

投稿類別：物理類

篇名：

垂降高手

作者：

蔡宜樺。市立西苑高中。高二 6 班

黃巧蓉。市立西苑高中。高二 7 班

周智鈞。市立西苑高中。高二 8 班

指導老師：

賴怡旬老師

壹、前言

一、研究動機

高二物理學到了繩子張力與摩擦力，我們想到去年參加遠哲科學趣味競賽在全國總決賽的隱藏題目－「垂降高手」，「利用塑膠瓦楞板和吸管製作多個垂降物，將繩子一端穿過垂降物，另一端綁上墊圈後垂直擺放，抬升繩子下方的墊圈讓垂降物一個個依序掉下來」（蕭志堅。2020）。看似簡單的原理與目的，操作起來卻不容易，變因之間會互相影響，繩子、螺帽、吸管與塑膠瓦楞板究竟要如何搭配才能隨心所欲控制垂降物升降，摩擦力、繩子張力、重力、正向力在其中又是如何影響垂降物的下降。因此我們利用自主學習的時間持續研究這個題目，希望能做出一個可讓垂降物依序下降的裝置，並找出各項變因之間的關聯性。

二、研究目的

利用塑膠瓦楞板、吸管、墊片做出 10 個不同的垂降物，並將其串在一起，完成一個可以依序下降的垂降玩具。為了達成這個目的，我們找出影響垂降物下降的各種變因，設計了以下四個實驗，找出變因之間的關聯性並歸納出控制垂降物依序下降的規律。實驗設計如下：

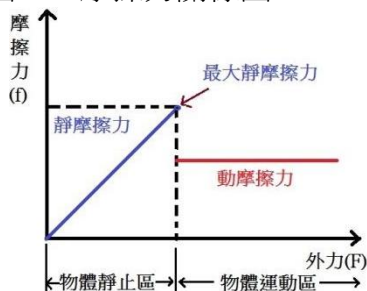
- (一) 實驗一：探討摩擦力與螺帽上升高度的關係
- (二) 實驗二：探討吸管彎曲程度與螺帽上升高度的關係
- (三) 實驗三：探討螺帽重量與螺帽上升高度的關係
- (四) 實驗四：探討加重物重量與螺帽上升高度的關係

貳、文獻探討

一、摩擦力

對位於水平地面上的物體施一水平推力時反方向會出現一個欲阻止物體前進的力，那個力就是摩擦力。摩擦力分為靜摩擦力、最大靜摩擦力、動摩擦力。當物體受到推力時仍然是靜止的，受到的摩擦力為靜摩擦力；靜摩擦力有一最大值，稱為最大靜摩擦力，其值與地面材質、物體所受正向力有關；當物體受到推力然後向前時，受到的摩擦力為動摩擦力，此時動摩擦力略比最大靜摩擦力小。（林秀豪，2019）

圖一：摩擦力關係圖



外力與摩擦力關係圖

(圖片來源：翰林雲端學院。高中物理-張力。2022年3月10日，取自網址

<https://reurl.cc/Ddplxi>)

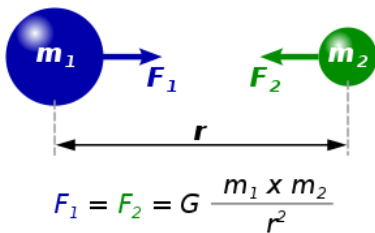
二、繩張力

繩張力是繩子受一外力，此外力造成繩子緊繃而產生一拉力，即繩子被拉緊後，欲回到原本狀態所產生的恢復力。當物體施一力於繩子，繩子也會施一力於物體，兩力方向相反，量值相同，不可相抵消，屬於作用力與反作用力。（翰林雲端學院，2022）

三、重力：

重力又稱為萬有引力，是兩個物體間的相互作用力，也是物體重量的來源，其公式為 $F = GMm / r^2$ （ G =重力常數 M =地球質量 m =物體質量 r =兩個物體間的距離）。在地表上質量越大的物體所受到的重力越大。（林秀豪，2019）

