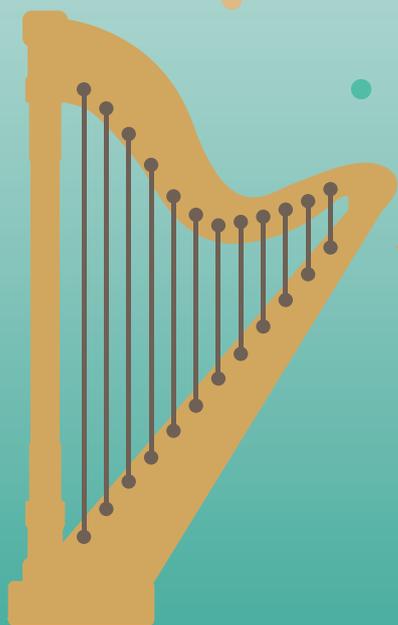


• 教育局課程發展處資優教育組

巧匠樂器——探討聲音與發聲的原理

結合科學、科技、工程及數學元素 (STEM)

提升資優學生的創意及解難能力



目錄

| | |
|---------------|---|
| 001 前言 | |
| 002 資優生的特質 | |
| 003 課程介紹及課程設計 | |
| 004 教學策略 | |
| 01 第一課 | 教學活動建議-L1 聲音與樂器-L1.ppt 水能否傳聲?.doc 用骨「聽」聲音.doc 玻璃杯的音樂.doc 看得見的聲音.doc |
| 02 第二課 | 教學活動建議-L2 聲音與樂器-L2.ppt 最高頻頻率.xlsx |
| 03 第三課 | 教學活動建議-L3 聲音與樂器-L3.ppt 量度聲音強度.doc |
| 04 第四課 | 教學活動建議-L4 聲音與樂器-L4.ppt 「波形」可以看到甚麼?.doc |
| 05 選修一 | 教學活動建議-聽力分析 聽力分析.ppt |
| 06 選修二 | 教學活動建議-音符，音階和和弦 音符，音階和和弦.ppt 音符（小學）.ppt 音符的頻率.xls |
| 07 選修三 | 教學活動建議-不同樂器的音質 不同樂器的音質.ppt Fourier series.xls Fourier series (student).xls |
| 08 選修四 | 教學活動建議-把曲線轉換成直線 把曲線轉換成直線.ppt |
| 09 選修五 | 教學活動建議-弦線的材料對音質影響 弦線的材料對音質影響.ppt |
| 10 選修六 | 教學活動建議-把弦樂器小型化 把弦樂器小型化.ppt |
| 11 選修七 | 教學活動建議-隔音材料 |

| | |
|------------|---|
| | 隔音材料.ppt |
| 12 選修八 | <p>教學活動建議-木琴的奧秘</p> <p>木琴的奧秘.ppt</p> <p>freq Vs Length.xls</p> <p>何明華-演奏.mpeg</p> <p>呂中-演奏.mpg</p> <p>呂中-製作 I.mpg</p> <p>呂中-製作 II.mpg</p> <p>呂中-調音.mpg</p> <p>沙呂小 巧匠樂器.mpg</p> |
| 13 計劃的整體評估 | <p>13.1 目標回顧及評鑑方法</p> <p>13.2 學生問卷</p> <p>13.3 老師問卷</p> <p>13.4 課程評鑑_學生問卷調查_統計圖表</p> <p>13.5 課程評鑑_學生問卷調查節錄</p> <p>13.6 課程評鑑_老師問卷調查節錄</p> <p>呂中-圖的應用.mpg</p> <p>港大同學會-訪問.mpg</p> |
| 14 軟件使用指南 | <p>14.1 Sound Analyzer 簡介</p> <p>14.2 Signal Generator 簡介</p> <p>14.3 Sound Meter 簡介</p> |
| 15 參考資料 | |

前言

教育局資優教育組一向致力發展不同學習領域的教學資源，以供學校照顧資優學生的學習需要。本教材套「巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理」，旨在透過對樂器、聲音與發聲的探究，提升小學和中學數理高能力學生的探究能力。2015年特首施政報告特別強調STEM教育的重要。STEM其中一項特色是「動手做」，所以設計本教學資源時，我們尤其強調科學及數學原理的應用，以優化樂理的設計及製作過程，並期望資優學生在應用數理知識的同時，也能提高溝通及團隊協作能力。

本教材套資料參考了小學及中學聲音相關課程，再加入STEM的元素，讓學生能學以致用。本教材套在設計時已考慮到學習差異處理，老師可因應資優生的能力，自行選取不同教學模組，作出調適。本組建議學校可因應本身的情況，選取本教材套適用的部分，發展校本資優課程(全班式課程或抽離式增潤課程)，以照顧數理能力較高的學生。歡迎教師使用本教材套及按需要複印教材套的工作紙作教學用途。

在此鳴謝香海正覺蓮社佛教正覺中學陳偉倫老師協助設計教材及進行施教。同時鳴謝以下學校及有關老師協助試行是次培育計劃的全部或部分單元：

(按校名筆劃序排)

浸信會沙田圍呂明才小學 趙嘉俊老師 吳天福老師 蕭惠芳老師

浸信會呂明才中學 顏紹熙老師 鄧家豪老師

香港聖公會何明華會督中學 金偉明老師 關子雋老師 馬偉強老師 簡嘉禧老師

港大同學會小學 宋寶華老師

如對本教材有任何建議或意見，歡迎聯絡本組：

地址：九龍塘沙福道十九號 E328 室教育局課程發展處資優教育組

電話：3698 3472

傳真：2490 6858

資優生的特質

科學資優學生會有一些外顯行為特質，教師可以審視一下，並結合課堂觀察、學生作品/習作、校內/校外科學比賽等方面的表現，同時亦可參考朋輩推薦、自我推薦、家長推薦等，檢視學生是否具備科學資優學生的行為特質，推薦學生參加校本的科學增潤課程。

假如學生能夠展示科學資優學生所有的大部分行為特質，本組有信心該生在科學上具備極高潛質，應獲推薦參加校本的科學增潤課程。

科學資優生擁有的特質：

- (a) 對學習科學充滿動機，展示出專注力和鍥而不捨的努力；
- (b) 對有關科學的書籍及電視節目有興趣；
- (c) 喜歡解決科學難題；
- (d) 擅於將數據加以組織或把所觀察到的現象作分析，以發現當中的關係；
- (e) 善於觀察、探索、提問及詳細地研究事物；
- (f) 對科學方法有深入的認識，能夠擬定假設及謹慎地進行實驗；
- (g) 熟巧、認真地操作實驗儀器，並能改進實驗；
- (h) 能夠在發明及/或實驗設計活動展現創意；
- (i) 能夠在科學研習展現熱忱，遇到困難仍然堅持不懈，並設法克服。

教材介紹及設計

本課程的目標及簡介

「聲音」是高小和初中科學及高中物理的課題。在不同的學習階段，各有不同的學習重點。《<<巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理>>》這套教材，旨在透過有趣的聲音現象，引發學生的探究興趣和學習動機。教材加入了 STEM 的元素，不單讓學生製作自己的樂器，還強調應用科學和數學的知識，以優化樂器製作的過程。我們期望學生透過探究活動，能對聲音、音樂和樂器科學，有更深一層的理解。

本課程分為兩部分，第一部分是資優課程架構的 1B，即在一般課堂按學生的特質實施分組教學、增潤及延伸專門性學習領域的課程內容。第二部分是資優課程架構的 2D，即以抽離方式在一般課堂以外進行專科特定範疇的延伸課程（例如數學、藝術等）。

本教材的對象適用於小五至中學生。課程內容以科學及數學探究和樂器製作為主題。學校可按學生的能力及興趣作課程調適，選修其中第二部份的教學模組。這個與科學和數學有關的課程，不單讓學生能夠按自己的興趣，選擇一個內容具挑戰性的項目，而且結合科學及數學知識，優化設計及製作樂器的過程，加強科學探究的能力。第一部份——必修部份會有較多預設的導引式活動、小實驗、工作紙。選修部份則鼓勵老師啟發學生，自行設計評估方法，驗證猜想等。另一方面，這個教材也適合學校參考作為校本抽離式的科學增潤課程，以照顧學校的數理資優生。

本教材共設八個單元，老師可自行挑選合適的內容施教。其中部份未曾在初中教授，建議老師不妨擷取其中合適內容，例如線性轉換、和弦分析等，配合高中文憑試數學科或物理科課程，嘗試教授。

本教材的另一特色，是大量使用智能手機和應用程式(App)，方便學生在課室以外，也可自行探究，增加知識探索的機會。

課程設計理念：

本課程針對科學資優生的一些學習特質而設計，包括：

- (a) 對學習科學充滿動機，並具有持久力、專注力和努力的表現；
- (b) 對有關科學的書籍及電視節目有興趣；
- (c) 喜歡解決科學難題；
- (d) 擅於將數據加以組織或把所觀察到的現象作分析以發現當中的關係；
- (e) 善於觀察、探索、提問及詳細地研究事物；

- (f) 對科學方法有深入的認識，能夠擬定假設及謹慎地進行實驗；
- (g) 能夠熟巧地操作實驗儀器，並能改進實驗設計；
- (h) 能夠在發明及/或實驗設計活動中展現創意；
- (i) 能夠在科學研習展現工作的熱忱，遇到困難仍然堅持不懈進行探究。

大量的資優教育研究均認為要照顧科學資優生學習方面的需要，學校應著重將課程加速、加深和加廣，以配合他們的學習速度和興趣。本教材透過學生重點研究聲音的特質、和弦的數學關係、樂器音質中的科學及數學關係，並應用科學及數學知識優化樂器的設計及製作過程。將相關的科學及數學內容及相關概念有效地組織和連繫起來，以發展學生探究真實問題(authentic problems)的能力，並發揮協作式的科學探究技巧。這些獨立研究能力及團隊訓練，正是眾多資優教育學者，例如 Joseph Renzulli 及 Geroge Betts 等大力提倡，適合照顧資優生學習需要的課程模式(curriculum models)及 5E 學習環教學模式(5E model)所必須包含的訓練。因此，本教材十分著重學生的學習過程及學習成果，並著重培養學生的高層次思維技巧、解難能力及創意。

教學策略

教師宜以學習促進者(facilitator)的角色和持開放的態度，鼓勵學生多作細心的觀察，以科學的方法和態度分析和作客觀的結論。另外，本教材著重鼓勵學生「找出問題」及「解決問題」。老師施教時，無需額外添置昂貴及專業器材，只需善用智能手機中的應用程式，藉此鼓勵學生按自己興趣和能力，在課餘時自行尋找及瀏覽相關的網頁及參考書籍，以加強學生的自學能力。

課程內容

| | |
|---------|--|
| 教材套資料提供 | 教育局課程發展處資優教育組 |
| 適用年級 | 小五至高中 |
| 推行模式 | 抽離式或正規課堂的選修課程 |
| 學習領域 | 科學教育（小學常識科） |
| 節數 | <p>每課節 40 分鐘</p> <p>第一課(1B)： 聲波的特性 第二課(1B)： 聲波與光波 第三課(1B)： 可聽聲音與超聲波 第四課(1B)： 樂音與噪音</p> <p><i>這課程共設計了八個選修單元，老師需因應學生的能力和興趣在一學年內揀選兩至三個單元作增潤。首四個單元較著重理論，而後四個單</i></p> |

| | |
|--|--|
| | <p>元則較著重工程實作。建議老師可在理論和工程的單元至少各選一個選修，讓學生能體驗到理論和工程的有意義整合。這正是 STEM 教育的重要一環。</p> <p>選修一： 聽力分析</p> <p>選修二： 1. 音符，音階和和弦（中學） 2. 音符（小學）</p> <p>選修三： 不同樂器的音質</p> <p>選修四： 把曲線轉換成直線</p> <p>選修五： 弦線的材料對音質影響</p> <p>選修六： 把弦樂器小型化</p> <p>選修七： 隔音材料</p> <p>選修八： 木琴的奧秘</p> |
|--|--|

甄選學生

學校宜透過不同渠道及多元化的方法，包括科學資優生的行為特質量表、教師在課堂內、外的觀察、學生作品、校內/校外科學比賽或科學知識測驗的表現、家長推薦、學生自薦等方法，以甄選合適學生參加計劃。

參考工具：

科學高能力學生的行為特質

- (a) 對學習科學充滿動機，並具有持久力、專注力和努力的表現；
- (b) 對有關科學的書籍及電視節目有興趣；
- (c) 喜歡解決科學難題；
- (d) 擅於將數據加以組織或把所觀察到的現象作分析以發現當中的關係；
- (e) 善於觀察、探索、提問及詳細地研究事物；
- (f) 對科學方法有深入的認識，能夠擬定假設及謹慎地進行實驗；
- (g) 熟巧地操作實驗儀器，並能改進實驗；
- (h) 能夠在發明及/或實驗設計活動展現創意；
- (i) 能夠在科學研習展現工作的熱忱，遇到困難仍然堅持不懈進行探究。

教學策略

教師宜持開放的態度，以學習促進者的角色鼓勵學生多作細心觀察，以科學和數學的方法作客觀的結論。另外，本教材著重鼓勵學生「找出問題」、「解決問題」和「發揮創意」。教師宜多鼓勵及指導學生善用智能手機中的應用程式(Mobile Apps)，自行尋找及瀏覽相關的網頁及參考書籍，結合實驗，加強自學能力。

5E 學習環境教學模式

由首席研究員 Dr. Roger Bybee 領導的生物科學課程研究(The Biological Science Curriculum Study) 開發出 5E 教學模式。這是一個強調學生要自行建構學習的教學模式。5E 教學模式共分投入(Engagement)、探索(Exploration)、解釋(Explanation)、闡述(Elaboration)，以及評鑑(Evaluation)五個階段。每一階段都有其獨特的作用，藉以組織課程、單元和課堂。

| 階段 | 目的 |
|----------------|-----------------------------------|
| 投入 Engagement | 激發學生的興趣，及至令他們投入課堂，同時亦可測試學生對課題有多理解 |
| 探索 Exploration | 令學生參與課題；為他們提供探究的機會 |
| 解釋 Explanation | 藉學生使用學術辭彙描述所學到的知識，為他們提供一個建構學習的機會 |
| 闡述 Elaboration | 容讓學生延伸及運用所學，藉以強化及修正他們的概念 |
| 評鑑 Evaluation | 評量學生所學 |

資料來源：

National Aeronautics and Space Administration (n.d.). 5Es Overview: " 5E instructional model ". Retrieved from

<http://www.nasa.gov/audience/foreducators/nasaclips/5eteachingmodels/index.html>

延伸閱讀

連結到 National Aeronautics and Space Administration (NASA):

<http://www.nasa.gov/audience/foreducators/nasaclips/5eteachingmodels/index.html>

連結到BSCS 5E Instructional Model:

<http://www.bsccs.org/bsccs-5e-instructional-model>

連結到 5E Model of Instruction, CSCOPE:

http://cscope.burnet.schoolfusion.us/modules/locker/files/get_group_file.phtml?fid=8738253&gid=2072567

課程內容

| | |
|---------|--|
| 教材套資料提供 | 教育局課程發展處資優教育組 |
| 適用年級 | 小五至高中 |
| 推行模式 | 抽離式或正規課堂的選修課程 |
| 學習領域 | 科學教育 |
| 節數 | <p>每課節 40 分鐘</p> <p>第一課(1B)：聲波的特性 第二課(1B)：聲波與光波 第三課(1B)：可聽聲音與超聲波 第四課(1B)：樂音與噪音</p> <p>注：以上各選修課程內容，課堂可彈處理。若有關理論部份，建議安排 1-2 堂；若涉及動手做的活動，則宜安排 3-6 堂。</p> <p>選修一：聽力分析 選修二：音符，音階與和弦 / 音符（小學） 選修三：不同樂器的音質 選修四：把曲線轉換成直線 選修五：弦線的材料對音質影響 選修六：把弦樂器小型化 選修七：隔音材料 選修八：木琴的奧秘</p> |

本教材若應用在高中，適合有修選物理、數學選修模組一(M1)或二(M2)的學生。部份涉及較高深的物理概念及數學技巧。部份內容接近大學一年級水平，學生假如能力許可，可嘗試學習「傅理葉數列」、「近似函數」等課題。這些課題可見於選修單元六至八。

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：1 節 (60 分鐘)

第一課：聲音是什麼？

學習目標

- (1) 認識聲音為振動的一個例子
- (2) 認識聲波需要藉著介質傳播

教具及所需物資：

- 手提電話、雷射筆、鋁箔（活動一）
- 高腳酒杯（玻璃杯）數個、調音器（活動二）
- 手機、密實袋、水箱（活動三）
- 馬達、耳機線，音樂播放器、木筷子、塑膠筷子、金屬筷子（活動四）
- 看得見的聲音（工作紙）、玻璃杯的音樂（工作紙）、水能否傳聲？（工作紙）、用骨「聽」聲音（工作紙）

| 學習活動 | 備註 |
|--|---|
| 了解聲音是物質的振動 <ul style="list-style-type: none">● 聲音與樂器 PPT● 活動一：看得見的聲音（工作紙） | <ul style="list-style-type: none">◆ 酒杯的音樂示範 (PPT 1:1) [Engagement]◆ 把學生分組進行活動，並嘗試討論及試解釋每個活動有關的現象：[Exploration]◆ （為什麼雷射光點會移動？光點的移動 |

| | |
|--|---|
| | <p>移和什麼有關？…)</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ 著學生對現象作出解釋[Explanation] |
| <ul style="list-style-type: none"> ● 活動二：玻璃杯的音樂（工作紙） （為什麼玻璃杯會發聲？聲音的高低和什麼有關？…） | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 著學生對現象作出解釋[Explanation] ◆ 總結聲音是由振動產生 ◆ 著學生建議一個實驗去展示聲音由振動所產生[Elaboration] |
| <p>認識聲波需要藉著介質傳播</p> <p>活動三：水能否傳聲？（工作紙）</p> | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 聲音能否在真空中傳播？(PPT1:9, Youtube) [Engagement] ◆ 著學生解釋當電話放進水中時我們一樣可以聽得到手機所發出的聲音，可以作出什麼結論？ [Explanation] |
| <ul style="list-style-type: none"> ◆ 活動四：用骨「聽」聲音（工作紙） | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 把學生分組進行活動，並嘗討論及試解釋用骨「聽」聲音的現象：（是否連接上耳機線的馬達會發聲？沒有咬住筷子能否聽到音樂？…） [Exploration] ◆ 著學生對現象作出解釋[Elaboration] |
| | <p>延伸活動</p> |

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：1 節 (60 分鐘)

第一課：聲音是什麼？

學習目標

- (1) 認識聲音為振動的一個例子
- (2) 認識聲波需要藉著介質傳播

教具及所需物資：

- 手提電話、雷射筆、鋁箔（活動一）
- 高腳酒杯（玻璃杯）數個、調音器（活動二）
- 手機、密實袋、水箱（活動三）
- 馬達、耳機線，音樂播放器、木筷子、塑膠筷子、金屬筷子（活動四）
- 看得見的聲音（工作紙）、玻璃杯的音樂（工作紙）、水能否傳聲？（工作紙）、用骨「聽」聲音（工作紙）

| 學習活動 | 備註 |
|--|---|
| 了解聲音是物質的振動 <ul style="list-style-type: none">● 聲音與樂器 PPT● 活動一：看得見的聲音（工作紙） | <ul style="list-style-type: none">◆ 酒杯的音樂示範 (PPT 1:1) [Engagement]◆ 把學生分組進行活動，並嘗試討論及試解釋每個活動有關的現象：[Exploration]◆ （為什麼雷射光點會移動？光點的移動 |

| | |
|--|--|
| | <p>移和什麼有關？…)</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ 著學生對現象作出解釋[Explanation] |
| <ul style="list-style-type: none"> ● 活動二：玻璃杯的音樂（工作紙） （為什麼玻璃杯會發聲？聲音的高低和什麼有關？…） | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 著學生對現象作出解釋[Explanation] ◆ 總結聲音是由振動產生 ◆ 著學生建議一個實驗去展示聲音由振動所產生[Elaboration] |
| <p>認識聲波需要藉著介質傳播</p> <p>活動三：水能否傳聲？（工作紙）</p> | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 聲音能否在真空中傳播？(PPT1:9, Youtube) [Engagement] ◆ 著學生解釋當電話放進水中時我們一樣可以聽得到手機所發出的聲音，可以作出什麼結論？ [Explanation] |
| <ul style="list-style-type: none"> ◆ 活動四：用骨「聽」聲音（工作紙） | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 把學生分組進行活動，並嘗試討論及試解釋用骨「聽」聲音的現象：（是否連接上耳機線的馬達會發聲？沒有咬住筷子能否聽到音樂？…） [Exploration] ◆ 著學生對現象作出解釋[Elaboration] |
| | <p>延伸活動</p> |

教師筆記：傳送聲音的水？

器材：手機/mp3、抽空袋、容器

步驟：

1. 打開手提電話或 mp3 機，然後用它來播放音樂，再聆聽聲音。
2. 之後將它放入抽空袋中，再將抽空袋放入裝水的容器中。
3. 水的高度要淹沒抽空袋，再聆聽是否能聽到聲音。



圖一

原理：

平時手提電話或 mp3 機的音樂，傳遞聲音時是利用空氣作為媒介，再進入耳朵，因而清楚接收聲音。將抽空袋放入容器後，我們同樣聽得它的音樂，即是將聲波利用水作為媒介，再進入耳朵所造成。

小提示：

要小心把抽空袋進行密封，如有必要可用多個抽空袋，減少手提電話或 mp3 機因滲水而受損的風險。取出時須謹慎地先把水刷乾，宜用乾毛巾鋪疊。

學生工作紙：能否傳聲？

器材：手機、密實袋、水箱

步驟：

1. 打開手提電話或 mp3 機，然後用它來播放音樂，再聆聽聲音。
2. 之後將它放入抽空袋中，再將抽空袋放入裝水的容器中。
3. 水的高度要淹沒抽空袋，再聆聽是否能聽到聲音。



圖一

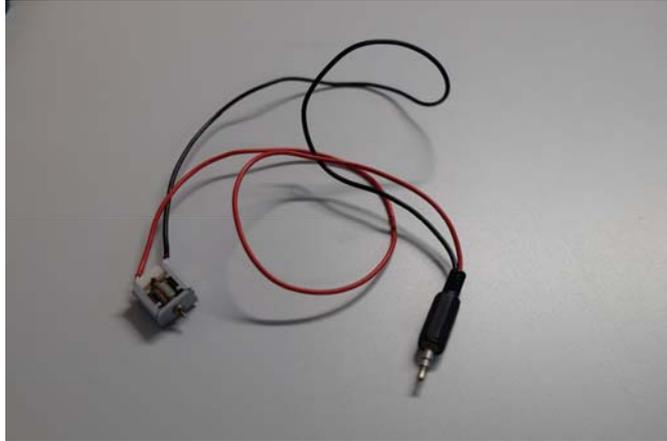
原理：

教師筆記：「骨傳導」－以固體來傳遞聲音

器材：摩打、耳機線，播放器(電腦、mp3)

步驟：

1. 把摩打連接在耳機線上（圖一）。
2. 把聽筒耳機線的插頭插入播放器，再播放音樂。建議使用功率較大的播放器。
3. 此時用牙齒輕輕咬住摩打的外殼，再聆聽聲音能否傳遞進耳內。基於衛生考慮，建議先用保鮮紙包住摩打。（圖二）



圖一



圖二

原理：

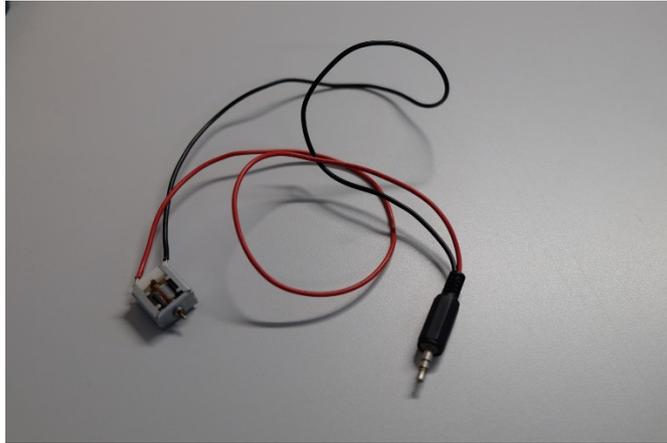
雖然當摩打連接上播放器時，因為震動太少，所以是聽不到聲音的。但當用牙齒輕輕咬住摩打的外殼時，聲音就透過牙齒、顎骨、頭骨再傳到內耳的聽覺神經，再經大腦分析後就聽到音樂。

學生工作紙：「骨傳導」－以固體來傳遞聲音

器材：摩打、耳機線，播放器(電腦、mp3)

步驟：

1. 把摩打連接在耳機線上（圖一）。
2. 把聽筒耳機線的插頭插入播放器，再播放音樂。建議使用功率較大的播放器。
3. 此時用牙齒輕輕咬住摩打的外殼，再聆聽聲音能否傳遞進耳內。基於衛生考慮，建議先用保鮮紙包住摩打。（圖二）



圖一



圖二

原理：

教師筆記：玻璃杯的音樂
玻璃杯可以發出美妙動人的音樂喔，想不想玩呢？

器材：高腳酒杯（玻璃杯）數個、調音器

步驟：

1. 取一個高腳酒杯（玻璃杯），將手指頭沾濕以後，在高腳杯杯口邊緣摩擦（可已握住杯子底座，不可以握住杯口），看能不能發出聲音？注意：手指頭沾水可多不可少，而摩擦杯口時，以同一方向（順時鐘或逆時鐘皆可）摩擦，不必太用力（如圖一）。
2. 試一試不同大小的高腳酒杯，仔細聽一聽發出的聲音高低有何不同？（杯子越大，聲音越低）
3. 在同一個高腳酒杯加水，仔細聽一聽不同的水位高低，發出的聲音高低有何不同？（水加得越多，聲音越低）
4. 利用不同大小的高腳酒杯以及加水多寡（如圖二），用調音器調出不同音階的杯子，就可以當成樂器「摸」出一首曲子。



圖一



圖二

原理：

手指頭在杯口摩擦時，能夠讓杯子產生震動（這種震動能夠由杯子裡的水產生波動觀察出來），進而讓空氣振動而產生聲音。而杯子的質量越大，震動會越慢，因此杯子越大或是加了水，聲音都會變低。

注意事項：

如果發不出聲音經常是因為手沾的水不夠，或是摩擦得太輕或太重，多練習幾次一定可以成功。而加水太滿時，聲音的大小（響度）容易變小，因此調音時，需

要調較低的音時，選用大一點的杯子會更好。另一方面，如果杯子質量相近（音高會接近），則杯子本身越寬大，響度會越好。

如果利用到教學，可以讓小朋友想一想杯子的大小、加水的多寡和聲音的高低有何關係？也可以讓小朋友利用調音器，控制加水的量，調出恰當的音高。

學生工作紙：玻璃杯的音樂
玻璃杯可以發出美妙動人的音樂喔，想不想玩呢？

器材：高腳酒杯（玻璃杯）數個、調音器

步驟：

1. 取一個高腳酒杯（玻璃杯），將手指頭沾濕以後，在高腳杯杯口邊緣摩擦（可已握住杯子底座，不可以握住杯口），看能不能發出聲音？注意：手指頭沾水可多不可少，而摩擦杯口時，以同一方向（順時鐘或逆時鐘皆可）摩擦，不必太用力（如圖一）。
2. 試一試不同大小的高腳酒杯，仔細聽一聽發出的聲音高低有何不同？（杯子越大，聲音越低）
3. 在同一個高腳酒杯加水，仔細聽一聽不同的水位高低，發出的聲音高低有何不同？（水加得越多，聲音越低）
4. 利用不同大小的高腳酒杯以及加水多寡（如圖二），用調音器調出不同音階的杯子，就可以當成樂器「摸」出一首曲子。



圖一



圖二

原理：

教師筆記：用眼捕捉聲音

器材：手提電話、雷射筆、鋁箔

步驟：

聲音雖然聽得到，但卻觸不到看不到，有方法能讓你看見聲音嗎？

製作過程



1. 平放手提電話，然後在發聲位置貼上一層鋁箔，光滑部分外露朝天。
2. 開啟手提電話的音樂播放器，然後將雷射筆的高度與方向稍作調整，使雷射筆的光點直射到鋁箔，再用寶貼(Blu-Tack)固定雷射筆。
3. 察看雷射筆的光點因着聲音而振動起來。

安全提示：

避免直視雷射筆的光點，以防止傷害眼睛！避免購買高功率的雷射筆，因此會帶有傷害性。而使用較大的紙筒，則振動效果更顯著。

實驗完成後可稍作提問，問題包括：

1. 鋁箔的光滑程度對光點清晰度有何影響？能否著手將實驗設計改善，令雷射光點更明顯？

有影響！鋁箔的反射效果不如理想，故雷射光點不明顯。建議可利用小鏡片，因為鏡片越大，質量便越大，於是越難振動，造成光點的振動情形不佳。

2. 當聲音的響度與音調不同，對於光點的振動有何影響？
響度指「振幅」變化，振幅越大聲音越大。而音調指「頻率」不同，頻率越大振動越高。聲音越大聲讓光點振動幅度提升，而聲音越高讓光點的振動越快。為了要明顯觀察光點，建議大幅提升音量。另外，也可以播放高音和低音，再察看實驗中的振動頻率之別。
3. 光點振動幅度大小，除聲音影響外，還有更多原因嗎？

當然有！雷射筆與鏡片距離，甚至是牆壁間距離都存有關係。距離越遠，反射距離越長，均影響振動幅度。若距離太遠，光點亮度便不明顯！

學生工作紙：用眼捕捉聲音

器材：手提電話、雷射筆、鋁箔

步驟：

聲音雖然聽得到，但卻觸不到看不到，有方法能讓你看見聲音嗎？

製作過程



1. 平放手提電話，然後在發聲位置貼上一層鋁箔，光滑部分外露朝天。
2. 開啟手提電話的音樂播放器，然後將雷射筆的高度與方向稍作調整，使雷射筆的光點直射到鋁箔，再用寶貼(Blu-Tack)固定雷射筆。
3. 察看雷射筆的光點因着聲音而振動起來。

1. 鋁箔的光滑程度對光點清晰度有何影響？能否著手將實驗設計改善，令雷射光點更明顯？

2. 當聲音的響度與音調不同，對於光點的振動有何影響？

3. 光點振動幅度大小，除聲音影響外，還有更多原因嗎？

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

聲波的特性

聲波與光波

可聽聲音與超聲波

樂音與噪音

！聲音是甚麼？

- wine glass sound experiment
 - <https://www.youtube.com/watch?v=A7WLWki4CjA>
- Street artist playing Hallelujah with crystal glasses
 - <https://www.youtube.com/watch?v=IAEXH9DAH98>
- 超強玻璃杯演奏
 - <https://www.youtube.com/watch?v=ZkO6iEs41sc>

聲音是甚麼？



- 你認為甚麼是聲音？
- 聲音有甚麼特質？
- 用聲音震破玻璃杯
 - <https://www.youtube.com/watch?v=HkC2NcgK8jA>
 - https://www.youtube.com/watch?v=0iHj_Gt2kmE&nohtml5=False
 - <https://www.youtube.com/watch?v=eZdXVNxgaWk&nohtml5=False>

