

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 物理科

第三名

080120

排笛排敵

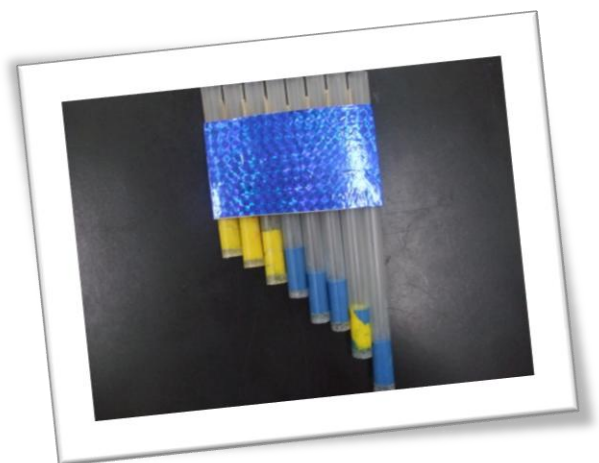
學校名稱：新竹市東區龍山國民小學

作者： 小六 蘇 遙 小六 柳奕丞 小五 林沅慶 小五 柳杰希 小六 吳望瑋 小六 張若芯	指導老師： 王敏甚
---	------------------

關鍵詞：聲音的傳播、吸管笛

摘要

研究、探討吸管填塞物、吸管軟硬度、吸管容積、黏土材質、黏土填塞吸管方式，以及整體排笛製作方式等各項變因，對自製吸管排笛所發出的響度以及音階的影響，嘗試尋祕以較快速、較精準的方式，製作出屬於自己的自製樂器 - 吸管排笛。



壹、研究動機

五年級自然課程中，有一個聲音的探討學習單元。老師在該單元的教學活動中，不僅要求我們分組學習、自製屬於自己的樂器，並讓我們分別上臺演奏自己的自製樂器。坐在臺下的我們對於各路“英雄好漢”的“奇特發明”物品，充滿了無限的好奇心……；其中，有許多同學利用日常生活隨手可見的吸管，來自製簡便的自製樂器—排笛。可是，當大夥兒個別演奏時，我們卻發現：有些人的吸管排笛幾乎沒有聲音，有些人的吸管排笛則可發出很大的響度；又，吹奏吸管排笛時，有些人的音階發音根本不準確……，諸如此類種種奇特的現象，深深吸引著我們的好奇心!! 因此，我們便決定走入吸管排笛的世界，嘗試找尋如何才能以最簡易的方式，製作出音階既準確、聲音又大聲的吸管排笛之旅……

貳、研究目的





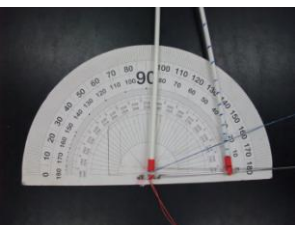

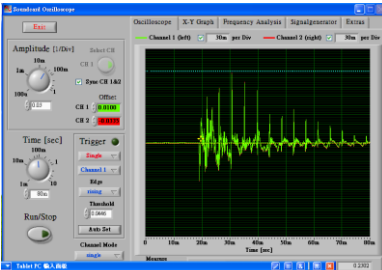


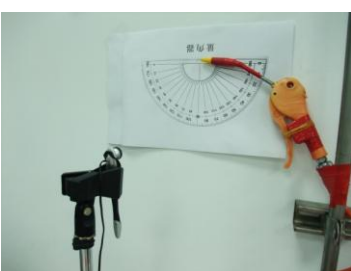
- 一、不同吸管填塞物對吸管發聲的影響
- 二、吸管排笛的吹奏角度與響度的關係
- 三、吸管口徑大小與與響度的關係
- 四、吸管的材質與吸管響度有關係嗎
- 五、吸管長度與音階間的關係為何

六、黏土的種類與填塞方式如何影響吸管的發聲

七、吸管排笛的外型應如何製作，才能最易拿取與吹奏

參、研究設備及器材

吸管(3*12、6*18、6*21、8*21、12*21、12*18)、膠帶、乾黏土、軟黏土、衛生紙、濕衛生紙、乾棉花、濕棉花、紙張、熱融膠、海紗毛線、法碼、石頭(1226g)、SoundCard Oszilloscope 軟體、塑膠棒、量杯(10cc、50cc、100cc)、各類粗細吸管、調音器、各類黏土(紙黏土、輕質土、輕黏土、超輕黏土及麵包黏土)、自製吸管壓制器、電子磅秤、麥克風、麥克風直立架、紙板量角器、法碼、塑膠盤、磁鐵、石頭、100cm 直尺、保麗龍膠、空氣噴鎗……

			
各種不同容量的量杯	各類黏土	電子磅秤	調音器及吸管
			
紙板量角器		法碼、塑膠盤、磁鐵、石頭	
			
聲音擷取軟體 SoundCard Oszilloscope		各類吸管	
			
自製吸管壓制器	麥克風、麥克風直立架、空氣噴鎗與量角器		
圖1 各類實驗器材圖			

肆、研究設計

一、研究架構

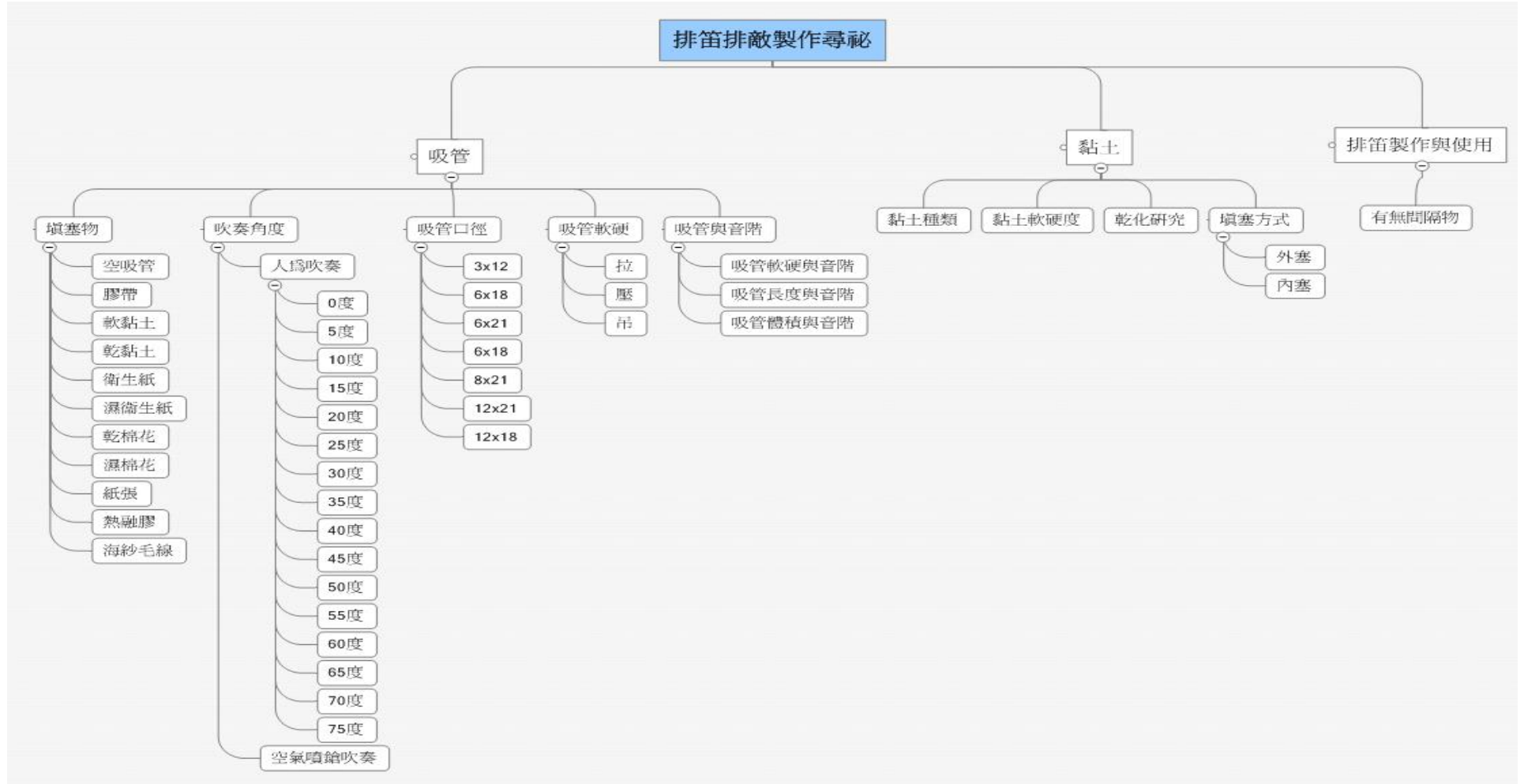


圖2 排笛排敵研究架構

二、研究流程

我們的實驗分為三大部分進行：

首先，我們研究吸管排笛最主要的器材—吸管，希望理解它在製作吸管排笛時，各項變因對製作排笛的影響。接著，我們針對吸管研究中所發現的較佳填塞物—黏土，進行較細步的研究，如市售黏土材質的研究、黏土於吸管中填塞方式的研究。最後，我們則探究何種造型的吸管排笛完成品，最符合我們的吹奏與使用方便之需求。

以下分別說明之：

(一) 吸管相關研究

- (1) 檢測不同的吸管填塞物，對於吸管排笛發聲響度的影響：
我們發現同學們在自製吸管排笛時，皆會在吸管底端填塞物品，而且填塞的物品似乎深深地影響著同學們所吹奏出來的響度。
- (2) 研究吸管吹奏角度與發聲大小的關係：
我們發現吹奏吸管排笛時，拿取吸管的角度的容易影響吸管所發出聲音的音量。
- (3) 我們觀察到市售的吸管大小不一，同學們也展示了各種不同種類吸管排笛的演奏。因此，我們刻意搜集了市售不同種類的吸管，研究其作為製作吸管排笛的可用性。
- (4) 在研究市售吸管排笛的發聲實驗中，我們意外地發現：吸管摸起來的質感(軟硬度)似乎會影響著吸管所發出的聲量；於是，我們集思廣義地想盡各種方式，來驗證我們的假設：較硬吸管就能發出較大的響度。
- (5) 由於製作吸管排笛最終目的需上臺演奏曲目，因此，吸管排笛的吸管與音階間的關係就密不可分。因此，最後我們將實驗研究從吸管軟硬與音階關係，延伸至吸管長度與音階的關係、吸管容積與音階的關係，以便協助同學們，找出最快速製作出高音準吸管排笛的方法。

