

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 物理科

第二名

080113

深水炸彈~探究撞擊波對水體與浮球之力學交互
作用

學校名稱：新北市中和區積穗國民小學

作者： 小五 謝承憲 小五 林意勳 小五 林芷卉 小五 廖彥睿	指導老師： 吳政穎 張馨文
---	-----------------------------

關鍵詞：周波、沃辛頓射流、超彈力碰撞

深水炸彈-探究撞擊波對水體與浮球之力學交互作用

摘要

本實驗是探討球體受到水與寶特瓶交互作用產生噴射的實驗。藉由研究裝球與水的寶特瓶落下高度與球的噴射高度的數據，找出交互作用的關聯性，進而找到噴射的最佳條件，並探討球噴射的原理。我們藉由電磁鐵、滑軌裝置，以攝影慢速播放方式，發現球體噴射的力來自於撞擊波，藉由寶特瓶瓶身及水體傳遞能量，在水面中央形成空腔及水柱噴射。本實驗以直徑4公分的保麗龍球、使用釣魚線及磁鐵固定在水面中央、約2公分沒入水中；直徑11公分瓶頸斜度大、撞擊面積小的寶特瓶的組合，產生的撞擊波對球體有最佳噴射高度。

壹、前言

一、研究動機

我們在網路看到一部有趣實驗，拍攝者將切半的寶特瓶裝水，再將球放置在正中間，最後把寶特瓶放開撞擊地面，球會彈起比原本高度還高，像是炸彈在水裡開花一樣，所以想要試試看進行這個研究。

二、研究目的

- (一) 設計深水炸彈實驗裝置。
- (二) 探討衝擊波對寶特瓶內水中不同種類、大小球體噴射高度的影響。
- (三) 探討衝擊波對不同寶特瓶身內水中球體噴射高度的影響。
- (四) 探討衝擊波對改變水體變因時，瓶內球體噴射高度的變化。
- (五) 探討不同釋放高度撞擊波對球體及水柱噴射高度的變化。
- (六) 深水炸彈(浮球)噴射原理探討。
- (七) 找出彈跳最高的條件。

三、應用原理

- (一) 沃辛頓射流：當物體進入液體表面時，會形成一個空腔，然後水的表面張力和恢復力會將空腔填滿，因為瞬間恢復速度很快，導致空腔中央射出一道水柱。本實驗雖不是將球丟到水裡，而是將寶特瓶放開，當瓶蓋撞擊地面時，會有一股來自容器底部向上及周圍向內集中的衝擊波讓水恢復，如同沃辛頓射流的情形，將球噴出。

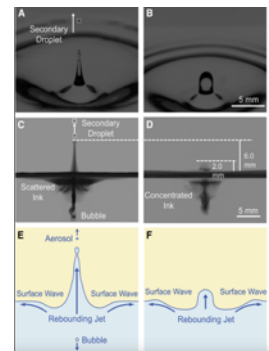


圖1：沃辛頓原理

- (二) 表面張力：水中的水分子會以相同大小對鄰近的分子產生吸引力。但是水最上端的分子因為上方沒有相同的分子去吸住它，所以為了不被向下拉，於是就將表面積縮小。在實驗中，會造成球被吸到瓶子邊緣，水柱無法將他推上空中，讓實驗接二連三的失敗。

(三) 浮力：將物體放在液體、氣體等物質上會產生一個和地心引力相反的作用力。在水平面上的物體(浮體)，它的浮力=物體的重量。實驗中，球要在液體上才能夠產生沃辛頓射流，如果球在水平面下的話，會使球只在水中而水柱卻會噴得很高。

(四) 超彈力碰撞：兩顆質量不同的球，小球在大球上同一垂直線上自由落體下降，撞擊到地面後，小球受到撞擊及能量累積，小球會以更快的速度回彈，高度亦會比原來位置高，與深水炸彈的情形很類似。

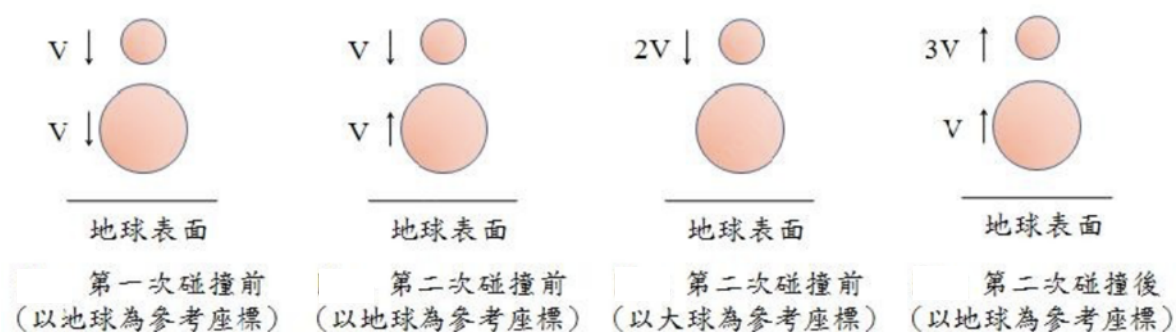


圖2、超彈力碰撞圖示

貳、研究設備及器材

一、研究器材：自製滑軌裝置、自製彈珠台彈簧發射器、自製電磁鐵撞擊噴射裝置、熱熔膠槍、熱融膠、釣魚線、強力磁鐵、釘書針、捲尺、平板(錄製實驗影片)、直徑1-7公分的保麗龍球、不同種類的球、不同大小的寶特瓶。

二、研究器材：威力導演(分析影片影格時間軟體)

