

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學科

030802

“Newton” I find you!

- 利用開放硬體，設計檢測重力加速度的裝置

學校名稱：臺中市立豐南國民中學

作者： 國二 張庭豪 國二 張佑丞 國一 謝長志	指導老師： 李忠偉 蔡慧美
---	-----------------------------

關鍵詞：Scratch、智高積木、重力加速度

摘要

自由落體是什麼？對我們學生來說是抽象的單元，透過這次研究，利用不同的積木組合，設計出最穩定的架構，學習程式語言與機器溝通，讓程式為我們簡化人為運算過程，算出最精準的重力加速度，驗證課本所敘述內容，深切了解重力加速的意義。本機器經過實際物體落下測量出時間，準確測量出物體的重力加速度。透過數據的紀錄，可以比較出不同物體間重力加速度其實是不同的，愈重的物體愈不易受到空氣各項阻力的影響，了解更多課本以外的內容。

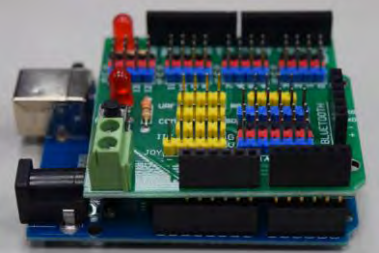








壹、研究動機

因為在課餘時間翻閱偉人傳記，看到牛頓蘋果樹的故事，看到蘋果掉下來砸到牛頓的那一段時，不禁突發奇想，如果當時牛頓不是坐在蘋果樹下而是坐在梨子樹或榴槤樹下，重力加速度會不會因此對不同重量、形狀的水果有不同的影響？古希臘的科學家亞里斯多德，他提出：物體下落的快慢是由物體本身的重量決定的，物體越重，下落得越快；反之，則下落得越慢。可是，物理學家伽利略提出了相反的意見，他推斷物體下落的速度應該不是由其重量決定的。他在 1636 年的《兩種新科學的對話》中設想，自由落體運動的速度是勻速變化的。尤其在三年級的自由落體的內容非常抽象，根本無法實際透過實驗測得相關數據，詢問老師是否有測量加速度的工具呢？經過討論決定利用，開放硬體、`scrath2.0` 軟體及組裝積木來自行設計自由落體測量器來進行相關實驗，希望能讓班級同學實際動手操作，減低他們學習本單元的困難。

貳、研究目的

- 一、利用不同積木，組裝並測試出結構穩定、可重複使用的設備。
- 二、利用 `Arduino` 開放硬體及感測器連接擴充板，測試並尋找可用測量時間的元件。
- 三、利用 `scratch` 軟體並搭配硬體，測試不同程式的邏輯，設計最適當的程式。
- 四、建立自動化程式，量測時間之後，立即將重力加速度（ g ）計算出來。
- 五、了解何謂自由落體與重力加速度。
- 六、探討重力加速度對不同質量球體落下的影響。

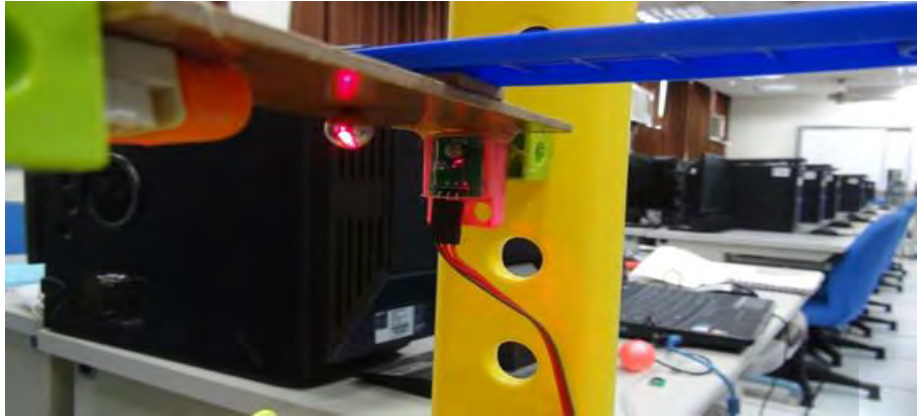
參、研究器材

		
<p>Arduino uno R3 及 感測器連接擴充板</p>	<p>光敏電阻</p>	<p>微動開關</p>
		
<p>紅光雷射模組</p>	<p>智高積木機關王軌道組</p>	<p>強力磁鐵</p>
		
<p>小鋼珠 (3.2 公克)</p>	<p>乒乓球 (重 2.8 公克)</p>	<p>藍色塑膠球 (重 7.4 公克)</p>

		
木板	固定束帶	空心圓柱體

肆、研究過程及方法

- 一、利用可拆卸式積木組裝重力加速度檢測設備，透過 `scratch` 程式立即計算重力加速度 (g)
- (一) 利用智高機關王軌道積木組裝自由落體的高架。
 - (二) 選用光敏電阻及紅光雷射模組組合成光遮斷感測器，並將此裝置架於高架上端。
 - (三) 高架底部基座上安裝微動開關。
 - (四) 測量光阻斷感測裝置與下方微動開關間的距離。
 - (五) 設計 `scratch` 程式輸入電腦，當物體落下後利用 `scratch` 程式的計時器得到時間數據，再將計算 g 值公式寫入 `scratch` 程式，立即利用此時間數據計算重力加速度 (g) 呈現在電腦螢幕前。
- 二、探討不同質量球體對重力加速度對落下的影響
- (一) 測量小鋼珠落下時的重力加速度
 1. 將小鋼珠放置在光遮斷感測器中阻斷雷射光源，在頂部並以強力磁鐵吸住，使其不掉落，如圖 (1) 所示。



圖（1） 以強力磁鐵吸住小鋼珠使之阻斷雷射光

2. 用筆在光遮斷感測器的紙板上做記號，確保每次都將小鋼珠放置於固定位置。
3. 測量小鋼珠的底部至微動開關的距離，並將距離輸入至 `scratch` 程式中。
4. 移開強力磁鐵，讓小鋼珠落下後撞擊積木，啟動微動開關。
5. 由 `scratch` 程式中讀取落掉時間及 g 值。
6. 重置微動開關，讓程式重新進入預備狀態。
7. 將球放置光阻斷感測裝置上遮斷雷射光後，重複步驟 4~步驟 6。

（二）測量乒乓球及藍色塑膠球落下時的重力加速度

1. 分別將乒乓球、藍色塑膠球放置在光遮斷感測器中阻斷光源。
2. 用筆在光阻斷感測裝置的紙板上做記號，確保每次都將球放置於固定位置。
3. 測量球的底部至微動開關的距離，並將距離輸入至 `scratch` 程式中。
4. 放開球，讓球落下後撞擊積木，啟動微動開關。
5. 由 `scratch` 程式中讀取落掉時間及 g 值。
6. 重置微動開關，讓程式重新進入預備狀態。
7. 將球放置光阻斷感測裝置上遮斷雷射光後，重複步驟 4~步驟 6。

（三）為降低空氣各項阻力造成的影響，在物體掉落軌跡周圍增加空心圓柱體，重複上述步驟（二）。

伍、研究結果與討論

一、利用積木組裝重力加速度檢測設備，並利用 `scratch` 程式立即計算 g 值

(一) 組裝重力加速度檢測設備

1. 檢測設備骨架主要是以機關王軌道組組裝完成，高度約 112 公分。
2. 設備底部安置微動開關，接到 `Arduino` 上的 A1 類比腳位上，由於微動開關的按鈕很小，所以以積木組合成一片狀構造覆於開關上方，以利於球體落下時接受撞擊而觸動開關，如圖 (2) 所示。

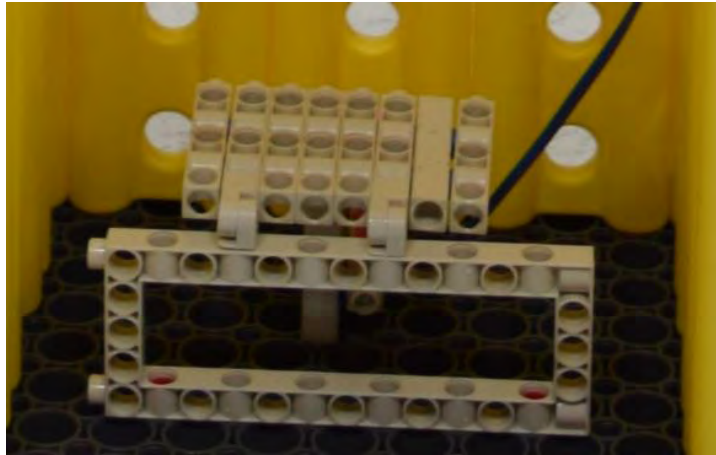
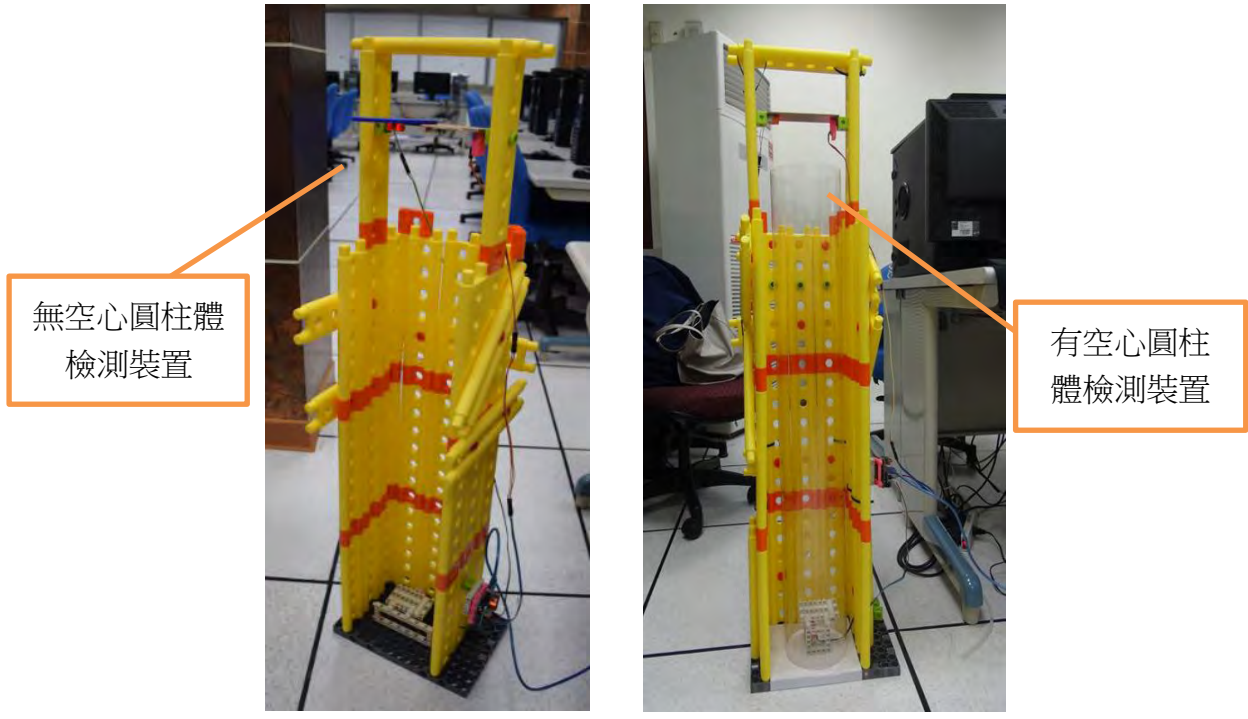


