

聲波駐波影響物質移動行為之研究-以肯特管為例

投稿類別：自然科學

篇名：

聲波駐波影響物質移動行為之研究-以肯特管為例

作者：

吳昕醜。花蓮縣宜昌國民中學。七年八班。

指導老師：

曾元科老師

壹●前言

一、研究動機

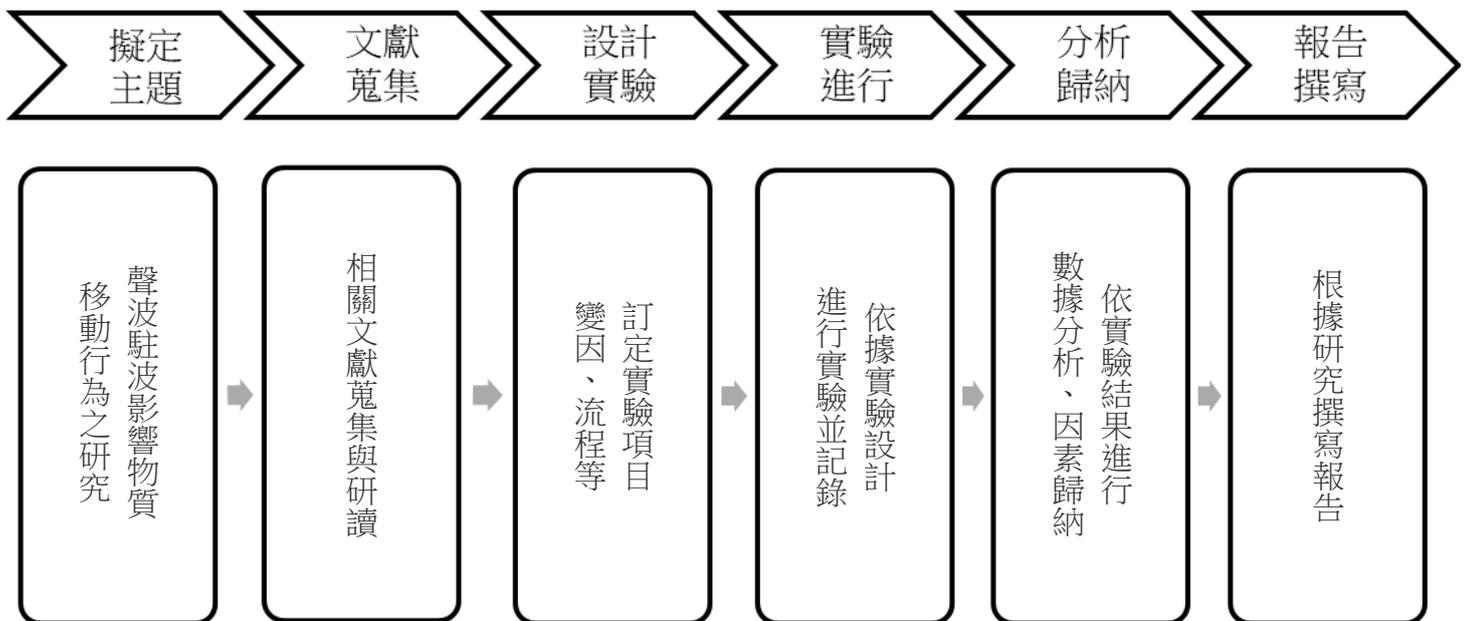
曾看到科學家將聚苯乙烯球放置於配置超音波揚聲器的儀器中，聚苯乙烯球神奇的懸浮在空中並且移動的實驗影片，引發我對聲波移動物體的興趣，思考是否用實驗室裡的肯特管產生駐波，重現如科幻經典電影「星際爭霸戰」中的「牽引光束」。

二、研究目的

- (一) 探究駐波波節數與聲音頻率的關係
- (二) 探究肯特管駐波不同傾斜角度對物質移動的影響
- (三) 探究水分對垂直放置肯特管形成波漣之影響

三、研究方法與流程

本研究採用實驗觀察法及文獻分析法，使用肯特管及聚苯乙烯球觀察各項實驗的操作，進行實驗與觀察後分析結果，探究影響聲波懸浮承載效果之因素。



圖一研究架構圖

貳●正文

一、文獻探討與實驗裝置說明

(一) 文獻探討

有關聲波對物體移動的相關研究，如下：

聲波懸浮移動技術可以不透過接觸夾持微小的物體，包含固體、液體，並且可藉由多個微型揚聲器陣列產生高音、高強度的音波力場，透過計算與設計組成「三維立體聲波圖像」(圖 2)，將物體懸空並利用調節音波的強度和頻率控制物體達到移動、旋轉等運動形式。

