

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

080102

跳跳板的最佳化設置

學校名稱：屏東縣屏東市前進國民小學

作者： 小六 林雅菁 小五 陳柏霖 小五 王筱寧	指導老師： 黃啟晉 薛雅純
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：最佳化、跳跳板

摘要

不到五分鐘就可自製一個玩法多變的跳跳板玩具，非常引起我們的興趣。經由實驗後我們發現可以透過以下方式，製作出具耐用性且可以彈跳最高的跳跳板。

- 一、瓦楞板之長寬的極限參考比值應為 2，若超過之跳跳板容易凹折、空轉而影響彈跳。
- 二、首先應使橡皮筋有最大的橫向長度（即越接近瓦楞板的長度）。
- 三、承上，固定此橡皮筋長度後，接著再考慮使橡皮筋包覆面積占瓦楞板面積比介於 17.14% 至 28.57% 的橡皮筋寬度值。

經過以上設置的跳跳板，就可產出跳最高的跳跳板了。

壹、研究動機

六下自然課所學到的「力與運動」單元，學到關於力的測量與運用，也玩了很多運用橡皮筋彈力的 DIY 玩具，其中最感興趣的是跳跳板，材料簡易玩法有趣。上網搜尋發現竟然是 2014 年第二十屆遠哲科學趣味競賽主題，更加引起我們的興趣，於是開始研究如何讓跳跳板跳得更高。



圖 1 遠哲科學競賽主題-跳跳馬(板)

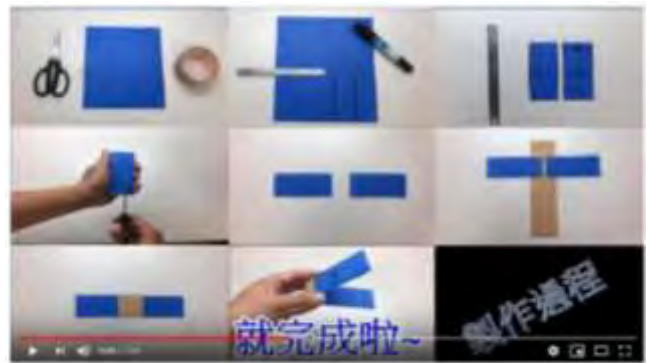


圖 2 網路搜尋跳跳板的製作影片

貳、研究目的

- 一、探討跳跳板彈跳的科學原理
- 二、以耐用為前提，探討跳跳板如何設置製作較佳
- 三、探討「瓦楞板、橡皮筋、切割線」對跳跳板高度的影響
- 四、綜合以上研究，找出跳跳板的最佳化設置

參、研究設備及器材

彈簧秤、剪刀、膠帶、小刀、鐵尺、切割墊、14 號橡皮筋、筆記型電腦、錄影機、tracker 物理實驗影響分析軟體

肆、研究流程圖

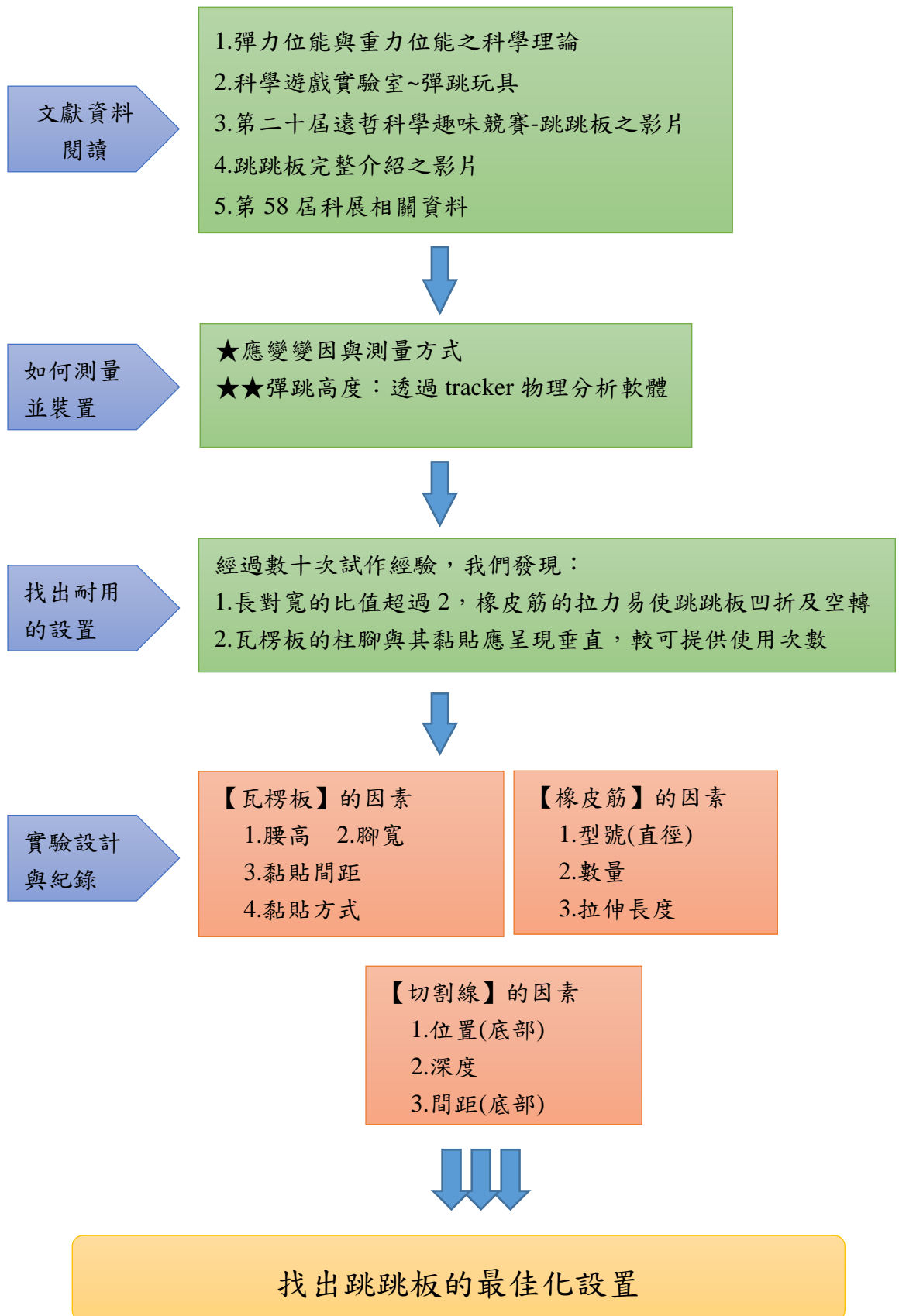


圖 3 研究流程圖

伍、研究過程或方法

一、文獻閱讀與歸納

(一)重力位能：即是重力所作的功，如右圖4，一物體在重力場內由 A 點落至 B 點，此時重力對物體作正功，重力位能則減少；相反的，若由 B 點升至 A 點，重力對物體作負功，重力位能則增加。這種由於物體高度改變所具有的能量，稱為重力位能 U 。物體的重力位能可用數學式表示為 $W = Fh = mgh = U$ 。

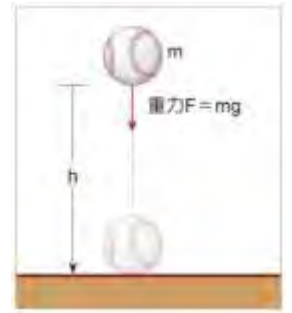


圖 4 重力位能示意圖

(二)彈性能：如右圖5，當彈性物體受外力作用後產生形狀變化，表示系統具有彈性能。若彈性物體的恢復力對物體作負功，則彈性能增加；反之若恢復力對物體作正功，則彈性能減少。例如，滿足虎克定律的彈簧，在彈性限度的彈性能公式為 $U_x = \frac{1}{2} kx^2$ 。