圖 (2) 底部微動開關受力裝置

3. 設備頂端利用紅光雷射和光敏電阻組合成光遮斷感測器，紅光雷射電源可接線至 `Arduino` 上的任一數位腳上的 V (電壓) 針腳及 G (地線) 針腳取得 5 伏特電源。光敏電阻則接至 `Arduino` 上的 A0 類比腳位上。
4. 在雷射光束上方安置一紙板 (不能遮斷光束)，以確保球體開始落下的位置是固定的，可參閱圖 (1) 所示。
5. `Arduino` 安裝在裝置側邊，然後連線至電腦上。
6. 設備組裝完成全貌如圖 (3) 所示。

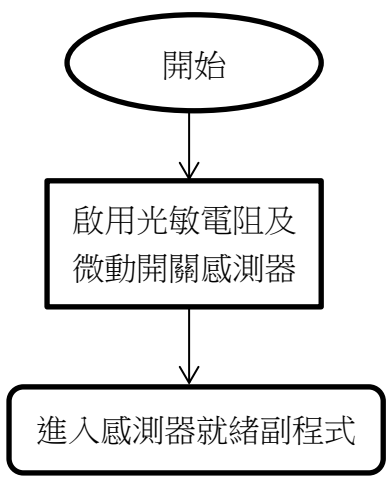


圖（3） 重力加速度檢測設備全貌

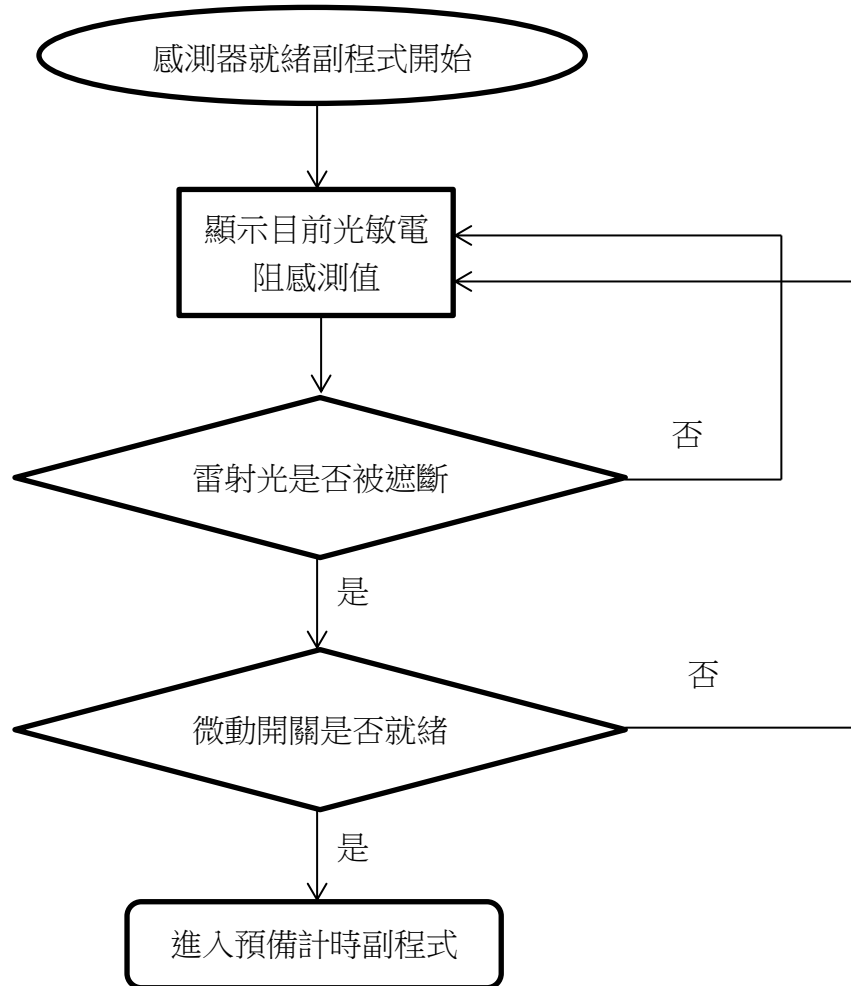
（二）Scratch 程式設計

1. 程式邏輯分析

主程式設計、感測器就緒副程式設計、計時副程式設計之流程如下圖（4）、圖（5）、圖（6）所示。



圖（4） 主程式設計流程圖



圖（5） 感測器就緒副程式設計流程圖

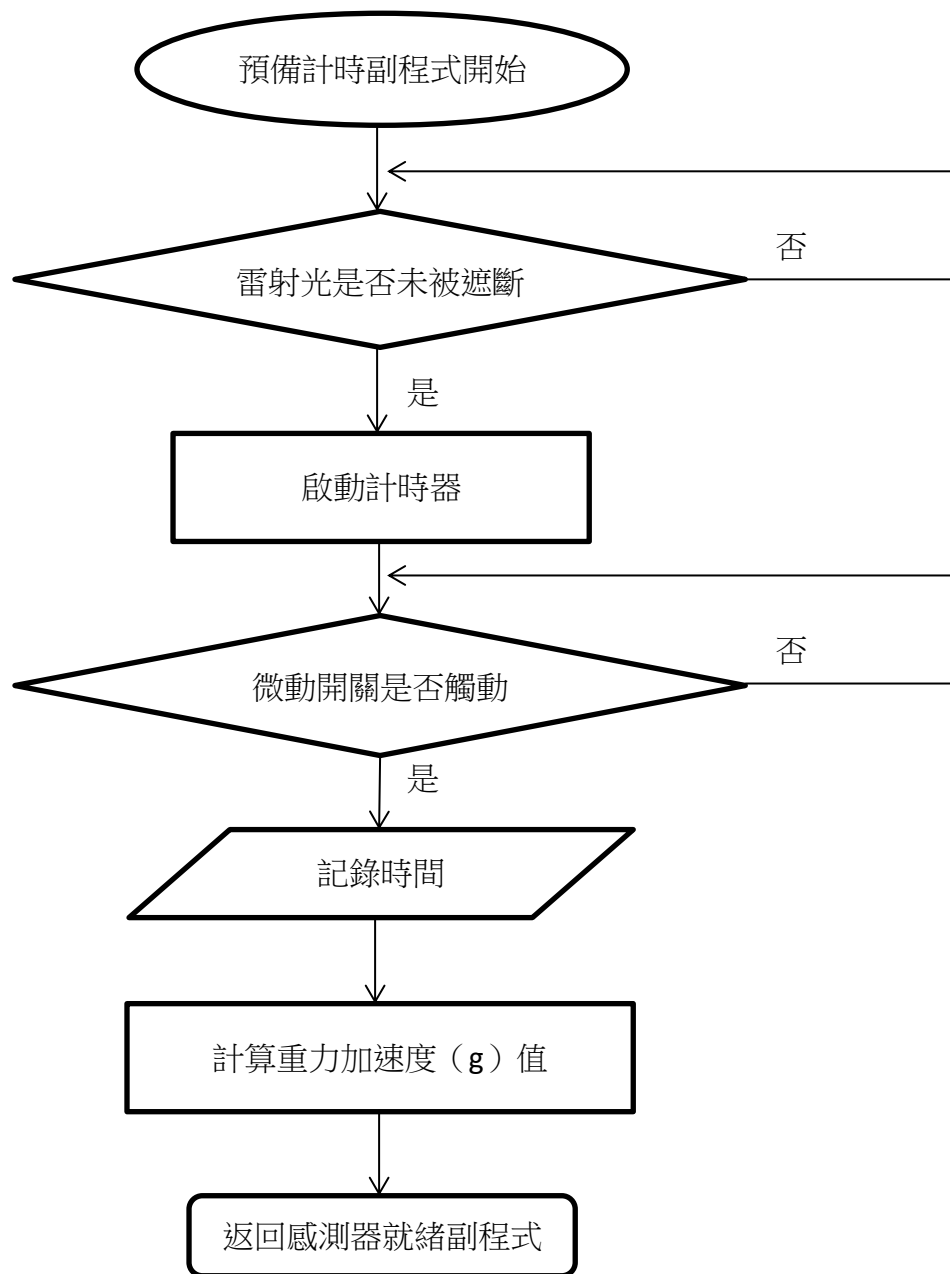


圖 (6) 計時副程式設計流程圖

2. 程式說明

- (1) 當綠旗被點擊，程式開始。此時進行 Arduino 腳位功能宣告，並設定「掉落距離」變數，然後進入感測器就緒副程式，如圖 (7) 所示。
- (2) 「掉落距離」主要用於計算 g 值使用，由於小鋼珠、乒乓球及藍色塑膠球的大小不同，此變數的值需因檢測的球體的直徑不同而進行修正。



