

臺南市 109 年度國小學生獨立研究競賽作品(封面)

作品名稱： 振動前進毛根蟲

編號： (由承辦單位統一填寫)

作品名稱：振動前進毛根蟲

摘要（500 字以內）

橡皮筋毛根蟲是一種利用摩擦振動，讓毛根在橡皮筋上快速前進的小遊戲。我們猜測毛根蟲的前進和毛根上毛的排列有關係，為了進一步瞭解毛根蟲的移動，以冂字型紙片模擬毛根蟲的毛，試著找出毛的方向、毛的數量、毛的傾斜角度對移動的影響，結果發現毛根蟲的移動是有方向性的，施力時會往大多數毛傾斜的方向前進，而且傾斜 60 度的移動效果最好。若是想讓毛根蟲跑的更好，可以選擇鋸齒多的物品進行摩擦產生更多振動。

壹、研究動機及目的(或問題)

爸爸介紹他小時候玩的遊戲—橡皮筋毛根蟲，就是把橡皮筋套在鐵釘上，再放上毛根，用有鋸齒的尺摩擦鐵釘。我和弟弟就玩了起來，雖然看著毛根蟲向前衝很開心，但是有時會發生毛根從橡皮筋上掉下來或是不會動，我很好奇，到底為什麼會這樣？

自然課「生活中有趣的力」曾提到力的大小和方向會改變物體運動狀態，當資優班老師說要做獨立研究時，我馬上想到毛根蟲與力，同學覺得很不錯，於是趁這個機會，我和同學想要好好研究，以了解「毛根蟲」科學原理以及如何跑得更好？

研究目的：

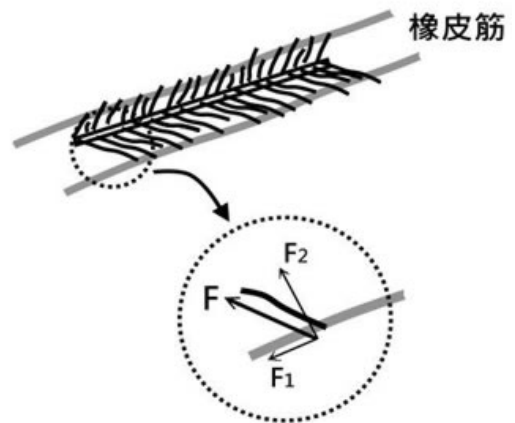
- 一、探討不同材質物品的移動情形
- 二、藉由「」字型紙片探討毛的方向對毛根蟲移動的影響
- 三、藉由「」字型紙片探討毛的數量對毛根蟲移動的影響
- 四、藉由「」字型紙片探討傾斜角度對毛根蟲移動的影響
- 五、探討摩擦物對毛根蟲移動的影響

貳、文獻探討

一、毛根蟲前進原理

毛根的纖維是傾斜的，在摩擦鐵釘時，因為鐵釘固定在板子上，鐵釘在動，板子也在振動，所以橡皮筋也跟著振動。橡皮筋在振動的過程中，就會擠壓到毛根，毛根的纖維就被擠壓，因而毛根蟲就會有彈性，所以毛根蟲就會在橡皮筋上跑了。也就是說，拿尺摩擦鐵釘，互相摩擦產生振動，振動會傳導到橡皮筋上，並讓橡皮筋上的毛根振動。

受力情形：在振動時橡皮筋給予毛根作用力，此作用力可分解成 F_1 和 F_2 ， F_1 就是使毛根前進的分力， F_2 是向上的分力，由此可看出毛根的運動方向是固定的。



