

屏東縣第 65 屆國中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：彈起來-影響彈力玩具彈跳因素之探究

關 鍵 詞： 彈力 、 拋體運動 、 轉動 （最多三個）

編號：A2002

摘要:

在五年級自然科學，力與運動這單元，老師讓我們玩玩看市面上的彈力玩具，有半邊球和彈跳精靈，這些玩具彈跳的效果都非常好，我們為了進一步了解彈跳的機制，因此開始自製彈力玩具。我們操作彈力玩具時發現有幾種不同的彈跳情況，例如在空中翻轉或往左右兩邊偏轉，因此老師鼓勵我們設計變因進行相關因素探究，分別有：發射方法、膠帶黏性、膠帶黏貼的層數（黏貼在兩塊板子的連接處）、板子長度和板子材質。

從實驗測量出來的結果中發現，彈力玩具在彈跳過程中受到下列的影響：

- （1） 不同發射方法會有不同的彈跳情形。
- （2） 使用不同種類的膠帶發現黏力大小和膠帶層數會影響彈跳表現。
- （3） 板子的長度會影響橡皮筋的伸長量，且板子材質也會影響彈跳表現。

壹、 前言

一、 研究動機

自然老師讓我們操作彈力半邊球，我們發現半邊球的彈力顯著，這引起我們的好奇，為什麼彈力球可以彈得很高？因此我們開始著手觀察這些玩具的特性，並找尋相關書籍，其中在台中教育大學許教授出版的《玩出創意 5》，在書中我們找到如何自製彈力玩具的方法。

我們觀察彈力半邊球彈得越高，就需要有足夠的變形量，先讓球體反折產生變形，放開後球體會因為彈力迅速變回原本的形狀，這時球體會瞬間拍打桌面，產生作用力與反作用力，使半邊球往上彈，這與五年級力與運動的單元中提到，當彈簧的伸長量越長，彈簧的恢復力也會越大。於是我們想運用這些原理及生活中的物品來製作彈力玩具並進行研究和討論，查詢文獻後我們運用彈性效果明顯的橡皮筋並搭配不同材質的紙板製作發射板。並且將彈跳玩具凹折後研究影響彈跳的因素。

二、 研究目的與問題：

彈跳玩具的彈跳機制及探討能否找出影響彈力玩具彈跳情形的因素。

綜合以上想法，我們會進行以下的研究問題進行探究：

實驗一:探討不同的發射方法，彈力玩具會出現哪些彈跳情形。

實驗二:探討不同材質的膠帶黏貼在板子的交接處對彈力玩具高度的影響。

實驗三:探討不同長度的發射板子對彈力玩具高度的影響。

實驗四: 探討膠帶的層數，對於彈力玩具彈跳情形之差異性。

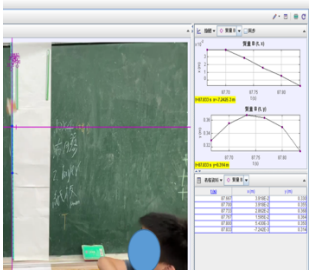
實驗五: 探討不同材質的發射板子對彈力玩具高度的影響。

三、文獻回顧

表格 1

屆數組別	作品名稱	摘要	本次研究延伸的方向
第 59 屆國小組 物理科	跳跳板的最佳 化設置	研究團隊自製跳跳板玩具，發現透過特定方式可以提升其耐用性及彈跳高度。	1. 作圖時呈現誤差程度。 2. 確認橡皮筋每次使用時是否拉力相同。 3. 使用不同材質的板子製作彈力玩具。 4. 觀察不同彈跳方法彈力玩具的彈跳情形。
第 63 屆國小組 物理科	忘「黏」之 「膠」—光柵 壓印對乾式膠 帶效果之研究	本研究運用不同的研究方法，如初黏力、剪切力、剝離力等研究市售膠帶的差異性。	了解膠帶的黏力可以用以斜坡裝置來測量。本研究則進一步探討不同膠帶的黏性對彈力玩具的影響。

貳、 研究設備與器材

表格 2		實驗器材與工具	
橡皮筋 (#18/平壓長度 7cm)	瓦楞紙板(10×4cm)	瓦楞紙板(8×4)	瓦楞紙板(6×4)
			
P P 塑膠板(10×4)	P P 塑膠板板(8×4)	P P 塑膠板板(6×4)	手機及支架
			
布膠(地毯膠)	透明膠(長、寬)	半邊球	彈跳精靈
			
皮尺	剪刀(美工刀)	彈簧秤支架組	Tracker
			

參、研究過程或方法

一、實驗相關原理

- (一) **彈力**：當有彈性的物品（例如：彈簧），在彈性限度內，彈力與伸長量成正比，且彈力的方向與伸長量成反比。當伸長量越長，彈力位能也越大。
- (二) **拋體運動**：若物體只受到重力作用時，不論在任何位置，其動能和位能的總和皆維持不變，即力學能守恆。例如拋體運動的能量轉換，將小球鉛直上拋後，由最低點上升至最高點的過程中，小球的重力位能漸大、動能漸小。在操作本次科展的彈力玩具時，當橡皮筋受到變形後，產生彈力位能，彈力位能轉換成向上的動能，使彈力玩具從重力位能低的桌面往上彈跳到最高處。
- (三) **作用力與反作用力**：凡施一作用力必同時產生反作用力，兩者量值相等、方向相反，作用在同一直線上，但作用在不同物體上，又稱為「牛頓第三運動定律」。
- (四) **力矩**：使物體發生轉動的效果，力矩越大就越容易轉動。
- (五) **彈力玩具成功彈跳原因**：每一種發射方法都測試 50 次，當彈力玩具彈跳時接近直上直下的情況(過程中幾乎都沒有偏轉)，就算成功，以下圖 1 做說明。

