

2022 年【全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 成果報告表單

題目名稱：時間 waktu thời gian 我們抓得住你

一、摘要：

時間在日常生活中是一個不可逆的單位，掌握時間成為進步的重要關鍵，我們嘗試利用棉線、電腦分析、擺錘及黏土，將百年傳統的單擺實驗創造出全新感受，探討如何精確的量測時間的技術。

從研究結果顯示，運用相同質量但不同形狀的黏土做為擺錘，是影響擺長計算起始點的關鍵原因，搭配電腦影像分析軟體，更可讓每次擺動的時間更加精準，可取代多次平均的費時步驟，再結合擺錘質量、擺動角度、擺長等變因探討，更能讓同學學習到時間測量等時性的精髓。

二、探究題目與動機

暑假時看到一部卡通「名偵探柯南：往天國的倒數計時」中，少年偵探團在很運氣不好的情況下需要計算時間，恰巧沒有手錶、時鐘、手機，步美便利用坐在柯南旁邊時，自己「鋪通」「鋪通」的規律心跳計時，準確計算爆炸前的時間，搭配驚人的作用力驅車飛向對面的大樓逃過一劫。整個過程中很不精準，一有閃失可能造成不可承受的後果，因此我們就想，是否能手邊簡單的材料，測量出精準的時間。



圖 1 往天國的倒數計時

為了瞭解時間的特性，我們觀察測量時間的工具開始研究，常見測量時間的工具如手錶、時鐘、手機等，都有個共通點就是規律且週而復始，秒針、分針及時針走一圈會回到原來的位置，手機上的時間從 00:00 跳 24 小時後又回到 00:00。早期紀錄時間的方法如日晷觀測一日、月相變化觀測一月、春夏秋冬觀測一年、年輪觀測一年，無論哪種方式都是規律且重複出現的現象，但以上幾種測量時間的方法時間都很久，似乎沒有簡單又快速能測量準確的短時間，如：分、秒等單位，在找尋資料的過程中發現短時間測量的器具如沙漏、單擺，沙漏與單擺也有規律且週而復始的特性，但沙漏或單擺要怎麼做才能測量出精準的時間呢？

三、探究目的與假設



設計擺鐘
圖 2 實驗流程圖

從各種測量時間的工具發現他們的共通性是規律且週而復始，因此我們決定從好製作的單擺著

手。單擺的構造可分為擺錘、擺繩與支點，由上述三個因素又可衍伸出許多變因，影響時間的測量，因此我們依序探討不同因素對時間測量的影響，如下。

一開始我們用砝碼做實驗，後來發現擺錘擺放的放式不同時，會影響結果，因此我們討論出用**黏土**當擺錘，因為黏土可在**質量相同的前提下捏出各種形狀**，利用此特性找出影響週期的關鍵原因。實驗過程中我們預期以下假設，實驗材料如右圖 3。



圖 3 實驗器材

1. 假設擺錘越重，擺動越快，週期越小。
2. 假設擺錘形狀越對稱，擺動越慢，週期越大。
3. 假設相同擺錘形狀，週期相同。
4. 假設擺長越長，週期越大。
5. 假設擺角越大，週期越小。

四、探究方法與驗證步驟

1. 實驗 A 不同**質量擺錘**對時間的影響

先取一棉繩固定在鐵架上，棉繩 100 公分處，分別掛上 20g、40g、60g、80g 砝碼，控制擺動角度為 10 度，紀錄來回擺動 10 次所需時間，重複實驗 3 次。實驗結果紀錄如下表 1。

表格 1 擺錘質量對週期的影響

質量	角度	長度	1st	2nd	3rd	Avg.	T
20	10	100	19.88	19.65	20.07	19.87	1.99
40	10	100	20.06	19.93	19.81	19.93	1.99
60	10	100	20.06	19.87	19.75	19.89	1.99
80(直)	10	100	19.47	19.90	19.69	19.68	1.97
80(橫)	10	100	20.31	20.47	20.53	20.43	2.04

從表 1 中可發現，從 20 克到 80 克的結果，擺動十次接近 19.9 秒，但 80g 實驗時，因過程中不小心將砝碼掉落地面，重新實驗時發現時間有明顯落差，利用實驗照片比對發現，第一次是像綁粽子一樣 4 個砝碼掛在一起，第二次是將砝碼串聯再一起，在第二次 80g 實驗中擺動十次的時間為 20.4 秒，明顯和其他實驗不同，這引起我們的好奇，其他條件相同，質量也相同的情況下會有兩種不同的結果？難道是擺錘形狀會影響單擺週期？因此設計了實驗 B。