二、名詞釋義

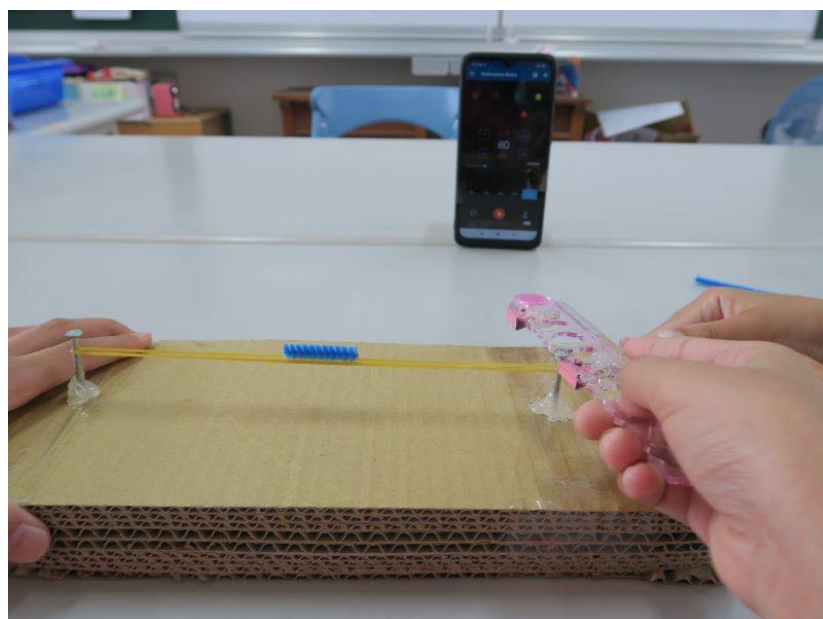
- (一)毛根：毛根看起來是毛茸茸的東西，可是實際上毛根和樹一樣，中間是枝幹（鐵絲），旁邊是樹葉（毛），毛根的毛不是垂直的，毛根的毛是傾斜的結構，而且是整齊的螺旋狀排列。
- (二)摩擦物：用來摩擦鐵釘的物品。用來摩擦能使鐵釘產生振動，振動再傳到橡皮筋上。

(三)作用力：牛頓第三運動定律〈作用力與反作用力〉，當兩個物體交互作用時，彼此施加於對方的力，其大小相等、方向相反。力一定會成雙結對地出現，其中一道力稱為「作用力」，而另一道力則稱為「反作用力」，又稱「抗力」。它們之間的分辦，是純然任意的；任何一道力都可以被認為是作用力，而其對應的力自然地成為伴隨的反作用力。

