

嘉義市第 37 屆中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：動茲~動茲~看見聲音在跳舞—探究音箱上的舞動毛根

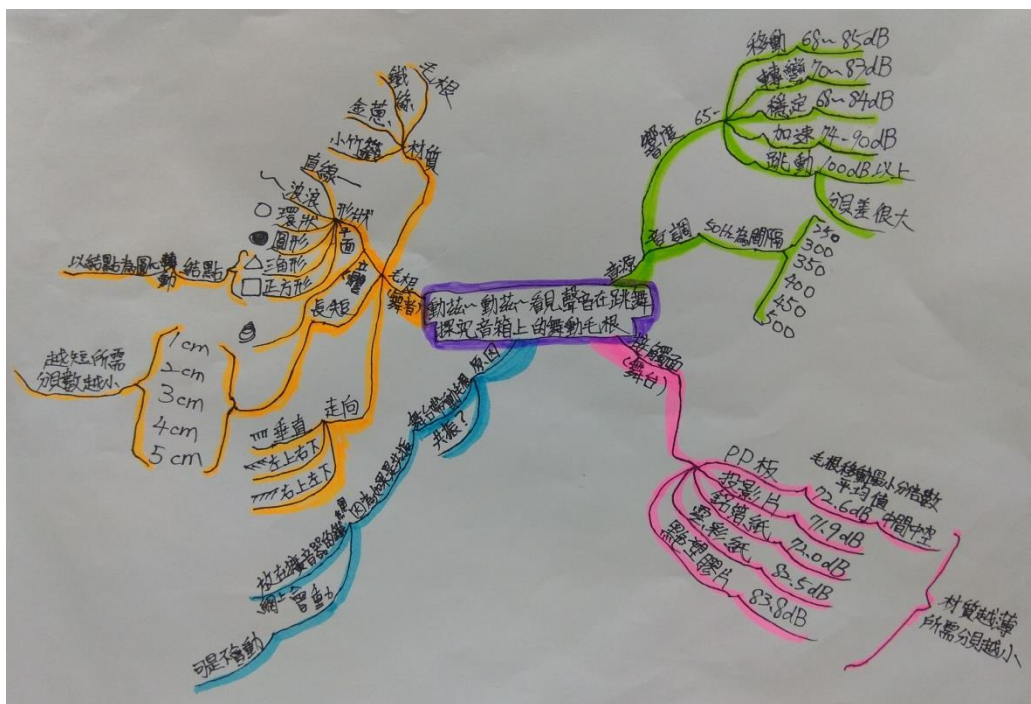
關 鍵 詞：聲音、振動、毛根



編 號：

摘要

在自然課上到聲音單元時，老師在擴音器上放置了一個塑膠杯，當對著麥克風發出「嗚~」的聲音時，塑膠杯上的毛根竟然會移動甚至開始轉動，我們想知到影響毛根舞動的因素，在研究一，我們先從發聲器的響度和音調來進行實驗，當發聲器的音量達到 65 分貝以上，毛根就可以開始移動，發生器的頻率越高，所需要的分貝數也越大。在研究二中，發現光滑的薄膜最適合最作為舞台材質，而舞台高度越高，所需驅動毛根的分貝數也越大，但 0 公分的舞台效果卻不如 1 公分的好。在實驗三，發現影響毛根舞動的軌跡因素，與毛根的長短、材質和形狀都有關係，我們甚至發現了毛根的結點也會影響運動軌跡。



壹、研究動機

在自然課上到聲音單元時，老師在擴音器上放置了一個塑膠杯，塑膠杯上有向上盤旋成蛇狀的毛根，當對著麥克風發出「嗚~」的聲音時，毛根竟然會移動甚至開始轉動，但每個同學嘗試的結果又不太一樣：有的毛根會順時針轉圈，有的毛根會逆時針轉圈，有的毛根會原地轉動，有的甚至不動。這讓我們覺得既新奇又有趣，於是決定請老師指導我們進行研究。

貳、研究目的

研究一、探討發聲器的響度和音調，對於毛根舞動情形的影響。

《實驗一》探討發聲器的響度，對於毛根舞動情形的影響。

《實驗二》探討發聲器的音調，對於毛根舞動情形的影響。

研究二、探討舞臺的結構，對於毛根舞動情形的影響。

《實驗三》探討舞臺材質，對於毛根的舞動情形的影響。

《實驗四》探討舞臺高低，對於毛根的舞動情形的影響。

研究三、探討毛根的構造，對於毛根的舞動情形的影響。

《實驗五》探討毛根長短，對於毛根的舞動情形的影響。

《實驗六》探討毛根材質，對於毛根的舞動情形的影響。

《實驗七》探討毛根形狀，對於毛根的舞動情形的影響。

參、研究設備及器材

研究設備	 <p>擴音器、麥克風</p>	 <p>平板電腦 平板 1：攝影/平板 2：音源</p>	 <p>分貝計</p>	 <p>APP 音頻產生器 (Frequency sound)</p>
------	---	--	--	---

