

2023 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：遊樂園就是我的實驗室 – 九族文化村 UFO 自由落體探究

一、摘要

我們用手機 APP - Phyphox 測量九族文化村 UFO 自由落體掉落過程的加速度大小變化，發現掉落過程可以分成 3 階段，觀察到第 1 階段 $a = -7.61\text{m/s}^2$ (向上為正) 接近失重狀態 ($a = g = -9.8\text{ m/s}^2$)、第 2 階段以等加速度 $a = 6.91\text{ m/s}^2$ 煞車、第 3 階段煞車力漸減少。除此之外，我們還利用 Tracker 分析 2 段 UFO 影片，發現拍攝距離夠遠便可以減少誤差。最後我們試著將 Phyphox 測到的加速度以上課學到的公式回推物體位移，求出實際移動距離為 72 m 與塔高 85 m 相近。報告最後針對實驗進行過程可能的疏漏或環境因素進行檢討，希望藉由此次實驗將速度和加速度的知識活用到真實的生活情境。

二、探究題目與動機

九年級畢旅要去遊樂園玩，當大家興致勃勃討論畢旅時，老師卻希望我們在遊樂園做「實驗」。實驗方式可以是較主觀的感受，也可以使用手機及 APP 等工具進行客觀的測量。經過搭乘多項設施與實測，我們發現九族文化村的 UFO 自由落體最有趣，便展開了一系列實驗與探討。

三、探究目的與假設

A. Phyphox 手機實測：

【目的】探究物體降落過程的加速度變化及對人的心裡感受關係 (只探究加速度 $\neq 0$)

