

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

佳作

030118

探討流動珠鍊於平面上產生彈跳的現象

學校名稱：臺中市立大雅國民中學

作者： 國一 鐘友宏 國一 毛奐瑜	指導老師： 鐘文生
-------------------------	--------------

關鍵詞：珠鍊、彈跳、轉折

摘要

本實驗為探討流動珠鍊產生彈跳現象之物理機制，分成燒杯內的彈跳行為及平面上的彈跳行為。我們研究發現，反作用力無法解釋珠鍊於平面上落下時仍會產生彈跳現象。實驗顯示，珠鍊掉落的高度越高，珠鍊的流速就會越快，當珠鍊流速達到一定值時，將會發生珠鍊彈跳的現象，這在珠鍊處於燒杯內及平面上都是一樣的結果。平面上珠鍊的擺設轉折處將會影響珠鍊是否發生彈跳現象，取決於珠鍊的擺設是否有多次轉折。轉折數越多、越集中，將越容易發生彈跳。藉由高速攝影機錄影大量觀察珠鍊彈跳現象，發現珠鍊在移動彈跳的過程中都會產生扭轉的行為，而且扭轉都會呈現類似 S 型的形狀，此增加珠鍊的支撐力道，造成珠鍊彈起的現象。

壹、研究動機










進入國中是一個嶄新的求學階段，老師詢問是否有人要做科展，自己自告奮勇說自己有興趣。但是，科展要研究什麼題目呢？我們找到國立台中教育大學科學實驗室的網站，其中我們看到一則「珠鍊噴泉」的實驗，發現這個實驗蠻有趣的。再查到國外網站有相關的研究及影片，珠鍊彈跳的原因尚未有明確的解釋，其中以珠鍊底部受到反作用力的解釋比較受到支持。我們利用高速攝影機錄影後播放，來觀察珠鍊彈跳的現象，發現移動中的珠鍊會有扭轉的現象。尤其我們發現珠鍊處在平面上時，也會產生彈跳的現象，這個平面上的彈跳行為，無法以珠鍊受到反作用力來解釋。因此我們覺得以作用力與反作用力做為解釋，可能不夠充分，因此，我們決定好好地研究這個現象。

貳、研究目的

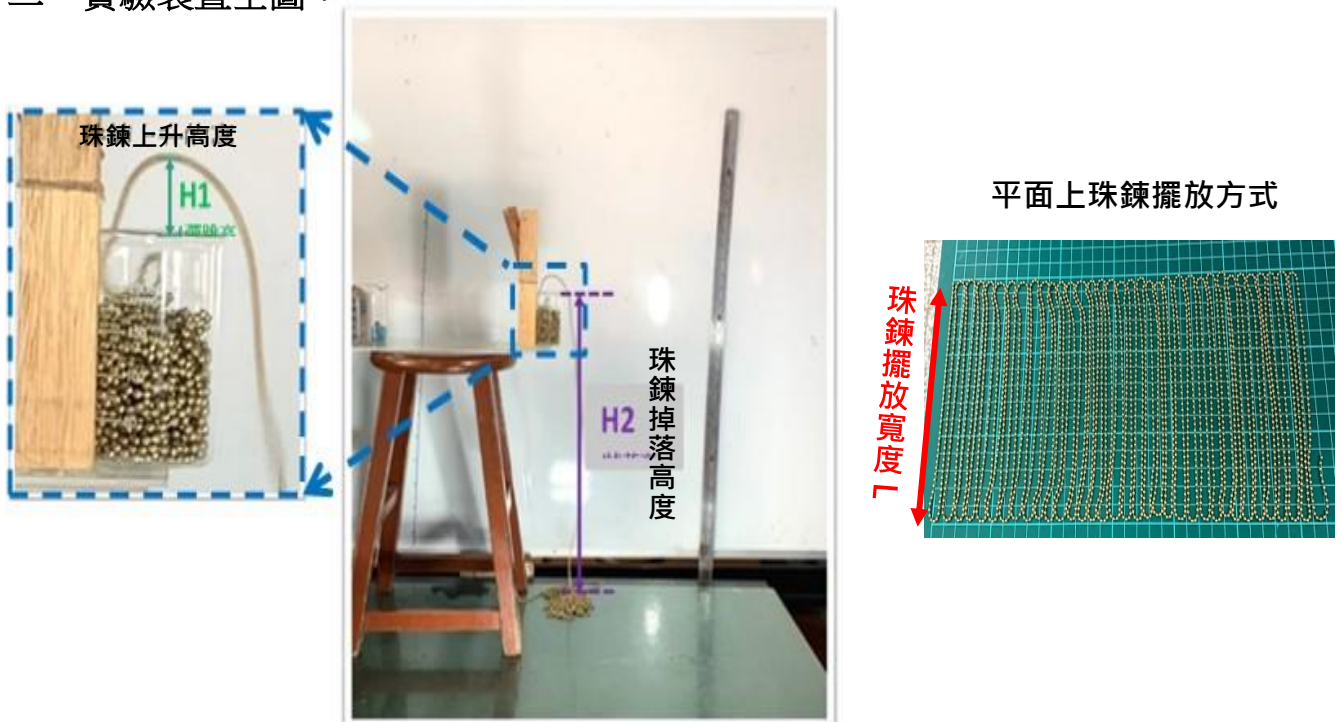
1. 探討燒杯內珠鍊施放時間分別與珠鍊直徑、施放高度(H_2)及施放瞬間拉力的關係。
2. 探討燒杯內珠鍊彈跳高度(H_1)與珠鍊施放瞬間拉力的關係。
3. 探討燒杯內珠鍊彈跳高度(H_1)與珠鍊掉落高度(H_2)的關係。
4. 測量每小分段珠鍊的平均流速，探討珠鍊各分段的流速變化。
5. 珠鍊處在平面上，探討珠鍊擺設寬度(L)如何影響珠鍊的彈跳高度(H_1)。
6. 利用高速攝影機觀察珠鍊處在平面上的彈跳行為。
7. 探討珠鍊於平面上產生彈跳的高度(H_1)與珠鍊掉落高度(H_2)的關係。
8. 探討珠鍊於平面上產生彈跳的高度(H_1)與珠鍊顆粒大小的關係。
9. 探討不平整的平面對珠鍊彈跳行為的影響。

參、研究設備與器材

一、器材總覽：

物 品	照 片		
1.珠鍊 1.0mm、 1.5mm、 2.3mm、 3.0mm、 3.2mm、 4.0mm。			
			
2.捲尺 550cm		3.水平儀	
4.升高器		5.游標尺	
6.燒杯	50ml、250ml	7.切割版	
8.攝影	APPLE 手機，錄影 240fps	9.文具	剪刀、美工刀、膠帶等

二、實驗裝置全圖：



肆、研究過程與方法

第一部份：實驗一 ~ 實驗六

1. 珠鍊放在「燒杯內」，當珠鍊流動掉落時，觀察珠鍊的彈跳行為。
2. 使用高速攝影機錄影，設定 240fps，重複實驗五次。
3. 讀取數據後利用 Excel 做出上面的圖表。
4. 實驗一~實驗六的實驗條件如下表：

實驗	控制變因	操縱變因
一	珠鍊掉落高度(H ₂)：100cm； 珠鍊長度：10m	改變珠鍊顆粒大小： 1.0mm、1.5mm、2.3mm、3.0mm、3.2mm、4.0mm
二	珠鍊放在燒杯內；珠鍊長 度：10m；珠鍊直徑：3mm	改變珠鍊掉落的高度(H ₂)：20cm、40cm、60cm、 80cm、100cm、120cm、150cm、200cm
三	高度：120cm；珠鍊直徑： 3mm；珠鍊長度：10m	改變珠鍊施放瞬間的拉力：5gw、10gw、15gw、 20gw、30gw、40gw、50gw、100gw、150gw、200gw
四	掉落高度：120cm；珠鍊直 徑：3mm；珠鍊長度：10m	改變珠鍊施放瞬間的拉力：5gw、10gw、15gw、 20gw、30gw、40gw、50gw、100gw、150gw、200gw
五	顆粒大小：3mm；珠鍊長 度：10m	改變珠鍊掉落的高度(H ₂)：30cm、50cm、75cm、 100cm、130cm、150cm、175cm
六	珠鍊長度：30m；珠鍊直 徑：3.2mm	珠鍊掉落高度(H ₂)分別為：100cm、150cm、200cm 測量珠鍊每分段的平均速率

第二部份：實驗七 ~ 實驗十一

1. 珠鍊放在「平面上」，當珠鍊流動掉落時，觀察珠鍊的彈跳行為。
2. 使用高速攝影機錄影，設定 240fps，重複實驗五次。
3. 讀取數據後利用 Excel 做出上面的圖表。
4. 實驗七~實驗十一的實驗條件如下表：

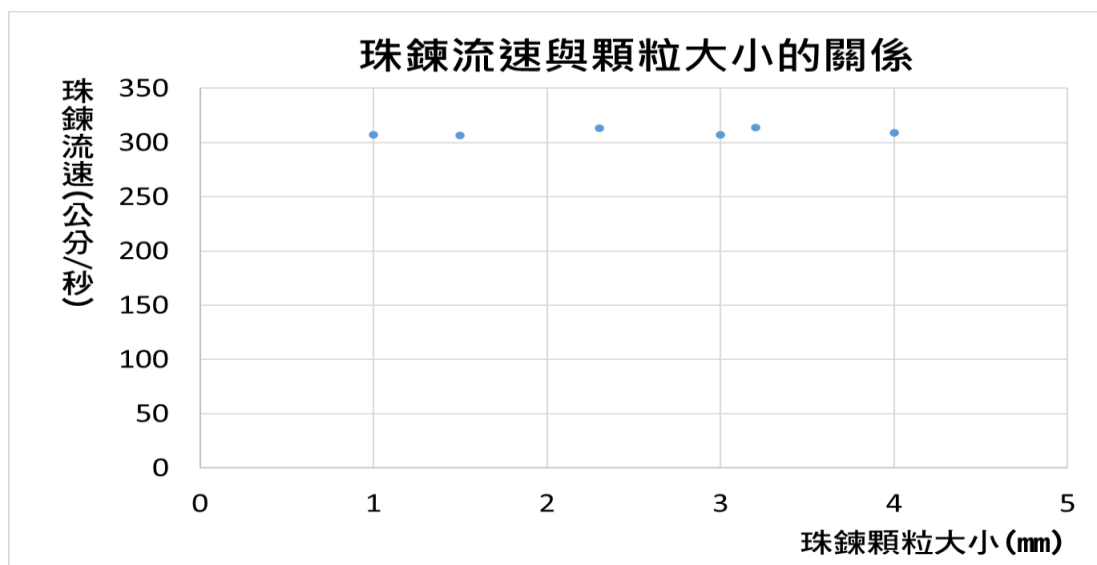
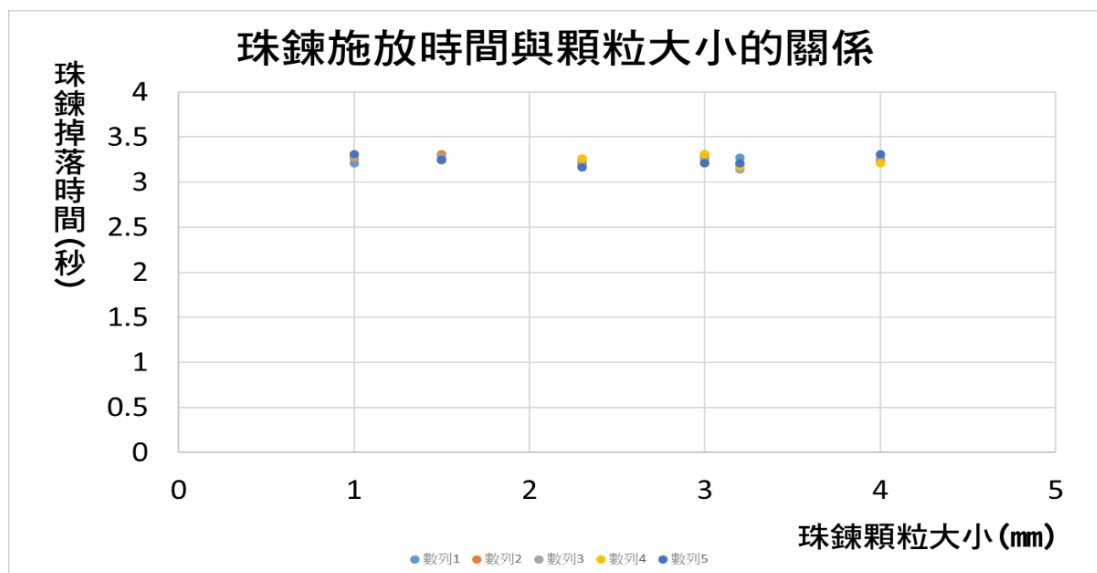
實驗	控制變因	操縱變因
七	珠鍊長度：10m；珠鍊掉落高度 (H ₂)：75cm	改變珠鍊擺設寬度(L) 10cm、15cm、20cm、25cm、30cm、35cm、 45cm、50cm、58cm
八	珠鍊長度：10m；珠鍊掉落高度 (H ₂)：75cm；攝影機 240fps	拍攝珠鍊的彈跳現象： 珠鍊擺設寬度：10cm、15cm、20cm、25cm、 30cm、35cm、45cm、50cm、58cm
九	珠鍊長度：10m；珠鍊直徑： 3.2mm；擺放寬度(L)：20cm	改變珠鍊掉落的高度(H ₂)：30cm、40cm、50cm、 75cm、100cm、120cm、150cm、180cm、200cm
十	珠鍊長度：10m；珠鍊擺放寬度 (L)：20cm	改變珠鍊顆粒大小： 1.5mm、2.3mm、3.0mm、3.2mm、4.0mm
十一	珠鍊擺放寬度 60cm、珠鍊直 徑：3.2mm	平面上的中間貼上 15cm 寬的砂紙

伍、研究結果

<< 實驗一 >>

- 一、實驗目的：探討珠鍊施放時間與珠鍊顆粒大小的關係。
- 二、實驗條件：珠鍊放在燒杯內；珠鍊掉落高度(H₂)：100cm；珠鍊長度：10m
- 三、實驗數據：

顆粒直徑\次數	1	2	3	4	5	平均(S)
1.0mm	3.21	3.26	3.28	3.30	3.31	3.27
1.5mm	3.30	3.31	3.28	3.24	3.25	3.28
2.3mm	3.21	3.18	3.24	3.26	3.16	3.21
3.0mm	3.27	3.30	3.24	3.31	3.21	3.27
3.2mm	3.27	3.21	3.14	3.18	3.21	3.20
4.0mm	3.24	3.24	3.27	3.21	3.31	3.25



四、結果與分析：

- 1.我們先把不同顆粒大小的珠鍊放到高 100cm 的板子上，並且在珠鍊掉落的過程中，使用高速攝影機錄影，設定 240fps，重複實驗五次，再換成不同的顆粒大小的珠鍊，並且重複以上的動作，然後讀取數據後利用 Excel 做出上面的圖表。
- 2.珠鍊在相同高度落下的條件下，原本我們“猜測”珠鍊掉落時的施放時間將會受到顆粒大小的影片，但由本次實驗卻可得知，珠子直徑大小從 1mm~4mm 之間，所測量得到的數據皆約略介於 3.2 秒~3.3 秒之間，可見，珠子的大小並不會影響珠鍊的掉落所需時間。
- 3.由於珠鍊移動平均速率 = 移動距離 ÷ 移動時間。因此，當珠鍊長度一樣時(皆為 10 公尺)，實驗得到移動的時間約略相同，那麼代表珠鍊在相同高度落下的條件下，珠鍊的移動平均速率相同。
- 4.由本次實驗發現，珠子的大小並不會影響珠鍊的掉落所需時間，我們因為做完這次的實驗而發現在相同掉落高度的條件下，珠鍊掉落時間並不會受到珠鍊顆粒大小的影響。因此，我們緊接的馬上想到，改變掉落高度是否就會不一樣了呢？所以，我們就進行以下第二個實驗。