活動一：看得見的聲音

- 聲音只能聽得到，但怎樣可以「看見」聲音呢？

活動二：玻璃杯的音樂

聲音的本質

- 聲音由振動產生
- 物體振動會推動附近的空氣振動產生聲音

聲音的特性

- 聲音可否在固體、液體和氣體中傳播？



聲音的傳播

- 聲音能否在空氣中傳播？
- 有沒有事例？有沒有建議實驗？

- 聲音能否在真空中傳播？



<https://www.youtube.com/watch?v=za6UxMZGTrs>
<https://www.youtube.com/watch?v=Co6GzluZtVE>

聲音的傳播

- 但如何證明它可以在液體和固體中傳播？
你能設計一些實驗來測試嗎？

活動三：水能否傳聲？

活動四：用骨「聽」聲音

聲音的傳播

- 物體震動所發出的聲音，必須靠介質傳遞才能前進，而介質的種類不論是固體、液體及氣體皆可以。
- 在真空的情況下，由於沒有氣體可以當作介質，所以聲波無法傳遞，而使得我們聽不見聲音。



- 在空氣 (20°C) 中，聲速約為 340 m s^{-1} 。
- 聲音在固體中的傳播速率最高，在氣體中的最低。
- 有人說，聲音的傳播速率與頻率或音量無關，你贊同嗎？為甚麼？
- 我們在日常生活中沒有發現先聽到高音，後聽到低音或相反情況？所以聲音的速度跟頻率無關。同時跟音響的大小亦無關。

完

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：1 節 (60 分鐘)

第二課：聲音的速度與高低

學習目標

- (1) 認識聲音的傳播和影響聲音速度的因素
- (2) 認識聲音的振動頻率
- (3) 認識人類聽頻範圍及其受影響的因素

教具及所需物資：

- 智能電話
- Android App: Signal Generator (android-design.nl)

| 學習活動 | 備註 |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">◆ 簡單應用 $D=vt$◆ 聲音在不同介質的速度 | <ul style="list-style-type: none">● 著學生嘗試觀察閃電到行雷之間的時間差距，估算行雷位置與觀察的距離有多遠[Explanation]● 介紹不同物理因素影響聲音傳播的速度◆ 老師亦可講理聲速和光速的速音相差極大，而且光速是非常快 ($c=3 \times 10^8 \text{m/s}$)，基本上可假設光是即時由打雷點傳到觀察者 |

| | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">◆ 了解甚麼是頻◆ 測定聽頻範圍◆ 檢測超聲波存在於聽頻範圍外 | <ul style="list-style-type: none">◆ 電腦模擬程式(PPT 1:20) [Engagement]◆ 測試你能聽到的最高頻率（信號產生器 App：Signal generator, android-design.nl） [Engagement]◆ 可聽的最高頻率普查（信號產生器 App：Signal generator, android-design.nl） [Elaboration]◆ 製作「蚊滋」鈴聲[Elaboration] |
| | <p style="text-align: center;">延伸活動</p> |

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：1 節 (60 分鐘)

第二課：聲音的速度與高低

學習目標

- (1) 認識聲音的傳播和影響聲音速度的因素
- (2) 認識聲音的振動頻率
- (3) 認識人類聽頻範圍及其受影響的因素

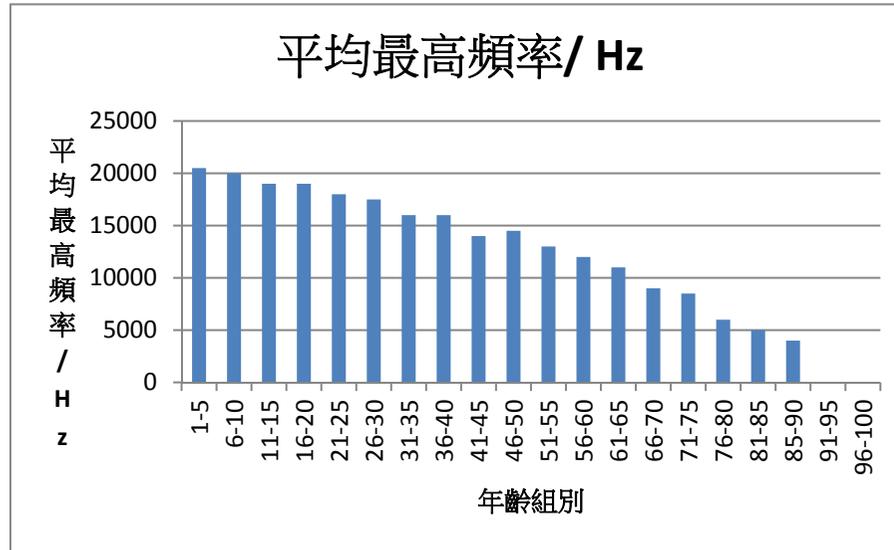
教具及所需物資：

- 智能電話
- Android App: Signal Generator (android-design.nl)

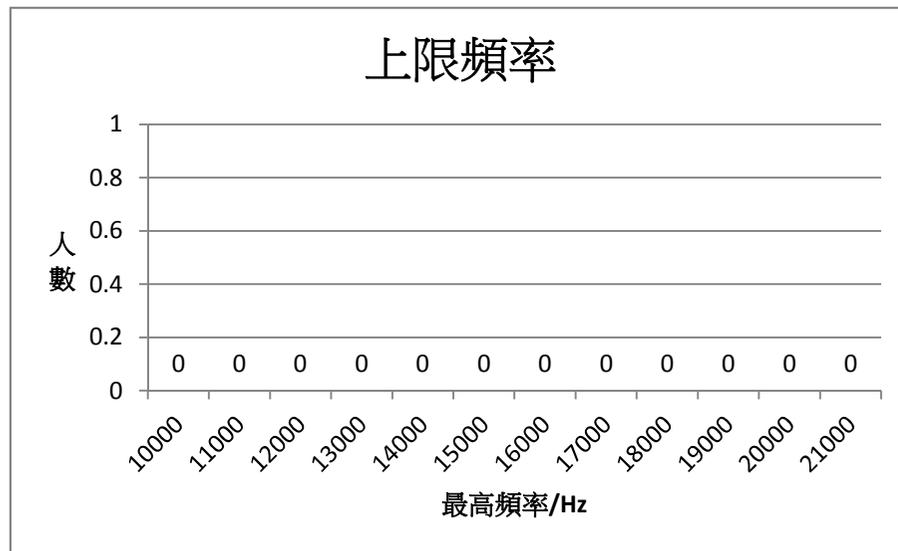
| 學習活動 | 備註 |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">◆ 簡單應用 $D=vt$◆ 聲音在不同介質的速度 | <ul style="list-style-type: none">● 著學生嘗試觀察閃電到行雷之間的時間差距，估算行雷位置與觀察的距離有多遠[Explanation]● 介紹不同物理因素影響聲音傳播的速度◆ 老師亦可講理聲速和光速的速音相差極大，而且光速是非常快 ($c=3 \times 10^8 \text{m/s}$)，基本上可假設光是即時由打雷點傳到觀察者 |

| | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">◆ 了解甚麼是頻◆ 測定聽頻範圍◆ 檢測超聲波存在於聽頻範圍外 | <ul style="list-style-type: none">◆ 電腦模擬程式(PPT 1:20) [Engagement]◆ 測試你能聽到的最高頻率（信號產生器 App：Signal generator, android-design.nl） [Engagement]◆ 可聽的最高頻率普查（信號產生器 App：Signal generator, android-design.nl） [Elaboration]◆ 製作「蚊滋」鈴聲[Elaboration] |
| | <p style="text-align: center;">延伸活動</p> |

| 年齡組別 | 平均最高頻率/ Hz |
|--------|------------|
| 1-5 | 20500 |
| 6-10 | 20000 |
| 11-15 | 19000 |
| 16-20 | 19000 |
| 21-25 | 18000 |
| 26-30 | 17500 |
| 31-35 | 16000 |
| 36-40 | 16000 |
| 41-45 | 14000 |
| 46-50 | 14500 |
| 51-55 | 13000 |
| 56-60 | 12000 |
| 61-65 | 11000 |
| 66-70 | 9000 |
| 71-75 | 8500 |
| 76-80 | 6000 |
| 81-85 | 5000 |
| 85-90 | 4000 |
| 91-95 | |
| 96-100 | |



| 最高頻率/Hz | 人數 |
|---------|----|
| 10000 | 0 |
| 11000 | 0 |
| 12000 | 0 |
| 13000 | 0 |
| 14000 | 0 |
| 15000 | 0 |
| 16000 | 0 |
| 17000 | 0 |
| 18000 | 0 |
| 19000 | 0 |
| 20000 | 0 |
| 21000 | 0 |



II 聲音的速度與高低

- 快速估計雷暴發生的地方有多遠
- 如果看到閃電 3 s 後，才聽到雷聲，那麼你，距離雷暴發生的地方大約 1 km 遠。這是如何計算出來的？



閃電與雷聲

女孩看到閃電，3 s 後才聽到雷聲，她距離雷暴發生的地方有多遠？

聲音的傳播速率 = 340 m s^{-1}

閃電與打雷同時發生。

光的傳播速率高 \Rightarrow 假設閃電的光一出現便即時到達女孩的眼睛。

女孩與雷暴的距離

= 聲速 \times 相差的時間

= $340 \times 3 = 1020 \text{ m}$



聲速受以下因素影響：

- 空氣的溫度

在室溫下 $\sim 340 \text{ m s}^{-1}$ ；

溫度下降，聲速下降

- 傳遞聲音的介質

在固體中比在液體中快；

在液體中比在氣體中快。

聲速受以下因素影響

- 在室溫下聲速 $\sim 340 \text{ m s}^{-1}$ ，溫度上升，聲速上升
- 聲音在不同介質速度也不同。 $V_{\text{固體}} > V_{\text{液體}} > V_{\text{氣體}}$

| 介質 | 聲速/ m s^{-1} |
|------------|-----------------------|
| 0 °C 的二氧化碳 | 259 |
| 0 °C 的空氣 | 330 |
| 20 °C 的空氣 | 340 |
| 0 °C 的水 | 1402 |
| 20 °C 的水 | 1482 |
| 混凝土 | 5000 |
| 鋼 | 6000 |

甚麼是頻率

- 聲波由物體的振動產生，它的頻率與物體振動的頻率相同。
- 頻率是一秒內重複發生的次數，頻率的單位是赫茲（Hz）

可聽聲波與超聲波

- 不同的音叉可產生不同頻率的聲波
- 人類的耳朵一般只能聽到約在20Hz至20,000 Hz（20kHz）範圍內的聲音
- 其上限會隨年齡增加而降低
- 不同物種動物的聽覺頻率範圍如下：
 - 蝙蝠：1000～120000Hz
 - 海豚：2000～100000Hz
 - 貓：60～65000Hz
 - 狗：40～50000Hz
 - 人：20～20000Hz



考考你聽力！

- 人類只聽到頻率為 20 Hz 至 20 kHz 的聲音。
- 每個人都有少許不同；隨着年齡增長而縮窄
 - <http://onlinetonegenerator.com/>
 - [全班結果](#)
- 測定聽頻範圍
 - Android App: Signal Generator (android-design.nl)

製作自己的專用「蚊滋」鈴聲

- 單頻聲音產生網站
 - http://www.audiocheck.net/audiofrequencysignalgenerator_sinetone.php
- 找出自己能聽到的最高頻率的聲音。
- 然後利用上述的網站製作自家的「蚊滋」鈴聲。
- 下堂把自家製作的「蚊滋」鈴聲裝上手機然後帶回來示範！☺

完

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：1 節 (60 分鐘)

第三課：聲音的響度與能量

學習目標

- (1) 認識聲音的響度
- (2) 了解響度和能量的關係
- (3) 了解聲強級的計算

教具及所需物資：

- 智能電話
- Android App: Sound Meter (Smart Tools co.)
- Android App: Signal Generator (android-design.nl)

| 學習活動 | 備註 |
|--|---|
| <p>III 聲音的響度與能量</p> <ul style="list-style-type: none">◆ 連繫樂音的音調和響度，與頻率和◆ 振幅之間相應的關係◆ 以分貝表達聲強級 | <ul style="list-style-type: none">◆ 介紹聲音響度的單位及量度方法(分貝計：App: Sound Meter (Smart Tools co.))◆ 發現聲音的響度與能量的關係◆ 在校內不同地方測試聲音的響度（App: Sound meter, Smart Tools co.）[Exploration]◆ 利用智能電話找出聲音強度與能量的關係[Exploration] [Explanation] |

| | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none">◆ 測試不同數目的揚聲器對響度的影響（留意非線性關係）◆ 人類耳朵對聲音量度的反應與能量的 log 有關，簡單而言，是數值上有多少位數 |
| | <p>延伸活動</p> |

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：1 節 (60 分鐘)

第三課：聲音的響度與能量

學習目標

- (1) 認識聲音的響度
- (2) 了解響度和能量的關係
- (3) 了解聲強級的計算

教具及所需物資：

- 智能電話
- Android App: Sound Meter (Smart Tools co.)
- Android App: Signal Generator (android-design.nl)

| 學習活動 | 備註 |
|--|---|
| <p>III 聲音的響度與能量</p> <ul style="list-style-type: none">◆ 連繫樂音的音調和響度，與頻率和◆ 振幅之間相應的關係◆ 以分貝表達聲強級 | <ul style="list-style-type: none">◆ 介紹聲音響度的單位及量度方法(分貝計：App: Sound Meter (Smart Tools co.))◆ 發現聲音的響度與能量的關係◆ 在校內不同地方測試聲音的響度（App: Sound meter, Smart Tools co.）[Exploration]◆ 利用智能電話找出聲音強度與能量的關係[Exploration] [Explanation] |

| | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none">◆ 測試不同數目的揚聲器對響度的影響（留意非線性關係）◆ 人類耳朵對聲音量度的反應與能量的 log 有關，簡單而言，是數值上有多少位數 |
| | <u>延伸活動</u> |

教師筆記：量度聲音強度 探討聲音強度的特性

器材：智能電話 x3

步驟：

1. 把 Sound Meter (Smart Tools co.) 安裝在其中一部智能電話(1)中，該部智能電話是用作量度聲音強度。其餘兩部智能電話(2 和 3)則裝上 Signal Generator (android-design.nl) ，用作揚聲器。
2. 利用智能電話(1)來量度智能電話(2)和(3)的聲音強度。需注意智能電話(2)(3)需與(1)的距離相同。
3. 同時啟動智能電話(2)和(3)，它們所產生的聲音強度是否就是個別的總和？
4. 改變智能電話(2)和(3)的聲音強度，然後重複步驟 2 和 3，看看有甚麼發現。

原理：

人類耳朵能聽到的最低聲強級為 0 dB，稱為聽覺閾。聲強級每增加 10 dB，聲音的強度是原來的 10 倍。如果是增加 20dB，能量提升了 $10 \times 10 = 100$ 倍，如此類推。

學生工作紙：量度聲音強度
探討聲音強度的特性

器材：智能電話 x3

步驟：

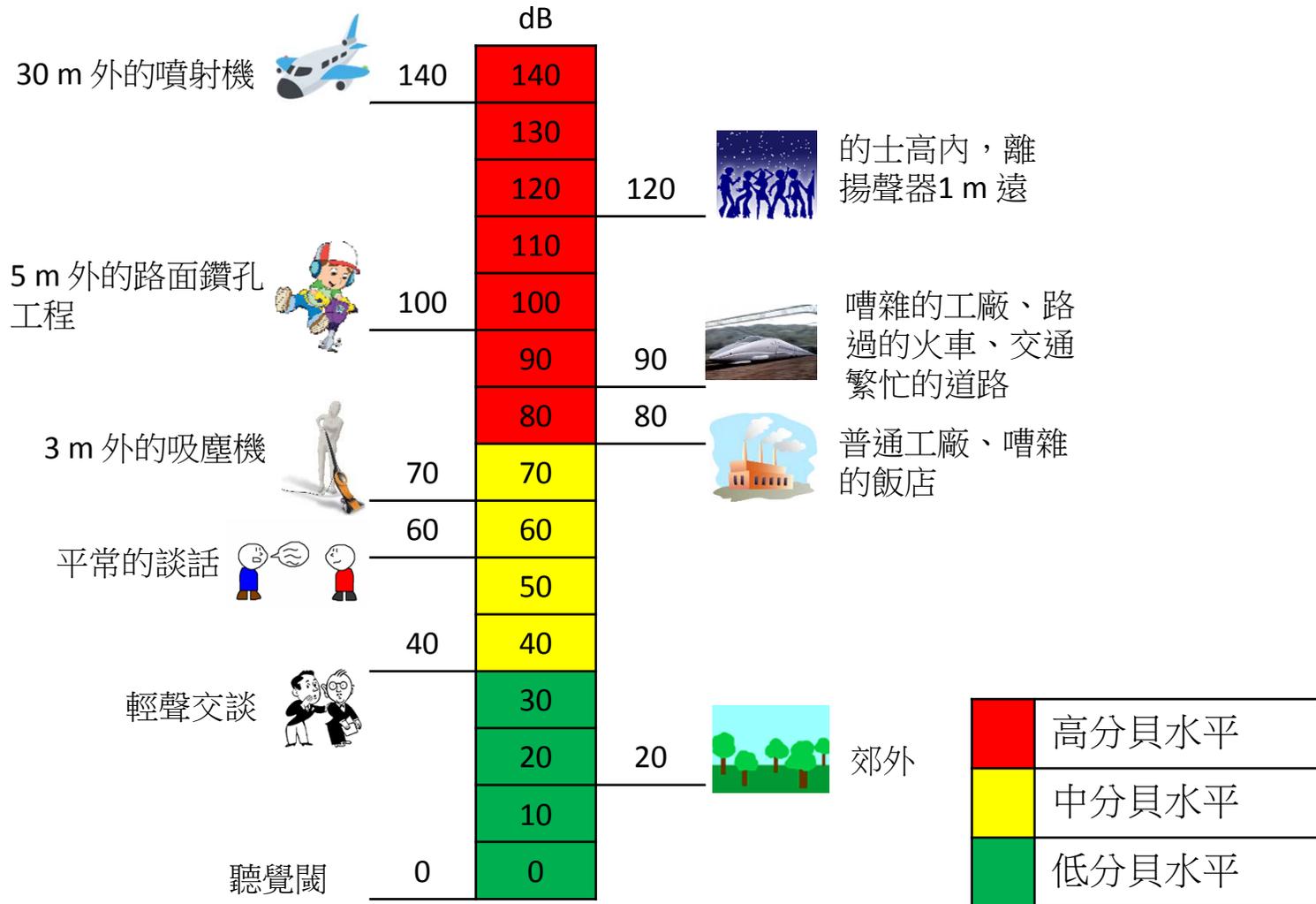
1. 把 Sound Meter (Smart Tools co.) 安裝在其中一部智能電話(1)中，該部智能電話是用作量度聲音強度。其餘兩部智能電話(2 和 3)則裝上 Signal Generator (android-design.nl) ，用作揚聲器。
2. 利用智能電話(1)來量度智能電話(2)和(3)的聲音強度。需注意智能電話(2)(3)需與(1)的距離相同。
3. 同時啟動智能電話(2)和(3)，它們所產生的聲音強度是否就是個別的總和？
4. 改變智能電話(2)和(3)的聲音強度，然後重複步驟 2 和 3。看看有甚麼發現。

原理：

III 聲音的響度與能量

- 響度或聲強級是以分貝量度（dB）
- 0 dB 不是沒有聲音！而只是人耳能聽到的最低聲強級，即聽覺閾。

聲強級



聲強級

- 聲級計/分貝計
- 量度不同地點的聲強級
- 由微音器、放大器和顯示錶組成
- 聲級計的量度單位是分貝
- 我們亦可用智能手機的應用程式來探測聲強級。
 - Android App: Sound Meter (Smart Tools co.)
 - Android App: Signal Generator (android-design.nl)



量度聲音強度活動

- 驅動第一個揚聲器（智能電話），然後用智能手機量度其聲音強度。
- 關閉第一個揚聲器，驅動第二個揚聲器（智能電話），然後用智能手機量度其聲音強度。
- 試估計同時驅動兩個揚聲器時，智能手機量度其聲音強度是多少。
- 為甚麼亮度不是提升了一倍？

聲音強度

- 人類耳朵能聽到的最低聲強級為 **0 dB**，稱為聽覺閾。
- 聲強級每增加 **10 dB**，聲音的強度是原來的 **10 倍**。

考考你！

- 如果聲音的強度提升了**40dB**，求能量的增加。
- 能量提升了 **$10 \times 10 \times 10 \times 10 = 10000$** ！
- 即是說，如果一個人大叫能產生**100dB**，假設每間學校有**800**人，**10**間學校的學生一齊大叫也不能產生**140dB**的聲音強度！

完

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：1 節 (60 分鐘)

第四課：音樂與噪音

學習目標

- (1) 觀察聲音的波形
- (2) 了解波形和聲音、音調、響度和音質關係
- (3) 了解噪音污染的影響和聲防護的重要性

教具及所需物資：

- 智能電話
- Android App: Oscilloscope (kmlen)

| 學習活動 | 備註 |
|---|--|
| IV 音樂與噪音 <ul style="list-style-type: none">◆ 以音調、響度和音品等術語比較音樂 | 利用示波器 App (Oscilloscope, kmlen) 觀察不同音調、響度和音品的波形[Exploration] 探索聲音亮度、音調和音品三者與波形的關係[Exploration] 介紹甚麼是噪音 如何保護聽覺 |

| | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none">◆ 活動：著學生設計一項探究活動。收集班中同學聽歌習慣與可聽高頻的關係[Evaluation]◆ 老師可向學生提問，為何不同樂器奏出相同音符，也可人讓人分辨到源自哪類樂器。 [Explanation]◆ 介紹聲波與波形的關係◆ 從波形的角度去討論不同樂器的音品。 |
| | <p>延伸活動</p> |

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：1 節 (60 分鐘)

第四課：音樂與噪音

學習目標

- (1) 觀察聲音的波形
- (2) 了解波形和聲音、音調、響度和音質關係
- (3) 了解噪音污染的影響和聲防護的重要性

教具及所需物資：

- 智能電話
- Android App: Oscilloscope (kmlen)

| 學習活動 | 備註 |
|---|--|
| IV 音樂與噪音 <ul style="list-style-type: none">◆ 以音調、響度和音品等術語比較音樂 | 利用示波器 App (Oscilloscope, kmlen) 觀察不同音調、響度和音品的波形[Exploration] 探索聲音亮度、音調和音品三者與波形的關係[Exploration] 介紹甚麼是噪音 如何保護聽覺 |

| | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none">◆ 活動：著學生設計一項探究活動。收集班中同學聽歌習慣與可聽高頻的關係[Evaluation]◆ 老師可向學生提問，為何不同樂器奏出相同音符，也可人讓人分辨到源自哪類樂器。 [Explanation]◆ 介紹聲波與波形的關係◆ 從波形的角度去討論不同樂器的音品。 |
| | <p style="text-align: center;">延伸活動</p> |

教師筆記：從「波形」看出甚麼定律？

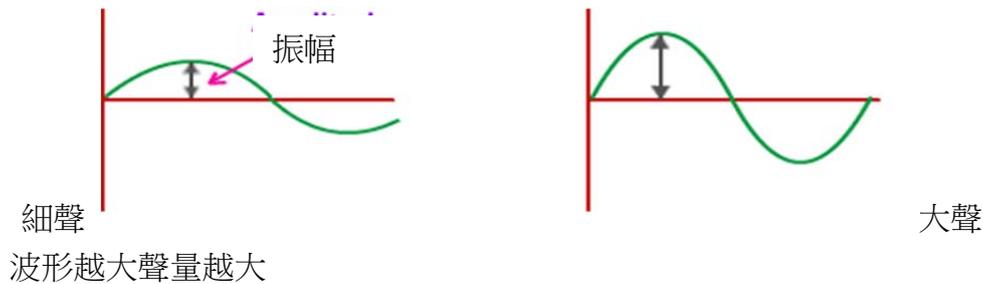
器材：智能電話

步驟：

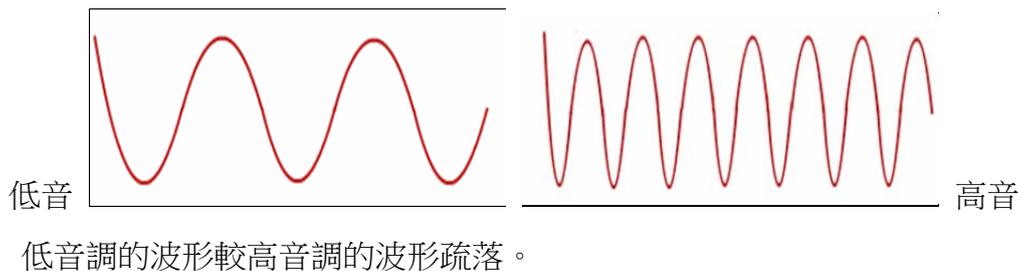
1. 先在智能電話安裝 Oscilloscope (kmlen)，接著將 Oscilloscope 啟動。一些快速移動的曲線便會在屏幕上出現。若想將瞬間的波形捕捉，可以透過智能電話的瞬間記錄屏幕功能(Screen Capture)，只需同時按著“開關鍵”和“增減聲量”兩粒智能電話的按鍵，即可獲取圖像。
2. 智能電話用力以大的聲量發聲，或以微細的聲量發聲，均可察看波形變化。
3. 利用不同的樂器（如口暴風琴）向智能電話收音位置奏樂，透過不同的音符（音調），均可察看波形變化。
4. 可以藉由班上不同的同學唱一樣的音調，如 “So”、“La”、“Ta” …，均可察看波形變化。

問題：

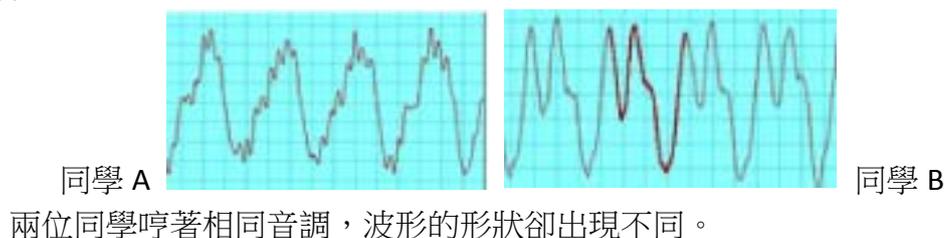
1. 波形如何受聲量大小的影響？試對波形進行草繪並作解釋。



2. 波形如何受音調不同的影響？試對波形進行草繪並作解釋。



3. 波形如何受「不同同學唱相同音調」的聲音影響？試對波形進行草繪並作解釋。



學生工作紙：「波形」可以看到甚麼？

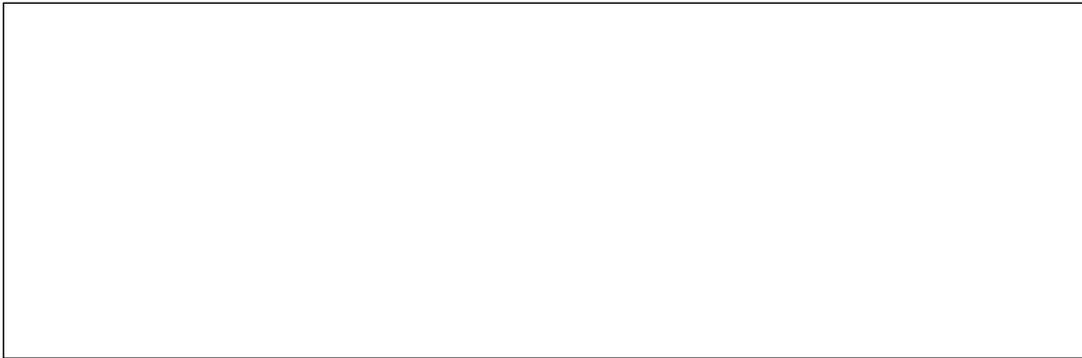
器材：智能電話

步驟：

1. 先在智能電話安裝 Oscilloscope (kmlen)，接著將 Oscilloscope 啟動。一些快速移動的曲線便會在屏幕上出現。若想將瞬間的波形捕捉，可以透過智能電話的瞬間記錄屏幕功能(Screen Capture)，只需同時按著“開關鍵”和“增減聲量”兩粒智能電話的按鍵，即可獲取圖像。
2. 智能電話用力以大的聲量發聲，或以微細的聲量發聲，均可察看波形變化。
3. 利用不同的樂器（如口暴風琴）向智能電話收音位置奏樂，透過不同的音符（音調），均可察看波形變化。
4. 可以藉由班上不同的同學唱一樣的音調，如 “So”、“La”、“Ta” …，均可察看波形變化。

問題：

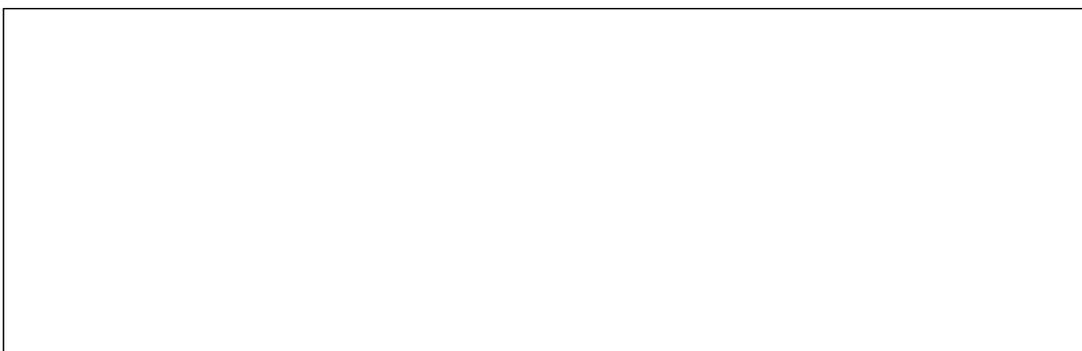
1. 波形如何受聲量大小的影響？試對波形進行草繪並作解釋。



2. 波形如何受音調不同的影響？試對波形進行草繪並作解釋。



3. 波形如何受「不同同學唱相同音調」的聲音影響？試對波形進行草繪並作解釋。



IV 音樂與噪音

「觀看」聲音



- 麥克風可以把聲音訊號傳送至電腦或智能電話（裝有聲音處理軟件的），它們可以把聲音「形象化」。
- 但現在我們可智能手機的應用程式來探測聲波。
 - Android App: Oscilloscope (kmlen)



