

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

030118

沉沒的寶藏

學校名稱：雲林縣私立永年高級中學

作者： 國二 林柏均 國二 陳維勗	指導老師： 吳志文
---------------------------------	------------------

關鍵詞：浮沉子、壓力、波以耳定律

沉沒的寶藏

摘要

本研究從浮沉子這項玩具出發，藉由了解控制浮沉子升降的因素，探討如何製作浮沉子以使其可更省力操作。我們發現藉由增加浮沉子負重，可更容易控制其浮沉。

此外，我們根據波以耳定律改良浮沉子，設計出簡單但有效的壓力計，可測量寶特瓶內壓力。

以設計的壓力計測量寶特瓶耐壓程度，測試過的寶特瓶中，最高在壓力達 8 個大氣壓力左右時仍未破裂。

施予寶特瓶相同外力時，不同品牌寶特瓶內產生之壓力亦不同。根據本研究的分析推論是：某些寶特瓶可能因其特殊設計而較能將受壓處外力分散到周圍的瓶壁，因此可讓受力面積增大而減小瓶內壓力，這種寶特瓶在遭受局部劇烈撞擊時，可能可承受較大外力。

壹、前言(含研究動機、目的、文獻回顧)

一. 研究動機:

理化老師曾在課堂上教我們做浮沉子實驗(圖1)，但發現很多同學的浮沉子要不是浮不起來，就是沉不下去，或是要很用力壓才能使其沉下去，因此我們想藉由本實驗探討如何製作較省力的浮沉子。



此外在實驗過程中我們觀察到壓力越大，浮沉子吸管中空氣體積便愈小，經請教老師，老師叫我們上網查「波以耳定律」，於是知道這是波以耳定律描述的現象，也就是說：**在定溫下，定量氣體體積和壓力成反比。**

在實驗中我們也觀察到：雖然浮沉子吸管中空氣體積不同，但在受到相同壓力時，體積縮小的比例大約是相同的，因此我們推論吸管中空氣越多，則在相同的體積縮小比例下，其體積變化量較大，也因此使浮力變化較大，能使浮沉子在較小壓力下即可下沉，因此我們設計【**實驗一**】來證實這個推論。

另外，我們根據「波以耳定律」來改造浮沉子，設計了簡單而有效的壓力計，可測量寶特瓶內壓力(【**實驗二**】)，而且我們回過頭來，將此壓力計應用在【**實驗一**】測量壓力，驗證我們在【**實驗一**】的推論。

此外，看到班上資源回收桶內有很多寶特瓶，我們也想到可用此壓力計來測試各種不同品牌飲料寶特瓶的耐壓程度(【**實驗三**】)。

※**相關國中課程教學單元**：國中理化：壓力、帕斯卡原理、浮力原理。

二.實驗目的:

- (一)研究如何能使浮沉子更省力地操作。
- (二)設計自製壓力計
- (三)測試寶特瓶耐壓程度。

三.文獻回顧：

關於浮沉子這項很多人熟知的簡單科學玩具，其原理很簡單，網路上相關文章也非常多，因此不再此一一贅述。

貳、研究設備及器材

寶特瓶(多種不同廠牌)、吸管、迴紋針、C形夾(圖2)、雙面膠、剪刀、尺、臉盆。



參、研究過程與方法

一.原理簡介：

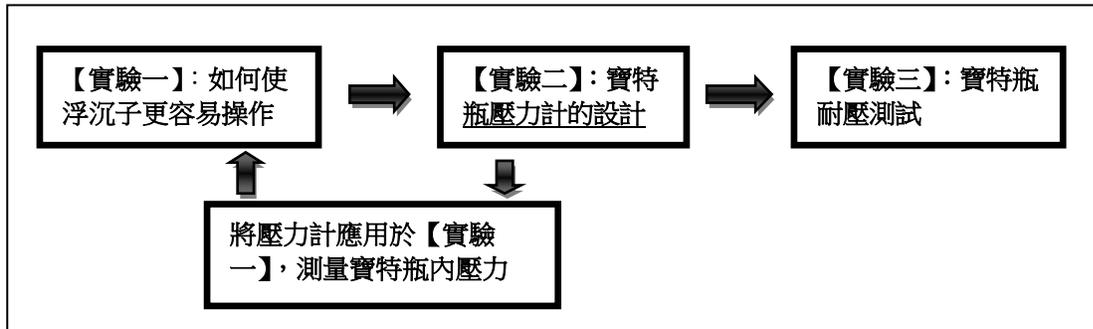
浮沉子是利用帕斯卡原理，用力壓寶特瓶時，壓力會傳至瓶內別著迴紋針的吸管中，使吸管内空氣體積減少(這是波以耳定律描述的現象)，因而排開的水量減少，使吸管所受浮力減少，而導致吸管下沉。如果將壓力解除，則吸管内空氣又因體積膨脹而使浮力增加，此時吸管又上浮。

二.研究過程與方法：

我們研究的發展過程可以下頁流程图簡單表示：

一開始我們想讓浮沉子較容易操作(【實驗一】)，在仔細觀察浮沉子後我們利用波以耳定律設計了吸管壓力計(【實驗二】)，於是我們回過頭來將壓力計應用在【實驗一】。最後我們用吸管壓力計來測量寶特瓶的耐壓程度(【實驗三】)。