BBC 知識國際中文版第 27 期(2013)提到在某些頻率下，反射聲波會跟向上移動的聲波結合，形成「駐波」，其中的「節點」即使在聲波振動時依然保持固定不動。將物體放置在這些節點上，聲波的力量能與重力向下的拉力平衡，因此物體就能懸浮在半空中。

西班牙納瓦拉公立大學 (Public University of Navarre) 的物理學家在《自然通訊》中提到，此技術可以在體內藥物治療以及顯微外科手術等醫療方面應用，目前納瓦拉公立大學研究者阿西爾·馬佐 (AsierMarzo) 與他的研究小組正在改進這種音波搬運方法，他希望開發出新技術用於醫療，不用開刀即能治療血栓、腎結石、給予藥物、顯微手術以及處理細胞。這套聲波懸浮技術，不需直接碰觸有害化學物質就能移動，處理細胞時可避免汙染。

前述聲波懸浮的技術原理為:有兩個波動往相反的方向行進，兩波動相遇干涉後就產生駐波。(王俊乃。2009)由入射波與反射波的干涉而生成的駐波，靜止不動、位移恆為零的點為波節。振動幅度最大的位置為駐波的波腹，如圖 3 所示。(休伊特。2006。觀念物理)。

(二) 實驗裝置說明

本研究的主要實驗器材有：

肯特管聲波演示器(圖 4)：由壓克力管與揚聲器組成的聲波演示器。

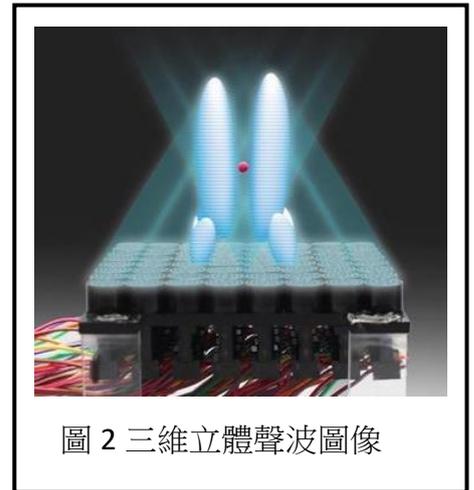


圖 2 三維立體聲波圖像

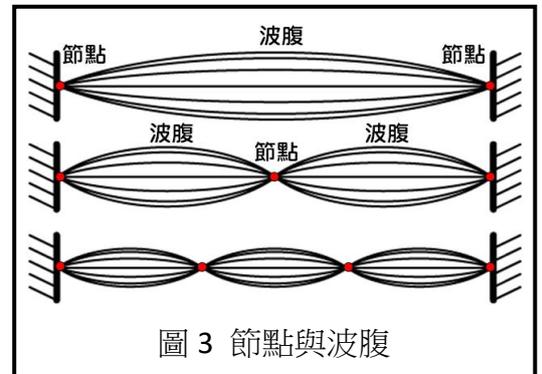


圖 3 節點與波腹

2mm 聚苯乙烯球(保麗龍球)：放置於肯特管管內，用於觀察聲波。

頻率產生器 APP(圖 5)：連接揚聲器，用於控制聲波頻率。

分貝測量 APP：用於測量音量。

肯特管於 1866 年由德國物理學家肯特設計，起初利用透明管及木屑觀察聲音的傳遞。本研究使用壓克力管、聚苯乙烯球(保麗龍球)的聲波演示器(圖 4)，配合揚聲器連接手機聲波頻率產生器 APP 進行實驗。

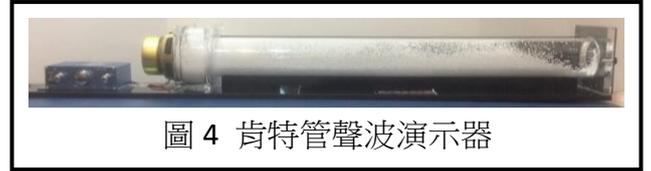


圖 4 肯特管聲波演示器

二、實驗設計

實驗 A -肯特管產生不同波節數的頻率：

實驗目的：驗證肯特管產生波節的數據與公式推算是否一致，得知肯特管產生不同波節數的數據以進行後續實驗。

控制變因：肯特管放置角度、管內放置物體

操縱變因：頻率

實驗項目：

- (1)肯特管產生 1+2 個波節的頻率
- (2)肯特管產生 2+2 個波節的頻率
- (3)肯特管產生 3+2 個波節的頻率

公式：

$$\text{波速} = 331 + 0.6 * T (\text{設定氣溫 } 25^{\circ}\text{C}) = 331 + 0.6 * 25 = 340$$



