

前言

對於學習科學的我們，課本上的歷史部分似是陳舊過時的資訊，時常也就以「某某人在某某年發現了某某東西」或者「某某人犯了什麼錯而與諾貝爾獎擦身而過」等等帶過，沒有仔細思考的是我們現在認為的當代也會成為將來人的歷史，而我們的所作所為若是有什麼值得紀錄的部分必定會見諸後世的教材與史料，如此一來，當然希望他人對於我們在科學上的掙扎、欣喜、挫折、狂熱種種心情更躍然與紙上，始能稍稍拯救無數個日夜徘徊於實驗室走廊的孤獨靈魂。

更甚者，甘願屈居於日夜掙扎與挫折下，半受迫式廢寢忘食地操弄儀器或者揮灑算式，大多數人必然是希望自己努力的方向終將通往未知的重要發現，不去談論獲獎或為國爭光等等，僅僅是說服自己經年累月過著說不定不如囚犯的生活沒有白活。有系上教授說過，一個領域有其發展的各個階段，最初的研究者往往是在開創新的道路，豐碩成果琳琅滿目；而後來的人相比就需要花費較大的力氣去熟悉已經被建立的知識體系，試圖在上一輩留下來的未解難題中找到自己的居所。話不能說死，世事總有未料，然而相互打聽、處處比較哪個領域較有展望在科學界亦所見不鮮。

十九世紀正是古典物理發展的一個高峰，包含馬克士威電磁學的出現、數學分析的完善、Lagrangian 與 Hamiltonian 力學體系的建構等等。有了基本的磚塊與足夠好的數學，我們看似可以逐步了解整個世界了——「未來物理學家的工作就是再多量幾位小數點」。當然，我們知道原子理論與熱輻射未能被解決為物理學家帶來全新的課題，使得我們現在有量子物理以及一切拜其所賜的科技生活。

時間又過了一百年——不巧的是初學物理的人對這一百年內物理的進展可能並不熟悉——你坐在台大物理系的教室裡，老師口中、課本印著的話語和方程式似乎已成定局，你的工作也只是在交上去的作業裡寫對那幾個該死的符號與小數點後的數字。你翻閱手上的系刊，思考著要不要跳過這篇充滿中文字又毫無重點的文章。或許你已對先前的段落有所共

物理史

概念與變革

文 / 黃子禎

鳴，也可能有所批評：「誰徘徊於實驗室走廊了？這傢伙一定是出於整天做實驗做計算的苦悶，百無聊賴下自願投稿了一篇胡言亂語，結果還真的印出來。」「我整天算量物習題還要練球還要去社團忙得半死，哪有空關心什麼物理史？」

那麼，你為什麼念物理，你知道嗎？

或許你不做物理，那我也十分樂意與你聊聊有關文學，有關音樂，有關運動，有關創業，有關系上八卦，然而這樣一來這篇文章就會被系刊的編輯們給神隱掉了。

或許你還沒決定，反正也才大一大二，只是剛好分數到了或者一瞬興起或者看了有關霍金的電影才來

或許

或許你自覺對物理擁有成為物理學家門檻的熱愛（天知道是高還是低），卻又猶豫在每一次敲教授的門前，困惑於每一堂應付過的課上，心想：物理系就是這樣嗎？更糟糕地：物理就是這樣嗎？



序曲

讀者或許會認為，自數千年前兩河文明萌芽時蘇美人以泥板記載曆法與氾濫開始，科學之路就穩定地、累積性地、持續進步地發展至今，其中種種諸如印刷術發明、地心說的推翻、鍊金術的興衰等等都是恰好被我們拿來作為科學史教材的一個小環節，並無特殊之處。實則科學進展如同人類其他任何一方面的歷史，有空間上的延展與各種交互作用，有大躍進也有大衰退，有社會制度與政經情勢的影響參雜，更充滿著人性的左右。譬如，讀者或許知道中世紀的歐洲宗教同時身負著傳遞知識與控制思想的角色，而在面臨異物（如：地動說）的衝擊時便可能打壓相關的科學進展。