流程圖：



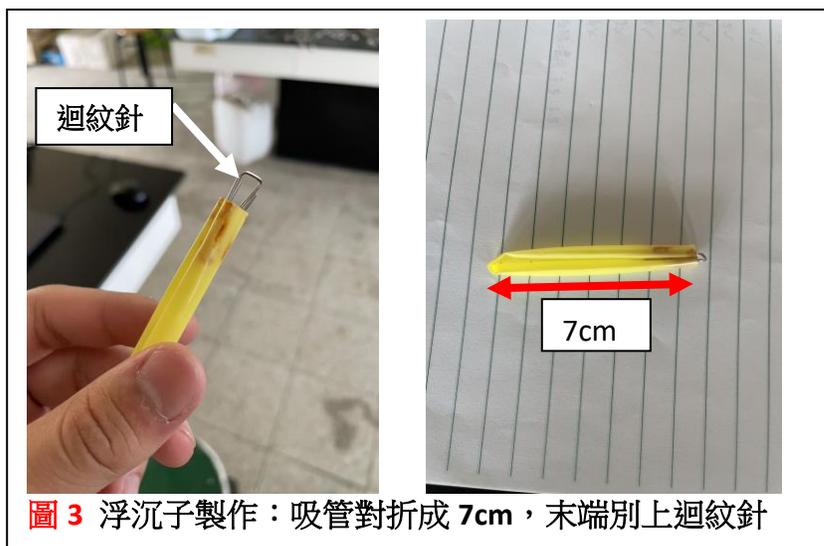
(一)【實驗一】：研究如何能使浮沉子更省力地操作？

1. 實驗設計：

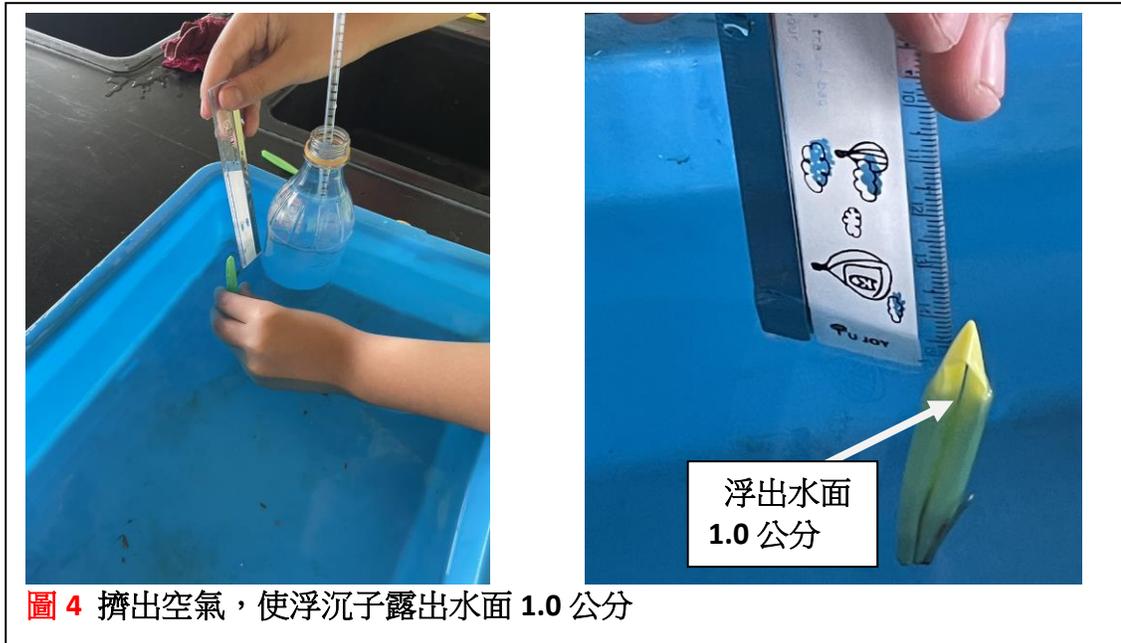
- (1) 操作變因：浮沉子所夾迴紋針數目，亦即代表浮沉子之負重。
- (2) 控制變因：浮沉子一開始浮出水面的高度 (1.0公分)，這代表要使負重不同的浮沉子下沉，所需要減少的浮力皆相同。
- (3) 應變變因：要使浮沉子下沉所需壓力。(說明：原本我們想簡單地以「用手壓的難易程度」來做為應變變因，但因用手的感覺來做測量壓力並不精準，也不科學，剛好後來我們在【實驗二】設計出壓力計，所以正好用來在此實驗測量壓力。)

2. 實驗步驟：

- (1)將吸管對折，剪成7公分長，底部夾1支迴紋針，製作成一個浮沉子，並測量其重量(圖3)



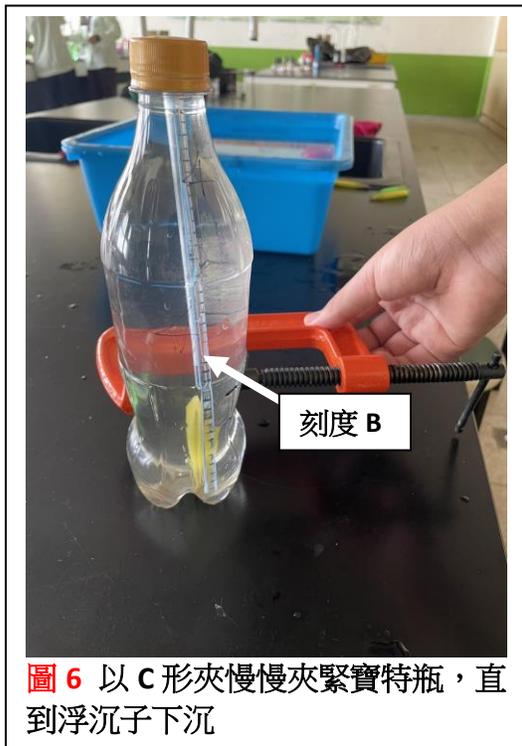
(2)將浮沉子放入裝水的盆中，擠出空氣直到吸管露出水面高度為1.0 cm為止。(圖4)



(3)將浮沉子和壓力計吸管一起放入裝滿水的寶特瓶中，並記錄壓力計吸管中的空氣底部所在刻度A(圖5)。(註：關於壓力計吸管，其原理和構造請詳見後面【實驗二】)



(4)以C形夾慢慢夾緊寶特瓶，以提高瓶內壓力(圖6)，直到浮沉子下沉，紀錄此時壓力計吸管中空氣底部所在**刻度B**。

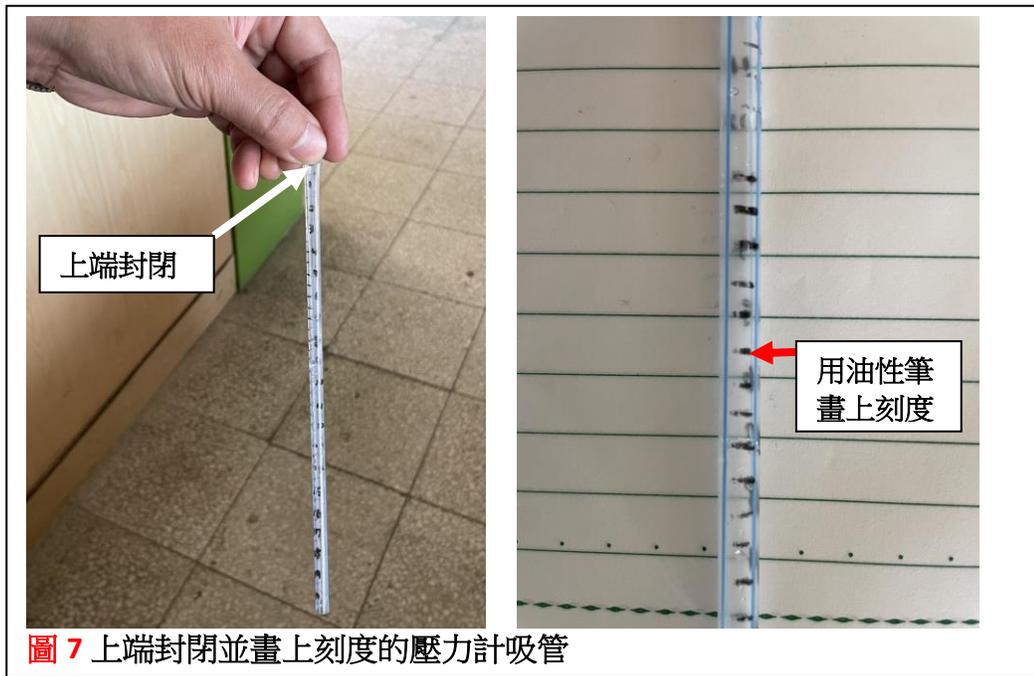


- (5)由**刻度A**和**刻度B**計算受壓後寶特瓶內壓力。(如何由**刻度A**和**刻度B**計算出瓶內壓力，請詳見後面【實驗二】)
- (6)將浮沉子取出，再多夾一支迴紋針(亦即增加浮沉子負重)，並再重複步驟(2)~(5)。
- (7)每次做完後都再增加一支迴紋針，逐漸增加浮沉子負重，並再重複步驟(2)~(5)，直到浮沉子夾到5支迴紋針為止。(因吸管口不太大，夾到5支迴紋針後就無法再增加了)
- (8)紀錄迴紋針數目與浮沉子重量，以及其相對應的壓力大小，並做成圖表。

