

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科(一)

082803

「弦」來無事測測看

學校名稱：桃園市桃園區建國國民小學

作者： 小六 邱德馨 小六 彭宇豪 小六 黃允蔚 小六 邱繼暘	指導老師： 王榮彰
---	------------------

關鍵詞：週期性運動、影格率、特定運動頻率

「弦」來無事測測看

摘要

網路上流傳一段影片，影片中的鴿子不用拍動翅膀就可以飛，「頻率」是造成這現象的主要原因，只要攝影機拍攝的影格率和某個東西週期性運動的頻率相似，就可看到類似時間暫停的現象，稱之為特定運動頻率。自然課學到弦的振動影響聲音的高低，但弦振動太快看不清楚，是否也可以用時間暫停的原理，來看清楚弦的振動？

本實驗使用了 micro-bit 和紅外線感測器來測量圓盤的轉速，圓盤上的開孔可讓光線閃爍，光線照在金屬琴弦上，閃爍的頻率如果和弦振動的頻率一致，就能清楚的看到弦的振動波形。

壹、研究動機

在網路影片中，鴿子在監視器前不拍動翅膀竟然可以飛，或著是直升機的螺旋槳還未轉動就可以飛上天空，看到這裡讓人心中不禁懷疑：這究竟是真的嗎？現在網路發達，總會有許多事不知是真是假，是需要用科學來證實一切，這些神奇的事引起了我的好奇心，令我想一探究竟。開始搜尋相關資料，才得知原來他們都跟「頻率」有很大的關連，利用這種現象，可以輕易的將週期性運動的物體「凍結」起來。自然課聲音單元中，弦的振動是我們想到可以拿來實驗的對象，如何透過簡單的裝置，達到需要的觀測效果呢？於是我們著手科展研究計劃，藉由實驗，證實這一切，揭開這些「奇事」背後的秘密。

貳、研究目的

- 一、能測出弦的振動頻率。
- 二、能控制光線的閃爍次數並測出閃爍頻率。
- 三、自製弦之閃頻觀測器。
- 四、看見弦振動的波形。
- 五、比較圓盤開孔數八孔和十六孔的差異。

參、研究設備及器材

- 一、主體結構：木板、吉他弦、旋鈕、瓦楞板、珍珠板、直流小馬達、18650電池、馬達轉速控制器、LED手電筒。



- 二、測量器材：吉他拾音器、紅外線感測器



- 三、資訊設備：平板電腦或桌上型電腦、micro-bit開發板及擴展板

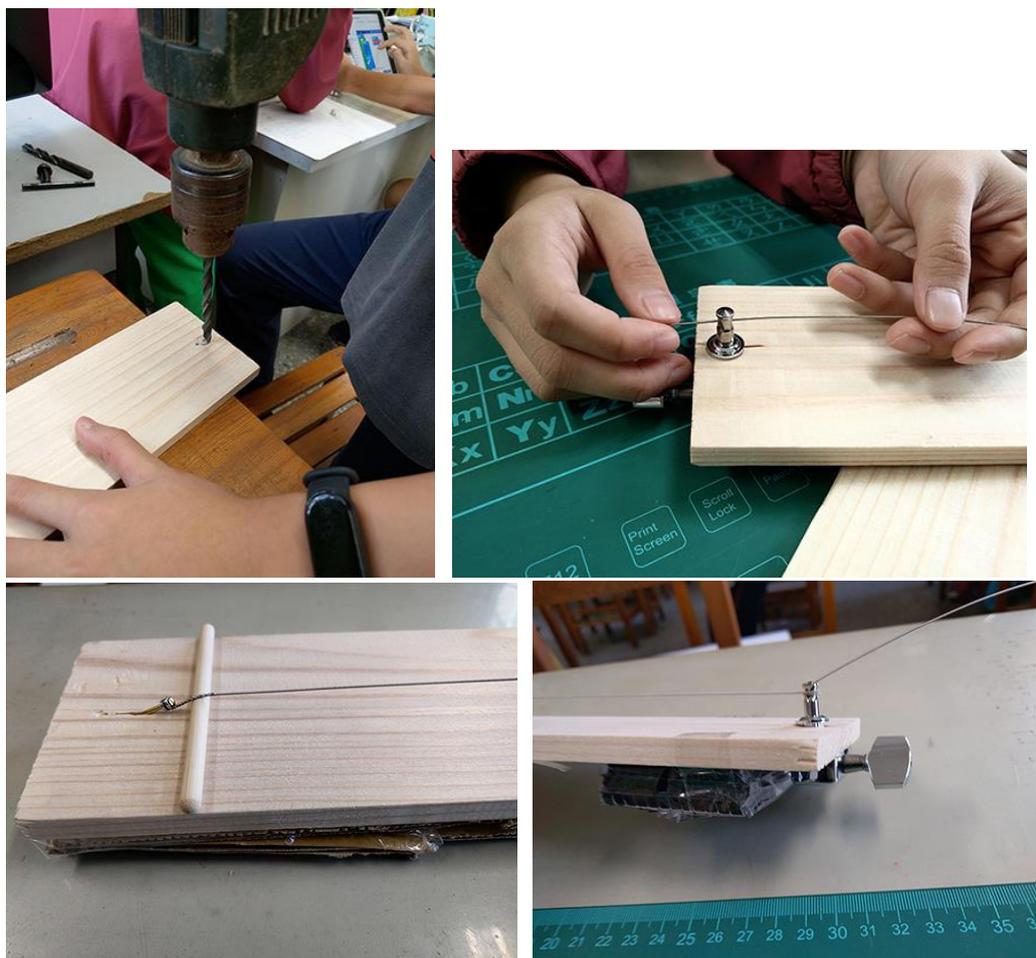


肆、研究過程或方法

一、如何測量吉他弦的音高和頻率

(一) 吉他弦的固定

要測吉他弦的頻率前，「固定琴弦架」是很重要的物件，原本使用紙板來製作，但強度不夠，紙板會被弦拉彎，所以我們就讓他長灰塵。最後決定用木板來做弦架，弦一端用釘子固定，另一端將木板鑽洞，把吉他旋鈕卡進去，再把弦穿過旋鈕；裝置旋鈕的好處是可以使調整弦的鬆緊更方便。



(二) 測量音高及弦振動頻率的工具

聲音的高低不能只用耳朵聽，用數據來表示比較科學。音高通常以頻率(Hz)來表示，代表每秒振動的次數，數字越大振動越快，聲音越高。

我們用學校的桌上電腦，下載並安裝測量音高的軟體，測量撥弦後發出的音高。吉他拾音器是一種偵測「金屬琴弦」的「麥克風」，當拾音器上的琴弦震動

時，改變線圈的磁通量，造成線圈因電磁感應而產生電，訊號隨後經由導線被傳往放大器或錄音儀器，我們則是接到電腦的麥克風插孔。

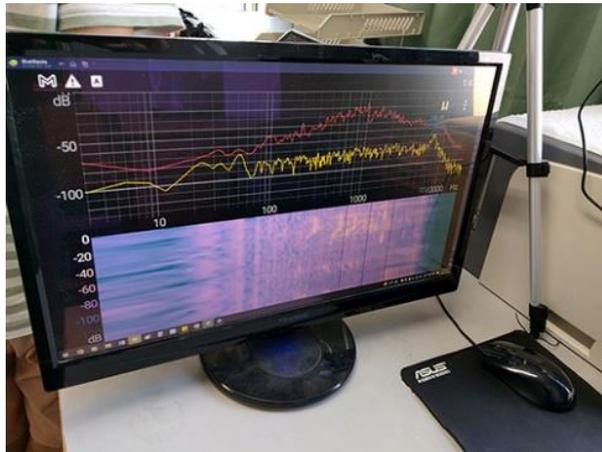


用電腦及拾音器測量弦的音高



測量音高的軟體

但這款軟體只有顯示音高沒有顯示頻率，如果用平板電腦的話就有顯示頻率的APP，使用桌機不能直接下載程式，我們用了遊戲平台「BlueStacks(遊戲平台啟動器)」，在裡面裝了「Spectroid」，可方便的「看」見基音與泛音的波紋(單位:Hz 赫茲)