<< 實驗二 >>

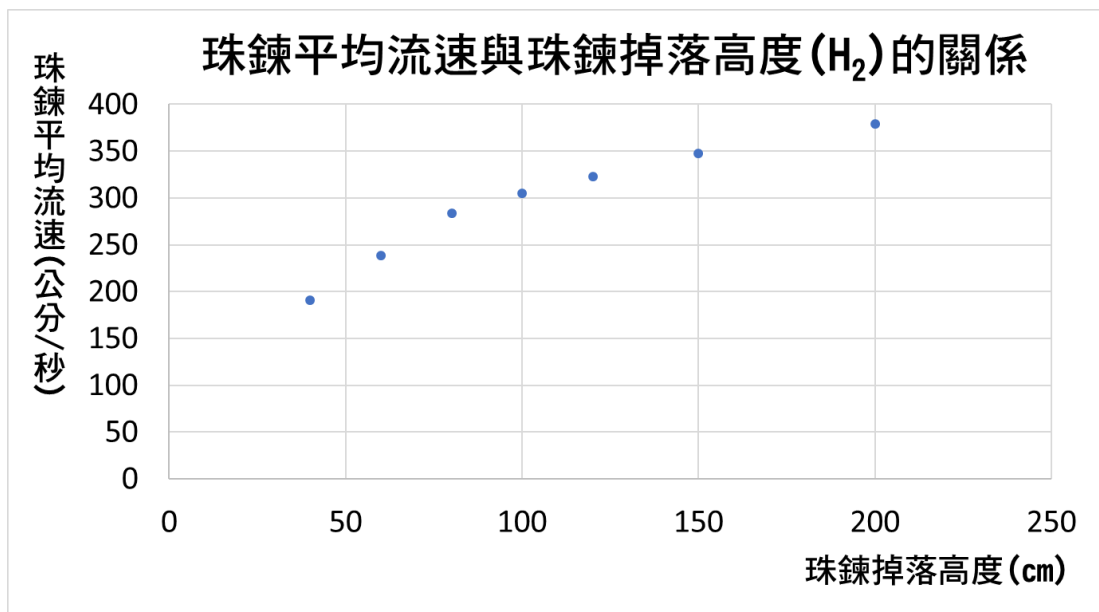
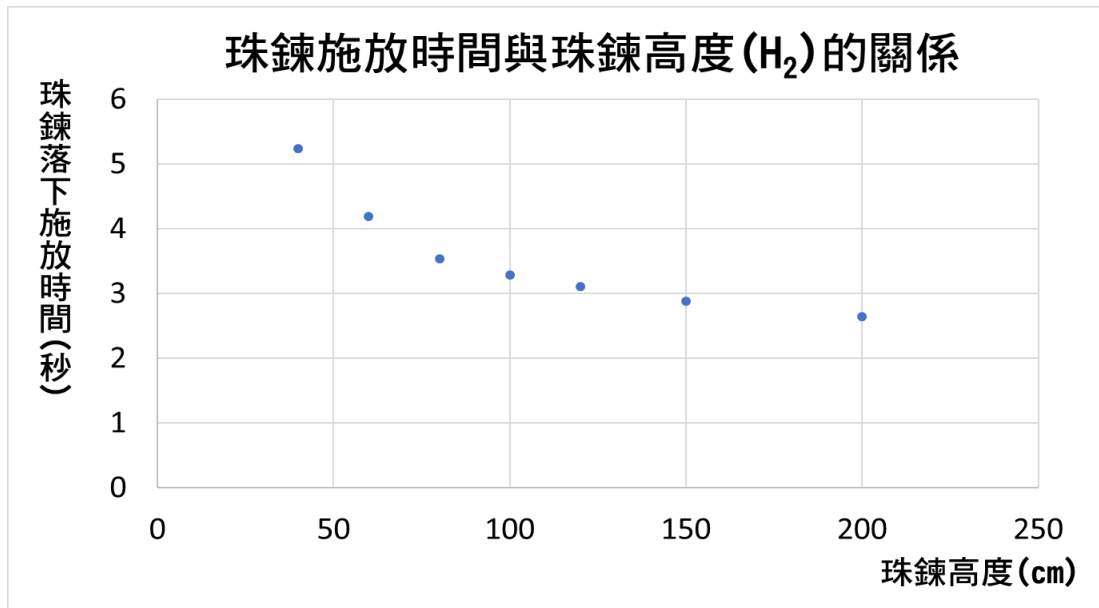
一、實驗目的：探討珠鍊施放時間與珠鍊施放高度(H₂)的關係。

二、實驗條件：珠鍊放在燒杯內；珠鍊長度：10m；珠鍊直徑：3mm

三、實驗數據：

單位：S(秒)

高度 次數	20cm	40cm	60cm	80cm	100cm	120cm	150cm	200cm
1	無	5.53	4.57	3.56	3.23	3.03	2.83	2.67
2	無	4.77	4.00	3.56	3.30	3.10	2.90	2.70
3	無	5.37	4.33	3.40	3.33	3.13	2.90	2.63
4	無	4.93	4.00	3.67	3.33	3.07	2.90	2.60
5	無	5.60	4.03	3.47	3.23	3.17	2.87	2.60
平均	無	5.24	4.19	3.53	3.28	3.10	2.88	2.64



四、結果與分析：

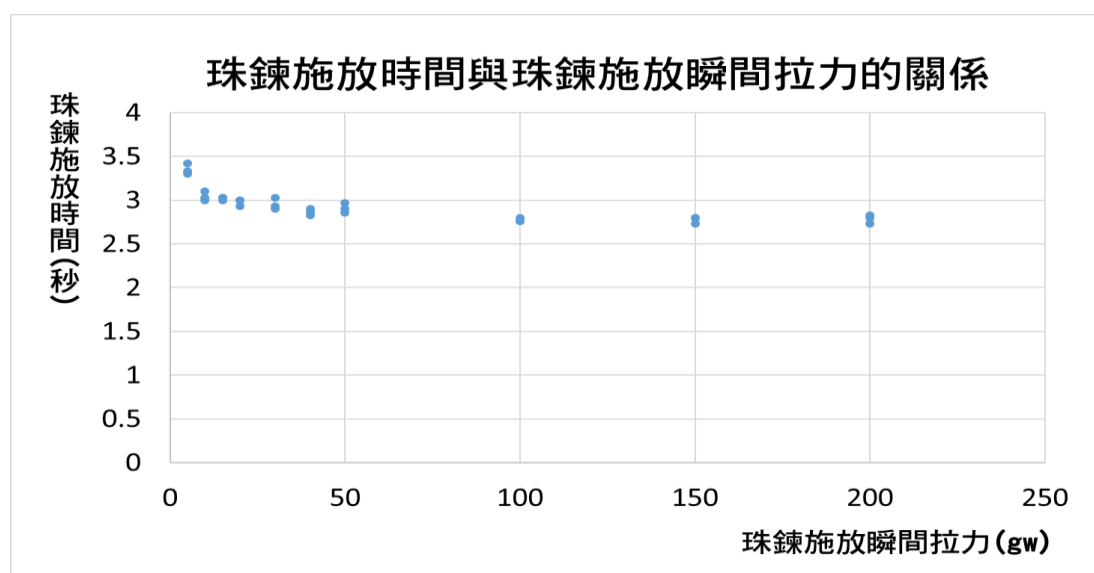
- 1.我們先將長 10 公尺珠鍊放進燒杯，然後把燒杯放在 20cm 的高度(H₂)，並且在珠鍊掉落的過程中，使用高速攝影機錄影，設定 240fps，重複實驗五次，再將珠鍊換成不同的高度，並且重複以上的動作，然後讀取數據後利用 Excel 做出上面的圖表。
- 2.實驗結果可知，珠鍊擺放高度(H₂)越高，則珠鍊掉落時的釋放時間越短，表示珠鍊移動的速度較快。擺放高度(H₂)越小，釋放時間越長，表示珠鍊移動的速度較慢。
- 3.當高度處於 20 公分時，珠鍊無法發生彈跳的現象。因此，珠鍊必須具備較多的速率(也就是較大的動能)才能產生彈跳的現象。
- 4.我們發現珠鍊彈跳現象與珠鍊移動速率具有關連性。因此我們想進一步探討珠鍊彈跳高度(H₁)與珠鍊隨時間變化的關係。所以我們就做了第三個實驗。

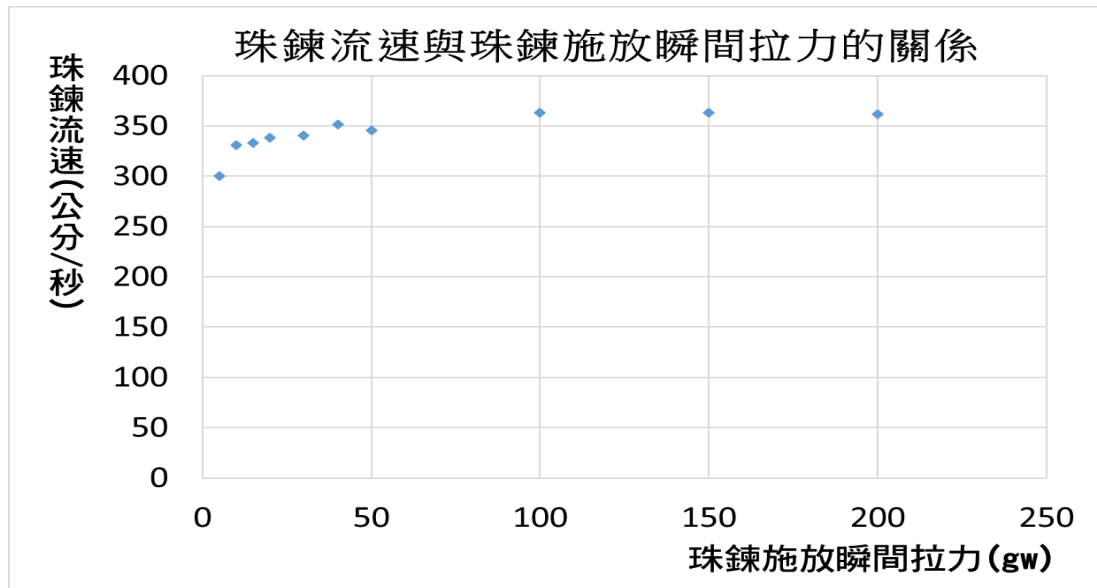
<< 實驗三 >>

- 一、實驗目的：探討珠鍊釋放時間與珠鍊釋放瞬間拉力的關係。
- 二、實驗條件：珠鍊放在燒杯內；高度：120cm；顆粒大小：3mm；珠鍊長度：10m
- 三、實驗數據：

單位：秒

實驗次數 拉力	1	2	3	平均
5gw	3.30	3.33	3.42	3.35
10gw	3.10	3.03	3.00	3.04
15gw	3.03	3.03	3.00	3.02
20gw	3.00	3.00	2.93	2.97
30gw	2.93	2.90	3.03	2.95
40gw	2.90	2.87	2.83	2.86
50gw	2.97	2.86	2.90	2.91
100gw	2.76	2.76	2.80	2.77
150gw	2.80	2.73	2.80	2.77
200gw	2.83	2.73	2.80	2.78





四、結果與分析：

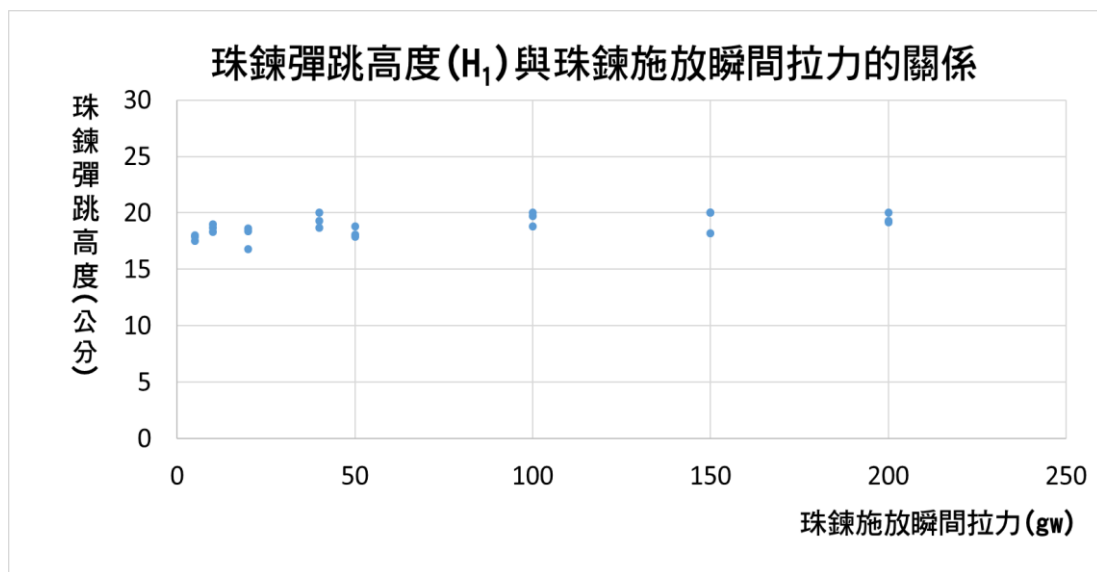
- 1.一開始我們先將顆粒大小 3mm 的珠鍊放到燒杯(250ml)，然後我們再將燒杯放到高度 120cm 的高度，然後我們拿起不同重量的砝碼，我們用膠帶把砝碼黏住，並且在珠鍊落下時用高速攝影機錄影(240fps)，重複上述 3 次，然後再換成不同重量的砝碼，重複上述 3 次，然後再換成不同重量的砝碼。
- 2.由本次實驗可得知，砝碼 5gw、10gw 及 15gw 時，掉落所需的時間較多，尤其以 5gw 時，時間明顯比較多。我們認為，這是因為砝碼的重量較小時，一開始比較不容易拉動珠鍊，以至於花的時間會比較多。基本上，砝碼的重量達到一定的程度時，珠鍊掉落的時間就不會有變化。
- 4.由本次實驗可得知，重量會影響掉落所需的時間，但是我們想知道和流速有沒有關係，所以我們就做了第六個實驗。
- 5.我們推測可能和流速有相對的關係。

<< 實驗四 >>

- 一、實驗目的：探討珠鍊彈跳高度(H₁)與珠鍊施放瞬間拉力的關係。
- 二、實驗條件：珠鍊放在燒杯內；珠鍊掉落高度：120cm；顆粒大小：3mm；
珠鍊長度：10m
- 三、實驗數據：

單位：公分

實驗次數 拉力	1	2	3	平均
5gw	17.9	17.5	18.0	17.8
10gw	18.7	19.0	18.3	18.6
20gw	16.8	18.6	18.4	17.9
40gw	18.7	20.0	19.3	19.3
50gw	17.9	18.1	18.8	18.2
100gw	18.8	19.7	20.0	19.5
150gw	20.0	20.0	18.2	19.4
200gw	19.2	19.3	20.0	19.5



四、結果與分析：

1. 一開始我們先將顆粒大小 3mm 的珠鍊放到燒杯(250ml)，然後我們再將燒杯放到高度 120cm 的高度，然後我們拿起不同重量的砝碼，我們用膠帶把砝碼黏住，並且在珠鍊落下時使用高速攝影機錄影(240fps)，重複實驗 3 次，然後再換成不同重量的砝碼。
2. 由實驗得知，珠鍊的拉力似乎不太會影響珠鍊彈跳的高度。從數據中看起來，拉力小於 40gw 時，彈跳高度較低，而拉力較大時，珠鍊彈跳的高度只有大一些些，但不明顯。所以，我們研判，一開始對珠鍊的拉力，並不會影響珠鍊的彈跳行為。本來我們以為採用手拉珠鍊的操作將會不夠客觀，是不是容易造成實驗的誤差，但從此項實驗告訴我們，一開始珠鍊的拉力並不會影響珠鍊的彈跳行為，所以，我們就可以放心來了。

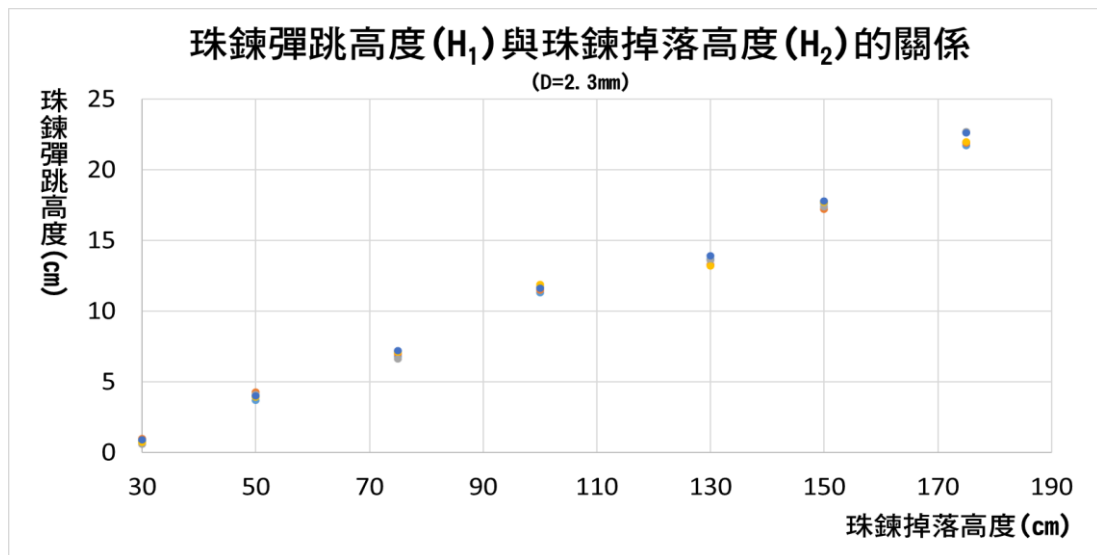
<< 實驗五 >>

一、實驗目的：探討珠鍊彈跳高度(H_1)與珠鍊掉落高度(H_2)的關係。

二、實驗條件：珠鍊放在燒杯內；顆粒大小：3mm；珠鍊長度：10m

三、實驗數據：

實驗次數 掉落高度(cm)	1	2	3	4	5	平均 (公分)
30cm	0.8	1.0	0.6	0.7	0.9	0.8
50cm	3.7	4.3	4.1	3.9	4.0	4.0
75cm	6.8	7.0	6.6	7.1	7.2	6.94
100cm	11.3	11.5	11.7	11.9	11.6	11.6
130cm	13.7	13.3	13.6	13.2	13.9	13.54
150cm	17.6	17.2	17.4	17.7	17.8	17.54
175cm	21.7	21.9	22.7	22.0	22.6	22.18



四、結果與分析：

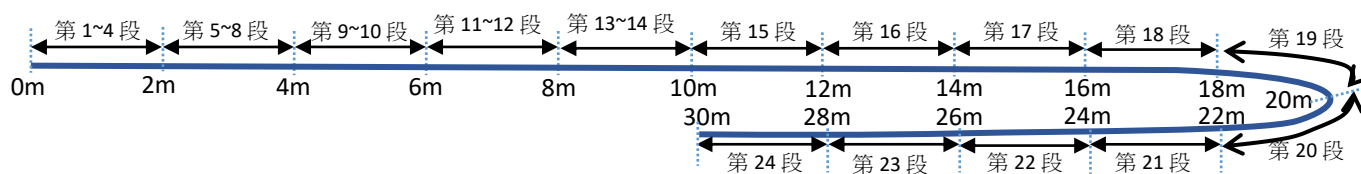
1. 一開始我們先將顆粒大小 3mm 的珠鍊放到燒杯(250ml)，然後我們再將燒杯放到高度 30cm 的高度，在珠鍊落下時使用高速攝影機錄影(240fps)，重複實驗 5 次，然後再換成不同的高度。
2. 由實驗得知，珠鍊彈跳高度(H_1)會受到珠鍊掉落高度(H_2)的影響，當珠鍊掉落高度越高，則珠鍊彈跳的高度也會越大。
3. 從實驗二中可知，珠鍊掉落高度(H_2)越高，則珠鍊的移動速率越大。與此實驗結合，珠鍊移動速率越大將會產生較大彈跳高度(H_1)的結果。
4. 從此實驗可以推論珠鍊的移動速率較大，則會產生較大彈跳高度。但是，珠鍊的移動速率為何？是否真的掉落高度較高，則珠鍊移動速率較快？也想了解，珠鍊移動的過程中，速率是否會發生變化？因此，我們設計以下實驗六的實驗。

