

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 物理科

第三名

040112

彈跳蟲的運動分析

學校名稱：國立彰化高級中學

作者： 高二 賴奕丰 高二 吳政諺	指導老師： 賴維銘 賴文哲
-------------------------	---------------------

關鍵詞：彈跳蟲、跳躍運動、側彎形變

彈跳蟲的運動分析

摘要

彈跳蟲看似簡單的跳躍方式其實隱含了非常複雜的機制，本研究利用彈簧來模擬其跳躍運動，並藉由調整彈簧端點間距與離地時間差來進行分析，換言之，本研究希望以客觀的科學角度，探討存在於彈跳蟲跳躍運動的奧秘。由研究結果得知，在釋放一端後經四分之一周期後再釋放另一端可跳最遠。

壹、研究動機

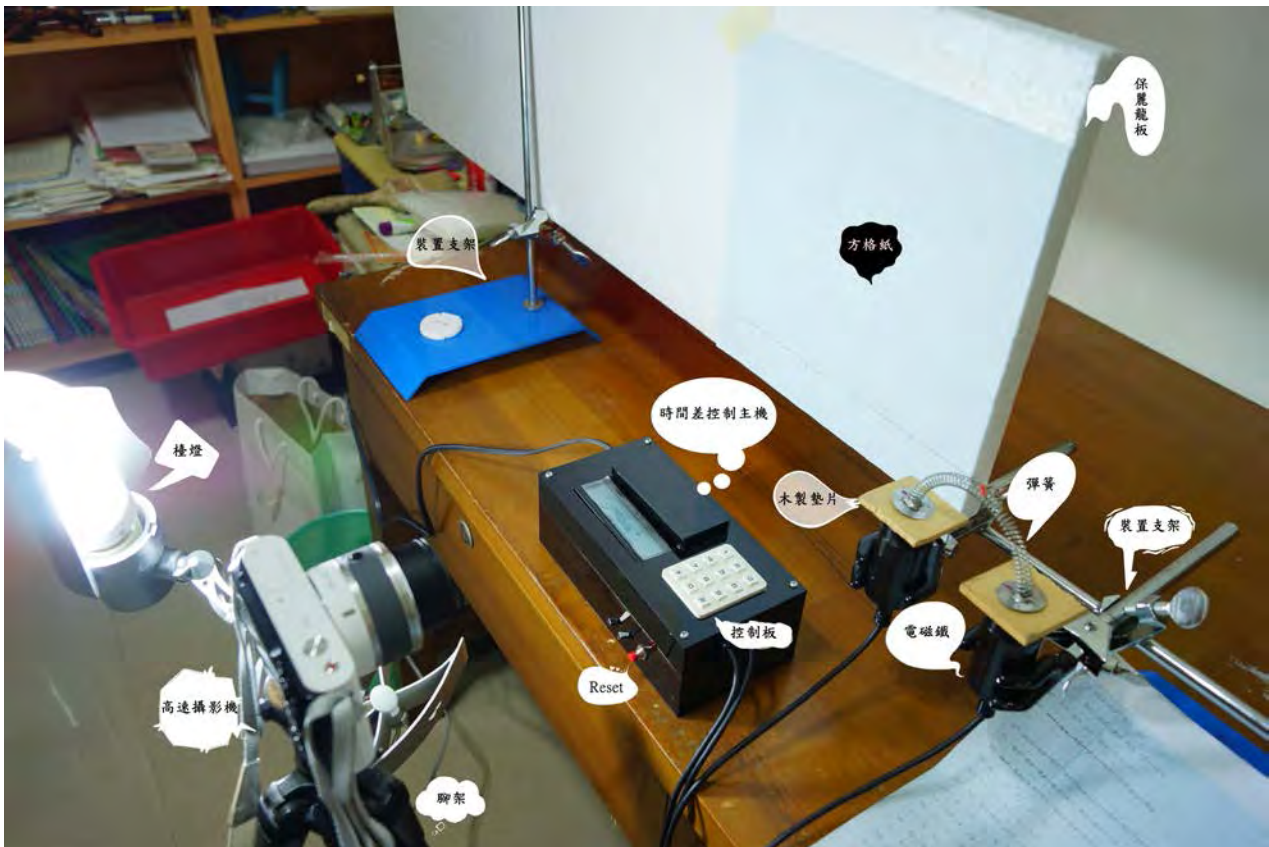
有一次，家中辣椒收成時，偶然發現在裝辣椒的袋子裡發出撞擊的聲音，打開一看，竟然是有一隻蟲在裡面跳來跳去，出於好奇，我們把牠放出來，觀察其跳躍方式，他先把身體捲成倒U字形，再用力繃緊身體，就猛然地跳了出去，這讓我產生疑問：他的身體是如何控制這麼精密的動作，又是怎樣才可以跳的最遠呢?這激起了我的探索心，所以我想以實驗的方式來模擬並探討存在於其中的奧秘。根據我們的觀察，其跳躍前先側彎類似彈簧蓄存彈力位能，以便在跳躍時作能量轉換，但課程中只學習到彈簧伸長或壓縮形變時，受力及位能變化，於是我們想進一步了解彈簧側彎形變在跳躍方面的表現，來模擬彈跳蟲的跳躍方式。

