

2025 仰望盃全國科學 HomeRun 實作大賽

決賽成果報告書

隊伍名稱：F = 嗎？

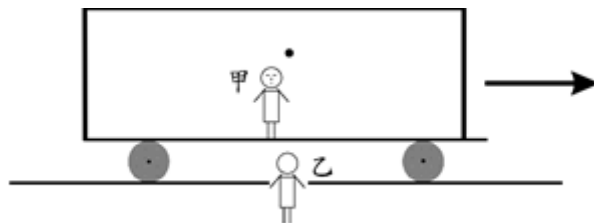
作品名稱：有球必in

科學概念 1：慣性前進車上之拋體運動

九年級的理化課程中談論到慣性的概念：在等速度前進的火車上，由手中鉛直往上拋出一枚硬幣，則該硬幣將掉落於何處？為了驗證此項科學理論，我們嘗試用arduino nano、伺服馬達、避障模組自製發射裝置，能在車體行進間發射物體，討論發射角度與落地位置。並用攝影方式分析每畫格的拋體軌跡。

科學概念 2：等加速度前進車上之拋體運動

在等加速度運動的車體上拋擲物體，從愈來愈快的車體上拋射物體會落在車子後方，愈來愈慢的車體上拋擲物體會落在前方，那從無摩擦力的坡面下滑的車體上拋出的物體會落在那裡呢？我們透過光遮斷模組與雷射切割工具設計車體加速度測量裝置，試圖探討加速度如何影響拋體的落點。



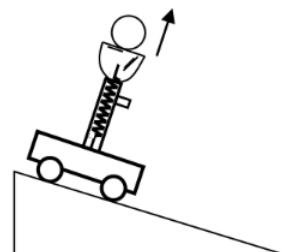
決賽成果報告書內文

一、發想動機：

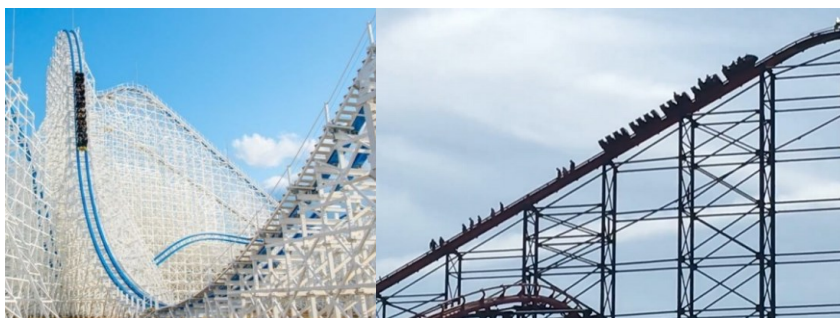
由慣性原理，當滑車作水平等速度運動時，球體確實會落至車上；若車體進行加速水平運動時，球將落在車體的後方。我們由台北市建國中學數理資優班的110年入學試題中，發現了如下有趣問題：

7. 如右圖，在滑車上設置一彈射裝置，在滑車行進時可將小球彈出，若此滑車自一很長的光滑斜面頂端釋放滑下（初速為0），於途中小球相對於滑車垂直彈起。請問下滑一段距離後，小球會落於滑車彈射裝置之

(A)前方 (B)後方 (C)原處 (D)視彈射速度而定 (E)視滑車速度而定。



此題中，斜面上的滑車放手後，車子會進行等加速度下滑，行進時車上的發射器以垂直斜面向上拋射一球體。我們從水平等加速車體的經驗，預測此題答案是(B)會落在車體後方，而此題的答案竟然是(C)「球體在拋出後重新回到車體上」。事實與預測不同促成我們想了解更多。我們也好奇：當雲霄飛車向下俯衝時，乘客垂直軌道向上拋出東西仍會回到乘客手裡。那如果是等加速度減速上衝的雲霄飛車，垂直軌道拋出的東西仍會回到乘客手中嗎？



對於此問題，老師建議我們設計一套實體系統來研究這個有趣的問題。

二、作品創意性：

我們使用雷射切割的光標尺與單一光遮斷器來計算加速度，有別於傳統實驗、透過打點計時器(介入式測量)、Tracker攝影測量(器材架設、分析費時)、與多光閘偵測物體邊緣通過時間(器材架設費時)，大大的提高了加速度的測量效率、測量準確性。

