

開放軟硬體應用之探究與實作課程模組

教師團隊：臺北市立和平高中白家瑞老師、臺北市立陽明高中吳易哲老師

1. 課程規劃

教學規劃	利用開放軟硬體、手機APP執行行動學習與合作學習的分組教學		
教學需求	開放軟硬體	內容	說明
		Arduino、SciDAVis、3D 用繪圖軟體、手機APP、Tracker、等	數據擷取、數據繪圖與分析、用於雷切機上，網路可免費下載相關軟硬體。
多元評量與活動	多元評量	學生拍攝「一分鐘科學影片」來說明課堂中的科學現象	
	課外相關教學活動	項目	說明
		參加校外科學活動、或分組演示	課堂中進行演示活動、鼓勵參加校內外相關科學競賽或演示活動
		分組演示	
課程評鑑	1.學生課程回饋表 2.學生能力檢核表 3.教師教學自評表 4.學科課程設計檢核表 5.學者專家意見 6.學生參加校內競賽活動		

2. 可以參考之教學方法(教材教法)

教學方法	說明
講述法	講述法是指以書面資料或是口頭形式，讓學習者主動閱讀書面資料並聆聽教師講解的教學方法。
觀察法	在教學中指導學生利用視覺功能審視有關事務而完成學習活動
示範教學法	以實際執行一套程序或一連串的動作，使學生了解教學上的現象或原理，通常包含有行動、程序、技巧和知識，並且以各種設備和助教做適當的配合。
協同教學法	是一種團隊合作的教學方法，發揮學校裡每位教師與成員的專長，提供學生最好的學習輔導。
討論法	以討論方式對主題進行探討達到教學目標。可分為全體討論、小組討論、陪審討論、座談等形式。

問題教學法	採用有系統的步驟，指導學生解決問題，藉以增加學生的知識與技能，啟發學生的思想，培養問題解決策略。
價值澄清教學法	教導學生一系列的價值形成過程，並引用審慎思考的技巧於教學活動中。
合作學習教學法	將學生分配到異質小組中，鼓勵小組成員間彼此協助、相互支持、共同合作，以提高個人的學習成效，並同時達成團體目標。
角色扮演教學法	模擬生活中真實的工作與生活情境，由二個或二個以上學生扮演其中的各種角色實際學習。
欣賞教學法	指導學生欣賞學習情境中的事物，評論事物的是非、善惡、好壞、美醜、等級，進而激發愛憎好惡的情緒，和有所為、有所不為的抉擇，以引導學生的行為趨向。
發現教學法	安排一個能幫助學生發現各種結構、事理的情境，讓學生自己去發現有價值的結構、事理、原則。
探究教學法	利用循序漸進的問題技巧，及周密的教學歷程，培養學生明確的認知概念、客觀的處事態度、獨立的思考能力，以及正確的價值觀念。
發表教學法	鼓勵學生將自己的思想、態度、情感、意志等，利用語言、文字、動作、圖形、工藝、音樂、戲劇、成品等方式，充分表達出來。

3.空氣柱教學案例

教案格式

教學領域	高三選修物理 聲音的駐波	教學時間	一堂課
單元名稱	共鳴空氣柱	教學設計者	和平高中白家瑞老師
教學教具	phyphox(app)及相關載具一組一臺(手機)、壓克力管		
教學目標	利用 phyphox(app)進行共鳴空氣柱的實驗，讓學生在實驗室能利用音量大小的變化，量測出聲音的波長。		
學生學習活動	教師教學引導	檢核點	教學時間

一、引導:			
學生聽講並思考、討論現象背後的原因	教師可利用壓克力管進行示範,利用 phyphox 音調產生器產生的手機聲源,放入壓克力管中會發現聲源在不同位置會有音量大小的變化,教師可讓學生思考如何解釋此現象。	學生能針現象思考背後的原因	5 分鐘
二、音調產生器介面簡介及原理介紹:			
學生聽講並實際進行操作: (1)一支手機用 Sound genetator 作聲源,一支手機利用 phyphox 的 audio autocorrelation 或 audio spectrum 功能進行頻率測量,檢查量測結果是否和聲源頻率相同。 (2)建議讓學生降低音量,拉開組別間的距離,避免各組聲源干擾	音調產生器可在 frequency 輸入音源頻率,教師可藉由改變不同音源頻率,示範音調產生器功能,並可調整手機音量。	學生能利用 phyphox 的功能作聲源的音量和頻率調整,且能進行量測	10 分鐘
三、利用 phyphox 進行共鳴空氣柱實驗:			
改變聲源位置,進行波長量測: a.將手機用綁住後,緩緩放入壓克力管中,觀察管中的音量變化。 b.仔細找出音量最低的點,並可利用粉筆或油性筆在壓克力管上紀錄這些點的位置。 c.計算點的距離,這些音量最低點之間距,應該洽等於波包的長度,並可利用此結果計算聲波的波長	協助學生進行實驗	學生能利用 phyphox 進行實驗	50 分鐘
用實驗求得波長計算聲速: a. 利用實驗求得的波長和已知的聲源頻率可求得聲波速度。 $v = f\lambda$ b. 利用溫度計量測室溫,來計算聲速的理論值。 $v = 331 + 0.6t$ c. 比對實驗值和理論值的誤差,並進行誤差的分析和討論。	協助學生進行波長計算	學生能利用實驗結果進行波長計算	15 分鐘

