

新竹市第四十一屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：生應(二)環保與民生

組 別：國小組

作品名稱：用椅子敲響的綠色旋律—環保木琴

關 鍵 詞：課桌椅、回收、木琴

編 號：

目次:

摘要

壹、研究動機

貳、研究器材

參、研究過程與方法

肆、研究結果

伍、討論問題與方法

陸、結論

柒、參考資料

摘要

製作木琴時要注意的不只是木琴琴鍵的長度。其實需要注意的還有琴鍵的材質（即木頭的材質特性）、支撐琴鍵的底座、打擊的音錘，都是影響木琴音色的因素。

尤其我們用學校汰換下來的課桌椅來做成琴鍵，由於木材的材質不穩定，使我們需要花更多的心思，從聲音三要素：響度、音色、音調三個方向去尋找、切割、製作木琴的琴鍵。

在製作琴鍵的過程當中，我們發現：1. 調音時四周的雜音會影響我們對於木琴聲音的判斷。所以製作琴鍵的場地選擇就很重要。2. 琴鍵的長度越短，要調整到適當的音階就越不容易。3. 天氣晴朗時製作的琴鍵往往在陰雨天時頻率變得偏低，而讓木琴的音準跑掉。

壹、前言

一、研究動機

長久以來，由於課程教材的編排內容的關係，我們音樂課時只有演奏直笛。我們希望在上課時能有別的樂器可以演奏，以增加上音樂課的樂趣。另外，自然課時提到了聲音的三項要素：響度、頻率以及音色。所以我們知道頻率（音階）的高低，與物體可以震動的長度有關—長度越長，頻率越低；長度越短，頻率就越高。正好學校在這段時間汰換一批課桌椅下來，舊的課桌椅要淘汰掉很可惜。看著堆放在學校角落、準備汰除的課桌椅，我們就興起將淘汰下來的椅子上的木條做成木琴的想法。

二、研究目的

（一）不同材質的敲擊工具與聲音大小的關係：我們在敲擊以子的木條時，發現不同工具敲出來的聲音也會有些許的差異。因此我們將敲擊工具列為一個研究的項目。以找出最適合做為擊錘的材料

（二）不同琴鍵支撐物材質跟音質的關係：在試敲的時候，我們發現木條從椅子上拆下來前與拆下來後敲擊的聲音也會有所不同。並且在觀察鐵琴時我們也發現琴鍵下方有墊一圈橡膠。因此，我們也將琴鍵支撐物的材質列為一個研究項目。

（三）不同的木紋/質地跟音質的關係：我們觀察到每一張椅子上的木條都不進相同。不管是木紋或是重量，都有很大的不同。而不同質地的木條敲出來的聲音也不相同。所以木條質地也會是我們研究的重點。

（四）長度跟聲音高低的關係：最後，就是鋸切木條，讓木條可以敲出不同高低的音階，作為木琴的琴鍵。

三、文獻回顧

在觀看「森之木琴」影片中，我們看到木球擊中長短不一的木製琴鍵時可以發出悅耳動聽的聲音。甚至只要經過巧妙的安排，還可以演奏出美妙的音樂！這樣的機關讓我們讚嘆。而影片中木琴琴鍵的製作過程，在在顯示出這樣的機關需要耐心與木工

的技術才得以完成。其中，耐心是最大的關鍵！若能讓這樣美麗的樂音在校園內流盪，豈不是一件美事呢？

貳、研究器材

材料：

- 一、琴鍵：學校汰除下來的椅子
- 二、支撐物：塑膠、紙、木頭、鋁罐、海綿
- 三、擊錘：彈珠、乒乓球、像皮球
- 四、工具：鋸子（鋸台）、筆、尺、手機 APP（分貝器、頻率器）

