

指導「物理競賽」與「科研活動」之挑戰與成效

盧政良^{1,2}、張鴻傑¹、蕭儒棠^{3,*}

¹ 高雄市立高雄中學，高雄市，807

² 台灣大學 物理學系，台北市，106

³ 國家教育研究院 測驗及評量研究中心，新北市，237

*e-mail: jthsiao@mail.naer.edu.tw

(投稿日期：民國 103 年 12 月 16 日，接受日期：104 年 03 月 27 日)

摘要：物理課程艱澀難懂，高中物理教學也往往被詬病為考試導向、升學主義嚴重影響教學。然而中學的物理教學過程之外，目前已發展出許多物理相關的研究競賽活動，這些課程以外的參與過程對學生學習意願的提昇以及科學能力的建立都有很大的幫助。作者分享十餘年來，在中學的物理教學過程中，從不間斷地陪伴學生參與各種物理競賽(物理學科能力競賽、物理奧林匹亞競賽、力學競賽、青年學生物理辯論賽、旺宏科學獎...)與科學活動(高中物理資優培育計畫、科學展覽、吳健雄科學營...)的一點經驗與心得，以及經過多年嘗試，致力於將每年例行的這些科教活動以模組化的訓練、培養，讓學生具備獨立研究與發掘問題的能力。近年來已逐步看到成效，而這些課程以外的參與過程對學生學習意願的提昇以及科學能力的建立都有很大的幫助，進一步也嘗試分析探討這些活動的優缺點以及對學生造成的影響與效益並提供建議。

關鍵詞：物理競賽、學習成效

壹、前言

台灣的中學生在正規的物理教學課程之外，長期以來陸續發展了許多與高中物理教學有高度相關的一些競賽與科研活動，其中有官方舉辦的科學展覽(1961 至今)、科學能

力競賽(1985 至今)、物理奧林匹亞(1994 至今)，還有各大學及研究機構開設的高中物理資優培育計畫，以及力學學會舉辦力學競賽、企業贊助的台灣青年學生物理辯論競賽(Taiwan Young-Student Physicists' Tournament,

以下簡稱 TYPT)，還有許多諸如遠哲科學趣味競賽、高溫超導磁浮創意競賽、抗震盃競賽、機器人大賽...等等^[1]，然而在充實的教學時數當中還要抽空陪著學生參與這些活動實在是物理老師的沉重負擔。指導學生的過程雖不是教學的主體，所花費的精神與時間卻絕對不比正規教學來得少，導致許多教師對於指導學生參加競賽活動大多敬謝不敏，甚或質疑參與這些活動對學生是否有所助益？另一方面，許多人也很好奇投入這些活動對於學生所產生的效益究竟有多少？似乎仍缺乏相關的研究與探討。

貳、高中物理教學與科研活動指導之挑戰

大家都唾棄『考試領導教學』，卻又企圖以考試來改變教學，卻總是適得其反。身為教師的我們，如何引導學生能從認真學習中得到學習的樂趣，能因熱愛而真正投入學習，才是教學的根本目的^[2]。觀察高中物理實驗課，普遍流於制式的實驗操作步驟和填寫數據表格，導致學生在一個實驗課程中，只是像參照說明書般依樣畫葫蘆的做物理實驗，並不會去思考為什麼要這樣做？也更遑論了解實驗背後物理原理之應用，因此學生在實驗過程中通常缺乏獨立思考的機會，也失去物理實驗的真正用意所在^[3]。高中物理教育的目的不在協助學生解決考試難題或幫助學生熟悉應考各類型的難題，而應該著眼於訓練學生能經由已習得的知識，當他們面對從來沒遇到過的問題時，能獨立自主的運用已知的知識，去思索解決這些問題的方法及步驟。這樣才能讓學生得到真正成功解決問題的體驗，享受成功學習的愉悅，激發學習的熱情和興趣^[4]。

在正規的教學中不只學生有學習上的壓力，物理老師的壓力絕對不小於學生，這是多數在高中任教的物理教師的心聲，然而評估物理教學成效的工具似乎大多侷限於考試的成績高低，讓第一線的教師不得不針對學生的考試能力盡可能地去加強，這也是許多批評的聲音中最被質疑的面向；在許多的物理教學檢討與建議中，獨立思考與解決問題的能力是許多人認為物理教學中學生應具備的能力，然而大多數的物理教學活動設計上卻大多是教學演示或是照本宣科的實驗單元，這些過程當然遠不及讓學生自己針對一個未知的現象自己動手做進行相關的研究，這卻是課堂上極不容易去進行的，尤其是以目前台灣的高中階段一個班大約 45 個學生的教室中，幾乎不可能。反而是在指導學生參與物理相關研究競賽活動時，發現這正是訓練學生具備這些能力的最好歷程。然而如何在繁重的教學負擔之餘，還能指導學生參與相關科研活動，而能將效益達到最大化，以下即為這些年來我們教學團隊不斷嘗試與改進而應用於目前每年例行的指導、培訓學生的規劃安排，將培訓的過程模組化，以期能減輕老師們的負擔並使學生有最大的收穫，近年的成效也逐漸顯現出來，希望能與各位教學先進分享。