圖（7） Scratch 腳位宣告

- (3) 在感測器就緒副程式中，主要功能是檢查球體是否已被安置於光遮斷感測裝置。
- (4) 當雷射光精準打在光敏電阻上時，scratch 讀取的數值約 1015，微動開關被觸動時，scratch 讀取到的數值也達 1012，因此程式中以兩者皆小於 1000 作為檢測是否球體已就緒。若已就緒則自動進入「預備計時」副程式，如圖（8）所示。



圖（8） 感測器就緒副程式

- (5) 在預備計時副程式中，首先進行光敏電阻數值檢查，若大於 1000，表示雷射光再度打在光敏電阻上，球體已掉落，因此啟動計時器，開始計時。
- (6) 類比腳位 A1 是接微動開關，若偵測到大於 0 的值，表示開關被觸動，此時計下計時器的時間，並將時間記錄到清單項目中。
- (7) 計算出來的 g 值，儲存到重力加速度清單中。

(8) 最後，結束這段副程式，並返回到感測器就緒副程式中，如圖(9)所示。



圖(9) 計時副程式

3. 程式執行結果

Scratch 顯示紀錄時間並計算出重力加速度，如圖(10)所示。



圖(10) Scratch 顯示紀錄時間並計算出重力加速度

二、探討重力加速度對不同密度球體落下的影響

(一) 重力加速度推導:

$$S=V_0t + \frac{1}{2}at^2 \text{ 又因自由落體 } V_0 = 0 \quad a=g$$

$$\text{所以 } S = \frac{1}{2}gt^2 \quad \Rightarrow \quad g = 2s / t^2$$

(二) 待測物體的密度推導

1. 利用排水法，測得待測物體積，並利用密度公式，換算出待測物的密度。
2. 待測物的相關數據，如表(1)所示。

表（1） 待測物相關資料

代號	項目	小鋼珠	藍色塑膠球	乒乓球
A	質量 (g)	3.2	7.4	2.8
B	水的體積 (cm ³)	3	400	400
C	水加物體的體積 (cm ³)	3.4	430	430
D	待測物體積 (cm ³)	0.4	30	30
A/D	密度 (g/cm³)	8.0	0.24	0.09

(三) 最開始設計-使用不同落體，所記錄數據分析

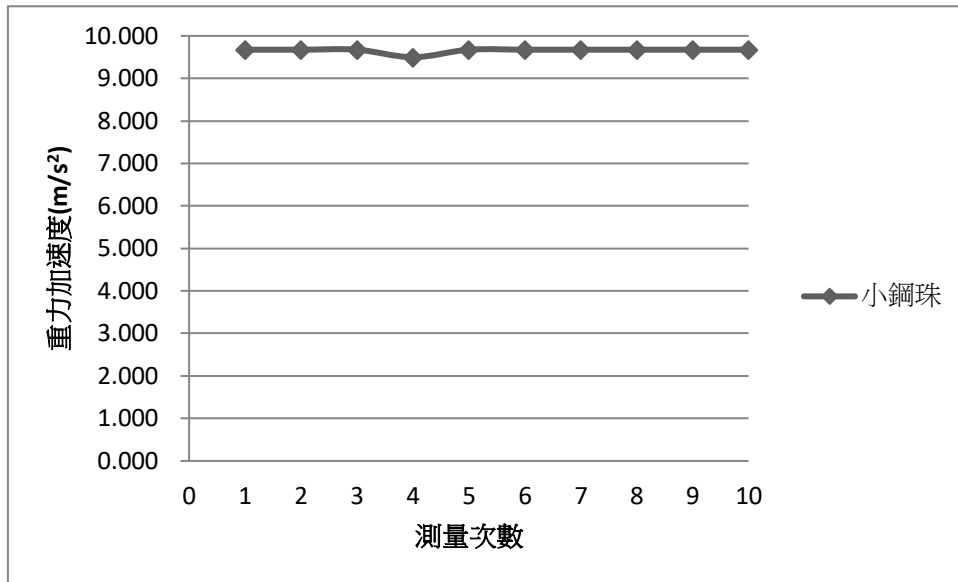
1. 使用小鋼珠 ($D=8.0\text{g/cm}^3$) 當作自由落體，落下距離 $S=0.907$ 公尺，其結果如表（2）及圖（11）所示。

(1) 小鋼珠是本實驗中密度最大的，體積最小的，推測因空氣各項阻力對於小鋼球的較小，從數據上看每次的測量接近 9.8 (m/s^2)。

(2) 測量結果皆相當穩定都維持在 9.67 (m/s^2)。

表（2） 以小鋼珠當作自由落體，測得之時間及其計算出之重力加速度

次數	時間 (秒)	重力加速度 (m/s^2)
1	0.433	9.675
2	0.433	9.675
3	0.433	9.675
4	0.437	9.499
5	0.433	9.675
6	0.433	9.675
7	0.433	9.675
8	0.433	9.675
9	0.433	9.675
10	0.433	9.675



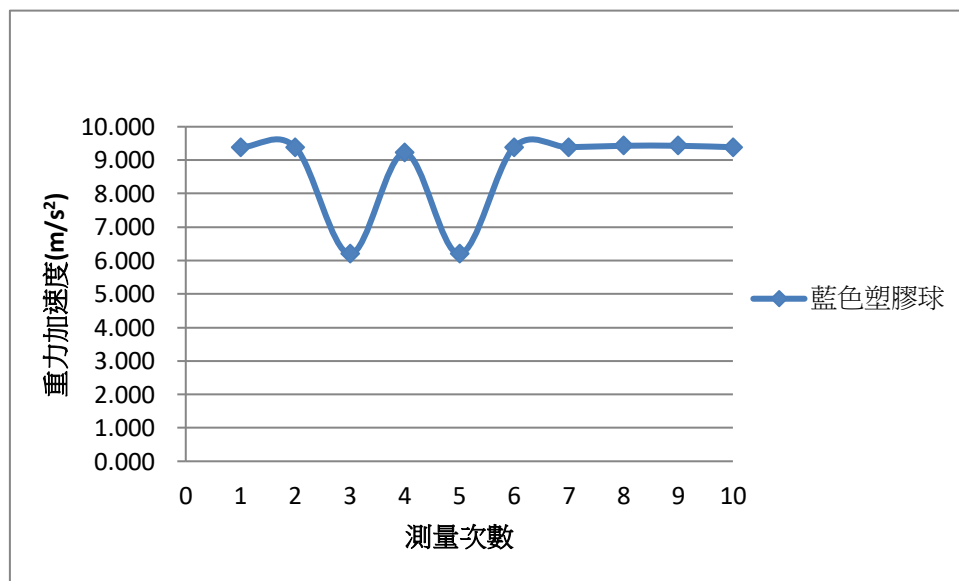
圖（11） 以小鋼珠當作自由落體測得之重力加速度與次數關係圖

2. 使用藍色塑膠球（D=0.24）當作自由落體，落下距離 S=0.907 公尺

- （1）本實驗使用的藍色塑膠球，直徑為 4 公分，質量為 7.4 公克，測得數據如表（3）所示，各次所測得的重力加速度關係圖則如圖（12）所示。
- （2）藍色塑膠球體積與乒乓球相同，但密度介於其他兩物體的中間，其測量結果平均重力加速度在 9.3m/s^2 上下，比小鋼球 9.7 m/s^2 略小，推測因球體體積比小鋼球比較增加許多，空氣各項阻力也增加所造成。
- （3）另外測量數據差距很大，也顯示出在自由落體過程中，當質量小、體積大、密度小時，較容易受到外在環境影響，導致測得的數據穩定度稍差，即使時間僅差 0.1 秒，計算出來的重力加速度卻差距頗大。

表（3） 以藍色塑膠球當作自由落體，測得之時間及其計算出之重力加速度

次數	時間（秒）	重力加速度（m/s ² ）
1	0.433	9.387
2	0.433	9.387
3	0.533	6.195
4	0.437	9.216
5	0.533	6.195
6	0.433	9.387
7	0.433	9.387
8	0.432	9.431
9	0.432	9.431
10	0.433	9.387



圖（12） 以藍色塑膠球當作自由落體測得之重力加速度與次數關係圖

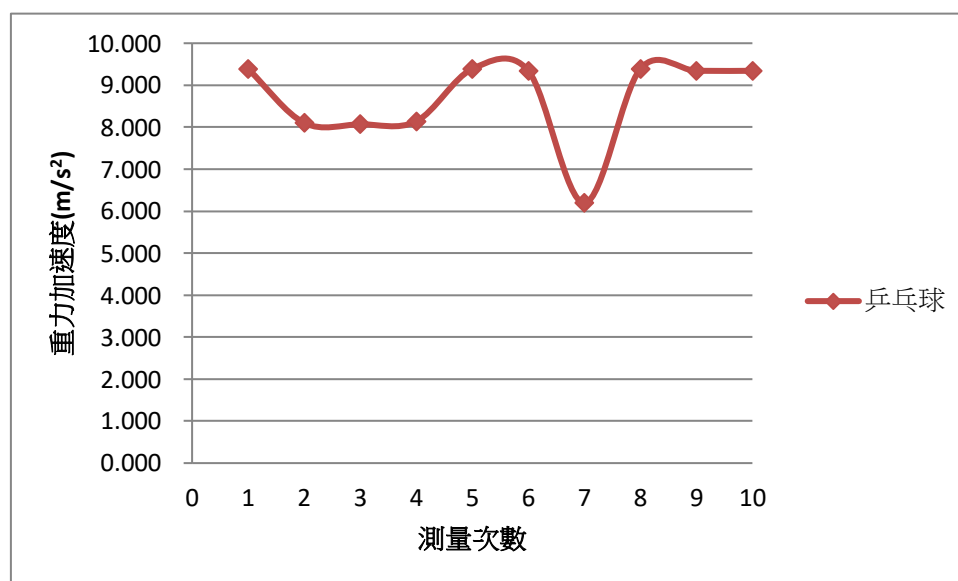
3. 使用乒乓球（D=0.09）當作自由落體，落下距離 S=0.907 公尺

- （1）本實驗使用的乒乓球，直徑亦為 4 公分，體積與藍色塑膠球相同，但質量僅 2.8 公克，密度最小的物體，測得數據如表（4）所示，各次所測得的重力加速度關係圖則如圖（13）所示。