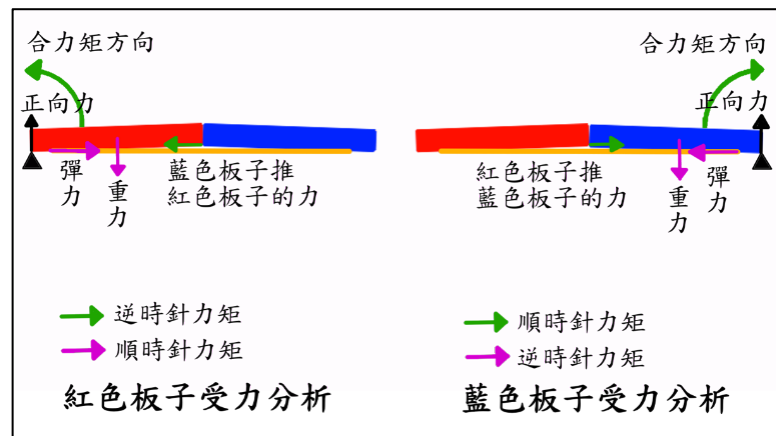


圖 1

上方這張圖代表彈力玩具在藍色板子旋轉後碰到桌面時的情形。我們將兩塊板子，分別用紅色和藍色來做記號個別討論，紅色這塊板子受到正向力、重力，以及藍色板子推過來的力，其中，彈力與重力產生順時針的力矩，而藍色推過來的力產生逆時針的力矩，最後的合力矩是逆時針而使紅色板子往逆時針方向轉動。同理，藍色板子也產生一個等大反向的力矩。另外，若是紅色板子不足以提供藍色板子旋轉時所需的向心力，板子黏貼處將會被拉起來而造成彈力玩具翻轉。當兩片板子都能同時拍打到桌面，彈力玩具成功彈跳的機率就會增加。

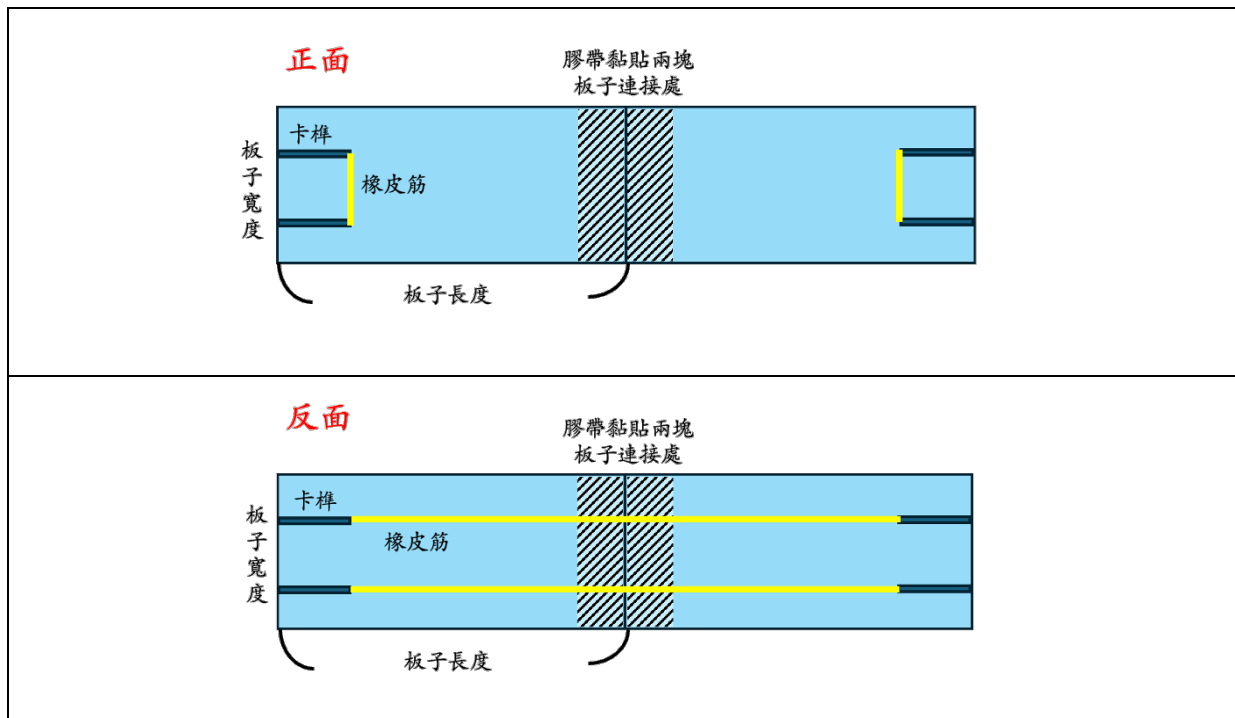
三、研究流程設計



四、研究實驗設計

(一)實驗裝置

表格 3



(二) 實驗步驟

1. 製作彈力玩具

- (1) 裁剪 2 片 10×4cm 的長方形瓦楞紙板(或塑膠 pp 板)。
- (2) 在兩片板子的短邊以美工刀向中心裁切兩道長 1.5cm 的卡榫(與左和右長邊相差 0.8cm)。
- (3) 將剪完的 2 片板子貼齊，再用布膠將兩片瓦楞紙板固定，分別黏貼 2 層、3 層、4 層在兩片板子連接處。
- (4) 將一條橡皮筋套進兩片板子的卡榫中，即完成彈力玩具。
- (5) 依序製作長方形瓦楞紙板(10×4cm、6×4cm、8×4cm)和塑膠 pp 板。