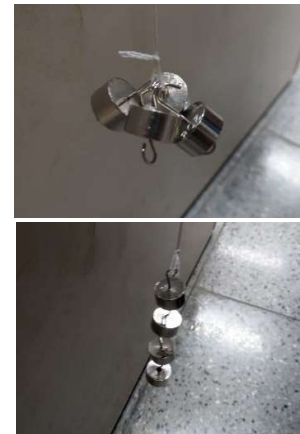


圖 4 不同擺錘分部

2. 實驗 B 不同**形狀擺錘**對時間的影響

為達相同質量卻不同形狀，我們尋找許多材料，最後找到黏土，在其他條件和實驗一相同的狀況下，將黏土分別搓揉成球體、三角體、圓錐體、長方體、五面體等多種形狀，並記錄擺動十次所需時間，結果如表 2。

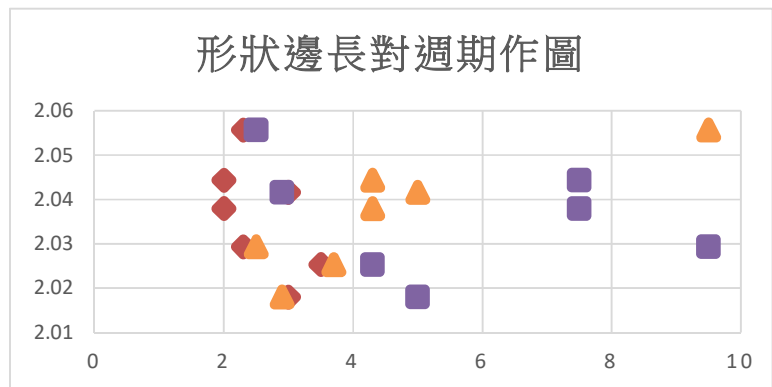


圖 5 相同質量不同形狀的黏土

表格 2 不同形狀擺錘對時間的影響

質量(g)	角度	長度(cm)	1st	2nd	3rd	Avg.	長(cm)	寬(cm)	厚度(cm)	T(s)	形狀
60.1	10	100.0	20.17	20.29	20.30	20.25	3.7	4.3	3.5	2.03	球
60.1	10	100.0	20.20	20.09	20.25	20.18	2.9	5.0	3.0	2.02	長方體
60.1	10	100.0	20.50	20.40	20.35	20.42	5.0	2.9	3.0	2.04	長方體
60.1	10	100.0	20.66	20.59	20.42	20.56	9.5	2.5	2.3	2.06	長方體
60.1	10	100	20.23	20.33	20.32	20.29	2.5	9.5	2.3	2.03	長方體
60.1	10	100	20.43	20.39	20.32	20.38	4.3	7.5	2.0	2.04	三角體
60.1	10	100	20.52	20.52	20.29	20.44	4.3	7.5	2.0	2.04	倒三角體

從表 2 中可發現相同質量、擺長、擺角，從球體、不同長方體、三角體等多種不同的形狀中，都有不同的週期，而且找不出規律，我們另外紀錄了各種形狀的長△、寬□、厚◇，再從形狀邊長對週期做圖中發現，擺動週期和形狀的長度有正相關，若擺錘長度越長，擺動週期也越大。



但形狀的實驗未因此結束，我們又想若相同形狀與長度，正立放和倒立放，結果也會一樣嗎？因此我們延伸此實驗 B-1，分別做了正立五面體、倒立五面體、正立圓錐體、倒立圓錐體，實驗結果如表 3。

表格 3 相同形狀不同擺法對時間的影響

質量(g)	角度	長度(cm)	1st	2nd	3rd	Avg.	長(cm)	寬/直徑(cm)	厚度(cm)	T	形狀
60.1	10	100.0	21.66	21.70	21.53	21.63	10.5	2.1	1.8	2.16	正立五面體
60.1	10	100.0	21.36	21.20	21.52	21.36	10.5	2.1	1.8	2.14	倒立五面體
60.1	10	100.0	20.90	21.07	20.92	20.96	16.1	2.8		2.10	正立圓錐
60.1	10	100.0	20.75	20.57	20.75	20.69	16.1	2.8		2.07	倒立圓錐



