

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

030108

鉛錘擺連

學校名稱：雲林縣立北港國民中學

作者：	指導老師：
國一 許芳瑜	蘇億晉
國一 杜庭儀	蔡易達

關鍵詞：單擺、擺角、週期

摘 要

自然課時，利用單擺的規律性與等時性，觀察其擺動情形，了解週期與頻率。我們在單擺的下方，放置磁鐵，觀察擺動情形是否會改變。

我們發現鉛錘擺動呈現螺旋狀，因擺角不同而產生不同的軌跡；我們進行錄影及量測後，雖然擺角不同時，量測的週期均接近 2 秒，符合週期公式 $T = 2\pi \times \sqrt{\frac{L}{g}}$ 。利用 Tracker 軟體進行質點的量測，發現速度、加速度及動能會產生規律變化；再者，運動軌跡均不會通過磁鐵中心，每次週期之路徑會構成平滑曲線。將磁鐵等距放置於單擺四周，當距離越近時，擺角越大，路徑的偏轉越明顯，且與一個磁鐵，擺角 7 度與 10 度時，所形成之圖形類似。

由此可知，磁鐵會影響單擺的運動軌跡，但不會影響其單擺週期。

壹、研究動機

在科學社團上課中，老師對大家提出一個現象，單擺來回擺動具規律性及等時性，因此利用這一項特性，設計出計時工具。在實驗室中，我們將磁鐵放在單擺的下方，卻發現了單擺原本單調的來回軌跡，產生了變化，這不禁使我們想知道單擺與磁鐵間的交互作用。

貳、研究目的

- 一、了解外加磁場對於單擺運動的影響
- 二、嘗試找出外加磁場單擺運動之規律性。不同的擺動角度時磁場對單擺之影響，如擺動軌跡之變化、週期、速度及動能等。

參、研究設備及器材

本研究為了想完整記錄外加磁場對單擺運動之影響，花許多心思在改進研究設備。

一、實驗器材

- (一) 研究設備：5000 克鉛錘一顆、量角器、200 公分直尺、尼龍製下振線 200 公分、貓砂 4 包、強力磁鐵 4 個、透明墊板
- (二) 實驗記錄：木製紀錄台、攝影機、照相機、方格紙實驗紀錄簿、
- (三) 數據分析：電腦、Tracker 軟體、Excel 軟體

二、研究設備討論過程及最後完成圖



圖 1 討論研究設備草圖

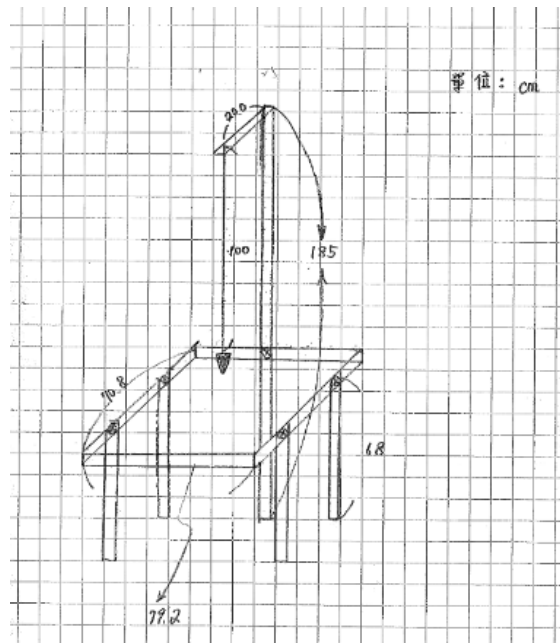


圖 2 第三版設計圖(手稿)

備註：磁鐵埋入貓砂之中



圖 3 第三版研究設備完成圖



圖 4 第三版研究設備完成圖

肆、研究過程或方法

一、我們先製作了小型簡易的裝置(如圖 5)進行驗證，以了解實驗進行的可行性。

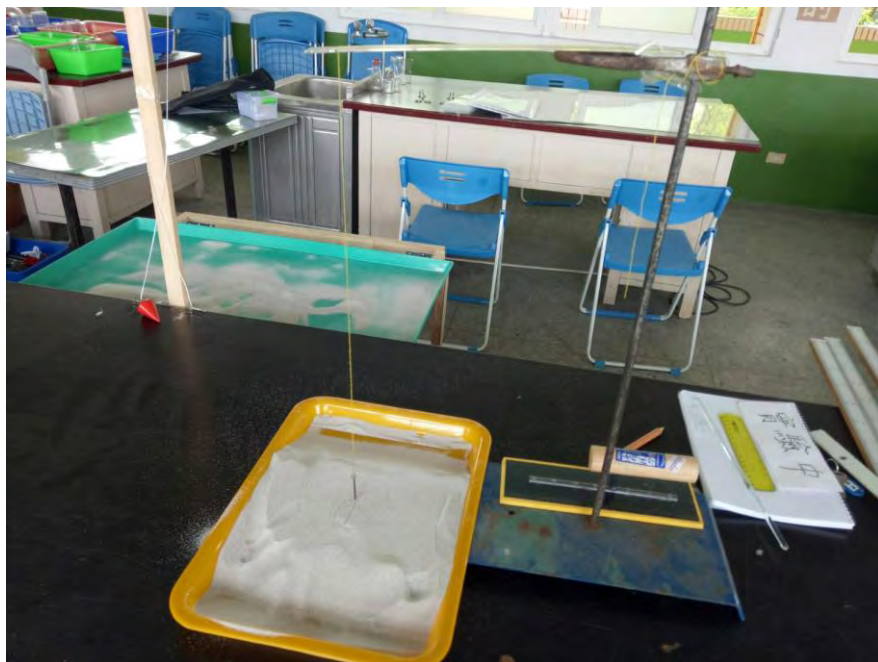


圖 5 小型簡易裝置



圖 6 小型簡易裝置使用方式

二、驗證實驗的可行性後，我們設計大型的實驗機台(如圖 7)，經過討論及改進後研究設備(如圖 8)，以利後續實驗的觀察紀錄。

三、控制擺長 ($L=100$ 公分)，改變不同的角度($\theta = 3^\circ$ 、 5° 、 7° 和 10°)



圖 7 第二版實驗機台



圖 8 第三版研究設備

四、發現不同的擺角，鉛錘在沙盤上有不同的軌跡，因此我們想利用攝影的方式，了解在不同擺角週期是否有變化，另外由於量測擺角在 10 度及 15 度時，其質點之速度、加速度及動能的變化情形。因此針對研究設備再加以改進，其設計概念是以攝影棚的方式，在底部放置透明板，讓攝影機能清楚無干擾紀錄鉛錘的擺動(如圖 10)。



圖 9 第四版研究設備



圖 10 第四版研究設備裝設攝影機

五、若將磁鐵擺放方式改變，如擺放四個強力磁鐵形成正方形，而單擺中心位於正方形之對角線交點，使得單擺與各磁鐵之間距離 10 公分及 20.15 公分，利用沙盤進行不同擺角、不同距離時擺動軌跡之圖形紀錄。

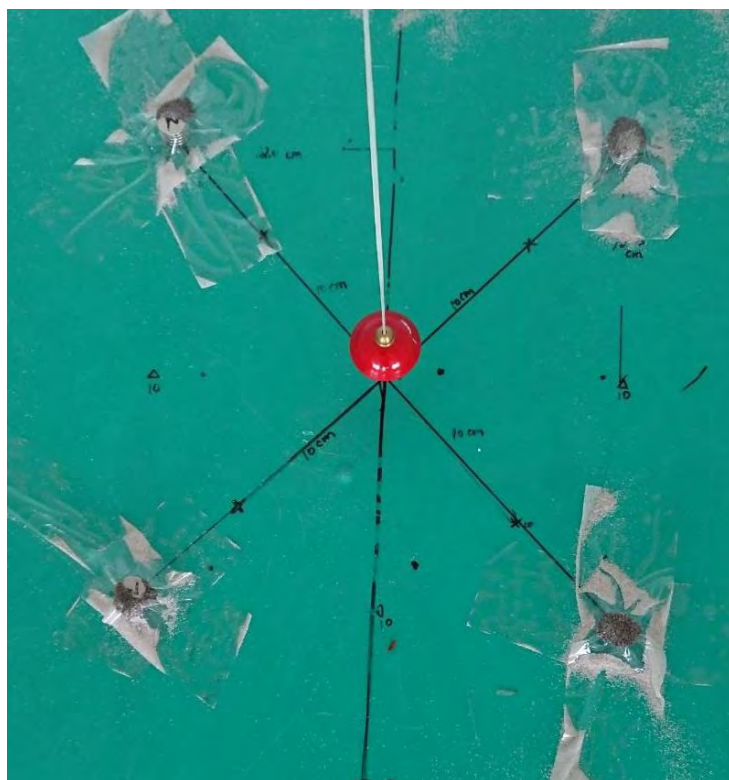


圖 11 四個磁鐵與單擺擺設方式示意圖

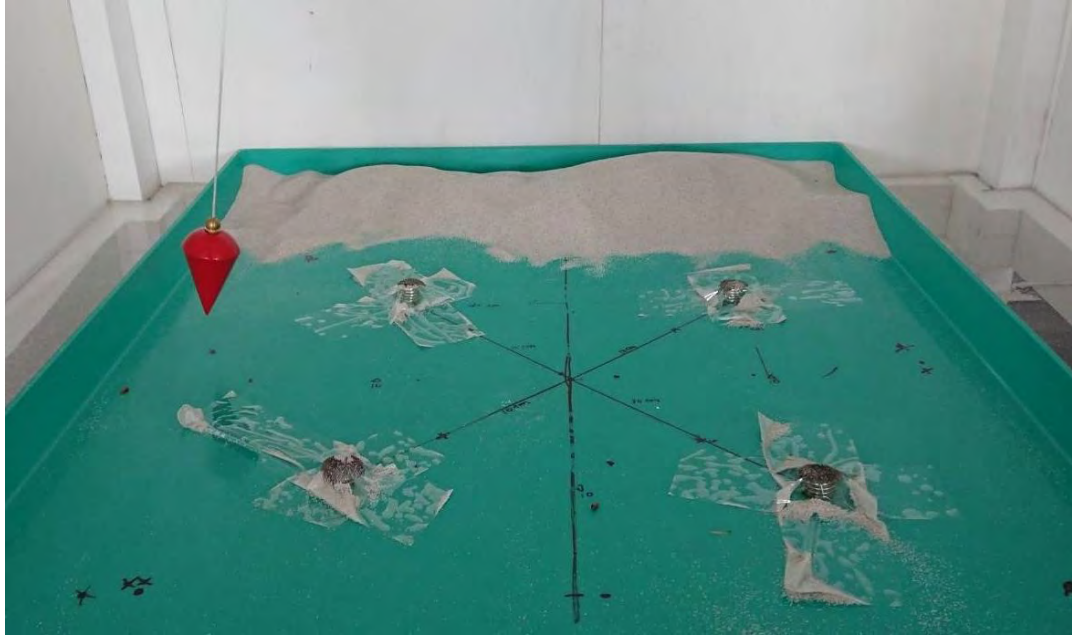


圖 12 單擺與磁鐵距離 20.15 公分，擺動方式由左而右(X 軸)

伍、研究結果

- 一、利用小型簡易裝置驗證實驗的可行性，從實驗結果發現鐵釘會受埋於沙子下方之強力磁鐵的影響，而產生圓弧狀的圖形。


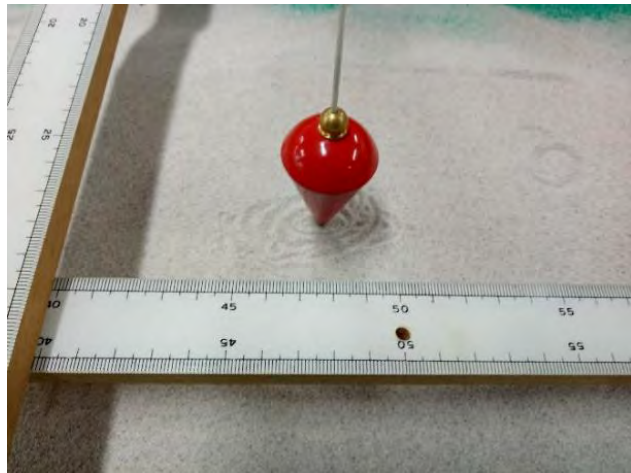



圖 13 小型簡易裝置實驗過程及實驗結果

二、固定擺長，擺角改變時，記錄其單擺運動軌跡之圖形紀錄。

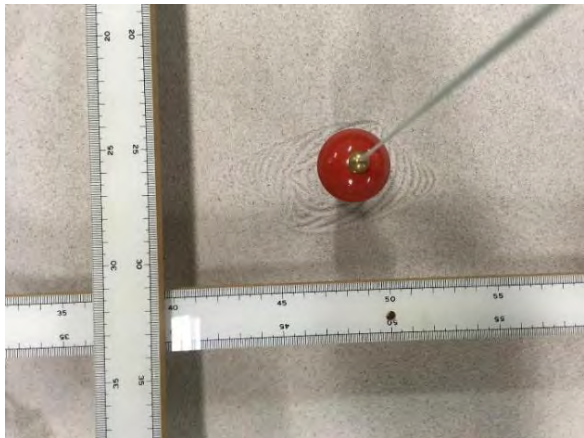
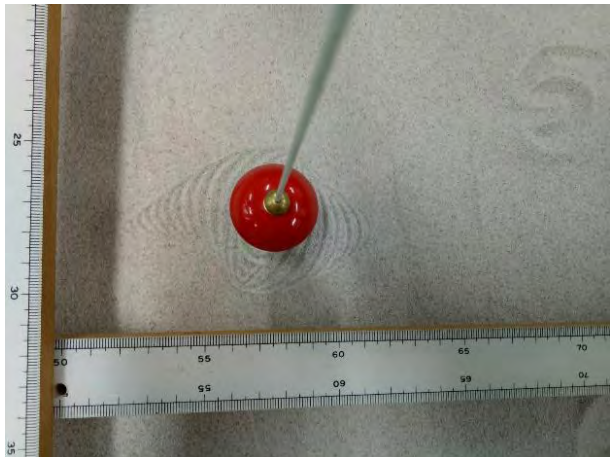
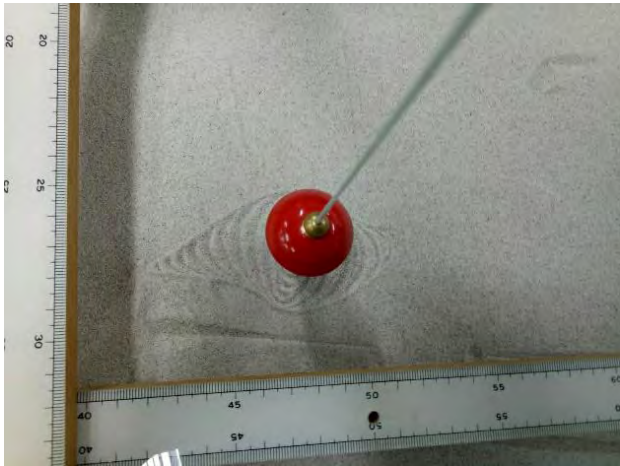
(一)擺角為 3 度，其單擺擺動左右來回，軌跡呈圓弧方式，最後長 5 公分，寬 2 公分的螺旋。

表 1 擺角為 3 度之擺動軌跡的圖形紀錄

	圖形	長	寬
1		4.90cm	1.90 cm
2		5.20 cm	2.20 cm
3		4.40 cm	1.80cm

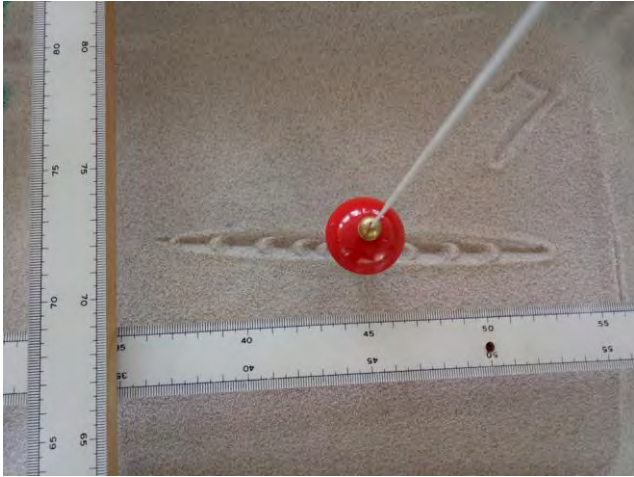


(二) 擺角為 5 度，其單擺擺動左右來回，軌跡呈圓弧方式，最後長 10 公分，寬 4.5 公分的類似羅宋麵包的花紋。

表 2 擺角為 5 度之擺動軌跡的圖形紀錄

	圖形	長	寬
1		10.3cm	5.00 cm
2		9.80cm	4.90 cm
3		9.60cm	4.00cm

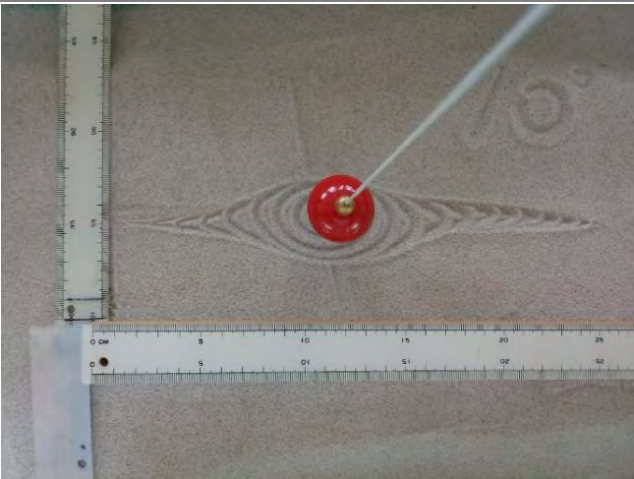
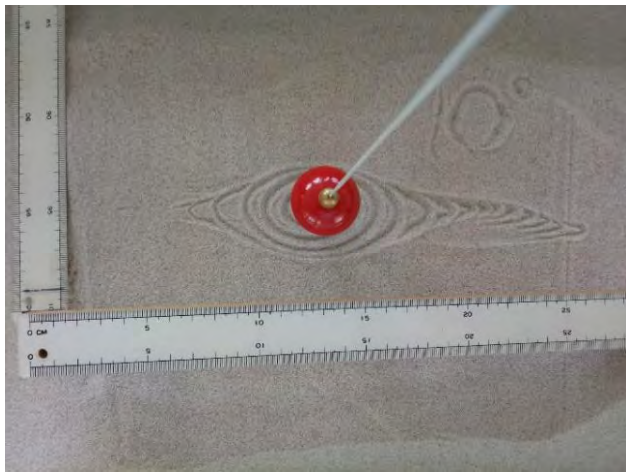
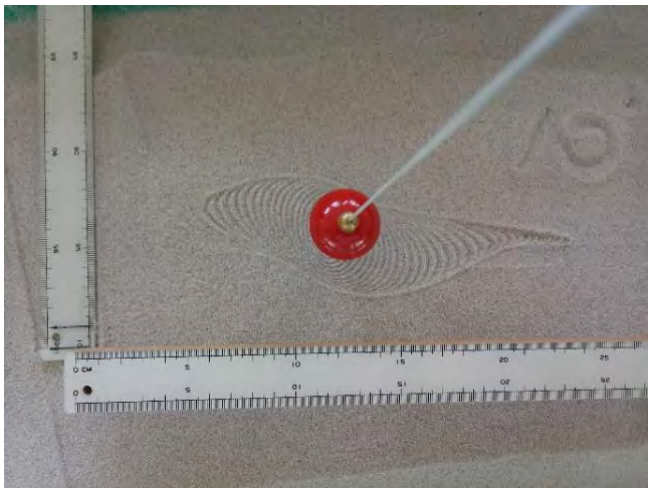
(三) 擺角為 7 度，其單擺擺動左右來回，軌跡呈圓弧方式，最後長 19 公分，寬 1.4 公分的類似螺絲釘上的螺紋形式。