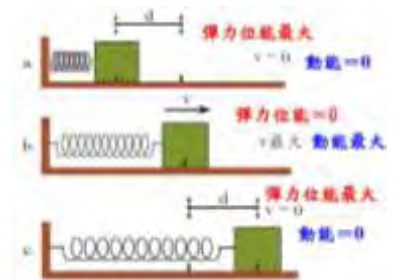


圖 5 彈性能示意圖

(三)力學能守恆：在保守力（如重力、彈力等）的作用下，系統的力學能必須為一個定值，亦即物體在各處的動能+位能=定值。

(四)作用力與反作用力：作用力與反作用力的大小相等、方向相反。對於每一道作用力，都有一道大小相等、方向相反的反作用力。

★★跳跳板彈跳的原理：因為橡皮筋被反向拉長後，彈性能儲存在跳跳板裡，當彈性能被釋放後（橡皮筋的恢復力連帶使瓦楞板閉合，使桌面給予向上的反作用力）轉換為彈跳時所需的動能，直到動能耗盡時達到最高高度後落下，(不計摩擦力等阻力時)全部過程中維持力學能守恆，整體過程如下。

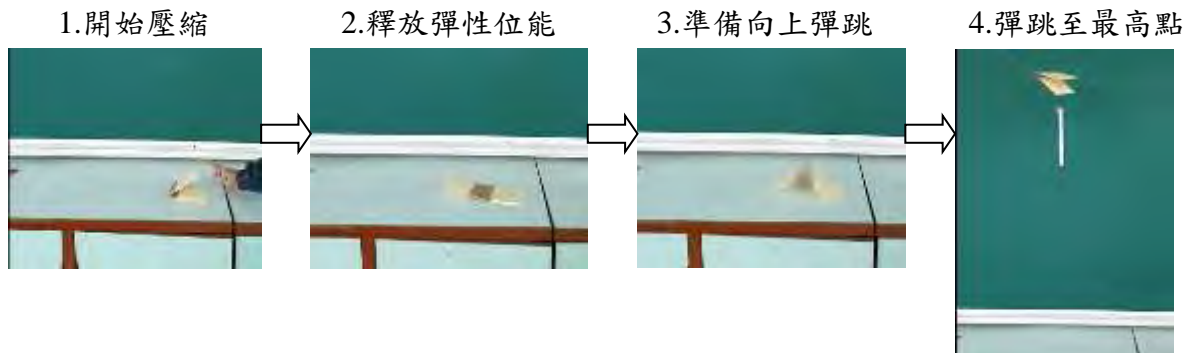


圖 6 跳跳板彈跳的連續過程與說明

二、歷屆相關科展回顧

彰化縣第 58 屆科展也有研究跳跳板，主要探討可以彈跳多遠的距離。綜觀其研究，透過各項變因設計找出可以使跳跳板彈跳最遠的距離。相關討論的變因有起跳斜坡角度、橡皮筋大小與數量、瓦楞板相黏間距、跳跳板長度與不同形狀。我們參照他們的研究變因，但也認為有部分影響跳遠距離的因素尚未考慮，如橡皮筋網綁在跳跳板的位置及其與板子的關聯、橡皮筋可能的拉伸大小……等。

三、實驗方法

(一)跳跳板設計圖

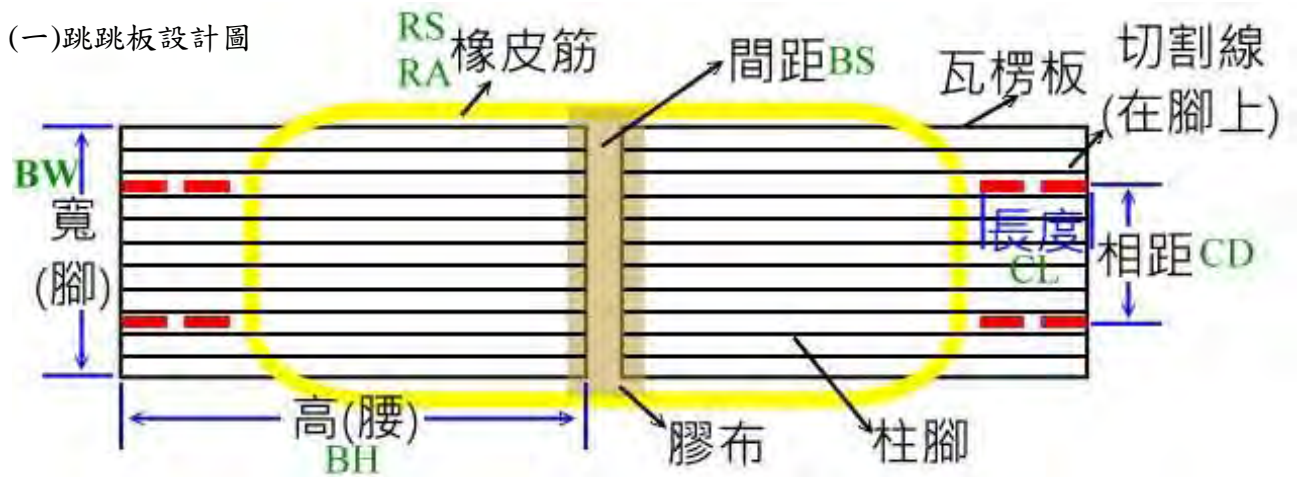


圖 7 跳跳板設計圖與相關變因、代碼說明

★為簡化版面，我們依序定義相關變因，如下表 1。

表 1 本實驗的相關變因與代碼對應表

瓦楞板 Board			橡皮筋 Rubber band		切割線 Cutting line		
高(腰)	寬(腳)	間距	大小	數量	位置	(兩線彼此)相距	長度
BH	BW	BS	RS	RA	腳	CD	CL

(二)實驗情境圖暨說明



圖 8 實驗情境

一、成員分工如下：

- ✚ A 員操作跳跳板。
- ✚ B 員調整 DV 錄影機的水平，再進行彈跳過程的錄影。
- ✚ C 員進行影片分析，透過 tracker 分析軟體測量出彈跳高度。

二、背景為公布欄，白色線條為影片分析軟體所需的長度校正桿。

三、彈跳高度因為有視角的關係，需進行修正，如下說明。

(三)高度修正說明(以下示意圖為側面視圖)

$$\frac{y_1}{y} = \frac{x_1}{x_1+x_2} \dots(1) \Rightarrow y_1 = \frac{x_1}{x_1+x_2} \times y \dots(2) \Rightarrow y_2 = y - y_1 = y \times \left(1 - \frac{x_1}{x_1+x_2}\right) \dots(3)$$

- 由式 3 之算式可知實際的彈跳高度 y_2
- 實測 $x_1 = 20\text{cm}$ 、 $x_2 = 200\text{cm}$ ，再透過影片分析知道 y 的高度
- 代入式 3 可得知實際 y_2 的修正高度