第一次使用吉他拾音器時遇上了一個難題，就是我們手上有的轉接頭是「雙聲道(立體聲)」的，可是吉他拾音器得用「單聲道」，所以我們想到了一個法子：雙

聲道轉接頭  只插一半就會變單聲道。不過這個方法不太靈光，有時候沒有訊號，還好後來有買到可以將雙聲道轉成單聲道的轉接頭了。

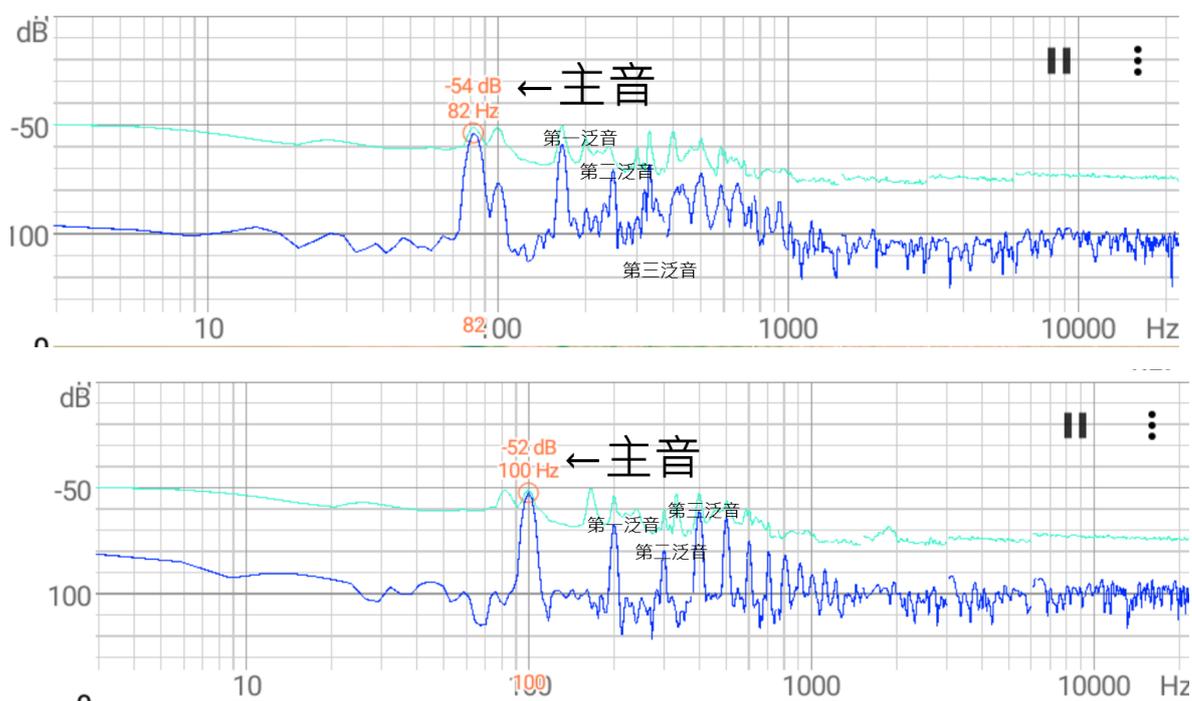
(三)實驗步驟

- 1.轉動旋鈕讓吉他弦達到一個緊度，撥弦之後測量頻率。
- 2.轉動旋鈕讓吉他弦放鬆，撥弦後測量頻率。

3.比較緊的弦和鬆的弦，兩者頻率的大小。

(四)實驗結果

- 1.同一條弦，鬆的時候比緊的時候振動頻率小(振動慢)，聲音低。
- 2.利用調整弦的鬆緊，可以改變弦的振動頻率，改變聲音的高低。
3. 弦振動產生的頻率，除了基頻(主要頻率)以外，有基頻的兩倍也有基頻的三倍，持續最久的是基頻，其次是基頻兩倍或是三倍的頻率(泛音)，偶爾也有泛音音量比基音(基頻)的分貝值大的情況。

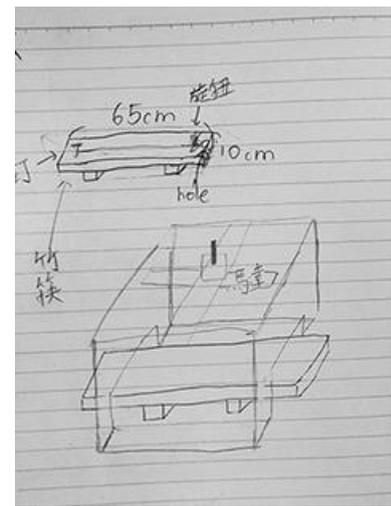


二、製作閃頻觀測器

弦振動的速度很快，要看清楚弦振動的情形可以用高速錄影來觀看(但很貴)，另一個辦法是用閃頻儀，當閃光頻率與待測物頻率相同時，待測物看起來會像靜止不動一般，如果我們的眼睛能眨得像弦這麼快也可以看見，當然那是不可能的。上網搜尋後，從youtube影片上找到靈感，用有洞的轉盤來控制燈光的閃爍。



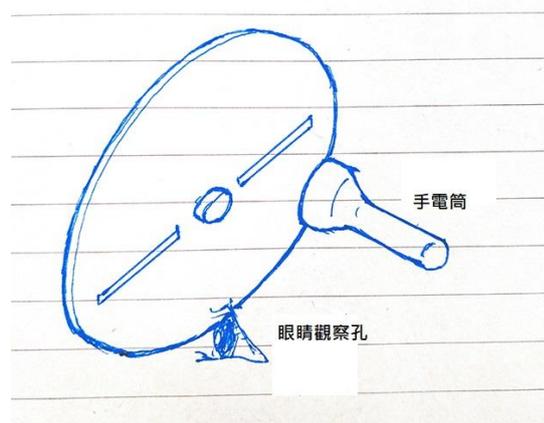
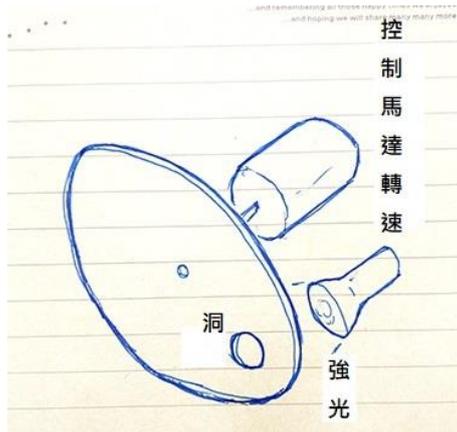
Youtube影片:【Fun科學】時間暫停現象



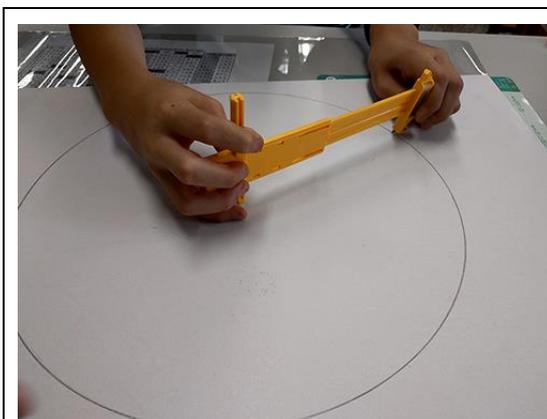
自製觀測器原始構想

(一)閃光器製作

一開始的構想是讓光線通過旋轉盤上的洞，產生閃爍的效果，為了讓光投射過去剛好只照在弦上，將圓洞割成長條狀：



轉盤製作過程如下：



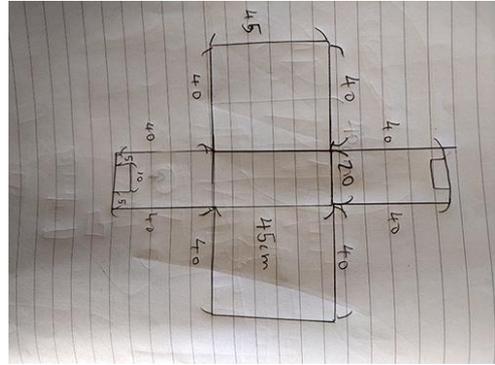
1.在厚紙板上割出一個圓形轉盤



2.在圓形轉盤上割長條狀細縫

(二)遮光箱製作

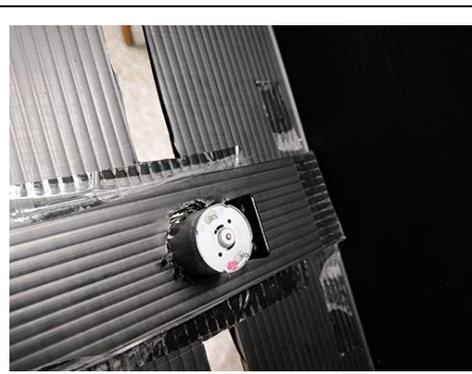
因實驗主要是觀察弦振動的樣子，為了讓弦的反光更明顯，需製作一個可以遮光的箱子。一開始先是用紙箱來製作，可是紙箱很容易就會爛掉，所以改用瓦楞板製作。