Oscilloscope

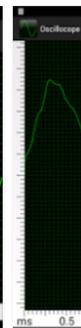
kmlen 音樂與音效

★★★★★ 186



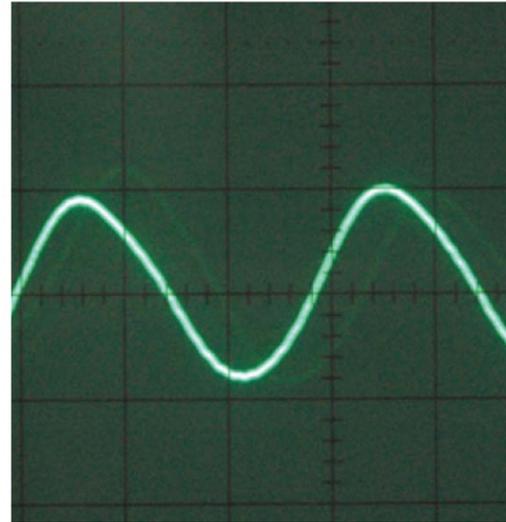
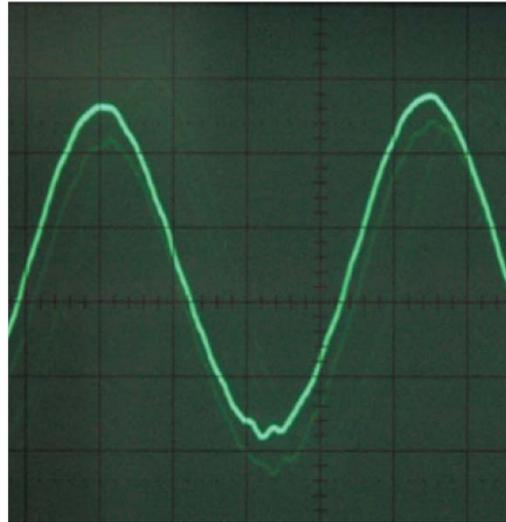
加入觀望清單

安裝



「觀看」聲音

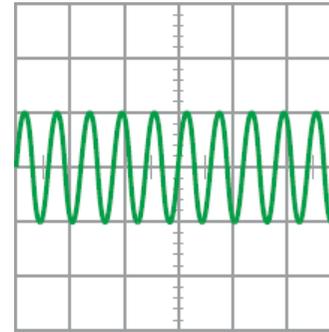
- 聲音使麥克風內的一塊微小金屬片振動
- 這些振動轉變為電子訊號
- 電腦、示波器或智能手機把這些訊號以**波形**顯示



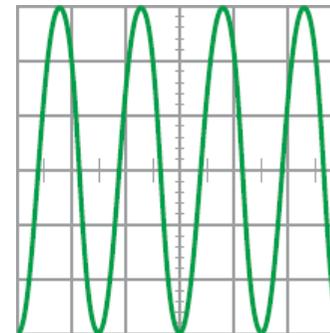
「波形」可以看到甚麼？

- 在你的智能手機開啟Oscilloscope（示波器），然後觀察屏幕上的波形如何跟聲音變化
 - 利用樂器（如牧童笛）奏出不同的音符
 - 大聲和細聲唱歌
 - 分別由不同的同學唱同音調的 “Woo” “Ah” “La” ...
- 你有甚麼發現？

- 音調與聲音的頻率有關。頻率愈高，音調愈高。
- 響度與聲波的振幅有關。對相同頻率的聲波，振幅愈大，響度愈大。



音調增加時
波形的描跡變化



響度增加時
波形的描跡變化

唱出同一個樂音

不同的人即使唱出同一個樂音時，我們也能分辨是誰唱的。



他們唱的樂音有甚麼不同？

唱出同一個樂音

- 不同的人即使唱出同一個樂音時，我們也能分辨是誰唱的。
- 他們唱的樂音有甚麼不同？

音樂欣賞

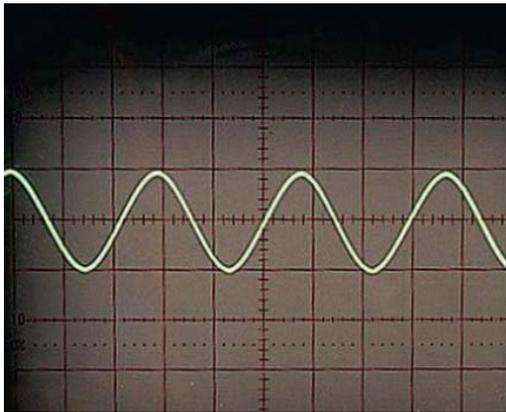
- Canon in D (鋼琴版)
- Canon in D (結他版)
- Canon in D (小提琴版)
- Canon in D (豎琴版)

利用不同的樂器演奏出相同樂音

- 雖然樂音是相同，但是你也能分辨出這些樂音是出自不同的樂器
- 試用應用程式 **Oscilloscope** 觀察它們的波形，看看你能否找出解釋
- 他們唱出的樂音有不同音質。

音質

- 不同的樂器就算發出相同音調，它們的波形是不同的，在科學上不同音質是指不同的波形。



Flute



Clarinet



Oboe



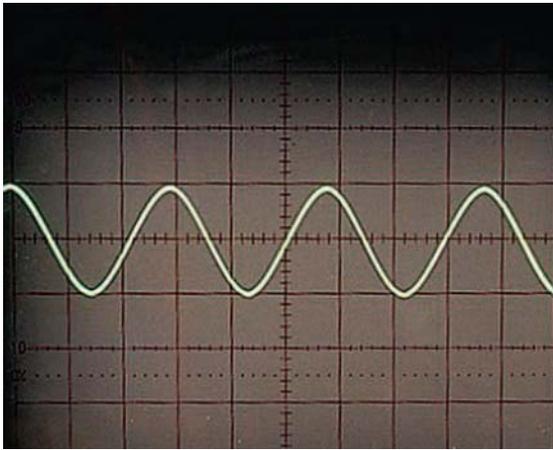
Saxophone



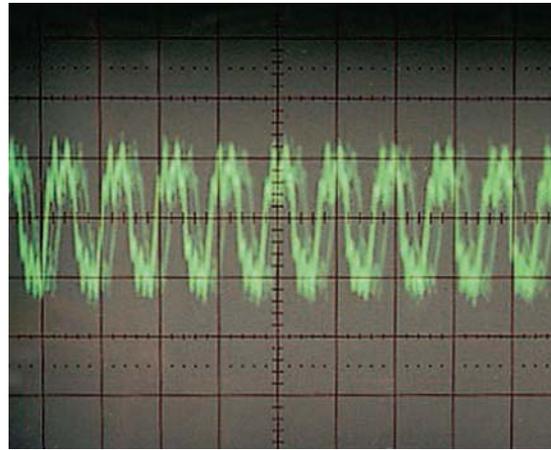
Playing the same note

樂音與噪音

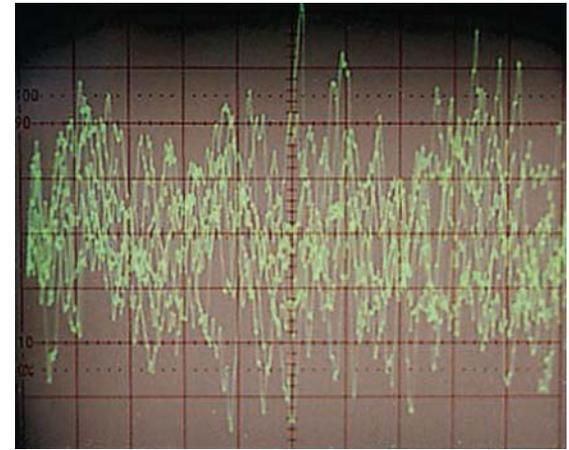
- 樂音的波形具有一定的規律，由有規律的振動產生。
- 噪音的波形沒有規律，由雜亂無章的振動產生。



音叉



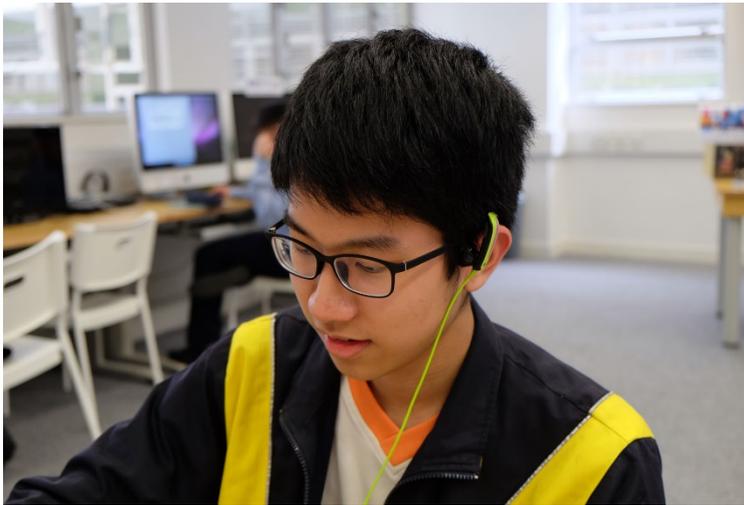
口琴



噪音

你要保護你聽覺

- 調校耳筒的音量至合適的水平，避免長期聆聽嘈吵的音樂。
- 在高噪音環境中工作時，工人必須配戴耳筒以保護聽覺。



有沒有出街帶耳筒聽歌的習慣？

- 記錄日間在街上聽歌時，
 - 播放器的聲量
 - 播放的歌曲
 - 所利用的耳筒
- 在晚上睡覺前，在睡房使用與日間聽歌時所用的相同設定（相同的播放器、歌曲、聲量、耳筒...），聽聽有甚麼發現？

創意大挑戰！

- 在早前的活動中，同學都知道自己可聽到的最高頻率，這已經反映了聽覺的部份能力
- 設計一探究活動，找出班中同學的聽覺與哪些生活習慣有關
- 同學可利用已有知識，並結合可量化的參數和統計，尋找箇中關係

完

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：1 節 (60 分鐘)

選修單元：聽力分析

學習目標

- (1) 了解人類耳朵的聽力
- (2) 測試聽力
- (3) 認識聽力與年齡的關係
- (4) 了解聽覺受損程度分類
- (5) 了解噪音污染的影響和聲防護的重要性

教具及所需物資：

- 智能電話
- Android App: Signal Generator (android-design.nl)
- Android App: Sound Meter (Smart Tools co.)

| 學習活動 | 備註 |
|-------------------|------------------------------|
| 聽力分析 了解人類耳朵的聽力 | ◆ 老師可向學生提有關班內同學的聽力差異及有關聽力的問題 |

| | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ● 利用 Youtube 視像 Cool Hearing test 讓學生初步了解每個人都有不同的聽覺能力和聽力受損的標準 ● [Engage] ● 利用 Youtube 視像「聽音樂音量過大損害聽力」，討論過大的聲音如何傷害聽覺 [Exploration] ● 利用利用智能手機的應用程式來測試自己可聽的最高頻（研習一）。 [Exploration] ● 嘗試利用 App 找出朋友和家人的可聽到的最高頻率並記錄他們的年齡。 [Exploration] | |
| <ul style="list-style-type: none"> ● 利用利用智能手機的應用程式來測試 500、1,000、2,000、4,000 赫茲這 4 個音的雙耳聽力閾值（研習二）。 [Exploration] | <p>在討論測試雙耳聽力閾值的實驗設計時，提醒學生：</p> <p>*由於儀器的精確度，實驗結果只能作參考</p> <p>◆</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> ● 討論及分析研習結果： ● 如何改善實驗設計 [Elaborate] ● 如何處理整合不同同學的數據[Evaluate] | <p>*如何減少周圍環境聲音的影</p> |
| | <p style="text-align: center;">延伸活動</p> |

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：1 節 (60 分鐘)

選修單元：聽力分析

學習目標

- (1) 了解人類耳朵的聽力
- (2) 測試聽力
- (3) 認識聽力與年齡的關係
- (4) 了解聽覺受損程度分類
- (5) 了解噪音污染的影響和聲防護的重要性

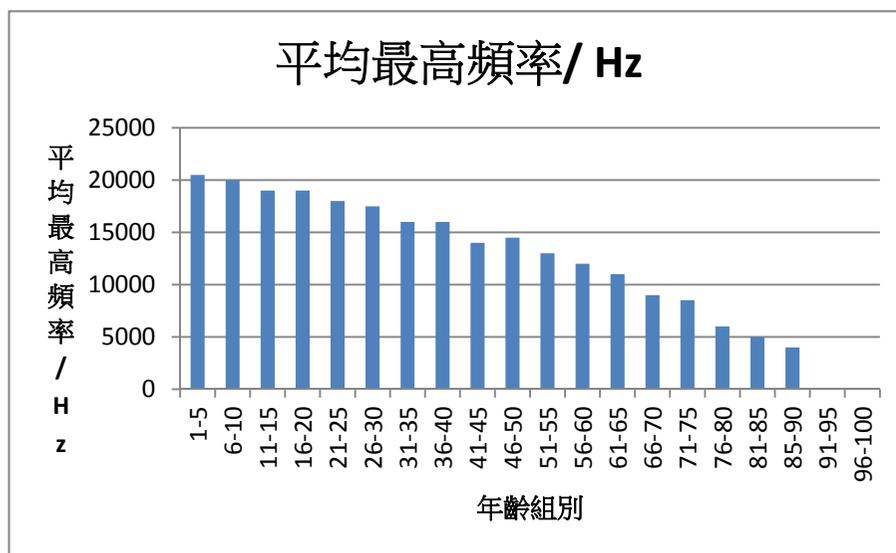
教具及所需物資：

- 智能電話
- Android App: Signal Generator (android-design.nl)
- Android App: Sound Meter (Smart Tools co.)

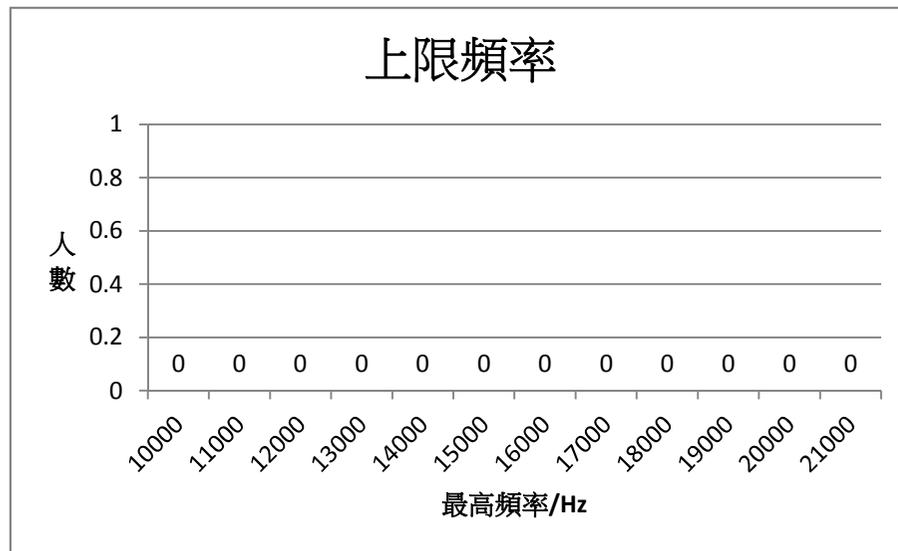
| 學習活動 | 備註 |
|-------------------|------------------------------|
| 聽力分析 了解人類耳朵的聽力 | ◆ 老師可向學生提有關班內同學的聽力差異及有關聽力的問題 |

| | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ● 利用 Youtube 視像 Cool Hearing test 讓學生初步了解每個人都有不同的聽覺能力和聽力受損的標準 ● [Engage] ● 利用 Youtube 視像「聽音樂音量過大損害聽力」，討論過大的聲音如何傷害聽覺 [Exploration] ● 利用利用智能手機的應用程式來測試自己可聽的最高頻（研習一）。 [Exploration] ● 嘗試利用 App 找出朋友和家人的可聽到的最高頻率並記錄他們的年齡。 [Exploration] | |
| <ul style="list-style-type: none"> ● 利用利用智能手機的應用程式來測試 500、1,000、2,000、4,000 赫茲這 4 個音的雙耳聽力閾值（研習二）。 [Exploration] | <p>在討論測試雙耳聽力閾值的實驗設計時，提醒學生：</p> <p>*由於儀器的精確度，實驗結果只能作參考</p> <p>◆</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> ● 討論及分析研習結果： ● 如何改善實驗設計 [Elaborate] ● 如何處理整合不同同學的數據[Evaluate] | <p>*如何減少周圍環境聲音的影</p> |
| | <p style="text-align: center;">延伸活動</p> |

| 年齡組別 | 平均最高頻率/ Hz |
|--------|------------|
| 1-5 | 20500 |
| 6-10 | 20000 |
| 11-15 | 19000 |
| 16-20 | 19000 |
| 21-25 | 18000 |
| 26-30 | 17500 |
| 31-35 | 16000 |
| 36-40 | 16000 |
| 41-45 | 14000 |
| 46-50 | 14500 |
| 51-55 | 13000 |
| 56-60 | 12000 |
| 61-65 | 11000 |
| 66-70 | 9000 |
| 71-75 | 8500 |
| 76-80 | 6000 |
| 81-85 | 5000 |
| 85-90 | 4000 |
| 91-95 | |
| 96-100 | |



| 最高頻率/Hz | 人數 |
|---------|----|
| 10000 | 0 |
| 11000 | 0 |
| 12000 | 0 |
| 13000 | 0 |
| 14000 | 0 |
| 15000 | 0 |
| 16000 | 0 |
| 17000 | 0 |
| 18000 | 0 |
| 19000 | 0 |
| 20000 | 0 |
| 21000 | 0 |



怎樣叫做聽力好、聽力不好？

- 聽力測試（Cool Hearing test）

- <https://www.youtube.com/watch?v=h5l4Rt4Ol7M>

思考問題



- 左耳與右耳是否有差異？
- 噪音是否影響聽覺？「聽覺疲勞」又是什麼意思？
- 調音師的專業在哪裡？
- 人類如何用雙耳判斷聲源方向、距離、位置？
- 水中是否聽得到聲音，水上芭蕾舞者能搭配音樂來演出嗎？

| 分貝 (dB HL) | 聲音 |
|---------------|------------------------------|
| 0 | 正常狀況下，人類耳朵平均能聽到的最弱音量 |
| 10 | 正常的呼吸聲 |
| 20 | 非常低聲的耳語，極弱的口哨聲 |
| 30 | 夜間無車行駛的馬路上；微風中樹葉摩擦聲 |
| 40 | 夜間住宅區中，安靜的時候 |
| 50 | 汽車在3公尺外，發動時的聲音量；百貨公司人很少的時候 |
| 60 | 一般說話時之正常的音量 |
| 70 | 交通中度繁忙時的馬路噪音；人在行駛的汽車中所聽到的噪音量 |
| 80 | 交通繁忙時的音量；收音機大聲時的音量 |
| 90 | 市區中的交通繁忙時的音量；尼加拉瓜瀑布的水聲 |
| 100 | 地下鐵路的噪音量 |
| 110 | 很大聲之雷聲的音量 |
| 120 | 室內搖滾樂演奏時的噪音量 |
| 130 | 手持機關槍發射時所聽到的音量 |
| 140 | 飛機噴射引擎發動時的噪音量 |

- <http://erdo.cc/articles/6>

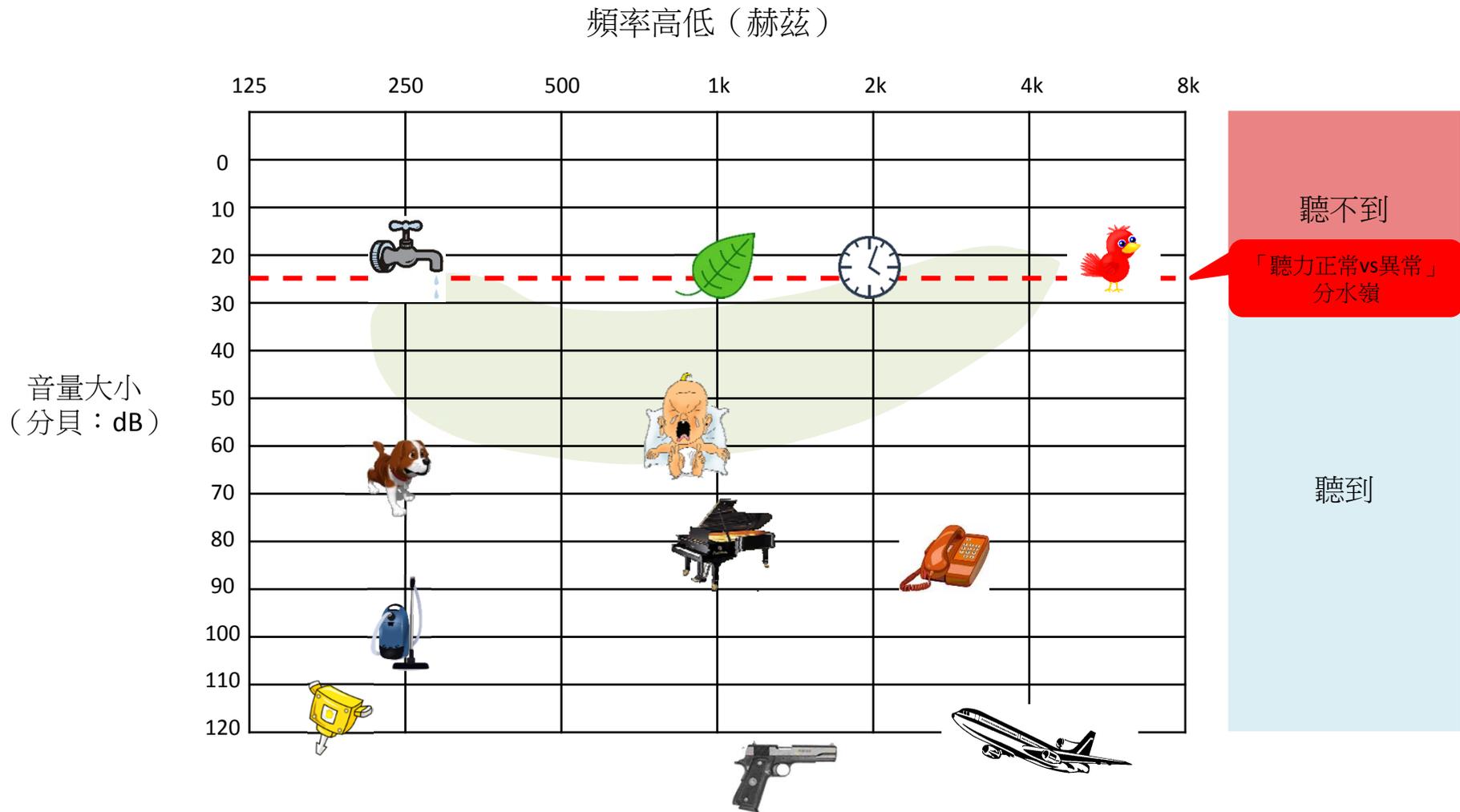
- 通常在臨床診斷上，達到聽力受損的標準是**25**分貝。
 - － 代表聽力異常可能會影響到生活，需要進一步治療、採取聽力保護措施、或配戴聽力輔具如助聽器等。
- 這個標準也比**60**分貝還低。
 - － 生活中那些微小聲音了，像微風吹過樹葉時沙沙作響、或朋友俯在你耳邊說的悄悄話。

網上課程 互動展能就業服務



| 聽覺受損程度 | 定義 |
|--------|--------------|
| 極度嚴重 | 聽力損失高於90分貝 |
| 嚴重 | 聽力損失由71至90分貝 |
| 中度嚴重 | 聽力損失由56至70分貝 |
| 中度 | 聽力損失由41至55分貝 |
| 輕度 | 聽力損失由26至40分貝 |
| 正常 | 聽力損失為25分貝或以下 |

在這圖你可找到甚麼資料？



頻率、分貝同時考慮，才知聽力好壞

- 要衡量聽力，音量大小不是唯一標準。也要考慮對於不同「音高」的敏感度。
- 從出生開始，人耳可聽到的頻率範圍很廣，下至**20赫茲**，上至**20,000赫茲**。
 - 說話時的「常用語言音」的頻率，其實只集中在「**500~5,000赫茲**」這一小段。

- 醫生和聽力師在評估聽力時，通常只檢查在500～5,000赫茲、或250～8,000赫茲的範圍中，
- 受測者「至少需要多少分貝，才能聽見聲音」，也就是聽力學中所謂的「聽力閾值」。
- 台灣近年就規定測500、1,000、2,000、4,000赫茲這4個音的雙耳聽力閾值。

- 一般在傳統聽力測驗中，**25分貝**的聽力閾值，常是判斷聽力正常與否的分水嶺。

| 聽損分類 | 聽力閾值 (最小可聽的音量) |
|-------|-------------------|
| 正常聽力 | -10~25 |
| 輕微聽損 | 26~40 |
| 中度聽損 | 41~55 |
| 中重度聽損 | 56~70 |
| 重度聽損 | 71~90 |
| 極重度聽損 | 90以上 |

- 許多聽力問題的早期聽力變化，皆發生於「8,000赫茲以上」的超高頻率，例如老年性聽力損失。
- 高頻聽力和「年齡」有很大的關係。

活動：測試你的耳朵年齡

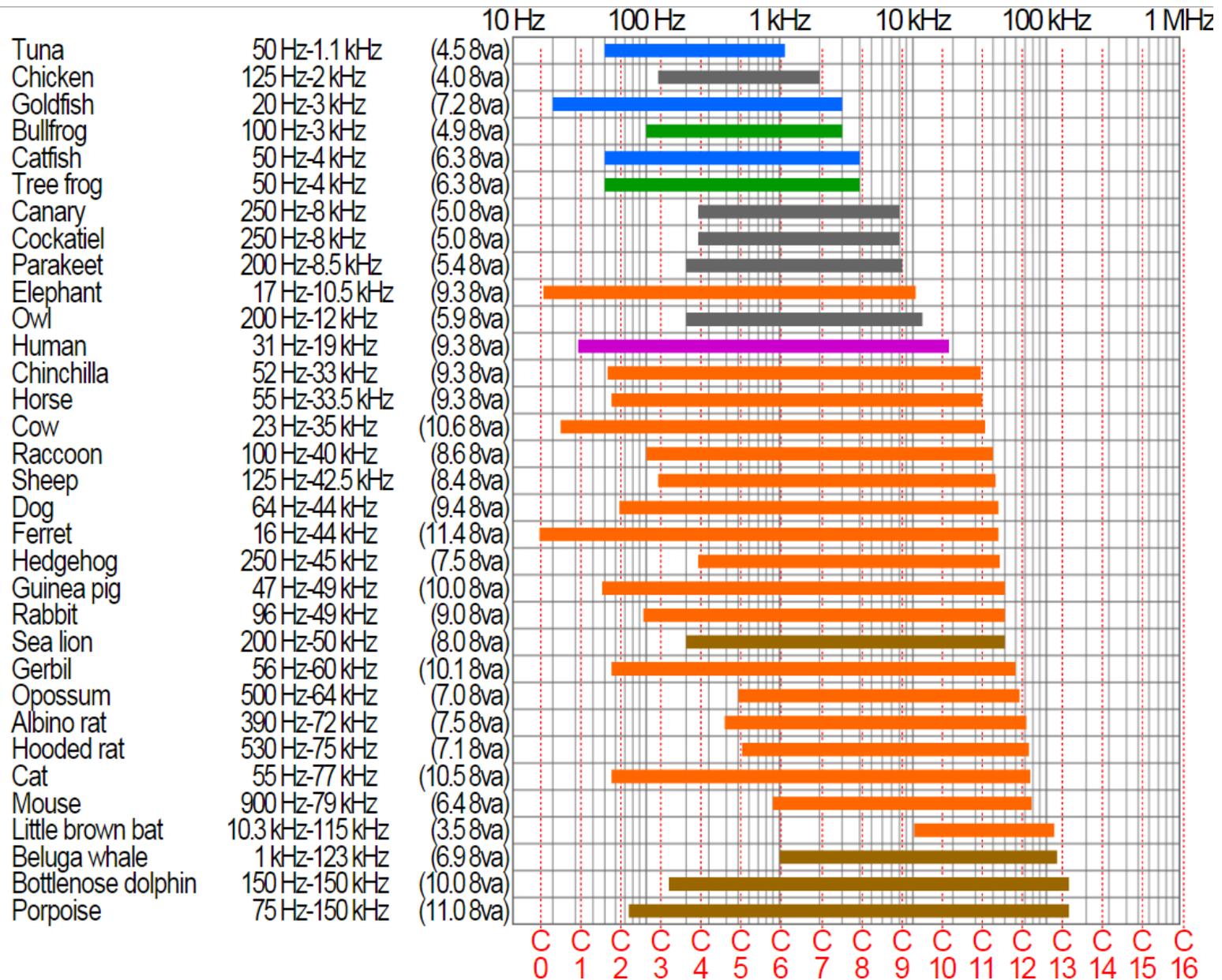
- 找出按照自己的年齡，照理來說應該聽到多高頻的聲音。如你發現自己的高頻聽力不如預期，代表應該要多關心自己的耳朵健康了！
- 在一部智能電話啟動應用程式Android App: Signal Generator (android-design.nl)產生相關頻率的聲音。
- 在另外一部電話啟動應用程式Android App: Sound Meter (Smart Tools co.)協助監察音量至70分貝。
- 然後測試自己的「耳朵年齡」。

| 年齡 | 耳朵應能聽到的最高頻率 (當音量為70分貝時) |
|--------|----------------------------|
| 10～21歲 | 17,000赫茲 |
| 22～35歲 | 16,000赫茲 |
| 36～45歲 | 14,000赫茲 |
| 46～55歲 | 12,500赫茲 |
| 56～65歲 | 11,200赫茲 |

小心聽歌

- ATV-10.15.2009---聽音樂音量過大損害聽力
 - <https://www.youtube.com/watch?v=Z5k510CGiuc>
- 手機聽歌變吸塵機 傷耳嘈到死
 - <https://www.youtube.com/watch?v=1xxfAd49adY>

| | |
|----|----------------|
| 馬 | 55Hz - 33.5KHz |
| 狗 | 15Hz - 50KHz |
| 貓 | 60Hz - 65KHz |
| 象 | 1Hz - 20KHz |
| 老鼠 | 1KHz - 90KHz |
| 蝙蝠 | 1KHz - 120KHz |
| 海豚 | 150Hz - 150KHz |



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5d/Animal_hearing_frequency_range.svg

研習一：測試可聽的最高頻

- 在本課程的第一部分，同學們都大概知到自己可聽到的最高頻的聲音。
 - <http://onlinetonegenerator.com/>
- 今次我們需做一次調查。利用智能手機的應用程式來產生高頻聲音。
 - Android App: Signal Generator (android-design.nl)
- 嘗試利用**App**找出朋友和家人的可聽到的最高頻率並記錄他們的年齡。每個同學需盡力完成下表。

年齡與最高可聽的頻率分佈

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|----|--------|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 年齡組別 | 平均最高頻率/ Hz | | | | | | | | |
| 2 | 1-5 | 20500 | | | | | | | | |
| 3 | 6-10 | 20000 | | | | | | | | |
| 4 | 11-15 | 19000 | | | | | | | | |
| 5 | 16-20 | 19000 | | | | | | | | |
| 6 | 21-25 | 18000 | | | | | | | | |
| 7 | 26-30 | 17500 | | | | | | | | |
| 8 | 31-35 | 16000 | | | | | | | | |
| 9 | 36-40 | 16000 | | | | | | | | |
| 10 | 41-45 | 14000 | | | | | | | | |
| 11 | 46-50 | 14500 | | | | | | | | |
| 12 | 51-55 | 13000 | | | | | | | | |
| 13 | 56-60 | 12000 | | | | | | | | |
| 14 | 61-65 | 11000 | | | | | | | | |
| 15 | 66-70 | 9000 | | | | | | | | |
| 16 | 71-75 | 8500 | | | | | | | | |
| 17 | 76-80 | 6000 | | | | | | | | |
| 18 | 81-85 | 5000 | | | | | | | | |
| 19 | 85-90 | 4000 | | | | | | | | |
| 20 | 91-95 | | | | | | | | | |
| 21 | 96-100 | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | |

平均最高頻率/ Hz

| 年齡組別 | 平均最高頻率 / Hz |
|--------|-------------|
| 1-5 | 20500 |
| 6-10 | 20000 |
| 11-15 | 19000 |
| 16-20 | 19000 |
| 21-25 | 18000 |
| 26-30 | 17500 |
| 31-35 | 16000 |
| 36-40 | 16000 |
| 41-45 | 14000 |
| 46-50 | 14500 |
| 51-55 | 13000 |
| 56-60 | 12000 |
| 61-65 | 11000 |
| 66-70 | 9000 |
| 71-75 | 8500 |
| 76-80 | 6000 |
| 81-85 | 5000 |
| 85-90 | 4000 |
| 91-95 | |
| 96-100 | |

研習二：測試雙耳聽力閾值

- 測試500、1,000、2,000、4,000赫茲這4個音的雙耳聽力閾值。
- 智能手機的應用程式來產生高頻聲音。
 - Android App: Signal Generator (android-design.nl)
- 智能手機的應用程式：分貝計。
 - Android App: Sound Meter (Smart Tools co.)

