

2015 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 170005

參展科別 地球與行星科學

作品名稱 探討單擺週期與潮汐、月地相對位置之關係

得獎獎項 女性地質學家協會獎

就讀學校 國立臺灣師範大學附屬高級中學

指導教師 傅學海、洪逸文

作者姓名 楊易蓁、郭芷瑄

關鍵字 單擺週期、重力加速度、潮汐

作者簡介



我是楊易蓁，國立臺灣師大附中 1322 科學班，個性比較沉穩內斂，興趣是運動，舉凡籃球、棒球、游泳等等。也喜歡接觸音樂，會彈吉他和鋼琴，熱衷於打撲克牌，因此也學了一些魔術。閒暇時常常和家裡的小狗玩，放鬆身心，暫時遠離充滿壓力的生活。未來希望朝資訊工程的方面發展，期望到美國的科技公司工作。



我是郭芷瑄，是個性外向開朗的牡羊座。興趣廣泛，舉凡閱讀、打桌球、畫畫，熱衷於賞鳥活動，嗜好是在旅遊時搜集各地的紀念章，最喜歡的城市是充滿陽光的高雄。而這次參加科展是意外的契機，使我得以踏入神秘的科學領域。兩年的辛苦耕耘，使我與夥伴收穫豐富，也成長許多。很高興有機會參展，希望藉此與他人交流切磋，增廣見聞。

計畫名稱

探討單擺週期的變化與潮汐、月地相對位置之關係

摘要

本實驗目的為測量重力加速度 g 值的變化情形，主要藉由量測單擺週期的大小變化，來推得重力加速度 g 值的隨月球方位及潮汐變化情形。國中知道同一地點的地表重力加速度 g 值為定值，但根據參考文獻 1，已知重力加速度 g 值會受到環境因素影響而變化，甚至是會有週期性的變化，因此我們將測量單擺週期的微小變化來做驗證，實驗方法是透過筆電內的音效卡配合免費音效軟體 Audacity，取樣頻率可達 96000 次/秒。實驗結果顯示對單擺週期的量測精確度可達 0.0002 秒，可以充分呈現單擺週期的影響因素。我們發現一日內月球的方位與潮汐皆會影響單擺週期的變化，且單擺週期之數據分布，與潮汐變化較為接近。故本實驗推論一日內單擺週期變化受潮汐影響大於月球的方位變化。

Summary

The target of our experiment is to measure the changes of gravitational acceleration. To achieve it, we measure the changes over the period of a simple pendulum to know how gravitational acceleration changes along with the moon's movements and the tides. Although we learn that gravitational acceleration in the same place is a fixed value, however, we find that gravitational acceleration will change periodically in a day, so we decided to verify it with our experiment. We use a notebook with a sound card and the free sound effect software "Audacity," whose frequency can be up to 96,000 times per second. Our results show that the precision can be up to 0.0002 second, which can fully display the influences on the period of a simple pendulum. We find that the moon's movements and the tides in one day will influence the period of a simple pendulum. Besides, the statistical distribution of the period of a simple pendulum is closer to the tidal movement variations. Therefore, we conclude that the influence of the tides on the changes over the period of a simple pendulum in one day is bigger than that of the moon's movements.

壹、前言

本實驗以測量單擺週期變化實驗為主、並輔以重力加速度 g 值的量測。實驗目的為測量單擺週期是否會隨時間變化，並了解而該變化是受潮汐起伏影響而產生，還是因為月球在天上的方位不同而產生。

依據國中的理化課程中所學，地表重力加速度 g 值的計算，只考慮地球重力，並且以地球中心為準，所以在同一個地點的 g 值是定值。然而我們在一篇報告（參考文獻 2）看到：根據實驗者所測量的結果，在一日之中， g 值會隨時間呈現週期性的變化，作者推論除了地球的重力影響，還受月球的影響：月球對於固定地點的方位，隨著地球自轉而改變，月球對地表固定觀測點的重力也會隨之變化，會影響單擺週期的變化。對此推論，我們頗為好奇，決定動手進行驗證。我們認為，每天海水受到潮汐的影響，水體接近、遠離海岸，應該也會影響該地點的單擺週期的變化。

本實驗使用電腦內建之音效卡配合網路免費之音效軟體 Audacity（參考文獻 3），取樣頻率每秒高達 96000 次，內建為每秒 44100 次。實驗結果顯示單擺週期之精確度可達 0.0002 秒，精準度應該可以驗證影響單擺週期呈現變化的原因。

由於本實驗知單擺週期精確度為 0.001 秒以內，擺錘的擺動幅度已經會影響單擺的週期，因此可用來驗證單擺週期與擺動幅度的關係。

本實驗將以自行繪製的單擺週期與時間關係圖，與月-地相對位置、鄰近海邊之潮汐時刻，進行相關的比對與討論。另外也探討實驗地點周圍山體質量分布對單擺週期之影響，並以台北市大屯山群為量測對象。

本實驗使用的實驗器材是以價格與架設方式為導向，期望設計出具「價格低廉、容易製作、精確度高」三個優點的量測設備，最終目標為使我們的研究結果能提供重力加速度 g 值的測量，進行儀器相關校準，使 g 值的相對誤差達到萬分之一或更小。

貳、 研究方法與過程

一、 實驗設備

(一) 實驗一：測量單擺週期變化與潮汐之比對

第一期實驗：2013/8/26-27、2013/9/19-22 於台北市中山區進行

第二期實驗：2014/1/26-27、2014/7/18-20 依序於宜蘭縣蘇澳鎮、頭城鎮進行

1. 第一期設備：

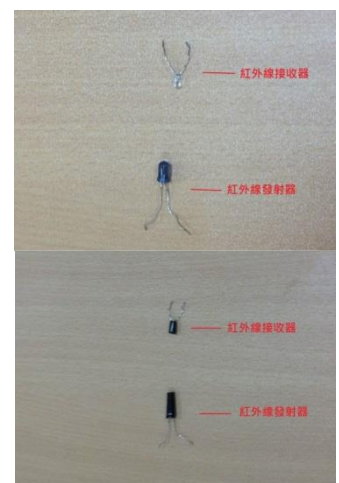
以角鋼作為單擺實驗設備主體，如圖一，並在角鋼連接處以 L 型鐵片固定兩支角鋼的夾角為 90 度。以鋼珠作為擺錘，用熱熔膠黏上盲線作為擺線，吊於上方角鋼中間距離兩端等長處。利用長 100 公分的鐵尺量測擺長，即懸掛點至盲線與擺錘相黏處之長度，是 43.4 公分。將紅外線接收 LED 接上音源線當中的地線，與左、右聲道之電線其中一條，發射 LED 接上電源及並於電池正極端接上 5 歐姆的電阻，再用電氣膠帶分別黏繞接收 LED 與發射 LED，以隔絕外界光源，如圖二，再將兩者分別固定於兩支尺寸較短的角鋼上。最後將音源線插入電腦。