參、物理相關研究競賽

目前台灣的這些物理相關研究活動與競賽，除了一些比較偏屬於工程上的應用以及趣味競賽之外，大致可以分為兩大類：

● 測驗型：自然科學能力競賽，物理奧林匹亞，力學競賽

考試方式各有些差異，但主要都是在一定時間內(通常約二至三小時)藉由筆試或實驗操作的方式測驗學生相關的能力

● **研究型：科學展覽，英文物理辯論(TYPT)，旺宏科學獎**

可以長時間進行研究，最後以書面、口頭報告、看板、多媒體或現場演示....等多元方式呈現其研究成果

一、各項競賽簡介及舉辦時程

(1) **物理學科能力競賽：**

每年十月舉行，選出五名代表學校參加十一月舉辦的全市競賽，擇優參加全國競賽，取 3-5 名加入選訓營集訓

(2) **物理奧林匹亞競賽：**

台灣師大主辦，每年十一月舉行初選，選出 300 人左右，參加次年二月之複試，再選出 25-30 人參加選訓營。

以上兩項再決選出 10 人，正取 8 人、備取 2 人，參加亞洲賽再最後評選 5 人，參加國際賽。

(3) **全國力學競賽：**

每年四月舉辦初賽，取 200 名於五月參加決賽，取金牌 10 名、銀牌 20 名、銅牌 50 名及優勝獎，金、銀牌可參加兩岸力學競賽。

(4) **TYPT 台灣青年學生物理辯論競賽：**

徐有庠基金會，台灣師大主辦，每年約 10 月底可開始報名，3 月參加競賽，並從參賽選手中選出台灣代表隊參與國際青年學生物理辯論錦標賽 (International Young Physicists' Tournament)

<http://phys171.phy.ntnu.edu.tw/TYPT/http://phys171.phy.ntnu.edu.tw/TYPT/>

(5) **全國科學展覽：**

大約每年三至五月(各縣市比賽略有不同)參加各區科展，擇優七月參加全國科展。

(6) **國際科展：**

每年十一月報名，次年二月評審，四-七月擇優參加各項國際比賽。

(7) **旺宏科學獎：**

3 月 1 日至 5 月 31 日報名截止日前繳交創意說明書，始算完成報名。7 月初公佈佳作及決賽入圍名單。11 月份舉行決賽; 12 月份舉行頒獎典禮暨作品發表。

肆、指導培訓過程經驗分享

以下將以高雄中學為例，分享物理教師指導協助學生參與各項活動的規劃與經驗

一、培訓規劃

經過許多年的摸索與調整，目前已建立了一套輔導學生參與科研的流程:

- **宣導期：**開學初期可利用新生訓練、社團時間以及物理教師課堂上宣導，尤其是高一新生，鼓勵學生利用課餘時間參加相關活動，同時可善用學長姐的這些資源，利用學長們的現身說法，以及輝煌的比賽成果，對學弟妹們是最大的誘因。學長姐畢業了如果還願意回來分享宣傳，他們的現身會讓大家感覺很興奮，加上多已升上理想的校系，學弟妹會有崇拜的感覺，希望自己也能跟隨前人的腳步。回來宣傳的校友回到母校都表示很開心，可以把之前師長傳下來的絕招跟自己的秘訣傳承給學弟，看著學弟一步步成長會覺得很有成就感。
- **培訓期：**基本上將學生分為兩種類型—**測驗型與研究型**
 - (1) **測驗型的競賽培訓**(自然科學能力競賽，物理奧林匹亞，力學競賽...)

期初會先舉行考試，甄選出大約

五十名學生進行進階課程的訓練，由所有物理科老師分配主題幫學生上課，課程內容涵蓋奧林匹亞初試、學科能力競賽以及力學競賽的命題範圍，讓學生具備準備這些測驗的基本知能，並鼓勵學生自行研讀與思考，藉由參加這些競賽檢驗自己的學習成效。

(2)研究型的競賽培訓(科學展覽，物理辯論，旺宏科學獎...)

基礎課程：利用課餘時間傳授學生科學研究所需的基本能力(例如：數據分析、誤差估算、資料蒐集、報告撰寫...)

