色頭髮，喬爾的臉上，因為跌倒在地，沾了一些灰塵，其高挺的鼻子，也因為被老師父丟出的木棍砸重而，多了一塊瘀青；清澈明亮的眼睛中沒有一絲恐懼，反倒是嘴角不禁露出微笑。

“喬爾你笑甚麼啊？你已經惹火老師父三次了還笑得出來啊。”旁邊一個身材有些矮胖的橘髮同學，比爾(Bill)，這樣子問著。

“沒什麼啦，只是覺得他剛剛生氣的表情很好笑而已。”喬爾笑道，整理著自己亂糟糟的一頭捲髮。

“欸...求你不要再惹毛老師父了，他一生氣的話，我爸媽所給的牛跟羊都會白費啊...”另一名高高瘦瘦的黑髮同學，山姆(Sam)，懇求著喬爾。

喬爾沒有回應，拍拍自己身上簡陋的衣服，走近火爐旁的木材堆中，拿起一根細細的樹枝。“你們先回去休息吧，今天打掃房間的事情就交給我吧。”他說。

“可是今天不是輪到你啊！”比爾這樣子問。

“哪一次我惹老師父生氣，他沒有叫我留下來打掃房間的？如果我不這樣子做的話，明天他又有藉口可以叫我做東做西了。或許我主動打掃房子他會比較快氣消吧。”喬爾笑著答道。

“那...謝謝你囉，喬爾。我跟山姆先回去了。”比爾扶起一旁還心有餘悸的山姆，兩人推開小木屋的前門，準備回家。

“掰掰！記得不要走進森林裡，很危險的。”喬爾道了再見，目送他們離去。

這是個簡陋的房子。老師父總是在小木屋的這個房間教導三人獵光術。除了牆邊的火爐以及木材，還有老師父剛剛教學時坐的小木椅，以及一張寫滿奇怪符號的木板之外，整個房間可以說是空無一物。喬爾眼前的那扇門似乎是老師父的休息間，然而老師父從來不讓他們三人進去，所以喬爾也不清楚裡面到底是什麼。

“還是先來練習獵光術，再開始整理房子好了...唉，又是一個不睡覺看日出的行程。”喬爾在心中盤算著。接著他開門，走了出去。

木屋周圍是一大片圓形草地，而在這之外，除了一條往市區，雜草叢生的小徑，就是黑漆漆的陰森樹林了。皎潔的月亮高掛夜空，沐浴夜晚的大地在月光裡。星斗閃爍著，炫目奪人，好像是天空的裝飾品。

喬爾走在草地上，抬頭看著天空，一絲感動油然而生。“多麼美麗的夜空啊...難怪王公貴族們要在絲巾上鑲上閃亮的鑽石，其實只是想把夜晚的美景私藏在自己的衣服上吧。”一個一個的亮點倒映在喬爾的瞳孔中，對他來說，沒有任何景色可以比眼前的一切更令他傾心。

“時常有人會問，”他又想，“自己是世界上第一還是第二美麗的，真是愚蠢...在滿天星空前，世俗的美麗顯得如此渺小而平凡。”他一邊把蠟燭擺在小木屋前，準備點燃，好練習獵光術。

“雖然說最不希望的就是讓這片星空消失，但是，因為我沒有一技之長...為了爸媽，還有家裡的生計，我勢必要學會獵光術，才可以在爸媽都退休之後繼續賺錢。我們總有許多理想，但是現實使我們不知不覺變得殘忍。”喬爾想到這裡，覺得無奈。

“直接對星星練習獵光術，可能會不清楚自己是否有成功施展法術！”腦海中，老師父上課所說的一切就這樣子迴盪在喬爾耳邊。“因此，我們利用蠟燭來練習。雖然這個木枝不能將光留住，但是只要蠟燭熄滅了，也許就代表著成功。現在用法杖太早了：萬一弄壞法杖，可不是幾隻羊跟幾隻牛賠得起的。”老師父嚴厲的表情依舊。“法術的咒語是‘溫克拉顛薩’”喬爾回憶罷，離蠟燭三公尺對準它，舉起手上的木枝。

“溫克拉顛薩。”堅定的眼神沒有絲毫動搖，喬爾說出了咒語。說完咒語的一瞬間，一陣強

風拂過草地，蠟燭也隨之熄滅。

“怎麼...唉呀，這樣子我怎麼知道我的咒語有沒有成功。原本蠟燭就只剩下一點點了，要再點燃好像有點困難。”喬爾懊惱著，但是也無法挽回。不過此時喬爾看到蠟燭好像還有一點餘光。

“欸，好耶！雖然只剩下一點餘光，但是只要成功的話依然可以看得出來。快點再試一次吧，趁還沒有風的時候。”喬爾滿心歡喜地再次舉起樹枝。

瞬間，喬爾突然回憶起第一次教獵光術時，老師父所講的話。“記住，是‘溫克拉顛薩’，千萬不要念成‘溫克拉顛赫’。”老師父的表情在那一刻產生了些微的變化，當時的喬爾說不上哪裡奇怪，只覺得老師父的眼神中似乎有意無意地在恐嚇他們。

“如果念成‘溫克拉顛赫’到底會怎樣啊，好想試試看喔...”既然好奇心可以殺死一隻貓，也就使他產生打破禁忌的念頭。“試試看好了，我想最糟的情況就是蠟燭爆炸吧！反正這支蠟燭本來就快用完了，沒事的！”

“溫克拉...顛赫！”即便一邊有些停頓，他仍念出了老師父禁止的咒語。

就在唸出咒語的那瞬間，喬爾的手突然感受到一股能量流動。從心臟，往手臂流去，再經過手掌，往樹枝尖端流去。如此的感受，他此生還是頭一次經歷。而他望向前方，突然一件驚奇的事情發生了。

“什麼...都沒有...”他看著前方：蠟燭燭心的餘光還是一樣地瘦弱，完全沒有任何變化。看來喬爾的新咒語若非失敗，就是根本沒有什麼作用。

“老師父可能只是怕我們念錯咒語吧。說不定這只是他年輕時常常念錯才提醒我們...又或者，我根本還沒有辦法施展基礎獵光術以外的咒語。”喬爾的眼皮垂了下來，失望讓疲憊變得活躍。現在倦怠的感覺爬滿他全身，使他打了個大呵欠。但此時睡眼惺忪，視線模糊的喬爾，看見一個不可思議的景象。

燭心的火焰正變得更加明亮，愈來愈強烈，愈來愈旺盛，好像一棵正在逐漸成長茁壯的大樹。

喬爾簡直不敢相信眼前景象。他揉揉眼睛，深怕是自己太過疲憊所造成的幻覺。但再度睜開眼之後，喬爾只看到，眼前的蠟燭好像回到被大風吹拂之前一樣，火焰如此旺盛，如此清晰。

“怎、怎麼會這樣子...這是照明術嗎？如果是的話，那我們學獵光術要做甚麼？還是說這是讓時空倒流的法術？到底...”