(圖一)

2. 第二期設備

- (1) 為了增加測量之精確度，確定紅外線發射 LED 號發射之方位、接收 LED 收訊號的方位，本實驗將發射 LED 與接收 LED 分別套上尺寸合適的吸管，並且以電氣膠帶封住管口僅留 1 mm 縫隙，如圖二。
- (2) 因為時間的測量精準度可達 0.0002 秒，對於單擺週期 1.33-1.34 秒之相對誤差約為 0.00015。長度測量精確度約為 1 mm，對於擺長 43.4 cm 之相對誤差約 0.002。單



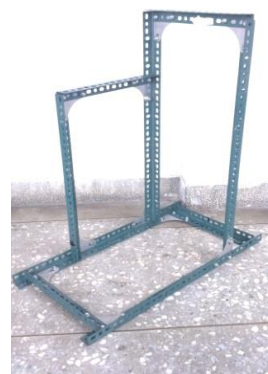
(圖二，上圖為紅外線接收器與發射器，下圖為纏繞電氣膠帶的接收器與發射器)

擺動週期相對誤差與擺長之相對誤差不一致，為了將擺長之相對誤差降至千分之一以內，所以本實驗將擺長的長度加長至 93.7 cm。

- (3) 由第一期實驗結果發現，角度的誤差會影響到實驗的結果，所以為了固定擺角大小，於距離接收 LED 與發射 LED 1.5 cm(約擺角 0.92 度)處固定一片角鋼，使每次實驗開始時，擺錘可固定由該處落下。
- (4) 由於不清楚盲線是否會因為環境溫度及濕度改變而伸縮，所以我們後續將擺線改用縫衣線。
- (5) 由於第一期實驗實測地點位於台北市，可能會同時受到來自淡水河口海域、基隆外海以及宜蘭附近海域的潮汐所影響，所以將第二期實驗地點改至宜蘭，使得潮汐的主要影響僅來自宜蘭附近的海域。

(二)實驗二：測量單擺週期與周圍山體質量分布比對

使用兩組如實驗一的單擺設備，並將兩組角鋼相互垂直擺放，以量測不同方位的單擺週期，如圖三。



(三)實驗三：測量自由落體之重力加速度 g 值

(圖三，兩角鋼相互垂直擺放並固定於底座上。)

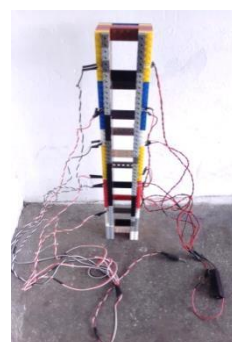
1. 以相機拍攝自由落體落下：

將長 1 公尺的鋼尺懸於牆上的掛鉤，將數位單眼相機 Canon 50D 固定腳架上，距離鋼尺約 1.5 公尺，並對焦於鋼尺的刻度上，使刻度清楚可判讀。使用直徑 2.3 公分的鋼珠做為自由落體。

2. 以紅外線光電閘與音效軟體紀錄鋼珠墜落時經過測點的時刻：

- (1) 以樂高塊製作實驗設備主體：

使用一般樂高塊組合成高約 60 公分的 Γ 字型平台，另外將有孔洞的樂高在平台兩側各固定一排，如圖四。將



六個紅外線發射 LED 並聯，接上 5 歐姆的電阻與電源。

另外將六個紅外線接收 LED 並聯，其中三個接上音源線的左聲道，另外三個接上右聲道，將音源線插入電

腦。將六組紅外線光電閘以左、右聲道交錯擺放的方式嵌入有孔洞的樂高，使發射 LED 與接收 LED 互相對

齊，並且將每個孔洞以電氣膠帶封住僅留 1 毫米的空

隙，便可固定 LED 的發射方位與接收方位，使直徑 2.3 公分的鋼珠自平台上方自由落下。



(圖四，上圖為設備全圖，下圖為俯瞰圖)

(2) 以壓克力板製作實驗設備主體：

將四塊 5 毫米厚的壓克力板組成長 15 公分、寬 10 公分、高 60 公分的平台，如圖五，於兩側的壓克力板的邊緣

間隔每 9 公分鑽上一個直徑 5 毫米的孔洞，使前述六組

紅外線光電閘可分別固定於兩側，並以左、右聲道交錯擺放的方式嵌入孔洞，使發射 LED 與接收 LED 互相對齊。將六個紅外線發射 LED 並聯，接上 5 歐姆的電阻與電源。另外將六個紅外線接收 LED 並聯，其中三個接上音源線的左聲道，另外三個接上右聲道，將音源線插入電腦。使用直徑 1.5 公分的鋼珠，為了讓鋼珠固定位置鉛直墜落，而且墜落路徑沿其直徑方向墜落，我們在平台上方固定一片硬塑膠板，並在上標定放置磁鐵的位置，以磁鐵吸附鋼珠，每次實驗開始時，迅速拔起磁鐵，釋放鋼珠。



(圖五)

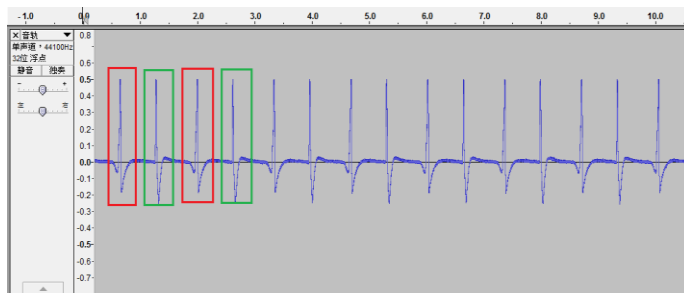
(四) 電腦硬體與軟體

本實驗所用的電腦型號是 Acer Aspire4810TZ，音效卡型號為 Realtek High Definition Audio。由於音效卡能將類比訊號轉為數位訊號，且靈敏度高，可做為精密度較高的計時器，因此於電腦安裝音效軟體 Audacity 2.0.3 搭配音效卡，依實驗性質選擇單聲道或雙聲道模式紀錄。自國家時間與頻率標準實驗室下載 NTP 校時軟體以便實驗前作時間校正。