表 3 擺角為 7 度之擺動軌跡的圖形紀錄

	圖形	長	寬
1		17.1cm	1.40 cm
2		19.9cm	1.30 cm
3		18.3cm	1.50cm

(四) 擺角為 10 度，其單擺擺動左右來回，軌跡呈圓弧方式，最後長 23 公分，寬 5 公分的類似燒酒螺的形狀。

表 4 擺角為 10 度之擺動軌跡的圖形紀錄

	圖形	長	寬
1		23.7cm	4.50 cm
2		23.4cm	5.20 cm
3		23.40cm	6.00cm

三、利用第四版研究設備進行鉛錘擺動情形之攝影，並利用 Tracker 量測質點之週期、速度及加速度之變化。

(一)週期變化：根據單擺的擺動影片，量測在不同的擺角時，各進行 50 次的紀錄，發現其規律，如表 5 顯示其不同擺角、擺長的週期之平均值，量測記錄整理如，週期均在 2 秒上下。

表 5 不同擺角、擺長的週期(單位：秒)之平均值

擺長	擺 角				
	3 度	5 度	7 度	10 度	15 度
90.5	1.9618	2.021	2.0588	2.1192	2.2358
93.5	1.9774	2.018	2.0642	2.1548	2.244
96.5	1.7172	1.96	2.0612	2.1426	2.2796

資料來源：研究者自行整理

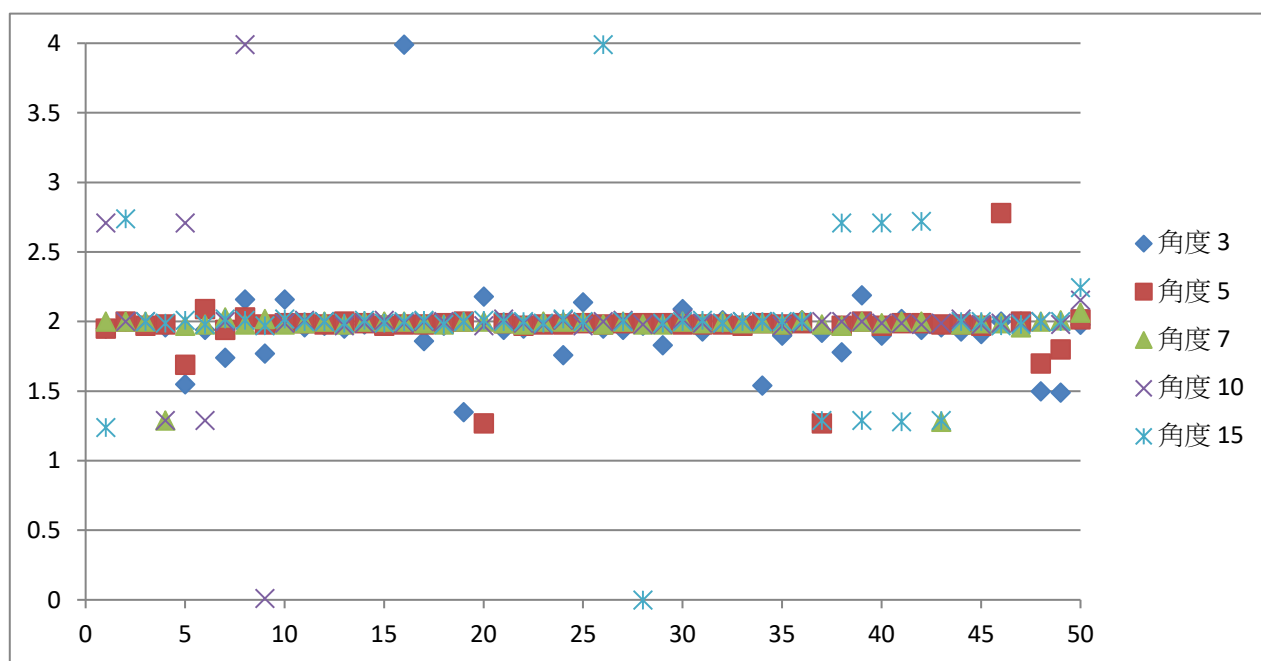


圖 14 擺長 93.5 公分的 50 次量測結果

(二)速度、加速度及動能變化：討論 10 度及 15 度時，觀測其 100 秒單擺運動的橫向和縱向之速度、加速度及動能變化情形，整理如下。

1. 擺角 10 度之橫向變化情形：如圖 15 所示，我們可以發現速度、加速度及動能呈

現規律變化，取出其中 10 秒的變化情形繪製散佈圖，從圖 16 發現其中速度與動能之規律變化情形類似，加速度的最大值發生在速度最大值之前後 0.2 秒左右。

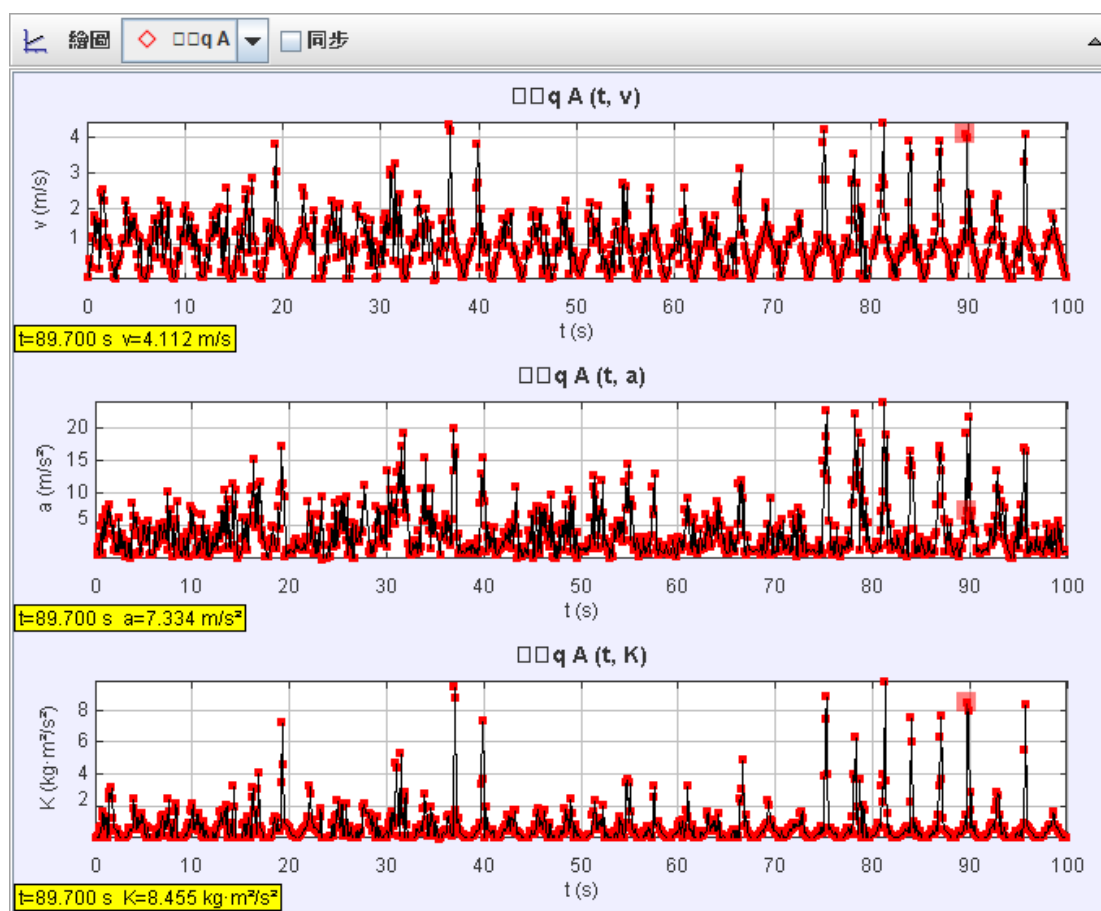


圖 15 擺角 10 度之橫向速度、加速度及動能的 100 秒變化情形

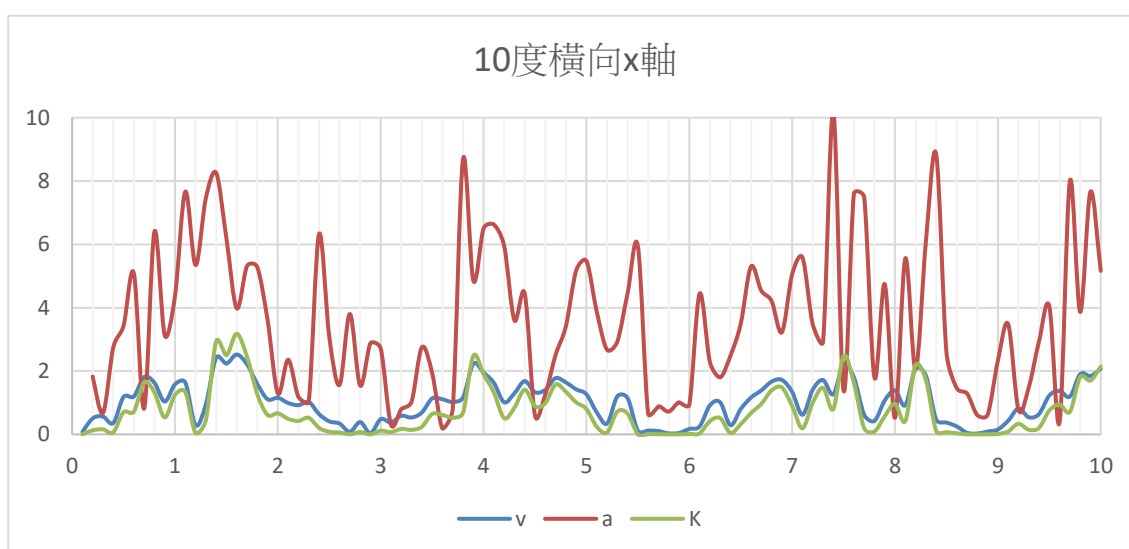


圖 16 擺角 10 度之橫向速度、加速度及動能的 10 秒變化散佈圖

2. 擺角 10 度之縱向變化情形：如圖 17 所示，我們可以發現速度、加速度及動能呈現規律變化，取出其中 10 秒的變化情形繪製散佈圖，從圖 18 發現縱向速度與動能之規律變化情形類似，且符合表 4 呈現之寬變化幅度不大。加速度的最大值發生在速度最大值之前後 0.2 秒左右。

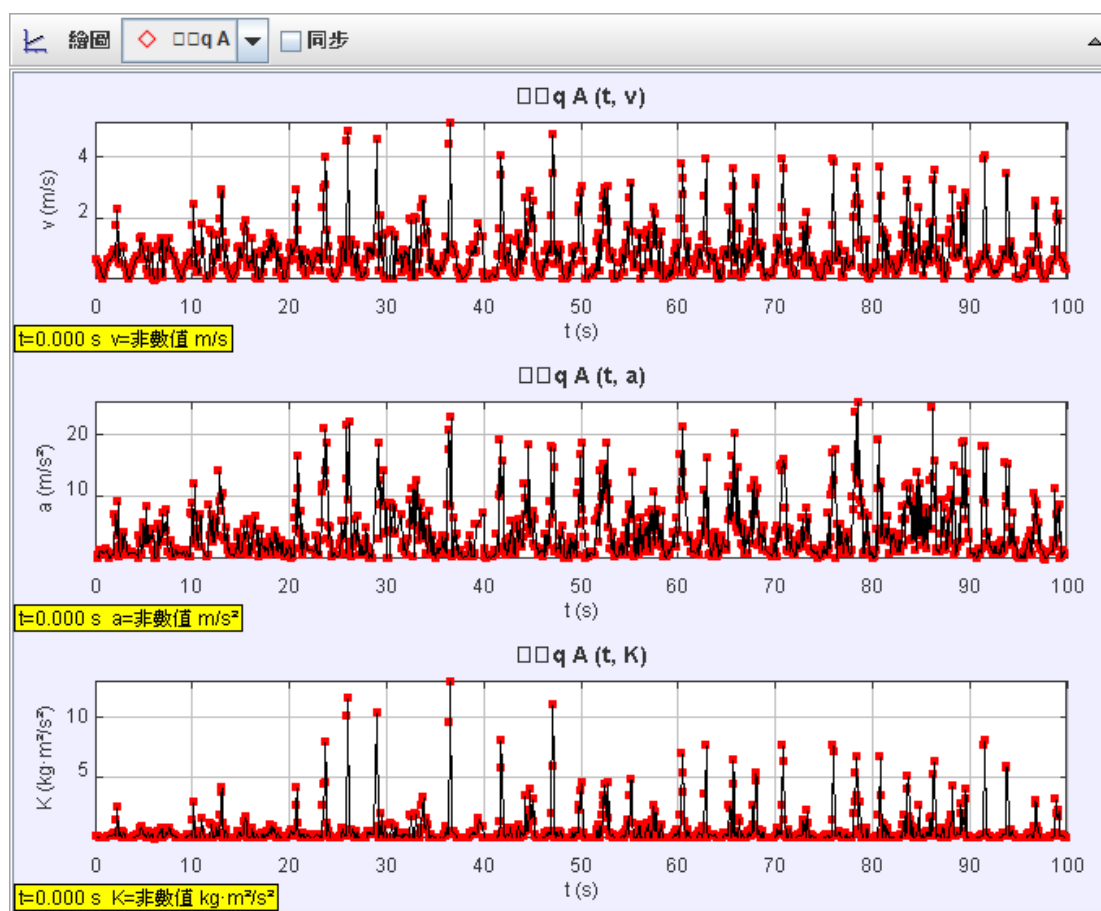


圖 17 擺角 10 度之縱向速度、加速度及動能的 100 秒變化情形

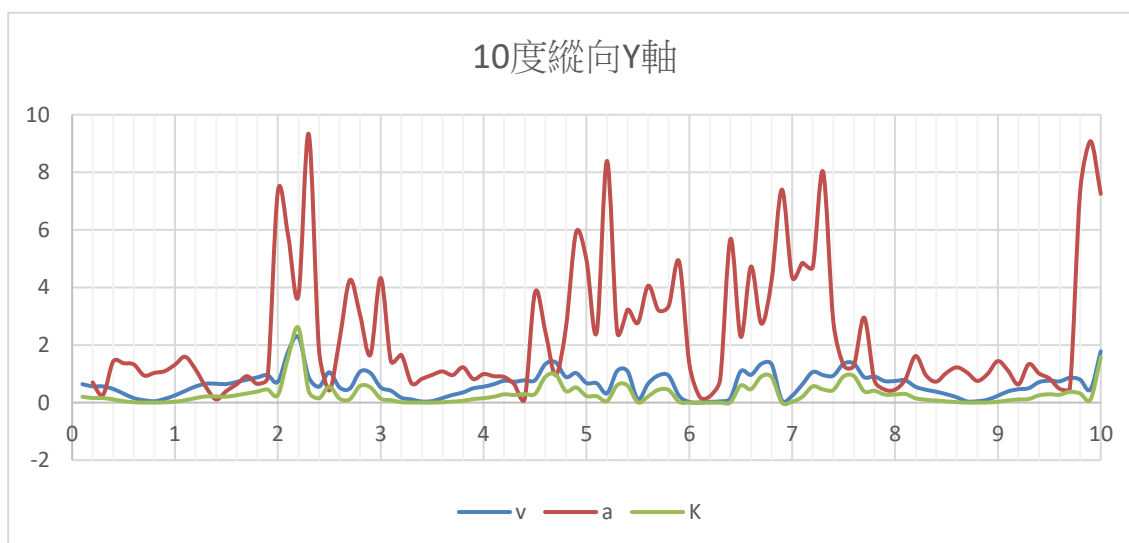


圖 18 擺角 10 度之橫向速度、加速度及動能的 10 秒變化散佈圖

3. 擺角 15 度之橫向變化情形：如圖 19 所示，我們可以發現速度、加速度及動能呈現規律變化，取出其中 10 秒的變化情形繪製散佈圖，從圖 20 發現縱向速度與動能之規律變化情形類似，另外加速度的最大值發生在速度最大值之前後 0.2 秒左右。