貳、研究目的

- 一、探討彈簧側彎形變，力矩與彎曲角度關係。
- 二、了解端點間距對跳躍距離的影響。
- 三、了解離地時間差對跳躍距離的影響。
- 四、觀察在何種條件下，可得最遠跳躍距離。

參、研究設備及器材

- 1.時間差控制主機
- 2.電磁鐵×2
- 3.裝置支架
- 4.彈簧×2
- 5.方格紙×1
- 6.保麗龍板×1
- 7.木製墊片×2
- 8.高速攝影機×1
- 9.腳架×1
- 10.檯燈×1
- 11.砝碼
- 12.筆芯×1

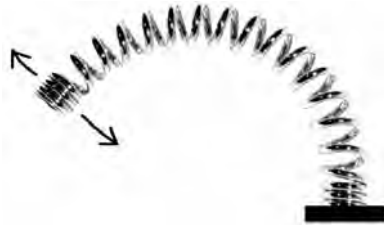


圖一 實驗裝置

肆、研究過程及方法

一、原理

(一)彈簧側彎時會儲存彈力位能，與彈跳蟲跳躍前的型態相同，可用來模擬彈跳蟲的跳躍機制。



圖二 側彎的彈簧



圖三 彈跳蟲的動作

(二)一端固定，釋放另一端點時，彈力位能會轉換成動能，若在適當時間釋放固定的一端，可使彈簧產生跳躍運動。

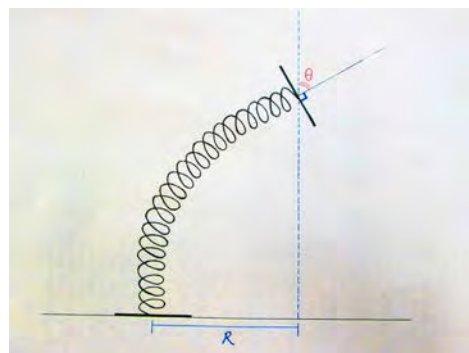
(三)彈簧端點間距決定了彈力位能大小。

(四)當一端釋放之後，與彼端釋放之時間差控制了彈力位能轉換成動能的比例，也影響了彈簧水平與垂直初速度的大小與跳躍距離。

二、研究過程

(一) 測量彈簧側彎形變，力矩與彎曲角度關係

- 1.在彈簧一端垂直黏上一筆芯
- 2.將彈簧垂直固定於桌面
- 3.加砝碼於彈簧一端，並紀錄砝碼質量
- 4.讀取側彎角度 θ 與力臂長 R
5. 重複步驟 3~4



圖四 彈簧側彎示意圖

(二) 前置作業

- 1.設計一套時間差控制系統
- 2.將彈簧兩端焊接上金屬片，並在中點綁上紅線
- 3.將木板鑽孔，置於電磁鐵上方（因電磁鐵上方為尖端，無法穩定吸住彈簧）
- 4.在方格紙上與木板同一水平面之處畫上一水平線