二、 研究過程或方法及進行步驟

(一) 實驗一：測量單擺週期變化與潮汐之比對

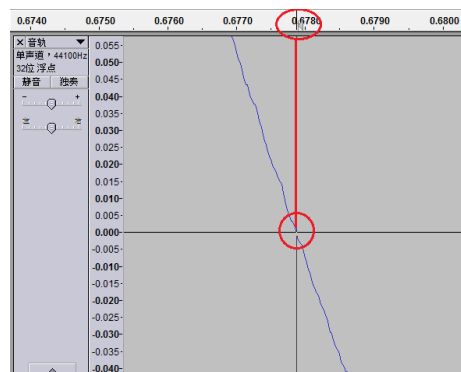
1. 第一期實驗是以手推動擺錘，但並沒有固定角度。以單擺公式，計算得出擺角幅度相差四度，單擺週期約略相差千分之四。所以在第二期實驗，將擺錘之擺角幅度固定，以音效軟體 Audacity 開始錄製。因為第一期實驗中記錄單擺擺動次數沒有固定且擺動次數太少，使得單擺週期誤差較大。所以第二期實驗改為固定擺動次數為二十次。第一期實驗每次間隔約一個小時進行一次實驗，為了瞭解更細微的單擺週期變化。第二期實驗改為間隔半小時進行一次實驗，持續數天。
2. 紅外線光電閘接收端所偵測到的訊號，透過音源線進入音效卡轉為數位訊號。使用 Audacity 軟體呈現訊號隨時間的變化圖，每個訊號突然升高或降低的波形，顯示一次紀錄時刻。單擺擺動往、返一次，呈現一個週期，所以第 1、3、5…次的訊號為單擺週期的重複；同理，偶數次訊號也是週期的重複。所以在錄音檔所呈現的波形中，相



(圖六，相鄰兩個奇(偶)數點才是一個完整的週期)

鄰兩個奇數或偶數的訊號間隔為一次完整週期，如圖六。

3. 判讀每個訊號波形與水平軸交點的時間，如圖七。使用微軟公司(Microsoft)的 EXCEL 作為實驗記錄，在 Excel 表格中，分別記錄奇數訊號與偶數訊號所對應的時刻。



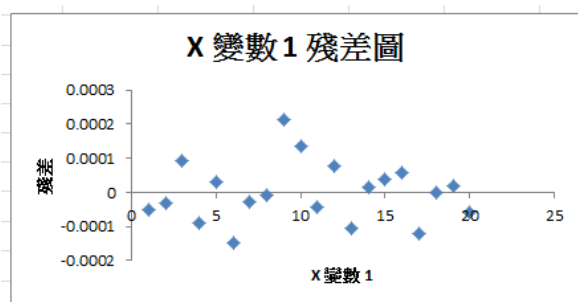
(圖七，讀取時間的方式為選取波形與 X 軸之交點，對應到上方的時間軸，可讀出時刻，以此點為例，實際值為 0.677，估計值為 0.6779)

4. 記錄細目如圖八所示。

	A	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
1		08:00		09:00		10:00		11:00		12:00		13:00		14:00	
2		odd	even	odd	even	odd	even	odd	even	odd	even	odd	even	odd	even
3	1	0.2902	0.8866	0.6779	1.3028	0.4336	1.0324	0.1514	0.8736	0.5228	1.2537	0.5506	1.2556	0.4396	1.1517
4	2	1.6309	2.2279	2.0188	2.6436	1.7746	2.3731	1.4924	2.2147	1.8634	2.5948	1.8914	2.5967	1.7800	2.4917
5	3	2.9723	3.5677	3.3598	3.9842	3.1154	3.7143	2.8332	3.5557	3.2041	3.9381	3.2326	3.9381	3.1201	3.8325
6	4	4.3136	4.9083	4.7005	5.3253	4.4558	5.0551	4.1742	4.8964	4.5736	5.2794	4.5736	5.2794	4.4596	5.1732
7	5	5.6534	6.2498	6.0415	6.6661	5.7970	6.3954	5.5152	6.2372	5.9144	6.6205	5.9144	6.6205	5.8003	6.5133
8	6	6.9941	7.5908	7.3822	8.0069	7.1384	7.7363	6.8560	7.5782	7.2555	7.9614	7.2555	7.9614	7.1406	7.8531
9	7	8.3353	8.9311	8.7232	9.3476	8.4791	9.0769	8.1967	8.9191	8.5681	9.3025	8.5681	9.3025	8.4812	9.1930
10	8	9.6768	10.2715	10.0641	10.6885	9.8202	10.4173	9.5376	10.2601	9.9375	10.6436	9.9375	10.6436	9.8215	10.5333
11	9	11.0174	11.6125	11.4052	12.0294	11.1612	11.7577	10.8785	11.6011	11.2787	11.9846	11.2787	11.9846	11.1613	11.8740
12	10	12.3581	12.9536	12.7460	13.3703	12.5021	13.0986	12.2195	12.9421	12.6199	13.3255	12.6199	13.3255	12.5012	13.2147
13	11	13.6988	14.2946	14.0867	14.7109	13.8430	14.4389	13.5603	14.2830	13.9610	14.6665	13.9610	14.6665	13.8414	14.5548
14	12	15.0395	15.6349	15.4277	16.0517	15.1838	15.7799	14.9011	15.6237	15.3019	16.0045	15.3020	16.0074	15.1814	15.8944
15	13	16.3803	16.9752	16.7684	17.3926	16.5243	17.1210	16.2419	16.9647	16.6429	17.3484	16.6429	17.3484	16.5222	17.2344
16	14	17.7219	18.3158	18.1094	18.7338	17.8649	18.4615	17.5826	18.3054	17.9840	18.6896	17.9840	18.6896	17.8626	18.5750
17	15	19.0622	19.6571	19.4503	20.0745	19.2058	19.8023	18.9237	19.6462	19.3249	20.0306	19.3249	20.0306	19.2021	19.9158
18	16	20.4025	20.9978	20.7912	21.4151	20.5463	21.1434	20.2644	20.9872	20.6660	21.3718	20.6660	21.3718	20.5422	21.2559
19	17	21.7432	22.3379	22.1319	22.7558	21.8867	22.4838	21.6052	22.3281	22.0071	22.7128	22.0071	22.7128	21.8826	22.5956
20	18	23.0850	23.6788	23.4729	24.0968	23.2276	23.8249	22.9462	23.6693	23.3483	24.0537	23.3483	24.0537	23.2234	23.9355
21	19	24.4256	25.0196	24.8138	25.4376	24.5681	25.1659	24.2869	25.0102	24.6895	25.3948	24.6895	25.3948	24.5637	25.2759
22	20	25.7663	26.3608	26.1546	26.7781	25.9088	26.5063	25.6280	26.3511	26.0302	26.7358	26.0302	26.7358	25.9038	26.6163

(圖八，將讀出來的數據整理於 Excel 的表格)

5. 利用 Excel 中資料分析工具箱的殘差功能檢驗數據是否有誤。繪製奇數、偶數次數訊號時刻隨時間變化之殘差圖，如圖九，檢驗是否有偏離平均值的錯誤(參見附錄一)，



