

臺灣二〇〇六年國際科學展覽會

科 別：物理科

作 品 名 稱：都是氣泡惹的禍

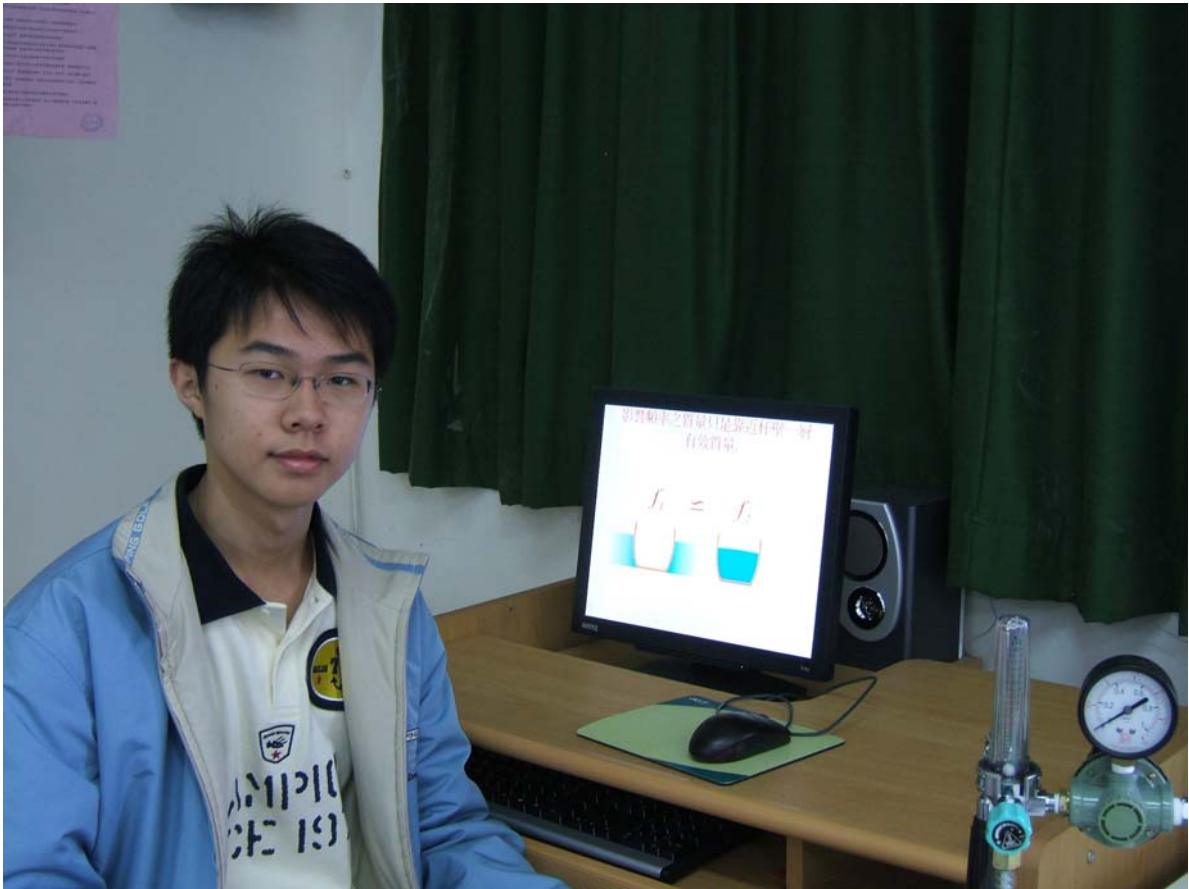
得 獎 獎 項：第三名
美國正選代表:美國第 57 屆國際科技展覽會

學 校 / 作 者：臺中縣私立弘文高級中學 陳冠皓

目 錄

作者簡介及照片	.....	ii
摘 要	.....	1
一、前 言	.....	2
二、原 理	.....	2
三、實 驗 器 材	.....	3
四、研 究 方 法	.....	4
五、研 究 結 果	.....	4
六、討 論	.....	11
七、結 論	.....	12
八、參 考 文 獻	.....	13

作者簡介



我的名字是陳冠皓，從小就對研究自然科學有濃厚的興趣，更對種種的物理現象感到好奇；這次參加科展，能更深入探討一些物理問題，著實令我感到十分興奮。雖然過程中常會遇到挫折，無法如預期般的順利，但得到的經驗與收獲卻是如此豐富。以後要是有機會，希望能常參加有關科學研究的活動，讓自己更了解物理世界的奧妙。

都是氣泡惹的禍

It Is All Because of Bubbles

Abstract:

Tapping the side of a glass of beer as the bubbles escape, one can find that the pitch will change. In order to know how the bubbles would influence the frequency, I survey the pitches of a wine glass with various drinks that would generate bubbles. As bubbles getting away from the glass, my experimental data shows that the frequencies of the tone did get higher when the glass contains beer and coke. However, I surprisingly find a different result when the same glass contains sarsaparilla. Hence I design a series of experiments to understand the possible mechanism. The data suggests that when the drinks contain bubbles in it, the frequencies of the tones will be higher. When the liquid surfaces were disturbed, the frequencies of the tones will become lower. If there were foams above the liquid surfaces, the frequencies of the tones will also be lower. This finding proposes that people needs to consider both the bubble bulk status and surface effects. The consequences of the competitions between these two effects can successfully explain how the tones are changed in the cases of beer or sarsaparilla or coke.

摘要：

當輕敲啤酒杯時，會發覺酒杯發出之聲調隨氣泡漸漸消失而有所改變。為了解氣泡是如何影響頻率，我測試了幾種含氣泡之飲料，以探討當氣泡漸漸消失時，杯子發聲頻率之變化。實驗發現杯子內飲料之氣泡漸漸消失時，裝啤酒與可樂杯子的發聲頻率逐漸增高，然而裝沙士杯子的頻率卻逐漸降低。為解開此相互矛盾的現象，我設計了將液面上之泡沫及液面下之氣泡分開檢驗的實驗。實驗結果發現，液體中氣泡的存在會使杯子發聲頻率變高。而當液體表面受到擾動時，會降低杯子的發聲頻率。若液面上存在泡沫時，杯子的發聲頻率也會變低。這表示裝盛含氣泡飲料杯子音律之變化，須同時考量液內含泡量與液體表面之效應。此結果可以成功的解釋為何啤酒、可樂與沙士於氣泡漸漸消失時，杯子頻率會變高或變低的現象。

一、前言

(一)、研究動機：

在物理馬戲團這本書中提到「輕敲啤酒杯時，聲調和杯中啤酒高度有關，為什麼？」這本書的解答是啤酒釋出空氣，在空氣與水混合的環境裡，音速比在水裡低，使得頻率變低。但我覺得這個說法似乎不太合理，於是測量各種品牌含有氣泡之飲料當氣泡漸漸消失時杯發聲頻率之變化。發現有些品牌飲料頻率變高，有些卻變低。為了解開此相互矛盾之現象，我展開這次的研究。

(二)、研究目的：

1. 比較敲擊杯子或以溼手指摩擦高腳杯杯緣時，杯子發出之聲音有何不同。
2. 不同密度液體、不同高度液體對杯子發聲頻率有何影響？
3. 杯中分別裝各種品牌之含有氣泡之飲料，當氣泡漸漸消失時，測量杯振動頻率之變化。
4. 當碳酸飲料氣泡消失時，加入食鹽再重新製造氣泡，重複檢驗氣泡對頻率之影響。
5. 設計氣泡產生圈在杯中產生氣泡且能控制氣泡之數量，研究不同尺寸之氣泡產生圈在杯中不同位置所生之氣泡對杯振動頻率之影響。
6. 以甘油加洗潔精製造泡沫，置於水面上，摩擦杯緣測量之。研究液面上泡沫對頻率之影響。

二、原理：

- (一)、敲擊玻璃杯時，杯壁質點垂直杯壁作簡諧運動，產生沿杯壁繞行之橫波，我們聽見聲音是此杯壁振動造成之波動產生駐波的結果，杯壁的振動的前三個模式如圖 1 所示。每個振動模式皆符合 $2\pi r = n\lambda$ ， r 為杯之半徑， λ 為駐波波長。 $n=2$ 是基音。 $n=1$ 質心會移動。

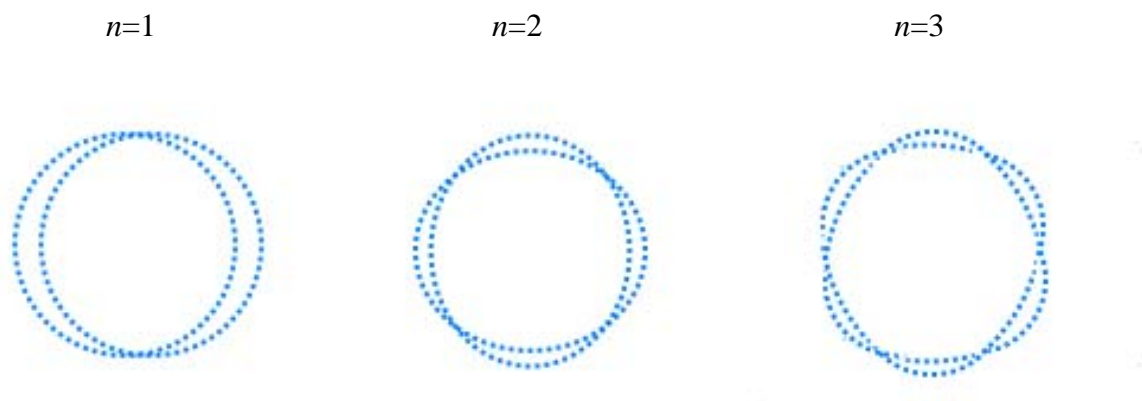


圖 1：杯壁的振動的前三個模式

(二)、杯中裝有液體時，液體是如何影響杯壁的振動？在 2004 年美國 intel 國際科展得大會三等獎作品酒杯發出的音符中提到：「以溼手指摩擦一黏於裝水水盆中之空酒杯，與摩擦一杯內裝同一水位的水之酒杯，兩者頻率非常接近，如圖 2 所示。所以說杯內液體影響頻率之質量只是靠近杯壁一層有效質量。」杯壁的振動是 S.H.M.，杯面形變之張力即是恢復力，空杯時恢復力帶動之質量為杯壁之質量，杯中有水時要帶動的質量為杯壁之質量與有效層之有效質量之和。當杯壁作 S.H.M. 變形時水被擠壓也相對杯壁滑動，水運動造成水壓。根據他們的推導水壓與杯壁振動位移之相位角差為 180° ，也就是杯壁凸出時水壓是最大的，如圖 3 所示。此時杯內單位面積總水壓應是大於杯外之大氣壓力，如此杯壁因水壓所受之力是向外的，與恢復力反向，造成恢復力之負擔（杯壁凹入時亦同），導致頻率下降。這也就可以解釋為什麼液體提供一有效質量影響杯壁的振動。