圖 5 頻率產生器 APP

表 1 實驗 A 設計表

實驗 A 肯特管產生不同波節數的頻率			
實驗編號	A-1	A-2	A-3
實驗項目	肯特管產生 2 個波節的頻率	肯特管產生 1+2 個波節的頻率	肯特管產生 2+2 個波節的頻率
型態	1 個波腹 2 個波節	2 個波腹 3 個波節	3 個波腹 4 個波節
推算公式	波長 = 波速 / 頻率 詳見表 2 實驗 A 公式推算表		
控制變因	肯特管放置角度:180° 管內物體: 聚苯乙烯球		
操縱變因	頻率		
實驗目的	得知肯特管產生 n 個波節的數據		

表 2 實驗 A 公式推算表

波腹	波數	波速	波長(大)	波長(小)	頻率	
1	0.5	348	1.42	1.46	245	239
2	1	349	0.71	0.73	492	478
3	1.5	349	0.47	0.49	737	717
4	2	349	0.36	0.37	983	956
5	2.5	349	0.28	0.29	1229	1195

實驗 B -肯特管移動管內物體的傾斜角度：

實驗目的：探究肯特管駐波不同傾斜角度對物質移動的影響

控制變因：頻率 240 Hz (2 個波腹 3 個波節)

操縱變因：傾斜角度

實驗方式：將肯特管放置為不同傾斜角度以觀察麵粉與聚苯乙烯球的移動行為
實驗項目：

- (1)肯特管放置傾斜角 5°
- (2)肯特管放置傾斜角 10°
- (3)肯特管放置傾斜角 15°
- (4)肯特管放置傾斜角 20°
- (5)肯特管放置傾斜角 30°

表 3 實驗 B 設計表

實驗 B 肯特管移動管內物體的傾斜角度					
操縱變因	傾斜角度				
實驗名稱	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5
實驗項目	傾斜角 5°	傾斜角 10°	傾斜角 15°	傾斜角 20°	傾斜角 30°
	麵粉與聚苯乙烯球				
實驗目的	探究肯特管駐波不同傾斜角度對物質移動的影響				

實驗 C -水分對垂直放置肯特管形成波漣之影響：

實驗目的：透過添加水分，使垂直放置肯特管的狀態下，仍可觀察出由聚苯乙烯球所形成之波形。

在測試肯特管中聲波懸浮乘載時，須將肯特管垂直放置，然而垂直放置時聚苯乙烯球會因為重力而落於底部，因此思考是否可以在垂直放置肯特管的狀態下，形成波漣，並藉此觀察波的型態，因此設計此實驗。

操縱變因：停止時間 1:30 秒、肯特管管內水分

由消除肯特管靜電時將水透過噴霧器散布至管內的過程，發想出以噴水方式使管內的聚苯乙烯球團狀沾黏在管壁，在水尚未完全乾燥前啟動揚聲器，試驗是否能以此方式在垂直的肯特管中形成波漣。