(二) 黏土相關之研究

- (1) 首先，我們針對市售黏土作一次廣泛的調查，尤其各種黏土的種類與特性
 - (2) 其次，我們研究市售黏土軟硬程度與乾化的狀況
 - (3) 除此之外，我們還研究了吸管排笛中的黏土，應該如何最佳地與吸管合作，才能較長久地保持其音準。
- (三) 最後，我們研究吸管應以何種方式排列為排笛，才能達到最方便使用，以自娛娛人的目的

伍、研究過程與方法

研究一：吸管相關研究

實驗一：不同吸管填塞物對吸管發聲的影響

方法：使用空吸管(不填塞任何物件在底端)、膠帶、乾黏土、軟黏土、衛生紙、

濕衛生紙、乾棉花、濕棉花、紙張、熱融膠、海紗毛線等物品，作為吸管填塞物實驗



結果：

1. 凡是填塞物間的空隙太大，容易流通空氣者，吹奏起來會產生很大的氣聲，例如膠帶、乾的衛生紙、乾棉花、海紗毛線等物品。
2. 使用濕衛生紙、濕棉花、乾黏土、軟黏土、熱融膠作為吸管填塞物時，皆可以發出較大的聲響；不過濕衛生紙、濕棉花易因空氣的流動而變乾、縮小，增大空隙，因此，並不適宜作為實驗吸管的填塞物；而使用熱融膠作為吸管填塞物，則較具危險性；因此，後續我們的實驗皆以軟黏土作為吸管填塞物。

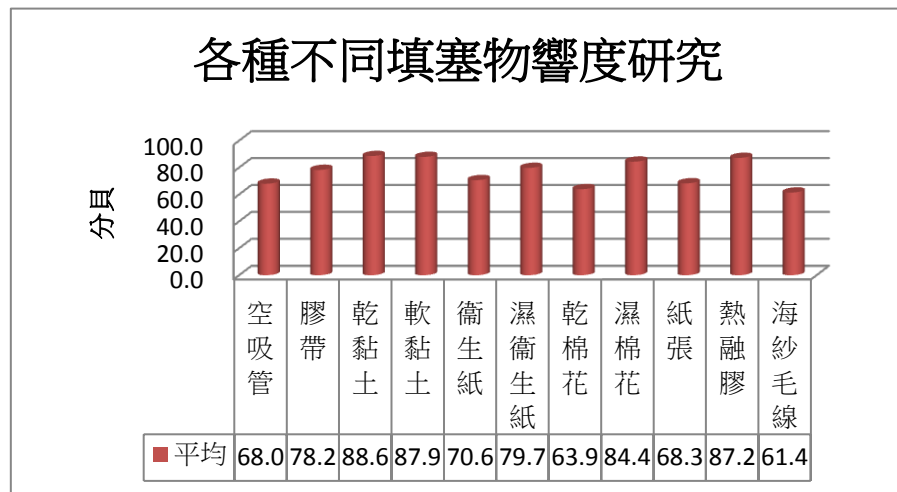


圖 4 各種不同填塞物響度研究

實驗二：吸管角度與響度之研究

方式(一)：以人吹奏吸管排笛進行實驗

方法：

1. 以“實驗三：吸管口徑與響度研究”研究結果中，能發出較大響聲，且以軟黏土填塞之口徑12X18無名吸管編號 4-1為實驗器具

2. 使用了數學課的大量角器、塑膠桿及棉線，每隔5度繪

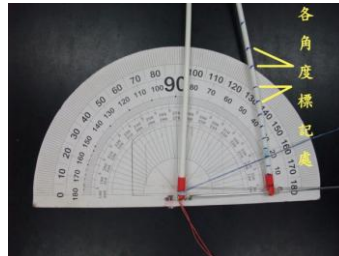


圖5 以量角器繪製吸管吹奏時的角度依據標準

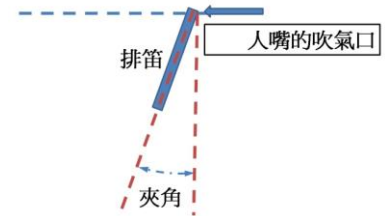
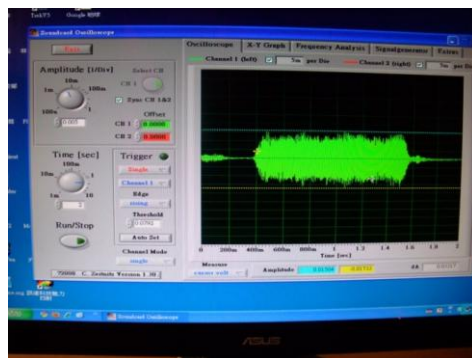


圖6 以人吹奏吸管時的角度量測方式

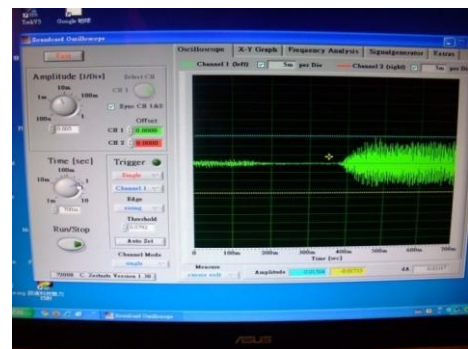
線作記號，製作吹奏吸管時的角度參考。

3. 進行了從0度角至75度角，每隔5度即做一次實驗之研究

4. 使用 SoundCard Oszilloscope 軟體進行音頻擷取，擷取時務必使該音階的音頻數值完整地出現在螢幕上，才能取得較準確的高、低音頻平均值。



完整呈現的音頻



未完整呈現的音頻

圖7 使用 SoundCard Oszilloscope 軟體進行音頻擷取注意事項

分析：



1. 從0度至30度間的吸管吹奏角度，隨著吸管傾斜度增加，嘴巴所吹出的空氣，進入吸管中的量漸減；且，從35度角開始，吹奏時會開始產生氣聲。



圖8 正確吹奏吸管角度的嘴型

2. 發現吹奏吸管的嘴型應有大致的模式，否則不易吹出好聲音。

結果：

1. 發現同一人在同一時段吹奏同一吸管的響度表現，仍具有差異性，很難有一致的出氣量。

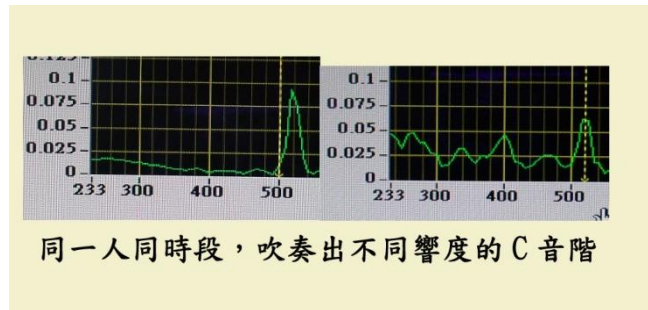


圖9 同一人同時段，吹出不同響度

2. 以吸管傾斜5度角所吹出的響度最大

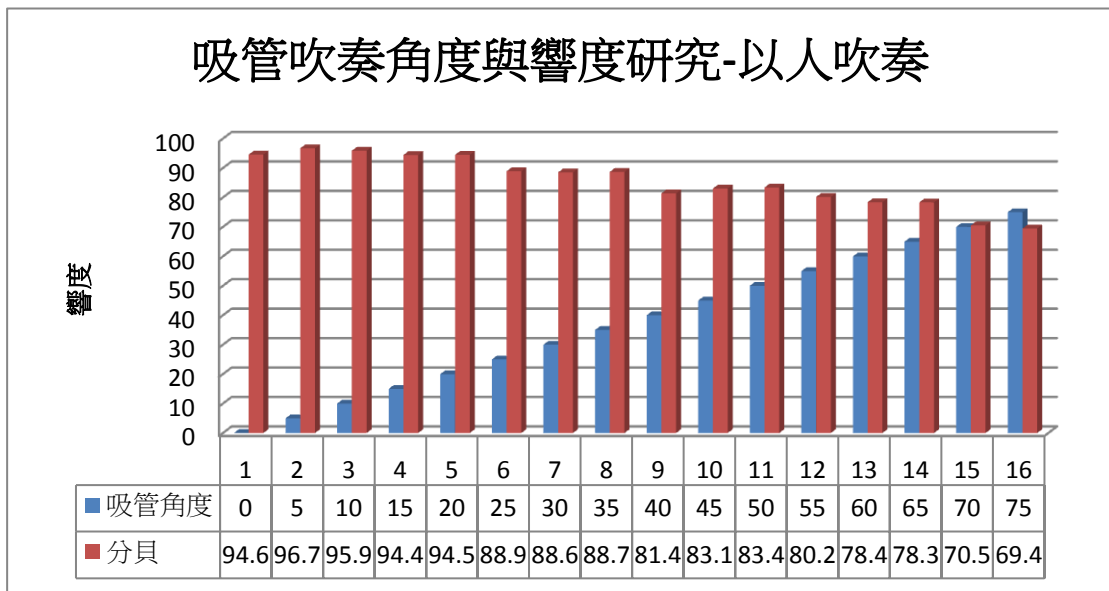


圖10 各種吸管吹奏角度與響度之研究

方式(二)：使用較客觀、可持續自動噴氣的空氣鎗，進行實驗

參考下文 **實驗五：吸管與音階之間的關係** 實驗



圖11 持續性自動噴氣的空氣鎗實驗

實驗三：吸管口徑與響度研究

方法：

1. 以市售無名吸管進行實驗
2. 使用5度吸管角度吹奏
3. 使用分貝器進行測音，並注意吸管吹奏距離、角度及吹奏者為同一人的控制變因。
4. 無名吸管的編號原則為：
吸管口徑-吸管軟硬度-同口徑、同軟硬度的不同吸管；愈細的吸管，編號愈小。