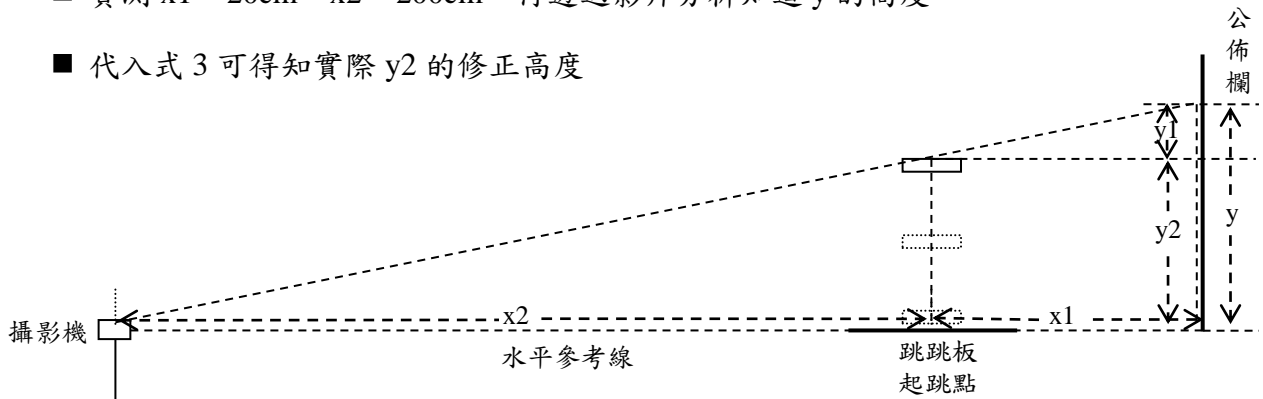


圖 9 高度修正示意圖

(三)測量高度：上網自學 tracker 分析軟體，透過架設 DV 錄影機並分析彈跳高度。



圖 10 影片分析的過程



圖 11 影片分析的過程

步驟：軟體載入影片⇒新增座標軸⇒新增校正桿⇒新增質點⇒標定起點與最高點

陸、研究結果

一、先備實驗

實驗 1-1：自製瓦楞板的耐受性—跳跳板高與寬的設定

在製作過程中，要把橡皮筋套入四個切割線上，需要巧妙施力才可使橡皮筋套進去又不讓瓦楞板因此凹折（因凹折有可能會吸收橡皮筋的反作用力，導致影響彈跳高度）。我們三位成員輪流以八種不同大小的跳跳板進行橡皮筋六次套入試驗，並統計是否產生凹折，作為後續自製跳跳板大小的極限參考。

表 2 耐受考驗—跳跳板之 BH 與 BW 的參考比值(單位：公分)

	BH=8 BW=2	BH=8 BW=3	BH=8 BW=4	BH=8 BW=5
	比值：4	比值：2.667	比值：2	比值：1.6
成員 A	第二次就凹折	第五次就凹折	尚未凹折	尚未凹折
成員 B	第二次就凹折	第五次就凹折	尚未凹折	尚未凹折
成員 C	第三次就凹折	第四次就凹折	尚未凹折	尚未凹折

表 3 耐受考驗—跳跳板之 BH 與 BW 的參考比值(單位：公分)

	BH=10 BW=3	BH=10 BW=4	BH=10 BW=5	BH=10 BW=6
	比值：3.333	比值：2.5	比值：2	比值：1.667
成員 A	第二次就凹折	第五次就凹折	尚未凹折	尚未凹折
成員 B	第二次就凹折	第四次就凹折	尚未凹折	尚未凹折
成員 C	第一次就凹折	第五次就凹折	尚未凹折	尚未凹折

由於後續的彈跳高度測量，預計每種跳跳板採計合理的五次數據，因此參照上表的耐受考驗，決定將跳跳板之 BH 與 BW 的極限參考比值設為 2，亦即若跳跳板的腰與腳比值大於 2，將不再繼續製作與測量。例如腰的高是 6 公分，依比值計算則腳的寬是 3 公分，則該系列跳跳板的最小腳寬將訂為 3 公分。此外，也觀察到越接近極限參考值的跳跳板在向上彈起的過程中，容易在離起點上空不遠處空轉（浪費動能）。

實驗 1-2：自製瓦楞板的耐受性—膠布黏貼方向

跳跳板靠網綁橡皮筋獲得彈性能，我們發現瓦楞板的柱腳與相黏貼的間距若呈現垂直關係，較可提供穩固的支撐。我們選取跳跳板不同的腰高與最小極限腳寬之組合，各測試六次，紀錄是否有產生凹折情形。

表 4 耐受考驗—跳跳板之 BH 與 BW 的參考比值(單位：公分)

	BH=10 BW=5	BH=8 BW=4	BH=6 BW=3	BH=4 BW=2
	比值：2	比值：2	比值：2	比值：2
平行貼	第五次就凹折	第五次就凹折	第三次就凹折	第二次就凹折
垂直貼	未凹折	未凹折	未凹折	未凹折

從上表來看，確實發現瓦楞板的柱腳與瓦楞板黏貼應呈現垂直黏貼關係，較可提供我們多次實驗，也避免凹折後產生抵銷反作用力的失真現象。

二、正式實驗

實驗 2-1

(一)研究問題—保持橡皮筋的拉伸長度(42cm)，比較相同矩形跳板的高度

控制變因有 BH:11cm、BW:8cm、BS:0.4cm、RS:14 號、RA:1 條

(二)實驗結果：下表為示意圖、實圖與高度紀錄表(示意圖之綠色數字代表 CL)

表 5 相同橡皮筋拉伸長度(42cm)下，各個矩形跳板的彈跳高度

No.A		No.B		No.C		No.D	
$y_2 = y - y_1 = y \times \left(1 - \frac{x_1}{x_1 + x_2}\right); x_1 = 20\text{cm}、x_2 = 200\text{cm};$ <p>再用影片分析彈跳高度(如下表灰色數字)，可算出實際高度(如下表黑色數字)。</p>							
1	130⇒117	1	112⇒100.8	1	108⇒97.2	1	105⇒94.5
2	124⇒111.6	2	108⇒97.2	2	105⇒94.5	2	100⇒90
3	125⇒112.5	3	104⇒93.6	3	104⇒93.6	3	102⇒91.8
4	128⇒115.2	4	116⇒104.4	4	105⇒94.5	4	104⇒93.6
5	126⇒113.4	5	111⇒99.9	5	104⇒93.6	5	103⇒92.7
平均：113.94cm		平均：99.18cm		平均：94.68cm		平均：92.52cm	

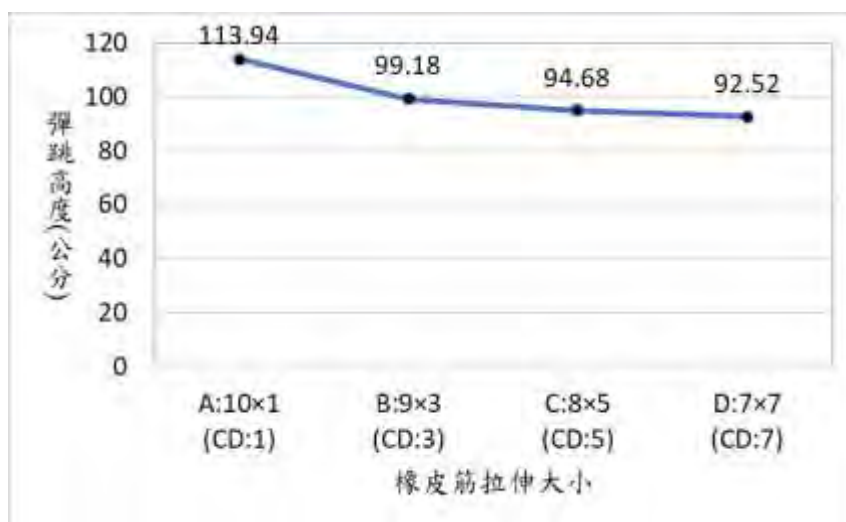


圖 12 在相同橡皮筋拉伸長度(42cm)下，比較瓦楞板大小的彈跳高度

(三)實驗討論

- 1.橡皮筋拉伸長度固定時表示橡皮筋的拉力一樣，但從四種跳跳板的平均彈跳高度不同來看，可能是因拉伸的形狀不同而使跳跳板有不同大小的彈性能。
- 2.從上圖可以發現，橡皮筋被拉伸的形狀越扁(如 No.A)，可以讓跳跳板跳得高；反之，若橡皮筋被拉伸的形狀越寬(如 No.D)，可以讓跳跳板跳得低。因此，我們認為橡皮筋橫向長度會影響跳跳板彈跳高度。
- 3.反過來想，當固定橡皮筋橫向長度是否會讓不同大小的跳跳板有不同的彈跳表現，於是設計實驗 2-2，我們預測跳跳板越輕者可以跳得越高。