2. 錄影

- (1) 將皮尺黏在白紙上,磁鐵黏在後面，最後貼在黑板上，並確認皮尺有鉛直。
- (2) 使用手機錄影功能，每個實驗進行 3 次，運用 Tracker 分析高度後再計算出平均。

3. Tracker 分析

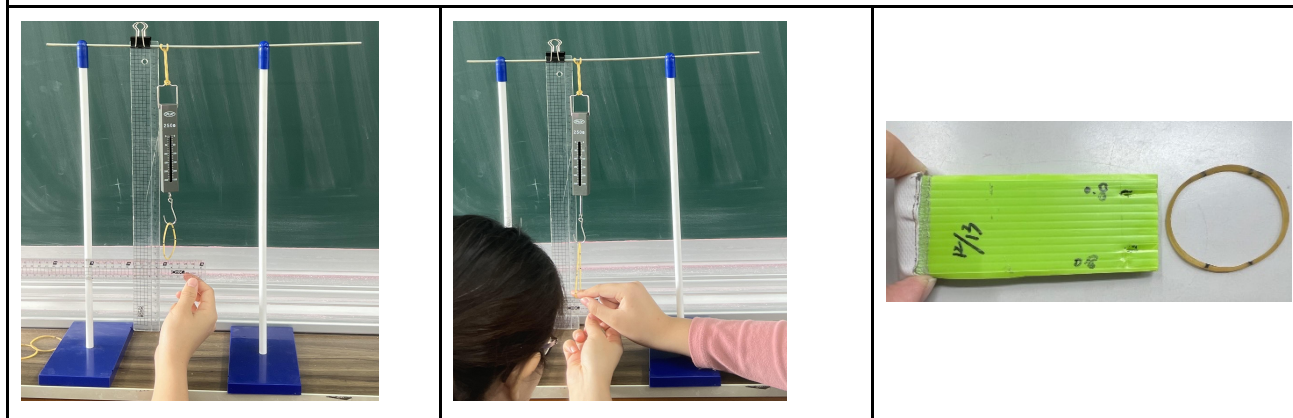
- (1) 設立座標軸-定位。
- (2) 校正桿-將畫面中一線段的實際長度輸入電腦中。
- (3) 設定質點-一次成功的彈跳用一個質點軌跡資料紀錄(以便觀察)。

4. 持續循環上面的步驟製作彈力玩具並進行實驗。

(三) 實驗說明：

1. 確認橡皮筋拉力固定的方法

表格 4 測量橡皮筋拉力的裝置+橡皮筋上畫刻度

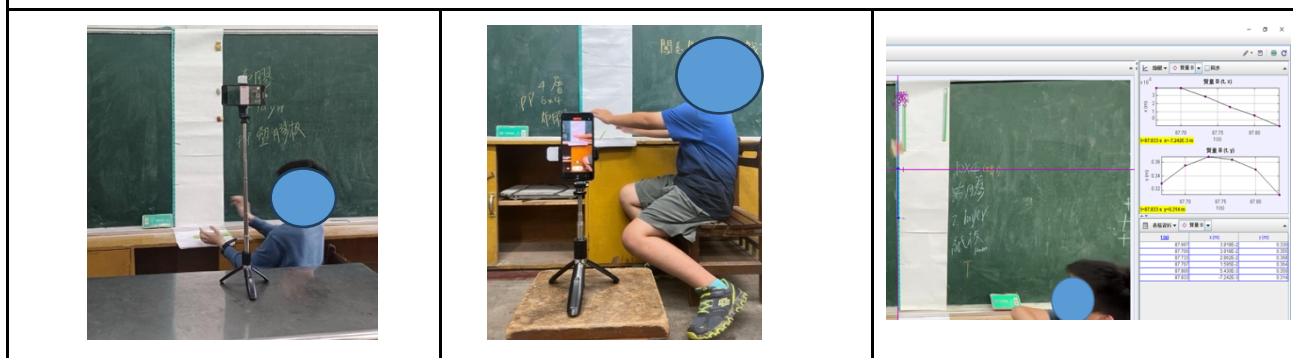


確認橡皮筋拉力固定的步驟：

- (1) 先把彈簧秤固定在支架上，再將測量尺固定在彈簧秤旁。
- (2) 將彈力玩具的橡皮筋放上去彈簧秤，並量測橡皮筋伸長拉長前彈簧秤起始刻度。
- (3) 以 100 公克重的拉力（為符合實驗裝置）將橡皮筋拉長，並量測拉長後的刻度。
- (4) 用尺測量相同型號的橡皮筋每拉長 100 公克重的伸長量。
- (5) 重覆以上步驟，確認以上橡皮筋的拉力是否維持一致，確保橡皮筋在彈性限度內。
- (6) 將畫好刻度的橡皮筋裝上卡樺，確保實驗中橡皮筋可被拉長的量。