各組上臺分享實驗成果： 各組將實驗結果以圖表呈現，並上臺簡單解釋圖表的物理意義。	對學生的實驗結果進行講評	學生能針對實驗成果進行分享及解釋	20分鐘
教學評量			
引導問題		培養能力	
設定音調產生器頻率後，已知當日氣溫，要如何計算聲波的波長？		1. 能從氣溫理論計算聲速。 2. 能從波動方程式計算聲波的波長。	
設定音調產生器頻率，在改變聲源在管中的位置，聲音最小的位置為何？		1. 能針對音量和位置作圖，找到聲音最小的位置	
理論計算的聲波的波長和實驗量測的波長是否吻合？		1. 能比較聲波波長的理論和實驗值。 2. 能計算理論和實驗的誤差值。	

4.碰撞教學案例

教案格式

教學領域	高二物理	教學時間	兩堂課
單元名稱	碰撞	教學設計者	和平高中白家瑞老師
教學教具	phyphox(app)及相關載具(平板或手機)、各種不同球種(如鋼珠球、乒乓球、籃球...等)、打氣筒、不同的碰撞介面(除地板和桌面外可準備如金屬板、木板...等)		
教學目標	利用 phyphox(app)進行碰撞的實驗活動，讓學生能針對不同球種、不同的球內氣壓、不同碰撞介面...等進行實驗，進而體會碰撞過程中的能量損耗，並能作圖或比較不同的實驗結果。		
學生學習活動	教師教學引導	檢核點	教學時間
一、碰撞現象的引導：			
學生聽講	教師可從各種運動行為進行講述，運動常具有各種不同的碰撞行為，如桌球與球拍的碰撞行為、籃球與地面的碰撞行為、排球與選手手掌的碰撞行為...等，這些碰撞行為也牽涉到標準用球在的規格基準，背後也蘊藏著大量的商機。 可利用碰撞單元的內容複習，或利用影片或圖片中不同球種對地面	學生能了解碰撞具有各種不同的應用	5分鐘

	的碰撞，引導學生理解碰撞行為		
二、聲音量測介面簡介及原理介紹:			
學生聽講及嘗試操作 phyphox 非彈性碰撞介面	教師介紹 phyphox 非彈性碰撞的介面分為高度和能量介面，其原理是利用載具的聲音偵測器，紀錄球碰撞介面的時間間隔，並自動回算鉛直上拋的最大高度及位能(力學能)，因為是針對碰撞的聲音進行量測，故在進行實驗時，建議讓學生盡量彼此遠離，並降低討論音量，才不會干擾量測結果。	學生能了解如何利用 phyphox 非彈性碰撞介面，進行碰撞行為分析和量測	10 分鐘
三、利用 phyphox 進行非彈性碰撞實驗:			
學生進行一次實驗，利用 phyphox 所得高度和能量的量測結果，進行恢復系數的計算，並求出碰撞地面的撞前後的的速度。	教師簡單介紹恢復系數概念，並讓學生計算碰撞恢復系數。	學生能了解如何從 phyphox 所得數據進行恢復系數的計算	15 分鐘
學生對希望進行的實驗，自行選定實驗的變因。	協助學生選定實驗變因。	學生能自行選定實驗的變因。	5 分鐘
學生根據規劃進行實驗: a.根據選定的變因進行實驗，並紀錄數據。 b.從量測結果，計算得到恢復系數 c.利用方格紙以圖表實驗結果	協助學生進行實驗	學生能根據規劃進行實驗，並進行恢復系數的計算。	45 分鐘
各組上臺分享實驗成果: 將實驗結果以圖表呈現，並上臺簡單解釋圖表的物理意義	對學生的實驗結果進行講評	學生能針對實驗成果進行方享及解釋	20 分鐘
教學評量			
引導問題		培養能力	
利用 phyphox 的數據計算結果，計算該次碰撞的恢復系數，並判斷屬於哪一種碰撞行為?		1.學生能利用量測的數據，進行碰撞行為的計算。 2.能利用恢復系數，判斷碰撞行為的種類。	
以 phyphox 進行碰撞行為量測，討論你想要進行的研究? 並將數據繪圖後，整理出各組的結論。		1.能針對對碰撞行為進行研究設計。 2.能針對研究設計進行實驗，並能將實驗數據繪圖，並整理出結論。	

