

2025仰望盃全國科學 HomeRun 實作大賽

決賽成果報告書

隊伍名稱： 光子與彈珠

作品名稱： 斜面運動實驗之 ESP32簡易偵測器

科學概念1： 探討在斜面上物體運動的速度變化與加速度隨斜面角度變化之關係，學習規劃利用簡易的感測器進行物體直線運動實驗，探討軌道斜面角度與物體運動之關係，在實驗過程中也學習利用測量之物理量進行分析，瞭解斜面運動的物理學的力學關係，亦可進一步討論斜面上滾動與滑動之細微變化。

科學概念2： 利用光遮斷器改裝簡易光電計時閘，使用電子元件（紅外線發射與接收元件）組裝出光訊號遮斷裝置進行訊號測量，利用提供的開源 Arduino 程式語言與 ESP32電路板紀錄訊號獲得所需物理量，並能理解物理量變化之意義，結合運動學公式對數據進行計算，獲得實驗結果並以物理學概念探討其原理。

決賽成果報告書內文

1. 發想動機：

在傳統的物理實驗課程中，常用打點計時器進行滑車加速度測量實驗，但因為打點的精度較低和紙帶摩擦力較大，進而導致測量結果嚴重失真；而較昂貴的光電計時器配合氣墊滑軌，雖然能夠獲得理想的運動效果與較高的測量精準度，但是裝置的搭建和調校過程相對繁瑣，也限制了在教學中使用便利性。因此，本研究希望開發一種簡單架設、具備高精度測量效果的斜面加速度測量模組，讓教師與學生能夠更輕易且直觀的認識斜面加速度的運動以及其中的物理學力學原理。

2. 作品創意性：

本創作是藉由簡化傳統光電計時器的原理，利用 LED 紅外線發射與光電晶體接收元件，搭配 ESP32 開發板，並且加入 LM393 電壓比較器，將接收元件輸出的類比訊號轉換為穩定的數位訊號，有效排除環境光源帶來的干擾，透過 Arduino 程式進行實驗，以程式進行測量與紀錄數據，所得的數據也更容易進行分析。裝置整體簡潔且直覺的設計，加上容易架設的軌道與測量感測器，可減少各項實驗操作上的困難，同時鋼珠與金屬軌道也能有效降低實驗誤差，讓物體斜面運動的觀察結果更符合物理教學的理論。達到有效利用新興科技裝置的技術，讓學生透過工程組裝與科技運用，經由實際動手操作與實驗獲得的數值進行分析，習得物體加速度運動的計算推導與科學概念。學生在過程中會運用下列能力：

- (1)科技：認識各項電子元件，組裝簡易光電計時裝置。
- (2)工程：以鋁擠料框架組裝可調整的光滑斜面軌道，瞭解 Arduino 程式邏輯。
- (3)科學：以測量所得物理量，探索物體在斜面運動的速度、加速度。
- (4)數學：依實驗數據，配合直線運動公式計算加速度及分析實驗理論誤差。

3. 硬體及電路架構圖：

A、自製光電偵測模組

(1) 電子元件與耗材：如圖1

ESP32開發板、光電偵測模組(PT908-7C 接收端與 IR908-7C 發射端組成)、LED 指示燈、自製電路板、LM393電壓比較器、電磁鐵模組、3D 列印外殼。