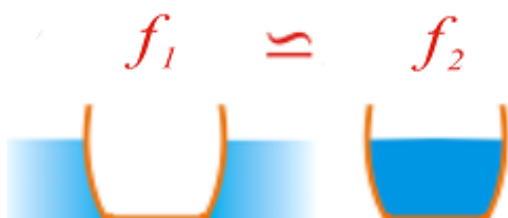


圖 2：兩者發出頻率非常接近

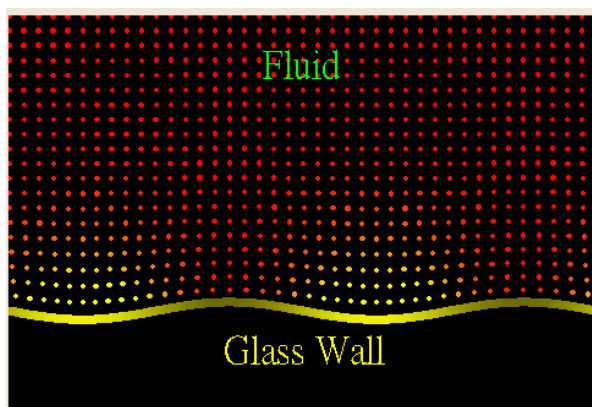


圖 3：杯壁往外時杯內水壓較大(圖中較亮之點)，大於杯外之大氣壓力。

三、實驗器材：

訂製的直筒高腳杯、不同直徑之銅管及塑膠管、甘油、洗潔精、(台灣)啤酒、(黑松)沙士、(可口)可樂、氣流計、氣壓計、空氣壓縮機、監視器(C.C.D.)、攝影機(DV)。



圖 4：實驗器材

四、研究方法：

- (一)、聲波頻率之測量是利用指向性麥克風以電腦錄音後以 Adobe Audition 軟體分析。
- (二)、飲料液面高度之變化，以 C.C.D.監視器放大測量。飲料中氣泡活動狀態，以數位攝影機觀察、攝影分析。
- (三)、研究位於不同位置不同大小的氣泡產生圈，所產生之氣泡對杯振動頻率之影響的方法：
 1. 將不同直徑之銅管、塑膠管彎成圖 5 高腳杯中之形狀，並各在圓形部分穿相同數目的小孔。
 2. 以支架將氣泡產生圈固定，圓形一端伸入杯中，另一端以塑膠管連接安裝有氣流計、氣壓計之空氣壓縮機，如圖 5 所示。

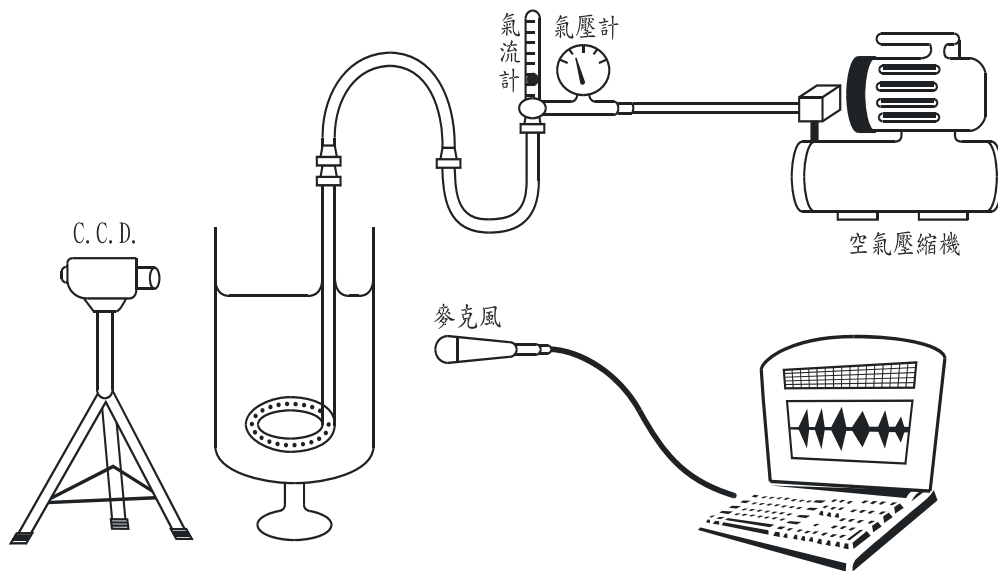


圖 5 實驗裝置

3. 杯內水位設定在一高度，再取出固定量之水，將氣泡打入，以 C.C.D.監視器觀察，並輔以深度規測量，確定氣泡使水位達原設定高度，摩杯測其頻率。
4. 關掉氣泡產生器，倒回原取出之水，摩杯測同一高度無氣泡時之頻率。

五、研究結果：

- (一)、以溼手指摩擦杯緣所得頻率與用木槌敲擊杯壁所得基音頻率相同，但音色不同。我們可以藉頻譜瞭解它。圖 6 所示是摩後之頻譜；圖 7 所示是敲後之頻譜。我們可以看出它們的基音都相同，但用敲的會激發 exciting mode，有些 exciting mode 的強度甚至超過基音的強度，造成無法知道敲後之基音頻率之困擾(如圖 8)。所以欲研究杯被敲後之發聲頻率，還是改用摩的較方便。

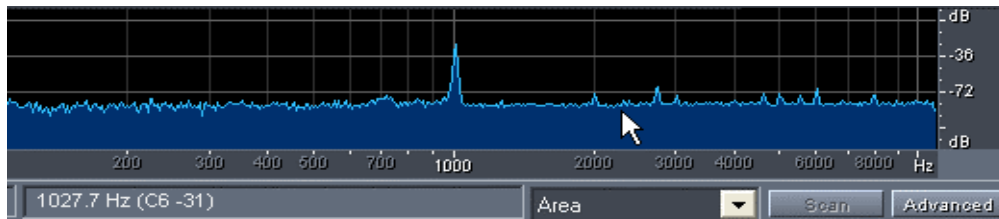


圖 6：用摩的最大強度為 1027.7 Hz

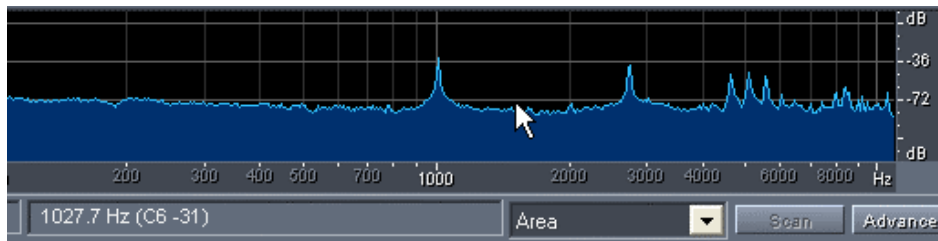


圖 7：用敲的最大強度亦為 1027.7 Hz

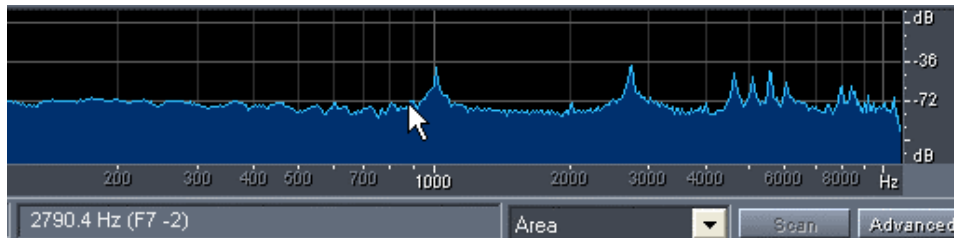


圖 8：用敲的 exciting mode 的強度甚至超過基音的強度，最大強度為 2790.4Hz

(二)、比較不同高度液體、不同密度液體對杯子發聲頻率之影響結果如下：

1. 液體高度愈高杯子發聲頻率愈低，這是已知的事實。以下的高度實驗是針對我們的泡沫實驗液面變化的小區域（直筒高腳杯為 0.7cm，葡萄酒杯為 0.35cm）進行檢測（水位以 C.C.D.監視器放大測量）。