(三)固定馬達於瓦楞箱上

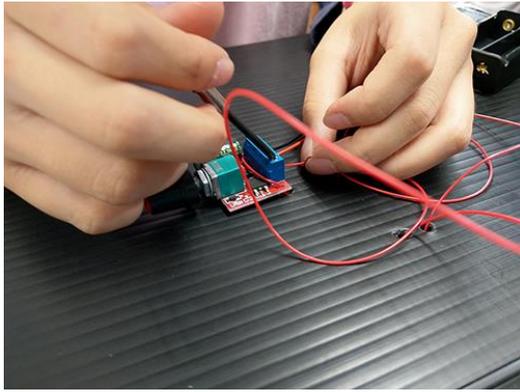


小馬達固定在瓦楞板上



小馬達在瓦楞板內部的樣子

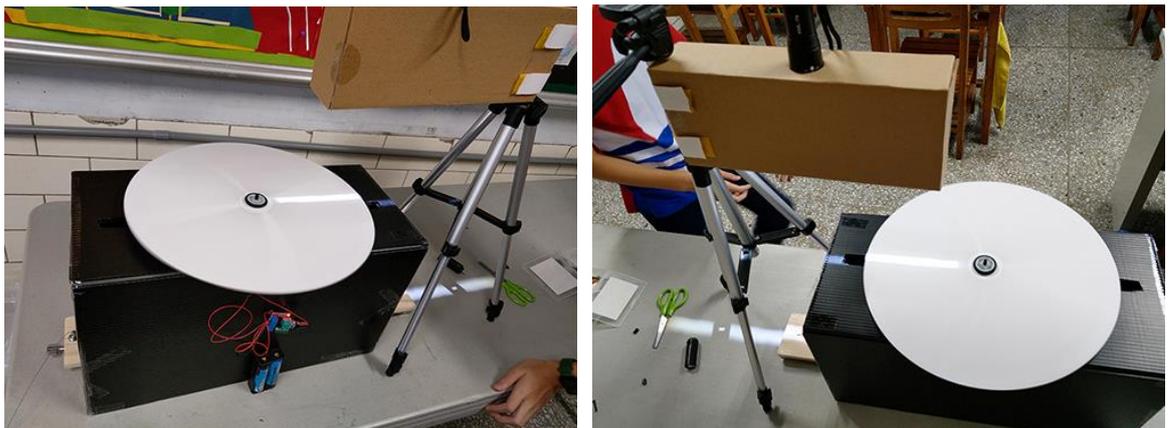
馬達連接轉速控制器，可改變轉盤的轉速。



電源使用 18650 的鋰電池，更耐久

(四)光源製作

使用 LED 手電筒當光源，相機用的三腳架當支架，為了不要打出多餘的光，紙盒切個縫讓照出的光呈一條線，剛好可以打在箱內的弦上。理想情況是這樣，但實際上沒那麼順利，紙盒晃來晃去不好固定。

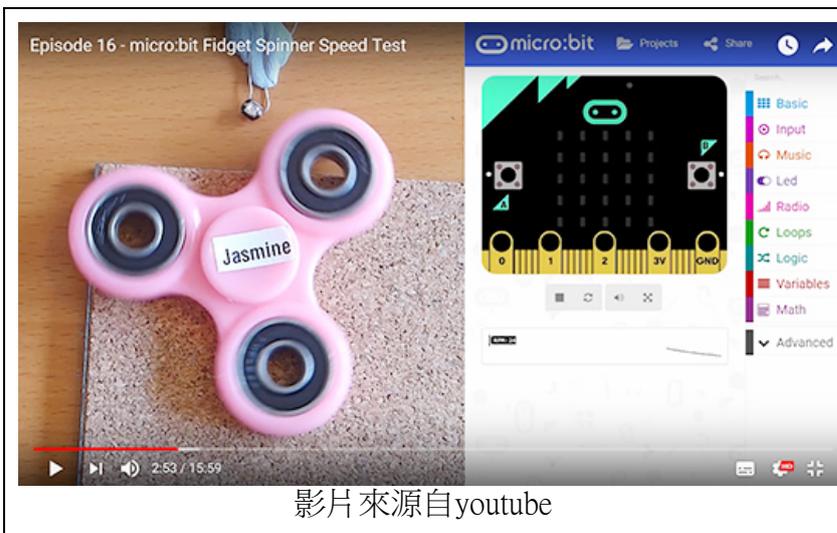


(五)轉速顯示器製作

馬達控制器可以用來改變馬達轉速，那馬達轉速多少怎麼知道呢？

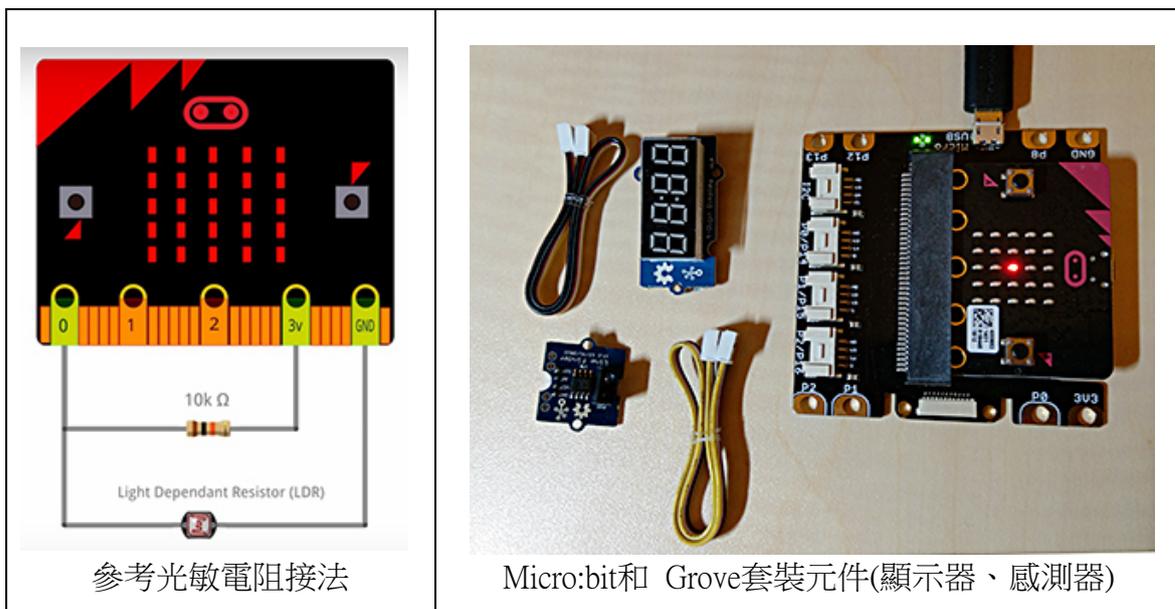
從Youtube網站上找到指尖陀螺轉速測量的影片，知道使用micro:bit和光敏電阻就可測出指尖陀螺的轉速，當然還要配合程式才行，可以參考測量指尖陀螺轉速的程式部份，依據設備的不同，修改成適合可用的程式。

micro:bit是由BBC設計用於英國的電腦教育，國小高年級資訊課程有積木程式的撰寫，於是就選用程式語言創客器材micro:bit來製作「馬達轉速顯示器」，並購買相關套裝元件。其中4位數顯示模組是用來顯示閃光的頻率，Micro:bit本身雖然有LED顯示，但一次只顯示一個數字，字多的時候是用跑馬燈的方式顯示，反應慢不能即時顯示，所以選用Grove的