實驗 2-2

(一)研究問題—保持橡皮筋拉伸長度(28cm)與橫長(12cm)，比較不同矩形跳跳板的高度。

控制變因有橡皮筋拉長 12cm 與拉寬 2 公分、BS:0.4cm、RS:14 號、RA:1 條

(二)實驗結果：下表為示意圖、實圖與高度紀錄表(示意圖之綠色數字代表 CL)

表 6 相同橡皮筋拉伸長度(28cm)與橫向長度(12cm)下，不同矩形跳跳板的彈跳高度

No.E		No.F		No.G		No.H	
$y_2 = y - y_1 = y \times \left(1 - \frac{x_1}{x_1 + x_2}\right); x_1 = 20\text{cm}、x_2 = 200\text{cm};$							
<p>再用影片分析彈跳高度(如下表灰色數字)，可算出實際高度(如下表黑色數字)。</p>							
1	55⇒49.5	1	64⇒57.6	1	68⇒61.2	1	70⇒63
2	58⇒52.2	2	63⇒56.7	2	65⇒58.5	2	72⇒64.8
3	63⇒56.7	3	62⇒55.8	3	62⇒55.8	3	65⇒58.5
4	64⇒57.6	4	63⇒56.7	4	65⇒58.5	4	66⇒59.4
5	62⇒55.8	5	60⇒54	5	67⇒60.3	5	68⇒61.2
平均：54.36cm		平均：56.16cm		平均：58.86cm		平均：61.38cm	

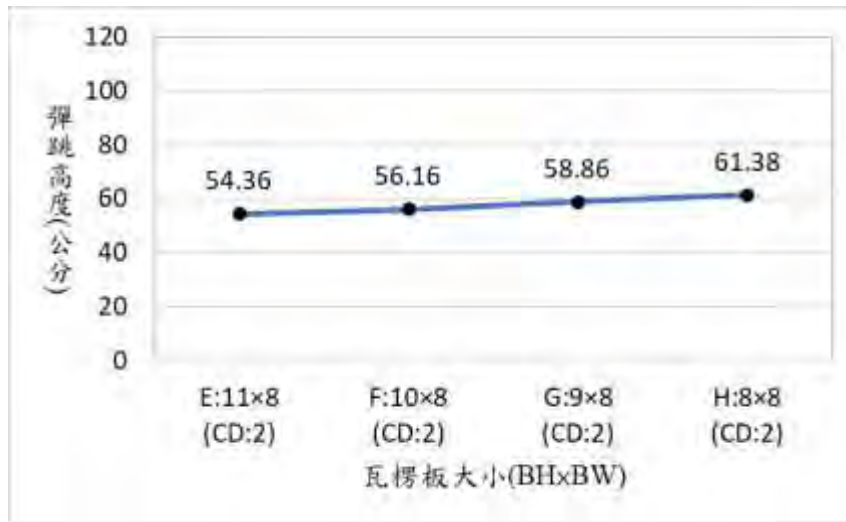


圖13 在相同橡皮筋拉伸長度(28cm)與橫向長度(12cm)下，不同瓦楞板大小的彈跳高度

(三)實驗討論

- 1.從上圖可以發現，瓦楞板隨著面積越小(代表重量也跟著越小)，彈跳高度越來越大，尚符合先前預測。
- 2.此結果也符合預期(在橡皮筋拉伸大小與形狀固定時，重量越輕可跳得越高)。
- 3.綜合 2-2 實驗與 2-1 實驗，我們認為橡皮筋的總長與橡皮筋的橫向長度(平行瓦楞板上 BH 的邊)都會影響跳跳板的彈跳高度(暫時推論為橫向長度及其鬆緊度會影響跳跳板高度)。
- 4.為使實驗結果更具比較性，我們繼續設計不同的實驗內容—固定橡皮筋拉伸的橫長但改變拉伸總長，並預測在越緊的橡皮筋下可有越高的彈跳表現。

實驗 2-3

(一)研究問題—保持橡皮筋的橫向拉伸長度(16cm)，比較相同矩形跳跳板的高度

控制變因有橡皮筋橫向 16cm、BH:11cm、BW:8cm、BS:0.4cm、RS:14 號、RA:1 條

(二)實驗結果：下表為示意圖、實圖與高度紀錄表(示意圖之綠色數字代表 CL)

表 7 相同橡皮筋橫向拉伸長度(16cm)下，各個矩形跳跳板的彈跳高度

No.I	No.J	No.K	No.L

$$y_2 = y - y_1 = y \times \left(1 - \frac{x_1}{x_1 + x_2}\right); x_1 = 20\text{cm}, x_2 = 200\text{cm};$$

再用影片分析彈跳高度(如下表灰色數字)，可算出實際高度(如下表黑色數字)。

1	82⇨73.8	1	105⇨94.5	1	92⇨82.8	1	93⇨83.7
2	78⇨70.2	2	100⇨90	2	93⇨83.7	2	91⇨81.9
3	76⇨68.4	3	104⇨93.6	3	94⇨84.6	3	90⇨81
4	82⇨73.8	4	103⇨92.7	4	90⇨81	4	91⇨81.9
5	83⇨74.7	5	101⇨90.9	5	93⇨83.7	5	93⇨83.7
平均：72.18cm		平均：92.34cm		平均：83.16cm		平均：82.44cm	

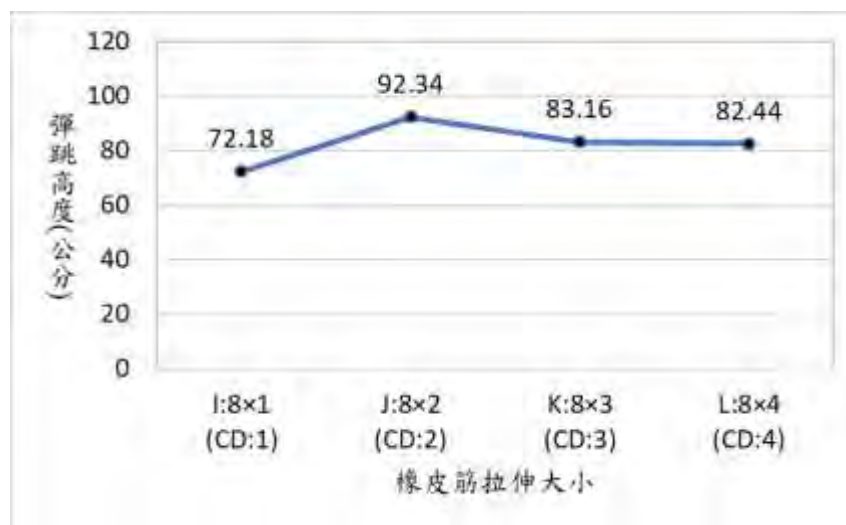


圖 14 在相同橡皮筋拉伸橫向長度下，相同瓦楞板大小的彈跳高度

(三)實驗討論

- 1.從上圖可以發現，No.I 與 No.J 符合先前預測—即是固定橡皮筋拉伸的橫長但在越緊的橡皮筋下可有越高的彈跳表現)，但是 No.K 與 No.L 則非預期狀況。
- 2.我們認為所出現的非預期狀況(No.K 與 No.L)，代表不可以單從橡皮筋拉伸的長度與橫長等變因來推論彈跳高度。
- 3.綜合 2-1 實驗與 2-2 實驗，我們認為橡皮筋橫向長度會影響跳跳板彈跳高度。
- 4.綜合 2-2 實驗與 2-3 實驗，我們認為橫向長度固定時，拉伸的鬆緊度也會影響跳跳板彈跳高度。
- 5.承第 2 點、第 3 點與第 4 點，暫時推論為橡皮筋橫向長度及其鬆緊度會影響跳跳板高度，但仍有可討論的變因會影響彈跳高度(如 No.K 與 No.L 之例)。