5.架設裝置

6.以慢速錄影方式，測量彈簧週期

(三) 彈跳模擬實驗

1.決定兩電磁鐵間距（彈簧端點間距）

2.設定時間差

3.啓動電磁鐵並將彈簧放上

4.釋放彈簧並用高速攝影機錄下慢速影片

5.進行數據判讀並紀錄

6.變更時間差，重複步驟 3~5

7.變更彈簧兩端間距，重複步驟 2~6

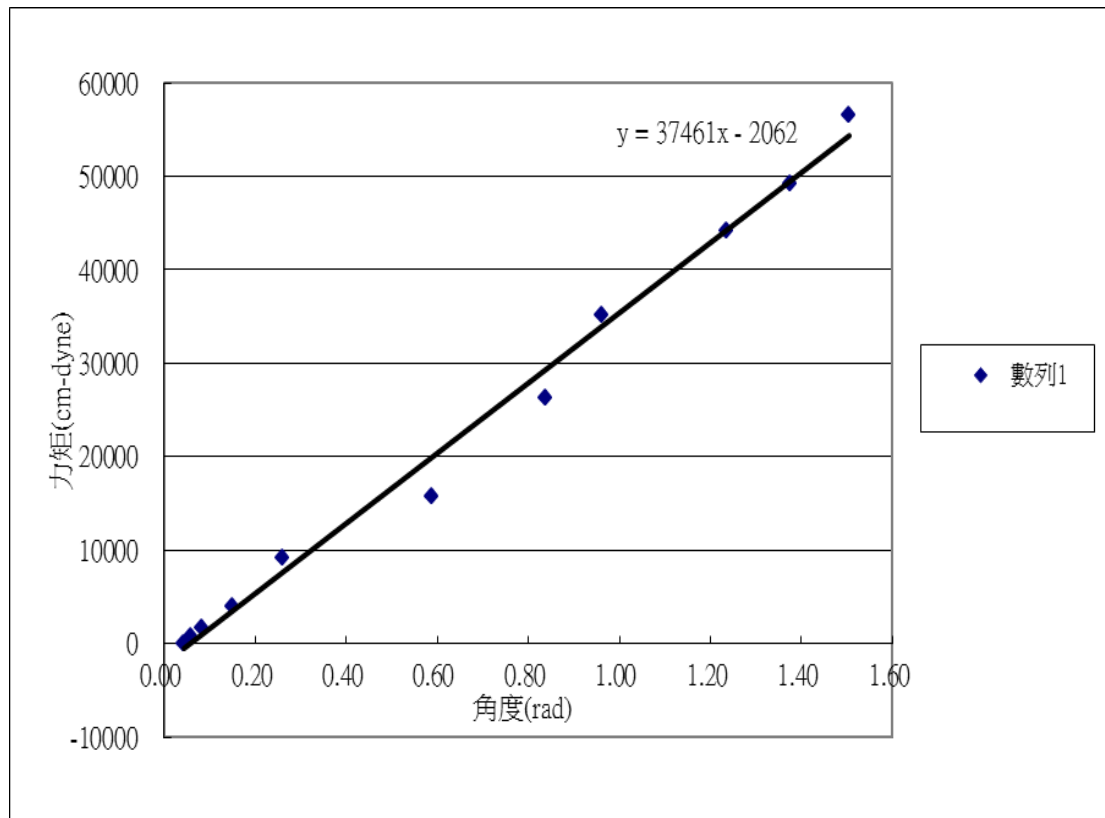
8.取另一條彈簧，重複步驟 1~7

伍、研究結果

一、彈簧一側彎形變，力矩與彎曲角度關係

表一 彈簧一側彎形變，力矩與彎曲角度關係數據表

砝碼重量(g)	Θ (rad)	R(mm)	τ (cm-dyne)
1.09	0.04	0	0
1.68	0.06	5	823
2.27	0.08	8	1780
2.86	0.15	14	3924
3.45	0.26	27	9129
4.04	0.59	40	15837
4.63	0.84	58	26317
5.13	0.96	70	35192
5.63	1.23	80	44139
6.13	1.37	82	49261
6.63	1.50	87	56527