圖1 主要電子元件

(2) 電路設計：

將 ESP32 開發板與各電子元件焊接於自製電路板上，裝置完成品如圖2所示。

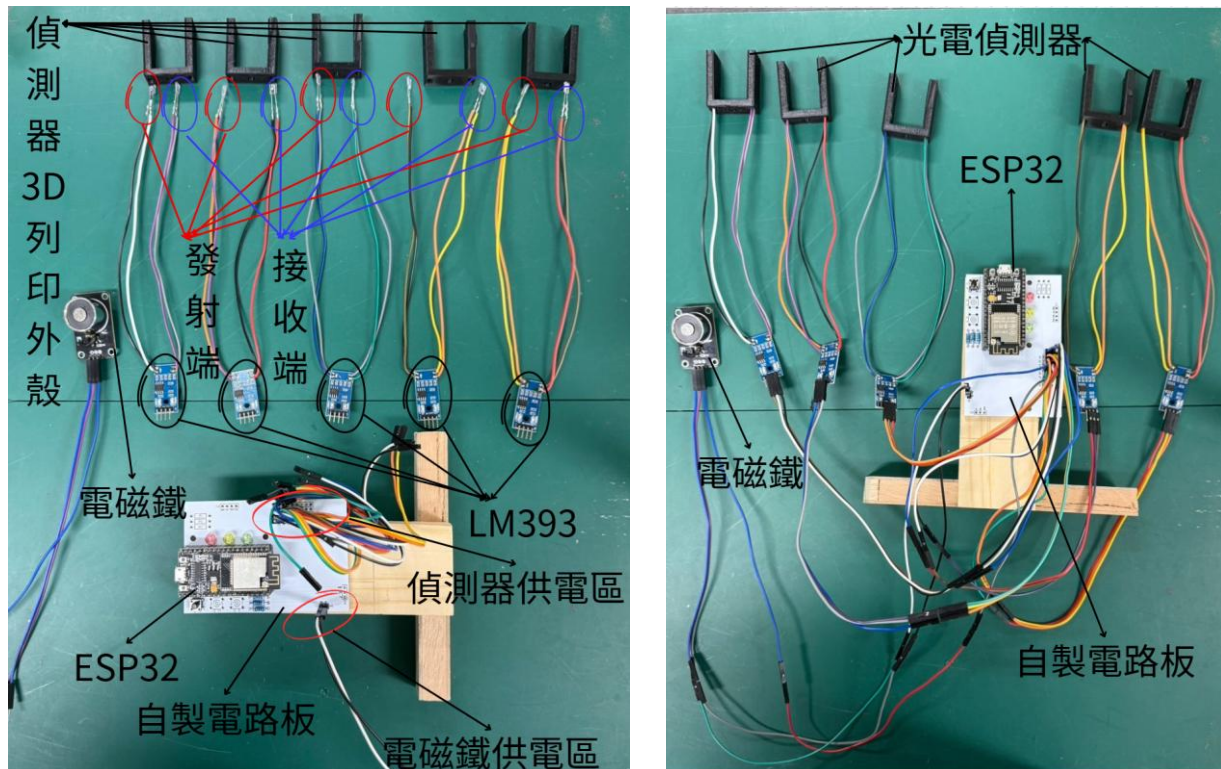


圖2 於自製電路板焊接完成的裝置完成品

B、電磁鐵模組與斜面軌道結構

以電磁鐵模組連接 ESP32 開發版，透過開關控制電磁鐵供電，作為鋼珠釋放的按鈕同時啟動程式計時。電磁鐵模組會安裝於軌道頂端起點，並以杜邦線連接。

(1) 電磁鐵模組：直流電磁鐵模組(LSD-P20/15)連接電路板，並以按鈕作為開關

(2) 軌道材料：2020鋁擠型材料、L 型角鋼片、M6螺絲與螺帽，固定鋁擠型材料作為框架、斜面軌道，其中包含可升降的軌道支撐桿，調整不同的斜面軌道的傾斜角，如圖3所示。

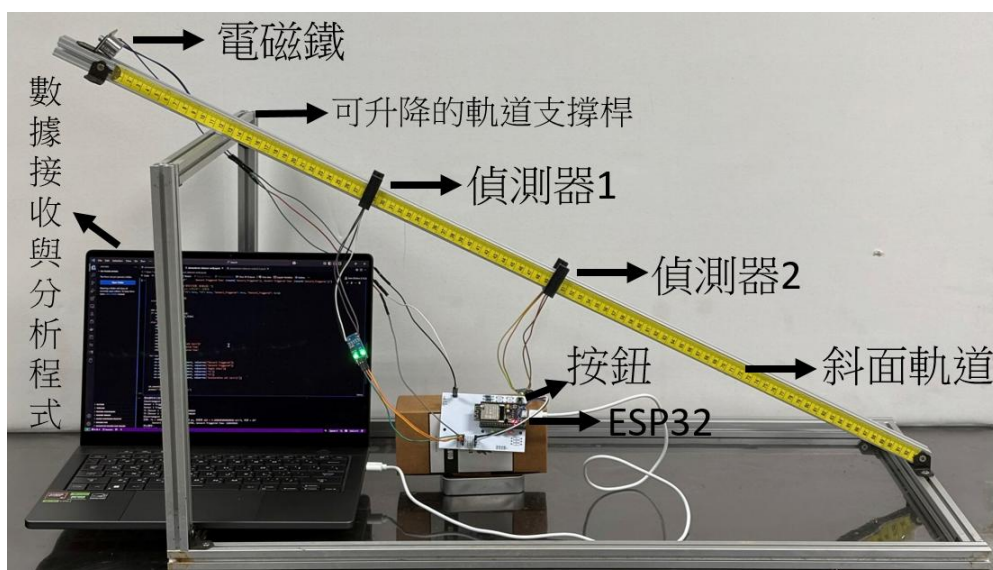


圖3 角度可調式斜面軌道結構

4. 作品應用之實驗設計原理：

所完成之作品確實可進行「簡易直線運動實驗」，其裝置可進行兩種實驗模式，結果分別如下：

(1) 實驗一：鋼珠運動距離與速度變化實驗

利用已知直徑之鋼珠 P，當電磁鐵模組 M 釋放後，可從軌道上方任意位置下滑，當鋼珠 P 通過兩組光電偵測模組(G1、G2)，運動距離為 S，如圖4所示，藉由測量進出各組光電偵測模組的時間與鋼珠直徑 d，可計算出鋼珠 P 通過 G1、G2 之個別平均速度為 v_1 、 v_2 ，並由運動公式 $v_1^2 = v_2^2 + 2aS$ ，可計算出斜面加速度 a。