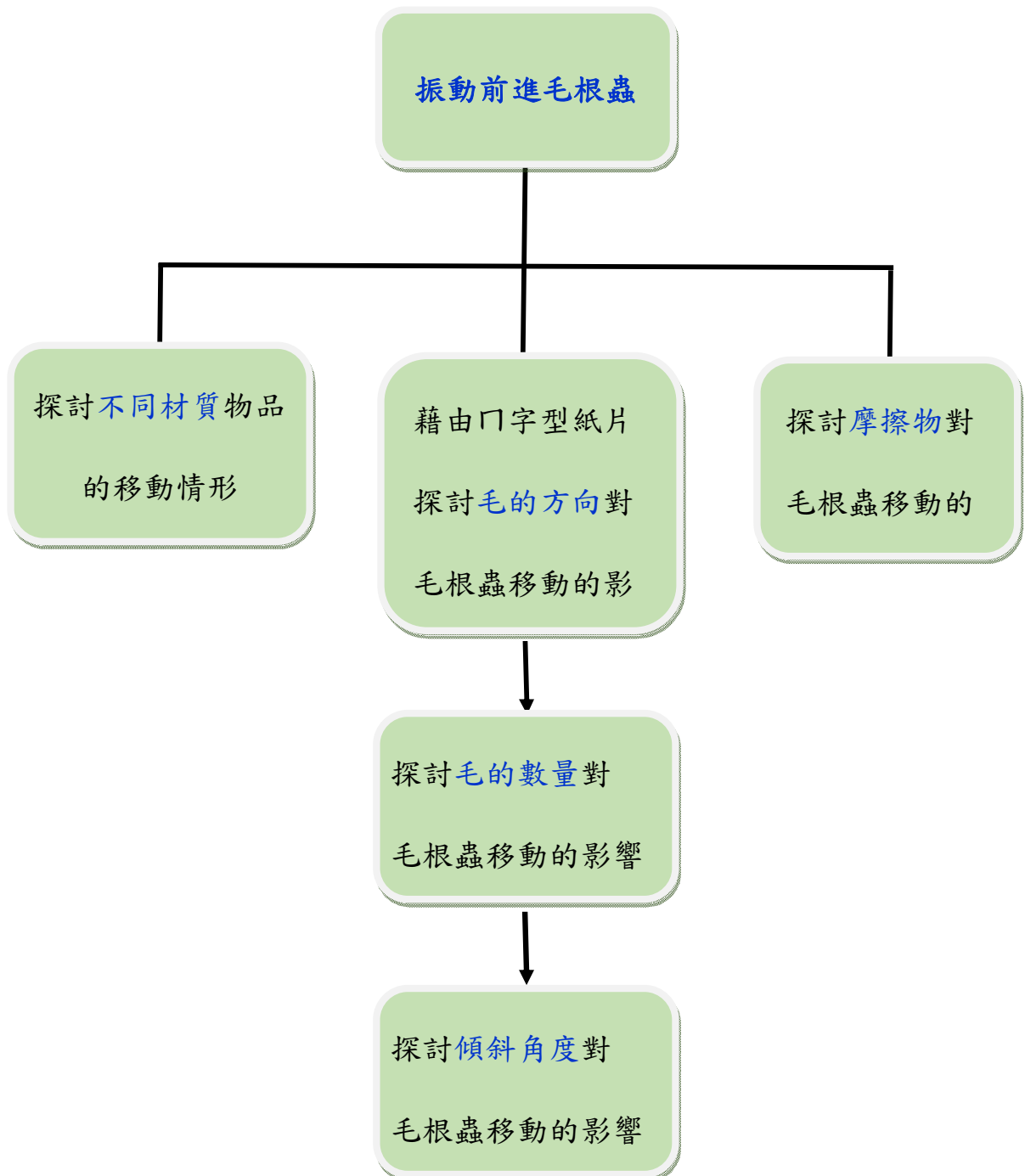
參、研究過程與方法

一、實驗器材

| | | | | |
|---|---|---|--|---|
| 瓦楞紙板 | 鐵釘 | 橡皮筋 | 小鐵鎚 | 手機&節拍器APP |
|  |  |  |  |  |
| 有鋸齒邊的尺 | 鐵尺 | 毛根 | 毛線 | 竹筷 |
|  |  |  |  |  |
| 吸管 | 橡皮擦 | 魔鬼沾 | 電子顯微鏡 | |
|  |  |  |  | |



