

駐波懸浮探究與討論

林自奮*、陳坤龍、王永興

摘要

本研究旨在藉由生活周遭事物聯想，如水波、樂器發聲、樹梢震顫都與駐波有關，駐波是自然界一種十分常見的現象。在地球上，地球對地面附近物體的萬有引力賦予了物體的重量，聲波在物體表面施加壓力時，其所發揮的影響幾乎難以察覺，但如果振動的強度夠大，聲波即具有抵消物體重力的作用。重力是我們自誕生以來與自身最親密的宇宙神奇力量之一。然而重力因其只具有吸引而缺少對稱的排斥力更讓人覺得神秘。反重力超音波懸浮主要是透過超音波換能器中的電晶體將高頻脈衝轉換成超音波振動。快速來回運動的空氣分子撞擊保麗龍球時，會施一個向上的作用力抵抗重力造成懸浮。懸浮的位置恰好位於聲波往返建立的駐波波腹的附近，可以讓我們看見音波並理解頻率、波長、波速的相關性。至於在波節上與波腹上可以使用保麗龍球懸浮，讓學生從探究與實作當中去證明。並以科學學習過程探究學生對駐波概念之學習。本研究主要探討高中學生在教學前對於駐波概念相關認知狀況，並找出可能形成的迷思及概念可能形成的因素。

關鍵詞：駐波、聲波、波節、波腹、探究

林自奮(通訊作者)，國立臺東大學應用科學系助理教授，E-mail: tlin@nttu.edu.tw

陳坤龍，臺南市佳興國中理化老師，E-mail: klchen@jsjh.tn.edu.tw

王永興，國立臺東大學應用科學系碩士生，E-mail: tw.tonyys@gmail.com

Research and discussion on standing wave levitation

Tzu-fen Lin*, Kun-Long Chen, Yung-Shing Wang

Abstract

The purpose of this research is to associate things around life, such as water waves, the sound of musical instruments, and treetop tremors, which are all related to standing waves. Standing waves are a very common phenomenon in nature. On the earth, the earth's gravitational force on objects near the ground gives the object its weight. When sound waves exert pressure on the surface of the object, its influence is hardly noticeable. However, if the vibration is strong enough, the sound wave has the effect of offsetting the object's gravity. Gravity is one of the magical forces of the universe that we have been closest to ourselves since our birth. However, gravity is even more mysterious because it only has attraction and lacks symmetrical repulsive force. The anti-gravity ultrasonic levitation mainly converts high frequency pulses into ultrasonic vibrations through the transistor in the ultrasonic transducer. When the rapidly moving air molecules hit the styrofoam ball, they will exert an upward force to resist gravity and cause it to levitate. The position of the levitation is exactly near the antinode of the standing wave established by the sound wave. It allows us to see the sound wave and understand the correlation of frequency, wavelength, and wave speed. As for the styrofoam ball on the node and the antinode, the students can use the styrofoam to levitate. Prove it from exploration and practice. And use the scientific learning process to explore the students learning of the standing wave concept. This research mainly explores the cognitive status of high school students about the standing wave concept before teaching, and finds out possible myth concepts and possible factors that may form myth concepts.

Keywords: standing wave, sound wave, nodal, antinode, exploration

Tzu-fen Lin (Corresponding Author), Assistant Professor, Department of Applied Science, National Taitung University. E-mail: tlin@nttu.edu.tw.

Kun-Long Chen, Tainan Municipal Jiasing Junior High School Teacher, E-mail: klehen@jsjh.tn.edu.tw.

Yung-Shing Wang, Graduate Student, Department of Applied Science, National Taitung University, E-mail: tw.tonyys@gmail.com.

壹、前言

聲波是一種縱波，還有波長、頻率、振幅等聲波相關概念，並藉由搜尋聲懸浮資料得知，發聲器和反射器間距離必須是聲音波長的一半的整數倍，才能產生一個穩定的節點和腹點，且物體會懸浮在節點。

在地球上，地球對地面附近物體的萬有引力賦予了物體的重量，聲波在物體表面施加壓力時，其所發揮的影響幾難以察覺，但如果振動的強度夠大，聲波即具有抵銷物體重力的作用。重力是我們自誕生以來與自身最親密的宇宙神奇力量之一。然而重力因其只具有吸引而缺少對稱的排斥力(目前已知)，更讓人覺得神祕！懸浮的位置恰好位於聲波往返建立的駐波(位移)波腹的附近，至於究竟是在波節或波腹上可以使保利龍球懸浮，正好可以讓學生從探究與實作當中去證明。