“你在作什麼？”，穿著灰色長袍的老師父打開大門，對著喬爾吼道。“這麼晚了，還不回去，在我的小木屋周圍逗留？”

“我，我只是...”

“還有，你拿這盞蠟燭想要作什麼？”說著，老師父把門前的蠟燭拿起，走到喬爾面前問著。

“我原本是想要，練習完獵光術，再去清理房間。”喬爾支支吾吾地說著，腦海中仍因為剛剛不可思議的景象震撼不已。

老師父看著喬爾，露出一副懷疑的表情，不太相信喬爾所說的話。“不老實的傢伙。不過你根本也沒辦法幹下什麼壞事吧！”老師父以不屑的口吻說。“既然要清理房間的話，最近我的書房有些亂了，你順便去幫我把灰塵清一下。裡面的書不准亂動，只要清理灰塵就好了。”老師父轉過身，走回木屋裡。

“等一下，書房在哪裡？我到現在只進去過...”

“就在你們練習房間的那扇門，打開就是了。”老師父說完，關上門，留下還未從震驚中醒過來的喬爾。

\*\*\*\*\*

“這書房，還真是有夠髒。”喬爾把手帕綁在臉上，摀住口鼻，一邊清理灰塵。“真不知道，老師父經過這個書房的時候到底是抱著怎樣的心情...”喬爾一邊在心底嘀咕著，一邊把某本書上厚重的灰塵拍掉。

油燈掛在牆角，為漆黑的書房提供唯一的光源。這是個四面都是書櫃的書房，書櫃上擺滿的是一大堆喬爾所看不懂的書。不只是內容看不懂，而是連標題都是沒有看過的文字。少數可以看懂標題的，例如說《煉金術》，或是《達爾提斯——歷史》之類的，都是他所不感興趣的類型。不過在老師父的命令難違，故他還是必須一本一本地拿起來，把灰塵清理乾淨。

其實真正的挑戰並不只是面對這些書本的灰塵。每走一步都會喀吱作響的地板上，充斥著散落四處的書。在昏暗的光線下，為了不踩到它們，他必須小心翼翼地留意自己的腳步，否則一不小心又可能會惹火老師父了。除此之外，他更將注意力集中在有沒有關於獵光術的書，搞不好可以解釋剛才的一切。

“到底在哪裡啊，老師父的書房不可能一本關於獵光術的書都沒有吧？等一下，脖子好癢...”突如其来的一陣癢的感覺，侵襲的喬爾的脖子。他伸出手想要去搔搔脖子後方，但手指尖端卻傳來奇怪的觸感，有點...毛茸茸的？

“到底怎...幹！大蜘蛛！”當他把手縮回眼前一看時，赫然發現手上爬著一隻體型龐大又多毛的大型蜘蛛。

本來就不怎麼喜歡昆蟲類的生物，現在看到一個可能會傷人，甚至是致命，的大蜘蛛，喬爾嚇得趕緊把他甩在地上。被嚇到的喬爾本來就已經心神慌亂了，這一甩又有點用力過度導致重心不穩，讓他不小心踢到旁邊的書本，狼狽地倒在地上。

砰的一聲，喬爾不小心把旁邊一疊書給撞倒了，發出了巨大的聲響。“糟糕了，等一下老師父萬一上來把我趕出去的話，我就沒辦法在這裡繼續找獵光術的書了...等一下，這是甚麼東西？”喬爾倒在一堆書本上，睜開眼睛。

擺在眼前的是一本與獵光術毫無相關的書《食譜》，因為剛剛的撞擊，掉在地上，翻開了某一頁。巧合地，這一頁夾著一張普通、有點破破爛爛的紙。但這張紙好像散發出一種魔力。喬爾有預感，事情的答案就藏在這張紙上。拿起眼前的紙，喬爾趕緊跑到燈火之下看看上面的文字。

“‘古老的文獻記載者，水晶的魔力可以治療所有病痛，甚至能夠起死回生。但召喚水晶所

需要付出的代價...’

“可惡，我不是要看這種遠古傳說啊！”喬爾略過這些看起來像是老師父筆記的文字，翻到背面。

“‘...溫克拉顛赫，是我...’對，就是這個！”一翻到背面，看到關鍵字的喬爾欣喜若狂。

“‘溫克拉顛赫，是我父親所教導我的，獵光術的相反，‘返光術’。”

“返...返光術！？”喬爾在心中驚呼。

“‘不過這是個無用的法術，至少我父親是這樣子說的。在這座島上，我們只需要將星光取下，不需要將星光還回去。一旦這樣作，下次再對那顆星星施展獵光術的話，效果便會大打折扣。但事實上這並不是個無用的法術，只要利用這個，再搭配最古老的強大獵光術，我們就可以將星星的光亮永遠留在這座島上。’”喬爾看著眼前的文字，感到不可置信。

“‘但是為了完成這件事情，必須找兩個人一起施展這個法術。這個古老的魔法會將天上的星光全部轉移到施法者的身上。雖然強大的能量會讓施法者失去意識，但是只要再利用返光術——這個法術將施法者身上的能量轉移到可以容納強大能量的水晶——就可以造就永恆的光芒了。於是能將島上所有可憎的野獸全部都消滅殆盡。’

“麻煩的是，返光術是只有年輕人才可以駕馭的魔法。現在我有三個學徒，我還在想要找哪兩個傢伙當替死鬼...另一個則必須負責施展返光術。不過這三個傢伙看起來都資質鴦鈍，我還在想到底需不需要再另外收學徒。不過今天，我發現—”

“喬爾。”

“啊！”突然間，一隻手搭上喬爾的肩膀，讓他嚇得叫了出來。轉過身，發現是老師父站在喬爾的身後。

“你看到了我的筆記對吧？”

“不不不，我不懂您在說甚麼啊！啊哈...我在...整理書房啊！”雖然緊張到開始胡言亂語，喬爾還是趕緊把手上的紙藏到背後。

“好了，孩子，不要裝了。”老師父突然露出慈祥的表情與平靜的口吻，和平常可怕的樣子大相逕庭。“光是你的語氣與平常叛逆的口吻不同，我就知道你在說謊了。”拍拍喬爾的肩膀，老師父看著微微發抖的他。

“我剛剛看到你施展返光術了。說真的，我是如此的開心，可以再一次找到能夠施展這個法術的年輕人。我的年紀大了，沒有辦法駕馭這個法術了，而以前的學徒全部都失敗了，但是如此叛逆的你，卻成了我最大的希望。