5.聲速測量教學案例

教案格式

教學領域	高一基物、 高三選修物理	教學時間	兩堂課	
單元名稱	聲速的量測	教學設計者	和平高中白家瑞老師	
教學教具	phyphox(app)及相關載具一組兩臺(平板或手機)			
教學目標	利用 phyphox(app)進行聲速的實驗，讓學生在實驗室能利用兩人拍手的簡單活動，思考如何從量測數據中，計算出聲音的速度。			
學生學習活動	教師教學引導		檢核點	教學時間
一、聲速量測的引導:				
學生聽講	教師可從聲速量測的物理發展史與聲速在不同介質中傳遞的性質，或提及今日科技中超音速客機及戰鬥機巡航速度與聲速的關係，來讓學生對體會聲速量測的重要性。		學生能了解聲速概念在各領域的應用	5 分鐘
二、聲音感測計時器介面簡介及原理介紹:				
學生聽講及嘗試操作 phyphox 聲音感測計時器	教師介紹 Phyphox 聲音感測計時器，原理是利用聲音偵測器，當第一個聲響被載具偵測時會開始計時，直到第二個聲響停止計時。因為是針對拍手聲音進行量測，故在進行實驗時，建議讓學生降低音量，才不會干擾計時量測結果，若在戶外進行實驗，可考慮拉高聲音閾值(threshold)來過濾背景。		學生能了解如何利用 phyphox 聲音感測計時器進行分析和量測	10 分鐘
三、利用 phyphox 進行聲速量測實驗:				
讓學生隨意拍手，測試聲音感測計時器的功能。	說明如何利用兩人拍手求聲速 a. A 先拍手時，平板 A 計時器會先開啟，平板 B 計時器後開啟。 b. B 後拍手時，平板 B 的計時		學生能實際操作 phyphox 聲音感測計時器進行量測	10 分鐘

	器先停止，平板 A 計時器後停止。 c. B 可間隔一段時間再拍手， 間隔時間與聲速計算結果無關。		
學生從兩臺載具的結果計算聲速 a. 利用溫度計量測室溫，來計算聲速的理論值。 b. 可讓討論結果較完整的組別， 上臺分享計算結果。	協助學生進行實驗及計算 聲速 $V = \frac{2d}{t_A - t_B}$ (t_A : 平板 A 計時結果； t_B : 平板 B 計時結果)	學生能從聲音 感測計時器的結果 計算聲速	40 分鐘
a. 學生進行實驗，並紀錄數據。 b. 學生從量測結果，計算得到聲速 量測的實驗值。 c. 比對實驗值和理論值的誤差，並 進行誤差的分析和討論。	協助學生進行實驗及分析	學生能根據聲速的 實驗，並進行誤差計 算及討論。	15 分鐘
各組上臺分享實驗成果： 將實驗結果以圖表呈現，並上臺 簡單解釋圖表的物理意義	對學生的實驗結果進行講評	學生能針對實驗成 果進行分享及解釋	20 分鐘
教學評量			
引導問題		培養能力	
如何從兩臺 phyphox 聲音感測計時器得到的數據測得聲速?		1. 能理解聲音感測計時器偵測原理。 2. 能用聲音感測計時器的數據進行 3. 聲速的運算	
利用 phyphox 聲音感測計時量到的聲速為何？ 是否和理論計算吻合？		1. 能正確運用聲音感測計時器進行聲 速量測 2. 能比較理論和實驗的誤差	

6. 聲波的頻譜和固有頻率

教案格式

教學領域	高三選修物理	教學時間	一堂課
單元名稱	聲波的頻譜 與固有頻率	教學設計 者	和平高中白家瑞老師
教學教具	phyphox(app)及相關載具(平板或手機)、音叉、直笛...等		
教學目標	利用 phyphox(app)進行聲波頻譜的實驗，讓學生在實驗室能 利用音叉、直笛...等簡單器材，理解聲波頻譜和固有頻率的概念。		