圖 9 為直筒高腳杯水位與頻率關係圖，可看出水位每升高 0.1cm 頻率約降低 3.3Hz。

圖 10 為葡萄酒杯水位與頻率關係圖，水位每升高 0.1cm 頻率約降低 7Hz。

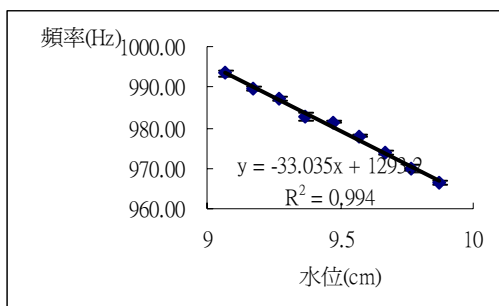


圖 9：直筒高腳杯水位與頻率關係圖

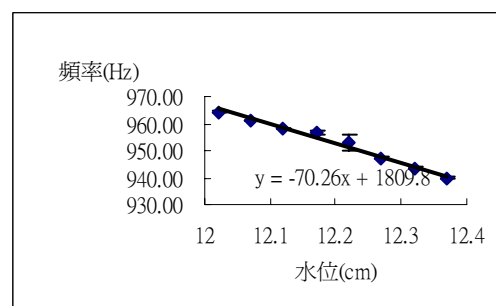


圖 10：葡萄酒杯水位與頻率關係圖

2. 杯中裝同一高度不同密度的液體（酒精 0.8 g/cm^3 、蓖麻油 0.96 g/cm^3 、水 1 g/cm^3 、醋酸 1.05 g/cm^3 、食鹽溶液 1.18 及 1.21 g/cm^3 ），敲杯時杯發出之頻率，隨密度之變大而變低，如圖 11 所示：

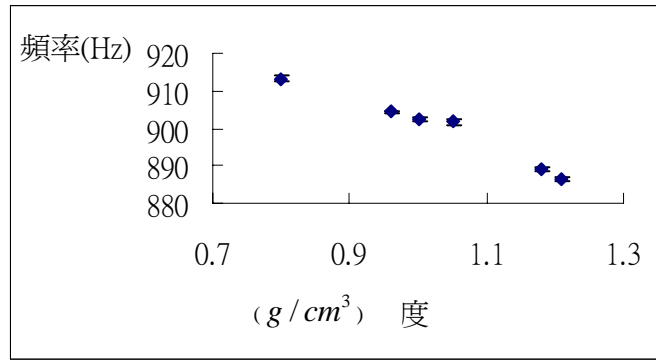


圖 11：密度變化與頻率之關係圖

(三)、測量各種品牌之含有氣泡之飲料，當氣泡漸漸消失時，杯振動頻率之變化如下：

1. 裝啤酒之杯，當液面上之泡沫很多時無法摩出聲音，如圖 12 所示：液面下之氣泡一開始很多，但氣泡數衰減得較液面上泡沫快，液面亦未見明顯之擾動。當液面上之泡沫漸漸消失時，液面高度未量出有變化。杯振動頻率與時間之關係，如圖 13 所示。

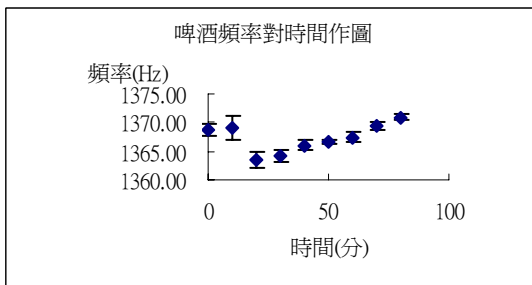


圖 13：裝啤酒之杯振動頻率與時間關係圖



圖 12：啤酒液面上之泡沫多時無法摩出聲音

2. 裝可樂之杯，當氣泡漸漸消失時，杯振動頻率漸高，如圖 14 所示。以數位攝影機觀察。液面上之泡沫消失速度很快，液面下之氣泡很多，但氣泡之上升速度較快，氣泡上衝至液面，液面有明顯之擾動。

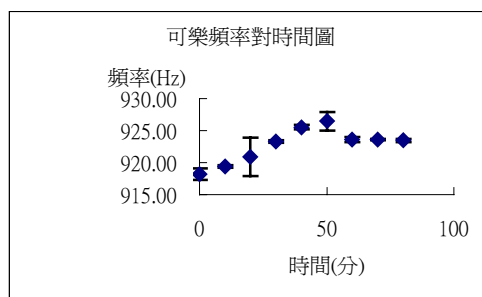


圖 14：裝可樂之杯振動頻率與時間之關係圖

3. 杯中裝沙士，液面上之泡沫消失速度較啤酒快，液面之擾動較可樂小，液面下之氣泡很多，當氣泡漸漸消失時，杯振動頻率漸低。如圖 15 所示：

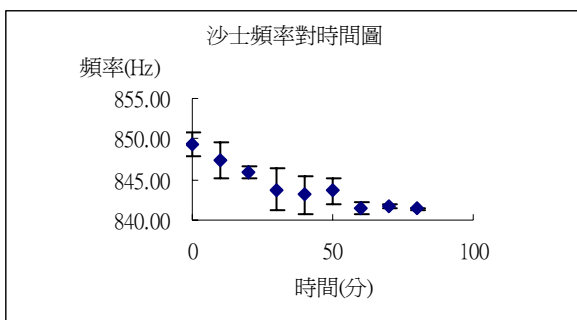


圖 15：裝沙土之杯振動頻率與時間之關係圖



圖 16：沙土加鹽後之氣泡

(四)、液面下氣泡影響頻率之實驗：

1. 當沙土氣泡消失時，加入食鹽再重新製造氣泡，如圖 16 所示，測得頻率如圖 17 所示：由此圖可看出液面上之**泡沫**(見圖 12)漸少時頻率漸高，液面下之**氣泡**漸少時頻率漸低。

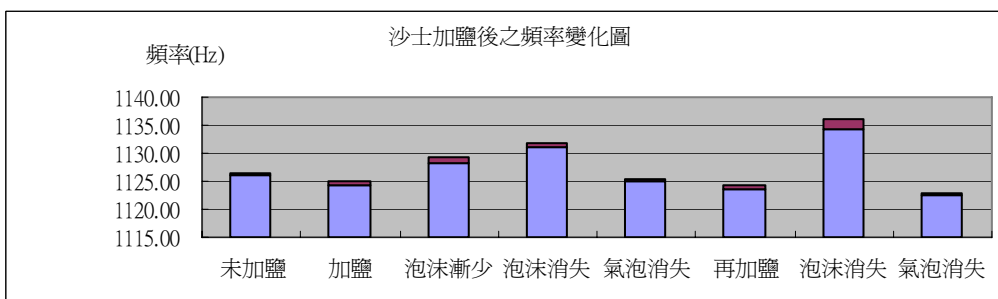


圖 17：沙土加鹽後杯振動頻率之變化圖

2. 研究不同尺寸之氣泡產生圈在杯中不同位置所生之氣泡對杯振動頻率之影響：

- a. 不同直徑之氣泡產生圈在同一深度（在底部）對杯振動頻率之影響：

氣泡產生圈置於杯底部，通有氣泡時之頻率與同一水位氣泡產生圈沒有氣泡時之頻率差，在銅管、塑膠管之氣泡產生圈半徑較小時，頻率差為正值，也就是表現出氣泡使頻率增高之現象，但半徑較大時又表現不出，如圖 18、19、20 所示。

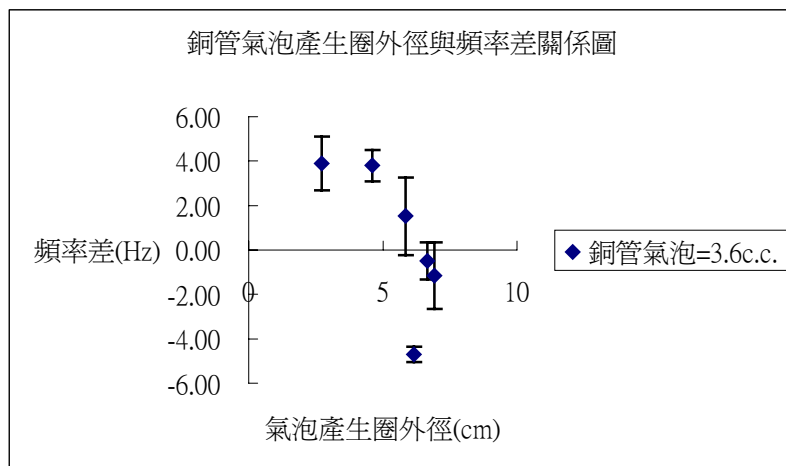


圖 18：銅管氣泡產生圈外徑與頻率差關係圖之一

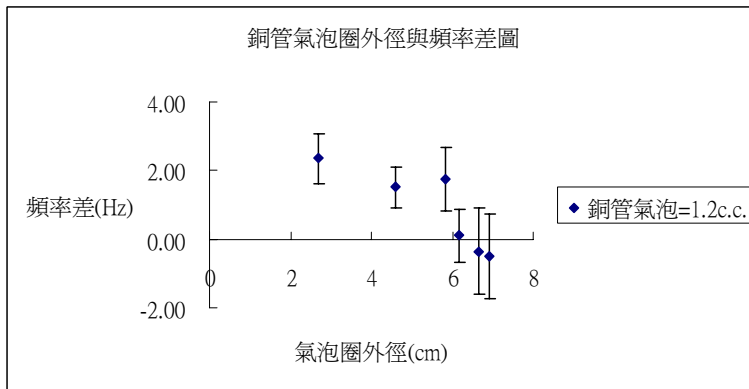


圖 19：銅管氣泡產生圈外徑與頻率差關係圖之二

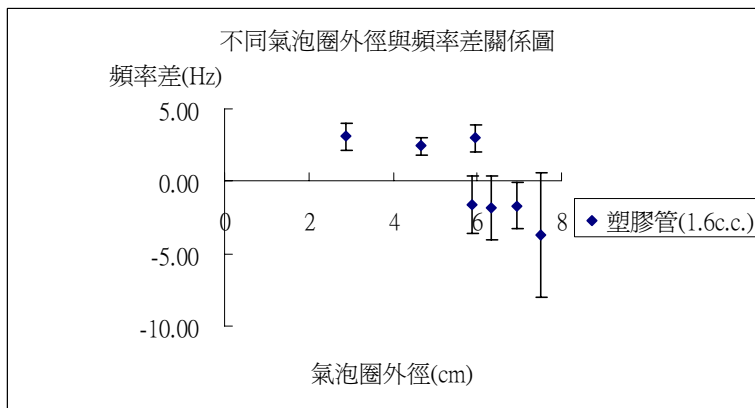


圖 20：塑膠管氣泡產生圈外徑與頻率差關係圖

b. 相同直徑，不同深度之氣泡產生圈對杯振動頻率之影響：

銅管氣泡產生圈半徑為 6.92cm 者，在其置於杯底部頻率差幾為零或負值，但將其往上拉頻率差又變成正值，如圖 21 所示，深度為零處即是液面。依我的觀察凡氣泡未使頻率增高者，都是液面氣泡較多較不平靜者，如圖 22 之照片所示。