圖五 彈簧一側彎形變，力矩與彎曲角度關係圖

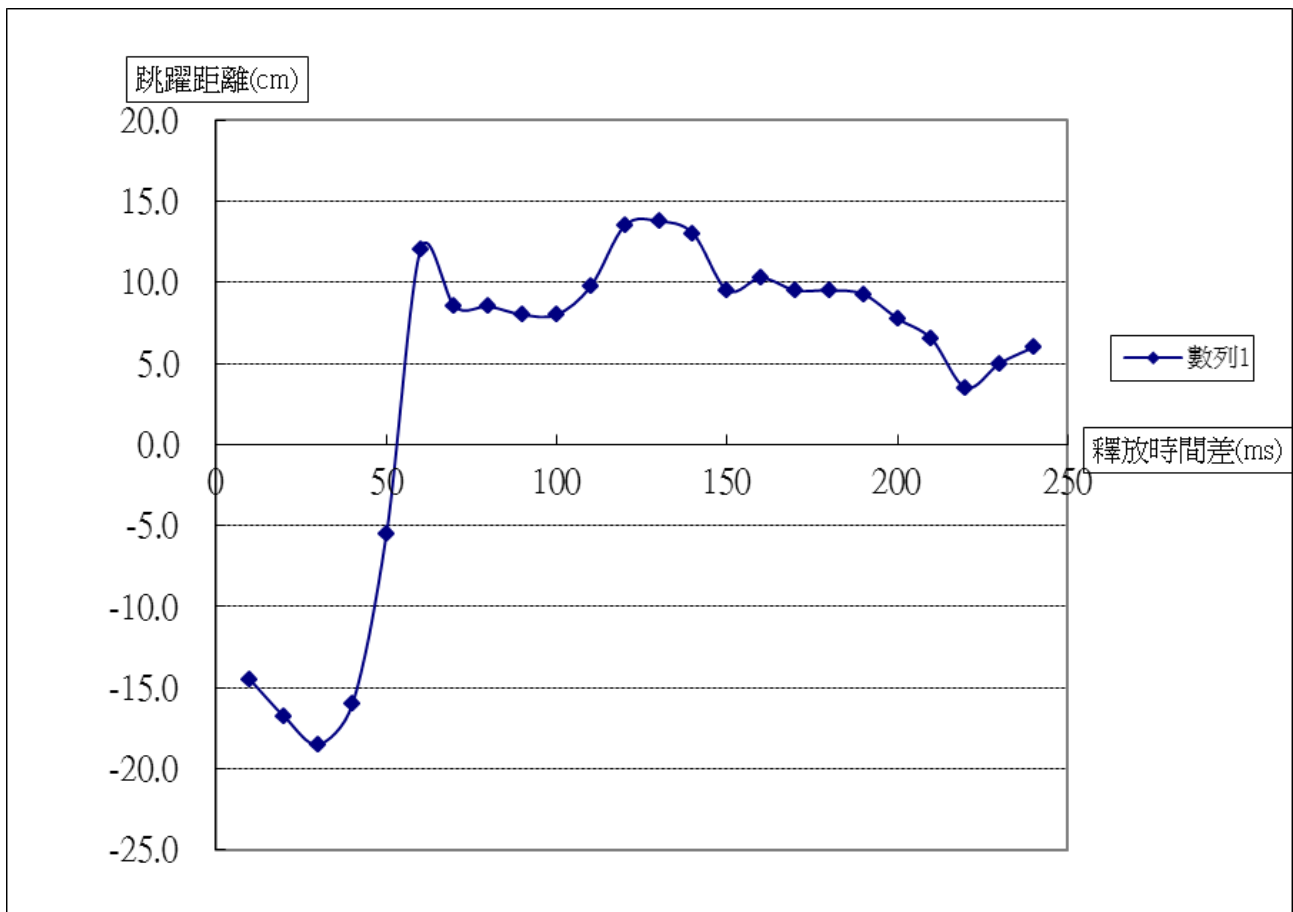
二、彈簧一

(一)彈簧側向擺盪週期 $T=480\text{ms}$

(二)彈簧端點間距(兩電磁鐵間距)7.0cm 跳躍情形

表二 彈簧端點間距 7.0cm，水平跳躍距離數據表

時間差(ms)	數據 1(cm)	數據 2(cm)	數據 3(cm)	平均(cm)
10	-15.0	-14.0	-14.5	-14.5
20	-17.0	-16.5	-16.8	-16.8
30	-18.0	-19.0	-18.5	-18.5
40	-16.0	-16.0	-16	-16.0
50	-6.0	-5.0	-5.5	-5.5
60	12.0	12.0	12	12.0
70	7.0	10.0	8.5	8.5
80	8.5	8.5	8.5	8.5
90	8.0	8.0	8	8.0
100	7.5	8.5	8	8.0
110	10.0	9.5	9.8	9.8
120	14.0	13.0	13.5	13.5
130	14.0	13.5	13.8	13.8
140	12.5	13.5	13	13.0
150	9.5	9.5	9.5	9.5
160	10.0	10.5	10.3	10.3
170	9.5	9.5	9.5	9.5
180	9.5	9.5	9.5	9.5
190	9.5	9.0	9.3	9.3
200	7.0	8.5	7.8	7.8
210	6.5	6.5	6.5	6.5
220	4.0	3.0	3.5	3.5
230	5.0	5.0	5	5.0
240	5.0	7.0	6	6.0