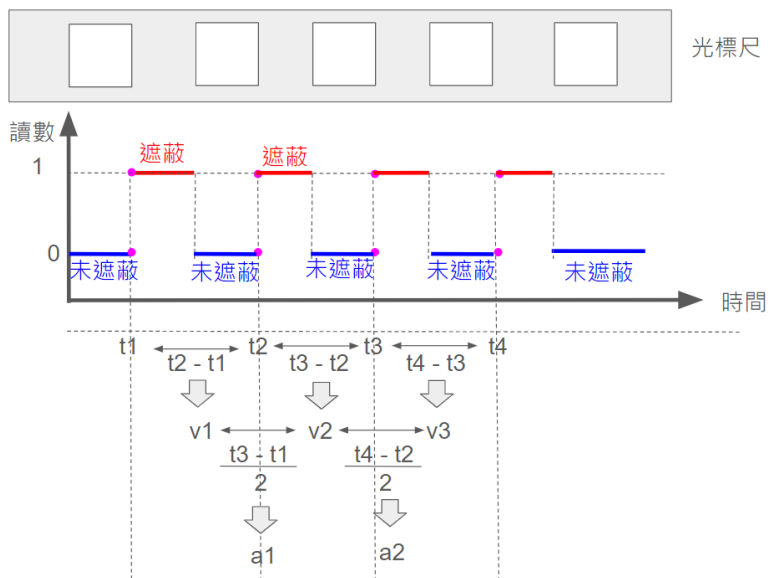
另外為了確保彈射球體時外力不干擾車體的運動，我們設計了隔空觸發彈射的機關。我們使用了紅外線避障開關作為感測器，當手靠近時，感測器接收到來自手的反射光，便發出一個訊號給Arduino，啟動伺服馬達作動。也是國中物理教學現場不可或缺的實驗設備。

三、硬體及電路架構圖：

(一) 加速度測量裝置的電路設計



程式碼原理：

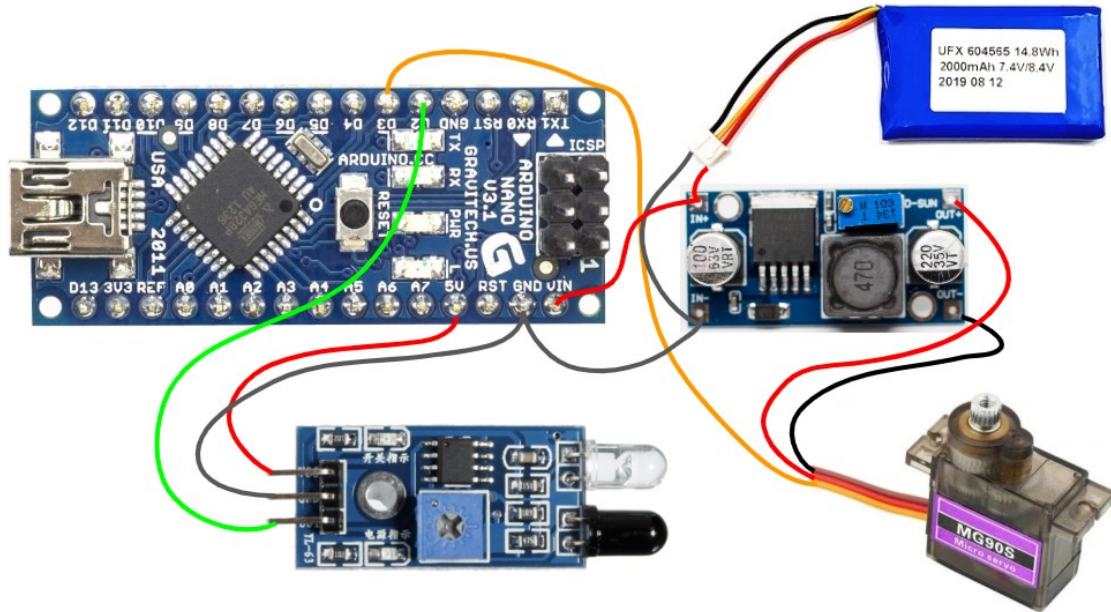


若要求得加速度值，至少必須通過3個方形開孔，因此加速度的關係式為：

$$\text{加速度 } a \text{ (m/}\mu\text{s}^2) = \frac{v_2 - v_1}{\frac{t_3 - t_1}{2}} = \frac{\frac{0.02}{t_3 - t_2} - \frac{0.02}{t_2 - t_1}}{\frac{t_3 - t_1}{2}} \quad (0.02 \text{ 公尺} = 2 \text{ 公分})$$

$$\Rightarrow \text{加速度 } a \text{ (m/s}^2) = \frac{v_2 - v_1}{\frac{t_3 - t_1}{2}} \times 10^{12} = \frac{\frac{0.02}{t_3 - t_2} - \frac{0.02}{t_2 - t_1}}{\frac{t_3 - t_1}{2}} \times 10^{12}$$