(二)【實驗二】：寶特瓶吸管壓力計的設計

1. 實驗設計與步驟：

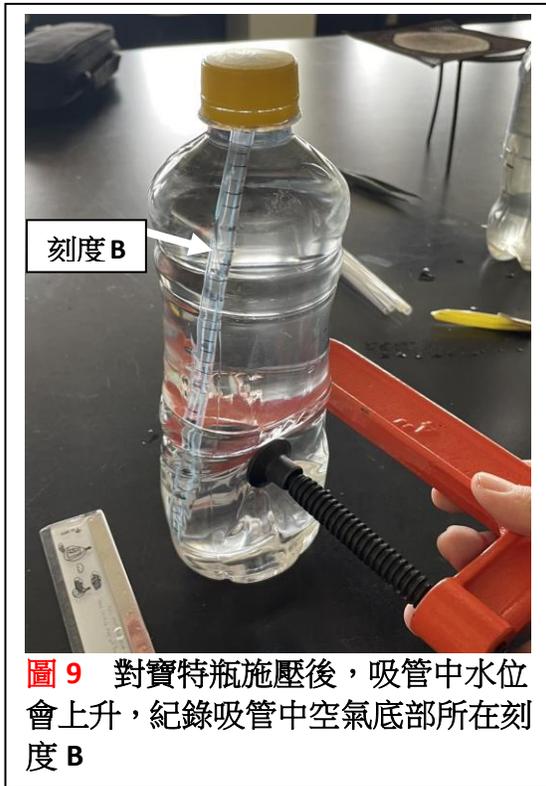
- (1)將一根約20cm長的吸管一端封閉(需封到不透氣，可用雙面膠黏或用打火機燒熔黏住)。
- (2)在吸管上以細油性筆由封閉端開始每隔0.5cm畫一條刻度,直到把整根吸管畫滿為止，這樣就做成一支壓力計吸管(圖7)。



(3)將此吸管開口端朝下放入裝滿水的透明寶特瓶，鎖緊瓶蓋，即為一簡易壓力計(圖8)。



(4)量測寶特瓶所受壓力時，只需紀錄未施壓前吸管中空氣底部所在**刻度 A(圖8)**，對寶特瓶以C形夾施力後，吸管中水位會上升，此時再紀錄吸管中空氣底部所在**刻度 B(圖9)**。



(5)計算(A / B)之比值，即為瓶內壓力，單位為大氣壓(atm)。

※ **壓力計原理說明：**

刻度 A 和 **刻度 B** 的長度正比於吸管内對應的空氣體積

亦即 $A : B = (\text{未施壓前管内空氣體積}) : (\text{受壓後管内空氣體積})$

故根據波以耳定律：

$A : B = (\text{施壓後瓶內壓力}) : (\text{未施壓前瓶內壓力})$

而未施壓前瓶內壓力為 1大氣壓(1atm)，故受壓後瓶內壓力為大氣壓力的(A / B)倍，如此便測得瓶內壓力。

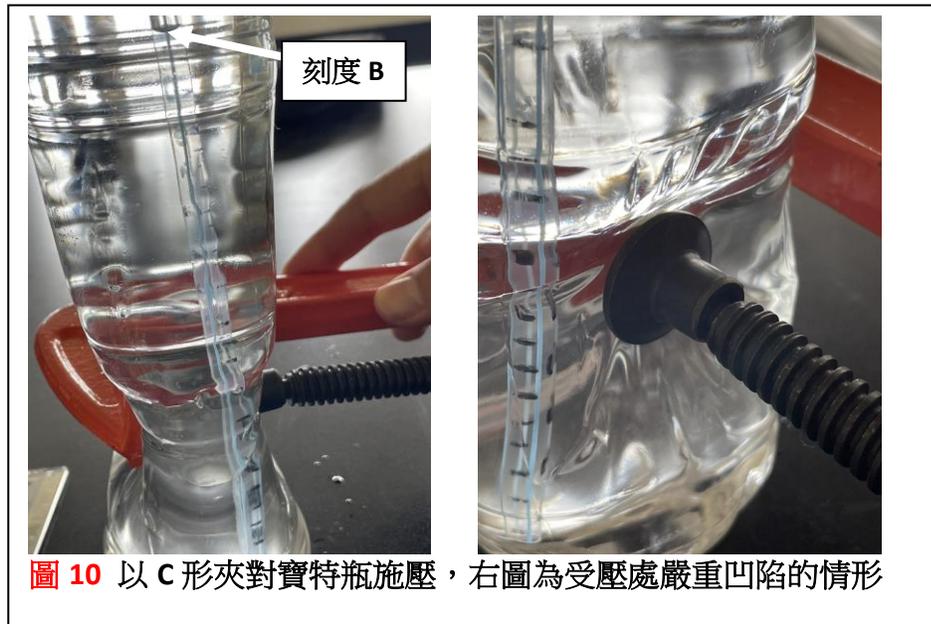
(瓶內水深約只有20cm，故水壓遠小於大氣壓力，可予以忽略)

(三) 【實驗三】：寶特瓶耐壓測試

1. 實驗步驟：

- (1)將【實驗二】中已畫上刻度的壓力計吸管放入裝滿水的寶特瓶中，鎖緊瓶蓋並記錄此時吸管中空氣底部所在**刻度A**。
- (2)用C形夾夾住寶特瓶上部約三分之一處，逐漸將C形夾旋緊以增大壓力，觀察記錄吸管中空氣底部所在刻度，在C形夾逐漸變緊時，每將C形夾把手旋轉半圈便觀察一次刻度。

(圖10)



- (3)取寶特瓶被 C形夾壓破之前最後一次所記錄的吸管中空氣底部所在**刻度B**，則根據【實驗二】之原理，寶特瓶的耐壓程度即大約為 (A/B) 個大氣壓力。

若寶特瓶在 C形夾把手轉緊到無法再轉時仍未破裂，則記錄此時**刻度B**，並計算瓶內壓力。重複此步驟3次，取3次測得壓力平均。(此步驟由同一個同學操作，以保持C形夾把手轉緊到無法再轉時，施力大約都是相同的)

- (4)分別在寶特瓶的中間部位及下部重複上述步驟，以比較在寶特瓶不同部位(上部、中部、下部)產生的壓力大小的差異。
- (5)更換不同品牌飲料的寶特瓶，重複上述步驟。