參、研究過程與結果

一、設計深水炸彈實驗裝置

實驗一、深水炸彈試做實驗

1.方法：

(1)裁切寶特瓶底部，留含寶特瓶蓋的部分。

(2)將水裝到切開的寶特瓶，直接把球放到水中，以捲尺量測距離地面20公分處放手讓寶特瓶自由落下，以平板錄製寶特瓶落下及球噴射情況。

2.結果：

當寶特瓶蓋撞到地面時會有水柱噴起，球會順著水柱噴射，有時比20公分更高，並往不同方向噴射，有時只有水柱會噴起球停在瓶內如圖4。

3.發現：



(1)球放進水面會受到水的表面張力影響，會自動靠近容器邊緣，如圖5，會影響噴射的成功。

(2)以熱融膠槍在球上黏一段鐵絲，寶特瓶蓋黏釣魚線另一端黏強力磁鐵，靠著**釣魚線與磁力**將球維持在寶特瓶中央，如圖5，便可讓球順利彈起，如圖6。

			
圖3、水柱噴起、球停留在瓶中。	圖4、受水的表面張力影響球會往瓶身吸附。	圖5、利用磁力將球固定在水面中央。	圖6、深水炸彈成功彈射

實驗二、製作自製電磁鐵撞擊噴射裝置

因為手持寶特瓶很難同時釋放保持垂直落下，經討論想到可以像夾娃娃機，把電磁鐵的電線**並聯**連接在變電器上通電產生磁力，吸附鎖在寶特瓶上的螺絲，切斷電源電磁鐵就會**同時失去磁力**，寶特瓶便會垂直自由落下。

<p>改良前-- 將電磁鐵電線 固定在兩張椅 背上。</p>		<p>優點： 1.電線並聯，斷電後可以同時釋放寶特瓶。 2.可移動電線位置改變寶特瓶高度。</p> <p>缺點： 1.只使用兩個電磁鐵寶特瓶容易搖晃，不穩定。 2.可調高度有限。</p>
<p>改良後-- 將3個電磁鐵 電線用長尾夾 固定在花架 上。</p>		<p>優點： 1.解決寶特瓶搖晃的問題。 2.移動長尾夾及電磁鐵的電線可以調整寶特瓶的高度。</p>





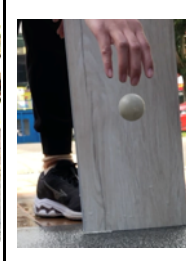
二、探討撞擊波對瓶內水中不同種類、大小球體噴射高度的影響

實驗一、不同種類的球彈跳實驗

1.方法：

將球自20公分處釋放，以平板水平慢動作錄影紀錄5次有效數據並取平均值。

2.結果：

<p>對照圖</p>					
<p>球的種類</p>	<p>塑膠球</p>	<p>硬式海綿球</p>	<p>彈跳球</p>	<p>塑膠高爾夫球</p>	<p>乒乓球</p>
<p>平均高度</p>	<p>3 公分</p>	<p>6 公分</p>	<p>15.5 公分</p>	<p>6 公分</p>	<p>17 公分</p>

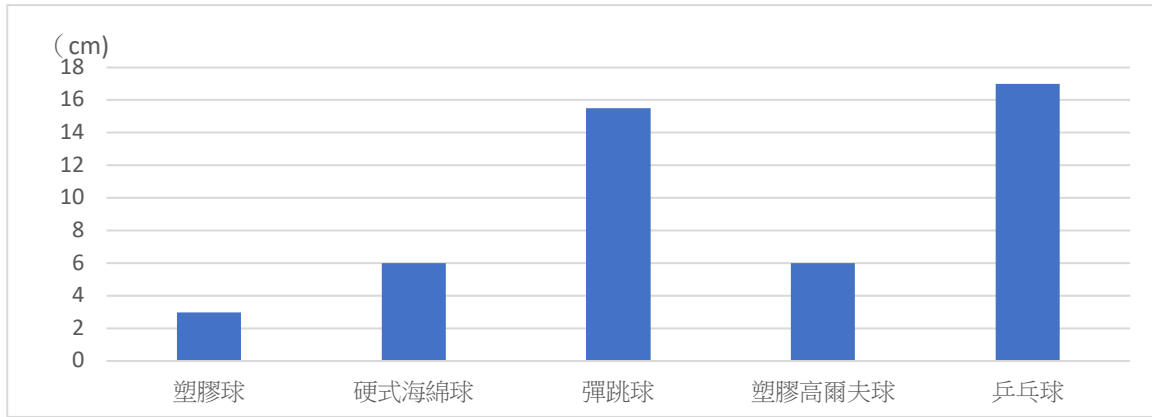


圖7、不同種類的球平均彈跳高度比較圖

3.發現：

- (1)乒乓球較彈跳球輕，但二者彈跳高度接近釋放位置。
- (2)塑膠球、硬式海綿球及塑膠高爾夫球彈跳高度僅原本的一半以下。
- (2)塑膠球最重、最小，彈跳高度最低。

實驗二、探討撞擊波對瓶內水中不同種類球體噴射高度的影響

1. 方法：

- (1) 使用自製電磁鐵撞擊噴射裝置；直徑9公分的寶特瓶、7公分的釣魚線連接瓶蓋與強力磁鐵；為固定各實驗寶特瓶內水壓，先連結磁鐵與球後，再裝水至8公分高使球保持在水面中央（後續實驗皆以此方式執行）。
- (2) 距地面20公分處使寶特瓶自然下墜，以平板水平慢動作拍攝寶特瓶落下及球噴射高度，如圖8、9，紀錄10次有效數據並取平均值。



