物理教育學刊
2021, 第二十二卷第一期, 39-48

Chinese Physics Education
2021, 22(1), 39-48

10.6212/CPE.202107_22(1).0004

2020 年「創意科學 FUN 一夏」科普實作與闖關科學營活動紀實與成效評估

曾瑞蓮[1]*　許馨月[1]　曾靖雯[1]　洪偉清[2]**

[1] 國立科學工藝博物館
[2] 中華民國陸軍軍官學校　物理學系
* jessica@mail.nstm.gov.tw　** hung.wc0602@msa.hinet.net

（投稿日期：110 年 05 月 15 日，接受日期：110 年 06 月 16 日）

科普教育可藉由生活中常見事物來解說物理科學，利用深入淺出的演示和操作，能快速的捕捉學習者的目光，讓學習者能融入情境而能接受和理解其中的科學原理（洪偉清，2021）。透過科普活動的推廣，讓科學教育更貼近生活並能於實作獲取真實的體驗，以激發學生自主學習科學的動機。2020 年度創意科普實作與闖關科學營活動自 6 月至 10 月期間，於金門、澎湖、宜蘭、花蓮、臺東、馬祖等地區，辦理中小學校、社區科普推廣活動，邀請合作學校師生及鄰近社區民眾共同參與，培訓當地志工協助活動執行，提供偏遠地區的民眾與學子有機會藉由動手體驗科學活動，也播下科普教育紮根茁壯的種子。本文主要簡介本系列活動的推動歷程、執行規劃，以及 2020 年度的執行成果，同時以通用學習成效的模式進行活動評估，並整合提出後續發展的建議。

壹、 推動歷程

「創意科學 FUN 一夏」系列活動緣起於 2013 年，由中華民國物理教育學會支持陸軍軍官學校物理系推動之科普活動，同時也獲得國科會（現已更名為科技部）專案經費補助。活動主要人力為陸軍官校科普團隊教師群與陸軍官校學生，經培訓後在暑假期間辦理臺中梧棲、澎湖地區親子科普活動及在陸軍官校辦理高中科學競賽營；課程內容以生活與趣味物理及資訊教育為主，採分組闖關競賽方式進行。

2014 年暑假期間，陸軍官校物理系與東華大學物理系合作，於東華大學附設實驗國民小學辦理**「社區親子科學營」**，由陸軍官校師生搭配東華大學學生擔任活動人力辦理科學闖關活動，提供花蓮地區的學童與親子有機會藉由動手體驗科學活動，9 月至 10 月期間，於臺中梧棲區辦理科學玩具研習營，課程主要結合地方特色，以「風」做為課程規劃主軸，活動方式

以小組競賽方式實施，小隊輔持續由陸官物理系學生擔任。

2015 年上半年正式開始與國立科學工藝博物館（以下簡稱科工館）的合作，由陸軍官校學生擔任志工合辦「軍官與小玩子」系列社區親子科學體驗活動，在博物館造成軍官旋風，提供社區民眾不同的活動體驗。2016 年起結合國家通訊傳播委員會贊助科工館之電磁波宣導計畫和教育部國民及學前教育署「科學教育資源推廣計畫」，科工館科教團隊正式加入偏鄉社區科教服務團隊，同時清華大學戴明鳳教授、臺東大學林自奮教授、萬能科技大學周鑑恆教授等團隊也於本年度加入服務團隊，群策群力拓展服務量能，於臺東、花蓮、臺中、澎湖、金門等多處偏鄉、社區留下足跡。活動型態因地制宜，若在活動中心或禮堂等大型空間，採取時段內自由闖關；若於一般教室空間辦理活動，則採取多間教室同時運作，分組定時換關模式。活動內容包含完整的電磁學系列、泡泡科學及 DIY 實作，活動人力除陸軍官校學生外，活動當地大學校院學生、社區志工也是重要來源。

陸續加入更多的地區社群與大學校院等團隊，不僅能提供更多元的活動內容，同時也作為各科普團隊相互交流教學經驗、教具設計與活動設計的平臺。後續連結了科技部「科學志工火車頭計畫」，使嘉義天文協會、東海大學與金門大學科學志工團隊加入服務的行列，使服務人力資源充沛，便利活動執行，同時藉由活動帶領人培訓來提升社區志工的科學素養與活動辦理能力，使科學教育種子在社區生根茁壯。