參、研究過程與方法

我們以聲音三要素作為實驗主軸，分別為響度、音色、音階(音調)來做實驗。

一、響度：這裡的實驗幫助我們決定擊槌的材質特性與琴鍵下方墊片的材料。

我們拿一根木條作為發音的待測物，以自由落體的方式從固定高度(30 公分)放下擊槌的候選物體。並同時以手機的分貝 app 做測量。每一種組合測量 15 次，再取其平均值作為製作木琴擊槌與琴鍵墊片的依據。測量過程中，我們發現擊槌候選物體打擊出來的聲音似乎有一些干擾。我們討論的結果，認為有可能是因為我們將手機放在桌面上做測量，一部分聲音的震動透過桌面傳導到手機，讓手機的接收受到干擾所致。於是我們將手機放在大塊的隔音綿上方做測試，發現干擾的情況馬上就得到改善。因此，接下來的測試，我們都不會讓接收測試的手機直接放在桌面上。



圖一、測量用乒乓球作為擊槌的過程

二、音色：先用耳朵聆聽主觀判斷哪個木頭音色較佳，並且計算木頭密度找出音色好壞與其關聯性。

三、音階：

(一) 我們先查資料得知各個音階的頻率如下表。

表一、音階頻率對照表

音階	C	C [#]	D	D [#]	E	F	F [#]	G	G [#]	A	A [#]	B
	Do	Do [#]	Re	Re [#]	Mi	Fa	Fa [#]	So	So [#]	La	La [#]	Si
低音	262	277	294	311	330	243	370	392	415	440	464	494
中音	523	554	587	622	659	698	740	784	831	880	932	988
高音	1046	1109	1175	1244	1318	1397	1480	1568	1661	1760	1865	1976
高高音	2092	2218	2350	2488	2636	2794	2960	3136	3322	3520	3730	3952

(二) 測量通過音色篩選的木條長度，並用棒子敲擊木條，用手機 app 的頻率測量軟體來測量木條的原始頻率，導入以下公式來預測個音階所需的木條長度。

$$L_s = \sqrt{\frac{f_0}{f_s}} L_0$$

其中 f_s 為我們想要製作的音階頻率， L_s 為木條對應 f_s 的長度預測值， f_0 為木條的原始頻率， L_0 為木條的原始長度。

(三) 在通過音色篩選的木條上標記各個音階相對應的長度做為參考，用鋸台逐漸鋸短木條，每鋸短一個距離，就用手機 app 測量木條的頻率，直到符合表一當中的音階頻率為止。由於我們所使用的木條是從舊椅子上拆下來的，所以長度有其限制，因此我們只能做出表一中黃色標記的頻率(木條在還沒鋸短之前的頻率，無法比 740Hz 還要低)。因此，我們的木琴音域就只好侷限在表一中黃色標記的範圍之內。



圖二、在木條上做記號，標記預測長度



圖三、用鋸台逐漸鋸短木條長度

肆、研究結果

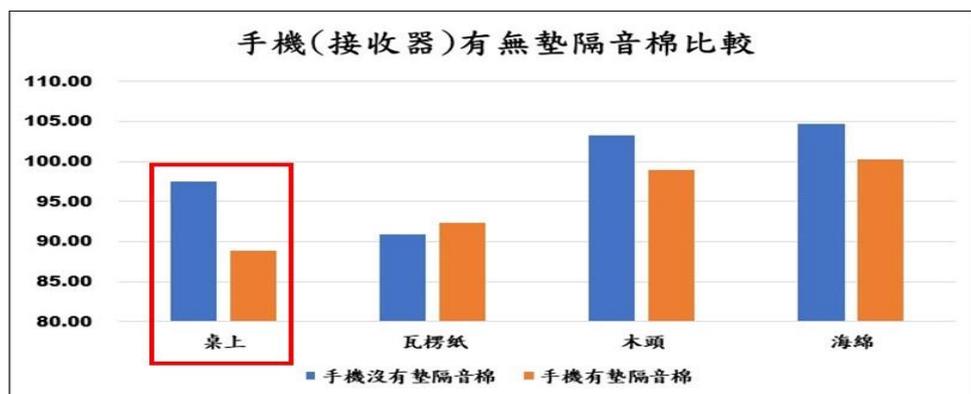
一、響度

響度實驗的結果如下。

- (一) 當手機直接放置於桌面上做測量時，測量出來的結果以琴鍵直接放在桌面上的落差最為明顯(如圖四)。其他墊片材質也有不同的落差。
- (二) 在不同擊錘與墊片材質的組合實驗時(手機放置於隔音棉上)，以彈珠-海綿的組合效果最好(聲音強度最大)。