圖8、電磁鐵實驗進行方式。

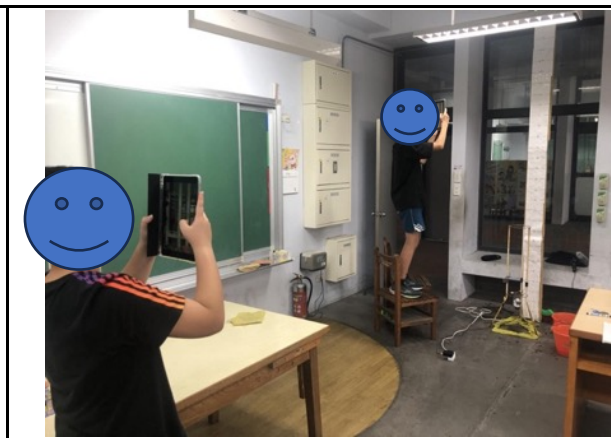
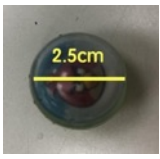

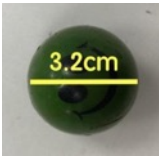




圖9、在不同高度錄製影片，減少角度判讀誤差。

2. 結果：

球的種類	 塑膠球	 硬式海綿球	 彈跳球	 塑膠高爾夫球	 乒乓球
平均噴射高度	沒噴射	202.93	沒噴射	95.2	249.3

單位:公分

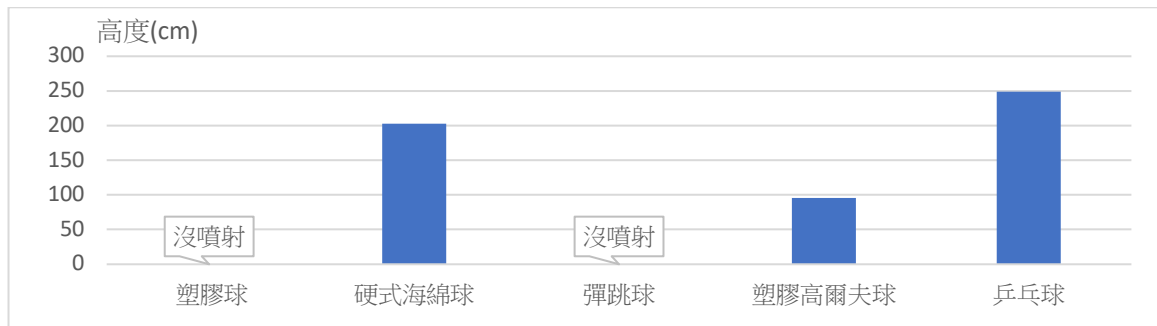
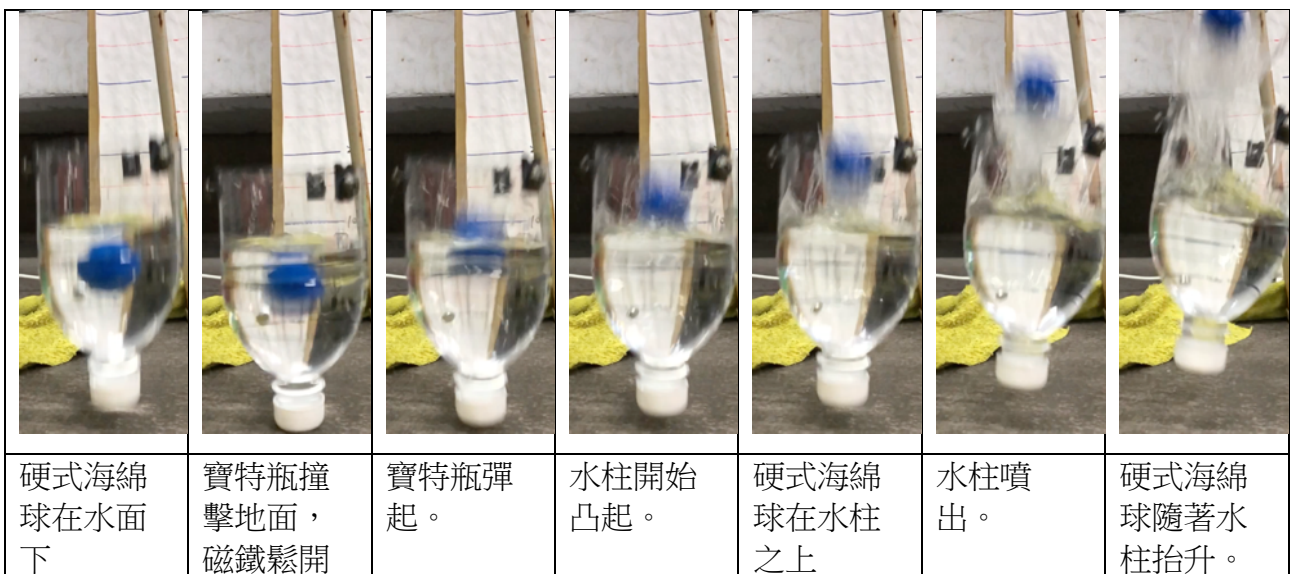

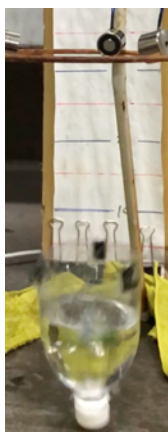
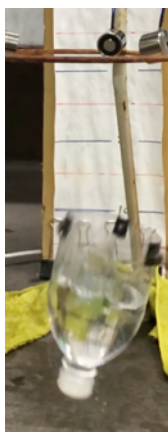

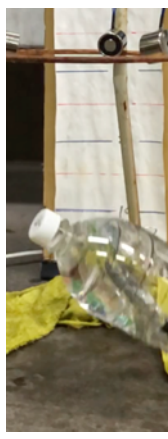
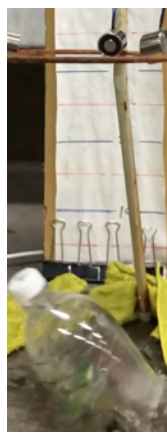



