

附件四：作品說明書封面

嘉義縣第 56 屆國民中小學科學展覽會
作品說明書（封面）

科 別：物理

組 別：國中組

作品名稱：降落吧！我的自由年代！

關鍵詞：自由落體 空氣阻力 重力加速度

編號：

降落吧!我的自由年代!

壹、 研究動機

理化老師在講台上講述伽利略在比薩斜塔上進行的自由落體實驗中，兩個不同重量的球會同時落地，且落地瞬間的速度也會相同，這令我們相當疑惑。所以我們決定進行較深入的研究，探討是否真的不同重量的球會同時落地，並且落地的瞬時速度會相等，同時討論空氣阻力對自由落體的影響。

貳、 研究目的

1. 利用 TRACKER 影像處理軟體觀察自由落體的過程。
2. 探討不同重量的球從相同高度自由落體是否同時落地？
3. 探討不同形狀的物體在自由落體時是否同時落地？
4. 探討不同形狀的物體及不同速度時的空氣阻力差異？

參、 研究設備

3 個相同形狀但不同重量的球(分別為 55 克、110 克、165 克)、3 塊不同形狀但相同重量 70 克的木塊(長條形、方形、三角形)、攝影機 1 台、電腦 1 台、免費軟體 TRACKER 一套。

免費軟體 TRACKER 介紹：TRACKER 是一套自由軟體，由 OPEN SOURCE PHYSICS 開發，用來進行運動物體的影像分析及建立運動過程的建模…，將運動中物體攝影後，影片載入 TRACKER 後，進行自動追蹤、定位、校正後，即可分析其運動情形，並建立其運動的模式。本實驗的運動過程為自由落體，其運動模式為等加速度運動。

肆、 研究過程

觀察一：利用 TRACKER 影像處理軟體觀察相同形狀不同重量的球的自由落體過程。

方法：將 3 個重量分別為 55 克、110 克、165 克的塑膠球，在 3 公尺高度自由釋放，同時利用攝影機拍攝落下過程，再使用 TRACKER 軟體分析影片。

結果：3 個不同重量自由落體的運動過程均為加速度運動，其運動軌跡經 TRACKER 分析後，都相當趨進等加速度運動，從 0~160 公分的落下時間約為 0.5~0.6 秒，三者的時間非常接近，

由於分析工作的精準度有限，很難分辨誰先落地及出發時間，但從數據中發現落下的過程非常類似。

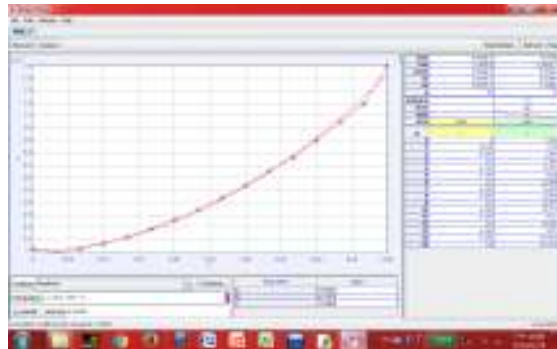
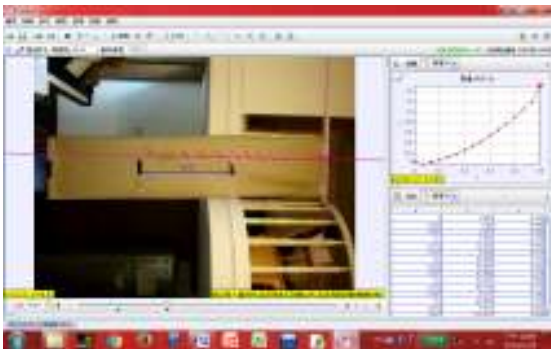
利用 TRACKER 分析原始數據分析比較結果：