二、研究架構



三、控制變因說明

(一) 摩擦速度

不管是摩擦還是敲擊產生振動，都是人為操作，

為了盡量保持一致，我們使用手機節拍器

Metronome Beate 控制速度，敲擊時設定 90BPM，

摩擦時設定 85BPM。再根據產生的敲擊聲和摩擦

聲，判斷力道是不是差不多。



節拍器 App

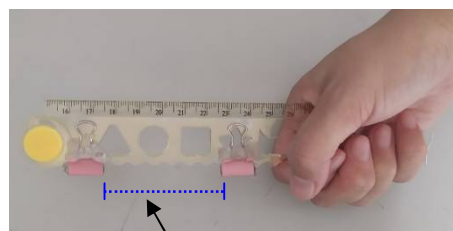
(二) 摩擦距離

若以磨擦方式產生振動，就需要控制摩擦的距離。因此我們在摩擦

物（如塑膠尺）的邊上夾上兩個長尾夾且稍微突出，長尾夾距離 5

公分。我們在摩擦時就可以因為長尾夾的限制而固定摩擦距離為 5

公分。



長尾夾間距 5cm

(三) 跑道橡皮筋

同一個變因的實驗使用同一條橡皮筋，更換變因時就換一條橡皮

筋，避免橡皮筋過度使用，超出彈性限度影響實驗結果。

四、研究過程

實驗一 探討不同材質物品的移動情形

(一)實驗說明：

我們在想一定要像毛根一樣毛茸茸的東西才能摩擦前進嗎？別的東西可不可以前進？因此我們根據有沒有毛、有沒有彈性、圓的方的、細的粗的，挑選不同物品試試看。

(二)實驗步驟：

- 1.將兩根鐵釘固定在厚紙板上，相距約 20 公分。將橡皮筋掛在這兩根鐵釘之間。
- 2.把不同材質的物品(毛根、毛線、竹筷、吸管、橡皮擦、魔鬼沾等)裁剪成 3 公分長，放在橡皮筋上。
- 3.分別用鐵尺敲擊鐵釘和用塑膠尺的鋸齒邊摩擦鐵釘，使毛根蟲振動。
- 4.觀察結果並記錄。

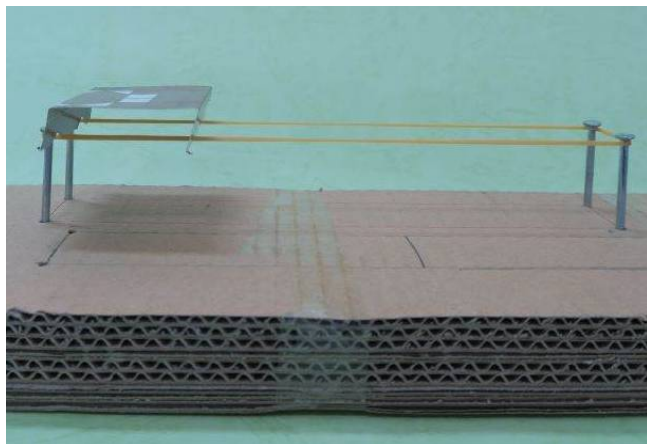
實驗二 藉由口字型紙片探討毛的方向對毛根蟲移動的影響

(一)實驗說明：

根據<實驗一>結果，我們發現並不是有毛就可以前進，推測可能跟毛的排列方向有關係。但毛根的毛難以掌控，因此我們改以口字型紙片替代。

(二)實驗步驟

- 1.把橡皮筋套在釘在厚紙板上的四根鐵釘上。
- 2.將一張紙片剪出上下各兩個缺口，兩個缺口距離要和二根鐵釘的距離一致，以便讓缺口剛好可以套在橡皮筋上。
- 3.以冂字型紙片代替毛根蟲。將紙片摺成冂字型，將上下有缺口的紙片部分摺成 \sqcap 、 \sloperight 、 \slopleft 、 \sloperight 、 \slopleft 。
- 4.紙片放到橡皮筋上，用尺摩擦鐵釘
- 5.觀察結果並記錄。




實驗三 藉由冂字型紙片探討毛的數量對毛根蟲移動的影響

(一)實驗說明：

我們觀察發現，毛根的毛是螺旋狀排列，並不是完全平行、角度會有一些些不同。因此我們好奇，毛的數量若是較多，方向不同的話會有什麼結果，所以將冂字型紙片連接來模擬多毛。

(二)實驗步驟：

- 1.將兩片ㄇ字型的紙片連接起來成 。
- 2.把有缺口的紙片摺向六種不同方向，把紙片放在橡皮筋上
- 3.用尺摩擦鐵釘使紙片前進，觀察結果並記錄。

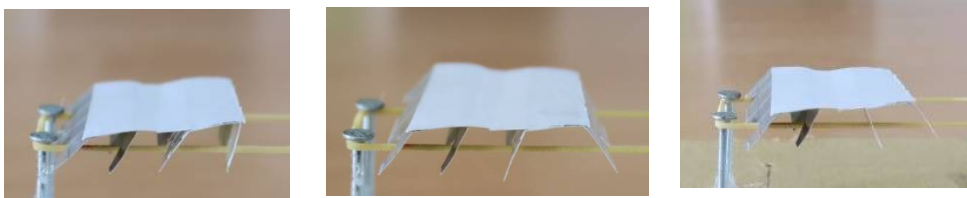




圖 紙片摺向不同方向

實驗四 藉由ㄇ字型紙片探討傾斜角度對毛根蟲移動的影響

(一)實驗說明：

<實驗三>結果出乎我們意料，原本我們以為毛都朝向同一方向的移動效果會比較好，可是結果卻不是。 竟然跑的比  還快，我們在想是不是跟毛的傾斜角度有關係，所以進行這個實驗來驗證。