圖 6 相同形狀不同擺法的黏土

從表 3 中結果發現，雖都是五面體、圓錐體，但倒立結果和正立結果也不相同，而且正立的週期都

比倒立來的大，才發現原來形狀影響週期的因素不是因為長度，而是因為擺錘的質心位置，質心到支點距離越遠，擺動週期越大。

3. 實驗 C 不同擺長對時間的影響

根據實驗 A 實驗 B 結果，實驗 C 固定擺錘、擺角，改變支點到擺垂質心的距離，準備超過 100 公分的棉繩固定在鐵架上，將同質量的球體黏土與鐵絲固定在棉線末端，調整棉線從支點到球體中心的距離為 100 公分，每次棉繩繞圈鐵架縮短擺長，紀錄擺動 10 次所需時間。

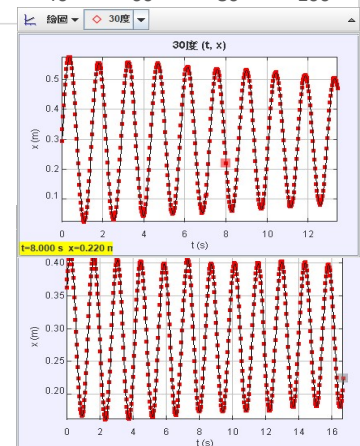
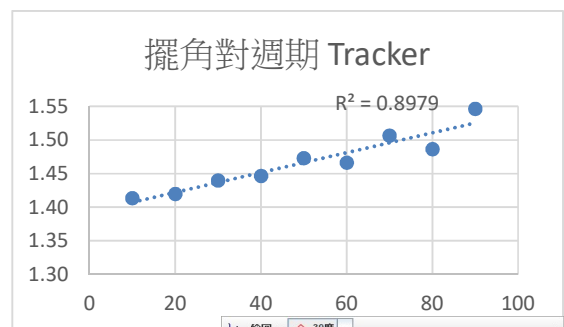
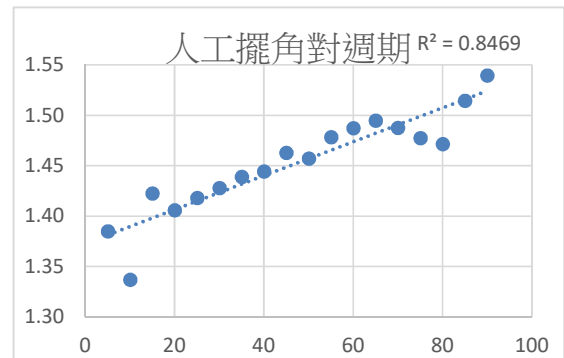
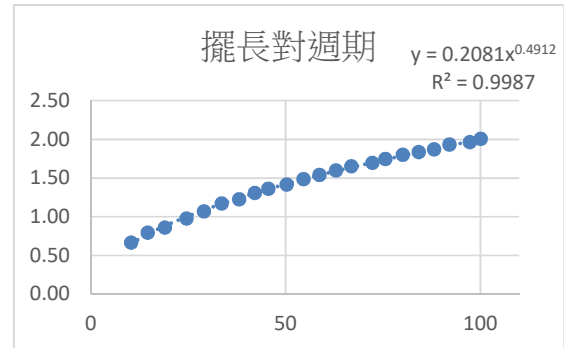
表格 4 不同擺長對時間的影響

質量(g)	角度	長度(cm)	1st	2nd	3rd	Avg.	T(s)
60.1	10	100.0	20.05	20.09	20.12	20.09	2.01
60.1	10	97.2	19.52	19.7	19.72	19.65	1.96
60.1	10	92.0	19.3	19.36	19.3	19.32	1.93
60.1	10	88.0	18.99	18.59	18.59	18.72	1.87
60.1	10	84.1	18.45	18.43	18.2	18.36	1.84
60.1	10	80.0	18	17.88	18.12	18.00	1.80
60.1	10	75.5	17.46	17.52	17.48	17.49	1.75
60.1	10	72.2	16.88	16.94	17.06	16.96	1.70
60.1	10	66.8	16.52	16.52	16.55	16.53	1.65
60.1	10	62.9	16.05	16.09	15.82	15.99	1.60
60.1	10	58.6	15.42	15.36	15.43	15.40	1.54
60.1	10	54.5	14.82	14.75	15.05	14.87	1.49
60.1	10	50.2	14.23	14.16	14.1	14.16	1.42
60.1	10	45.5	13.45	13.69	13.77	13.64	1.36
60.1	10	42.0	13.1	13.13	13.02	13.08	1.31
60.1	10	38.0	12.13	12.5	12.18	12.27	1.23
60.1	10	33.5	11.53	11.68	11.93	11.71	1.17
60.1	10	29.0	10.73	10.75	10.68	10.72	1.07
60.1	10	24.5	9.89	9.56	9.92	9.79	0.98
60.1	10	18.9	8.95	8.96	7.93	8.61	0.86
60.1	10	14.5	7.83	8.06	7.95	7.95	0.79
60.1	10	10.3	6.76	6.55	6.66	6.66	0.67

