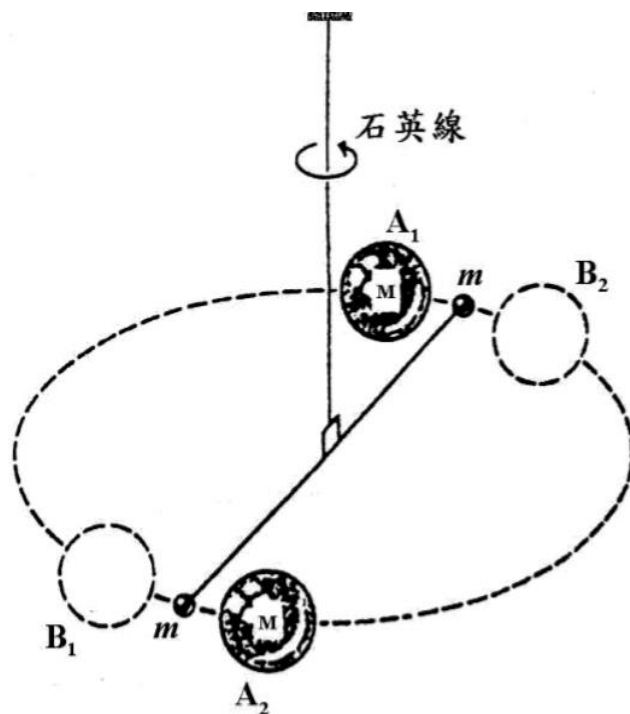


重力常數測定

實驗日期：2018 年 9 月 21 日



姓名：呂長益

學號：106022109

組員：周天朗

學號：106022163

班別：週五班

組別：第 4 組

五、實驗數據

A1A2(13:55)		B1B2(15:32)		A1A2(16:19)		B1B2(17:06)	
時間(sec)	位置(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)
0	80.0	0	90.0	0	60.0	0	90.0
30	70.0	30	77.0	30	47.5	30	83.0
60	61.0	60	66.0	60	38.0	60	73.0
90	53.0	90	55.5	90	32.5	90	59.0
120	47.0	120	48.5	120	32.0	120	53.5
150	43.0	150	44.5	150	35.0	150	51.6
180	41.5	180	43.7	180	41.0	180	51.7
210	43.0	210	46.5	210	51.0	210	55.0
240	46.0	240	51.8	240	62.0	240	60.0
270	51.0	270	59.2	270	73.0	270	68.0
300	58.0	300	67.8	300	85.0	300	76.0
330	65.0	330	77.2	330	94.7	330	85.0
360	71.5	360	86.0	360	102.0	360	93.5
390	78.0	390	94.0	390	106.0	390	100.0
420	82.5	420	100.0	420	106.2	420	104.7
450	85.5	450	103.5	450	104.5	450	107.0
480	87.0	480	104.0	480	100.0	480	105.8
510	86.0	510	101.8	510	92.0	510	103.5
540	83.5	540	97.5	540	84.0	540	99.0
570	80.0	570	91.8	570	75.0	570	93.0
600	75.0	600	85.0	600	66.7	600	87.0
630	69.5	630	78.0	630	59.5	630	80.0
660	64.5	660	71.3	660	54.0	660	74.4
690	60.0	690	65.5	690	51.2	690	69.5
720	56.5	720	61.5	720	50.5	720	66.2
750	54.5	750	59.2	750	52.0	750	64.6
780	53.5	780	58.5	780	55.5	780	64.5
810	54.0	810	59.8	810	60.8	810	66.5
840	56.0	840	62.7	840	67.0	840	69.8
870	59.0	870	66.7	870	73.0	870	74.5
900	62.5	900	72.0	900	79.6	900	79.0
930	67.5	930	77.0	930	85.3	930	83.8
960	70.5	960	81.8	960	89.4	960	88.3
990	74.0	990	86.4	990	91.6	990	92.0