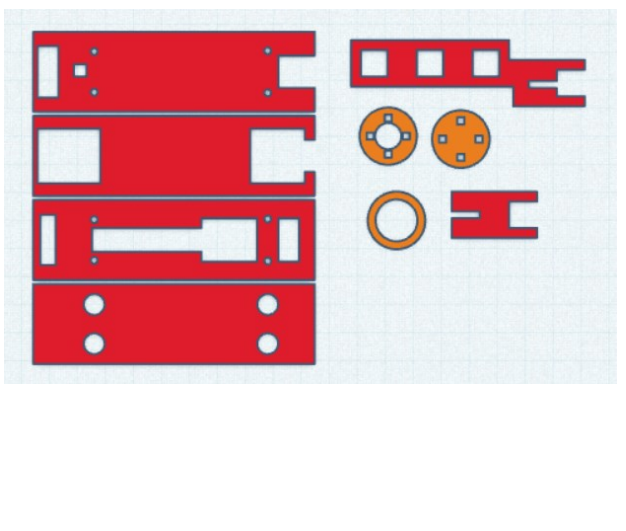
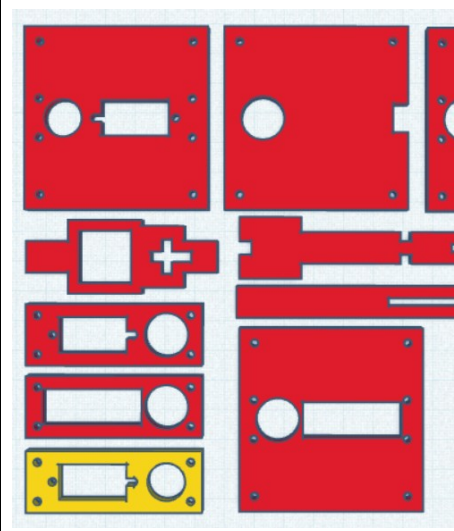
(二)光控發射裝置的電路設計



隔空觸發彈射裝置設計構想是透過橡皮筋蓄積彈力位能，結合十字結構的拋擲桿與十字形開孔的觸發結構，透過伺服馬達撥動觸發結構使拋擲桿拋出物體。

(三)機構設計

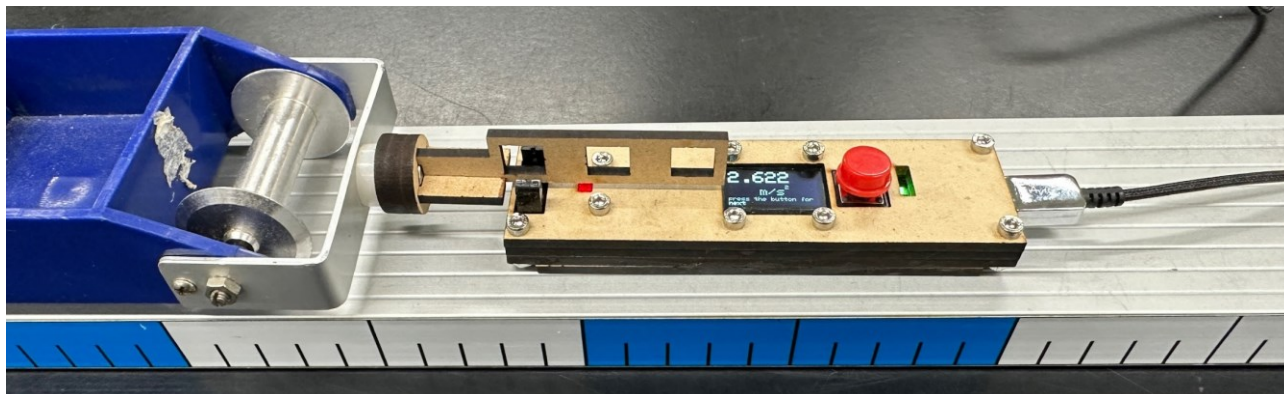
機構設計透過TinkerCAD設計，以層疊的方式設計，層疊的結構比較堅固，並保有逐層修改與調整的可能。透過螺絲組裝鎖定結構，可以不斷迭代修正成最有效率的結構。