<< 實驗六 >>

一、實驗目的：珠鍊放在燒杯內；在珠鍊掉落時，測量每小分段珠鍊的平均流速。

二、實驗條件：珠鍊長度：30m；珠鍊直徑：3.2mm；珠鍊掉落高度(H2)分別為：100cm、150cm、200cm

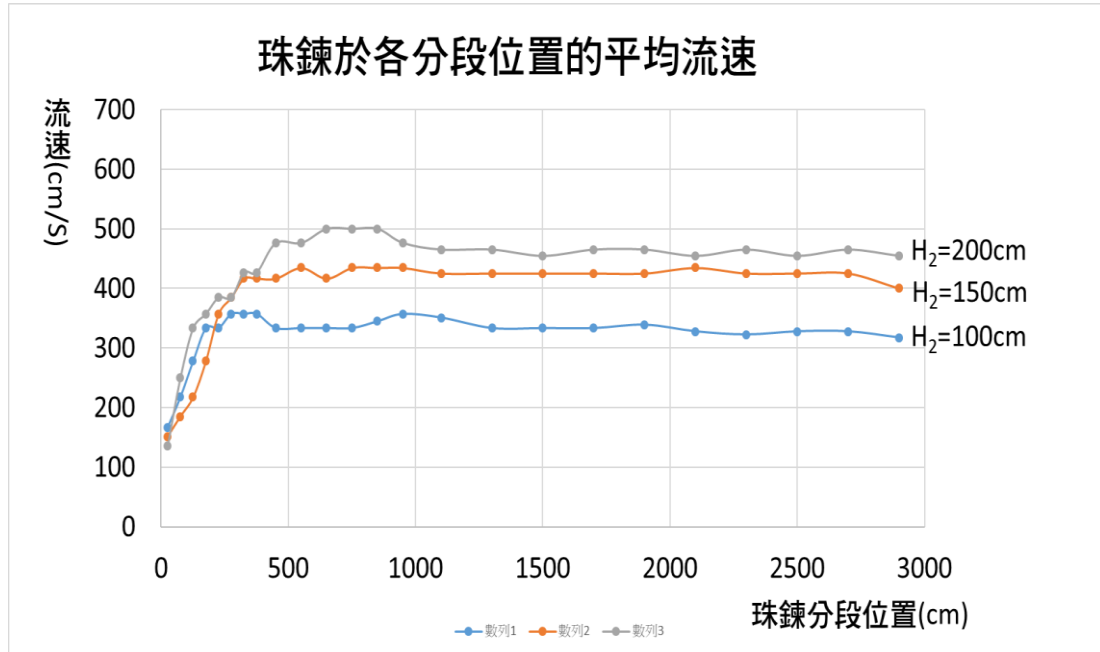
珠鍊分段式意圖：一開始 0~4 公尺每隔 50 公分綁一個記號，4~10 公尺每 1 公尺綁一個記號，接下來 10~30 每隔 2 公尺即綁一個細繩，如下圖。



三、實驗數據：

分段 掉落高度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	0cm ~ 50cm	50cm	100cm	150cm	200cm	250cm	300cm	350cm	400cm	500cm	600cm	700cm
H2=100cm	166.7	217.4	277.8	333.1	333.3	357.1	357.1	357.1	333.3	333.3	333.3	333.3
H2=150cm	151.5	185.2	217.4	277.8	357.1	384.6	416.7	416.7	416.7	434.8	416.7	434.8
H2=200cm	135.1	250.0	333.3	357.1	384.6	384.6	426.7	426.7	476.2	476.2	500.0	500.0

分段 掉落高度	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	800cm ~ 900cm	900cm	1000cm	1200cm	1400cm	1600cm	1800cm	2000cm	2200cm	2400cm	2600cm	2800cm
H2=100cm	344.8	357.1	350.9	333.3	333.3	333.3	339.0	327.9	322.6	327.9	327.9	317.5
H2=150cm	434.8	434.8	425.5	425.5	425.5	425.5	425.5	434.8	425.5	425.5	425.5	400.0
H2=200cm	500.0	476.2	465.1	465.1	454.5	465.1	465.1	454.5	465.1	454.5	465.1	454.5



三、結果與分析：

- 一開始我們先將顆粒大小 3mm 的珠鍊每 2m 綁一條紅線(頭跟尾沒綁紅線)，然後再將顆粒大小 3mm 的珠鍊放到燒杯(250ml)，然後我們再將燒杯放到高度分別為 100cm、150cm、200cm 的高度使珠鍊掉落，並且在落下時使用高速攝影機錄影(240fps)。測量兩個間距間所花費的時間，利用：平均速率 = 距離 ÷ 花費時間，來求得每小段的平均速率。
- 由實驗得知，珠鍊掉落時，一開始是處於加速，之後會約略維持固定的速率。
- 實驗可知，珠鍊流速以位於 200cm 高處掉落時為最大值，而以位於 100cm 高處掉落時為最小值。可見，珠鍊的掉落高度(H₂)將會影響珠鍊的流速，掉落高度越高，珠鍊流速越快。
- 實驗五也觀察到，珠鍊的掉落高度(H₂)越大值，則珠鍊彈跳的高度(H₁)越大。因此，可以推論，珠鍊的流速越大時，則珠鍊彈跳的高度(H₁)越大。

<< 實驗七 >>

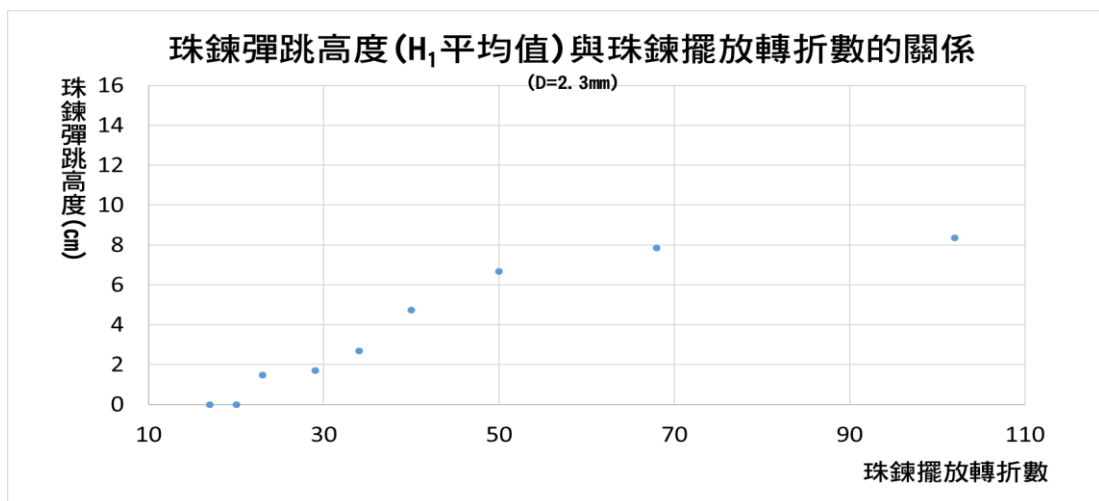
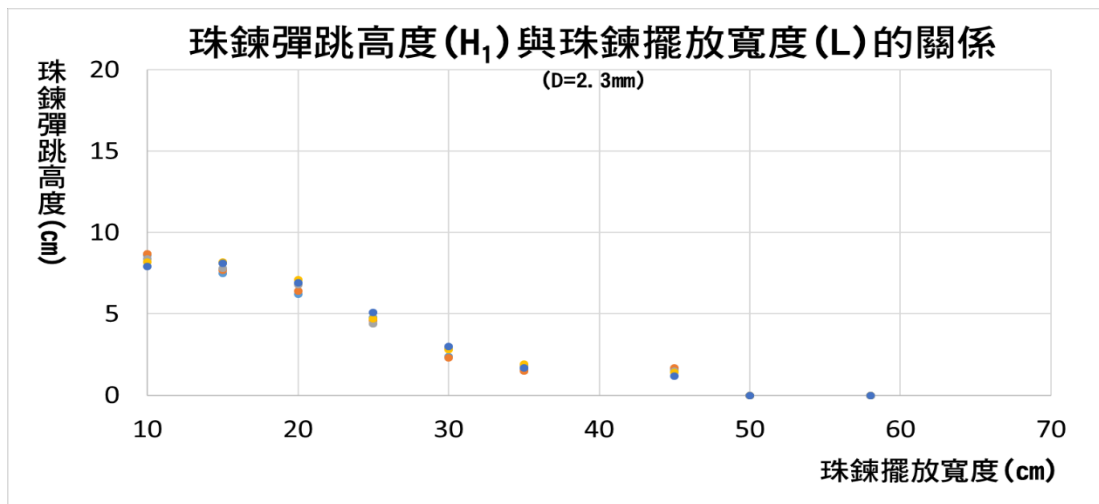
一、實驗目的：珠鍊處在平面上，探討珠鍊擺設寬度(L)如何影響珠鍊的彈跳高度(H₁)。

二、實驗數據：

(A) 珠鍊直徑：2.3mm；珠鍊長度：10m；珠鍊掉落高度(H₂)：75cm

單位：公分

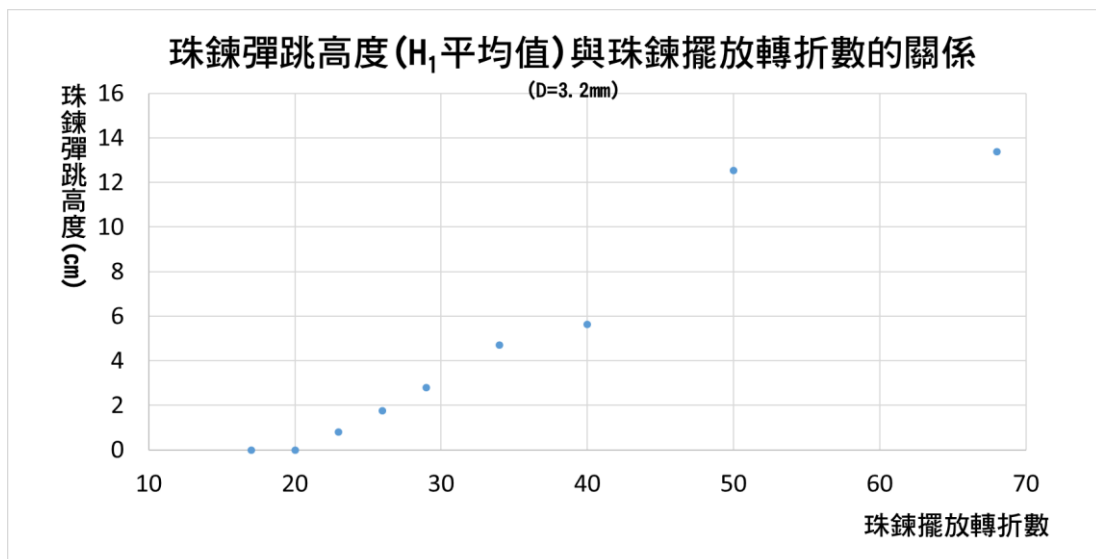
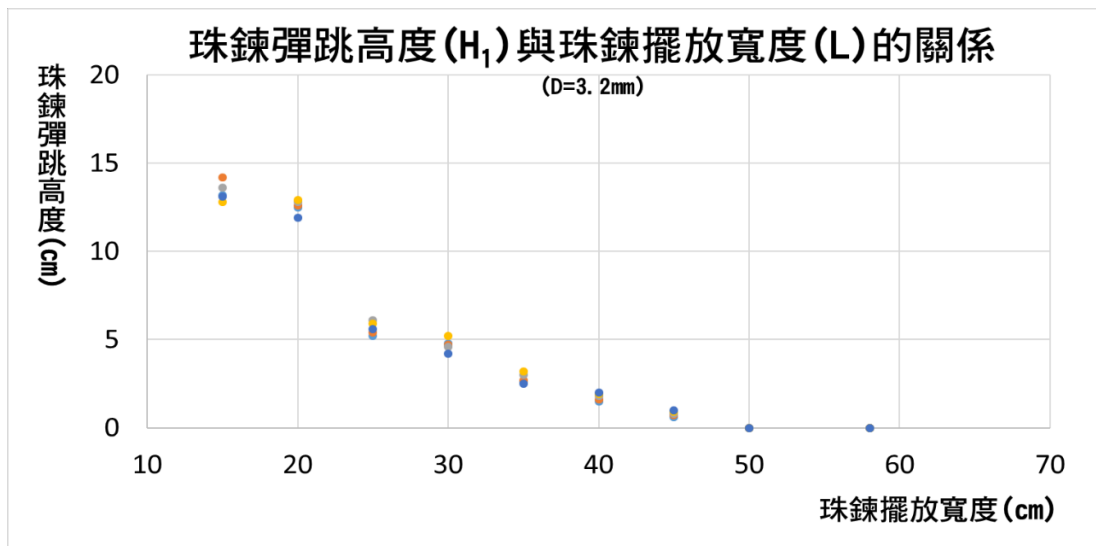
鍊條擺設寬度(L)	測量次數					
	珠鍊垂直彈跳高度H ₁ (cm)					
	1	2	3	4	5	平均
10cm(102次轉折)	8.6	8.7	8.4	8.2	7.9	8.36
15cm(68次轉折)	7.5	7.7	7.8	8.2	8.1	7.86
20cm(50次轉折)	6.2	6.4	6.8	7.1	6.9	6.68
25cm(41次轉折)	4.8	4.6	4.4	4.7	5.1	4.72
30cm(34次轉折)	2.4	2.3	2.9	2.8	3.0	2.68
35cm(29次轉折)	1.6	1.5	1.8	1.9	1.7	1.70
45cm(23次轉折)	1.6	1.7	1.5	1.4	1.2	1.48
50cm(20次轉折)	0	0	0	0	0	0
58cm(17次轉折)	0	0	0	0	0	0



(B) 珠鍊直徑：3.2mm；珠鍊長度：10m；珠鍊掉落高度(H₂)：75cm

單位：公分

測量次數 鍊條擺設寬度(L)	珠鍊垂直彈跳高度H ₁ (cm)					
	1	2	3	4	5	平均
15cm (68次轉折)	13.2	14.2	13.6	12.8	13.1	13.38
20cm (50次轉折)	12.5	12.6	12.8	12.9	11.9	12.54
25cm (41次轉折)	5.2	5.4	6.1	5.9	5.6	5.64
30cm (34次轉折)	4.8	4.7	4.6	5.2	4.2	4.7
35cm (29次轉折)	2.6	2.7	3.0	3.2	2.5	2.8
40cm (26次轉折)	1.5	1.6	1.8	1.9	2.0	1.76
45cm (23次轉折)	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	0.8
50cm (20次轉折)	0	0	0	0	0	0
58cm (17次轉折)	0	0	0	0	0	0