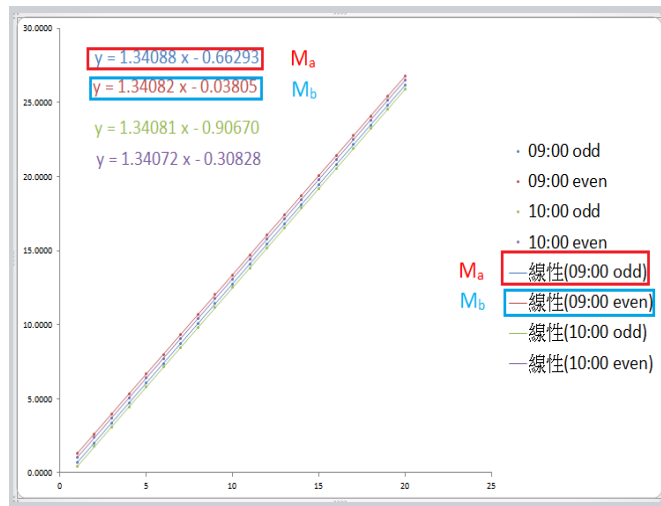
(圖九，以 9/20 09:00 之奇數點為例，此為檢驗完之殘差圖)

並使用線性回歸計算每筆資料的相對誤差。

6. 檢驗完畢，繪出以擺動次數為 x 軸，時間為 y 軸，分別代表每個時刻的時間-次數的分布圖，如圖十，為了求出該時刻單擺週期，先在分布圖上加上趨勢線，計算出該趨勢線的方程式，其中斜率為所求，令奇數點所繪出的趨勢線斜率為 M_a ，偶數點所繪出之趨勢線斜率為 M_b ，將各時刻的 M_a 和 M_b 相加除以二，所得即為該次實測時單擺的週期。

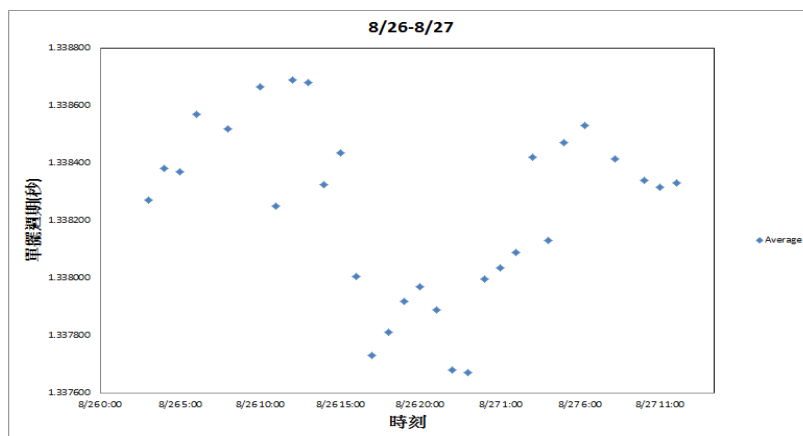
	A	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1		08:00		09:00		10:00		11:00		12:00	
2		odd	even	odd	even	odd	even	odd	even	odd	even
3	1	0.2902	0.8866	0.6779	1.3028	0.4336	1.0324	0.1514	0.8736	0.5228	1.2537
4	2	1.6309	2.2279	2.0188	2.6436	1.7746	2.3731	1.4924	2.2147	1.8634	2.5948
5	3	2.9723	3.5677	3.3598	3.9842	3.1154	3.7143	2.8332	3.5557	3.2041	3.9381
6	4	4.3136	4.9083	4.7005	5.3253	4.4558	5.0551	4.1742	4.8964	4.5736	5.2794
7	5	5.6534	6.2498	6.0415	6.6661	5.7970	6.3954	5.5152	6.2372	5.9144	6.6205
8	6	6.9941	7.5908	7.3822	8.0069	7.1384	7.7363	6.8560	7.5782	7.2555	7.9614
9	7	8.3353	8.9311	8.7232	9.3476	8.4791	9.0769	8.1967	8.9191	8.5681	9.3025
10	8	9.6768	10.2715	10.0641	10.6885	9.8202	10.4173	9.5376	10.2601	9.9375	10.6436
11	9	11.0174	11.6125	11.4052	12.0294	11.1612	11.7577	10.8785	11.6011	11.2787	11.9846
12	10	12.3581	12.9536	12.7460	13.3703	12.5021	13.0986	12.2195	12.9421	12.6199	13.3255
13	11	13.6988	14.2946	14.0867	14.7109	13.8430	14.4389	13.5603	14.2830	13.9610	14.6665
14	12	15.0395	15.6349	15.4277	16.0517	15.1838	15.7799	14.9011	15.6237	15.3019	16.0045
15	13	16.3803	16.9752	16.7684	17.3926	16.5243	17.1210	16.2419	16.9647	16.6429	17.3484
16	14	17.7219	18.3158	18.1094	18.7338	17.8649	18.4615	17.5826	18.3054	17.9840	18.6896
17	15	19.0622	19.6571	19.4503	20.0745	19.2058	19.8023	18.9237	19.6462	19.3249	20.0306
18	16	20.4025	20.9978	20.7912	21.4151	20.5463	21.1434	20.2644	20.9872	20.6660	21.3718
19	17	21.7432	22.3379	22.1319	22.7558	21.8867	22.4838	21.6052	22.3281	22.0071	22.7128
20	18	23.0850	23.6788	23.4729	24.0968	23.2276	23.8249	22.9462	23.6693	23.3483	24.0537
21	19	24.4256	25.0196	24.8138	25.4376	24.5681	25.1659	24.2869	25.0102	24.6895	25.3948
22	20	25.7663	26.3608	26.1546	26.7781	25.9088	26.5063	25.6280	26.3511	26.0302	26.7358

(圖十，選取紅色框框範圍的數據繪出圖十一)



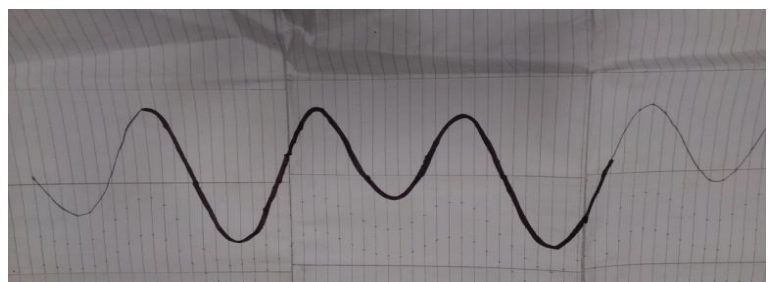
(圖十一，09:00 的週期即為 M_a 和 M_b 相加除以二，為 1.34085)

7. 重新將時刻與週期整理為一表格，再以時刻為 x 軸，週期為 y 軸，繪出資料分布圖，觀察數天之內單擺週期的變化，如圖十二。



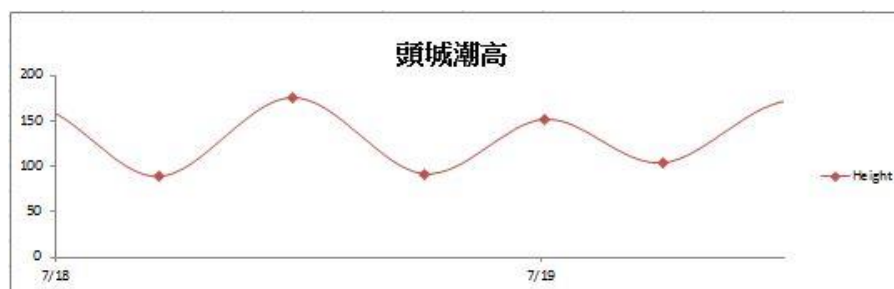
(圖十二)