2. 量測彈力玩具高度的實驗裝置以及高度分析：實際運用手機錄影裝置拍攝彈力玩具的高度時，會發現手機鏡頭的高度會影響 tracker 的高度分析，因此在每一次錄影前，我們會確認彈力玩具彈跳的最高點與攝影機鏡頭是否保持一致，以平視方法來讀影讀取皮尺上彈力玩具最高點的刻度，接著再使用 tracker 分析。

表格 5 量測彈力玩具高度的實驗裝置以及高度分析



步驟：開始錄影->將兩塊板子反折後壓在桌上->確認好發射方式後釋放板子->板子彈跳掉落回桌上後結束錄影->將影片放入 tracker->在影片中設定原點（紫色線）和校正桿（藍色線）->分析 y 軸軌跡上最高點位置。

肆、研究結果與討論

一、實驗一：探討不同的發射方法，彈力玩具的彈跳情形。

(一) 假設：不同的發射方法會影響彈力玩具的偏轉情況。

(二) 變因控制：

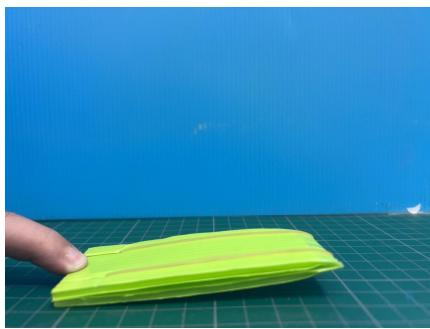
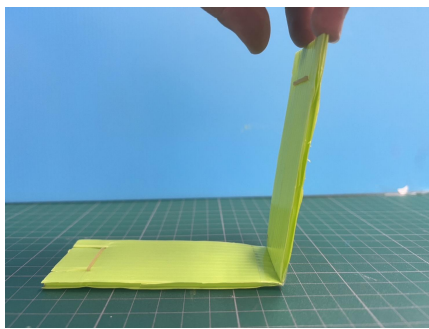
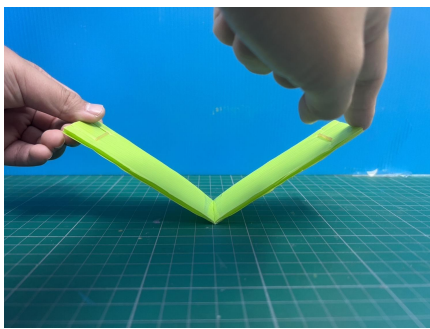
*操縱變因: 不同的發射方法

發射方法 1: 當兩片板子反折合起來，兩塊板子的連接處因為橡皮筋的厚度而沒有接觸桌面。

發射方法 2: 當兩片板子反折後，兩片板子的夾角超過 90 度，兩塊板子的連接處接觸桌面。

發射方法 3: 當兩片板子反折後，呈現角度對稱的 V 字型，雙手扶著兩片板子的尾端，同時放開。

表格 6 不同的發射方法

發射方法 1:	發射方法 2:	發射方法 3:
		

*應變變因: 彈跳的成功機率

*控制變因: 膠帶材質(透明膠帶)、板子長度和寬度(長 10cm，寬 4cm)、膠帶層數(2 層)、彈跳起始高度、卡樁位置固定(長 1.5cm)

(三) 實驗結果：

表格 7 不同的發射方法對彈力玩具成功率的影響

發射方法 板子長度	發射方法 1	發射方法 2	發射方法 3
8 公分	0%	36%	34%
10 公分	12%	46%	22%

彈跳時的情形 質性描述	1. 彈力玩具受到彈力後無法成功彈跳，只會向左或向右翻轉。 2. 當板子的長度越短，也更容易翻轉。	1. 彈力玩具兩片板子都拍打到桌面的機率提高。 2. 彈力玩具偏轉的情況降低許多。	1. 這個方法彈得最高，但除了向上彈，也同時會向左或向右偏轉。 2. 我們觀察可能原因是兩手放開的時間有誤差，導致兩片板子碰到桌面的時間不相同。
	1.我們發現，板子長度為 8 公分時，發射方法 1 的成功機率是 0%；發射方法 2 的成功機率是 36%；發射方法 3 的成功機率是 34%。 2.我們發現，板子長度為 10 公分時，發射方法 1 的成功機率是 12%；發射方法 2 的成功機率是 46%；發射方法 3 的成功機率是 22%。		