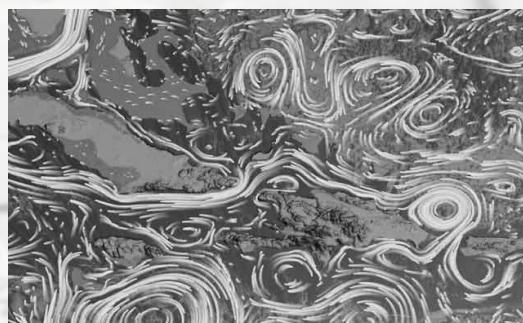
Bruno 受火刑



Galilei 的審判

事實上，世界各地的古老文明都有發展出相當高度的知識與技術可供應用在人類的實際需求，然而由於近代乃至現今的物理學發展主要從西方體系，這就興起了一個可能的疑問：為什麼是西方？這樣的問題在歷史上被稱之為李約瑟（Joseph Needham）問題：中國的科技進步為何在近代落後了？然而，本文不會去討論這個問題，有興趣的讀者可參考 [13]，其中提及科學作為一種思想與科技有根本性差異的論點，進而否定了問題的存在。

西方對物理的探求實起源於古老希臘的自然哲學：亦即，世界是什麼？我們是什麼？為什麼有自然現象？在這之前，當然也有許多實用技術包含的物理概念存在，然而這是第一次人類問出現代科學範疇內的問題。希臘文化的多元與好辯論的個性並不滿足於單一的答案，不同學者各自對於基本物質與交互作用有著不同的想法，如水之於 Thales，火之於 Heraclitus，沃土之於 Xenophanes 等等。隨後，哲學家們進而把各家學說融匯成四元素說，用以解釋地上的一切現象。另一方面，Democritus 將其師 Leucippus 的原子說發揚光大，緩除了 Parmenides 對元素說與變化的責難：「一切變化不過是一種幻覺。」^[3]



世界是瞬息萬變抑或永恆不變？

近代科學襁褓之時



九到十三世紀千餘年前，歐洲曾活在晦暗中：光榮的古羅馬與古希臘已經化為廢墟，世人所等待的只是末日的審判，好人得以上天堂。與此同時，希臘的經典東傳，阿拉伯除了在讀者們或許熟悉的光學與數學知識上有重大進展以外，另一個很重要的貢獻便是「智慧宮」（Bayt al-Hikma）的建設。在這個機構裡，大批的學者與專家被集合起來，專事收集、整理與翻譯古希臘典籍的工作。

直到烏雲逐漸綻出了曙光，經典又再度從阿拉伯文譯成拉丁文，許多重要典籍才再一次為歐洲人所發現，其中大宗莫過於亞里斯多德。這個階段的科學並非我們如今認知的充滿量化的學問，而是更適合被稱作「自然哲學」的一門探求：

如果一種研究的對象具有本原、原因或元素，只有認識了這些本原、原因和元素，才是知道了或者說瞭解了這門科學，因為我們只有在認識了他的本因、本原直至元素時，我們才認為是了解了這一事物了。那麼，顯然，在對自然的研究中首要的課題也必須是試確定其本原。

很像繞口令或者邪教嗎？對於學科學的人來說，要鄙視這樣的言論似乎太過簡單：這樣的說法等於什麼都沒說，也不能預測、解釋任何現象。然而在天地洪荒曠昧未明的年代，人們不能依賴許多的器物文明，只有透過理性的思考，才能夠超越生命的平凡性。這大抵也是為什麼古代思想家們大多認為智慧越抽象就越偉大，越能帶人們遠離世俗的污濁，並且朝向永恆的神性。上面引的文字是節錄自 Aristotle 的物理學，我們現今的 Physics 這個字也是從那個年代來的： $\phi\upsilon\sigma\iota\kappa$ 。這門學問並不完全等同於現在的物理學，卻是其濫觴：人類將大自然視為大自然，並系統性地去研究。看看目錄就會發現裡面包含了許多至今仍然十分重要的核心概念：運動、無限、空間、虛空、時間等等。

了解了古代的科學之後，十多世紀的人們是如何從剛吸收的亞氏哲學迅速演變到較接近現代的文藝復興後、或許冒其名稱之為科學革命（實為一段不存在的歷史^[17]）的時期？這就牽涉到了伽利略物理學方法的革命以及其後分析學的發展。有興趣的讀者可以參考^[10]。