2018 年至 2019 年科普團隊更前進馬祖，讓服務的版圖更加擴展；澎湖場活動首度加入高雄大雄余進忠教授及在地的澎湖科技大學李孟芳教授，融入地方特色進行科普推廣，亦培訓馬公高中科學志工擔任小隊輔導員與解說員，提供高中生不同的科教體驗。嘉義大學蘇炯武教授、屏東大學許華書教授隨後陸續於花東、南投、臺中等場次加入，越來越多的科教單位齊心共襄盛舉，活動量能倍增，而活動型態亦調整以分組定時輪站式闖關形式為主，使學員皆能在特定時間內，專注而有效率地進行各項科學體驗、探究活動，提升活動品質。但後續由於科技部「科學志工火車頭計畫」的執行方式變更，不再投入本活動，致使現場服務人力短缺，需協商活動地主學校號召愛心媽媽或畢業生前來培訓協助，因此活動品質的維持形成團隊的較大挑戰。但完整的活動規劃團隊和能因地制宜的調整活動方式的能力，造就極富彈性與生命力的活動辦理型態，有助於推廣活動的賡續辦理。

貳、 文獻探討

一、科學動手做活動的特性

動手做是一種有效的促進科學學習方式，能有效提升學生學習動機與學習興趣（Holstermann、Grube 與 Bögeholz，2010）。亦即當學生對學習活動有興趣時，會投入較多的注意力，也較可能會以有意義與有組織的方式去學習，因此能夠提升學習成效（Hearns、Miller 與 Nelson，2010；Lee，2007）。同時，動手做更有助於創造力（蕭顯勝、洪琬諦、伍建學，2009）。

Jensen、Wood 與 Wood（2004）提出科學活動應能提供學生增進科學認知與解決問題的能力，具備刺激、好玩、有趣的特性，並能融合真實生活的事件。而 Burns、O’Connor 與 Stocklmayer（2003）認為好的科學活動應能讓參與者感到樂趣或產生相關情緒反應，進而能

自發地參與、提高科學興趣與科學理解、形成或改變看法。O'Brien（2010）認為，使用科學教材進行教學活動，能夠增加課程以外的經驗，並使抽象的科學概念具象化，且讓學生相互印證生活與科學理論。Oladejo、Olosunde、Ojebisi 與 Isola（2011）則主張並非所有種類的教材都能發揮功用，科學教師應慎選並善用適當的教材，方能促進教學與學習之成效，並降低教材教具維護成本。呼應此點，許良榮教授在 2004 年便曾提出適用於教學的科學遊戲篩選準則：（1）器材的取得是否方便、經濟；（2）遊戲是否具有明顯效果；（3）遊戲內容與教學目標之連結；（4）確認遊戲（操作）的可行性、安全性與效果等（曾瑞蓮、許馨月、曾靖雯與張圓媛，2020）。

二、通用學習成效

英國萊斯特大學博物館學研究所所設立的博物館與藝廊研究中心，曾於 2001 年接受英國博物館、圖書館與檔案館委員會（The Museums, Libraries and Archives Council, MLA）委託，針對觀眾在博物館或其他等非制式學習場域的表現，發展出一套評量標準，進而催生了通用學習成效（Generic Learning Outcomes，GLOs）。其主要提供博物館教育人員描述個人學習經驗的共享語言，以系統性地討論觀眾的學習所得，作為量化與質化研究之架構。Hooper-Greenhill（2007）認為學習成效應該依據學習者的行為所建構，其為詮釋性與概念性的框架，可被廣泛使用。根據 Hooper-Greenhill 之定義，其內容涵蓋五大學習向度，分述如下：

GLOs 1 知識與理解：學習事實與資訊，發展深入理解，可以是特定主題或者是跨科目、主題領域的連結；

GLOs 2 技能：經由經驗來取得執行某件事情的方法與能力。可以被廣泛區分為認知、智識、社交、情緒、體能或實作面向、使用想像力等；

GLOs 3 態度與價值觀：人們吸收新資訊時，態度會隨之發展，繼而形成價值觀、影響決定。其影響可能在短期內不明顯，且在學習者尚未意識到時形成。發展對於多元觀點的欣賞、理解差異與包容是在這個學習領域的可能成果；

GLOs 4 愉悅、啟發與創意：愉悅可能會為學習者帶來正向積極之發展以及重複此經驗的慾望。開放式的環境提供探索與實驗，能帶來創新的思維與做法；

GLOs 5 活動、行為、進展：活動可能會指出或表示學習成果。當人們首度要做某件事、更頻繁地做某件事，或是以不同方式做某件事，其行為與行動即表示學習已經開始了。而進展則可被視為實現變革行為之結果。