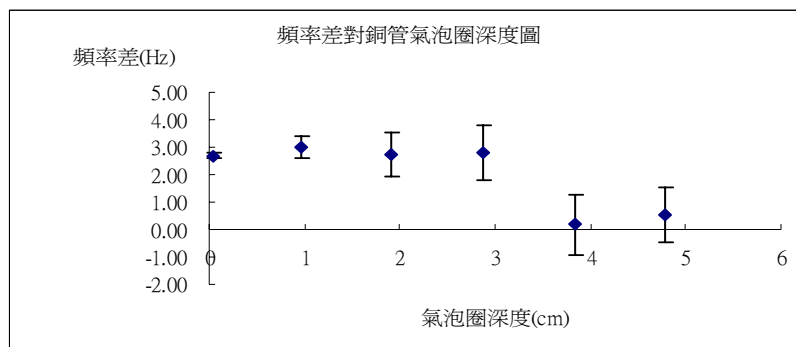


圖 21：銅管氣泡產生圈往上拉時頻率差與深度關係圖









	
a. 半徑大液面氣泡較多很不平靜 測得頻率差為負。	b. 氣泡圈半徑小時液面之氣泡較少 測得頻率差為正。
	
c. 產生氣泡之銅管深度較淺時 (接右圖 d)	d. 液面較平靜測得頻率差為正
	
e. 產生氣泡之銅管深度較深時(接 f)	f. 液面中央不平靜頻率較低
	
g. 產生氣泡之塑膠管深度淺時(接 h)	h. 液面中央較平靜測得頻率較高

圖 22：表面效應：液面氣泡較多較不平靜者，頻率較低。

c. 氣泡產生圈置於接近液面對杯振動頻率之影響：

爲了確認有氣泡時之頻率比無氣泡時高，將銅管氣泡產生圈往上拉至接近液面

以減低表面效應之影響，以同一水量之水，作有無氣泡之實驗，結果顯示有氣泡時之頻率確實比無氣泡時高，如圖 23、24 所示。照理通以氣泡時，以氣體之流量估計，氣泡產生圈直徑 6.92 cm 者，在截面積 49 cm^2 之直筒杯中，水位約升高 0.02 cm ，頻率應該降低 0.66 Hz ，但它卻升高，可見液面下有氣泡時之頻率會比無氣泡時高。

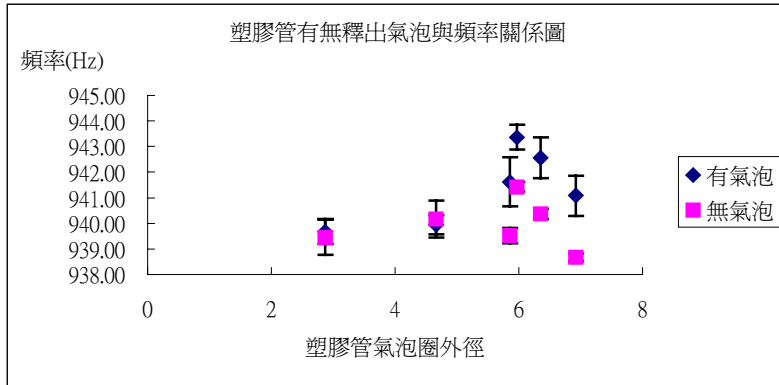


圖 23：氣泡有無與頻率關係圖(塑膠管管置於接近液面)

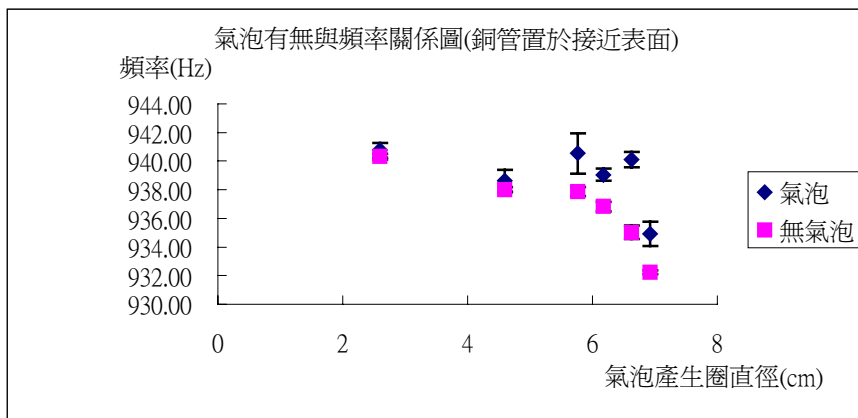


圖 24：氣泡有無與頻率關係圖(銅管置於接近接近液面)

(五)、液面上之泡沫影響頻率之實驗：

1. 水面上加肥皂泡時之實驗結果如圖 25、圖 26 所示：肥皂泡消失後頻率變高。(時刻 0 時為只有水時)

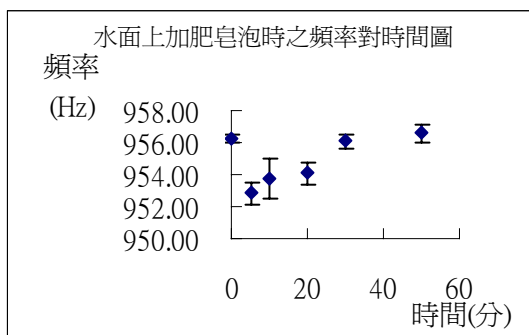


圖 25：水面上加肥皂泡時之頻率對時間圖



圖 26：水面上加肥皂泡

2. 水面上加啤酒泡沫之之實驗結果亦是泡沫消失後頻率變高，如圖 27 所示：
(時刻 0 時為只有水時)

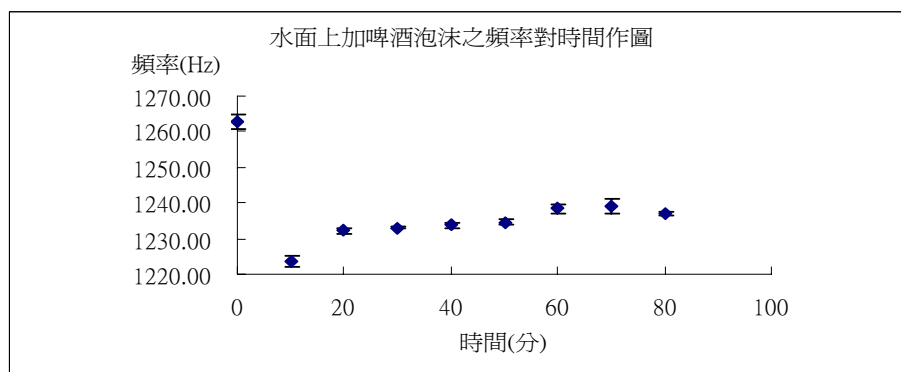


圖 27：水面上加啤酒泡沫之頻率對時間作圖

3. 甘油加洗潔精以電動攪拌器製造泡沫，泡沫移入杯中，一開始無法摩出聲音，泡沫消失一些後，如圖 28 所示，可摩出聲音。杯之頻率也是隨著泡沫之消失而變高，如圖 29 所示。



圖 28：
甘油加洗潔
精泡沫

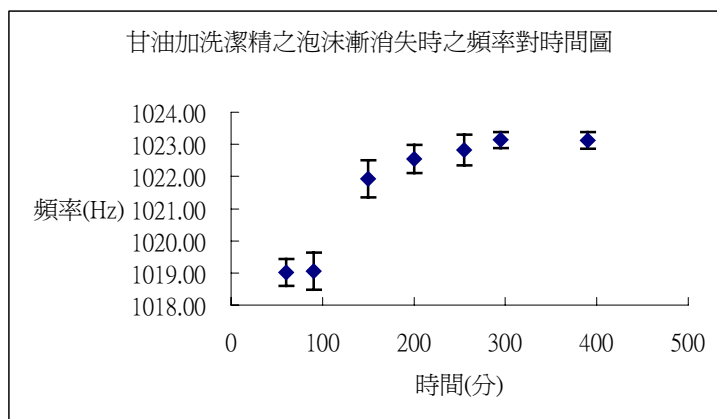


圖 29：甘油加洗潔精之泡沫漸消失時之頻率對時間圖

六、討論：

- (一)、比較圖 6 與圖 7，發覺用敲擊的方式，杯子會出現高頻之 exciting mode，我們認為是敲擊比用手指摩能給較高之能量，所以能激發出較高之頻率之泛音。
- (二)、由圖 11 知杯中液體密度較低時，杯之發聲頻率較高。這個結果否定了物理馬戲團這本書解釋水中含有氣泡時，因空氣中之音速較水低，所以水與空氣之混合體音速也較低，導致杯之共振頻率變低之說法。因為海水音速較水快(海水中音速為 1519m/s，蒸餾中音速為 1486m/s)，以書上的說法杯之發聲頻率應較裝水時高，但杯之發聲頻率裝鹽水時比裝水時低，因鹽水密度較水大。**可見用音速解釋敲杯時杯發聲之頻率是不適合的。**初步的解釋似乎可用「密度小則杯壁負擔小」來說明，或許需用其他