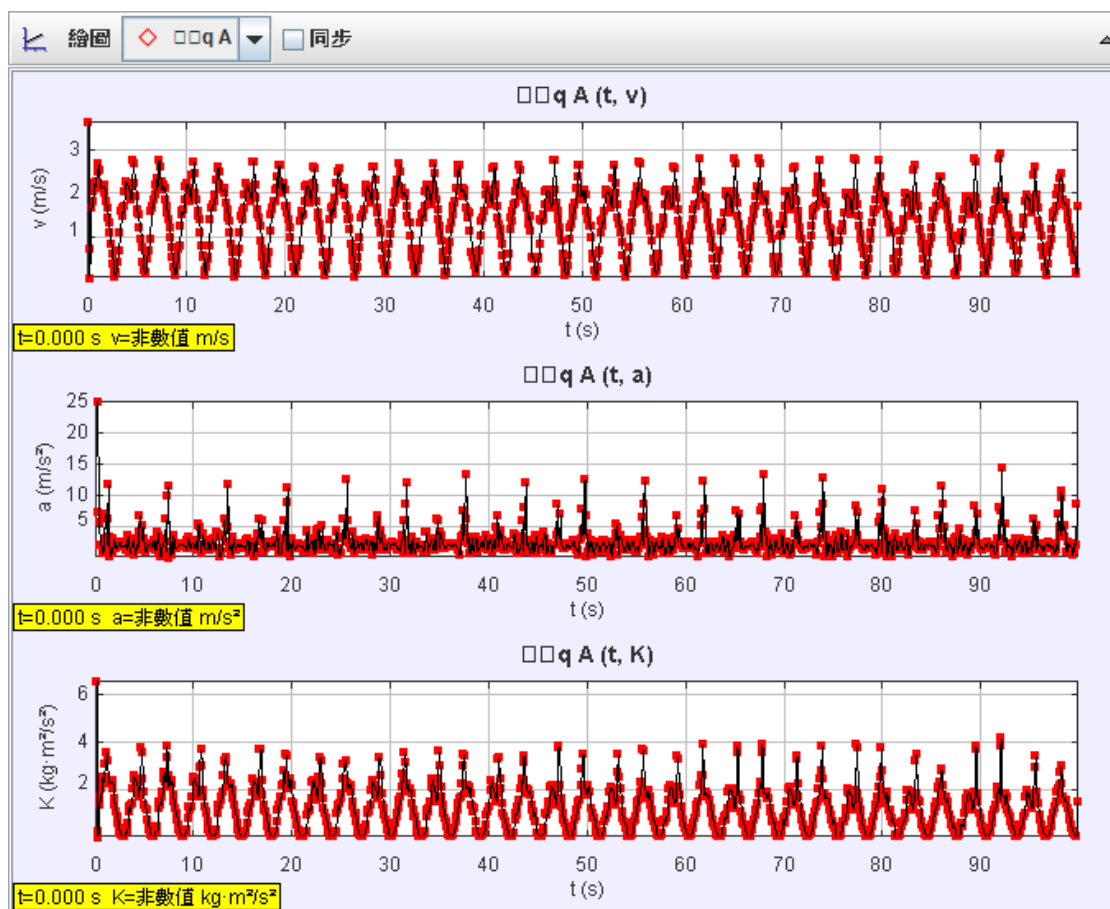


圖 19 擺角 15 度之橫向速度、加速度及動能的 100 秒變化情形

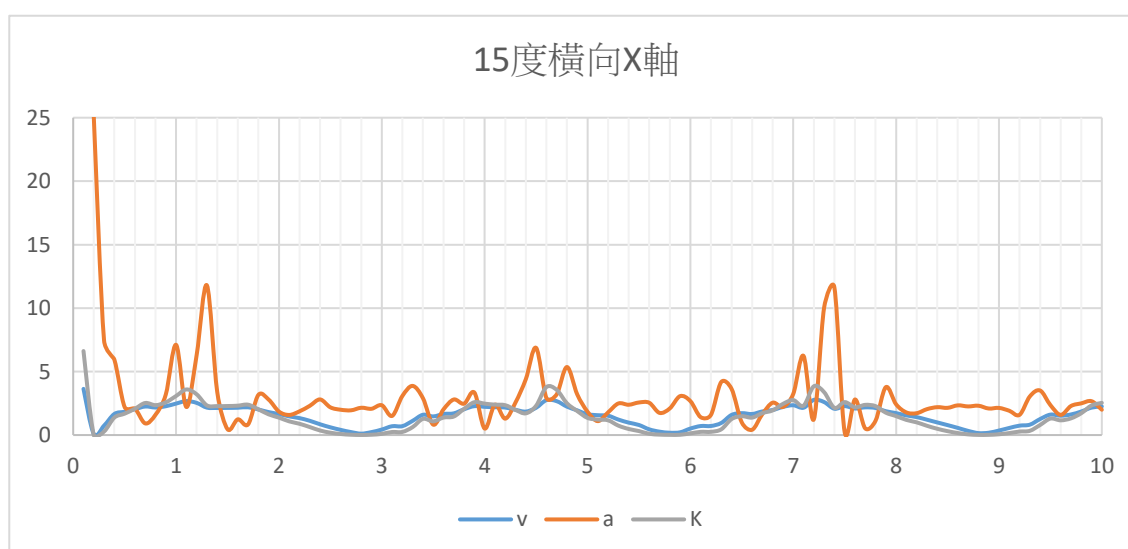


圖 20 擺角 15 度之橫向速度、加速度及動能的 10 秒變化散佈圖

4. 擺角 15 度之縱向變化情形：如圖 21 所示，我們可以發現速度、加速度及動能呈現規律變化，取出其中 10 秒的變化情形繪製散佈圖，從圖 26 發現縱向速度與動能之規律變化情形類似，且與之前擺動軌跡之圖形紀錄的寬度變化幅度不大雷同，另外加速度的最大值發生在速度最大值之前後 0.2 秒左右。

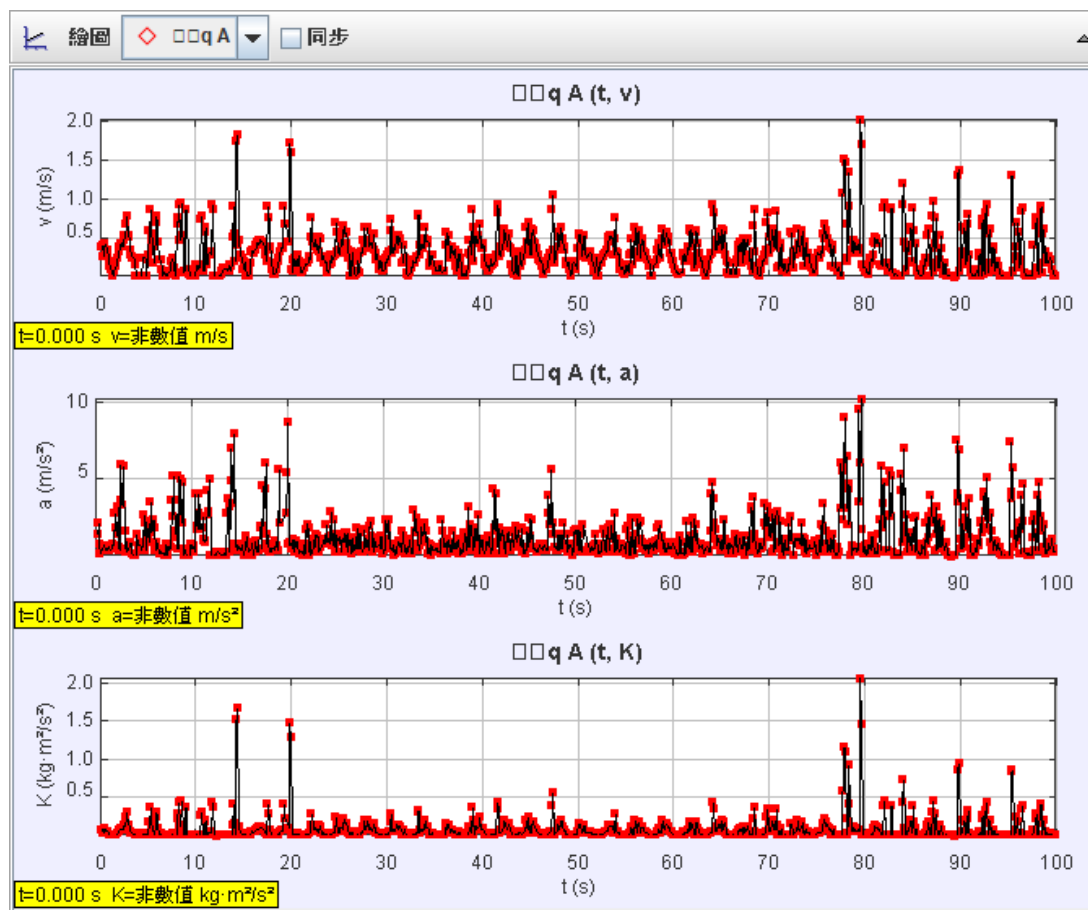


圖 21 擺角 15 度之縱向速度、加速度及動能的 100 秒變化情形

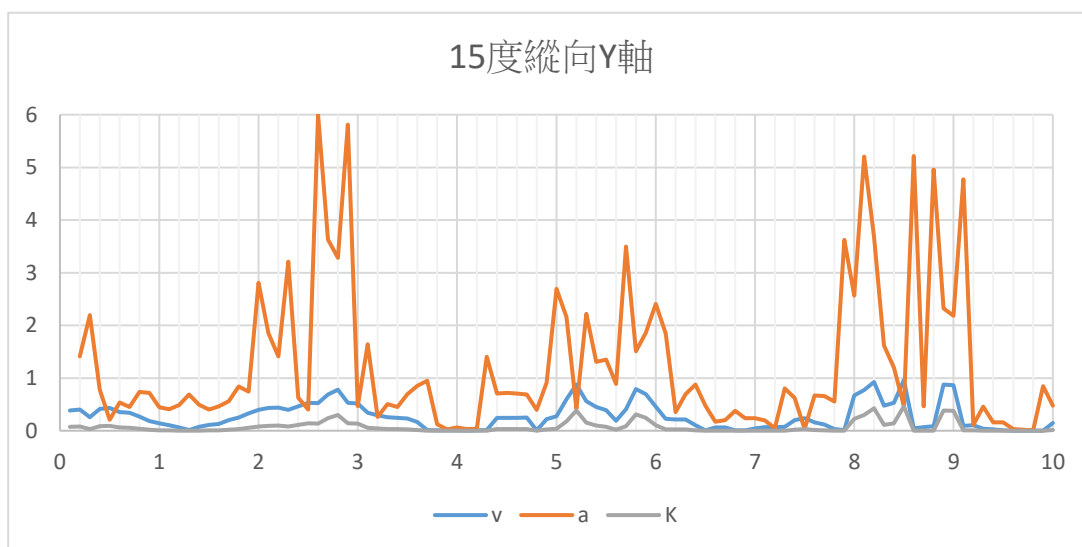


圖 22 擺角 15 度之縱向速度、加速度及動能的 10 秒變化散佈圖

5. 利用 Tracker 軟體質點追蹤軌跡，發現在 15 度時，軌跡以逆時鐘旋轉，因攝影機裝設及拍攝方式，紀錄圖形呈現順時鐘旋轉；根據圖 23 及圖 24 所示，質點軌跡在 0~200 秒間，均不通過磁鐵中心(原點)。

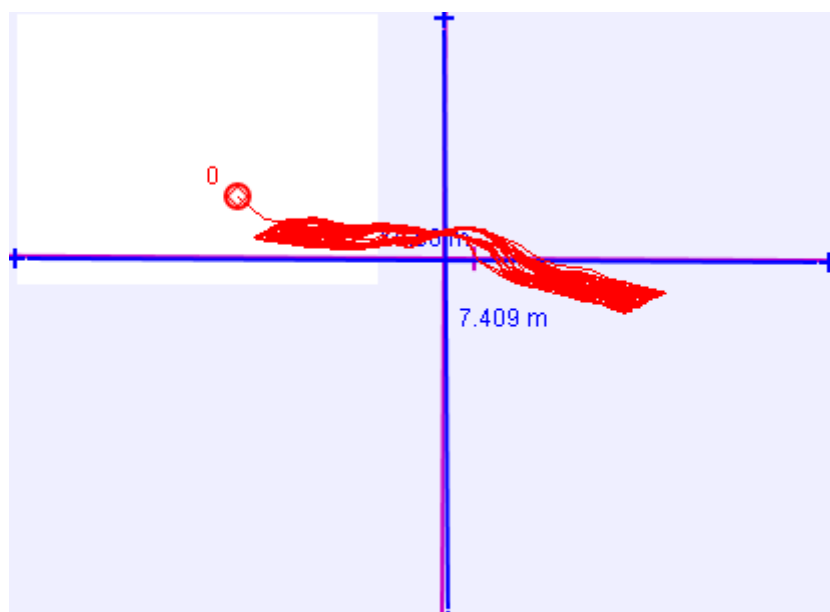


圖 23 Tracker 軟體繪製擺角 15 度時單擺質點軌跡(0~100 秒)

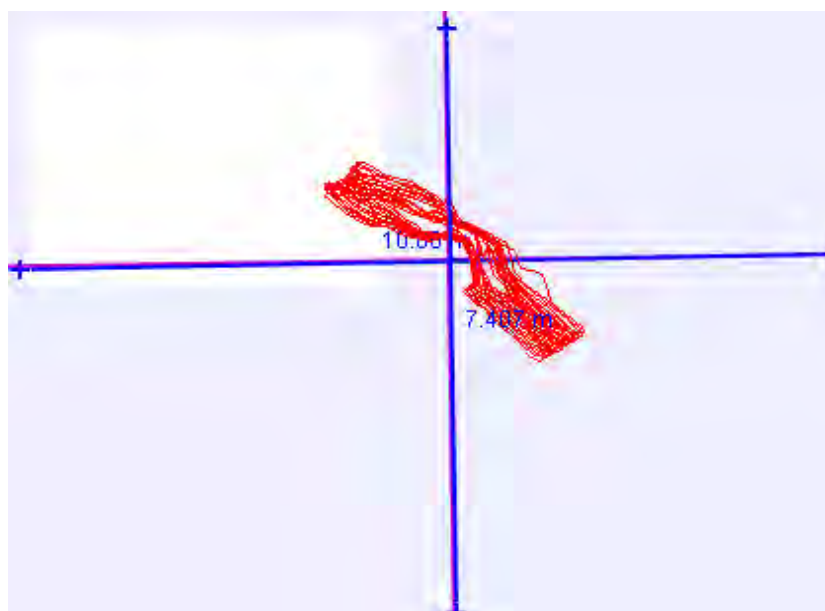


圖 24 Tracker 軟體繪製擺角 15 度時單擺質點軌跡(100~200 秒)

(三) 擺放四個強力磁鐵成正方形，其單擺靜止時，位於該正方形的對角線交點，討論磁鐵與單擺距離不同之擺動軌跡的變化情形，距離 10 公分的記錄如表 6，距離 20.15 公分的記錄如表 7。

表 6 擺放四個磁鐵之單擺擺動軌跡之圖形紀錄(距離 10 公分)


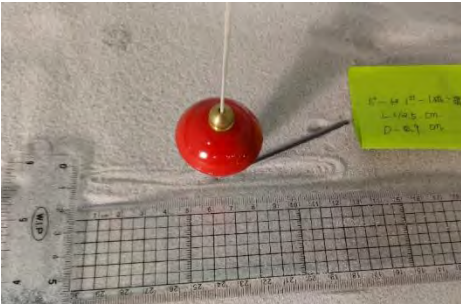
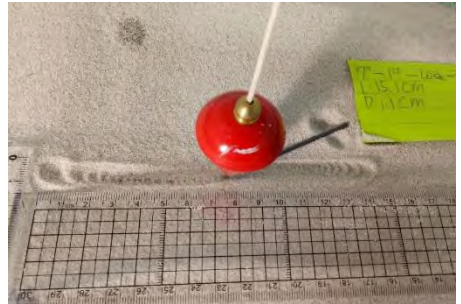
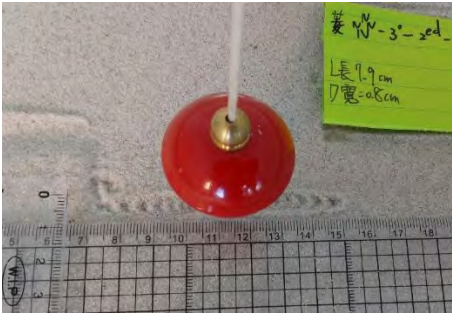
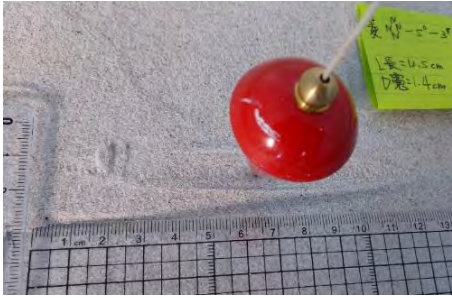
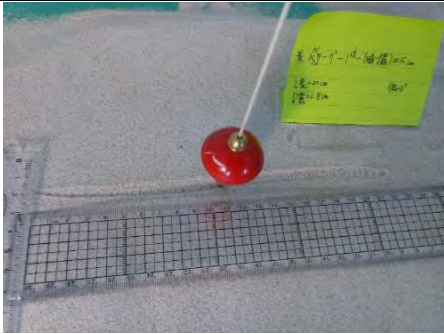
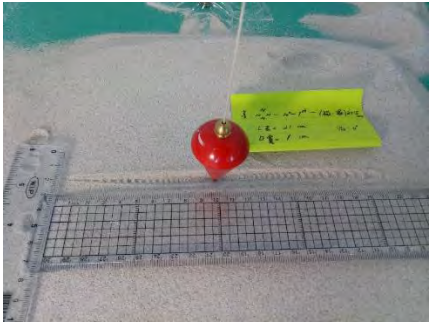
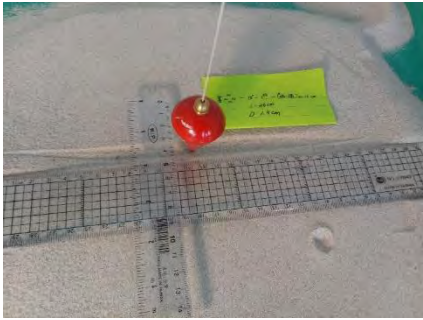
擺角	圖形紀錄	長(公分)	寬(公分)	是否有明顯偏轉
3 度		9.1	0.8	無明顯偏轉
5 度		12.5	0.9	有明顯偏轉， 偏角 20 度
7 度		15.1	1.1	有明顯偏轉， 偏角 21 度
10 度		24	1.7	有明顯偏轉， 偏角 28.5 度
15 度		28	2.0	有明顯偏轉， 偏角 34 度

表 7 擺放四個磁鐵之單擺擺動軌跡之圖形紀錄(距離 20.15 公分)

擺角	圖形紀錄	長	寬	是否有明顯偏轉
3 度		7.90	0.80	無明顯偏轉
5 度		12.5	1.40	無明顯偏轉
7 度		22	0.8	無明顯偏轉
10 度		21	1.0	無明顯偏轉
15 度		26	1.4	有明顯偏轉， 偏角 18.5 度 參照

(四)從表 7 之擺動軌跡的圖形紀錄中不難發現，擺放四個磁鐵時，單擺呈現橢圓方式運動，擺角於 3 度時，無明顯偏轉，而在 5、7、10、15 度時圖形有偏轉，其偏角越來越大，而磁鐵距離拉大至 20 公分時，擺角達15 度才有明顯的偏角，如圖 25 所示。