55 克網球的運動趨勢曲線為： $X = 559.5t^2 + 4.17t + 1.302$

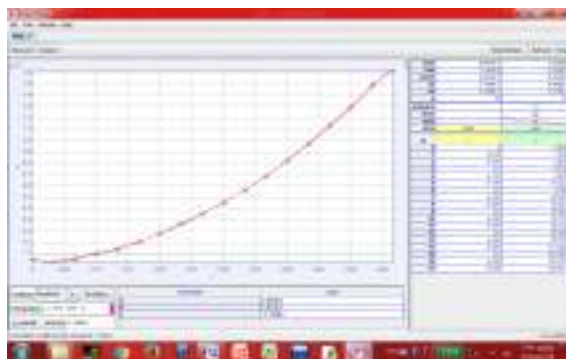
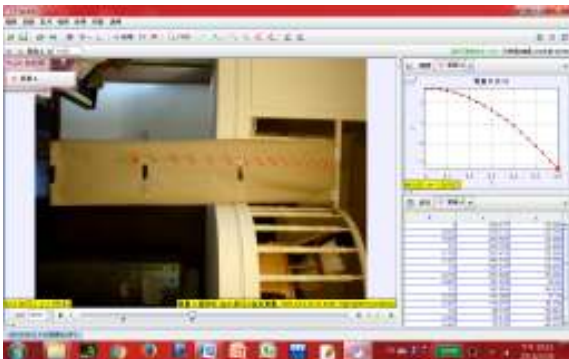
110 克網球的運動趨勢曲線為： $X = 484.5t^2 + 30.7t - 7.742$

165 克網球的運動趨勢曲線為： $X = 454.8t^2 + 23.95t - 5.745$

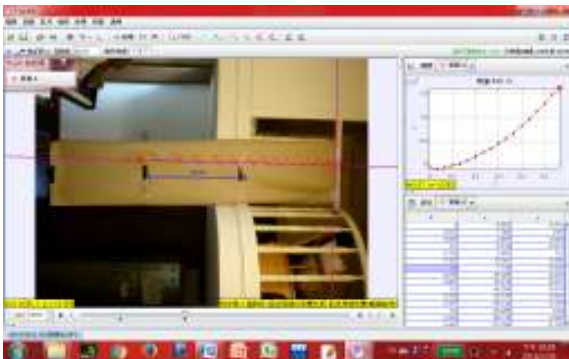
55 克網球 0-160cm 數據分析



110 克網球 0-160cm 數據分析



165 克網球 0-160cm 數據分析



另將 TRACKER 中截取原始數據代入 EXCEL 後，將前段不規則數據剔除後分析結果：

55 克網球的運動趨勢曲線為： $X = 485.87t^2 + 24.794t - 10.798$

110 克網球的運動趨勢曲線為： $X = 469.5t^2 + 78.693t - 7.5265$

165 克網球的運動趨勢曲線為： $X = 485.36t^2 + 33.209t - 11.32$

在運動學中的等加速度運動之位置與加速度速度的關係為：

$$X = 1/2at^2 + V_0t - X_0$$

將趨勢曲線與運動學公式比對後，得到結果分別為：

網球質量	55 克	110 克	165 克
加速度	971.74 cm/s ²	939.0cm/s ²	970.72cm/s ²

EXCEL 原始數據如下表：

55 克網球		110 克網球		165 克網球	
t(s)	x(cm)	t(s)	x(cm)	t(s)	x(cm)
0.000	-8.2	0.000	-7.1	0.000	-7.1
0.033	-10.8	0.033	-4.4	0.033	-9.6
0.067	-8.2	0.067	0.4	0.067	-7.1
0.100	-4.3	0.100	4.1	0.100	-3.0
0.133	0.5	0.133	10.3	0.133	1.2
0.167	6.6	0.167	18.5	0.167	7.6
0.200	13.9	0.200	27.4	0.200	15.2
0.233	21.9	0.233	36.7	0.233	23.2
0.267	31.0	0.267	47.2	0.267	32.2
0.300	40.7	0.300	58.9	0.300	42.5
0.333	52.0	0.333	70.8	0.333	53.4
0.367	63.6	0.367	84.5	0.367	65.4
0.400	77.0	0.400	98.5	0.400	79.9
0.433	91.3	0.433	114.9	0.433	93.8
0.467	105.7	0.467	131.8	0.467	110.8
0.500	123.0	0.500	148.9	0.500	126.3