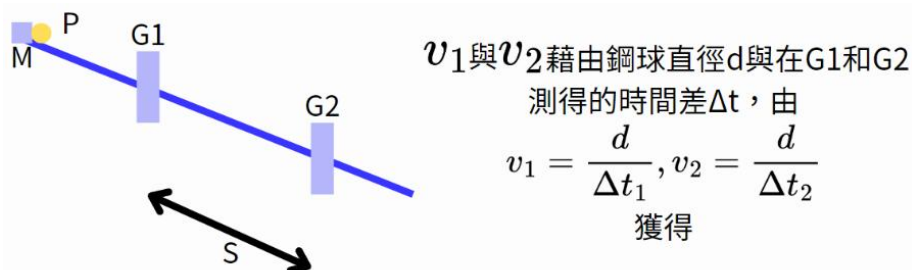


圖4 實驗一模式之理論說明示意圖

(2) 實驗二：固定鋼珠初速度的斜面運動實驗

於斜面軌道安裝三組光電偵測模組(G1、G2、G2_2)，上端固定位置以電磁鐵模組 M 釋放鋼珠 P，當鋼珠自滑軌上方加速下滑，當鋼珠通過三組光電偵測模組，可由程式測得鋼珠經過運動不同距離(S_1 與 S_2)所需之時間差分別為 T_1 、 T_2 ，帶入直線加速度運動公式 $S = V_0T - \frac{1}{2}aT^2$ ，推導出加速度 a，如圖5所示。

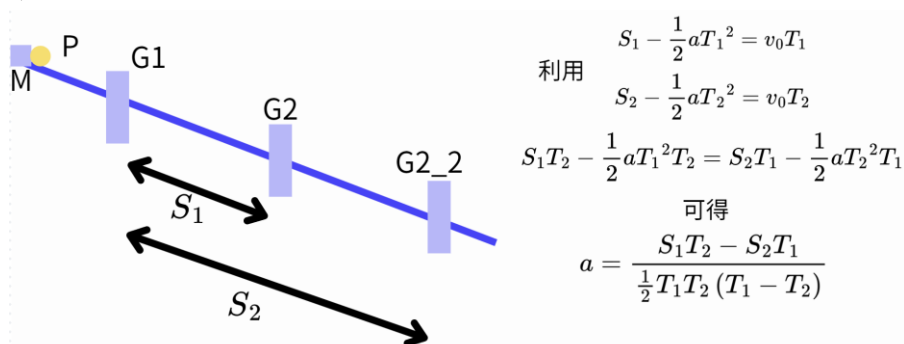


圖5 實驗二模式之理論說明示意圖

5. 實驗結果：

(1) 實驗一的測量結果

採用實驗一的方式進行實驗，以自製光電偵測模組測量不同軌道角度與加速度之關係，測量鋼珠直徑 $d = 1.9 \text{ cm}$ 、兩組光電偵測模組(G1、G2)的距離 $S = 50 \text{ cm}$ 。其中裝置測量數值與實驗數據計算處理方式，如圖6所示。