- (2) 乒乓球是質量最小、密度最小，其測量結果重力加速度平均在 9.3 m/s^2 上下，與藍色塑膠球 9.3 m/s^2 相當，推測因球體體積與小鋼球相比增加許多，空氣各項阻力也增加所造成。
- (3) 另外測量數據差距很大，其數據不穩定的原因推測與藍色塑膠球相同，皆是質量輕加上體積大所導致。

表（4） 以乒乓球當作自由落體，測得之時間及其計算出之重力加速度

次數	時間（秒）	重力加速度（ m/s^2 ）
1	0.433	9.387
2	0.466	8.105
3	0.467	8.070
4	0.465	8.140
5	0.433	9.387
6	0.434	9.344
7	0.533	6.195
8	0.433	9.387
9	0.434	9.344
10	0.434	9.344



圖（13） 以乒乓球球當作自由落體測得之重力加速度與次數關係圖

4. 比較相關數據（無空心圓柱測量結果）

(1) 我們將數據中，誤差過大的數據刪除，得到的重力加速度的平均值，如下表（5）所示。

(2) 體積大、密度小的物體其數值容易受到環境影響，就如同上表呈現球體的誤差值。

(3) 我們發現小鋼珠體積小、密度大穩定度強，不容易受到外界阻力的干擾，其他兩種球體皆因質量小、密度小、體積大容易受到外界影響。

(4) 物體密度小的話，我們嘗試在物體掉落的周圍加裝空心的圓柱體，避免外界干擾，增加本器材的穩定度。以下是我們的改進實驗。

表（5） 不同物體與重力加速度的比較

次數	小鋼球 g 值 (m/s ²)	藍色塑膠球 g 值 (m/s ²)	乒乓球 g 值 (m/s ²)
質量 (g)	3.2	7.4	2.8
物體體積 (cm ³)	0.4	30	30
密度 (g/cm ³)	8.0	0.24	0.09
1	9.675	9.387	9.387
2	9.675	9.387	8.105
3	9.675	6.195	8.070
4	9.499	9.216	8.140
5	9.675	6.195	9.387
6	9.675	9.387	9.344
7	9.675	9.387	6.195
8	9.675	9.431	9.387
9	9.675	9.431	9.344
10	9.675	9.387	9.344
平均	9.657	9.377	9.366
與標準值 (g=9.8) 差距百分比	1.5%	4.3%	4.4%
備註		差距過大扣除第 3、5 數據	差距過大扣除第 2、3、4、7 數據

(四) 增加空心圓柱體，紀錄不同落體數據及分析

1. 使用小鋼珠 ($D=8.0\text{g/cm}^3$) 當作自由落體，落下距離 $S=0.907$ 公尺，其結果如表 (6) 及圖 (14) 所示。

(1) 透過數據分析，測量結果皆相當穩定維持在 9.67 (m/s^2)，與沒有加裝圓柱體相同。

表 (6) 以小鋼珠當作自由落體，測得之時間及其計算出之重力加速度

次數	時間 (s)	重力加速度 (m/s^2)
1	0.433	9.675
2	0.433	9.675
3	0.432	9.720
4	0.433	9.675
5	0.433	9.675
6	0.432	9.720
7	0.432	9.720
8	0.434	9.631
9	0.433	9.675
10	0.434	9.631

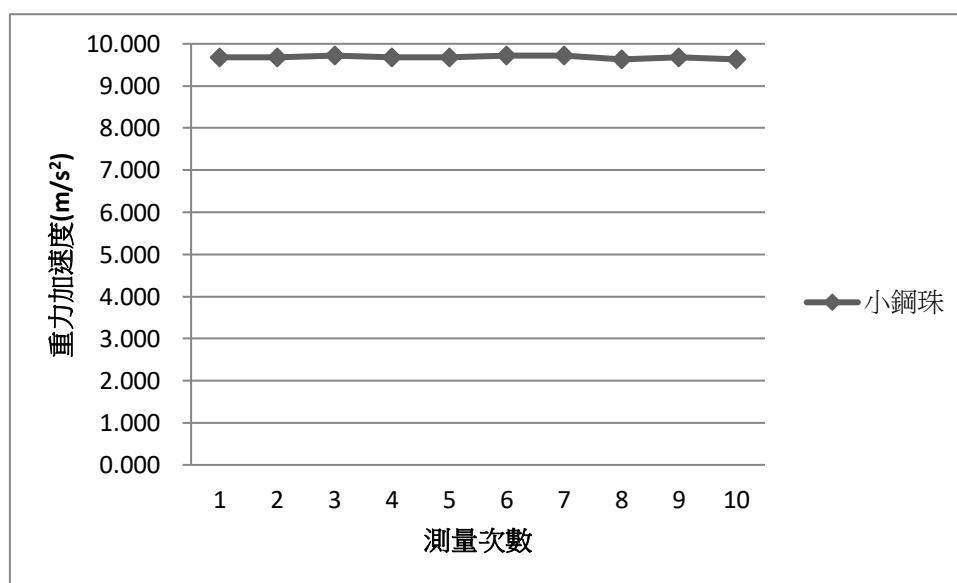


圖 (14) 以小鋼珠當作自由落體測得之重力加速度與次數關係圖

2. 使用藍色塑膠球 (D=0.24) 當作自由落體，落下距離 S=0.907 公尺

(1) 本實驗使用的藍色塑膠球，直徑為 4 公分，質量為 7.4 公克，測得數據如表 (7) 所示，各次所測得的重力加速度關係圖則如圖 (15) 所示。

(2) 藍色塑膠球體積與乒乓球相同，但密度介於其他兩物體的中間，其測量結果平均重力加速度在 9.39m/s^2 上下，比小鋼球 9.67m/s^2 略小，加裝空心圓柱體降低空氣對流引起的空氣阻力，測得的重力加速度值穩定許多。

表 (7) 以藍色塑膠球當作自由落體，測得之時間及其計算出之重力加速度

次數	時間 (s)	重力加速度 (m/s^2)
1	0.433	9.387
2	0.433	9.387
3	0.463	8.210
4	0.434	9.344
5	0.433	9.387
6	0.433	9.387
7	0.433	9.387
8	0.433	9.387
9	0.433	9.387
10	0.433	9.387

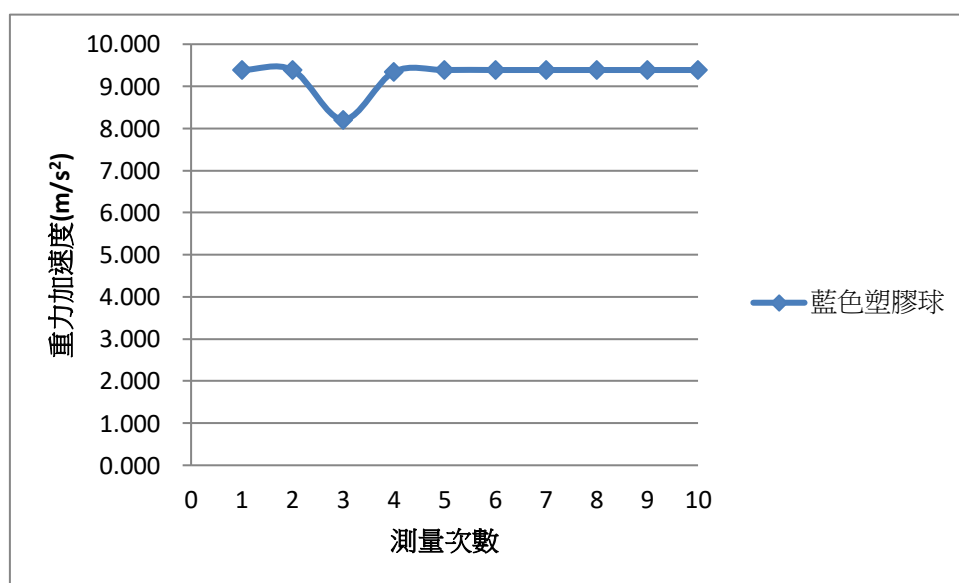


圖 (15) 以藍色塑膠球當作自由落體測得之重力加速度與次數關係圖

3. 使用乒乓球 (D=0.09) 當作自由落體，落下距離 S=0.907 公尺

(1) 本實驗使用的乒乓球，直徑亦為 4 公分，體積與藍色塑膠球相同，但質量僅 2.8 公克，密度最小的物體，測得數據如表 (8) 所示，各次所測得的重力加速度關係圖則如圖 (16) 所示。

(2) 乒乓球是質量最小、密度最小，其測量結果重力加速度平均在 9.4 m/s^2 上下，加裝空心圓柱體後降低空氣對流引起的空氣阻力，測得的重力加速度值變穩定。

表 (8) 以乒乓球當作自由落體，測得之時間及其計算出之重力加速度

次數	時間 (s)	重力加速度 (m/s^2)
1	0.435	9.301
2	0.430	9.519
3	0.433	9.387
4	0.434	9.344
5	0.434	9.344
6	0.464	8.175
7	0.434	9.344
8	0.433	9.387
9	0.432	9.431
10	0.433	9.387