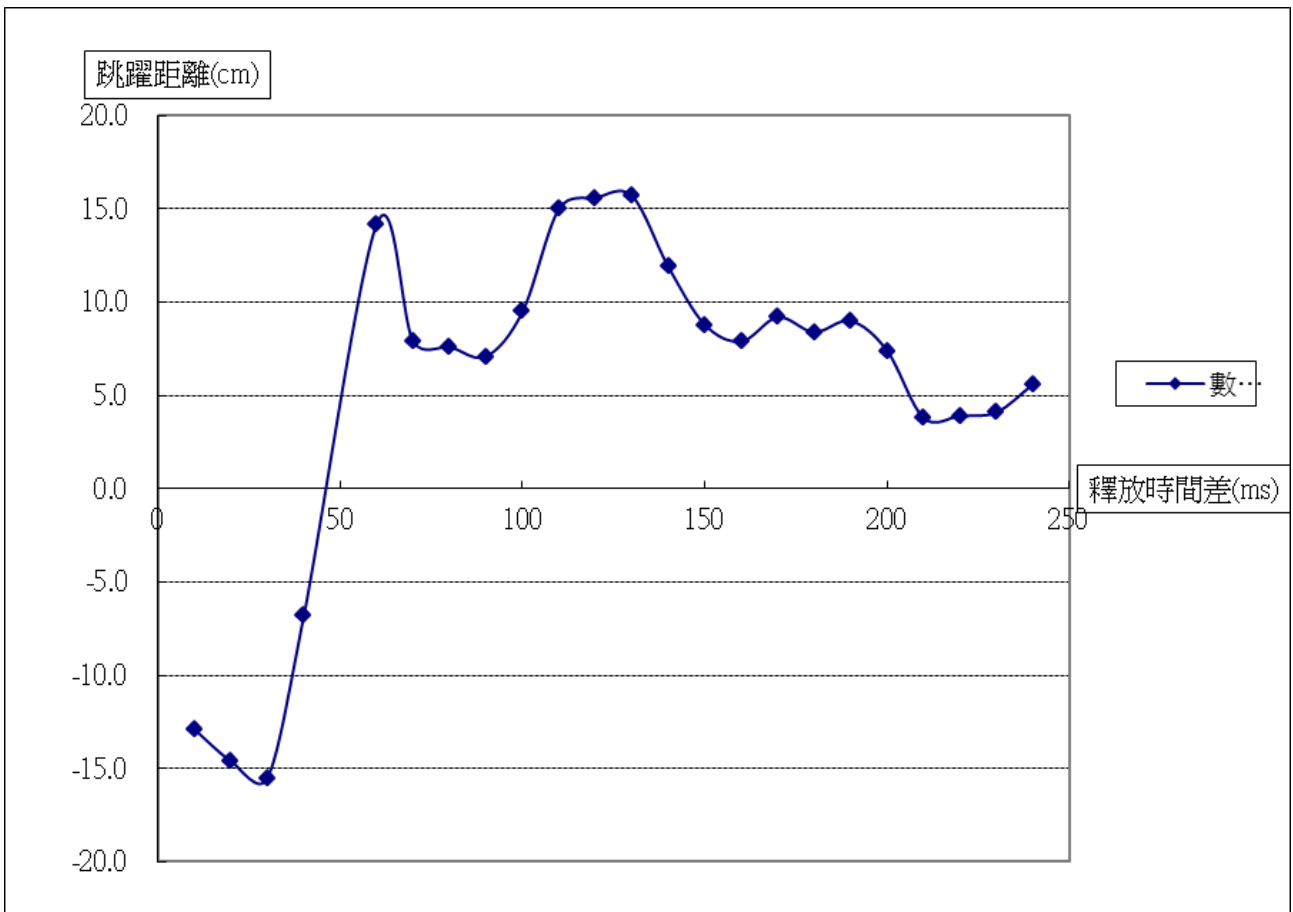
圖六 彈簧端點間距 7.0cm，水平跳躍距離曲線圖

(三)彈簧端點間距 8.0cm 跳躍情形

表三 彈簧端點間距 8.0cm，水平跳躍距離數據表

時間差(ms)	數據 1(cm)	數據 2(cm)	數據 3(cm)	數據 4(cm)	數據 5(cm)	平均(cm)
10	13.5	12.5	12.0	13.5	13.0	-12.9
20	14.5	14.5	15.5	14.5	14.0	-14.6
30	15.0	15.5	16.0	15.5	15.5	-15.5
40	7.0	6.5	6.5	7.0	7.0	-6.8
60	15.0	15.0	13.0	14.0	14.0	14.2
70	7.5	8.0	8.0	8.0	8.0	7.9
80	8.5	8.0	7.5	7.0	7.0	7.6
90	7.0	7.0	7.5	7.0	7.0	7.1
100	9.0	10.0	9.5	10.0	9.0	9.5
110	14.5	14.5	15.5	15.5	15.0	15.0
120	16.0	15.0	16.0	16.0	15.0	15.6
130	15.5	16.0	16.0	15.5	15.5	15.7
140	10.5	12.0	12.0	12.5	12.5	11.9

150	9.0	9.5	8.0	8.0	9.5	8.8
160	8.0	8.0	7.5	8.0	8.0	7.9
170	9.5	10.0	8.5	8.5	9.5	9.2
180	8.5	8.5	8.5	8.0	8.5	8.4
190	9.0	9.0	9.5	8.5	9.0	9.0
200	7.0	8.0	7.0	7.0	8.0	7.4
210	3.0	5.0	4.0	4.0	3.0	3.8
220	3.5	3.5	4.0	4.5	4.0	3.9
230	4.5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.1
240	6.5	6.0	5.0	5.0	5.5	5.6