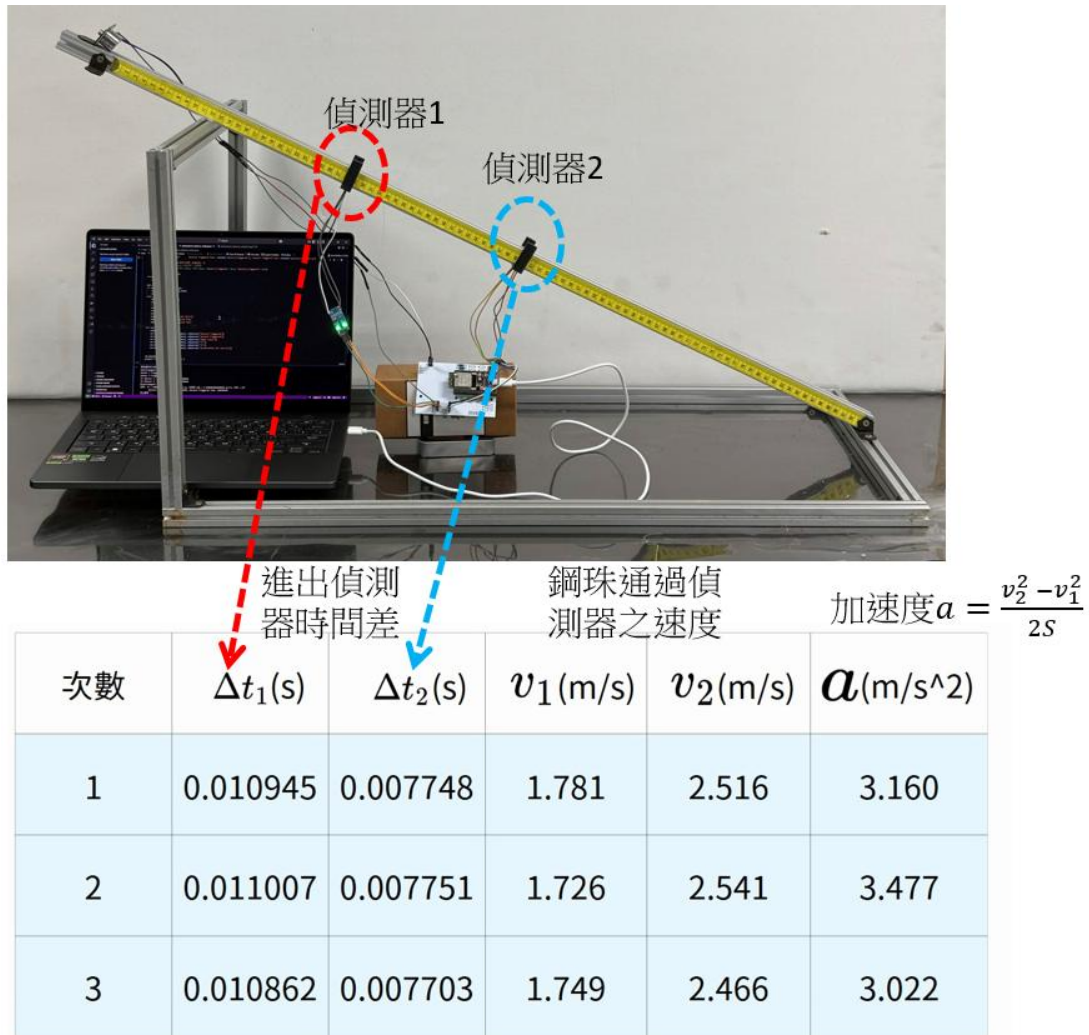


圖6 實驗一的裝置測量數值與實驗數據計算說明

實驗一測得的加速度與軌道角度關係曲線如圖7所示，可發現測得的鋼珠加速度隨著軌道角度增大，接近的正弦值 $\sin \theta$ 關係(θ 為軌道角度)。

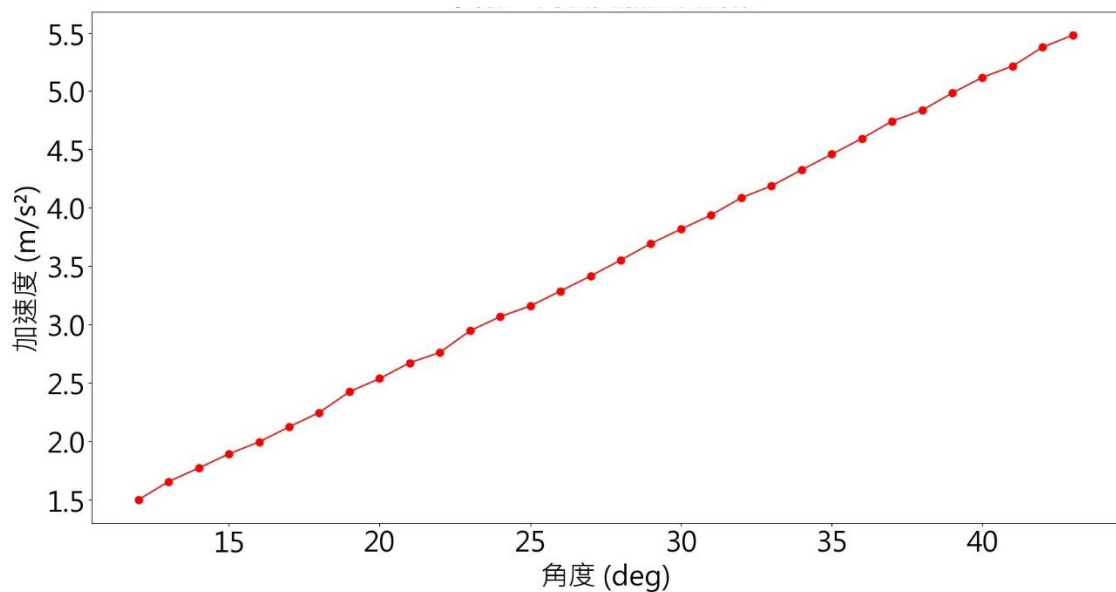


圖7 實驗一測量結果-加速度與軌道角度關係曲線

(2) 實驗二的測量結果

採用實驗2的方式進行實驗，以3組自製光電偵測模組測量不同軌道角度與加速度之關係，其中，光電偵測模組(G1、G2)的距離 $S_1 = 20.75 \text{ cm}$ 、(G1、G2_2)的距離 $S_2 = 70.75 \text{ cm}$ 。其中裝置測量數值與實驗數據計算處理方式，如圖8所示，測得的加速度與軌道角度關係曲線如圖9所示。