表二、手機直接放在桌面上測量

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	平均
桌上	106.9	99.1	98.4	96	93.2	98	102	91.6	91.8	102.8	102.7	97.1	91.5	96.1	95.6	97.52
瓦楞紙	96.9	91.1	87.4	98.7	88.3	86.6	94.3	84.8	82.1	90.4	89	88.6	97.4	87.6	99.7	90.86
木頭	101	96.4	106.1	101.1	95	102.6	105.1	98.5	107.5	108.5	106.8	105.7	107.5	107.3	99.6	103.25
海綿	105.3	104.8	103.8	96.9	105.8	106.7	101.7	107.6	107	98.3	109.1	103.6	107.3	106.5	105.8	104.68



圖四、手機(接收器)有無墊隔音棉結果

表三、手機下墊著隔音棉測量(擊槌：彈珠)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	平均
桌上	96.1	84.7	88.4	91.3	92.2	88.8	83.5	88.5	85.8	83.4	88.6	99.2	89.6	86.3	86.9	88.89
瓦楞紙	98.3	89.3	88.2	86.7	99.2	89.7	86.4	89.8	97.6	92.8	96.2	91.9	94.9	95.2	88.6	92.32
木頭	102.3	91.2	87.5	101	97	98	96.4	98.4	100.6	98.7	102.5	97.9	104	103.6	104.7	98.93
海綿	93.1	100	95.6	95.4	96.9	100	109	102.8	99.7	94.6	104.6	103.5	100	101.6	106.3	100.23

表四、手機下墊著隔音棉測量(擊槌：乒乓球)

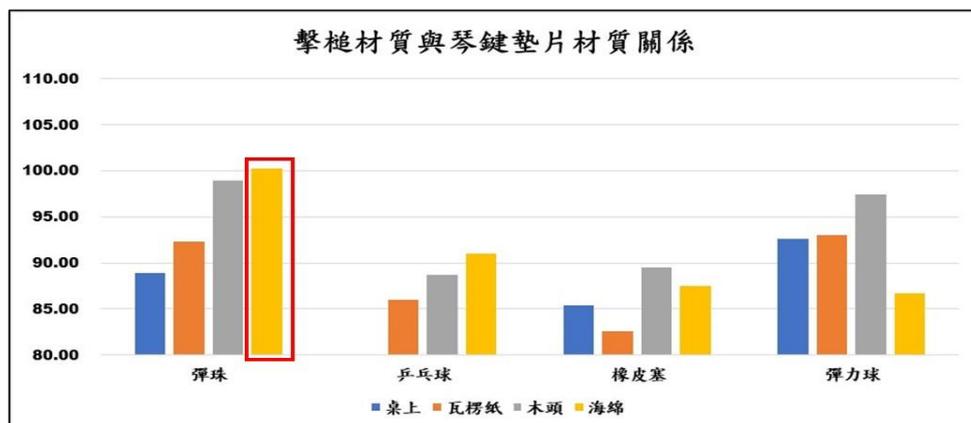
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	平均
桌上	73.4	80.7	74.5	79.7	82.5	84.6	79.4	78.5	79.3	82.8	76.8	81.2	81.9	84.9	77.5	79.85
瓦楞紙	86.6	84.9	85.7	84	86.7	88.4	88.8	83.4	85.9	83	89.3	86.4	85	85.8	86.8	86.05
木頭	98.4	88.7	83.3	89.9	86.8	84	92.9	84.1	83	90.6	89.1	89	90.2	90	91	88.73
海綿	90.9	80.8	91	94.5	96.8	83.9	91.1	87.6	94.1	93.7	98.8	95.6	89.3	92.1	85.3	91.04

表五、手機下墊著隔音棉測量(擊槌：橡皮塞)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	平均
桌上	79.7	87.7	91.6	82.3	86	75.2	86	81.3	92	77.8	84.8	89.8	89.5	84.5	92.6	85.39
瓦楞紙	87.8	75.9	85.1	88.3	77.3	83	85	85.9	79.7	85.3	78.6	79.5	85.4	80.1	81.7	82.57
木頭	89	89.7	89	89	90	89.2	93.1	86.1	88.4	94.4	93.9	92.8	83.1	85.8	89.8	89.55
海綿	91	88.3	86.5	85.6	86.5	87.9	85.3	89.5	87.2	85.8	85.7	84.9	91.1	88.6	89.4	87.55

