

### 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。

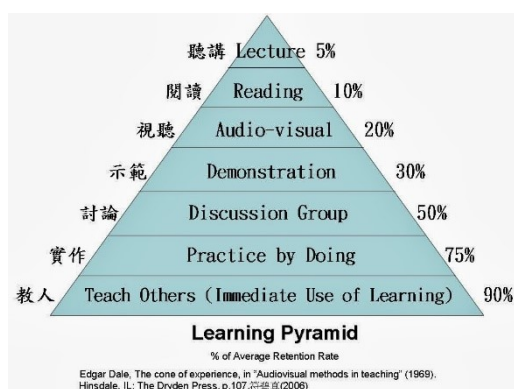
## 他山之石：其他國家物理教科書與試題

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。

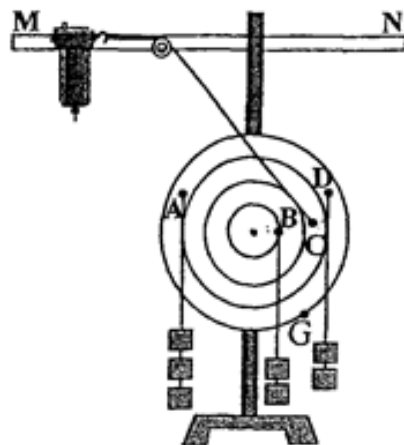
2015 年上海高考物理科的考試時間為 120 分鐘，滿分為 150 分。各大題的配分為：單選一 8 題共 16 分、單選二 8 題共 24 分、多選 4 題共 16 分、填充 5 題共 20 分、實驗 4 題組共 24 分、計算 4 題組共 50 分。雖然考試時間長達兩小時，但要完成的小題數一共有 56 題，平均每兩分鐘就要完成一個小題，時間可說是相當緊湊，這點和臺灣的指考似乎有異曲同工之妙。題型方面則大多是以填充、計算、問答等非選題的方式為主，對考生而言是相當具有挑戰性的題目。

### 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]

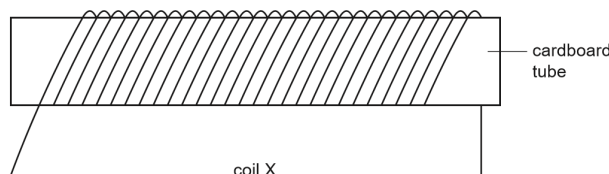


Fig. 1.1



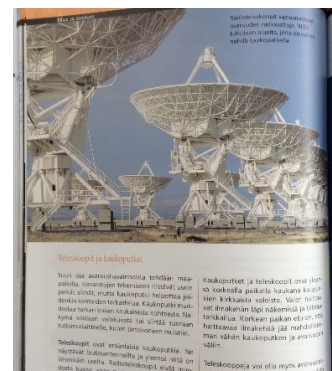
## 接軌科學、科技發展 美國與芬蘭的物理教科書

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 測驗題中的熱褥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

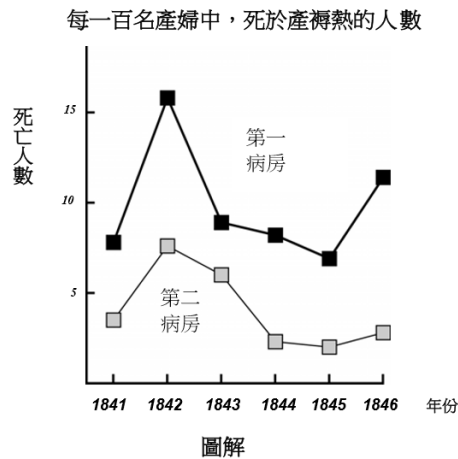
賽邁爾維斯日記（一） 「1846 年 7 月。下星期我便要到維也納 總醫院婦產科第一病房當醫生。那裡的病人死亡率實在高得可怕。在這個月內，208 名產婦中，竟有 36 名死亡，而全部都死於產褥熱。生孩子就像得到第一級肺炎那樣危險。」

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）。



#### 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