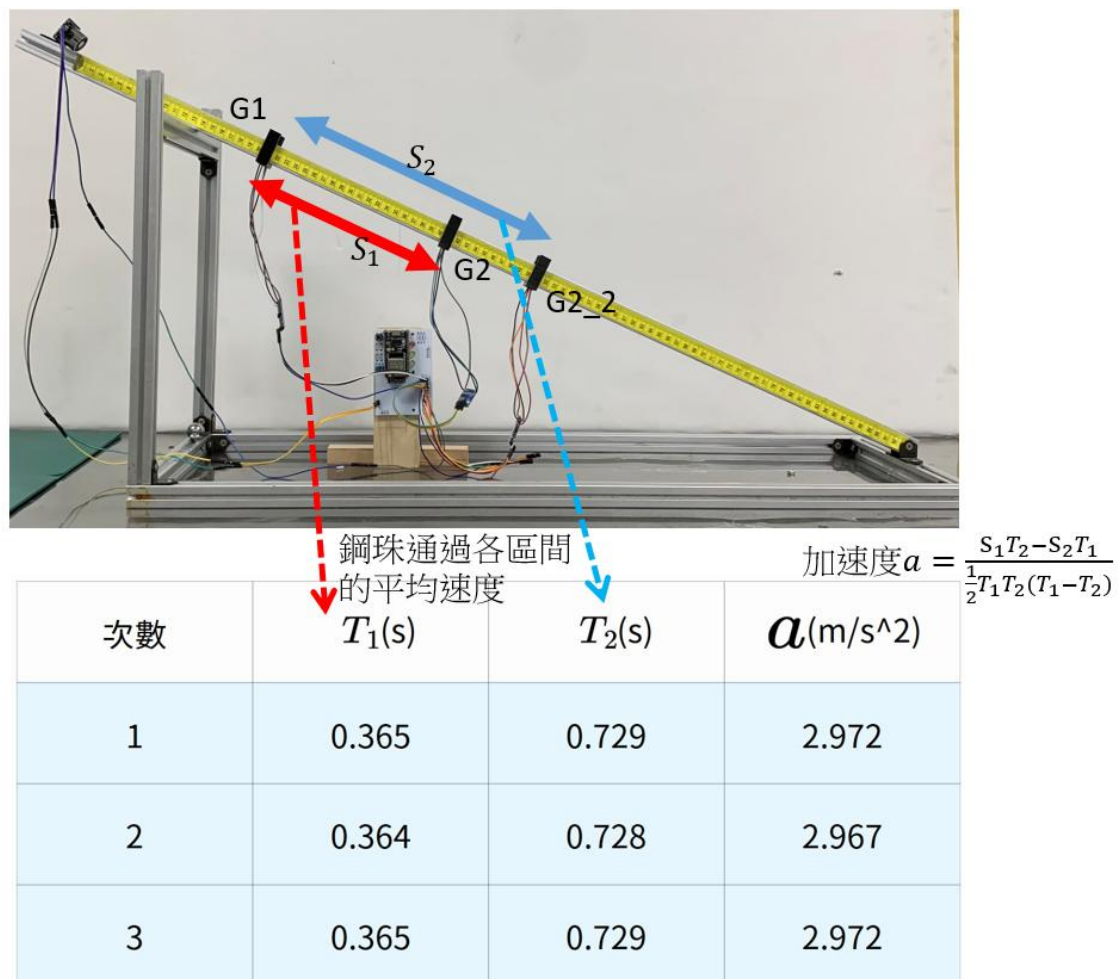
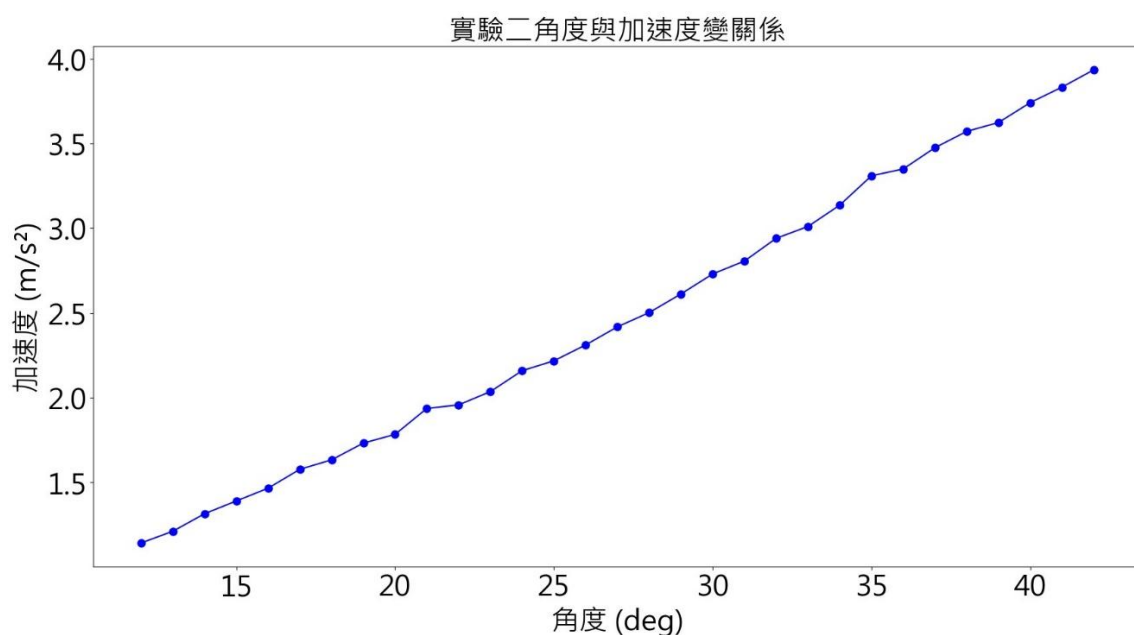