8. 為了將實驗所得的單擺週期分布與潮汐比對，根據中央氣象局發布的潮汐預報，以時間為橫軸，潮高(參見附錄二)為縱軸，分別繪出基隆、麟山鼻、淡水、龍洞、鹽寮五個地點的潮高-時刻關係圖。將五份圖表列印至投影片上，對齊格線與座標軸，相同時刻的潮高數值相加，手繪一張新的潮高-時刻關係圖，橫軸單位間距為一小時，縱軸為五地潮高。



(圖十三)

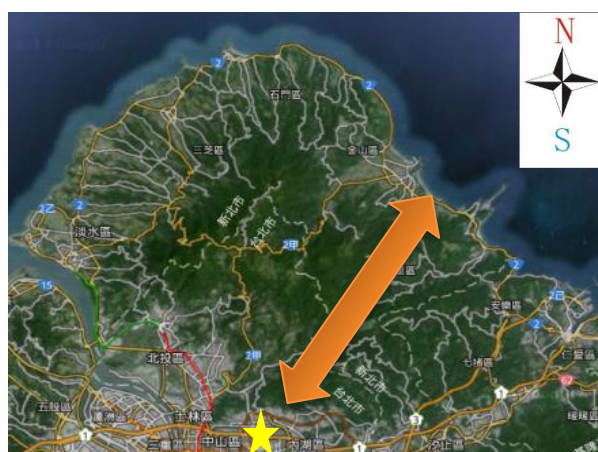
9. 根據潮汐預報，以時間為橫軸，潮高為縱軸，在 Excel 中分別繪出蘇澳、頭城兩地的潮高-時刻關係圖，如圖十四。



(圖十四，以頭城潮高為例)

(二)實驗二：測量單擺週期與山體質量分布比對

1. 本實驗為探討大屯山系的質量分布對單擺週期的影響，於台北市內湖區進行實驗。藉由 Google map 衛星地圖(如圖十五)觀察大屯山系地形後，我們觀察單擺朝南北向、東西向、東北西南向、西北東南向四個方位的擺動。本實驗認為實驗地點東北方的山脈質量最大，所以我們假設單擺擺動方向為東北西南向的週期應為四者中最大。



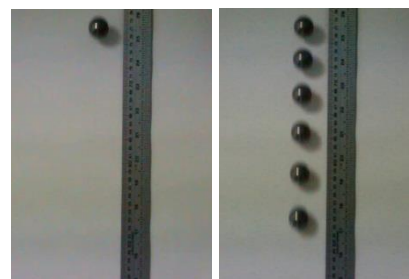
(圖十五，星號為實驗地點位置，橘色雙向箭頭為表示東北西南向的擺動方向)

2. 於地面上標記十字以辨認方位。將兩個不同擺長的單擺分別編號為 1、2。每次擺動單擺，1 號單擺與 2 號單擺的擺動方向會相互垂直，每實驗一次便將兩組單擺一同順時針旋轉 90 度。旋轉四次後，即可得到 1 號與 2 號單擺分別在四個方位擺動的實驗數據。
3. 實驗進行前，確認實驗環境是黑暗的，避免接收 LED 接收到發射 LED 以外的光線。打開校時軟體，校正電腦時間以便紀錄實測當下之時刻。手動推動單擺，每次實驗紀錄單擺來回擺動一百次。

4. 同實驗一之步驟(2)至(7)
5. 將兩組單擺的週期與擺動方向整理為表格，觀察兩者關係。

(三) 實驗三之一：測量重力加速度 g 值—以相機拍攝鋼珠自由墜落過程

1. 實驗進行時用手持鋼珠由鋼尺其中一側自由落下，同時以相機錄影鋼珠自由落下之過程，重複此過程三次。



2. 將錄好的影像匯入影片剪輯軟體 Virtual Dub Portable

轉成圖片(如圖十六)，以肉眼判讀每張圖片中鋼珠的位置。
(圖十六，左圖為單張分解圖片，右圖為合成圖)

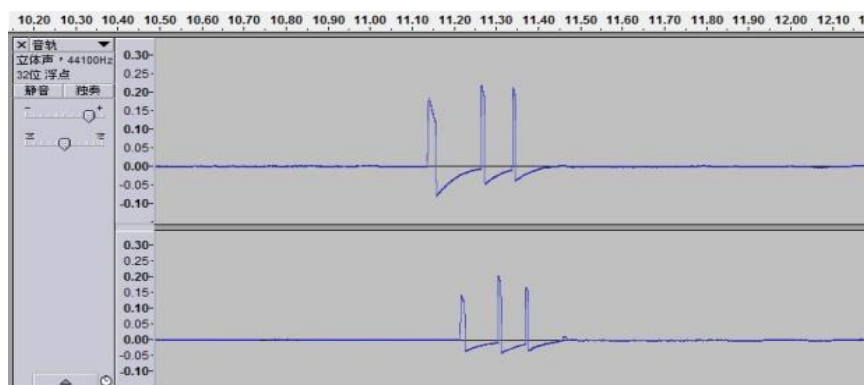
3. 在 Excel 中繪製出以時刻為橫軸、鋼珠對應之位置刻度為縱軸之分布圖，並以 Excel 算出其二次趨勢曲線 $y = ax^2 + bx + c$ ， $2|a|$ 即為該時刻之重力加速度 g 。

(四) 實驗三之二：測量重力加速度 g 值—以紅外線光電閘紀錄鋼珠自由墜落過程

1. 樂高為實驗設備主體：徒手將鋼珠自樂高平台頂端自由落下。

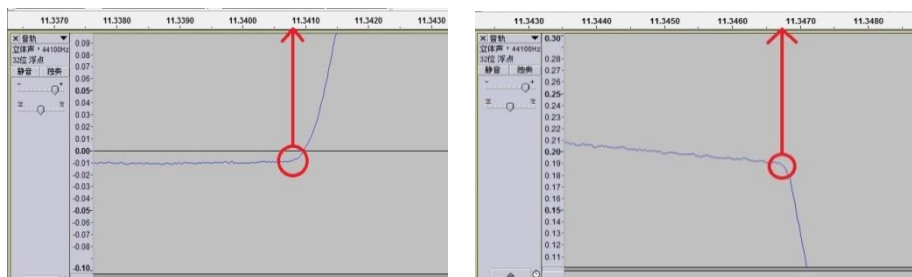
壓克力為實驗設備主體：將置於塑膠板上標定位置的磁鐵迅速拔起，使鋼珠自由落下。

2. 同實驗一，紅外線光電閘接收端所偵測到的訊號，透過音源線進入音效卡轉為數位訊號。使用 Audacity 軟體呈現訊號隨時間的變化圖，每個訊號突然升高或降低的波形，顯示一次紀錄時刻，如圖十七。