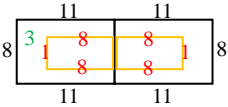
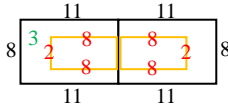
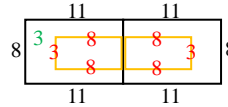
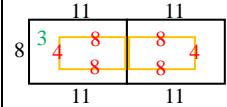
★★為解決 No.K 與 No.L 之非預期的狀況，我們提出假設以解決所發現的問題。假設橡皮筋包覆在跳跳板的面積需在適當比例下，才有較高的彈跳表現，如下說明。

包覆比：指(單一塊)橡皮筋面積除以(單一塊)瓦楞板面積。

例，橡皮筋拉伸 8×1 大小，瓦楞板大小為 8×11，則包覆比是 $8 \div 88 = 9.09\%$

下表為實驗 2-3 的數據，另增加包覆比以了解其與彈跳高度的關係。

表 8 實驗 2-3 的彈跳高度結果與包覆比分析

No.I	No.J	No.K	No.L
			
橡皮筋面積：8cm ² 瓦楞板面積：88cm ² 包覆比： 8÷88=9.09%	橡皮筋面積：16cm ² 瓦楞板面積：88cm ² 包覆比： 16÷88=18.18%	橡皮筋面積：24cm ² 瓦楞板面積：88cm ² 包覆比： 24÷88=27.27%	橡皮筋面積：32cm ² 瓦楞板面積：88cm ² 包覆比： 32÷88=36.36%
平均高度：72.18cm	平均高度：92.34cm	平均高度：83.16cm	平均高度：82.44cm

★★假設推論：

1. 在相同的橡皮筋橫長條件下，觀察 No.I、No.J、No.K 的平均高度，可以發現包覆比在 9.09% 至 27.27% 之間已出現最大的平均高度(No.J)。是否其他跳跳板大小也需要適當的橡皮筋拉伸大小下，才有較高的彈跳表現，需要更進一步的實驗。
2. 為驗證這個假設，我們設計一系列條件相同的橡皮筋橫長實驗，來探討合適的包覆比應落在哪裡才會有最大的彈跳高度。

三、驗證實驗

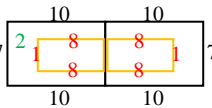

實驗 3-1

(一)研究問題—保持橡皮筋的橫向拉伸長度(16cm)，比較相同矩形跳跳板的高度

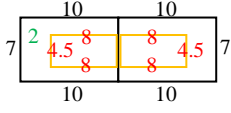

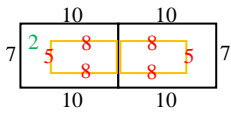

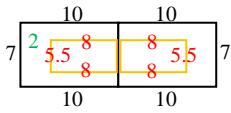

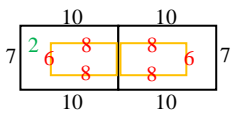

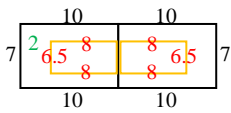

控制變因有橡皮筋橫長 16cm、BH:10cm、BW:7cm、BS:0.4cm、RS:14 號、RA:1 條

(二)實驗結果：下表為示意圖、實圖與高度紀錄表(示意圖之綠色數字代表 CL)

表 9 相同橡皮筋橫向拉伸長度(16cm)下，各個矩形跳跳板的彈跳高度

代號	示意圖	實圖	高度紀錄表(單位：公分)					
			一	二	三	四	五	平均
3-A			72⇨ 64.8	78⇨ 70.2	70⇨ 63	69⇨ 62.1	72⇨ 64.8	64.98
	橡皮筋(單)面積：8cm ² 、瓦楞板(單)面積：70cm ² 。 包覆比：8÷70=11.43%							

3-B			一	二	三	四	五	平均
			79⇨ 71.1	82⇨ 73.8	85⇨ 76.5	84⇨ 75.6	83⇨ 74.7	74.34
橡皮筋(單)面積：12cm ² 、瓦楞板(單)面積：70cm ² 。 包覆比：12÷70=17.14%								
3-C			一	二	三	四	五	平均
			107⇨ 96.3	104⇨ 93.6	101⇨ 90.9	98⇨ 88.2	104⇨ 93.6	92.52
橡皮筋(單)面積：16cm ² 、瓦楞板(單)面積：70cm ² 。 包覆比：16÷70=22.86%								
3-D			一	二	三	四	五	平均
			100⇨ 90	95⇨ 85.5	96⇨ 86.4	97⇨ 87.3	93⇨ 83.7	86.58
橡皮筋(單)面積：20cm ² 、瓦楞板(單)面積：70cm ² 。 包覆比：20÷70=28.57%								
3-E			一	二	三	四	五	平均
			92⇨ 82.8	85⇨ 76.5	93⇨ 83.7	88⇨ 79.2	87⇨ 78.3	80.1
橡皮筋(單)面積：24cm ² 、瓦楞板(單)面積：70cm ² 。 包覆比：24÷70=34.29%								
3-F			一	二	三	四	五	平均
			88⇨ 79.2	84⇨ 75.6	90⇨ 81	92⇨ 82.8	84⇨ 75.6	78.84
橡皮筋(單)面積：28cm ² 、瓦楞板(單)面積：70cm ² 。 包覆比：28÷70=40%								
3-G			一	二	三	四	五	平均
			82⇨ 73.8	83⇨ 74.7	84⇨ 75.6	90⇨ 81	86⇨ 77.4	76.5
橡皮筋(單)面積：32cm ² 、瓦楞板(單)面積：70cm ² 。 包覆比：32÷70=45.71%								

3-H			一	二	三	四	五	平均
			82⇨ 73.8	84⇨ 75.6	83⇨ 74.7	81⇨ 72.9	84⇨ 75.6	74.52
橡皮筋(單)面積：36cm ² 、瓦楞板(單)面積：70cm ² 。 包覆比：36÷70=51.43%								
3-I			一	二	三	四	五	平均
			80⇨ 72	75⇨ 67.5	74⇨ 66.6	86⇨ 77.4	74⇨ 66.6	70.02
橡皮筋(單)面積：40cm ² 、瓦楞板(單)面積：70cm ² 。 包覆比：40÷70=57.14%								
3-J			一	二	三	四	五	平均
			74⇨ 66.6	72⇨ 64.8	74⇨ 66.6	73⇨ 65.7	79⇨ 71.1	66.96
橡皮筋(單)面積：44cm ² 、瓦楞板(單)面積：70cm ² 。 包覆比：44÷70=62.86%								
3-K			一	二	三	四	五	平均
			78⇨ 70.2	76⇨ 68.4	72⇨ 64.8	73⇨ 65.7	70⇨ 63	66.42
橡皮筋(單)面積：48cm ² 、瓦楞板(單)面積：70cm ² 。 包覆比：48÷70=68.57%								
3-L			一	二	三	四	五	平均
			68⇨ 61.2	76⇨ 68.4	74⇨ 66.6	71⇨ 63.9	75⇨ 67.5	65.52
橡皮筋(單)面積：52cm ² 、瓦楞板(單)面積：70cm ² 。 包覆比：52÷70=74.29%								
高度 修正	$y_2 = y - y_1 = y \times (1 - \frac{x_1}{x_1+x_2})$; $x_1 = 20\text{cm}$ 、 $x_2 = 200\text{cm}$; 再用影片分析彈跳高度(如上列灰色數字)，可算出實際高度(如上列黑色數字)。							