分析：

1. 市調發現：市售吸管只有吸管口徑(毫米)與長度(公分)的區別；例如：3x12 表示吸管口徑大小為3mm，而且其吸管長度為12cm，並無其他吸管材質、厚度……的分別，如圖12。
2. 發現市售吸管即使口徑與長度相同，摸起來的感覺卻很不相同，尤其是吸管軟、硬的感覺最明顯。

結果：

1. 吸管的口徑愈大，則發出的響度愈大聲。
2. 材質較佳的吸管，其硬度也相對地較硬。

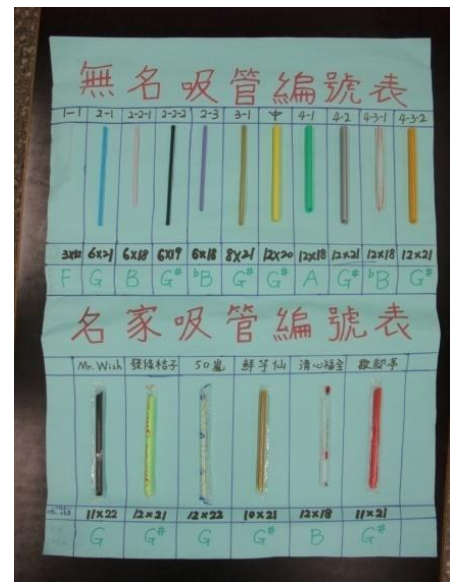


圖12 無名吸管 與 名家吸管

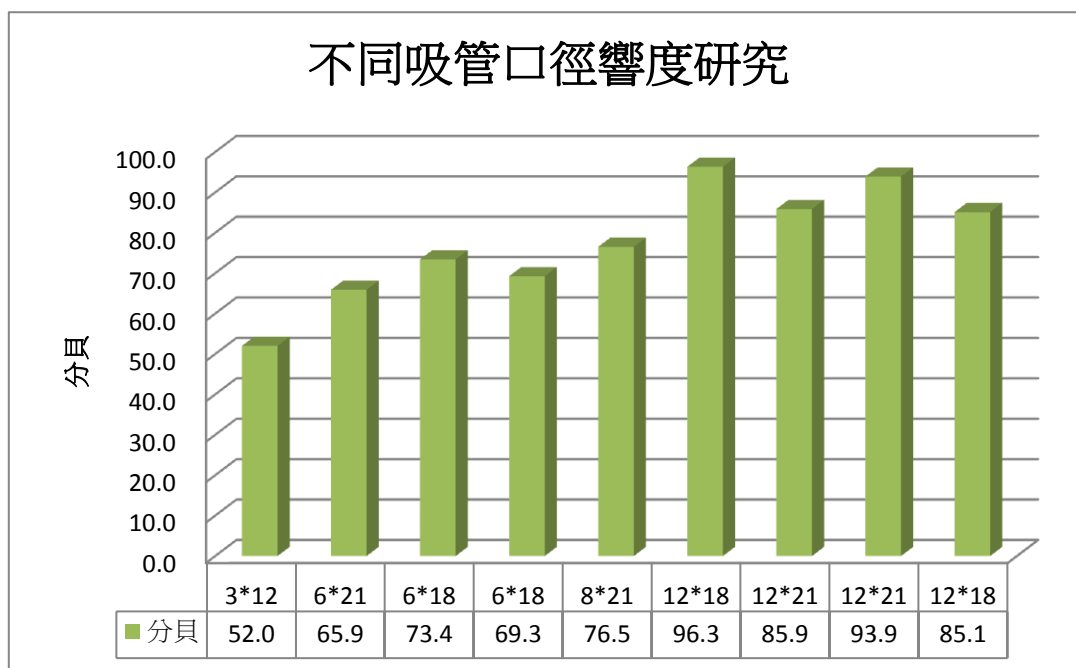


圖13 不同吸管口徑響度研究

吸管編號	1-1	2-1	2-2	2-3	3-1	4-1	4-2	4-3-1	4-3-2
口徑	3*12	6*21	6*18	6*18	8*21	12*18	12*21	12*21	12*18
分貝	52.0	65.9	73.4	69.3	76.5	96.3	85.9	93.9	85.1

圖14 無名吸管編號與響度表列

實驗四：吸管硬度研究

我們注意到：名家吸管中，似乎吸管愈硬，所能發出的聲音就會愈大聲。因此，我們大膽假設吸管的硬度，會影響吸管響度。

方式(一)：使用重物垂吊方式進行實驗

方法1：用手的拉力試拉吸管使其彎曲；並欲檢測當吸管達致彎曲狀態時，與手拉力相同的重物重量，來決定吸管的硬度。

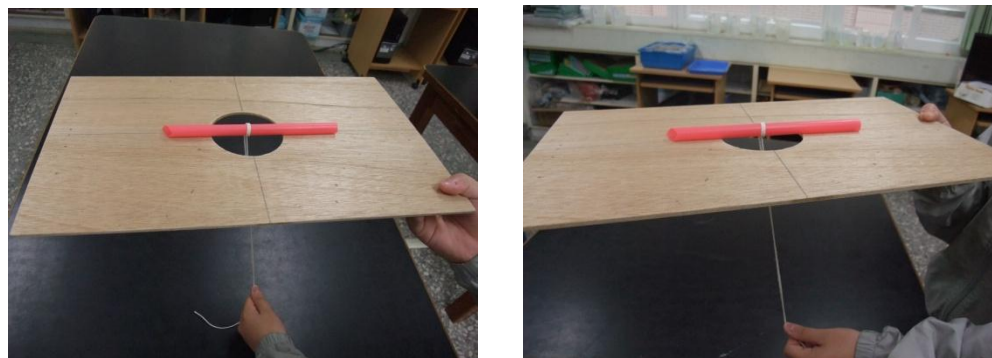
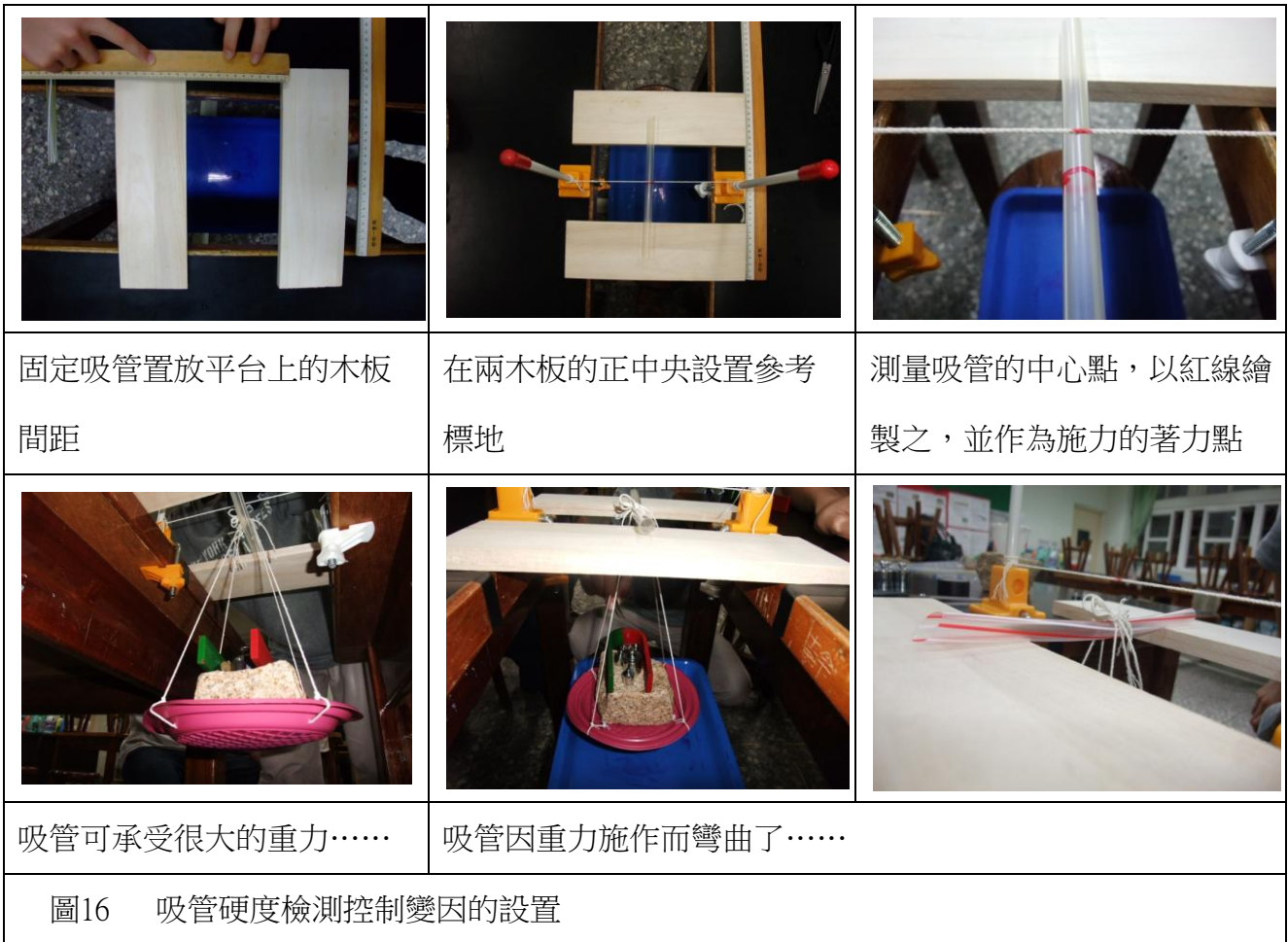