培訓期：以當年度 IYPT 提供的十七道問題為主軸(也可自訂研究主題)，分配學生研究方向，定期(ex: 每周一、三、五中午時間)讓學生上台報告研究進度並給予指導與建議

模擬競賽：學生進行一段時間後(約兩個月)，待每一位同學都上台報告過自己的研究內容，開始進行分組，參考 TYPT 的模式讓學生進行物理問題的討論與問答，藉由學生討論的過程可以了解學生的思考模式與基本概念是否正確，並藉以調整自己的研究方向以及改進實驗方法(見圖 1)

比賽期：

- 組隊參加 TYPT(約每年的三月初)
- 報名參加科學展覽(約每年的三月底)
- 推薦較富有原創性與發展性的研究報名旺宏科學獎(約每年的五月底)
- 未成熟的以及具發展潛力的作品可以考慮參加國際科展(隔年的十一月)

詳細的培訓時程如表 1:

表 1：科學競賽時程簡表

	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月
物理學科能力競賽												
物理奧林匹亞												
力學競賽												
物理辯論賽												
中小學科展												
國際科展												
旺宏科學獎												

(點虛線代表宣傳準備期、實線代表指導培訓期、長虛線代表通過初選準備決賽期)

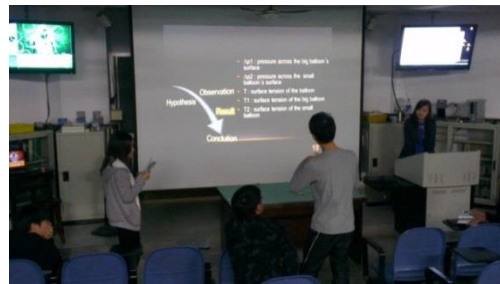


圖 1：英文物理辯論(TYPT)培訓過程-學生模擬比賽

二、創造傳統、傳承經驗

多年的經驗累積與歷屆優秀學生的養成，在在都醞釀出學校潛在的資源，許多經歷這些寶貴經驗甚至獲得輝煌成績的學長姐們往往也都會對學弟們有更高的期待，尤有甚者，常常有升上大學的學長們會自願在假期或寒暑假回到母校指導學弟們，他們的態度和投入比起指導老師們更是有過之而無不及，同學們的進步更會是一日千里。

經歷過學長的指導，學生們表示：在學長的指導過程中，會感染到學長們高度的熱情，也可以由親身經歷所有過程的經驗分享，更明白學弟們的感受與需求，尤其在課業壓力下，如何更有效率地安排時間、規劃流程，分享學長的心路歷程，更有效率也更有概念地進行接下來的過程，學長的表達方式和語言也更貼近學弟，甚至在大學學到一些新的事物，會迫不急待地和學弟們分享。同時學長們對學弟們的期待與要求其實要比老師們來得更高更嚴格，學長的教學雖不若老師這麼有經驗，然而教學熱忱仍會使學弟們努力

地去學習，有問題的地方仍可再求教於老師們，發揮更大的效益。學長們雖然多身處異鄉，學期中的課業也很繁重，仍會不時關心學弟的進度，他們其實也經歷過更資深的學長指導，因此大多畢業後仍然相當關心學弟，將多年累積的經驗與優良傳統傳承下去，具有高度的使命感，時至今日，仍有畢業多年的學長回校指導學弟，非常難得！另一方面，以指導老師的經驗來看，很多學生上了大學攻讀電機系、機械系或是物理系，其實都學有專精，甚至比老師們還要擅長，在面對不同問題的時候也會有不同面向的處理方式，對學生在學習解決問題的能力會更多元、更有彈性。圖 2 即為學長在暑假回校指導學生的情形，令人感動的不只是學長們義務回來分享經驗，同時也很難能可貴的是在校的學弟妹們也肯犧牲自己的假期專注地接受學長的指導。



圖 2：畢業學長利用暑假自願回校為學弟妹們上課

三、培訓成果

近年來輔導學生參與各項競賽皆有不錯的成績，每年約 2-30 位學生通過奧林匹亞初試(總共錄取約 300 人)，近 6 年共獲得亞洲物奧一金二銀一銅以及國際物奧二金的成績；物理辯論賽(TYPT)曾獲得團體金、銀、銅牌與個人獎數次，參賽的五年以來有七位同學獲選代表台灣參加國際物辯論賽(IYPT)，為國爭光並獲得佳績，今年第六屆 TYPT 的比賽結果，還創造了一金二銀的輝煌紀錄；近

年的科展市賽均獲能得前三名的名次，力學競賽每年均有多位學生獲得金、銀、銅牌獎的佳績，更是多次獲得團體特優第一名的最高榮譽；每年的科學能力競賽更是持續穩定地能有亮眼的成績。

當然獲獎是對學生與老師的一種肯定與鼓舞，然而我們要強調的是成績並不是評估效益的主要考量，真正重要的是去檢驗學生參與的過程中獲得了甚麼？指導學生的過程應重視的是學生能力的獲得與提升，而非為了追求獲獎的汲汲營營，那就不是正確的態度，也無法持續保有研究的熱情了。畢竟，科學教育若是以「培養諾貝爾獎得主」為宗旨，那就是不走正道了^[5]。因此接下來我們嘗試來分析探討這些活動的優缺點，並比照一些客觀的指標來了解對學生造成的影響與效益。