【假設】階段 1 加速度等於 -9.8 m/s^2 為失重狀態

階段 2 為煞車且等加速度運動

階段 3 為煞車力逐漸減小，為變加速度運動

B. Tracker 影片分析：

【目的】探究不同距離拍攝影片對 Tracker 分析加速度變化的影響

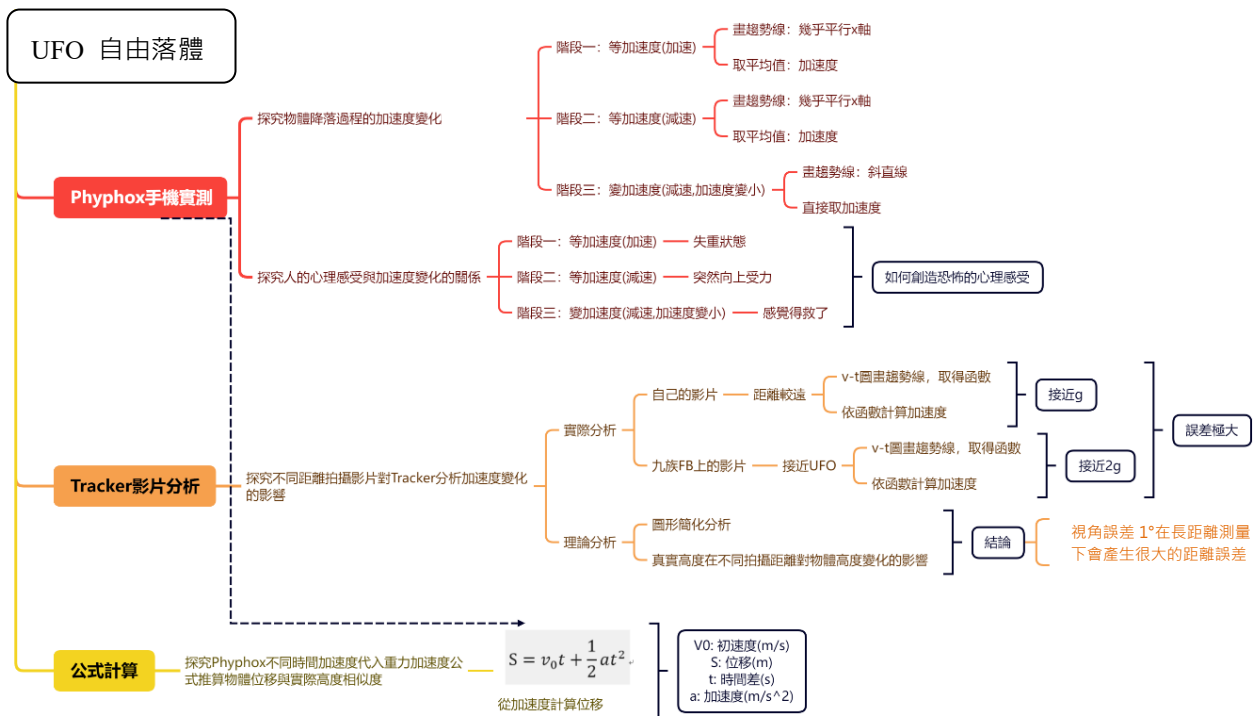
【假設】距離遠誤差較小

C. 公式計算：

【目的】探究 Phyphox 資料代入公式推算物體位移與實際高度的差異

【假設】計算結果和實際塔高 (UFO 官方資料) 82 m 大略相同

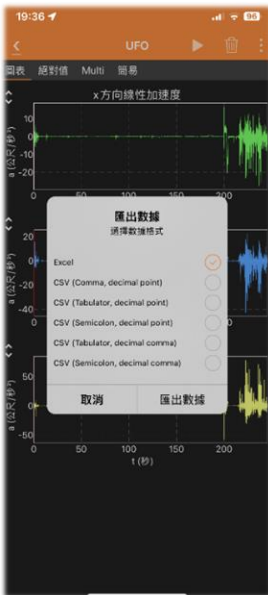
四、探究方法與驗證步驟



A. Phyphox 手機實測：使用手機 APP Phyphox 測量物體加速度

【步驟】

1. 下載 Phyphox app (Google Play / App Store)
2. 開啟 Phyphox 並啟動「不含重力加速度」模式 (靜止時加速度為 0 m/s²)
3. 進行測量



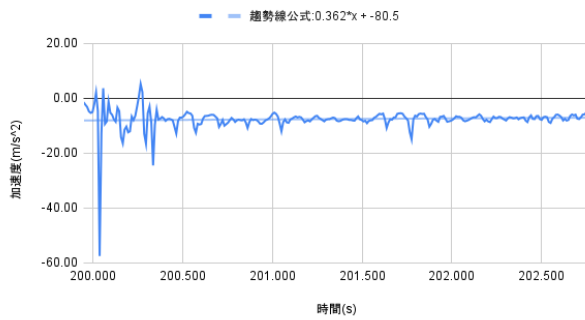
	A	D	E	F	G
1	資料來源	phyphox 實測			
2	Time (s)	az (m/s ²)			
20111	199.896	-0.10			
20112	199.906	-0.10			
20113	199.916	-0.14			
20114	199.926	-0.25			
20115	199.936	-0.60			
20116	199.946	-1.44	-0.0143	avg	-7.566607381
20117	199.956	-2.36	-0.0235		
20118	199.966	-3.17	-0.0315		
20119	199.976	-4.77	-0.0475		
20120	199.986	-5.33	-0.0530		
20121	199.996	-5.02	-0.0499		
20122	200.006	-2.09	-0.0208		
20123	200.015	2.10	0.0208		
20124	200.025	-4.70	-0.0468		
20125	200.035	-57.47	-0.5713		
20126	200.045	-12.76	-0.1268		
20127	200.055	3.66	0.0364		
20128	200.065	-9.34	-0.0929		
20129	200.075	-8.42	-0.0837		

4. 匯出到 Google 試算表

5. 分析數據

【實驗結果】

階段1

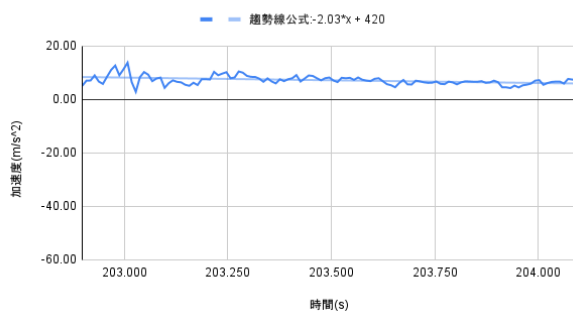


【時間】199.946 秒到 202.769 秒

【討論】

1. 此階段趨勢線略平行 x 軸，加速度為負值且接近定值，為等加速度運動，依趨勢線公式取時間中點，得知理論加速度為 -7.61 m/s^2 ，此時速度逐漸加快，接近失重狀態
2. 由 1. 可知加速度大小小於 9.8 m/s^2 ，與假設不符，可能原因：除了重力外，受其他外力（摩擦力、空氣阻力）影響