加速度測量設備	隔空觸發彈射裝置
 <p>This image shows the 3D model of the acceleration measurement equipment. It includes a large red rectangular base plate with four mounting holes. On top of this base, there are two smaller red plates: one with a central rectangular cutout and another with a central circular cutout. To the right of the base plate, there are two orange circular components, each with four mounting holes, and a small red L-shaped bracket.</p>	 <p>This image shows the 3D model of the air-triggered launch device. It features a large red rectangular base plate with a central rectangular cutout. On top of this base, there are two smaller red plates: one with a central rectangular cutout and another with a central circular cutout. To the right of the base plate, there are two orange circular components, each with four mounting holes, and a small red L-shaped bracket.</p>

四、作品成果報告：

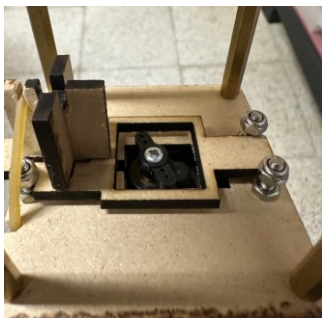

(一)裝置成果

1. 加速度偵測裝置

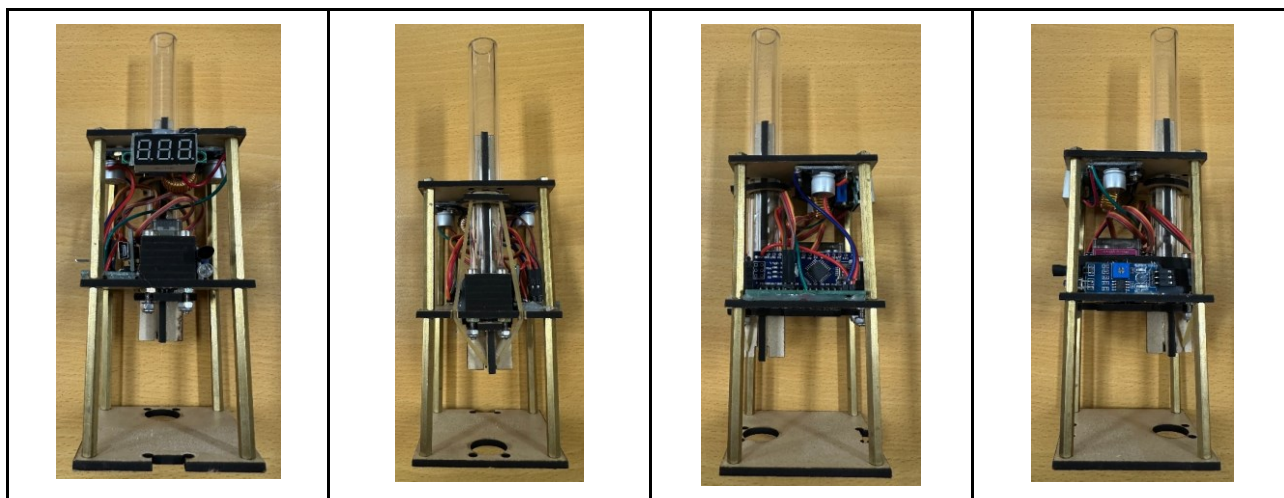


經過了兩代改良，加速度偵測裝置最後以整合感測器、Arduino NANO、OLED顯示屏幕及按鈕的方式，只要連接USB電源、進行簡易擺設、確定滑車行進時光標尺不會碰觸到感測裝置本體即可。顯示幕上可以偵測滑車行進3-4公分的距離的加速度。

2. 隔空觸發彈射裝置

鬆弛態（已觸發）	緊張態（待觸發）
	


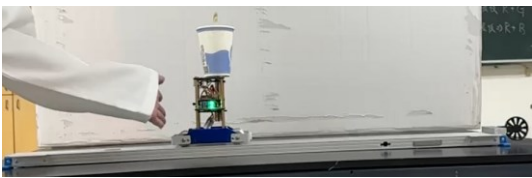
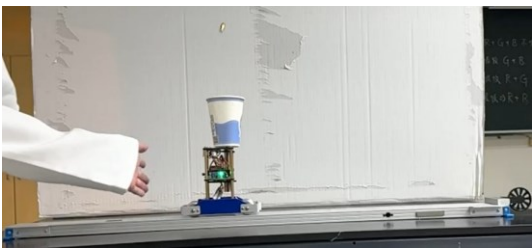