從表 4 中發現，當距離越短，擺動時間越短，而且從圖趨勢線上可發現，單擺週期和擺長開根號成正比， $R^2=0.9987$ ，結果相當準確。單擺週期變化和擺長變化有明顯關係。

4. 實驗 D 不同擺動角度對時間的影響

根據上述實驗，固定擺錘、支點到擺錘質心距離，改變擺動角度大小，從 5 度到 90 度，以五度角為單位，分別紀錄擺動十次所需時間，並重複三次，結果如下表 5。



表格 5 不同擺角對時間作圖(含人工與電腦影像分析)

質量(g)	角度	長度	1st	2nd	3rd	Avg.	T(s)	1 st	2 nd	3 rd	T'(s)
60.1	5	48	13.69	14	13.86	13.85	1.39				
60.1	10	48	13.73	12.38	14	13.37	1.34	1.40	1.43	1.40	1.41
60.1	15	48	14.12	14.53	14.03	14.23	1.42				
60.1	20	48	14.1	14.08	14	14.06	1.41	1.43	1.43	1.40	1.42
60.1	25	48	14.15	14.29	14.1	14.18	1.42				
60.1	30	48	14.32	14.3	14.22	14.28	1.43	1.43	1.47	1.43	1.44
60.1	35	48	14.36	14.46	14.35	14.39	1.44				
60.1	40	48	14.35	14.45	14.53	14.44	1.44	1.43	1.47	1.43	1.45
60.1	45	48	14.5	14.66	14.73	14.63	1.46				
60.1	50	48	14.67	14.52	14.53	14.57	1.46	1.50	1.47	1.47	1.47
60.1	55	48	14.62	14.86	14.87	14.78	1.48				
60.1	60	48	14.96	14.86	14.8	14.87	1.49	1.47	1.47	1.47	1.47
60.1	65	48	14.99	14.86	15	14.95	1.50				
60.1	70	48	14.97	14.83	14.83	14.88	1.49	1.53	1.50	1.53	1.51
60.1	75	48	14.96	14.69	14.68	14.78	1.48				
60.1	80	48	14.66	14.98	14.51	14.72	1.47	1.53	1.47	1.47	1.49
60.1	85	48	15.11	15.13	15.2	15.15	1.51				
60.1	90	48	15.36	15.48	15.35	15.40	1.54	1.57	1.53	1.57	1.55

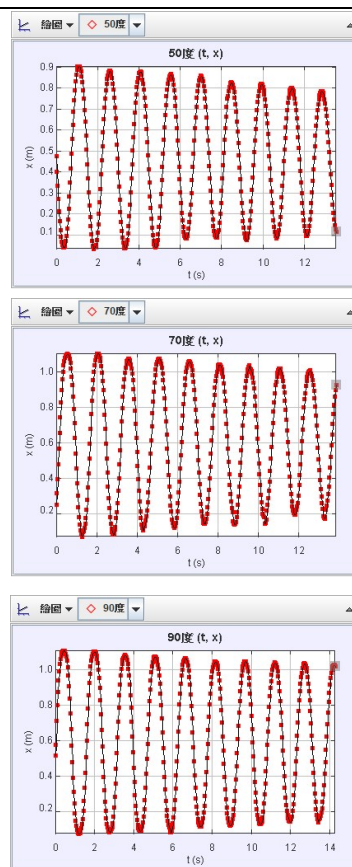


圖 7 Tracker 分析不同角度

從表 5 中可發現擺動角度越大，週期越慢，但週期變化並無擺長來的明顯，推測因擺動的過程中棉線在支點上的摩擦力，導致能量消耗，使得擺動的速度變慢，動能減少，單擺週期而變大；另外從表中可觀察到，雖然擺動十次又重複三次紀錄時間，可將誤差減少，但實驗結果在擺角對週期作圖上卻有明顯落差， $R^2=0.847$ ，且在實驗過程中因操作 75 度角時有更換同學釋放擺錘與紀錄時間，發現在 75 度和之前的趨勢有明顯不同，從此發現人工操作單擺，雖然比起心跳來的更準確(延伸實驗 D-1 同學脈搏與單擺測量 30 秒時間三次)，但手按馬錶的些微誤差，在要求精準的條件下，似乎還有進步的空間，因此我們找尋用機械取代人工計時的方法，搜尋資料的過程中找到一篇 2017 科學探究競賽的作品-擺出重力值，內容教我們使用影像分析的方式記錄擺動時間，因此我們也將實驗 D-2 改用 Tracker 測量與計算，結果如 T'。