圖七 彈簧端點間距 8.0cm，水平跳躍距離曲線圖

三、彈簧二

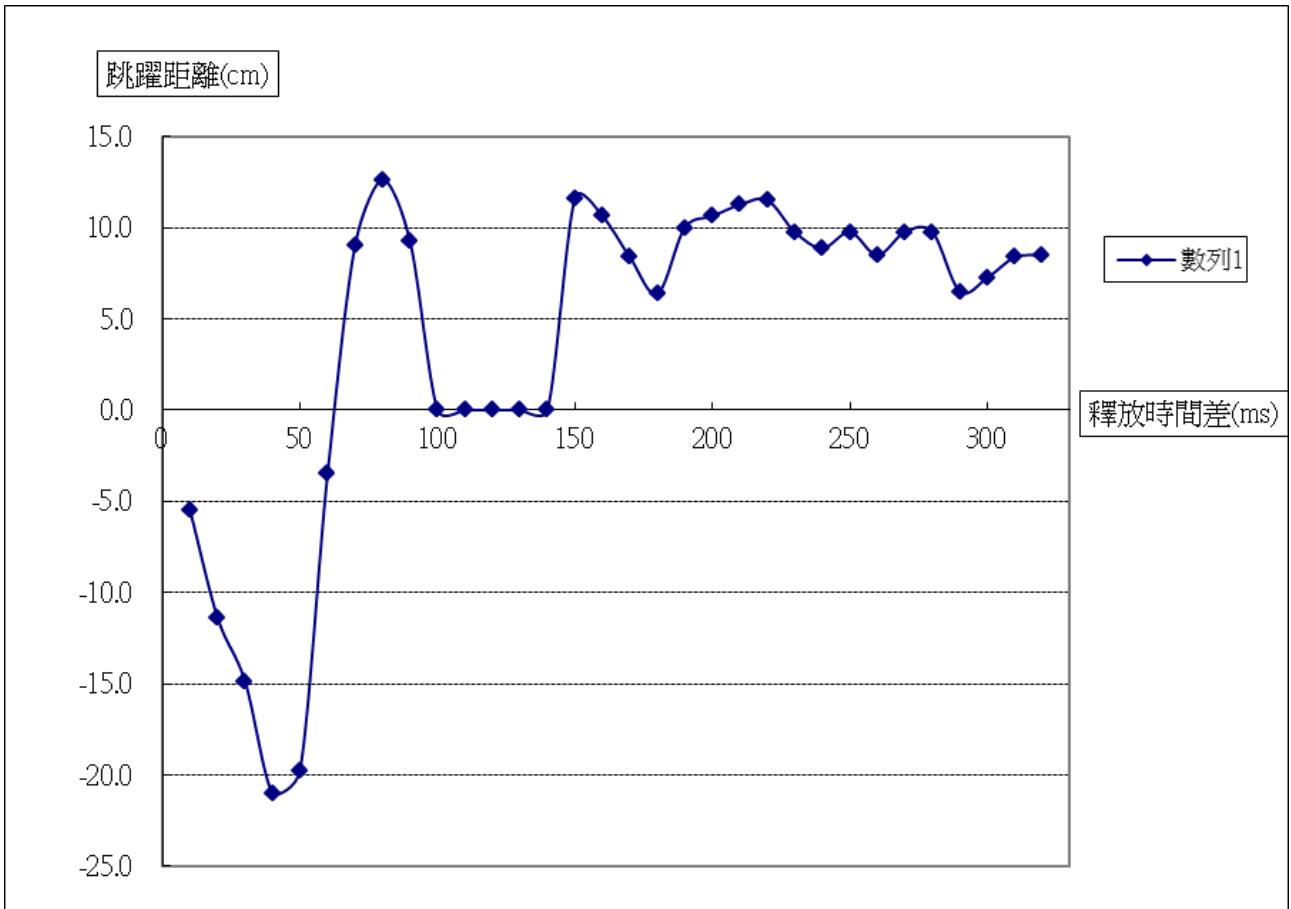
(一)彈簧側向擺盪週期 $T=640\text{ms}$

(二)彈簧端點間距 5.0cm 跳躍情形

表四 彈簧端點間距 5.0cm ，水平跳躍距離數據表

時間差(ms)	數據 1(cm)	數據 2(cm)	數據 3(cm)	數據 4(cm)	平均(cm)
10	-5.5	-5.5	-4.0	-5.0	-5.5
20	-11.0	-12.0	-11.0	-11.5	-11.4
30	-15.0	-15.0	-15.0	-14.5	-14.9
40	-18.0	-18.5	-23.5	-24.0	-21.0
50	-22.0	-18.0	-19.0	-20.0	-19.8
60	-3.5	-3.0	-4.0	-3.5	-3.5
70	10.0	9.0	8.5	8.5	9.0
80	14.5	11.5	12.5	12.0	12.6
90	11.0	8.5	8.5	9.0	9.3
100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
110	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
120	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
130	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
140	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
150	12.5	10.5	12.5	11.0	11.6
160	11.0	10.0	12.0	9.5	10.6
170	9.0	8.0	7.0	9.5	8.4
180	6.0	6.0	7.0	6.5	6.4
190	10.0	9.0	9.5	11.5	10.0
200	10.5	10.0	11.0	11.0	10.6
210	11.0	11.0	11.5	11.5	11.3
220	12.0	13.0	11.0	10.0	11.5
230	9.0	11.5	8.0	10.5	9.8
240	9.5	9.0	8.0	9.0	8.9
250	9.0	10.0	10.5	9.5	9.8
260	7.5	8.0	8.5	10.0	8.5
270	10.0	10.0	9.5	9.5	9.8
280	8.5	9.0	10.5	11.0	9.8
290	6.5	7.5	6.0	6.0	6.5