圖二：重力作用圖



（圖片來源：WONDERS OF PHYSICS(無日期)。Is gravity a theory or a law?。取自網址 <https://reurl.cc/LpzmR4>）

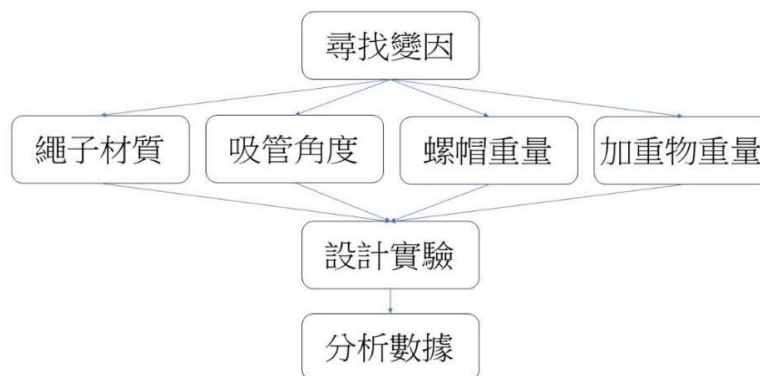
繩子材質與吸管彎曲角度影響最大靜摩擦力阻止垂降物下滑，螺帽和墊片的數量越多垂降物因為重力越大其越容易下降，然而摩擦力、繩子張力、重力、正向力是如何互相影響，我們將透過以下實驗去了解。

叁、研究方法

一、研究架構

我們先尋找四種變因，分別是繩子材質、吸管角度、螺帽重量、加重物重量，進行實驗設計，最後將實驗後得到的數據進行分析，製作圖表分析圖，結合文獻資料，找出變因和螺帽上升高度的關聯，完成一個可以有十個垂降物且可依序下降的垂降玩具。

圖三：研究架構圖











（圖片來源：研究者繪製）

二、垂降高手介紹

垂降高手是一種可讓繩子上方的垂降物依序下降的裝置，是一種簡易且好玩的玩具。

(一) 所需材料

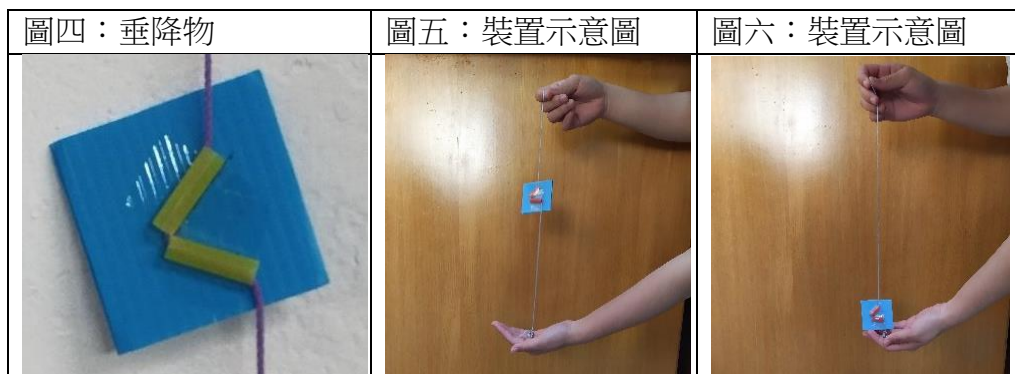
表一：實驗器材

			
加重物（墊片）	A繩	B繩	C繩
			
塑膠瓦楞板	膠帶	螺帽	剪刀

（資料來源：研究者繪製）

(二) 垂降裝置做法

- 1、降落繩：將螺帽綁在繩子末端，綁緊即可。
- 2、垂降物
 - (1) 將塑膠瓦楞板裁剪成正方形。
 - (2) 吸管剪成 2cm，取兩段吸管黏在塑膠瓦楞板上夾任意角度
 - (3) 在塑膠瓦楞板背面黏上墊片。
- 3、操作方法
 - (1) 繩子穿過吸管（如圖四）
 - (2) 一手將線頭拿高，把繩子拉直（如圖五）
 - (3) 使垂降物穩定停在繩子上端
 - (4) 另一手放在螺帽下方將螺帽緩慢向上至垂降物下降（如圖六）