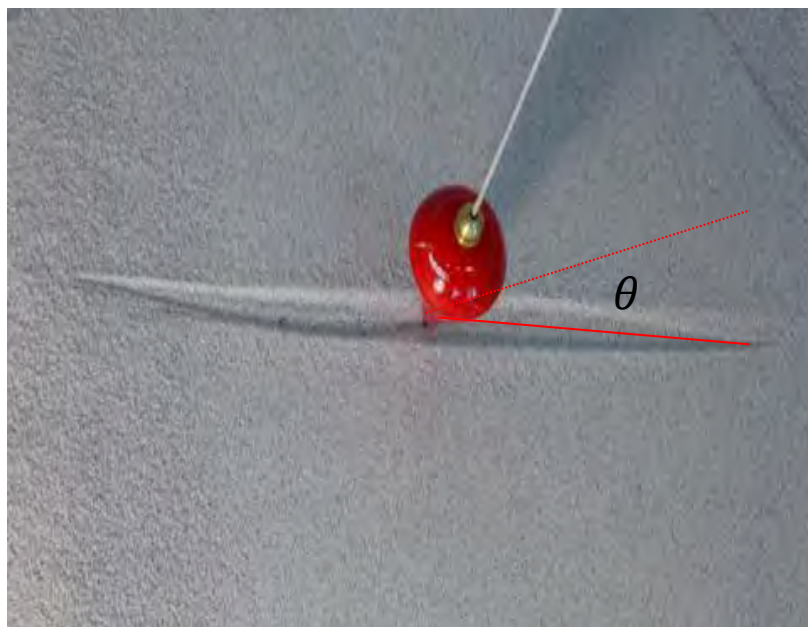


圖 25 擺角為 15 度，其圖形有偏轉之偏角示意圖

陸、討論

一、將研究結果整理成表 8 及圖 26，根據可清楚地發現隨著擺角 θ 越大，所得圖形的長度越長，其記錄下的最大長度分別：10 度角大於 7 度角，7 度角大於 5 度角，5 度角大於 3 度角。

表 8 固定擺長 100cm。不同的擺角，圖形之最長長度

	擺角 3 度	擺角 5 度	擺角 7 度	擺角 10 度
第一次	4.9	10.3	17.1	23.7
第二次	5.2	9.8	19.9	23.4
第三次	4.4	9.6	18.3	23.4
平均	4.8	9.9	18.4	23.5

備註：長度單位為公分

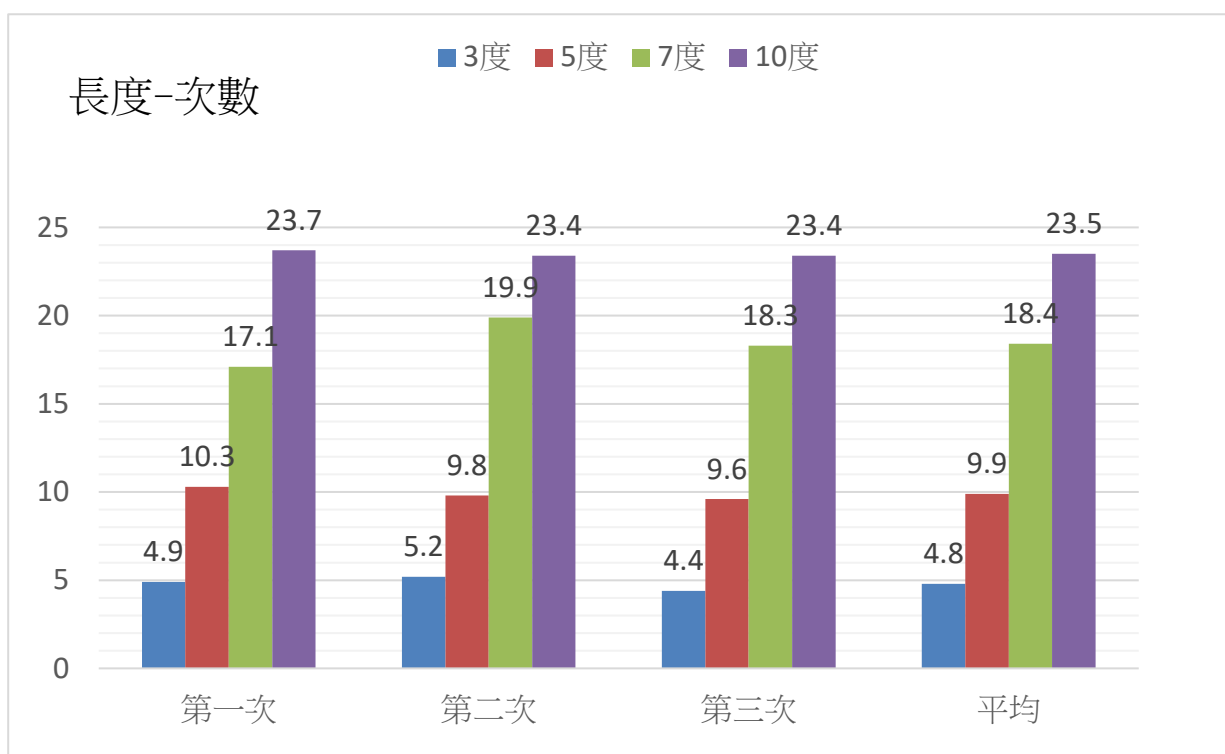


圖 26 根據表 8 繪製呈長條圖，觀察圖形之長度變化

二、將研究結果整理成表 9 及圖 27，可發現砂上所得圖形之最大寬度並不會隨著擺角 θ 越大，而有漸增或遞減之狀況產生。其記錄下的最大寬度分別：5 度角大於 3 度角，10 度角大於 7 度角。

表 9 固定擺長 100cm。不同的擺角，圖形之最長寬度

	擺角 3 度	擺角 5 度	擺角 7 度	擺角 10 度
第一次	1.9	5.0	1.4	4.5
第二次	2.2	4.9	1.3	5.2
第三次	1.8	4.0	1.5	6.0
平均	2.0	4.6	1.4	5.2

備註：寬度單位為公分

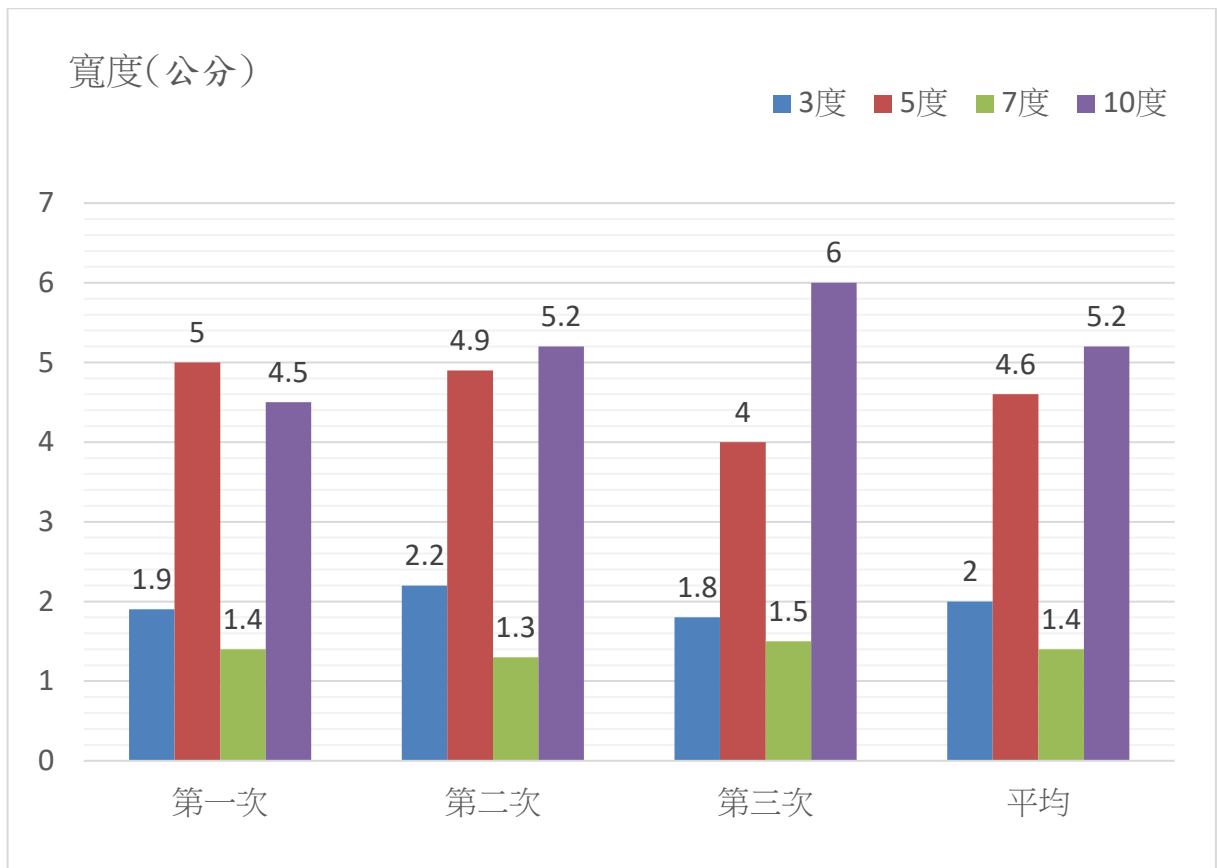


圖 27 根據表 9 繪製呈長條圖，觀察圖形之寬度變化

三、根據表 10，可發現砂上所得到的圖形之最大長度與最大寬度的比值(L/w)，5 度角略小於 3 度角，10 度角則遠大於 7 度角。

表 10 固定擺長 100cm。不同的擺角，最大長度與最大寬度的比值(L/w)

	擺角 3 度	擺角 5 度	擺角 7 度	擺角 10 度
第一次	2.58	2.06	12.21	5.27
第二次	2.36	2.00	15.31	4.50
第三次	2.44	2.40	12.20	3.90
平均	2.46	2.15	13.24	4.56

資料來源

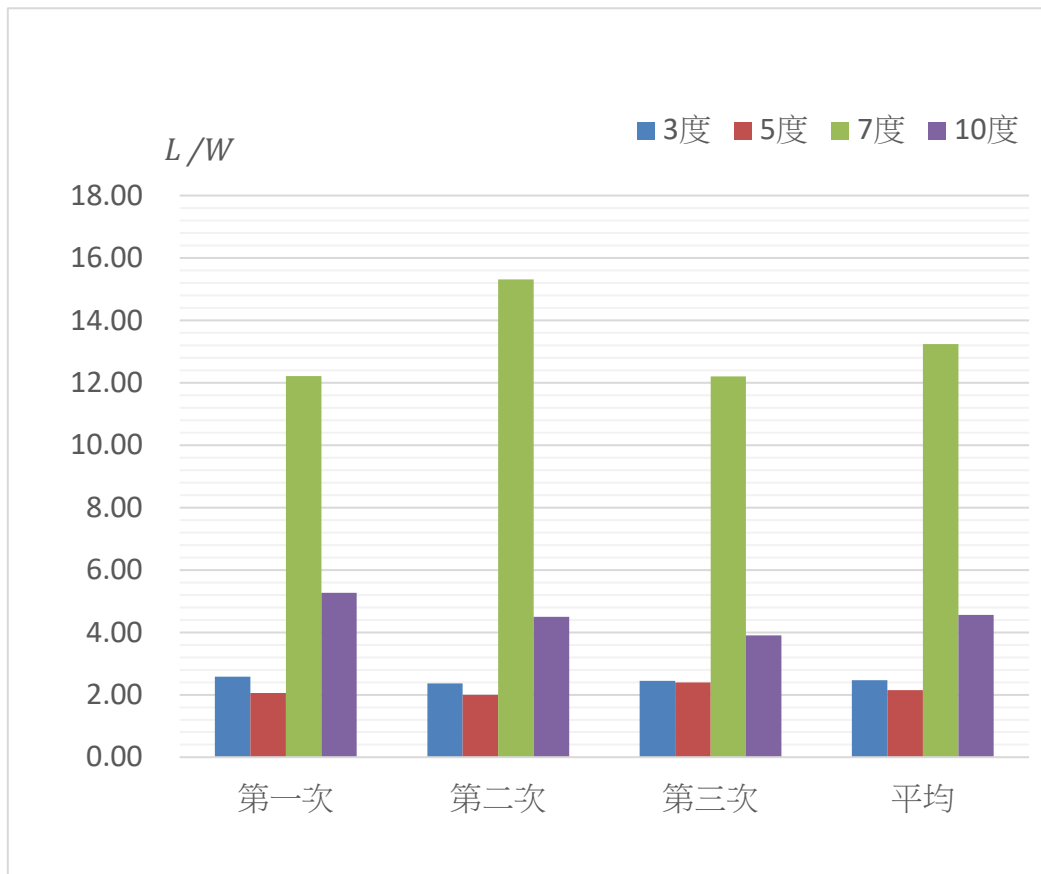


圖 28 根據表 10 繪製呈長條圖，觀察圖形之最大長度與最大寬度的比值(L/W)的變化

四、利用 Tracker 軟體量測單擺運動之週期、速度、加速度及動能之變化情形

- (一) 根據週期公式計算與實際觀測之情況進行比較，如表 11 可知，與實際觀測之結果與週期公式之計算，考量到誤差因素，可以發現其不同擺角時，其週期均接近理想值，代表放置磁鐵在中心處時，並未影響到單擺的等時性。
- (二) 固定擺長時，擺角為 10 度及 15 度，利用 Tracker 量測軟體單擺運動軌跡的質點，量測其速度、加速度與動能的變化情形，發現其規律變化，速度與動能的變化規律較為類似，而考量其橫向 X 軸及縱向 Y 軸之變化時，發現縱向變化較為平緩，對照表 4 之圖形紀錄，可以發現圖形之寬度變化不大。另外從圖 29 會發現其軌跡會不通過過中心。

表 11 不同擺角及擺長時，週期(單位：秒)之變化對照表

擺長	擺角					理想值 T	備註
	3	5	7	10	15		
90.5	1.9618	2.2021	2.0588	2.1192	2.2358	1.9093	
93.5	1.9774	2.018	2.0642	2.1548	2.244	1.9407	
96.5	1.7172	1.96	2.0612	2.1426	2.2796	1.9716	

備註：週期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ ，其中重力常數 g 是以 9.8 計算。

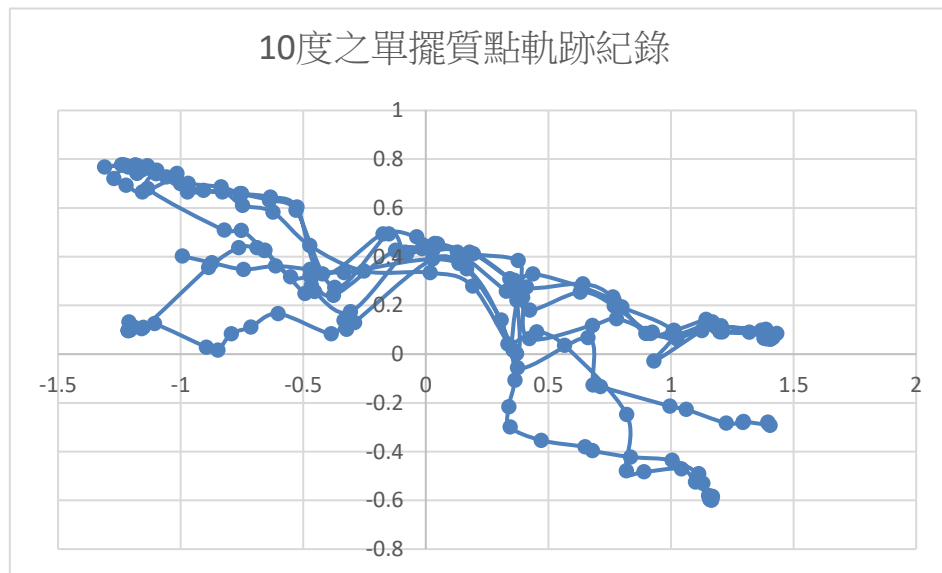


圖 29 10 度之單擺質點軌跡紀錄

五、擺放四個磁鐵之單擺運動軌跡之圖形

- (一) 放置四個磁鐵在單擺等距的位置，其圖形軌跡都是呈現逆時鐘旋轉，與一個磁鐵時相同；而軌跡圖形均呈現橢圓，在沙盤上呈現細長型螺旋的形狀，與一個磁鐵時擺角 7 度及 10 度類似。
- (二) 當距離較近(10 公分)時，不同的擺角時，所形成的偏角越大，代表磁鐵對單擺的影響較明顯；相對當距離較遠(20 公分)，擺角要到 15 度，圖形才有明顯偏轉，代表其影響不明顯。

柒、結論

由本次實驗中，我們可發現磁鐵之磁場的確會影響單擺之運動軌跡。若無外加磁鐵磁場之單擺，其運動只在同一平面內單向來回擺動；但若在單擺的正下方，放置一強力磁場，則會使單擺運動軌跡如圖 30 之運動。

如圖 31 所示，單擺於 X 軸方向，因受磁場之影響，每次離中心原點距離會遞減；雖然 Y 軸方向也會受磁場的影響，而在本次實驗中，卻無明顯之規律性。

在不同擺角的單擺運動中，可以量測出其週期約 2 秒，符合週期公式 $T = 2\pi \times \sqrt{\frac{L}{g}}$ 計算；且速度及加速度尚在擺動時都有規律的變化，在每一次週期運動中，若以擺錘懸掛點作為原點，兩端點的速度為最小值，接近原點時，速度逐漸變大，繞過原點後，速度又逐漸變小；以加速度來說，兩端點的加速度仍為最小值，越接近原點時，加速度也逐漸變大。在此，值得注意的是，最大加速度發生的時間點與最大速度發生點不會一致；本實驗中，最大加速度約略發生在最大速度前後 0.2 秒。

此外，我們可由磁鐵距離單擺懸掛點距離的實驗驗證，當磁場與單擺懸掛點的距離越近時，則磁場對單擺的影響越大。

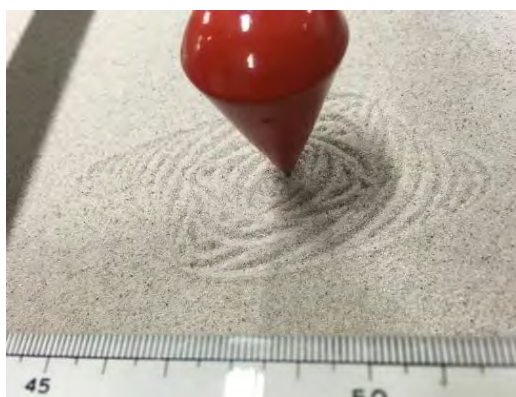


圖 30 磁場影響單擺之運動軌跡

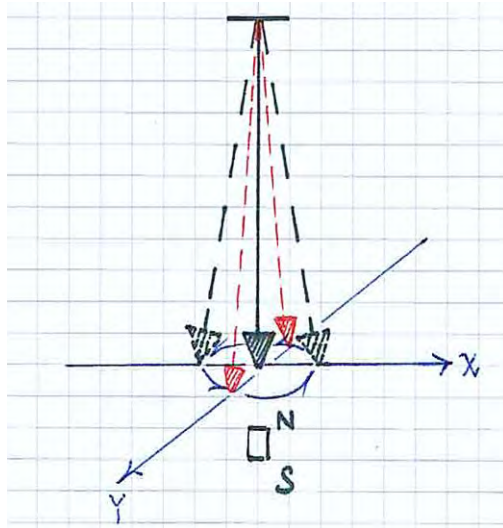


圖 31 單擺運動受磁場影響實驗設計之示意圖

捌、建議

- 一、在設計實驗初期，我們花了許多心思想要紀錄單擺軌跡，從利用沙盤到攝影機，又為了方便攝影，減少 Tracker 在量測質點軌跡的干擾，而搭設一個類似攝影棚的裝置來拍攝影片，因此未來在做相關實驗，可參考其研究裝置，改良之進行延伸性研究。