通用學習成效提供非制式教育學習體驗與活動成效的相關構面，過去許多研究均已證實此架構的適用性與效益（徐典裕、王薏涵、郭凡瑞，2015），近年來除了在英國被廣泛運用外，國內蘇芳儀（2020）、徐典裕等人（2015）、陳麗淑、宋祚忠與陳思妤（2020）、劉冠任、章晨玫與張鈞翔（2017）均採用此架構進行非制式教育活動評量，實證此種評估架構，適用於進行非制式教育活動與學校教育連結、提升學習者自然科學學習樂趣、學習成效與學習態度的評量。因此本文採用通用學習成效作為檢視活動參與學員學習效益之標準。

參、 2020 年活動規劃與執行

本系列科學營活動主要提供社區與偏遠地區的學童，有機會藉由動手操作的方式來體驗科學，並能運用生活中常見的材料來了解科學原理，進而能利用科學方法解決生活問題。2020 年度的執行，延續陸軍官校與科工館的合作主軸，連結臺東大學、東華大學、高雄大學、屏東大學、嘉義大學及中華民國物理教育學會等單位合作，並結合社區、學校及科教館所等資源，共同推動社區偏鄉科教活動。藉由最少的人力、物力投資，取得最大的推廣效益，並同時辦理地區科學志工的訓練與組織聯繫，提高未來科學教材推廣在地深耕合作的可行性。

本年度分別於金門、澎湖、花蓮、臺東及馬祖等地區辦理中小學校、社區科普推廣活動，邀請合作學校師生及鄰近社區民眾共同參與，總計辦理 13 場次活動，共 1,142 人參與。活動日期、地點、人數明細詳如表 1，主要的活動內容包含科工館和臺東大學的光學主題系列和陸軍官校改編臺灣青年學生物理辯論競賽題目的創新活動，詳如表 2(活動關卡與過關標準)。另搭配合作單位提供的活動資源和地區特色而進行彈性調整，如東華大學提供的冰雪奇緣、遙控迷宮和神奇的真空；高雄大學的乒乓陀螺；澎湖科技大學的海龜公主的沐浴綿 PK 阿嬤的傳統菜瓜布；國立臺灣科學教育館的搶救乒乓等活動。

表 1：社區偏鄉推廣活動場次明細

場次	活動日期	地點	參與人數
1	6 月 30 日	金門西口國小	66
2	7 月 1 日	金門賢庵國小	150
3	7 月 3 日	金門開瑄國小	110
4	7 月 13 日	澎湖七美國中	40
5	7 月 15 日	澎湖案山里活動中心	126
6	7 月 16 日	澎湖文光國小	85
7	7 月 17 日	澎湖隘門國小	76
8	7 月 25 日	宜蘭蘭陽女中	86
9	7 月 28 日	花蓮東華附小	120
10	7 月 30 日	臺東新生國中	72
11	10 月 6 日	馬祖介壽國中小	119
12	10 月 8 日	馬祖敬恆國中小	22
13	10 月 10 日	馬祖塘岐國小	70

表 2：活動關卡名稱及過關標準

	活動主題	配分	闖關通過的標準
1.	反射拼圖	10	運用鏡面反射原理，以合作方式，在時限內拼出從正上方能看到完整的色塊拼圖即過關得 5 分，進階拼出完整的圖案拼圖可再得 5 分，滿分 10 分。
2.	萬花筒 DIY	10	依指令完成萬花筒組裝製作即過關得 5 分，進階完成觀察物繪製並進行觀察分享可再得 5 分，滿分 10 分。
3.	影子造型師	10	合作以手電筒和幾何圖卡投影，利用影子組合出指令卡上的造型。完成簡易綠卡造型即過關得 5 分，接續挑戰進階黃卡及挑戰紅卡成功，可分別再得 3 分及 2 分，滿分 10 分。
4.	色光變變變	10	合作利用三原色光來合成指定色光即過關得 5 分，嘗試變換光源的角度及距離，讓圖卡呈現指定色彩，可再得 5 分，滿分 10 分。
5.	終極密碼	10	能將散亂的圖形正確拼圖並說出內容得 5 分；重新調整圖形並在上面放上壓克力棒，也能顯示出相同的圖形得 5 分，滿分 10 分。
6.	猜猜我是誰	10	能說出變形態的圖案與放入圓柱反射面所見相同即可得 2 分，滿分 10 分。
7.	乒乓陀螺	10	將乒乓陀螺依指定路線或由起點走至終點，通過五個關卡，每關 2 分，滿分 10 分。
8.	薩克森計時碗	10	利用配重方式調整碗下沉速度，使其下沉時間可在設定時間 0.5 秒誤差範圍內即過關。
9.	變頻擺音管	10	利用快速擺動波浪管，使管子產生不同頻率的音調，產生一種音調可得 3 分，滿分 10 分。
10.	吸管火箭	10	利用控制發射器橡皮筋的彈力，能讓吸管火箭命中指定目標，每命中 1 次可得 2 分，滿分 10 分。
11.	繩上球	10	球彈性碰撞連續 10 次可得 3 分、雙球扭擺（可控繩上球的高度）可得 4 分、繩上踢球（用手拉繩子一端，用腳踢球其擺動並能連續踢球達 10 次）可得 3 分，滿分 10 分。
12.	鉛筆導線	15	利用電阻音頻轉換器連接鉛筆線條使其產生聲音，並找出不同，每找出一音調可得 2 分，滿分 10 分，能彈奏曲目可另加 5 分。