的力學交互作用解釋，值得再作探討。

- (三)、沙士加鹽產生氣泡，可重複驗證液體中含氣泡對頻率之影響。投入之食鹽愈多產生之氣泡愈多，液面上會有很多泡沫。也一併可看出液面上之泡沫會使頻率下降。
- (四)、杯中之液體含有氣泡時，會使杯之發聲頻率增高，這種現象在氣泡產生圈之半徑大時較不明顯，這是因為半徑大時，產生氣泡之範圍較大，液面很不平靜，導致頻率下降，我們將其稱為表面效應（見圖 22a）。氣泡產生圈放在較深位置同樣有表面效應（見圖 22f），氣泡產生圈拉高後氣泡擾動範圍較小，液面較平靜，表面效應不明顯，頻率也較高（見圖 22h）。
- (五)、杯子裝幾乎全滿（全滿摩杯時會觸及液體）之液體仍可摩出聲音，可是如果裝些液體而液面上裝幾乎讓杯全滿之泡沫，卻是讓杯子無發出聲。是不是杯子的阻尼振動，遇到很大的阻尼？很可能是泡沫的蜂窩狀結構發揮了作用，我們知道蜂窩狀結構之結構力強，對擠壓力的抵抗比任何形狀要高。這個特性很可能由固體延伸到液體。

七、結論：

- (一)、液體內部存在有氣泡時會使杯子的發聲頻率變高。
- (二)、液體表面之擾動會使杯子的發聲頻率變低。
- (三)、液面上存有泡沫時會使杯子的發聲頻率變低。

用以上的發現與結論，就能解釋啤酒、可樂與沙士於氣泡漸漸消失時，杯子發聲頻率會變高或變低。啤酒液面上之泡沫很多，液面下之氣泡一開始很多，但氣泡數衰減得較液面上泡沫快，氣泡減少時杯子發聲頻率變低，氣泡很快失去影響力，只剩液面上之泡沫左右頻率，隨著泡沫之消失，杯子發聲頻率就變高了（見圖 13）。沙士液面上之泡沫消失速度較啤酒快，泡沫之影響不用考慮。而沙士液面下之氣泡很多，故隨著氣泡之消失，杯子發聲頻率會變低（見圖 15）。可樂液面上之泡沫消失速度最快，液面下之氣泡雖很多，但氣泡之上升速度很快，氣泡上衝至液面，液面之擾動較沙士大，液面的不平靜造成頻率下降，故隨著氣泡之消失，頻率會升高（見圖 14）。

八、參考文獻：

- (一)、Juan G. Roederer, *The Physics and Psychophysics of music*, Third Edition, p. 149, Springer-Verlag, 1994.
- (二)、Charles A. Culver, *Musical Acoustics*, Fourth Edition, p. 238 and 244, McGraw-Hill Book Company, 1956.
- (三)、N. H. Fletcher and T. D. Rossing, *The Physics of Musical Instruments*, Springer Verlag New York Inc., p. 577f, 1991.
- (四)、J. Walker, *The Flying Circus of Physics*, John Wiley & Sons, Inc., p.6 and 226, 1977.
- (五)、Grant R. Fowles and George L. Cassiday, *Analytical Mechanics*, sixth edition p.100 Saunders College Publishing Harcourt College Publishers Copyright renewed 1990 by Grant R. Fowles.
- (六)、物理馬戲團 沃克著 葉偉文譯 天下文化書坊
- (七)、大學物理學 第五版 Sears.Zemansky.Young 著 曹培熙譯
- (八)、台灣 2004 年國際科展作品專輯 高中組 物理科 酒杯發出的音符 台灣科學教育館網站

**A poor man's way of
"hearing" apart Coke and Root Beer**

Kuan-Hao Chen

Introduction

Tapping the side of a glass of Coke generates a pitch which increases as bubbles escape from the fluid. But the opposite is true when Root Beer is used instead. This rules out an earlier theory claiming that the pitch change is caused by the lowering of the average sound speed in the bubbly liquid. Systematically performing a series of experiments, I showed that the pitch was increased when bubbles were in the bulk fluid; but it was lowered when the bubbles were collected to form a foam on the surface of the drink. A simplified theoretical explanation is also proposed to account for the observed effects.

Experiment

1. The sound generated by rubbing the rim of an empty glass is recorded and analyzed.
2. The frequency of the glass with Coke/Root Beer/Malt filled to a certain height is measured at a regular time interval.
3. Repeat Steps 2-3, but also sprinkle some salt into the drink to generate extra air bubbles at certain stages of the experiment.
4. Systematic study of the effects of bubbles:
 - (a) A bubble generator was built to get a steady supply of air bubbles (Fig. 1).
 - (b) The water level and the rising bubbles are monitored using a CCD.
 - (c) The frequency of the water-filled glass with different amounts of air bubbles is measured.
5. Repeat step 2 for an empty glass filled with a foam made of detergent and glycerin .

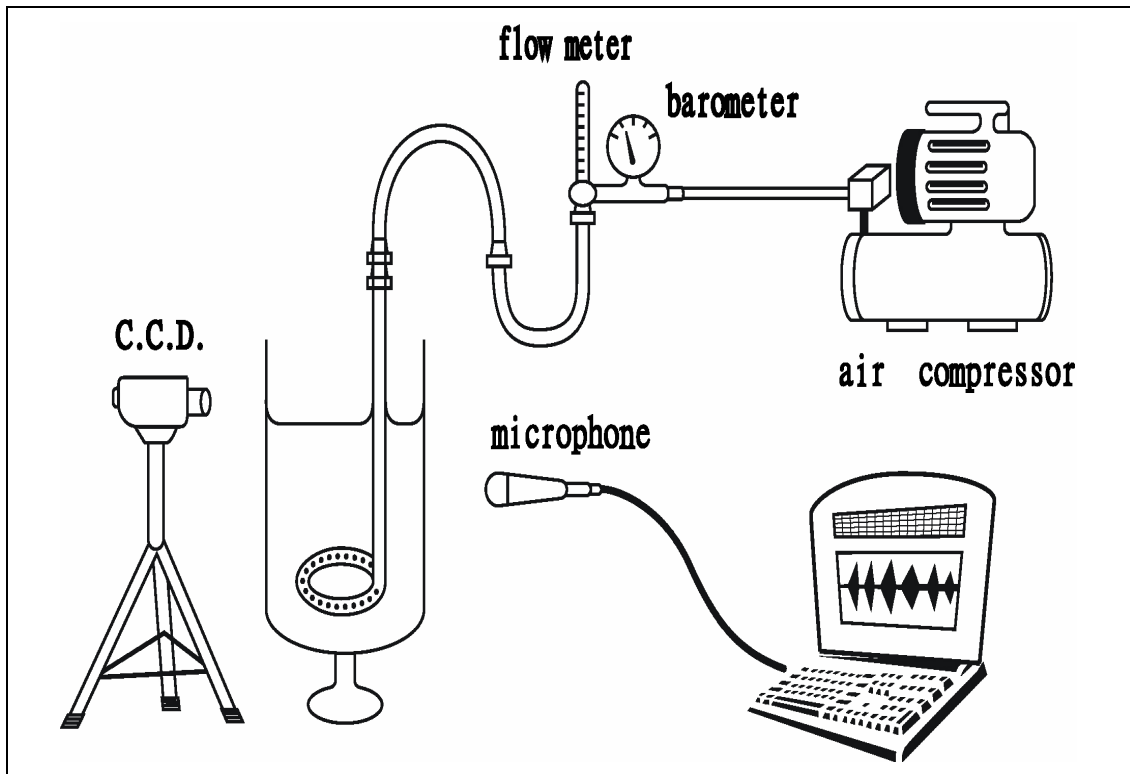


Fig. 1 experimental setup

Results

1. For Coke :

- (a) The vibration frequency first increases but then decreases as the bubbles disappear gradually (Fig. 2) .
- (b) Features noticed:

The recorded video shows that the bubbles in Coke float quickly to the surface and originally cause significant perturbation on the surface. At a slightly later stage, the bubbles on the surface of Coke disappear rapidly even though lots of bubbles are formed in the glass.

2. For Root Beer:

- (a) The vibration frequency decreases as the bubbles disappear gradually (Fig. 3) .
- (b) Features noticed:

Too many bubbles originally present in the glass prevent us from generating any sound. Once the sound actually comes out, the

perturbation on the surface is much less than that for Coke, and the vibration frequency decreases with time.

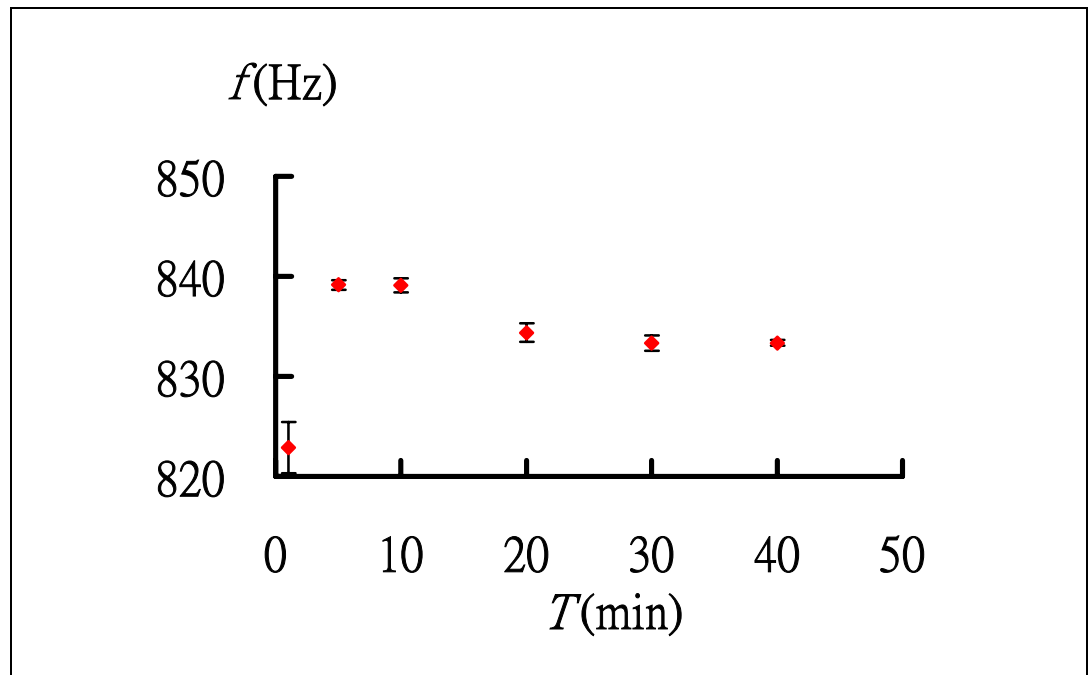


Fig.2 Frequency versus time for Coke.