(二)實驗步驟：

- 1.把ㄇ字型紙片的彎摺處摺成 90° 、 75° 、 60° 、 45° 、 30° 。
- 2.把ㄇ字型紙片放在橡皮筋上，缺口對齊橡皮筋。
- 3.用尺摩擦鐵釘，使紙片前進。
- 4.觀察並記錄，紙片移動的情形。

實驗五：探討摩擦物對毛根蟲移動的影響

(一)實驗說明：

根據〈實驗一〉，我們已經知道什麼樣的材質最適合跑，所以想要從生活常見物品下手，找出最佳摩擦物讓毛根蟲跑得最快。

(二)實驗步驟：

- 1.製作 3 公分的毛根蟲，並放在橡皮筋上。
- 2.為了保持摩擦距離一致，我們在塑膠尺的鋸齒邊、鋸子的鋸齒邊、鋸子的平滑邊、砂紙(固定在尺上)、竹筷，各夾上兩個長尾夾，長尾夾距離 5 公分。

| 物品 特徵 | 鋸子 (鋸齒邊) | 尺 (鋸齒邊) | 砂紙 | 竹筷 | 鋸子 (平滑邊) |
|-----------------|-------------|------------|----------|----------|-------------|
| 表面性質 | 三角 鋸齒 | 波浪 鋸齒 | 粗糙顆粒 | 平滑 | 平滑 |
| 鋸齒數量 (5 公分內) | 36 個 鋸齒 | 6 個 鋸齒 | 沒有 鋸齒 | 沒有 鋸齒 | 沒有 鋸齒 |

- 3.用上述物品來摩擦鐵釘。
- 4.觀察結果並記錄。

肆、結果與討論

實驗一 探討不同材質物品的移動情形

1. 鐵尺敲擊鐵釘的實驗結果

| 材質 敲擊(下) | 毛根 | 毛線 | 吸管 | 竹筷 | 魔鬼沾 (軟) | 魔鬼沾 (硬) | 橡皮擦 |
|-------------|---------|-----|----------------|-----------------------------|------------|------------|-----|
| 第 1 次 | 176 下 | 不會動 | 會輕微的轉動，但不太會移動。 | 一開始還會移動和轉動，50 下以後就不太會移動和轉動。 | 不會動 | 不會動 | 不會動 |
| 第 2 次 | 160 下 | | | | | | |
| 第 3 次 | 135 下 | | | | | | |
| 第 4 次 | 223 下 | | | | | | |
| 第 5 次 | 138 下 | | | | | | |
| 平均 | 166.4 下 | | | | | | |

2. 尺摩擦鐵釘的實驗結果

| 材質 摩擦(下) | 毛根 | 毛線 | 吸管 | 竹筷 | 魔鬼沾 (軟) | 魔鬼沾 (硬) | 橡皮擦 |
|-------------|--------------|----------------|----------------|-----------------|------------|------------|-----------------|
| 第 1 次 | 34 下 17cm | 不會動 | 不會動 | 100 下 1cm | 不會動 | 不會動 | 100 下 不會動 |
| 第 2 次 | 41 下 17cm | | | 100 下 1.2cm | | | 100 下 0.3cm |
| 第 3 次 | 31 下 17cm | | | 100 下 0.9cm | | | 100 下 0.5cm |
| 第 4 次 | 36 下 17cm | | | 100 下 1cm | | | 100 下 不會動 |
| 第 5 次 | 33 下 17cm | | | 100 下 1.1cm | | | 100 下 不會動 |
| 平均一 | 35 下 17cm | | | 100 下 1.04cm | | | 100 下 0.16cm |
| 平均二 | 0.49cm/ 下 | 0.0104cm/ 下 | 0.0016cm/ 下 | | | | |