三、結果與分析：

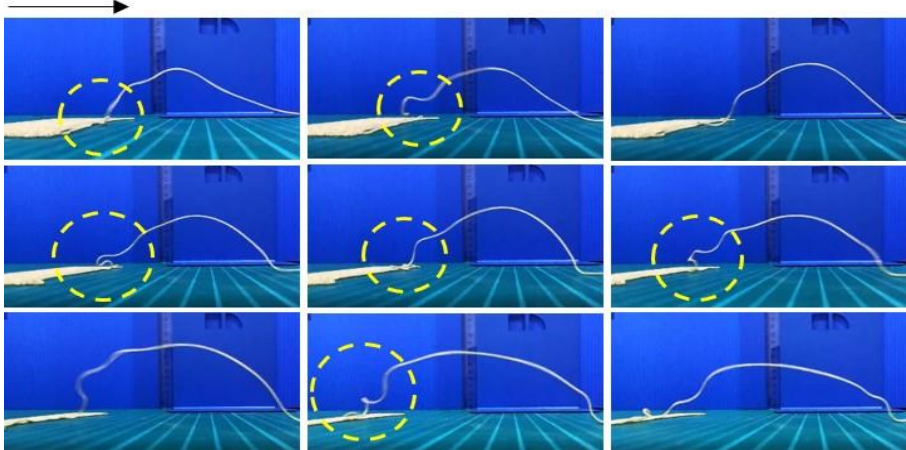

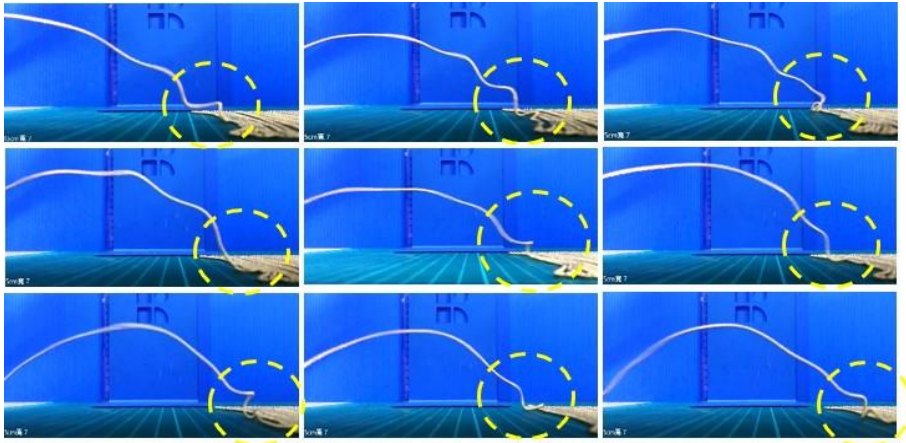
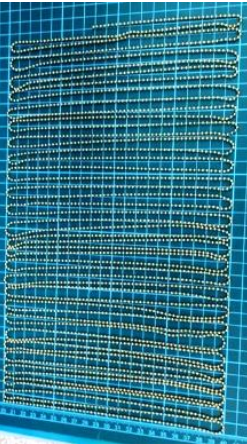
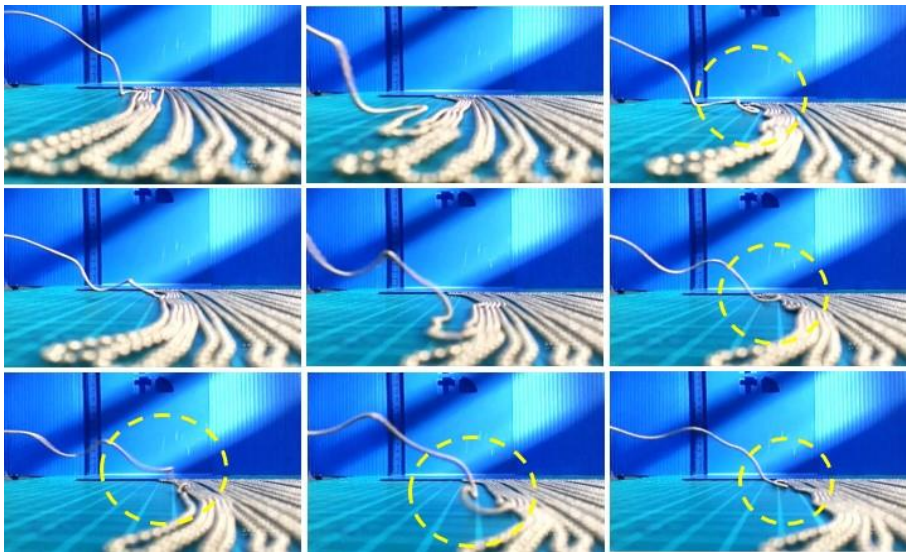
1. 一開始我們先將顆粒大小 2.3mm 的珠鍊擺放於平面上，擺放的寬度(L)分別為 10cm、15cm、20cm、25cm、30cm、35cm、45cm、50cm、58cm。珠鍊的掉落高度為 75cm，在落下時使用高速攝影機錄影(240fps)。每個條件重複實驗五次，再換成不同的顆粒大小的珠鍊，並且重複以上的動作，然後讀取數據後利用 Excel 做出上面的圖表。
2. 此實驗，當珠鍊從平面上掉落時，居然會發生彈跳，實在很意外。不過隨著我們將珠鍊擺設寬度(L)增加，不僅彈跳高度下降，當寬度持續增大時，甚至觀察不到珠鍊彈跳的現象。從實驗結果可知，珠鍊擺設寬度(L)越小，將具有較多的轉折，將使得珠鍊較易發生彈跳，且彈跳的高度較高。因此，珠鍊之所以發生彈跳，珠鍊擺設時的轉折次數將是關鍵。
3. 珠鍊直徑為 2.3mm 及 3.2mm 中，都會發現轉折數較多之後(約 50 折)，珠鍊彈跳高度將越趨平緩。
4. 珠鍊直徑為 2.3mm 及 3.2mm 中，當珠鍊擺放寬度達 50cm 以上(轉折數 20 次以下)時，平面上的珠鍊將不會產生彈跳。
5. 置於平面上的珠鍊，掉落時都會發生彈跳了，那麼把珠鍊放置於燒杯內，珠鍊將會有更多的轉折處，而且珠鍊的擺放絕對不是平面的，而是都有可能向各方向彎曲。當燒杯內珠鍊被一股力量拉起時，他會碰到周圍的珠子，當然就可能產生碰撞後的彈跳，加上珠鍊是處於彎曲轉折的狀況，又會發生扭轉，此時扭轉又會使珠子彈跳。因此，在燒杯內的珠鍊，只要掉落高度適當，絕對發生珠鍊彈跳現象。
6. 我們想，若把珠鍊放置於具備砂紙的平面上，珠鍊掉落時是否會出現彈跳現象，因此我們進行了實驗八。

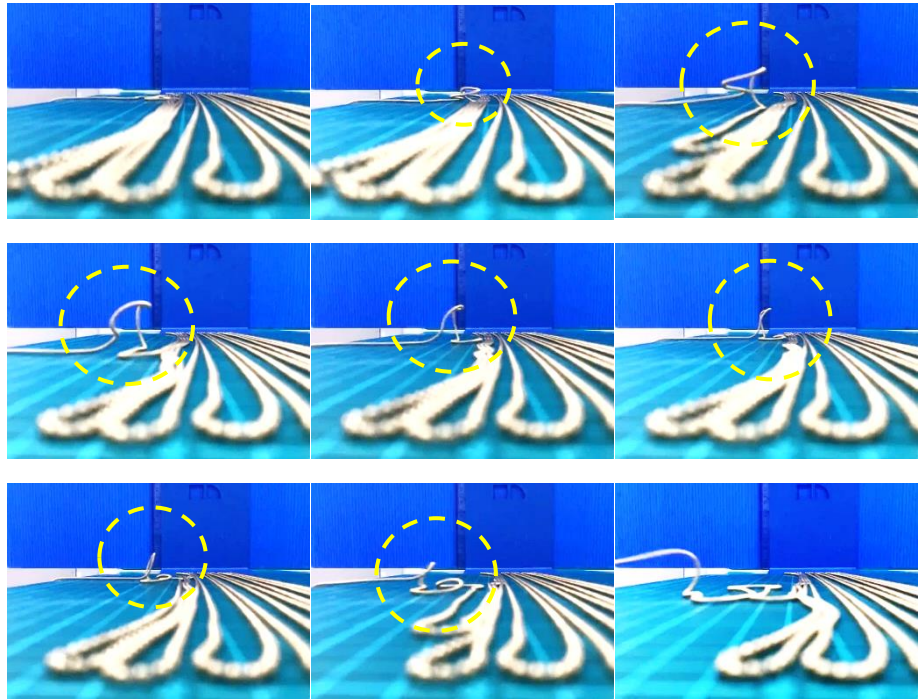
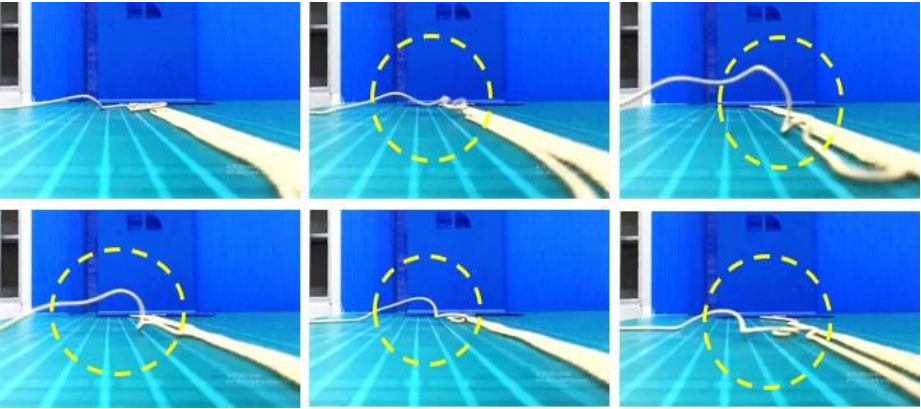
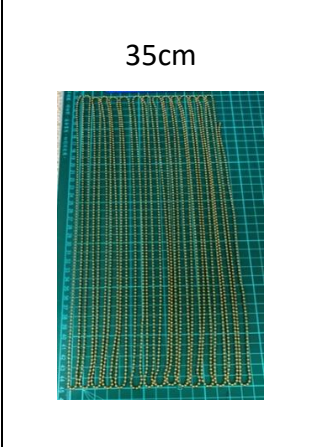
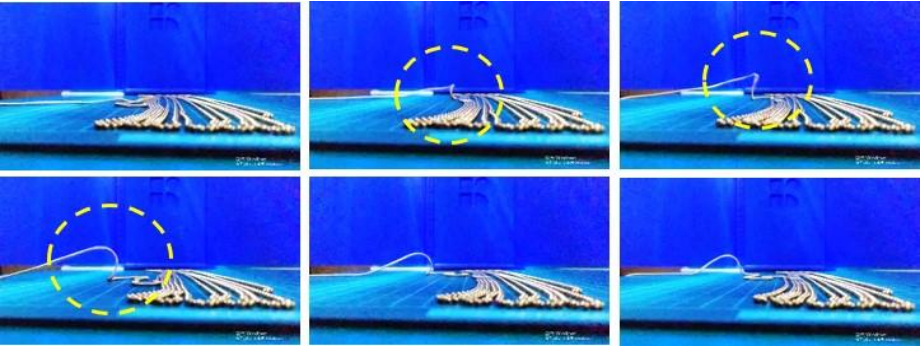
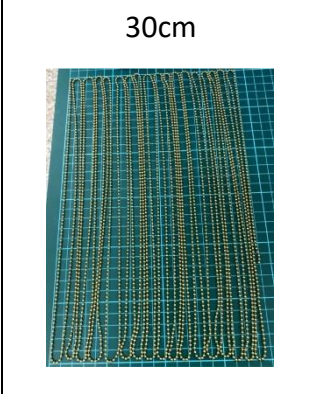
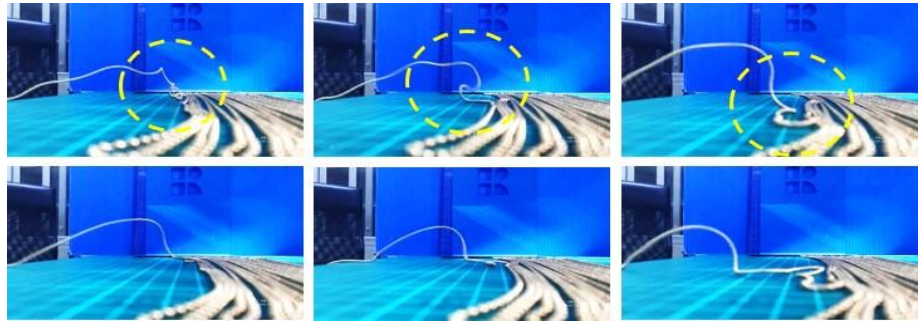
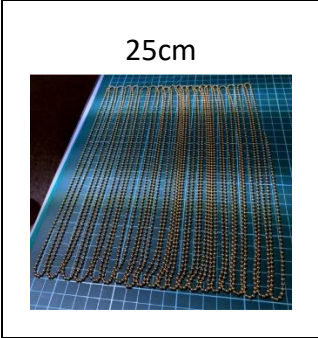
<< 實驗八 >>

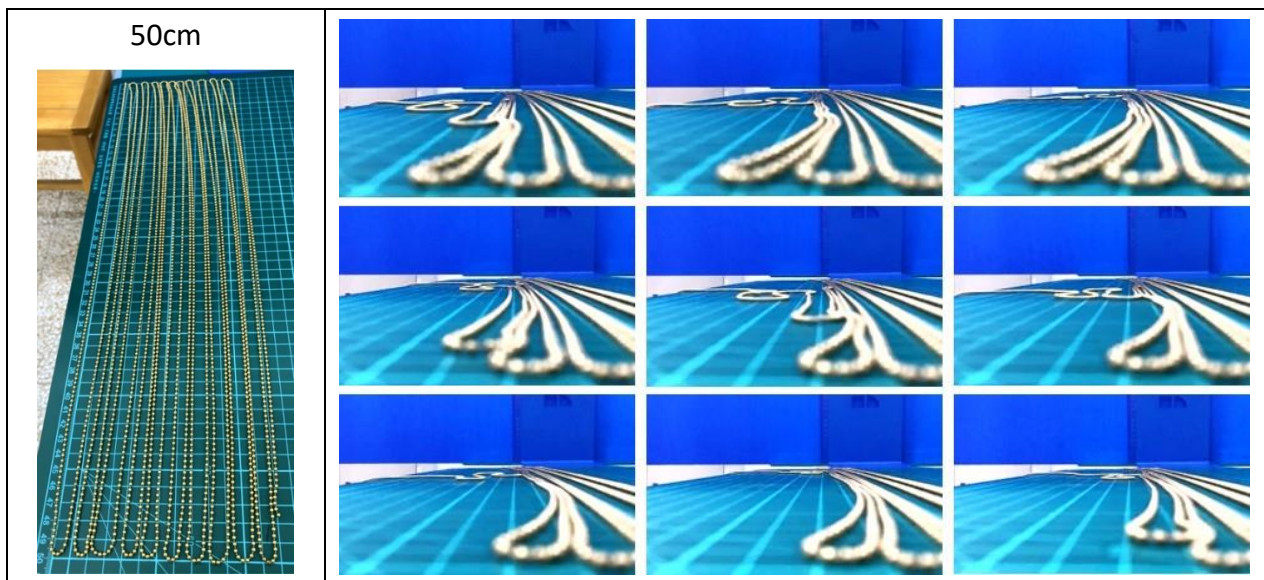
一、實驗目的：利用高速攝影機觀察珠鍊處在平面上的彈跳行為。

二、實驗數據：

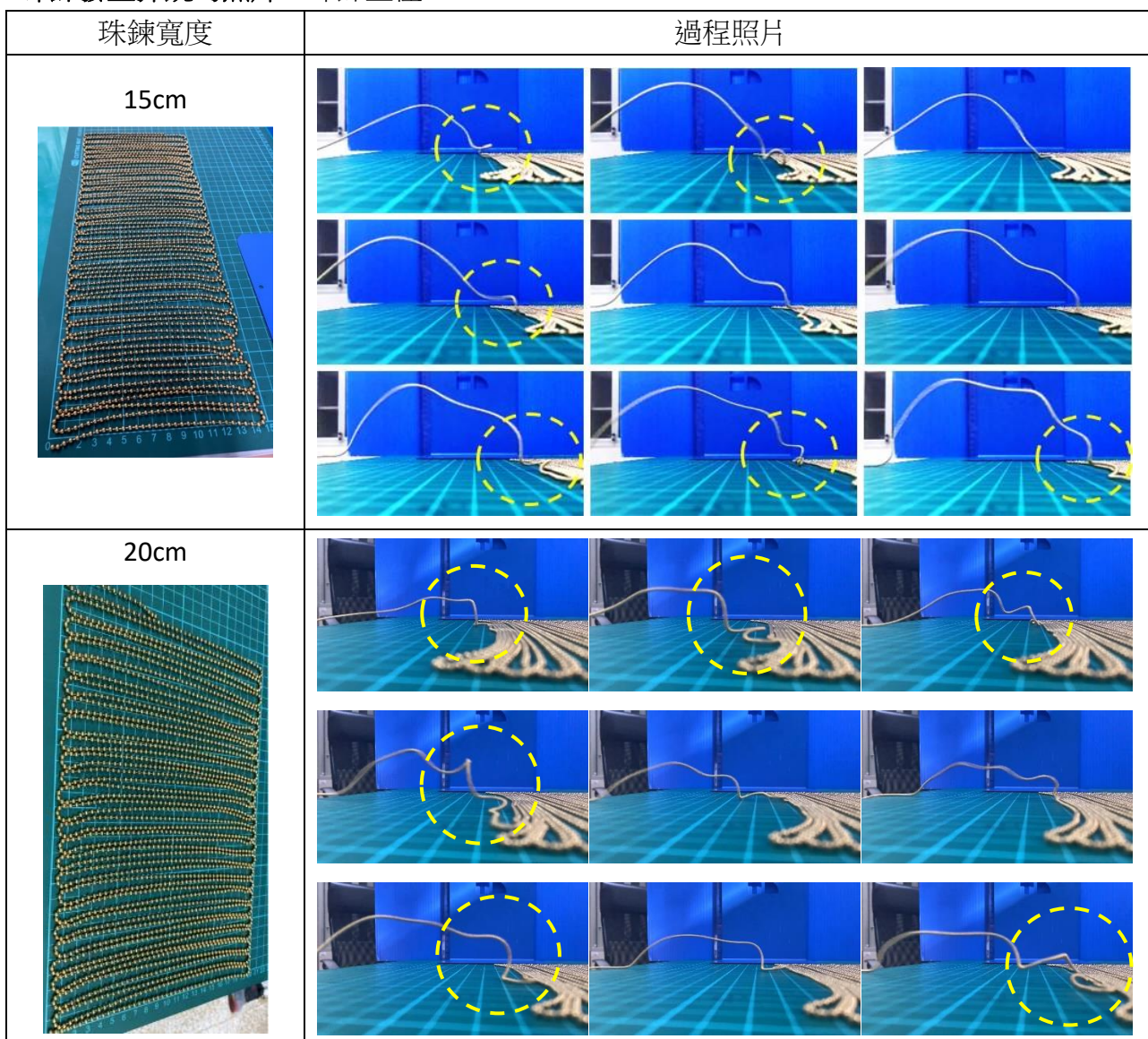
(A) 珠鍊直徑：2.3mm；珠鍊長度：10m；珠鍊掉落高度(H₂)：75cm；攝影機 240fps
珠鍊發生彈跳的照片：珠鍊直徑 2.3mm

珠鍊寬度	過程照片		
<p style="text-align: center;">10cm</p>			
<p style="text-align: center;">15cm</p> 			
<p style="text-align: center;">20cm</p> 			