圖10、不同種類球體噴射高度比較圖

3. 發現：

- (1) 寶特瓶撞擊地面時會有一股作用力使寶特瓶彈起，同時水面中央會有一股水柱噴出，乒乓球、硬式海綿球及塑膠高爾夫球會順著水柱噴出。
- (2) 硬式海綿球浮在水面下，寶特瓶撞擊地面時有水柱噴射出現，硬式海綿球隨著水柱噴起，高度較塑膠高爾夫球更高。
- (3) 塑膠球及彈跳球有浮在水面下，但因為較重的緣故，並未隨著水柱噴射而出。



						
塑膠球浮在水面下	寶特瓶撞擊地面	塑膠球未噴出	寶特瓶彈起水柱噴出	寶特瓶翻倒	寶特瓶身撞擊地面	塑膠球隨著水流出

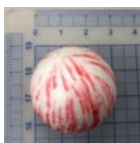



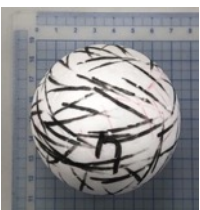
實驗三、探討撞擊波對瓶內水中不同大小球體噴射高度的影響

1.方法：

(1)使用自製電磁鐵撞擊噴射裝置、直徑9公分的寶特瓶、直徑1到7公分的保麗龍球；因固定的螺絲會卡到無法使用8公分以上的保麗龍球；以7公分的釣魚線固定保麗龍球；為保持水壓加水至8公分水位。

(2)瓶蓋距地面20公分處使寶特瓶自然下墜，以平板水平慢動作拍攝寶特瓶落下及球噴射高度，紀錄10次有效數據並取平均值。

2.結果：

對照圖							
直徑	1公分	2公分	3公分	4公分	5公分	6公分	7公分
平均噴射高度	40.3	195.5	229.8	245.7	193.2	137.2	122.1