1020	76.5	1020	89.5	1020	92.3	1020	94.6
1050	78.5	1050	91.5	1050	91.0	1050	95.7
1080	79.0	1080	91.8	1080	88.5	1080	95.5
1110	78.5	1110	91.0	1110	84.3	1110	94.3
1140	77.0	1140	88.7	1140	79.6	1140	91.7
1170	75.0	1170	85.5	1170	74.7	1170	88.4
1200	72.0	1200	81.7	1200	70.0	1200	84.9
1230	69.0	1230	77.7	1230	66.2	1230	81.2
1260	66.5	1260	74.3	1260	63.0	1260	77.7
1290	64.0	1290	71.0	1290	61.4	1290	75.3
1320	62.0	1320	68.7	1320	61.5	1320	73.3
1350	60.5	1350	67.7	1350	62.0	1350	72.4
1380	60.5	1380	66.9	1380	63.5	1380	72.6
1410	61.0	1410	67.5	1410	66.5	1410	73.7
1440	61.5	1440	69.0	1440	69.7	1440	75.7
1470	63.5	1470	71.4	1470	73.5	1470	78.0
1500	65.5	1500	74.0	1500	77.0	1500	80.5
1530	67.5	1530	77.0	1530	80.0	1530	83.3
1560	69.7	1560	79.5	1560	82.4	1560	85.5
1590	71.5	1590	82.3	1590	83.8	1590	87.8
1620	73.0	1620	84.0	1620	84.2	1620	89.0
1650	74.0	1650	85.1	1650	83.5	1650	89.7
1680	74.5	1680	85.6	1680	82.0	1680	89.6
1710	74.0	1710	85.0	1710	80.0	1710	88.6
1740	73.5	1740	83.7	1740	77.3	1740	87.2
1770	72.2	1770	82.0	1770	74.4	1770	85.3
1800	70.5	1800	80.0	1800	71.6	1800	83.3
1830	69.2	1830	78.0	1830	69.5	1830	—
1860	67.5	1860	75.5	1860	68.0	1860	—
1890	66.0	1890	74.0	1890	67.0	1890	—
1920	65.0	1920	—	1920	—	1920	—
1950	64.3	1950	—	1950	—	1950	—
1980	64.0	1980	—	1980	—	1980	—
2010	64.3	2010	—	2010	—	2010	—
2040	65.0	2040	—	2040	—	2040	—
2070	65.8	2070	—	2070	—	2070	—
2100	66.8	2100	—	2100	—	2100	—

基本已知參數

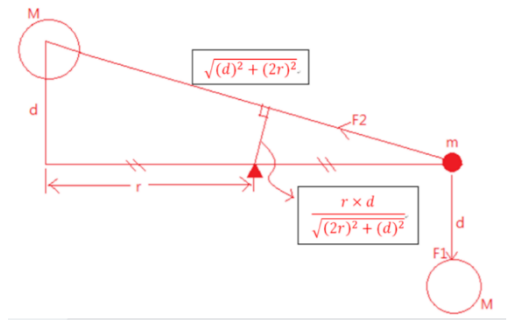
反射鏡至刻度尺距離： $L_1=248.7\text{ cm}$ ， $L_2=268.7\text{ cm}$

大球：質量 $M=1500\text{ g}$ ，半徑 $R=32\text{ mm}$

小球：質量 $m=15\text{ g}$ ，半徑 $r=6.9\text{ mm}$

大球與小球之連心距離 $d=46.5\text{ cm}$

力矩修正項 $\alpha=0.7969$



測量時間紀錄

L_1 組紀錄：

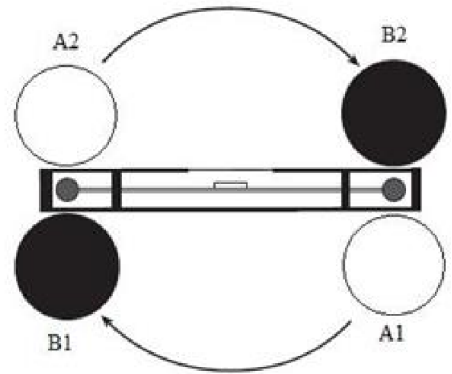
13:55~14:30 A1A2 位置

15:32~16:04 B1B2 位置

L_2 組紀錄：

16:19~16:51 A1A2 位置

17:06~17:36 B1B2 位置



計算重力常數

重力常數計算公式： $G=\frac{\pi^2 r^* d^2 \Delta x}{\alpha M L T^2}$ ；重力常數公認值 $G=6.67 \times 10^{-11}\text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$