討論測試雙耳聽力閾值的實驗設計

討論及分析研習結果

- 測試受試者時遇到的問題
- 如何改善實驗設計
- 如何處理整合不同同學的數據

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：1 節 (60 分鐘)

選修單元：音符，音階和和弦

學習目標

- (1) 了解不同音階內音符的頻率關係
- (2) 了解和弦內各音符的頻率關係

教具及所需物資：

- 智能電話
- Android App: Sound Analyzer (TiniaSoft)
-

| 學習活動 | 備註 |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">● 著學生利用 Android App: Sound Analyzer 去找出一個八度音符的頻率及嘗試找出其規律● 然後著學生觀測由音階 0 到音階 8 內的所有音符的關係 | <ul style="list-style-type: none">● 學生未必很快找到一個八度音符的頻率的規律，這時可提示學生觀察當一個音符高了一個八度時，其頻率會提高多少。 |
| <ul style="list-style-type: none">● 利用樂器在同一音階上同時發出 C 和一個其他的音符，聽聽那些和 C 同時發出來時，哪一個較為悅耳？著學生觀察與 C 和的音符，其頻率和 C 的頻率有何關係？ | <ul style="list-style-type: none">● 建議到音樂室使用鋼琴或電子琴 |

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：1 節 (60 分鐘)

選修單元：音符，音階和和弦

學習目標

- (1) 了解不同音階內音符的頻率關係
- (2) 了解和弦內各音符的頻率關係

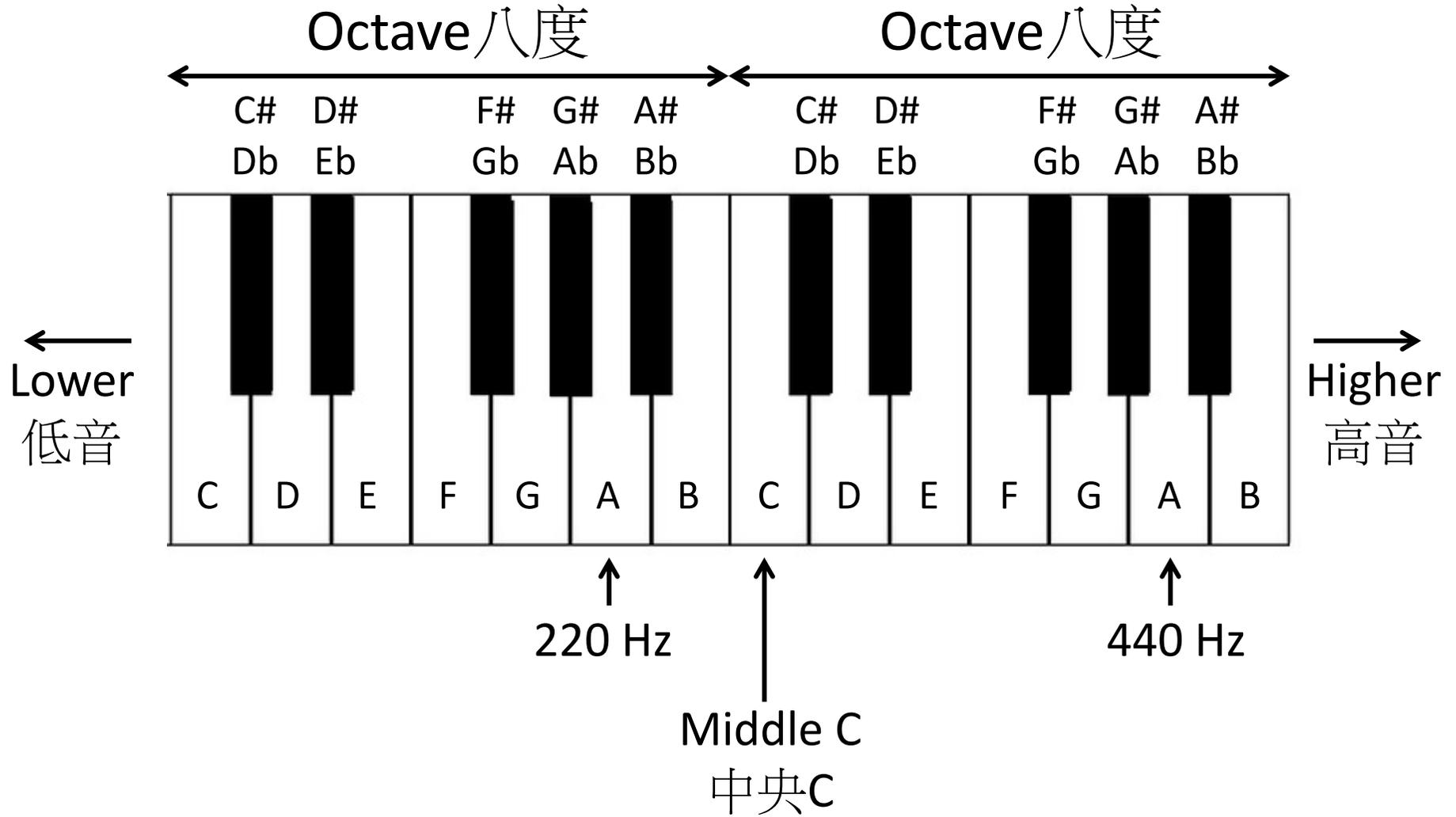
教具及所需物資：

- 智能電話
- Android App: Sound Analyzer (TiniaSoft)
-

| 學習活動 | 備註 |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">● 著學生利用 Android App: Sound Analyzer 去找出一個八度音符的頻率及嘗試找出其規律● 然後著學生觀測由音階 0 到音階 8 內的所有音符的關係 | <ul style="list-style-type: none">● 學生未必很快找到一個八度音符的頻率的規律，這時可提示學生觀察當一個音符高了一個八度時，其頻率會提高多少。 |
| <ul style="list-style-type: none">● 利用樂器在同一音階上同時發出 C 和一個其他的音符，聽聽那些和 C 同時發出來時，哪一個較為悅耳？著學生觀察與 C 和的音符，其頻率和 C 的頻率有何關係？ | <ul style="list-style-type: none">● 建議到音樂室使用鋼琴或電子琴 |

分析不同音符的頻率關係

鋼琴鍵盤



音符的頻率



- 老師會把一個C3、C4、C5和C6度音符逐一用樂器奏出來，同學需用Sound Analyzer記錄各音符的頻率。

| 音符 | C3 | C4 | C5 | C6 |
|----|----|----|----|----|
| 頻率 | | | | |

- 你能找出當中的規律嗎？

音符的頻率



- 老師會重複把D3、D4、D5、D6、G3、G4、G5、G6度音符逐一用樂器奏出來，同學需用Sound Analyzer記錄各音符的頻率。

| 音符 | D3 | D4 | D5 | D6 | G3 | G4 | G5 | G6 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 頻率 | | | | | | | | |

- 和音符C作比較，音符D和G又有什麼規律？
- 你有什麼總結？

人可聽到最低和最高的音符是什麼？

- 人可聽到最低和最高的頻率是什麼？

- 20-20000Hz

- $20 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 320$

- E0

- $20000 \div 2 \div 2 \div 2 \div 2 \div 2 \div 2 = 312.5$

- Eb10

| 音階音名 | 頻率 / Hz |
|------|---------|
| C4 | 261.63 |
| C4# | 277.18 |
| D4 | 293.66 |
| E4b | 311.13 |
| E4 | 329.63 |
| F4 | 349.23 |
| F4# | 369.99 |
| G4 | 392.00 |
| A4b | 415.30 |
| A4 | 440.00 |
| B4b | 466.16 |
| B4 | 493.88 |
| C5 | 523.25 |

蝙蝠的聽覺又如何？

- 蝙蝠可聽到最低和最高的頻率是什麼？上網找一找？
- 蝙蝠：1000～120000Hz
- 可聽到最低和最高的音符是什麼？

蝙蝠：1000~120000Hz

| | C | C# | D | E ^b | E | F | F# | G | G# | A | B ^b | B |
|---|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| 0 | 16.35 | 17.32 | 18.35 | 19.45 | 20.60 | 21.83 | 23.12 | 24.50 | 25.96 | 27.50 | 29.14 | 30.87 |
| 1 | 32.70 | 34.65 | 36.71 | 38.89 | 41.20 | 43.65 | 46.25 | 49.00 | 51.91 | 55.00 | 58.27 | 61.74 |
| 2 | 65.41 | 68.80 | 73.42 | 77.78 | 82.41 | 87.31 | 92.50 | 98.00 | 103.8 | 110.0 | 116.5 | 123.5 |
| 3 | 130.8 | 138.6 | 146.8 | 155.6 | 164.8 | 174.6 | 185.0 | 196.0 | 207.7 | 220.0 | 233.1 | 246.9 |
| 4 | 261.6 | 277.2 | 293.7 | 311.1 | 329.6 | 349.2 | 370.0 | 392.0 | 415.3 | 440.0 | 466.2 | 493.9 |
| 5 | 523.3 | 554.4 | 587.3 | 622.3 | 659.3 | 698.5 | 739.9 | 783.0 | 828.0 | 875.0 | 924.3 | 987.8 |
| 6 | 1047 | 1109 | 1175 | 1245 | 1319 | 1397 | 1480 | 1568 | 1661 | 1760 | 1865 | 1976 |
| 7 | 2093 | 2217 | 2349 | 2489 | 2637 | 2794 | 2960 | 3136 | 3322 | 3520 | 3729 | 3951 |
| 8 | 4186 | 4435 | 4699 | 4978 | 5274 | 5588 | 5920 | 6272 | 6645 | 7040 | 7459 | 7902 |

C6

$120000 \div 2 \div 2 \div 2 \div 2 = 7$
500Hz (B^b8 \Rightarrow B^b12)

完

分析不同音符，音階和和弦的
頻率關係

音符頻率的參考數據

| | C | C# | D | Eb | E | F | F# | G | G# | A | Bb | B |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 16.35 | 17.32 | 18.35 | 19.45 | 20.60 | 21.83 | 23.12 | 24.50 | 25.96 | 27.50 | 29.14 | 30.87 |
| 1 | 32.70 | 34.65 | 36.71 | 38.89 | 41.20 | 43.65 | 46.25 | 49.00 | 51.91 | 55.00 | 58.27 | 61.74 |
| 2 | 65.41 | 69.30 | 73.42 | 77.78 | 82.41 | 87.31 | 92.50 | 98.00 | 103.8 | 110.0 | 116.5 | 123.5 |
| 3 | 130.8 | 138.6 | 146.8 | 155.6 | 164.8 | 174.6 | 185.0 | 196.0 | 207.7 | 220.0 | 233.1 | 246.9 |
| 4 | 261.6 | 277.2 | 293.7 | 311.1 | 329.6 | 349.2 | 370.0 | 392.0 | 415.3 | 440.0 | 466.2 | 493.9 |
| 5 | 523.3 | 554.4 | 587.3 | 622.3 | 659.3 | 698.5 | 740.0 | 784.0 | 830.6 | 880.0 | 932.3 | 987.8 |
| 6 | 1047 | 1109 | 1175 | 1245 | 1319 | 1397 | 1480 | 1568 | 1661 | 1760 | 1865 | 1976 |
| 7 | 2093 | 2217 | 2349 | 2489 | 2637 | 2794 | 2960 | 3136 | 3322 | 3520 | 3729 | 3951 |
| 8 | 4186 | 4435 | 4699 | 4978 | 5274 | 5588 | 5920 | 6272 | 6645 | 7040 | 7459 | 7902 |

破解音階的關係

- 音階的頻率可視為數列
- **C4**頻率和比它高音一個八度的**C5**頻率有甚麼關係？
- 人可聽到最低和最高的音階是甚麼？

| 音階音名 | 頻率 / Hz |
|------------|---------|
| C4 | 261.63 |
| C#4 | 277.18 |
| D4 | 293.66 |
| Eb4 | 311.13 |
| E4 | 329.63 |
| F4 | 349.23 |
| F#4 | 369.99 |
| G4 | 392.00 |
| Ab4 | 415.30 |
| A4 | 440.00 |
| Bb4 | 466.16 |
| B4 | 493.88 |
| C5 | 523.25 |

人可聽到最低和最高的音符是甚麼？

- 人可聽到最低和最高的頻率是甚麼？

- 20-20000Hz

- $20 \times 2^4 = 320$

- E0

- $20000 / 2^6 = 312.5$

- Eb10

| 音階音名 | 頻率 / Hz |
|------|---------|
| C4 | 261.63 |
| C4# | 277.18 |
| D4 | 293.66 |
| E4b | 311.13 |
| E4 | 329.63 |
| F4 | 349.23 |
| F4# | 369.99 |
| G4 | 392.00 |
| A4b | 415.30 |
| A4 | 440.00 |
| B4b | 466.16 |
| B4 | 493.88 |
| C5 | 523.25 |

進一步了解音階

- 音階的頻率可視為數列
 - $R^{12}=2 \Rightarrow R=2^{1/12} \approx 1.059$
- 利用樂器在同一音階上同時發出C和一個其他的音符，聽聽那些和C同時發出來時，哪一個較為悅耳？這些稱為和音。
- 觀察同一音階內音符的頻率，試找出與C和的音符，其頻率和C的頻率有何關係？
 - 音符的頻率比例
 - 頻率比例能否大約用分數寫出

和弦(Chord)

| | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| f_C/f_C | f_D/f_C | f_E/f_C | f_F/f_C | f_G/f_C | f_A/f_C | f_B/f_C | $f_{C'}/f_C$ |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|

| | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| f_C/f_C | f_D/f_C | f_E/f_C | f_F/f_C | f_G/f_C | f_A/f_C | f_B/f_C | $f_{C'}/f_C$ |
| 261.6/261.6 =1.000 | 293.7/261.6 =1.123 | 329.6/261.6 =1.260 | 349.2/261.6 =1.335 | 392.0/261.6 =1.498 | 440/261.6 =1.682 | 493.9/261.6 =1.888 | 523.3/261.6 =2.000 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|----------------------|-----------------------------|---------------|-----------------------|---|
| 1 | 1.123 =1123/1000 ≈1125/1000 =9/8 | 1.260 =1260/1000 ≈1250/1000 =5/4 | 1.335≈1.3... =4/3 | 1.498 ≈1500/1000 =3/2 | 1.682 ≈5/3 | 1.888≈1.8... =17/9 | 2 |
|---|---|---|----------------------|-----------------------------|---------------|-----------------------|---|

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| C | D | E | F | G | A | B | C' |
| 1 | 9/8 | 5/4 | 4/3 | 3/2 | 5/3 | 15/8 | 2 |

思考問題

- 為甚麼兩個音符的頻率比例，近似地寫成分數而分母只有個位時，當分子和分母較小時，哪兩個音符同時奏時就比較悅耳？反之，當分子和分母較大時，哪兩個音符同時奏時就比較不悅耳？
- 為甚麼兩個音符的頻率比例，用較多位的分數寫成時又沒有類似的關係？

完

| | C | C# | D | E ^b | E | F | F# | G | G# | A | B ^b | B |
|---|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|------|-------|------|----------------|-------|
| 0 | 16.35 | 17.32 | 18.35 | 19.45 | 20.6 | 21.83 | 23.12 | 24.5 | 25.96 | 27.5 | 29.14 | 30.87 |
| 1 | 32.7 | 34.65 | 36.71 | 38.89 | 41.2 | 43.65 | 46.25 | 49 | 51.91 | 55 | 58.27 | 61.74 |
| 2 | 65.41 | 69.3 | 73.42 | 77.78 | 82.41 | 87.31 | 92.5 | 98 | 103.8 | 110 | 116.5 | 123.5 |
| 3 | 130.8 | 138.6 | 146.8 | 155.6 | 164.8 | 174.6 | 185 | 196 | 207.7 | 220 | 233.1 | 246.9 |
| 4 | 261.6 | 277.2 | 293.7 | 311.1 | 329.6 | 349.2 | 370 | 392 | 415.3 | 440 | 466.2 | 493.9 |
| 5 | 523.3 | 554.4 | 587.3 | 622.3 | 659.3 | 698.5 | 740 | 784 | 830.6 | 880 | 932.3 | 987.8 |
| 6 | 1047 | 1109 | 1175 | 1245 | 1319 | 1397 | 1480 | 1568 | 1661 | 1760 | 1865 | 1976 |
| 7 | 2093 | 2217 | 2349 | 2489 | 2637 | 2794 | 2960 | 3136 | 3322 | 3520 | 3729 | 3951 |
| 8 | 4186 | 4435 | 4699 | 4978 | 5274 | 5588 | 5920 | 6272 | 6645 | 7040 | 7459 | 7902 |

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：1 節 (60 分鐘)

選修單元：不同樂器的音質（適合高中選修物理和數學較佳的同學）

學習目標

- (1) 了解音質在科學上的意思
- (2) 利用智能電話應用程式觀察不同的樂器的波形
- (3) 探究波形背後的數學
- (4) 利用多項式作近似函數

教具及所需物資：

- 智能電話
- Android App: Android App: Oscilloscope (kmlen)
- Android App: Sound Analyzer(TiniaSoft)

| 學習活動 | 備注 |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 利用不同的樂器如牧童笛和鋼琴奏出相同的音符[Engagement] | 問學生雖然音符相同，但我們都能分辨出是由不同樂器所奏出的？為什麼？ |

| | |
|---|--------------------------------|
| 利用樂器如牧童笛、鋼琴、結他和音叉等發出聲音，同學們利用 Oscilloscope (kmlen) 觀察它們的的波形。 | 捕捉畫面 (Screen Capture) 昨進一步的理解。 |
|---|--------------------------------|

| 學習活動 | 備註 |
|--|---|
| 了解音質在科學上的意思 | <ul style="list-style-type: none"> ● 利用不同的樂器如牧童笛和鋼琴奏出相同的音符[Engagement] ● 問學生雖然音符相同，但我們都能分辨出是由不同樂器所奏出的？為什麼？ |
| 利用智能電話應用程式觀察不同樂器的波形 <ul style="list-style-type: none"> ● 利用樂器如牧童笛、鋼琴、結他和音叉等發出聲音，同學們利用 Oscilloscope (kmlen) 觀察它們的波形。 | <ul style="list-style-type: none"> ● 捕捉畫面 (Screen Capture) 昨進一步的理解。 |
| 探究波形背後的數學 <ul style="list-style-type: none"> ● 利用 Fourier series.xlsx 嘗試改變 $\sin x$ 和 $\cos x$ 的係數去近似不同的波形。 ● 利用 http://phet.colorado.edu/en/simulation/fourier 提供的程式去製造不同波形並產生相關的聲音。 ● 在 Excel 的輔助下，發現是不同的樂器有不同的泛音組合 ● 用簡單的方進一步的理解音質和波形背後的數學 | 在 Excel 檔中有兩種樂器，鋼琴和小提琴，其 Fourier series 的係數已提供了。老師可強調一些有週期特性的函數是可以用 $\sin x$ 和 $\cos x$ 的組合去近似。 <ul style="list-style-type: none"> ● |
| | <u>延伸活動</u> 利用相同的構思(用 $\sin x$ 和 $\cos x$ 的係數去近似不同的波形)，用多項式去近似其他函數 (Taylor series) 。 |

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：1 節 (60 分鐘)

選修單元：不同樂器的音質（適合高中選修物理和數學較佳的同學）

學習目標

- (1) 了解音質在科學上的意思
- (2) 利用智能電話應用程式觀察不同的樂器的波形
- (3) 探究波形背後的數學
- (4) 利用多項式作近似函數

教具及所需物資：

- 智能電話
- Android App: Android App: Oscilloscope (kmlen)
- Android App: Sound Analyzer(TiniaSoft)

| 學習活動 | 備注 |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 利用不同的樂器如牧童笛和鋼琴奏出相同的音符[Engagement] | 問學生雖然音符相同，但我們都能分辨出是由不同樂器所奏出的？為什麼？ |

| | |
|---|--------------------------------|
| 利用樂器如牧童笛、鋼琴、結他和音叉等發出聲音，同學們利用 Oscilloscope (kmlen) 觀察它們的的波形。 | 捕捉畫面 (Screen Capture) 昨進一步的理解。 |
|---|--------------------------------|

| 學習活動 | 備註 |
|--|---|
| 了解音質在科學上的意思 | <ul style="list-style-type: none"> ● 利用不同的樂器如牧童笛和鋼琴奏出相同的音符[Engagement] ● 問學生雖然音符相同，但我們都能分辨出是由不同樂器所奏出的？為什麼？ |
| 利用智能電話應用程式觀察不同樂器的波形 <ul style="list-style-type: none"> ● 利用樂器如牧童笛、鋼琴、結他和音叉等發出聲音，同學們利用 Oscilloscope (kmlen) 觀察它們的波形。 | <ul style="list-style-type: none"> ● 捕捉畫面 (Screen Capture) 昨進一步的理解。 |
| 探究波形背後的數學 <ul style="list-style-type: none"> ● 利用 Fourier series.xlsx 嘗試改變 $\sin x$ 和 $\cos x$ 的係數去近似不同的波形。 ● 利用 http://phet.colorado.edu/en/simulation/fourier 提供的程式去製造不同波形並產生相關的聲音。 ● 在 Excel 的輔助下，發現是不同的樂器有不同的泛音組合 ● 用簡單的方進一步的理解音質和波形背後的數學 | 在 Excel 檔中有兩種樂器，鋼琴和小提琴，其 Fourier series 的係數已提供了。老師可強調一些有週期特性的函數是可以用 $\sin x$ 和 $\cos x$ 的組合去近似。 <ul style="list-style-type: none"> ● |
| | <u>延伸活動</u> 利用相同的構思(用 $\sin x$ 和 $\cos x$ 的係數去近似不同的波形)，用多項式去近似其他函數 (Taylor series) 。 |

1 C D E F G A B C
 9/8 5/4 4/3 3/2 5/3 15/8 2

不同樂器的音質

活動時間

- 利用不同的樂器如牧童笛和鋼琴奏出相同的音符。
- 利用應用程式來測試不同樂器所奏出相同的音符是否擁有相同的頻率/音符
 - Android App: Fine Chromatic Tuner (Fine Chromatic Tuner)



- 雖然它們是奏相同的音，但感覺上是不同的。為什麼會這樣？
- 為什麼連儀器也確認為相同的音符，卻有聽得出的分別？

看得見的音符

- 再利用應用程式來測試不同樂器所奏的音符，然後顯示波形，並比較不同樂器的波形。
 - Android App: Oscilloscope (kmlen)
- 老師會嘗試利用樂器如牧童笛、鋼琴、結他和音叉等發出聲音，同學們利用Oscilloscope (kmlen) 觀察它們的的波形。
- 同學亦可用智能電話捕捉畫面 (Screen Capture) 作進一步的理解。
- 你有什麼發現？
- 試用[Excel](#)試算表把不同比例的 $\sin x$ 和 $\cos x$ 的函數加起來，看看有什麼發現？

- <http://phet.colorado.edu/en/simulation/fourier>

不同的樂器的音質

- 不同的音質其實有不同的波形
- 在**Excel**的輔助下，不難發現是不同的樂器有不同的泛音組合。就算頻率和亮度一樣，聽出來也是不同的，這是泛音(**Overtone**)的組合不同，即波形或音質的不同。

基頻和泛音

(Fundamental Frequency & Overtone)

- 樂器或人聲等自然發出的音，一般都不會只包含一個頻率，而是可以分解成若干個不同頻率的音的疊加。
- 就以剛才Excel中模擬鋼琴的波型，當中鋼琴的波型可以用不同的Sin函數加起來模擬。

$$y = 2 \sin(2t) - 0.3 \sin(4t) - 0.1 \sin(6t) - 0.4 \sin(8t) - 0.1 \sin(10t) + 0.05 \sin(12t)$$

↑
基頻

↑
第一泛音

↑
第二泛音

↑
第三泛音

↑
第四泛音

↑
第五泛音

基頻和泛音

(Fundamental Frequency & Overtone)

- 聲音的波形是具有周期性的，利用傅里葉級數(Fourier Series)，聲音可以分解成若干個不同頻率純音的疊加。
- 這些頻率都是某一頻率的倍數，這一頻率就稱作基頻，也就決定了這個音的音高。
 - Android App: Sound Analyzer(TiniaSoft)

基頻和泛音

(Fundamental Frequency & Overtone)

- 假設某個音的基頻為 f ，則頻率為 $2f$ 的音稱為第二泛音，頻率為 $3f$ 的音稱為第三泛音，等等。
- 基音和不同泛音的能量比例關係是決定一個音的音色的核心因素。
- 並能使人明確地感到基音的響度。
- 樂器和自然界裏所有的音都有泛音。

進一步的理解

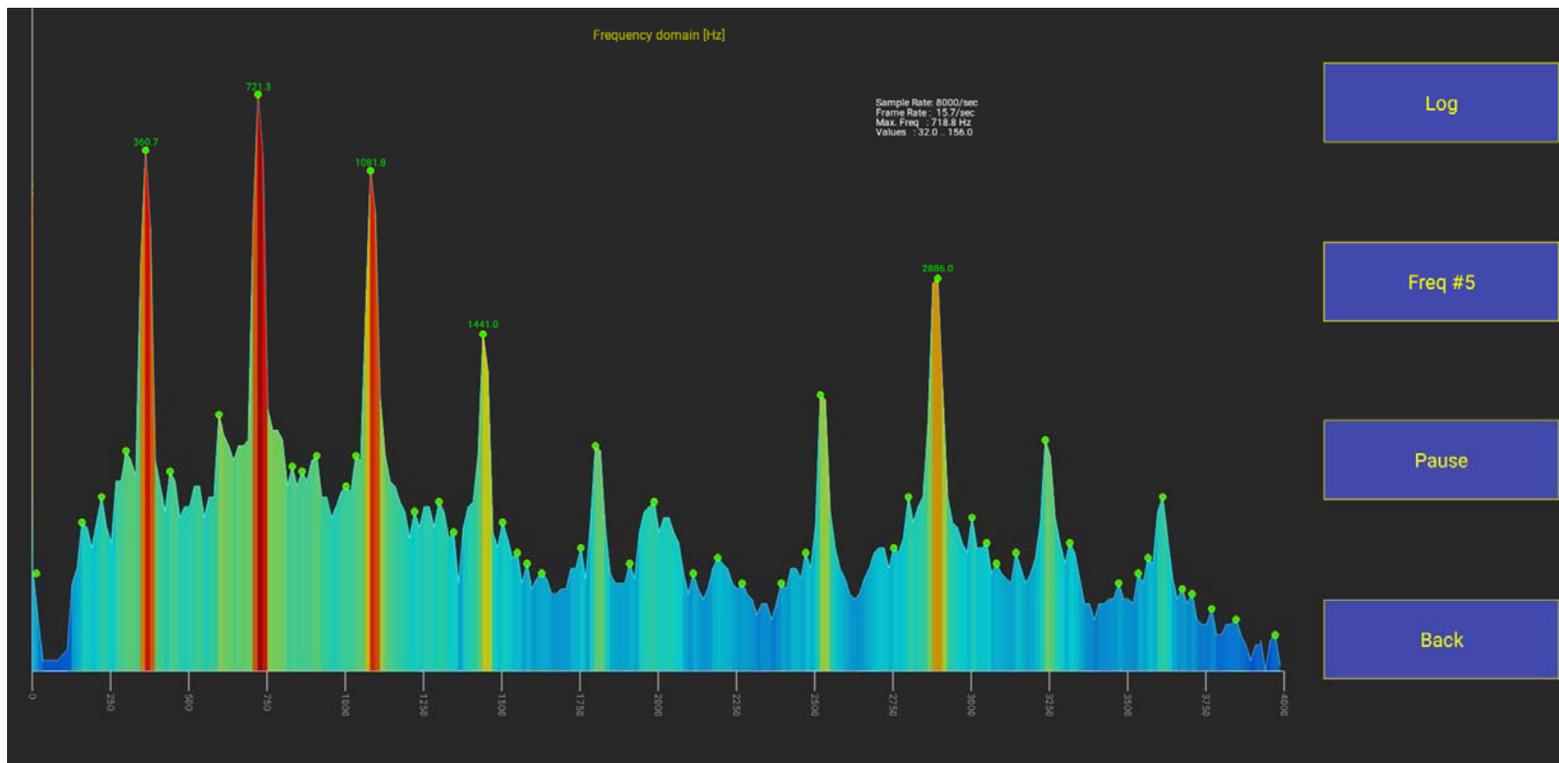
- 不同的音質是不同的泛音組合，波形也不同。問題是如何找出基頻和泛音的比例？
- 在數上的意思是找出係數(**coefficient**)。
 - $y = a_1 \sin(f_0 t) + a_2 \sin(2f_0 t) + a_3 \sin(3f_0 t) + a_4 \sin(4f_0 t) + a_5 \sin(5f_0 t) + \dots$
- 這些係數在數學上稱為傅里葉係數(**Fourier coefficient**)
- 而整條數式稱為傅里葉級數(**Fourier series**)。
- 傅里葉級數是較高深的數學課題，這裡不會應用嚴謹作計算，只需應用其概念作簡單的應用如如何近似一條函數。

找出傅里葉係數（方法一）

1. 利用電腦直接把有限項的傅里葉級數 (Fourier Series) 繪出，然後目測比較傅里葉級數和波型的分別。
2. 再調較傅里葉係數 (Fourier coefficient) 然後比較
3. 重複2. 直至滿意為止。

找出傅里葉係數（方法二）

- 利用Android App: Sound Analyzer(TiniaSoft)直接找出傅里葉係數。
- 在找傅里葉係數有甚麼要注意？



找出傅里葉係數（方法三）

1. 把波型的圖像放上繪圖紙（建議用電腦）
2. 選取有限的點數，如 x_1, x_2, \dots, x_8
3. 在圖上讀取 $F(x_1), F(x_2), \dots, F(x_8)$
4. 設 $e = |F(x_1) - f(x_1)| + |F(x_2) - f(x_2)| + \dots + |F(x_8) - f(x_8)|$
 - 而 $f(x)$ 是傅里葉級數(Fourier Series)
5. 計算 e 的值
6. 微調 $f(x)$ 的係數，重複4.直至 e 到合理的最細值