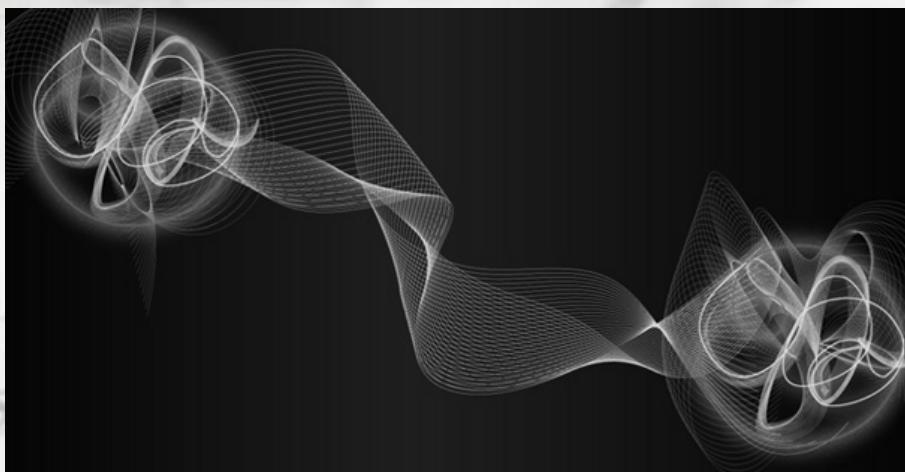
另一段歷史

誕生自啟蒙後的歐洲對神秘學的愛好，秘術（Occult）的崛起使得十七世紀的許多論文出現了許多關於自然魔法（Natural Magic）的討論；這些討論包括物質、型態、原理、真空、場所、世界、元素論、諸因、主動與被動、時間、運動、色彩、冷熱、靈魂、潮汐、情感等等（如果你覺得許多項目似曾相識，是的，這又是亞氏的文化遺產），看起來紛雜而無所不包。就其字面意義來說，秘術代表著被隱藏起來的知識，在現代語言則多指超常現象（與科學原理及常識抵觸且無法被一再確認的事件）。時至今日，有些秘術被人們發展並抽離出許多物理原理，然而更多的是那些容易被有心人士加工成科學包裝的偽科學或邪教的成分。

秘術流傳給後世最為人所知的便是鍊金術以及其與各種巫術、法術的融合。在這些鍊金術研究者中，牛頓與萊布尼茲這兩大數學巨擘也榜上有名，而牛頓最重要的重力理論構想則反而因超距力的本質被當作是將秘術引進了自然科學中。拿到當代來說，或許就像是把量子糾纏說成是心電感應之類的吧。秘術研究者認為自己在研究的是「事物的內在本質」（the inner nature of things），而 Schopenhauer 則將這樣的內在本質稱做是意志（Will），並且藉此宣告了以數學與科學手段去探究事物本質的不可行性。

當然，活在現代的我們會認為這些探究是不科學的，卻鮮少注意到這樣的學說在當代可能是主流的、極其重要的，而非只是一個時代的人同時糊塗了腦袋而已。科學原理，追根究底，並非是研究事物的一種必要條件，反而是眾多可能性中的一種。這種研究進路要求我們以實驗佐證理論，並且不憑空引入超自然的作用，而是以基本原理與數學推演來描述世界。這樣的想法在當時即使存在也為必被世人所公認。事實上各式各樣的人們都在從事著正當的研究行為，儘管只有少數人以我們現在的眼光來說能被稱做是科學研究者。在現代，也有著許多不能被稱之為科學的聲音，這些思想在科學界通常不會被討論，但如果是非科學的場合，有何不可呢？或許，我們去壓抑這些聲音的原因是因為當代已經普遍性地承認了科學的正統地位了吧。

值得思考的問題是：為什麼我們就這麼附著於科學原理呢？科學有其有效性，然而一代代的科學哲學家諸如 Popper, Kuhn, Lakatos, Feyerabend 都無法為科學的進展找到一個最終的理論，我們常識裡的醫學、生物學、化學、物理學如何不是一齣巨大的現代神話？這樣的神話是否會破滅？我們並不站在能夠回答這個問題的時空點上，只能夠忠於我們的選擇，時而回顧歷史也成為歷史。



