

# 2024 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

## 國中組 成果報告表單

題目名稱：利用影像分析探討乒乓球受液體作用的反彈過程

### 一、摘要

本實驗為探討球體受到液體作用產生噴射。透過影像分析出裝有溶液和球的寶特瓶落下後反彈噴射的**速率**，推算出球彈射高度與水溶液密度的關聯。本次實驗藉由吸管及滑軌裝置，確保瓶身在**水平狀態**落下，且球不會因為表面張力而被**吸至瓶身邊緣**。盛裝溶液分別為蒸餾水和食鹽水，在落下高度為**28 公分**所求得之反彈最大高度分別為**0.69 公尺(增加 149%)**與**0.79 公尺(增加 184%)**。

### 二、探究題目與動機

日前在網路上看到有人分享一個胖子抱著一顆球跳進泳池裡的影片，那個胖子在落水的瞬間把球放開，放開後球竟然會往上彈的非常高！看了之後覺得相當有趣且驚豔，究竟球為甚麼可以彈那麼高呢？於是上網查了相關的資料，原來是運用了**沃辛頓噴射**的原理，後來發現了一個原理類似的實驗：把球放在一個對半切的瓶子裡，並且讓瓶子裡裝滿水，從一定的高度往下丟，球就會彈起來。但是如果瓶子裡裝的是密度不同的水溶液，彈起的高度又會有甚麼差異嗎？

### 三、探究目的與假設

探究目的：推測不同密度的水溶液置於杯子內，影響球彈起來的初速。

研究假設：**密度越高的**溶液，會使球噴射的**高度越低**。因為密度越大，溶液越濃稠，所以彈起的速率及高度應該會越低。

## 四、探究方法與驗證步驟

實驗中所遇到的困難：

### 1. 球無法保持於容器的中央:

球會因表面張力而靠在杯壁，所以我們將吸管四個加工後將放入使用焊槍焊出的小洞，使得球體在承裝容器時仍可以保持於容器的中央，如右圖。若不加入液體直接落下，則球不大會有反彈，代表此吸管的功用僅維持球體於液面中央，而不會對球體反彈高度有顯著的影響。



### 2. 杯子無法垂直落下:

噴射裝置會因人工放置的因素而不是保持垂直落下，所以我們製作了一個類滑軌的裝置來固定杯子，使其可以垂直落下，使球能夠垂直向上噴射。

### 3. 影像誤差:

球體噴起的高度會隨著攝影距離的遠近與角度受到影響，越偏離鏡頭中心的影像，其失真程度會越高，因此我們使用軟體 **Tracker** 來分析乒乓球反彈的速率再推算最大高度可避免影像視角所造成的誤差。

## 第一部分:實驗裝置準備

### 噴射裝置製作

1. 取好寶特瓶，利用美工刀與剪刀裁切瓶身，取寶特瓶上半部，並使用焊槍在側邊燒出 4

個對稱的洞。

2. 取一段塑膠吸管切成 **2 段(每段 3 公分)**，每一段再對半平分，插入使用焊槍燒出的小洞，使用熱熔槍固定，並另取一段吸管，裁切成 **4 段(每段 4.5 公分)**分別黏在兩個小洞的中間。



### 食鹽水溶液置備

1. 將寶特瓶裝入蒸餾水後，加入食鹽並搖晃直到無法溶解時，即為飽和食鹽水作為噴射裝置盛裝之溶液。盛裝溶液的體積固定為 **200 毫升**，會使乒乓球懸浮於容器之中。


### 第二部分：固定器材及拍攝

1. 最後取**兩段 80 公分**的牙線、**兩段 45 公分**的木棒及四個書櫃(各 **37.5 公分**)；先將牙線穿過步驟 1 使用熱溶膠固定於杯緣的吸管，接下來牙線分別使用防水膠帶黏在地板及木棒的中間，書櫃置於地板，兩兩堆疊，中間相隔 **40 公分**，木棒則使用膠帶固定在兩個書櫃頂端。
2. 將不同溶液加入在噴射裝置內，放上乒乓球後即可使其自由落下並進行拍攝。使用手機架將手機放置於地板上，拍攝球落下至彈起的畫面。拍攝影片的幀數為 **240fps**，即一秒鐘會錄製 **240 張**影像。