實驗項目：

- (1) 肯特管垂直放置 管內無水分
- (2) 肯特管垂直放置 管內有水分

表 6 傾斜角實驗裝置說明

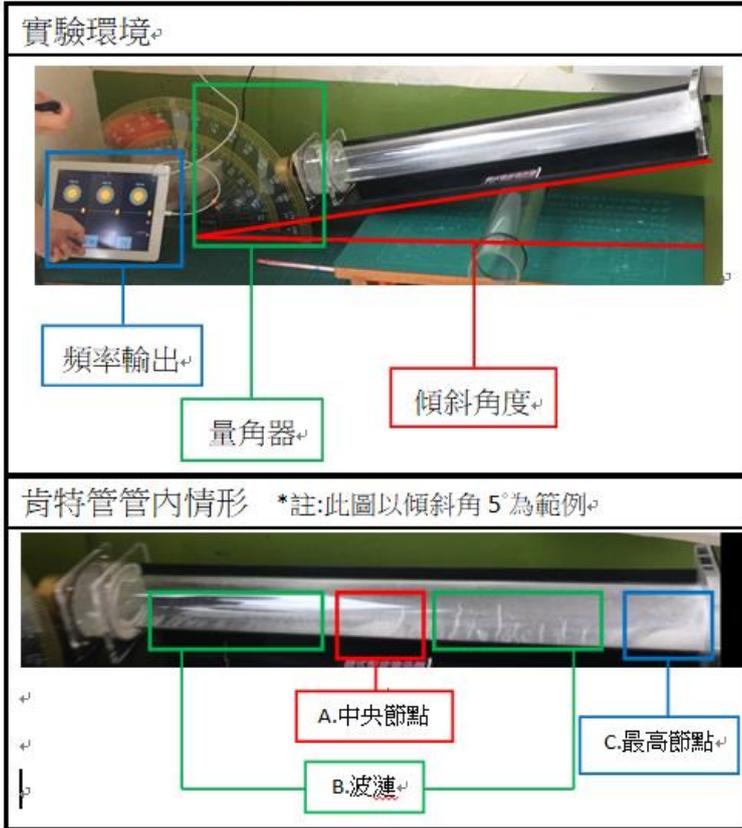


表 4 實驗 C 設計表

實驗 C 水分對垂直放置肯特管形成波漣之影響		
實驗名稱	C-1	C-2
實驗項目	肯特管管內無水分	肯特管管內有水分
控制變因	垂直放置肯特管	
操縱變因	水分	
實驗目的	透過添加水分，使垂直放置肯特管的狀態下，仍可觀察出由聚苯乙烯球所形成之波形。	

三、研究結果

實驗 A -肯特管產生不同波節數的頻率：

- (1)A-1 肯特管產生 2 個波節的頻率

公式推算: 245 Hz~239 Hz 實驗數據:約 240Hz~243Hz

實驗結果:與公式推算相符

- (2)A-2 肯特管產生 1+2 個波節的頻率

公式推算: 492 Hz~478 Hz 實驗數據:約 478Hz~489Hz

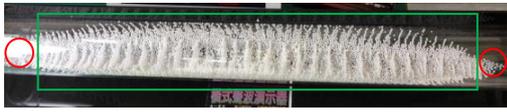
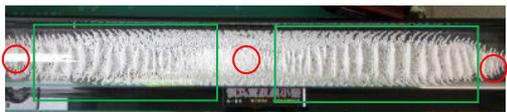
實驗結果:與公式推算相符

- (3)A-3 肯特管產生 2+2 個波節的頻率

公式推算: 737Hz~717 Hz 實驗數據:約 723Hz~735Hz

實驗結果:與公式推算相符

表 5 實驗 A 研究結果統整表

實驗 A 肯特管產生不同波節數的頻率				
編號	實驗圖片	實驗內容	實驗數據	實驗結果
A-1		肯特管產生 2 個波節的頻率	約	與公式推算相符
		公式推算: 245 Hz~239 Hz	240Hz~243Hz	
A-2		肯特管產生 1+2 個波節的頻率	約	
		公式推算: 492 Hz~478 Hz	478Hz~489Hz	
A-3		肯特管產生 2+2 個波節的頻率	約	
		公式推算: 737Hz~717 Hz	723Hz~735Hz	

*註:紅色標示為波節 綠色標示為波腹

實驗 B-肯特管產生不同波節數的頻率：

(1)B-1 肯特管放置傾斜角 5°

1. 麵粉與聚苯乙烯球在移動過程中可看出會漸漸於最高節點、中央節點、尾端節點有明顯堆積現象。
2. 於揚聲器開啟 1 分 30 秒結束後：
 - (1) 最高節點：堆積物質僅剩下麵粉；
 - (2) 中央節點：多數為麵粉，僅有少數幾顆聚苯乙烯球
 - (3) 尾端節點：堆積物質為麵粉與聚苯乙烯球且數量均多，多數的聚苯乙烯球幾乎都落至尾端節點。

(2)B-2 肯特管放置傾斜角 10°

1. 麵粉與聚苯乙烯球在移動過程中可看出會漸漸於最高節點、中央節點、尾端節點有明顯堆積現象，滑落至低處的數量較「傾斜角 5 度」時多。
2. 於揚聲器開啟 1 分 30 秒結束後：
 - (1) 最高節點：堆積物質僅剩下麵粉。
 - (2) 中央節點：多數為麵粉僅有 1、2 顆聚苯乙烯球。
 - (3) 尾端節點：堆積物質為麵粉與聚苯乙烯球兩者數量均多，聚苯乙烯球幾乎都落至尾端節點。