階段2

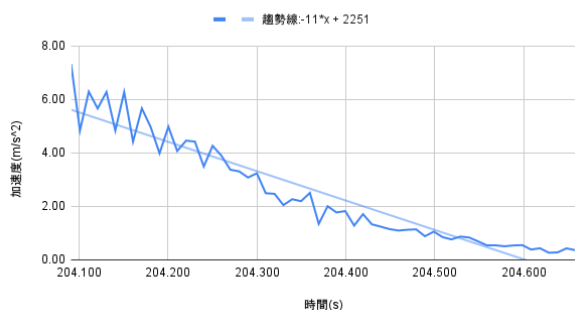


【時間】202.898 秒到 204.081 秒

【討論】

1. 此階段趨勢線略平行 x 軸，加速度為正值且接近定值，為等加速度運動
2. 由趨勢線公式可推算(公式同上)，加速度約為 6.91 m/s^2 ，此時正在煞車，速度逐漸減慢，與假設相符

階段3



【時間】204.091 秒到 204.658 秒

【討論】

1. 此階段趨勢線為斜直線，且數值隨時間不斷降低，可知此時為明顯的變加速度運動，可推測設施此時受的煞車力逐漸減少，與假設相符

【人的心理對加速度的感受】

1. 我的感受：

開始下降的那一瞬間，讓我感到好可怕，然後，我感覺自己飄浮在空中，只受安全帶往下拉，忽然我感受到座椅向上推了我一下，原來已經開始煞車了，快落地時，煞車的速度也跟著降低，真是刺激啊！

2. 與實驗結果比較：



- I. 在進入第 1 階段之前，瞬時加速度達到 -57 m/s^2 ，瞬間加速度大於 9.8 m/s^2 ，突然的速度變化使人害怕
- II. 第 1 階段時，加速度約為 -7.61 m/s^2 ，接近失重狀態，會感覺飄在空中

- III. 第 2 階段時，外力方向為上，會產生向上的加速度，感覺被向上推
- IV. 第 3 階段時，設施逐漸停止，煞車力、加速度也跟著變小，感覺得救了


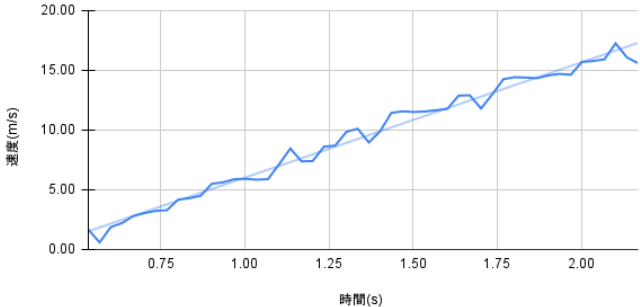

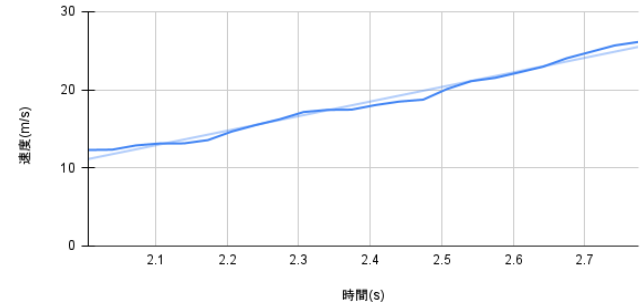
B. Tracker 影片分析：透過 Tracker 分析物體運動影片，取得相關資料

【步驟】

1. 將影片壓縮後，在 Tracker 內開啟
2. 使用園區提供資料^[1]設定校正桿(塔高 85 m)，並使坐標軸(Y 軸)平行 UFO

	
<p>3. 選取質心和比對範圍追蹤 UFO (由 Tracker 自動分析)</p>	<p>4. Tracker 會測量物體位移，進而計算其他影片分析數據 (速度、加速度)</p>