貳、文獻探討

瞭解何為駐波以及其特性，瞭解此波形這種波無法前進，因此無法傳播能量，感覺像是一種停駐的波，稱為「駐波」。

一、駐波

駐波為兩個振幅、波長、週期皆相同的正弦波雙向行進干涉而成的合成波。這種波的波形無法前進，因此無法傳播能量，感覺像是一種停駐的波，稱為「駐波」。

二、駐波的特性

- (一) 節點 (Node)：靜止不動、位移恆為零的點。在波節處，由兩列波引起的兩振動恰好反相，相互抵消，故波節處靜止不動。
- (二) 波腹 (Antinode)：振動幅度最大的點。在波腹處，由兩列波引起的兩振動恰好同相，相互加強，故波腹處振幅最大。如 Figure 1
- (三) 各質點的最大振盪幅度與其位置有關，並呈週期性變化。
- (四) 相鄰的節點或相鄰的波腹之間的距離均為「半波長」(Half Wavelength)。
- (五) 駐波的節點靜止不動，波形沒有傳播，所以能量被限制在相鄰的兩點節點之間。

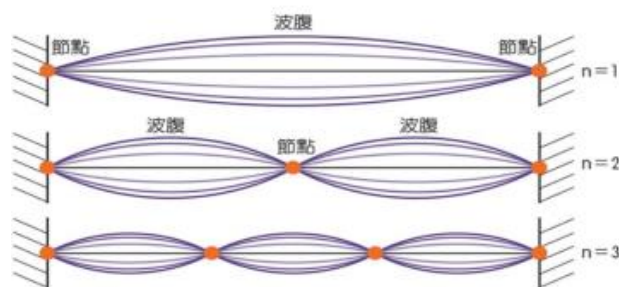


Figure 1. 駐波的特性

三、兩端固定的駐波

設弦的長度為 L ，由於固定端應為節點處，其間可以另有節點，也可以沒有節點，節點和波腹的位置如圖中所示，故弦長必為半個波長的整數倍，即 $L=n(\lambda/2)$ 或 $\lambda=2L/n$ （因波速 $v=f*\lambda$ ），式中的 f 為頻率，故 $f=nv/2L$ （ n 為正數）。

四、聲波的駐波

聲波在長管中傳遞，管中各個位置壓力與密度的變化情形。壓力大的地方，氣體密度大，分子的位移則較小；反之，壓力小的地方，氣體密度也小，但分子位移則較大，如 Figure 2。

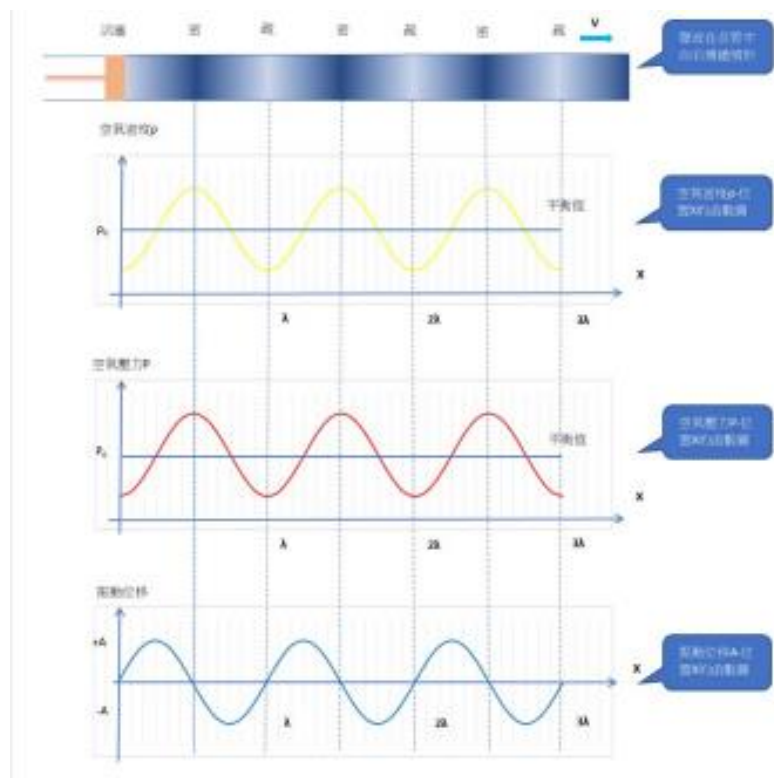


Figure 2. 聲波在長管中傳遞時其密度、壓力與位移之關係

五、開管中的縱波駐波

若長管的左端未被封閉，而與周圍空氣相通，當有一縱波沿著管軸向左傳播抵達左端開口時，會有一部分被反射而改為向右傳播，但其餘的則會傳遞進入周圍空氣中（此情形有如一細弦中橫波在其自由端點的反射）。因此不論是閉管或開管，當入射波進入管的一開口時，在管中會有沿相反方向前進的兩行進波，同時存在，彼此相互干涉而發生縱波駐波。