300	8.0	6.0	7.0	8.0	7.3
310	8.0	8.5	9.0	8.0	8.4
320	8.0	9.0	7.5	9.5	8.5



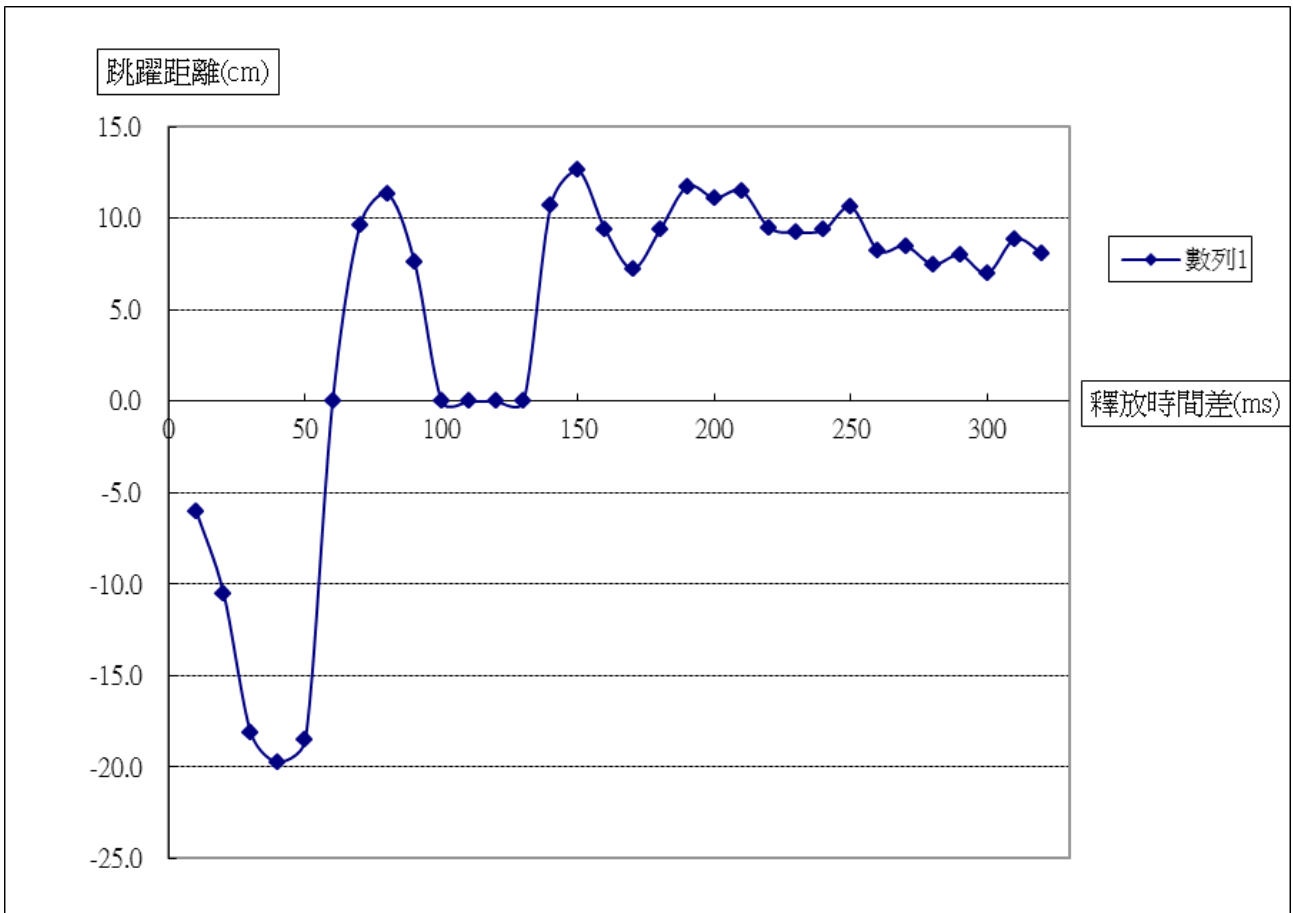
圖八 彈簧端點間距 5.0cm，水平跳躍距離曲線圖

(三)彈簧端點間距 6.0cm 跳躍情形

表四 彈簧端點間距 6.0cm，水平跳躍距離數據表

時間差(ms)	數據 1(cm)	數據 2(cm)	數據 3(cm)	數據 4(cm)	平均(cm)
10	-6.0	-6.5	-5.0	-6.5	-6.0
20	-10.0	-10.0	-11.0	-11.0	-10.5
30	-18.0	-18.5	-18.0	-18.0	-18.1
40	-20.0	-19.5	-20.0	-19.5	-19.8
50	-18.0	-19.0	-18.5	-18.5	-18.5
60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
70	10.0	9.0	9.0	10.5	9.6
80	11.5	12.0	11.0	11.0	11.4
90	8.0	7.5	8.0	7.0	7.6

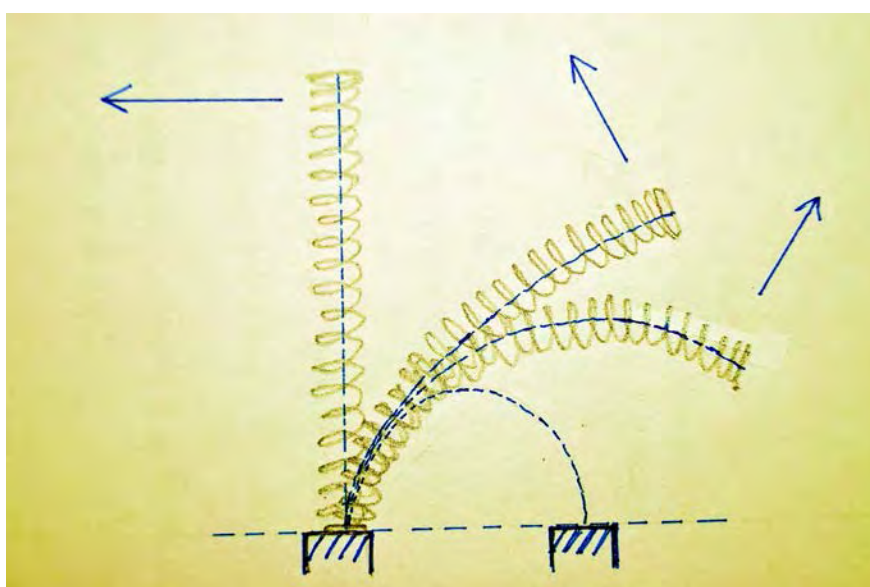
100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
110	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
120	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
130	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
140	10.0	11.0	11.5	10.5	10.8
150	13.0	12.5	13.0	12.0	12.6
160	10.0	9.5	8.0	10.0	9.4
170	7.5	7.0	7.0	7.5	7.3
180	8.5	9.0	10.5	9.5	9.4
190	12.0	13.0	10.0	12.0	11.8
200	10.0	13.5	11.0	10.0	11.1
210	10.0	12.0	11.0	13.0	11.5
220	11.0	9.0	8.0	10.0	9.5
230	8.0	10.0	9.0	10.0	9.3
240	9.0	9.5	9.5	9.5	9.4
250	10.5	10.0	10.0	12.0	10.6
260	8.0	7.0	8.0	10.0	8.3
270	8.5	9.0	8.0	8.5	8.5
280	7.0	8.0	7.5	7.5	7.5
290	8.0	8.0	7.5	8.5	8.0
300	8.5	6.0	6.5	7.0	7.0
310	10.0	9.0	8.0	8.5	8.9
320	9.0	7.0	8.0	8.5	8.1