單位：公分

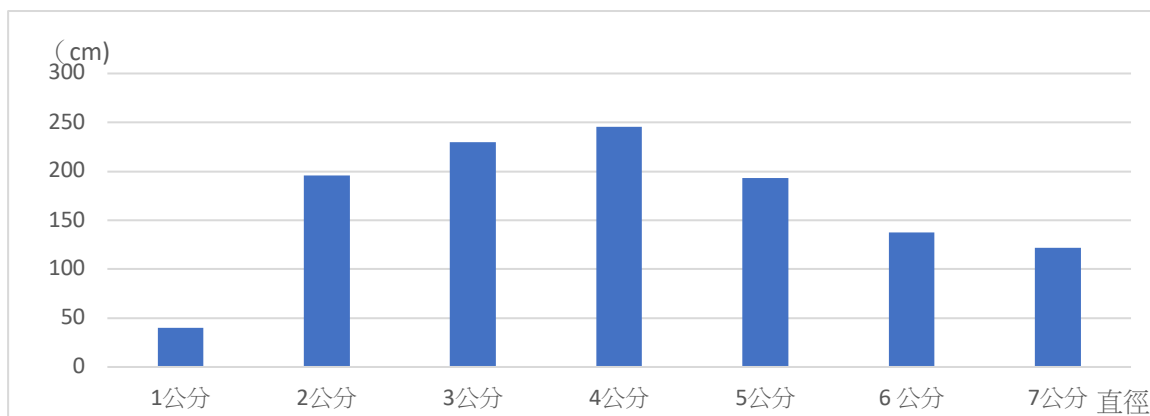


圖11、不同大小球體噴射高度比較圖

3.發現：

(1)以直徑4公分的保麗龍球噴射高度最高。

(2)直徑1公分的保麗龍球浮力比強力磁鐵稍強，保麗龍球噴射前須先掙脫磁力才能噴射。

(3)直徑6、7公分的保麗龍球噴射時，佔據瓶內大部分體積，受到衝擊帶著大量的水一起噴射而出，水柱細又長。

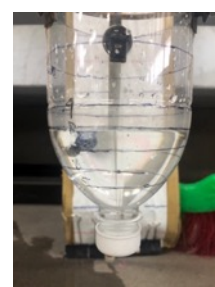


圖12、直徑1公分球

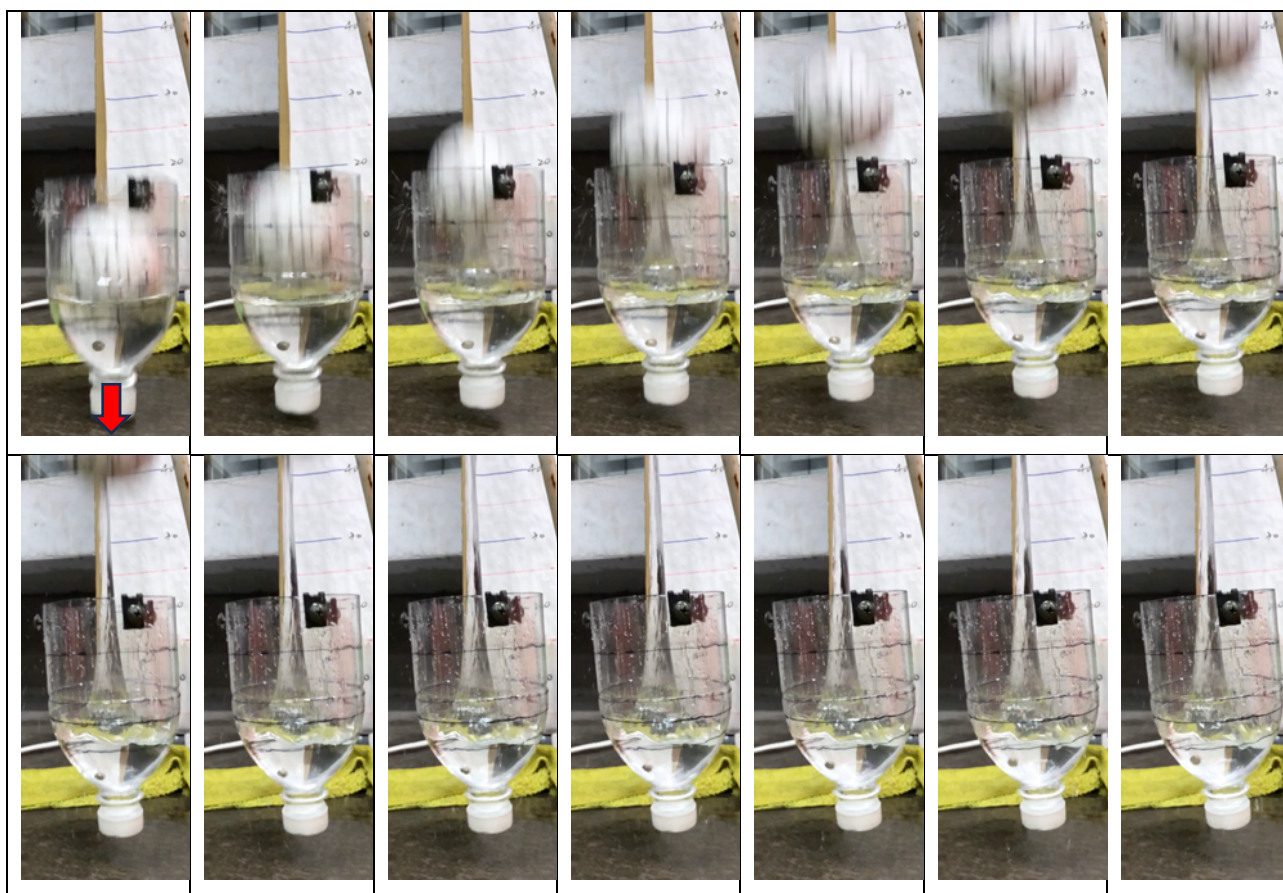


圖13、直徑7公分保麗龍球噴射過程

三、探討衝擊波對不同寶特瓶身內水中球體噴射高度的影響


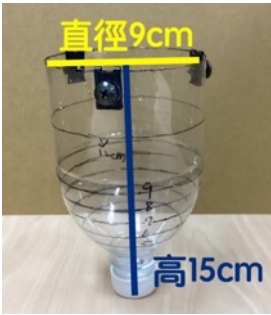
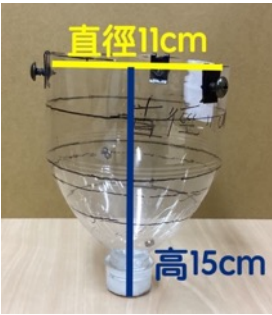
實驗一、探討衝擊波對不同直徑瓶身水中球體噴射高度的影響