圖8 實驗二的裝置測量數值與實驗數據計算說明



(3) 實驗一與實驗二測量結果比較

以自製光電偵測模組可測量不同軌道角度與加速度之關係，將實驗一、實驗二兩種實驗方法測得的關係曲線，進一步與理論加速度數值比較的結果如圖10所示。可得到隨著軌道角度增大，三條曲線都呈現向上增加的趨勢，符合「斜面角度越大，加速度越大」的力學原理，而且因為實際環境中會有摩擦力，所以實驗一與實驗二的加速度數值都低於理論值，但數值趨勢一致，而且實驗一的加速度數值皆大於實驗二的加速度數值。

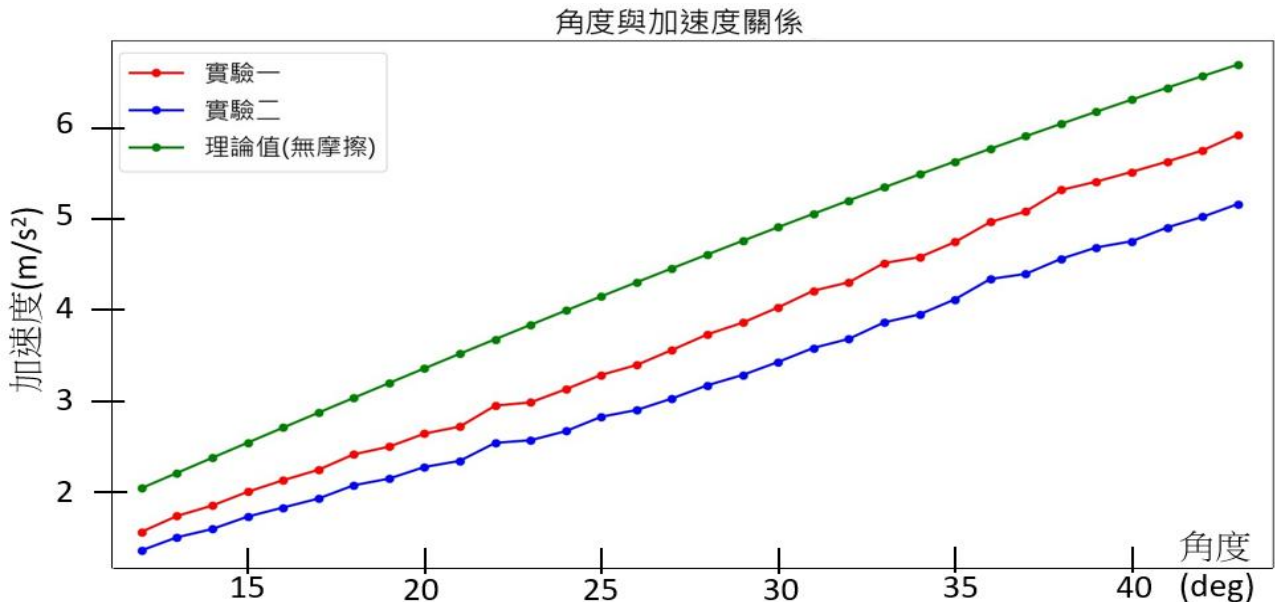


圖10 實驗一與實驗二之加速度在角度12至43度之變化關係

(4) 實驗二與新興實驗方式結果之比較

以自製光電偵測模組測量各斜面角度與加速度關係，並與常見新興實驗方式：影像辨識實驗結果比較，各數據曲線關係如圖11所示，證明自製光電偵測模組實驗裝置具有相當穩定的結果，而且還能夠透過程式改良，在後續實驗中提升測量取樣率，達成具備高精確度的簡易斜面運動實驗裝置。