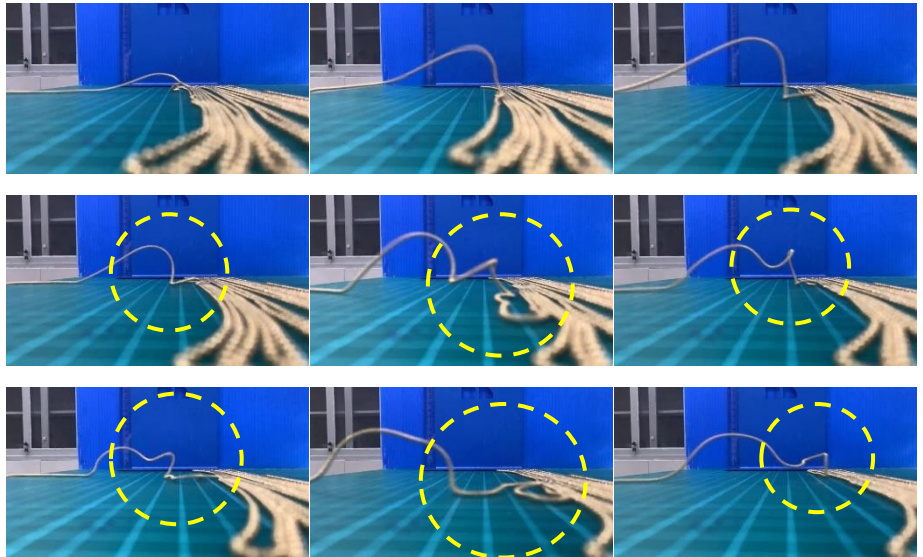




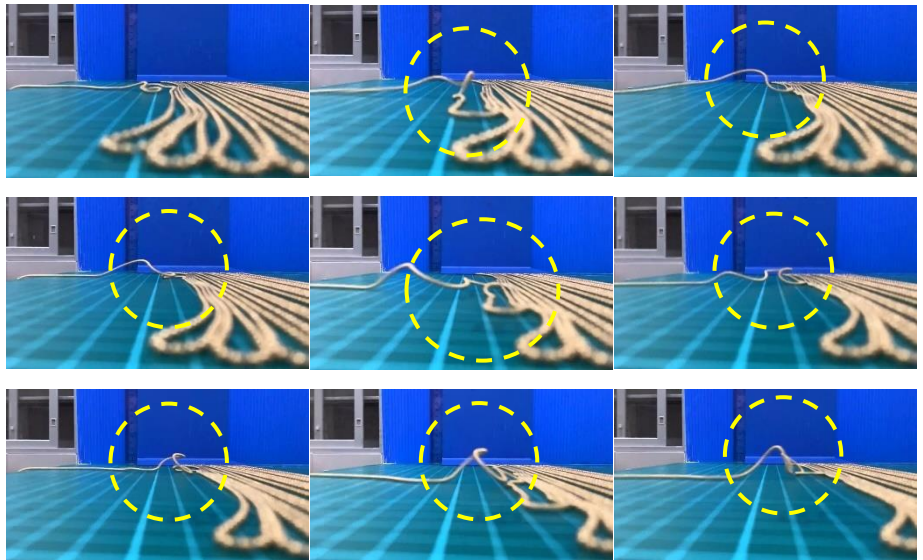
(B) 珠鍊直徑：3.2mm；珠鍊長度：10m；珠鍊掉落高度(H₂)：75cm；攝影機 240fps
珠鍊發生彈跳的照片：珠鍊直徑 3.2mm



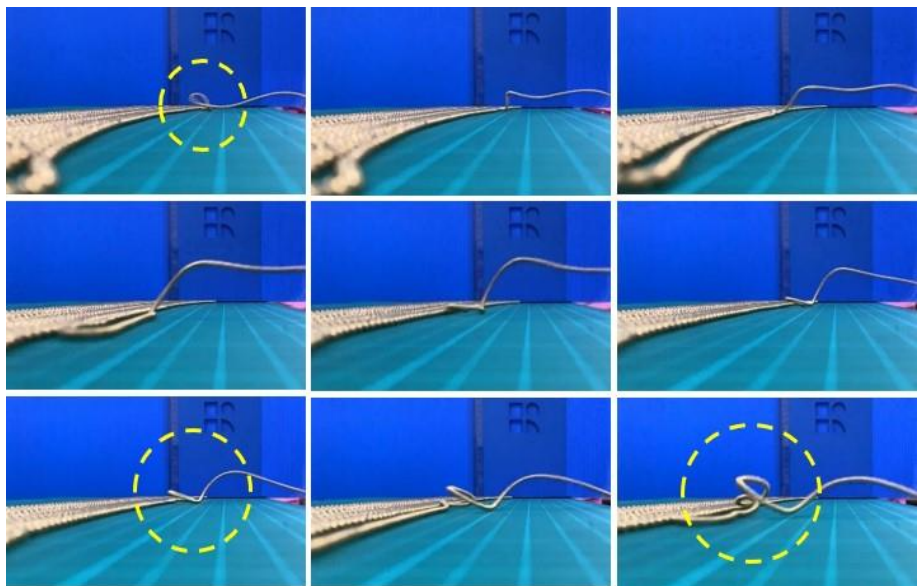
25cm

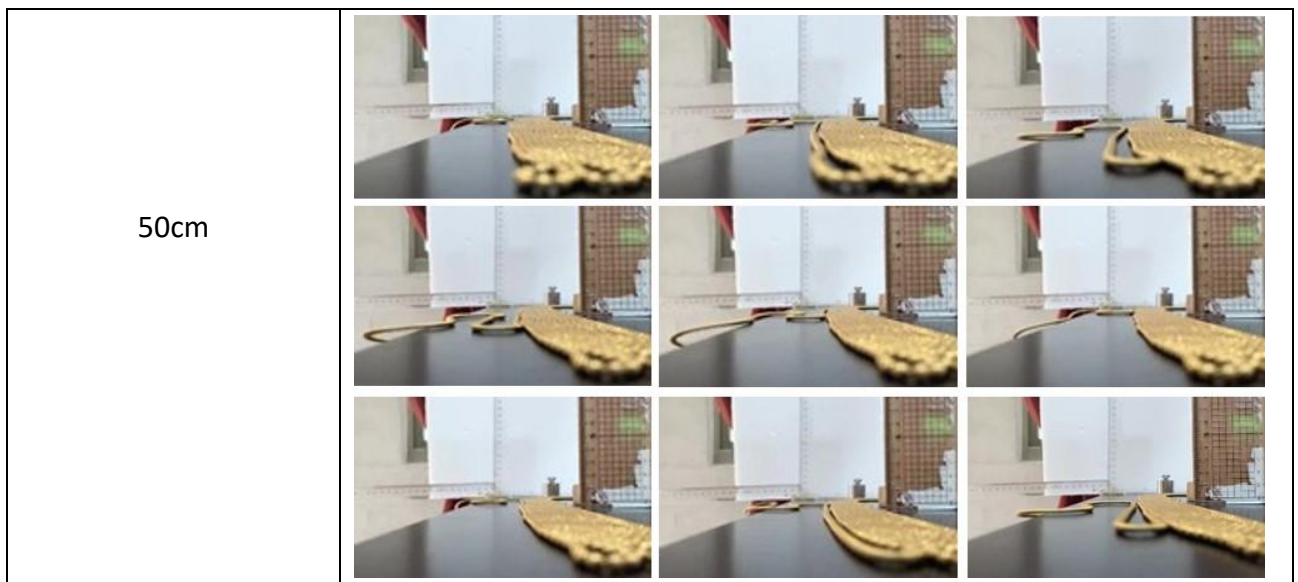


30cm



40cm





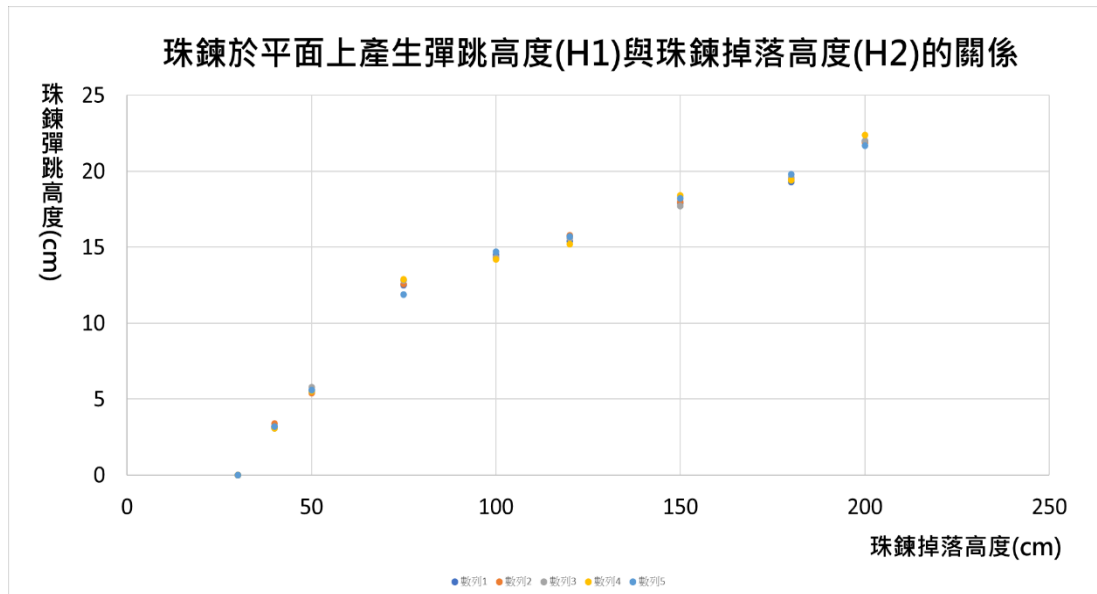
三、結果與分析：

1. 此實驗是將珠鍊擺放於平面上，在落下的過程使用高速攝影機錄影(240fps)，由於錄影時間比較長，利用威力導演將影片內容材切成時間小於 1 秒的片段，儲存成 avi 檔。再利用 Ulead GIF Animator 5 軟體，將所儲存的錄影內容材切成數張瞬間影像照片。
2. 從照片中，我們可以很明顯地看到，珠鍊在彈跳的過程中，伴隨著旋轉的現象，以及類似 S 型的形狀，因此，我們認為這樣的 S 型扭轉的行為，會造成珠鍊彈跳的現象。因為珠鍊放在平面上時，珠鍊擺放的寬度越小，轉折數越多時，珠鍊就會一直在轉彎處變換方向，產生扭轉及 S 型的形狀，此將支撐珠鍊彈起。

<< 實驗九 >>

- 一、**實驗目的**：探討珠鍊於平面上產生彈跳的高度(H₁)與珠鍊掉落高度(H₂)的關係。
- 二、**實驗數據**：珠鍊長度：10m；珠鍊直徑：3.2mm；平面上珠鍊擺放寬度(L)：20cm

珠鍊掉落高度(H ₂)	珠鍊於平面上產生彈跳的高度(H ₁)					單位：公分
	1	2	3	4	5	平均
30cm	0	0	0	0	0	0
40cm	3.2	3.4	3.1	3.1	3.2	3.2
50cm	5.6	5.4	5.8	5.5	5.6	5.6
75cm	12.5	12.6	12.8	12.9	11.9	12.5
100cm	14.5	14.3	14.3	14.2	14.7	14.4
120cm	15.4	15.8	15.6	15.2	15.7	15.5
150cm	17.9	18.0	17.7	18.4	18.2	18.0
180cm	19.3	19.5	19.6	19.4	19.8	19.5
200cm	22.0	21.9	22.0	22.4	21.7	22.0



三、結果與分析：

1. 實驗結果顯示，珠鍊於平面上產生彈跳的高度將會受到珠鍊掉落高度的影響。當珠鍊掉落高度(H₂)越大時，則珠鍊產生的彈跳高度(H₁)越高。
2. 這是因為珠鍊掉落高度越大時，珠鍊的流速也會越快，因此產生較大的彈跳高度。

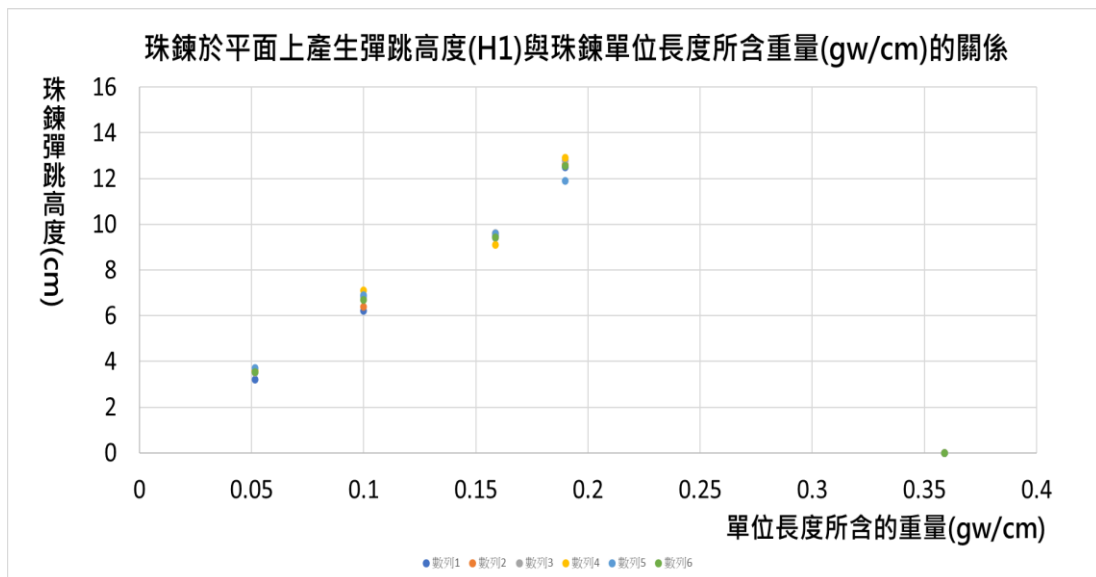
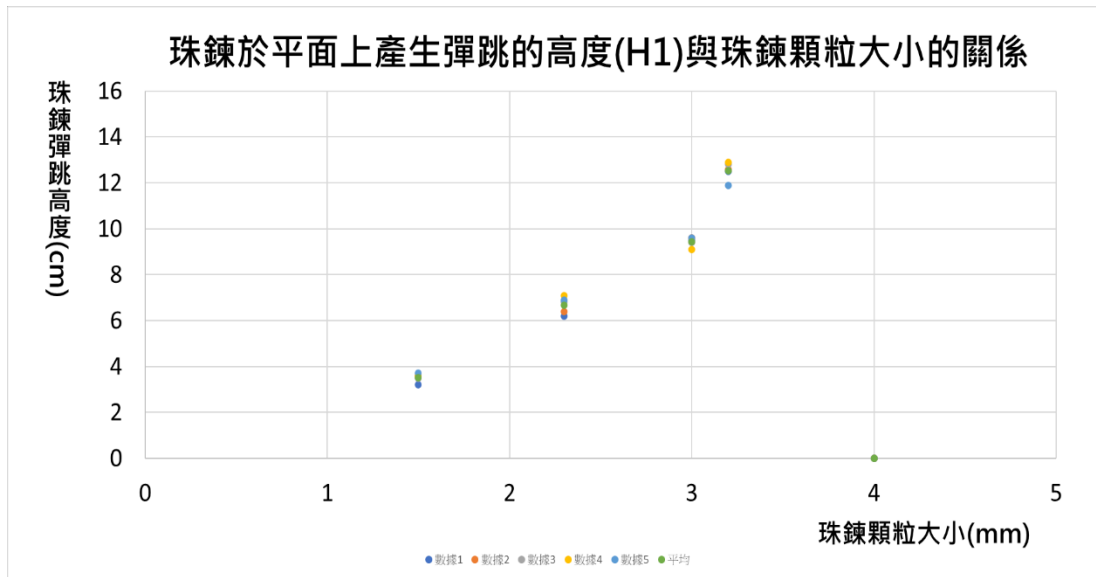
<< 實驗十 >>

一、實驗目的：探討珠鍊於平面上產生彈跳的高度(H1)與珠鍊顆粒大小的關係。

二、實驗數據：

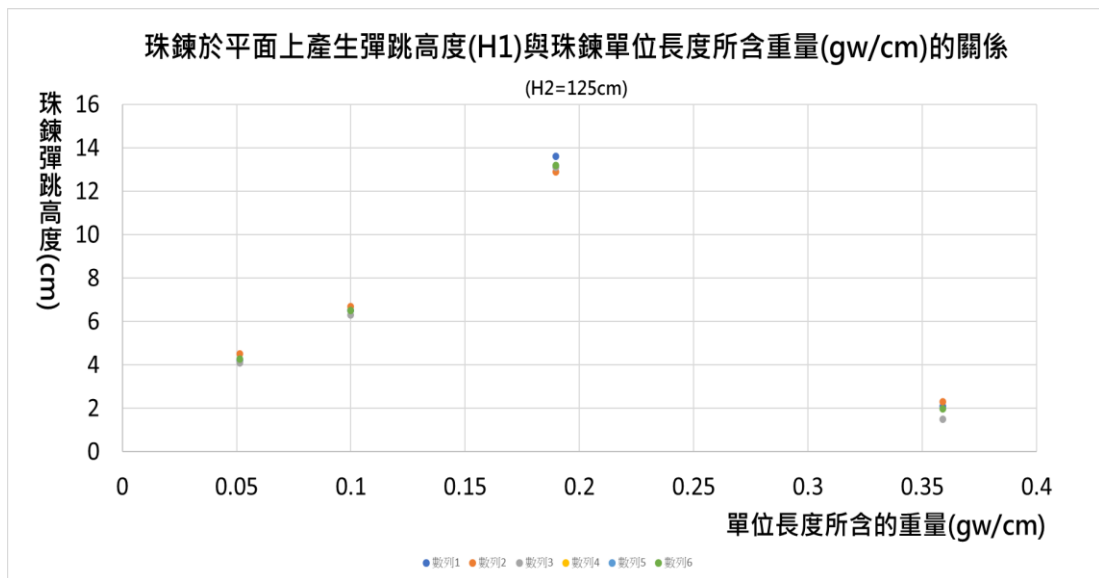
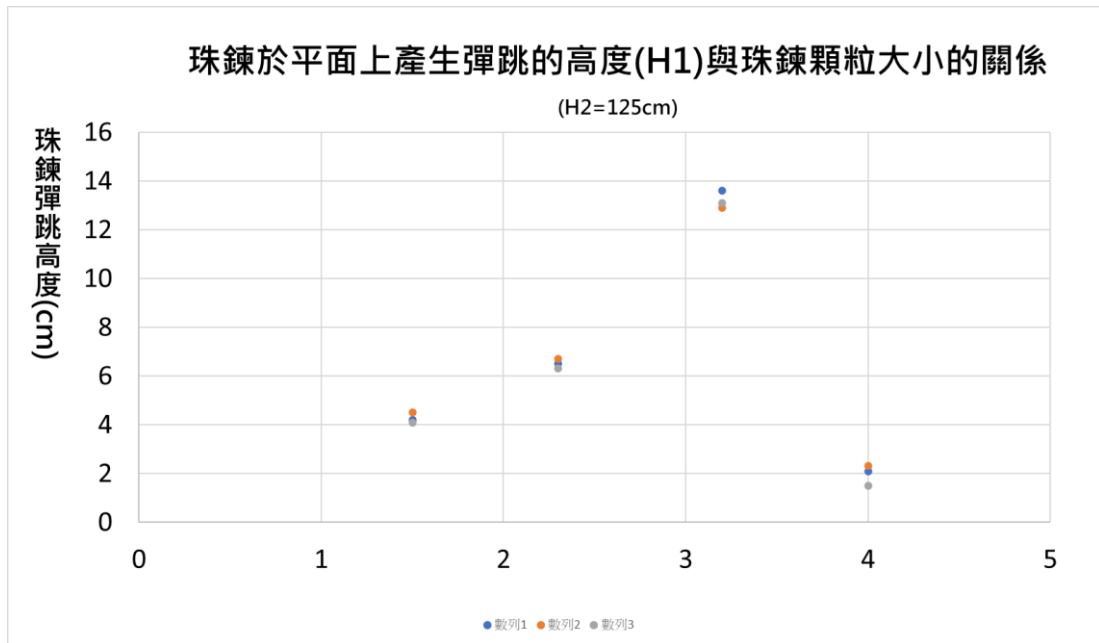
(A) 珠鍊掉落高度：75cm；珠鍊長度：10m；平面上珠鍊擺放寬度(L)：20cm