舞台材料：鋁箔紙、塑膠 PP 板、投影片、雲彩紙、黑色厚塑膠片

舞者材料：毛根、金蔥毛根、漆包線、小竹籤

肆、研究過程或方法

研究一、探討發聲器的響度和音調，對於毛根舞動情形的影響。

《實驗一》探討發聲器的響度，對於毛根舞動情形的影響。

(一)、實驗目的：找出毛根舞動的最小響度。

(二)、操縱變因：響度大小

控制變因：毛根長短(2cm)、毛根形狀(直線)、舞台材質(投影片)、舞台高度(1cm)、音源頻率(300Hz)

(三)、實驗步驟：

- 1、將毛根放置在舞台(擴音器上方)正中間，開啟分貝器放置在舞台音源旁。
- 2、開啟平板 1 攝影功能，準備錄下毛根舞動情形與分貝器數字。(如下圖 1)
- 3、開啟放置在平板 2 發聲處的麥克風。(如下圖 2)
- 4、將平板 2 的 APP 程式(Frequency sound)設定頻率為 300Hz 並啟動。
- 5、啟動錄影，並調整平板 2 的音量大小，觀察毛根變化。
- 6、當毛根發生移動、轉動、前進、加速現象，分別紀錄分貝器上的分貝數。
(若毛根掉落舞台即停止實驗)

- 7、連續操作五次，取平均值。
- 8、根據觀測結果進行分析討論。



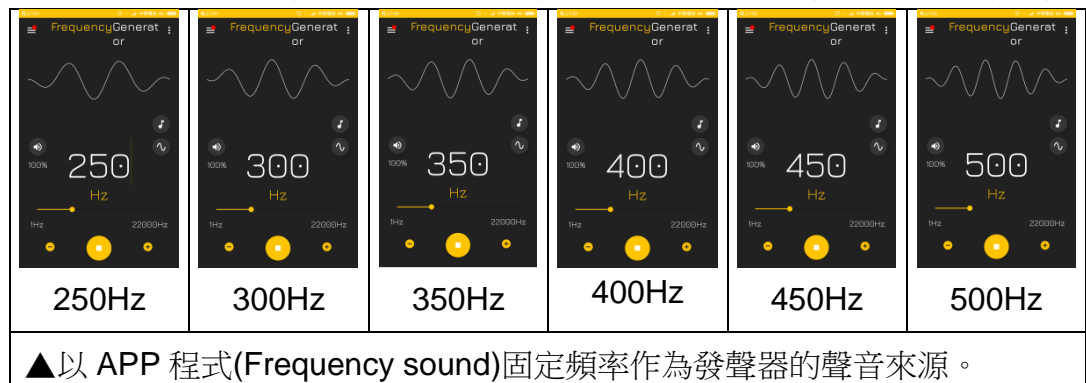
▲圖 1：平板 1—攝影 ▲圖 2：平板 2—音源(APP 程式)

《實驗二》探討發聲器的音調，對於毛根舞動情形的影響。

- (一)、實驗目的：找出不同音調對於毛根舞動情形的影響。
- (二)、操縱變因：音源(平板 2 的 APP 程式)音調大小

(分別以 250Hz、300Hz、350Hz、400Hz、450Hz、500Hz 進行實驗)

控制變因：毛根長短(2cm)、毛根形狀(直線)、舞台材質(投影片)、舞台高度(1cm)



(三)、實驗步驟：

- 1、將毛根放置在舞台(擴音器上方)正中間，開啟分貝器放置在舞台音源旁。
- 2、開啟平板 1 攝影功能，準備錄下毛根舞動情形與分貝器數字。(如下圖 1)
- 3、開啟放置在平板 2 發聲處的麥克風。(如下圖 2)
- 4、將平板 2 的 APP 程式(Frequency sound)設定固定頻率並啟動。
(以 APP 程式分別產生 250Hz、300Hz、350Hz、400Hz、450Hz、500Hz 的聲音)
- 5、啟動錄影，並調整平板 2 的音量大小，觀察毛根變化。
- 6、當毛根發生移動、轉動、前進、加速現象，分別紀錄分貝器上的分貝數。
(若毛根掉落舞台即停止實驗)
- 7、連續操作五次，取平均值。
- 8、根據觀測結果進行分析討論。

研究二、探討舞臺的結構，對於毛根舞動情形的影響。

《實驗三》探討舞臺材質，對於毛根的舞動情形的影響。

- (一)、實驗目的：最適合毛根舞動材質。

(二)、操縱變因：不同的舞台材質

(分別以鋁箔紙、塑膠 PP 板、投影片、雲彩紙、黑色厚塑膠片進行實驗)

控制變因：毛根長短(2cm)、毛根形狀(直線)、舞台高度(1cm)、音源頻率(300Hz)

(三)、實驗步驟：

- 1、將鋁箔紙壓平整，放在擴音器的舞台支架上，作為毛根舞台。
(分別以鋁箔紙、塑膠 PP 板、投影片、雲彩紙、黑色厚塑膠片進行實驗)
- 2、將毛根放置在舞台正中間，開啟分貝器。
- 3、開啟平板 1 攝影功能。
- 4、開啟放置在平板 2 發聲處的麥克風。
- 5、將平板 2 的 APP 程式設定頻率 300Hz 並啟動。
- 6、啟動錄影，並調整平板 2 的音量大小，觀察毛根變化。
- 7、當毛根發生移動、轉動、前進、加速現象，分別紀錄分貝器上的分貝數。
(若毛根掉落舞台即停止實驗)
- 8、連續操作三次，取平均值。
- 9、根據觀測結果進行分析討論。