伍、效益評估

以目前台灣的升學制度，參與這些活動的學生們似乎並沒有明顯的優勢，甚或可能因為準備比賽以及比賽的進行影響正規課程的學習，導致很多學生與家長的誤解，避之唯恐不及，然而值得探討的卻是現行的升學大考制度針對學生進行的紙筆測驗，其實並無法真正測出學生的科學素養與解決問題的能力。即便如此，我們仍舊發現這些有高度興趣參與的學生們普遍在升學的表現上卻是出乎我們意料的亮眼，姑且不論可以保送大學的這些人，我們觀察到這些學生無論參加學測或指考，他們的表現完全不會遜色，甚至更好，我們認為是因為這些學生歷經這些養成與訓練，他們的時間安排與掌控能力提升許多，自學能力也大大提升，更懂得運用各種資源協助他們學習以及解決問題，在在都會讓他們的學習事半功倍。

另一方面，參加競賽活動的好處，普遍的看法除了有獲得獎項的機會以外，在參與的過程，學生可以學到很多的東西，包括可以把課本之中片段的知識整合運用、學習與其他同學分工合作，完成一項研究，甚至在比賽進行當中，還能認識到許多志同道合的新朋友^[6]。然而我們也在思考這些收穫與能力對學生未來的學習與發展是不是必須且重要的？對於這些非正規教學過程的學習效益以及學生所獲得的能力，我們希望找出客觀合適的指標來探討這些能力是不是重要？這些過程對學生各項能力是否有積極正面的幫助？我們最近看到了兩種新的思維[7]：「二十一世紀技能策略聯盟」(The Partnership for 21st Century Skills) 以及「新世代科學標準」("Next generation science standards for K-12 education)，茲針對這兩種指標性的幾個面向來探討學生參與科研競賽過程的效益

一、「二十一世紀技能策略聯盟」(The Partnership for 21st Century Skills)

美國「二十一世紀技能夥伴聯盟」(The Partnership for 21st Century Skills)提出，未來公民最需要的三種關鍵技能分別為「生活與職場技能」(life and career skills)、「學習與創新技能」(learning and innovation skills)、「訊息、媒體與科技技能」(information, media and technology skills)。其中，第二項「學習與創新技能」又包含「創造與創新」(creativity and innovation)、「批判性思考與問題解決」(critical thinking and problem solving)、「交流與合作」(communication and collaboration)^[8,9]。面對日新月異的媒體與科學技術，以及日益複雜的生活與工作環境，「學習與創新技能」是學生是否準備好面對二十一世紀的挑戰的重要關鍵。

1 創造與創新：

- (1) 創造性思維：要求學生能運用廣泛的觀點創新技術；能創設全新且有價值的觀點；能詳述、提煉、分析和評估自己的觀點以改良並強化創造的成果。
- (2) 與他人共同創造性地工作：要求學生能夠開發、應用及有效地向他人傳達新觀點。對新的、多樣的觀點持開放、支持的態度；把群體智慧吸收與回饋到工作中。
- (3) 應用創新：包括把創造性思想付諸行動，在革新將要涉及的領域做出實在的、有用的貢獻。

2 批判性思考與問題解決：

- (1) 批判性思考：又進一步區分為三個面向
 - a. 有效推理 (reason effectively)：要求學生能根據實際情況運用適當的推理方式（歸納、演繹等）；
 - b. 系統思維(use systems thinking)：要求在複雜系統中，分析作為整體的各個部分之間是如何相互作用以產生整體的結果；
 - c. 做出判斷與決策(make judgments and decisions)：可再細分為五點：
 - i. 要求學生能有效分析與評估證據、論證、主張、信念。
 - ii. 分析和評估主要的可選擇觀點。
 - iii. 在資訊與論證之間進行統整與聯結。
 - iv. 根據最佳的分析解釋訊息並推斷結論。
 - v. 對學習經驗與過程的批判性省思。
- (2) 問題解決：分為二大面向，
 - a. 能用傳統和創新的方式解決不同

類型且不熟悉的問題；

- b. 能識別並提出重要問題，以澄清不同的觀點並導向較好的解決方案。

3 交流與合作

- (1) 清晰地交流：在多種狀態及語境中，有效運用口語、寫作及非言語交流技巧，清楚表達思想與觀點；能夠有效傾聽，以辨析含義，包括知識、價值、態度及意圖；為一系列目的（如通告、指導、激發和勸說）進行交流；利用多媒體和技術，在多樣性環境中有效交流（包括多語言環境）。
- (2) 與他人合作：能與不同團隊有效工作並相互尊重的能力；靈活性與主動性，有助於做出必要的比較，以實現共同目標；為協作的工作分擔責任，尊重團隊中個人的貢獻。