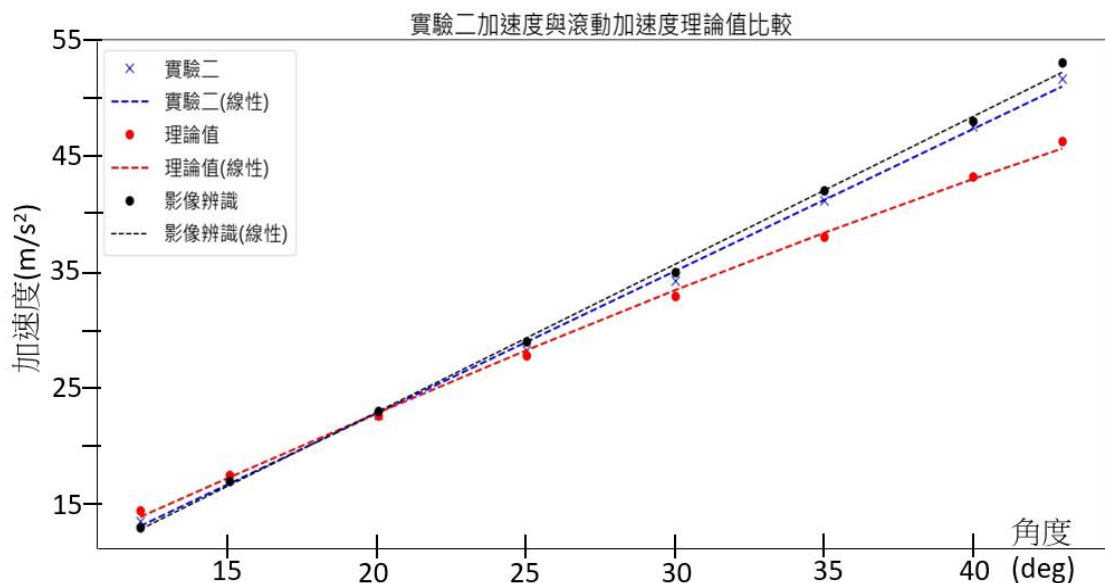


圖11 比較不同測量方式之角度與速度關係圖

(5) 自製光電偵測模組不同測點間距之加速度

在斜面軌道上距離起始位置為20、40、50、60、70cm處安裝自製光電偵測模組(如圖12所示)，分別測量不同區間的平均加速度 a_{21} 、 a_{32} 、 a_{43} 、 a_{54} ，從圖13可以看出，當物體在不同測點測量時，其加速度都隨著斜面的增大而呈現上升趨勢，這說明無論距離起始位置多遠，整體加速度都與傾角正相關。進一步觀察這些曲線的差異，可以發現測量區間愈接近後段(60-70cm)時，所測得的加速度會略大於測量區間愈前段(20-40cm)。