學生學習活動	教師教學引導	檢核點	教學時間
一、聲波的頻譜與固有頻率的引導:			
學生聽講	<p>教師可從有趣的共振和共鳴現象如盪鞦韆、念力娃娃...等，引導學生理解物體皆具有其固有(自然頻率)，進而讓學生理解常見的管樂器，產生的聲波皆由其管樂器結構中固有頻率的聲波所組合，引導出頻譜的概念，進而可說明聲波頻譜在鑑識科學中，可應用在聲紋比對上來鑑定犯罪者。</p>	學生能了解共振和共鳴具有各種不同的應用	5 分鐘
二、聲音量測介面簡介及原理介紹:			
學生聽講並對 phyphox 實際進行操作	<p>(1)audio amplitude: 教師可請同學上臺說話並改變音量，利用 audio amplitude，量測聲波的振幅。</p> <p>(2)audio autocorrelation: 說明 audio autocorrelation 功能，用於量測單頻的聲波頻率，並可得其音調及最接近的單頻的聲波波形。</p> <p>(3)audio spectrum: 說明 audio spectrum 功能，利用聲音感測器，紀錄聲波的波形(raw data)，並經過傅立葉轉換，得到聲波的頻譜。</p>	學生能利用 phyphox 功能進行音量、頻率和聲波頻譜的量測	10 分鐘
三、利用 phyphox 進行固有頻率和聲波頻譜的實驗:			
<p>(1)人聲的量測: a.可由教師用麥克風發出相對穩定的人聲，讓學生利用 audio autocorrelation 分析其頻率，並可讓學生測試自己發聲頻率的範圍，並比較男生及女生發聲頻率的範圍的異同。 b.分組用 audio autocorrelation 分析每個人的發聲頻率，並可嘗試</p>	協助學生進行實驗	學生能利用 phyphox 進行人聲的量測實驗	25 分鐘

<p>讓同學做低音、中音、高音的挑戰或各組試著發出最高音來比賽。</p> <p>c.讓同學嘗試不同音量，用 audio amplitude 來進行音量的量測。</p>			
<p>(2)音叉頻率的量測:</p> <p>a.可由教師敲擊音叉並用麥克風放出音量，讓學生利用 audio spectrum 分析聲波頻譜，讓學生分享是否觀察到一個尖銳的峰值，因為音叉會發出單頻的聲波，並可量測到該峰值的頻率。</p> <p>b.學生用 audio autocorrelation 分析其頻率，讓學生分享是否可得到和剛剛相同的結果。</p>	<p>協助學生進行實驗</p>	<p>學生能利用 phyphox 進行音叉頻率的量測</p>	<p>25分鐘</p>
<p>(3)中音直笛頻率的量測:</p> <p>a.學生分組吹奏中音直笛，並讓學生用 audio spectrum 分析聲波頻譜，並讓學生分享觀察到的結果。</p> <p>b.學生吹奏中音直笛的樂音，讓學生利用 audio spectrum 分析聲波頻譜，並分享觀察的差異。</p>	<p>協助學生進行實驗</p>	<p>學生能利用 phyphox 進行中音直笛頻率的量測</p>	<p>25分鐘</p>

教學評量

引導問題	培養能力
聽到的音量大小和音源距離的關係為何?	可利用 phyphox 量測音量大小隨音源距離的改變，並將其繪圖整理出結果?
我們能發出的最高頻和最低頻為何? 男生和女生有什麼不同?	可利用 phyphox 量測人聲音頻的最高音及最低音，並能理解男女生間差異。
聲波頻譜的意義為何? 人聲、音叉和中音直笛的聲波頻譜有何差異?	1.可理解聲波頻譜的意義。 2.可利用 phyphox 的 audio spectrum 功能分辨不同聲波頻譜差異及原因。
量測中音直笛不同音階的基頻? (聲波頻譜的最低峰值)	可利用 phyphox 的 audio spectrum 功能，進行不同音階的基頻量測。並能理解背後的物理原理。

7. 鋁桿的聲波

國立臺灣師範大學物理系賈至達

一、前言

十二年國教新課綱的實施中，最至關重要的改變是要提升全民的素養，因此在自然科學領域中提出探究與實作的必修課程，並且是納入大考中心學測與指考的考試範圍！政府提倡探究與實作教學課程的決心顯見一般，但是如何執行方面依舊是沒有很好的配套。不論是在教學現場的教學過程、評量題目的形式，都會有很多爭議！傳統講述法的教學過程中，老師要如何引導學生問問題就十分棘手，尤其是學生都沒有興趣的時候，又如何可以帶動學生學習？探究與實作的課程並非是要將傳統教學模式要完全摒棄，而是課程要如何讓學生跟著老師一起投入在教學過程中。自然科學領域的課綱中，有一些範例；而以下討論，僅是以鋁棒發出聲音例子，做一個簡單教學與評量的說明。

二、驚聲尖叫的鋁棒學習聲波

自然領域新課綱物理選修課程中有兩學分的課程：“波動、光及聲音”；學習波動相關的現象；因此可以用鋁桿的振動發聲，在課堂中示範演示、或者是學生們自己動手測量。在網路上有許多相關的影片，在 YouTube 上搜尋 Singing Rod 就可以發現很多影片(延伸閱讀 1)，討論金屬鋁桿的共振發出聲音，教學時候也可以讓學生自我搜尋觀看。敲擊任何物體都會有聲音發出，是日常生活中常見的現象，例如的細金屬桿製的風鈴等。筆者建議用鋁桿進行聲音的教學，其共振發聲效果很好，因此用於探究聲波是很好又簡單的設置。建議老師示範時可以採用長約 90~100 公分、粗約 2~2.5 公分的鋁桿進行效果較好；也可以製作數根 1~2 公尺長短不一的鋁桿進行實驗示範。老師是可以用手夾住鋁桿的正中間，並用小木槌敲擊。不過筆者建議夾子座緊緊夾住鋁桿正中間，這樣危險性較小，如圖 1 所示；如此學生進行敲擊時也比較容易。