找出傅里葉係數（方法四）

- 從波型的圖像找出周期 T
- $$F(x) \approx a_1 \sin\left(\frac{2\pi}{T}x\right) + a_2 \sin\left(\frac{4\pi}{T}x\right) + a_3 \sin\left(\frac{6\pi}{T}x\right) + a_4 \sin\left(\frac{8\pi}{T}x\right)$$
- 把 x_1, x_2, x_3, x_4 代入 $f(x)$ ，得出4條方程
- 然後求 a_1, a_2, a_3, a_4 的解

利用 x^n 去近似函數

- 從以上的學習，我們知到一些周期性的函數如波型是可以用 $\sin(x)$ 和 $\cos(x)$ 的組合去求近似值。

$$y = a_1 \sin(f_0 t) + a_2 \sin(2f_0 t) + a_3 \sin(3f_0 t) + a_4 \sin(4f_0 t) + a_5 \sin(5f_0 t) + \dots$$

- 但一條函數能否用 x^n 的組合去作近似？

$$y = a_0 + a_1 x^1 + a_2 x^2 + a_3 x^3 + \dots$$

總結

- 不同樂器就算奏出相同的音符，它們的聲音也是不同。
- 不同的音質是不同的泛音組合，波型也不同。
- 音叉的波形最接近**Sin**函數。
- 聲音的波形是由不同頻率的**Sin**函數的疊加而成。
- 我們可透過疊加不同頻率的泛音組合，合成出新的樂器。
- 一般函數是可以利用多項式作近似。

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：4 節 (60 分鐘)

選修單元：把曲線轉換成直線

學習目標

(1) 了解如何在數學上將曲線轉化為直線，以及處理直線的好處。

教具及所需物資：

- MS Excel

| 學習活動 | 備註 |
|--|--|
| <p>常見的非線性變換</p> <ul style="list-style-type: none">● 介紹一些將曲線轉為直線的常見方法● 介紹如何在一些離散的點上，勾畫出一條恰當的曲線● 透過監回歸係數 R^2，嘗試不同的非線性擬合模型 | <ul style="list-style-type: none">◆ 老師透過運用 EXCEL，讓學生更易找最佳的非線性模型。 |

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：4 節 (60 分鐘)

選修單元：把曲線轉換成直線

學習目標

(1) 了解如何在數學上將曲線轉化為直線，以及處理直線的好處。

教具及所需物資：

- MS Excel

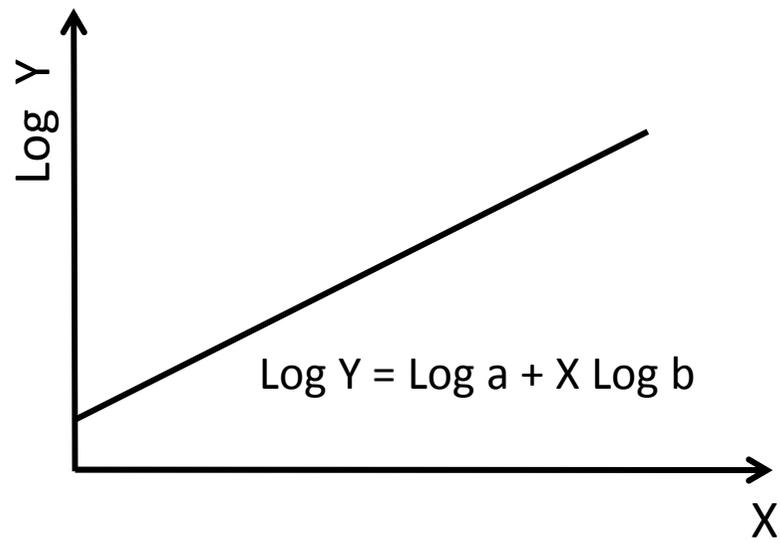
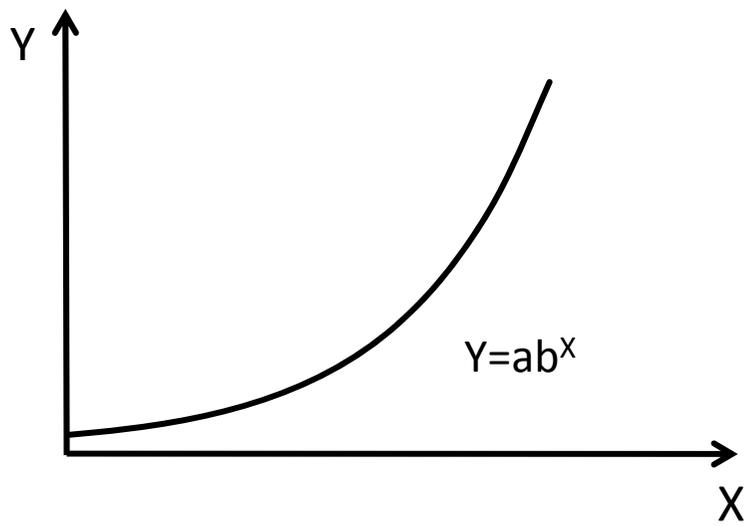
| 學習活動 | 備註 |
|--|--|
| <p>常見的非線性變換</p> <ul style="list-style-type: none">● 介紹一些將曲線轉為直線的常見方法● 介紹如何在一些離散的點上，勾畫出一條恰當的曲線● 透過監回歸係數 R^2，嘗試不同的非線性擬合模型 | <ul style="list-style-type: none">◆ 老師透過運用 EXCEL，讓學生更易找最佳的非線性模型。 |

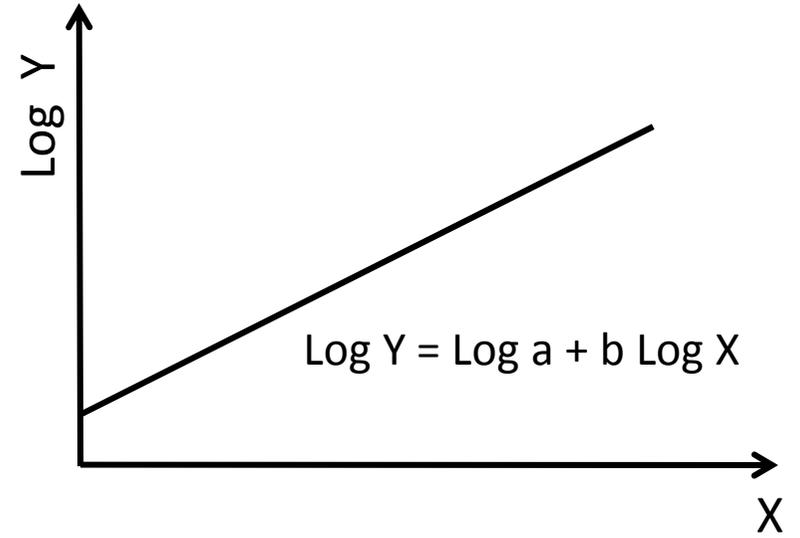
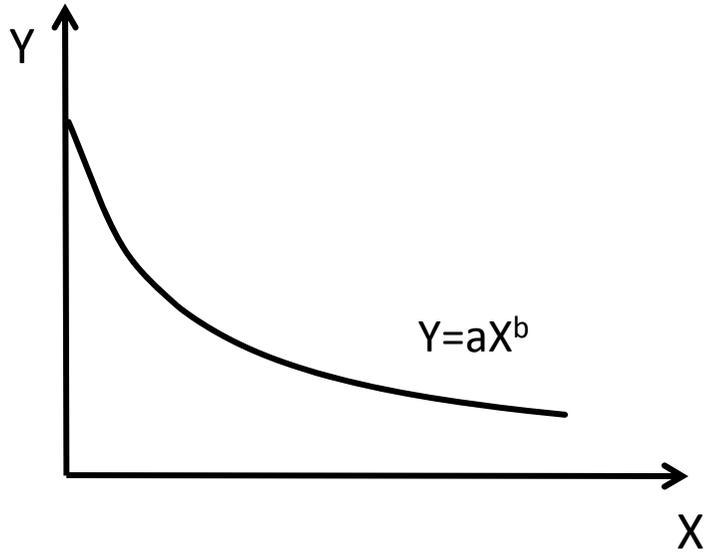
把曲線轉換成直線

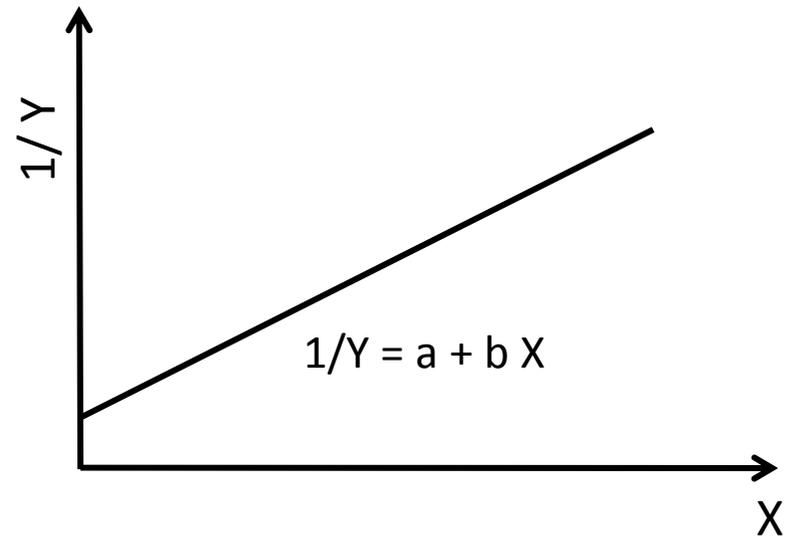
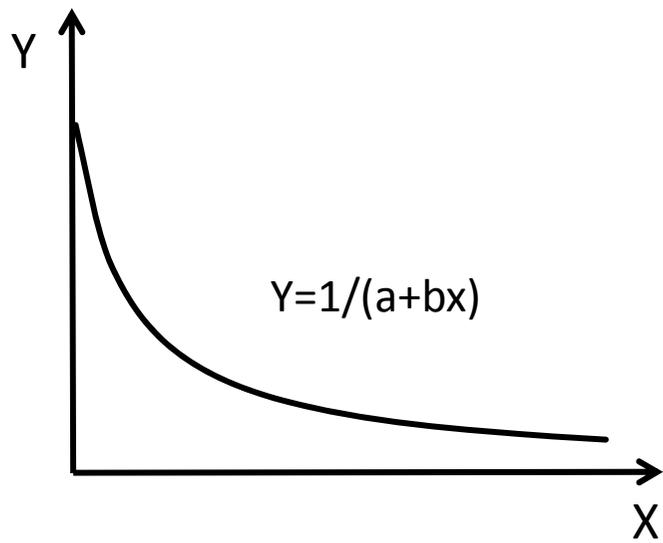
Transforming a curve into a straight line

非線性變換

- 部分非線性曲線可被轉化為直線。
- 直線關係是較易處理的。
- 採用非線性變換，可以輕鬆解決非線性問題。
- 在本節中，您將了解最常用的非線性回歸以及如何將其轉化為線性回歸。







一些常用的非線性變換

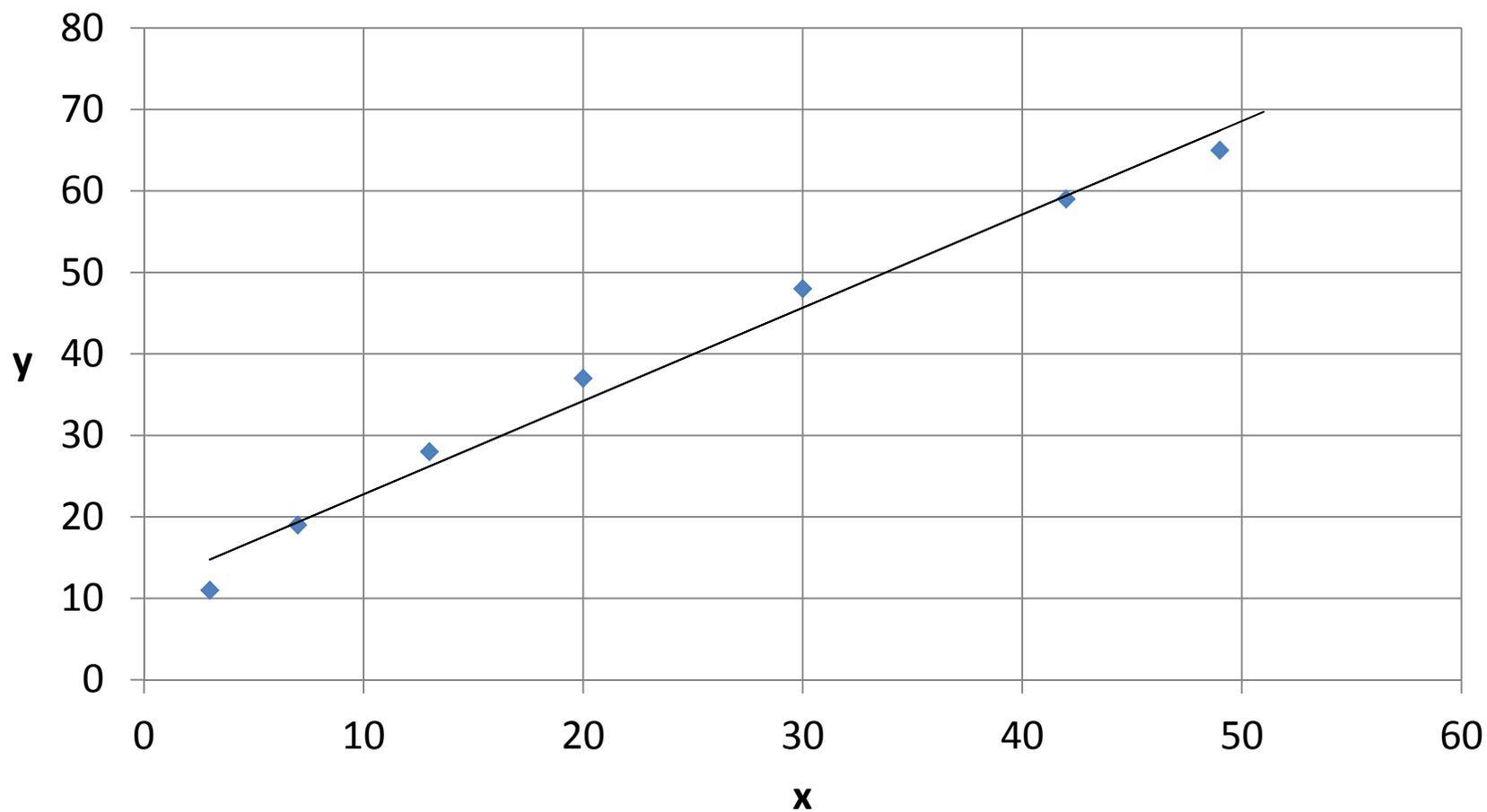
| 函數 | 轉換 | |
|------------------------|-------------------|----------------|
| $y = ax^b$ | $Y = \log y$ | $X = \log x$ |
| $y = ae^{bx}$ | $Y = \ln y$ | $X = x$ |
| $y = ab^x$ | $Y = \log y$ | $X = x$ |
| $y = \ln(ax^b)$ | $Y = y$ | $X = \ln x$ |
| $y = \frac{1}{a + bx}$ | $Y = \frac{1}{y}$ | $X = x$ |
| $y = a + b\sqrt{x}$ | $Y = y$ | $X = \sqrt{x}$ |

例子

- 假設有以下數據：

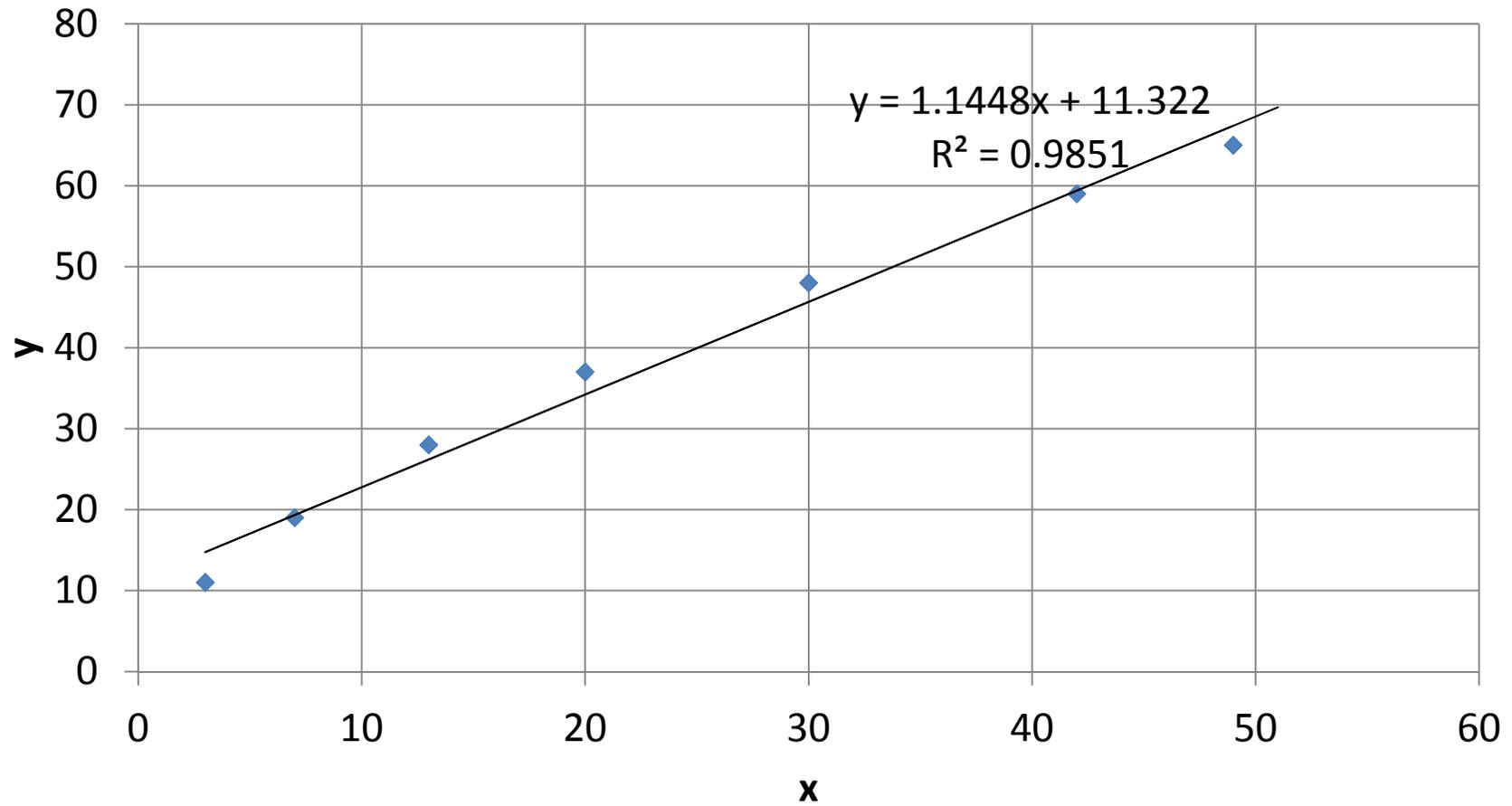
| x | y |
|----|----|
| 3 | 11 |
| 7 | 19 |
| 13 | 28 |
| 20 | 37 |
| 30 | 48 |
| 42 | 59 |
| 49 | 65 |

把圖的數據展示，在趨勢及曲線如下所示。它顯然是非線性的。

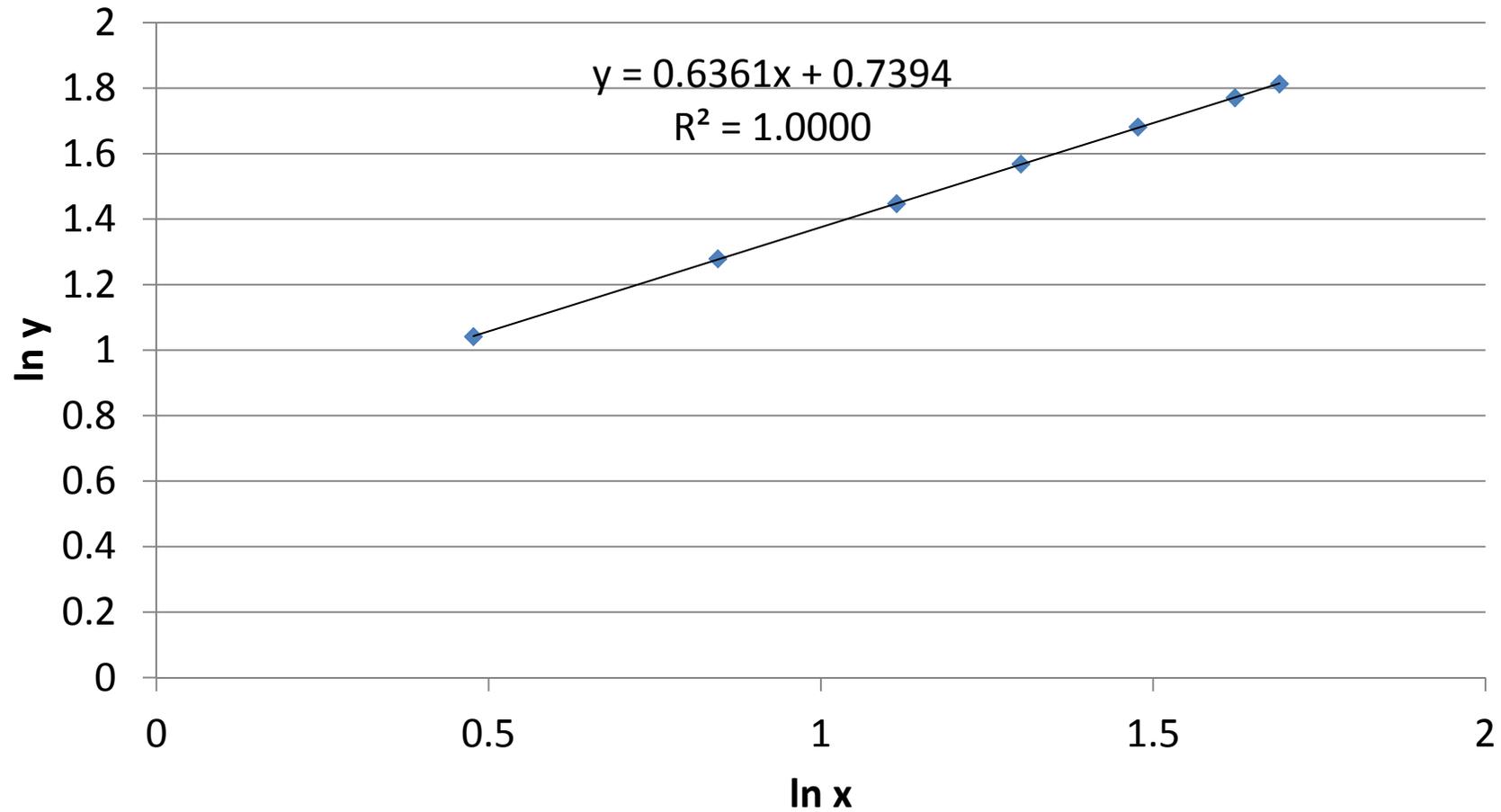


- 我們可以嘗試不同的非線性擬合模型(non-linear fitting model)，看看哪種模式更好
- 透過監察回歸係數 R^2 ，選擇最佳的非線性擬合模型

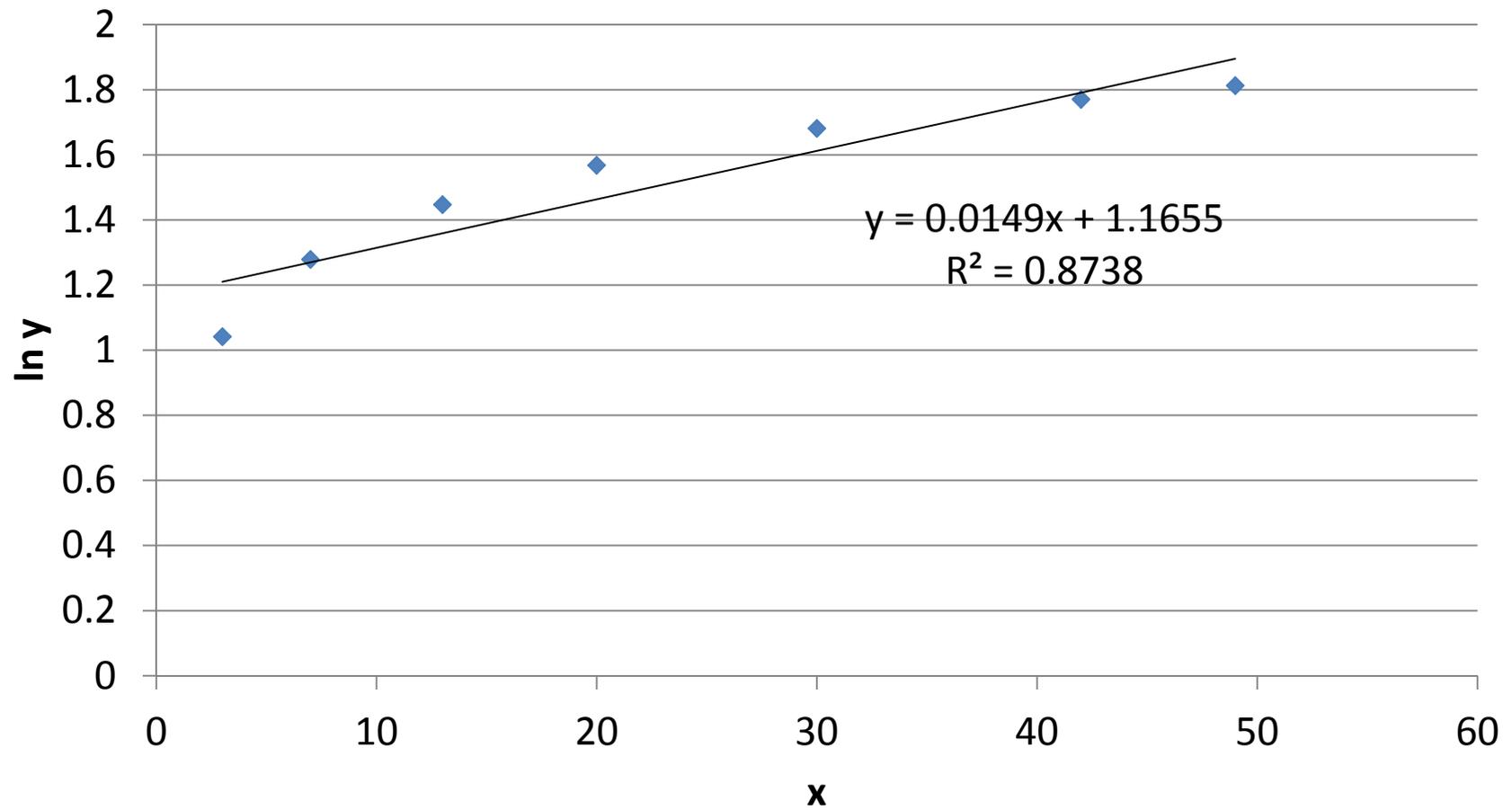
線性擬合 : $y=mx+c$



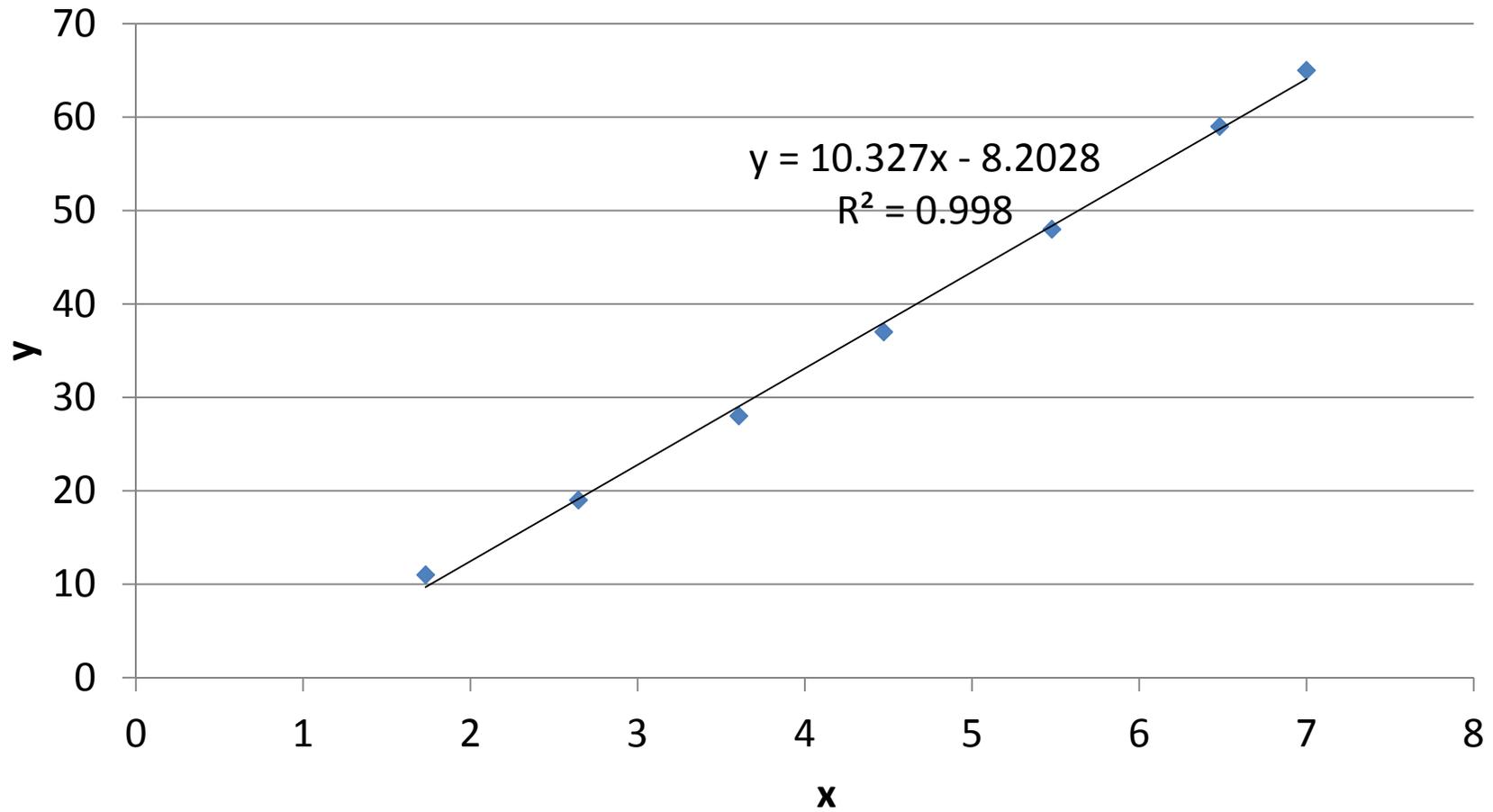
幂定律 (power law)