對照上述的這些二十一世紀被認為**最重要的技能**，有趣的是我們的正規教學中所進行的課程以及升學過程所參考的大考測驗，似乎並沒有與上述的這些能力有太多關聯，這是很值得我們省思的部分；反觀我們在陪伴、指導學生參與物理競賽與科研活動的過程，卻在在表現出與上述這些能力有高度的關聯性，學生也能在過程中潛移默化的具備、建立這些能力，而這些都是二十一世紀未來公民最需要的關鍵技能，相較之下，學生們所獲得的這些看不到的收穫，實在遠高於競賽過程的成績優劣或是得獎否，不是嗎？

接著我們來看看另一個新的教育思維：

二、「新世代科學標準」與物理競賽

美國國家研究院 (National Research Council) 於 2010 年公布「新世代科學標準」 ("Next generation science standards for K-12

education) 理論架構草案 (a draft of a conceptual framework)，並於 2011 年初提出最後版本，交由政府及相關機構發展新科學教育標準的參考。

新科學教育標準理論架構草案主要針對四個領域：生命科學 (life science)、地球與太空科學 (earth and space science)、物理科學 (physical science)、工程與技術 (engineering and technology)。該草案著重於重整下一個新世代的科學教育標準，挑選新世代在科學、科技與工程領域上所需之科學知識技能，要求所有學生在中學畢業之前都必須習得與精熟，並期許科學教育能達到一個整合性的願景 (move science toward a more coherent vision)。

美國國家研究委員會 (NRC) 提出了科學上所須精熟能力之願景，科學的觀點建立在必須同時以知識為主體以及證據為基礎，輔以模型和理論的建立，不斷延伸，提煉，並修訂知識。他們提出了幾個標準，結合起來形成三個面向，以下我們將討論培訓物理科研競賽之成效以期能培養學生下一個新世代所需之科學知識技能：

1. 實踐 (practices)：

學習科學的過程中，閱讀學科內容、記住一個概念或背誦某段文字並不能幫助學生解決實際問題，因此，《新世代科學標準》強調科學與工程實踐。「實踐」描述科學家研究和建構自然現象的模型及理論時的行為，以及工程師根據設計藍圖建立模型及系統時的過程。科學方面以「實踐」代替「技能」，以強調參與科學研究不僅需要技能，同時需要有特定的知識。工程方面則強調學生應瞭解日常生活與科學、技術、工程和數學的聯繫。「實踐」的內容包括：

(1) 提出疑問並定義問題(Asking questions and defining problems)

科學的第一步是針對現象提出問題，然而，以目前台灣的課程規劃，課堂上主要教授學生系統性的知識觀念，這樣其實並無不妥，但學生在長時間的單方面接收知識後，針對很多觀察到的有趣現象，較缺乏能力根據經驗提出可回答的問題，以確定何者為已知，並確定哪些問題尚未得到圓滿的解答以確立方向進行研究，這實為科學能力相當重要的基礎。對照培訓物理科研競賽中，**研究成果類競賽(科展與物理辯論)**即需要訓練學生具備這方面的能力，學生需要有能力去找出值得研究的問題，進而深入去研究、分析。

(2) 發展並運用模型(Developing and using models)

科學通常包含模型的建構與運用，並以模擬協助科學家針對自然現象發展可能的解釋。模型使科學家跳脫可觀察的現象，模擬尚未觀察到的世界。科學家運用模型，透過「如果...那麼...因此...」的形式進行預測，以測試假設的解釋。事實上，這些能力卻不是與生俱來的，學生普遍在一開始的階段多只是進行所謂的觀察型實驗，只能定性的看出一些變化關係，然而要能建立模型、甚而進行預測，通常需要相當程度的訓練與指導，這些能力也都比較偏向研究型競賽才得以訓練養成的面向。

(3) 計畫並展開調查研究(Planning and carrying out investigations)

科學調查可以在現場或實驗室進行。科學能力重要的一環就是：計畫並展開系統性研究以釐清什麼是重要數據並確定實驗中的變數為何。這其實也是學生需要師長指導的地方，沒有相關的經驗與能力，常常會看到學生做了很多事，但是卻看不出學生想呈現的重點是甚麼。

(4) 分析並解釋數據資料(Analyzing and interpreting data)

科學調查得到的數據必須經過分析才能得到其具有的意義。因為數據通常並不會為自己說話，科學家必須運用一系列的工具有，例如，製表、圖形解釋、視覺化分析、統計分析等，以辨識數據中重要的特徵與模式。確定誤差的來源並計算確定的程度。學生在高中階段可說已經稍具一些數據圖表的能力，然而實作的經驗相當缺乏，在進行物理科研競賽準備過程正是學生學以致用，並熟悉如何使用這些工具的最佳機會。