《實驗四》探討舞臺高低，對於毛根的舞動情形的影響。

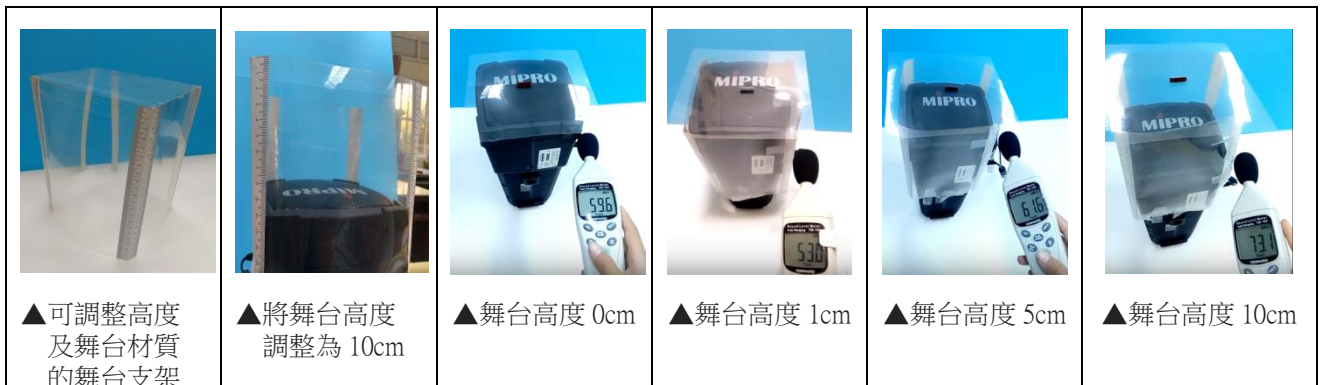
(一)、實驗目的：找出最適合毛根舞動的舞台高度。

(二)、操縱變因：舞台高度(0cm、1cm、5cm、10cm)

控制變因：毛根長短(2cm)、毛根形狀(直線)、舞台材質(投影片)、音源頻率(300Hz)

(三)、實驗步驟：

- 1、調整舞台高度為 1cm，並以投影片作為舞台。
(分別調整舞台高度為 0cm、1cm、5cm、10cm 進行實驗)
- 2、將毛根放置在舞台(擴音器上方)正中間，開啟分貝器。
- 3、以下步驟同《實驗三》步驟 3~9。



研究三、探討毛根的構造，對於毛根的舞動情形的影響。

《實驗五》探討毛根長短，對於毛根的舞動情形的影響。

- (一)、實驗目的：找出毛根長度與舞動情形的關係。
- (二)、操縱變因：毛根長度(1cm、2cm、3cm、4cm、5cm)
控制變因：毛根形狀(直線)、音源頻率(300Hz)、舞台材質(投影片)、舞台高度(1cm)
- (三)、實驗步驟：
 - 1、設定舞台高度為 1cm、投影片作為舞台、音源頻率(300Hz)。
 - 2、將毛根放置在舞台(擴音器上方)正中間，開啟分貝器。
(分別以毛根長度 1cm、2cm、3cm、4cm、5cm 進行實驗)
 - 3、以下步驟《實驗三》步驟 3~9。

《實驗六》探討毛根材質，對於毛根的舞動情形的影響。

- (一)、實驗目的：找出毛根材質與舞動情形的關係。
- (二)、操縱變因：毛根材質(毛根、金蔥毛根、漆包線、小竹籤)
控制變因：毛根長度(2cm)、毛根形狀(直線)、音源頻率(300Hz)、
舞台材質(投影片)、舞台高度(1cm)
- (三)、實驗步驟：
 - 1、設定舞台高度為 1cm、投影片作為舞台、音源頻率(300Hz)。
 - 2、將毛根放置在舞台(擴音器上方)正中間，開啟分貝器。
(分別以毛根、金蔥毛根、漆包線、小竹籤進行實驗)
 - 3、以下步驟同《實驗三》步驟 3~9。

《實驗七》探討毛根形狀，對於毛根的舞動情形的影響。

- (一)、實驗目的：找出毛根形狀與舞動情形的關係。
- (二)、操縱變因：毛根材質(直線、波浪狀、環形、圓形、三角形、四邊形)
控制變因：毛根形狀(直線)、音源頻率(300Hz)、舞台材質(投影片)、舞台高度(1cm)
- (三)、實驗步驟：
 - 1、設定舞台高度為 1cm、投影片作為舞台、音源頻率(300Hz)。
 - 2、將毛根放置在舞台(擴音器上方)正中間，開啟分貝器。
(分別以直線、波浪狀、環形、圓形、三角形、四邊形毛根進行實驗)
 - 3、以下步驟同《實驗三》步驟 3~9。



伍、研究結果

研究一、探討發聲器的響度和音調，對於毛根舞動情形的影響。

《實驗一》探討發聲器的響度，對於毛根舞動情形的影響。

單位：dB (使毛根舞動的最小分貝數)

	移動	轉彎	穩定前進	直線加速
第 1 次	65.6	71.6	77.8	71.8
第 2 次	73.6	79.4	81.1	83.8
第 3 次	72.6	80.4	83.9	85.5
第 4 次	76.6	82.1	82.9	83.1
第 5 次	71.6	77.8	83.1	86.8
平 均	72.0	78.3	81.8	82.2