將上表的彈跳高度與包覆比繪製成下圖，便於討論。

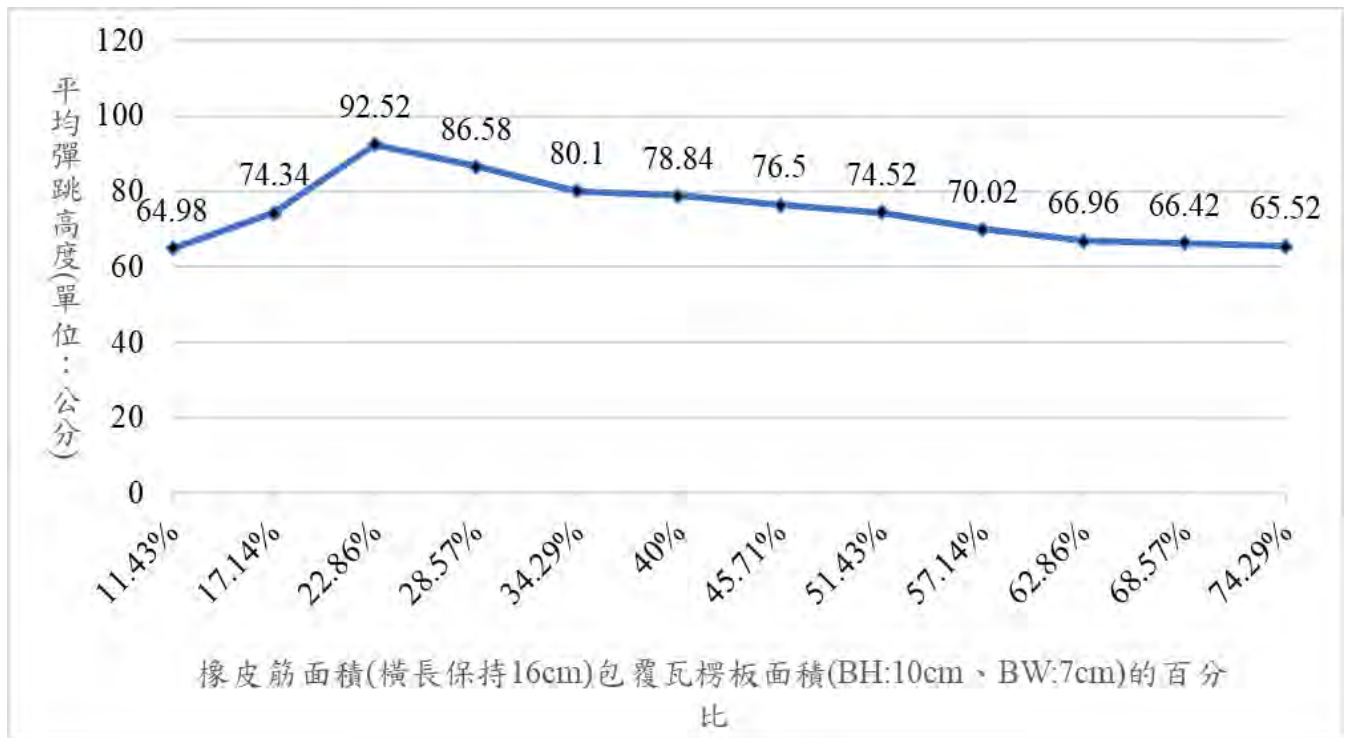


圖 15 在相同橡皮筋拉伸橫向長度(16 公分)下，相同瓦楞板大小的平均彈跳高度

(三)實驗討論

- 1.從上圖可以發現，測得的最大平均彈跳高度是包覆比 22.86%之跳跳板，該跳跳板的 BH 為 10 公分、BW 為 7 公分、橡皮筋拉長 16 公分且拉寬 2 公分。
- 2.出現最大平均彈跳高度的左右兩個包覆比為 17.14%與 28.57%，代表介於此兩個包覆比之間可能會有真正最大的平均彈跳高度。
- 3.對照實驗 2-3 的討論，原出現最大平均彈跳高度的包覆比範圍介於 9.09%至 27.27%之間，本實驗做完後，已將範圍縮小至 17.14%至 28.57%。

柒、討論

一、從【實驗 1-1】可以發現，自製跳跳板需注意

- (一)跳跳板之腰高與腳寬的極限參考比值應為 2。若超過 2 時，跳跳板會因為過於狹長而容易在彈跳的過程中產生翻轉，因此浪費動能並降低彈跳高度。
- (二)跳跳板在製作與套入橡皮筋的過程中，應注意是否使瓦楞板產生凹折，以避免凹折處吸收反作用力後降低實際彈跳高度。

二、從【實驗 1-2】可以發現，自製跳跳板需注意

- (一)跳跳板使用瓦楞板為主要材料，其中間隙縫靠柱腳相連，建議應使黏貼方向與柱腳方向呈現垂直關係，就能提供多次使用。
- (二)跳跳板若採平行黏貼較易在套入橡皮筋時產生凹折，此將影響實際彈跳高度。

三、從【實驗 2-1】可以發現

(一)保持同樣的橡皮筋總長下，橡皮筋被拉伸的形狀越扁，可以讓跳跳板跳得高；反之，若橡皮筋被拉伸的形狀越寬，跳跳板跳得低。

(二)我們認為在橡皮筋總長固定下，橫向長度會影響跳跳板彈跳高度（越長者跳越高）。

四、從【實驗 2-2】可以發現

(一)固定橡皮筋拉伸大小與形狀後，較輕的跳跳板跳得較高。

(二)結合實驗 2-1 的發現，橡皮筋的總伸長度與其橫向長度都會影響跳跳板的彈跳高度。

五、從【實驗 2-3】可以發現

(一)固定橡皮筋橫向拉伸長度後，不同的橡皮筋總長會使跳跳板有不同的彈跳高度。

(二)橡皮筋橫向長度固定時，橡皮筋拉伸的鬆緊度也會影響跳跳板彈跳高度。

(三)嘗試提出使用橡皮筋面積占瓦楞板面積的比率（稱作包覆比）應落在一定範圍內，才可以使具有同樣橡皮筋橫長的跳跳板中，出現最大彈跳高度。

六、從【實驗 3-1】可以發現

(一)驗證在固定橡皮筋橫向長度後，不同的橡皮筋總長會有不同的彈跳高度表現，此一趨勢並非相同於橡皮筋的直向長度，換言之會出現最大值後並向兩邊下落。

(二)在固定橡皮筋橫向長度後，橡皮筋面積占瓦楞板面積的包覆比範圍介於 17.14% 至 28.57% 間，較容易有最大的彈跳高度。

捌、結論

一、跳跳板玩具簡易有趣，但包含相關科學原理，如重力位能、彈性能、作用力和反作用力與力學能守恆之概念。

二、影響跳跳板彈跳高度的因素有很多，本實驗主要聚焦在跳跳板的長寬比、橡皮筋套入後的形狀與長寬之關係、橡皮筋套入後包覆在瓦楞板上的面積關係。

三、要使自製的跳跳板跳得高，首先要先讓橡皮筋有最大的橫向長度，再來考慮使橡皮筋包覆面積占跳跳板面積的比介於 17.14% 至 28.57% 間，就可成功製作彈跳最高的最佳化跳跳板了。