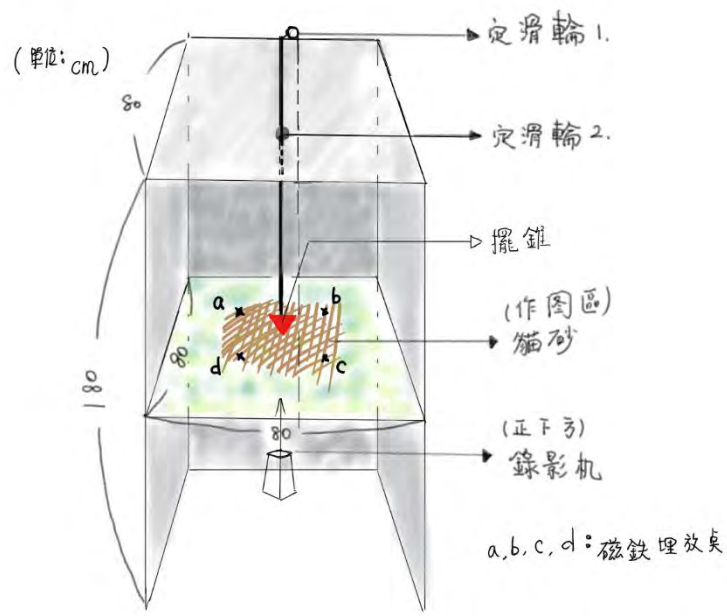


圖 32 第四版研究設備(手稿)

二、根據週期公式，我們了解到影響單擺週期的因素是擺長，此研究也符應此結果。然而單擺之軌跡呈現螺旋狀，而在不同擺角、放置一個磁鐵及四個磁鐵下，單擺在平面橫向 X 軸及縱向 Y 軸之速度、加速度及動能均有規律性的變化。期許未來研究，可在立體坐標上，建立其模型及數學模型，建構出類似傅科擺或是玫瑰線的數學表示式。

玖、參考文獻

康軒文化事業(2017) 國民中學自然課本第五冊。新北市。康軒文教事業股份有限公司。

楊仲準(2012) 應用於物理教學之影像數位分析技術。《物理教育學刊》, 13(1), 41-49.
doi:10.6212/CPE.2012.1301.05

玫瑰線. (2013, March 13). Retrieved from 維基百科, 自由的百科全書: <https://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E7%8E%AB%E7%91%B0%E7%BA%BF&oldid=25504309>

擺. (2017, September 10). Retrieved from 維基百科, 自由的百科全書: <https://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E6%93%BA&oldid=46130568>

傅科擺. (2018, March 16). Retrieved from 維基百科, 自由的百科全書: <https://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E5%82%85%E7%A7%91%E6%91%86&oldid=48689819>

【評語】 030108

研究設計與討論架構符合科學邏輯性，在一個簡單的單擺實驗中，加入磁場探究單擺周期與軌跡在其影響下的改變。若能增加時間與擺錘位置相關的實驗討論，更有易於建立簡單的實驗模型，說明清楚的物理概念。

摘要

自然課時，利用單擺的規律性與等時性，觀察其擺動情形，了解週期與頻率。我們在單擺的下方，放置磁鐵，觀察擺動情形是否會改變。我們發現鉛錘擺動呈現螺旋狀，因擺角不同而產生不同的軌跡；我們進行錄影及量測後，雖然擺角不同時，量測的週期均接近2秒，符合週期公式 $T=2\pi*\sqrt{L/g}$ 。

利用Tracker軟體進行質點的量測，發現速度、加速度及動能會產生規律變化；再者，運動軌跡均不會通過磁鐵中心，每次週期之路徑會構成平滑曲線。將磁鐵等距放置於單擺四周，當距離越近時，擺角越大，路徑的偏轉越明顯，且與一個磁鐵，擺角7度與10度時，所形成之圖形類似。

由此可知，磁鐵會影響單擺的運動軌跡，但不會影響其單擺週期。

壹、研究動機

在科學社團上課中，老師對大家提出一個現象，單擺來回擺動具規律性及等時性，因此利用這一項特性，設計出計時工具。在實驗室中，我們將磁鐵放在單擺的下方，卻發現了單擺原本單調的來回軌跡，產生了變化，這不禁使我們想知道單擺與磁鐵間的交互作用。

貳、研究目的

- 一、了解外加磁場對於單擺運動的影響
- 二、嘗試找出外加磁場單擺運動之規律性。不同的擺動角度時磁場對單擺之影響，如擺動軌跡之變化、週期、速度及動能等。

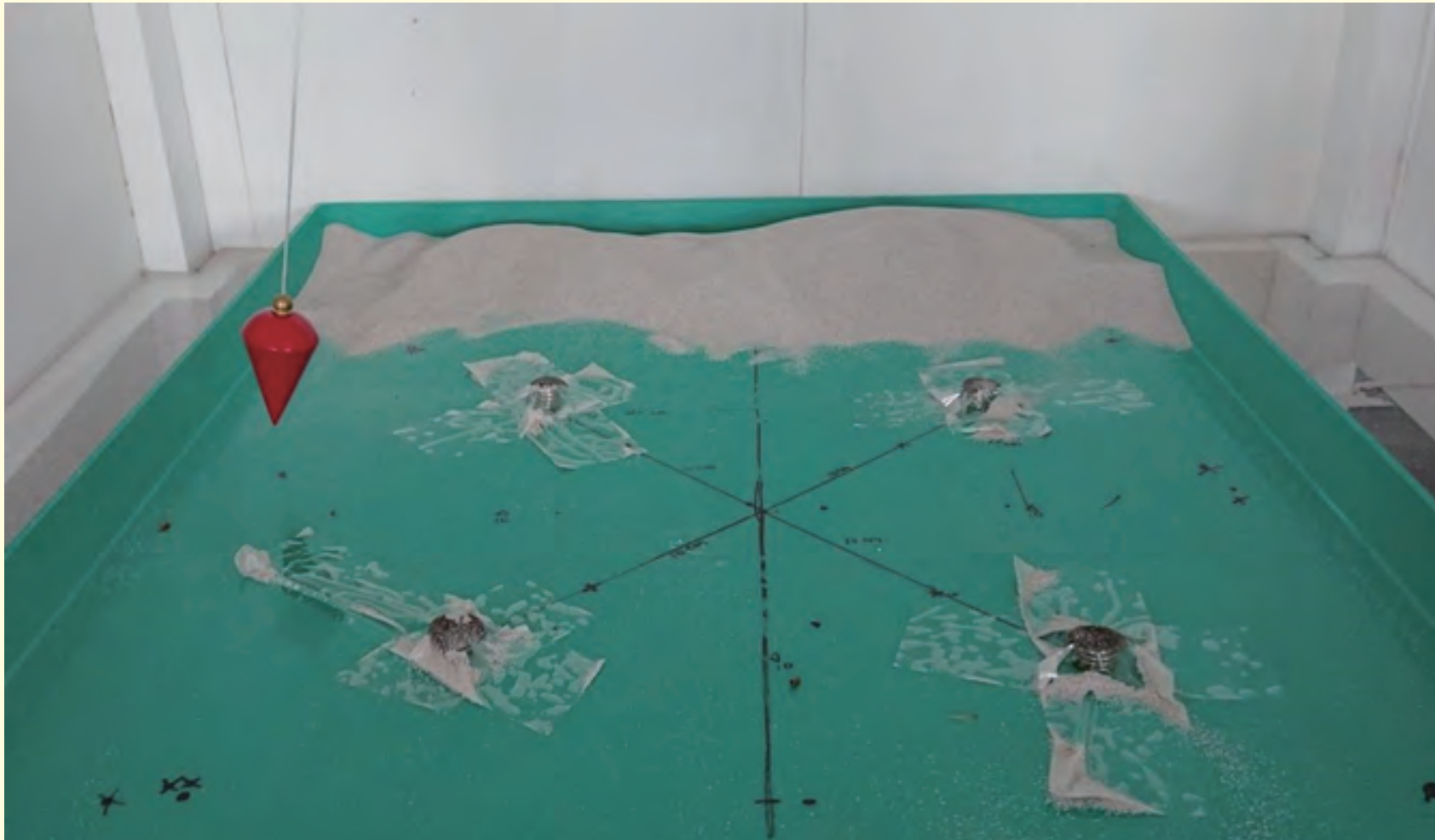
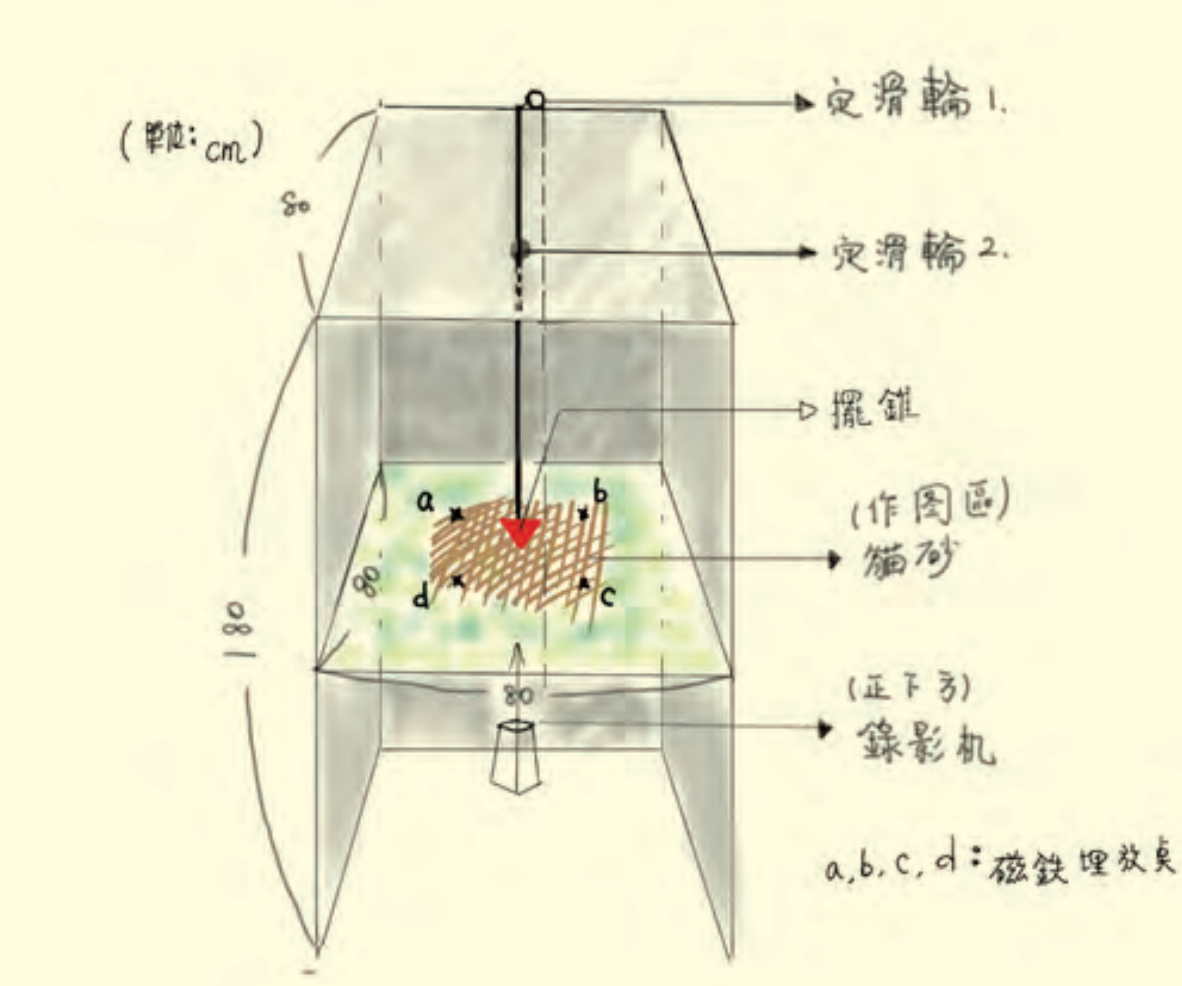
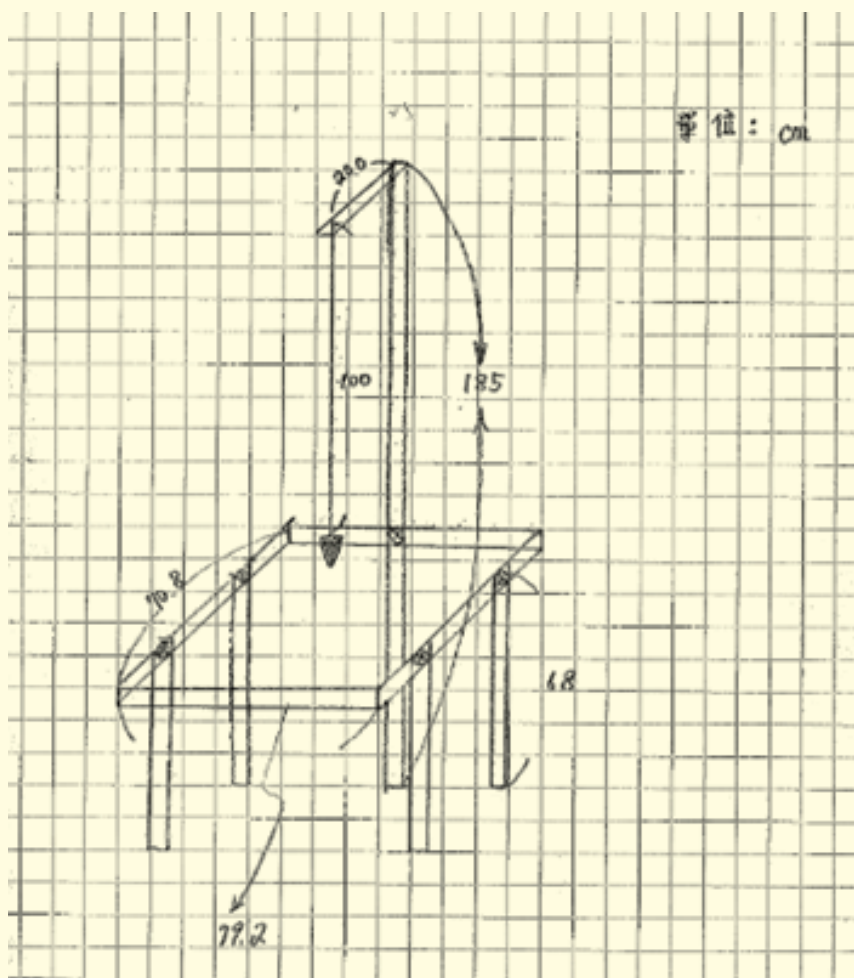
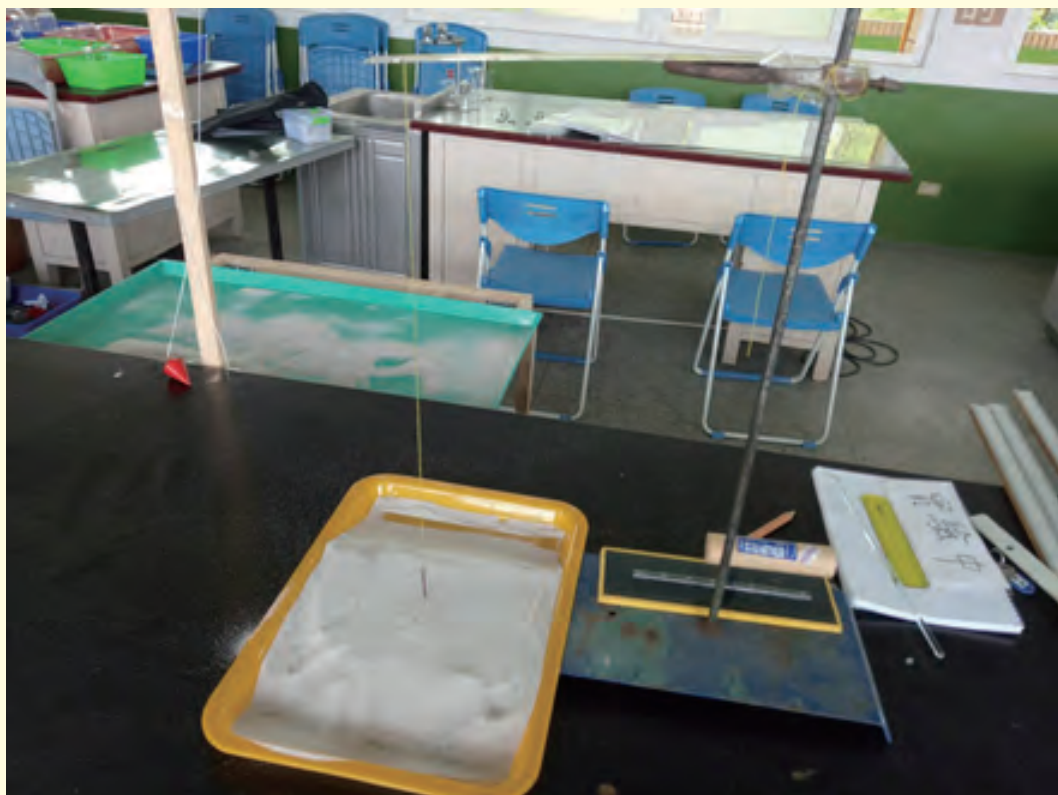
參、研究設備及器材

本研究為了想完整記錄外加磁場對單擺運動之影響，花許多心思在改進研究設備。

一、實驗器材

- (一) 研究設備：5000克鉛錘一顆、量角器、200公分直尺、尼龍製下振線200公分、貓砂 4包、強力磁鐵4個、透明墊板
- (二) 實驗記錄：木製紀錄台、攝影機、照相機、方格紙實驗紀錄簿、
- (三) 數據分析：電腦、Tracker軟體、Excel軟體