圖15 利用拉力檢測吸管硬度圖

結果1：失敗

因為，當手的拉力至某種程度時，吸管整個從洞中快速飛出；一方面十分危險，另一方面，拉力亦不易檢測。因此，我們放棄了這個方法。

方法2：使用了原始的重物垂吊式概念，謹慎小心地設置控制變因



分析2：

1. 當施加重物垂吊吸管時，例：法碼，不可以接連著放置法碼，必需每放置一個法碼，等待約20~30秒，待吸管確可負重該重物重量時，才可再加上另一個法碼；尤其是當吸管已產生彎曲現象時。
2. 所有吊重物必需保持施重時的平衡，以免使數值誤差太大。

結果2：成功

1. 任意飲料店吸管至少都可以負載1200g 以上的重量；品質較佳者，甚至則可以負載至2000多克的重量。
2. 清心福全負重量最大，Mr. Wish次之，負重最差的則是仙芋鮮。

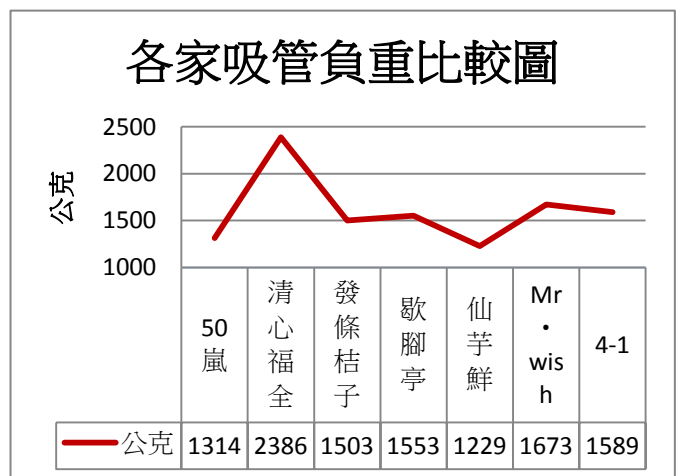


圖17 使用吊重方式測量

方式(二)：使用自製吸管壓制器進行實驗

期望能更精準地檢測吸管硬度

方法：

1. 藉由可旋式的接頭，試著以光線投影方式，控制木桿下壓程度；並利用磅秤，檢測吸管受“壓”力量的大小，決定吸管硬度。
2. 利用手電筒投影實驗，檢測使用壓克力片下壓吸管2公分的壓力值。

分析：

1. 發現當木桿下壓時，電子磅秤上的數據便從原有的壓力，例如：141，慢慢地一一減少其數值，直至負數仍未終了……。
猜測：可能是因為吸管並非理想的彈性體，所以當木桿下壓時，吸管產生了彈性疲乏的現象，導致彈力變小，讀數因而減少。
2. 為了證明彈性疲乏因素使磅秤數值減少，我們利用彈性較佳的橡皮擦來實驗：並使用壓克力片下壓橡皮擦(使壓力均勻分布)，發現磅秤數值果然可以較為穩定。如圖19
3. 發現投影指針太大，易造成下壓程度不易辨別(如圖20)；因此改用漆包線作為投影指針(如圖21)。
4. 發現接收投影影像的珍珠板較遠，圖形雖可較大，卻看不清楚，反而，珍珠板放近些，投影影像可以較清楚呈現(圖22)。
5. 為了能更便利地操作並攜帶“吸管壓制器”，我們將投影的手電筒改裝在器具身上，並直接將投影也成像在器具本身上(圖21)。

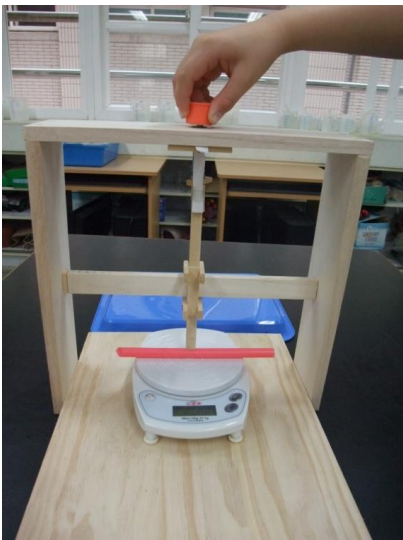


圖18 自製吸管壓制器



圖19 使用橡皮及壓克力板

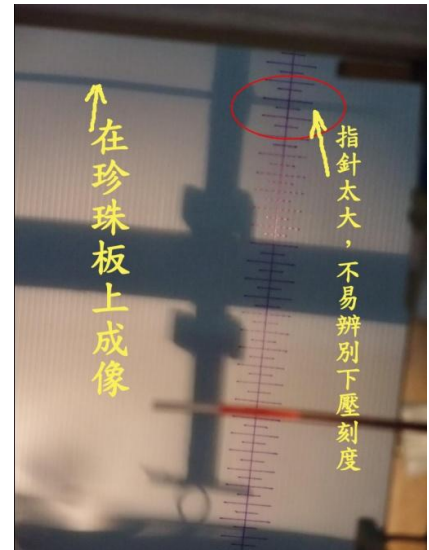


圖20 指針太大

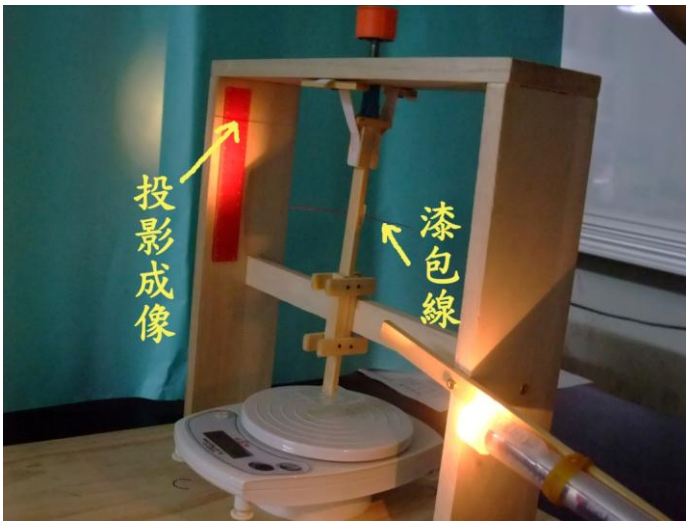


圖21使用漆包線投影在壓制器身上

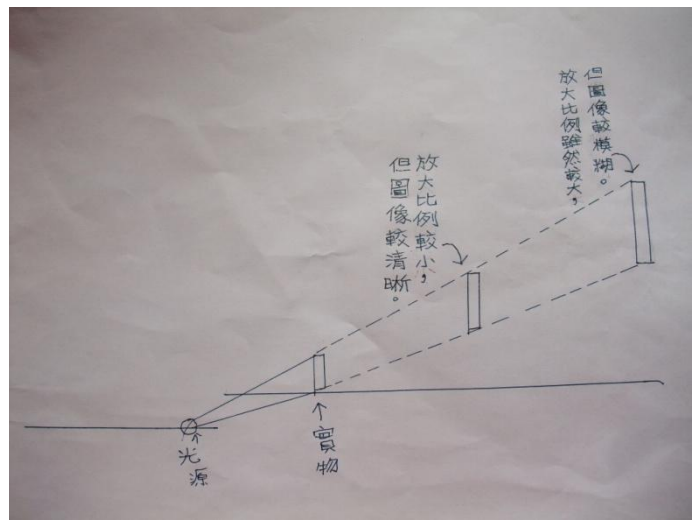


圖22 成像距離研究

結果：成功

1. 清心福全負重量最大，Mr. Wish次之，負重最差的則是無名吸管4-1。
2. 清心福全、Mr.Wish、發條桔子、50嵐在吊重及吸管壓制器實驗中的排列順序是相同的，而歇腳亭及無名吸管4-1則較不穩定。

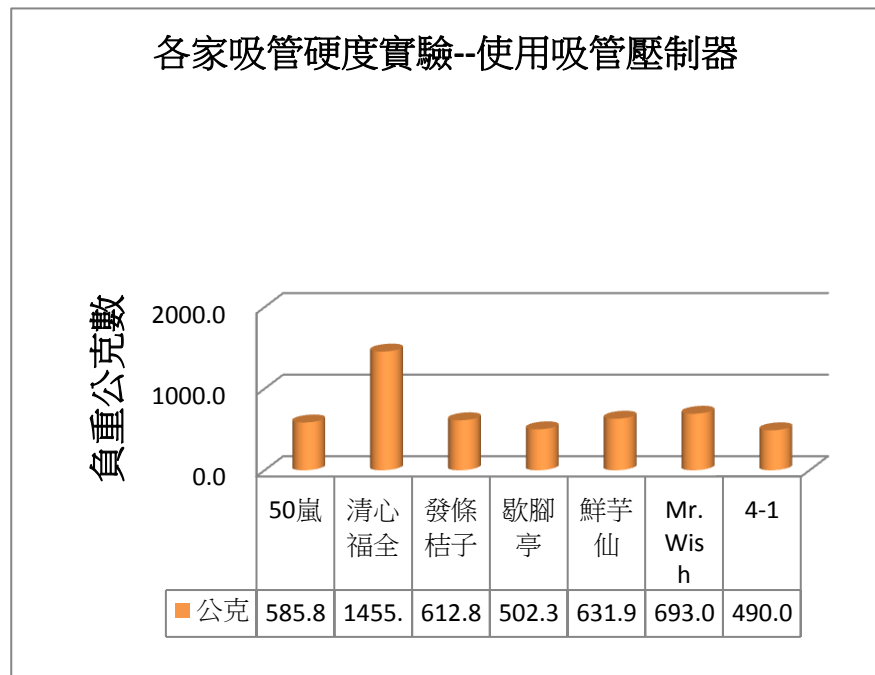


圖23 各家吸管使用壓制器硬度實驗

實驗五：吸管與音階之間的關係(三個向度)

方法：

1. 使用調音器、各名家吸管為實驗器具
2. 以(圖11)的固定空氣鎗進行實驗(參考實驗二之方式(二))；固定吹氣口方向、吹氣量、麥克風收音距離，並將麥克風連接至電腦，如前圖6
3. 排笛要發出聲音，空氣鎗與吹氣方向約須呈 60 ~ 75 度之間,如附圖25
4. 排笛需與空氣鎗吹氣口保持約 0.2 ~ 0.5 cm 左右距離，才可發出聲響，如附圖26
5. 利用橡皮及木塊的配合使用，來控制空氣鎗的持續出氣量，如圖27