“相信你看完我的筆記，大概都知道我的計畫了吧！放心吧喬爾，現在你不會當那兩個替死鬼之一了。明天你去把山姆跟比爾找來，晚上我們就可以實現這項計畫了！”老師父說著，眼睛突然瞪得很大，在黑暗中顯得如此詭異。

“你想想，如果我們成功了，就把這塊水晶獻給國王，讓水晶高掛在王宮的頂端，不但夜晚再也不用為了燈光傷腦筋，也可以讓所有野獸消滅殆盡。”老師父的表情愈來愈興奮，喬爾

看見一種瘋狂的邪念在他眼中流竄著。“我們將成為永恆的偉人，在歷史中被記上一筆。你的家人會因為你感到榮耀無比的。反正這附近野獸這麼多，隨便一些理由就可以編造山姆跟比爾的死因，你什麼都不用擔心，好嗎，乖孩子。”

此時此刻的喬爾被徹底地震懾住了，這個頑皮的學生在此變得絕對地安靜聽話，現在，他頭一次對老師父感到真實的恐懼，對這份慾望的強烈感到害怕。

“答應我好嗎，讓我完成，我的願望。”老師父輕聲說。

喬爾盯著老師父，沒有辦法馬上回答。書房裡陷入了一片令人窒息的沉默，但老師父不肯退讓，容許此刻絕對的寂靜繼續侵蝕他的精神…

\*\*\*\*\*

“唉，我到底該怎麼做才好呢…”走在回家的路上，喬爾的肩膀很沉，似乎背了一個很重的背包似的，彎腰駝背的背影，好似承受了千年的苦擔。雖然非常不想，雖然是如此地反對自己，雖然知道要怎樣做才是正確的，但是他還是背叛了自己，答應了老師父。

路的兩旁是漆黑的森林，不過因為路旁有發出燈光的法杖佇立著，只要不要踏進森林裡，就絕對不會被野獸攻擊。

“比爾跟山姆…雖然說我跟他們才認識不久，但是要我眼睜睜看著他們送命…”喬爾的腦海中浮現出比爾與山姆的臉龐。記憶中的他們總是模糊的半透明灰色，沒什麼存在感，但是要親手葬送他們的性命，他的良知與道德還是讓他躊躇不前。

“唉呀，這樣子做是不對的…可是這也是老師父強迫的，我如果不這樣子做的話…”

“嘿，喬爾！”就在喬爾懊惱之際，前方跑來了一名女孩。

是艾莉(Ellie)。

“艾莉，妳怎麼這麼晚還跑出來？”喬爾有些驚訝地問著。

“沒有啦，我是偷溜出來的。”金色頭髮，綁著馬尾的艾莉笑著說。她圓潤的雙眼在黑暗中倒映著路旁的光芒，小巧的嘴掛著如月彎般淺淺的微笑。

艾莉是喬爾家附近一個專門收容孤兒的收容所中的小孩，年紀比喬爾還要小三歲。青梅竹馬的兩人曾是最好的玩伴，但是喬爾的父母卻只因為艾莉是孤兒的關係，不讓喬爾與艾莉繼續往來。兩人的交集隨著年齡增長，逐漸減少，甚至一個月也不一定能見上一面。

“院長不會生氣嗎？這樣子妳等一下回去又要被罵了。”喬爾有些擔心地問著。

“哈哈，因為我今天用剪刀把花瓶裡的花剪爛了，所以院長罰我打掃客廳。我打掃完以後想說時間也很晚了，所以就偷跑出來看看外面的風景。”艾莉拍拍身上灰褐色的衣服，的確有許多灰塵。

“剪刀？妳還留著那把剪刀？”

“是啊，我還隨身攜帶呢。”艾莉不以為意地說著。

“那太危險了啦，妳應該把它好好收著。”喬爾有些擔心地說著。

“不行啦，那是我媽媽唯一送過我的生日禮物耶，當然要隨時帶在身上啊。話說，我記得這個時候獵光術的練習早就結束了吧，你怎麼會在這裡呢？”

“我也是被罰打掃房間，所以到現在。”想起剛才的經過，老師父那陰沉的表情又打亂了喬爾的心思。

“你又被罰打掃房間了，還是一樣喜歡調皮搗蛋呢。”艾莉看見喬爾也跟自己落得一樣下場，笑得特別開心。

“別說了...”喬爾以冷漠的字詞回應，瞬間澆熄了艾莉的熱情。

“你怎麼了，心情不好嗎？”看著喬爾憔悴的眼神，艾莉擔心地問著。

“沒事，可能只是累了吧...”

“欸，那我也很累了，你可不可以跟以前一樣背我回家？”艾莉笑著說道，快速地繞道喬爾背後，跳了上去。

“唉呀妳...好啦好啦。”喬爾雖然表情看來有些無奈，但實際上，他的嘴角露出了一絲微笑。

“不過妳現在比小時候重多了。我可能背一下就把妳放下來囉。”

“才怪，是你的力氣變小了吧。”艾莉嘟著嘴，顯得有些不服氣。

“好好好，是我力氣變小了。”

“對吧，我沒說錯吧，你承認了！”艾莉笑得開心，她的喜悅感染了喬爾，暫時忘卻了其他煩憂。

“是不是因為練習獵光術的關係，讓你不像以前一樣整天跑來跑去，力氣才變小的？”

“才怪呢，如果因為這樣體力就變差，我以後要怎麼養家活口？”艾莉無心的提醒，讓喬爾又想起了老師父的命令。但在這個當下，喬爾決定要暫時不去管這些。

“嘿跟你說，後天就是我的生日。等我滿 14 歲以後，我也要去跟你一起學獵光術。

艾莉把頭靠在喬爾肩上，興奮地說著。

“妳年紀還這麼小，不可能的啦。”沒想到喬爾竟然一口回絕。

“我記得那個教獵光術的人收學徒的年限是 14 歲啊，怎麼不可能？”

“不要以為長幾個雀斑看起來就比較成熟，妳還只是個小孩子。”

“什麼，有這麼明顯嗎？真的有這麼明顯嗎？”原本有些睡眼惺忪的艾莉，聽到喬爾的話，嚇得睜大眼睛不斷逼問。

“嘿不要掐住我的脖子啊，快不能呼吸了我。”喬爾痛苦地說著，好像快要窒息了。

“不行，你先把話說清楚啊。”但調皮的艾莉說什麼也不肯放手。

“就像我說的啊，妳就是...”