(圖四到圖六圖片來源：研究者拍攝)

三、研究流程

我們找出四個影響垂降物下降的操縱變因，分別為：繩子材質（實驗一）、吸管角度（實驗二）、螺帽重量（實驗三）、加重物重量（實驗四），分別以這四種操縱變因進行探究。

(一) 實驗一：探討摩擦力與螺帽上升高度的關係

操縱變因	繩子材質
控制變因	螺帽開始上升前螺帽到垂降物的距離、吸管夾角、塑膠瓦楞板面積大小、墊片尺寸、墊片個數、吸管長度、螺帽重量、塑膠瓦楞板大小
應變變因	當塑膠瓦楞板落下時，螺帽上升高度

(二) 實驗二：探討吸管彎曲程度與螺帽上升高度的關係

操縱變因	吸管夾角
控制變因	螺帽開始上升前螺帽到垂降物的距離、繩子材質、塑膠瓦楞板面積大小、墊片重量、吸管長度、螺帽重量、塑膠瓦楞板大小
應變變因	當塑膠瓦楞板落下時，螺帽上升高度

(三) 實驗三：探討螺帽重量與螺帽上升高度的關係

操縱變因	螺帽重量
控制變因	螺帽開始上升前螺帽到垂降物的距離、繩子材質、吸管夾角、墊片重量、吸管長度、螺帽重量、塑膠瓦楞板大小
應變變因	當塑膠瓦楞板落下時，螺帽上升高度

(四) 實驗四：探討加重物重量與螺帽上升高度的關係

操縱變因	加重物重量
控制變因	螺帽開始上升前螺帽到垂降物的距離、繩子材質、螺帽到垂降物的距離、吸管夾角、吸管長度、螺帽重量、塑膠瓦楞板大小
應變變因	當塑膠瓦楞板落下時，螺帽上升高度

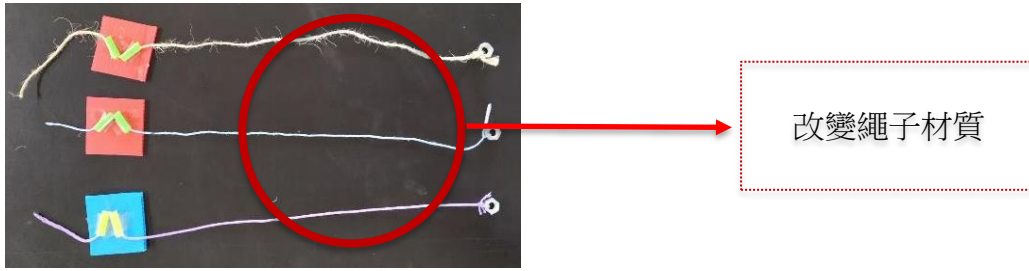
肆、研究分析與結果

一、實驗一：探討摩擦力是否會改變加螺帽上升高度

(一) 實驗步驟

製作出一個垂降物→在垂降物背面貼上 8g 的加重物（墊片）→將三種不同材質的繩子都裁切 45cm 並在末端綁上螺帽→每一種繩子都進行垂降 10 次並紀錄實驗數據（如圖七）。