圖24 調音器與吸管

6. 使用"Soundcard Oszilloscope"擷音軟體時，需選擇 "Frequency Analysis"而非 "Oscilloscope" 模式。

因為排笛的聲音頻率通常落在 400 ~ 1200 Hz 範圍內(如附圖28)，若使用 "Oscilloscope" 模式觀看排笛的聲音波形，由於空氣鎗吹氣時亦會產生高頻的雜訊干擾，因此，將使得單純聲音波形的強度不易被判斷出來，如附圖29。

而，使用 "Frequency Analysis" 模式觀看排笛的聲音波形，此時空氣鎗吹氣時所產生的高頻雜訊干擾，並不會影響到排笛單純的聲音波形強度判斷，可清晰擷取響度，如附圖28。

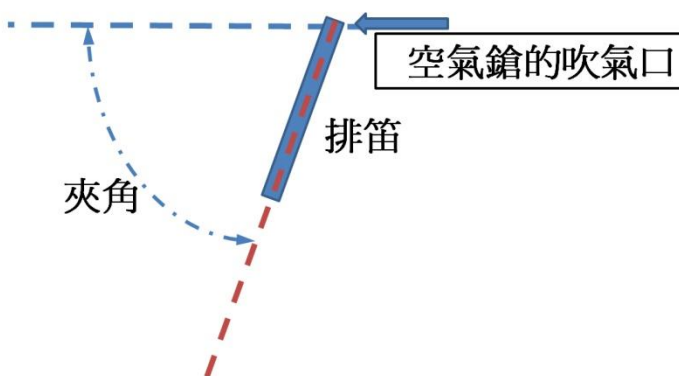


圖25 以空氣鎗吹奏吸管時的角度量測方式



圖26 排笛需與吹氣口保持約0.2 ~ 0.5 cm左右距離



圖27 控制空氣鎗空氣流量方法(固定法)

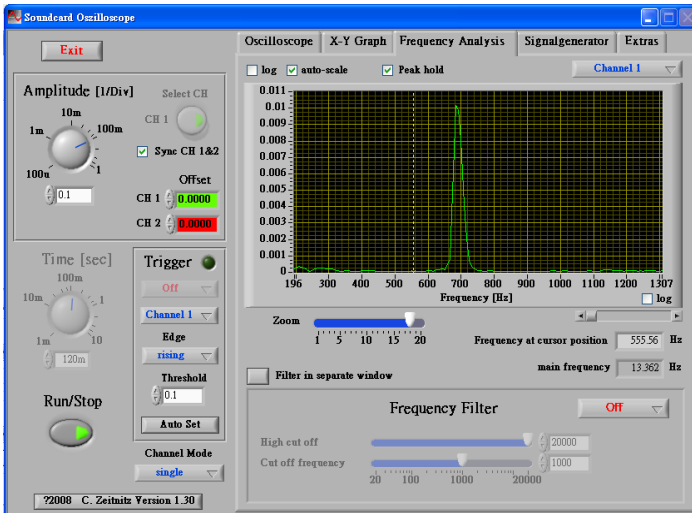


圖28 排笛音頻約為 400 ~ 1200 Hz 範圍(使用 Frequency Analysis模式觀看)

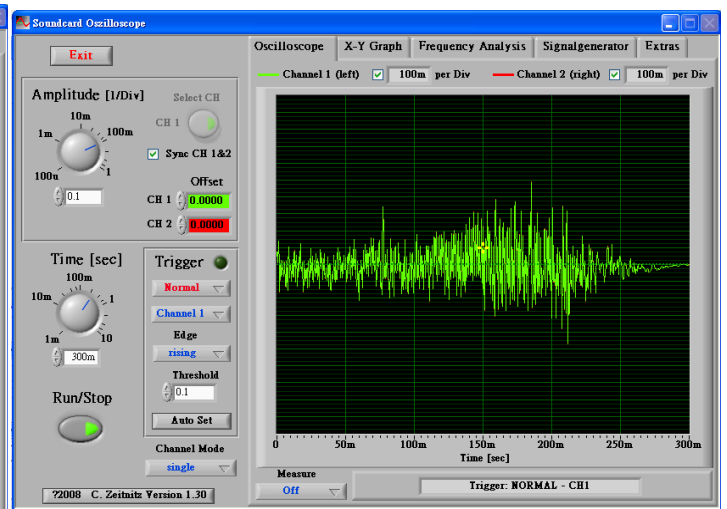


圖29 使用Oscilloscope模式不易觀看排笛聲音波形

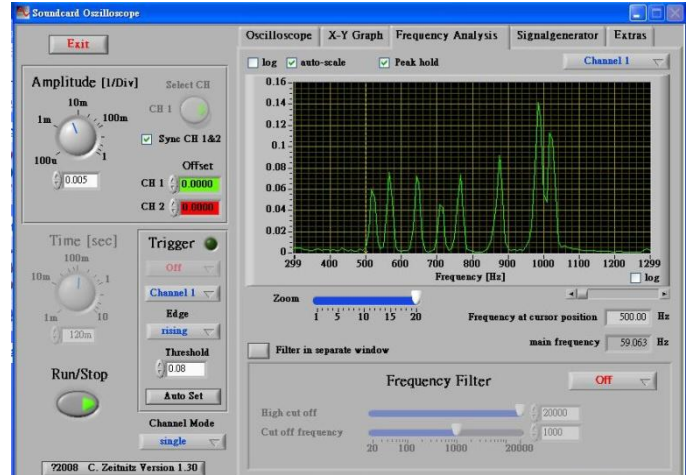
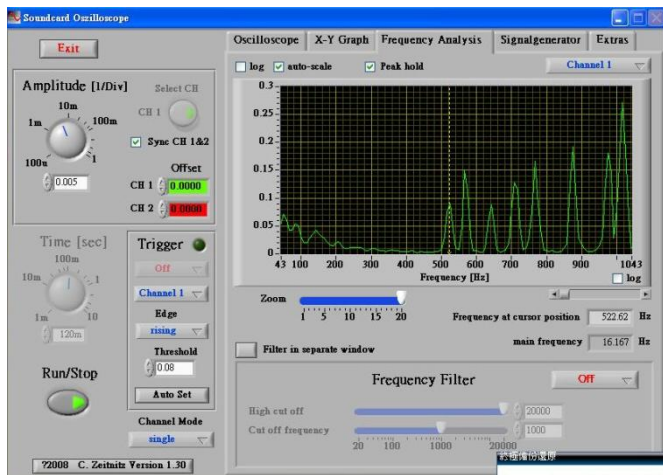


圖30 顯示同學甲(左圖)與同學乙(右圖)所吹奏的各音階，響度不同，但頻率值是相同的(八個音階出現的聲音波形概貌)

方式(一)：吸管軟硬度與音階關係實驗

分析：

1. 發現每個人操作空氣鎗所得的八個音階，雖然響度與聲音波形不盡相同，但，每個音階的頻率值是相同的(例如C音階約在頻率520 Hz)，而且，其聲音波形大致會如附圖30。因此，如必要時，"Soundcard Oszilloscope"擷音軟體可取代調音器作為樂器調音器。
2. 每家吸管在各音階響度的表現，大致上呈現愈高音階響度愈大的現象；據實驗者分享及小組討論，我們認為：因為音階愈高，吸管愈短，進氣量容易較完整，也因此能產生較大的響度。
3. 原本我們大膽地假設較硬的吸管應該產生較大的聲響；所有同口徑的粗吸管中，以清心福全質感最硬，可是，它的表現卻不盡如我們原先想像的佳!! 因此，後續我們更深入進行吸管長度與音階關係，以及吸管容積與音階關係之研究。