二、研究設備討論過程及最後完成圖

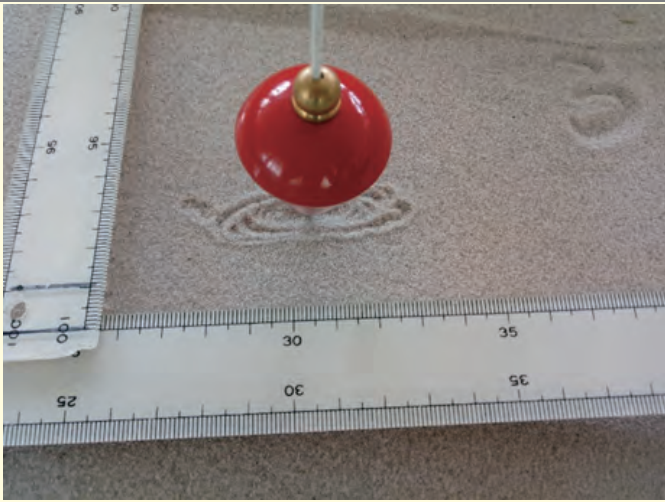
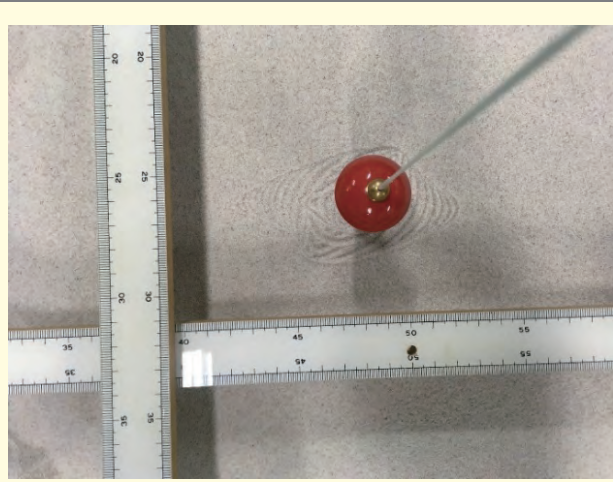
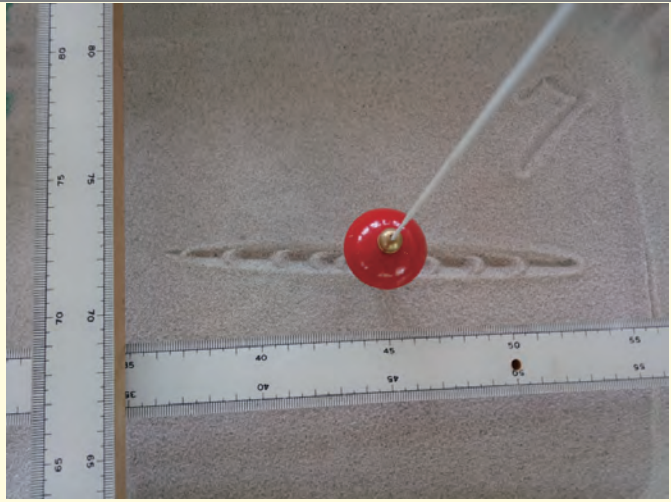
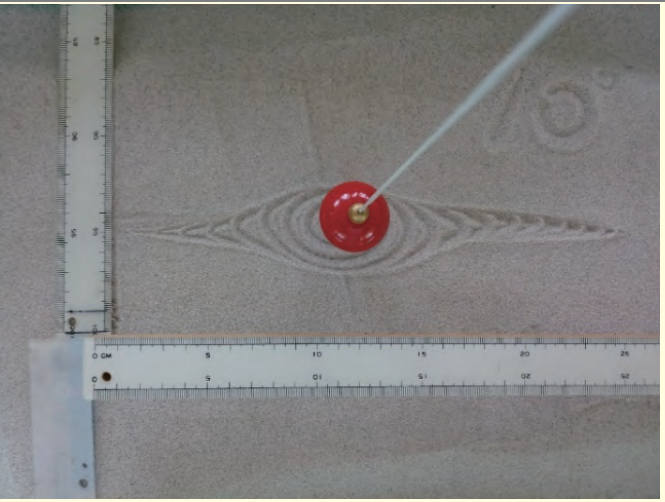

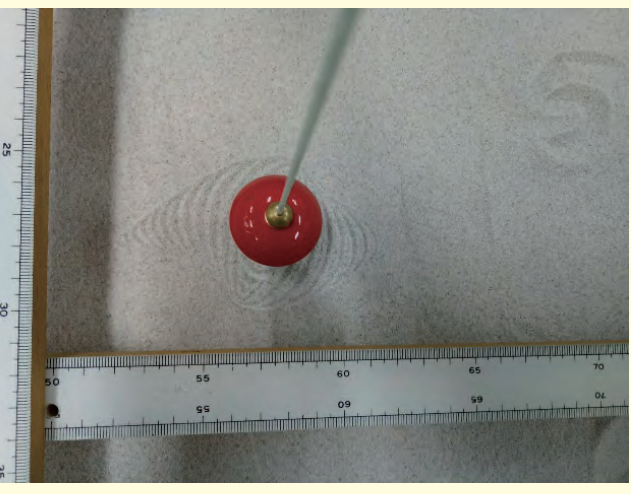

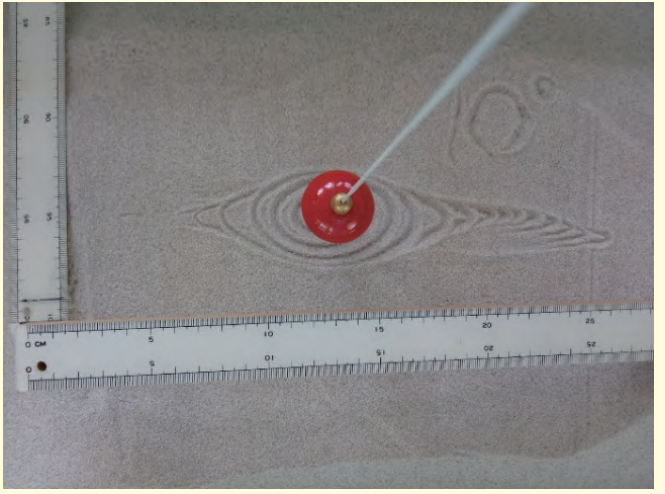
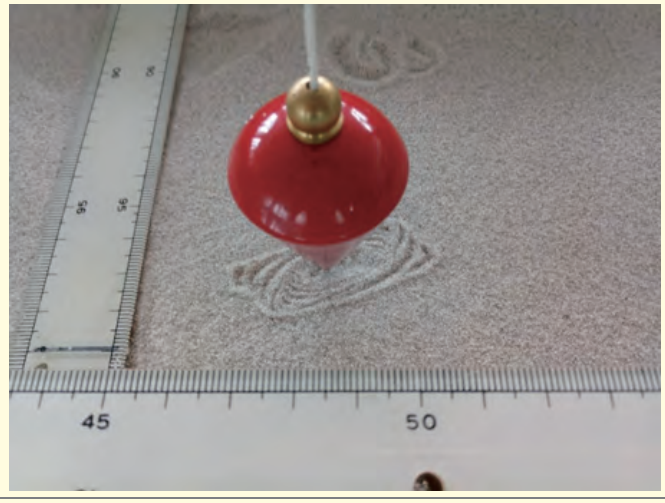
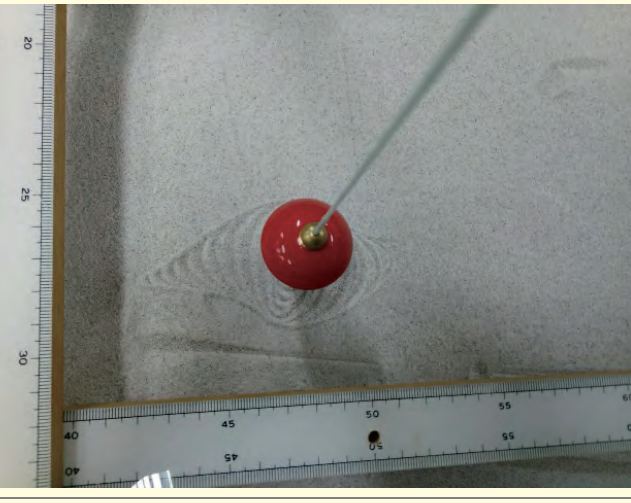

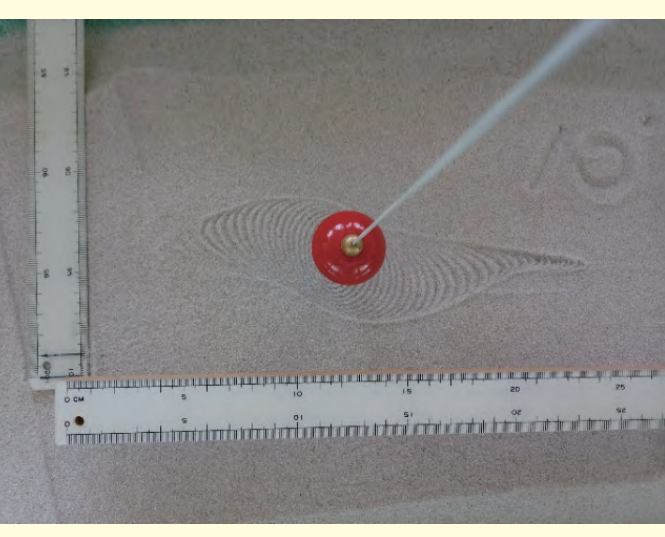


肆、研究過程或方法

- 一、我們先製作了小型簡易的裝置，了解實驗進行的可行性。
- 二、我們設計大型的實驗機台，經過討論及改進後研究設備。
- 三、控制擺長（L=100公分），改變不同的角度。發現不同的擺角，鉛錘在沙盤上有不同的軌跡。
- 四、想利用攝影的方式，了解在不同擺角週期是否有變化，量測擺角在10度及15度時，其質點之速度、加速度及動能的變化情形。
- 五、若將磁鐵擺放方式改變，如擺放四個強力磁鐵形成正方形，使得單擺與各磁鐵之間距離10公分及20.15公分，鉛錘在沙盤上有不同的軌跡。

伍、 研究結果

一、 利用小型簡易裝置驗證實驗的可行性，從實驗結果發現鐵釘會受埋於沙子下方之強力磁鐵的影響，而產生圓弧狀的圖形。

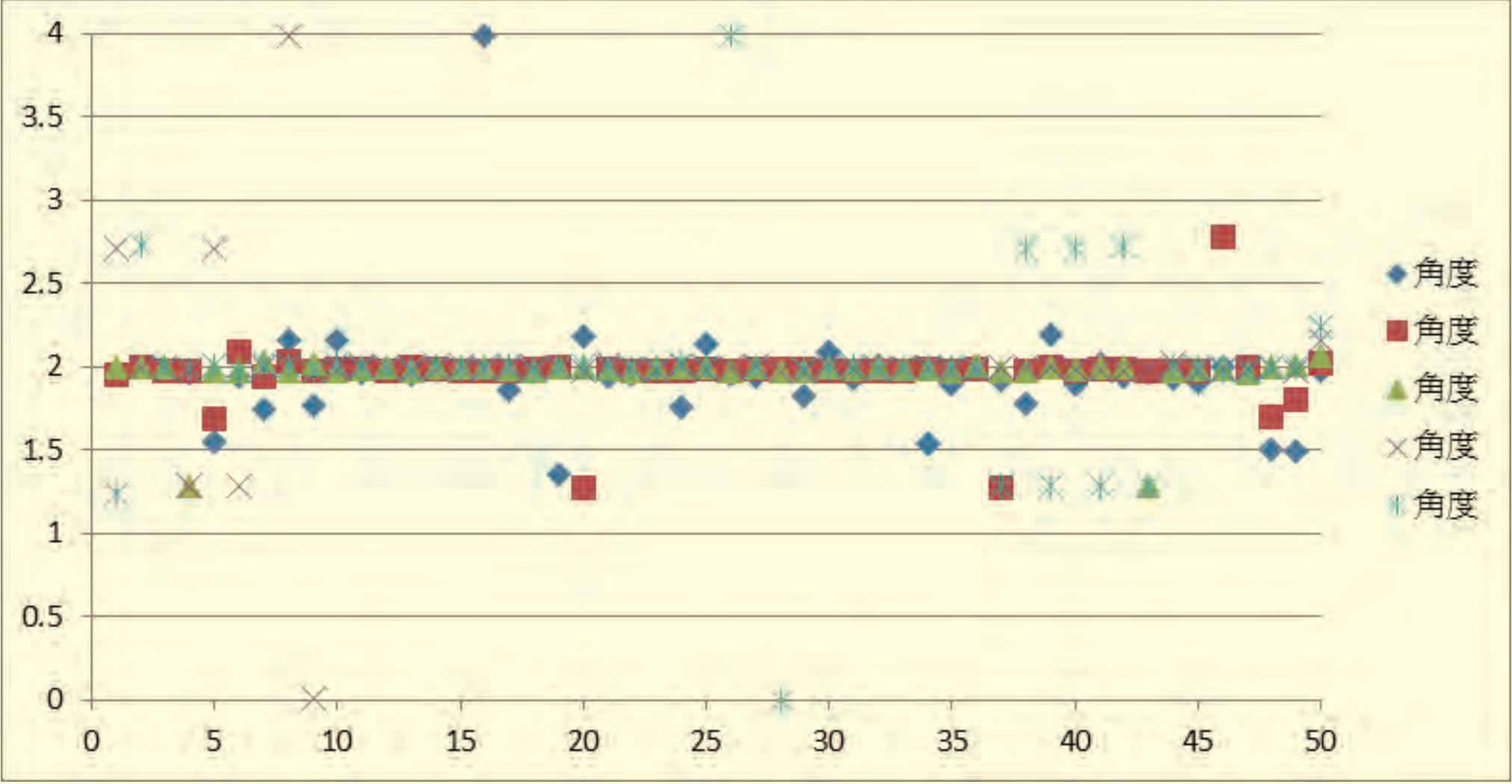
表 1 擺角為 3 度之擺動軌跡的圖形紀錄			表 2 擺角為 5 度之擺動軌跡的圖形紀錄			表 3 擺角為 7 度之擺動軌跡的圖形紀錄			表 4 擺角為 10 度之擺動軌跡的圖形紀錄		
圖形	長	寬	圖形	長	寬	圖形	長	寬	圖形	長	寬
	4.90cm	1.90 cm		10.3cm	5.00 cm		17.1cm	1.40 cm		23.7cm	4.50 cm
	5.20 cm	2.20 cm		9.80cm	4.90 cm		19.9cm	1.30 cm		23.4cm	5.20 cm
	4.40 cm	1.80cm		9.60cm	4.00cm		18.3cm	1.50cm		23.40cm	6.00cm

二、 固定擺長，擺角改變時，記錄其單擺運動軌跡之圖形紀錄。

- (一)擺角為3度，其 單擺擺動左右來回，軌跡呈圓弧方式，最後長5公分，寬2公分的螺旋。
- (二)擺角為5度，其單擺擺動左右來回，軌跡呈圓弧方式，最後長10公分，寬4.5公分的類似羅宋麵包的花紋。
- (三)擺角為7度，其單擺擺動左右來回，軌跡呈圓弧方式，最後長19公分，寬1.4公分的類似螺絲釘上的螺紋形式。
- (四)擺角為10度，其單擺擺動左右來回，軌跡呈圓弧方式，最後長23公分，寬5公分的類似燒酒螺的形狀。