指數Exponential

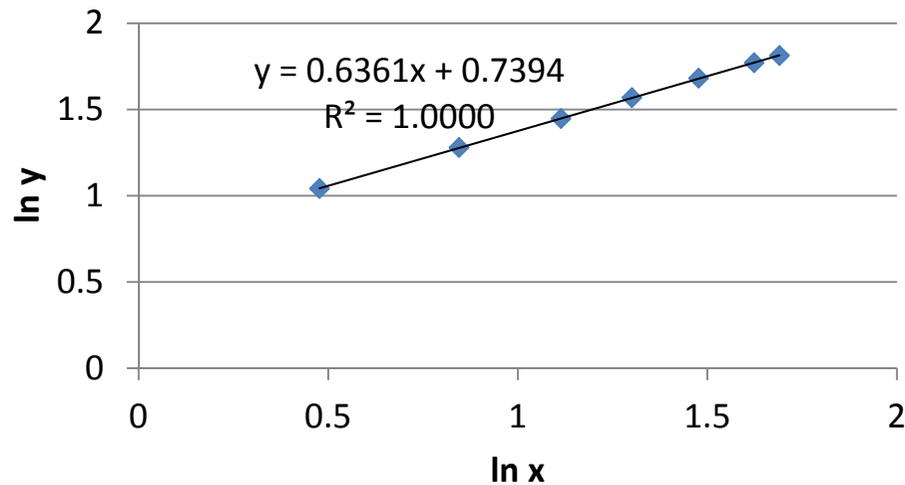


平方根Square root



哪個數學關係較適合描述x和y的關係？

| 數學關係 | 回歸係數 R ² |
|---------------------------|---------------------|
| Y=mx + C (線性) | 0.9851 |
| $y = ax^b$ (冪定律) | 1.0000 |
| $y = ae^{bx}$ (指數) | 0.8738 |
| $y = a + b\sqrt{x}$ (平方根) | 0.998 |



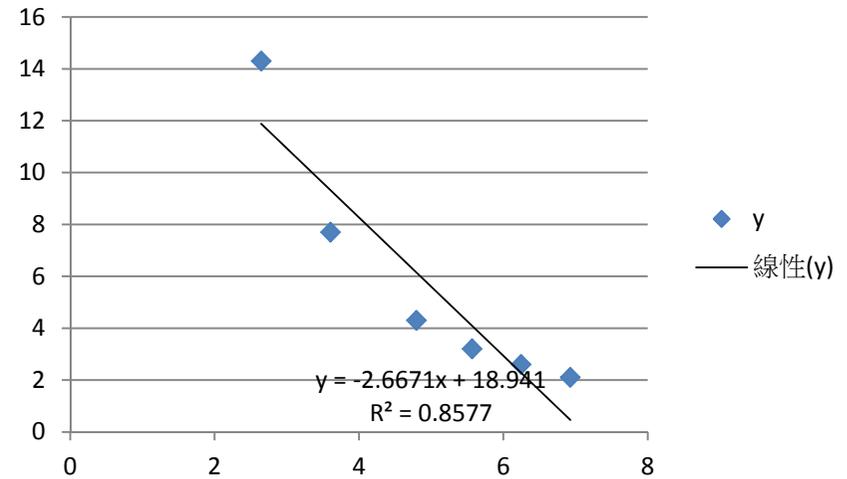
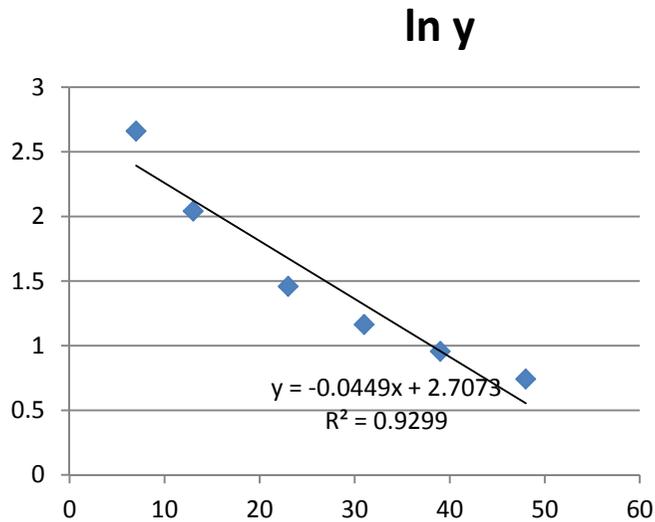
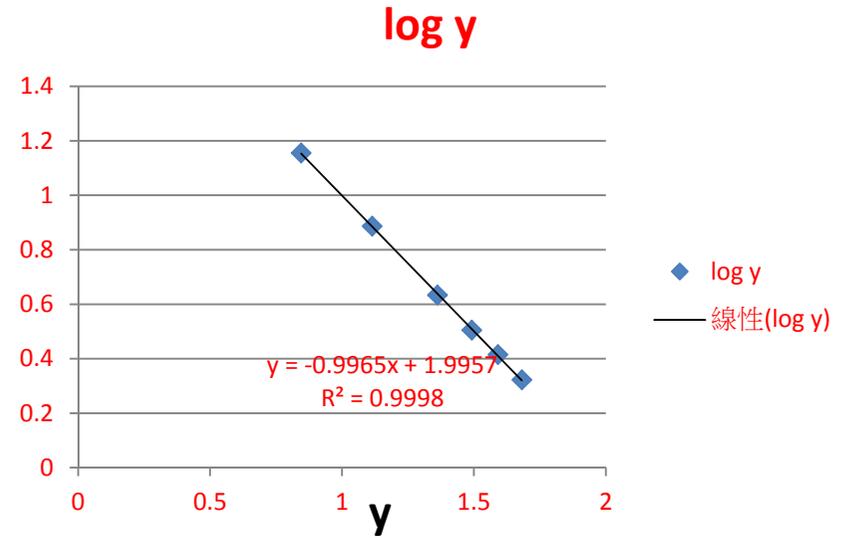
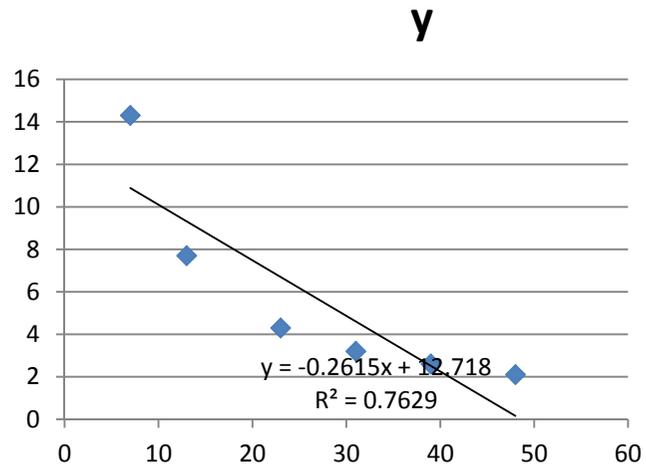
$$y = ax^b$$
$$\ln y = b \ln x + \ln a$$
$$\ln y = 0.6361 \ln x + 0.7394$$
$$\therefore y = 2.095 x^{0.6361}$$

找出合適的x和y的關係

- 試用[Excel](#)的線性回歸和分析回歸係數 R^2 ，找出較佳的x和y的關係。

| x | y |
|----|------|
| 7 | 14.3 |
| 13 | 7.7 |
| 23 | 4.3 |
| 31 | 3.2 |
| 39 | 2.6 |
| 48 | 2.1 |

$$y = ax^b$$



巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：4 節 (60 分鐘)

選修單元：弦線的材料對音質的影響

學習目標

- (1) 了解樂器的結構對音質及波形的影響
- (2) 了解弦線影向其發聲的因素
- (3) 透過數學和科學優化解製作木琴過程

教具及所需物資：

- 智能電話
- Android App: Oscilloscope (XYZ-Apps)
- Android App: Sound Analyzer (Tiniasoft)

| 學習活動 | 備註 |
|---|--|
| 了解樂器的結構對音質及波形的影響 利用 Android App: Oscilloscope (XYZ-Apps) 記錄及分析不同樂器的波形 利用 Android App: Sound Analyzer (Tiniasoft) 記錄不同樂器 OVERTONE 的成份，並分析 OVERTONR 成份與波形的關係。 | ◆ 老師需預先準備若干樂器，或建議到音樂室進行探究 ◆ 老師盡可能讓學生利用示波器記錄波形，並作出相關分析 |

| | |
|---|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 在 OVERTONE 部份，老師需引導學生聯繫 OVERTONE 和波形的關係。 |
| <ul style="list-style-type: none"> ● 運用簡報上的圖片，讓學生設計探究長度、張力、弦線物料和粗幼，對音質的影響。Use the simple setting showed in the PowerPoint to investigate how the length, tension, thickness and the material of a string affect the sound quality. | <p>著學生討論及設計實驗步驟，並安排進行實驗及展示成果。</p> <p>著學生指出其發現，如何應用到弦樂器的設計。**建議本部份使用不同粗幼漁絲或結他弦線進行實驗探究。</p> |
| | <p><u>延伸活動</u></p> <p>除弦線外，學生還可以探究其他影響音質的因素，如共鳴箱的形狀、大小、材質等。</p> |

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：4 節 (60 分鐘)

選修單元：弦線的材料對音質的影響

學習目標

- (1) 了解樂器的結構對音質及波形的影響
- (2) 了解弦線影向其發聲的因素
- (3) 透過數學和科學優化解製作木琴過程

教具及所需物資：

- 智能電話
- Android App: Oscilloscope (XYZ-Apps)
- Android App: Sound Analyzer (TiniaSoft)

| 學習活動 | 備註 |
|---|--|
| 了解樂器的結構對音質及波形的影響 利用 Android App: Oscilloscope (XYZ-Apps) 記錄及分析不同樂器的波形 利用 Android App: Sound Analyzer (TiniaSoft) 記錄不同樂器 OVERTONE 的成份，並分析 OVERTONR 成份與波形的關係。 | ◆ 老師需預先準備若干樂器，或建議到音樂室進行探究 ◆ 老師盡可能讓學生利用示波器記錄波形，並作出相關分析 |

| | |
|---|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 在 OVERTONE 部份，老師需引導學生聯繫 OVERTONE 和波形的關係。 |
| <ul style="list-style-type: none"> ● 運用簡報上的圖片，讓學生設計探究長度、張力、弦線物料和粗幼，對音質的影響。Use the simple setting showed in the PowerPoint to investigate how the length, tension, thickness and the material of a string affect the sound quality. | <p>著學生討論及設計實驗步驟，並安排進行實驗及展示成果。</p> <p>著學生指出其發現，如何應用到弦樂器的設計。**建議本部份使用不同粗幼漁絲或結他弦線進行實驗探究。</p> |
| | <p><u>延伸活動</u></p> <p>除弦線外，學生還可以探究其他影響音質的因素，如共鳴箱的形狀、大小、材質等。</p> |

弦線的材料對音質影響

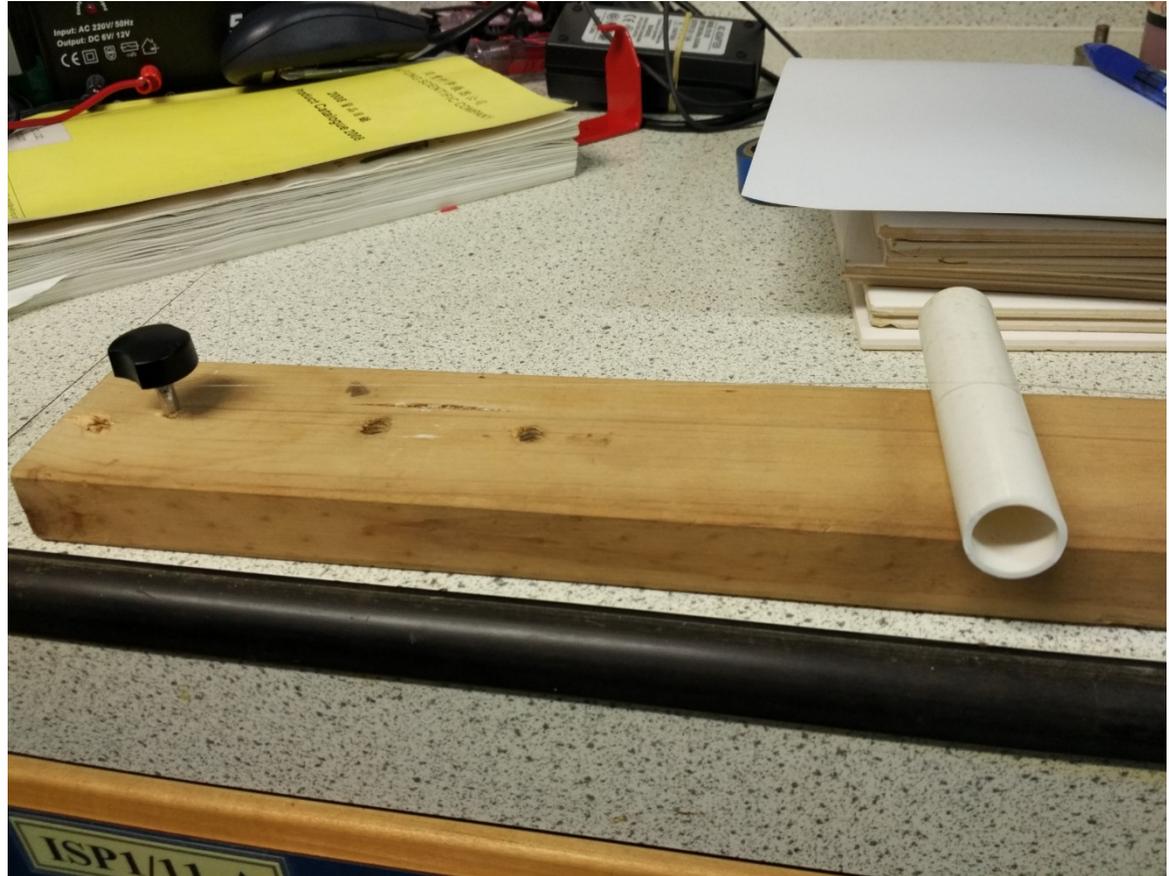
- 智能手機的應用程式來測試不同樂器所產生的頻率和音品。
 - Android App: Sound Analyzer (Tiniasoft)
 - Android App: Oscilloscope (XYZ-Apps)

- 有很多弦樂器如吉他、豎琴、琵琶等，是以震動弦線來發音的，但不同的弦線有著不同的音質。
- 依琴弦振動方式分
 - 擦弦類（例如小提琴、二胡）
 - 撥弦類（例如吉他、豎琴）
 - 擊弦類（例如揚琴、鋼琴）
- Use Android App: Oscilloscope (XYZ-Apps) to investigate the sound generated by different instruments.
- Use screen capture to capture the wave form of different instruments.
- Explain what do u find

- Repeat the experiment by using another Android App: Sound Analyzer (Tiniasoft)
- Explain what do u find

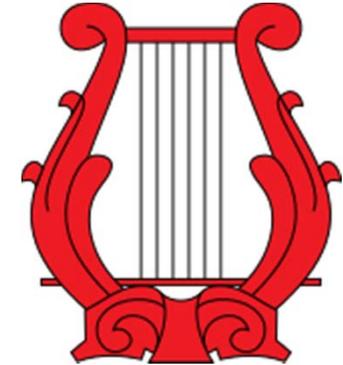
測試下列項目對音調和音量的影響

1. 弦線的長度
2. 弦線的拉力
3. 弦線的粗度
4. 弦線的物質



利用以上的探究製作一個的豎琴

- DiY How To Make A Shoebox Harp
 - <https://www.youtube.com/watch?v=i6lug6cMAq8>
- The Making of an Aeolian Harp
 - <https://www.youtube.com/watch?v=dUsnR4ifqNs>
- 5 Minute Aeolian Harp Making by Mr. Stan Hershonik
 - <https://www.youtube.com/watch?v=Mw5VzO3CnnY>



完

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：4 節 (60 分鐘)

選修單元：把弦樂器縮小

學習目標

- (1) 了解不同物理量跟弦樂器產生不同頻率的關係
- (2) 了解音階和頻率的關係

教具及所需物資：

- 智能電話
- Android App: Fine Chromatic Tuner (Fine Chromatic Tuner)

| 學習活動 | 備註 |
|--|---|
| 利用 Android App: Fine Chromatic Tuner (Fine Chromatic Tuner)測試已調音的樂器，例如鋼琴、牧童笛等不同音符的樂器 | <ul style="list-style-type: none">◆ 建議老師著學生探究 C4-C5 的音符和頻率的關係◆ 由於不同組別在測試時會互相干擾，各組間距離遠，可減少受干擾。建議學生可離開實驗室，在走廊進行，並可使用 |

| | |
|---|--|
| | 較輕便的樂器如牧童笛。 |
| <ul style="list-style-type: none"> ● 把樂器縮小 ● 製作一個 C4-C5 自然音階的樂器。 ● 利用 Android App: Fine Chromatic Tuner (Fine Chromatic Tuner) ，探究影響頻率的因素 ● 總結有哪些因素會優化縮小弦樂器的製作，例如小結他。 | <p>著學生探究弦線長度、張力、粗幼等條件，如何影響頻率。</p> <p>***弦線長短及張弛會影響頻率，學生亦需知道因而有機會影響調奏時的手感，例如弦線太鬆，手感欠佳；弦線太緊則易斷，兼令樂器變形，不耐用。</p> <p>著學生討論及設計實驗步驟，並安排進行實驗及展示成果。</p> <p>著學生指出其發現，如何應用到弦樂器的設計。</p> <p>**建議本部份使用不同粗幼漁絲或結他弦線進行實驗探究。</p> |
| | <p><u>延伸活動</u></p> <p>除弦線外，學生還可以探究其他影響音質的因素，如共鳴箱的形狀、大小、材質等。</p> |

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：4 節 (60 分鐘)

選修單元：把弦樂器縮小

學習目標

- (1) 了解不同物理量跟弦樂器產生不同頻率的關係
- (2) 了解音階和頻率的關係

教具及所需物資：

- 智能電話
- Android App: Fine Chromatic Tuner (Fine Chromatic Tuner)

| 學習活動 | 備註 |
|--|---|
| 利用 Android App: Fine Chromatic Tuner (Fine Chromatic Tuner)測試已調音的樂器，例如鋼琴、牧童笛等不同音符的樂器 | <ul style="list-style-type: none">◆ 建議老師著學生探究 C4-C5 的音符和頻率的關係◆ 由於不同組別在測試時會互相干擾，各組間距離遠，可減少受干擾。建議學生可離開實驗室，在走廊進行，並可使用 |

| | |
|---|--|
| | 較輕便的樂器如牧童笛。 |
| <ul style="list-style-type: none"> ● 把樂器縮小 ● 製作一個 C4-C5 自然音階的樂器。 ● 利用 Android App: Fine Chromatic Tuner (Fine Chromatic Tuner) ，探究影響頻率的因素 ● 總結有哪些因素會優化縮小弦樂器的製作，例如小結他。 | <p>著學生探究弦線長度、張力、粗幼等條件，如何影響頻率。</p> <p>***弦線長短及張弛會影響頻率，學生亦需知道因而有機會影響調奏時的手感，例如弦線太鬆，手感欠佳；弦線太緊則易斷，兼令樂器變形，不耐用。</p> <p>著學生討論及設計實驗步驟，並安排進行實驗及展示成果。</p> <p>著學生指出其發現，如何應用到弦樂器的設計。</p> <p>**建議本部份使用不同粗幼漁絲或結他弦線進行實驗探究。</p> |
| | <p><u>延伸活動</u></p> <p>除弦線外，學生還可以探究其他影響音質的因素，如共鳴箱的形狀、大小、材質等。</p> |

把弦樂器小型化

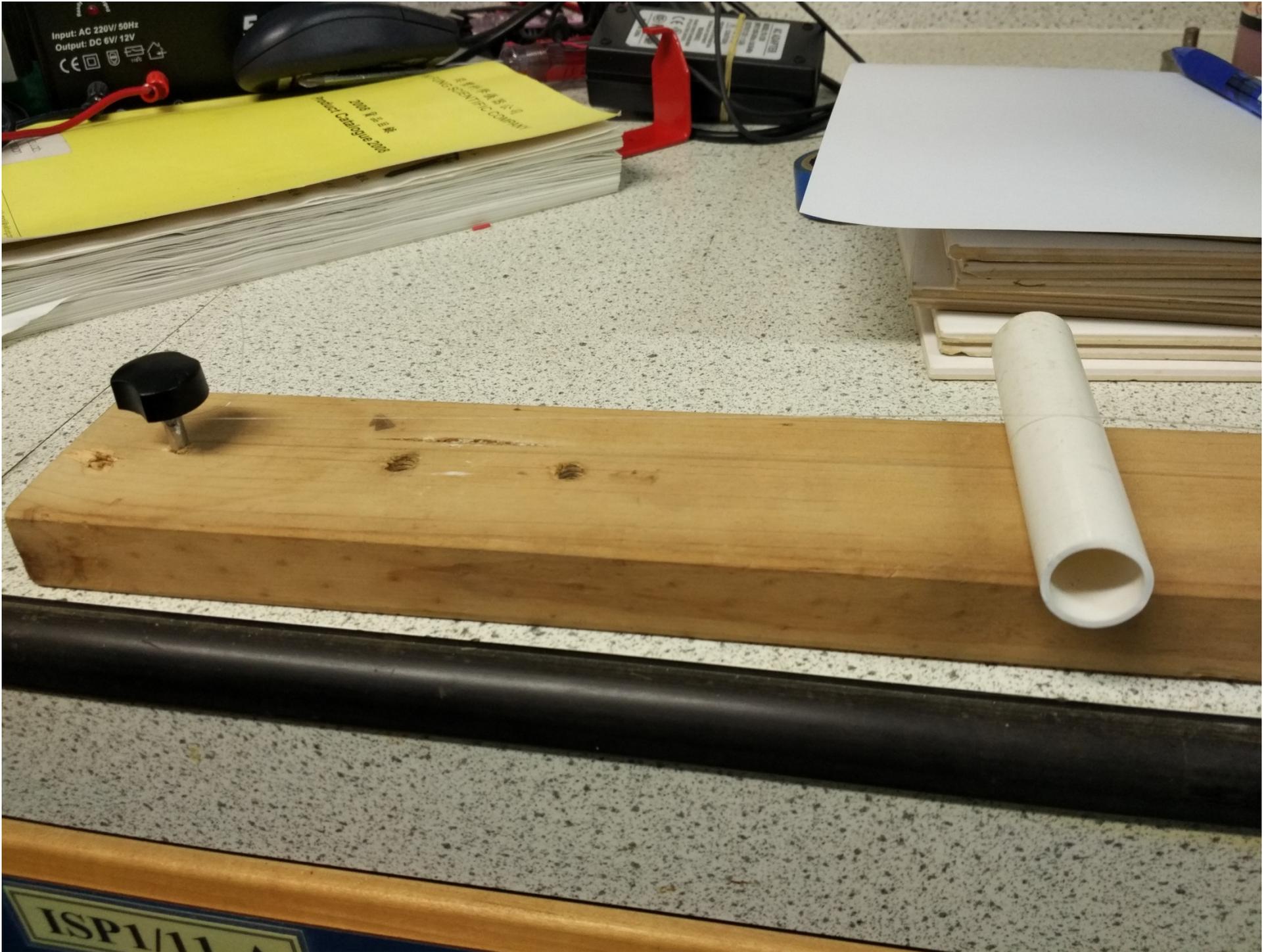
- 智能手機的應用程式來測試不同樂器所產生的頻率。
 - Android App: Fine Chromatic Tuner (Fine Chromatic Tuner)

弦樂器



弦樂器

- 弦樂器是指以弦振動而發出聲音的樂器之總稱。
- 有很多弦樂器如吉他、豎琴、琵琶等，是以震動弦線來發音的，但不同的弦線有著不同的音質。
- 依琴弦振動方式分
 - 擦弦類（例如小提琴、二胡）
 - 撥弦類（例如吉他、豎琴）
 - 擊弦類（例如揚琴、鋼琴）
- 弦樂器的大小某程度上取決於弦線的長短和其他因素。
- 有什麼變數可控制弦線的音調？
- 又有什麼變數，可以使弦線發出相同的音調，但用較短的弦線？



了解音階和頻率

| 音階音名 | 頻率 / Hz |
|------|---------|
| C4 | 261.63 |
| C4# | 277.18 |
| D4 | 293.66 |
| E4b | 311.13 |
| E4 | 329.63 |
| F4 | 349.23 |
| F4# | 369.99 |
| G4 | 392.00 |
| A4b | 415.30 |
| A4 | 440.00 |
| B4b | 466.16 |
| B4 | 493.88 |
| C5 | 523.25 |

<http://www.liutaiomottola.com/formulae/freqtab.htm>

<http://www.seventhstring.com/resources/notefrequencies.html>

探究方向

- 製作一個C4音階的樂器i
- 弦線的張度對音調的影響
 - 在相同的弦線拉力下改變弦線的張度，並記錄長度和音調
 - Android App: Fine Chromatic Tuner (Fine Chromatic Tuner)
- 弦線的拉力對音調的影響
 - 在相同的弦線張度下改變弦線的拉力，並記錄拉力和音調
 - Android App: Fine Chromatic Tuner (Fine Chromatic Tuner)
- 不同的弦線對音質的影響
 - 在相同的弦線拉力和長度下改利用不同的弦線發聲並記錄聲音的波型及有關數據
 - Android App: Oscilloscope (kmlen)
 - Android App: Sound Analyzer (TiniaSoft)

把弦樂器小型化的建議

- 綜合了早前的實驗探究，你有什麼建議去小型化弦樂器？
 1. 用較短的弦線
 2. 用較低的弦線拉力
 3. 用較粗的弦線
- 在設計上還有甚麼限制？

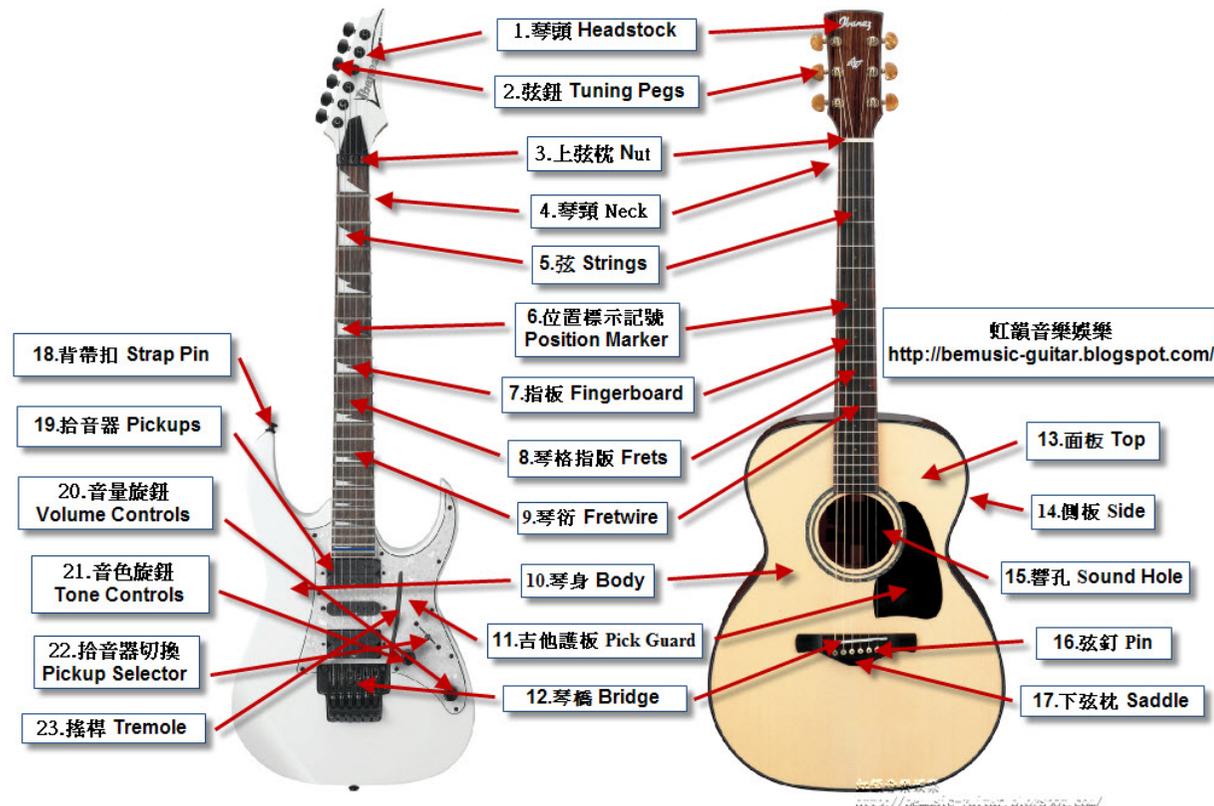
製作一個小吉他

| 弦 | 音符 | 頻率(Hz) |
|---|----------------|--------|
| 1 | E ₄ | 329.63 |
| 2 | B ₃ | 246.94 |
| 3 | G ₃ | 196.00 |
| 4 | D ₃ | 146.83 |
| 5 | A ₂ | 110.00 |
| 6 | E ₂ | 82.41 |



製作一個小吉他

- 量度上弦栓和下弦栓的距離，這就弦線震動部分的長度。
- 利用早前研究，製作一個小吉他，它的弦線震動部分的長度是一個標準吉他的 $2/3$ 長度。
- 是次製



完

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：4 節 (60 分鐘)

選修單元：隔音材料

學習目標

- (1) 認識隔音材料在日常生活的應用
- (2) 了解不同隔音材料的隔音能力
- (3) 製作一個隔音耳罩

教具及所需物資：

- 智能電話
- Android App: Signal Generator (android-design.nl)
- Android App: Sound Meter (Smart Tools co.)

| 學習活動 | 備註 |
|------------------------------------|---------------------------------|
| 認識隔音材料 ● 著學生討論，舉出一些日常生活上需要隔音的例子 | ◆ 老師引導學生，找出能達到隔音效果的方法，例如吸收、反射等。 |

| | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ● 介紹學生使用 Android App: Signal Generator (android-design.nl), 用作發出固定頻率的聲音 ● Android App: Sound Meter (Smart Tools co.), 分貝計, 用作量度聲量大小 ● 著學生利用以上兩 APPS 及手提電話, 設計實驗, 量度不同物料的隔音能力。 | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 本課題將集中在物料吸音的範疇。 ◆ 老師需準備不同隔音物料, 例如布、海綿、紙板等 ◆ 老師引導學生討論, 有哪些因素會影響實驗的準確性, 例如背景噪音、周圍物件對聲波的反射等。 ◆ 如果學生能力較高, 可要求學生就不同的物理量對噪音的影響作出量化分析。例如物料厚度跟降低噪音的關係。 |
| <ul style="list-style-type: none"> ● 製作隔音耳罩 ● 利用以上步驟, 找出一些隔音效果良好、成本低、易製作的物料, 製作耳罩, 需同時考慮安全及舒適性。 | |

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：4 節 (60 分鐘)

選修單元：隔音材料

學習目標

- (1) 認識隔音材料在日常生活的應用
- (2) 了解不同隔音材料的隔音能力
- (3) 製作一個隔音耳罩

教具及所需物資：

- 智能電話
- Android App: Signal Generator (android-design.nl)
- Android App: Sound Meter (Smart Tools co.)