1.方法：

(1)使用自製電磁鐵撞擊噴射裝置；將口徑相同、不同直徑的寶特瓶，裁切成高度15公分；使用7公分的釣魚線，以強力磁鐵連結4公分的保麗龍球；裝水到8公分進行實驗。

(2)瓶蓋距地面20公分處使寶特瓶自然下墜，以平板水平慢動作拍攝寶特瓶落下及球噴射高度，紀錄10次有效數據並取平均值。

2.結果：

對照圖			
平均噴射高度	181.4	247.7	251.8

單位：公分

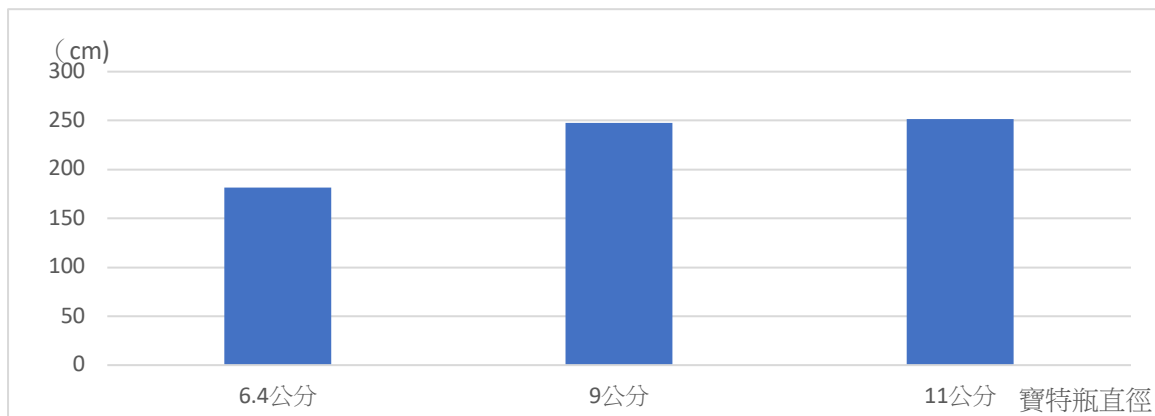


圖14、不同直徑寶特瓶對瓶內球體噴射高度比較圖

3.發現：

(1)直徑11公分與9公分的寶特瓶噴射球的高度相近。

(2)直徑6.4公分的寶特瓶，裝水量最少，相同水位高度時，球噴射高度最低。




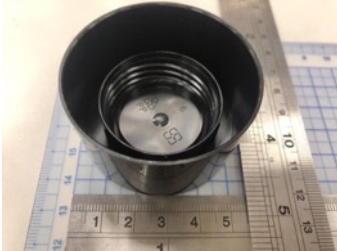
實驗二、探討撞擊面大小衝擊波對瓶內水中球體噴射高度的影響

1.方法：

(1)使用自製電磁鐵撞擊噴射裝置，找相同口徑、相同瓶身、不同瓶蓋大小的寶特瓶，使用7公分的釣魚線，以強力磁鐵連接4公分的保麗龍球，加水到8公分的水深進行實驗。

(2) 瓶蓋距地面20公分處使寶特瓶自然下墜，以平板水平慢動作拍攝寶特瓶落下及球噴射高度，紀錄10次有效數據並取平均值。

2.結果：

對 照 圖		
		
瓶蓋外直徑	5 公分	5.5 公分
平均噴射高度	257.6	174.7

單位；公分

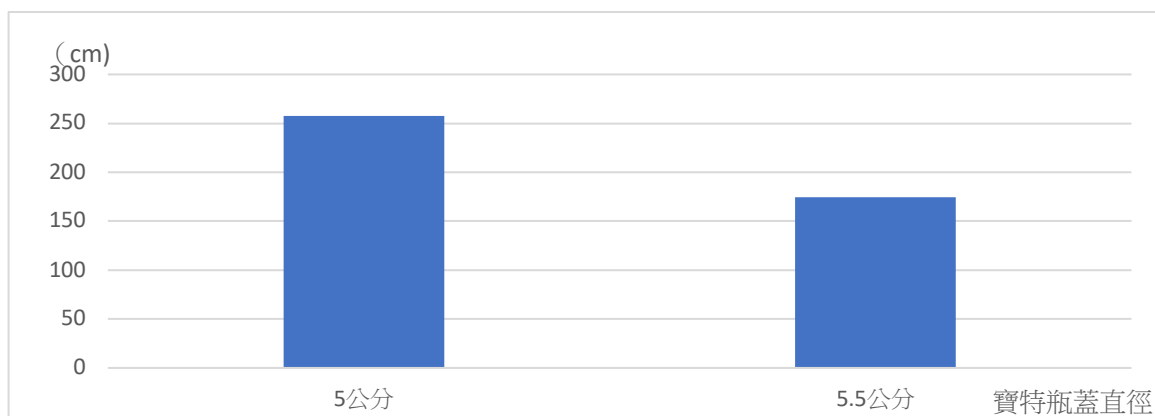


圖15、撞擊面大小撞擊波對瓶內球體噴射高度比較圖

3.發現：

撞擊面越小形成的撞擊波對球噴射的高度越高。

實驗三、探討撞擊波對不同斜度瓶頸瓶內水中球體噴射高度的影響

1.方法：

- (1)使用自製電磁鐵撞擊噴射裝置，以及直徑9公分、不同斜度瓶頸的寶特瓶。
- (2) 因電磁鐵無法吸住直筒5公分以上水深的重量，本次實驗使用4公分的釣魚線，以強力磁鐵連接4公分的保麗龍球；加水到水深5公分處進行實驗。
- (3) 瓶蓋距地面20公分處使寶特瓶自然下墜，以平板水平慢動作拍攝寶特瓶落下及球噴射高度，紀錄10次有效數據並取平均值。

2.結果：

對照圖			
斜度	大	中	90度
平均噴射高度	76.3	90.5	29.1

單位：公分

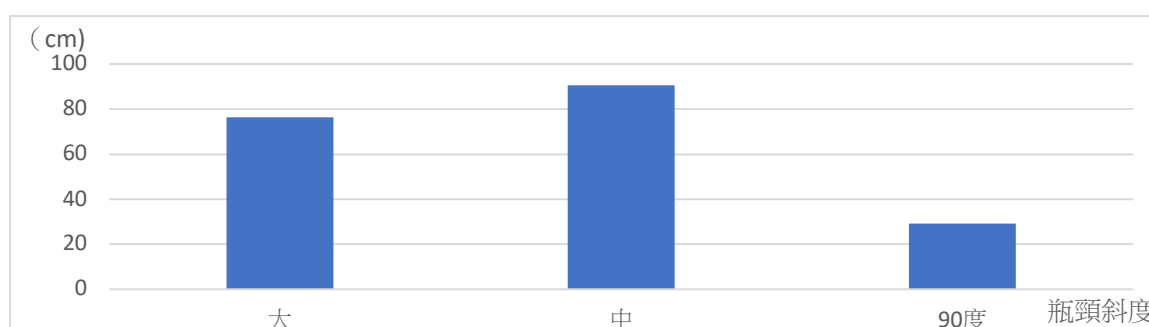


圖17、撞擊波對不同瓶頸斜度寶特瓶瓶內球體噴射高度比較圖

3.發現：

- (1)瓶頸斜度大的寶特瓶在5公分水深時，水量較少，重量較輕，撞擊後高度並非最高。
- (2)瓶頸斜度90度的寶特瓶，水量最多，難從瓶身匯集衝擊波到水中央，使瓶內水中球體噴射高度最低。

四、探討衝擊波對改變水體變因時，瓶內球體噴射高度的變化

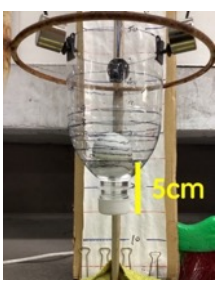
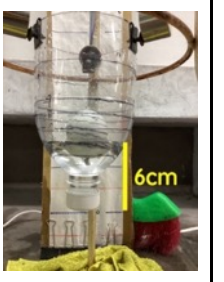
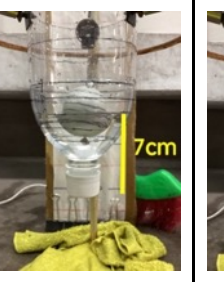
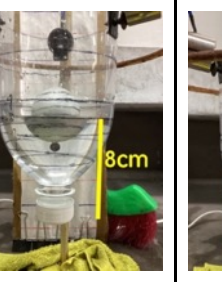
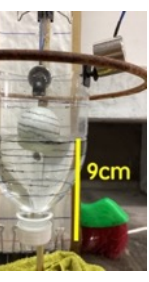
實驗一、探討水位高低不同，衝擊波對瓶內水中球體噴射高度的影響