肆、研究結果與討論

一.【實驗一】：研究如何能使浮沉子更省力地操作？

(一)實驗結果：

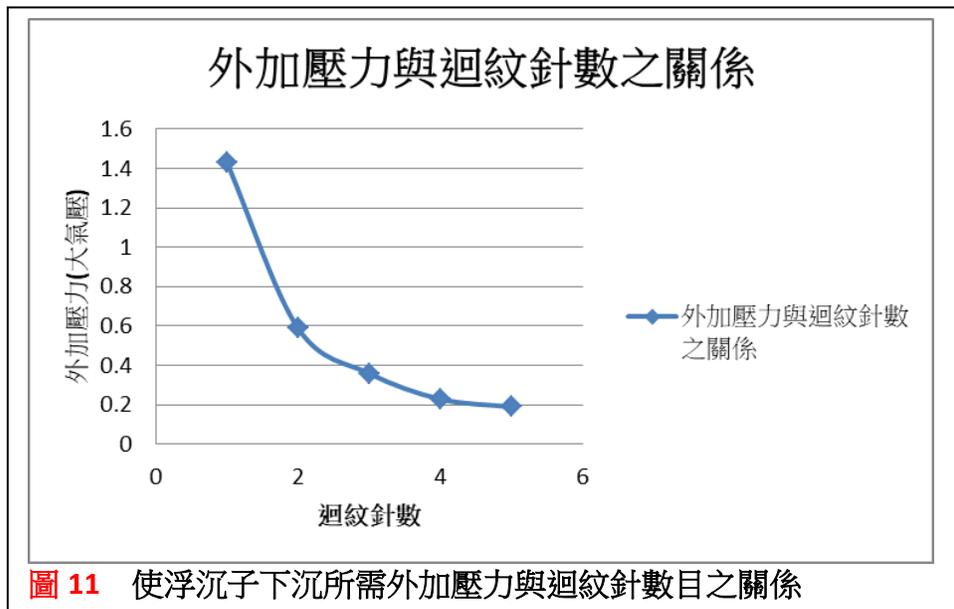
實驗結果如下表(表1)：

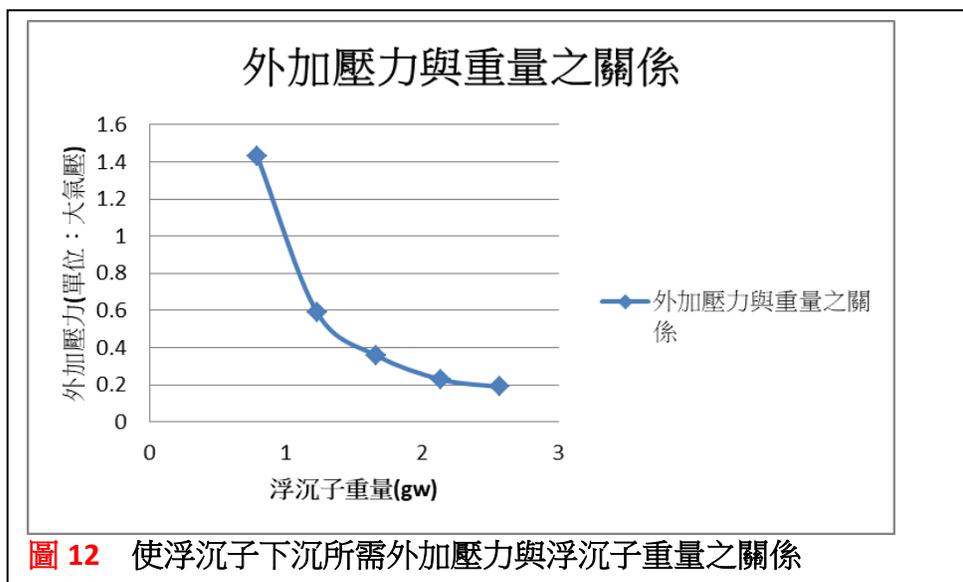
表 1 【實驗一】結果：

浮沉子所夾迴紋針數	浮沉子(吸管加迴紋針)重量(gw)	刻度 A 長度 (cm)(未施壓前)	刻度 B 長度 (cm)(施壓後)	使浮沉子下沉所需外加壓力=(A/B)－1 (單位：大氣壓)
1	0.79	19.2	7.9	1.43
2	1.23	19.9	12.5	0.59
3	1.66	19.7	14.5	0.36
4	2.14	20.2	16.4	0.23
5	2.57	20.1	16.9	0.19

註：瓶內壓力需減去瓶外的1大氣壓，才是所施加的外加壓力。

我們將結果數據畫成下圖：(圖11、圖12)





(二)討論：

- 1.根據實驗結果，確實如我們一開始的推論：所夾的迴紋針越多，則浮沉子越重，所需要使其下沉的外加壓力就越小，在操作時越能省力，但是在迴紋針數目增多時，壓力差別明顯減少，這是因為在迴紋針數目較多時，多一根迴紋針使浮沉子中空氣增加一樣多體積，但是體積增加比例卻較迴紋針數少時為小，這導致所需的壓力雖減少，但壓力減少的幅度較迴紋針數較少時為小。

圖11和圖12並無明顯差別，因為吸管的部分很輕，所以浮沉子重量大約正比於所夾的迴紋針數，故兩者圖形曲線很接近。

- 2.根據實驗確定上述結果後，我們便可以如下解釋這個現象：

雖然浮沉子吸管中的空氣體積不同，但根據波以耳定律，在壓力增加量相同時，體積縮小的比例是相同的。因此浮沉子中空氣越多，則在相同的體積縮小比例下，其體積變化量越大，也因此使浮力變化越大。

所以浮沉子中空氣越多，則能在越小外加壓力下即可減少足夠多的浮力而下沉，而要使浮沉子中保留的空氣越多，則需增加其負重，亦即增加夾上去的迴紋針數目。

二.【實驗二】：寶特瓶吸管壓力計的設計

(一)實驗結果與討論：

以我們買的C形夾來測試所設計的壓力計，在實驗中測到的最高壓力大約可達 8 個大氣壓。以我們所做的其中一次測試結果來作說明如下：

在一大氣壓下(無外加施力時)，壓力計吸管空氣柱長為20.1公分(刻度A)，再以C形夾將寶特瓶夾緊到把手無法再轉動為止，此時壓力計吸管空氣柱長度縮短為2.5公分(刻度B)，故根據波以耳定律，瓶中壓力約為 $(20.1 / 2.5) \approx 8.0$ 大氣壓。

但是使用不同品牌寶特瓶，所能測量的最大壓力也有所不同，這一點在【實驗三】有詳細討論。

三.【實驗三】：寶特瓶耐壓測試：

(一)實驗結果：

原本我們預期能用C形夾壓破寶特瓶來測量寶特瓶所能承受的最大壓力，但出乎意料之外，在多種飲料品牌寶特瓶中我們只壓破了一個，壓破前的壓力大約為4.4個大氣壓(見下表2註2說明)，其他寶特瓶在我們將其夾緊到C形夾的把手無法再轉動時，都還沒破掉。

本來我們想找一個更有力的夾子再做一次，但找了三家五金行並未看到更合適的夾子。所以我們只列出將各品牌寶特瓶夾緊到C形夾把手無法再轉動時，所測得的最大壓力。(下頁表2)

表2：各品牌寶特瓶夾緊到C形夾把手無法再轉動時所測得的最大壓力

(各項代表意義請見表下方之註明)

	寶特瓶上部				寶特瓶中部				寶特瓶下部				備註
	A (註)	B	壓力	壓力 平均	A	B	壓力	壓力 平均	A	B	壓力	壓力 平均	
品牌1	20.0	5.6	3.6	3.5	20.3	4.9	4.1	4.1	20.2	5.2	3.9	3.8	整體壓力小， 上中下壓力一致
	20.3	6.4	3.2		20.6	5.1	4.0		20.2	4.9	3.9		
	20.4	5.4	3.8		20.4	4.8	4.3		20.4	5.5	3.7		
品牌2	20.5	6.1	3.4	3.3	20.3	5.6	3.6	3.5	20.1	6.1	3.3	3.4	整體壓力最小 且上中下最一致
	20.3	6.4	3.2		20.3	5.6	3.6		20.0	5.6	3.6		
	20.3	6.2	3.3		20.1	6.1	3.3		20.1	6.0	3.4		
品牌3	19.9	3.5	5.7	6.1	20.1	3.4	5.9	5.5	19.9	4.0	5.0	5.1	
	19.9	3.4	5.9		20.2	3.8	5.3		19.9	3.8	5.2		
	20.0	3.0	6.7		20.2	3.9	5.2		20.0	4.0	5.0		
品牌4	19.2	3.0	6.4	6.6	19.3	2.8	6.9	6.9	20.0	2.6	7.7	7.8	下部壓力比上 部和中部明顯 較大
	19.5	2.7	7.2		19.6	2.7	7.3		19.5	2.5	7.8		
	19.6	3.1	6.3		19.3	3.0	6.4		20.1	2.5	8.0		
品牌5	20.3	3.9	5.2	4.7	19.9	3.9	5.1	4.9	20.0	3.9	5.1	5.1	上中下壓力一 致
	20.0	4.4	4.5		19.8	4.2	4.7		20.3	4.0	5.1		
	20.0	4.6	4.3		19.6	3.9	5.0		20.0	4.0	5.0		
品牌6	19.9	4.3	4.6	4.8	20.0	4.2	4.8	5.0	19.9	3.3	6.0	5.6	
	20.2	4.2	4.8		20.0	3.8	5.3		20.1	3.7	5.4		
	20.0	4.0	5.0		20.1	4.0	5.0		20.0	3.8	5.3		
品牌7	17.2	3.3	5.2	5.0	17.1	2.0	8.5	8.3	17.0	2.3	7.4	8.0	上部壓力比中 部和下部小很 多、材質特殊
	17.3	3.6	4.8		17.2	2.4	7.2		16.8	2.0	8.4		
	17.0	3.4	5.0		17.3	1.9	9.1		17.4	2.1	8.3		
品牌8	19.9	4.8	4.1	4.1	19.7	4.2	4.7	4.6	20.0	4.5	4.4	4.4	上中下壓力一 致
	19.9	5.1	3.9		20.0	4.1	4.9		19.8	4.5	4.4		
	20.0	4.7	4.3		20.0	4.6	4.3		19.9	4.4	4.5		
品牌9	19.7	12.5	1.6	1.5	20.0	11.3	1.8	1.7	19.6	11.0	1.8	1.6	瓶蓋漏水，故壓 力偏低 有破裂(註2)
	19.5	13.0	1.5		19.6	13.0	1.5		19.6	13.0	1.5		
	19.5	13.0	1.5		19.7	11.0	1.8		19.5	12.5	1.6		