超距作用是超自然嗎？

思想形於無形

白特菲 (H. Butterfield, 1900 - 1970) 曾指出，我們最困難的心靈工作是把習見習聞而且已作安排的基本材料重新加以編排，從不同的層面或角度加以觀察；而且，從事這類工作時，不受流行和有勢力的觀念之滲透和支配。換句話說，發現鐵絲網易，發現思想網難；衝破鐵絲網易，衝破思想網難。[4]

學習一個理論，事實上是在腦中形成一份自己的心智地圖。跟隨方程式的推導與背誦理論的結果並不能帶來知識的內化，只有將自己的思想（抽象地）形塑到一個吻合該理論的樣貌才能夠驚覺自己已全盤了解。為了具體一些，我們試著回顧物理系的課程：

對大一與大二的同學而言，截至目前為止大家所學多為我們所謂古典物理，雖然亦有其困難繁瑣或者精妙之處，其概念上的理解與接受並不會與高中之前所學相左太多：力學中我們一樣處理空間中的運動粒子，只是多加入了位相空間的概念，並且操弄變分法的數學以得到和牛頓力學相符的答案；電磁學中我們詳細介紹了電磁波滿足的方程，並且在每一個邊界條件下解出時空中每一點的電磁場大小。那麼，既然運動學、電磁學、引力論我們都精確地了解了，是否就能夠計算出宇宙的演化來？

答案是，即使是古典系統，我們也幾乎不可能做得到——許多粒子的交互作用超乎我們想像的複雜，我們終究只能做一些理想化的近似：單一質點、剛體、真空等等。為了處理現實世界真的會遇到的大量粒子系統，我們創造了熱力學。這是一門十分倚賴經驗歸納的學問，並且從一開始就具有複雜的天性，畢竟你無法拿一個質點或者點電荷去研究他的熱力學性質（例如：溫度），不是嗎？

也因此，我們時常在學習熱力學的過程中面臨第一個概念上的轉變危機：突然冒出的許多各不相同的能量，還沒來得及搞清楚前就又被迫要去推導（或更糟糕，硬背）他們之間的轉換關係，寫了滿紙連自己都不知道來龍去脈的答案卷，湊出了及格的分數。事實上，這些物理量大多是在十七~十八世紀研究引擎與其他器械時被發展出來，紛紛雜雜地多不可數，直到熱力學被逐漸完成後才有了彼此間的轉換關係。

對於正在學習量子論的同學呢？首先，一個粒子由波函數給出，而可觀測量則改由算符代替。這樣的幾條公設便埋下數不清的困惑：粒子不是在一個點嗎？波函數卻又為何遍佈整個時空？我們又為什麼要把算符作用在波函數上？為什麼定義特徵值為物理量？自由粒子竟然是發散的平面波，這理論還有救嗎？除此之外，更重要的：為什麼我們有量子力學？

當然，最後一個問題的答案在每本教科書（甚至可以是普通物理的！）裡都找得到：黑體輻射啦，原子模型啦等等。喔，可是，這跟算符和波函數又有什麼關係呢？我們怎麼不試著去改善電磁學呢？原先實數跟函數建立的物理學好好的不繼續用，怎麼冒出來複數跟算符了呢？這一切的衝突與困惑事實上都可以視作是一個人的成見在另一個知識體系中的不匹配（incompatibility）：你的概念在人家的理論中沒有，人家的理論也不能用你已有的概念去了解。

許多人學習不同程式語言面臨的一個難以突破的障礙也在於此：學習變量、表示的語法很簡單，再之後語言本身似乎也沒什麼好學了，卻仍難以寫出實用上需要的程式，因為你並沒有以那個語言的本質去思考事物。與其說是一種媒介，語言本身更像是思想與溝通的材料。

也就是說，這樣的學習困難是必然的囉？其實應該也不盡然，如果我們能好好地去檢視這樣的理論與思想所走過的歷史痕跡的話。比方說我們知道量子理論的重要性在於只從一個人能觀測到的實驗數據去形成一個理論，而非假設我們並不知道、甚至可能不存在的事物。由這樣的觀點來看，粒子的位置、速度、軌跡等等許多的物理量在不同的情境下可能就不再重要。我們失去了古典力學以來一貫思考問題的方式，卻也獲得了量子力學帶給我們的自由。而這些概念的轉變與突破從何而來呢？從人們對原子光譜線的研究上可見一斑。