“喂你看，星星好美啊！”這個時候，艾莉指著滿天的星星，發出了讚嘆。

在那閃耀著深沉靛藍的夜空中，群星高掛，耀眼無比。此時的夜空就好像一片綿延不絕的染布，而在這之上鑲嵌著的，是亮麗璀璨、五顏六色的漂亮鑽石。他們似乎在比賽著誰能抓住更多地上旅人的目光。此刻的景象是一幅畫，一幅任由你心中的幾何學來定義的美麗圖畫。你可以憑想像隨意在上頭穿針引線，創造出星座，創造出許多美麗的故事。

喬爾與艾莉看著星空，沒有說話。或許此時，安靜的欣賞更能勝過任何言語的讚美。背著艾莉的喬爾，慢慢地走回安靜的城鎮。雖然走在黑夜中，街道空無一人，但是因為艾莉的陪伴，他忘記了孤獨與恐懼。之前的鬥嘴與閒聊話語，讓他感受到一股能量注入心底，暖暖的，令他安心。時間悄悄地過去，但喬爾並沒有打算面對這關鍵的抉擇。活在當下的快樂，是他此時最大的奢侈。

“總會有辦法的...吧？”喬爾在心中問道。

\*\*\*\*\*

“這火腿真好吃。”比爾開心地說著，憨慢的語調搭配著瞇成一條線的笑眼。

傍晚在透映著夕陽餘暉的小木屋中，比爾、山姆和喬爾三個人，吃著老師父請的火腿。

“我肚子好像怪怪的，我不想吃...”山姆的五官糾結著，額頭上斗大的汗珠不停地滴落。

“真是可惜啊，都不知道幾年沒吃過火腿了。那我不客氣地拿走囉！喬爾不吃的話我也順便了。”比爾開心地道，兩手並用，準備將桌上的火腿一掃而空。

小房間裡罕見地擺上了木頭製的小圓桌，三人坐在小圓桌旁。山姆感到痛苦萬分，喬爾則是一語不發，神色凝重。

“喬爾，為什麼今天老師父要特地叫我們來這邊？”山姆一邊忍耐肚子的不舒服，一邊問著喬爾，眼神中顯露出懷疑。

喬爾的眼神飄忽不定，不敢正視山姆。“我...我不知道，昨天打掃完，要回來之前，老師父就這樣子跟我說。”

“你平常說話不會這樣子支支吾吾的，到底是什麼事情？”山姆激動地問著，似乎是察覺到事情有什麼不對勁。

“就說了我也不知道啊，要我講幾遍啊！”喬爾生氣地站了起來，與山姆怒目相對。

“唉唉大家不要吵了啦！老師父只是要我們幫他吃完剩下的火腿而已，就這樣子而已啊，你們為什麼要這麼大驚小怪啊。”比爾看到兩人的舉動，趕緊安撫他們。

“總覺得怪怪的，從今天喬爾叫我們來這裡開始，還有我的肚子突然痛起來...會不會喬爾想要對我們怎樣？”山姆跟比爾小聲說，沒有選擇繼續爭吵，坐了下來，又回到平時的懦弱表情。

“你自己身體差還怪喬爾哩！他只是傳達老師父的意思，他自己也說了他不知道要做什啊。”比爾拍拍山姆的肩膀說道。

突然這個時候，門外傳來急促的腳步聲。喬爾沒有說話，快速地走過去開門。一打開門，

映入眼簾的是老師父一貫的嚴肅表情。在他身後的夕陽搖搖欲墜，餘暉慢慢消散，留待大地逐漸被夜色籠罩。

“走吧，等一下有重要的事情。”老師父說著，示意三人跟上。

“老師父，可以請你告訴我們，今天究竟要我們做什麼嗎？”山姆發問，一反平日總是畢恭畢敬的態度。

“今天我們要實際練習獵光術，因此我們要到比較高的地方。”

“這…

“還不快走！”這個時候，老師父突然大發雷霆，提高分貝對著山姆大吼。山姆與比爾都嚇得不停顫抖，喬爾則用空洞的眼神看著老師父，面無表情。老師父對三人使了個眼色，轉過身離開。

\*\*\*\*\*

頭上的天空隨著時間慢慢變暗，星星們相繼點亮自己，照亮夜空。一路上的道路從平地，到最後變成崎嶇難行的山路，讓三位學徒步履蹣跚。但老師父無視艱困與崎嶇的道路，一路向高處走去，並不時回頭看看學徒們是否有跟上腳步。一路上老師父手中的法杖都燃燒著星光，讓他們在黑暗中不用害怕猛獸的侵襲。

“好了，到了。”走了許久，在一個地勢稍微平緩的地方，老師父停了下來。那裡，是一個眺望夜晚星空的絕佳地點。將頭抬起來，美好的風景盡收眼底。然而，在那邊等著他們的不只有今晚依然美麗的星空，還有一位白髮蒼蒼的老人。

那人與老師父一樣，有著滿頭的白髮，但是面容看起來十分和藹。看到學徒三人，他露出親切的微笑；臉上的大鼻子有些紅通通的，不知道是不是因為感冒的關係。

“嘿，肯尼(Kenny)，你來得也可真晚啊，這就是你說的三個小朋友吧？”老人向老師父問道，順便講出了老師父的名字。

“別說這麼多了，約翰(John)，直接開始吧。”老師父似乎沒有因為看到約翰而有任何表情上的變化，依舊維持一貫的嚴肅語調。

喬爾、山姆以及比爾站在後方，等待著老師父的指示。

“這是我一個認識很多年的朋友，今天你們要正式練習獵光術，我請他在一旁指導。”老師父對三人說道。

到了正式上場，三人卻一點也興奮不起來。縱使是一直都夢想著可以學會獵光術的比爾也顯得意興闌珊。此時，山姆慢慢地舉起了右手。

“怎麼了，山姆？”老師父的語氣聽起來有些不耐煩。

“我記得，老師你不是說，我們還要再至少上一個月的課才有能力駕馭這個法術嗎？”山姆的表情有些害怕，或許這是他第一次舉手發問才會這樣。

“我改變心意了。現在你們夠資格了，可以嗎？”老師父冷冷地回應。

山姆沒有繼續追問，他的眼神被恐懼所佔據，呼吸變得急促。或許他已經猜想到這並不是單純地練習法術。

“這是給你們練習用的法杖。”老師父走向三人，拿出藏在衣服裡的三根法杖。

“練習用的法杖，有這種東西嗎？以前不是都是用木枝當作練習用的法杖嗎？”比爾好奇地問著。

老師父沒有回答，只是回頭瞪了比爾一眼。這一眼，冷酷、嚴峻，不帶任何感情的威嚴，讓比爾不寒而慄，不敢再繼續問下去。

“現在你們三人對著天上的星星，隨便哪一顆都行，念出‘依達克姆斯’。如果成功的話，法杖上就會顯露出星星的光輝，就像你們以前看到的那樣子。”老師父簡短地說著，感覺有些隨便。

“但是咒語不是…

“我數到三，你們三個人就給我一起唸出來。”老師父不理會山姆的疑問，硬是打斷了。

“一！”老師傅喊道，對喬爾使了個眼色。

“二！”