若管的兩端均非封閉，則在兩開口端處的氣體可自由運動，有些類似弦線的自由端，因此開口端的氣體分子位移約為最大，因管兩端為開口，縱波由一開口端進入管中，則在管的另一端發生反射波，入射波與反射波在管中形成縱向駐波，兩開口端即

約為波的波腹，因此駐波的振動自然頻率為 $f_n = n(u/2l)$ ， $n=1、2、3、……$ 。此時，若以空氣吹入管中，其振動頻率接近上式的自然頻率，則空氣柱會形成駐波。式中 u 為管中縱波的速率， n 為管長 C 中半波長的數目， $n=1$ 對應的頻率稱為基頻或基音 (fundamental frequency or tone)，也稱為第一諧音。其餘 $n=2、3、……$ 的頻率為基頻的整數倍，稱為泛音 (overtone)，也稱為諧音，對應於 $n=2、3、……$ 的頻率分別稱為第一泛音 (或第二諧音)、第二泛音 (或第三諧音)、……。像拉奏弦線時一樣，吹奏一開管時，其基音和泛音會同時被激發。

六、閉管中的縱波駐波

考慮在一個右側封閉的閉管中，有一個由右側開口端進入，向左側閉口端行進的縱波，其在閉管端反射的情形，就如同細弦中有一橫波在固定端點反射一樣，此時管中同時有向左及向右方向的行進波，如 Figure 3 所示。

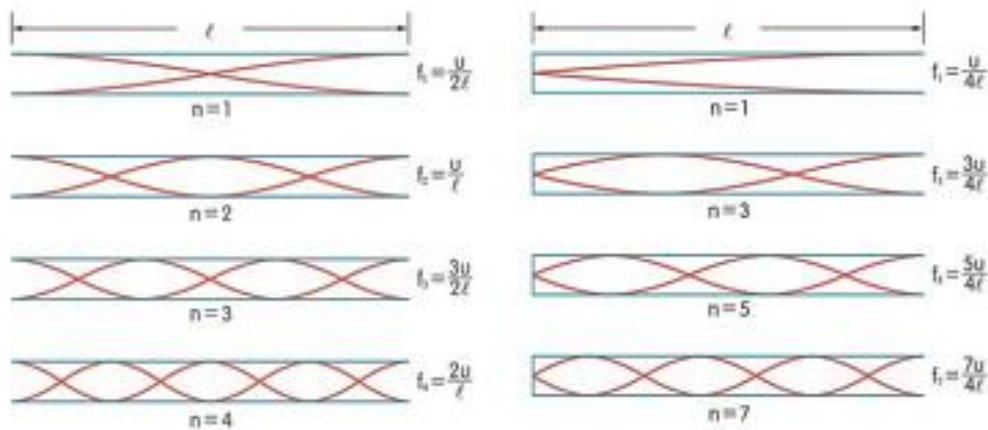


Figure 3. 開管(閉管)中波在管中形成波節與波腹的情形

在閉管中，閉口端為氣體分子位移最小處。Figure 3 所示為一閉管的振動駐波模式，其基頻為 $f_1 = u/4l$ ，此為相同長度之開管基頻的一半。在閉管中，只有氣體分子的位移在閉口端為最小，而在開口端為最大的泛音才能出現。因此，閉管駐波的振動自然頻率為 $f_n = u/4l (2n-1)$ ， $n=1、2、3、……$ 。

在閉管中，基頻 $f_1 = u/4l$ 的振動波形 Figure 3 所示的第一個圖，即開口端為位移最大處，而閉口端為位移最小處。在 Figure 3 中的後三個圖形則分別表示三個泛音，即為第三 ($n=3$)、第五 ($n=5$) 和第七 ($n=7$) 諧音，亦即閉管中只有第三、第五、第七諧音可以出現。因此可知，在閉管中，只有奇數諧音出現，所以，開管發出聲音的音色與閉管發出的音色不同，且在吹奏時與開管的情形一樣，其基音和泛音亦會同時出現。如 Figure 3 若聲源為人聲，音量會過小，導致波不明顯，音頻也無法精確固定。故本實驗中肯特管的聲源皆為手機應用程式之穩定音頻。