結果：

- 各家吸管在E及B兩個音階的表現上，呈現較明顯的下降音頻現象；而，在D、G及C+三個音階的表現上，則呈現上揚音頻的現象。

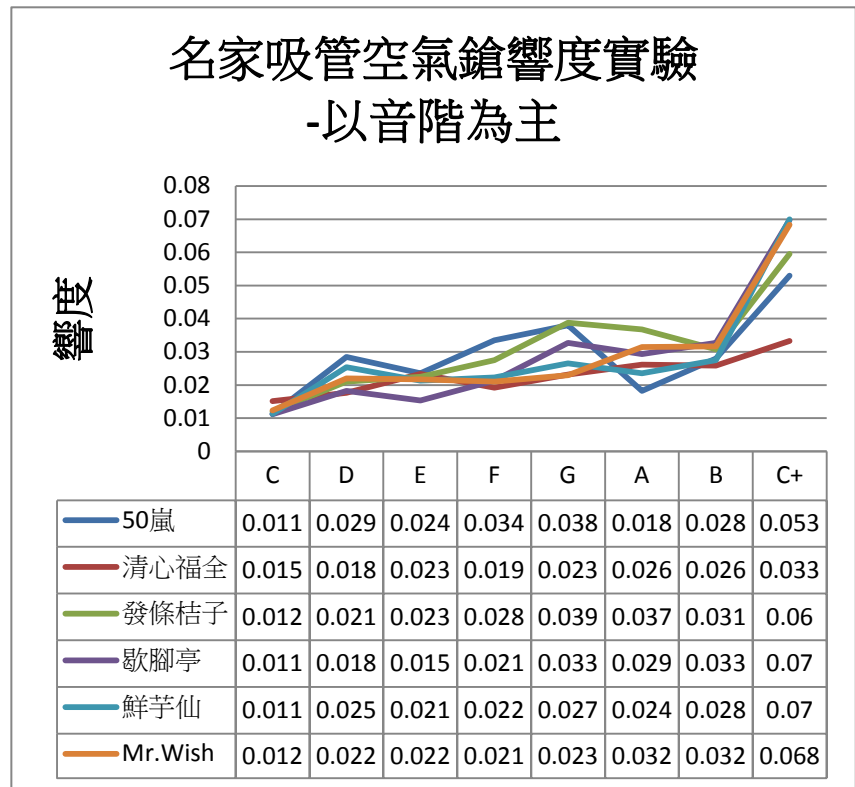


圖31 名家吸管音頻比較表-以各家吸管為主

- 透過下圖32 吸管負重結果與其響度相關圖，以及吸管壓制結果與其響度相關圖，我們可以得到一致的結果-----吸管的硬度其實與吸管的響度並不相關

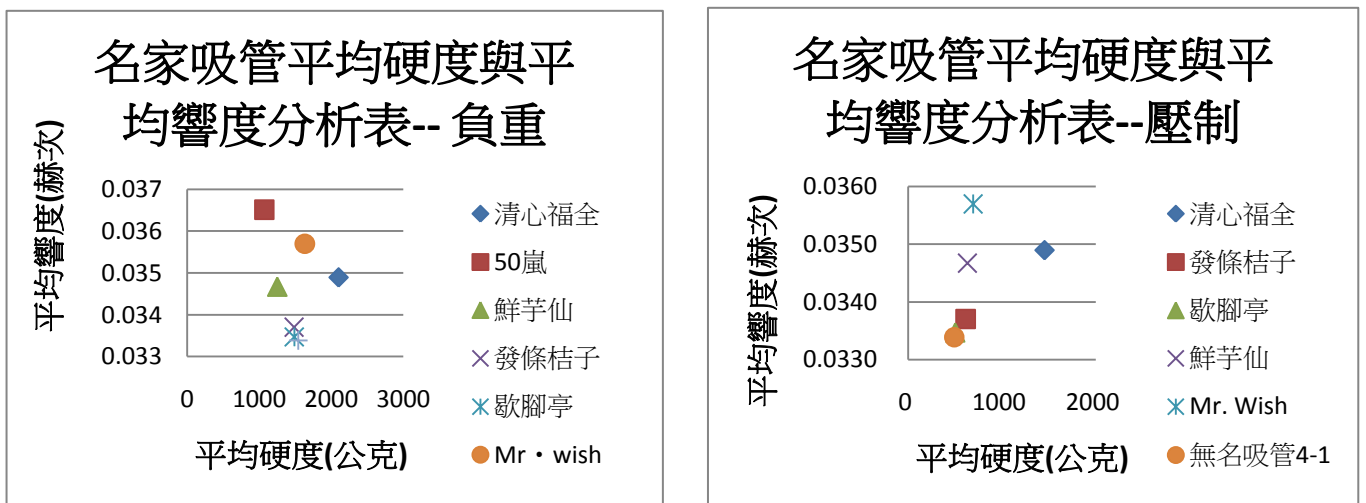


圖32 名家吸管平均硬度與平均響度分析表(含負重與壓制實驗)

方式(二)：吸管長度與音階的關係實驗

過程：使用調音器調整名家及無名吸管，各吸管音階頻率表現，使其符合所需音階後，再使用直尺測量排除黏土成分外之吸管空氣柱管長。

結果：

1. 綜合名家吸管與無名吸管各音階的吸管長度，我們發現以下數值

音階	C	D	E	F	G	A	B	C+
吸管長度概值	16.5	14.8	13.3	12.4	11	9.8	8.5	7.9

可以作為同學們快速製作吸管排笛各音階吸管長度的參考值

2. 實驗數據如附圖33無名吸管與音階，及名家吸管與音階的圖34

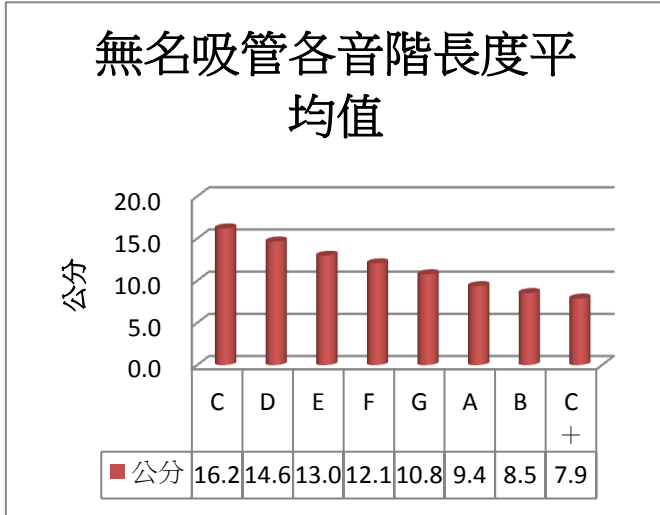


圖33 無名吸管各音階長度平均值

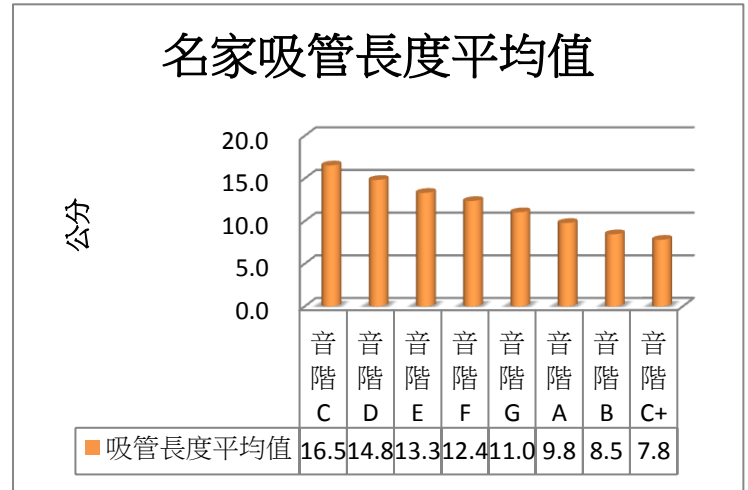


圖34 名家吸管各音階長度平均值

分析：

- 經由上列各音階吸管長度實作成果與資料探究，我們發現：各音階的吸管長度乘以該音階的頻率(參考“新十二平均率”)，幾乎可以獲致一個常數值。
- 透過計算各音階長度乘以頻率的平均值，再除以我們所實測的各音階吸管長度，我們可以得致一個推導的音階頻率值。

吸管長度 (cm)	音階	實測頻率 (Hz)	推導頻率 (Hz)	長度 X 頻率
16.5	C	526.6	525.08	8688.9
14.8	D	595	585.39	8806
13.3	E	668.8	651.41	8895.04
12.4	F	700.4	698.69	8684.96
11	G	789.9	787.62	8688.9
9.8	A	890	884.06	8722
8.5	B	1000.5	1019.27	8504.25
7.9	C+	1053.2	1096.68	8320.28

推導頻率 = (長度 X 頻率的平均值) / 吸管長度

例如：8700 / 16.5 == 527.27

所以，C音階的音頻大致為512左右

平均值：8663.79

表1 各音階頻率推導表

3. 經由下圖35實測頻率與推導推導頻率相關圖的呈現，我們發現：
- (1) 各音階的推導頻率與實際頻率的誤差值並不大
 - (2) 綜合圖35與上表1，我們可以非常輕易地利用我們實作所得的長度乘以頻率平均值、各音階吸管長度以及各音階頻率間的相關性；概略換算各音階的吸管長度或頻率值。其換算公式約為：

$$\text{音階吸管長度} = \frac{8700}{\text{音階頻率}}$$

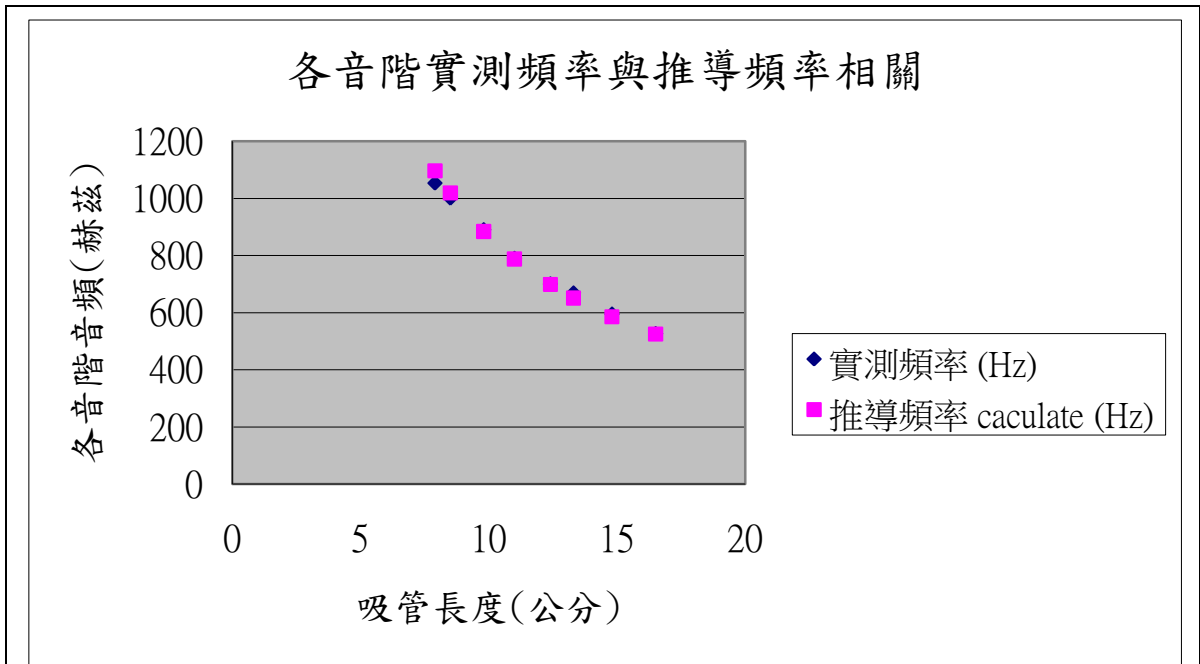


圖35 各音階實測頻率與推導頻率相關圖

方式(三)：吸管容積與音階的關係實驗

由於上列“方式(一)吸管硬度與音階關係”實驗中，我們發現較硬的名家吸管—清心福全，並未能發出較大的響度；因此，我們想再仔細的觀察、實驗各家吸管的容量與響度間的關係。