(5) 運用數學與運算式思維(Using mathematics and computational thinking)

在科學中，數學和運算是表現物理量及其相互關係的基礎工具。它們被用於一系列的任務，例如，構建模擬，數據統計分析，以及認識、表達和應用定量關係。運用數學和運算方法，科學家可以預測並檢驗物理系統的行為。此外，辨識重要模式與建構變量之間的關係時，統計技術也相當重要。雖然學生從小學習數學，但是對於數學工具的理解與運用常常僅止於處理考卷的題目，所謂的數學與運算式思考卻是科學研究最強而有利的武器，藉由研究未知問題的過程，學生可以嘗試使用不同的數學工具處理物理問題，這和一般教學上培養學生解題能力其實有很大的不同。

(6) 建構解釋並設計解決方案(Constructing explanations and designing solutions)

科學的目的是建構理論，以提供物質世界的解釋性理由。一個理論被接受時，應具有多重實證性證據、較強的解釋能力、說明現象的範圍寬廣、和簡約且具有一致性的解釋。學生進行研究比較常見可惜的地方是所提供的舉證較薄弱，無法說服別人自己的論點。

(7) 根據證據進行論證(Engaging in argument from evidence)

科學中，釐清證據的強弱，辨識自然現象的最佳解釋時，推理和論證是基本的方法。科學家必須捍衛自己的解釋，提出以數據為堅固基礎的證據，根據他人提出的證據和評論檢視自己對現象的理解，與同儕合作尋找研究現象的最佳解釋。我們通常會建議學生運用至少二種獨立的方法評估實驗結果，並運用實驗的不確定性比較不同方法得到的結果。實驗結果不同時，針對造成差異的可能原因進行討論。

(8) 資訊獲取、評估和溝通(Obtaining, evaluating, and communicating information)

如果科學家無法清楚地且有說服力地交流其發現，或學習其他人的研究結果，科學是無法進步的。以口頭形式，書面形式，或以表格、圖示、圖形和方程式，以及與同儕進行長時間的討論，以交流彼此的想法與探究的結果，是科學實踐的重要工作。科學研究需要具有經由論文、網際網路、專題研討會、或講座等科學文本提取意義的能力，並評估訊息的科學效度，以取得並整合訊息進而提出解釋。高中階段的這些物理科研競賽活動就是學生最佳練習與學習的場合。

2. 跨領域概念

跨學科概念跳脫學科框架，由各學科領域中淬煉出相互聯繫的概念，它代表一個能統整、應用於所有學科與工程領域的概念，藉由貫穿核心的連接概念，可協助學生構建連貫、統一且系統性的知識。架構中跨領域的科學與工程概念包括：

- (1) **模式(Patterns)**：觀察形態與事件的模式有助於科學活動的組織和分類，有助於發現不同因素間的聯繫和影響。
- (2) **因果(Cause and effect)**：機制與解釋。所

有事件都有其原因，有時簡單，有時複雜。科學的重要活動包括調查、解釋因果關係以及探求問題解決的機制。這些機制應能通過已知條件的檢驗，並可預測和解釋新條件下所發生的事件。

- (3) **尺度、比例和數量(Scale, proportion, and quantity)**：對於研究的現象，應瞭解尺度大小、時間和能量等不同測量之間的關係，並確認衡量尺度、比例或數量如何影響系統的結構和表現
- (4) **系統和系統模型(Systems and system models)**：定義研究的系統(事先確定系統的限制，並對該系統建立明確的系統)，提供科學與工程中能用於理解與測試的工具。
- (5) **能量和物質(Energy and matter)**：流動、循環與守恒。追蹤能量和物質在系統中的進出的狀況，協助我們瞭解系統的可能性和侷限性。
- (6) **結構和功能(Structure and function)**：物體或生命體的形狀和次結構決定其的性質和功能。
- (7) **穩定性和變化(Stability and change)**：包含自然系統和人造系統，其系統的穩定條件和變化，或變化的影響因素都是關鍵的學習元素。

這些概念都是相當重要，也是在各種研究、學習過程，學生會循序漸進的建構起來的觀念，而非強記硬背的公式定律。

3. 學科核心概念(學習內容)

科學知識與日俱增，課程中不可能教授所有的概念，而且，一味地灌輸學生各種新的知識，並無法協助學生建立新舊知識之間的聯繫，進而構建一個深刻的整合性科學知識系統。「填塞」並非資通訊科技時代的科學教育目標，重要的是提供學生必要的核心知

識，協助學生獲取知識並解決問題的能力。聚焦於最精煉的科學與工程概念和實踐精神，使教師和學生有更充裕的時間，更深入地系統性探索與理解每個核心概念。學科概念包含四個領域：物質科學，生命科學，地球與太空科學，工程、技術和科學運用，並聚焦 K-12 階段最核心的課程、教學和評量內容，選擇時至少應具備下列任何二個條件：