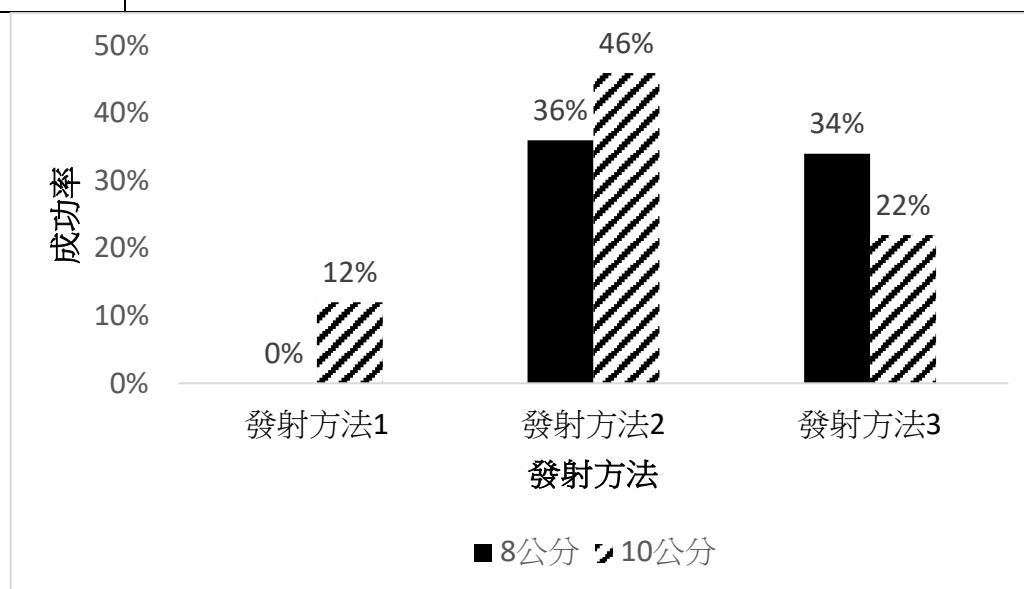


圖 2 發射方法對彈力玩具成功率的影響 在 2 層膠帶

(四) 實驗討論：

與實驗假設相符，彈力玩具的發射成功率以：發射方法 2>發射方法 3>發射方法 1。我們觀察到中心點(膠帶黏貼兩塊板子連接處)接觸桌面，且上方的板子轉動的角度越小，上方板子拍打到桌面的機率提高許多。因此在接下來的實驗我們以第 2 種發射方法進行發射。

二、 實驗二：探討不同材質的膠帶與膠帶層數對彈跳高度的影響。

(一) 假設:我們認為膠帶的黏性越黏，彈力玩具的高度越低。

(二) 變因控制:

*操縱變因: 不同材質的膠帶

*應變變因:彈跳高度

*控制變因:板子材質(PP 塑膠板)、板子長度和寬度(長 10cm，寬 4cm)、卡樁位置固定（長 1.5cm）

(三) 實驗結果：

表格 8 不同材質的膠帶與膠帶層數對彈跳高度的影響

膠帶層數 不同材質的膠帶	2 層	3 層	4 層
鹿頭牌透明膠帶彈跳高度 (m)	0.281	0.223	0.172
北極熊牌布膠帶彈跳高度 (m)	1.160	1.183	0.696
質性描述	1.我們發現當板子中間黏貼不同的膠帶，黏貼 2 層透明膠帶（鹿頭牌）彈跳高度為 0.281m；黏貼 2 層布膠（北極熊牌）彈跳高度為 1.16m。 2.我們發現當板子中間黏貼不同的膠帶，黏貼 3 層透明膠帶（鹿頭牌）彈跳高度為 0.223m；黏貼 3 層布膠（北極熊牌）彈跳高度為 1.183m。 3.我們發現當板子中間黏貼不同的膠帶，黏貼 4 層透明膠帶（鹿頭牌）彈跳高度為 0.172m；黏貼 4 層布膠（北極熊牌）彈跳高度為 0.696m。		

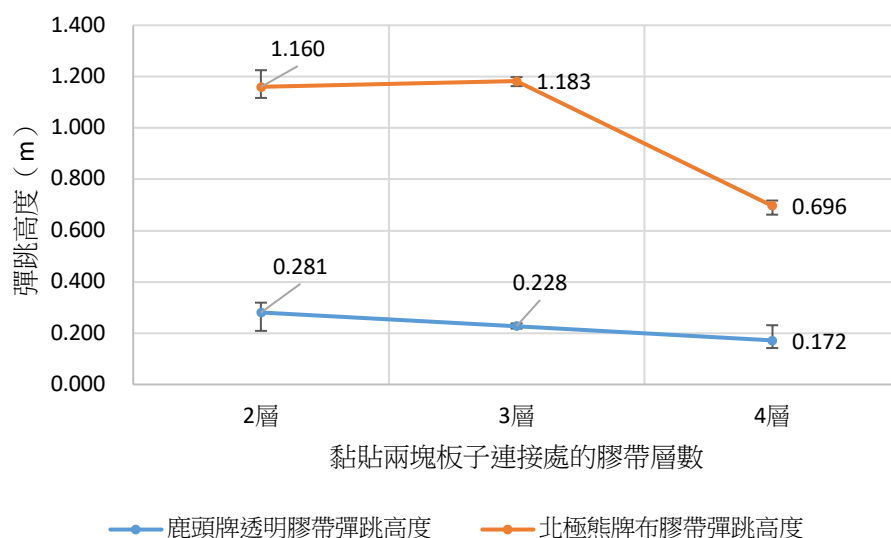


圖 3 不同材質的膠帶與膠帶層數對彈跳高度的影響

(四) 實驗討論:

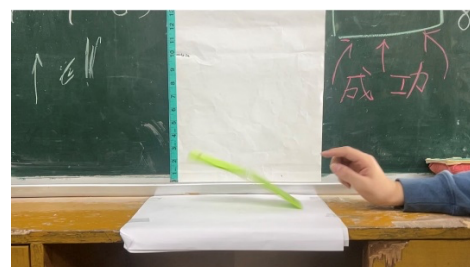
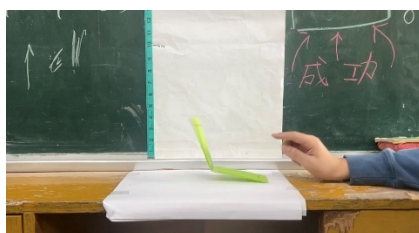
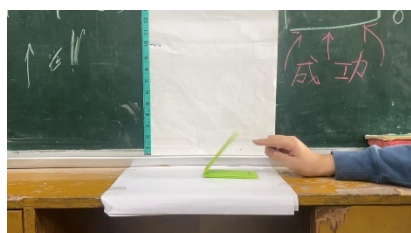
不符合預期假設。膠帶黏性不同時，則彈跳高度以：布膠帶（較黏）>透明膠帶。