(一)實驗結果

- 1.毛根移動效果最好，最適合用來做實驗。
- 2.吸管和竹筷都是圓的，敲擊後產生振動，吸管和竹筷跳起來轉動，但轉的方向沒有固定。
- 3.毛線很輕，絲會纏在橡皮筋，沒辦法動。

(二)實驗討論

為什麼毛線、魔鬼氈和毛根一樣都有毛，但是只有毛根會動？

我們認為可能是跟毛的排列有關。用電子顯微鏡觀察，毛根的毛是螺旋狀的規則排列，毛線的毛是有一點纏繞和捲捲的，還有很多絲突出來。魔鬼氈的軟面是有很多根捲線亂纏在一起，魔鬼氈的硬面則是許多微小的鉤子相對。



毛根：螺旋狀排列



毛線：微捲、互相纏繞



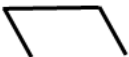
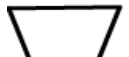
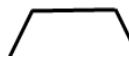


魔鬼氈(軟面)：捲、雜亂




魔鬼氈(硬面)：鉤狀相對

實驗二 藉由「」字型紙片探討毛的方向對毛根蟲移動的影響

| | | | | | |
|-------------|---|---|--|---|---|
| 毛的方向 影響 |  |  |  |  |  |
| 是否前進 (→) | 否 | 是 | 否 | 否 | 否 |
| 移動 情況 | 紙片會 彈跳 | 200 下 5.24cm | 紙片會 彈跳 | 紙片會 彈跳 | 紙片會 開合彈跳 |

(一)實驗結果

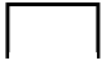


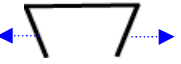

- 1.只有  會向前移動 (→)。
- 2.紙片往哪邊傾斜就往哪邊移動，而向上的分力會讓紙片產生彈跳的現象。
- 3.根據紙片的移動情形，我們認為毛根蟲是有方向性的。

(二)實驗討論







將五種紙片的前進分力方向以箭頭表示，我們發現：

- 1.當紙片彎折處接近垂直，無法提供前進分力，就不容易前進，例如第一種。
- 2.當兩力相同時，合力為同一方向，可以前進，例如第二種、第三種。
但第三種紙片的前進方向被鐵釘擋住，因此只能彈跳。
- 3.當兩力方向相反時，會互相抵消，導致紙片不易前進，例如第四種

和第五種。

| 第一種 | 第二種 | 第三種 | 第四種 | 第五種 |
|---|---|--|---|---|
|  |  |  |  |  |

實驗三 藉由U字型紙片探討毛的數量對毛根蟲移動的影響

| | | | | | | |
|------------------|---|---|---|--|---|---|
| 類型 移動 |  |  |  |  |  |  |
| 會不會 前進(→) | 不會 | 會 | 會 | 不會 | 不會 | 不會 |
| 五次平 均移動 距離 | -- | 200 下 4.15.cm | 200 下 5.37.cm | -- | -- | -- |

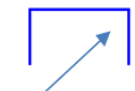



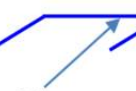
(一)實驗結果

- 1.當紙片彎折處的傾斜方向都一樣時，紙片就會往前傾的一方走
- 2.當紙片彎折處的傾斜方向不一樣時，則紙片就會往大部分傾斜的方向走。

(二) 實驗討論

數個力的方向相同時，合力為數力相加，可以產生較大的合力；當兩邊合力方向相反、大小不同時，紙片會往力量大的方向移動。因此我們推論，毛根的毛雖然不是完全一致，但只要大多數方向相同，就能前進。

實驗四 藉由U字型紙片探討傾斜角度對毛根蟲移動的影響

| 角度 |  |  |  |  |  |
|-----|---|---|---|---|---|
| 次數 | 90° | 75° | 60° | 45° | 30° |
| 第一次 | 不會動 | 200 下 6.3cm | 200 下 8.3cm | 200 下 5.5cm | 200 下 2.1cm |
| 第二次 | | 200 下 2.4cm | 200 下 3.4cm | 200 下 2.3cm | 200 下 1.6cm |
| 第三次 | | 200 下 4.7cm | 200 下 7.5cm | 200 下 3.8cm | 200 下 3.5cm |
| 第四次 | | 200 下 3.2cm | 200 下 6.3cm | 200 下 2.8cm | 200 下 2.1cm |
| 第五次 | | 200 下 3.8cm | 200 下 5.8cm | 200 下 3.2cm | 200 下 1.7cm |
| 平均 | | 200 下 4.08cm | 200 下 6.26cm | 200 下 3.52cm | 200 下 2.26cm |