當時，因為各種觀測技術的進步，新的原子光譜不斷被發現，為了能夠解釋這些光譜，原子理論因應而生。這時候還未有成熟的量子論，但是解決問題的方法很實際：有光譜代表系統有能階，那麼我們就把能階當作最基本的量去建構理論，這樣就能得到最初的量子論了。

量子小劇場

Heisenberg: 我被他嚇壞了。當我第一次在研究所工作，我被他們全部嚇壞了——他們全都是如此優秀，如此傑出。但當然只有 Kramer 是你的繼承人了，我們其他人都只能在大學習室做研究，而他卻在你辦公室旁擁有自己的辦公室，像一顆內層電子圍著核繞。他卻並不贊同我的理論——他甚至要人用古典力學講一遍！

Bohr: 嗯，他錯了。

Heisenberg: 所以很快地那間辦公室就空了。

Bohr: 所以很快地就又有另一顆電子跑進來了。

Heisenberg: 是啊，我們就這樣在核心待了三年。

Bohr: 然後其他的外層電子在整個歐洲繞圈。

Heisenberg: 主要是德國

Bohr: 但 Schroedinger 在 Zurich，Fermi 在 Rome

Heisenberg: Chadwick 和 Dirac 則在英國。

Bohr: Joliot 和 de Broglie 在巴黎。

Heisenberg: Gamow 和 Landers 在俄國。

Bohr: 每個人都進進出出彼此的系所。

Heisenberg: 論文和草稿進進出出每一輛郵車。

Bohr: 你記得 Goudsmit 和 Uhlenbeck 的自旋嗎？

Heisenberg: 原子裡的最後一片拼圖，卻沒人能懂

Bohr: 這兩個瘋狂的荷蘭人竟然設法讓電子有不同的轉動。

Heisenberg: 當然，大家最想知道的是，Copenhagen 站哪邊？

Bohr: 事情發生的時候我正要去 Leiden

Heisenberg: 就變成教皇巡禮了，火車停在了 Hamburg

Bohr: Pauli 和 Stern 就在月台等著問我對自旋的想法。

Heisenberg: 你告訴他們那是錯的 ... ?

Bohr: 我說那是非常 ——

Heisenberg: 有趣的？

Bohr: 正是如此。

Heisenberg: 後來你就到了 Leiden。

Bohr: 我遇到了 Einstein 和 Ehrenfest。然後我就改變想法了——若說我是教宗那 Einstein 就是上帝了——他的相對論分析甚至解決了我所有的疑惑。

Heisenberg: 那時我在 Göttingen 等著 Born，所以你就繞了條路回家。

Bohr: 然後你和 Jordan 就在車站遇見了我。

Heisenberg: 同樣的問題：你覺得自旋如何？

Bohr: 當車停在 Berlin 時，Pauli 又出現在月台。

Heisenberg: Wolfgang Pauli，可以的話絕不早起的人 ...

Bohr: 也是我在 Hamburg 旅遊時遇到的同一個人。

Heisenberg: 所以他從 Hamburg 到 Berlin 來只為了見你第二次！？

Bohr: 這就是我如何發展出我的自旋理論。

Heisenberg: 噢，那些年！那美好的日子！那短暫的時光！

Bohr: 從 1924 到 1927。

卻顧所來徑：參考文獻

1. 楊信男，物理奇才奇事

2. Andrew Ede, Lesley B. Cormack. A History of Science in Society

3. Andrew G. van Melsen. From Atomos to Atom: the History of the Concept Atom

4. 殷海光，《思想與方法》

5. 99.9% 都是假設

6. 理論與真理：基礎科學中的哲學批判

7. Colodny, From Quarks to Quasars

8. Hempel, Philosophy of Natural Science

9. Einstein, The Evolution of Physics

10. 科學史十五講

11. Heisenberg, Physics and Philosophy

12. Lynn Thorndike, History of Magic and Experimental Science

13. 繼承與叛逆：現代科學為何出現於西方

14. 西方文化中的數學

15. Jenkins, Rethinking History

16. Jenkins, Refiguring History

17. 科學革命：一段不存在的歷史

18. Gatti, Giordano Bruno and Renaissance Science

19. Popkin, The History of Scepticism

20. Grant, The Foundations of Modern Science in the Middle Ages

21. Michael Frayn, Copenhagen