註：A：代表壓力計的A刻度

B：代表壓力計的B刻度

壓力：為施壓後寶特瓶內壓力，其值為(A/B)，單位為大氣壓力

平均壓力：為三次壓力測量平均

註2：品牌9做了3個瓶子，第1個瓶子破裂，破裂前壓力大約是4.4個大氣壓(刻度A=20.0，刻度B=4.5，(A/B)÷4.4)。第2、3個瓶子瓶蓋漏水導致壓力無法提升，上表中是第2個瓶子的數據。

我們將各品牌寶特瓶在上、中、下部所測得的最大壓力平均做成下面 **表3**：

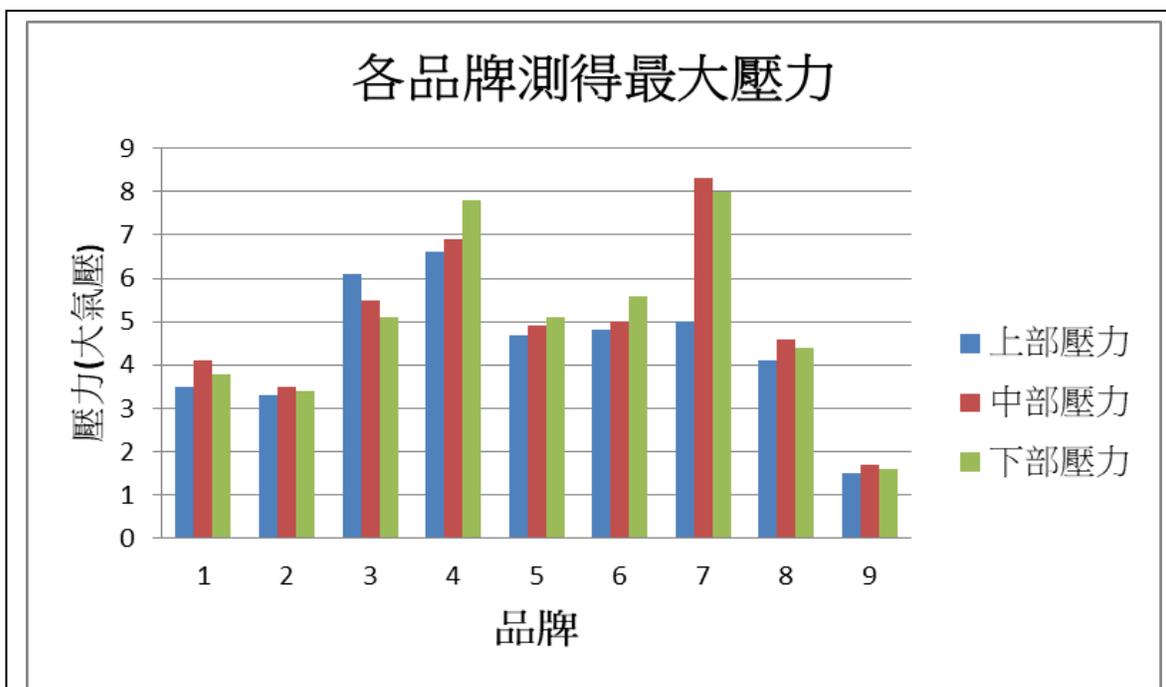


表 3 各品牌寶特瓶上、中、下部測得最大壓力

註：品牌 9 測得壓力最小是因瓶蓋漏水，而使壓力無法提升

(二)討論：

1. 原本我們以為可以用C形夾把寶特瓶夾破，但是出乎意料之外，只夾破了一個瓶子(品牌9)，夾破前瓶內的壓力大約達4.4個大氣壓。而在所有數據中測得之最大壓力達到8.4個大氣壓，而且C形夾夾到轉不動時，寶特瓶皆已變形得很嚴重。根據以上實驗結果，市面上各品牌寶特瓶顯然都有一定程度的耐壓能力。

2. 另一個意外的發現是：

當我們把寶特瓶夾緊到C形夾把手無法再轉動時，此時各個品牌寶特瓶所測到的壓力大小都不同，最大和最小差距大約有**2.5倍**之多。

當C形夾把手無法再轉動時(我們由同一個人來進行此操作)，此時C形夾施給寶特瓶的外力大小大約是相同的，但是不同的寶特瓶卻在瓶內卻產生不同大小的壓力。

3. 為解決上述問題，我們觀察比較壓力最小的**品牌2**和壓力次小的**品牌1**，以及壓力最高的**品牌4**和壓力次高的**品牌3**，結果發現兩組瓶子的厚度差不多，但差別在於壓力小的**品牌2**和**品牌1**在瓶身上有較多的凹凸不平的紋路設計，而壓力大的**品牌4**和**品牌3**在瓶身設計上就顯得表面較平坦(圖13)。



我們使用的C形夾施力主要來自其施力盤，但不同的瓶子表面受力時分散受力面積的效果不同。這就像是在爛泥地上墊著一塊大木板踩下去，陷下去就不深，因為木板分散受力面積使得壓力減小，但若墊著一塊相同面積的軟布，則分散受力面積的效果就差很多。當C形夾的施力盤壓上去時，有些瓶子的表面像木板，有些瓶子的表面則像軟布，因而產生大小不同的壓力。

若根據我們的數據及觀察來推測，則有可能較多凹凸不平紋路設計的瓶子在受到施力盤擠壓時，分散受力面積的效果較好，使產生的壓力較小。而表面較平坦的瓶子則較容易在受到施力盤擠壓時，較不易分散受力面積而使得產生壓力較大(圖14)。

像**品牌2**這樣的寶特瓶在遭受局部劇烈撞擊時，瓶內產生的壓力較小，可能較能承受較大外力而不破裂。



4. 原本我們也推測寶特瓶的厚度會造成壓力大小差別，但從測量數據無法看出明顯的現象，而且我們無法精確測量瓶子材質厚度，故無法多做推論。

關於厚度這項因素，就所測量的品牌中舉兩例說明：

第一個是**品牌8**，這是所有測試過的品牌中最薄的(我們以手握空瓶來判斷)，但是所測得的最大壓力卻比明顯較厚的品牌3和品牌4來得小(見表三)。

第二例是**品牌9**，其瓶身很薄，我們總共做了3瓶，第一瓶在壓力大約4.4大氣壓時破裂，第2和第3瓶則在用C形夾夾緊時，因瓶蓋處漏水而使壓力無法提升(下頁 圖15)，這原因有可能是其瓶蓋和瓶口本身的設計問題，也可能是因瓶身變形較嚴重，連帶使瓶口附近部位產生變形而無法和瓶蓋密合。在高壓力下，各品牌的瓶蓋頂部都有凸起的現象，但只有品牌9漏水。