### 第三部分：影像分析

- 1.將拍攝完成的 MP4 檔案匯入影片分析軟體 **Tracker**【影片→匯入→選取影片】。
- 2.將影片追蹤幀數設為 **240fps**【右鍵→影片剪輯設定→影格率設為 240】，以確保分析時影

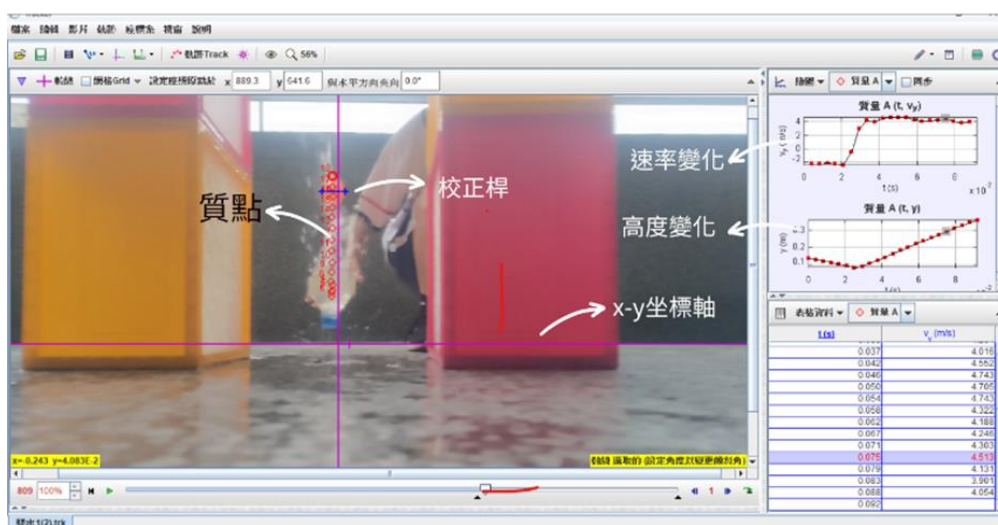
片幀數與軟體中的時間軸間距一致。

3.顯示影片  $x$  及  $y$  座標的座標軸【軌跡下方的按鈕 】，並將座標原點設在噴射裝置的著地處，此時的物體所在的  $y$  軸位置即為物體的高度。

4.新增校正桿【軌跡→新增→校正工具→校正桿】及量尺【軌跡→新增→測量工具→量尺測量】，使用校正桿的目的為建立拍攝影片之空間長度關係，此次實驗以影片中的乒乓球之直徑 **4 cm** 作為校正參考。

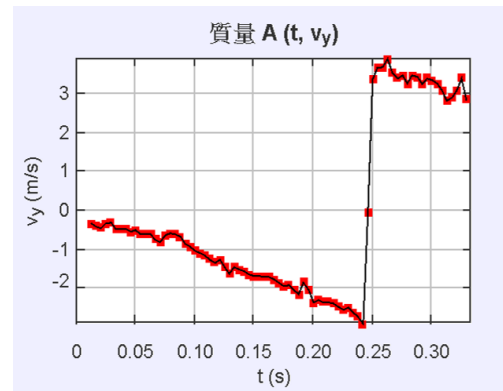
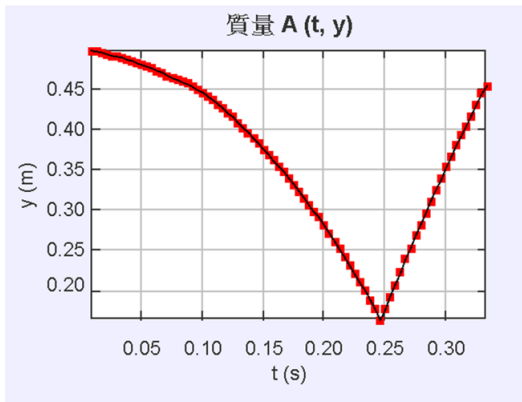
5.新增欲追蹤之質點【軌跡→新增→質點】，利用質點追蹤每幀畫面中乒乓球頂部(最上緣)位置【按住 shift + 左鍵點選】，追蹤乒乓球出現在畫面中開始至球離開水面向上噴射的過程中變化之軌跡。