我們發現使用不同的膠帶對於彈跳的效果會有影響，實際觸摸兩種膠帶，我們發現布膠黏力較強，黏在手上較不容易撕下來，而我們進一步查詢文獻了解布膠(地毯膠)和透明膠帶的黏力不同，此文獻使用斜坡裝置來測量膠帶的初黏力，從文獻了解布膠的黏力大於透明膠。因為相同重量的彈珠在黏貼布膠的斜坡上移動距離較短，因此其黏力也較大。

我們發現黏力較大的布膠能讓彈力玩具彈的更高，因為當手放開上方的板子時，上方的板子會較緩慢的張開再合起來，因此上方的板子受到足夠的向心力，使得兩片板子的中心黏接處較不容易被拉上去，因此上方的瓦楞板就相較有機會攤平而對桌面施加一往下的作用力，而桌面就能給兩片瓦楞板方向向上的反作用力。反之，因為透明膠的黏力較小，當手放開時，上方的板子會因為橡皮筋的彈力，使上方的板子會很迅速的旋轉，上方板子受到不足夠的向心力，導致兩片板子的中心處容易被拉上去而使中心點翹起來，彈力玩具兩邊的板子未能受到桌面給予大小相同的反作用力，彈力玩具就會在空中翻轉或往左偏轉或往右偏轉，轉換成重力位能的能量被分散了，因此高度較低。

藉由實驗二，我們發現布膠對彈力玩具的效果較佳，因此後續的實驗我們使用可以讓彈力玩具彈跳效果較佳的布膠帶進行研究。

表格 9 討論板子彈跳在空中翻轉的情形



當板子的連接處被上方轉動的板子帶上來時，其原因為提供給板子轉動的向心力太小，使得上方的板子將板子的連接處及下方的板子拉上來，此時彈力玩具兩邊的板子未能受到桌面給予大小相同的反作用力，彈力玩具就會在空中翻轉或往左偏轉或往右偏轉。

三、 實驗三：探討 PP 塑膠板的長度與膠帶層數對彈跳高度的影響。

(一) 假設：板子的長度越長，彈力玩具的彈跳高度會越高。

(二) 變因控制：

*操縱變因:不同長度的板子

*應變變因:彈跳高度

*控制變因:彈力玩具起始位置、板子的材質(PP 塑膠板)、橡皮筋的彈力、膠帶黏貼的層數、卡榫位置固定（長 1.5cm）

(三) 實驗結果：

表格 10 PP 塑膠板的長度與膠帶層數對彈跳高度(中心處黏貼布膠)			
膠帶層數 板子長度	甲組：2 層	乙組：3 層	丙組：4 層
6 公分	0.294m	0.104m	0.035m
8 公分	0.777m	0.608m	0.259m
10 公分	1.160m	1.183m	0.696m
質性描述	1.我們發現當彈力玩具黏貼 2 層布膠時，板子長度是 6 公分彈跳高度為 0.294m；板子長度是 8 公分，彈跳高度為 0.777m；板子長度是 10 公分，彈跳高度為 1.160m。 2.我們發現當彈力玩具黏貼 3 層布膠時，板子長度是 6 公分彈跳高度為 0.104m；板子長度是 8 公分，彈跳高度為 0.608m；板子長度是 10 公分，彈跳高度為 1.183m。 3.我們發現當彈力玩具黏貼 4 層布膠時，板子長度是 6 公分彈跳高度為 0.035m；板子長度是 8 公分，彈跳高度為 0.259m；板子長度是 10 公分，彈跳高度為 0.696m。		

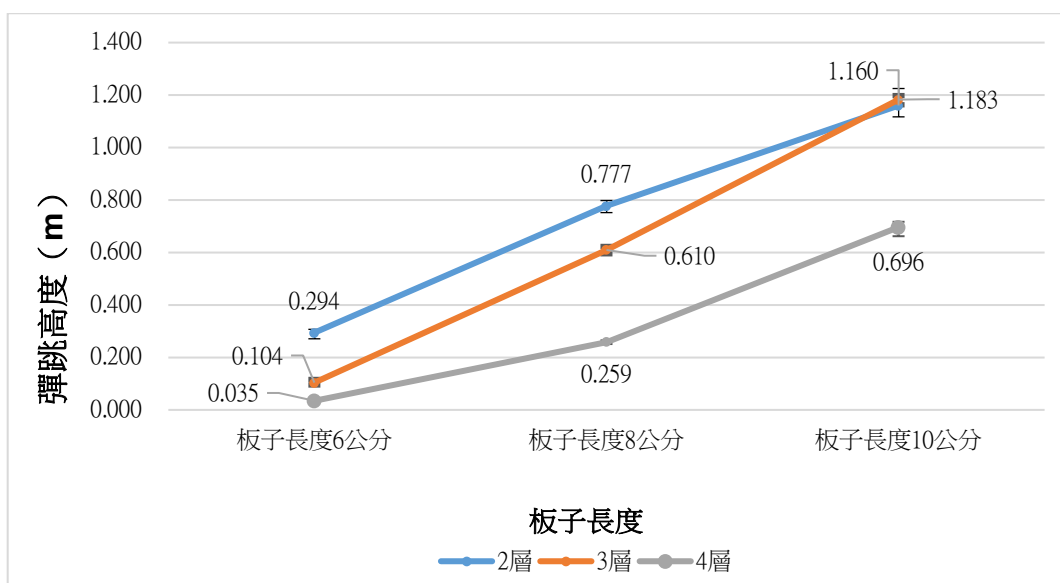


圖 4 PP 塑膠板的長度與膠帶層數對彈跳高度（使用 P P 塑膠板）

(四) 實驗討論:

符合實驗假設，當板子的長度越長，則彈力玩具的高度以板子長度 10 公分>板子長度 8 公分>板子長度 6 公分。當板子越長，我們發現橡皮筋的伸長量越長，彈力位能越大，板子也就跳得越高。

四、 實驗四：探討不同膠帶層數與瓦楞紙板長度對彈跳高度的影響。

(一) 假設: 膠帶層數越多彈力玩具會跳得越高和越穩。

(二) 變因控制:

*操縱變因: 不同膠帶層數

*應變變因: 彈跳高度

*控制變因: 彈力玩具起始位置、板子材質(瓦楞紙板)、橡皮筋的彈力、卡樺位置固定（長 1.5cm）

(三) 實驗結果：

表格 11 不同膠帶層數與瓦楞紙板的長度對彈跳高度的影響（中心處黏貼布膠）			
膠帶層數 板子長度	甲組：2 層	乙組：3 層	丙組：4 層
6 公分	0.089m	0.102m	0.063m
8 公分	0.614m	0.482m	0.270m
10 公分	1.152m	0.895m	0.661m

質性描述	1.我們發現當板子長度為 6cm 時，膠帶層數 2 層，彈力玩具的高度是 0.089m；膠帶層數 3 層，彈力玩具的高度是 0.102m；膠帶層數 4 層，彈力玩具的高度是 0.063m。 2.當板子長度為 8cm 時，膠帶層數 2 層，彈力玩具的高度是 0.614m；膠帶層數 3 層，彈力玩具的高度是 0.482m；膠帶層數 4 層，彈力玩具的高度是 0.270m。 3.當板子長度為 10cm 時，膠帶層數 2 層，彈力玩具的高度是 1.152m；膠帶層數 3 層，彈力玩具的高度是 0.895m；膠帶層數 4 層，彈力玩具的高度是 0.661m。
------	--

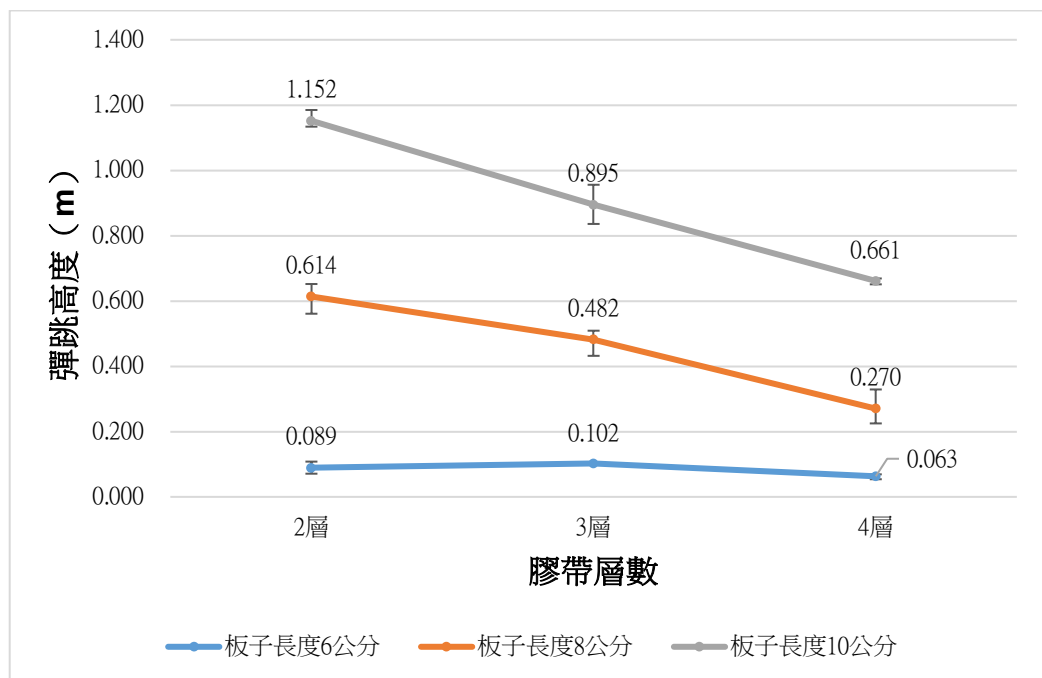


圖 5 不同膠帶層數與瓦楞紙板的長度對彈跳高度的影響（使用瓦楞紙板）

(四) 實驗討論:

另外我們發現當膠帶只有黏貼 1 層時，膠帶容易脫離，且板子會很迅速地打開再合起來，所以彈力玩具會翻轉好幾圈，無法測量。而膠帶黏貼層數在 2 層或 3 層時有較好，彈力玩具會彈跳的較穩。而膠帶黏貼層數為 4 層時，彈跳的高度反而會變差，板子會非常緩慢地打開再合起來，過程中橡皮筋的彈力位能被消耗掉了，所以彈跳的高度很低，但是卻很穩（在空中幾乎不會偏轉）。