參、研究方法

本研究使用現有的課程內容以及此駐波懸浮教具以進行探究教學，以探究為重心，並先透過辦理研習讓老師瞭解此概念，再回去任教班級進行測試。因此藉由聲波反射產生駐波，並使物體懸浮在管中的方式，探討駐波與聲懸浮的特性。探討內容有三點：

- 一、透過調整聲波的頻率與振幅，探究這些變因對懸浮高度的影響，了解駐波的特性。
- 二、改變懸浮物體的形狀，探討不同形狀的物體懸浮高度的差異。
- 三、觀察聲波頻率對駐波形成的影響。

(一)探討駐波性質：不同頻率下形成駐波時，對應的音量大小

先用波速公式 $331+0.6T(\text{m/s})=f*\lambda$ ，而 λ 為管長的 $1/2$ ，計算出形成駐波的理论值頻率。(T：溫度、f：頻率、 λ ：波長)

(二)探討影響懸浮高度的因素

- 頻率高低對懸浮高度的影響
- 物體形狀對懸浮高度的影響
- 物體體積對懸浮高度的影響
- 音量大小對懸浮高度的影響

(三)探討駐波形狀的性質

- 測量管子不同高度對音量的影響
- 懸浮高度與駐波形狀的關係

1.準備材料：

鋁罐、鋁線 2mm 直徑、9V 電池+電池扣、麵包板、電晶體*2、稽納二極體、電容、色碼電感、超音波換能器發射頭、喇叭單體(15W) 1 個、擴大機(80W) 1 台、大保麗龍球(直徑 3.5 cm) 1 顆、小保麗龍球 1 顆、圓盤 1 片、正方形盤 1 電腦 1 台、WaveGene 聲波軟體 1 套。

2.實驗步驟：

- (1) 先組裝超音波發射電路；
- (2) 架好超音波發射頭與快速接頭以鋁線架於反射杯(可以鋁罐凹槽取代)上方；
- (3) 打開電源，調整換能器高度，洽使凹槽內保力龍球產生明顯振動；
- (4) 以金屬夾(以免靜電干擾)將保麗龍球懸停於凹槽與發射頭中央，完成組裝；
- (5) 從網路上找到了可以調整喇叭發出頻率與分貝的軟體 (WaveGene)，此軟體可直接從電腦修改喇叭輸出的頻率和音量。

肆、結果與討論

本研究探討駐波性質經由實驗可由三個部份對應的變因與對應的研究問題整理成表

Table 1. 實驗變因分析表

	操作變因	控制變因	應變變因	對應的研究問題
實驗一	頻率	裝置、喇叭 輸出音量	管內駐波音量 不同	不同頻率下形成駐波時，對應的 音量大小為何？
實驗二	頻率、懸浮物 體形狀 懸浮 物體體積	裝置	懸浮高度	1.頻率高低對懸浮高度的影響 2.物體形狀對懸浮高度的影響 3.物體體積對懸浮高度的影響
實驗三	測量高度	裝置	管子內不同位 置音量大小	測量管子不同高度對音量的影 響

一、不同頻率下形成駐波時，對應的音量大小

我們可以發現 1400Hz~1470Hz 呈現向上趨勢，頻率在 1470Hz 時，喇叭發出的分貝會最大。

二、頻率高低對小球懸浮高度的影響

而在 1050Hz~1450Hz 懸浮位置貼近喇叭口，將管子倒立球也不會掉下來，我們將懸浮高度標記為為 0cm。

三、物體形狀對懸浮高度的影響

方盤懸浮高度最高時的頻率比圓盤懸浮高度最高時的頻率高出 50Hz，但不同形狀皆能懸浮的頻率在 750Hz~1000Hz 之間。

四、物體體積對懸浮高度的影響

實驗過程中我們發現管子倒立時所呈現的懸浮位置和正立時不同，因此我們測試 正立及倒立是否影響實驗結果。體積較大的懸浮物可在較高的頻率懸浮，但皆在 1050Hz~1200Hz 之間不會浮起。