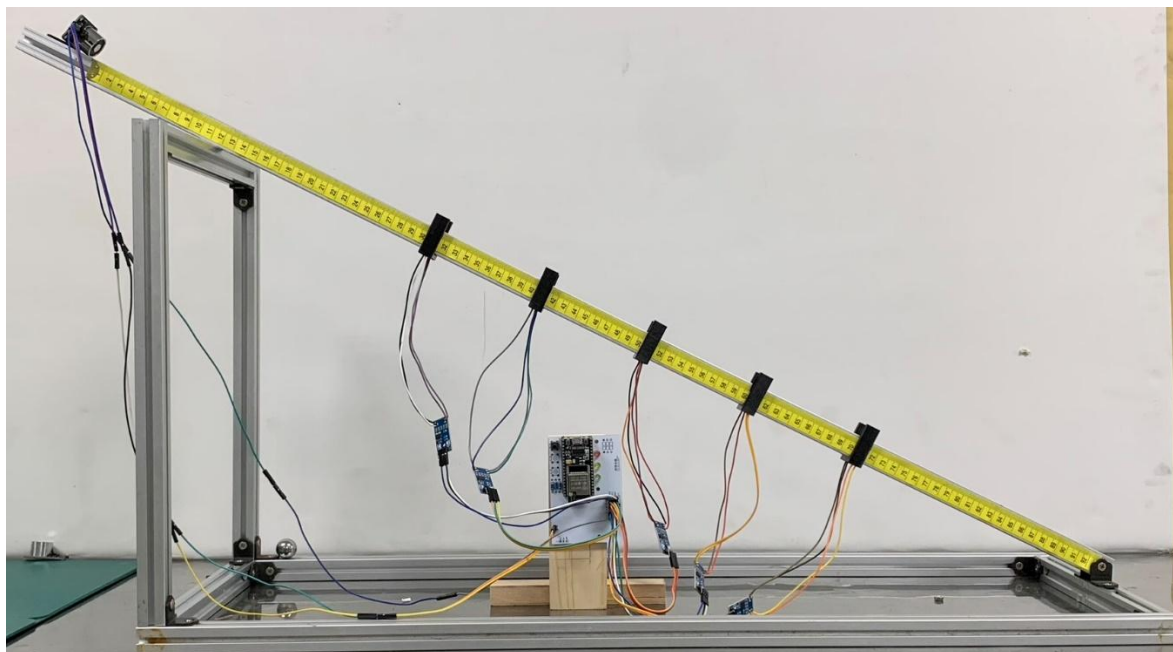


圖12 五組自製光電偵測模組安裝位置

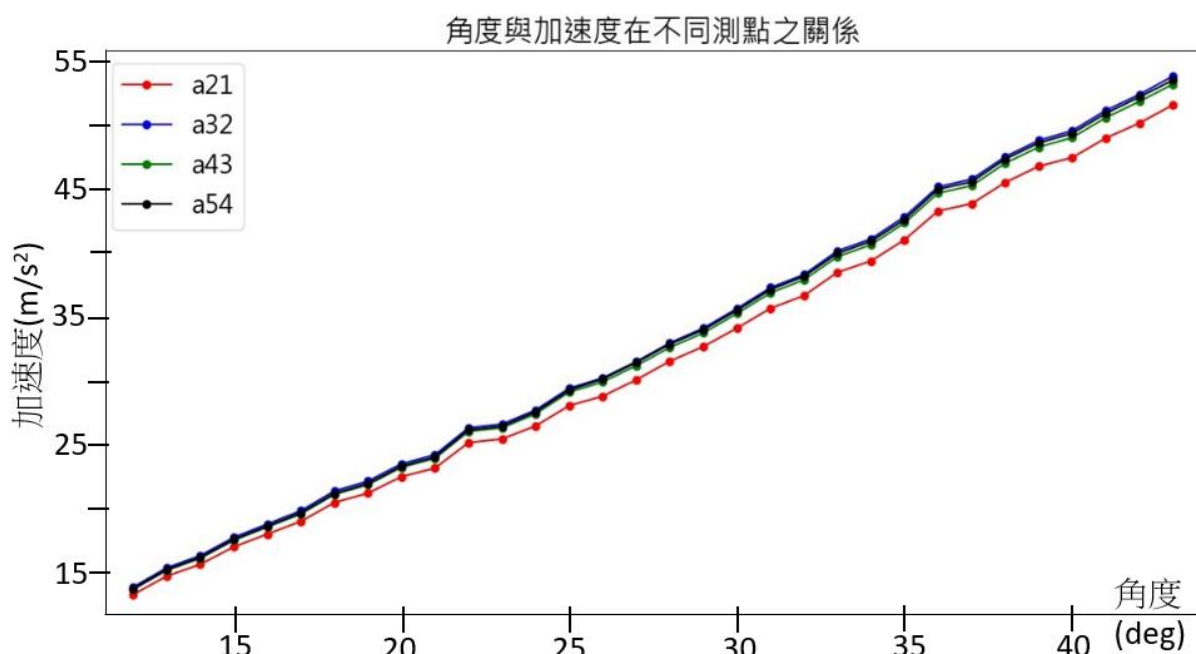


圖13 a_{21} 、 a_{32} 、 a_{43} 、 a_{54} 之加速度與角度在12至43度之關係

6. 結論

- (1) 比較實驗一、實驗二及理論值，能觀察到摩擦力仍會導致實驗值低於理論值，其中實驗一數值會大於實驗二，是因為實驗一以鋼球直徑計算速度的

方法中，鋼珠通過偵測器造成的遮斷距離不一定是直徑(通常會小於直徑)所以計算所得的加速度會有高估的情況。所以，實驗一的測量方法較適合用來測量塊狀的滑動，例如：木塊、金屬塊沿斜面下滑的運動。

(2)自製裝置實驗結果與常見的影像辨識的結果比較，可以發現本裝置不會有人為影像取樣的判斷誤差，具有較高的精準度，並且整體實驗儀器容易架設，在物理實驗教學和小型研究當中具有實用性與推廣價值。

(3)自製光電偵測模組與 ESP32 系統測得不同斜面角度以及不同測量區間的加速度($a_{21} \sim a_{54}$)，曲線趨勢可以發現隨著角度增加，加速度值也上升。但是，愈接近後段區間的平均加速度會愈大，推測其中的原因可能來自於球體是因為運動距離增加，速度愈來愈快，導致鋼珠在軌道上不只有滾動，也出現滑動，使得鋼珠的摩擦力在軌道後段的測量區間略為變小所致。

6. 參考文獻：

1. 林亮昕、吳旭峯(2017)。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會—斜面二維運動與摩擦力的探討。
2. 沈仁翔、李文堂、周黛青(2005)。中華民國第 45 屆中小學科學展覽會—鋼珠在旋輪線軌道上運動的研究。
3. 方譯蔓、沈書煒、楊才民(2021)。2021 年臺灣國際科學展覽會—滾動體在旋轉圓盤上運動之軌跡探討(The motion of a rolling sphere on a rotating disk)。
4. 賈至達、吳采蓉、徐意娟(2000)。國立台灣師範學物理系—斜面上的滾動實驗。