觀察二：利用 TRACKER 影像處理軟體觀察不同形狀(但相同重量)的球的自由落體過程。

方法：將 3 個形狀分別為長條形、方形、三角形(重量均為 70 克)的木塊，在 1.6 公尺高度自由釋放，同時利用攝影機拍攝落下過程，再使用 TRACKER 軟體分析影片。

結果：3 個不同形狀(但相同重量)自由落體的運動過程均為加速度運動，其運動軌跡經 TRACKER 分析後，都相當趨進等加速度運動，從 0~160 公分的落下時間約為 0.5~0.6 秒，三者的時間非常接近，由於分析工作的精準度有限，很難分辨誰先落地及出發時間，但從數據中發現落下的過程非常類似。

70 克長條形木塊 0-160cm 數據分析



70 克方形木塊 0-160cm 數據分析



70 克三角形木塊 0-160cm 數據分析

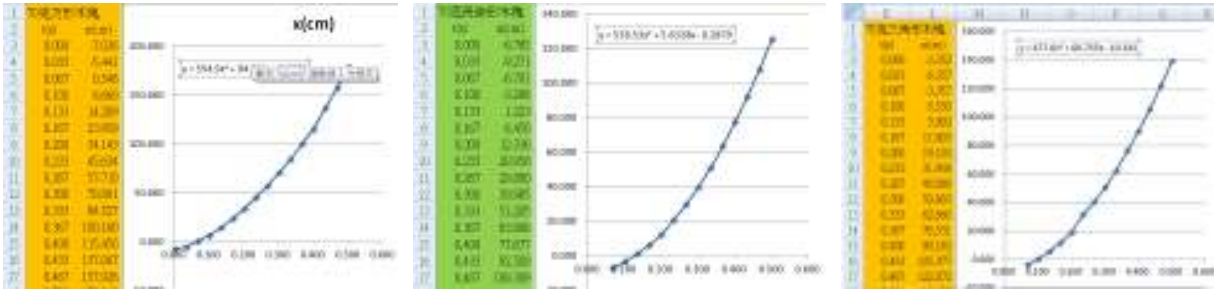


將 TRACKER 中截取原始數據代入 EXCEL 後，將前段不規則數據剔除後分析結果：

70 克方形木塊的運動趨勢曲線為： $X = 554.9t^2 + 94.794t - 10.798$

70 克長條形木塊的運動趨勢曲線為： $X = 528.5t^2 + 5.632t - 7.5265$

70 克三角形木塊的運動趨勢曲線為： $X = 477.6t^2 + 60.755t - 10.341$



在運動學的等加速度運動之位置與加速度速度的關係為：

$$X = 1/2at^2 + V_0t - X_0$$

將趨勢曲線與運動學公式比對後，得到結果分別為：

網球質量	70 克方形木塊	70 克長條形木塊	70 克三角形木塊
加速度	1109.8 cm/s ²	1057cm/s ²	955.2cm/s ²

EXCEL 原始數據如下表：

70 克方形木塊		70 克長條形木塊		70 克三角形木塊	
t(s)	x(cm)	t(s)	x(cm)	t(s)	x(cm)
0.000	-7.036	0.000	-6.765	0.000	-3.352
0.033	-5.441	0.033	-9.271	0.033	-6.357
0.067	0.548	0.067	-6.781	0.067	-3.357
0.100	6.660	0.100	-3.298	0.100	0.550
0.133	14.269	0.133	1.223	0.133	5.902
0.167	23.959	0.167	6.450	0.167	11.803
0.200	34.143	0.200	12.336	0.200	19.103
0.233	45.634	0.233	20.958	0.233	31.904
0.267	57.710	0.267	29.880	0.267	40.689
0.300	70.891	0.300	39.985	0.300	50.903
0.333	84.527	0.333	51.205	0.333	62.660
0.367	100.160	0.367	63.806	0.367	76.531
0.400	115.456	0.400	77.677	0.400	90.182
0.433	137.067	0.433	92.509	0.433	105.377
0.467	157.926	0.467	108.309	0.467	122.072
0.500	179.213	0.500	125.668	0.500	139.400