五、音量大小對懸浮高度的影響

音量愈大，可懸浮的位置就愈多，在懸浮後產生的音量會變大。此現象目前是依軟體調到不同的音量所產生的結果，待下一次作探究。

六、懸浮高度大約在產生音量較大處的附近，而音量最大處都是管子頂部。可以發現頻率越高，駐波的波長越小。

伍、結論

根據結果發現，喇叭發出的音量會影響到駐波形成的頻率(此現象與換能器特徵有關)，並且在一定音量下才能產生聲懸浮。且頻率高低、物體形狀、物體體積、音量大小皆會影響到物體懸浮的高度。頻率較高時易產生聲懸浮的狀況，但必須在喇叭規格適合播放的頻率內，否則也容易有雜音；物體體積需適中，以避免因體積不夠而無法在球的上下端皆產生駐波或因質量太重而無法負荷，導致無法懸浮；音量愈大，能量愈強，也導致節點的空氣密度愈大，所能懸浮的位置也就愈多。此外，在物體懸浮後，產生的音量也會變大，可能是因駐波的形狀較為穩定。由實驗當中我們發現了物體懸浮的位置大約為音量最大處的上方。整合所有實驗數據及參考資料後，我們證明了物體是懸浮在駐波上節點(壓力波)的位置。

參考文獻

一、中文部分

- ETtoday 新聞雲 (2014)。超音波聲浮系統可夾持電子元件。取自 <https://www.ettoday.net/news/20140410/344876.htm#ixzz6rLA3k1ts>
- Youtube (2012)。超聲波懸浮實驗。取自 <https://www.youtube.com/watch?v=0UvLMwikcck>
- Youtube (2017)。油滴實驗模擬量子世界 - Is This What Quantum Mechanics Looks Like。取自 <https://www.youtube.com/watch?v=2LTue573L9I>
- 泛科學 (2013)。超音波懸浮的咖啡即溶—水滴的舞空術。取自 <http://pansci.asia/archives/49904>
- 新科技前沿(2015)。黑科技：用聲波可懸浮並移動物體？取自 <https://kknews.cc/zh-tw/science/vp24e5y.html>
- 聲懸浮技術。取自 <https://www.youtube.com/watch?v=M5OvSvSbuok>
- 讚新聞 (2016)。研究人員展現出用聲波讓大型球體懸浮在半空中。取自 <https://hsszn.com/archives/14608>

二、外文部分

- Dewey, J. (1929). *The quest for certainty: a study of the relation of knowledge and action*. New York, NY: Minton, Balch & Company.
- Dewey, J. (1959). *Democracy and education*. New York: The Macmillan. Dewey, J. (1977). *The bearing of pragmatism upon education*. In A. Boydston (Ed.), *The*

- middle works of John dewey. 1899-1924 (Vol. 4, pp. 125-142). Carbondale and edwardsville, IL: Southern Illinois University
- Dewey, J. (1983). Human nature and conduct. In A. Boydston (Ed.), The middle works of John dewey. 1899-1924 (Vol. 14). Carbondale and edwardsville, IL: Southern Illinois University
- Gerstner, S., & Bogner, F. X. (2010). Cognitive Achievement and Motivation in Hands-on and Teacher-Centred Science Classes: Does an additional hands-on consolidation phase (concept mapping) optimise cognitive learning at work stations? *International Journal of Science Education*, 32(7), 849-870.
- Goodman, B. E., Freeburg, E. M., Rasmussen, K., & Di, M. (2006). Elementary education majors experience hands-on learning in introductory biology. *Advances in Physiology Education*, 30(4), 195-203. doi: DOI 10.1152/advan.00012.2006
- Hearns, M. K., Miller, B. K., & Nelson, D. L. (2010). Hands-On Learning Versus Learning by Demonstration at Three Recall Points in University Students. *Otjr-Occupation Participation and Health*, 30(4), 169-171. doi: Doi 10.3928/15394492-20090825-01
- Hynes, M., Portsmouth, M., Dare, E., Milto, E., Rogers, C., Hammer, D., & Carberry, A. (2011). Infusing engineering design into high school STEM courses. National Center for Engineering and Technology Education
- Jonathan M. Breiner, Shelly Sheats Harkness, Carla C. Johnson, & Catherine M. Koehler (2012). What is STEM? A discussion about conceptions of STEM in education and partnerships. *School Science and Mathematics*, 112(1), 3-11.
- Rother, K., Rother, M., Pleus, A., & Belzen, A. U. Z. (2010). Multi-stage learning aids applied to hands-on software training. *Briefings in Bioinformatics*, 11(6), 582-586. doi: Doi 10.1093/Bib/Bbq024
- Sung, Y.L., Jeang, J., Lee, C.H., & Shih, W.C. (2015) Fabricating optical lenses by inkjet printing and heat-assisted in situ curing of polydimethylsiloxane for smartphone microscopy. *J. Biomed. Opt.*, 20(4), 047005.
- UFO Hunters, Resonance Frequency and Acoustic Levitation. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=Ah2X0F0nBfQ> y
- How Acoustic Levitation Works. Retrieved from <http://science.howstuffworks.com/acoustic-levitation.htm>