在配合活動辦理人力的搭配上，本年度除在高雄、臺中地區有大學生的人力支援，花蓮、宜蘭有高中生的協助外，其餘場次均嘗試以活動地主學校學生（國中生）或應屆畢業生（國小六年級）為活動帶領人力，部份結合社區志工來執行，由團隊進行活動帶領的教育訓練。對學生而言，有機會完整學習所負責的科學遊戲關卡相關內容，包含科學原理、製作程序、說明方式和活動帶領技巧等，又能直接運用在學弟妹身上，回饋即時且能在教授們的指導下，因應現場狀況來調整活動帶領方式和應對，是難得且珍貴的機會。而參加活動的學員也因為是學長姊的帶領而有親切感，打破對科學學習的預設和排拒，活動現場瞬時熱烈輕鬆了起來。但也由於活動帶領人實質上還是個孩童，和活動參與者同質性高也玩心重，有時玩得太開心或無法使學員安定下來聽完解說，致使說明不完全而使學員無所適從，或無法兼顧到每一位學員而影響活動效益，便形成團隊成員的壓力，只能盡量從旁協助維護秩序與協助說明指導，盡量照顧到每位學員的參與和學習。總計在各地區辦理了 13 場次活動帶領志工培訓，完成 274 人的訓練工作。

肆、 活動成效評估

為了解參與活動學童在活動中的學習收穫，工作團隊運用英國博物館、圖書館與檔案館委員會於 2005 年至 2006 年間以通用學習成效模式執行研究所建構的問卷，針對此次參與偏鄉科學營的國小學童，酌修問項文字並加註注音符號幫助閱讀來進行檢測，施行問卷時輔以口語解說提升學童對於問卷的理解。共計七題選擇題，提供「同意」、「不同意」、「不知道」三個選項供其勾選，最後一題採開放式問答，調查學童在科學營當天印象最深刻的活動及原因。由於場地和施測便利性的考量，以金門地區進行的兩場科學營學員為施測對象，問卷於當天活動結束後發放，填答完畢後當場回收，總計得到 190 份有效問卷。其中，男性 87 位（45.8%）、女性 103 位（54.2%），而一年級學生 12 位（6.3%）、二年級學生 17 位（8.9%）、三年級學生 40 位（21.1%）、四年級學生 42 位（22.1%）、五年級學生 59 位（31.1%）、六年級學生 10 位（5.3%），另有 10 位六年級學生（5.3%）擔任活動關主，同時也填寫問卷。

整體而言，參與科學營的學員除了在關於啟發與創意的問項「5. 我想到一些可以嘗試的想法或作法。」選填不知道的人員較多外（15%），其餘問項填答同意者皆達八成以上，其中前三題關於「知識理解」、「學習新技能」和「愉悅」相關的問項，同意者更達九成以上，顯示活動以通用學習成效的架構進行評估，在各構面上成效均良好。問卷內容及分析結果詳見表 3。