圖七：裝置示意圖



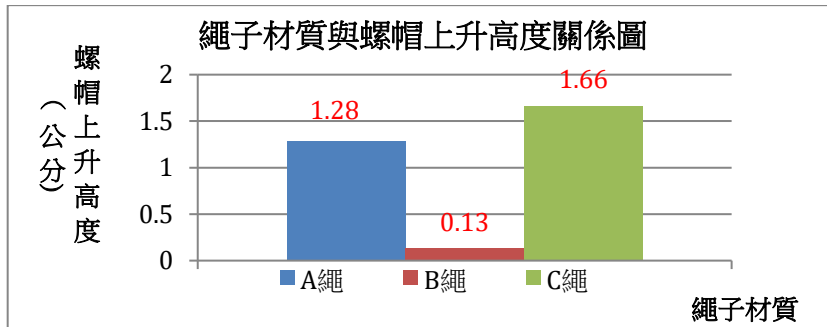
(圖片來源：研究者繪製)

表三：各繩子材質與螺帽上升高度的數據

繩子材質	A 繩	B 繩	C 繩
螺帽平均上升高度 (公分)	1.275	0.130	1.655

(表格來源：研究者繪製)

圖八：繩子材質與螺帽上升高度關係圖



(圖片來源：研究者繪製)

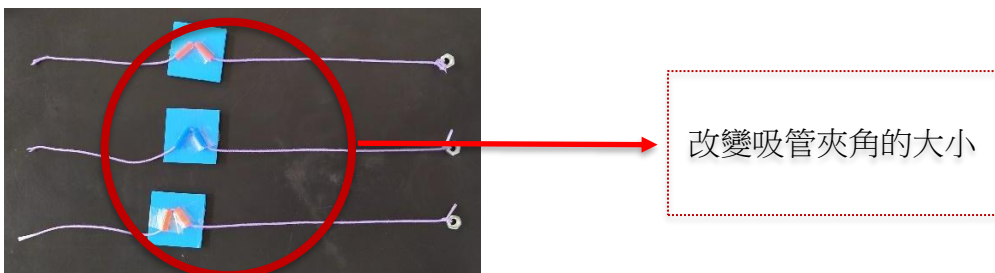
從表三及圖八發現當塑膠瓦楞板落下時 C 繩螺帽上升高度最高 A 繩最低，三種繩子的粗糙程度：C 繩>A 繩>B 繩，摸起來較滑順的繩子摩擦力比較小所以垂降物較容易下降，由此實驗可推測繩子觸感越粗糙造成的摩擦力越大時垂降物越不易下降。

二、實驗二：探討吸管彎曲程度與螺帽上升高度的關係

(一) 實驗步驟：

做出吸管角度 10 度、20 度、30 度……170 度的垂降物→在垂降物後面貼上 8g 的加重物 (墊片) →將繩子裁切成 45cm 並在末端綁上螺帽→每一種垂降物垂降 10 次並紀錄實驗數據 (如圖九)。

圖九：裝置示意圖



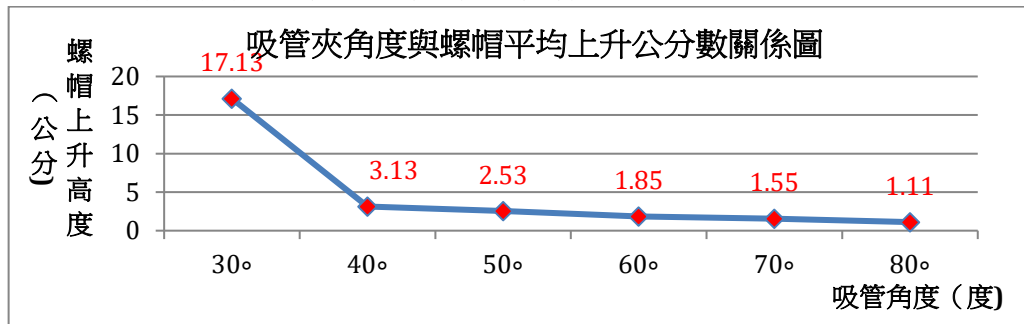
(圖片來源：研究者繪製)