影片來源自youtube

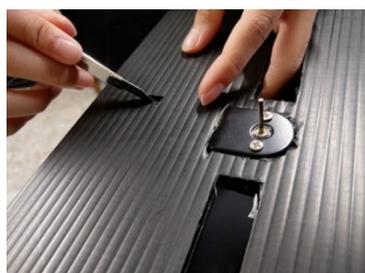
4位數顯示器，配合Grove的擴展板，接線都是設計好的，直接插上去就可以使用，很方便。



參考光敏電阻接法

Micro:bit和 Grove套裝元件(顯示器、感測器)

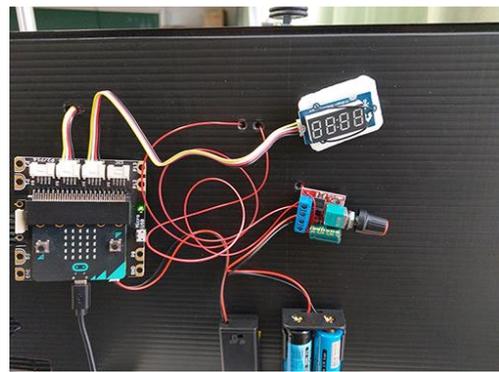
首先在瓦楞板上固定紅外線感應器，連接micro:bit及擴展板，並接上電池。



在固定紅外線感測器的位置挖洞

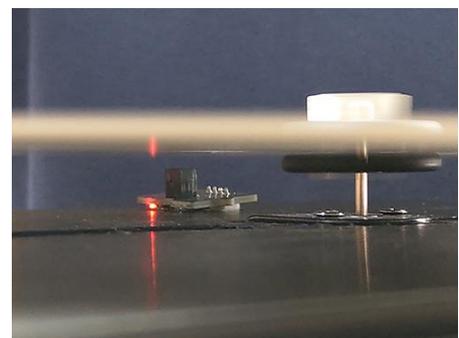


固定紅外線感測器



接線

1. micro:bit連接套裝原件測試



感測器與轉盤的感應測試

2. 撰寫積木程式

參考指尖陀螺的測速程式，將感測元件改成紅外線感測器，增加顯示器元件及修改運算式，一邊撰寫積木程式，一邊做測試。



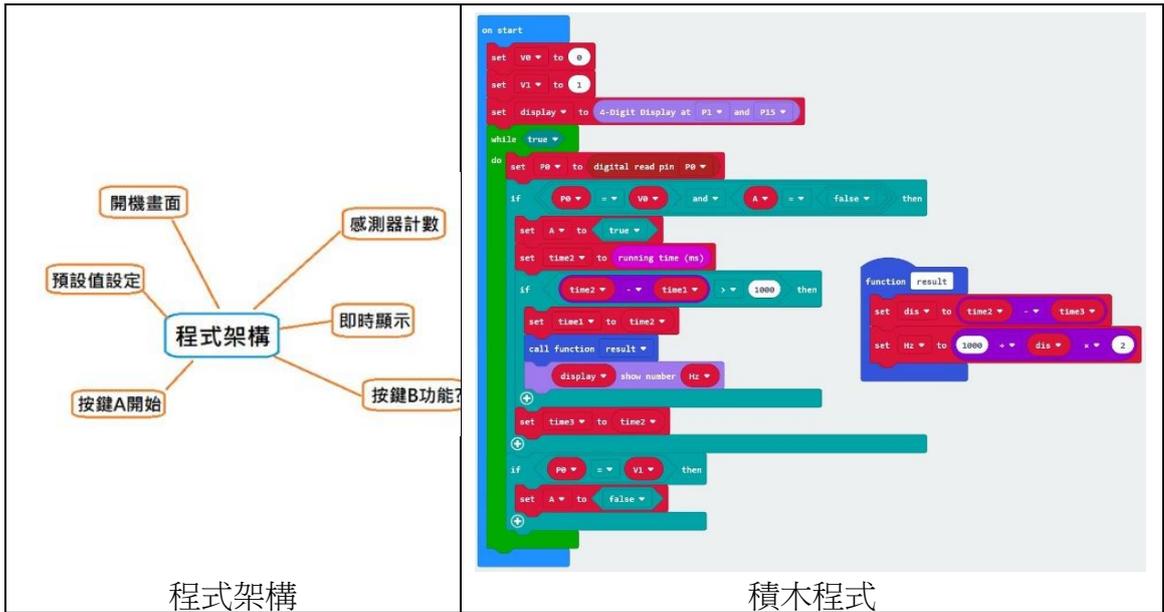
連線到 micro:bit 網站



練習寫積木程式

由於micro:bit 積木程式可以在任何Web瀏覽器進行編輯，有網路就能上網連線使用，所以我們在教室透過無線網路上網練習。

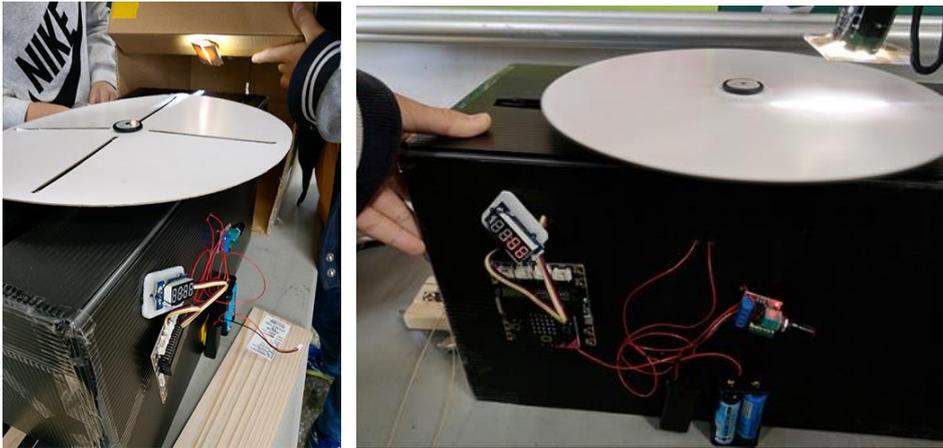
程式如下圖所示：



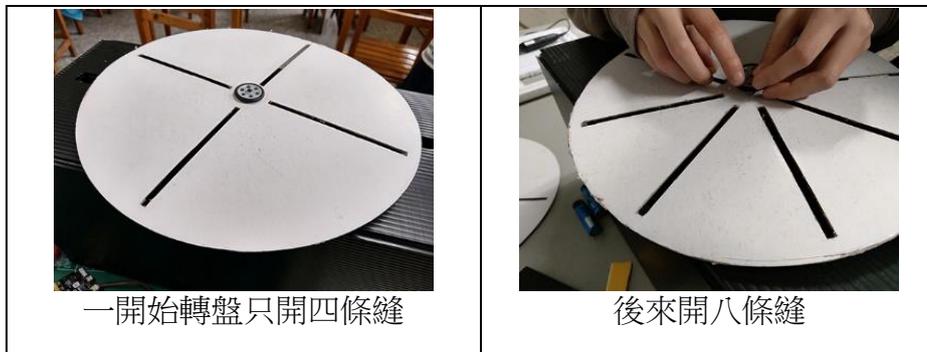
micro-bit Fidget Spinner Speed Test[指尖陀螺速度測試]影片說轉動指尖陀螺時，如果突然在隨便一個臂停下來，這個時間是T1[開始到暫止(第1個臂)]，再繼續轉動直到下一個臂，這個時間則是T2[開始到第2個臂]，再把T1和T2相減，就是第1個臂到第2個臂的時間差{T3}($T2 - T1 = T3$)，最後再把T3*3(因指尖陀螺有3個臂)就是指尖陀螺一圈的速度(T4)。我們的程式是以這影片為基礎，它的程式是:開始時(設V0=0, 設V1=1, 設display=四位數顯示器,(如果P0=V0且A=false,那麼設A=true,設time2=運行時間(ms),又如果time2-time1>1000,那麼設time1=time2,呼叫副程式,(設dis=time2-time3, 設Hz=1000/dis),display show Hz,設time3=time2,又如果P0=V1,設A=false.))(*=變數,*=基本,*=輸入,*=迴圈,*=邏輯,*=函式)。