其中 r^* 為有效力臂長，並非小球半徑！

L_1 組：

A1A2 平衡點位置：65.5 cm，B1B2 平衡點位置：77.0 cm $\Rightarrow \Delta x = 11.5\text{ cm}$

週期 T ：660 s

重力常數 $G_1=6.06 \times 10^{-11}\text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$

差異百分率(相對誤差)：9.07%

L_2 組：

A1A2 平衡點位置：69.7 cm，B1B2 平衡點位置：80.5 cm $\Rightarrow \Delta x = 10.8\text{ cm}$

週期 T ：600 s

重力常數 $G_2=6.38 \times 10^{-11}\text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$

差異百分率(相對誤差)：4.37%

重力常數—算術平均數 $\bar{G}=6.22 \times 10^{-11}\text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$

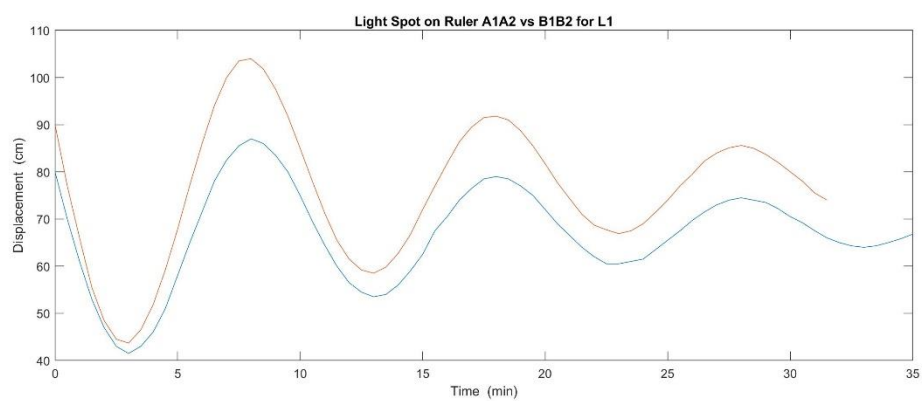
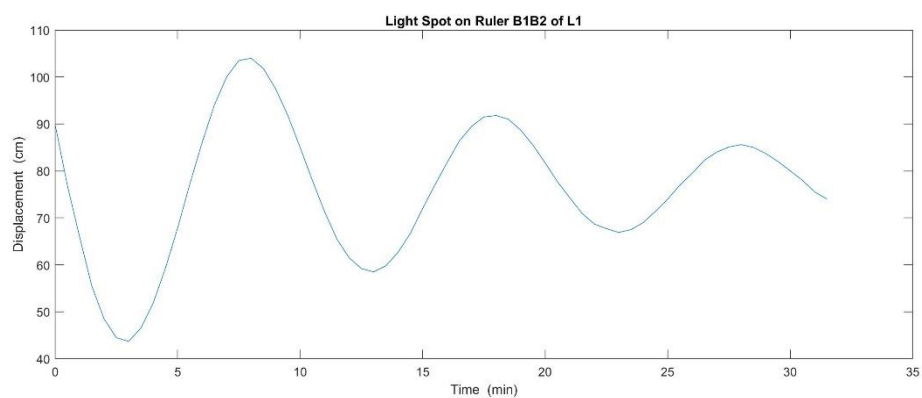
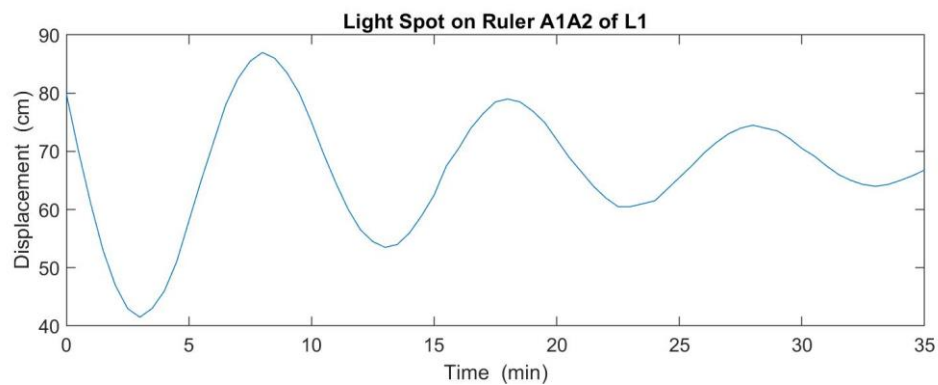
重力常數—平均標準差 $\bar{\sigma}_G=1.11 \times 10^{-12}$