【實驗結果】

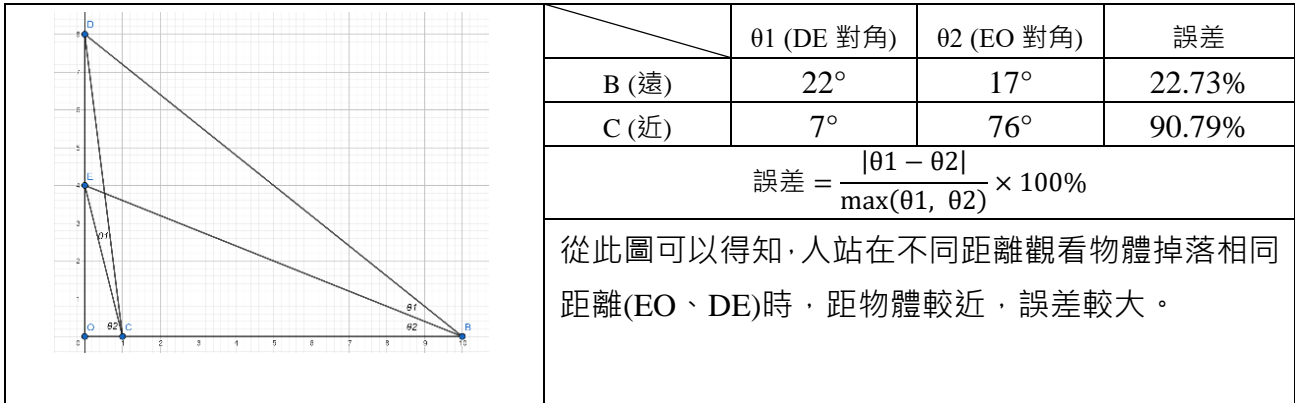
	<ul style="list-style-type: none"> ● 距離遠 (約 220 m) <p>v-t (自己拍的影片)</p> <p>— v — 趨勢線公式: $9.65x + -3.64$</p> 
	<ul style="list-style-type: none"> ● 距離近 (約 25 m) <p>v-t (九族FB取得)</p> <p>— v — 趨勢線公式: $18.7x + -26.3$</p> 

【討論】

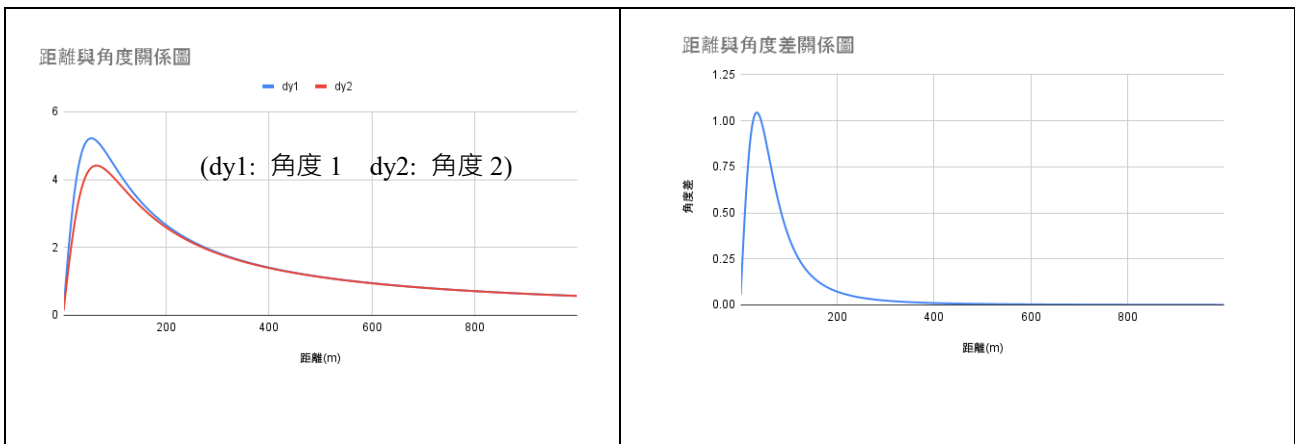
1. 由趨勢線公式可推算，自己拍的影片加速度大小約為 9.65 m/s^2 ，與 Phyphox 實測結果相近，而九族文化村 FB_[2] 的影片加速度大小約為 18.70 m/s^2 ，與實測結果相比，誤差極大
2. 從上述結果可知：距離較遠誤差較小，符合假設
3. 以下探討拍攝距離與誤差的關係

