

Arduino 在物理實驗與跨領域科學教育的實務應用開發計畫

戴明鳳¹、李芳瑜、施宙聰、林錦言、胡文彧、林家賢

¹ 國立清華大學物理系及教務處跨領域科學教育中心

E-mail: mftai@phys.nthu.edu.tw

Arduino 開發卡因價廉物美、易用、軟硬體擴充性皆強，並兼具 open-source electronics prototyping platform，讓即使不具備自動控制程式語言編寫之專業背景能力者也易於學習。本計畫以 Arduino 控制器板和相關感測元件作為大學普物實驗、其他相關實驗課程及跨領域科學實驗系統中所需之實驗數據感測、擷取與分析等多功能的控制平台，以進行各項物理實驗改善工程；並進一步協助設計實驗教材。此外，基於學生對智慧型手機的高度依賴與喜愛，引導學生探究智慧型手機內建的各式感測器，並將之善用於物理實驗的測量，以期能提升學生學習物理和深入探究科學實驗的熱情。並期望研發成果也能有助於中學教師自行開發實用且價廉的實驗教具、教案，以提升實驗教學的成效及激發學生自發學習的意願。

本計畫已陸續完成多項用手機做科普 DIY 實驗的設計，也已完成運用(1)智慧型手機的數位攝影與照相功能，(2)手機內的加速度感測功能，及(3) Arduino 搭配超音波測距的測距功能等三種測量方式，同時進行於一般課堂內之教學實驗中，如物體之運動軌跡的測量、物體與彈簧系統之簡諧與阻尼運動的即時攝影與運動物理量的即時測量；並探討三種測量方式之優缺點的比較。另亦探討赫姆倫斯線圈亥姆霍茲線圈對(Helmholtz coil pair)的磁場分佈測量。所得之設計結果已廣泛地使用於清華大學的普物實驗課程內多項實驗中。

一、計畫緣起

傳統物理教學實驗中，具自動控制及數據擷取系統的各類實驗系統多是使用國外歐美廠商特殊規格的微電腦控制平台和原廠的感測器；或國內廠商自行製作的光電計時控制系統等。但外購產品除價格不菲外，另常讓使用者面臨下列諸多困境：

- (1) 原廠通常不提供自行設計或修改的功能；不提供原始控制碼，或感測元件的原始校正數據表，對需自行變更或有其他設計研究開發之需求者，相當不便；
- (2) 控制平台和感測器多不具使用者親和力；
- (3) 現今電子儀器通常使用壽命僅 4-6 年。當面臨器材損壞時，常需送回原廠修復；但常遇原廠不再生產舊型號，故須花費更高費用以升級或更新相對應的產品。且常遇升級版後的產品或控制平台，還必須搭配更新版本的電腦作業系統，才能讀取和存取實驗數據。以致原僅是因小器材需維修或更新，但卻隨之需花費相當高的金額做整體的更新。

為能免於原廠產品上述諸多缺失，故本計畫即以 Arduino 控制器板和相關感測元件作為大學普物實驗、其他相關實驗課程及跨領域科學實驗系統中所需之實驗數據感測、擷取與分析等多功能的控制平台，以進行各項物理實驗改善工程。

Arduino 介面控制卡不僅為 open-source electronics prototyping platform，且軟硬體擴充性皆強。對初學者即使不具備任何程式或自動控制程式語言的編寫能力和背景，也很容易上手學會，故相當易學好用；此外，易於建立人機互學、互動式的教學系統。更吸引人的是該產品易於取得，目前連原廠的 Arduino 板價格也大幅降至 NT\$150-數百元之間，故價格相當親民，

即使是學生也買得起。故本計畫以引導大學低年級生及國、高中學生為學習對象，以此具開源性的Arduino開發板作為數位控制平台，自製具自動控制的實驗裝置。以期能提升學生樂於動手做實驗、探究問題、提昇樂於學習科學知識的興趣，並進而激發深入探究科學的熱忱。