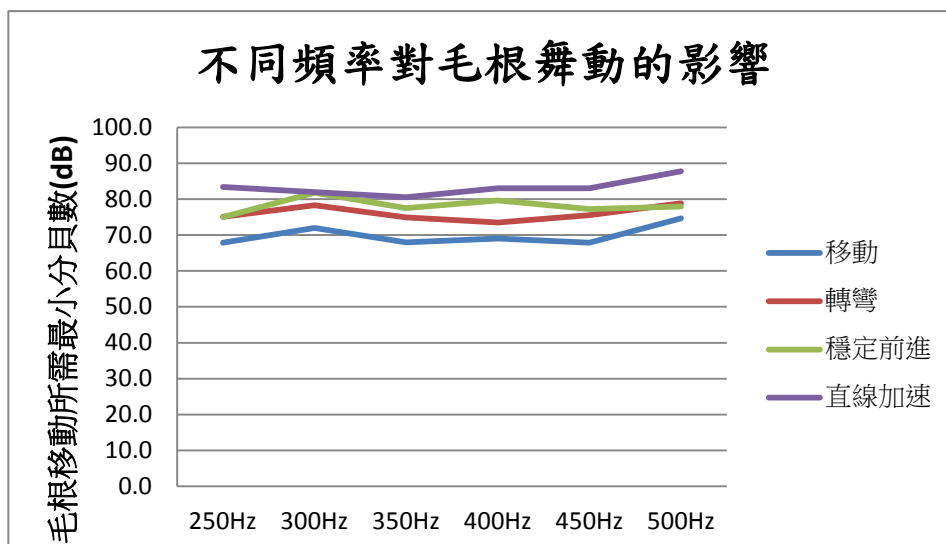
- 1、音源分貝數低於 65 分貝，無法驅動毛根移動，平均要達 72 分貝以上，毛根才會移動。
- 2、音源響度越大，毛根的動作越多元、移動的速度也越快，若是超過 100 分貝，甚至出現毛根跳動翻轉現象。

《實驗二》探討發聲器的音調，對於毛根舞動情形的影響。

實驗結果平均值如下：

單位：dB (使毛根舞動的最小分貝數)

頻率	移動	轉彎	穩定前進	直線加速
250	67.9	75.0	75.0	83.4
300	72.0	78.3	81.8	82.0
350	67.9	74.9	77.5	80.5
400	69.0	73.4	79.7	83.0
450	67.9	75.6	77.2	83.0
500	74.6	78.8	77.9	87.7