方法：

1. 以水裝入吸管來檢測容積。為避免水的表面張力影響實驗數據，我們以平尺或其他物品去除水的表面張力所造成的水面凸起狀態(附圖36)。再以一般吃藥用的10cc 小量杯，作為容量檢測的標準(附圖37)。



圖36 水的表面張力處理

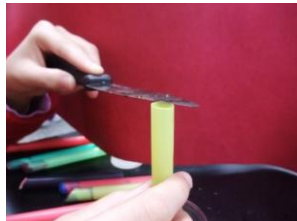


圖37 吸管容積檢測用水杯



結果：

1. 同口徑名家吸管中，容積的大小約略為：發條桔子>4-1 >清心福全>歇腳亭 >Mr.Wish>50嵐。
2. 吸管容積量的表現與其響度成反比，見下圖39 “各家吸管響度與容積相關圖” !! 換句話說，容量較小，響度會較大。我們雀躍地解答了我們先前大膽假設的錯誤，也就是並非較硬的吸管就能發出較大的響度；原來，吸管的容積量在吸管響度表現方面，扮演著重要的角色。
3. 各家吸管長度與容積比較圖、各家吸管響度與容積相關圖；如附圖38、圖39：

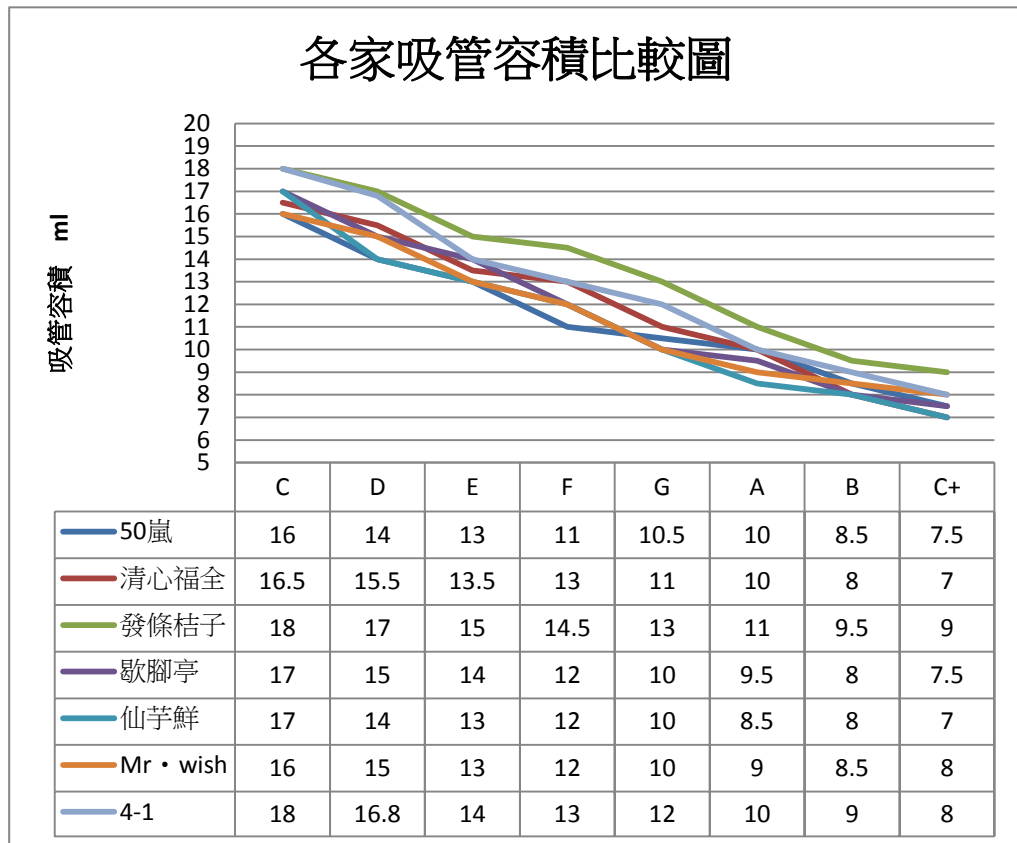


圖38 各家吸管長度與容積比較圖

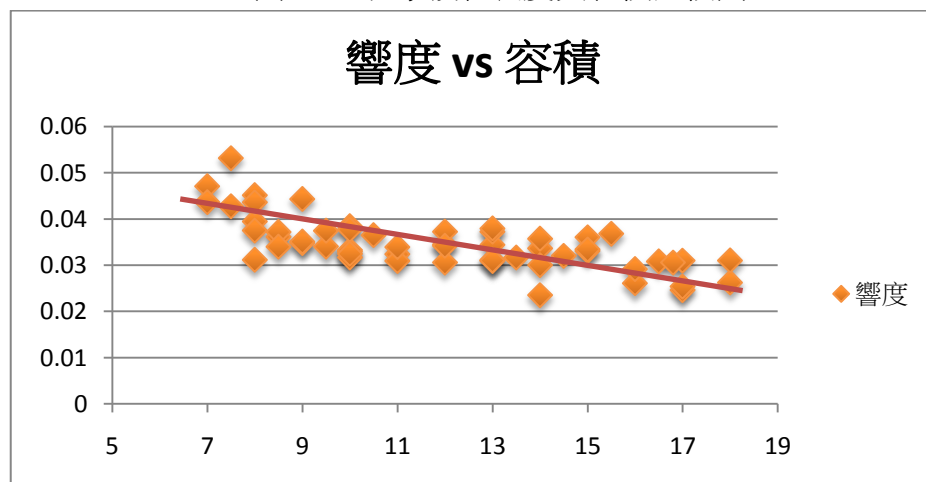


圖39 各家吸管響度與容積相關圖

研究二：黏土相關研究

實驗一：市售黏土種類研究

方法：市調法

結果：

1. 一般市售黏土種類雖然繁多(圖40)，名稱上大致可區分為紙黏土、輕質土、輕黏土、超輕黏土及麵包黏土等類，其主要成分則為聚烯、中空樹脂、樹脂、麵包、塑膠等。
2. 輕質土或輕黏土中，若名為彩泥者，較屬於幼兒兒童玩具黏土，若名為創意彩色黏土類，則屬於小學生所使用之美勞教材。
3. 另發現寫著英文字 “Modeling Clay” 字樣，標名 “Never Dries out” ，似乎是進口的彩色黏土，也是本實驗較佳的使用原料。

圖40 市售黏土種類圖示



實驗二：黏土軟硬度研究

方法：重力加速度法-- 以小時候玩泥巴遊戲時的把戲，將黏土從上空140公分處，往地上墜落，進行黏土軟硬度的研究。

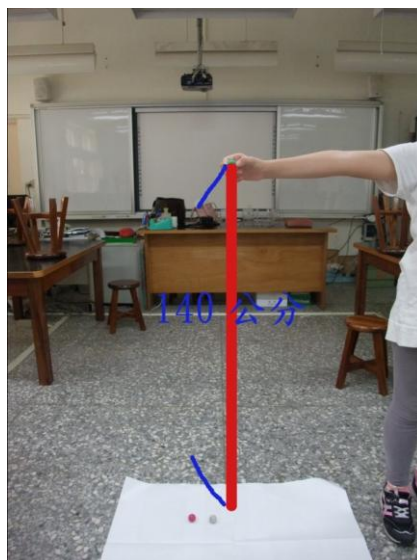


圖41 黏土軟硬度實驗

1. 先秤相同重量(4g)的上兩類黏土，各又分為兩組：有包覆保鮮膜與無包覆保鮮膜各兩顆。如附圖42
2. 各糰黏土需均先搓揉一分鐘後，再進行包覆保鮮膜動作
3. 每隔兩天，就以重力加速度方式，畫下黏土在紙面上所呈現的底面積大小，以決定其軟硬程度。如附圖41

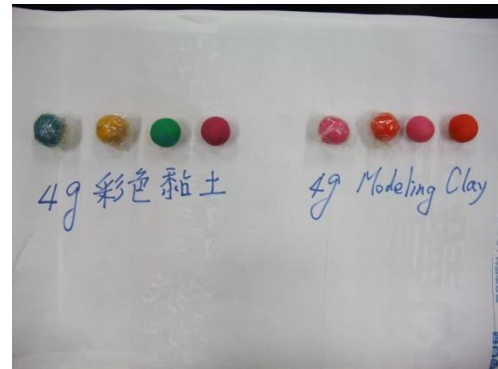


圖42 黏土研究標的

結果：

1. 包覆保鮮膜的兩類黏土均較不包覆者不易硬化。
2. 黏合性最佳的為國外進口Modeling Clay黏土，其次是創意彩色黏土。

實驗三：黏土包覆吸管型態研究

一般吸管排笛的黏土極容易發生乾裂的現象。我們針對此現象，進行了以下的研究，以了解黏土應如何包覆吸管，才能較長久地保存排笛的原音。

方式(一)：飽滿地塞入黏土

方法：改良一般僅以外包黏土(見附圖43)，來製作吸管排笛的方式，為吸管“飽滿地塞入黏土”(圖44)。

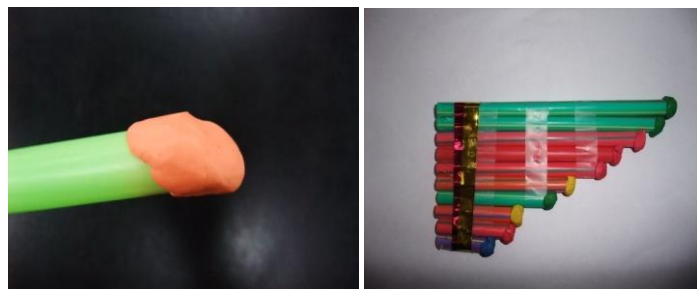
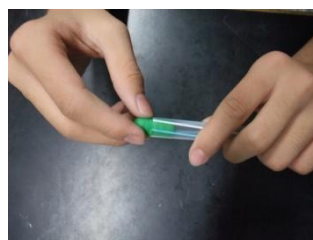