(3)B-3 肯特管放置傾斜角 15°

1. 麵粉與聚苯乙烯球在移動過程中可看出會漸漸於最高節點、中央節點、尾端節點有明顯堆積現象，滑落至低處的數量又比「傾斜角 10 度」時更多。

2.於揚聲器開啟 1 分 30 秒結束後：

- (1) 最高節點：堆積物質僅剩麵粉。
- (2) 中央節點：堆積物質僅剩麵粉。
- (3) 尾端節點：麵粉與聚苯乙烯球以大多落入尾端，聚苯乙烯球全數落至尾端節點。

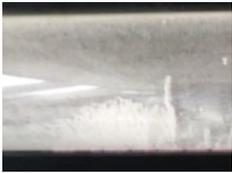
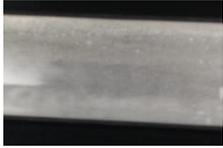
(4)B-4 肯特管放置傾斜角 20°

1.麵粉與聚苯乙烯球在移動過程中可看出會於最高節點、中央節點、尾端節點有明顯堆積現象，但節點處堆積的數量明顯減少，滑落至低處的數量較多。

2.於揚聲器開啟 1 分 30 秒結束後：

- (1) 最高節點：堆積物質僅剩下麵粉；
- (2) 中央節點：堆積物質僅剩麵粉。
- (3) 尾端節點：多數的聚苯乙烯球幾乎都落至尾端節點，此處的麵粉量也較另外兩個節點多。

表 5 實驗 B 圖片整理表

實驗 B 肯特管移動管內物體的傾斜角度				
編號	角度	實驗圖片		
B-1	5°	 全管圖片		
				
				
				
		A. 中央節點	B. 波漣(聚苯乙烯球)	C. 最高節點
B-2	10°	 全管圖片		
				
				
				
		A. 中央節點	B. 波漣(聚苯乙烯球)	C. 最高節點
B-3	15°	 全管圖片		
				
				
				
		A. 中央節點	B. 波漣(聚苯乙烯球)	C. 最高節點
B-4	20°			
				
				
		A. 中央節點	B. 波漣(聚苯乙烯球)	C. 最高節點

實驗 C-水分對垂直放置肯特管形成波漣之影響：

(1)C-1 肯特管垂直放置 管內無水分

實驗結果:當肯特管垂直放置時，且其中不加噴水噴霧的動作，聚苯乙烯球全數落至肯特管底部，開啟揚聲器後，僅在最底部處跳動。

(2)C-2 肯特管垂直放置 管內有水分

實驗結果: 當肯特管垂直放置時，但於其中加上噴水噴霧的動作，使聚苯乙烯球表面微濕，聚苯乙烯球則分布於立面管壁上，開啟揚聲器後，亦可如肯特管平放時所產生波漣的現象，且可觀察出波腹、節點等波形。

參●結論

一、研究結論

(一)肯特管駐波波節數和聲音頻率的關係與公式推算相符。

即波速= $331+0.6*T$ (設定氣溫 25°C) = $331+0.6*25 = 340$ ，本研究實驗數據在公式推算範圍內，些微誤差推測為氣溫影響。

(二)肯特管駐波不同傾斜角度對物質移動的影響

1. 麵粉與聚苯乙烯球在移動過程中可看出會漸漸於最高節點、中央節點、尾端節點有明顯堆積現象，滑落至低處的數量傾斜角 $5^{\circ}<10^{\circ}<15^{\circ}<20^{\circ}$ 。
2. 進行肯特管有傾斜度之聲波駐波實驗時，麵粉比聚苯乙烯球容易觀察出波形的變化。

(三) 探究水分對垂直放置肯特管形成波漣之影響

若需垂直放置肯特管觀察聲波時，可藉由噴灑水分達成波型的呈現。

二、未來研究展望

1. 延伸探討多重駐波的交替作用影響
2. 延伸探討節點讓物質停滯滑動的效果
3. 延伸探討利用肯特管將物質分離的方法

肆●引註資料

郭重吉。南一。自然與生活科技國二上學期課本。

沃克、葉偉文。天下文化。物理馬戲團 II。

于今昌。麗文文化。探究物理：解譯聲波密碼。

新田英雄、衛宮紘。世茂。世界第一簡單物理光、聲、波篇。

休伊特、陳可崗。天下文化。觀念物理IV 聲學·光學。