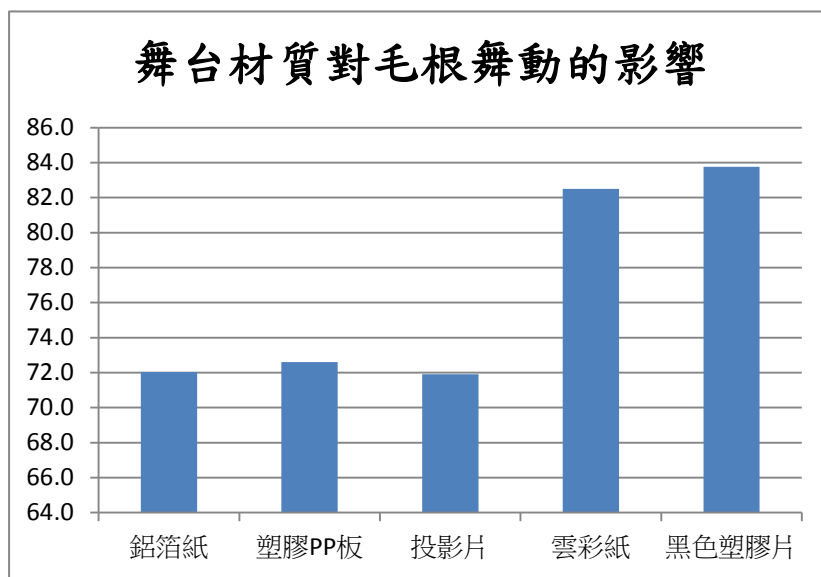


研究二、探討舞臺的結構，對於毛根舞動情形的影響。

《實驗三》探討舞臺材質，對於毛根的舞動情形的影響。

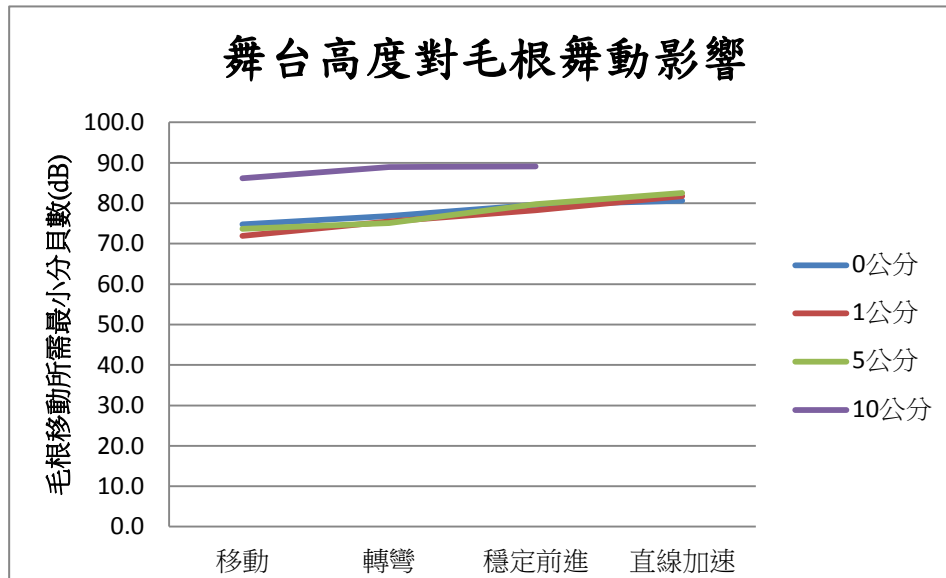
單位：dB (使毛根舞動的最小分貝數)

次 數	鋁箔紙	塑膠 PP 板	投影片	雲彩紙	黑色塑膠片
第 1 次	69.9	73.6	70.4	82.3	84.5
第 2 次	72.8	72.6	72.6	81.7	84.9
第 3 次	73.4	71.6	72.7	83.5	81.9
平 均	72.0	72.6	71.9	82.5	83.8



《實驗四》探討舞臺高低，對於毛根的舞動情形的影響。

舞台高度	毛根舞動情形	移動	轉彎	穩定前進	直線加速
0 公分		74.8	76.9	79.6	80.6
1 公分		71.9	75.5	78.2	81.7
5 公分		73.7	75.1	79.7	82.5
10 公分		86.2	88.9	89.1	X



- 1、舞台高度越高，所需的能量越大、分貝數越大。
- 2、但舞台高度為 0 公分時，投影片會劇烈顫動，干擾毛根舞動情形，需要更高的分貝數，才能使毛根舞動，可能是聲音在傳遞到舞台時，能量被消耗了。
- 3、最理想的高度是 1 公分。

研究三、探討毛根的構造，對於毛根的舞動情形的影響。

《實驗五》探討毛根長短，對於毛根的舞動情形的影響。

單位：dB (使毛根舞動的最小分貝數)

毛根長度	次 數	移動	轉彎	穩定前進	加速
1 公分	第 1 次	70.7	71.9	76.9	82.9
	第 2 次	69.7	71.5	77.9	83.8
	第 3 次	71.9	73.4	73.5	79.2
	平 均	70.8	72.3	76.1	82.0

毛根長度	次 數	移動	轉彎	穩定前進	加速
2 公分	第 1 次	73.6	71.6	77.8	77.8
	第 2 次	72.6	79.4	81.01	83.8
	第 3 次	71.6	77.8	82.9	85.5
	平 均	72.6	76.3	80.6	82.4

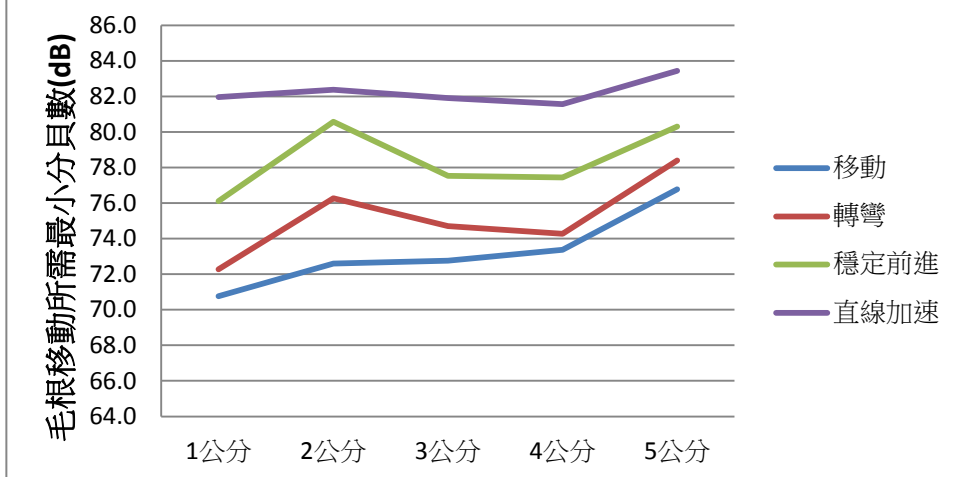
毛根長度	次 數	移動	轉彎	穩定前進	加速
3 公分	第 1 次	73.1	73.9	75	80.5
	第 2 次	72.7	73.7	80	85
	第 3 次	72.5	76.5	77.6	80.2
	平 均	72.8	74.7	77.5	81.9

毛根長度	次 數	移動	轉彎	穩定前進	加速
4 公分	第 1 次	74.4	74.4	76	81.5
	第 2 次	74.5	74.5	79.7	82.3
	第 3 次	71.2	73.9	76.6	80.9
	平 均	73.4	74.3	77.4	81.6

毛根長度	次 數	移動	轉彎	穩定前進	加速
5 公分	第 1 次	77.3	78	79.2	82.4
	第 2 次	76.1	76	79.5	84.3
	第 3 次	76.9	81.2	82.2	83.6
	平 均	76.8	78.4	80.3	83.4