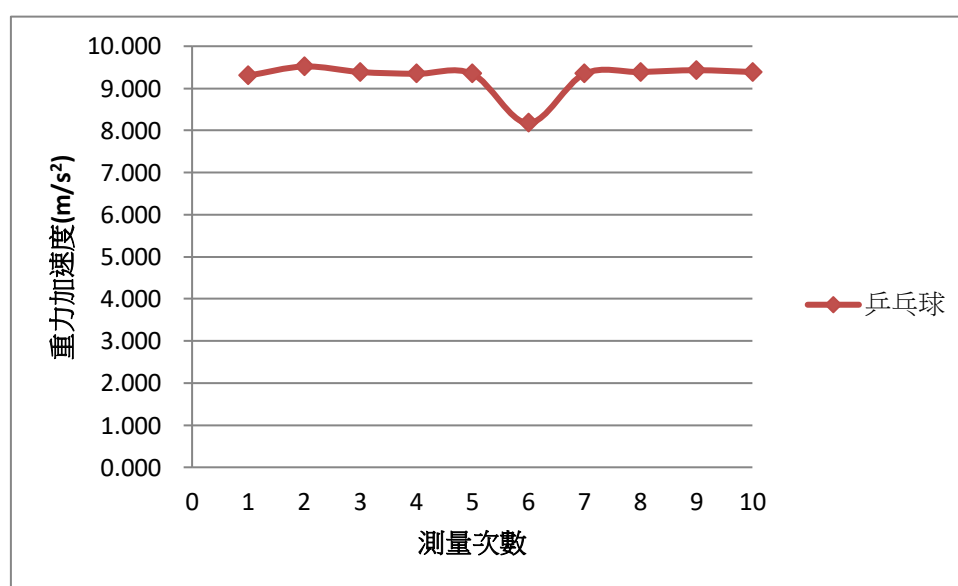


圖 (16) 以乒乓球球當作自由落體測得之重力加速度與次數關係圖

4. 比較相關數據（有空心圓柱測量結果）

(1) 我們再次將數據中有皆誤差過大的數據刪除，得到的重力加速度的平均值，如表(9)所示。

(2) 體積大、密度小的物體其數值容易受到環境影響，就如同上表呈現球體的誤差值。

(3) 加裝空心圓柱體後發現，刪去誤差過大值的比例減少，各項數值也變穩定。

表(9) 不同物體與重力加速度的比較圖

次數	小鋼球 g 值 (m/s ²)	藍色塑膠球 g 值 (m/s ²)	乒乓球 g 值 (m/s ²)
質量 (g)	3.2	7.4	2.8
物體體積 (cm ³)	0.4	30	30
密度 (g/cm ³)	8.0	0.24	0.09
1	9.675	9.387	9.301
2	9.675	9.387	9.519
3	9.720	8.210	9.387
4	9.675	9.344	9.344
5	9.675	9.387	9.344
6	9.720	9.387	8.175
7	9.720	9.387	9.387
8	9.631	9.387	9.387
9	9.675	9.387	9.431
10	9.631	9.387	9.387
平均	9.680	9.382	9.387
與標準值 (g=9.8) 差距百分比	1.46%	4.320%	4.438%
備註		差距過大扣除	差距過大扣除

陸、結論

- 一、我們設計的重力加速度測量儀器，可以簡易及方便的組裝，不使用的時候可以拆卸下來，不會占用學校空間，並可以準確並迅速測量出物體重力加速度。
- 二、加裝空心圓柱體後發現，密度較小的球體，容易受空氣各項阻力影響的球體，有明顯的改善效果。
- 三、三年級課本提到，不同的物體在真空中自由落下，其重力加速度值皆為 $9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$ ，不因其質量大小而不同。但實際透過我們自己設計的重力加速度測量器發現，在空氣中落下過程中，會因為產生阻力而影響測量出來結果，可以讓同學了解真空下與空氣中的差異。
- 四、推論若使用密度超過小鋼珠的物體，測量出來的重力加速度值皆會非常接近 $9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$ ，建議使用時可以尋找密度較大的物體來比較，應該會更接近 $9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$ ，代表非常符合不同物體其重力加速度皆相同。
- 五、本次實驗皆是透過學校的積木材料組裝，可以重複組裝，未花費任何費用，

柒、參考資料

- 一、自由落體定律的發現（2016 年 10 月 12 日）。取自 http://pei.cjhh.tc.edu.tw/~pei/history/history_16.htm。
- 二、自由落體（2016 年 10 月 12 日）。取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%87%AA%E7%94%B1%E8%90%BD%E9%AB%94>。
- 三、力與公式來源（2017 年 2 月 2 日）。取自 <http://jiayou516.pixnet.net/blog/post/36486180>。
- 四、尤丁玫等（2016）。國中自然與生活科技第五冊。臺北市：康軒文教事業股份有限公司。
- 五、高中物理第三冊（龍騰版）。

【評語】 030802

1. 用 Airduno 與樂高積木搭配感應製作出加速度G感測環境，完整度高。時間量測設施簡易正確。
2. 測量重力加速度與物體密度有關此一動機基本上沒有太多創意。
3. 應可利用數據找出所在位址之真正重力值，推導密度與浮力關係，預測物體所受加速度。
4. 文獻中已有相當多有關重力加速度量測的方法，應比較現有量測方法與文獻之差異，較能呈現此研究之價值，另實驗時間過短等因素，因此誤差不小，此可參考文獻之方法予進一步改善。

摘要

自由落體是什麼？對我們學生來說是抽象的單元，透過這次研究，利用不同的積木組合，設計出最穩定的架構，學習程式語言與機器溝通，讓程式為我們簡化人為運算過程，算出最精準的重力加速度，驗證課本所敘述內容，深切了解重力加速的意義。本機器經過實際物體落下測量出時間，準確測量出物體的重力加速度。透過數據的紀錄，可以比較出不同物體間重力加速度其實是不同的，愈重的物體愈不易受到空氣各項阻力的影響，了解更多課本以外的內容。

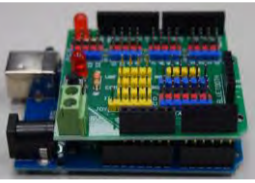











壹、研究動機

因為在課餘時間翻閱偉人傳記，看到牛頓蘋果樹的故事，看到蘋果掉下來砸到牛頓的那一段時，不禁突發奇想，如果當時牛頓不是坐在蘋果樹下而是坐在梨子樹或榴槤樹下，重力加速度會不會因此對不同重量、形狀的水果有不同的影響？三年級的自由落體的內容非常抽象，根本無法實際透過實驗測得相關數據，詢問老師是否有測量加速度的工具呢？經過討論決定利用，開放硬體、Scratch 2.0 軟體及組裝積木來自行設計自由落體測量器來進行相關實驗，希望能讓班級同學實際動手操作，減低學習本單元的困難。

貳、研究目的

- 一、利用不同積木，組裝並測試出結構穩定、可重複使用的設備。
- 二、利用 Arduino 開放硬體及感測器連接擴充板，測試並尋找可用測量時間的元件。
- 三、利用 Scratch 軟體並搭配硬體，測試不同程式的邏輯，設計最佳程式。
- 四、建立自動化程式，量測時間之後，立即將重力加速度 (g) 計算出來。
- 五、了解何謂自由落體與重力加速度。
- 六、探討重力加速度對不同質量球體落下的影響。

參、研究器材

		
Arduino uno R3 及感測器連接擴充板	光敏電阻	微動開關
		
紅光雷射模組	智高積木機關王軌道組	強力磁鐵
		
小鋼珠 (3.2 公克)	乒乓球 (2.8 公克)	藍色塑膠球 (7.4 公克)
		
木板	固定束帶	空心圓柱體

肆、研究過程及方法

- 一、用可拆式積木組裝重力加速度檢測設備，透過 Scratch 程式立即計算 g 值
 - (一) 利用智高機關王軌道積木組裝自由落體的高架。
 - (二) 選用光敏電阻及紅光雷射模組組成光遮斷感測器，並將此裝置架於高架上端。
 - (三) 高架底部基座上安裝微動開關。
 - (四) 測量光阻斷感測裝置與下方微動開關間的距離。
 - (五) 將 Scratch 程式輸入電腦，物體落下後用 Scratch 的計時器得到時間數據，再將 g 值公式寫入 Scratch 程式，立即利用此時間數據計算 g 值。
- 二、探討不同質量球體對重力加速度對落下的影響
 - (一) 測量小鋼珠落下時的重力加速度

1. 將小鋼珠放置在光遮斷感測器中阻斷雷射光源，在頂部並以強力磁鐵吸住，使其不掉落，如圖 (1)。



圖 (1) 以強力磁鐵吸住小鋼珠使之阻斷雷射光

2. 用筆在光遮斷感測器的紙板上做記號，確保每次都將小鋼珠置於固定位置
3. 測量小鋼珠的底部至微動開關的距離，並將距離輸入至 Scratch 程式中。
4. 移開強力磁鐵，讓小鋼珠落下後撞擊積木，啟動微動開關。
5. 由 Scratch 程式中讀取落掉時間及 g 值。
6. 重置微動開關，讓程式重新進入預備狀態。
7. 將球放置光阻斷感測裝置上遮斷雷射光後，重複步驟 4~步驟 6。
- (二) 測量乒乓球及藍色塑膠球落下時的重力加速度
 1. 分別將乒乓球、藍色塑膠球放置在光遮斷感測器中阻斷光源。
 2. 用筆在光阻斷感測裝置的紙板上做記號，確保每次都將球置於固定位置。
 3. 測量球的底部至微動開關的距離，並將距離輸入至 Scratch 程式中。
 4. 放開球，讓球落下後撞擊積木，啟動微動開關。
 5. 由 Scratch 程式中讀取落掉時間及 g 值。

6. 重置微動開關，讓程式重新進入預備狀態。
7. 將球放置光阻斷感測裝置上遮斷雷射光後，重複步驟 4~步驟 6。
- (三) 為降低空氣各項阻力造成的影響，在物體掉落軌跡周圍增加空心圓柱體，重複上述步驟 (二)。

伍、研究結果與討論

- 一、利用積木組裝重力加速度檢測設備，並利用 Scratch 程式立即計算 g 值
 - (一) 組裝重力加速度檢測設備
 1. 檢測設備骨架主要是以機關王軌道組組裝完成，高度約 112 公分。
 2. 設備底部安置微動開關，接到 Arduino 上的 A1 類比腳位上，由於微動開關的按鈕很小，所以以積木組合成一片狀構造覆於開關上方，以利於球體落下時接受撞擊而觸動開關，如圖 (2) 所示。