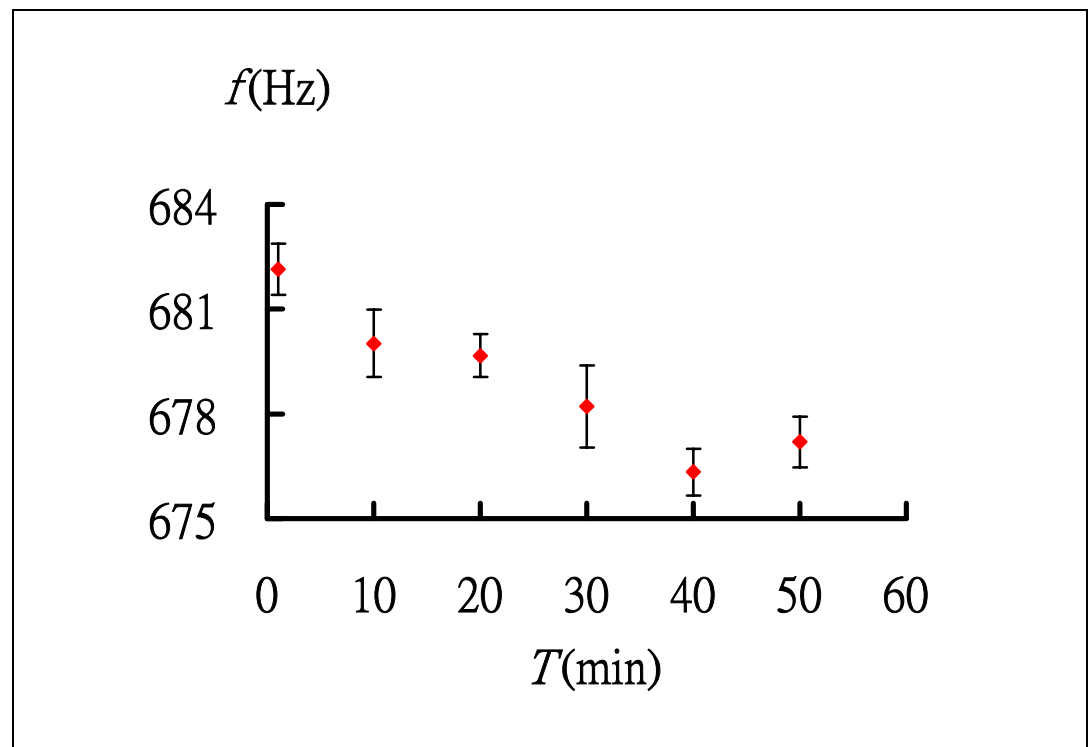


Fig.3 Frequency versus time for Root Beer.

3. Effects of the extra air bubbles generated by the added salt (Fig. 4):
- (a) Bubbles in the bulk fluid increase the frequency.
 - (b) The foam on the surface lowers the frequency.

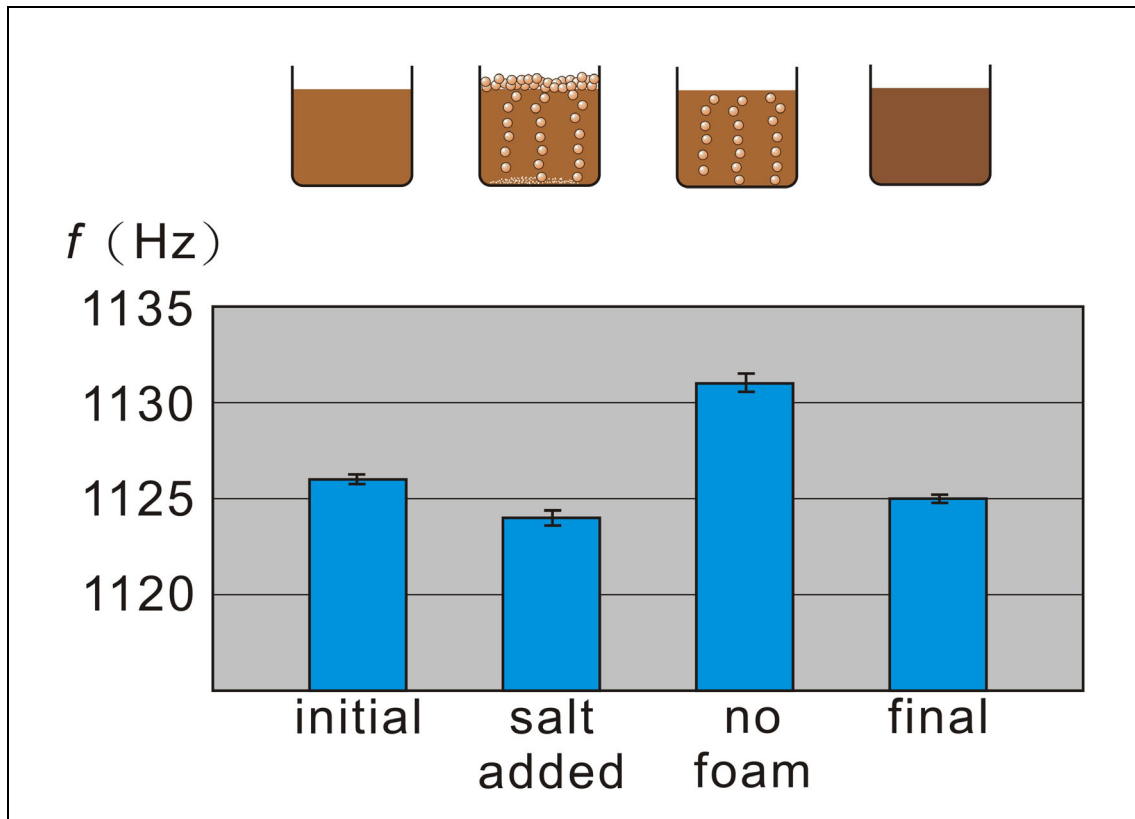


Fig.4 Frequency change when salt is added into Root Beer.

4. Controlled experiments:

Frequency shift Δf versus size of the bubble generator:

- (a) $\Delta f \searrow$ as $R \nearrow$ if the bubble generator is placed near the bottom. (Fig. 5)
- (b) $\Delta f \nearrow$ as $R \nearrow$ if the bubble generator is placed away from the bottom. (Fig. 6)

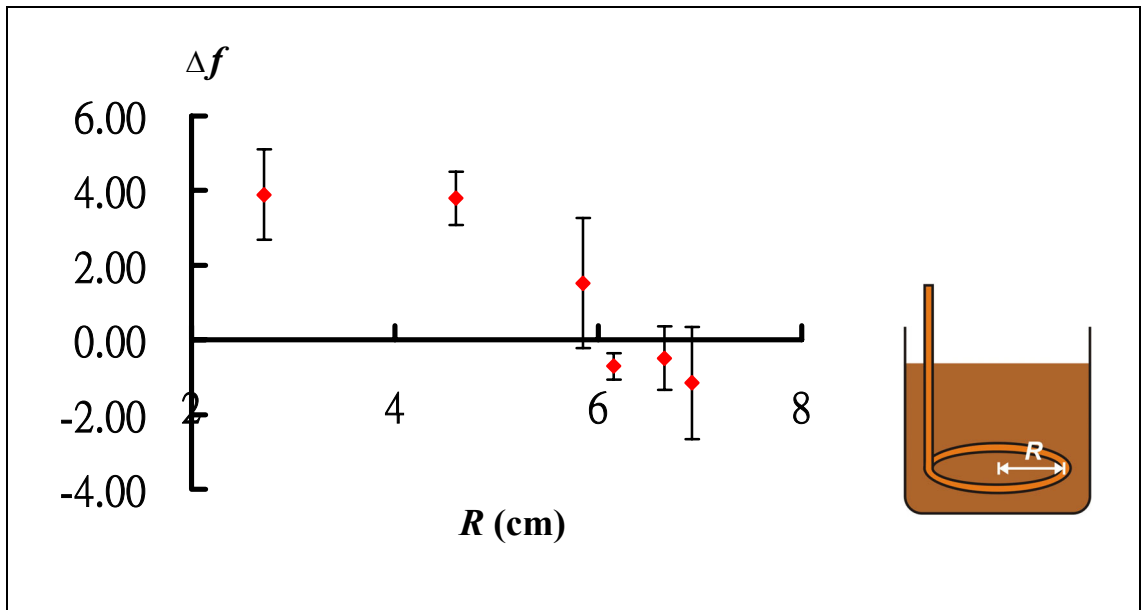


Fig. 5 Frequency shift versus the radius of the bubble generator when it is placed near the bottom.