毛根長度	移動	轉彎	穩定前進	加速
1 公分	70.8	72.3	76.1	82.0
2 公分	72.6	76.3	80.6	82.4
3 公分	72.8	74.7	77.5	81.9
4 公分	73.4	74.3	77.4	81.6
5 公分	76.8	78.4	80.3	83.4

毛根長短對毛根舞動的影響



- 1、聲音是一種能量，當能量轉換為動能使毛根舞動。
- 2、毛根越長所需要的動能越大，需要的音量也越大。

《實驗六》探討毛根材質，對於毛根的舞動情形的影響。



單位：dB (使毛根舞動的最小分貝數)

毛根材質	次 數	移動	轉彎	穩定前進	加速
灰毛根 (毛較蓬)	第 1 次	69.9	78.3	78.3	84.1
	第 2 次	72.8	78.5	80.2	85.3
	第 3 次	73.4	82.8	82.8	84.3
	平 均	72.0	79.9	80.4	84.6

毛根材質	次 數	移動	轉彎	穩定前進	加速
橘毛根 (較不蓬)	第 1 次	71.5	X	77.7	85
	第 2 次	70.4	X	79.1	82.4
	第 3 次	72.8	X	78.2	83.4
	平 均	71.6	#DIV/0!	78.3	83.6

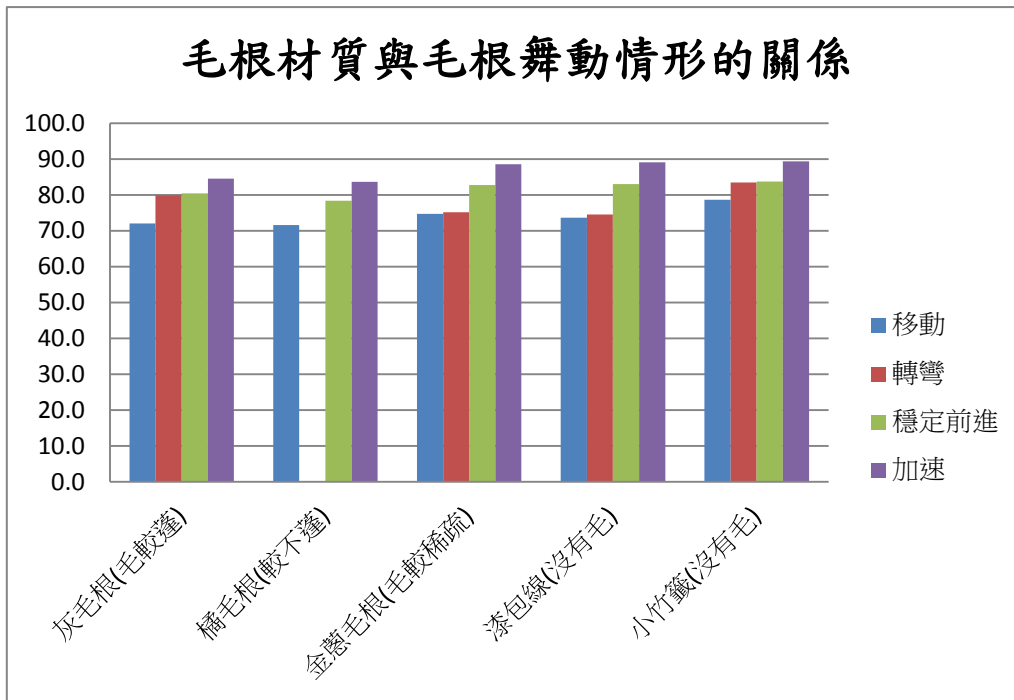
毛根材質	次 數	移動	轉彎	穩定前進	加速
金蔥毛根 (毛較稀疏)	第 1 次	73.5	75.38	82.6	88.7
	第 2 次	75.8	75.5	80.9	87.5
	第 3 次	74.7	74.7	84.7	89.2
	平 均	74.7	75.2	82.7	88.5

毛根材質	次 數	移動	轉彎	穩定前進	加速
漆包線 (沒有毛)	第 1 次	75.7	75.7	84.8	89.6
	第 2 次	73	75.2	82.6	88.4
	第 3 次	72.1	72.6	81.6	89.3
	平 均	73.6	74.5	83.0	89.1

毛根材質	次 數	移動	轉彎	穩定前進	加速
小竹籤 (沒有毛)	第 1 次	78.3	83.1	83.4	89.2
	第 2 次	79.6	X	83.3	89.7
	第 3 次	78.1	83.8	84.4	88.9
	平 均	78.7	83.5	83.7	89.3

單位：dB (使毛根舞動的最小分貝數)

毛根材質	移動	轉彎	穩定前進	加速
灰毛根(毛較蓬)	72.0	79.9	80.4	84.6
橘毛根(較不蓬)	71.6	X	78.3	83.6
金蔥毛根(毛較稀疏)	74.7	75.2	82.7	88.5
漆包線(沒有毛)	73.6	74.5	83.0	89.1
小竹籤(沒有毛)	78.7	83.5	83.7	89.3