“三！”

“依克達姆斯！”山姆跟比爾在這個瞬間對著夜空同時喊出了咒語。而喬爾沒有說話，慢慢地把法杖放了下來。

比爾與山姆轉過頭，疑惑地看著喬爾。不過就在這時，兩人手上的法杖突然間開始劇烈震動，讓他們嚇得不知所措。

“老師父，”比爾害怕得大叫，”我的法杖…我的手…放不開！老師父，救救我，我是不是咒語念錯了？”但是老師父只是在一旁看著，沒有說話。

“喬爾，這到底…啊…我…我……”山姆看著面無表情的喬爾，原本想要追問，但山姆跟比爾卻突然兩色蒼白，呼吸困難，連一個字都說不出來。法杖發出強烈的光芒，兩人的身上也散發出微弱的光輝。天上群星緩緩移動著，接著突然以非常快的速度向下墜落，好像流星雨一般。不過這場流星雨只持續了幾秒，又突然停住，接著匯聚成一道強烈的光束，從夜空中射向了比爾的法杖。

喬爾一看，發現在那個位置的星星，已經消失不見了。或是說，星光被完全吸收了。接著，黑暗中，數以萬計的巨大光束朝著比爾與山姆的法杖奔來，一次又一次，最後沒入地面。接著，速度愈來愈快，一道道光芒瘋狂地朝著兩人手上的法杖射去，“咻！咻！咻！”那聲音此起彼落，毫無歇息的跡象。強烈的能量掀起一陣強風，吹倒了附近的幾棵大樹。

過了幾分鐘，天上的星光已經消失殆盡，天色成了迷濛的死黑色。兩人手上的法杖從令人無法睜開雙眼的強光，變成微微抖動的光輝。比爾跟山姆依然站在原地，手拿法杖。但他們已經完全失去意識了。看著他們翻白的雙眼，那令人震懾的巨大光束和眼前陷入極致黑暗的夜空，喬爾的心中充滿著害怕和徬徨，完全說不出任何一句話。

“哈哈...哈...哈哈哈哈哈！”突然間，老師父發狂似地大笑。

“沒想到，這個法杖還真的可以讓兩個沒甚麼魔法天份的年輕人施展這種強大的魔法，哈哈啊哈，我真是太厲害了。約翰，快把水晶拿出來。”老師父用手遮住自己半邊的臉，完全無法掩飾發自內心的狂喜。約翰維持著那親切的笑容，慢慢地拿出一顆湛藍色的水晶。

這時，約翰手上的水晶突然浮在空中，發出微弱的光芒，似乎在與比爾與山姆的法杖相呼應似的。

“好了，喬爾，不要再發呆了，快施展返光術，將比爾與山姆用生命收集的光芒轉移到水晶上面，不要讓王宮的魔法師等待。”老師父瞪大的雙眼、齜牙咧嘴的笑容讓喬爾感到極度不安。不過喬爾沒有任何動作，只是呆呆地站著。

“喬爾，聽到了嗎？”老師父走到喬爾身邊，顯得有些著急。“喬爾，快點。”突然間，老師父將雙手放在喬爾的肩膀上，大力地晃了兩下，讓喬爾瞬間驚醒過來。

“啊...抱歉。”喬爾慌張地說著。

老師父站到喬爾背後，彎下腰，在他耳邊輕聲說道。

“快點，施展返光術，把光芒轉移到水晶上面。如果你不做，或是想要作什麼其他事情的話...”突然間，喬爾感到有一個尖銳的東西抵著他的背。

“這把利刃，會毫不留情地刺進你的肚子裡，懂嗎？”老師父說著，冷酷的聲音，殘忍的話語，不帶一絲憐憫。“給你十秒內完成，否則我一樣不會手下留情。”

“好。”

“溫克拉顛赫。”喬爾舉起了手上的法杖，對準了山姆和比爾。突然間，兩人手上的法杖光輝慢慢地滑動到喬爾手上的法杖。那弧線看來像條輕柔的小河，不過其中卻蘊藏了滿天星光的能量。轉移完成之後，山姆和比爾身上的光芒即刻消失，兩人僵硬的身體瞬間疲軟，倒地不起。

他們手上的法杖滾落一旁，失去魔力的法杖瞬間碳化，化為虛無。雙眼依然看著天空，但空洞的瞳孔早已失去了生命力。接著，不過幾秒的時間，兩人就像是灰燼一般，被風吹散在空中，就這樣子永遠地消失了。

為了成就達爾提斯島人民永恆的安樂，兩人的壯烈犧牲，招喚了滿天的星光能量。現在，只要喬爾一聲令下，就能讓這個壯舉成真，讓全島的人民再也不用害怕夜晚的野獸，迎向故事裡最後的快樂結局。

“10，9，8，7，...”老師父在喬爾的耳朵旁緩緩地倒數著，雖然喬爾尚未施展法術，但老師父微微翹起的嘴角似乎提早宣告了自己的勝利。

“在我施法之前，你不敢殺了我，對吧。”突然，喬爾這樣子說著。老師父被這突如其來的言論給嚇到了，拿著刀子的手猶豫了一下。不過他很快地恢復冷靜。

“唉呦，不錯，很快地抓到與我談判的籌碼。”老師父說著，往後退了一步。

“說吧，你想要什麼？財富、權力還是歷史的定位？我可以讓你當達爾提斯島永遠的英雄，

當然...如果說你敢要甚麼把戲的話，我也可以讓你跟另外兩個人一樣，成為路邊的孤魂野鬼。”老師父威嚴地說。

“我...”

“嗯？沒關係，甚麼要求都可以說。”老師父突然又變得溫柔無比。

“我昨天...想了很久。還是決定教山姆和比爾來到這個地方。”喬爾緩緩地說著。

“我知道，孩子。你做得非常好，我也確實看見你的決心了。”老師父說著，回答地有些敷衍。

“但，我這樣子做的目的，並不是為了完成你想要復活凱薩琳(Katherine)的夢想。”突然，喬爾說出了出乎意料之外的事情。

“你這傢伙，不准你再提到她的名字！”聽到喬爾所說的話，老師父勃然大怒，嘴唇微微顫抖，臉上的青筋逐漸浮現。

“把星光的能量灌到水晶，其實並不是要用以照亮達爾提斯島吧？我在你的筆記上看到了，就在記載著返光術的那一張紙上，你...”