1.方法：

(1)使用自製電磁鐵撞擊噴射裝置；直徑9公分的寶特瓶；以4、5、6、7、8公分的釣魚線連接寶特瓶與電磁鐵，再分別加入5、6、7、8、9公分的水深，讓4公分的保麗龍球在水中保持一樣的深度。

(2)瓶蓋距地面20公分處使寶特瓶自然下墜，以平板水平慢動作拍攝寶特瓶落下及球噴射高度，紀錄10次有效數據並取平均值。

2.結果：

寶特瓶 內水位					
平均噴射 高度	117.2	133.8	167.7	247.7	248.3

單位：公分

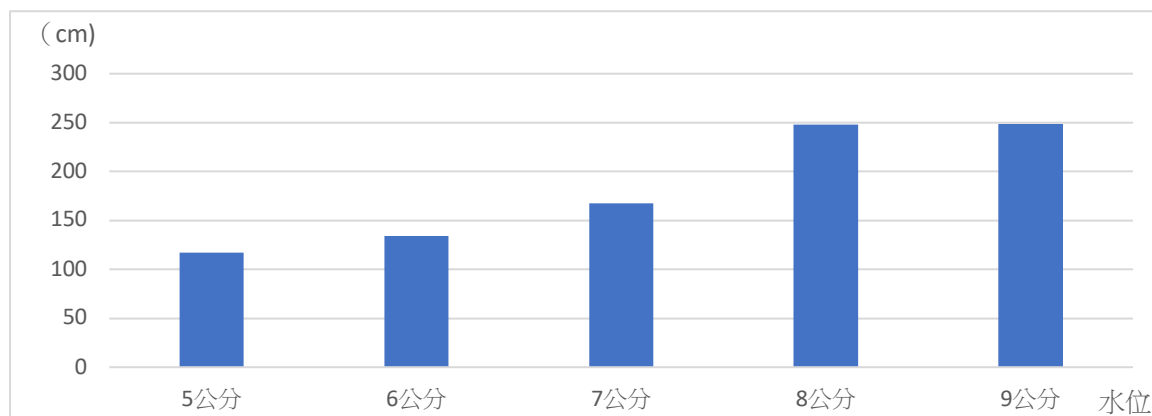


圖18、撞擊波對不同瓶頸斜度寶特瓶瓶內球體噴射高度比較圖

3.發現：

- (1)瓶內水位8、9公分的寶特瓶受到的撞擊波，讓瓶內水中的球彈起高度最高但很接近。
- (2)水位高低與重量有關，水位越高、水量越多，重量也會越重，撞擊地面後產生的撞擊波越大。
- (3)因水量太多，超越電磁鐵所能吸附的最大重量，因此只做到水深9公分。

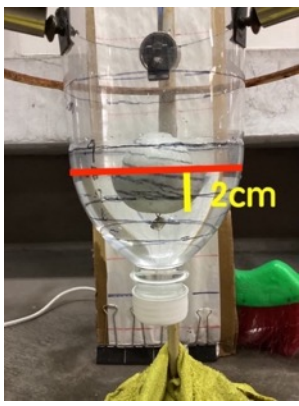
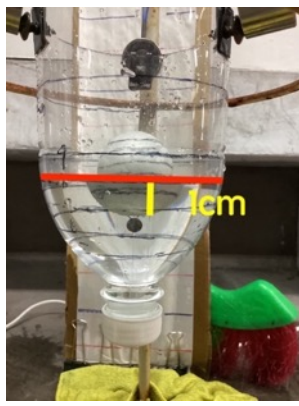
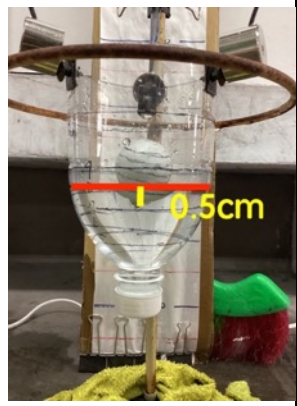
實驗二、探討撞擊波對瓶內沒入水中不同深度球體噴射高度的影響

1.方法：

(1)使用自製電磁鐵撞擊噴射裝置；直徑9公分的寶特瓶，將水裝到8公分的高度，以6、7、7.5公分的釣魚線，使4公分的保麗龍球，分別沒入水中2公分、1公分、0.5公分。