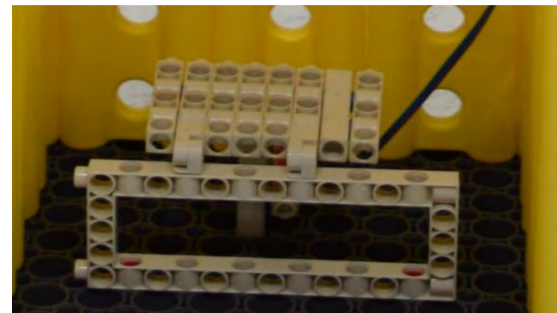


圖 (2) 底部微動開關受力裝置

3. 設備頂端利用紅光雷射和光敏電阻組成光遮斷感測器，紅光雷射電源可接線至 Arduino 上的任一數位腳上的 V (電壓) 針腳及 G (地線) 針腳取得 5 伏特電源。光敏電阻則接至 Arduino 上的 A0 類比腳位上。
4. 在雷射光束上方安置一紙板 (不能遮斷光束)，以確保球體開始落下的位置是固定的，可參閱圖 (1) 所示。
5. Arduino 安裝在裝置側邊，然後連線至電腦上。
6. 設備組裝完成全貌如圖 (3) 所示。

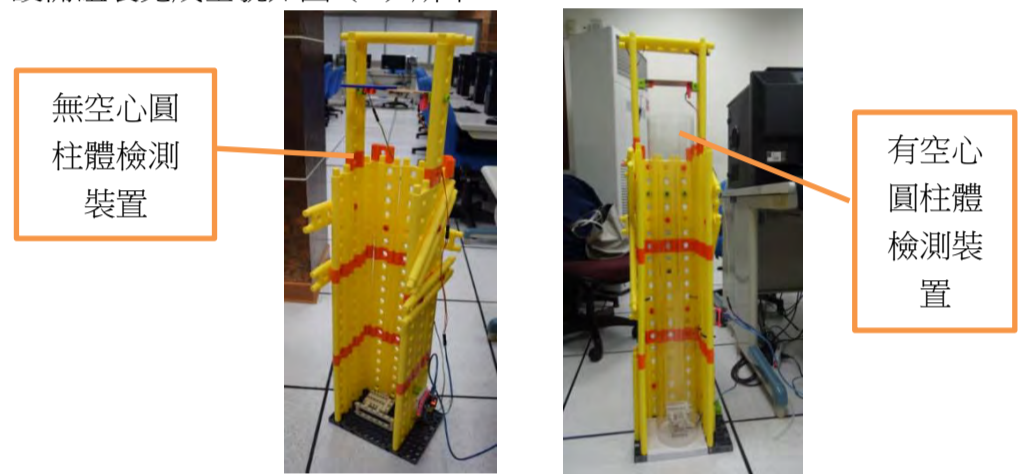


圖 (3) 重力加速度檢測設備全貌

(二)Scratch 程式設計

1. 程式邏輯分析

主程式設計、感測器就緒副程式設計、計時副程式設計之流程如下圖 (4)、圖 (5)、圖 (6) 所示。

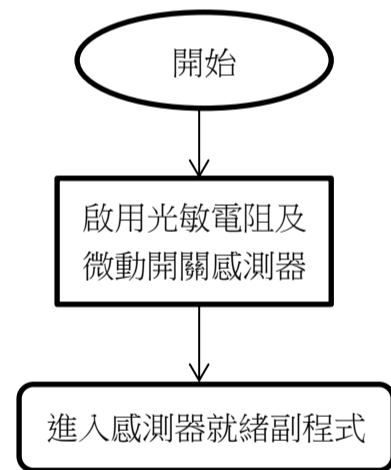


圖 (4) 主程式設計流程圖

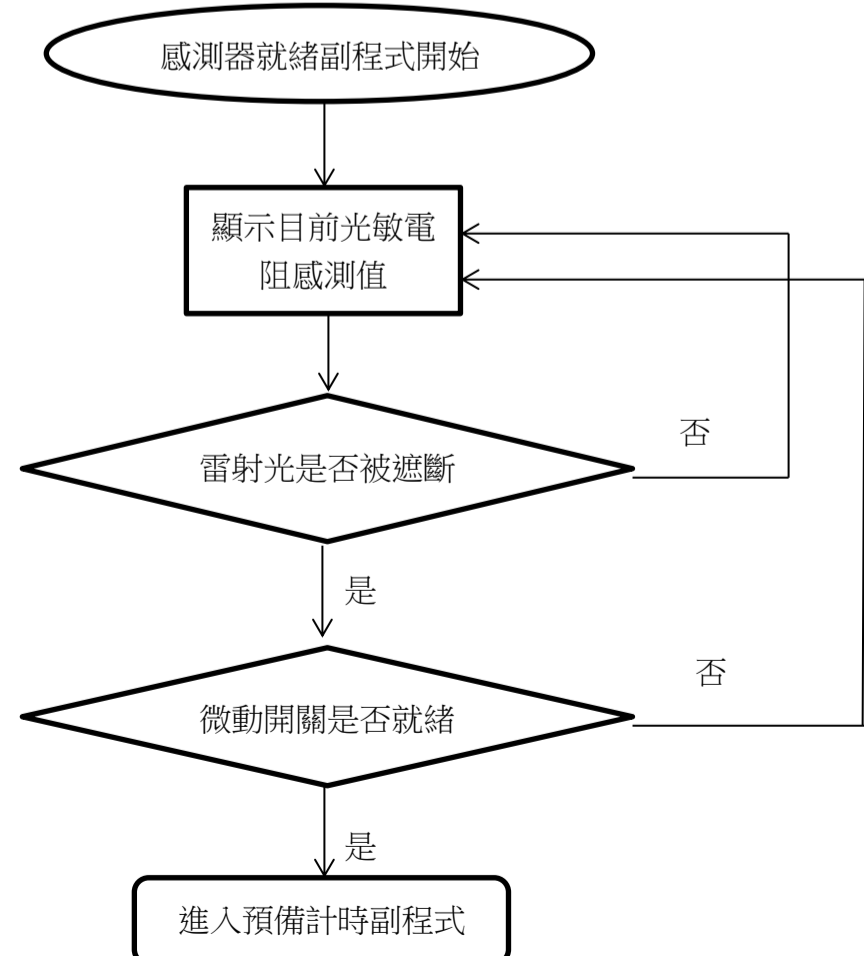


圖 (5) 感測器就緒副程式設計流程圖

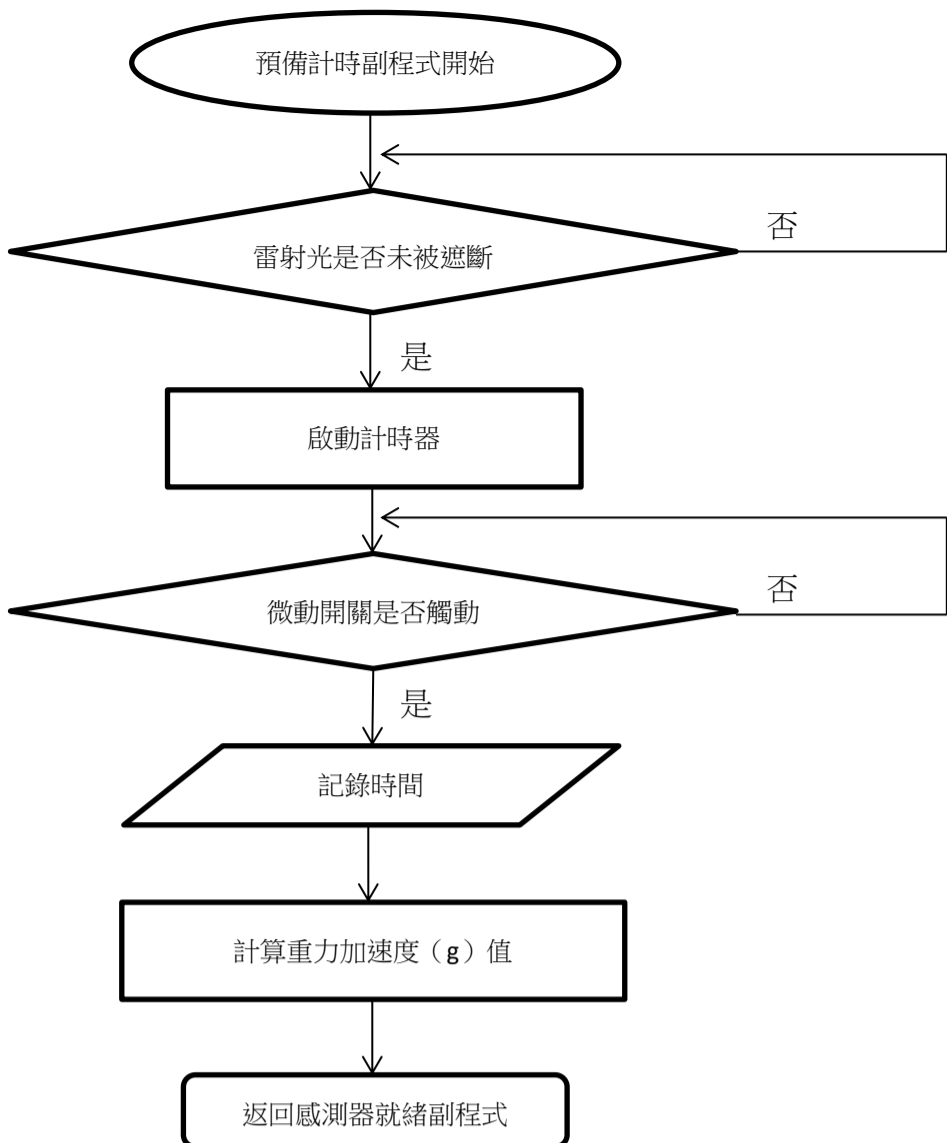


圖 (6) 計時副程式設計流程圖

2. 程式說明

- 當綠旗被點擊，程式開始。此時進行 Arduino 腳位功能宣告，並設定「掉落距離」變數，然後進入感測器就緒副程式。
- 「掉落距離」主要用於計算 g 值使用，由於小鋼珠和乒乓球及藍球的大小不同，此變數的值需因檢測的球體的直徑不同而進行修正。