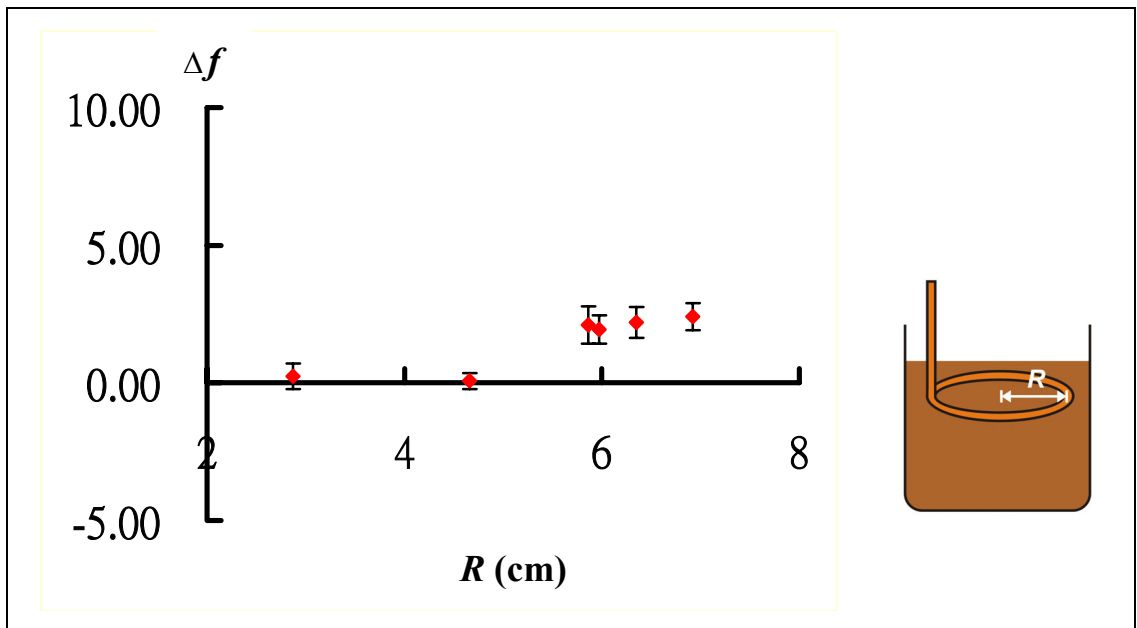


Fig. 6 Frequency shift versus the radius of the bubble generator when it is placed away from the bottom.

- (c) $f \nearrow$ as air flow rate \nearrow , provided the surface is not significantly disturbed.
- (d) $f \searrow$ if the surface is significantly disturbed by the gushing bubbles. (Fig. 7)

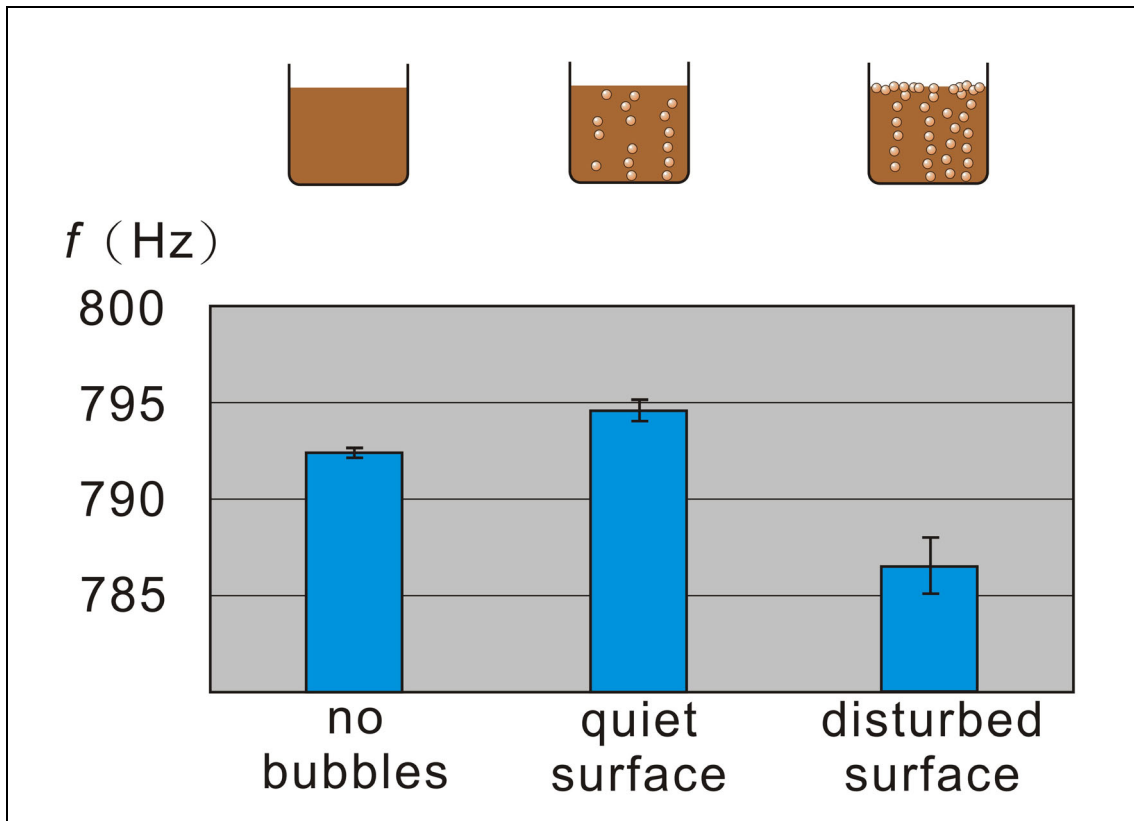


Fig. 7 Surface disturbance decreases frequency.

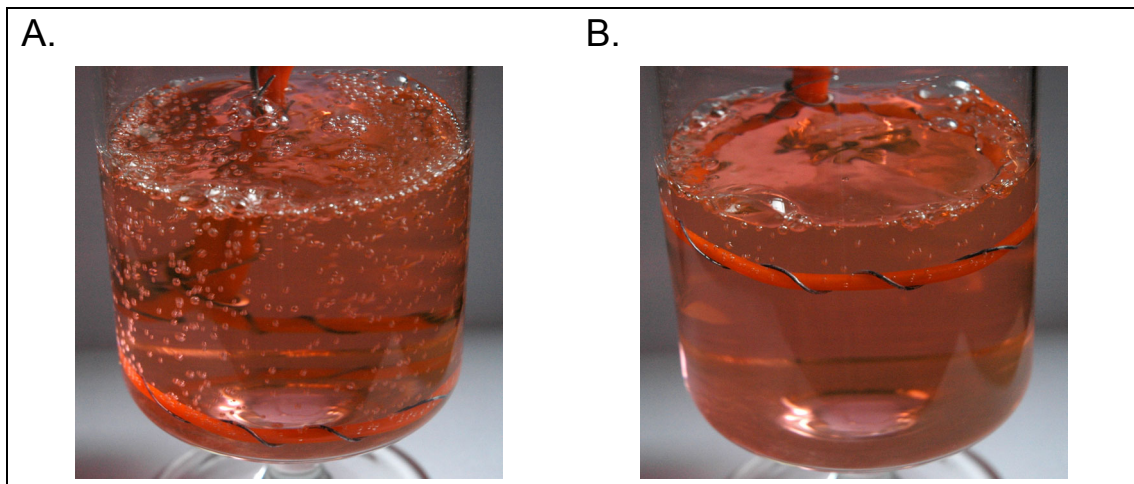


Fig.8 : Effects of location bubble generator

- (A) Bubble generator is placed near the bottom, bubbles linger around on the surface.
- (B) Bubble generator is placed higher, much less bubbles on the surface.

(e) Features noticed:

Bubbles linger around on the surface for (i) (Fig. 8A) ; but there are much less bubbles on the surface for (ii). (Fig. 8B)

5. Effects of pure foam:
 $f \nearrow$ as foam amount \searrow . (Fig. 9)
6. For Malt (nonalcoholic beer): (Fig. 10)

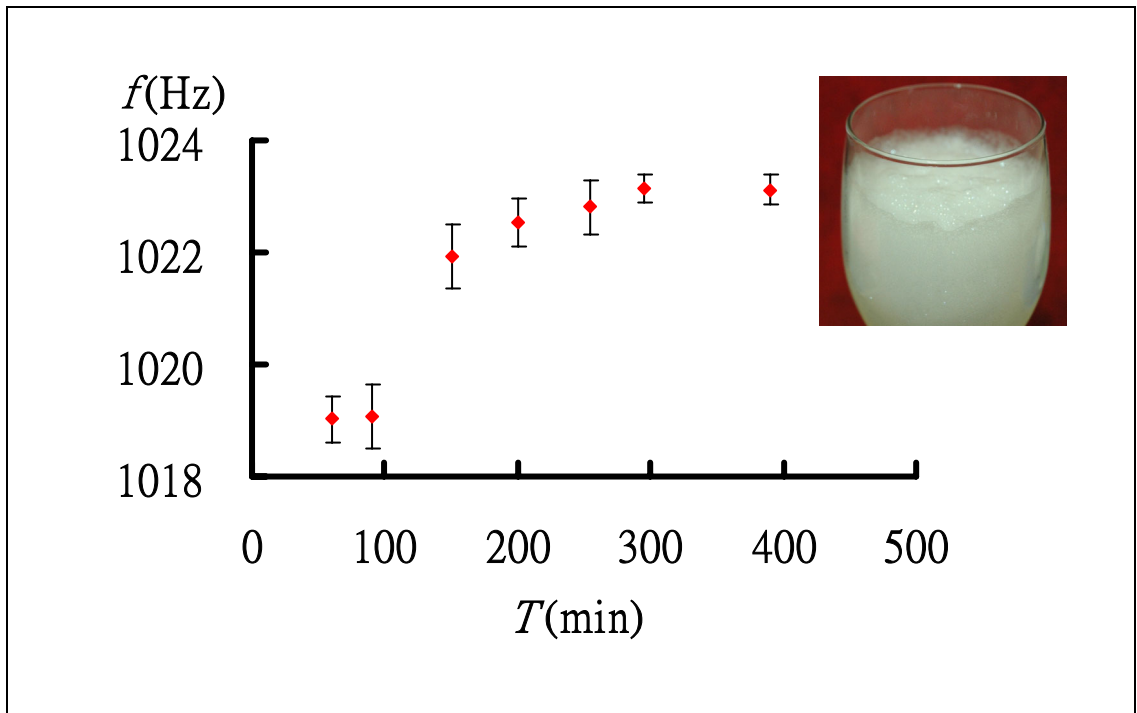


Fig. 9 The frequency increases as time proceeds.
 (= amount of foam becomes smaller).