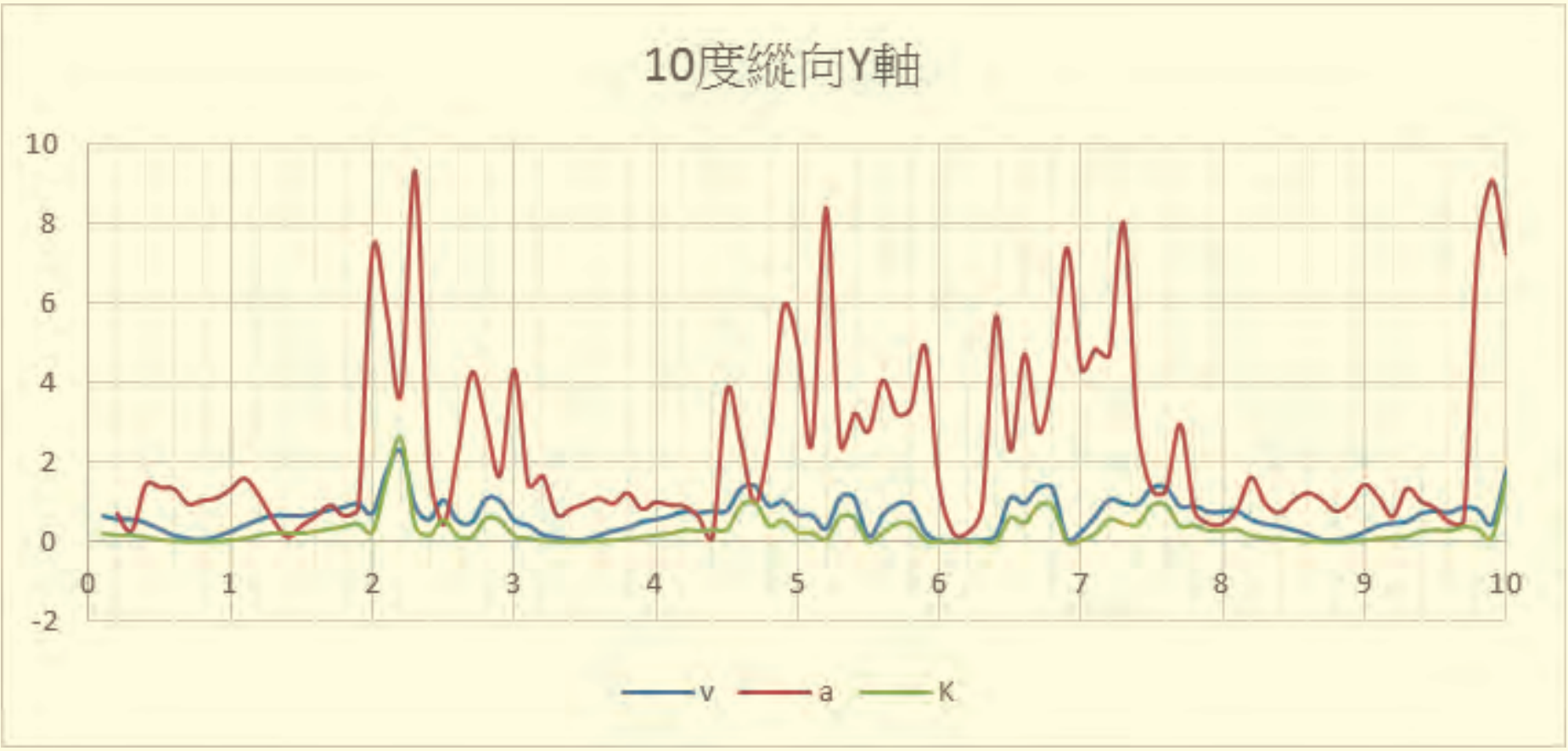
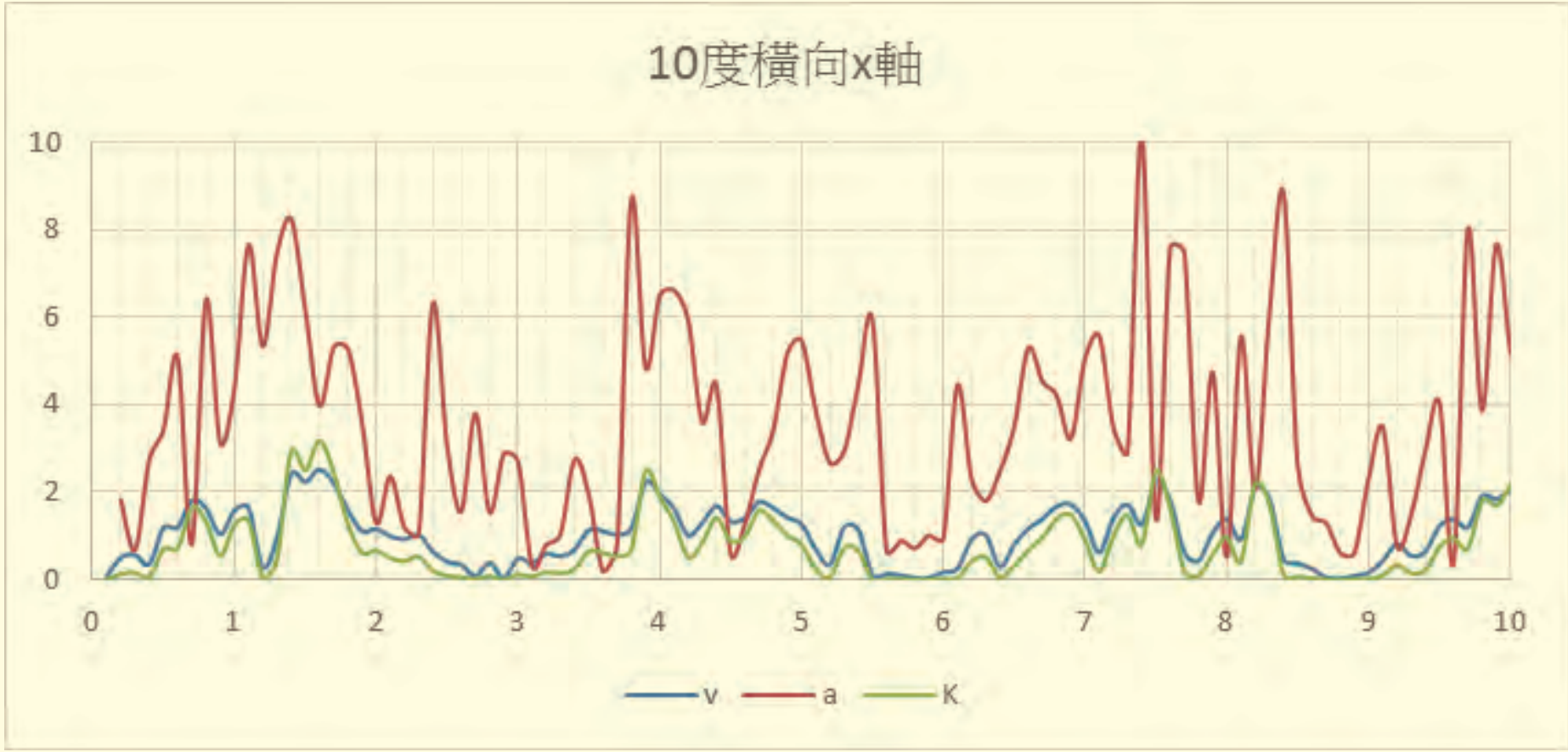
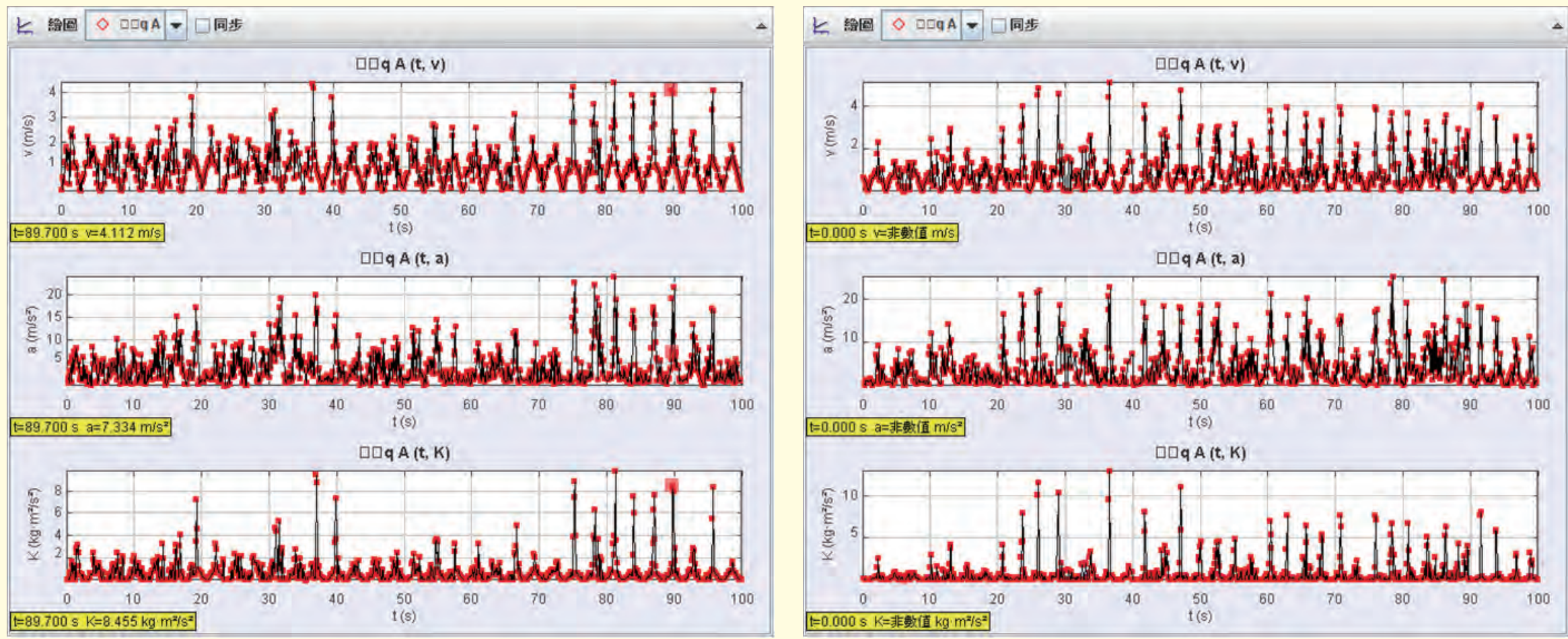
三、 利用 第四版研究設備進行鉛錘擺動情形之攝影，並利用Tracker量測質點之週期、速度及加速度之變化。

(一)週期變化：根據單擺的擺動影片，量測在不同的擺角時，各進行50次的紀錄，發現其規律，如表 5顯示其不同擺角、擺長的週期之平均值，量測記錄整理如右，週期均在2秒上下。

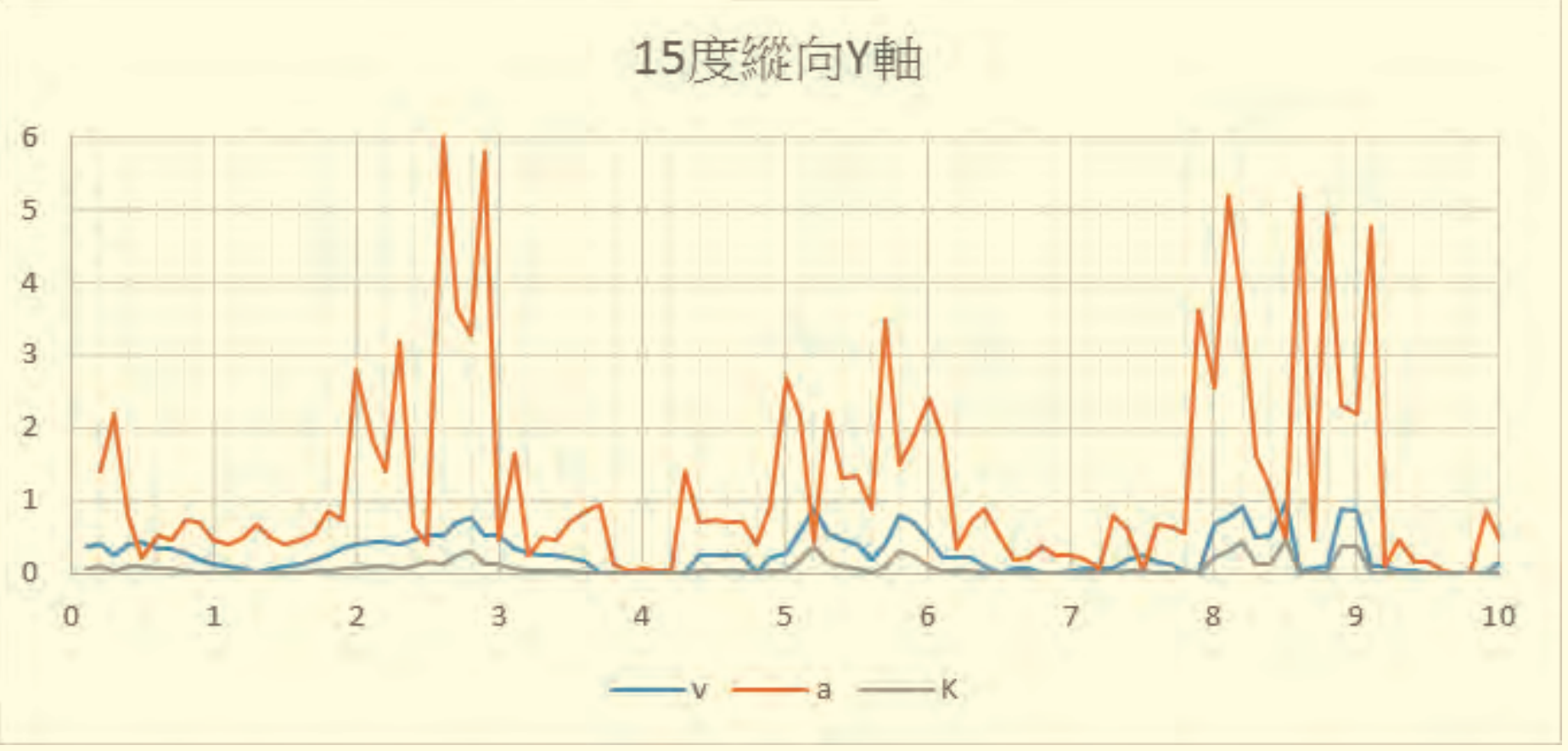
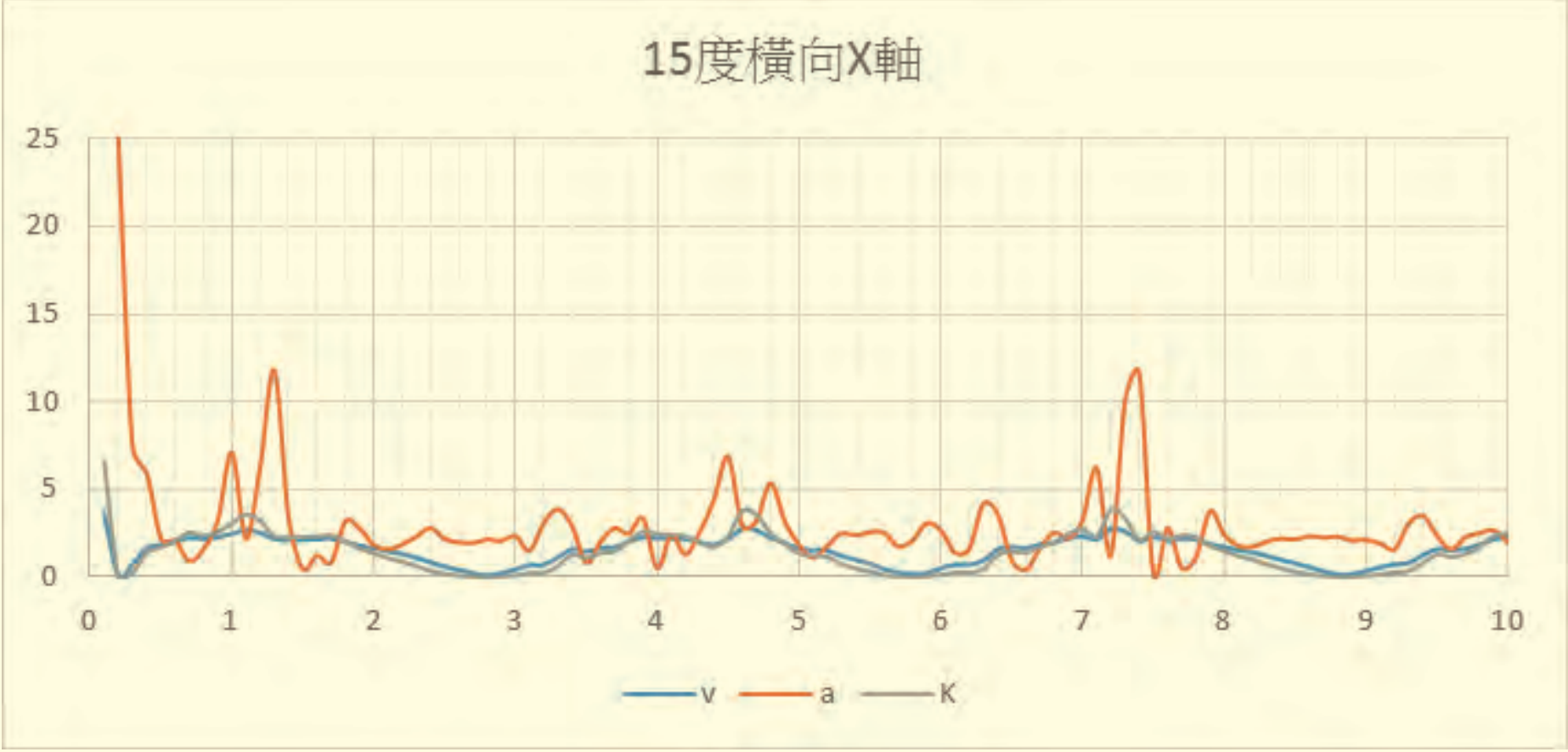
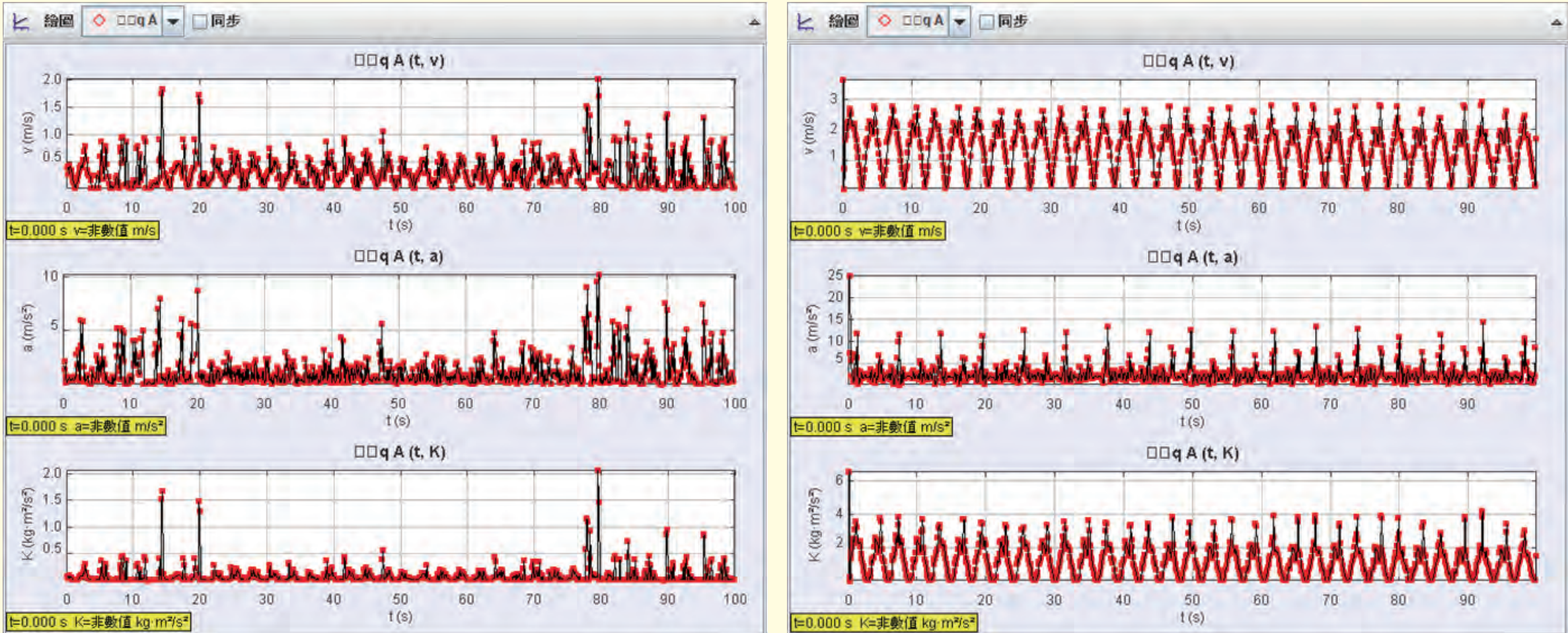