圖43 一般僅以黏土外包吸管來製作排笛



秤重4公克黏土



以塑膠管紮實塞入黏土



圖44 紮實填黏土入吸管

分析：

因為以塑膠管紮實塞黏土入吸管，所以，吸管内較不易產生空隙，相對較不易變音。

結果：



實驗(一) 吸管

方式(二)：飽滿地塞入黏土外，再外包覆2g黏土

方法：為上列方式一的方式，再外加包覆約2g的黏土在吸管外面。

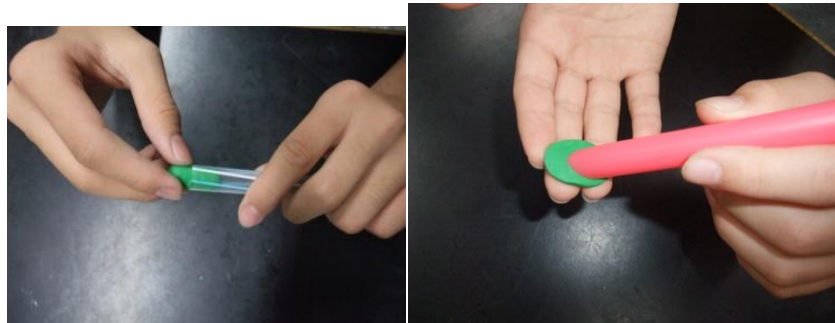


圖45 除飽滿地塞入黏土外，再外包覆2g黏土在吸管外面

方式(三)：使用實驗(一)黏土後，再以保麗龍膠外覆約1~2公分深度(圖43)

方法：如下圖46



圖46 以保麗龍膠再外覆約1~2公分深度後的吸管

總結：

1. 方式(一)，因黏土深入吸管約2~3公分，即使靠吸管的外圍有些微的細縫(圖

47)，其黏土保護音階不變音的時間，仍可較僅以黏土外包者(圖43)，維持更長久的音準性。

2. 方式(二)，發現空氣中的水氣日久會影響黏土與吸管間的接著性，外面包覆的黏土因此產生脫離吸管現象。
3. 方式(三)，因為保麗龍膠會滲透進入黏土中，並產生氣泡，如附圖48，所以可以最長久、最有效地保持吸管排笛音準性。



圖47 經過填塞後的吸管，即使有些微細縫，也不會使音準改變

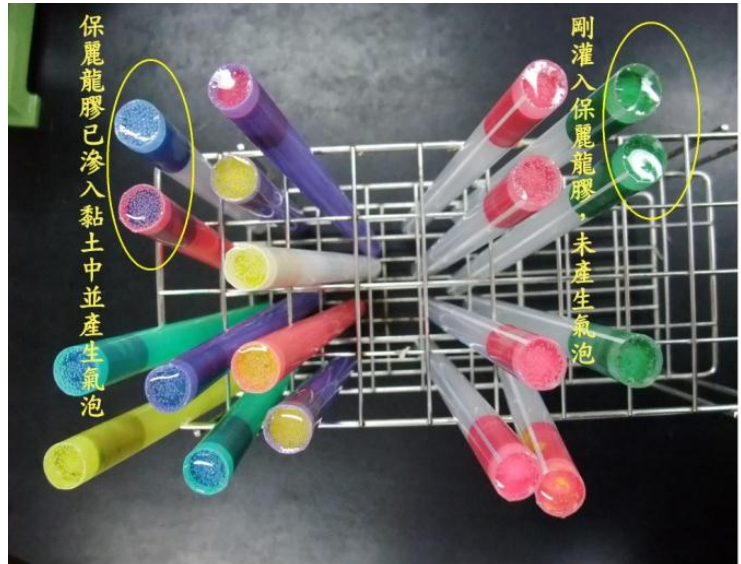


圖48 保麗龍膠中出現空氣泡

研究三：吸管排笛的製作與使用

一般排笛的製作，多半以各根吸管排列在一起後，完成之(見圖49)；我們發現下列方法可製作更佳的排笛。

方法：

將各根音階吸管間，再加上約0.5公分的間隔，且以較硬的紙板將各音階吸管間隔起來(見圖48)



圖49 一般吸管排笛的做法

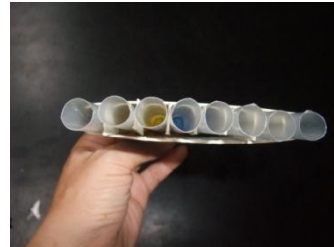


圖50 較佳吸管排笛的做法

結果：

- (一) 吹奏起來較不會混到其他的音階
- (二) 排笛拿在手上演奏時的感覺更為順手

(三) 排笛下方的黏土包覆，彼此之間也較不容易因間隔太小而受到影響

陸、研究結果

根據我們的研究架構與研究目的，我們分為三大向度，包含吸管本身、黏土以及整體排笛製作模式，探討如何協助一般人選擇最佳的模式及材料，製作較高音準，較易使用的自製排笛。由上列各實驗，我們可以歸結出以下的結論：

一、吸管自製排笛的製作務必要在吸管底端填塞物質，使空氣不致於外洩，增加排笛的響度。

二、自製吸管排笛的底端填塞物，以一般隨手可得黏性較佳之彩色黏土為佳，如有外國進口之modeling clay(never dries out)產品，則更佳。

但，切勿使用可讓空氣透通之填塞物，如海紗棉線、衛生紙、棉花…等。

三、吹奏自製吸管排笛時，吸管的拿取角度以5度傾斜最能產生響度。

四、自製排笛的吹奏響度與吸管的硬度並無相關性，但與吸管的容積量則成反比；也就是吸管容積愈小，響度愈大。

不過，吸管硬度較佳者，質感較好，也較易發出較大的響度。一般建議取用較有名氣的飲料店所贈之吸管，如發條桔子、清心福全或Mr.Wish…… 品牌為佳。

五、市售各家名家吸管在各音階響度的表現上，呈現愈高音階響度愈大的現象；據實驗者分享及小組討論，我們認為：因為音階愈高，吸管愈短，進氣量容易較完整，也因此能產生較大的響度。

六、由本研究得知：自製吸管排笛時，各音階的吸管長度約可參考下表：

音階	C	D	E	F	G	A	B	C+
吸管長度	16.5	14.8	13.3	12.4	11	9.8	8.5	7.9

另，我們由實驗中推導出以下公式：

8700 (經由實驗所得之各音階吸管長度乘以頻率的平均值)

$$\text{各音階吸管長度} = \frac{\text{-----}}{\text{各音階頻率}}$$

- 七、自製吸管排笛的黏土填塞方式是：不僅要以黏土紮實填入吸管内，最好再使用保麗龍膠注入約1~2公分深度，以隔絕空氣隙縫，使吸管音準保護得更加長久。
- 八、自製吸管排笛的整體外型製作方面，則以各根音階吸管間，再加上約0.5公分的間隔，且以較硬的紙板將各音階吸管間隔起來為最佳模式。

柒、結論與心得

樂器自古以來就是人們自娛娛人不可或缺的生活娛樂工具。

應用課程中對聲音傳播的各種學習所得，例如：聲音的產生、大小聲音的區別以及高低聲音的區別等等，我們結合了最簡便的生活素材—吸管、黏土....等，製作簡易的管樂器—自製吸管排笛，並費心地探討各類吸管大小、軟硬度、長度.....與音階及響度等，之間複雜又緊密的連結相互關係關係。

此次的實驗過程，我們曾經一度深刻體驗了：自己的假設被實驗數據打敗的落寞(假設吸管愈硬，吸管的響度應該愈大聲)；而後，經由再接再勵與對科學熱愛、堅持，感謝幸運之神眷顧我們，使我們幸運地在後續的實驗中，找到了不符合我們假設的要因(原來相同音階、口徑的吸管，容積愈小，響度愈大)。當在科學的實驗中獲得想知道的原因時，那種感動與喜悅，真是所謂的筆墨難以形容!!!

託此次實驗之福，為了取得足量的實驗用吸管，我們喝了好多次知名飲料店的飲料哩!! 雖然，媽媽說：白開水還是最好的飲料.....；還有，從來沒想過：那麼不起眼的隨意一根吸管，竟然可以負重超過1500公克的重量；又，微小的吸管也能利用四年級學過的影子學問，這般投影檢測硬度.....，科學好好玩!!

總之，完成了此次科展，覺得科學的實驗過程既複雜又繁瑣，不僅實驗必需在所提供的設備器材環境下，盡量地追求精細；而且，科學實驗不斷地重覆著繁瑣、看似枯燥乏味的實驗步驟，如果沒有些許的耐力與定性，許是怎麼也無法獲得想要知道的科學結論或知識!!! 無怪乎科學教育理論不斷地告訴我們科學實作可培養耐心、毅力、細微觀察力.....!!

經過了這次科展的洗鍊，我們這群 ”科展小組” 在無形中形成了 "生命共同體" ，建立了彼

此間絕佳的默契！一路走來，我們不時地分享心得、共同腦力激盪地思考問題、共同通力合作地完成各式實驗數據……所有的過程不僅培養了我們創造思考的能力，更訓練了我們面對科學甚或其他生活事項時，應有的嚴謹思考與處事的態度。

最後，感謝學習的機會，感謝同儕的激勵，更感謝老師的指導！

捌、參考資料

中華民國第四十八屆中小學科展作品說明書：笛我不分-吸管笛之烏笛製作研究（國小組報告編號：081519）。洪含詩、周柏成、周聖堯...等（民96）。

中華民國第四十九屆中小學科展作品說明書：笛確如此-笛的的製作與笛音的特性研究（國小組報告編號：080103）。張秀鳳、林文鄉、王建凱...等（民97）。

五下自然科教科書南一版（民97）。第四單元 聲音的探討。台北：南一。

九十七學年翰林出版社（民97）。大視界自然特輯 4—有趣的自製樂器、樂器的產生與發聲原理

休伊特 (民93)。觀念物理IV 聲學．光學。

畢毓俊(民89)。自然科學例解。臺北市：五南。

<http://nas.fg.tp.edu.tw/science/88/a06%5C新十二平均律.doc>

【評語】 080120

- 1.表達能力頗佳。
- 2.說明詳細，題材有趣，但宜更深入討論。
- 3.建議後續增不同格式的比較分析。