表四：各吸管夾角與上升高度的數據

吸管角度（度）	30°	40°	50°	60°	70°	80°
螺帽平均上升高度（公分）	17.73	3.13	2.53	1.85	1.55	1.11

（表格來源：研究者繪製）

圖十：各吸管夾角與平均上升高度的關係圖



（圖片來源：研究者繪製）

經由表四及圖十的數據來看，當吸管夾角越大時，垂降物越容易落下，螺帽上升高度越小，相反的，夾角越小，垂降物越難落下，螺帽上升高度越大，我們推論當夾角越小時，繩子被拉扯的情況就會越嚴重，中間產生的繩子拉力和摩擦力也會變大，造成繩子施給吸管的分力變大，反之，當夾角越大，繩子施給吸管的分力越小，由此實驗可以得知當繩子施給吸管的分力越大時，垂降物越不容易下降。在 30 度跟 40 度之間落差特別大，其中可能的原因為：

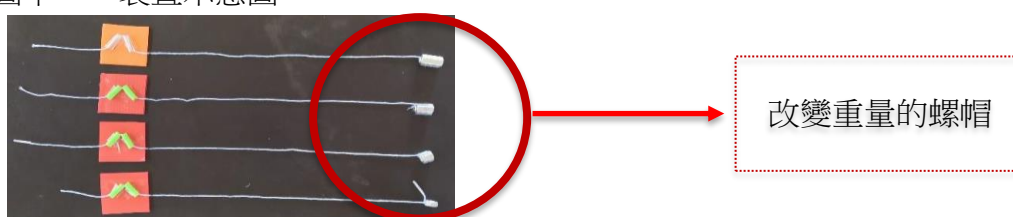
- 1、降物物本身在 30 度時就比較不易滑落。我們初步推測可能是因為 30 度最後一個做測試的，先前的實驗繩子已經摩擦過太多次，導致繩子表面變粗糙，因此垂降物落下時受到的摩擦力變大。
- 2、有時垂降物會傾斜，壓迫到繩子，造成摩擦力增大。我們初步推測操作實驗時，垂降物壓迫到繩子，導致繩子不易彎曲，造成螺帽上升高度變大。
- 3、手上升速度不一，造成數據的不精確。當手上升越快時手施的力越大，垂降物和繩子就會一起往上移，此時垂降物與繩子接觸的面積變小，摩擦力就會不一樣了。

三、實驗三：探討螺帽重量與螺帽上升高度的關係

（一）實驗步驟：

製作出一個垂降物→在垂降物後面貼上 8g 的加重物（墊片）→將繩子裁切成 4 條 45cm 長→在繩子末端分別綁上 3.3g、6.6g、9.9g、13.2g 的螺帽→每一條繩子重複實驗 10 次並紀錄實驗數據（如圖十一）。