寶特瓶可能不要求太大抗壓能力，但是像**品牌9**這樣可能在遭受較劇烈撞擊時瓶蓋無法保持氣密，而威脅到消費者喝的健康，也許製造商該考慮改進這一點。

5. 另外一個比較特別的是**品牌7**，它的材質與其他品牌不太相同，雖然較厚，但是比較軟，這可能是它會產生較大壓力的原因。

它特別的地方在於其上部產生的壓力(5.0大氣壓)比中部(8.3大氣壓)和下部(8.0大氣壓)小很多，其他瓶子各部位的壓力差都沒這麼明顯。觀察其外觀可發現其上部呈圓形拱起狀，且有細小的凹凸起伏紋路，而中部及下部則是平滑的(下頁**圖16**)。

老師建議我們去查「**拱**」這種建築技術，我們才知道原來「**拱**」可以將受力分散到周圍區域而減小局部壓力，而**品牌7**的上部可能就是因其有類似圓拱的形狀，再加上表面有許多凹凸起伏，才導致在受力時產生的壓力比中部和下部小很多。



6. 以上的討論只是就我們只有國中二年級程度的物理知識所做的推論，關於寶特瓶的耐壓程度，牽涉到的因素一定不少，我們只能用手上有的樣本(從回收桶撿來的)以及有限的數據做推論，不足之處一定非常多。

不過市面上的寶特瓶種類可說千千百百種，現有可取到的樣本很多，若對其做深入研究，也許可以找出寶特瓶耐壓的各種因素，而這也可應用在需要高耐壓性的容器設計上。

伍、結論

我們這個研究用到原理其實很簡單，除了波以耳定律外，其他的如壓力、帕斯卡原理、浮力原理都是國中理化內容。甚至我們也是在反覆觀察浮沉子的升降中，體會到波以耳定律所描述的現象(雖然當時我們並不知道有這個定律)。

不過老師說原理越簡單的研究越難做，所以除了佩服發明浮沉子的人之外，我們也想用自己有限的科學知識簡單地做一個粗淺的研究，這是我們第一個練習，不過也發現所謂「做研究」沒當初想像中簡單。

原本在研究結束時我們要把【實驗一】和【實驗二】順序對調，因為這樣似乎比較合乎邏輯，但為了呈現當時我們的思考順序，仍舊照原來順序排列。因為最初我們只想解決【實驗一】的問題，【實驗二】和【實驗三】則是我們在深入思考【實驗一】的問題後所衍生出來的想法。

歸納本研究，有幾個要點：

一.浮沉子負重越大，則用手壓寶特瓶使其下沉時越省力。

很多玩過浮沉子的人可能也可以從經驗發現這一點，但是本研究特點在於能設計出壓力計來實際測量壓力，定量地證實這個現象。

二.簡單地利用波以耳定律設計出壓力計。

雖然波以耳定律並不是國中理化內容，但其實相當容易理解，尤其是在我們觀察浮沉子，親眼看到它所描述的現象之後。

三.根據實驗結果，市面上的寶特瓶皆有一定耐壓能力。

在我們的實驗中，眾多品牌寶特瓶只被C形夾壓破一個。而不同品牌寶特瓶在施給一樣大的外力後，在其瓶內產生的壓力卻不一樣大。

產生較小壓力的寶特瓶，顯然在其設計上較具有「紓壓」效果，較能承受外來局部劇烈撞擊，而根據本研究，其中兩個可能的原因可能是瓶身的凹凸起伏設計，以及瓶子的形狀(比如設計成圓拱形狀)。

關於寶特瓶耐壓能力這個問題牽涉的因素很多，可做為未來更進一步探討的題目。

四.計畫趕不上變化，我們的實驗正是如此，最後的結果其實和原本自己預期的有很大不同。

原本我們只想讓浮沉子較容易操作而已，卻將它改良成可以測壓力的吸管壓力計。而當我們信心滿滿拿著強大的C形夾準備壓爛一堆寶特瓶時，卻發現幾乎一個瓶子也夾不破。不過雖然沒夾破寶特瓶，但卻也因此有意外的發現。

老師也說做實驗總是會遇到預料之外的問題，但又說這也算運氣好，預期之外的事往往是有趣的問題。經過這個研究後真是心有戚戚焉，而我們學到的一件很重要事就是：仔細檢查預料之外的實驗結果，往往會有意外的發現。

陸、參考文獻資料

一.動手玩科學－浮沉子，作者：林松源，取自「新竹市教育電子報」網站

網頁連結：<https://www4.hc.edu.tw/epaper/no81/live2.asp>

二.波以耳定律，作者：葉名倉，取自「科學 Online」網站

網頁連結：<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=4316>

三.拱的美姿與力態，作者：姚忠達，取自「科技大觀園」網站

網頁連結：

<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/c000003/detail?ID=9b196ae5-56bb-4114-b607-2f8d2855a4e9>

【評語】 030118

本作品研究科學實驗常用來展示的浮沉子，同時透過自製壓力計來量測所施加的壓力。相當具有探究與實作的精神。

作品海報

沉沒的寶藏

壹、前言

一. 研究動機：

在課堂上老師曾教我們做**浮沉子**實驗，但許多同學的浮沉子卻要**很用力壓**才能下沉，，因此我們想藉由本實驗探討**如何製作較省力的浮沉子**。

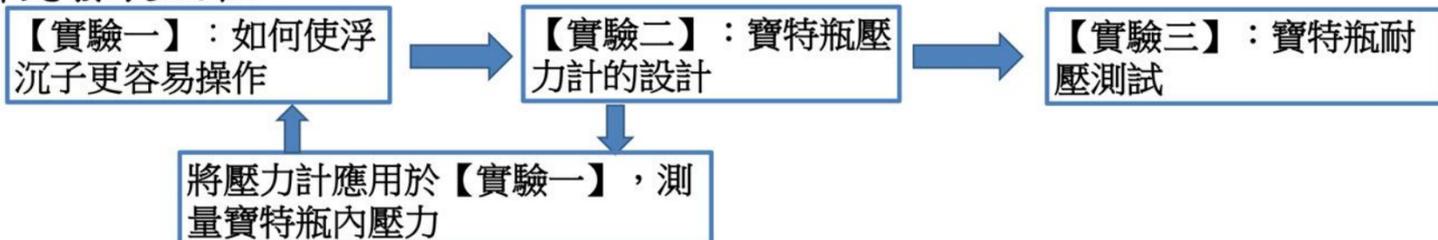
我們觀察到壓力越大，吸管中空氣體積便愈小，後來知道這是波以耳定律描述的現象。於是根據「**波以耳定律**」改造浮沉子，設計了簡單的**壓力計**，可測量寶特瓶內壓力，而同時也想到可用此壓力計來**測試寶特瓶的耐壓程度**。

二. 實驗目的：

- (一)研究如何能使浮沉子更省力地操作。
- (二)設計自製壓力計
- (三)測試寶特瓶耐壓程度。

貳、研究過程與方法

一. 研究發展流程：



二. 研究過程與方法：

(一)【實驗一】：研究如何能使浮沉子更省力地操作？

1. 實驗設計：

- (1)**操作變因**：浮沉子所夾迴紋針數目，亦即代表浮沉子之負重。
- (2)**控制變因**：浮沉子一開始浮出水面的高度 (1.0公分)，這代表要使負重不同的浮沉子下沉，所需要減少的浮力皆相同。
- (3)**應變變因**：要使浮沉子下沉所需壓力。