圖 (7) Scratch 腳位宣告

- 在感測器就緒副程式中，主要是檢查球體是否安置於光遮斷感測裝置
- 當雷射光精準打在光敏電阻上時，scratch 讀取的數值約 1015，微動開關被觸動時，scratch 讀取到的數值也達 1012，因此程式中以兩者皆小於 1000 作為檢測是否球體已就緒。若已就緒則進入「預備計時」副程式。



圖 (8) 感測器就緒副程式

- 在預備計時副程式中，首先進行光敏電阻數值檢查，若大於 1000，表示雷射光再度打在光敏電阻上，球體已掉落，因此啟動計時器，開始計時。
- 類比腳位 A1 是接微動開關，若偵測到大於 0 的值，表示開關被觸動，此時計下計時器的時間，並將時間記錄到清單項目中。
- 計算出來的 g 值，儲存到重力加速度清單中
- 最後，結束這段副程式，並返回到感測器就緒副程式中。



圖 (9) 計時副程式

3. 程式執行結果



圖 (10) Scratch 顯示紀錄時間並計算出重力加速度

二、探討重力加速度對不同密度球體落下的影響

(一) 重力加速度推導：

$$S = V_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \text{ 又因自由落體 } V_0 = 0 \quad a = g$$

$$\text{所以 } S = \frac{1}{2} g t^2 \quad \Rightarrow \quad g = 2s / t^2$$

(二) 待測物體的密度推導

- 利用排水法，測得待測物體積，並利用密度公式，換算出待測物的密度。
- 待測物的相關數據，如表 (1) 所示。

表 (1) 待測物相關資料

代號	項目	小鋼珠	藍球	乒乓球
A	質量(g)	3.2	7.4	2.8
B	水的體積(cm ³)	3	400	400
C	水加物體的體積(cm ³)	3.4	430	430
D	待測物體積(cm ³)	0.4	30	30
A/D	密度(g/cm ³)	8.0	0.24	0.09

(三) 最開始設計-使用不同落體，所記錄數據分析

- 使用小鋼珠(D=8.0g/cm³)當作自由落體，落下距離 S=0.907 公尺，其結果如表 (2) 及圖 (11) 所示。

表 (2) 以小鋼珠當作自由落體，測得之時間及其計算出之重力加速度

次數	時間(秒)	重力加速度(m/s ²)
1	0.433	9.675
2	0.433	9.675
3	0.433	9.675
4	0.437	9.499
5	0.433	9.675
6	0.433	9.675
7	0.433	9.675
8	0.433	9.675
9	0.433	9.675
10	0.433	9.675

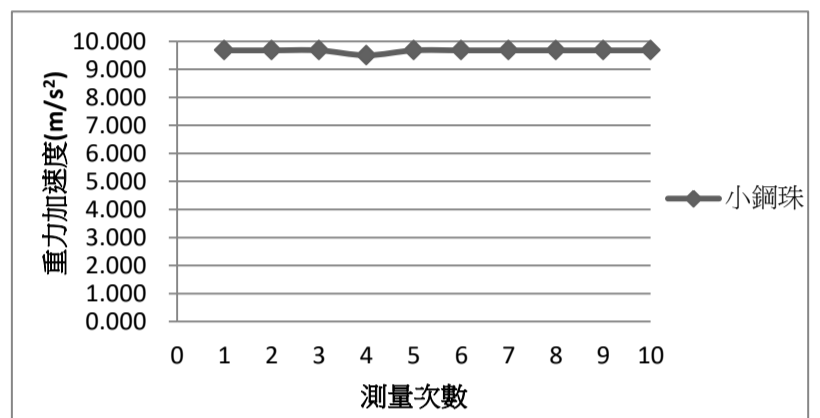


圖 (11) 以小鋼珠當作自由落體測得之重力加速度與次數關係圖

- 小鋼珠是本實驗中密度最大的，體積最小的，推測因空氣各項阻力對於小鋼球的較小，從數據上看每次的測量接近 9.8(m/s²)。
- 測量結果皆相當穩定都維持在 9.67(m/s²)。

2. 使用藍球(D=0.24)當作自由落體，落下距離 S=0.907 公尺

- 本實驗使用的藍球，直徑為 4 公分，質量為 7.4 公克，測得數據如表(3) 所示，測得的 g 值關係圖則如圖 (10) 所示。

表 (3) 以藍球當作自由落體，測得之時間及其計算出之重力加速度

次數	時間(秒)	重力加速度(m/s ²)
1	0.433	9.387
2	0.433	9.387
3	0.533	6.195
4	0.437	9.216
5	0.533	6.195
6	0.433	9.387
7	0.433	9.387
8	0.432	9.431
9	0.432	9.431
10	0.433	9.387

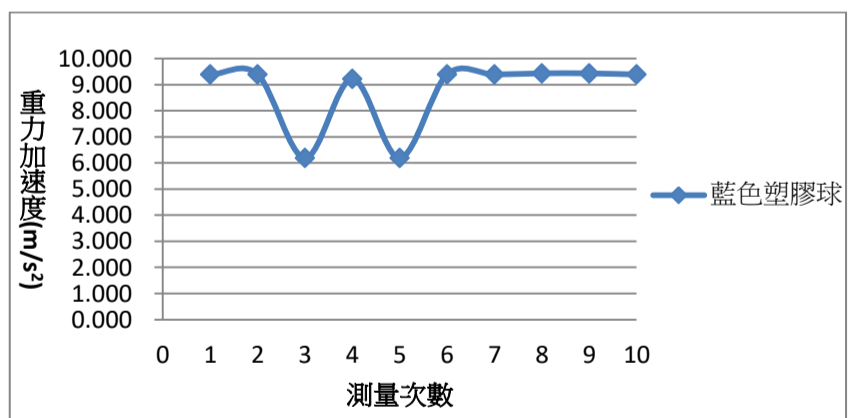


圖 (12) 以藍球當作自由落體測得之重力加速度與次數關係圖

- 藍球體積與乒乓球相同，密度介於兩者中間，其測量 g 值平均在 9.3m/s² 上下，比小鋼球略小，推測因球體體積比小鋼球大，空氣阻力增加所致。
- 另外測量數據差距很大，也顯示出在自由落體過程中，當質量小、體積大、密度小時，較容易受到外在環境影響，導致測得的數據穩定度稍差，即使時間僅差 0.1 秒，計算出來的重力加速度卻差距頗大。

3. 使用乒乓球(D=0.09)當作自由落體，落下距離 S=0.907 公尺

- 本實驗使用的乒乓球，直徑、體積與藍球相同，但質量 2.8g，是密度最小的物體，測得數據如表 (4)，各次所測得的 g 值關係圖如圖 (13)。

表 (4) 以乒乓球當作自由落體，測得之時間及其計算出之重力加速度

次數	時間(秒)	重力加速度(m/s ²)
1	0.433	9.387
2	0.466	8.105
3	0.467	8.070
4	0.465	8.140
5	0.433	9.387
6	0.434	9.344
7	0.533	6.195
8	0.433	9.387
9	0.434	9.344
10	0.434	9.344

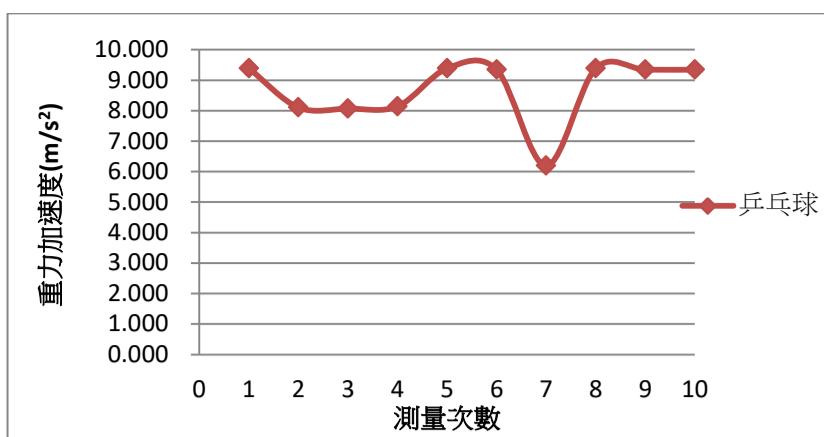


圖 (13) 以乒乓球當作自由落體測得之重力加速度與次數關係圖

- (2) 乒乓球是質量最小、密度最小，其測量結果重力加速度平均在 9.3 m/s^2 上下，與藍色塑膠球 9.3 m/s^2 相當，推測因球體體積與小鋼球相比增加許多，空氣各項阻力也增加所造成。
- (3) 另外測量數據差距很大，其數據不穩定的原因推測與藍色塑膠球相同，皆是質量輕加上體積大所導致。

4. 比較相關數據(無空心圓柱測量結果)

- (1) 我們將數據中，誤差過大的數據刪除，得到的重力加速度的平均值，如表 (5) 所示。
- (2) 體積大、密度小的物體易受環境影響，就如同上表呈現球體的誤差值。
- (3) 我們發現小鋼珠體積小、密度大穩定度強，不容易受到外界阻力的干擾，其他兩種球體皆因質量小、密度小、體積大容易受到外界影響。
- (4) 物體密度小的話，我們嘗試在物體掉落的周圍加裝空心的圓柱體，避免外界干擾，增加本器材的穩定度。