表六、手機下墊著隔音棉測量(擊槌：彈力球)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	平均
桌上	88.2	93.3	91.2	94.3	91.4	93.2	93	94.1	93.1	93.2	91.2	93.8	93.3	92.1	93.4	92.59
瓦楞紙	92.6	91.2	98.1	89.4	94.9	91.6	97.4	94.3	93.4	92	90.4	92.1	93.4	90.8	93.2	92.99
木頭	96.7	94.9	97.1	97.5	95.7	99.9	98.6	97.5	100.3	97.1	96.7	98.1	97.2	96.5	97.2	97.40
海綿	89.1	81.5	84.6	88.1	85.5	87.2	86.1	93.2	86.2	86.8	86.7	90.8	84.5	84.1	86.2	86.71



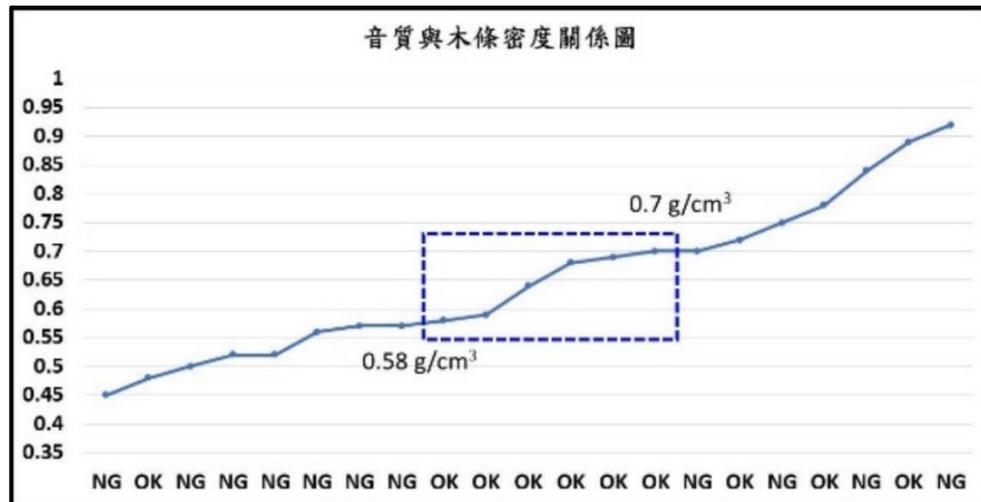
圖五、擊槌材質與琴鍵墊片關係

二、音色

在音色的實驗中，我們輪流用耳朵專心聽各琴鍵候選木條在用擀麵棍敲擊時所發出的聲音，並且測量各木條的大約密度。將兩者相互搭配比較。我們發現：當木條密度分布於 0.58g/cm^3 至 0.7g/cm^3 時，木條所發出的聲音會有細微的回音(在木條中產生共鳴)，最為好聽。這些木條拿在手上的手感也比較重。這也成為我們接下來在挑選琴鍵時的重要依據。

表七、音質與木條密度測量

木條編號	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
音色	好	不好	不好	不好	不好	不好	好	好	好	好	不好
體積(cm^3)	169.12	180.32	210	220.64	195.72	208.32	221.6	217	208.6	210	225.11
重量(g)	122	94	94	114	112	105	156	194	124	121	128
密度(g/cm^3)	0.72	0.52	0.45	0.52	0.57	0.50	0.70	0.89	0.59	0.58	0.57
木條編號	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
音色	不好	好	好	好	好	不好	不好	不好	好	不好	
體積(cm^3)	233.09	206.64	193.48	218.4	217.84	206.92	207.2	204.12	194.88	207.46	
重量(g)	130	133	132	105	150	174	145	153	152	190	
密度(g/cm^3)	0.56	0.64	0.68	0.48	0.69	0.84	0.70	0.75	0.78	0.92	