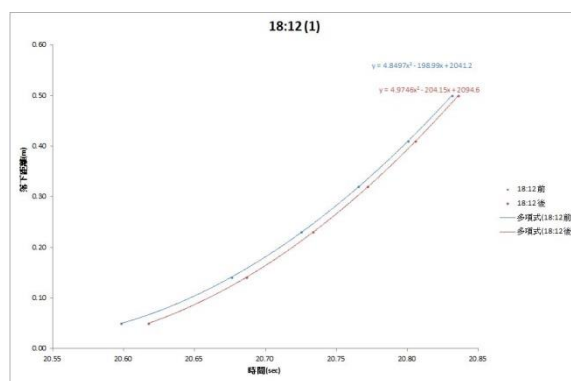
(圖十七，以 9/20 09:00 之奇數點為例，此為檢驗完之殘差圖)

- 鋼珠下緣經過紅外線光電閘瞬間使波形陡升，而鋼珠上緣離開光電閘瞬間則使波形陡降，如圖十八。故判讀波形陡升與陡降處之時刻，分開紀錄於 Excel 表格中。



(圖十八，左圖為波形陡升處，右圖為波形陡降處。)

- 在 Excel 中繪製出以時刻為橫軸、鋼珠對應之位置刻度為縱軸之分布圖，並以 Excel 算出其二次趨勢曲線 $y = ax^2 + bx + c$ ， $2|a|$ 即為該時刻之重力加速度 g ，如圖十九。



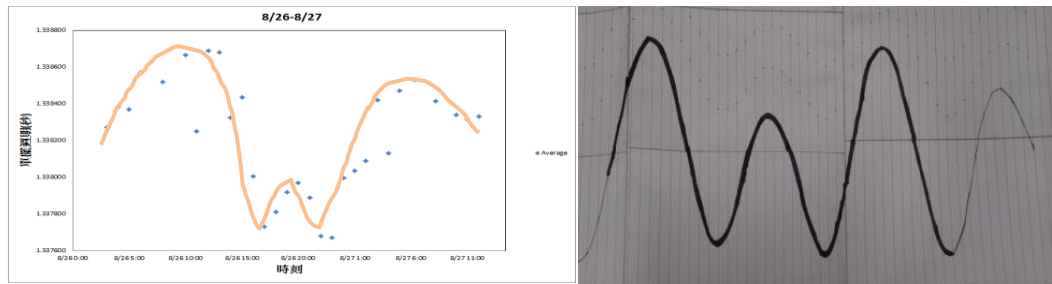
(圖十九，左圖為波形陡升處，右圖為波形陡降處。)

- 每次實驗時重複三次步驟(1)至步驟(3)，共獲得六組重力加速度 g 值之實驗值，將其平均後得到該次實驗之重力加速度 g 值。
- 重新將時刻與 g 值整理為一表格，再以時刻為 x 軸，週期為 y 軸，繪出資料分布圖，觀察數天之內 g 值的變化並與潮汐變化比對。

參、 研究結果與討論

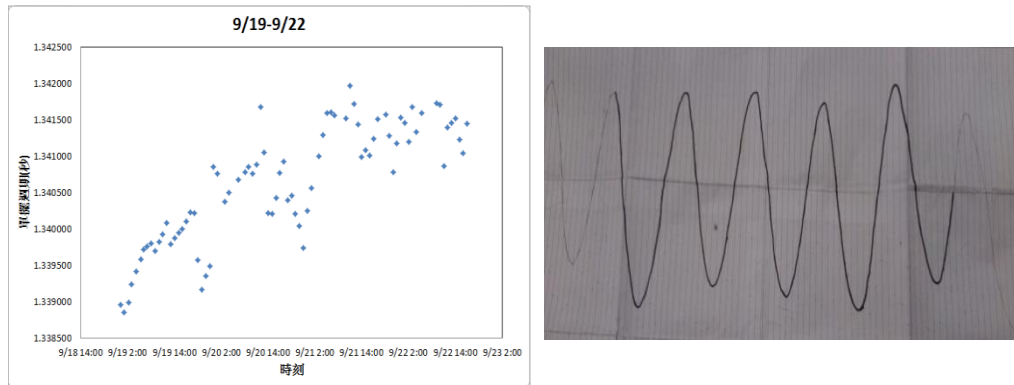
一、實驗一之研究結果

- (一) 比對 8/26 至 8/27 之實驗數據與潮高-時刻圖(圖二十)，發現數據分布趨勢與潮汐變化相符，故本實驗認為單擺週期的變化應為受潮汐影響所產生。本次實驗數據的誤差範圍約為正負萬分之五。



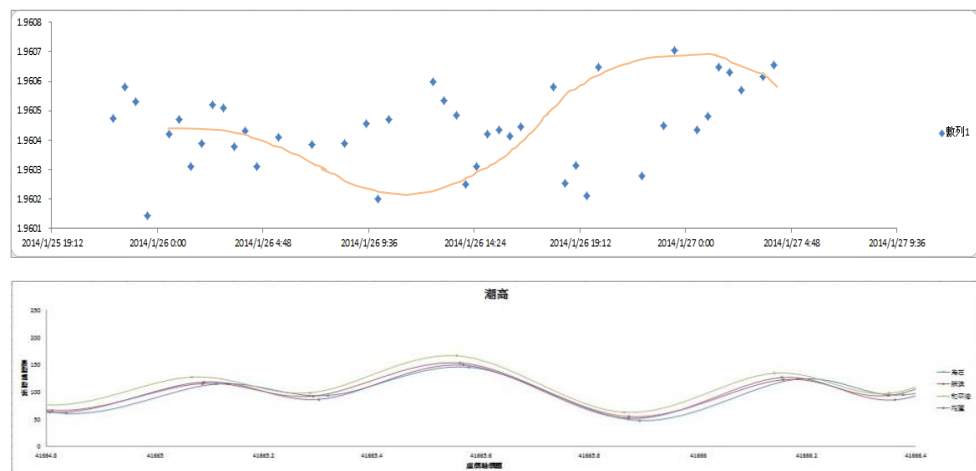
(圖二十，左圖為數據資料分布圖，橘色線條為符合右圖潮汐之趨勢，而右圖為縱軸為潮高，橫軸為時間)

(二) 由 9/19 至 9/22 之實驗數據(圖二十一)，單擺週期無法看出明顯的週期性變化，本實驗推測乃是因當時恰逢天兔颱風過境台灣所影響，故由此可見單擺週期受水體大小影響明顯。本次實驗數據誤差範圍介於正負萬分之二。