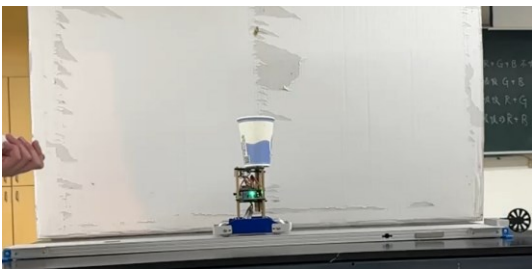
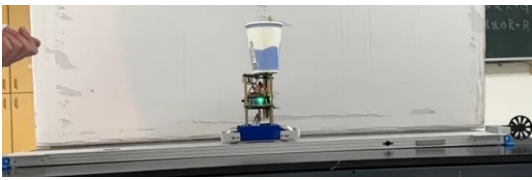
觸發裝置總成請參見下四圖，此彈射裝置可安裝在滑車上。





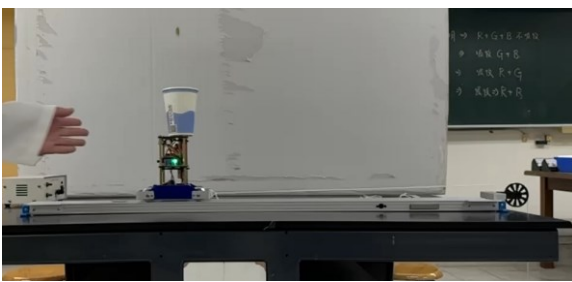
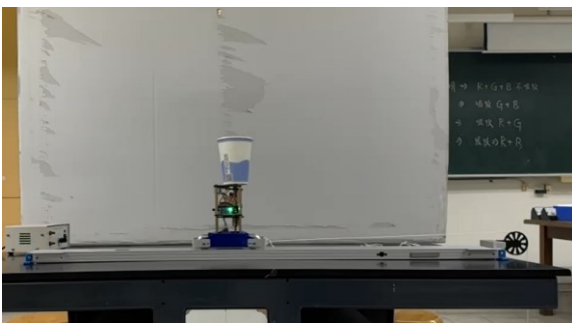
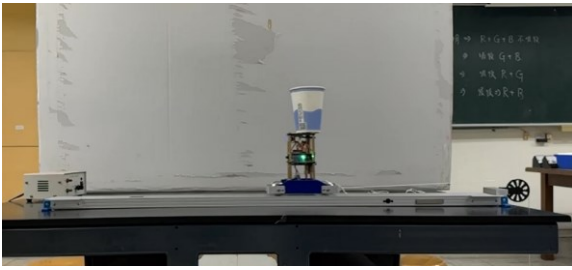
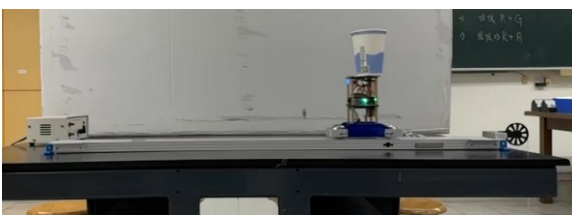
透過以上兩裝置，預計在學習運動學與牛頓力學時將獲得更直觀的學習成果，製作成本低、易調整、易組裝的特性，有助於推廣物理教育。

(二)探究成果




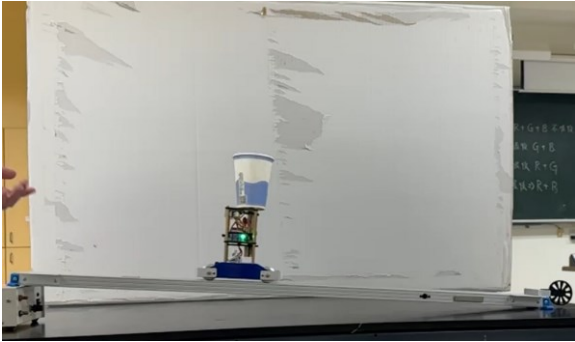
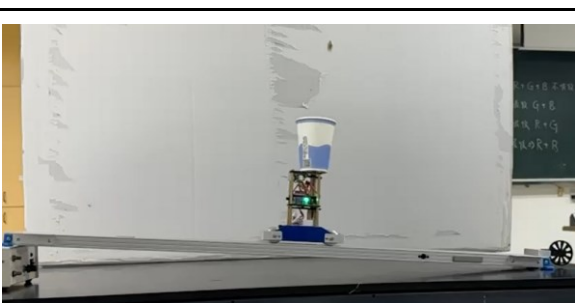
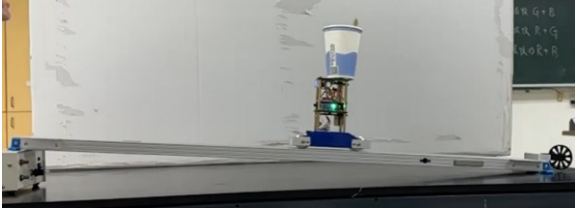
1. 滑車進行等速度運動：