玖、參考資料及其他

一、NTCU 科學遊戲 Lab：彈跳玩具 - NTCU-科學遊戲實驗室 - 台中教育大學

<http://scigame.ntcu.edu.tw/power/power-057.html>

二、跳跳板

http://w2.khvs.tc.edu.tw/ezfiles/0/1000/attach/3/pta_183_8094116_91498.pdf

三、彰化縣第 58 屆科展-活蹦亂跳—找出讓跳跳板位移距離最長的方法

http://science.hsjh.chc.edu.tw/upload_works/107/29dafa551a367ef4a7876654e76a71.pdf

四、位能與力學能守恆

<https://www.slideshare.net/linhungyenholmes/a-27886496>

【評語】 080102

1. 此作品為一普遍的玩具，作者能善用分析軟體，進行最佳化探究。
2. 作比較時，宜確保每一條橡皮筋拉力相同，及同一條每次使用時的拉力相同。
3. 作圖時要呈現誤差程度，便於分析。
4. 應該詳實記錄實驗過程，保留及呈現紀錄簿。

摘要

玩法多變的跳跳板玩具引起我們的興趣，經由實驗後我們發現可以透過以下方式，製作出具耐用性且可以彈跳最高的跳跳板。

- 一、瓦楞板之長寬的極限參考比值應為2，若超過之跳跳板容易凹折、空轉而影響彈跳。
- 二、首先應使橡皮筋有最大的橫向長度（即越接近瓦楞板的長度）。
- 三、承上固定此橡皮筋長度後，再考慮使橡皮筋包覆面積占瓦楞板面積比介於17.14%至28.57%的橡皮筋寬度值。

壹、研究動機

- 1. 六下自然課所學到的「力與運動」單元，學到關於力的測量與運用
- 2. 材料簡易玩法有趣
- 3. 為2014年第二十屆遠哲科學趣味競賽主題



貳、研究目的

- 一、探討跳跳板彈跳的科學原理
- 二、以耐用為前提，探討跳跳板如何製作較佳
- 三、探討「瓦楞板、橡皮筋、切割線」對跳跳板高度的影響
- 四、綜合以上研究，找出跳跳板的最佳化設置

參、研究設備及器材

彈簧秤、剪刀、膠帶、小刀、鐵尺、切割墊、14號橡皮筋、筆記型電腦、錄影機、tracker物理實驗影響分析軟體

肆、研究流程



伍、研究過程與方法

文獻閱讀與歸納

力學能守恆：在保守力（如重力、彈力等）的作用下，系統的力學能必須為一個定值，亦即物體在各處的動能+位能=定值。

作用力與反作用力：作用力與反作用力的大小相等、方向相反。對於每一道作用力，都有一道大小相等、方向相反的反作用力。

跳跳板彈跳原理

維持力學能守恆



實驗方法



高度修正說明

$$\frac{y1}{y} = \frac{x1}{x1+x2} \dots (1) \Rightarrow y1 = \frac{x1}{x1+x2} \times y \dots (2) \Rightarrow y2 = y - y1 = y \times (1 - \frac{x1}{x1+x2}) \dots (3)$$

- 由式3之算式可知實際的彈跳高度y2。
- 實測 x1 = 20cm、x2 = 200cm，再透過影片分析知道y的高度。
- 代入式3可得知實際y2的修正高度。

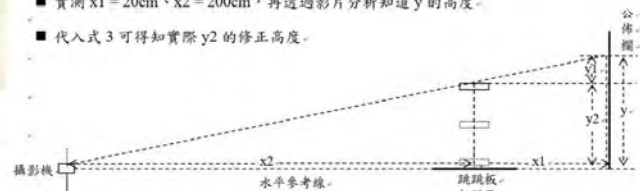


圖9 高度修正示意圖。

陸、研究結果

一、先備實驗

實驗1-1：自製瓦楞板的耐受性 - BH與BW的比值(因凹折可能會吸收橡皮筋的反作用力，導致影響彈跳高度)

	BH=8 BW=2 比值：4	BH=8 BW=3 比值：2.667	BH=8 BW=4 比值：2	BH=8 BW=5 比值：1.6		BH=10 BW=3 比值：3.333	BH=10 BW=4 比值：2.5	BH=10 BW=5 比值：2	BH=10 BW=6 比值：1.667
成員A	第二次就凹折	第五次就凹折	尚未凹折	尚未凹折	成員A	第二次就凹折	第五次就凹折	尚未凹折	尚未凹折
成員B	第二次就凹折	第五次就凹折	尚未凹折	尚未凹折	成員B	第二次就凹折	第四次就凹折	尚未凹折	尚未凹折
成員C	第三次就凹折	第四次就凹折	尚未凹折	尚未凹折	成員C	第一次就凹折	第五次就凹折	尚未凹折	尚未凹折

BH與BW的極限參考比值設為2

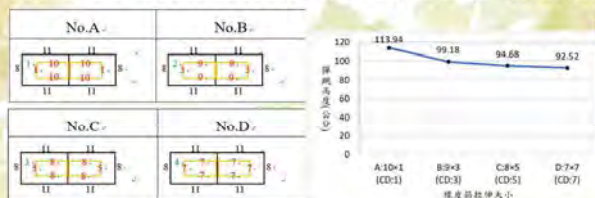
實驗1-2：自製瓦楞板的耐受性 - 瓦楞板的柱腳與瓦楞板的黏貼方式

	BH:10 BW:5 比值：2	BH:8 BW:4 比值：2	BH:6 BW:3 比值：2	BH:4 BW:2 比值：2
平行貼	第五次就凹折	第五次就凹折	第三次就凹折	第二次就凹折
垂直貼	未凹折	未凹折	未凹折	未凹折

應呈現垂直黏貼關係
垂直黏貼較可提供多次實驗，也避免凹折後產生抵銷反作用力的失真現象。

二、正式實驗

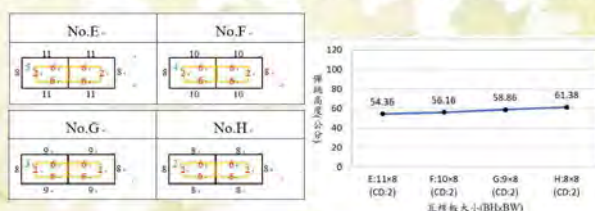
實驗2-1：保持橡皮筋的拉伸長度(42cm)，比較相同矩形跳跳板的高度



橡皮筋橫向長度會影響跳跳板彈跳高度

- 橡皮筋拉伸長度固定時表示橡皮筋的拉力一樣，可能是因拉伸的形狀不同而使跳跳板有不同大小的彈性能。
- 為驗證上面想法，我們設計實驗2-2來討論是否在固定橡皮筋總長與橫向長度時，預測跳跳板越輕者跳得越高。

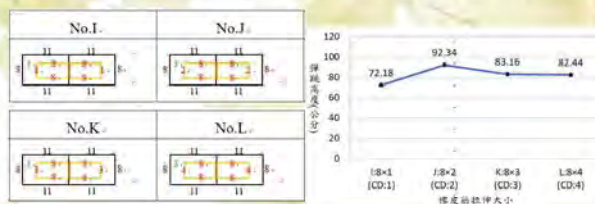
實驗2-2：保持橡皮筋拉伸長度(28cm)與橫長(12cm)，比較不同矩形跳跳板的高度



跳跳板隨著面積(重量)越小，彈跳高度越大

- 此結果符合上述預測。
綜合實驗2-2與2-1：橡皮筋的總長與橡皮筋的橫向長度(平行瓦楞板上BH的邊)都會影響跳跳板的彈跳高度(暫時推論為橡皮筋橫向長度及其鬆緊度會影響跳跳板高度)。
- 繼續設計不同的實驗內容 - 固定橡皮筋拉伸的橫長但改變拉伸總長，預測在越緊的橡皮筋下可有越高的彈跳表現。