另因現今智慧型手機功能越來越強，精確度與精密度也越來越優，且朝全方位的數位化智慧生活的多元發展。智慧型手機發展至今幾乎已達到對一般普羅大眾，特別是學生們，可說具有其他物品無法比擬、無法超越的強大魅力和無法抗拒的誘惑；故本計畫也結合智慧型手機做科學實驗的模組與實驗教材的研發，並探討以Arduino 和智慧手機測量之精確度、可靠度與再現性的議題。

我們團隊長期以來所設計的實驗課程、教學內容和成果不僅提供大學師生使用，也特別設計供K12師生使用的內容，甚至大眾動手作的科學實驗器材，以能同時兼顧國中小及高中之實驗內容為目標，期使研究成果也能有助於各級國高中小學教師的實驗教學和激發學生自發學習的意願，以擴展所研發之實驗系統的實用性，提高其被使用的廣度。並呼應108年度即將啟動的12年國教新課綱將要執行之新課程「探究與實作」的精神與實務。以期對提升台灣學生對動手做科學的激情和學習成效能進一點點大學端的心力。

二、目前已研發成果

以 Arduino 板取代歐美廠商所配備的控制系統和昂貴感測器的 SWOT 圖表和成果海報。



圖 1：Arduino 開發板取代歐美廠商配備的控制系統和昂貴之感測器的 SWOT 分析表和本計畫成果海報

三、已完成之即時測量實驗

已完成運用(1)智慧型手機內的數位攝影與照相功能，(2)智慧型手機內的加速度感測與陀螺儀功能，及(3)Arduino 搭配超音波測距感測模組的測距功能等三種測量方式，同時用於一般教學實驗課中的實驗內測量相關的運動物理量，如物體之運動軌跡與速率、加速度等物理量的測量、物體與彈簧系統之簡諧運動與阻尼運動的即時攝影與運動物理量的週期和位置的即時測量；並探討三種測量方式之優缺點及比較三種測量法的適用範疇。

另探討亥姆霍茲線圈對(Helmholtz coil pair)的磁場分佈測量，並已完成成本低於 NT\$2,000 之自動化亥姆霍茲線圈對(Helmholtz coil pair)之實驗裝置的研發；並探究此系統之磁場分佈測量結果的精確度與有效度。美國 PASCO 公司類似的實驗系統一套售價高達 5 萬元以上。此外，亦陸續運用智慧型手機完成多項科普測量實驗之設計研發，如單擺的週期與地球的重力加速度測定，測量結果並與用 Arduino 測量的結果作比較。

106 年本團隊受物理學科中心邀約，於台灣北、中、南、花蓮四個地區辦理教師研習，將使用 Arduino 的經驗與心得分享給台灣國、高中自然領域教師們。故 106 年陸續有高中老師透過本校跨領域科教中心向我們購買所研發的實驗裝置，特別是成本低於 NT\$2,000 之自動化亥姆霍茲線圈對實驗裝置，僅半年即售出數十套之多。107 年度更進一步提高其測量的精確度和系統品質，使之適合國、高中的物理實驗課程，並將售價訂於 NT\$2,000 以內，以利中學教師能以可接受的合理價格購買，並於上課中使用，相信未來應會廣受 K12 學校所接受。

(一) 探究智慧型手機和 Arduino 用於測量物體之運動軌跡及相關物理量的功能性實驗

1. 實驗目的：

- (1) 探究智慧型手機的內建功能和 Arduino 運用在物理實驗可行性。
- (2) 利用智慧型手機內的加速器裝置測量單擺中擺錘的加速度變化，並計算單擺的週期。
- (3) 探討能獲得精確的實驗數據與結果各種因素。
- (4) 根據測量結果推算各項相關物理量，如當地重力加速度、單擺的週期、阻尼係數等等。
- (5) 比較不同測量工具和方式所得的實驗數據和結果，探究各方法的優缺點和適用範圍。