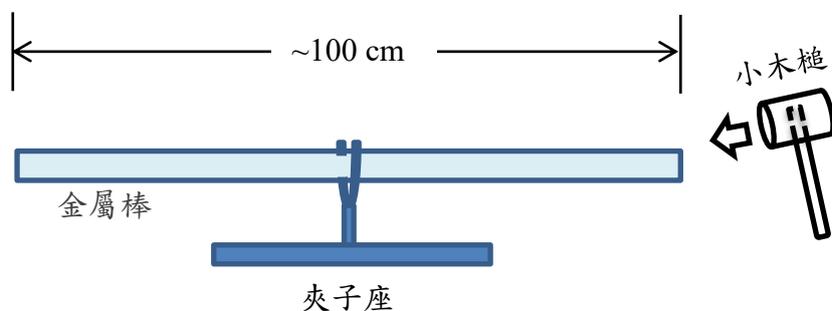


圖 1：敲擊鋁桿的裝置示意圖

當木槌子敲擊金屬棒的一端時，一開始時會發出多種頻率的聲音，但幾秒鐘後，就僅能聽到一種高頻率的聲音，且可以持續好幾十秒，甚至超過一分鐘還可以隱約聽到該頻率的聲音。這現象有很多問題可以引導學生進行探究，例如：

1. 敲擊金屬桿會產生在金屬棒中產稱縱波或是橫波？原因為何？金屬桿如何會讓空氣振動？此引導的問題是希望學生了解在空氣中為何僅能有縱波，其物理原因為何？而固體的物質中可以有橫波原因為何？金屬桿與空氣之間的交互作用為何？這些問題都可以和自然領域課綱中所提到的主題相聯結。
2. 為何剛開始時有許多種不同頻率的聲波？為何最後僅有一種特定頻率的聲音可以延續很長時間？可以用何種現象解釋特定頻率聲波延續很長的時間的原因？

“剛開始時有許多種不同頻率的聲波”的問題是延續前一小題討論，學生們不一定依照問題順序問問題、也有部分學生會搶著回答。在必修物理的課程中，通常會提到共振的現象，老師可以讓學生們試著討論金屬桿中的共振機制，引導學生們朝向駐波思考，並構思可能的駐波的圖形。授課時如果有些學生音感很好的同學，可以請他們判別出頻率的範圍。

3. 敲擊鋁桿後，特定頻率聲音強度如何分布？要如何測量該特定聲波的頻率？可以畫出波的形式嗎？

這部份的工作是要引導學生設立測量的方法，以及數據的整理，並做出初步的結論。最傳統的方式，是用耳去感受金屬桿四周聲音的強度。如果課堂上允許學生使用手機或是平板，可以先詢問是不是有辦法測量強度分布？或者是測量頻率？將手機(或是平板)，圍繞在桿的四周，可以測量聲音強度的分布，利用相關的 APP 也可以測量頻率，如 phyphox。讓學生們自己去討論、自行去測量，記錄相關數據，就所得到的結果進行討論，然後做出結論。值得一提的是聲波是疏密波的問題，有用位移和壓力差兩種方式；其中以位移的數學形式較為普遍，但也有討論聲波壓力變化的數學形式，兩者相位差為 90° 。圖 2 所顯示金屬桿共振波的幾種形式；因為金屬桿中間是節點，因此兩端的位移最大，對於特定頻率聲波的強度測量可以判斷出振幅最大的方向。上述的測量是可以決定駐波的形式，進一步討論金屬棒的材質和相關的變數。