珠鍊顆粒直徑(mm)	珠鍊於平面上產生彈跳的高度(H1)					單位：公分
	1	2	3	4	5	平均
1.5mm	3.2	3.6	3.5	3.6	3.7	3.52
2.3mm	6.2	6.4	6.8	7.1	6.9	6.68
3.0mm	9.5	9.6	9.4	9.1	9.6	9.44
3.2mm	12.5	12.6	12.8	12.9	11.9	12.54
4.0mm	0	0	0	0	0	0



(B) 珠鍊掉落高度：125cm；珠鍊長度：10m；平面上珠鍊擺放寬度(L)：20cm

珠鍊顆粒直徑 (mm)	珠鍊於平面上產生彈跳的高度(H1)			單位：公分
	1	2	3	平均
1.5mm	4.2	4.5	4.1	4.27
2.3mm	6.5	6.7	6.3	6.5
3.2mm	13.6	12.9	13.1	13.2
4.0mm	2.1	2.3	1.5	1.97



三、結果與分析：

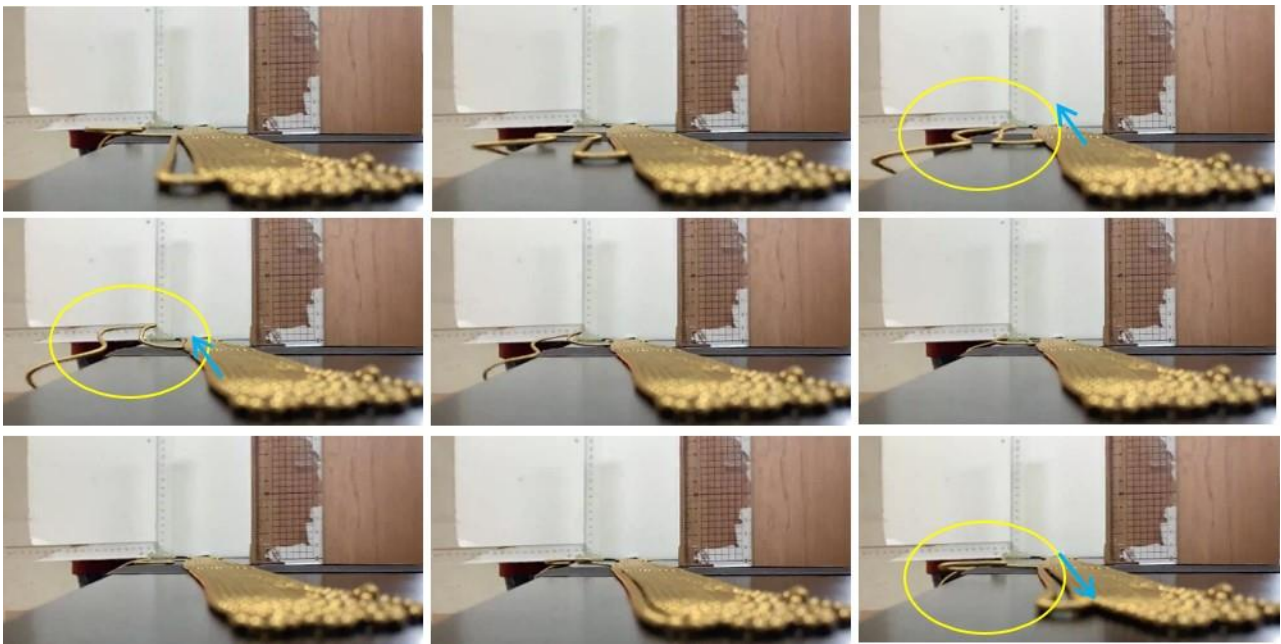
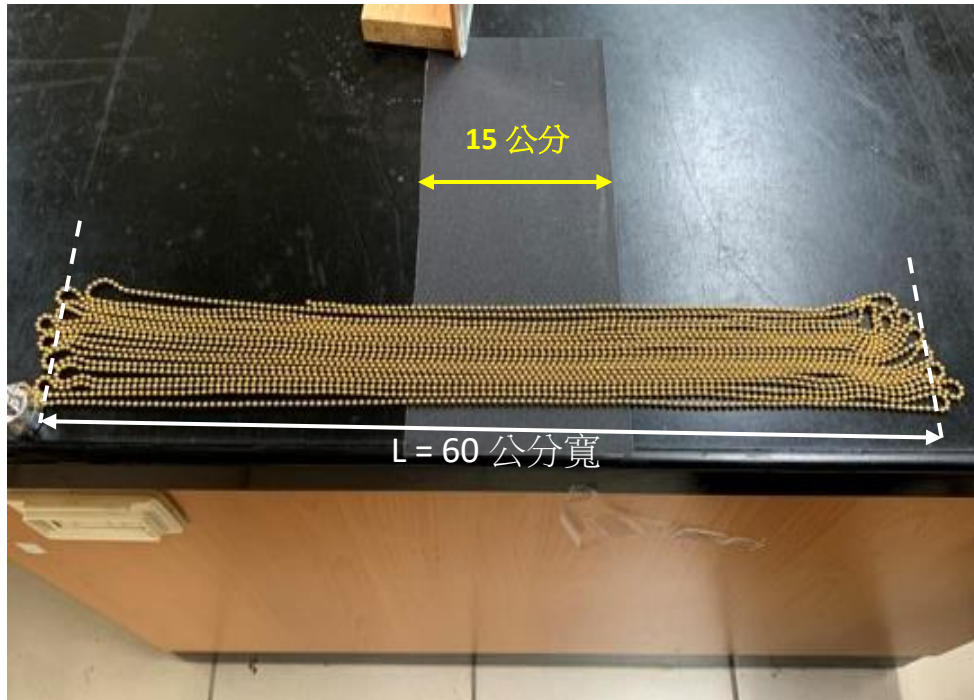
1. 從實驗可知，珠鍊直徑從 1.5mm~3.2mm 之間，彈跳高度的值越來越大。到了直徑為 4.0mm 時，發現珠鍊無法彈起(掉落高度為 75cm)或者彈跳高度明顯較小(掉落高度為 125cm)。
2. 在相同掉落高度條件下，垂直方向上的珠鍊重量將會影響珠鍊的拉力，但實驗一告訴我們，只要珠鍊是相同高度掉落，顆粒大小將不會影響流速。因此，我們推論此時影響珠鍊彈起的原因，是珠鍊轉彎處環繞的直徑 R，以 1.5mm 的珠鍊為最小，隨著珠鍊越來越大顆，R 值將會越來越大，而這將會是增加珠鍊支撐力道。
3. 但是珠鍊直徑 4.0mm 時，彈跳高度為零或者明顯較小，這是因為隨著珠鍊顆粒越來越大，珠子本身的重量也會越來越重，因此彈跳的力道將會被抵銷。

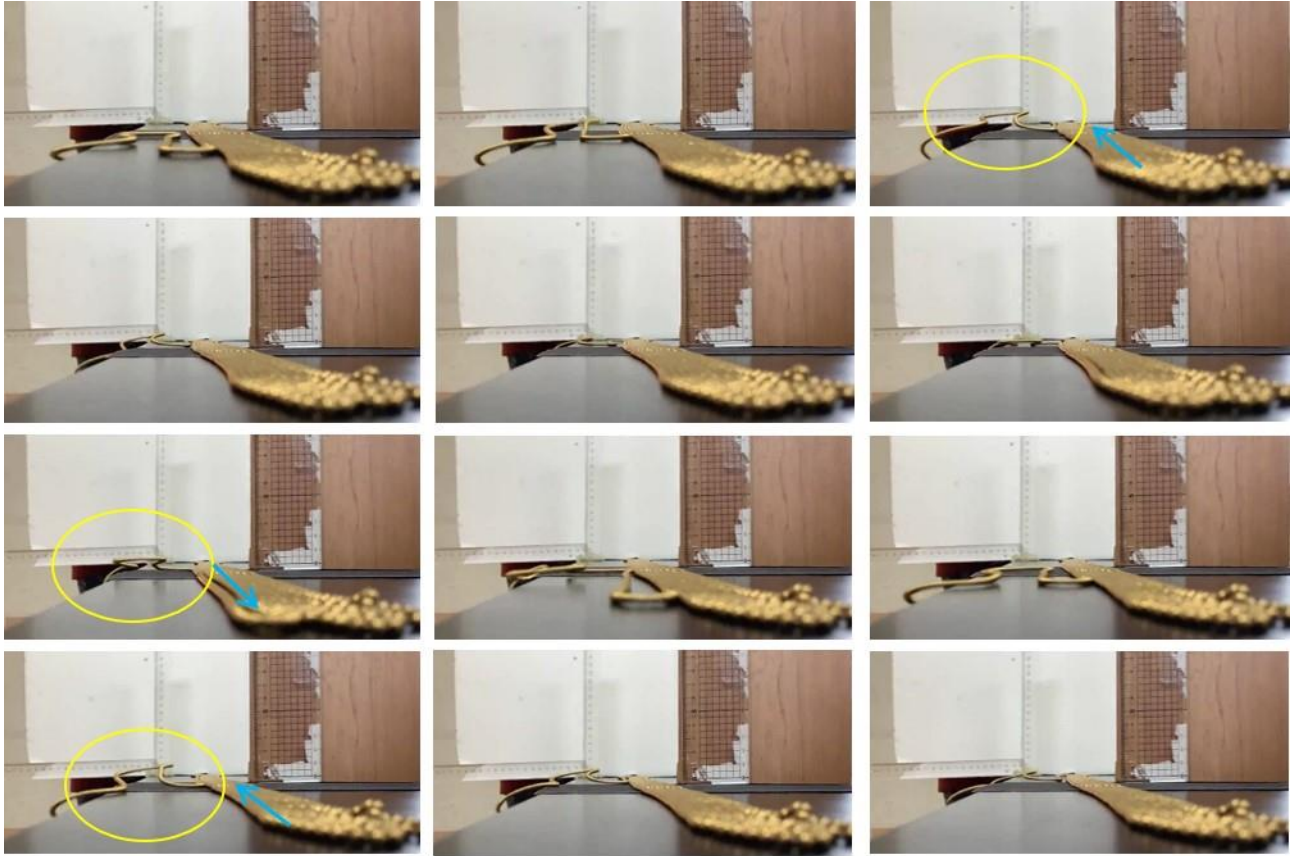
<< 實驗十一 >>

一、實驗目的：探討不平整的平面對珠鍊彈跳行為的影響。

二、實驗數據：

在實驗七中，我們觀察到珠鍊擺設寬(L)度達到 50 公分時，將不易或不會發生彈跳現象，因此我們將珠鍊擺設 60 公分寬(L)，但中間具有約 15 公分的砂紙，如下圖。





珠鍊當時移動方向 ←

三、結果與分析：

1. 實驗七告訴我們，珠鍊擺放寬度達 50cm 時，將不會產生彈跳。但是我們設計這個實驗，中間加一個砂紙增加摩擦力，結果珠鍊發生彈跳。為何珠鍊會發生彈跳？我們觀察珠鍊的移動過程，我們發現珠鍊在通過砂紙時，的確發生躍起的行為，可見平面的不平整，也會幫助珠鍊產生彈跳。
2. 我們想像當珠鍊位於燒杯內時，珠子都是處於不平整狀態，當珠鍊被拉動時，一定會跟其他珠子發生碰撞，因此會發生彈跳的現象。

陸、討論

一、為何掉落的珠鍊會有彈跳的現象？

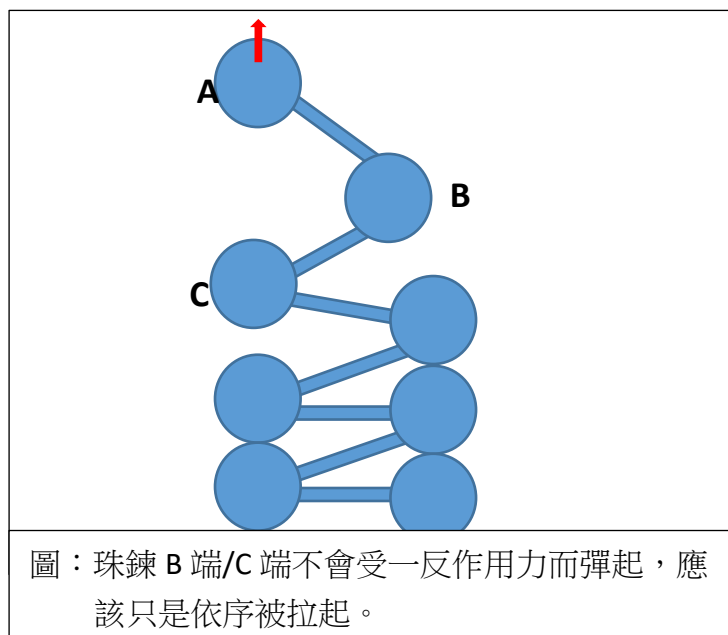
根據實驗的結果，會影響珠鍊的彈跳因素有：

- 1、掉落的高度：珠鍊掉落高度落差(H2)越大，則珠鍊的彈跳高度(H1)就越大。
- 2、珠鍊的移動速率：珠鍊的移動速率越快，則珠鍊的彈跳高度(H1)就越大。
- 3、珠鍊的擺設將會影響珠鍊是否發生彈跳。珠鍊處在平面上掉落時，亦可能發生彈跳，取決於珠鍊的擺設是否有多次轉折。當珠鍊擺放寬度低於 50cm 時，就會產生彈跳現象，且轉折數越多、越集中，將越容易發生彈跳。
- 4、當珠鍊擺放寬度高於 50cm 時，原本不會產生彈跳，但珠鍊滑過粗糙平面時則會發生彈跳。
- 5、珠鍊顆粒的大小將會影響珠鍊的彈跳高度。
- 6、珠鍊的扭轉：當珠鍊具高度旋轉情形時，珠鍊的彈跳高度(H1)就越大。

二、流動珠鍊產生彈跳現象的原因：

所查資料，推測珠鍊之所以會向上彈跳，是因為反作用力所造成的。但我們一直存疑，因為我們查詢作用力與反作用的資料，作用力與反作用力同時發生同時消失，要有反作用力就必須有作用力，但是作用力是哪裡來的呢？珠鍊只是單純掉落，後方的珠鍊只是被迫拉動，如何產生反作用力？所以我們認為反作用力只是其中一個小因素，還有更多因素是造成珠鍊彈跳的原因。

由於珠鍊之間以一個短的金屬所連接，連接後珠鍊仍會有轉彎的空間，所以當我們逐一放到燒杯內時，珠鍊是軟性的，靜置時珠鍊會貼住其下方的珠鍊。因此珠鍊逐一被拉起時，照理說，下端的珠鍊 B 端/C 端並不會受一反作用力而彈起，應該只是依序被拉起。如右圖。



根據多次實驗的結果以及觀看錄影，我們認為造成珠鍊彈跳的主要原因是珠鍊在移動的過程發生扭轉的狀況。我們錄影後，仔細觀察燒杯內珠鍊的移動情形，發現燒杯內的移動珠鍊會有旋轉扭動的明顯現象，珠鍊都會呈現 S 型的狀態，而且扭轉時的線條看起來具備堅硬而非軟性線條的現象。扭轉的現象也在平面上時發生，而且轉折處越多、越密集將更容易發生彈跳的現象。但是為什麼在燒杯內的珠鍊在流動的過程中會發生扭轉的現象呢？是因為燒杯有一定的大小空間，珠鍊必須經過數次的轉彎變換方向，才能依序放入，就是因為珠鍊一直轉彎變換方式，造成珠鍊被拉起的過程中，一定會發生扭轉的情形。

那麼，我們如何證明珠鍊扭轉是導致珠鍊發生彈跳的主要原因呢？我們設計實驗七的實驗，的確發現珠鍊在平面擺設較「少次」轉折時，珠鍊就不會發生彈跳。但若擺設方式是為轉折「多次且較密集」的方式平面上時，就會發生彈跳的現象產生。

實驗十一的結果，我們嘗試在珠鍊移動的過程中滑過粗糙的平面，從錄影中觀察到珠鍊產生彈跳的結果，可見珠鍊在不平整平面中亦會有彈跳的現象。

三、放在平面中的珠鍊為何會產生彈跳現象？

從實驗八的錄影影像中可觀察到，如下圖，平面中的珠鍊會有彈跳行為，跟珠鍊的轉折放置有關係。相同珠鍊的長度，轉折次數較多時(珠鍊直線長度較短)，就會容易發生彈跳現象。若減少轉折次數(珠鍊直線長度較長)，就觀察不到彈跳行為。