伍、實驗結果

觀察一：利用 TRACKER 影像處理軟體觀察不同重量(但相同形狀)的球的自由落體過程。

3 個不同重量(但相同形狀)自由落體的運動過程及軌跡經 TRACKER 分析後，都相當趨

進等加速度運動，從 0~160 公分的落下時間約為 0.5~0.6 秒，三者的時間非常接近，由於分析工作的精準度有限，很難分辨誰先落地。因此，我們的觀察發現，在短距離的自由落體過程中，不同重量的物體的自由落體的過程相當接近，符合伽利略所提出的理論——不同重量的物體在相同高度落下會同時落地。

再者：比較前後段數據後…

觀察二：利用 TRACKER 影像處理軟體觀察不同形狀(但相同重量)的球的自由落體過程。

3 個不同形狀(但相同重量)自由落體的運動過程均為加速度運動，其運動軌跡經 TRACKER 分析後，都相當趨進等加速度運動，從 0~160 公分的落下時間約為 0.5~0.6 秒，三者的時間非常接近，由於分析工作的精準度有限，很難分辨誰先落地。因此，我們的觀察發現，在短距離的自由落體過程中，不同形狀的物體的在自由落體的過程相當接近，這和我們原先的想法有些不同，我們認為不同形狀物體在自由落體的過程中其所遭遇的空氣阻力應該不同，但依然因為分析工具限制，無法在短距離中分辨出其明顯差異。

再者：比較前後段數據後…

陸、 討論

討論一：不同重量的物體在自由落體的過程中其落下的時間與速度相當接近，表示在短距離的自由落體過程中，所受到的加速度相當接近，而我們認為會有所影響的空氣阻力對落下的過程影響甚少，原因可能是形狀相同(都是圓形)，而且落下距離只有 160 公分，所以不易觀察出差異，但距離愈高則後半段的速度愈快，tracker 軟體無法精準觀測及分析其結果，故在有限資源下我們所得到的結果均符合伽利略所提出的自由落體的實驗結果。

討論二：相同重量但不同形狀的物體在自由落體的過程中其落下的時間與速度相當接近，表示在短距離的自由落體過程中，所受到的加速度相當接近，而我們認為會有所影響的空氣阻力對落下的過程影響甚少，原因可能是落下距離只有 160 公分，所以不易觀察出差異，但距離愈高則後半段的速度愈快，tracker 軟體無法精準觀測及分析其結果。而運動中物體所受到的阻力應與速度及形狀有關，亦及不同形狀的物體在落下的過程應有明顯差異才是，但我們的實驗中均看不出明顯的結果差異，推測原因依然是落下距離太短所致。

柒、 結論

實驗中我們觀察的結果，無論相同形狀（不同質量）或相同質量（不同形狀）其自由落體過程均符合等加速度的運動曲線，且加速度也都接近重力加速度 g 值，可見其落下過程受萬有引力的加速作用下，明顯可以觀察出其落下之過程與伽利略所提出的概念是一致的。然而，我們認為空氣阻力與形狀及速度有關聯，會對落下過程產生明顯影響的結果並未出現，原因應是落下距離不同高的因素，導致無法觀察出其差異，所以我們的實驗結果也能簡單證明：在短距離的落下過程，不同質量或不同形狀的物體，其自由落體的過程均非常接近，且符合等加速度的運動過程。

捌、 參考文獻

1. <http://c002.ndhu.edu.tw/ezfiles/25/1025/img/1231/581613291.pdf>
TRACKER 軟體安裝與使用教學(中原大學物理學系楊仲準)
2. <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%87%AA%E7%94%B1%E8%90%BD%E9%AB%94>
維基百科---自由落體
3. <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%98%BB%E5%8A%9B>
維基百科---空氣阻力