2. 實驗步驟：

- (1)製作浮沉子，別上一根迴紋針並測量重量
- (2)將浮沉子放入裝水臉盆中，擠出空氣讓吸管露出水面1.0 cm。(圖1)
- (3)將浮沉子和壓力計吸管放入裝滿水寶特瓶內，記錄壓力計吸管空氣底部所在**刻度A**(圖2)。(壓力計吸管詳見【實驗二】)
- (4)以C形夾夾緊，提高瓶內壓力(圖3)直到浮沉子下沉，紀錄**刻度B**。
- (5)由刻度A和刻度B計算**受壓後寶特瓶內壓力**。(詳見【實驗二】)
- (6)逐次**增加迴紋針**，並重複步驟(2)~(5)。紀錄**重量與相對應壓力大小**，並做成圖表。



圖1



圖2

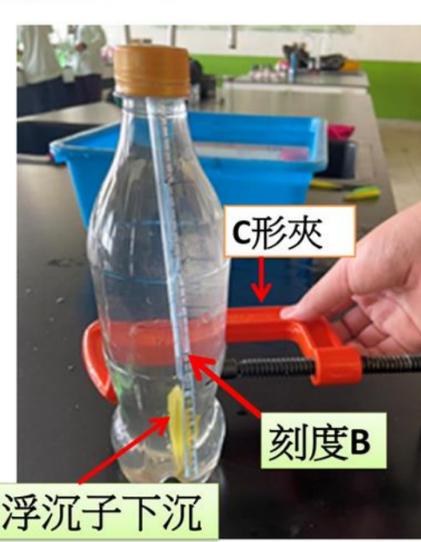


圖3 施壓直到浮沉子下沉

(二)【實驗二】：寶特瓶壓力計的設計

1. 實驗設計與步驟：

- (1)將長吸管一端封閉，在吸管上每0.5cm畫一條刻度，做成一支**壓力計吸管**(圖4)。
- (2)將開口端朝下放入裝滿水的寶特瓶，鎖緊瓶蓋，即為一簡易**壓力計**(圖5)。

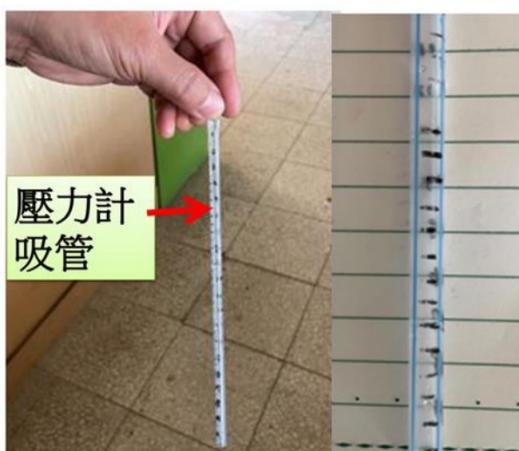


圖4 壓力計吸管



圖5 壓力計整體

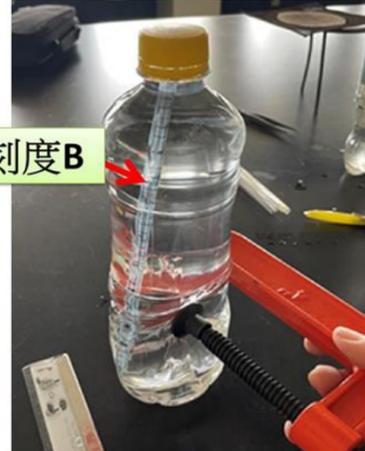


圖6 測量壓力

- (3)量測壓力時，先紀錄未施壓前吸管中空氣底部所在之**刻度 A**(圖5)，施以壓力後吸管中空氣體積縮小，水位上升，再紀錄此時空氣底部所在之**刻度 B**(圖6)
- (4)根據**波以耳定律**，受壓後瓶內壓力即為大氣壓力的(A/B)倍，如此便測得瓶內壓力。

(三)【實驗三】：寶特瓶耐壓測試

1. 實驗設計與步驟：

原本我們的實驗設計是要測量寶特瓶在被C形夾**夾破**前之壓力，此壓力即為其耐壓程度，但是實測發現**無法夾破寶特瓶**，於是將**實驗步驟更改如下**：

- (1)將壓力計吸管放入裝滿水的寶特瓶中，鎖緊瓶蓋，並記錄**刻度A**。
- (2)用C形夾夾住寶特瓶上部，逐漸旋緊以**增大壓力**，直到C形夾把手無法再轉動為止，紀錄此時的**刻度B**(圖7)，根據波以耳定律，瓶內壓力即約為(A/B)個大氣壓力。重複此步驟3次，取3次測得壓力做平均。
- (3)分別在寶特瓶**中部**及**下部**重複上述步驟，比較在不同部位的壓力差異。
- (4)更換**不同品牌**寶特瓶，重複上述步驟。

說明：由同一人來操作C形夾，以確保每一次當C形夾把手無法再轉動時，C形夾給寶特瓶的外力大小大約是相同的。



圖7

參、研究結果與討論

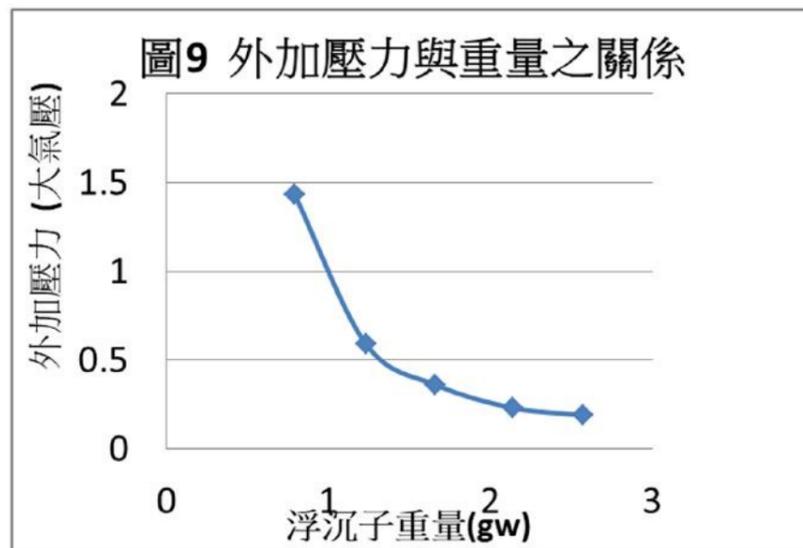
一.【實驗一】：研究如何能使浮沉子更省力地操作？

(一)實驗結果：

浮沉子所夾迴紋針數	浮沉子(吸管加迴紋針)重量(gw)	刻度 A 長度(cm)(未施壓前)	刻度 B 長度(cm)(施壓後)	使浮沉子下沉所需外加壓力=(A/B)-1 (單位：大氣壓)
1	0.79	19.2	7.9	1.43
2	1.23	19.9	12.5	0.59
3	1.66	19.7	14.5	0.36
4	2.14	20.2	16.4	0.23
5	2.57	20.1	16.9	0.19