“夠了！你閉嘴！如果你再不施展法術的話，我真的會殺了你！不要挑戰我耐性！”老師父大叫著，憤怒與絕望充斥在他的話語中。他恨不得立刻殺了喬爾，但他也知道，喬爾是他的計畫中最關鍵的一步。

“我對你妻子遭到野獸攻擊而喪身的事情感到非常難過，但是—”此時，喬爾的腦海中浮現出昨晚，艾莉的那句話：“欸你看，星星好美啊！”

“—但是，我認為達爾提斯島的星光，不該就此消失。”喬爾轉過頭，對著老師父說道。在這個分秒，他的眼神散發著堅定、勇敢和決不動搖的信念。老師父看著喬爾，不敢相信眼前的這一切。

“溫克拉顛赫。”

就在老師父尚未反應過來的時候，喬爾指著沒有任何光明的夜空，念出了這個咒語。這個瞬間，喬爾手上的法杖發出了巨大的能量光束，像一條騰空的巨龍，朝著夜空直奔而去，直到遠處，又散成許許多多的分支，回到它們原本的位置。一顆顆的星星被重新擺放到記憶中所熟悉的星盤之上，使夜空充滿星光。原本還浮在空中的水晶，此刻突然黯淡了下來，掉到地上，裂成了兩半。一旁的老師父張大嘴，乾瞪著夜空，卻無法挽回這一切的發生。

“肯尼，你的弟子好像不太聽話呢。”突然間，始終沉默的約翰率先開口。

“但...約翰，這...還是有其他方法對吧，有其他方法可以喚醒水晶對吧！”花了幾秒才回過神來的老師父跑到約翰面前，這樣子問著。

“現在星光已經被利用返光術送回天上了，這些能量再也不能被我們使用了...水晶所需要的能量來源已經沒了，你的願望永遠不會實現了。”約翰依舊維持著慈祥的笑容，但此刻的他，看來有些冷酷無情。

聽完約翰的話，老師父雙腳一軟，跪倒在地上，徬徨、茫然、不知所措。呆呆地看著滿天星星的夜空，不知道該說甚麼。

“隨意召喚水晶卻不能給予它最基本的能能量需求，我警告過你了，你必須承受水晶的詛咒。”喬爾轉頭，發現約翰說完之後，不知何時消失了，徒留老師父一個人跪坐在原地，不發一語。他知道這是一個逃走的好時機。他緩緩地，輕輕地移動自己的腳步，想要無聲無息地逃走。

“你...以為你可以就這樣子一走了之嗎？”老師父轉過頭來，惡狠狠地瞪著喬爾。一聽到老師父的話，喬爾立刻拔腿狂奔。但不知為何，老師父卻突然出現在他身後，一把抓住他。

“我要殺了你，我要殺了你啊啊啊！”老師傅對喬爾嘶吼道，瞳孔充滿血絲，好像發狂似地。右手高舉的剛剛的利刃。不論喬爾如何奮力掙扎，他無法掙脫老師父的束縛，喬爾已經無處可逃。“去死吧！你...”

“喬爾！”突然間，艾莉的聲音出現。老師父的腹部插著一把剪刀，噴出了汨汨鮮血。手上的利刃已經掉落地面，老師父不斷後退，最後不支倒地。身上沾滿了血的艾莉就站在一旁，看著喬爾，她似乎也被自己嚇到了。

“艾莉，妳怎麼會來這...”喬爾說。

“喬爾，你沒事吧！”不等喬爾說完，艾莉直接抱住喬爾，讓淚水在他懷中潰堤；斗大的淚珠順著顫抖的臉龐滑落，伴隨著聲聲啜泣。

艾莉邊哭邊說著。“我看到...天上...發生了奇怪的事情...我就偷溜出來...到這邊...的時候...的時候...發現你被...你被...嗚...”

“不要怕，我沒事，我們回家吧。”喬爾將艾莉擁在懷中，溫柔地摸著她的臉，對她輕輕說著。喬爾小心地用袖子擦拭著艾莉的臉上的血漬，並且蹲下來，讓她跳到自己的背上。此時，喬爾抬起頭，看著星斗閃爍，雖然與以往並未不同，但是此刻的他，心中卻是如此地五味雜陳。

“妳知道嗎？這個星空，再也不會消失了。”喬爾這樣說。“但，卻有兩個人，因此犧牲了...”

“喬爾，雖然我不知道發生了甚麼事情，但至少你守護了這片星空，對吧！”喬爾轉過頭看到，在微光下，艾莉溫暖的笑容。他緊繃著的臉又笑了。接著他邁步準備回家，被閃爍的星光所照耀的家。

而就在此時，在他身後的老師父，緩緩地睜開虛弱的雙眼，盯著喬爾。那雙眼充滿了恨，以及無法平息的殺意。

“你以為...事情就這樣子結束了嗎？”身後的老師父出聲。出乎喬爾意料之外，他還一息尚存。“被我的血噴到的蠹貨...你也會被詛咒啊哈哈...哈...你會變成...醜陋的怪物...咳...沒辦法死...永遠...都...承受著.....孤單...”

“喬爾，我們快走！”這個時候，艾莉提醒已經失神的喬爾趕緊逃跑。但就在他們準備拔腿狂奔時，眼前卻出現了幾個詭異的金黃色光芒在四處游移著。

是森林裡的野獸！

“啊哈哈哈哈！知道...報應了吧！你把全部的星光都還回去了，達...達爾提斯的百姓再也

沒有...辦法躲避猛獸的攻擊了，你會成為歷史的罪...罪人，你的家族...你的家族將因此.....蒙羞！”老師父瘋狂地說著，接近病態的笑聲證明了老師父已經完全發瘋了。

“你這蠢蛋，後悔吧，下地獄吧，你...啊啊啊...”在喬爾背後，老師父被一隻突如其來的巨型紫色獅子給一口吃了進去。老師父身上的鮮血染紅了牠的嘴角和金色的鬃毛。

喬爾想要回到城鎮，單那些飢腸辘辘的猛獸正埋伏於前方的道路中，準備大開殺戒。此時只剩下往高處的道路沒有猛獸的蹤跡，喬爾決定奮力一搏，往高處衝去。但就在此時，艾莉卻突然跳下喬爾的背。

“艾莉，妳要做甚麼？”喬爾慌張地問著，面對此時的情況，他已經沒有辦法冷靜思考。

“喬爾，我往前跑去引誘前面的猛獸，你趕快跑上山。”艾莉一說完，頭也不回地向前衝去。

“艾莉，妳在說甚麼傻話，我不會丟下妳的。”喬爾跑上前，想要抓住艾莉的手，卻被她一把甩開。“艾莉，妳...”喬爾跌坐在地上，無助地看著向前跑去的艾莉。他眼眶泛淚，伸出手想要再一次抓住艾莉，但她卻已經離得好遠好遠。