表 3：參與科學營活動感受調查分析

項目	同意	不同意	不知道	合計
參加完今天的活動，我覺得…				
1. 我喜歡今天的活動。	177 (93%)	4 (2%)	9 (5%)	190 (100%)
2. 我學習到一些新的、有趣的東西。	181 (95%)	4 (2%)	5 (3%)	190 (100%)
3. 活動內容我大部分都可以了解。	171 (90%)	6 (3%)	13 (7%)	190 (100%)
4. 這是個令人興奮的活動。	166 (87%)	7 (4%)	17 (9%)	190 (100%)
5. 我想到一些可以嘗試的想法或作法。	150 (79%)	11 (6%)	29 (15%)	190 (100%)
6. 活動的內容對學校的學習有幫助。	152 (80%)	11 (6%)	27 (14%)	190 (100%)
7. 我想去發現與學習更多科學相關的事。	153 (81%)	15 (8%)	22 (12%)	190 (100%)

在開放式問答中，總計有 101 位學童填答，有 51 位皆反映印象最深刻的活動為「萬花筒 DIY」，41 位提及「吸管火箭」，接著依序是「色光變變變」、「繩上球」、「影子造型師」和「反射拼圖」。其中四項光學主題活動均為科工館結合學校科學課程內容所設計，特別受到學童的青睞。推論學童在過往學習經驗中，多少有接觸或學過光學包含鏡面成像、光與顏色、影子造型等內容，活動提供更有趣和創意的操作模式，由簡單到繁複，奠基在過往經驗提高了接觸的信心，而在競賽的情境中，升高挑戰的意念而能克服困難加深印象。吸管火箭具備材料

簡單容易複製，及挑戰性和即時回饋且便利調整而廣受歡迎，而最多人提及的「萬花筒 DIY」，證實了學童還是喜歡能夠自己動手完成一個能顯示個人特色的科學遊戲作品，好互相分享與帶回家和家人同樂。利用文字雲詞彙分析，統計在填答中出現頻率最高的詞彙，包括「好玩」、「有趣」、「很有挑戰性」、「體驗」和「可以自己創作」，意見列舉如下：

「我覺得它做起來很可愛、漂亮，也可以學到很多不同的作品，希望這個活動可以持續下去，畢竟這是我們的喜愛，不但不用上課，還可以學到科學新知識，這個活動非常好玩！」;「那是我完全沒做過的東西，可以動手體驗我覺得很開心。」;「可以自己創作屬於自己的。」;「做完可以帶回家。」;「觀看萬花筒讓人身歷其境。」（萬花筒 DIY）

「大家同心協力一起完成。」;「可以體驗玩影子。」;「很有挑戰性。」;「因為能和同學一起合作。」（影子造型師）

「第一次做這個活動，所以很喜歡。」;「他可以讓我思考。」;「因為它是用反射拼出來的。」（反射拼圖）

「因為它讓我了解了一些原理。」（薩克森計時碗）

「因為玩起來很特別，然後可以控制遠近。」;「很有趣、很好玩，而且有點難度。」;「因為這個需要想想射出去的角度。」;「因為抓到訣竅了。」（吸管火箭）

「以前都是我們體驗，這次換我們當關主很特別！」;「我要服務別人很累，沒有玩到想要的活動。」（活動關主）

伍、 結語

創意科普實作與闖關科學營活動歷經多年深耕地方社區及偏鄉，所累積的執行成果豐碩，提供學童及民眾以歡樂和挑戰的方式來體驗科學，在結合各方資源的規劃下，能以最有效率和最經濟的作法，完成多地區多場次的服務。而這樣的規劃設計，除了教材資源的累積與活動經驗的成長，也能建構出陣容堅強的服務團隊，團隊間相互觀摩、交流合作，一起分享資源進而更促成服務量能的提升，使社區科普推廣活動能逐漸的遍地開花，不斷地往外擴散，不僅限於團隊本身的規劃，團隊成員也能自主地另外組織合作團隊，為社區偏鄉服務。

除了活動內容設計與適切的活動引導規劃外，穩定的活動帶領人力具備關鍵性的影響，從早期以陸軍官校師生為主力，到運用各大學校院學生人力，後續搭配科技部「科學志工火車頭計畫」，結合各地區大學、高中和社團人力資源，都有穩定的活動支援後盾，讓規劃者在教材設計與活動現場，所受限制較少使能運用的素材和形式都較為彈性，而後續活動帶領人逐漸變更為以活動地主學校應屆畢業生或以國中學生為主力，因應學生的操作與相關能力的侷限，在活動內容與執行方式的處理，就需要更審慎且周延才能維持現場執行的品質。但此種處理方式頗受活動地主學校的歡迎，讓學長姊來帶領學弟妹參與活動，在學生能力的養成和學校凝聚力的提升上，均有實質的效益，也使學校在自行規劃辦理類似活動上更具信心。