起始		手先推動滑車達到一定速度 由於軌道為低摩擦力設計，因此視為近似等速運動。
觸發		手靠近(但不接觸車體)觸發拋擲器，拋擲器拋擲方向與滑車滑行方向垂直，將拋體向上拋出。
上升		拋體向上飛行的過程中，鉛直方向為向上減速運動，同時在水平方向以等速度方向運動。可看出拋體在車體正上方。
最高點		拋體達最高點，此時鉛直方向順時速度為0，水平方向依然與車體保持同步等速度運動，拋體在車體的正上方
下降		拋體向下飛行的過程中，鉛直方向為向下加速運動，水平方向依然與車體保持同步等速度運動，拋體在車體的正上方
著地		等速度運動時拋體成功落回車體。



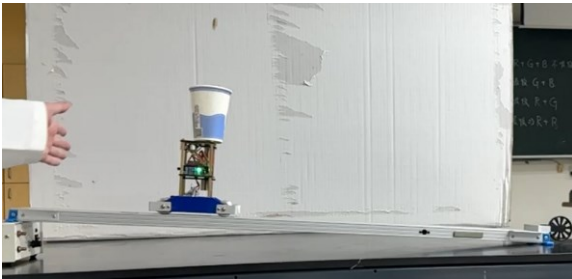
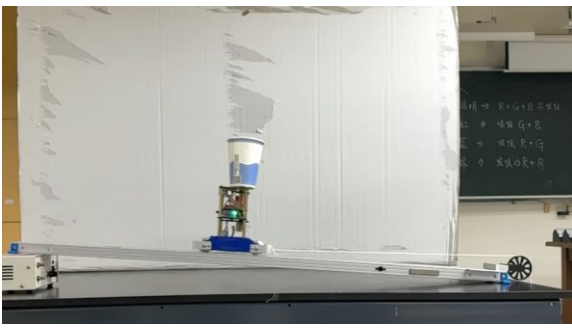
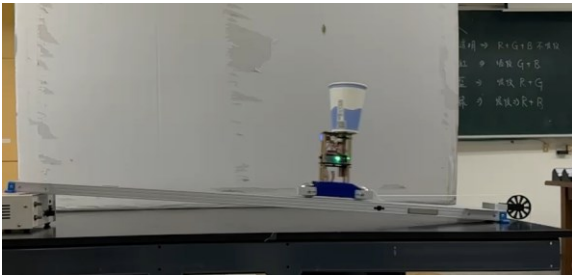

2. 滑車進行等加速度加速運動：

起始		滑車受一向右的力(兩個20g砝碼懸掛在右方，砝碼所受的重力以定滑輪改變施力方向) 滑車由靜止釋放。
觸發		手靠近(但不接觸車體)觸發拋擲器，拋擲器拋擲方向與滑車滑行方向垂直，將拋體向上拋出。
上升		拋體向上飛行的過程中，鉛直方向為向上減速運動，同時在水平方向以等速度方向運動。可看出拋體在車體正上方。
最高點		拋體達最高點，此時鉛直方向順時速度為0，水平方向保持等速度運動，拋體在車體的上方，但跟不上滑車向右的速度，稍稍落在紙杯後方(左方)。
下降		拋體向下飛行的過程中，鉛直方向為向下加速運動，保持等速度運動，拋體跟不上滑車向右的速度，明顯落在紙杯後方(左方)。
著地		等速度運動時拋體無法落回車體紙杯，落在車體 後方 。