(一)實驗結果

1. 傾斜 60° 的效果最好。

(二) 實驗討論

原本我們以為傾斜 30° 的效果會最好，結果卻是 60°，為什麼？

文獻中提到作用力可以分成使毛根前進的水平分力，和給予毛根在空中跳動的垂直分力。當毛根接觸橡皮筋時受到作用力，產生跳動離開橡皮筋，並在空中前進，因此我們猜測傾斜 30 度時雖然水平分力最大，但是垂直分力不夠，無法提供毛根足夠的跳動時間，以至於前進效果沒有預期中的好。

實驗五：探討摩擦物對毛根蟲移動的影響

| 摩擦物 次數 | 鋸子 (36 個鋸 齒) | 尺 (6 個鋸 齒) | 砂紙 (粗糙顆粒) | 竹筷 (平滑) | 鋸子 (平滑邊) |
|-----------|--------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|
| 第 1 次 | 24 下 16cm | 200 下 6.5cm | 200 下 1.1cm | 不 會 移 動 | 不 會 移 動 |
| 第 2 次 | 42 下 16cm | 200 下 4.6cm | 200 下 2.6cm | | |
| 第 3 次 | 31 下 16cm | 200 下 5.9cm | 200 下 1cm | | |
| 第 4 次 | 28 下 16cm | 200 下 8.5cm | 200 下 1cm | | |
| 第 5 次 | 26 下 16cm | 200 下 6.5cm | 200 下 1cm | | |
| 平均一 | 30.2 下 16cm | 200 下 6.4cm | 200 下 1.34cm | | |
| 平均二 | 0.53cm/下 | 0.032cm/下 | 0.007cm/下 | | |

(一)實驗結果

- 1.鋸子（鋸齒邊）最適合做為摩擦物。
2. 鋸齒數量越多，移動越快。
- 3.用砂紙摩擦時，黑色的屑屑會掉下來，所以砂紙不適合當作摩擦物。

(二) 實驗討論

摩擦物有鋸齒的移動效果比較好，平滑邊不會移動。因此，我們認為摩擦物能造成的振動現象愈明顯，愈能夠使毛根移動。

伍、結論

- (一)有毛的物品不一定會移動，必須是毛規則排列。毛根的毛因為是螺旋狀的規則排列，移動效果最佳。
- (二)毛根的移動有方向性。方向一致時，往哪邊傾斜就往哪邊移動；若方向不一致，則毛根就會往大多數傾斜的方向走。因此將毛壓一壓，使其傾斜為同一方向，移動效果較好。
- (三)毛傾斜 60° 的移動效果最好。
- (四)鋸齒數量越多(例如鋸子)，摩擦產生振動越多，前進效果越好。

陸、參考文獻

- (一)NTCU 科學遊戲實驗室。動力橡皮筋。取自
<http://scigame.ntcu.edu.tw/power/power-001.html>
- (二)NTCU 科學遊戲實驗室。爆走毛刷。取自
<https://www.ntcu.edu.tw/scigame/power/power-036.html>
- (三)天下文化(2011年9月29日)。【未來少年·梅期光創意科學實驗室】
毛根蟲的運動【部落格影音資料】。取自
<https://www.youtube.com/watch?v=9mPBE8J4OqI&t=389s>
- (四)作用力_百度百科。取自
<https://baike.baidu.com/item/%E4%BD%9C%E7%94%A8%E5%8A%9B>
- (五)牛頓第三運動定律- 維基百科，自由的百科全書。取自
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%89%9B%E9%A1%BF%E7%AC%AC%E4%B8%89%E8%BF%90%E5%8A%A8%E5%AE%9A%E5%BE%8B>