圖九 彈簧端點間距 6.0cm，水平跳躍距離曲線圖

陸、討論

- 一、彈簧側彎形變，力矩與彎曲角度關係符合線性關係。
- 二、離地時間差為十六分之一周期($\frac{1}{16}T$)前，彈簧由慢放端朝先放端方向跳躍，跳躍距離記作負值；離地時間差為 $\frac{1}{16}T$ 以後，開始往反方向跳躍(先放端朝慢放端方向)，跳躍距離記作正值。
- 三、限於電磁鐵的吸力，彈簧端點間距須調整到實驗過程彈簧能順利跳躍，在有限的間距內，間距大小對實驗結果影響不大。
- 四、因彈簧扭曲所造成的差異不可小覷，因此若中點通過方格紙上的水平線時非成一直線，則需重做，因中點在當時非為其質心。
- 五、由圖四可看出跳躍距離有三個峰值，分別位於離地時間差為 30ms、60ms、120ms；由圖五可看出跳躍距離有三個峰值，分別位於離地時間差為 30ms、60ms、130ms；由圖六可看出跳躍距離有三個峰值，分別位於離地時間差為 40ms、80ms、150ms；由圖七可看出跳躍距離有三個峰值，分別位於離地時間差為 40ms、80ms、150ms。峰值位置分別出現在 $\frac{1}{16}T$ 、 $\frac{1}{8}T$ 、 $\frac{1}{4}T$ ，其運動模式如下圖所示：



圖十 彈簧運動模式圖

- 六、離地時間差為 10ms 時，彈簧才剛開始回復形狀，就馬上放開，大部分的彈力位能尚未轉成動能，無法跳太遠，至離地時間差為 $\frac{1}{16}T$ 時，部分彈簧已充分伸展，側向速度較大，

若此時不放開，被電磁鐵吸住的那一端會拉住彈簧，使得側向速度減低，少部分動能又轉為彈力位能，將彈簧拉長，跳躍距離又會減短，故離地時間差為 $\frac{1}{16}T$ 時，會在圖形上產生一峰值。

七、離地時間差為 $\frac{1}{8}T$ 時，在躍出瞬間以初速呈仰角 45 度角飛出，根據運動學，斜拋之物體在有相同初速的情況下，拋出時初速與水平面成 45 度角，可拋最遠。

八、離地時間差為 $\frac{1}{4}T$ 時，彈簧形狀呈現一垂直線，彈力位能釋放較多，因此水平方向速度較大，也因此彈簧中點在起跳高度方面具有相對的優勢，跳躍距離也較遠，在離地時間差超過 $\frac{1}{4}T$ 後，被吸住的一端的拉力給予向心力，造成彈簧的旋轉，同時減緩了側向速度，更使其有向下的速度分量，跳躍距離因此縮短，故離地時間差 $\frac{1}{4}T$ 時會在圖形上產生一峰值。

柒、結論

- 一、彈簧側彎形變，力矩與彎曲角度成正比關係，彈簧彎曲可儲存彈力位能，使彈簧如彈跳蟲般產生跳躍運動。
- 二、在離地時間差為該彈簧週期之十六分之一時，可得最遠跳躍距離。
- 三、時間差的不同會影響初速量值及仰角，也會影響起跳時彈簧質心之水平位置及垂直高度，進而影響跳躍距離。
- 四、由實驗結果可知，在離地時間差為該彈簧週期之十六分之一、八分之一和四分之一時，跳躍距離相對較遠，其中又以 $\frac{1}{16}T$ 時之跳躍距離為最遠。

捌、參考資料及其他

一、維基百科彈簧介紹

<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%BC%B9%E7%B0%A7>

二、彈簧機件原理

<http://tsvr.hlvs.ylc.edu.tw/tp/teacher/bluebird/%E6%95%99%E5%AD%B8%E8%B3%87%E6%BA%90/%E6%A9%9F%E4%BB%B6%E5%8E%9F%E7%90%86%E7%AC%AC5%E7%AB%A0%E5%BD%88%E7%B0%A7%E8%AC%9B%E6%9C%AC.doc>

三、時間差控制裝置操做說明

- 1.按 2/8 以調高/調低時間差
- 2.按 4/6 以調整位數(個位、十位、百位)
- 3.按 5(SET)以固定數值
- 4.按 * (HOLD)使電磁鐵通電，產生磁力並吸住彈簧
- 5.按 # (RELEASE) 使電磁鐵先後斷電，釋放彈簧



圖十一 時間差顯示屏



圖十二 時間差控制板

【評語】 040112

題目來自觀察彈跳蟲的運動，以簡單的彈簧模型分析，與實驗結果呈現相符，可以解釋實驗結果，題目有新意，值得鼓勵。

彈簧模型相當簡單。若能改進模型，可望得到更精確的結果，得到更豐富的物理內容。