影像順序 →



但為什麼珠鍊的彈跳行為與珠鍊轉折有關呢？

我們觀察編號 3~10、編號 20~27 以及編號 43~50，當珠鍊從轉折處移動時，明顯珠鍊都會發生扭轉的現象，然後靠近桌面的地方都會有抬起的行為，這些現象廣泛發生在那些會抬升的珠鍊。

一開始要讓珠鍊啟動時，手部動作單純只是往側邊拉動，照理說平面上的珠鍊應該不會有彈跳行為。其實我們手部在一開始時故意向上拉起，珠鍊一開始也不會產生彈跳，一樣是必須達到一定的速率後才產生彈跳。原本珠子與珠子之間的金屬條是鬆垮的，但移動時已經發生拉扯，再加上在轉折處發生扭轉，珠子與中間聯接金屬條就會產生摩擦力，這個摩擦力與扭轉，讓珠子卡住中間鍊條，然後珠鍊在離開平面後掉落的同時，珠鍊會向下翻轉掉落，而平面上珠鍊轉折處卻是左右翻轉，因此產生 S 型的扭轉，在這個過程珠鍊發生扭轉，只要力量不平均，就會使得珠鍊受到抬起的力量，就會造成珠子被抬起的結果，因此造成珠鍊彈起的現象，如上圖。

柒、結論

一、會影響珠鍊的彈跳因素有：

- 1、掉落的高度：珠鍊掉落高度落差(H2)要達一定的值才會發生彈跳的現象。且掉落高度越大，則珠鍊的移動速率越快，造成珠鍊彈跳高度(H1)就越大。
- 2、珠鍊的移動速率：珠鍊移動過程的速率，除了一開始及最後階段的速率會較小之外，中間過程的移動速率值皆約略保持相同。實驗發現，珠鍊移動速率越大，則珠鍊的彈跳高度(H1)就越大。
- 3、珠鍊的擺設將會影響珠鍊是否發生彈跳。珠鍊處在平面上掉落時，亦可能發生彈跳，取決於珠鍊的擺設是否有多次轉折。當珠鍊擺放寬度低於 50cm 時，就會產生彈跳現象，且轉折數越多、越集中，將越容易發生彈跳。
- 4、珠鍊放入燒杯內，珠鍊將會不平整且會一直轉折，此轉折放置的結果，造成珠鍊產生彈跳的現象。
- 5、當珠鍊擺放寬度高於 50cm 時，原本不會產生彈跳，但珠鍊滑過粗糙平面時則會發生彈跳。
- 6、珠鍊顆粒的大小將會影響珠鍊的彈跳高度。
- 7、珠鍊的扭轉：當珠鍊具高度旋轉情形時，珠鍊的彈跳高度(H1)就越大

二、不會影響珠鍊的彈跳因素：

- 1、珠鍊顆粒的大小並不會影響珠鍊的掉落所需時間及移動速率。
- 2、施放珠鍊時的拉力，將不會影響珠鍊彈跳的垂直高度。
- 3、珠鍊若在平面擺設且無轉折處，將不會發生彈跳現象。
- 4、燒杯內的珠鍊不會以滑動的方式來進行，珠鍊都是從燒杯內直接跳起的，因此，反作用力的影響就變得微乎其微了。

三、流動珠鍊於平面上發生彈跳現象的原因：

- 1、珠鍊於一定高度落下，且珠鍊流速達到一定程度時，將會發生珠鍊彈跳的現象。
- 2、平面上珠鍊擺設方式要有一定數量的轉折處且密集度要夠，才會發生珠鍊彈跳的現象。
- 3、珠鍊滑過粗糙不平整的面時，亦會發生彈跳現象。因此，由於珠鍊放入燒杯內時，珠鍊都是處於不平整的，珠鍊被拉動的過程，珠子將會碰撞，此碰撞將會造成珠鍊彈起的現象。
- 4、珠鍊的移動的過程，在轉折處會發生扭轉的現象，此扭轉會呈現 S 型的形狀，增加珠鍊的支撐力，造成珠鍊彈起的現象。

捌、參考資料

1. 台中教育大學，科學遊戲實驗室，珠鍊噴泉。<http://scigame.ntcu.edu.tw/power/power-037.html>
2. 第 56 屆全國科展高中組物理與天文學科，「珠」思泉湧，作者：洪瑄璟、李奕萱、張語庭。
3. 科學月刊，2014 年 12 月，金屬飛高高—珠鍊噴泉現象，作者：鄒忠毅、彭鈺慈，http://scimonth.blogspot.com/2014/12/blog-post_59.html。
4. 維基百科，自我虹吸珠，<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%87%AA%E6%88%91%E8%99%B9%E5%90%B8%E7%8F%A0>
5. Physicists explain 'gravity-defying' chain trick，Nature New，https://www.nature.com/news/physicists-explain-gravity-defying-chain-trick1.14523?WT.mc_id=GPL_NatureNews%EF%BC%8C%E6%91%98%E9%8C%84%E6%96%BC%2010%20August%202015
6. 南一書局，自然科第 5 冊第一章直線運動、第二章力與運動，南一出版社出版。

【評語】 030118

本作品系統性的分析了珠鍊彈跳高度的原因。包含珠子大小、墜落高度與彈跳高度、平放在桌面的寬度或是轉折數，甚至考慮摩擦力等變因之關係，逐步抽絲剝繭去找出彈跳的成因。設計上有科學偵探的巧思，相當值得鼓勵。

作品簡報

國中組 物理科

探討流動珠鍊於平面上
產生彈跳的現象

研究動機

我們在國立台中教育大學科學實驗室的網站中，看到一則「珠鍊噴泉」的實驗，發現這個實驗蠻有趣的。

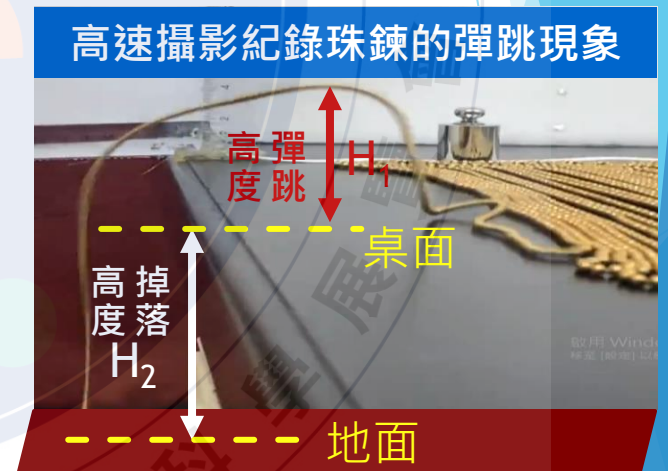
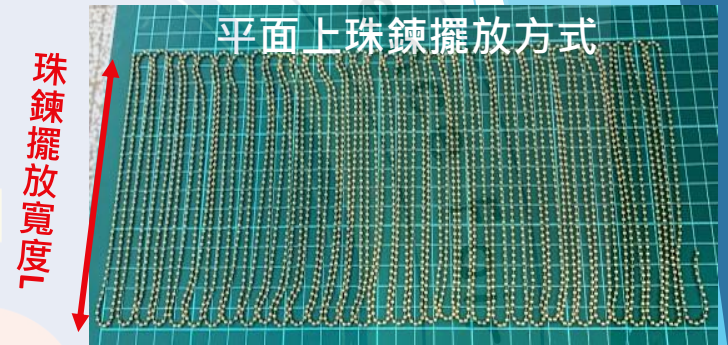
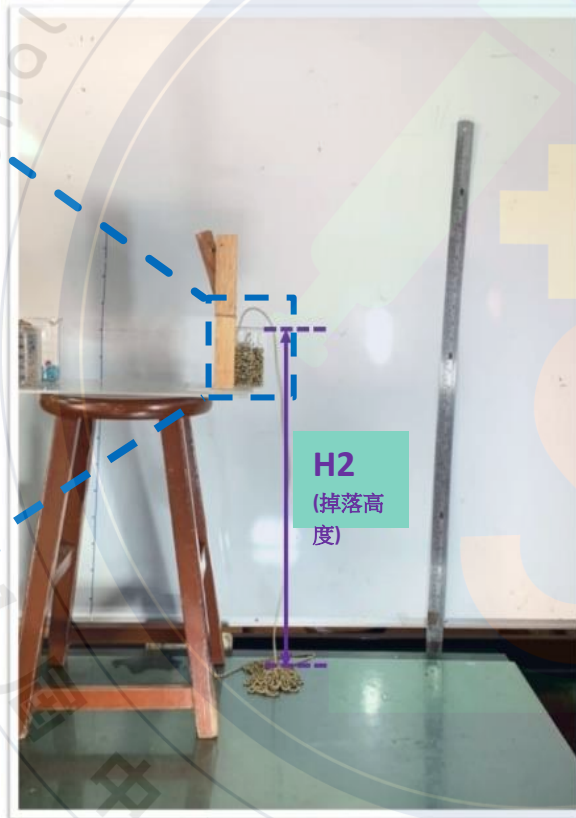
再查到國外網站有相關的研究及影片，珠鍊彈跳的原因尚未有明確的解釋，其中以珠鍊底部受到反作用力的解釋比較受到支持。我們發現擺放在平面中的移動珠鍊亦會產生彈跳的現象，如果以作用力與反作用力做為解釋，可能不太合理。因此，我們利用大量高速錄影來研究這個主題，期望得到有價值的結果。



研究方法

第一部分：珠鍊放於燒杯中

第二部分：珠鍊放於平面中

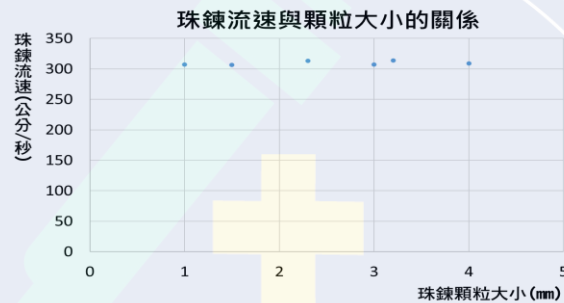
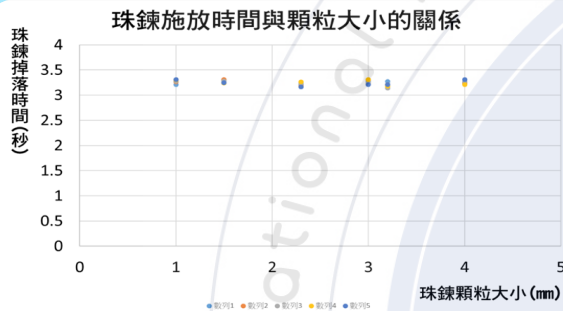


1. 使用高速攝影機(240fps)大量錄影來記錄數據及現象。
2. 讀取數據後利用Excel做出圖表來進行分析。

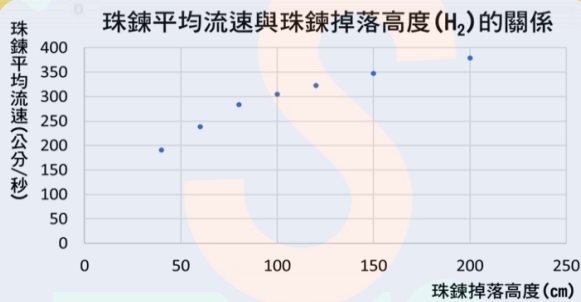
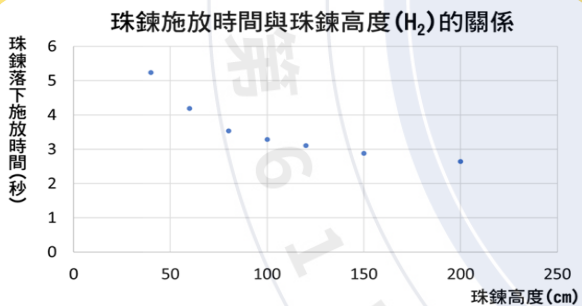
研究結果

實驗一至三

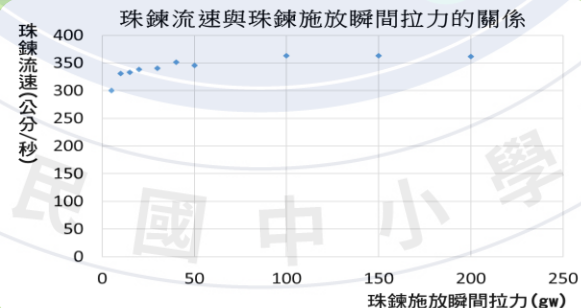
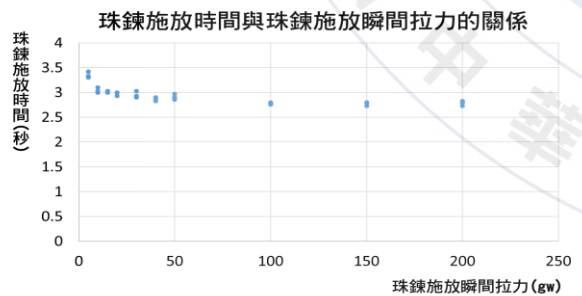
探討燒杯內珠鍊釋放時間(或流速)分別與珠鍊顆粒大小、釋放高度(H₂)及釋放瞬間拉力的關係。



珠子的大小並不會影響珠鍊的掉落所需時間。



珠鍊擺放高度(H₂)越高，則珠鍊掉落時的釋放時間越短，表示珠鍊移動的速度較快。



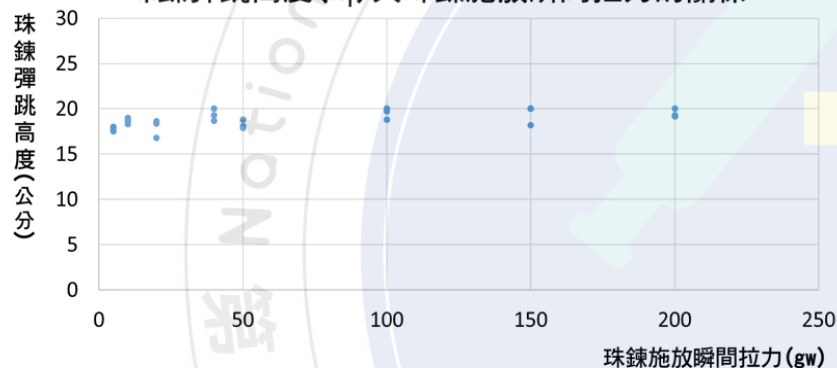
因為砝碼的重量較小時(5gw)，一開始比較不容易拉動珠鍊，以至於花的時間會比較多。砝碼的重量達到一定的程度時(10gw)，珠鍊掉落的時間幾乎維持相同值。

研究結果

實驗四至五

探討珠鍊彈跳高度(H_1)與珠鍊施放瞬間拉力的關係。
探討珠鍊彈跳高度(H_1)與珠鍊掉落高度(H_2)的關係。

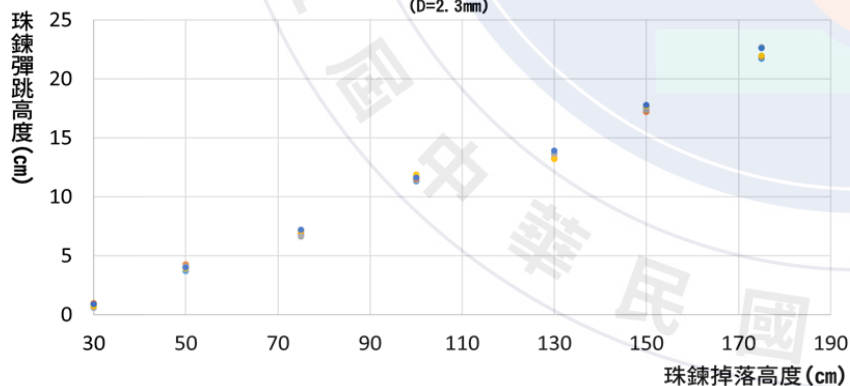
珠鍊彈跳高度(H_1)與珠鍊施放瞬間拉力的關係



實驗顯示，一開始對珠鍊的瞬間拉力，並不會影響珠鍊的彈跳高度。

珠鍊彈跳高度(H_1)與珠鍊掉落高度(H_2)的關係

($D=2.3\text{mm}$)