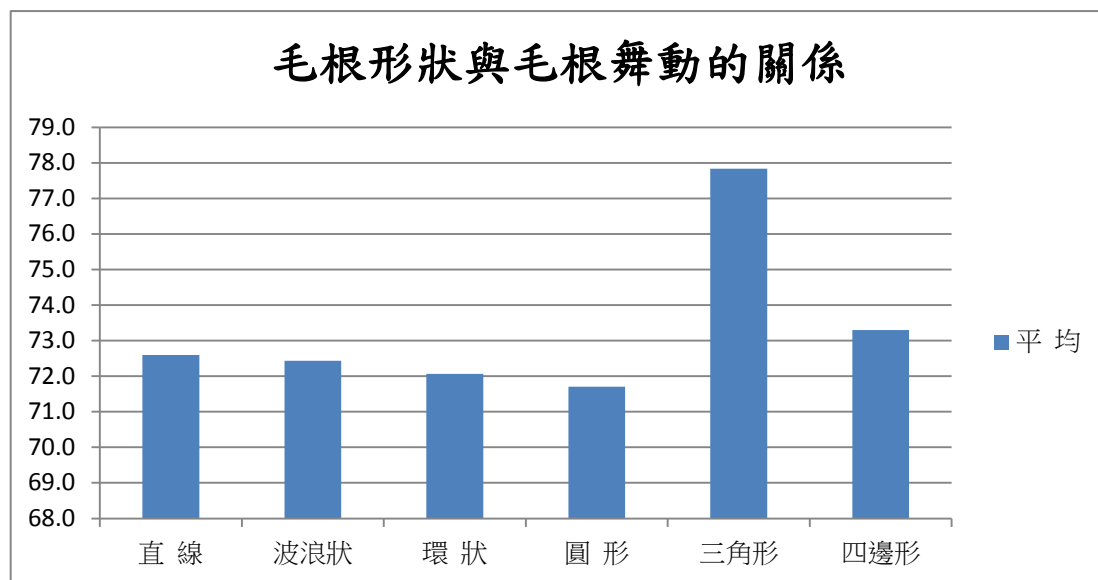


- 1、以舞動所需能量來探討：不同毛根舞者舞動所需的能量不一樣，若以有毛、沒毛區分，發現沒有毛的毛根舞者舞動所需能量較大，其中沒有毛的小竹籤所需能量最大，推測可能原因是小竹籤的重量較重或是表面纖維較粗糙。漆包線和竹籤用手機顯微鏡拍攝觀察比較，漆包線表面光滑，竹籤表面較粗糙。
- 2、以運動軌跡來探討：不同的毛根舞者表現出來的運動方式大不同，灰毛根的毛較蓬，運動軌跡多為圓圈運動；橘毛根的毛較不蓬，多為直線運動；金蔥毛根的表現是以毛根中心轉動，當分貝數夠大時，才出現移動情形；漆包線(沒有毛的毛根)也是以毛根中心轉動，當分貝數夠大時，並未出現移動情形，而是原地翻轉、顫動；小竹籤(沒有毛的毛根)也是以毛根中心轉動。
- 3、根據實驗六的實驗結果，我們覺得毛應該是一個重要因素，因此又延伸做了幾組研究，特別是毛的走向，詳見實驗日誌。

《實驗七》探討毛根形狀，對於毛根的舞動情形的影響。

單位：dB (使毛根舞動的最小分貝數)

毛根形狀	直 線	波浪狀	環 狀	圓 形	三角形	四邊形
第 1 次	73.6	75.2	73.2	69.0	76.3	71.9
第 2 次	72.6	68.2	70.2	72.3	79.4	73.9
第 3 次	71.6	73.9	72.8	73.8	77.8	74.1
平 均	72.6	72.4	72.1	71.7	77.8	73.3



- 1、在實驗七，我們主要探討形狀對毛根舞動的影響，原先預測實心圓形毛根因為接觸面積較大，驅動毛根舞動的能源應該比較高，實驗結果出乎意料，實心圓形毛根舞動所需能源居然是最低；在誤差範圍內，其實直線、波浪狀、環形和圓形毛根所需能源相近，三角形毛根則是最高。
- 2、驅動四邊形毛根的分貝數比三角形低：因一條毛根的長度有限，所以四邊形毛根是取另外一條毛根製作。我們認為應該是因為不是使用同一條毛根所導致的實驗誤差，客觀做法，應該取另外一條毛根，分別製作三角形和四邊形舞者，重新操作比較。
- 3、在實驗七，三角形毛根，會以毛根連接處為中心轉動，當傳遞的能源夠大時，三角形毛根會一邊自轉(以毛根連接處為中心轉動)一邊前進，四邊形也有相同的情形，我們把接觸這一點稱為「結點」。意外發現「結點」對毛根的運動軌跡有很重要的影響，因此我們多做了一些和結點相關的研究，詳見研究日誌。

陸、討論

一、在實驗一，我們討論了以下內容：

(一)、為了產生固定頻率的聲音，我們以 APP 音頻產生器(Frequency sound)當作音源，這個 APP 可以發出 1Hz - 22000Hz 頻率範圍內的聲音，在操作 APP 時，可以從畫面上看見不同頻率的聲音，波形不一樣；聲音的頻率越大、耳朵聽到的聲音也越高。

(二)、原先我們預計以中央 Do~Si 的音階做為發聲器的音頻，來瞭解不同頻率的音源對於毛根舞動現象的影響，經蒐集資料發現音階的頻率(如下表)並非等距，每個相鄰的音階頻率差介於 19~54Hz 之間，所以改以 50Hz 為間距，並以 250Hz 開始，進行實驗。