實驗2-3：保持橡皮筋的橫向拉伸長度(16cm)，比較相同矩形跳跳板的高度



No.K與No.L出現非預期狀況

- 代表不可以單從橡皮筋拉伸的長度與橫長等變因來推論彈跳高度。
綜合實驗2-2與2-3：橡皮筋橫向長度固定時，拉伸的鬆緊度也會影響跳跳板彈跳高度。
- 暫時推論為橡皮筋橫向長度及其鬆緊度會影響彈跳高度，但仍有可討論的變因會影響彈跳高度(如No.K與L之例)。

★★為解決No.K與No.L之非預期的狀況，我們提出假設以解決所發現的問題。
假設橡皮筋包覆在跳跳板的面積需在適當比例下，才有較高的彈跳表現。
包覆比：指(單一塊)橡皮筋面積除以(單一塊)瓦楞板面積

No. I	No. J	No. K	No. L
橡皮筋面積：8cm ² 瓦楞板面積：88cm ² 包覆比： 8÷88=9.09%	橡皮筋面積：16cm ² 瓦楞板面積：88cm ² 包覆比： 16÷88=18.18%	橡皮筋面積：24cm ² 瓦楞板面積：88cm ² 包覆比： 24÷88=27.27%	橡皮筋面積：32cm ² 瓦楞板面積：88cm ² 包覆比： 32÷88=36.36%
平均高度：72.18cm	平均高度：92.34cm	平均高度：83.16cm	平均高度：82.44cm

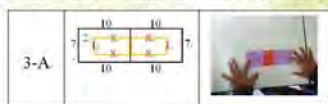
★★假設推論：

- 在相同的橡皮筋橫長條件下，觀察No.I、No.J、No.K的平均高度，可以發現包覆比在9.09%至27.27%之間已出現最大的平均高度(No.J)。
- 為驗證這個假設，我們設計相同的橡皮筋橫長實驗，探討合適的包覆比應落在哪裡才會有最大的彈跳高度。

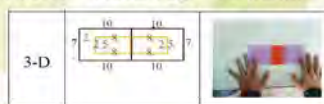
三、驗證實驗

實驗3-1：保持橡皮筋的橫向拉伸長度(16cm)，比較相同矩形跳跳板的高度

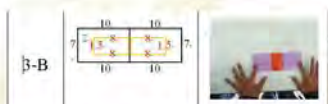
控制變因有橡皮筋橫長16cm、BH:10cm、BW:7cm、BS:0.4cm、RS:14號、RA:1條



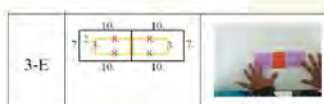
橡皮筋(單)面積：8cm²
瓦楞板(單)面積：70cm²
包覆比：8/70=11.43%



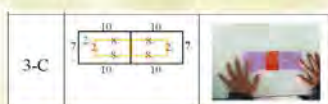
橡皮筋(單)面積：20cm²
瓦楞板(單)面積：70cm²
包覆比：20/70=28.57%



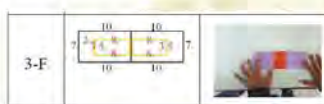
橡皮筋(單)面積：12cm²
瓦楞板(單)面積：70cm²
包覆比：12/70=17.14%



橡皮筋(單)面積：24cm²
瓦楞板(單)面積：70cm²
包覆比：24/70=34.29%



橡皮筋(單)面積：16cm²
瓦楞板(單)面積：70cm²
包覆比：16/70=22.86%



橡皮筋(單)面積：28cm²
瓦楞板(單)面積：70cm²
包覆比：28/70=40%

3-G			橡皮筋(單)面積：32cm ² 瓦楞板(單)面積：70cm ² 包覆比：32/70=45.71%
3-H			橡皮筋(單)面積：36cm ² 瓦楞板(單)面積：70cm ² 包覆比：36/70=51.43%
3-I			橡皮筋(單)面積：40cm ² 瓦楞板(單)面積：70cm ² 包覆比：40/70=57.14%

3-J			橡皮筋(單)面積：44cm ² 瓦楞板(單)面積：70cm ² 包覆比：44/70=62.86%
3-K			橡皮筋(單)面積：48cm ² 瓦楞板(單)面積：70cm ² 包覆比：48/70=68.57%
3-L			橡皮筋(單)面積：52cm ² 瓦楞板(單)面積：70cm ² 包覆比：52/70=74.29%



出現最大平均彈跳高度的包覆比介於17.14%與28.57%之間。

- 1.左圖可以發現，包覆比22.86%之跳跳板跳得最高。參數是BH為10公分、BW為7公分、橡皮筋拉長16公分且拉寬2公分。
- 2.對照實驗2-3的討論，原出現最大平均彈跳高度的包覆比範圍介於9.09%至27.27%之間，本實驗做完後，範圍縮小至17.14%~28.57%。

柒、討論

先備實驗

- 1-1：跳跳板之腰高與腳寬的**極限參考比值應為2**，若超過2跳跳板將過於狹長使得彈跳過程容易翻轉(浪費動能)。
- 1-2：跳跳板使用瓦楞板為主要材料，其中間隙縫靠柱腳相連，建議**應使黏貼方向與柱腳方向是呈現垂直關係**，較可避免凹折。

正式實驗

- 2-1：在橡皮筋總長固定下，**橫向長度會影響跳跳板彈跳高度** (越長者跳越高)。
- 2-2：固定橡皮筋拉伸大小與形狀後，**較輕的跳跳板跳得較高**。
結合實驗2-1的發現，**橡皮筋的總伸長度與其橫向長度都會影響跳跳板的彈跳高度**。
- 2-3：結合實驗2-2，橡皮筋橫向長度固定時，**不同的橡皮筋總長會使跳跳板有不同的彈跳高度**。
結合實驗2-3，橡皮筋橫向長度固定時，**該橫向長度的鬆緊度也會影響跳跳板彈跳高度**。

驗證實驗

- 3-1：驗證在固定橡皮筋橫向長度後，不同的橡皮筋總長會有不同的彈跳高度表現，亦即不會隨著橡皮筋直向長度越長就可以跳得更高。
在固定橡皮筋橫向長度後，**橡皮筋面積占瓦楞板面積的包覆比介於17.14%至28.57%間，較容易有最大的彈跳高度**。

捌、結論

- 一、跳跳板玩具簡易有趣，但包含相關科學原理，如重力位能、彈性能、作用力和反作用力與力學能守恆之概念。
- 二、影響跳跳板彈跳高度的因素有很多，本實驗主要聚焦在跳跳板的長寬比、橡皮筋套入後的形狀與長寬之關係、橡皮筋套入後包覆在瓦楞板上的面積關係。
- 三、**要使自製的跳跳板跳得高，可依循以下方式**



玖、參考資料及其他

- 一、NTCU科學遊戲Lab：彈跳玩具 - NTCU-科學遊戲實驗室 - 台中教育大學
<http://scigame.ntcu.edu.tw/power/power-057.html>
- 二、跳跳板
http://w2.khvs.tc.edu.tw/ezfiles/0/1000/attach/3/pta_183_8094116_91498.pdf
- 三、彰化縣第58屆科展-活蹦亂跳 - 找出讓跳跳板位移距離最長的方法
http://science.hsgh.chc.edu.tw/upload_works/107/29dafaeea551a367ef4a7876654e76a71.pdf
- 四、位能與力學能守恆
<https://www.slideshare.net/linhungyenholmes/a-27886496>