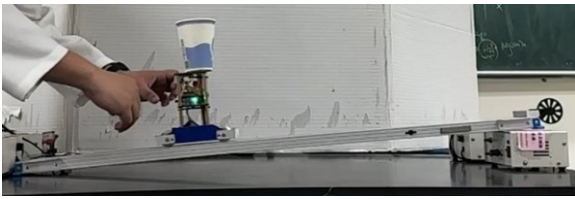

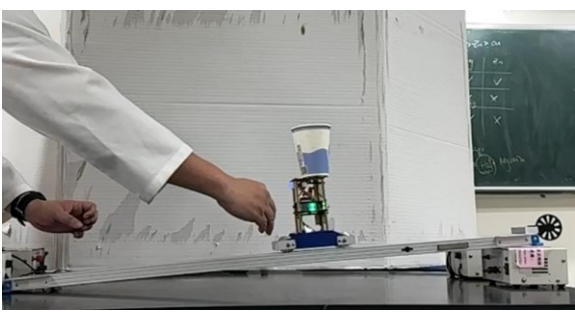
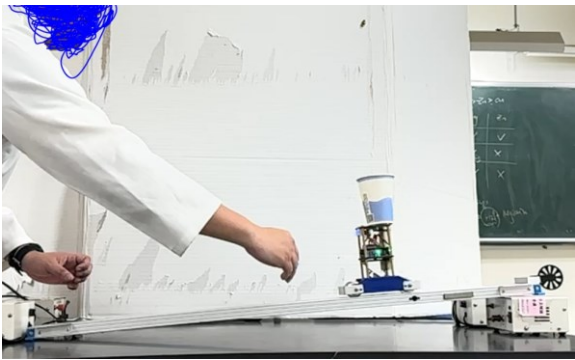
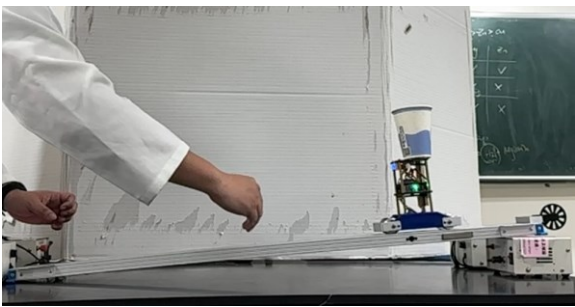
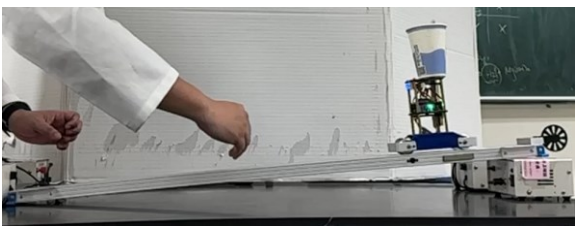
3. 滑車由斜面上自由下滑(滑車不掛砝碼)

起始		滑車無繫繩，由斜面上靜止釋放
觸發		手靠近(但不接觸車體)觸發拋擲器，拋擲器拋擲方向與滑車滑行方向垂直，將拋體向上拋出。
上升		拋體向上飛行過程中，鉛直方向為向上減速運動，同時在水平方向以等速度方向運動。可看出球體在軌道法線上方，而非鉛直正上方。
最高點		拋體達最高點，此時鉛直方向順時速度為0，水平方向依然與車體保持同步等速度運動，可看出球體在軌道法線上方，而非鉛直正上方。若軌道角度增大，拋體滯空時可能會短暫在車體前方上空。
下降		拋體向下飛行的過程中，鉛直方向為向下加速運動，水平方向依然與車體保持同步等速度運動，可看出球體在軌道法線上方，而非鉛直正上方。
著地		拋體回到車體紙杯內，但拋體回到杯中的位置略為靠前。我們推測可能是軌道磨擦力的影響，導致車體加速度略微減小所致。