在活動參與學員的學習成果部分，由問卷統計結果顯示，在通用學習成效模式的五個構面均達到很不錯的回應，在表達「啟發與創意」的「我想到一些可以嘗試的想法或作法」問

項和表現「活動、行為、進展」構面上的「我想去發現與學習更多科學相關的事」問項，皆有八成左右的學童表示同意，證實活動規劃與執行的完整與合理性。從學童對開放式問答的回應可知，科學 DIY 還是活動安排的首選，在活動特性上，除了已知的刺激、有趣之外，過去經驗的連結、材料簡單易於複製、具思考性和挑戰性，以及即時回饋並能控制調整也是吸引學童融入參與的關鍵因素。這也和文獻探討所彙整之科學動手做活動的特性相互呼應。

系列科學營的成效良好，表現在每場活動結束時，地主學校校長多會在閉幕頒獎時，在全體學員面前，公開要求團隊許下明年度再次蒞臨辦理活動的承諾，而在總召集人陸軍官校洪偉清教授同意時，全場師生的熱烈掌聲表達了對團隊服務的滿意與熱切。如何能持續開發適齡適性且結合地區特色的科學推廣活動，以及持續爭取適當資源維持甚至擴大服務場域和對象，是團隊努力的目標，而現場活動帶領人力的穩定來源和良好的培訓規劃也是需積極面對的重要事項，為了偏鄉與社區學童的科學興趣和素養提升，值得大家的參與和努力。

參考文獻

1. 洪偉清（2021）。臺灣科學節創意實作科學營推廣與省思。科學研習月刊，60-2，科普活動報導。取自 https://www.ntsec.edu.tw/LiveSupplyContent.aspx?cat=15571&a=6829&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&lsid=16884
2. 徐典裕、王薏涵、郭凡瑞（2015）。博物館虛實整合科普教育應用與推廣服務模式－以融入小學課程主題之虛實整合行動學習為例。博物館學季刊，29(1)，99-115。
3. 許良榮（2004）。從科學遊戲到科學教學。國教輔導，44(2)，6-11。
4. 陳麗淑、宋祚忠、陳思妤（2020）。博物館之通用學習成效研究：以國立海洋科技博物館金魚特展為例。博物館與文化，19，3-33。
5. 曾瑞蓮、許馨月、曾靖雯、張圓媛（2020）。博物館推動新興科技議題之觀眾參與經驗探討：以電磁波宣導體驗推廣活動為例。科技博物，24(3)，141-165。
6. 劉冠任、章晨玫、張鈞翔（2017）。科學博物館「探尋臺灣哺乳動物化石」系列教育活動成效評量。科技博物，21(2)，51-76。
7. 蕭顯勝、洪琬諦、伍建學（2009）。以網路遊戲實施科技創造力教學之研究。藝術學報，(84)，93-116。
8. 蘇芳儀（2020）。通用學習成效應用於博物館展示教育規劃設計之研究：以國立科學工藝博物館「DIY 無人機」為例。博物館與文化，19，67-94。
9. Burns, T. W., O'Connor, D. J., & Stocklmayer, S. M. (2003). Science communication: a contemporary definition. *Public understanding of science, 12*(2), 183-202.
10. Hearns, M. K., Miller, B. K., & Nelson, D. L. (2010). Hands-on learning versus learning by demonstration at three recall points in university students. *OTJR: Occupation, Participation and Health, 30*(4), 169-171.
11. Holstermann, N., Grube, D., & Bögeholz, S. (2010). Hands-on activities and their influence on students' interest. *Research in Science Education, 40*(5), 743-757.
12. Hooper-Greenhill, E. (2007). Museums and education: Purpose, pedagogy, performance. Routledge.
13. Jensen, D., Wood, J., & Wood, K. (2004, June). A design methodology for hands-on classroom experiences. Proceedings of the ASEE Annual Conference and Exposition. Retrieved from http://www.me.utexas.edu/~alps/publications/documents/ASEE2004ADesignMethodology.pdf

14. Lee, S. J. (2007). Exploring students' understanding concerning batteries—Theories and practices. *International Journal of Science Education, 29*(4), 497-516.
15. O'Brien, T. (2010). Brain-powered science: Teaching and learning with discrepant events. NSTA Press.
16. Oladejo, M. A., Olosunde, G. R., Ojebisi, A. O., & Isola, O. M. (2011). Instructional materials and students' academic achievement in physics: some policy implications. *European Journal of Humanities and Social Sciences, 2*(1), 112-126.

曾瑞蓮　許馨月　曾靖雯　洪偉清