(二)討論：

1. 實驗結果一如開始的推論：**浮沉子越重，需要使其下沉的外加壓力越小，操作越省力**；但負重較多時，壓力差別減少，這是因負重較大時，增加同樣重量，所增加的空氣比例減少(圖9)。
2. 根據實驗確定結果後，可如下解釋：
由**波以耳定律**，在壓力增加量相同時，氣體體積縮小比例也相同。故浮沉子中**空氣越多**，則在相同體積縮小比例下，其體積變化量越大，也因此使浮力變化越大。而**負重越大可使浮沉子中空氣保留越多**，能在越小外加壓力下即可減少足夠多的浮力而下沉。



二.【實驗二】：寶特瓶吸管壓力計的設計

(一)實驗結果與討論：

根據**波以耳定律**：定量氣體之壓力與體積成反比。我們以其中一次壓力測試結果為例，說明壓力計設計概念：

在**一大氣壓下(無外加施力時)**，壓力計吸管空氣柱長為**20.1公分(刻度A)**，用C形夾將寶特瓶夾緊後，此時瓶內壓力升高，壓力計吸管空氣柱長度縮短為**2.5公分(刻度B)**，故由**波以耳定律**來計算，瓶中壓力約為(A/B)=(20.1/2.5)≐8大氣壓。

三.【實驗三】：寶特瓶耐壓測試：

(一)實驗結果：

1. 原本我們要用C形夾**壓破**寶特瓶來測量寶特瓶所能承受的最大壓力，但在多種飲料品牌寶特瓶中**只壓破了一個**，壓破前的壓力大約為**4.4**個大氣壓，其他寶特瓶在將其夾緊到C形夾的把手無法再轉動時都沒破掉。
2. 各品牌寶特瓶於上、中、下部，在C形夾把手無法再轉動時所測得的最大壓力平均，結果如下頁表2。

(二)討論：

1. 我們只夾破了一個瓶子(**品牌9**)，夾破前瓶內壓力約達**4.4**個大氣壓。而在所有瓶子中測得之最大壓力達**8.4**個大氣壓，且C形夾夾到轉不動時，寶特瓶皆已變形得很嚴重。根據以上結果可知**市面上各品牌寶特瓶顯然都有一定程度的耐壓能力**。

2. 當C形夾施予寶特瓶相同的外力時，不同品牌寶特瓶在瓶內產生的壓力也不同，最大和最小差距大約有2.5倍之多，而**產生愈小壓力的瓶子愈不易因壓力升高而破裂，亦即愈能承受外力。**

觀察比較**壓力較小的品牌2和1**，以及**壓力較高的品牌4和3**，發現兩組瓶子厚度差不多，但**品牌2和1**在瓶身上有較多**凹凸不平的紋路設計**，而**品牌4和3**瓶身較平坦（圖10）。

根據數據及觀察來推測，有較多**凹凸紋路設計**的瓶子在受到外力擠壓時，**分散受力面積的效果較好**，使產生的壓力較小。也較能承受較大外力。

3. 原本推測寶特瓶**厚度**會影響壓力大小，但從數據無法看出明顯跡象，而且因無法精確測量材質厚度，故無法做太深入推論。

關於厚度，以下舉兩例說明：

第一是**品牌8**，是測試的品牌中**最薄的**（以手握空瓶判斷），但其測得壓力卻比明顯較厚的**品牌3**和**品牌4**來得小（見表2）。

第二例是**品牌9**，其瓶身很薄，測試了3瓶，第1瓶在壓力約4.4大氣壓時**破裂**，第2和第3瓶則在夾緊時，因**瓶蓋處漏水**而使壓力無法提升（圖11）。其受壓時瓶身變形較嚴重，漏水原因有可能是其**本身設計問題**，因為在**高壓力下**，各品牌瓶蓋都有**凸起的現象**，但只有**品牌9**漏水。

像**品牌9**這樣的寶特瓶可能在遭受較大外力時瓶蓋無法保持氣密，而威脅到消費者喝的健康。

4. **品牌7**：其**上部**產生的壓力（5.0大氣壓）比中部（8.3大氣壓）和下部（8.0大氣壓）小很多，其他瓶子各部位的壓力差都沒這麼大。觀察其外形可發現其**上部呈圓形拱狀**，且有細小的凹凸紋路，而中部及下部則是平滑的（圖12）。

老師建議我們去查「**拱**」這種建築技術，才知道原來「**拱**」**可以將受力分散到周圍區域而減小壓力**，而**品牌7**的上部可能就是因其有類似圓拱形狀，再加上表面有凹凸紋路，才導致在受力時產生的壓力比中部和下部小很多。

各品牌測得最大壓力

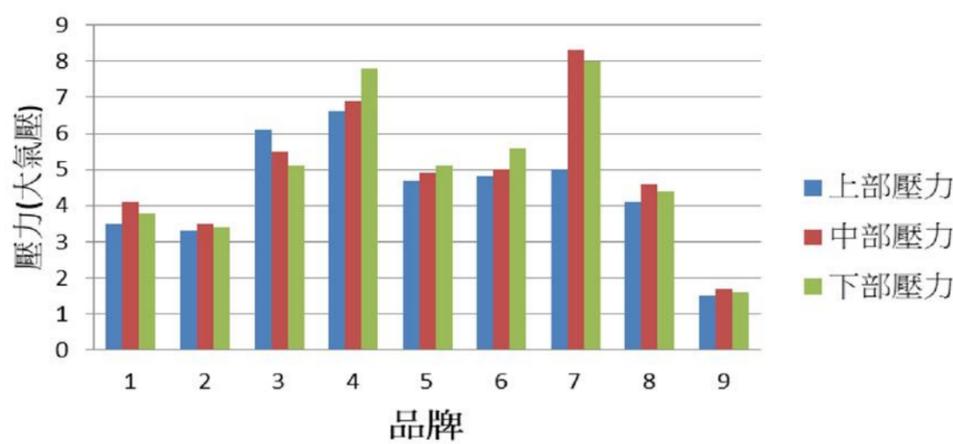


表2 各品牌寶特瓶上、中、下部測得最大壓力

註：品牌9測得壓力最小是因瓶蓋漏水，而使壓力無法提升



圖10 品牌2(左)和4(右)



圖11 品牌9瓶蓋漏水



圖12 品牌7

肆、結論

本研究用到的科學原理很簡單，除了波以耳定律外，其他都是國中二年級理化內容，其重點在於仔細觀察浮沉子，而根據其原理設計出壓力計來實際測量壓力。

最初我們只想解決【實驗一】的問題，【實驗二】和【實驗三】則是在深入觀察思考【實驗一】的問題後所衍生出來的想法。

歸納本研究，有幾個要點：

- 一. 浮沉子負重越大，則用手壓寶特瓶使其下沉時越省力。
- 二. 簡單地利用波以耳定律設計出壓力計。
- 三. 根據實驗結果，市面上的寶特瓶皆相當耐壓。
- 四. 寶特瓶的某些設計具有「紓壓」效果，因而較能承受外力擠壓或撞擊，

市面上寶特瓶種類繁多，樣本取得很容易，因此寶特瓶的耐壓性很適合做為更深入探討的題目，應用在需**高耐壓性**的容器設計上。

而在完成這研究之後，我們學到一件事：**仔細思考預料之外的實驗結果，往往會有意外的發現。**

伍、參考文獻資料

一. 動手玩科學—浮沉子，作者：林松源，取自「新竹市教育電子報」網站

網頁連結：<https://www4.hc.edu.tw/epaper/no81/live2.asp>

二. 波以耳定律，作者：葉名倉，取自「科學 Online」網站

網頁連結：<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=4316>

三. 拱的美姿與力態，作者：姚忠達，取自「科技大觀園」網站

網頁連結：<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/c000003/detail?ID=9b196ae5-56bb-4114-b607-2f8d2855a4e9>