2. 儀器架設：

- (1) 以智慧型手機做為單擺系統的擺錘，並以手機內建的加速度感測器作為測量儀器。使用「Physics Toolbox Suite」或 Phyphox 免費的 APP 軟體，選擇線性加速計進行測量。
- (2) 另取一支手機，使用手機內的攝影功能，同時記錄物體的運動狀態。
- (3) 依實驗需求適當地架設超音波測距感測模組，運用 Arduino 卡及撰寫好的數據擷取程式即時自動測量物體的位置。

(二) Arduino 已運用於清大普通物理實驗 I 課程的大部分實驗中：

表 1：清大普通物理實驗室運用 Arduino 執行項目

改善之實驗	執行之成果	成果簡述
1. 物體運動軌跡和相關物理量測量實驗 2. 牛頓第二運動與斜面運動 3. 碰撞實驗 4. 力學簡諧震盪實驗	使用下列四種不同方式記錄運動體的運動狀況 (1) Arduino 及 HC-SR04 超音波測距感測模組 (2) 以智慧型手機的加速度感測器記錄運動體的加速度隨時間的變化 (3) 手機或個人電腦系統內的數位攝影機錄製物體的運動軌跡 (4) 傳統的光電計時器紀錄運動體的速度，加速度，或時間等物理量隨位置的變化趨勢	已完成並已納入清華大學普物實驗課程中實施使用

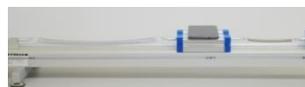
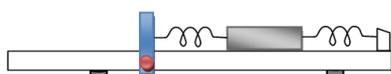
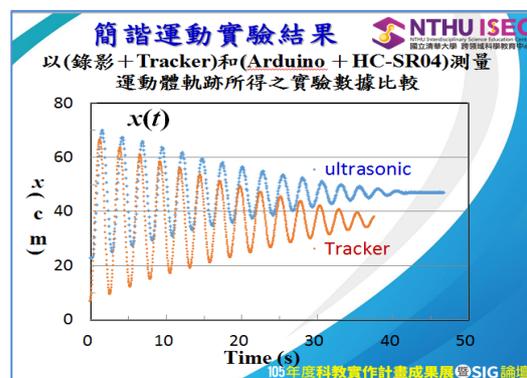
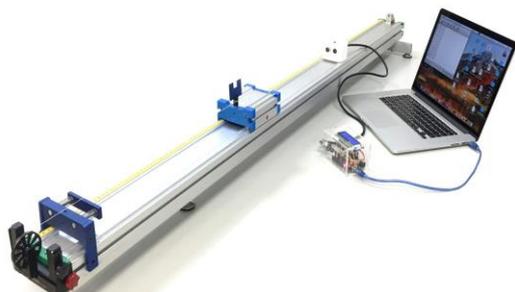
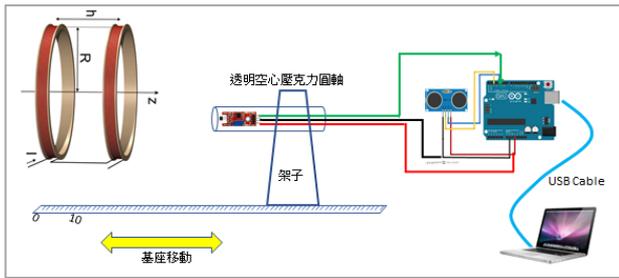
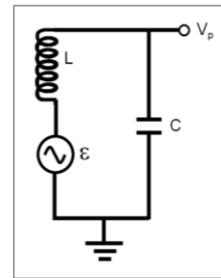


圖 2：物體與彈簧系統之簡諧運動與阻尼運動實驗裝置架設圖

(三) 亥姆倫茲線圈磁場分佈實驗：適合高中生和大一學生，請見圖 3



(a)



(b)