3.改良光源及轉盤開孔數

為了讓弦反射光看起來更明顯，用木片將手電筒遮起來，留下一長條的縫，遮光箱內的弦，因手電筒的光只照在弦上，旁邊沒光，弦看起像在發光，清楚許多，容易觀察。



原本轉盤只開四條縫，轉盤轉一圈，燈光只閃四次，後來發現馬達最快的轉速遠遠低於弦振動的速度，所以增加開口數，讓每轉一圈可閃更多次光。



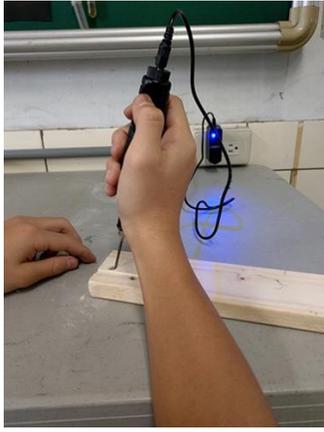
閃光的頻率與我們先前測弦的音頻差距很大，於是我們又再重測了一次，因閃光的頻率目前最快只可達到166Hz，原先測的音頻卻超過了200Hz，最後將弦放鬆，音頻調至88，才有辦法較接近轉速。

[問題]：如何讓圓盤在轉速快時不容易飛出去或掉下去(鬆掉)?

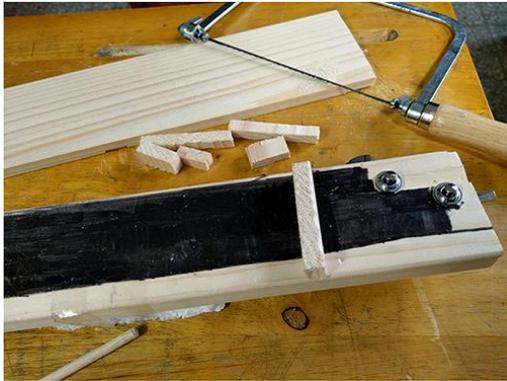
測量時我們的轉速會調到125到166之間，而圓盤的中心和馬達的轉軸，經過幾次的實驗後難免會鬆掉，一開始為了讓圓盤可以固定在馬達轉軸上，我們用樂高玩具的十字型積木鑽洞連接而成，由於積木中間要鑽洞很容易鑽歪，因此鑽了許多次，最後我們又利用了樂高的輪子讓它夾住圓盤，這樣一來圓盤不會飛出去也不會掉下去，更可以減少因中心鑽歪而偏掉的問題。

4.更換弦架再增加一條弦

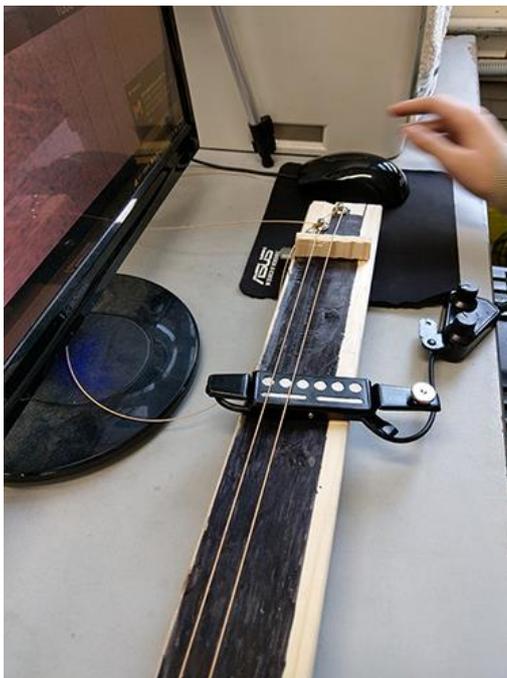
一開始我們是利用單條弦在觀測，經過不斷觀測，我們發現只有單條弦無法進行比較，於是又換成了兩條弦：



但當時為了兩條弦不靠太遠，旋鈕也不能裝太近，所以會偏向木板的左邊，和在製作箱子時切割出的觀測孔偏離太遠，所以利用膠帶貼出的對照線比對後，弦才終於可以調整到中間，也才不會偏離光線照射的位置。



將兩條弦調成不一樣的頻率，比較不同頻率的觀測結果



[問題]：為甚麼固定弦的木板要塗黑？

當我們在觀測弦的振動時，若弦支架是白色的(或容易反光的顏色)，那麼加上閃頻觀測器的光就會看不清楚了，為了避免弦底下木板的反光問題，就把木板塗黑，容易觀察。後來發現其實木板塗黑多少還是會有點反光，主要是光線反射的方向朝向眼睛的關係，改變觀測的位置就不會有木板反光的問題。

5.測試轉速正不正確

我們借了一台反射式轉速計來檢測我們的測量裝置運作正不正確，先在轉盤上貼一張反光片，將轉速計的雷射光照在反射片上，讀取轉盤的轉速，由於轉速計用的單位是rpm. (每分鐘轉的圈數)，與我們以每秒計算的方式不一樣，要再除以60，又因為轉盤上有 8條縫，轉一圈可看到 8次，所以轉速計的讀數要再乘以 8，才會跟我們裝置上顯示的數字吻合。

以我們的裝置顯示 142 次/秒，轉速計顯示 1109 rpm. 為例：

$$1109 / 60 \times 8 = 147 \leftarrow \text{轉速計 rpm.換算成：次/秒，小數忽略不計}$$

$$147 - 142 = 5 \text{ 每秒相差 5 次}$$

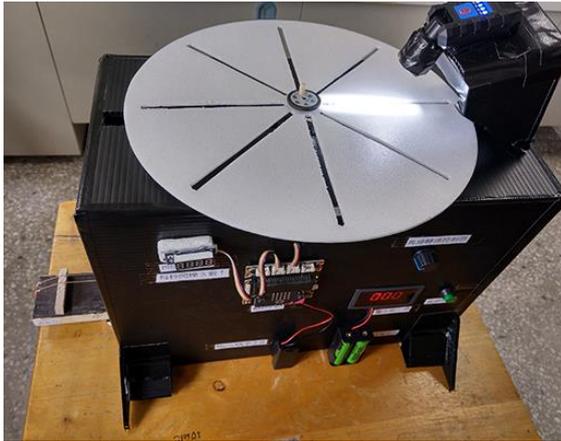


用反射式轉速計與我們的程式數據做比較，檢測結果：我們的裝置存在一點點誤差，可能受零件的穩定度影響。這點誤差使閃光頻率和弦的振動頻率很難吻合，弦的振動看起來像慢動作。

三、觀察弦的振動波形

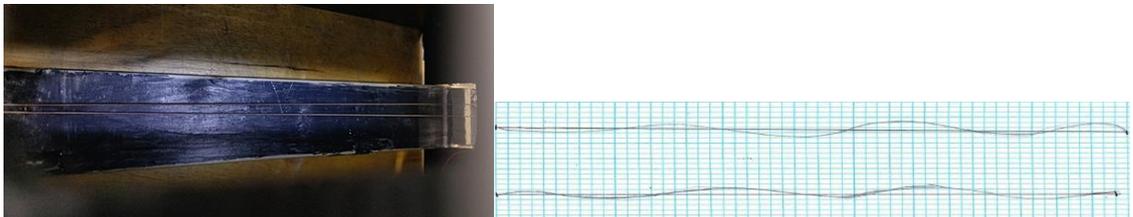
(一)操作步驟

- 1.拾音器放置弦下，音訊線插上電腦並開啟測量頻率軟體，撥動弦，測量弦的主頻率(基頻)。
- 2.啟動馬達，調整馬達轉速，慢慢加速，直到顯示器數字接近弦振動的主頻率。
- 3.轉盤轉速穩定之後，打開投射燈(強力手電筒)，眼睛靠近觀察弦振動情形。