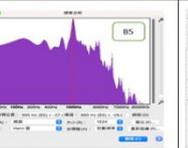
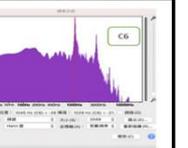
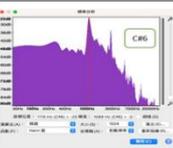
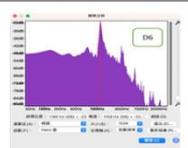
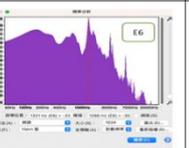
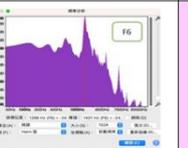
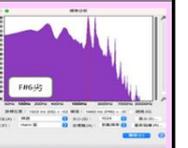
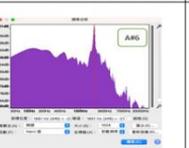
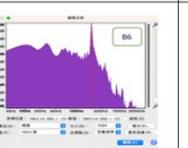
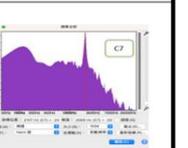


圖六、音質與木條密度關係

三、音調(音階)

在用鋸台逐一將木條鋸到合適長短後，我們一一將木條用電腦軟體與手機音階 app 做測定，以確定我們最後做出來的琴鍵符合木琴的音階。各琴鍵的結果與分析如以下的表格：

表八、各琴鍵的音階頻率結果與分析

音名	G5	G#5	A5	A#5	B5	C6
唱名	So	So#	La	La#	Si	Do
頻率	784	831	880	932	988	1046
頻率結果						
頻率分析						
音名	C#6	D6	D#6	E6	F6	F#6
唱名	Do#	Re	Re#	Mi	Fa	Fa#
頻率	1109	1175	1244	1318	1397	1480
頻率結果						
頻率分析						
音名	G6	G#6	A6	A#6	B6	C7
唱名	So	So#	La	La#	Si	Do
頻率	1568	1661	1760	1865	1976	2092
頻率結果						
頻率分析						

某些琴鍵的音色用手機 app 測量時的頻率正確，但在用電腦分析時卻表現出很多雜音，例如 Fa# 這個音就是。這時就要找另一個木條再做一次。
最後，我們利用椅背最長的腳與洗車海綿，製作木琴的架子。完成一組用回收椅子做成的木琴。



圖六、最後成品

伍、討論

在整個過程中，我們碰到許多的問題需要討論：

一、我們在拆椅子的時候，因為椅子老舊，在拆除時很容易造成材料損壞，有裂痕或是變形太嚴重的木條，就必須淘汰無法使用。

解決方式：

拆椅子的時候必須謹慎以減少素材耗損，且需蒐集更多材料，作為備用。

二、我們挑選材料時，發現每根木頭的音質不太相同，有些聽起來很糟、有些聽起來卻很飽滿，有些甚至於發出兩個以上頻率的聲音。以至於備料的木頭無法全數拿來使用。

解決方式：

(一) 有一句成語「餘音繞樑」是形容聲音的美妙，推測一支音色飽滿的琴鍵應該具備此條件，為此我們多做一道篩選流程，用耳靠近聆聽判斷木頭敲擊時，是否有餘音共鳴的感覺，把音質飽滿的木頭留下來、劣質的淘汰。在做完這個實驗之後，我們覺得這個部分，如果用電腦軟體來做會更合適與精準。

(二) 關於木頭音質不好的部分，我們推測原因有三個：

- 1、 原來的木頭質地就不好，例如裡面有樹節(即樹幹分枝的地方)。或是本身就不適合拿來做樂器。
 - 2、 由於是回收課桌椅，在學生長期使用下，木椅上的木條或許有些許損壞或是變形彎曲，進而影響其所發出的聲音。
 - 3、 空氣中的溼度。我們在製作完的測量中發現，前一周所完成(包含測量頻率準確度)的琴鍵，在經過連日下雨過後，再次測量時的頻率會不一樣。我們推測這可能是因為琴鍵吸收了空氣中的濕氣所導致。
- 以上3點，都需要再一一做實驗才能夠驗證。