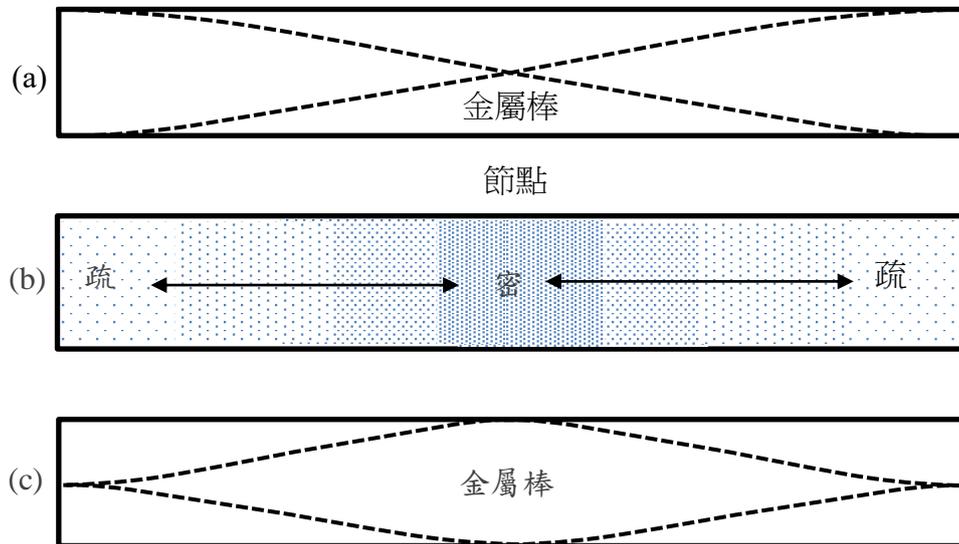


圖 2：(a)以位移的方式描述金屬棒中的波型；(b)以疏密波的形式描述金屬棒的聲波；(c)以壓力的方式描述金屬棒中的聲波。

依據上述 1.~3.對特定頻率測量結果，搭配駐波的圖形是可以求得波長和金屬中的波速。因為老師是題目設計者，老師可以知道學生測量所得到的結果是不是正確；當學生測量上有問題，所得到的波速落在 $5500\sim 6000\text{ m/s}$ 的範圍之外，可以引導學生檢視並理解所發生問題並予以更正。老師在進行教學時，事先並沒有告知金屬棒材質是鋁，課程的設計也可以讓學生在探究的過程中，確認金屬桿的材質鋁桿。

4 如何判斷出金屬棒的材質？請問判斷依據為何？金屬棒的材質為何？

固體的波速 v 可以直接查詢而得到(延伸閱讀 3)，另一方面也可以用公式 $v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$ 計算出聲速，其

中 ρ 為密度， B 為體彈性規模而其定義為： $B = -V \frac{\Delta P}{\Delta V}$ ，即壓力增量 ΔP 作用下產生之單位體積變

化量($\Delta V/V$)的倒數，即 $\frac{\Delta V/V}{\Delta P}$ 的倒數，且為維持正值($B > 0$)而加上負號。由網站上的資料，學生可以試著列出常見金屬的數據如下表一。學生通常對於繩波速率有概念者可以直接想到 $v = \sqrt{T/\mu}$ ，其中 T 張力、 μ 單位長度的質量，且可以對等而得知 $v = \sqrt{B/\rho}$ 。如果學生不知道繩波速率 $v = \sqrt{T/\mu}$ ，可以由因次分析，而得到速率等於 $\sqrt{B/\rho}$ 。因為 $B/\rho = \text{Pa m}^3/\text{kg} = (\text{m/s})^2$ ，也可以求得速率與密度和體彈性規模的關係。

三、結語

金屬棒發聲試例，僅是用一般文章方式表達，與老師現場口語互動的臨場教學不同，但是最重要的老師們如何引導；讓學生由觀察而提出問題、規劃設計相關測量、數據分析與討論，最後測知未知的金屬物質。探究的過程看起來是學生在主導過程，其實是老師在引導學生，但是讓學生主動參與教學過程；這是探究與實作課程教學中很重要的一種體認。

表一：常見金屬的材料密度、熔點、沸點和體彈性規模列表

原子序數	金屬	密度 (kg/m^3)	溶點 ($^{\circ}\text{C}$)	沸點($^{\circ}\text{C}$)	體彈性規模 B ($\text{GPa} = 10^9 \text{ Pa}$)
13	鋁	2.710^3	660.32	2519	62~106
26	鐵	7.87410^3	1538	2861	160~178
29	銅	8.9310^3	1084.62	2927	130~145
47	銀	10.4910^3	961.78	2162	84~118
79	金	19.310^3	1064.18	2856	148~180
82	鉛	11.3410^3	327.46	1749	30~45

延伸學習：

1. 金屬棒共振發聲：<https://www.youtube.com/watch?v=czlV2qv0ZBw>、<https://www.youtube.com/watch?v=qQgP9zG681g>、<https://www.youtube.com/watch?v=7VG1BZOywIg>等
2. 固體中的聲速：https://www.engineeringtoolbox.com/sound-speed-solids-d_713.html
3. 金屬密度：[https://en.wikipedia.org/wiki/Densities_of_the_elements_\(data_page\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Densities_of_the_elements_(data_page))
4. 體彈性規模：<https://www.azom.com/>

素養導向教學與實驗實作的多元評量

從教育潮流以及國際文憑課程(International Baccalaureate, 簡稱 IB)的課程, 課堂裡的教學設計期待學生符合成就標準同時重視形成性評量, IB 課程的教學方法(The IB approaches to teaching skills)強調探究式教學(based on inquiry)、著重概念理解(focused on conceptual understanding)、以在地及國際情境發展課程(developed in local and global contexts)、強調有效的團隊合作(focused on effective teamwork and collaboration)、重視符合學習者的差異化教學(differentiated to meet the needs of all learners)、以形成性評量及總結性評量為教學修正的依據(informed by formative and summative assessment)。