已完成之成果-4 NTHU ISEC 國立清華大學 跨領域科學教育中心

改善實驗	執行成果	成果簡述
亥姆倫茲線圈磁場分布量測實驗	使用 Arduino、HC-SR04 及霍爾感測器，進行自動化磁場分佈的測量	完成並納入清大普物實驗課程中使用；亦商品化，供 K12 教師購買使用

美國 PASCO 市售系統，售價高達 5 萬元

並已完成一款輕便、簡易的小型化商品，以整套低於兩千元的價格提供 K12 教師教學使用。

105 年度科教實作計畫成果展 SIG 論壇

(c)

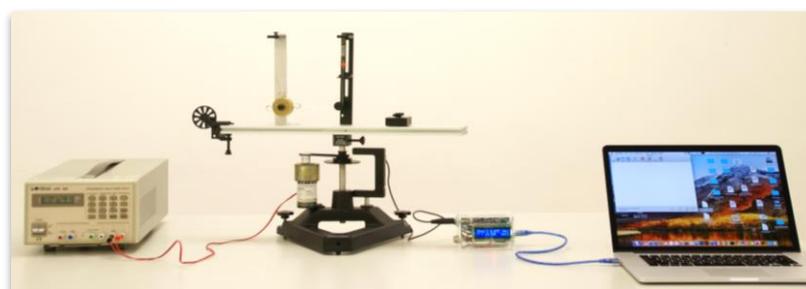
效益分析	自製 Arduino 控制之測量系統	國外教具廠商
設備成本	低於 NT\$2,000	高於 42,000
實驗組裝	簡單	難度高
實驗效率	高	低
可維修性	高	低
維修成本	低	高
實驗彈性	高	低
賣相	較差	優

(d)

圖 3：(a)以 Arduino 與超音波測距感測元件測量亥姆倫茲線圈之磁場分布的實驗裝置示意圖，我們研發的系統內附有鋰電池，以提供磁場線圈所需的電源。利用霍爾磁性感測器，讀取空間中的磁通量，轉換成電壓訊號後，由 Arduino 讀入電腦；同時利用超音波測距感測器測量線圈與霍爾感測器之間的相對位置後，透過 Arduino 輸入電腦中，即可同時得到位置與磁通量的資訊，進而繪製空間中的磁場分佈圖。(b)另設計共振 LC 拾波器線路圖，以交流共振耦合的感應電路方式，量測此線圈的有效電感電動勢 ϵ ，此電動勢會與線圈組能產生的磁場有關，以獲取磁場的分佈趨勢。(c)成果比較，(d)亥姆倫茲線圈磁場分佈實驗效益評估分析表。

(四) 轉動相關實驗改善：以 Arduino 及光電開感測模組，量測旋轉運動實驗的旋轉速度

改善之實驗	執行之成果	成果簡述
1. 圓周運動與向心力測量實驗 2. 轉動慣量測量實驗	利用 Arduino 及光電開量測旋轉運動之實驗平台的旋轉速度	已完成並納入清大普物實驗課程中實施使用



延伸學習：

- (1) 期中成果影片 <https://youtu.be/SoD3SldD6EA> 與成果簡報檔及相關資料雲端分享網址：<https://drive.google.com/drive/folders/18oEhBfazsO1EKb0q9RbHhQfWjY8XmQEF>
- (2) 科學教育實作學門 105 年度計畫成果：(B04)科學實驗器材設計製作，「Arduino 物理實驗與跨領域科學教育實務應用發-04」計畫成果資料子網頁：
<http://esep.colife.org.tw/project/767975c9-75be-11e7-91ec-2c44fd7df52c/105>
- (3) 科學教育實作學門計畫電子期刊-第七期(2017 年 7 月份發刊)成果分享邀稿：
「Arduino 與智慧型手機在物理實驗的實務應用開發」
<http://esep.colife.org.tw/7/journal>
- (4) 清華大學普物實驗室網站 <http://www.phys.nthu.edu.tw/~gplab/>