| 學習活動 | 備註 |
|--|---|
| <p>認識隔音材料</p> <ul style="list-style-type: none">● 著學生討論，舉出一些日常生活上需要隔音的例子 | <ul style="list-style-type: none">◆ 老師引導學生，找出能達到隔音效果的方法，例如吸收、反射等。 |

| | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ● 介紹學生使用 Android App: Signal Generator (android-design.nl)，用作發出固定頻率的聲音 ● Android App: Sound Meter (Smart Tools co.)，分貝計，用作量度聲量大小 ● 著學生利用以上兩 APPS 及手提電話，設計實驗，量度不同物料的隔音能力。 | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 本課題將集中在物料吸音的範疇。 ◆ 老師需準備不同隔音物料，例如布、海綿、紙板等 ◆ 老師引導學生討論，有哪些因素會影響實驗的準確性，例如背景噪音、周圍物件對聲波的反射等。 ◆ 如果學生能力較高，可要求學生就不同的物理量對噪音的影響作出量化分析。例如物料厚度跟降低噪音的關係。 |
| <ul style="list-style-type: none"> ● 製作隔音耳罩 ● 利用以上步驟，找出一些隔音效果良好、成本低、易製作的物料，製作耳罩，需同時考慮安全及舒適性。 | |

隔音材料

<http://www.education.com/science-fair/article/acoustics-study-sound/>

隔音材料

- 隔音有什麼應用？
- 在日常生活中有什麼方法去隔音？
- 有什麼物料可用來隔音？
- 如何測試物料的隔音能力？

在日常生活中有什麼方法去隔
音？

隔音有什麼應用？







有什麼物料可用來隔音？

- 其實什麼物料也可用來隔音，問題是它們有不同的隔音能力，而在工程上，我們也要考慮成本和合適性。
- 一個簡單的實驗，利用智能手機的應用程式來產生聲音。
 - Android App: Signal Generator (android-design.nl)
- 在智能手機前固定的位置，如**5cm**放上不同的隔音物料，再在固定的位置，如**10cm**放上另外一部智能手機，利用應用程式量度聲音的亮量。看看哪些物料有較佳的隔音效果。
 - Android App: Sound Meter (Smart Tools co.)
- 從初步的實驗，你能指出哪些物料特性比較有效隔音嗎？

進階實驗建議

- 早前的簡單實驗，有什麼可改善的地方？
- 不同的隔音材料對不同的頻率反應是否相同？
- 如何減少背景噪音的影響？
- 如何減少反射聲波的影響？

如何測試物料的隔音能力？

製作一個耳罩

- 有效隔音
- 重量輕巧
- 配戴舒適
- 設計是由有關數據支持的

動手製作

- 製作一個耳罩
- 利用反相的疊加原理，討論製作一個減噪的音樂耳筒

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：4 節 (60 分鐘)

選修單元：木琴的奧秘

學習目標

(1) 了解木琴的結構及影響其發聲的因素

(2) 透過數學和科學優化製作木琴過程

***當同學了解到頻率和物理量的關係時，他們亦可運用創意製作出其他樂器，木琴只是其中一個建議。*

教具及所需物資：

- 智能電話
- Android App: Fine Chromatic Tuner (Fine Chromatic Tuner)
- Android App: Sound Analyzer (TiniaSoft)
- 銅管、銅管切割器、手銼

| 學習活動 | 備註 |
|--|--|
| 了解木琴的結構和如何發聲 探究木琴琴鍵長度、粗幼、材質對音質的影響(注：本單元選定較易在坊間五金建材店購得的四分銅喉作原料) 敲擊不同形狀的物料會發出不同的音調 | ◆ 找出長度與頻率的關係 ◆ 可鼓勵學生嘗試不同粗幼、材質的喉管所產生的音質有不同 ◆ 認識音質不同在數學上的意思(泛音的組 |

| | |
|---|---|
| <p>利用 Android App: Fine Chromatic Tuner (Fine Chromatic Tuner)找出銅管長度和音調的關係。</p> | <p>合、不同頻率 sin 函數的組合)</p> |
| <p>了解共鳴管的作用</p> <p>◆ 利用 Android App: Sound Meter (Smart Tools co.找出共鳴管長度和音量的關係。</p> | <p>◆ 利用 Android App: Sound Meter 量度共鳴管設計對音量的影響</p> <p>◆ 老師可在實驗進行前先讓學生推測實驗結果</p> |
| <p>◆ 製作一個簡單的木琴（如果用 3 分的銅管，建議製作 C7-C8 的木琴，參考教材套內的 freq Vs Length.xls）</p> | <p>◆ 老師可先讓學生隨意切割銅，量度頻率並修正長度，以達致預設頻率(若結果跟預設出現$\pm 20\text{Hz}$，已屬理想)</p> <p>◆ 學生花時間修正第一支銅管後，學生分享感受，並估計要製作一件擁有八度音階的木琴，將需要多少時間(注：一般情況下，學生均表示工序將非常費時)</p> <p>◆ 承上，跟學生討論如何有效加速製作</p> <p>◆ 著學生在嘗試幾條長度 5-15cm 的銅管後，分別量度出頻率，在繪圖紙上畫出長度與頻率的圓滑曲線</p> <p>◆ 應用所得圓滑曲線，即可快速找出指定頻率的銅管長度(注：老師暫不預先告訴學生曲線的應用，應引導學生自行發掘其用處)</p> <p>◆ 注：固定銅管是製作過程的關鍵，因其</p> |

| | |
|--|--|
| | <p>直接影響音質及弦音。老師可讓學生自行嘗試不同方法。其中最簡易的方法，是將銅管放在橡筋圈上，或者以魚絲吊起銅管</p> |
| | <p>延伸活動</p> <ol style="list-style-type: none">1. 研究管的厚度和物料對音質的影響。老師可在一般五金建材店買到不同粗度的銅管和鋁管。建議主要選用四分及一寸銅喉，其他不同粗幼及材質的金屬喉酌量。據實際測試所知，四分銅喉音質較佳，而且價格相宜2. 共鳴箱大小和形狀，如何影響音量和延音的質素 |

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課節：4 節 (60 分鐘)

選修單元：木琴的奧秘

學習目標

(1) 了解木琴的結構及影響其發聲的因素

(2) 透過數學和科學優化製作木琴過程

***當同學了解到頻率和物理量的關係時，他們亦可運用創意製作出其他樂器，木琴只是其中一個建議。*

教具及所需物資：

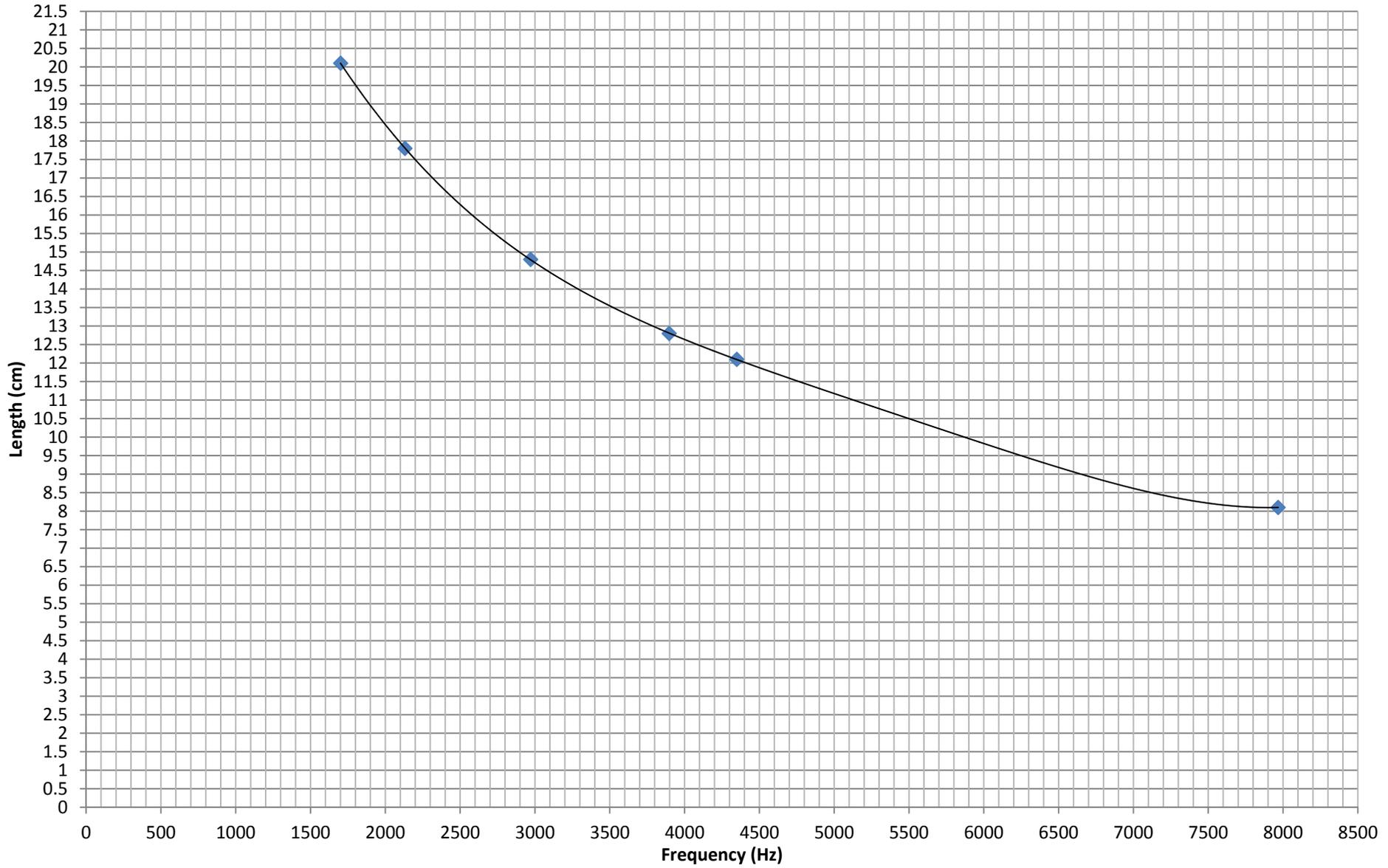
- 智能電話
- Android App: Fine Chromatic Tuner (Fine Chromatic Tuner)
- Android App: Sound Analyzer (TiniaSoft)
- 銅管、銅管切割器、手銼

| 學習活動 | 備註 |
|--|--|
| 了解木琴的結構和如何發聲 探究木琴琴鍵長度、粗幼、材質對音質的影響(注：本單元選定較易在坊間五金建材店購得的四分銅喉作原料) 敲擊不同形狀的物料會發出不同的音調 | ◆ 找出長度與頻率的關係 ◆ 可鼓勵學生嘗試不同粗幼、材質的喉管所產生的音質有不同 ◆ 認識音質不同在數學上的意思(泛音的組 |

| | |
|---|---|
| <p>利用 Android App: Fine Chromatic Tuner (Fine Chromatic Tuner)找出銅管長度和音調的關係。</p> | <p>合、不同頻率 sin 函數的組合)</p> |
| <p>了解共鳴管的作用</p> <p>◆ 利用 Android App: Sound Meter (Smart Tools co.找出共鳴管長度和音量的關係。</p> | <p>◆ 利用 Android App: Sound Meter 量度共鳴管設計對音量的影響</p> <p>◆ 老師可在實驗進行前先讓學生推測實驗結果</p> |
| <p>◆ 製作一個簡單的木琴（如果用 3 分的銅管，建議製作 C7-C8 的木琴，參考教材套內的 freq Vs Length.xls）</p> | <p>◆ 老師可先讓學生隨意切割銅，量度頻率並修正長度，以達致預設頻率(若結果跟預設出現$\pm 20\text{Hz}$，已屬理想)</p> <p>◆ 學生花時間修正第一支銅管後，學生分享感受，並估計要製作一件擁有八度音階的木琴，將需要多少時間(注：一般情況下，學生均表示工序將非常費時)</p> <p>◆ 承上，跟學生討論如何有效加速製作</p> <p>◆ 著學生在嘗試幾條長度 5-15cm 的銅管後，分別量度出頻率，在繪圖紙上畫出長度與頻率的圓滑曲線</p> <p>◆ 應用所得圓滑曲線，即可快速找出指定頻率的銅管長度(注：老師暫不預先告訴學生曲線的應用，應引導學生自行發掘其用處)</p> <p>◆ 注：固定銅管是製作過程的關鍵，因其</p> |

| | |
|--|--|
| | <p>直接影響音質及弦音。老師可讓學生自行嘗試不同方法。其中最簡易的方法，是將銅管放在橡筋圈上，或者以魚絲吊起銅管</p> |
| | <p>延伸活動</p> <ol style="list-style-type: none">1. 研究管的厚度和物料對音質的影響。老師可在一般五金建材店買到不同粗度的銅管和鋁管。建議主要選用四分及一寸銅喉，其他不同粗幼及材質的金屬喉酌量。據實際測試所知，四分銅喉音質較佳，而且價格相宜2. 共鳴箱大小和形狀，如何影響音量和延音的質素 |

Graph of length against frequency



木琴的奥秘

了解音階和頻率

| 音階音名 | 頻率 / Hz |
|------|---------|
| C4 | 261.63 |
| C4# | 277.18 |
| D4 | 293.66 |
| E4b | 311.13 |
| E4 | 329.63 |
| F4 | 349.23 |
| F4# | 369.99 |
| G4 | 392.00 |
| A4b | 415.30 |
| A4 | 440.00 |
| B4b | 466.16 |
| B4 | 493.88 |
| C5 | 523.25 |

<http://www.liutaiomottola.com/formulae/freqtab.htm>

<http://www.seventhstring.com/resources/notefrequencies.html>

- 智能手機的應用程式來測試不同樂器所產生的頻率。
 - Android App: Fine Chromatic Tuner (Fine Chromatic Tuner)

木琴



木琴



- 木琴（英語：Xylophone）是打擊樂器的一種。
- 將木製琴鍵置於共鳴管之上，以琴棒敲打以產生旋律。
- 琴鍵排列方式類似於鋼琴鍵盤。
- 一般所指的木琴為高音木琴，琴鍵較窄，音域較高，音色清脆。
- 常見的木琴還有馬林巴，琴鍵從高音窄到低音寬，音域較廣，音色圓潤。

木琴結構：琴鍵

- 木琴所用的琴鍵皆以木片所製成。
- 較常用的是紅木，亦會使用紫檀木一類木質較佳的樹木。這兩種木的質地較堅硬，所發出的聲音較為清脆響亮。
- 近代亦開始採用玻璃纖維或強化塑膠所製成，發出的聲音更為響亮及結實，成本也比原木為便宜，但卻欠缺樹木獨有的一種迴音和共鳴，以及琴棍敲打後，由天然纖維所產生的一種回彈力。
- 對於一般聽眾來說，可能未必可以分辨，但專業演奏者卻很明顯的感受到這種分別。
- 經切割後的木片會用橡筋繩串好，再套在用作固定用的小鈎上。

木琴結構：琴架

- 木琴的琴架，視乎樂器的大小、配件及其他因素而有所不同。
- 較細型的，只鑲嵌在外框上，不設有琴腳。
- 較大型的，琴鍵會安裝在一架附有輪子的琴架上以方便推動。

木琴結構：共鳴管



- 由於木琴的聲音大多都乾而短促，餘音非常短，因此共鳴管的實際作用並不大，因此早期的木琴都不設有共鳴管，但近年受馬林巴或顫音琴的影響，現時音域3個八度或3½個八度的木琴都會設有共鳴管。
- 其中低音的共鳴管較長，高音則非常短（只有一個圓環形）甚至是不設有共鳴管。

琴鍵的設計

- 敲擊不同形狀的材料會發出不同的音調。
- 用實驗找出銅管長度和音調的關係。
- 利用銅管長度和音調的關係，製作**C4至C5**的琴鍵。
 - Android App: Fine Chromatic Tuner (Fine Chromatic Tuner)
 - Android App: Sound Analyzer (Tiniasoft)

共鳴管的設計

- 共鳴管是長短不同的圓形薄鋁管，裝在每個音條的下方，作用相當於絃樂器的共鳴箱，使音條發出的聲音增強和延長。
- 不同的音調需要不同長度的共鳴管。
- 用實驗找出共鳴管長度和音量的關係。
- 利用共鳴管長度和音量的關係，製作C4至C5的琴鍵用的共鳴管。
 - Android App: Sound Meter (Smart Tools co.)

製作一個簡單的木琴

- 用銅管作材料
- 使用切管器切割銅管
- 問題是如何削減正確的長度？

建議方法

- 選擇三個不同長度的銅管
- 測量它們的頻率
- 把長度和頻率的關係線圖繪製
- 根據點子的趨勢，加添一條平滑曲線
- 從趨勢線估計銅管的長度
- 注意：為什麼趨勢不通過點子？

如何固定銅管？

- 銅管固定方式是非常影響銅管的發音，嘗試用不同的方法去固定銅管，然後拷打銅管，看看有什麼發現。
- 銅管的支撐位置會否影響音質？
- 銅管的支撐物料會否影響音質？

完

目標回顧及評鑑方法

本計劃之目標回顧

本計劃加入較高層次的科學和數學的概念，例如：疊加原理(Superposition Principle)和傅里葉級數(Fourier Series)*，旨在擴闊和加深資優學生的學習，讓他們學到進階的知識(advanced content)。此外，本計劃刻意加入樂器製作活動，旨在擴闊學生的學習及加強其解難能力，並加深學生對聲音、音樂和樂器的認識，而且能透過科學和數學了解它們的關係，從而在製作樂器時能作出優化。學生學到的知識，不會是零碎的，而是較為全面、廣闊和實用。

第一部分(1B)的教學內容適合全班一起探究，至於第二部分(2D)的選修單元，老師可按學生能力和興趣選擇。如學生的數理能力夠高，當中有些科學課程甚至達到大學一年級的程度，從而希望達到展才的效果。

評鑑方法

我們透過課堂的觀察、學生的作品、學生問卷、學生訪談、教師反思等方法，評鑑這項校本科學資優培育計劃的成效。

2015/16 校本抽離式資優培育協作計劃

XXX 中學

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

學生問卷

對象：_____

學生填寫日期：_____

I. 請仔細閱讀下列句子，然後在每句句後圈出最能代表你看法的數字。

| | 很 不 同 意 | 不 同 意 | 同 意 | 很 同 意 |
|-------------------------|------------------|-------------|--------|-------------|
| 1. 我清楚知道此課程的教學目標 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 2. 此課程的內容淺易 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 3. 此課程的內容艱深 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 4. 此課程的內容 / 活動多樣化 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 5. 此課程的練習 / 活動對學習有幫助 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 6. 此課程令我學到新的知識 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 7. 此課程加深我對科學、科技及數學的認識 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 8. 此課程令我對科學、科技及數學產生更大興趣 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 9. 我覺得此課程是有意義的 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 10. 老師講解清晰、容易理解 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 11. 老師表現熱誠 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 12. 老師給予我們很多思考機會 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 13. 老師鼓勵我們表達自己的想法 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 14. 我全情投入此課程 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 15. 我積極參與課堂的討論 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 16. 總的來說，我對此課程感到滿意 | 1 | 2 | 3 | 4 |

II. 1.你覺得此課堂和平日的正規課堂有何分別？

2.你最喜歡此課堂的哪部份活動？為什麼？

3.你最不喜歡此課堂的哪部份活動？為什麼？

III. 請利用下面空白位置，寫出你對此課程的感受。

2015/16 校本抽離式資優培育協作計劃

XXX 中學

巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

老師問卷

老師姓名：_____ 學生程度：_____ 抽離課程學生人數：_____

甲部 請細閱下列句子，然後在每句句後圈出最能代表你看法的數字。

| | | 十分同意 | 同意 | 不同意 | 十分不同意 |
|----|--|------|----|-----|-------|
| 1. | 教學目標 | | | | |
| | 1.1 課程目標針對培育資優學生的科學、科技及數學潛能。 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 1.2 本課程能達到預期的目標。 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 2. | 課程內容 | | | | |
| | 2.1 課程內容切合資優學生的學習需要。 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 2.2 課程內容太過淺易。 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 2.3 課程內容能讓資優學生了解自己的獨特之處，從而發揮在科學、科技及數學上的天賦才能。 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 2.4 課程內容能訓練資優學生的高層次思維。 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 2.5 課程內容能發揮資優學生的創意。 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 2.6 課程內容能讓資優學生運用不同的解難策略。 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 2.7 課程內容具挑戰性。 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 2.8 課程內容照顧到資優生的個別差異。 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 3. | 教學取向及策略 | | | | |
| | 3.1 教學策略能提升資優學生的學習興趣。 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 3.2 教學策略能提升學生對課堂的投入程度。 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 3.3 教學策略能讓資優學生有充分的機會運用高層次思維。 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 3.4 教學策略能讓資優學生有充分的機會發揮創意。 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 3.5 教學策略能營造出一個充滿樂趣及富挑戰性的學習環境。 | 1 | 2 | 3 | 4 |

| | | 十分同意 | 同意 | 不同意 | 十分不同意 |
|----|------------------------|------|----|-----|-------|
| 4. | 評估 | | | | |
| | 4.1 評估數量合適。 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 4.2 評估能有效地反映資優學生的學習表現。 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 4.3 評估能有效地反映資優學生的學習成果。 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 4.4 評估的深淺程度合適。 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | | | | | |

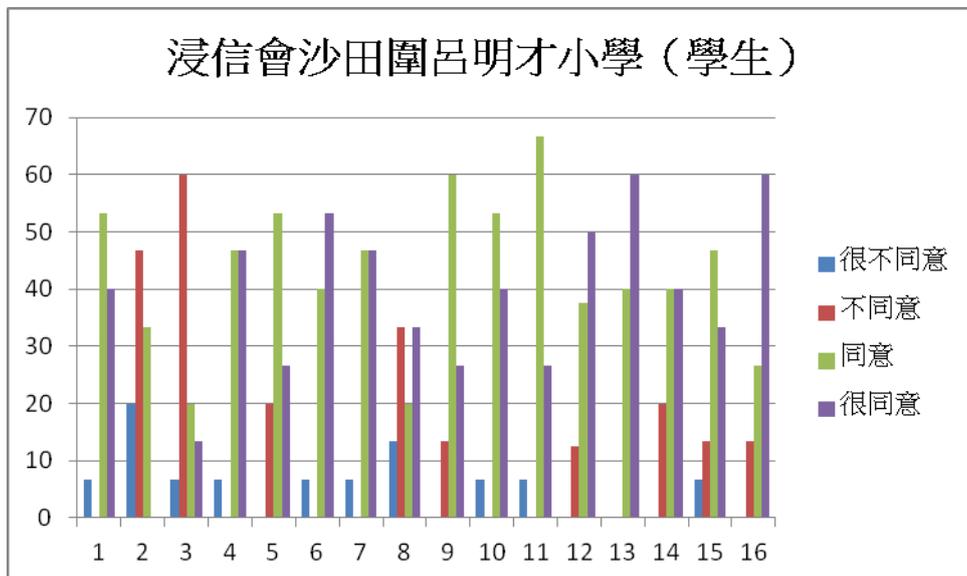
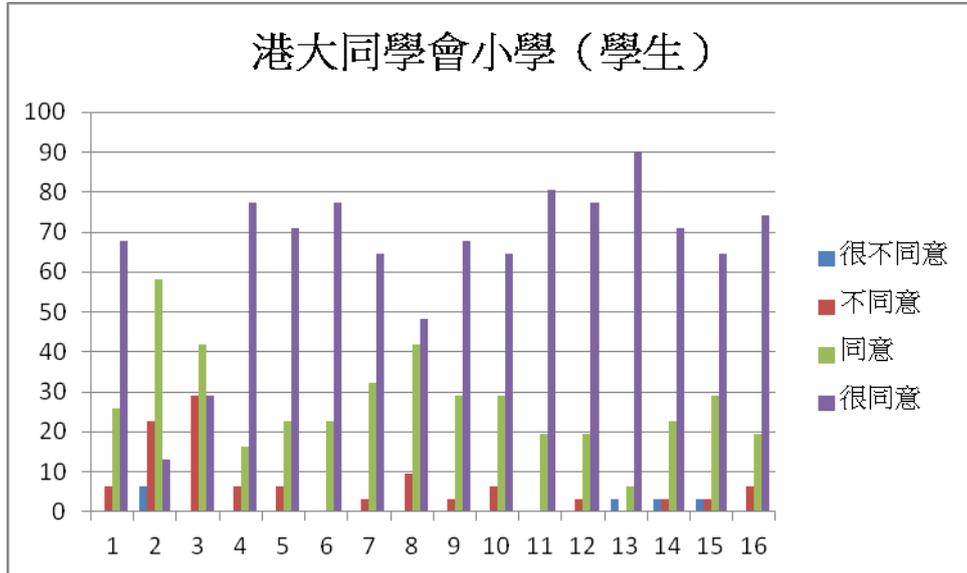
乙部 請細閱下列問題，然後在橫線上寫上個人意見。

1. 在課程施教時，有沒有遇到什麼困難和／或限制？如有，請闡明。

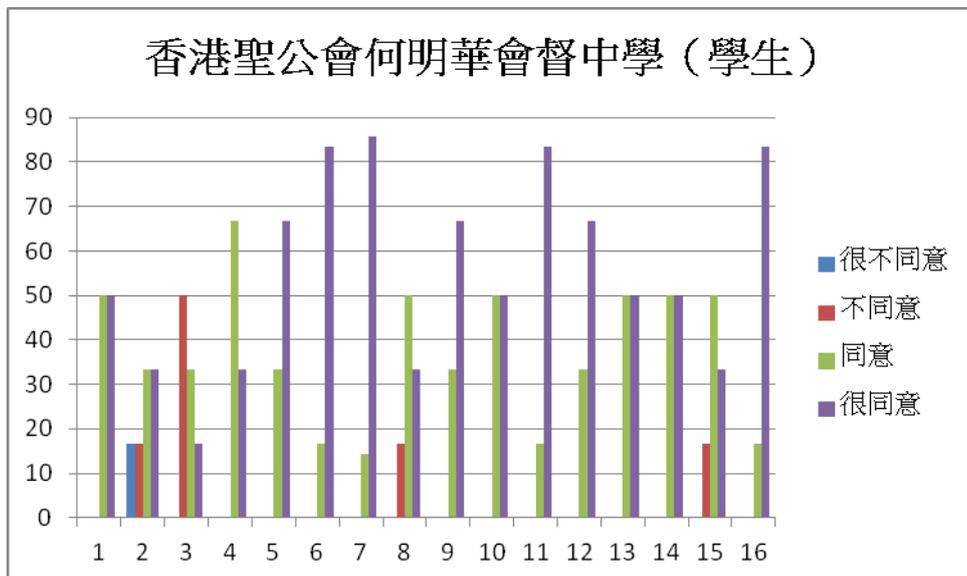
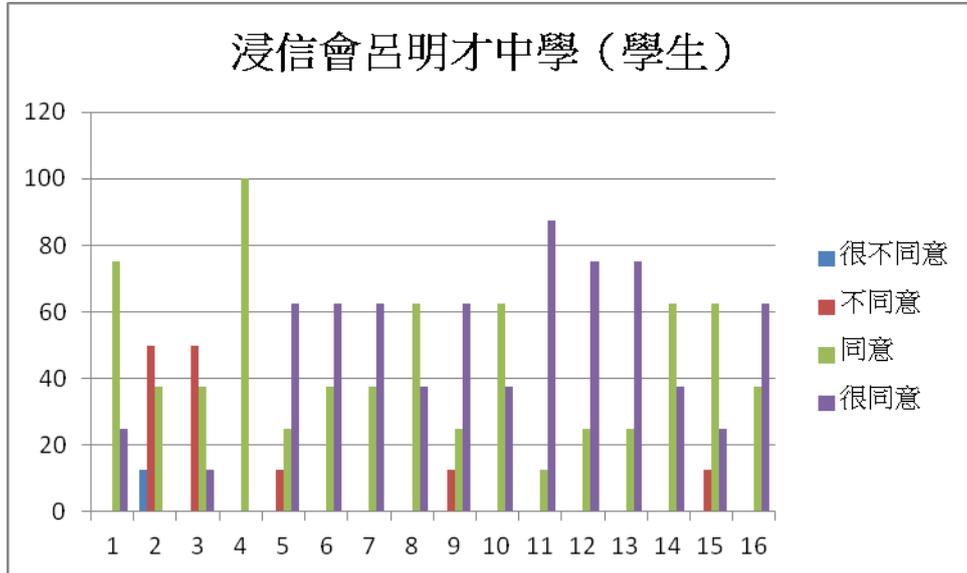
2. 你認為這課程的內容有哪／哪些方面需要修訂？怎樣修訂？為什麼？

3. 你對此課程有什麼感想？

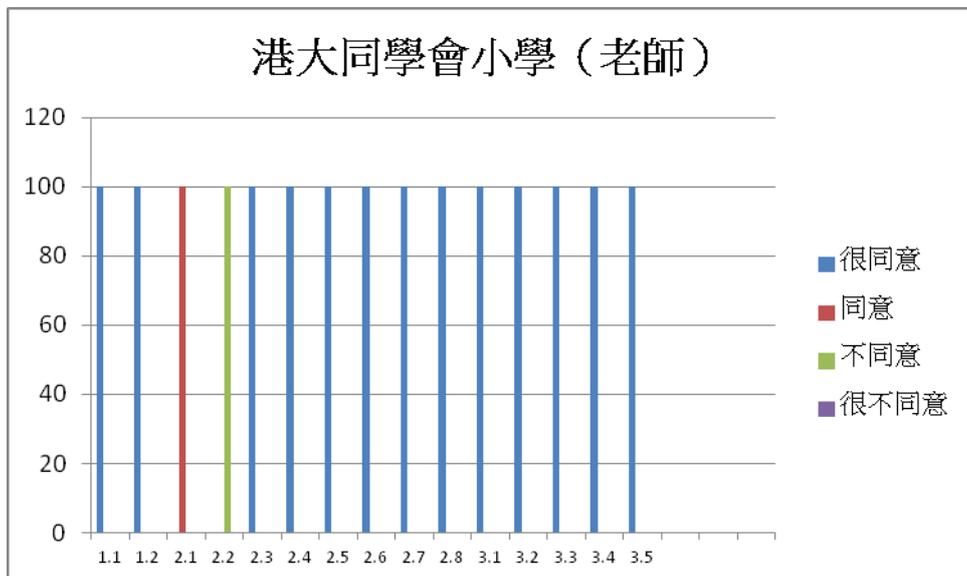
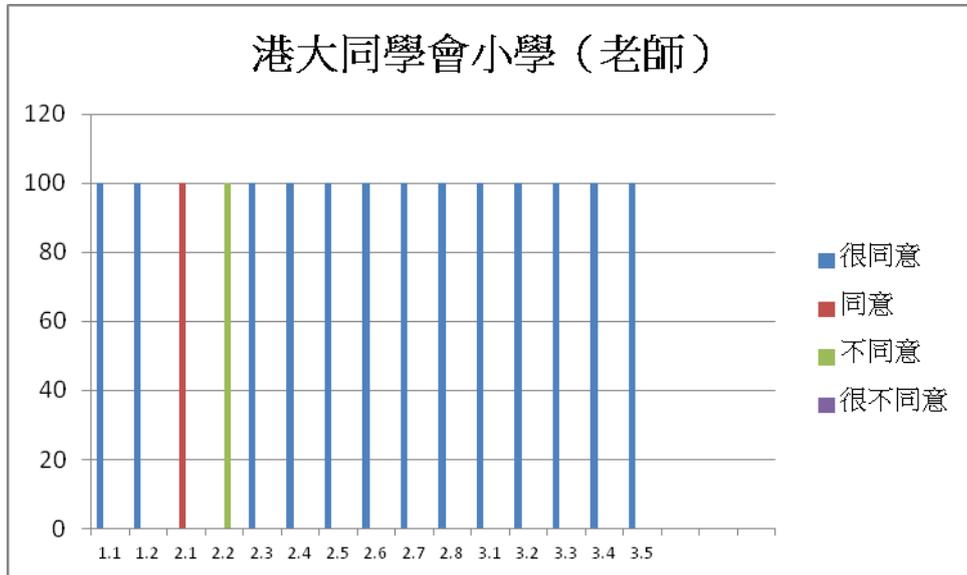
校本科學資優培育計畫－校本科學資優培育計畫
 巧匠樂器－探討聲音與發聲的原理
 課程評鑑問卷 (小學學生填寫)