探究式課程設計流程當中以問題形塑課程脈絡, 引導學生構築知識鷹架來建構素養及能力。素養導向教學過程中的形成性評量設計先從課堂提出的問題或任務著手設計。設計過程一如逆向設計(backward design)的概念, 先思考希望學生學習建構的概念或者素養是什麼, 再設計相對應的問題來引導學生同時用以確認學生是否建構了、學會了或具備了該項預計達成的素養能力學習。

除了評量課程教學的有程度之外, 仔細安排多元型態的評量方式, 透過觀察學習者的學習歷程來了解學生的生涯發展與選擇也是重要目的, 所以多元評量設計也是課程設計的重點。評量需要配合課程設計, 另外需要清楚設計評量規準。

課堂提問設計依據 Jay McTighe 及 Grant Wiggins 在《核心問題：開啟學生理解之門》(Essential Questions — Opening Doors to Student Understanding)書中提到, 一個好的核心問題(Essential Question)須具備以下七個特徵,

1. 是開放的
2. 能夠刺激思考和挑戰心智的
3. 需要高層次的思考
4. 指向學科領域裡面很重要的、可遷移應用的想法
5. 引發另外的問題
6. 要求支持證據和正當理由
7. 隨著學習發展的時間重複出現

在探究式教學設計的過程中, 以情境脈絡(context)及問題引導學生進入課堂, 希望以學生為中心教學的思維能夠有效進行, 問題提出的目的與時機點除了能夠幫助教學者了解學生學習狀態, 機動調整教學策略, 更重要的是在課堂中促進學生產生更強的探究與學習動機, 繼續進行更多學習與能力建構。

在國家教育研究院配合十二年國民教育自然科學領域課程綱要出版的《自然科學領域課程手冊》中提到實作評量(Performance Assessment)是希望將隱含在問題解決情境中的知識結構呈現在學生面前, 期待學生能將所學各種知識活用, 在實際的脈絡情境中進行思考並且統整所學。檔案評量(Portfolio Assessment)則是強調學生與教師共同合作收集教學與學習成果, 注重探究及理解知識產生的方法和學習的歷程, 反映教師教學設計的效能同時鼓勵學生持續反省自己的學習表現, 回溯作品

或專案設計的構思，記錄作品修改過程，記錄的是來龍去脈，並不是以一次的測驗或研究報告來代表學生的學習成果。

可以用以多元評量的方式計有文本記錄、操作記錄及發表等型態，文本記錄的記載的方式有實察或實驗記錄、學習單、小論文。操作記錄則有思考實驗/實驗計畫、實驗記錄與報告、數位評量及數位記錄，因為科技進步，現代學生人手都有各種型態的可攜式消費性電子產品，所以運用雲端文件或者社群媒體記錄都可能比起紙本的記錄方式更加即時或詳實，像是實驗過程錄影之後整理分析，更有可能成為學生選擇記錄的方式，但是未經整理消化的記錄並不算是可行的科學記錄。接下來是發表，大致可以分成口頭發表或影音記錄以及完成的作品展示或海報發表。當然也包含了數位或各種科技型態的發表。

文本記錄			操作記錄			發表	
實驗或考察記錄	學習單	小論文	思考實驗/實驗(察)計畫	實驗(察)報告	數位評量	口頭發表或影音記錄	成品或海報發表

表格改自國家教育研究院出版的《自然科學領域課程手冊》

關於評量規準，可以參考《自然科學領域課程手冊》、鍾曉蘭(鍾曉蘭，2014)。探究活動融入學校本位課程之學習效益。臺灣化學教育電子期刊，2014，1(4)以及謝錫金等人(謝錫金、祈永華、譚寶芝、岑紹基和關秀娥，2003)所寫的專題研習與評量。

針對課堂當中的多元評量，設計的評量規準分成「評量面向」與「評量層級」兩個維度。由下表可以看出「評量層級」分成優、良、可三層級，在課程設計的實務過程中發現，評量層級不宜過多，否則造成難以判准，通常層級設計可以先就「評量面向」的實際內涵來進行思考，像是以下內容適切的面向，建議可以就內容切題當中思考兩個重要因素，如果兩個都達成就達到「優」的層級，如果兩個因素只達成一個，就達成「良」，兩個要素都沒有順利達成，但是還是有完成，則是「可」。

評量層級 評量面向	優	良	可
內容切題	引用資料與主題相符合，且呈現資料是重要的、合乎邏輯。	引用資料與主題相符合，或呈現資料是重要的、合乎邏輯。	引用資料與主題相符合，呈現資料不夠正確。