圖十一：裝置示意圖



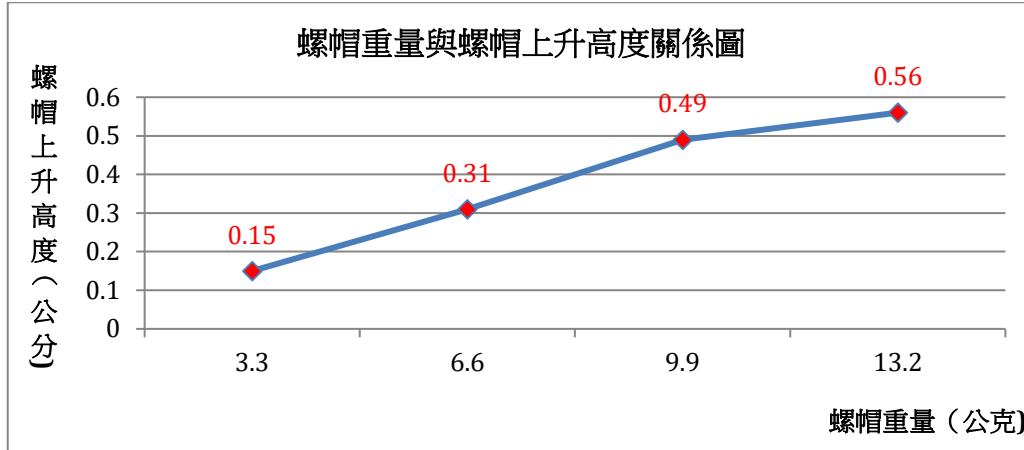
（圖片來源：研究者拍攝）

表五：螺帽重量與螺帽上升高度的數據

螺帽重量（公克）	3.3	6.6	9.9	13.2
螺帽平均上升高度（公分）	0.15	0.31	0.49	0.56

（表格來源：研究者繪製）

圖十二：螺帽重量與螺帽上升高度關係圖



（圖片來源：研究者繪製）

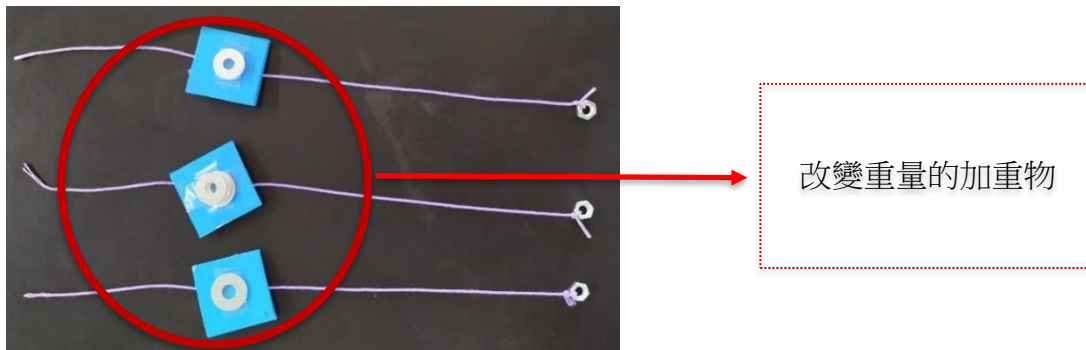
經由表五及圖十二可發現螺帽重量與螺帽上升高度呈現正相關。當繩子下端螺帽重量較重時，繩子下壓於吸管的力越大，以摩擦力的公式來說，可以發現當正向力越大、摩擦係數固定時，最大靜摩擦力越大，造成垂降物越不容易移動，由此實驗可以推測當繩張力越大時垂降物越不容易落下。

四、實驗四：探討墊片重量與螺帽上升高度的關係

（一）實驗步驟：

製作出 4 個垂降物→在垂降物後面分別貼上 10g、15g、20g 的加重物→將繩子裁切成 45cm 並在末端綁上螺帽→每一種垂降物垂降 10 次並紀錄實驗數據（如圖十三）。