表 (5) 不同物體與重力加速度的比較圖

次數	小鋼球 g 值 (m/s^2)	藍色塑膠球 g 值 (m/s^2)	乒乓球 g 值 (m/s^2)
質量(g)	3.2	7.4	2.8
物體體積(cm^3)	0.4	30	30
密度(g/cm^3)	8.0	0.24	0.09
1	9.675	9.387	9.387
2	9.675	9.387	8.105
3	9.675	6.195	8.070
4	9.499	9.216	8.140
5	9.675	6.195	9.387
6	9.675	9.387	9.344
7	9.675	9.387	6.195
8	9.675	9.431	9.387
9	9.675	9.431	9.344
10	9.675	9.387	9.344
平均	9.657	9.377	9.366
與標準值差距百分比	1.5%	4.3%	4.4%
備註		差距過大扣除第 3、5 數據	差距過大扣除第 2、3、4、7 數據

(四) 增加空心圓柱體，紀錄不同落體數據及分析

1. 使用小鋼珠 ($D=8.0\text{g/cm}^3$) 當作自由落體，落下距離 $S=0.907$ 公尺，其結果如表 (6) 及圖 (14) 所示。

- (1) 經數據分析，結果皆相當穩定維持在 $9.67(\text{m/s}^2)$ ，與未裝圓柱體相同。

表 (6) 以小鋼珠當作自由落體，測得之時間及其計算出之重力加速度

次數	時間(s)	重力加速度(m/s^2)
1	0.433	9.675
2	0.433	9.675
3	0.432	9.720
4	0.433	9.675
5	0.433	9.675
6	0.432	9.720
7	0.432	9.720
8	0.434	9.631
9	0.433	9.675
10	0.434	9.631

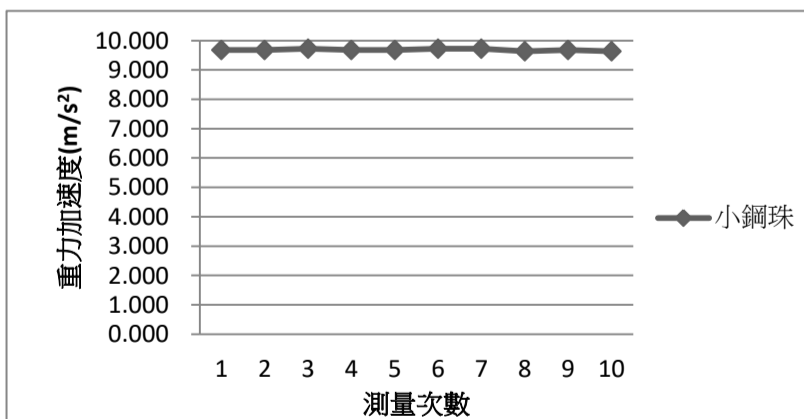


圖 (14) 以小鋼珠當作自由落體測得之重力加速度與次數關係圖

2. 使用藍色塑膠球 ($D=0.24$) 當作自由落體，落下距離 $S=0.907$ 公尺

- (1) 本實驗使用的藍色塑膠球，直徑為 4 公分，質量為 7.4 公克，測得數據如表 (7) 所示，各次所測得的重力加速度關係圖則如圖 (15) 所示。

表 (7) 以藍色塑膠球當作自由落體，測得之時間及其計算出之重力加速度

次數	時間(s)	重力加速度(m/s^2)
1	0.433	9.387
2	0.433	9.387
3	0.463	8.210
4	0.434	9.344
5	0.433	9.387
6	0.433	9.387
7	0.433	9.387
8	0.433	9.387
9	0.433	9.387
10	0.433	9.387

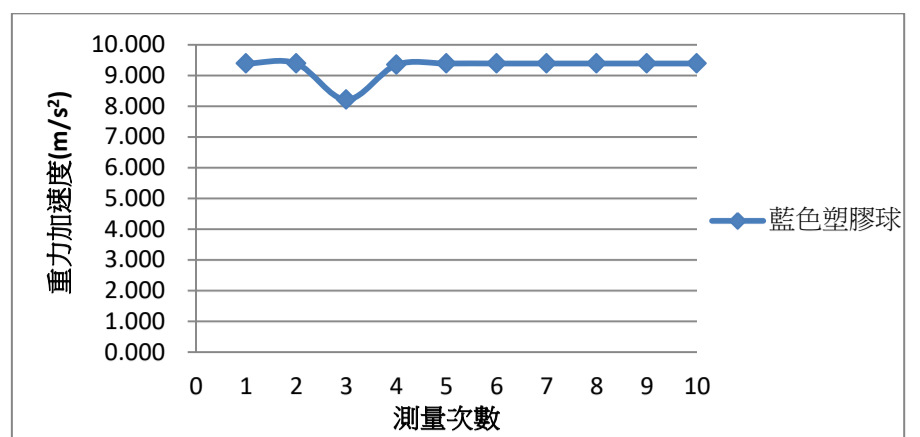


圖 (15) 以藍球當作自由落體測得之重力加速度與次數關係圖

- (2) 藍球體積與乒乓球相同，但密度介於其他兩物體的中間，其測量結果平均重力加速度在 9.39m/s^2 上下，比小鋼球 9.67 m/s^2 略小，加裝空心圓柱體後空氣各項阻力也減少，重力加速度數值也穩定許多。

3. 使用乒乓球 ($D=0.09$) 當作自由落體，落下距離 $S=0.907$ 公尺

- (1) 本實驗使用的乒乓球，直徑亦為 4 公分，體積與藍色塑膠球相同，但質量僅 2.8 公克，密度最小的物體，測得數據如表 (8) 所示，各次所測得的重力加速度關係圖則如圖 (16) 所示。

表 (8) 以乒乓球當作自由落體，測得之時間及其計算出之重力加速度

次數	時間(s)	重力加速度(m/s^2)
1	0.435	9.301
2	0.430	9.519
3	0.433	9.387
4	0.434	9.344
5	0.434	9.344
6	0.464	8.175
7	0.434	9.344
8	0.433	9.387
9	0.432	9.431
10	0.433	9.387

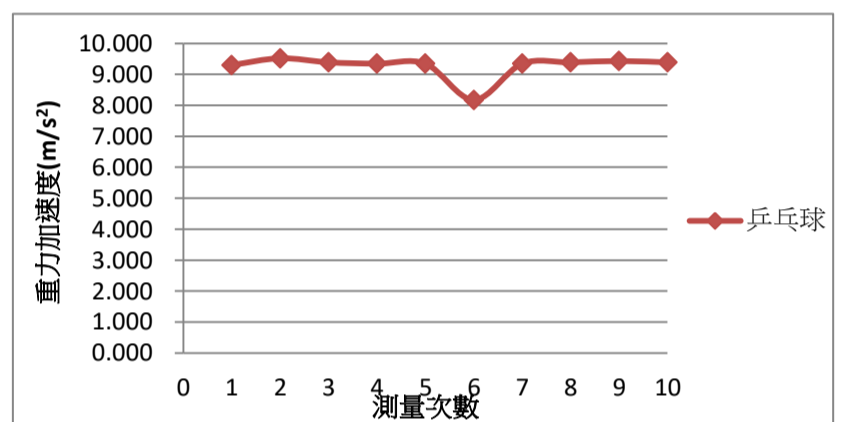


圖 (16) 以乒乓球當作自由落體測得之重力加速度與次數關係圖

- (2) 乒乓球是質量最小、密度最小，其測量結果重力加速度平均在 9.4 m/s^2 上下，加裝空心圓柱體後空氣阻力減少許多，重力加速度的值變穩定。

4. 比較相關數據(有空心圓柱測量結果)

表 (9) 不同物體與重力加速度的比較圖

次數	小鋼球 g 值 (m/s^2)	藍球 g 值 (m/s^2)	乒乓球 g 值 (m/s^2)
質量(g)	3.2	7.4	2.8
物體體積(cm^3)	0.4	30	30
密度(g/cm^3)	8.0	0.24	0.09
1	9.675	9.387	9.301
2	9.675	9.387	9.519
3	9.720	8.210	9.387
4	9.675	9.344	9.344
5	9.675	9.387	9.344
6	9.720	9.387	8.175
7	9.720	9.387	9.387
8	9.631	9.387	9.387
9	9.675	9.387	9.431
10	9.631	9.387	9.387
平均	9.680	9.382	9.387
與標準值差距百分比	1.46%	4.320%	4.438%
備註		差距過大扣除	差距過大扣除

- (1) 我們再次將數據中有誤差過大的數據刪除，得到的重力加速度的平均值，如表 (9) 所示。

- (2) 體積大、密度小的物體容易受環境影響，就如同上表呈現球體的誤差值。
- (3) 加裝空心圓柱體後發現，刪去誤差過大值的比例減少，各項數值也變穩定。

陸、結論

- 我們設計的重力加速度測量儀器，可以簡易方便的組裝，不使用時可以拆卸下來，不會占用學校空間，並可以準確並迅速測量出物體重力加速度。
- 加裝空心圓柱後發現，對密度小易受空氣阻力影響的球體，有明顯的改善。
- 三年級課本提到，不同的物體在真空中自由落下，其重力加速度值皆為 $9.8(\text{m/s}^2)$ ，不因其質量大小而不同。但實際透過我們自己設計的重力加速度測量器發現，在空氣中落下過程中，會因為產生阻力而影響測量出來結果，可以讓同學了解真空下與空氣中的差異。
- 推論若使用密度超過小鋼珠的物體，測量出來的 g 值皆會非常接近 $9.8(\text{m/s}^2)$ ，建議使用時可以尋找密度較大的物體來比較，應該會更接近 $9.8(\text{m/s}^2)$ ，代表符合不同物體其重力加速度皆相同。
- 本次實驗皆是透過學校的積木材料組裝，可以重複組裝，未花費任何費用。

柒、參考資料

- 自由落體定律的發現 (2016 年 10 月 12 日)。取自 http://pei.cjih.tc.edu.tw/~pei/history/history_16.htm
- 自由落體 (2016 年 10 月 12 日)。取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%87%AA%E7%94%B1%E8%90%BD%E9%AB%94>
- 力與公式來源 (2017 年 2 月 2 日)。取自 <http://jiayou516.pixnet.net/blog/post/36486180>
- 尤丁玫等 (2016)。國中自然與生活科技第五冊。臺北市：康軒文教事業股份有限公司。
- 高中物理第三冊(龍騰版)。