

Arduino 與智慧型手機在物理實驗的實務應用開發

戴明鳳^{*}，李芳瑜，施宙聰，胡文彧

國立清華大學物理系

^{*}E-mail: mftai@phys.nthu.edu.tw

摘 要

本計畫規劃運用 Arduino 控制卡作為物理教學實驗系統中所需之參數控制、實驗數據讀取與分析等具自動控制與數據擷取功能的系統平台，以建立互動式裝置系統；讓即使不具備自動控制程式語言編寫之專業背景的人都易學。此 Arduino 控制卡好用、價廉、軟硬體擴充性皆強，並兼具 open-source electronics prototyping platform。引導國、高中師生及大學生以具開源性的 Arduino 數位控制平台系統自製具自動控制的實驗裝置，並進一步協助設計實驗教材。

另亦針對學生對手機無可抵擋的熱愛，鼓勵學生探究智慧型手機內建的各式感測器，並運用於物理實驗的開發和教材研發，以期能大幅提升學生學習物理知識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，以使實驗教學及激發學生自發學習的意願能夠實質地向上提升。

目前除已陸續完成多種用手機做科普 DIY 實驗的設計，另亦已完成運用(1)智慧型手機的照相功能，(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。

適逢物理學科中心邀請本計畫團隊，於 2017 年 5 月 25 日(週四)下午在台中一中的物理學中心實驗室，辦理中區高中物理教師研習活動，故特別規劃以本文內之成果做為此次研習主題與內容。課程報名已設立於全國教師在職進修資訊網(<https://www2.inservice.edu.tw>)，課程代碼：2206531，研習名稱：「Arduino 的奇幻漂流與物理探索」。

關鍵詞：Arduino，物理實驗，即時測量，簡諧運動，阻尼運動，亥姆霍茲線圈磁場實驗、科普資源開放分享。

一、計畫緣起：

過去一般教學實驗室中，具自動控制及數據擷取系統的各類實驗系統，大多是向國外歐美廠商購置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。但外購產品常讓使用者面臨下列諸多困境：

- (1) 價格不菲；
- (2) 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；
- (3) 控制平台和感測器多不具使用者親和力；
- (4) 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；甚或原廠回覆不再生產舊型號，必須花費更高的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，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，故本團隊以 Arduino 控制器板和相關感測元件進行各項物理實驗改善工程。

二、Arduino 在科學實驗的應用簡介：

2005 冬天專為非工程師設計研發成功的 Arduino 控制卡是一種採用創用 CC 授權的開放式互動環境開發技術，不僅軟體是開放源碼，硬體也是開放的，故 Arduino 的電路設計圖和軟體的開發環境均可從網站免費下載，然後依據自身需求進行修改。

Arduino 單片機雖價廉，僅需低門檻的知識背景和訓練，即使一般入門者就能上手使用；但功能卻相當完備、且具深入開發潛力。更重要的是對目前市面上已有的軟、硬體平台的相容性非常高，故非常適合用於各領域教學實驗的測量開發，製作特定功能的實驗裝置。軟硬體以「分享開放創意 CC」的授權方式開放免費使用，以及「物美價廉」兩大優勢，使之成為學生 DIY 的實用平臺。此外，由於參考資料多，不需要電子電機相關科系的背景，也可以很容易學會 Arduino 相關互動裝置的開發。也因以公開共享為基礎，所以，多數人都樂於分享自己的創作，故網路上能找的創作案例非常豐富。只需參考分享者的作品，依據自身需求調整，就可以在短時間內完成自己的創作。

與 C51 單片機相比，Arduino 更可著重於物理量，物理實驗過程的測量、控制和實驗方案的設計，而 C51 單片機需要更多的單片機知識和程式設計技巧。而 C51 單片機的主要功能，Arduino 也都具備，還有一些新的功能，如 PWM (脈寬調節模式)輸出功能，和各種感測器和測量電路結合後，很適用於各類物理與自然科學實驗類的教學實驗中。Arduino 能以脈衝方式驅動並控制發光二極體亮度，且 Arduino 的程式更為簡潔，不需要編寫延時程式，設置位元碼，只需要設置高低電位的時間，就可以控制 LED 閃爍頻率和亮度。使設計者將大部分時間和精力著重於物理量和科學實驗控制的設計。而不需花費太多時間和精力在學習數位軟硬平台的理解和使用技術的熟悉。

隨著自動化程度和使用比率日漸提高，幾乎每個學科都會用到電子相關技術，Arduino 為非專業者提供了一個很好的開源平臺。正由於其簡單、易學，故若將之融入傳統的實驗教學中，必能大幅提高學生學習的興趣、開闊實驗思路。並得以讓學生在做實驗的同時改進、創新出自己的實驗新思路。Arduino 雖然不需庫函數、硬體連接和軟體程式設計，但卻也能比以往單片機簡單許多。故我們著手以 Arduino 系統設計大學和高中課程中經常會操作到之物理實驗中所需的儀器控制、實驗數據擷取和分析等工作。

三、以智慧型手機即時測量物體的運動物理量和簡諧/阻尼運動實驗

在此個人通訊時代盛行之際，手機對學生充滿著無法抗拒的魅力，故近年持續以智慧型手機內建的各式感測器運用於物理實驗的開發和教材研發工作，期能提升學生樂於學習科學實驗，進而能深入探究科學的本質。更希望研發成果能有分享給各級教師，以進一步開發實用且價廉的實驗教具、教案，使雖價廉但實用的實驗教學能激發學生自發學習的意願，並提升國內學生的科學素養。

目前已陸續完成多個用手機做科普 DIY 實驗的設計，如彩色影子(Color shadow)、貝翰轉盤/陀螺(Benham's Disk/Top)、杜普勒效應(Doppler effect)、密碼解碼器(Copycoder)之單鍵即能