圖十三：裝置示意圖



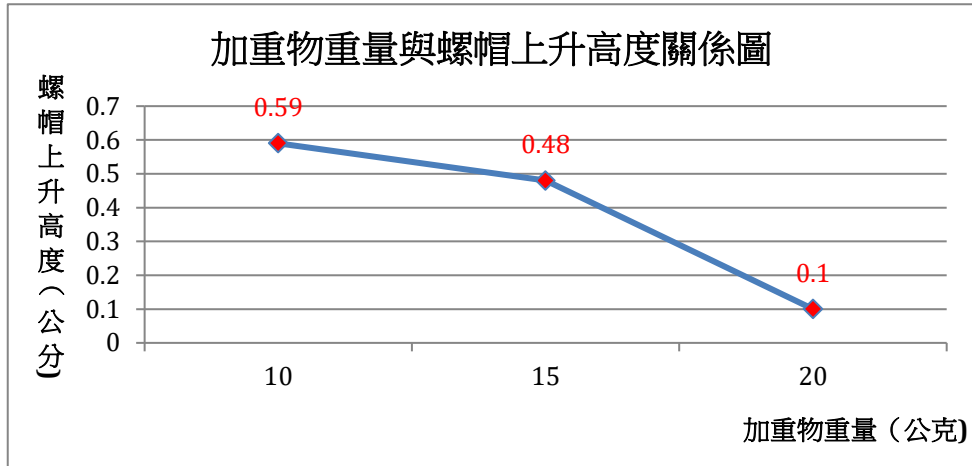
（圖片來源：研究者拍攝）

表六：加重物重量與螺帽上升高度的數據

加重物重量（公克）	10	15	20
螺帽平均上升高度（公分）	0.59	0.48	0.1

（表格來源：研究者繪製）

圖十四：加重物重量與螺帽上升高度關係圖



（圖片來源：研究者繪製）

從表六及圖十四來看，墊片重量越重時螺帽上升公分數就會有減少的趨勢，因此我們可以推測當其他因素固定時，垂降物的質量越重所受的重力就越大，所以垂降物就越容易落下。

伍、研究結論與建議

一、結論

在繩子摸起來越滑順、角度越大、繩子拉的越緊和垂降物重量越重時垂降物就越容易下降，反之繩子摸起來越粗糙、角度越小、繩子沒有拉很緊和垂降物重量越輕時垂降物就越不容易下降。所以我們可以透過改變上述的變因做出以下的成品。

圖十五：裝置示意圖



圖十六：裝置示意圖



（圖十五、圖十六圖片來源：研究者拍攝）

我們所製作的可依序下降的垂降玩具，依照圖十六由上往下依序分別為：30 度（5g）、30 度（8g）、40 度（8g）、50 度（8g）、60 度（8g）、70 度（8g）、80 度（8g）、90 度（8g）、100 度（8g）、100 度（10g）、100 度（15g），從最上方數下來第二個到第九個是改變角度（100 度到 30 度）。

我們主要是從實驗二的數據來排垂降物的順序，但第一個跟最後一個我們改變的是重量，因為實驗三的數據顯示，重量越重越容易降落，再加上 20 度及 110 度在我們測試時，就較難控制，所以我們最終選擇修改重量，而此裝置也將實驗二及實驗四得出的結果結合在一起。

二、建議

如果垂降物無法下降的話可以在垂降物背面黏上數個墊片使垂降物重量增加，以利於垂降物下降。

我們在做實驗時其實很難上每次做出來的結果一樣，因為我們無法確認每次吸管根繩子的接觸面積和地方都一樣，而且繩子在每次做實驗時都會一直被摩擦，所以很難把變因都保持一樣，這點需要改進。

陸、參考文獻

一、翰林雲端學院(無日期)。高中物理-張力。2022 年 3 月 10 日，取自網址

<https://reurl.cc/DdpLxi>

二、林秀豪（主編）（2019）。普通型高級中學物理全。龍騰文化事業股份有限公司

三、阿賢老師的理化教學網站(無日期)。021(6-3 摩擦力)。2022 年 3 月 10 日，取自網址

<https://reurl.cc/Y95ELa>

四、WONDERS OF PHYSICS(無日期)。Is gravity a theory or a law?。取自網址

<https://reurl.cc/LpzmR4>

五、科學遊戲實驗室(無日期)。滑降玩具。2022 年 3 月 12 日。取自網址

<https://reurl.cc/jk4D0y>

六、生活裡的科學（2018 年 8 月 10 日）。滑降玩具神駕馭[影片]。YouTube。取自網址

<https://reurl.cc/dXbDMq>

七、蕭志堅（2020 年 12 月 23 日）。垂降高手。取自網址

<https://www.ytlee.org.tw/Handler/ScienceFileDownloader.ashx?ID=e02e0e74-73d3-43ea-9361-8c88f0b1fb0c>