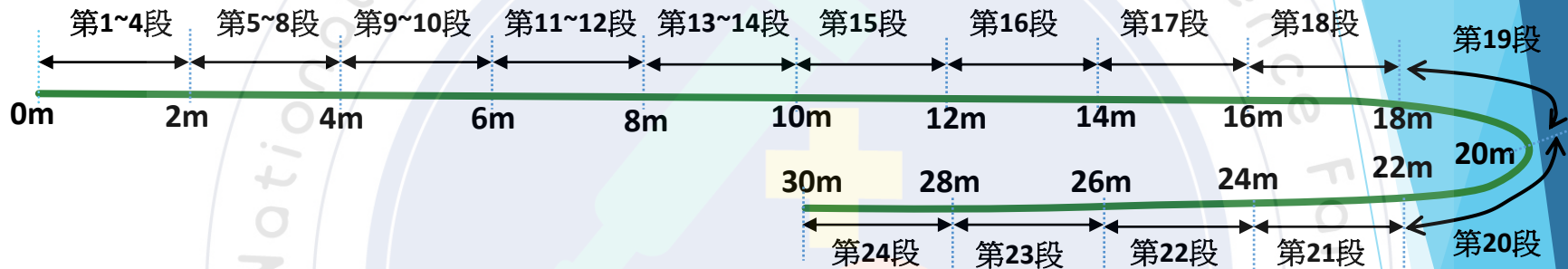


珠鍊彈跳高度(H_1)會受到珠鍊掉落高度(H_2)的影響，當珠鍊掉落高度越高，則珠鍊彈跳的高度也會越大。

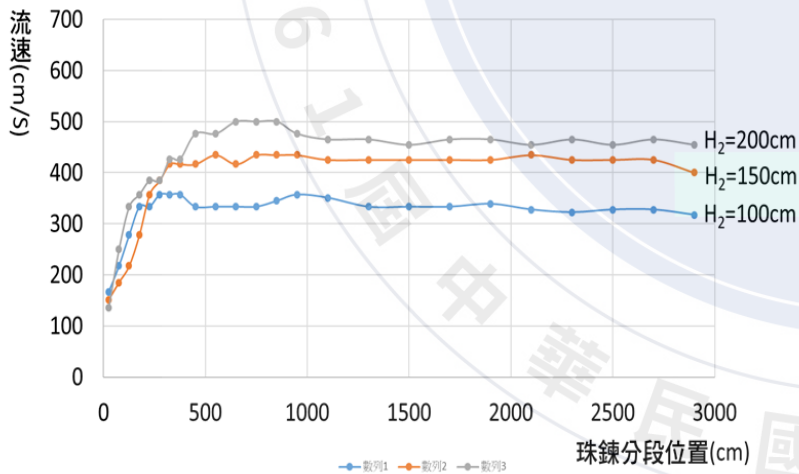
研究結果

實驗六

測量珠鍊流速，觀察珠鍊掉落時的速率變化。



珠鍊於各分段位置的平均流速

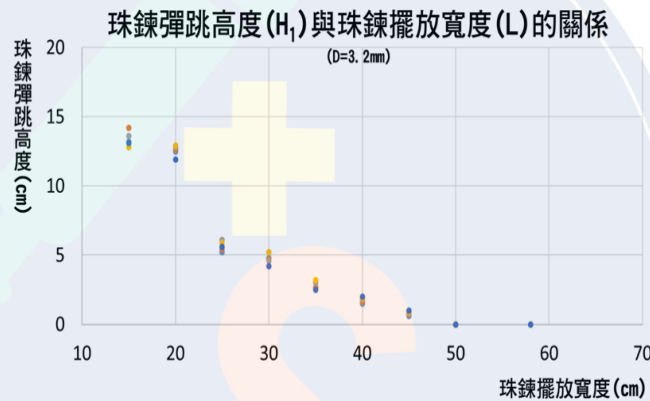
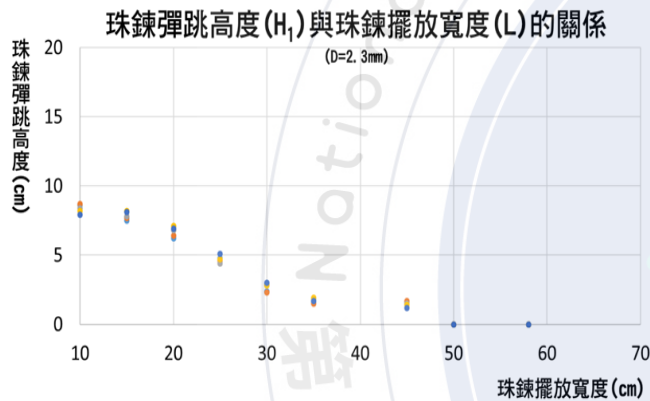


1. 珠鍊掉落時，一開始(前4公尺)是處於加速，之後會約略維持相同的速率。
2. 珠鍊的掉落高度(H_2)將會影響珠鍊的流速。掉落高度越高，珠鍊流速越快。

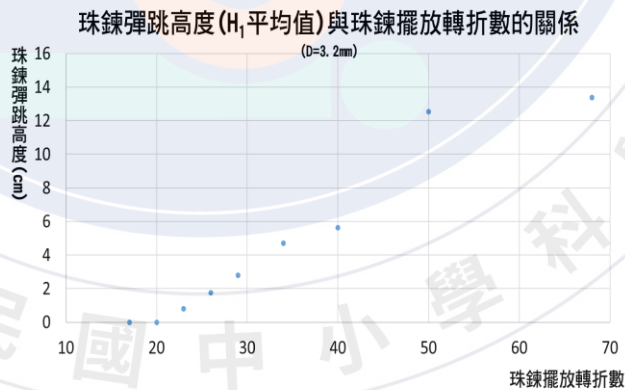
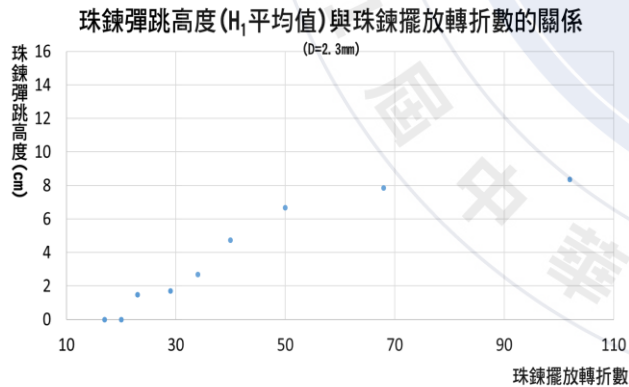
研究結果

實驗七

珠鍊處在平面上，探討珠鍊擺設寬度(L)如何影響珠鍊的彈跳高度(H_1)。



珠鍊擺設寬度(L)較小時(將具有較多的轉折)，將使得珠鍊較易發生彈跳，且彈跳的高度越高。



珠鍊直徑為2.3mm及3.2mm中，隨著轉折數越來越多，彈跳高度將越大。約50折後，彈跳高度將趨於平緩。

研究結果

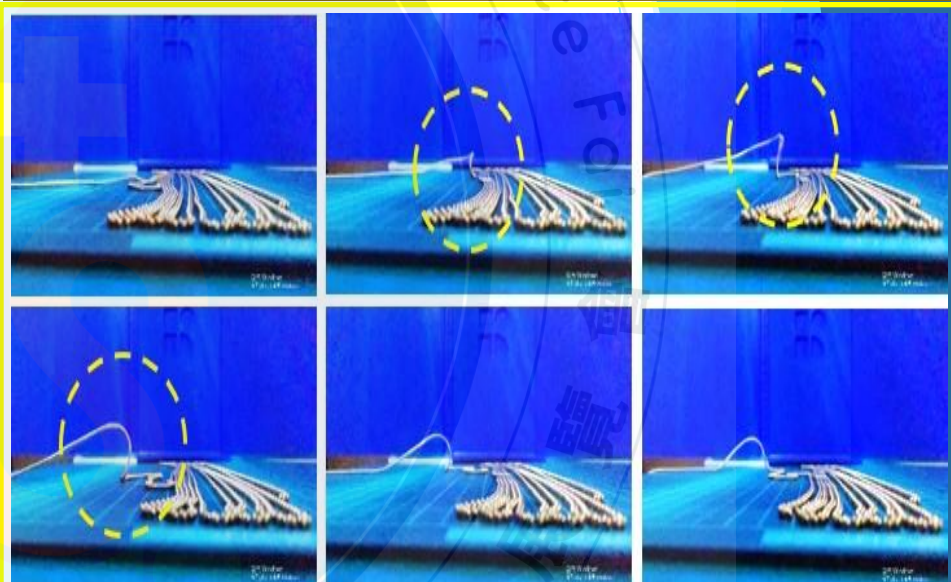
實驗八

利用高速攝影機觀察珠鍊處在平面上的彈跳行為。

珠鍊直徑：2.3mm；擺放寬度：15cm



珠鍊直徑：2.3mm；擺放寬度：30cm

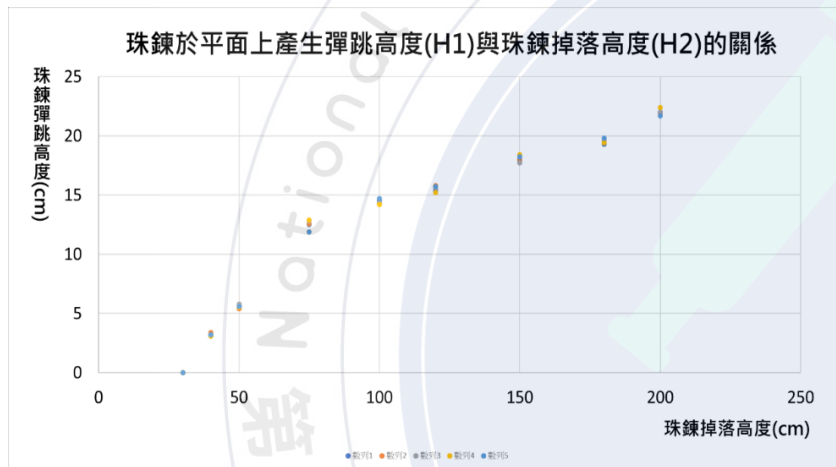


在落下的過程使用高速攝影機錄影(240fps)，珠鍊在彈跳的過程中，伴隨著旋轉的現象，以及類似S型的形狀。因此，我們認為這樣的S型扭轉的行為，會造成珠鍊彈跳的現象。

研究結果

實驗九

探討珠鍊於平面上產生彈跳的高度(H_1)與掉落高度(H_2)的關係。



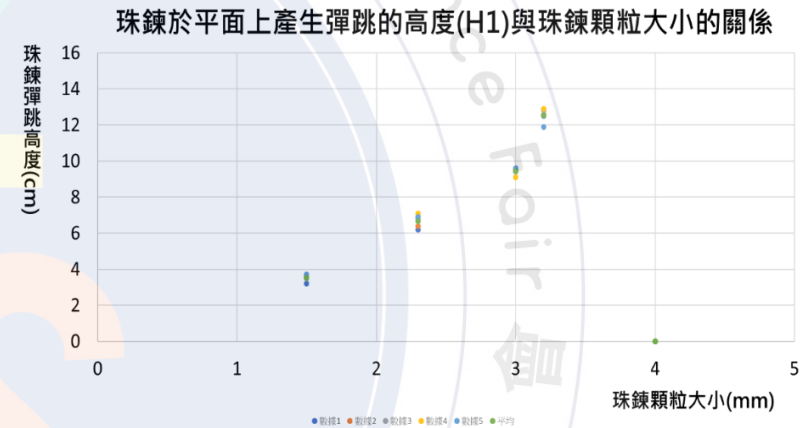
當珠鍊掉落高度(H_2)越大時，則珠鍊產生的彈跳高度(H_1)越高。

珠鍊直徑從1.5mm~3.2mm之間，彈跳高度的值越來越大。到了直徑為4.0mm時，發現珠鍊無法彈起(掉落高度為75cm)或者彈跳高度明顯較小(掉落高度為125cm)。

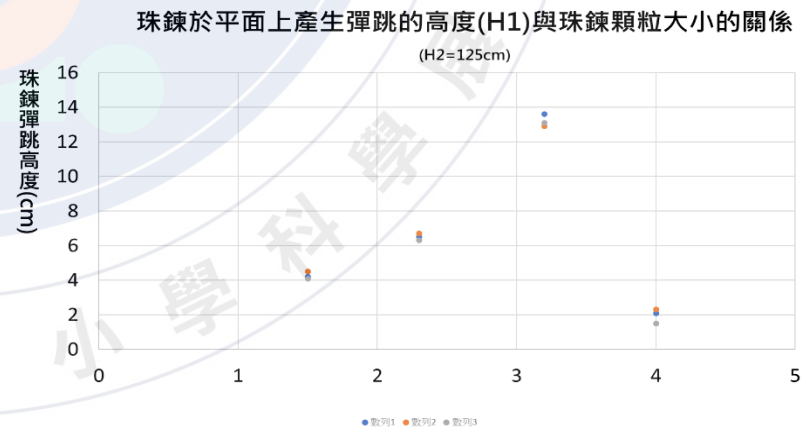
實驗十

探討珠鍊於平面上產生彈跳的高度(H_1)與顆粒大小的關係。

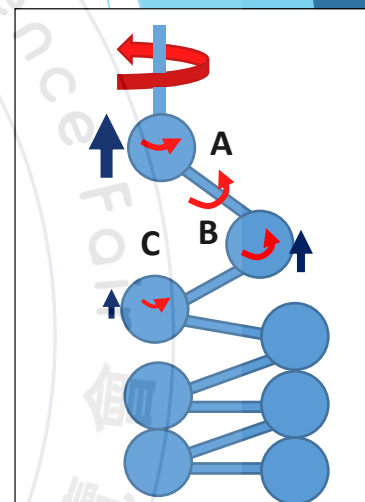
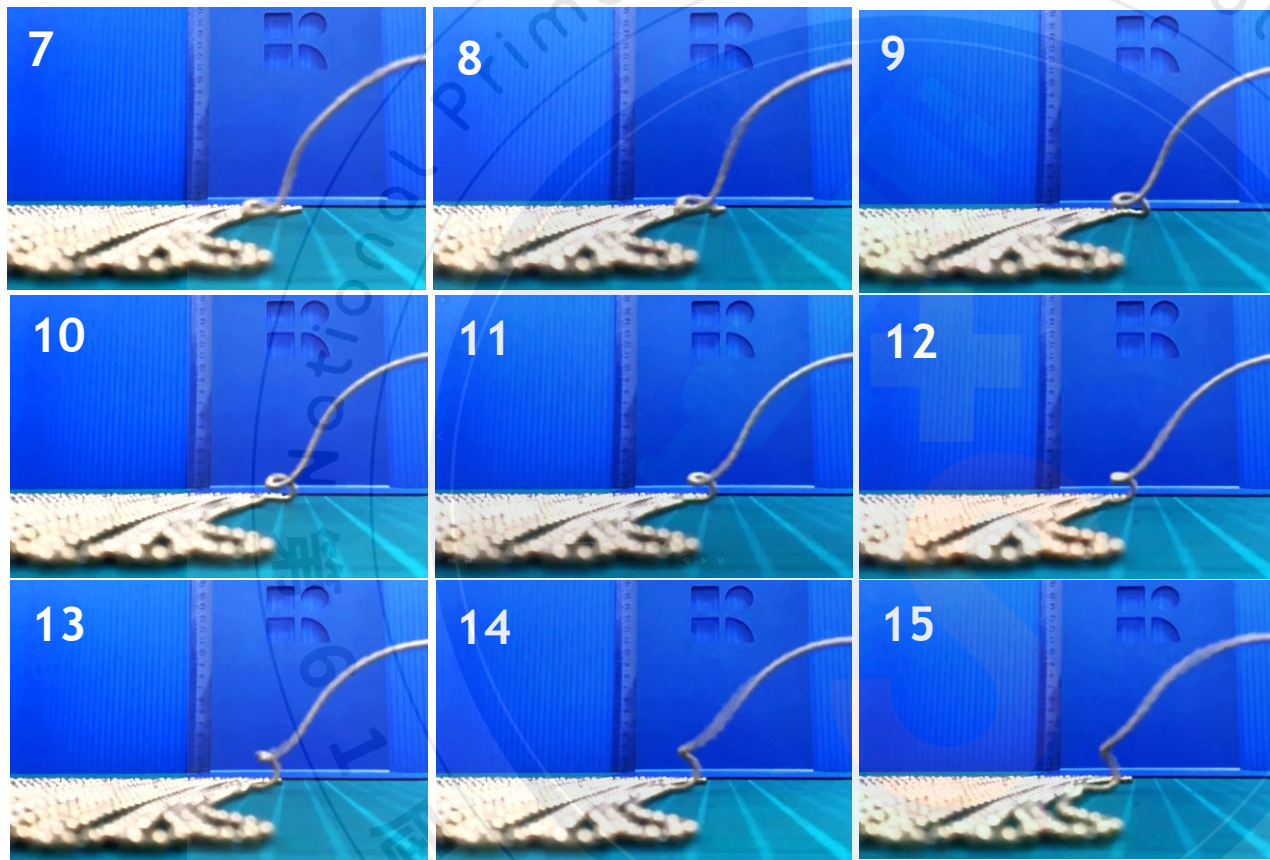
珠鍊掉落高度：75cm



珠鍊掉落高度：125cm



討論



我們觀察編號7~15，當珠鍊從轉折處移動時，明顯珠鍊都會發生扭轉的現象，然後靠近桌面的地方都會有抬起的行為，這些現象廣泛發生在那些會彈跳的珠鍊。

杯內的移動珠鍊會有旋轉扭動的明顯現象，珠鍊都會呈現S型的狀態，而且扭轉時的線條看起來具備堅硬而非軟性線條的現象。

結 論

珠鍊發生彈跳現象的原因：

- 1、珠鍊於一定高度落下，且珠鍊流速達到一定程度時，就會發生珠鍊彈跳的現象。
- 2、珠鍊擺設方式要有一定數量的轉折處且密集度要夠，才會發生珠鍊彈跳的現象。
- 3、珠鍊滑過粗糙不平整的面時，將會發生彈跳現象。因此，由於珠鍊放入燒杯內時，珠鍊都是處於不平整的，珠鍊被拉動的過程，珠子將會碰撞，此碰撞將會造成珠鍊彈起的現象。
- 4、珠鍊的移動的過程，在轉折處會發生扭轉的現象，此扭轉會呈現S型的形狀，增加珠鍊的支撐力，造成珠鍊彈起的現象。

參考資料

1. 台中教育大學，科學遊戲實驗室，珠鍊噴泉。
<http://scigame.ntcu.edu.tw/power/power-037.html>
2. 第56屆全國科展高中組物理與天文學科，「珠」思泉湧，作者：洪瑄環、李奕萱、張語庭。
3. 科學月刊，2014年12月，金屬飛高高 - 珠鍊噴泉現象，作者：鄒忠毅、彭鈺慈，http://scimonth.blogspot.com/2014/12/blog-post_59.html。
4. 維基百科，自我虹吸珠，
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%87%AA%E6%88%91%E8%99%B9%E5%90%B8%E7%8F%A0>
5. Physicists explain 'gravity-defying' chain trick，Nature New，
https://www.nature.com/news/physicists-explain-gravity-defying-chain-trick1.14523?WT.mc_id=GPL_NatureNews%EF%BC%8C%E6%91%98%E9%8C%84%E6%96%BC%2010%20August%202015
6. 南一書局，自然科第5冊第一章直線運動、第二章力與運動，南一出版社出版。

謝謝聆聽!