五、 實驗五：探討不同板子材質與膠帶層數對彈跳高度的影響。

(一) 假設:板子的材質或種類會影響彈跳的高度。

(二) 變因控制：

*操縱變因: 板子材質

*應變變因:彈跳高度

*控制變因:發射方法、膠帶材質(布膠)、板子長度和寬度(長 10cm，寬 4cm)、膠帶層數、卡樺位置固定（長 1.5cm）

(三) 實驗結果：

表格 12 不同板子材質與膠帶層數對彈跳高度的影響			
不同材質的板子 \ 膠帶層數	甲組：2 層	乙組：3 層	丙組：4 層
PP 塑膠板 (體積:12 cm ³ 重量:2g， 密度:0.167g/cm ³)	1.160m	1.183m	0.696m
瓦楞紙板 (體積:8cm ³ 重量:2.5g， 密度:0.313g/cm ³)	1.152m	0.895m	0.661m
質性描述	1.我們發現當板子的材質不同，中心處黏貼 2 層布膠，PP 塑膠板製作的彈力玩具高度是 1.160m；瓦楞紙板製作的彈力玩具高度是 1.152m。 2.我們發現當板子的材質不同，中心處黏貼 3 層布膠，PP 塑膠板製作的彈力玩具高度是 1.183m；瓦楞紙板製作的彈力玩具高度是 0.895m。 3.我們發現當板子的材質不同，中心處黏貼 4 層布膠，PP 塑膠板製作的彈力玩具高度是 0.696m；瓦楞紙板製作的彈力玩具高度是 0.661m。		

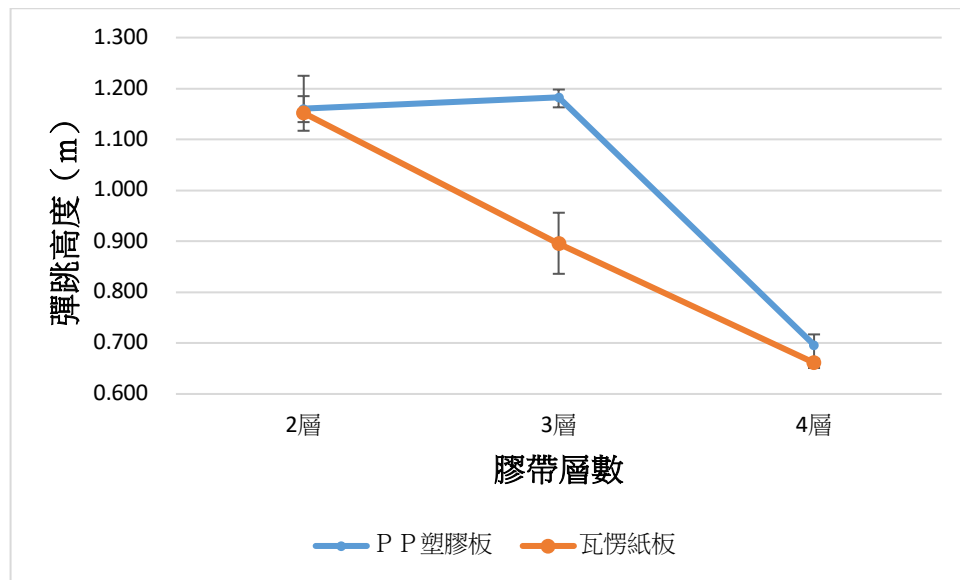


圖 6 不同板子材質與膠帶層數對彈跳高度的影響

(四) 實驗討論:

實驗結果與預期假設符合，不過藉由這一個實驗，我們進一步了解不同的材質會影響彈力玩具的高度。當板子材質重量較輕，彈跳的高度越高，因此使用 PP 塑膠板製作的彈力玩具，其彈跳效果較佳。

伍、 結論

綜合上方研究，本研究的結論是:

- 一、不同的發射方法，當板子的連接處有碰觸到桌面，則成功率較高。
- 二、不同材質的膠帶，當膠帶的黏力越顯著，彈力玩具彈跳高度越高，且在空中偏轉的情形減低許多。
- 三、不同長度的板子，板子長度越長，橡皮筋的伸長量也增加，彈力玩具彈跳高度越高。
- 四、膠帶層數會影響彈力玩具的彈跳高度，研究顯示大約在 2 層及 3 層彈跳高度較高，貼 4 層後彈跳會越穩，但高度會減低許多，因此高度和膠帶層數並無正相關。
- 五、板子的材質也會影響彈力玩具的高度，密度越小，彈力玩具的彈跳高度較高。
- 六、建議:在本次的研究設定中，已找出影響彈力玩具有效的彈跳因素，但生活中仍有許多有彈力材質的物品與其他材質的板子或膠帶可再測試觀察彈跳現象。

陸、 參考資料

- 一、許良榮（2021）50 個魔法科學實作，力的科學實驗。
- 二、盧秀琴主編，國民小學自然科學 5 上（2023），南一出版。
- 三、陳昱統、鍾淑真（2014）全方位物理講義，南一出版。
- 四、跳跳板的最佳化設置，中華民國第 59 屆中小學科學展覽，物理科。
- 五、忘「黏」之「膠」—光柵壓印對乾式膠帶效果之研究，中華民國第 63 屆中小學科學展覽，物理科。