IB 國際文憑課程也承認評量是教學和學習的一部分。IB 課程評量的最重要目標認為評量應該支持課程目標並鼓勵學生適當學習，官方文件特別指出建議向學生提供評量標準。「評量面向」方面，IB 國際文憑課程物理、化學、生物都有一些可能的任務包括：學生自行動手實驗、使用電子表格/試算表格進行分析和建模、從數據庫中提取數據並以繪圖方式對其進行分析、以傳統方式動手研究採集數據，同時運用電子表格/試算表與現成數據庫進行研究工作、使用提供的交互式 and 開放式模擬來研究。

其評量規準當中的「評量面向」是各單元統一，都以下列面向來評量。

個人參與 (Personal engagement)	探究 (Exploration)	分析 (Analysis)	評估 (Evaluation)	表達 (Communication)	總分(Total)
2 (8%)	6 (25%)	6 (25%)	6 (25%)	4 (17%)	24 (100%)

個人參與(Personal engagement)評量學生參與研究的程度並使其成為自己的探究歷程。探究(Exploration) 評量學生在多大程度上為整體研究工作建立科學背景、陳述清晰而有針對性的研究問題，並使用適合 IB 課程學術程度的概念和技術。在適當的情況下，該標準還評估安全、環境和道德的意識。分析(Analysis)評量學生報告時提供證據的程度，該證據需要明白表現出學生以與研究問題相關的方式選擇、記錄、處理和解釋數據，並且可以支持學生所下的結論。評估(Evaluation)評量了學生報告在多大程度上提供了對調查評估的證據以及與研究問題和公認已知的科學背景相關的結果。表達(Communication)評量調查學生的研究是否以支持其研究問題的焦點、過程和結果的有效溝通表達的方式呈現和報告。

除了以上，實驗實作最需重視安全，教育部在永續循環校園全球資訊網上有《永續校園指南手冊》，當中第七章安全與防救災有完整論述說明。另外，行政院勞委會勞工安全衛生研究所也出版《化學實驗室災害預防手冊》。教育部學校化學品管理及申報系統網站上特別製作《化學品全球調和制度(GHS)教育訓練實務教材》，當中第6章實驗室安全衛生管理，詳實記載以化學品全球調和制度(GHS)的角度來進行實驗室安全衛生管理。

參考文獻

- 洪詠善、范信賢(編) (2015)。同行~走進十二年國民基本教育課程綱要總綱。新北市：國家教育研究院。
- 教育部 (2014)。教育部十二年國民基本教育總綱。
- 教育部 (2015)。教育部十二年國民基本教育自然領綱網路論壇版。
- 鄭榮輝、林陳涌(編)(2015)。科學實作教學理論與實務。臺北：高等教育
- McTighe, J. and Wiggins, G., 譯者侯秋玲、吳敏而。(民, 105), 核心問題：開啟學生理解之門(Essential Questions — Opening Doors to Student Understanding), 心理出版社股份有限公司。
- 國家教育研究院, (民, 108), 國民中小學暨普通型高中自然科學領域課程手冊, <https://www.naer.edu.tw/ezfiles/0/1000/img/67/130108399.pdf>
- Approaches to teaching and learning in the International Baccalaureate (IB) Diploma Programme, 2014
- 鍾曉蘭(2014)。探究活動融入學校本位課程之學習效益。臺灣化學教育電子期刊, 2014, 1(4)
- 謝錫金、祈永華、譚寶芝、岑紹基和關秀娥(2003)。專題研習與評量。香港：香港大學出版社
- 教育部, (民, 98)永續校園指南手冊, 第七章安全與防救災, 頁 203 - 246
- 行政院勞委會勞工安全衛生研究所, (民, 97), 化學實驗室災害預防手冊
- 教育部學校化學品管理及申報系統網站, 化學品全球調和制度(GHS)教育訓練實務教材, 第 6 章實驗室安全衛生管理
- http://chem.moe.edu.tw/refer_broad1.aspx
- Davis, E. A., & Krajcik, J. (2005). Designing educative curriculum materials to promote teacher learning. *Educational Researcher*, 34(3), 3-14.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5-12.
- Keeley, P. (2005). *Science curriculum topic study*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- Lenski, S. J., Caskey, M. M., & Anfara Jr., V. A. (2009). Using the lesson study approach to plan for student learning. *Middle School Journal*, 40(3), 50-57.
- Nilsson, P. (2014). When teaching makes a difference: Developing science teachers' pedagogical content knowledge through learning study. *International Journal of Science Education*, 36(11), 1794-1814.
- Powell, J. C., & Anderson, R. D. (2002). Changing teachers' practice: Curriculum materials and science education reform in the USA. *Studies in Science Education*, 37(1), 107-136.
- Roseman, J. E., & Koppal, M. (2008). Using national standards to improve K-8 science curriculum materials. *The Elementary School Journal*, 109(2), 104-122.
- Wiggins, G., & McTighe, J. (2005). *Understanding by design* (2nd Ed.). Alexandria, VA