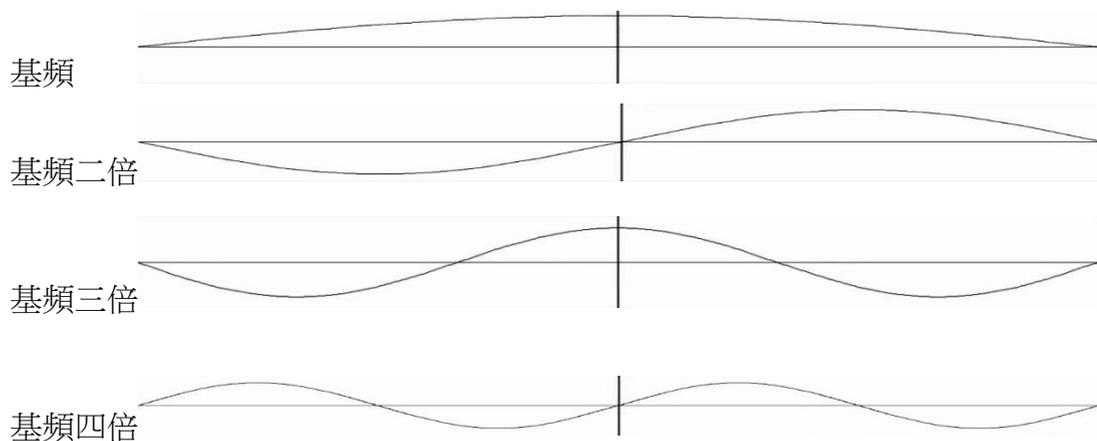
自製弦之閃頻觀測器待機中

(二)觀測弦的振動,將看到弦振動的樣子畫下來：

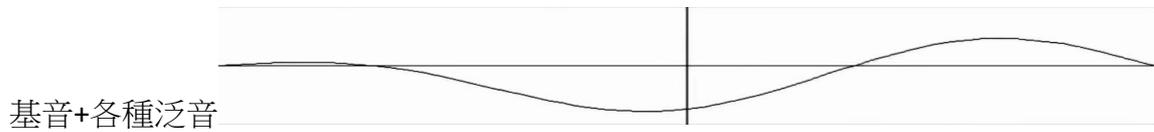


(三)文獻探討

上網查有關於弦振動的相關文獻總是會提到駐波，我們的裝置是兩端固定的弦，會有如下的駐波產生：



弦振動產生的頻率通常不只一個，頻率如果是**基頻**二倍的稱為第一泛音，三倍的稱為第二泛音，四倍的稱為第三泛音……依此類推。弦振動的聲音實際上是基音與泛音的組合，也就是混合了基音與各種泛音：



因為是混合波，所以我們看到的應該是類似上圖那樣的波形。

四、比較八孔圓盤和十六孔圓盤的差異

原本圓盤開四個孔因馬達轉速不夠快，難以達到需要的閃光頻率，所以增加至八孔，解決馬達轉速不夠快的問題。那如果將圓盤上的孔數增加到十六孔呢？以厚紙板製作的圓盤因自身重量容易下垂變形，造成旋轉的時候感應不良，測量數值不穩定，後來改用較輕的珍珠板來製作圓盤。(但珍珠板很脆弱，要小心別弄壞。)



用珍珠板切割十六孔的圓盤

[實驗結果]：不管是八孔還是十六孔，以弦的頻率在100Hz上下，觀測效果最佳的光閃爍頻率都介於200~300Hz左右，雖然十六孔的圓孔可以使閃光快一點，用主頻率的三倍速度閃爍，但閃太快也沒用，看不出弦的振動波形，閃太快或閃太慢觀測效果都不佳。十六孔和八孔的圓盤比較起來的好處是：馬達可以不用轉太快，馬達比較不會發燙。

五、完成科展作品



第一代原型機



改良及美化後的作品

伍、研究結果

- 一、同一條弦，旋緊時會比鬆的時候聲音高，頻率高。
- 二、弦振動產生的頻率，除了基頻(主要頻率)以外，有基頻的兩倍也有基頻的三倍，持續最久的是基頻，其次是基頻兩倍或是三倍的頻率，也有泛音音量比基音(基頻)的分貝值大的情況。
- 三、用轉盤控制閃光的頻率跟弦的振動頻率很難百分百完全相同，差一點點會有慢動作的效果，兩者頻率差距越小，看到弦的振動越慢。
- 四、我們觀察到的弦振動波形，實際上是基音與各種泛音的組合。
- 五、圓盤開孔數八孔和十六孔的實驗比較結果，以弦的頻率在100Hz上下來看，效果最好的頻率都是介於200~300Hz。

陸、討論

- 一、還沒撥弦就測到許多不相干的頻率，怎麼克服這個問題？

在開始實驗前，還沒撥弦，軟體就偵測出許多頻率，這些頻率不是弦振動所發出的頻率，探討原因是現場環境太吵雜，我們使用的收音器材麥克風，也會將環境中的聲音收錄進去，影響測量結果。解決方式是改用吉他的拾音器，它是利用磁鐵、線圈因鋼弦靠近及離開會產生電流的原理，得到電子訊號，這樣就只會測到鋼弦的振動而不會受現場雜音影響。

二、用拾音器收音，弦振動時仍會產生很多頻率，哪個才是主要頻率？

為了確定測量出的是主頻率，使用軟體「頻率產生器」，發出相同的頻率，聽看看音高有沒有一樣。經過多次試驗，發現主頻率的分貝較大(但偶爾有例外)，而且和其他成倍數的泛音相比，主頻率持續的時間較久，依據以上兩點，就可判斷哪一個頻率是主頻率。

三、馬達轉速可以用轉速計來測量，為什麼還要用micro:bit來測量？

轉速計使用的單位是rpm.(每分鐘轉的圈數)，而聲音頻率的單位是Hz(每秒振動的次數)，分鐘和秒相差60倍要換算，我們的轉盤一圈有八個洞，還要再乘以8，除了操作外還要計算及換算很不方便，所以用micro:bit 解決運算式的問題。

四、用弦之閃頻觀測器來觀測弦之振動，究竟能看出什麼？

原本以為可以看到的波形，實際上看到的並沒有那麼彎曲，弦的振幅不大，而且振動的時間很短，一下就停了，手要一直撥弦很麻煩，如果弦可以振動久一點就好了，然後弦再長一點，也許振幅也會大一點，會更容易觀察。本作品受尺寸及材料限制，目前只能看到弦短時間內振動的慢動作振動情形。

五、未來的應用與展望

可利用相同的原理，製作成手持式或可攜式的，燈光要再強一些就是了，可用來觀測有週期性運動的物體。

柒、結論

一、同一條弦，旋緊的弦會比鬆的時候聲音高，頻率高。

二、弦振動時會產生很多頻率，它們之間有的成倍數關係。

三、弦振動產生的泛音列，音量有大有小，並沒有照順序排列，第一泛音不一定比第二泛音的音量大。

四、當弦振動的頻率剛好對上閃頻器的頻率，弦就會呈現靜止狀態；差一點則會有慢動作的效果。

五、弦的頻率在 100Hz 上下時，觀測效果最好的閃爍頻率大約介於 200~300Hz 。

捌、參考文獻資料

- 一、蔡俊傑(2019)•輕鬆玩 micro:bit 程式入門•碁峰出版。
- 二、陳致中(2018)•乾龍工作室•看見 micro:bit 新世界-學邏輯、寫程式、玩創意•新北市：台科大圖書。
- 三、金克杰(2018)•科學玩具自造王 2:動手做大百科•台北市：親子天下。
- 四、陳乃綺(2017)•Penny 老師教你創意玩科學•台北市：麥田。
- 五、全國中小學第 57 屆科展作品：國小物理科-暗藏「音」色-弦上之音。
- 六、學 Make Code 玩 micro-bit：什麼是 micro-bit，讓我們賦予它心跳吧【科技爸爸】<https://www.youtube.com/watch?v=cyvNZ9Oeeb0>
- 七、有趣的閃頻演示實驗：<https://www.youtube.com/watch?v=p4EH3cVTFJM>
- 八、【Fun 科學】時間暫停現象：<https://www.youtube.com/watch?v=B3rOtdXusj8>
- 九、【 micro-bit 系列】教學 micro-bit 麥克風感測器模組 - 堃喬小學堂：
https://www.youtube.com/watch?v=quH_gl2SgUg
- 十、Micro:bit 指尖陀螺速度測試：
https://www.youtube.com/watch?v=px_TGk7_XSQ
- 十一、音頻頻譜分析儀：
<https://apps.apple.com/tw/app/%E9%9F%B3%E9%A0%BB%E9%A0%BB%E8%AD%9C%E5%88%86%E6%9E%90%E5%84%80/id1281873790>
- 十二、去背網站 PicWish：<https://picwish.com/tw/>
- 十三、Spectroid(檢測音頻)：
https://play.google.com/store/apps/details?id=org.intoorbit.spectrum&hl=zh_TW&gl=US