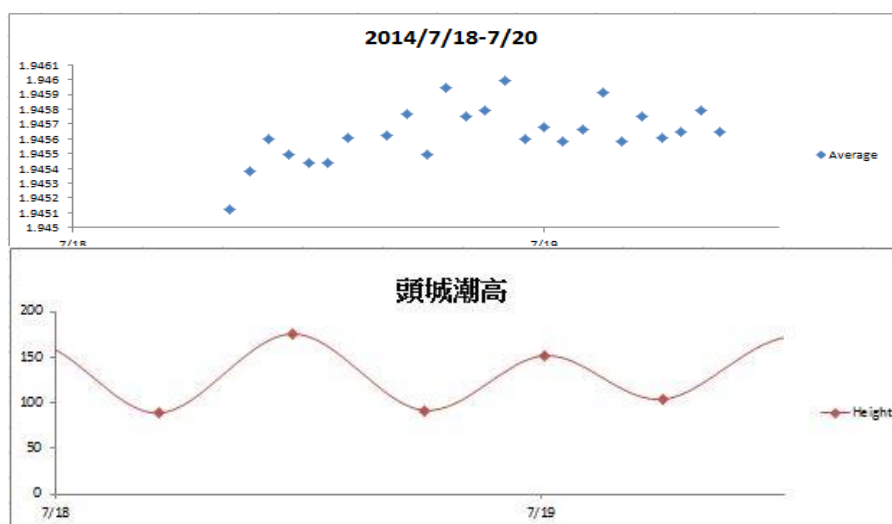
(圖二十一，左圖為數據資料分布圖，右圖為縱軸為潮高，橫軸為時間)

(三) 觀察 1/25 至 1/27 之實驗數據(圖二十二)發現存在兩個趨勢，其一符合潮汐的變化。另一個的產生目前無法明確解釋，但由於該次實驗為間隔三十分鐘測量一次，故本實驗推測另一個趨勢可能與此變因有關。本次實驗數據誤差範圍介於正負萬分之二。



(圖二十二，上圖為數據資料分布圖，橘色線條為符合潮汐的趨勢，下圖為縱軸為潮高，橫軸為時間)

(四) 比對 7/18 至 7/20 之實驗數據與潮高-時刻圖(圖二十三),無法看出數據分布趨勢與潮汐變化趨勢相符,而本次實驗數據之誤差範圍約為正負萬分之七。關於此結果,我們推論實驗數據精確度須達十萬分之一才可看出單擺週期與潮汐之關係,故本次數據因而無法明確觀察到預期之結果。

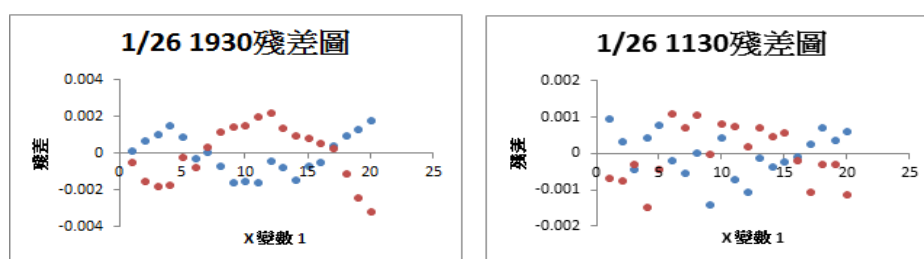


(圖二十三,上圖為數據資料分布圖,下圖為縱軸為潮高,橫軸為時間)

(五) 根據參考資料一的數據,推算出該實驗週期誤差範圍為千分之四秒,而本實驗一月份數據的週期誤差範圍約略萬分之四,故本實驗無法在千分之四秒的尺度下重現參考資料一中「月球影響單擺週期」此結果。

(六) 在 Audacity 音效檔案讀取時間點時,若僅採用第奇(偶)數個時間點,計算後奇數點的單擺週期誤差範圍為萬分之七,偶數點單擺週期誤差範圍為萬分之九。若同時採用第奇數個與第偶數個時間點,兩者分別計算出單擺週期並予以平均,單擺週期誤差範圍為約萬分之五。故讀取音效軟體所記錄單擺週期的時刻,若同時採用第奇數個及第偶數個時刻,可提高數據之精準度。

(七) 觀察同一時刻的奇數點殘差分布與偶數點殘差分布。有些時刻兩者具有對稱性,有些則無,如圖二十四。



(圖二十四,左圖為殘差分布具對稱性,右圖則無對稱性)

(八) 因為大部分的殘差圖呈現奇偶點相互對稱，因此，本實驗推測若為不對稱之情況，可能為環境因素造成的誤差，故繪製週期-時間圖僅採用奇偶點分佈有相互對稱的資料點。

(九) 觀察各筆資料的殘差分布，有些時刻的資料點分布具有特定的週期。因此進行分類。目前尚在探討其週期性出現之原因。

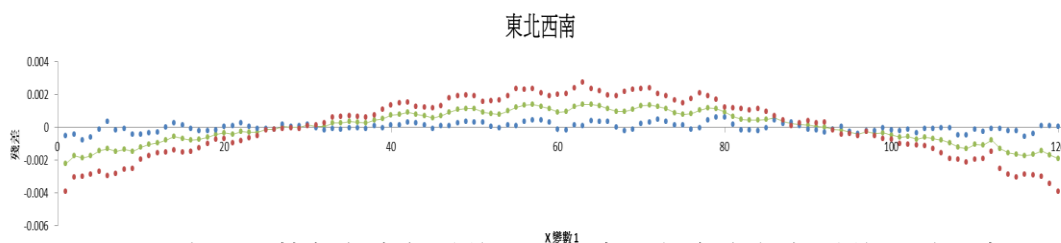
二、實驗二之研究結果

(一) 觀察整理後的數據，重力加速度 g 值最大值發生於擺動方向為正東西向，並非原先預期的西北東南向，如圖二十五。本實驗推測其原因有二：一為實驗數據之精確度須達十萬分之一或更小才能看出山體質量分布對 g 值的影響，一為大屯山系地底下的礦產分布也會影響一地之 g 值，無法僅探討地表上的山體質量分布對 g 值的影響。

	odd	even	平均		
正南北	1.28971	1.2895	1.28961		9.4715
正東西	1.45072	1.45018	1.45045		9.6078
東北西南	1.28984	1.28934	1.28959		9.4717
西北東南	1.45101	1.45032	1.45067		9.6050

(圖二十五)

(二) 觀察實驗二的殘差分布圖，如圖二十六，由單擺擺動次數較實驗一大幅增加，可以明顯看出奇偶點殘差分布的對稱性，且經過平均後的數據其誤差範圍也變小，故本實驗未來進行數據分析會採用奇偶點分佈有相互對稱的資料點，並將奇、偶點的單擺週期平均。



(圖二十六，藍色為奇數點的殘差分布，紅色為偶數點的殘差分布對稱性，綠色為奇、偶點平均後的殘差分布。)