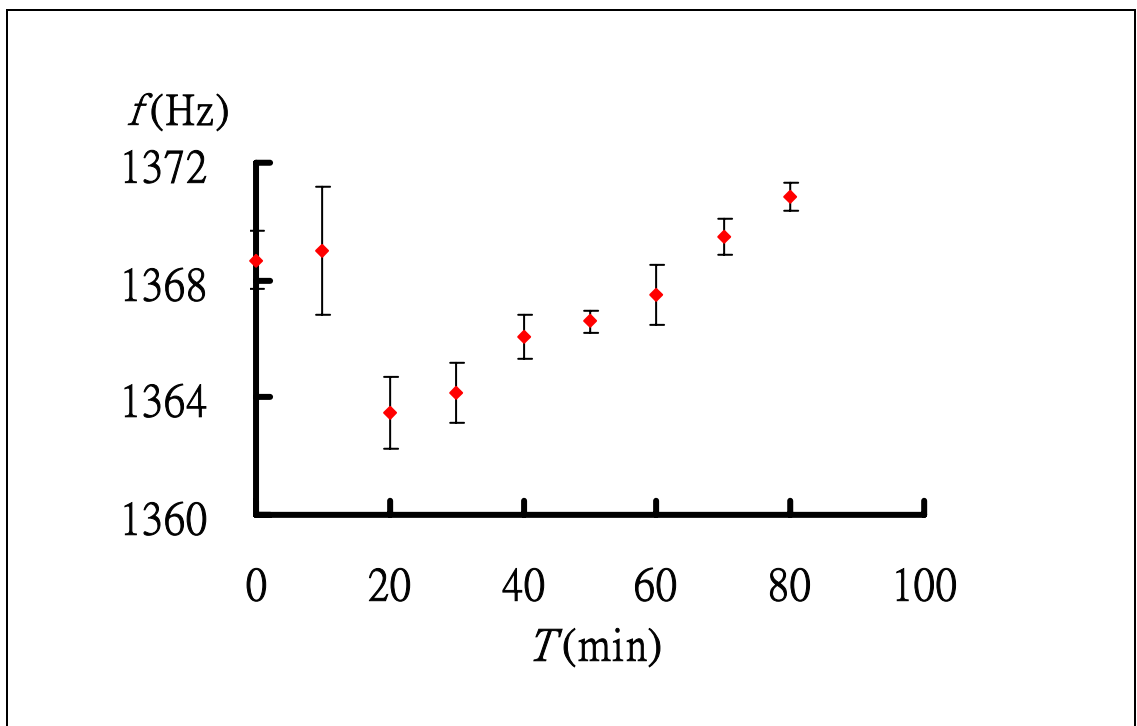


Fig. 10 Frequency versus time for Malt.

Discussion

1. We have used two independent methods to investigate the effects of bubbles and foam on the frequency, using a bubble generator or by adding salt to the soft drinks.
2. The vibration frequency increases when bubbles are present in the liquid. However, this effect can be masked by an opposing effect coming from the disturbed surface: When foams are formed on the surface or the surface is not quiet, the observed frequency tends to become lower.
3. It is not always possible to generate a sound when there are foams on the surface.
4. A simple theoretical explanation for the effect of air bubbles:
 - (a) There is an exact analogy between the pressure P in the fluid and the potential ϕ in electrostatics: Both $-\nabla P$ and $-\nabla \phi$ represent the force experienced by a unit volume of material.
 - (b) An air bubble experiences a higher acceleration compared with a fluid element when a pressure gradient is present, because it has a smaller density.
 - (c) The “overshooting” bubble creates a dipole pressure field to partially counteract the driving pressure. The bubble overshoots compared to the fluid. The extra space left behind must be filled by the fluid. The “back” of the bubble must experience a slightly lower pressure. The “front” of the bubble is then a high pressure region. This then generates a dipole pressure field.
 - (d) A slightly decreased pressure means the glass will vibrate at a higher frequency.
5. Our results invalidate a previous theory proposed in a popular book (Ref. 3), which ascribes the lowering of the frequency of beer to the decrease of the effective sound speed due to the presence of air bubbles in the beer:
 - (a) The frequency does not change monotonically with time.
 - (b) The frequency shift is due to the competition between the bubbles in the bulk and the foam on the surface: They switch relative importance as time proceeds.

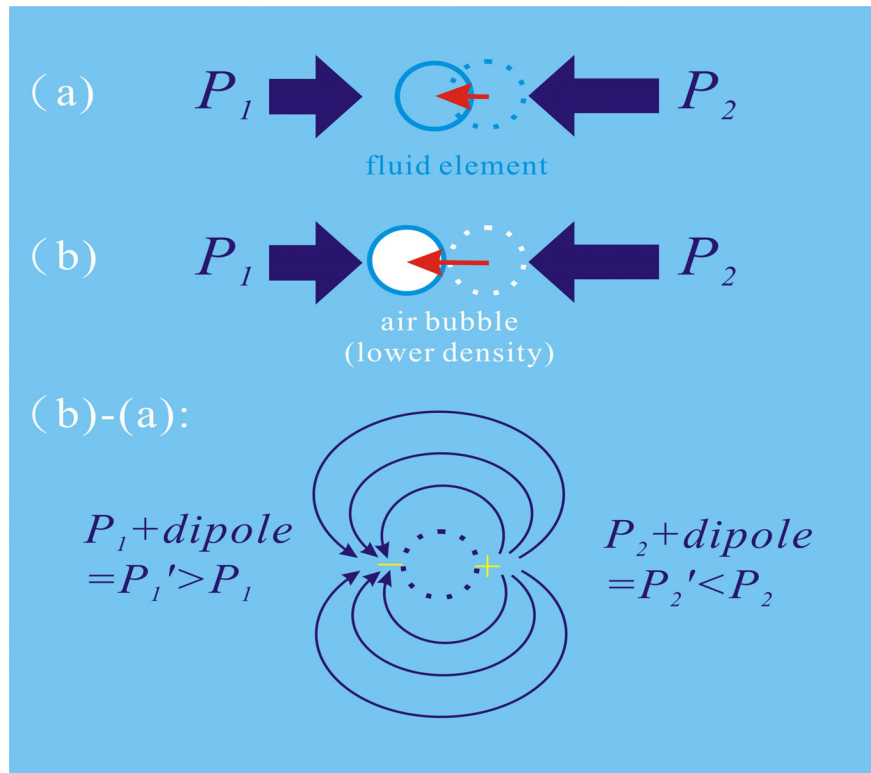


Fig.11 The overshooting bubble creates a dipole pressure field and lowers the pressure gradient.

Conclusions

All of our experimental results are fully consistent with the above conclusion.

1. The vibration frequency of the container increases when bubbles are present in the bulk fluid (Fig. 12A).
2. The foam on the surface of the liquid lowers the vibration frequency (Fig. 12B).

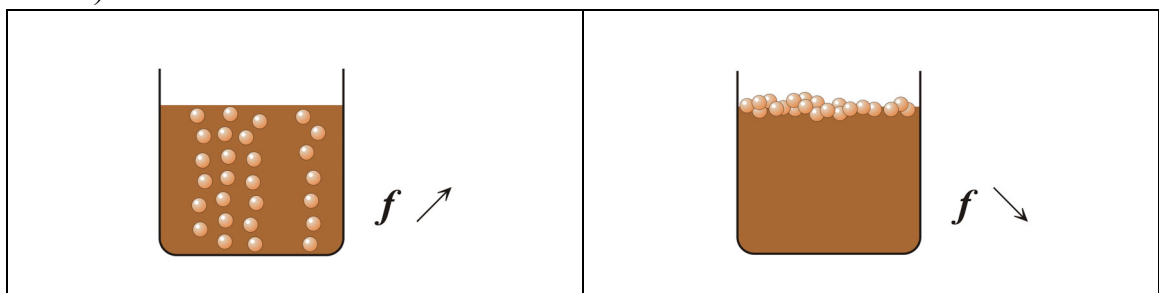


Fig. 12A

Bubbles increase the frequency.

Fig. 12B

Foam decreases the frequency.

It is the difference in the two competing factors that tell Coke and Root Beer apart in the experiment.

References

1. C. A. Culver, Musical Acoustics, Fourth Edition, p. 238 and 244, McGraw-Hill Book Company, 1956.
2. N. H. Fletcher and T. D. Rossing, The Physics of Musical Instruments, Springer Verlag New York Inc., p. 577f, 1991.
3. J. Walker, The Flying Circus of Physics, John Wiley & Sons, Inc., p.6 and 226, 1977.
4. K.W. Chen et al, Europh. Lett. 70 p. 334-340(2005)

(All the photos are taken by the author)

評語

優點：探討杯子敲擊與摩擦杯緣時，物體振動時的頻率與內裝液體性質與氣泡之關係，觀測到部分現象甚為生活化並與直覺有所差距，可釐清物理認知。

缺點：量化與深入性物理機制探討不足太偏現象化觀察，此點宜改進。