【評語】 082803

※清晰可見：通過利用攝影機的影格率和琴弦的振動頻率相同，使得原本無法以肉眼觀察到的琴弦振動成為可見，增強了觀察的精準性。

※理論與實際結合：此實驗設計將物理原理（特定運動頻率與時間暫停原理）與實際操作結合，有助於學習者理解並應用這些原理。

※多頻率觀察：實驗允許觀察到琴弦的多個振動頻率，以及這些頻率之間的關係，這對於理解物體振動的性質和特徵非常有用。

※在這個項目中，是否有探討不同類型的弦（如不同材料或張力）對週期運動的影響？

※是否有解釋幀率在分析週期運動時的重要性，以及如何選擇合適的幀率？

應加強現實生活中的應用，例如在音樂或工程學中？

討論三中，馬達轉速可以用轉速計來測量，為什麼還要用 micro:bit 來測量？其實應該是可以互為驗證。

作品海報

弦

來無事測測看

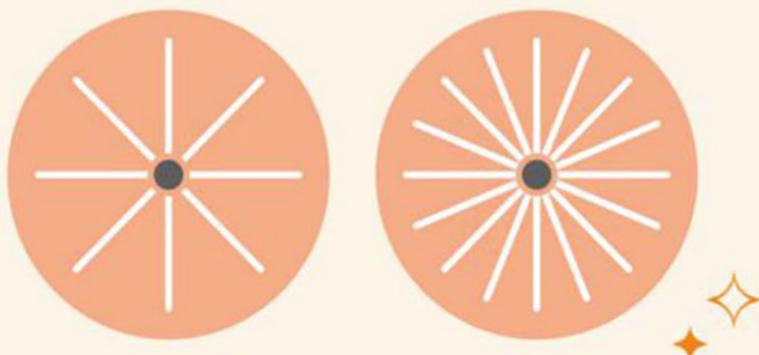
摘要、研究動機

網路上流傳一段影片，影片中的鴿子不用拍動翅膀就可以飛，「頻率」是造成這現象的主要原因，只要攝影機拍攝的影格率和某個東西週期性運動的頻率相似，就可看到類似時間暫停的現象，稱之為特定運動頻率。自然課學到弦的振動影響聲音的高低，但弦振動太快看不清楚，是否也可以用時間暫停的原理，來看清楚弦的振動？

本實驗使用了micro-bit和紅外線感測器來測量圓盤的轉速，圓盤上的開孔可讓光線閃爍，光線照在金屬琴弦上，閃爍的頻率如果和弦振動的頻率一致，就能清楚的看到弦的振動波形。

壹、研究目的

- 一、能測出弦的振動頻率。
- 二、能控制光線的閃爍次數並測出閃爍頻率。
- 三、自製弦之閃頻觀測器。
- 四、看見弦振動的波形。
- 五、比較圓盤開孔數八孔和十六孔的差異。



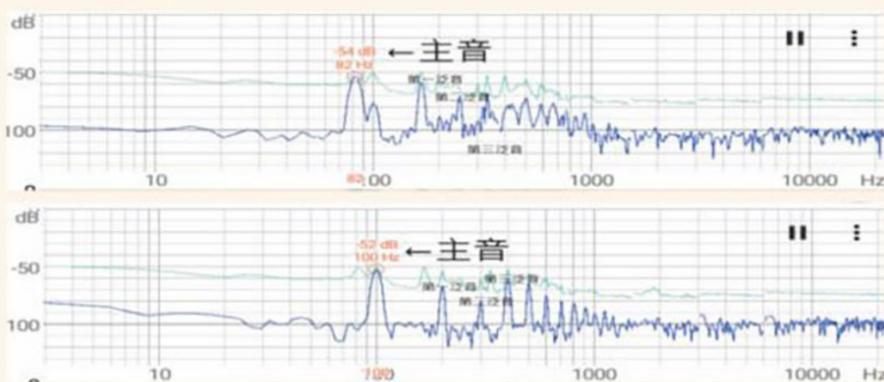
貳、研究設備及器材

木板、吉他弦、旋鈕、瓦楞板、厚紙板、珍珠板、直流小馬達、18650電池、馬達轉速控制器、LED燈、拾音器、紅外線感測器、電腦、micro-bit開發板及擴展板。

參、研究過程或方法

- 一、如何測量吉他弦的音高和頻率
 - (一) 吉他弦的固定。
 - (二) 測量音高及弦振動頻率的工具。
 - (三) 實驗結果

弦振動產生的頻率，除了基頻(主要頻率)以外，有基頻的兩倍也有基頻的三倍，持續最久的是基頻，其次是基頻兩倍或是三倍的頻率(泛音)，偶爾也有泛音音量比基音(基頻)的分貝值大的情況。



弦的固定

測量音高及弦振動頻率的工具



用電腦及拾音器測量弦的音高

測量音高的軟體

二、製作閃頻觀測器

- (一) 閃光器製作
- (二) 遮光箱製作
- (三) 固定馬達於瓦楞箱上

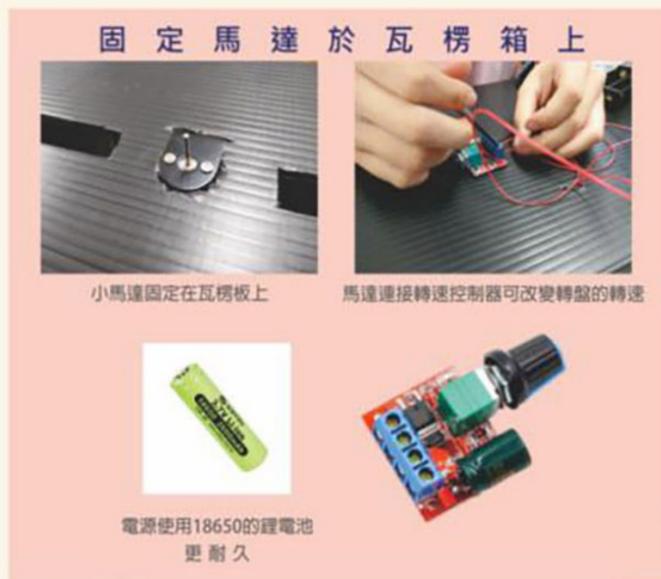


在厚紙板上割出一個圓形轉盤

在圓形轉盤上割長條狀細縫



遮光箱製作



固定馬達於瓦楞箱上

小馬達固定在瓦楞板上

馬達連接轉速控制器可改變轉盤的轉速

電源使用18650的鋰電池更耐久

(四) 光源製作

(五) 轉速顯示器製作

光源製作



轉速顯示器製作



Micro:bit 和 Grove 套裝元件 (顯示器、感測器)