- (1) 跨越多門學科或工程領域且具有廣泛重要性的概念，或是單一學科知識組織中的關鍵概念
- (2) 有助於理解和研究更複雜概念，並為解決問題提供關鍵性的工具
- (3) 與學生的興趣與生活經驗相關，能連接需要科學或技術知識的社會性或個人議題
- (4) 通過增加深度和複雜性，能持續在不同的年段中教與學。

我們發現學生在研究與學習的過程中，所需要發展的各項能力顯然就是以上所提及的這些技能，尤其有許多面向都是在正規課程中不容易甚至完全無法讓學生學習或建立的。

在此我們也引述學生的經驗與感想：

謝同學(目前高三科學班，曾獲 TYPT 金牌、IYPT 銀牌，全國科展物理科第三名，學測 75 級分)：

我認為就**物理辯論**而言，這個比賽的三要素就是**物理能力、表達能力和英文能力**，表達能力的部分，因為整個比賽的報告都是以簡報的形式呈現，在準備與參賽的過程中，我們製作簡報的能力大幅提升，包括整體編排、動畫呈現、插入影片的安排等等都得心應手，最重要的“**表達**”就是如此，許多同學都已經練得隨便抓一份簡報上去都能侃侃而談，講滿 12 分鐘，其實這和科展是一樣的方式，其精髓在於要讓聽眾，無論是對手還是評審，了解到你在說什麼，對於這種“

溝通性”的比賽，乃至於之後可能的面試、甚至是就業等等都是非常重要的能力。而英文能力雖然是這個比賽基本能力，不過我認為這同時也是增進英文能力非常有效的方式，也非常有用，畢竟上大學之後時常需要讀原文書，論文的形式也都是以英文為主，這整個過程對於某些專有名詞和科學詞彙幫助甚大，不管將來有沒有要往國外發展，這都是非常正面的幫助。

物理能力方面，以我的經驗可分成物理學識和實驗來說明。首先，這些比賽可分成兩類：**考試型**的學科能力競賽與物奧、還有**研究型**的物辯、科展和旺宏科學獎。就物理知識而言，**考試型**的競賽還是比較著重解題，當然也存在所謂的“教材”，網羅了許多高中不會提到，要上大學才會接觸到的東西，例如電磁學整章、熱學和轉動(有些是高中已刪除的)等等，方向比較明確，甚至將來都還會用的到，雖然說本來的出發點還是“解題”，但是近幾年的題目都有慢慢活用的趨勢，稍稍補足紙本考試不實際的疑慮。而**研究型**的競賽獲得知識的種類和方法就更多樣了，因為基本上他沒有任何線索告訴你要學些什麼，完全是一種“自學”的模式(自己的研究當然只有自己最清楚)，我們從維基百科、專門書籍甚至電子書中學到了大量關於材料力學和流體力學的知識，第二次參加物理辯論賽的時候也吸收了更多光學的一些特殊現象、熱力學二、三定律、分子動力學等知識，因為在研究型比賽中的範疇時常會從物理跨足到工程、材料、化學等領域，正常的物理課程是不會涉及到這一塊的，但這卻非常重要，因為我們往後處理的問題也經常是不只一個面向的；另外非常重要的就是搜尋論文的能力，有時候自己想破頭還是沒有答案的時候，說不定一堆頭腦更好的物理學家早就有答案了，在物辯的過程中我學會引用大量的資料，加上自己的想法和其他計算，一份研究就誕生了，當然對於論文的篩選能力也同等重要，必須認清哪些是需要哪些是不需要的，除了引用論文，自己的研究當然

才是主體! 論文的角色是幫忙指引方向並提供強而有力的支持, 善用的話是非常棒的工具。

實驗能力我認為考試型與研究型的差異也很大, 學科能力競賽的實驗會把器材和目的都告訴你, 測驗的是實驗方法、技巧和報告書的呈現, 這可以判斷選手會不會"做實驗", 但是更重要的"設計實驗"卻比難列入評分(統一標準、時間限制等都是原因, 不過近年也有增加實驗設計空間的趨勢), 若要當"建築師"而不只是"建築工"; **研究型的**比賽會有更大的揮灑空間, 沒有器材、沒人知道怎麼做、甚至沒有明確目標, 有非常多腦力激盪的空間, 我玩了兩年了, 每一次都證明框架是可以打破的, 從想到用游標尺來做狹縫、自製發射台、用兩層氣球夾住溫度計以免用黏的固定會影響結果、甚至還搞了一台 3D 印表機來印實驗器材! 這些實驗可能沒有像物奧要求做的非常漂亮, 但是在培養創意這點上可說是完勝, 這也是我會選擇再次參加物辯的原因之一。補充說明, 軟體的學習也是非常大的幫助, 我們能熟習 Tracker、Mathematica、Origin 等軟體都是託物辯之福(據說之後還會引進 Vpython), 沒再接觸這個區塊的高中生基本上是不會接觸這些的, 不過之後的應用也是非常深遠, 是非常棒的一個附加能力。