【距離與誤差的關係】

1. 使用圖形觀察：我們決定先從較簡單明瞭的圖形探討



2. 使用實際高度計算：可將實際高度代入公式計算誤差較小的距離



距離 (m)	角度差 (dy1 - dy2) (°)	從以上兩張圖表及左表可發現物體由 85 m 高掉落相同高度，觀察者在 400 m 處觀察時，角度差僅 0.01° ，在可接受範圍。
200	0.072	
400	0.010	
600	0.003	

C. 公式計算：代入公式計算位移 ① $v = v_0 + at$ ② $s = v_0t + \frac{at^2}{2}$

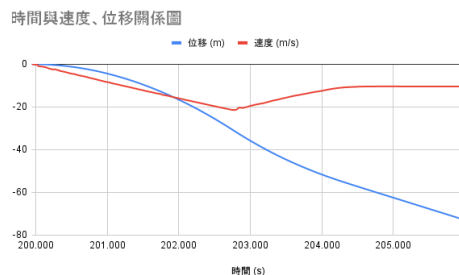
[s: 位移(m) v_0 : 初速度(m/s) v: 末速度(m/s) t: 時間(s) a: 加速度(m/s²)]

【步驟】 (使用 Google 試算表計算公式)

1. 將第 1 秒初速度設為 0 m/s
2. 將 Phyphox 每秒的加速度、前一秒末速度代入公式①推算末速度
3. 將 Phyphox 每秒的加速度、前一秒末速度(當作初速度)代入公式②推算位移
4. 加總所有資料

【計算結果】(以實際測量時間 199.946 秒到 205.980 秒計算)

時間點 (s)	加速度 (m/s ²)	速度 (m/s)	位移 (m)
t ₀ =202.391	a ₀ = -7.05	V ₀ = -18.8648873	S ₀ = -23.41422499
t ₁ =202.401	a ₁ = -6.97	V ₁ = -18.93422463	S ₁ = -23.60210548
t ₂ =202.411	a ₂ = -8.13	V ₂ = -19.01508136	S ₂ = -23.7907325
t ₃ =202.421	a ₃ = -8.67	V ₃ = -19.10124497	S ₃ = -23.9801897
以下資料省略，以此類推			
$v_n = v_{n-1} + a_n(t_{n+1} - t_n)$		$s_n = s_{n-1} + v_{n-1}(t_{n+1} - t_n) + \frac{a_n(t_{n+1} - t_n)^2}{2}$	



【討論】

計算結果 72 m 小於實際高度 85 m，略小於原始假設，推測可能原因：

1. 85 公尺為設施總高度，並非自由落體高度
2. 一開始掉落及煞車瞬間無法推估落距離

五、結論與生活應用

【理論與實際】(UFO 掉落過程加速度與重力加速度比較)

	理論	Phyphox 手機實測 (階段 1)	Tracker 影片追蹤
加速度大小 (m/s ²)	9.8	7.57	9.65
可能受影響的因素	/	摩擦力 (設施本身) 及空氣阻力 (可以感受到)	
造成這些因素的原因		手機會晃動	影片拍攝位置
		測量時放在口袋，且搭乘過程 中有風，會有些微影響	距離愈近，視角誤差值愈大

【結論與生活應用】

1. Phyphox 是一個方便分析測量運動變化的工具，可明確測出 UFO 掉落過程 3 個階段：
 - 階段 1 為等加速度運動(加速)，加速度為 -7.61 m/s^2
 - 階段 2 為等加速度運動(減速)，加速度為 6.91 m/s^2
 - 階段 3 為變加速度運動(減速)，加速度由 7.33 m/s^2 減少至 0.36 m/s^2
2. 人的心理感受和加速度較為相關，瞬間大的加速度會使人害怕
3. 利用 Tracker 追蹤 UFO 移動速度變化時，距離愈遠，誤差值愈小：
 - 遠距離(約 220 m)加速度大小為 9.65 m/s^2 ★較接近實測加速度大小 7.61 m/s^2
 - 近距離(約 25 m)加速度大小為 18.70 m/s^2
4. 應用等加速度公式將 Phyphox 三階段加速度資料代入，可大約推估 UFO 掉落距離為 72 m，很接近官方提供高度 85 m

參考資料

1. 九族文化村官網：<https://www.nine.com.tw/page/about/index.aspx?kind=78&lang=TW>
2. 九族文化村 FB：<https://www.facebook.com/watch/?v=384043709485979>