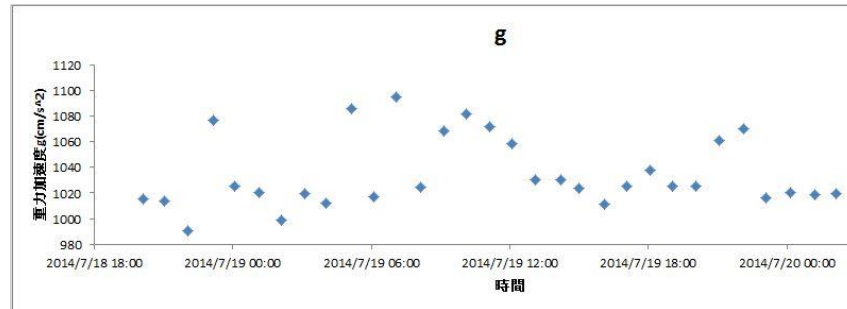
三、實驗三之研究結果

(一) 關於實驗三之一，由於拍攝的圖片解析度不夠高，無法明確判讀鋼珠對應之鋼尺上的刻度，故未繼續進行步驟三，本實驗改良實驗方法為使用紅外線光電閘，

不再使用相機拍攝自由落體墜下。

(二) 7/18 至 7/20 自由落體實驗，本次實驗使用以樂高為主體之自由落體實驗設備。

觀察這段時間內重力加速 g 值隨時間變化的分布情形(圖二十七)，無法看出數據分布趨勢與潮汐變化趨勢相符，觀察縱座標可發現 g 值的分布範圍大於 1000 mm/s^2 ，與理論值 980 mm/s^2 相差甚遠。故本實驗推測因為數據準確度低，導致無法觀察到預期之結果。



(圖二十七，重力加速度 g 值隨時間分布圖)

(三) 由於尚未進行「以壓克力板為自由落體實驗設備主體」的實驗，目前尚無相關結果。

肆、 結論與應用

一、 結論

(一) 本實驗無法在千分之四秒的尺度下重現參考資料一中月球影響單擺週期此結果。

(二) 同時採用奇偶點單擺週期的平均值，單擺週期誤差範圍會降低。

(三) 大部分的奇偶點殘差分布具有對稱性。

(四) 各筆資料的殘差分布部分具有週期性，目前尚無法解釋。

(五) 推測單擺週期應受潮汐影響大於月球引力，但目前仍無法確定

(六) 水體確實對單擺週期有很明顯的影響。

(七) 單擺實驗之數據精確度在萬分之四以內。

(八) 自由落體實驗之數據精確度約百分之一。

二、應用與展望

- 一、本實驗使電腦內建之音效卡搭配音效軟體 Audacity，並多次修正單擺設備及測量流程，目前可得精確度約 ± 0.0002 之數據。
- 二、本實驗發展一套量測單擺週期的方法，未來將繼續修正實驗過程之細節，例如：探討殘差分布之週期性產生的來源，以及此週期性是否影響實驗結果。
- 三、由於本實驗目前所得之結論皆根據潮汐預報進行推測，將以中央氣象局實際觀測的海象資料再驗證。
- 四、由於自由落體實驗之實測數據精確度不如單擺實驗數據，目前尚未達萬分之一，未來將持續改良實驗設備以及實驗方法。
- 五、本實驗研究方法未來可應用於重力加速度之探測，例如應用於地形之探測、地底礦藏之分布。

伍、參考資料

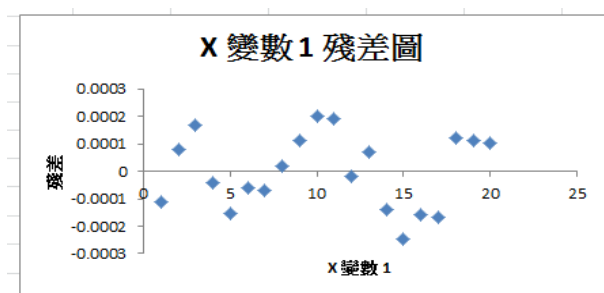
- 一、王允中、陳俊強、黃夢堯、楊上遠著，2007，它抓得住—以自製精密計時器探討 g 世界的奧妙，中華民國第 47 屆中小學科學展覽會國中組第三名作品。
- 二、《93 年台日雙邊絕對重力聯測工作—赴日參訪及聯測工作報告書》，2004，內政部地政司
- 三、Audacity 下載
<http://audacity.sourceforge.net/download/?lang=zh-TW>
- 四、林榆翔，2011，GRACE 衛星重力測量和台灣地表水循環的探討，國立中央大學地球物理研究所碩士論文
- 五、陳春盛，2002，絕對重力測量草案
- 六、《基礎物理(二上 B)》，南一出版社
- 七、《基礎地球科學(上)》，龍騰出版社
- 八、傅學海著，2013，音效卡高精度計時器之拓展，2013 中華民國物理教育聯合會

議口頭論文

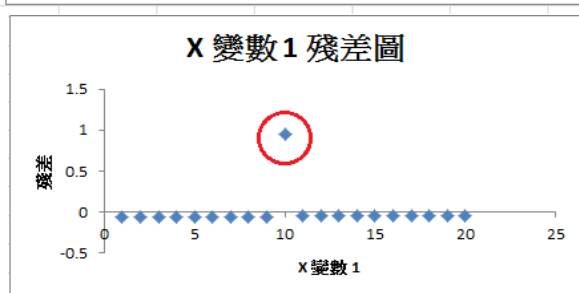
- 九、 李宛倫、吳穎婕、徐子涵著，2011，“音效卡計時器及其應用” 2011 年台灣國際科學展覽會優勝作品專輯
- 十、 江中權、莊文傑、曾相茂著，2006，“潮汐資料之補遺及其在暴潮位萃取之應用” 第 28 屆海洋工程研討會論文集
- 十一、 David Halliday、Jearl WalkerRobert Resnick 著，《Principles of Physics Extended》第九版，全華圖書 2011
- 十二、 《2013 潮汐預報表》、《2014 潮汐預報表》 中央氣象局

陸、 附錄

- 一、以殘差圖檢驗資料讀點是否有誤的情況，圖二十八為讀出來無誤的殘差圖，各點均勻散落在 x 軸兩側，圖二十九則為資料點有誤的殘差圖，有一個明顯偏離平均值的



(圖二十八，隨機分布之殘差圖視為正確。)



(圖二十九，紅色圈圈處可能為錯誤的資料點，必須再重新檢查)

資料點，此時必須檢查該資料點是否輸入錯誤(以 9/20 09:00 奇數點的資料為例)。

- 二、潮汐預報上，關於潮高的紀錄方式有兩種：一為以當地當年中等潮位為基準，一為以當年最低低潮位為基準，相當於最大比例尺海圖基準面，單位均為厘米(cm)，而本實驗採用後者。

【評語】 170005

實驗設計動手操作時以及實驗數據之分析都頗有創意，唯對單擺週期之控制因子以及潮汐月地相對，位置之基本知識以及相對性欠缺了解與討論，可再加強。