完成密碼圖卡設計、手機聲源控制的肯特管音波共振實驗、閃頻效應...等等諸多實驗。

本計畫主要進行智慧型手機內建的各式感測器運用於物理實驗的實驗教材研發，已完成運用(1)智慧型手機的照相功能，(2)手機內建的加速度感測功能，及(3) Arduino 搭配超音波測距的自動測距功能等三種測量方式，同時進行一般教學實驗課程中單擺系統、物體運動軌跡測量、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。

四、已完成之即時測量實驗

目前已完成下列各項實驗設計並探討亥姆霍茲線圈對磁場分佈測量。

1. **實驗名稱：**「運用智慧型手機探究物體的運動軌跡及測量相關物理量」

2. **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，如當地的重力加速度、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。

3. **儀器架設：**

- (1)以手機做為單擺系統的擺錘(如此的實驗，學生因會很擔心愛機受傷，故會特別小心做實驗，相當有別使用實驗室所提供之器材做實驗時的用心程度喔！)，並以手機內建的加速度感測器作為測量儀器。使用「Physics Toolbox Suite」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)一實驗需求適當地架設超音波測距，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。

4. **目前已運用於清大普物實驗課程的實驗：**

(1)**彈簧的靜態與動態彈性係數測量與彈簧的串、並聯效應：**適合高中生、大一學生

- (a)測量彈簧的靜態與動態彈性係數。
- (b)測量彈簧串、並聯時的等效彈性係數值。

(2)**物體與彈簧系統的簡諧運動與阻尼運動：**適合大學生

- (a)觀察物體受彈性作用時，於可忽略摩擦力的軌道上運動時的簡諧運動情形。
- (b)運動中的系統或多或少總會承受一些外界的阻滯力量(例如空氣阻力、摩擦力...等)的作用，使得物體受到與運動方向相反之阻尼力時的運動情形。
- (c)測量與運動速率成正比例，方向相反的粘滯阻力(viscous damping force)。

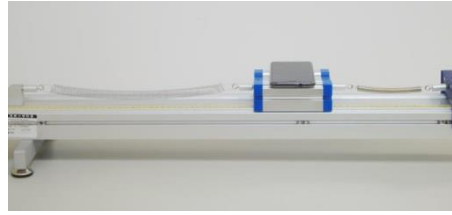
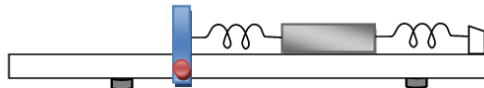


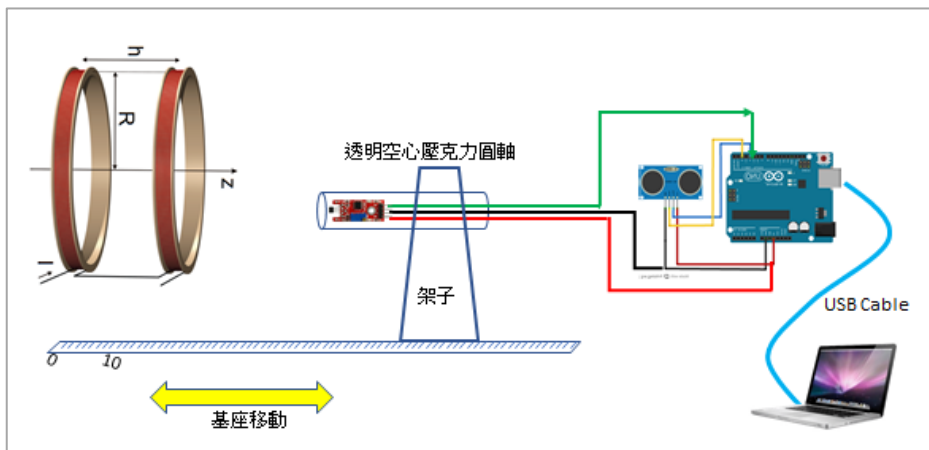
圖 1 物體與彈簧系統之簡諧運動與阻尼運動實驗裝置架設圖

(3)亥姆倫茲線圈磁場分布實驗：適合高中生和大一學生，請見圖 2

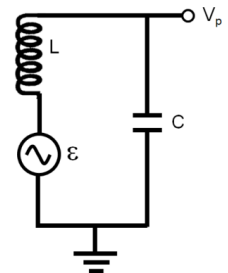
環形亥姆霍茲線圈對和螺旋線圈(solenoidal coil；又稱螺線管)常被用以提供實驗時所需的均勻磁場，本實驗探討環形亥姆霍茲線圈所提供的磁場在空間中的分佈情形和均勻度變化，以及其優缺點。亥姆霍茲線圈為紀念德國物理學家赫門·梵·亥姆霍茲(Hermann von Helmholtz)而命名；如圖2(a)右上方的示意圖所示，此線圈具有下列幾個設計特點：

- (a) 由兩個結構與大小完全相同的環形線圈組合而成；
- (b) 兩線圈面平行且共軸配對架設，
- (c) 兩線圈中心點間距等於環形線圈的半徑 R 。
- (d) 線圈對使用時，通以入方向相同、大小相同的電流；

此設計可使兩環形線圈的中間區域內，獲得較佳的均勻磁場。因由雙線圈所組成，故也稱為亥姆霍茲線圈對。



(a)



(b)

圖 2 (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。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)另亦有設計如圖 3 所示的共振 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，以獲取磁場的分布趨勢[1]。

參考文獻：

1. 清華大學普物實驗室網站 <http://www.phys.nthu.edu.tw/~gplab/>