由以上學生的現身說法可看出, 這些就是我們認為教師在教學過程可以思考我們希望學生需要具備的能力, 而似乎大多不容易在課堂上的教學中以及大多數的考試測驗中可以期待學生能建立的。

參照這些標準與向度, 有許多能力是課堂上無法傳授或指導的, 藉由陪伴學生進行這些課餘的研究活動與競賽準備對學生的各種能力的提升有相當大的幫助; 另一方面, 並非每一位學生將來都會念物理系, 因此教師們在物理課程的教授過程中希望能讓學生具備哪些能力, 真的是值得教學者思考與探

討的重點。

陸、結論與建議

綜合以上的討論與分析, 最後我們還是要強調這些活動的過程還是無法取代正規的教學課程, 畢竟紮實的學科基礎還是學生進行研究最強大的武器; 這幾年的經驗發現, 往往學科成績非常頂尖的, 在研究過程中吸收能力會較同儕來得快, 訓練之後解決問題能力與獨立思考的能力也都非常出色, 並非一般認為的書呆子只會讀書而不會解決問題, 不過還是要經過訓練的這些過程。

另一方面, 其實各種能力都很重要, 藉由這些活動, 學生可以依自己的興趣或優勢選擇對自己最有競爭力的部份去專研, 也可以針對自己較弱的部份去提升。最後, 還是要感謝舉辦這些活動的相關單位提供這些舞台給學生們盡情發揮, 在進行自己有興趣的科學研究之餘可以有和其他人交流競賽的平台, 這是非常重要的助力, 也希望在未來還有更多更優質的科學研究競賽活動可以讓學生盡情參與, 更能享受自己喜歡的科學研究。

柒、參考文獻

1. 盧政良 (2013). 「高中物理教學」搭配「物理競賽」與「科學活動」之相輔相成, **中華民國物理教育聯合會議**, 台北。
2. 邱韻如 (2012). 高中物理與大學普物之間的學習鴻溝, **中華民國物理教育聯合會議論文集**, 64-67。
3. 謝孟翔 (2013). 由指定考科題目看物理實驗教學, **中華民國物理教育聯合會議**, 台北。
4. 褚德三 (2006). 高中新物理課綱的教學建議, **物理雙月刊**, 28(3), 527-535

5. 劉源俊 (2009). 論高中的物理教育，**物理雙月刊**，31(4),384-389。
6. 黃嘉郁 (2003). 給有意從事科展的青年學子—如何完成一件優秀的科展作品，**科學教育月刊**，265,31-36。
7. 蕭儒棠 (2013). 二十一世紀能力與新世代科學教育標準下的論證評量概念，**中華民國物理教育聯合會議**，台北。
8. Partnership for 21st Century Skills (2008). 21st Century skills, education & competitiveness. Retrieved August 6, 2013, from http://www.21stcenturyskills.org/documents/21st_century_skills_education_and_competitiveness_guide.pdf
9. Partnership for 21st Century Skills (2009). 21st Century skills, education and competitiveness: A resource and policy guide. Tuscon, AZ: Author.

Training Contestants for “physics contests” and “science research” : Challenges and Benefits

Cheng-Liang Lu^{1,2}, Hong-Chieh Chang¹, Ju-Tang Hsiao^{3,*}

¹Kaohsiung Municipal Kaohsiung Senior High School

²Department of Physics, National Taiwan University

³Research Center for Testing and Assessment, National Academy for Educational Research

*e-mail: jthsiao@mail.naer.edu.tw

Abstract

Physics is difficult for many students. High school physics teaching has often been criticized for the exam-oriented and seriously affected by credentialism. Alternatively, we developed a number of physics related research contest in Taiwan. Beyond the conventional way of teaching high school physics, students participate in the process of activities that may improve students' scientific capacity and enhance the willingness of learning. The authors share the experience in the process of physics teaching in high schools, from the uninterrupted training students to participate in various physics contest (physics contest, International Physics Olympiad, mechanics competition, International Young Physicists' Tournament, Macronix Science Award, etc) and Scientific events (physics youth project, Science Fair, Wu Chien-shiung science camps, etc.) The experiences and knowledge of several years of attempts, committed to the routine annual scientific and educational activities of these modular training, allow students to have independent research and capacity to explore problems. In recent years, we have gradually seen the outcomes. Furthermore, we discuss the advantages and disadvantages, analyze the impact and benefits of these activities and provide recommendations to physics teachers.

Key words: physics contests, benefits of science activities