固定紅外線感測器



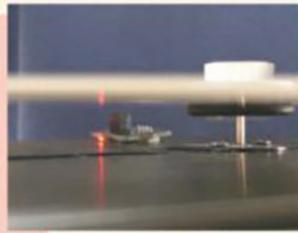
馬達控制器接線

1. micro:bit 連接套裝原件測試

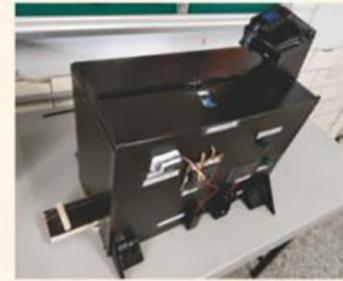


紅外線感測器
4 位數顯示模組

Micro:bit 連接 Grove 套裝元件測試



感測器與轉盤感應測試



Micro:bit 顯示器及馬達控制器固定在遮光箱上

2. 撰寫積木程式

撰寫積木程式

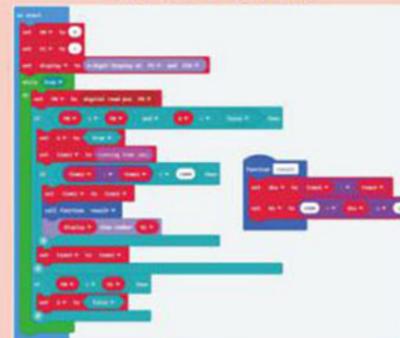


連線到 micro:bit 網站



練習寫積木程式

程式如下圖所示

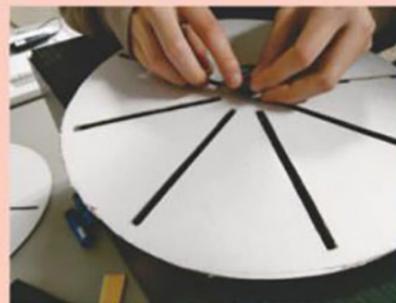


積木程式

3. 改良光源及轉盤開孔數

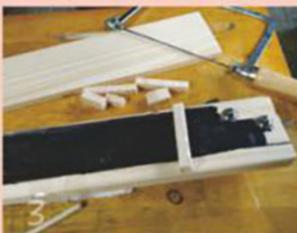


一開始轉盤只開四條縫

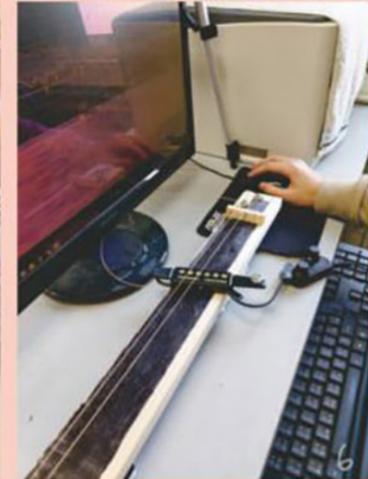


後來開八條縫

4. 更換弦架再增加一條弦



將兩條弦調成不一樣的頻率，比較不同頻率的觀測結果



三、觀察弦的振動波形

(一)操作步驟

- 1.拾音器放置弦下，音訊線插上電腦並開啟測量頻率軟體，撥動弦，測量弦的主頻率(基頻)。
- 2.啟動馬達，調整馬達轉速，慢慢加速，直到顯示器數字接近弦振動的主頻率。
- 3.轉盤轉速穩定之後，打開投射燈(強力手電筒)，眼睛靠近觀察弦振動情形。

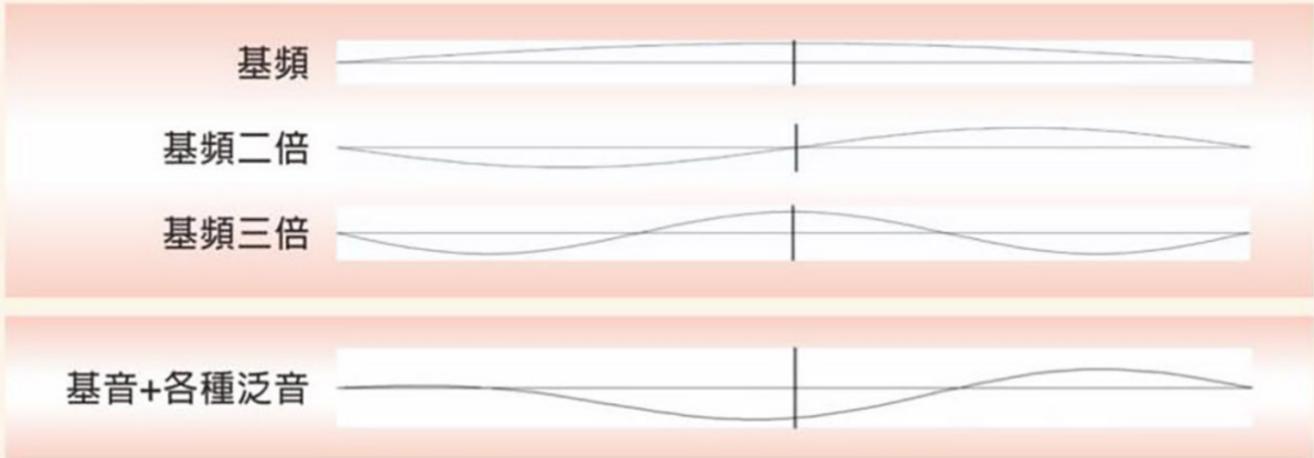


自製弦之閃頻觀測器待機中



(二)文獻探討

上網查有關於弦振動的相關文獻總是會提到駐波，我們的裝置是兩端固定的弦，會有如下的駐波產生：



因為是混合波，所以我們看到的應該是類似上圖那樣的波形。

四、比較八孔圓盤和十六孔圓盤的差異

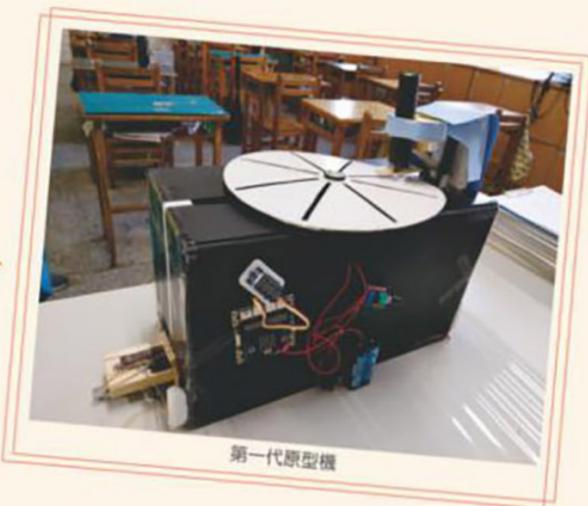
[實驗結果]：

不管是八孔還是十六孔，以弦的頻率在100Hz上下，觀測效果最佳的光閃爍頻率都介於200~300Hz左右，雖然十六孔的圓孔可以使閃光快一點，用主頻率的三倍速度閃爍，但閃太快也沒用，看不出弦的振動波形，閃太快或閃太慢觀測效果都不佳。十六孔比八孔圓盤好的地方是：馬達可以不用轉太快，馬達比較不會發燙。

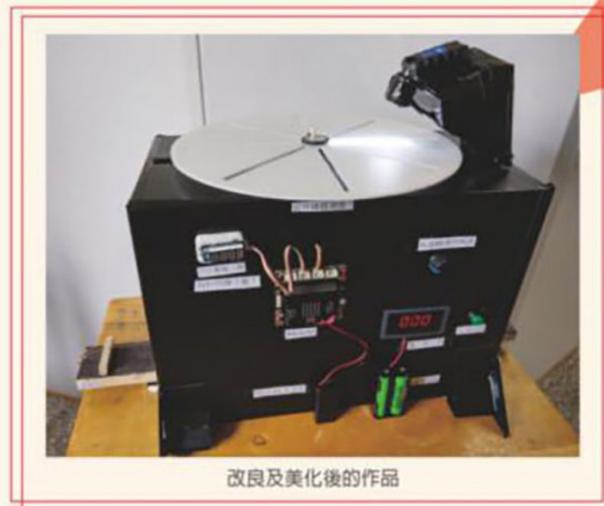


用珍珠板切割十六孔的圓盤

五、完成科展作品



第一代原型機



改良及美化後的作品

肆、結論

- 一、同一條弦，旋緊的弦會比鬆的時候聲音高，頻率高。
- 二、弦振動時會產生很多頻率，它們之間有的成倍數關係。
- 三、弦振動產生的泛音列，音量有大有小並沒有照順序排列，第一泛音不一定比第二泛音的音量大。
- 四、當弦振動的頻率剛好對上閃頻器的頻率，弦就會呈現靜止狀態；差一點則會有慢動作的效果。
- 五、弦的頻率在100Hz上下時，觀測效果最好的閃爍頻率大約介於200~300Hz。

伍、未來的應用與展望

可利用相同的原理，製作成手持式或可攜式的，燈光要再強一些就是了，可用來觀測有週期性運動的物體。