猛獸很快地全部都追了上去，艾莉則是頭也不回地向前跑去。不過猛獸的速度實在太快了，一下子就追上了艾莉。黑暗中，野獸簇擁而上的身軀淹沒了她。

“喬爾...你...要活下去。”艾莉的最後一句話，傳到了喬爾耳邊。接著，她便消失在黑暗之中。

\*\*\*\*\*

“呼呼...呼...呼哈...哈...呼...”伴隨著喘息聲，喬爾在黑暗中，朝著高處跑去。沿途中，樹林叢生，伸手不見五指。其實他也不知道自己究竟跑向何方，只要沒有看見猛獸的蹤跡，或是牠們的聲音，他就一股腦地衝去。悲傷、害怕、緊張和不安的情緒籠罩著他。他不知道自己所做出的決定是否正確，也不知道自己的未來究竟會如何。

“你會成為歷史的罪人。”老師父的話在耳邊響起，喬爾沒有理會。

“喬爾，這到底...啊...我...我.....”山姆最後的求救聲，迴盪在耳邊。

“你的家族將因此蒙羞！”

“不，不是的...”喬爾在心中不斷反駁老師父的言語。

“轟隆轟隆——！！！”伴隨巨大的吼叫聲，一隻猛獸從喬爾的左邊竄出，將他撞倒在地，無法動彈。因為視線太過昏暗，以致他沒辦法採取行動，只能在原地無力地掙扎。

“你把全部的星光都還回去了，達...達爾提斯的百姓再也沒有...辦法躲避猛獸的攻擊了。”再一次，老師父的話語在心底響起。

“吼嗚哇——！！！”此時，突然傳來另外一聲吼叫，以及“咚—咚—咚。”的聲響和劇烈的晃動，另外一頭猛獸朝這裡奔來。

“碰—！”不知怎麼著，突如其來的撞擊聲之後，喬爾重獲自由。似乎是另一頭猛獸也想要爭搶喬爾這塊食物吧，畢竟在獵光術發明之後，猛獸們應該很久沒有飽餐一頓了。機靈的喬爾

自然不會放過這個逃跑的機會，站起來，繼續向前奔去。但早已精疲力盡的喬爾，實在沒甚麼力氣再繼續堅持下去。他汗流浹背，體力透支，更糟糕的是，他的雙腳開始僵化，雙手發麻。

“被我的血噴到的蠹貨...你也會被詛咒啊哈哈...哈...你會變成...醜陋的怪物。”在離去之前，老師父所說的詛咒，似乎正慢慢地發揮效果。

喬爾沒有停下，他選擇繼續向前。他大可就這樣子放棄求生的希望，在原地等死。野獸遲早會追上來的，他也不可能再繼續撐太久；詛咒遲早會讓自己變成石頭，到時候他再努力都沒用了。但他依然繼續向前，沒有任何猶豫。從狂奔、衝刺，到小跑步，最後他慢慢地走，一步一步。全部只為了心中的那一句話。

“喬爾...你...要活下去。”艾莉的話浮現腦海，如此的清晰。

“艾莉，我會...活下去的。”喬爾在心中回應著艾莉，可惜她再也聽不到了。

喬爾突然發現前方有一道光線傳來，但野獸也不斷逼近。前方還剩十幾步，而後方的野獸離自己應該剩不到一百公尺了。此時後方的猛獸似乎已經分出勝負了，一聲低吼傳來，地板開始輕微震動。喬爾的手腳已經不太能動了，他知道他要快點，但他就算使盡全身的力氣，也只能勉強自己維持那殘破不堪的緩慢步伐。

最後一步！就在野獸即將抓住喬爾之前，喬爾走進了光輝之中。

映入眼簾的，是一大片清澈明亮的湖泊。這裡沒有高大的樹叢遮住天上的月光，在湖泊水面的倒映之下，光線特別明亮。抬頭，喬爾看見的是光輝燦爛、無與倫比的星光。

猛獸們不敢靠近這裡。剛剛那頭野獸雖然想要伸出手去將喬爾揪出，但一被光線照到，猛獸的手就好像受到高溫灼傷一般，痛得縮了回去。牠緩慢地向後退，消失在黑暗之中。

靜靜地看著自己所守護的一切，喬爾的膚色開始變成灰白的顏色，頭髮也開始變得蒼白，從髮根到髮尾，成了純白的細絲；手腳僵硬，像石頭一般，連一根手指頭也動不了；眼睛佈滿了血絲，像是經歷一千個失眠的夜晚才會有的症狀。他還不知道，他即將變成一個醜陋的怪物，無人聞問。他即將在這裡老去，孤單地在時間的長河裡載浮載沉。

望著星空，喬爾沒有任何表情，就這樣子呆呆地看著。從決定將星光還給大自然，到失去所有，他不知道這樣子做是否是正確的，也不知道這樣子做，到底有甚麼意義。

“至少你守護了這片星空，對吧！”艾莉的聲音，從心底響起。

“艾莉，我...”此刻，喬爾的心沉默了，在這片星空之下。

\*\*\*\*\*

“島民傳說，一名小偷喬爾，將光從達爾提斯王宮中偷出，獻給了天空之神。他讓猛獸入侵島上，讓生活在這片土地上的居民過著顛沛流離的生活。帶來苦難的他，受到了天神的詛咒，化為醜陋的石像，在山中佇立著。被奪去死亡的權利，只能不斷在苦難中輪迴。”

時間到了 20 世紀，一個簡約卻寬敞的住家。一名中年男子正在看 Discovery 所製作的特輯《遇見神秘之島——達爾提斯》。外頭的天氣陽光普照，燦爛得不像話。

現代燈泡的原始模型被發明已經是兩百年前的事了。從那時起，因為駕馭了電力，人類首次掌握了光。19世紀末到20世紀初，第二次工業革命爆發。電力逐漸普及，取代傳統的照明方法。直到今日，不論何時何地，我們只要有電力，就能在黑暗中得到光明，再也不用擔心黑夜的降臨，和潛伏在黑暗之中的猛獸。可是這些設施帶來的光害卻遮掩了自然的星光。

旁邊沙發上的女子看來十分愜意，悠然自得地看著手上的書。

“女兒呀，妳真的要去這個地方旅遊嗎？那邊是個宗教信仰相當封閉的國家，去了可能會有危險。”中年人問道。

“當然啊，我是一定要去的！”女子如此說著，擺出堅定的神態。在陽光下，她的金色頭髮顯得耀眼無比；那簡潔的單馬尾，與她意外地相稱。圓潤的雙眼中，可以清楚看見她對夢想的期待。

\*\*\*\*\*

深夜，在那森林的深處，清澈的湖畔旁，喬爾依舊孤獨地佇立。鳥兒在他的肩上停了一會，又飛走了。他身上的衣服，因為承受了百年來的風吹雨打，變得骯髒破舊不堪。就在他的鞋子附近幾公分，連一寸雜草都已經無法生存。