六、數據分析

L₁ 組：

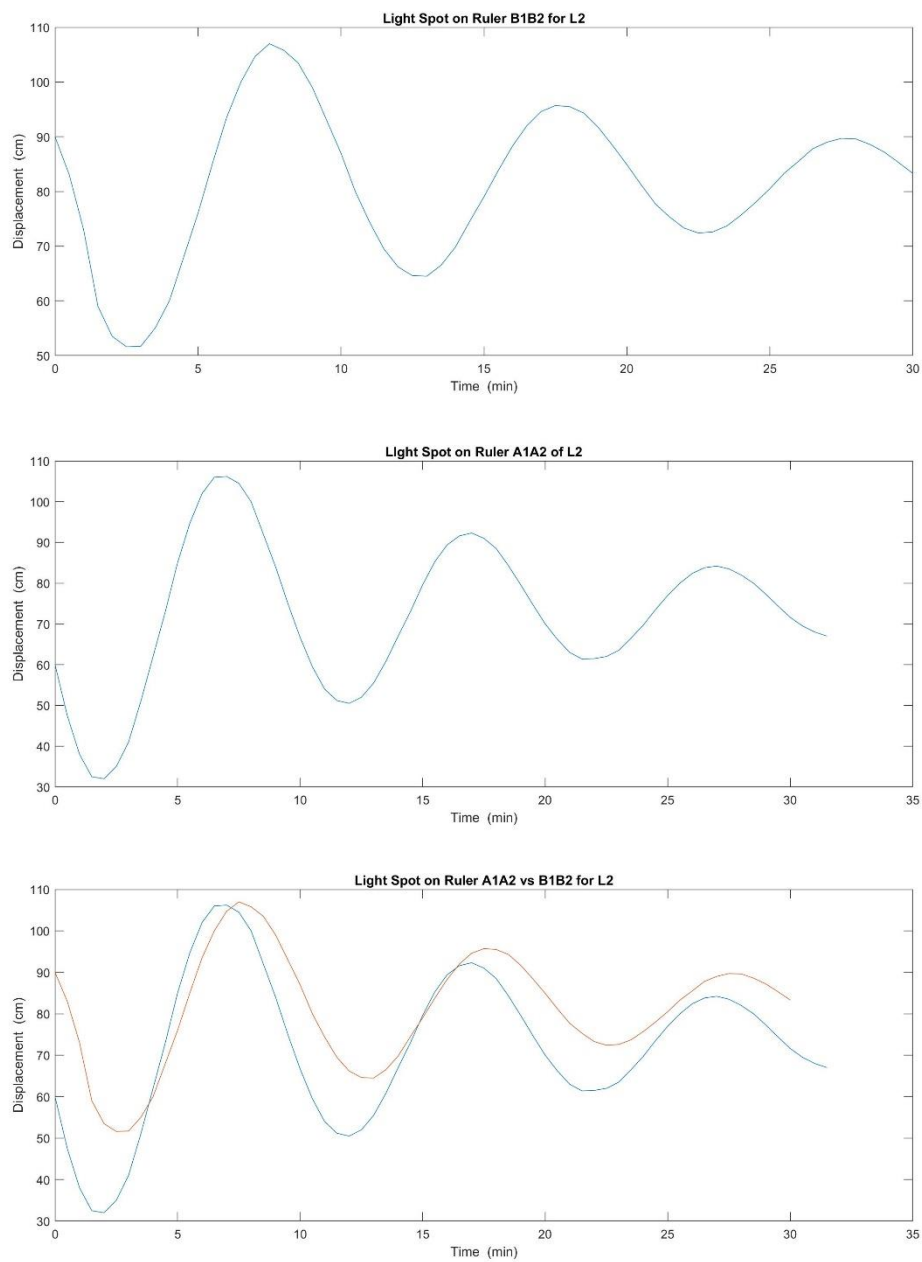
從圖形上看，A1A2 和 B1B2 的位置函數大致吻合阻尼震盪的特性。

疊圖後，亦能清楚找到平衡線位置。然而在 A1A2 切換成 B1B2 時，我們發現原先所給予的外界驅動能量殘餘已不足產生明顯的週期運動，將導致人為觀察誤差大幅增加，因此得重新放上大球對來提供額外的驅動能量。



L₂ 組：

從圖形上來看，A1A2 和 B1B2 的位置函數大致吻合阻尼震盪的特性。



可能造成誤差的原因有以下幾個：

1. 測量過程中，發生了難以預期的些微震盪(無法避免，非直接人為性的)。
2. 光點的面積不小，很難每次都捕捉到光點中心的真實位置，導致誤差累積。
3. 每次給予的驅動力不同(重新放上大球)，因此等待平衡時的標準也不同，產生些微的統計誤差。

七、問題與討論

1. 用 origin 作圖時，改變球位置後的最早 1-2 週期內觀測的點，在 fitting 時不可採用，原因為何？

答：因為改變球位置後最早 1-2 週期內觀測的點上處於未平衡狀態，振幅過大導致難以測量，因此 fitting 時不可採用（雖然我不是用 origin）。

2. 計算轉動慣量，是假設

(a) 小球為質點 (b) 反射鏡轉動慣量為零 (c) 細棒轉動慣量為零。

以上假設對於 I 值有什麼影響？