從圖中可發現，用 Tracker 分析出的週期對擺角關係， $R^2=0.898$ ，有明顯改善人為誤差的因素，在每次 Tracker 分析的擺動週期，其誤差大約 0.06 秒，和手按馬錶的最大誤差 0.28 相比，已大幅改善，雖用擺動十次求平均減少誤差，但若有每次測量都需精準的情況下，利用 Tracker 是較精準的結果。而且從 Tracker 分析圖中發現，當單擺次數越多，其振幅逐漸縮小的趨勢，這也是我們用肉眼無法觀察的結果，此結果也符合上述推測，擺動過程中支點與棉繩的摩擦力，導致擺動的動能下降，週期變大。

五、結論與生活應用

1. 結論

統整上述資料可發現，改變擺錘質量，並不會影響單擺週期，但相同質量下其形狀會影響週期，特別是長方形，如果長方形的擺放方式(立、躺)不同，會對結果有極大的影響，擺錘長度越長，週期越大，影響的關鍵因素是質量中心。而從實驗 C 中可知擺長開根號和週期呈正比，關係式為 $T = 0.2081 \times L^{0.4912}$ ，T 為週期，L 為擺長。擺角對週期影響並無擺長顯著，但角度越大擺動摩擦範圍越廣，震幅變化幅度會越明顯，若要精準測量建議使用 Tracker 分析紀錄。

2. 生活應用

本實驗可利用單擺精確實驗出短時間，為了快速有效率量測時間，繪製對照表 6 如下，橫軸為時間(秒)，縱軸為擺長(公分)，使用方式如下。

若要 18 秒的時間，先在橫軸(橘底)找到 18，下方數字為擺動次數，擺動次數左側對應擺長(藍底)，如 18 為擺長 25 公分時擺動 18 次為 18 秒，15 為擺長 35 公分擺動 15 次為 18 秒，12 為擺長 55 公分擺動 12 次為 18 秒，11.5 為擺長 60 公分擺動 11.5 次為 18 秒，10 為擺長 80 公分擺動 10 次為 18 秒，9.5 為擺長 90 公分擺動 9.5 次為 18 秒，9 為擺長 100 公分擺動 9 次為 18 秒。

表格 6 擺長對時間對照表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
25	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
30					4.5	5.5				9	10				13.5	14.5				18	19					23.5	24.5			
35			2.5			5			7.5			10			12.5			15	16			18.5			21			23.5		
40		1.5			4		5.5		7			9.5		11		12.5		15		16.5		18			20.5		22		23.5	
45		1.5		3		4.5		6		7.5						12.5		14		15.5		17		18.5		20		21.5		
50					3.5		5			7		8.5			10.5		12			14		15.5			17.5		19			
55			2			4			6			8			10		11.5	12		13.5			15.5			17.5			19.5	
60			2	2.5			4.5			6.5	7			9			11	11.5			13.5			15.5	16			18		
65				2.5	3			5	5.5			7.5	8				10.5				13				15.5	16			18	18.5
70					3	3.5				6	6.5				9	9.5				12	12.5				15	15.5	16			
75						3.5	4					7	7.5	8					11	11.5						15	15.5			
80							4	4.5	5	5.5						9	9.5	10							14.0	14.5	15			
85											6	6.5	7	7.5								12	12.5	13	13.5	14				
90		1	1.5												8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5								
95		1	1.5	2	2.5	3	3.5																							
100		1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	13.5	13	13.5	14	14.5	15

可依照現實生活中的條件，利用此對照表運用適合的擺長找到大家需要的時間。

六、參考資料

1. 黃泰民 (2017)，擺出「重力值」，2017 全國科學探究競賽-這樣教我就懂。
2. 洪連輝等 (2021)，自然科學第五冊，南一書局企業股份有限公司。
3. 江冠儀等 (2003)，我擺、我擺、我擺擺擺!探討單擺擺動次數的影響因素，全國中小學科展。
4. 賴家正、吳國彰、林寬維 (1995)，利用電腦實驗改進單擺實驗，全國中小學科展。