音名	中央 C	D	E	F	G	A	B	高音 C
唱名	Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si	Do
赫茲	262	294	330	349	392	440	494	524
實驗 頻率	≐250	≐300	—	≐350	≐400	≐450	≐500	—

(三)、根據實驗一的結果，我們發現音源頻率變大，所測得使毛根移動的最小分貝數也較大，經資料分析後的折線圖有向上發展趨勢，也就是說，頻率越高，需要的能量也更多，才能驅動毛根舞動。

二、在實驗時，毛根要放在舞臺正中央，這是因為音源出處在中央，比較容易觀察到毛根的移動狀況。實驗二中發現，頻率越高，測得的分貝數也越大，代表驅動毛根所需的能量越大；但頻率越高，聲音越尖銳，在多次實驗操作上會感到不舒服，所以後續實驗我們以 300Hz 進行實驗。

三、在實驗三結果發現：

(一)、以鋁箔紙、塑膠 PP 板、投影片作為舞臺材質的實驗效果都很好，平均 71.4~72.6dB 就可以讓毛根移動，甚至轉動。但雲彩紙要到 82.5dB、黑色塑膠片要到 83.8dB 毛根才會移動，推測是因為這兩種舞台表面紋理較粗糙，產生的摩擦力較大，所以需要更大的能量才能讓毛根移動。

(二)、所以鋁箔紙、塑膠 PP 板和投影片都是很好的舞臺材質，在實驗進行中因鋁箔紙的質地特別柔軟，所以每次操作完必須先放在桌上壓平，才能再放回舞臺支架進行實驗。而塑膠 PP 板和透明投影片操作比較方便，最適合作為舞臺材質。

四、在實驗六，我們討論了以下內容：

(一)、同樣兩公分毛根，較蓬的毛根和毛比較不蓬的毛跟運動方式不一樣，灰毛根較蓬呈圓形運轉，橘毛根較不蓬幾乎是直線運動。為了方便觀察，所以改以金蔥毛根再做一組兩公分的實驗。

(二)、除了毛根，還有其他可以作為舞者的材料嗎？毛是不是最重要的？如果沒有毛的毛根運動情形一樣嗎？我們增加兩組實驗，以漆包線（沒有毛的毛根）和 2 公分小竹籤實驗發現，沒有毛的舞者只能在原地繞著毛根中心點打轉，無法繞圈，由此可見毛影響了舞者的運動軌跡。

五、在一次偶然實驗發現 1 公分毛根需要的分貝數比 2 公分毛根更大，才能夠移動轉動，但一系列實驗下來，發現毛根長度越長，驅動所需能量越大。

六、毛根為什麼會動？是 PP 板振動帶動還是共振？早上的實驗，有一次 PP 板和底座震動很大，摩擦發出很大聲音，所以我們加碼做鹽巴實驗。經同學討論覺得是 PP 板振動帶動上面的鹽巴。因為聲音來源來自底下的擴音器，只有中間的鹽巴振動，是因為音源在中間，能量傳遞時中間的鹽巴往四週跳開，當分貝數夠大時，所有的鹽巴都會跳動。

七、影響舞者運動軌跡的可能因素，我們猜測可能與「毛根走向」有關，但在延伸實驗中，並未得到特定的歸納結果，需要更多的實驗來推論；然而「結點」的延伸實驗結果與我們推測相當接近，舞者會以結點為中心進行繞圈，舞者運動軌跡分析詳見實驗日誌。

柒、結論

- 1、聲音是一種能量，而能量可以進行轉換，由擴音器發出的聲音能量，導致空氣振動，這股能量傳到舞台上，一部分能量使舞台輕微震動，一部分能量傳遞到毛根上，毛根開始舞動，經實驗推測，毛根舞動應是由舞台振動所帶動，並非共振現象，而且聲音轉換成使毛根舞動的動能。
- 2、在研究一發現：當聲音的分貝數在 65dB 以上，才能驅動毛根舞動；而移動所需的能量最低，分別是移動〈轉彎〈穩定前進〈加速。而實驗二的結果是：音源頻率越高，所需的分貝數也越高，才能驅動毛根。
- 3、在研究二發現：舞台高度越高，距離音源越遠，毛根舞動所需的能量越大、分貝數越大，舞台高度為 0 公分時，投影片會劇烈顫動，干擾毛根舞動，因此最理想的舞台高度是 1 公分。
- 4、在研究三：毛根的長度越長，驅動所需要的能量越大，應該是與舞台接觸面積較大，摩擦力較大的關係；而毛根的材質，有毛的毛根運動軌跡會比較多元有變化，所需的能量也較小；「結點」的延伸實驗結果是，舞者會以結點為中心進行繞圈，舞者運動軌跡分析詳見實驗日誌，；而「毛根走向」的延伸實驗並未具規律性，日後可再設計變項進行實驗。

捌、參考資料

1、全國中小學科展作品/第 54 屆/物理科/「聲」動凌「波」舞

<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=&a=0&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=137&sid=12248>

2、大愛電視/生活裡的科學/20160121 - 聲音共振

<https://www.youtube.com/watch?v=tUMiIEemkTk>