(二)速度、加速度及動能變化：討論10度及15度時，觀測其100秒單擺運動的橫向和縱向之速度、加速度及動能變化情形，整理如下。

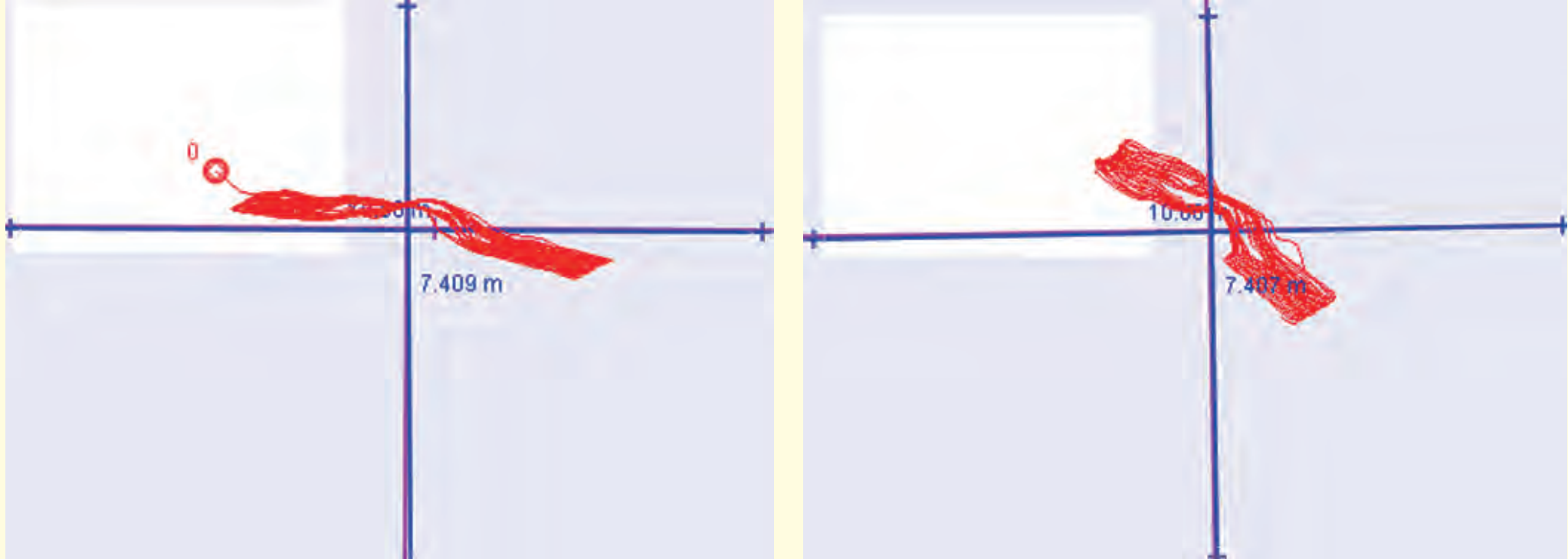
1. 擺角10度之橫向變化情形：如圖 15所示，我們可以發現速度、加速度及動能呈現規律變化，取出其中10秒的變化情形繪製散佈圖，從圖 16發現其中速度與動能之規律變化情形類似，加速度的最大值發生在速度最大值之前後0.2秒左右。
2. 擺角10度之縱向變化情形：如圖 17所示，我們可以發現速度、加速度及動能呈現規律變化，取出其中10秒的變化情形繪製散佈圖，從圖 18發現縱向速度與動能之規律變化情形類似，且符合寬變化幅度不大。加速度的最大值發生在速度最大值之前後0.2秒左右。



3. 擺角15度之橫向變化情形：如圖 19所示，我們可以發現速度、加速度及動能呈現規律變化，取出其中10秒的變化情形繪製散佈圖，從圖 20發現縱向速度與動能之規律變化情形類似，另外加速度的最大值發生在速度最大值之前後0.2秒左右。
4. 擺角15度之縱向變化情形：如右圖所示，我們可以發現速度、加速度及動能呈現規律變化，取出其中10秒的變化情形繪製散佈圖，發現縱向速度與動能之規律變化情形類似，且與之前擺動軌跡之圖形紀錄的寬度變化幅度不大雷同，另外加速度的最大值發生在速度最大值之前後0.2秒左右。



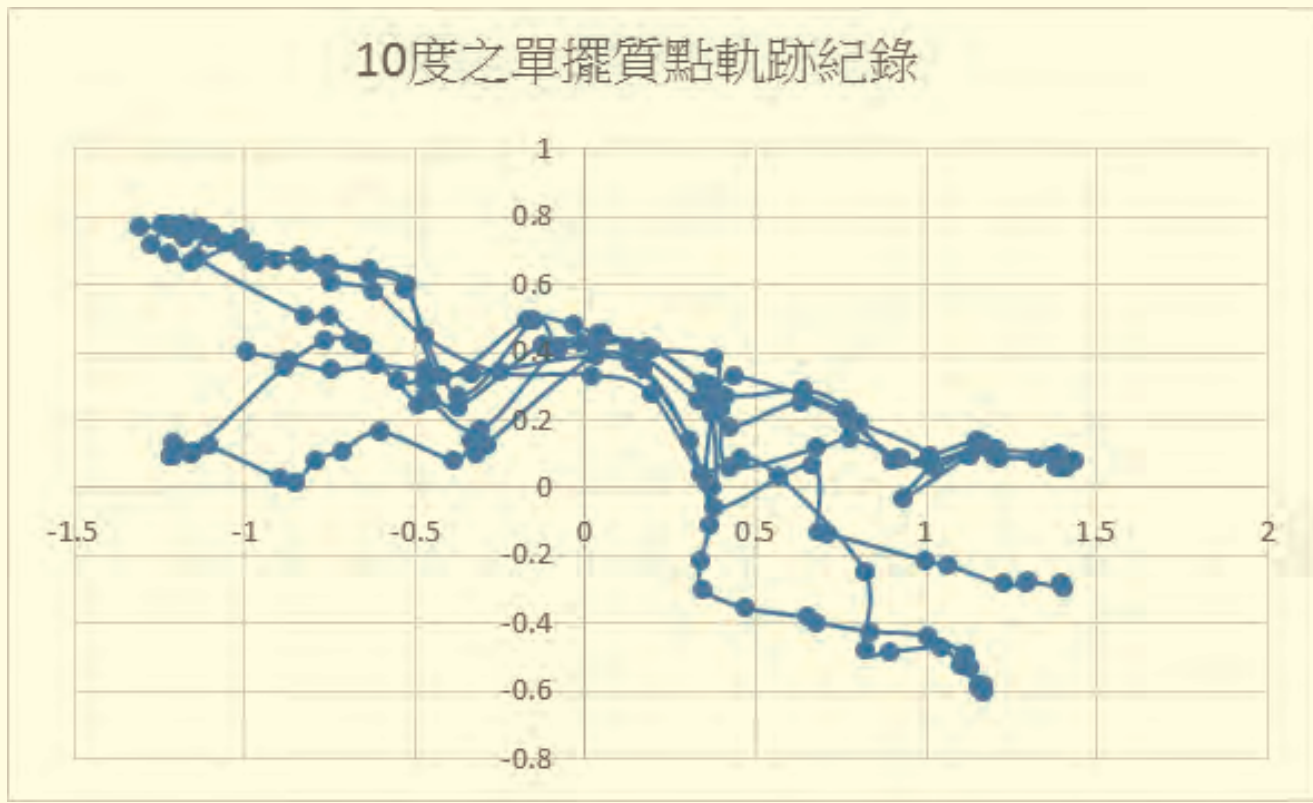
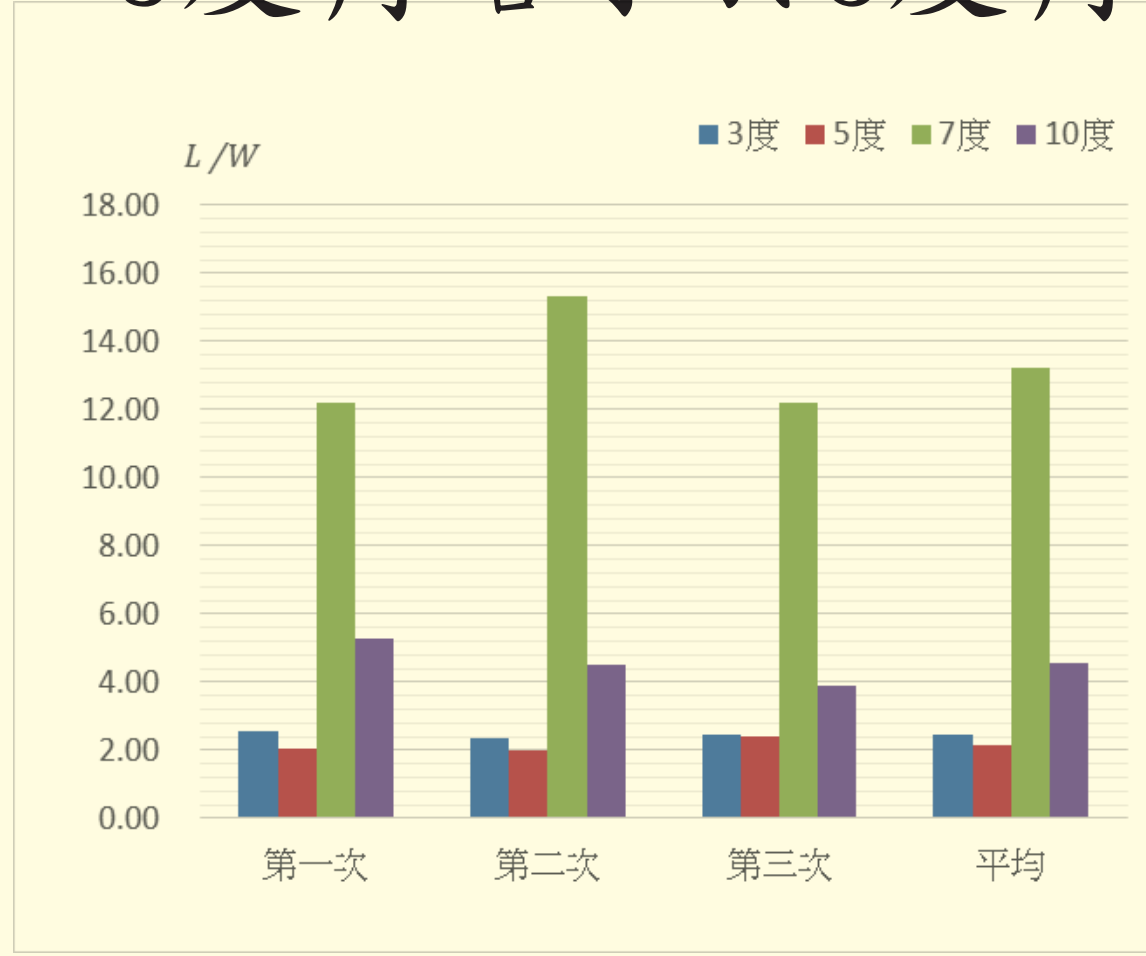
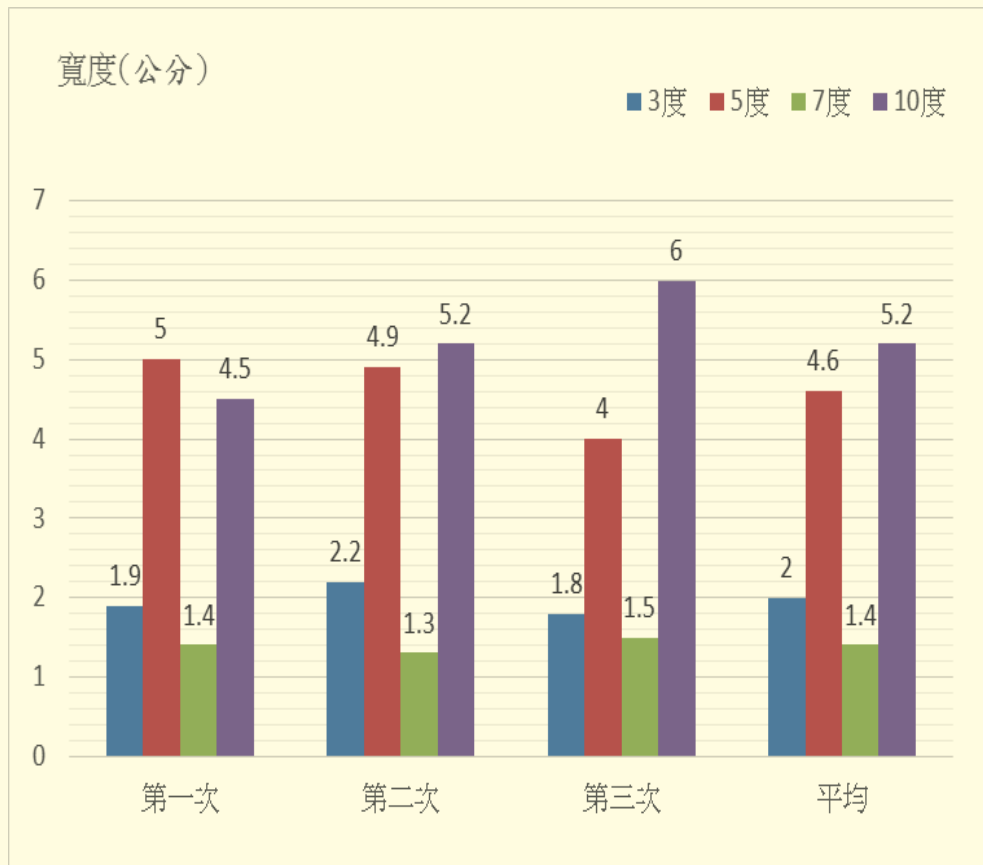
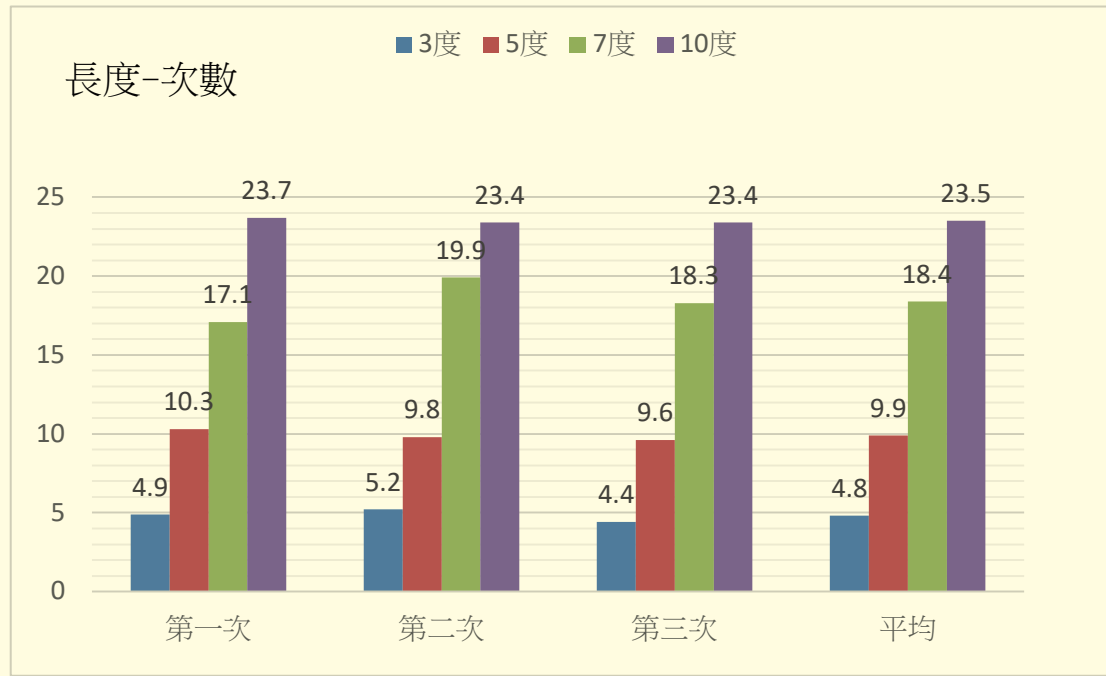
5. 利用Tracker軟體質點追蹤軌跡，發現在15度時，軌跡以逆時鐘旋轉，因攝影機裝設及拍攝方式，紀錄圖形呈現順時鐘旋轉；根據圖所示，質點軌跡在0~200秒間，均不通過磁鐵中心(原點)。



- (三) 擺放四個強力磁鐵形成正方形，其單擺靜止時，位於該正方形的對角線交點，討論磁鐵與單擺距離不同之擺動軌跡的變化情形，距離10公分的記錄及距離20.15公分的記錄。
- (四) 擺動軌跡的圖形紀錄中發現，擺放四個磁鐵時，單擺呈現橢圓方式運動，擺角於3度時，無明顯偏轉，而在5、7、10、15度時圖形有偏轉，其偏角越來越大，而磁鐵距離拉大至20公分時，擺角達 15度才有明顯的偏角。

陸、 討論

- 一、 圖形之最大長度隨著擺角越大，所得圖形的長度越長，其記錄下的最大長度分別：10度角大於7度角，7度角大於5度角，5度角大於3度角。
- 二、 圖形之最大寬度並不會隨著擺角越大。其記錄下的最大寬度分別：5度角大於3度角，10度角大於7度角。
- 三、 圖形之最大長度與最大寬度的比值，5度角略小於3度角，10度角則遠大於7度角。



四、 利用Tracker軟體量測單擺運動之週期、速度、加速度及動能之變化情形

- (一) 根據週期公式計算與實際觀測之情況進行比較，可以發現其不同擺角時，其週期均接近理想值，代表放置磁鐵在中心處時，並未影響到單擺的等時性。
- (二) 固定擺長時，擺角為10度及15度，利用Tracker量測軟體單擺運動軌跡的質點，量測其速度、加速度與動能的變化情形，發現其規律變化，速度與動能的變化規律較為類似，而考量其橫向X軸及縱向Y軸之變化時，發現縱向變化較為平緩，對照表 4之圖形紀錄，可以發現圖形之寬度變化不大。另外從圖 29會發現其軌跡會不通過過中心。

五、 擺放四個磁鐵之單擺運動軌跡之圖形

- (一) 放置四個磁鐵在單擺等距的位置，其圖形軌跡都是呈現逆時鐘旋轉，與一個磁鐵時相同；而軌跡圖形均呈現橢圓，在沙盤上呈現細長型螺旋的形狀，與一個磁鐵時擺角7度及10度類似。
- (二) 當距離較近(10公分)時，不同的擺角時，所形成的偏角越大，代表磁鐵對單擺的影響較明顯；相對當距離較遠(20公分)，擺角要到15度，圖形才有明顯偏轉，代表其影響不明顯。

柒、 結論

由本次實驗中，我們可發現磁鐵之磁場的確會影響單擺之運動軌跡。若無外加磁鐵磁場之單擺，其運動只在同一平面內單向來回擺動；但若在單擺的正下方，放置一強力磁場，則會使單擺運動軌跡呈現螺旋狀。不同擺角的單擺運動中，可以量測出其週期約2秒，符合週期公式；速度、加速度及動能有規律變化在此，最大加速度發生的時間點與最大速度發生點不會一致；本實驗中，最大加速度約略發生在最大速度前後0.2秒。此外，我們可由磁鐵距離單擺懸掛點距離的實驗驗證，當磁場與單擺懸掛點的距離越近時，則磁場對單擺的影響越大。

捌、 建議

- 一、在設計實驗初期，我們花了許多心思想要紀錄單擺軌跡，因此未來在做相關實驗，可參考其研究裝置，改良之進行延伸性研究。
- 二、根據週期公式，我們了解到影響單擺週期的因素是擺長，此研究也符應此結果。然而單擺之軌跡呈現螺旋狀，而在不同擺角、放置一個磁鐵及四個磁鐵下，單擺在平面橫向X軸及縱向Y軸之速度、加速度及動能均有規律性的變化。期許未來研究，可在立體坐標上，建立其模型及數學模型，建構出類似傅科擺或是玫瑰線的數學表示式。

玖、 參考文獻

康軒文化事業(2017) 國民中學自然課本第五冊。新北市。康軒文教事業股份有限公司。

楊仲準(2012) 應用於物理教學之影像數位分析技術。物理教育學刊，13(1)，41-49。

玫瑰線. (2013, March 13). Retrieved from 維基百科, 自由的百科全書

擺. (2017, September 10). Retrieved from 維基百科, 自由的百科全書

傅科擺. (2018, March 16). Retrieved from 維基百科, 自由的百科全書