(三) 木材質地的不同對於聲音的表現有很大的影響。由於我們對於樹種的知識太少了，所以無法單從木頭的紋路、質地、密度與色澤去挑選最適合的木頭。因此在製作過程中我們一直做不好。我們需要再加強關於樹木的知識，了解不同樹種的木頭所擁有的特性，這樣在接下來做木琴的過程中才能事半功倍。

三、 測試支撐物對分貝數的影響時我們發現每次量測的分貝都不同，而且易受周遭雜音影響，手機放置於桌面時和離開桌面的測試結果也不相同。

解決方式：

- (一) 我們必須固定落下的高度、手機的測試距離，以及手機必須與待測琴鍵不相連(例如在手機下方墊隔音棉。隔音棉的目的在於隔絕琴鍵的震動，不使琴鍵的震動傳到手機上)。
- (二) 擊槌的形狀必須要圓滑(避免撞擊點因重心而不相同，不相同會造成分貝數的差異)，並且於測試時盡量保持安靜把環境影響降到最低，多測幾次確保每一次投擲的落點接近，取得的數據較多，平均值的參考價值越準確。
- (三) 在製作琴鍵時也要注意四周的雜音，要選擇隔音良好，或是雜音少的地方。才能夠精準製作出好的琴鍵。

四、 在一開始做實驗時我們用彈珠做為擊錘的候選物體，但是因為彈珠的加工不容易，無法加上槌柄做成一般同學演奏方便的擊槌。

解決方式：

我們在測試音色時使用木質的擀麵棍做為擊槌，這樣的效果也很不錯。因此，我們最後使用鋸下來，剩餘的木料做成擊槌本體。再加上免洗衛生筷作為槌柄，就完成方便演奏的擊槌了。

五、 我們的實驗結果和測量數據十分接近於理論值，但是有些音階仍有誤差。而且當音階愈高時，就越不容易調整到精準的頻率。

解決方式：

我們認為這個問題不是我們從書本上或是從網路上就可以找到答案的。的確，我們在網路上尋找到可以解決的方法，但都沒有切中要害的讓我們理解要如何解決

這些問題。我們需要真的去尋找製作木琴的師傅，向他們取經才能夠解答。

陸、結論

透過這個實驗過程，我們完成了一組可以在上課時使用的木琴，並且學到了：

一、 不同樹種的木頭之間，其特性的差異很大。雖然課本上說物體的長度越長，其震動的頻率(音調)就越小(低)。這是在材質相同且質地均勻的情況下才會有的現象。在不同樹種的木頭之間，有時會有相反的結果(例如發生甲木比乙木短，但是音調比乙木低的情況)。

二、 音質的優劣與以下的因素有關：

- (一) 樹種有關的木紋(年輪)疏密程度
- (二) 有沒有樹節
- (三) 木頭有沒有受傷

以上三點都會影響敲擊琴鍵時在木頭內部的震動傳遞。進而影響琴鍵發出來的聲音。

三、 當音階越高時，木琴琴鍵的長度變化對於音階(頻率)的改變影響就越大。在木條長的時候，往往裁掉 2cm 只會改變大約 100Hz，平均縮短 0.1cm 時只會增加 5Hz。但是當琴鍵的頻率高到 1800Hz 以上時，只要裁掉 0.1cm，頻率的改變量往往超過 10Hz！這大大增加我們在製作高音琴鍵時的困難度。面對這樣的狀況，我們只能展現耐心，用砂紙慢慢把木條磨到目標頻率。

四、 用淘汰的課桌椅製作樂器，讓這些功成身退的可桌椅可以繼續留在學校陪我們成長，是一件讓人快樂的事。感謝總務處同意讓我們使用這些課桌椅作為實驗材料。

柒、參考資料

音名 (維基百科): <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%9F%B3%E5%90%8D>

十二平均律 (維基百科): <https://pse.is/4uqjq1>

音階標準頻率: <https://youtu.be/czGQiTHaffM>

ChatGPT: <https://openai.com/blog/chatgpt>

森の木琴: <https://youtu.be/cgSy6MersHo>

Wintergatan - Marble Machine: <https://youtu.be/IvUU8joBb1Q>

STOMP Live 破銅爛鐵 重擊現場: <https://youtu.be/UmIeA4nRmJ8>

琴鍵公式: <https://pse.is/4up49a>