答：(a) 因為小球半徑 r 遠小於本裝置扭擺的旋轉半徑 r^* ，故將其視為質點

並不會有太大影響 ($I = 2mr^{*2} \approx 2mr^{*2} + 2 \times \frac{2}{5}mr^2$)

(b) 此假設會造成本實驗的轉動慣量不如實際的轉動慣量大小

(c) 此假設會造成本實驗的轉動慣量不如實際的轉動慣量大小

3. 以上假設對於實驗結果中的 Δx 或 T 值是否有影響？

答：擺線所受總力矩為 $\tau = \kappa\theta$ ，又 $\kappa = I\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$ ，所以以上假設確實會影響 T 值
理論上 Δx 值並不會受此影響。

4. 大/小球是否是完美球體，會影響實驗誤差嗎？

答：基本上不會影響實驗誤差，完美球體的優點是重心將集中在球心位置；

然而對於大致球形而言，我們依然可將其視為等效完美球體。

只要引力中心沒有過度偏離球心，那麼對於實驗誤差的影響就不大。

5. 玻璃盒內是否抽成真空會影響實驗進行嗎？

答：會，原本實驗進行是在玻璃盒中有細微空氣阻力的情形下，所以會產生
阻尼震盪的現象；不考慮裝置本身的摩擦力狀況，若將玻璃盒抽成真空，
則回復成理想簡諧震盪。但對於 G 值而言，會影響最終 Δx 值與 T 值，
可能會使 G 值略有浮動。