一日復一日的陽光並沒有照亮他陰沉的臉孔，一夜復一夜的星空無法喚醒他死去的心。他的臉孔仍維持年輕時候的模樣，但是臉上卻乘載著百年的風吹雨打所帶來的滄桑與蒼老。此時的他就好像一個毫無生氣的老人一般，安靜地等待著時間的盡頭。

寂寞，一切的寂寞，他承擔了全世界的寂寞。沒有朋友，沒有家人，他獨自在這，任由詛咒維持他的壽命，任由孤獨侵蝕他的內心。他的心智尚存，身體卻無法動彈。幾百年來，他幾次想要讓自己發瘋，好進入無我的世界，就不會有寂寞了，但…唯一讓自己掙扎著，不讓惡魔將理智的最後一根稻草收割的理由，只有一個。

“這一切，到底為了甚麼…”喬爾在心中，歷經千萬次之後，再一次像自己詢問這個問題。但，又一次，他的內心，沉默了。深愛這片夜空的艾莉，已經不在了。島上的家人，也不知道是否在這之後有被猛獸襲擊。他能想到的，只有自己將這片星光還給夜空之後，島上的居民是如何被猛獸襲擊，他們的生命與財產是怎樣地被這些野獸給剝奪。

“或許，老師父是對的。”喬爾在心底說著。“不行了，想了這麼久，沒有任何理由可以說服我自己繼續堅持下去。

“我不行了，還是讓自己發瘋吧。我…”此刻，喬爾再度陷入絕對深沉的絕望。“這片星空，本來就…

“咦，這裡…有個人？”突然間，一個聲音從後方傳來。喬爾勉強轉動僵硬的脖子，在黑夜那陰暗、模糊的視線中，看著聲音的來源。

“啊！他動了，真的是個人啊！”那個人驚嚇地說著，後退了幾步。

這些年來，雖然國際間的旅遊已經變成了非常稀鬆平常的事情，但達爾提斯島因為宗教和封閉社會的因素，並不是很多人願意來此觀光。而這座山上茂密的叢林，和險峻的山路，更讓

許多想要冒險的人打了退堂鼓，因此，這是喬爾在受到詛咒之後，第一次有活生生的人來到這裡。

“嗚...”喬爾下意識地想要張嘴，沒想到塵封了幾百年的雙唇居然聽話了。“啊哈...啊哈...”他大口大口地喘著。因為厚重的灰塵和濃密的蜘蛛網的關係，讓他花了不少時間才吸到空氣。

“請問，你知道如果想要去山頂的話，要怎麼走嗎？”那個人問著，是個女性。喬爾的耳朵也結了厚重的蜘蛛網，但是起碼聽得清楚。

“看看我，妳不怕嗎？”喬爾將臉正對著她，這樣子問著，“這張恐怖、醜陋的臉...你不怕嗎？”確實，在女子眼前的，那個滿臉灰塵，膚色死灰的恐怖面孔，要用一個形容詞來形容他的臉的話，或許只有“醜陋”最適合吧。

“為什麼要怕？”女子直接地回答，完全出乎喬爾意料之外。“你身上都是髒髒的灰塵了，清理一下吧。”突然，女子向喬爾走去，讓喬爾突然慌張了起來。

“不要靠近我，我是受了詛咒的怪物，我很噁心的，我...”喬爾原本想要逃跑，但他廢棄許久的雙腳，在此刻不爭氣地滑了一跤，讓他狼狽地跌倒在地。女子沒有說什麼，她走上前，蹲了下來。

“沒關係啦，你看起來不像甚麼奇怪的人啊！”說到此，女子拍了一拍喬爾身上衣服的灰塵。這個瞬間，喬爾感覺到一股奇怪的能量，在身體內流動。

“你的衣服怎麼好像我在書上看到的款式啊？天啊！這不是古代達爾提斯人的標準穿著嗎？要在哪裡才可以買到啊？我是外國的觀光客，對於達爾提斯的文化很有興趣，我想買一件回去收藏。”女子說著，雀躍地抓住喬爾的手，興高采烈地問著。

就在此刻，喬爾的視線突然變得清晰，他身上的灰塵突然隨風飄散，頭髮顏色開始改變。而他死灰的皮膚也漸漸恢復血色，僵化的手腳又有了知覺，胸口裡跳動的生命也被喚醒。他似乎再次感受到血液流動。

而在喬爾恢復視覺之後，他清楚地看見了這名女子的長相。雖然在深夜之中，他可以認出來者的金色頭髮，綁了個簡單俐落的單馬尾髮型，有著圓潤的大眼睛和小巧的雙唇。女子對於眼前的景象，感到極度不可思議。她張大嘴，看著這一切，完全無法相信。她突然將背上的背包給放了下來，打開以後拿出一本厚重的書。翻了翻，她露出了驚訝的神情。

“你是喬爾嗎？”女子緊張地問著。

“妳怎麼會知道我的名字？”喬爾對現在發生的事情感到一頭霧水。

“難道說，這本書上所說的一切都是真的...我有，我有很多問題想要問你，可以嗎？”女子興奮地問道，喜悅完全展現在臉上。

“妳、妳問吧。”現在，反倒換喬爾有些緊張了。

“哎呀，你的故事有好多我都想要問啊，不如...我可以先問，你為什麼要將光還給天神呢？”

“我...”面對女子的問題，喬爾突然不知道該怎麼回答。“為什麼呢？連我自己都...”他心想。

“如果這是真的的話，那你可是全世界的大英雄呢！”女子說著，這番話徹底地震撼了喬爾。

“為什麼，我是英雄？”喬爾問著，簡直不敢相信自己的耳朵。

“你自己看！”看著女子手指的方向，喬爾看見了燦爛無比的星空。那寬廣的牛奶大道沒有因為時間的移轉而顯得衰老，反而更加地壯麗絕倫。百年來，這璀璨的星空，依然持續照耀著黑夜。

“這麼美麗的星空，如果沒有你的話，我們就再也看不到了耶！”女子如此說著，讓喬爾的視線逐漸變得模糊。

“我可以...問妳的名字嗎？”喬爾說著，止不住的淚水從眼眶中汨汨流出。經歷了如此漫長的等待，總算，有一個人肯定了喬爾。背叛了全世界，讓自己孤獨一人的喬爾，再一次，感受到所謂的溫暖。

“我的名字嗎？”女子一邊說著，一邊拭去喬爾的淚水。

“是的。”滿懷感激的，喬爾說著。

“我叫艾莉。”她說。無意間這名字勾起了喬爾塵封百年的回憶。

喬爾笑了。瞬間他總算了解，自己所堅持的一切究竟是為了什麼。

“我們走吧！你還好嗎？需要幫忙嗎？”艾莉轉頭一邊說，一邊飛快地走遠了。

為了一樣喜愛這片星空的人。他心想。

為了記憶中，也一樣喜歡這片星空的妳。