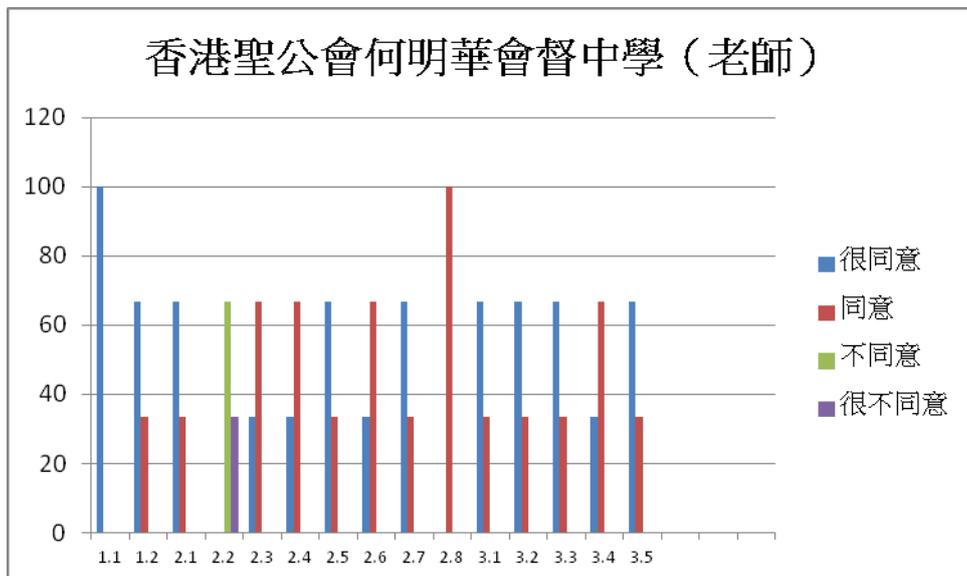
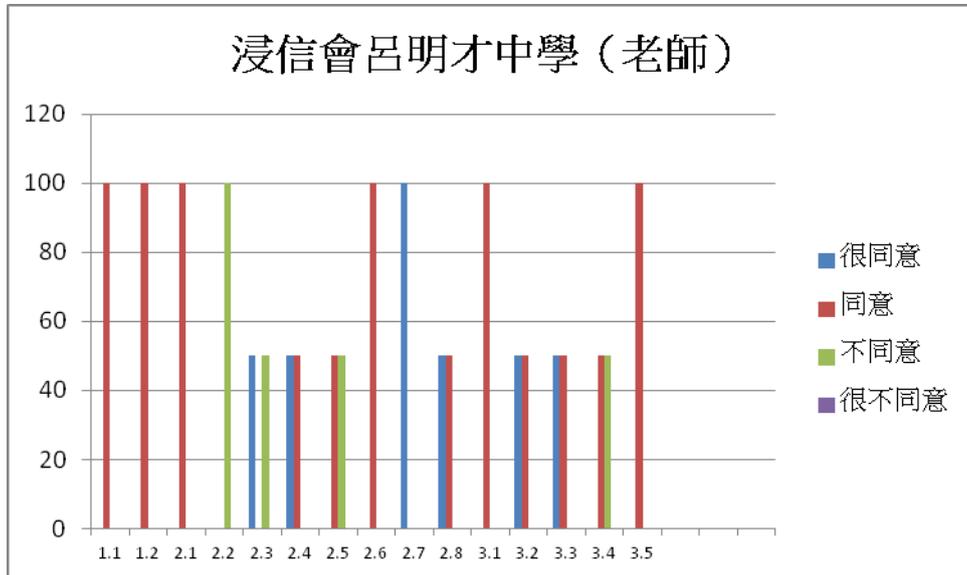
校本科學資優培育計畫－校本科學資優培育計畫
 巧匠樂器－探討聲音與發聲的原理
 課程評鑑問卷 (中學學生填寫)



校本科學資優培育計畫－校本科學資優培育計畫
巧匠樂器－探討聲音與發聲的原理
課程評鑑問卷 (小學老師填寫)



校本科學資優培育計畫－校本科學資優培育計畫
 巧匠樂器－探討聲音與發聲的原理
 課程評鑑問卷 (中學老師填寫)



校本科學資優培育計畫—校本科學資優培育計畫
巧匠樂器—探討聲音與發聲的原理

課程評鑑學生問卷節錄（小學）

II. 1. 你覺得此課堂和平日的正規課堂有何分別？

此課堂更有趣，能提高我的興趣和專注力。

2. 你最喜歡此課堂的哪部份活動？為什麼？

我最喜歡做 project，敲擊玻璃杯去敲校歌，因為從中我也能學到音樂知識和
合作性。

3. 你最不喜歡此課堂的哪部份活動？為什麼？

此課堂全部活動我都喜歡，沒有不喜歡的部份。

III. 請利用下面空白位置，寫出你對此課程的感受。

好有興趣繼續上這類課程，雖然有些部份有點難，
不過很有趣，別組都非常羨慕我們。

多謝宋老師！

II. 1. 你覺得此課堂和平日的正規課堂有何分別？

會有較多搜集資料部份，也需同時運用「科數」去順利完成。

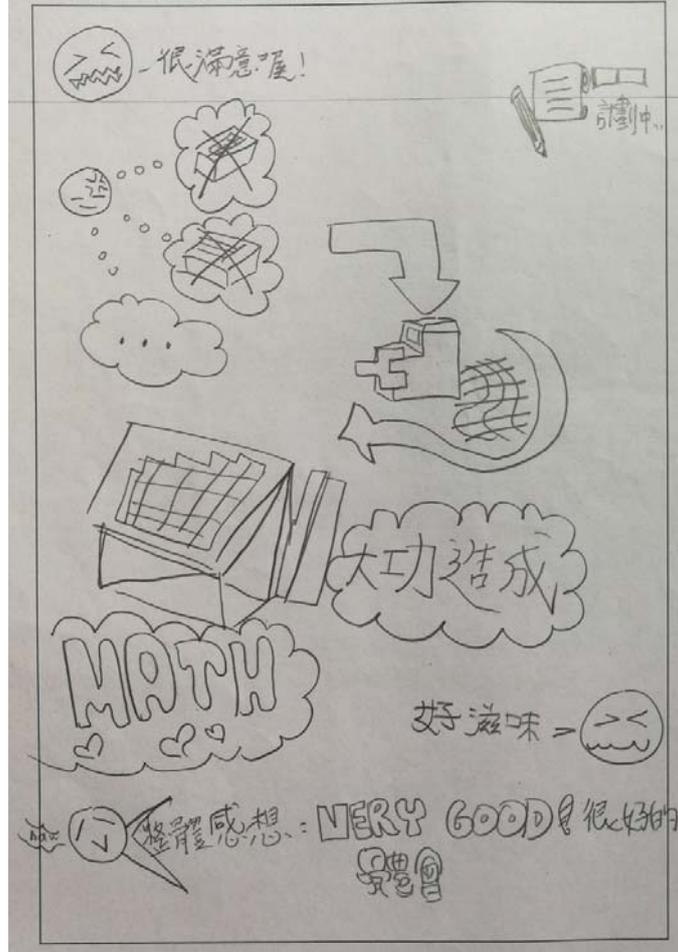
2. 你最喜歡此課堂的哪部份活動？為什麼？

製作部份，因為內容具挑戰性，但完成後有成就感。

3. 你最不喜歡此課堂的哪部份活動？為什麼？

研究部份（製作前），因為盡想任何方法，也好像不能成功。

III. 請利用下面空白位置，寫出你對此課程的感受。



II. 1. 你覺得此課堂和平日的正規課堂有何分別?

活動更多樣化，更有挑戰性

2. 你最喜歡此課堂的哪部份活動? 為什麼?

可以用cutter(第一次用)切管，自己量長度

3. 你最不喜歡此課堂的哪部份活動? 為什麼?

沒有(小息當值，不能參與)

III. 請利用下面空白位置，寫出你對此課程的感受。

這課程富挑戰性，因為我們自製統計圖，
而且要自己用不同方法試出正確音高、
頻率



高興

富樂趣

課程評鑑學生問卷節錄 (中學)

II. 1. 你覺得此課堂和平日的正規課堂有何分別?

能互動。

2. 你最喜歡此課堂的哪部份活動? 為什麼?

製作樂器及開始時做實驗，很有趣，使我明白很多道理。

3. 你最不喜歡此課堂的哪部份活動? 為什麼?

最後一課，太難，不明白在說甚麼。

III. 請利用下面空白位置，寫出你對此課程的感受。

很有趣及有意義，因為能做很多實驗，能明白很多科學道理。而做樂器使我很有滿足感，使我增加了對音樂的興趣。

II. 1. 你覺得此課堂和平日的正規課堂有何分別?

透過用先進科技eg. 智能手機，可以讓我們更投入

2. 你最喜歡此課堂的哪部份活動? 為什麼?

利用 Excel 找出不同樂器的波形。因為可以親自找出^{不同}樂器背後的音^和原理。

3. 你最不喜歡此課堂的哪部份活動? 為什麼?

沒有，不過時間不足。

III. 請利用下面空白位置，寫出你對此課程的感受。

在這次的課程，我可以知道 STEM 每一項科目是相連的。
這次的課程，除了可以認識樂器發聲的原理，還可以動手做樂器，十分有趣。我們可以親自找出不同樂器背後的波形，十分有成功感。

II. 1. 你覺得此課堂和平日的正規課堂有何分別?

有大分別。內容深入有趣，可以多發表自己的意見，也給予大量的思考空間。

2. 你最喜歡此課堂的哪部份活動? 為什麼?

整作樂器過程和理論部分，整作樂器親力親為很有趣，理論部分很新奇有趣。

3. 你最不喜歡此課堂的哪部份活動? 為什麼?

頭一兩堂較沉悶，因為之前學過。

校本科學資優培育計畫－校本科學資優培育計畫
巧匠樂器－探討聲音與發聲的原理

課程評鑑老師問卷節錄（小學）

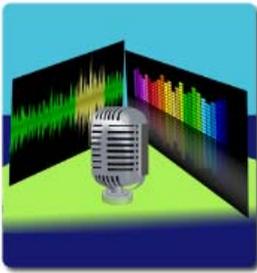
1. 在課程施教時，有沒有遇到什麼困難和／或限制？如有，請闡明。
 - 需大量教學時間，恰好高組有十堂空間才能進行教學
 - 並無足夠人手準備實驗用品
2. 你認為這課程的內容有哪／哪些方面需要修訂？怎樣修訂？為什麼？
 - 多點配合小五、小六現有科學數學課題，再作延伸
 - 若能根據小學學生已有知識發展更佳
3. 你對此課程有什麼感想？
 - 老師若不清楚 STEM 的教學目標，會很易演變成 PPT 講解，宜多加提醒
 - 十分有意義的一次嘗試
 - 題材吸引，學生對數學、音樂兩科的認識更深，更廣！配合能「動手做」，整個課程很完整。

課程評鑑老師問卷節錄（中學）

1. 在課程施教時，有沒有遇到什麼困難和／或限制？如有，請闡明。
 - 中一至中三同學的已有知識不同，施教時難以遷就所有同學。
 - 自己本身的學科知識不足，未能充份掌握相關內容。
 - 預計同學的掌握程度，設計合適的內容。
 - 部份課題對初中學生而言過於困難，理論部份較掌握。
 - 學生對課外知識追求不算太熱衷，只焦點在校內考課文內容，故只有少部份能力高，興趣大的學生較投入。
2. 你認為這課程的內容有哪／哪些方面需要修訂？怎樣修訂？為什麼？
 - 課程前半部份的內容程度偏淺，亦已有中一、二的科學課程中涉及了，建議可刪減或調整部份內容。
 - 部份內容較深，特別是數學部份日後可針對性收生，例如只收中三或以上，對象集中一點會較容易進行。
 - 課程的深淺程度需要按校本情況作修訂，就本校而言，理論課程內容需淺化及更多具體比喻。
 - 此課程以小組訓練較佳，因為科學能力因應不同學生而有差異。

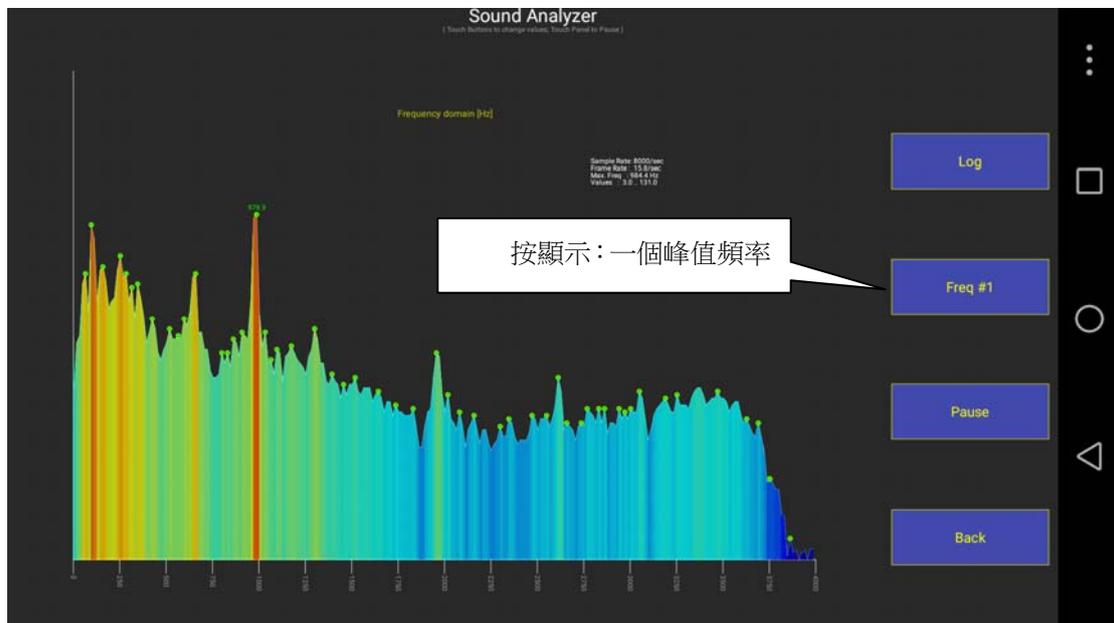
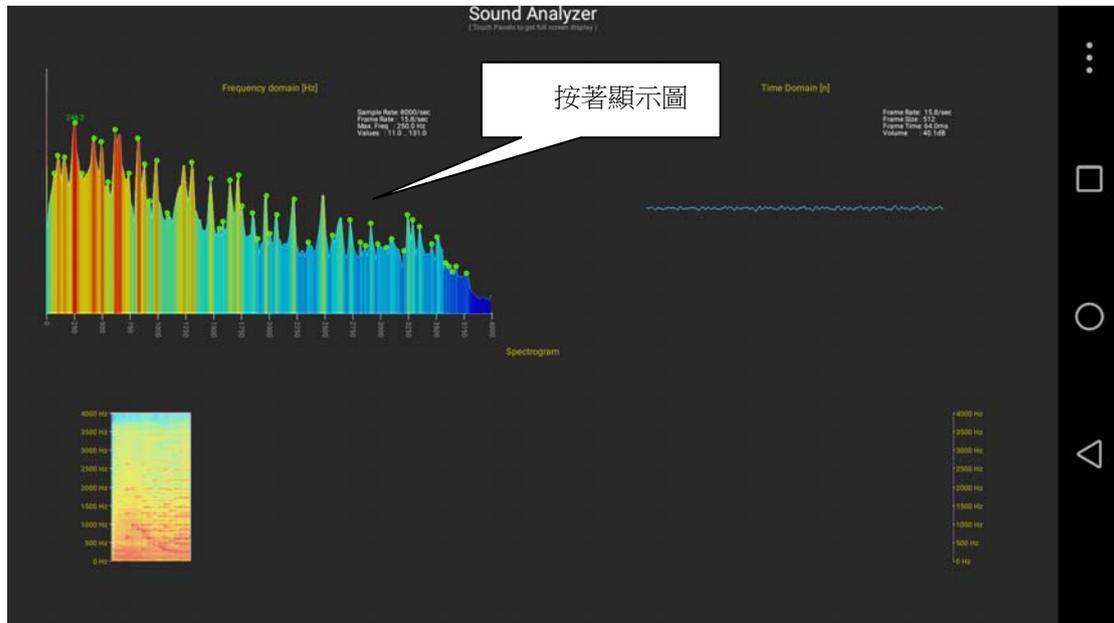
3. 你對此課程有什麼感想？

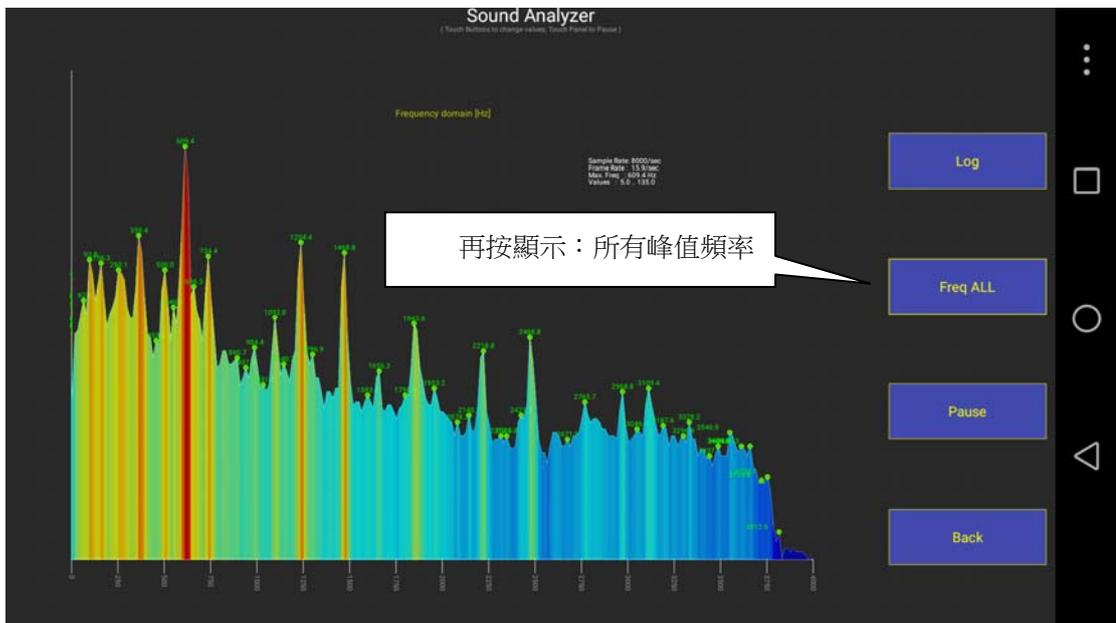
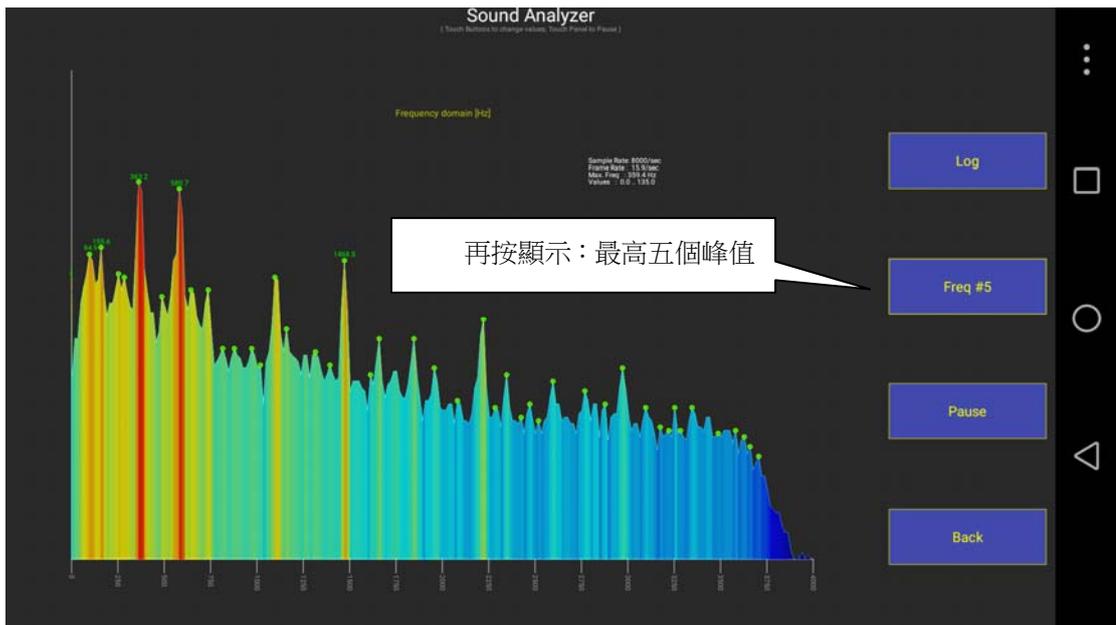
- 驚喜同學能運用所學之科學知識，具體地製作出精美的成品。
- 有分級課程會更好，例如中一、二、三各一個課程，這就可以每年進行，學生升班的話，可參加進深課程。這就能可持續推廣，教學效果也更理想(因可以集中同 LEVEL 的學生)
- 很好的嘗試及合作，很有啟發性。
- 課程有趣，能提高學生對 STEM 的興趣。
- 對尖子的訓練是適切的值得推廣。



Android App: Sound Analyzer (TiniaSoft)

簡介：這個應用程式能分析聲源的組成頻率及其相對亮度。





建議採用顯示最高五個峰值頻率，在實際測試時可慢慢敲打銅管，然後在合適時間按「PAUSE 停頓」，再讀取相關峰值，這就是該銅管的主要頻率

在實際運作時，因不同組別同時進行實驗，在實驗室內容易互相干擾，影響結果。建議老師據情況安排部份組別學生到實驗室外進行

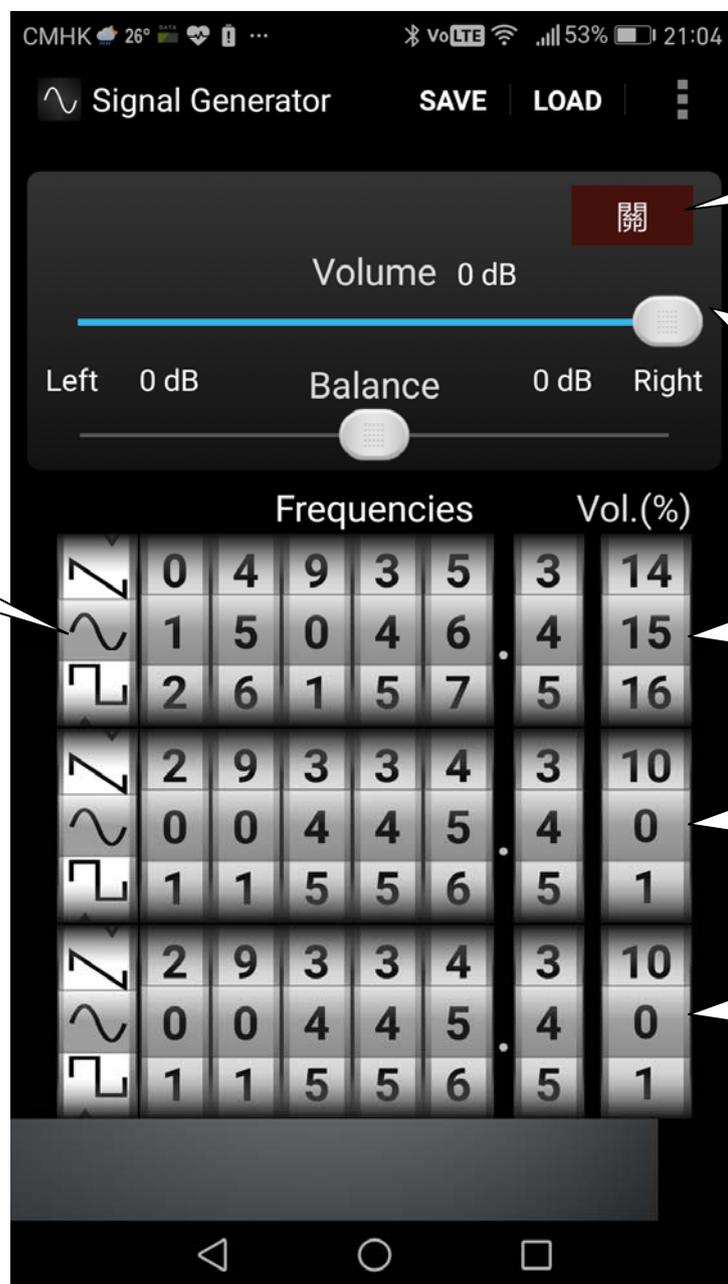
注：部份能力較高學生，會發現其實樂器在發出一個音符時，會產生很多不同頻率。學生透過這個應用程式，就會發現到這些不同頻率，存在倍數關係。在科學和數學上，不同音質，正是這些頻率的相對亮度。



Android App: Signal Generator (android-design.nl)

簡介：這個應用程式能產生不同頻率的聲音，而且能同時最多發出三個不同頻率聲音。

我們會用作測試聽覺，掌握一般人所能聽到的最高頻率。這個頻率往往隨年紀增長而下降。有調查所得，近年香港年青人聽力下降嚴重，疑跟年青人經常戴著耳機聽音樂有關。



按住開啟聲

撥動按鍵控制總聲量大小

選擇 sin 符號的按鍵

撥動按鍵控制個別頻率聲量大小

撥動按鍵控制個別頻率聲量大小

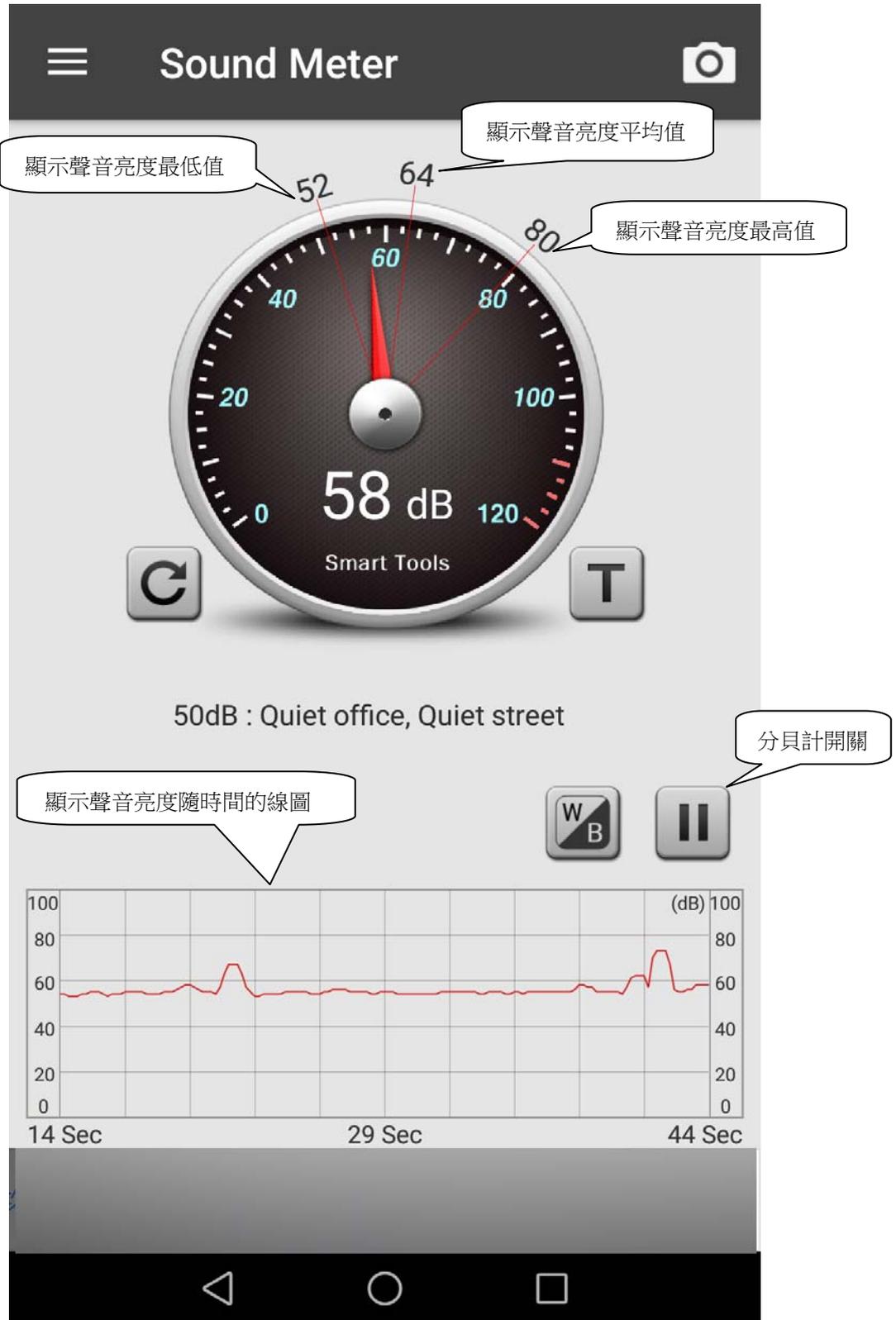
撥動按鍵控制個別頻率聲量大小

注：這個應用程序能同時發出三個不同頻率。這次活動則只會使用單一頻率，故其餘兩個頻率的聲量請設置 0%。



Android App: Sound Meter (Smart Tools co.)

簡介：這個應用程式能測量聲音亮度，又稱「分貝計」。其量度的讀數會因不同的智能電話的硬體有出入，所以只能作參考。



輔助教材

選修三

- [傅利葉級數](#)
- [傅利葉級數（供學生使用）](#)

選修八（樂器製造及演奏）

- [香港聖公會何明華會督中學-演奏](#)
- 浸信會呂明才中學
 - [製作 I](#)
 - [製作 II](#)
 - [調音](#)
 - [演奏](#)
- [浸信會沙田圍呂明才小學](#)