6.顯示質點資訊【圖表中點選  $y$  軸→選取  $y$ 、 $v_y$ 】【質點 A→表格資料→選取  $y$ 、 $v_y$ 】，將球的反彈速率( $v_y$ )帶入運動學公式:  $h = v_y^2 / 2g$ ，其中  $h$  為乒乓球反彈可達到的最大高度， $g$  為重力加速度 **9.8m/s**，代入即可得知球反彈噴射後可達到的高度。使用 **Tracker** 之示意圖如下。



## 五、結論與生活應用

### 實驗結果 1:



左圖為盛裝食鹽水的裝置落下後，乒乓球的  $y$  軸位置與時間之關係圖；右圖為盛裝食鹽水的裝置落下後，乒乓球的  $y$  方向速度  $v_y$  與時間之關係圖

- 1.左圖中可以看到經過 **0.245 秒**後反彈，從影像分析中可以得知球所在的初始位置約為  **$y=5$  公分**，這與實際放置的高度 **28 公分**不合，這是因為攝影機架設於地面處，因此會與畫面中上下部分的物體有視覺上的差異(實驗困難 3 所探討的影像誤差)。若用運動學公式  $h = \frac{1}{2}gt^2$  計算自由落下 **0.245 秒**之高度為 **29 公分**，則會與實驗的放置高度相符。
- 2.右圖中可以觀察到在 **0.245 秒**以前因為是靜止落下，因為物體是向下運動因此速度大小為負值，同時也顯示受到重力的影響而速度越來越快。反彈後物體因為是向上運動所以速度的數值是正的。本次實驗的反彈速度是取反彈後 **0.03 秒**內的瞬时速度的平均值，因為選取的時間(**0.03 秒**)很短，重力的影響較小，對回彈的最大高度並無太大影響。

## 實驗結果 2:

| 落下高度 0.28 公尺    | 水    | 食鹽水  |
|-----------------|------|------|
| 反彈速率 $v$ (公尺/秒) | 3.7  | 3.95 |
| 最大高度 $h$ (公尺)   | 0.69 | 0.79 |
| 高度增加百分比         | 149% | 184% |

根據我們的實驗過程及結果，我們整理出以下結論：

1. 密度較大的食鹽水使彈起來的最大高度相對於蒸餾水高，此點與實驗前的組員的假設相反，實驗結果顯示密度大的溶液在反彈的過程中能夠提供乒乓球更多的能量向上噴射，能量的淨增益會比較多。
2. 根據我們的實驗過程中發現，放下的高度越高，瓶身越容易歪斜，所以瓶身放置高度愈低，反而會讓球彈跳的狀況越穩定。
3. 這次實驗製造的裝置有許多優點，例如球體獲得的能量淨增益竟然高達 150 以上，如果用於各種噴射裝置上，一定也會有不錯的效果。

## 參考資料

1. 深水炸彈~探究撞擊波對水體與浮球之力學交互作用
2. <https://www.youtube.com/watch?v=a0pE1pZwSe4><https://www.youtube.com/watch?v=UXbWJmZvaZk>
3. <https://www.youtube.com/watch?v=ebJhycgtePs>
4. <http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/> °