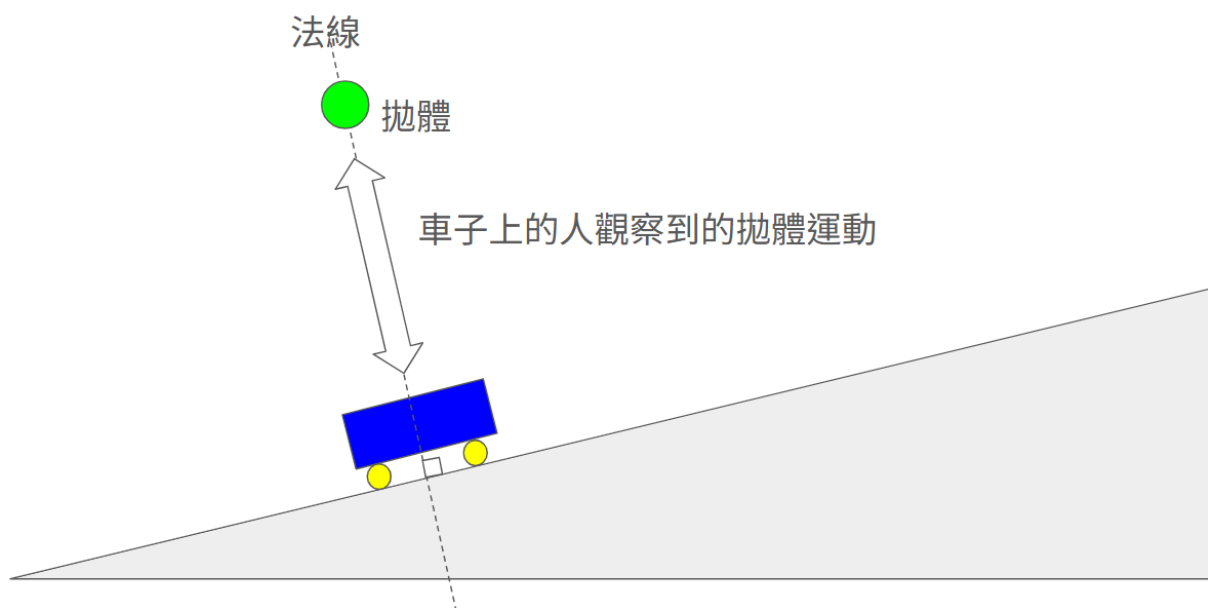
4. 滑車在斜面上加速下滑(滑車掛砝碼)

起始		滑車受一向右的力(兩個20g砝碼懸掛在右方，砝碼所受的重力以定滑輪改變施力方向) 滑車由靜止釋放。
觸發		手靠近(但不接觸車體)觸發拋擲器，拋擲器拋擲方向與滑車滑行方向垂直，將拋體向上拋出。
上升		拋體向上飛行過程中，鉛直方向為向上減速運動，同時在水平方向以等速度方向運動。可看出球體在車體上方。
最高點		拋體達最高點，此時鉛直方向順時速度為0，水平方向依然與車體保持同步等速度運動，球體在車體上方，但稍稍跟不上車體的水平速度。
下降		拋體向下飛行的過程中，鉛直方向為向下加速運動，水平方向依然與車體保持同步等速度運動，可看出球體在車體上方，但明顯跟不上車體的水平速度。
著地		拋體無法落回車體紙杯，落在車體後方。若從斜面自由釋放恰能回到杯中，車體加其他外力便會使下滑加速度過大。

5. 滑車在斜面上減速上滑(滑車不掛砝碼)

起始		滑車無繫繩，手先推動滑車達到一定速度。因向上滑動，所以放手後進行等加速度的減速運動。
觸發		手靠近(但不接觸車體)觸發拋擲器，拋擲器拋擲方向與滑車滑行方向垂直，將拋體向上拋出。
上升		拋體向上飛行過程中，鉛直方向為向上減速運動，同時在水平方向以等速度方向運動。可看出球體在軌道法線上方，而非鉛直正上方。
最高點		拋體達最高點，此時鉛直方向順時速度為0，水平方向依然與車體保持同步等速度運動，可看出球體在軌道法線上方，而非鉛直正上方。若軌道角度增大，拋體滯空時可能會短暫在車體前方上空。
下降		拋體向下飛行的過程中，鉛直方向為向下加速運動，水平方向依然與車體保持同步等速度運動，可看出球體在軌道法線上方，而非鉛直正上方。
著地		拋體回到車體紙杯內，但拋體回到杯中的位置略為靠前。我們推測可能是軌道磨擦力的影響，導致車體加速度略微減小所致。

總結實驗結果與討論：



在車體僅受重力影響的運動下，拋體拋出後會回到原車內，無論是水平等速度運動，斜面上自由加速下滑、自由減速上滑，我們觀測到的球體會在斜面跟著車體移動的法線上(從車上乘客觀察角度來看，則是上下運動)。

五、參考文獻：

<https://www.youtube.com/shorts/d7pTCYiB3d8?feature=share>

[【中央大學】物理演示實驗－拋體運動（垂直上拋）projectile](#)