(2)將瓶蓋對齊20公分的高度，電磁鐵斷電讓寶特瓶自由落下，以平板水平慢動作拍攝寶特瓶落下及球噴射高度，紀錄10次有效數據並取平均值。

2.結果：

			
沒入水中部分	2 公分	1 公分	0.5 公分
平均	272.	214.7	207.6

單位：公分

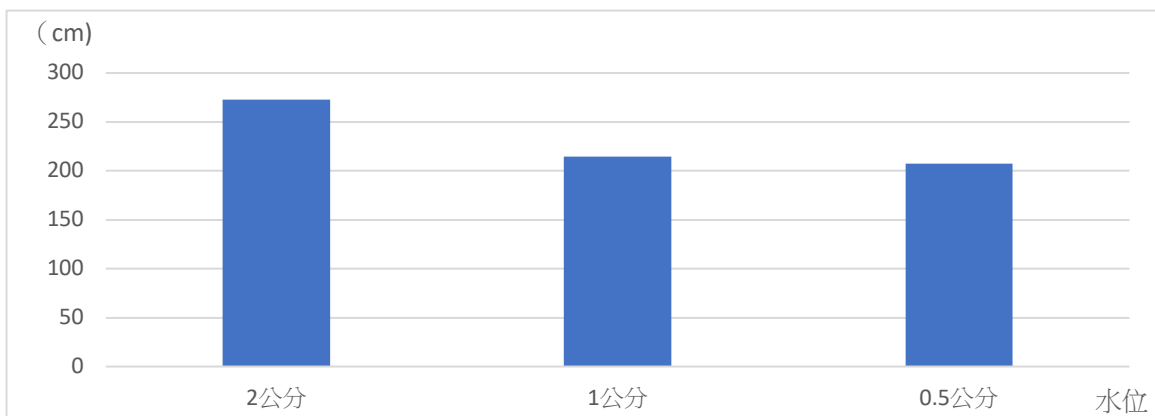


圖19、撞擊波對瓶內沒入水中不同深度球體噴射高度比較圖

3.發現：

(1)在相同水位的條件下，沒入水中一半（2公分）的球體，受到撞擊波後噴射高度較高。

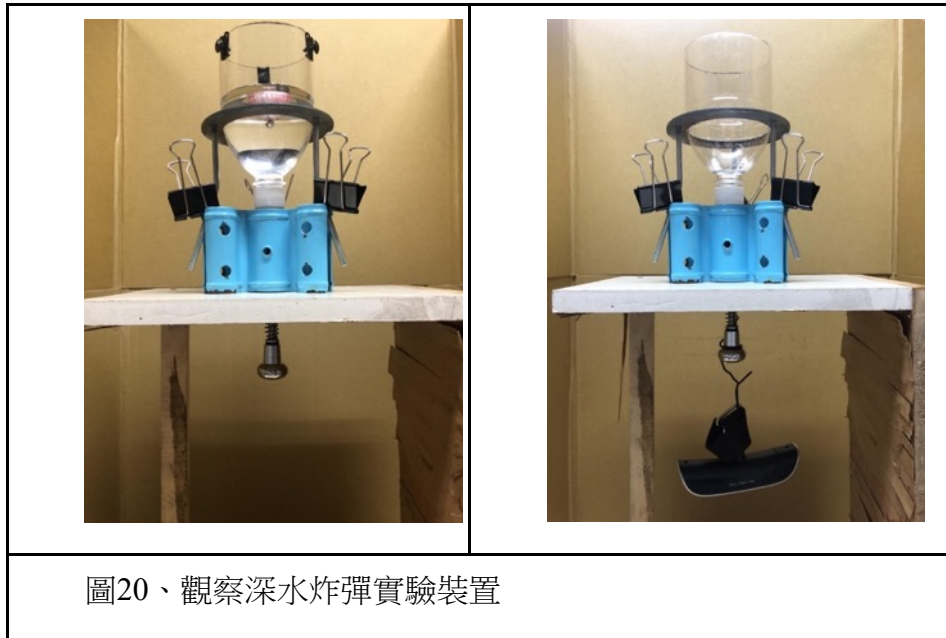
(2)寶特瓶落下撞擊地面時，球體會陷入一個空腔後，立即被水柱噴射出去。

					
寶特瓶落下	寶特瓶撞地 球往下陷入 空腔	球回原來位 置	球被水柱舉 起	球受水柱噴 射而出	一道水柱由 中央噴射

實驗三、探討撞擊波撞擊寶特瓶對瓶內水體與浮球的影響

1.方法：

- (1)用彈珠台的發射彈簧、電風扇支架、三腳架及燕尾夾將寶特瓶固定。
- (2)用行李秤拉動拉桿，固定在1公斤和2公斤位置並在紙板上標記號。
- (3)使用6公分釣魚線連接3、4、5公分的保麗龍球進行實驗，
- (4)用手機慢速攝影方式紀錄，觀察寶特瓶受彈簧撞擊，水面及球的位置變化。



2.結果：

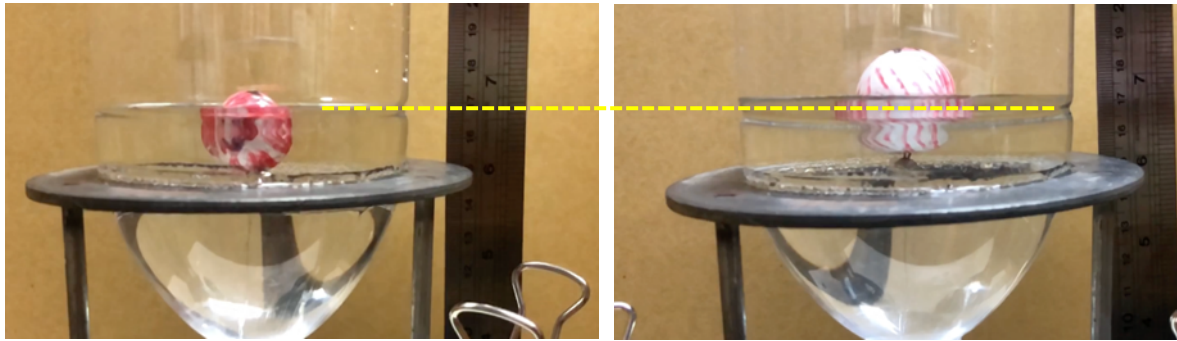


圖21、3公分與4公分保麗龍球受到1公斤的力撞擊寶特瓶蓋的情況



圖22、5公分保麗龍球受到撞擊磁鐵脫落，保麗龍球受到浮力作用噴出水面

3.發現：

- (1)使用1公斤的力撞擊寶特瓶蓋，球及水面皆為輕微晃但沒有彈起。
- (2)使用2公斤的力撞擊寶特瓶蓋，3公分及4公分的保麗龍球皆無彈起，只有5公分的保麗龍球因為撞擊造成磁鐵脫落，讓保麗龍彈出水面。
- (3)因固定6公分的釣魚線，5公分的保麗龍球較3、4公分保麗龍球排開更多水，更多體積在水中增加浮力，才能掙脫磁鐵的磁力。如圖23。

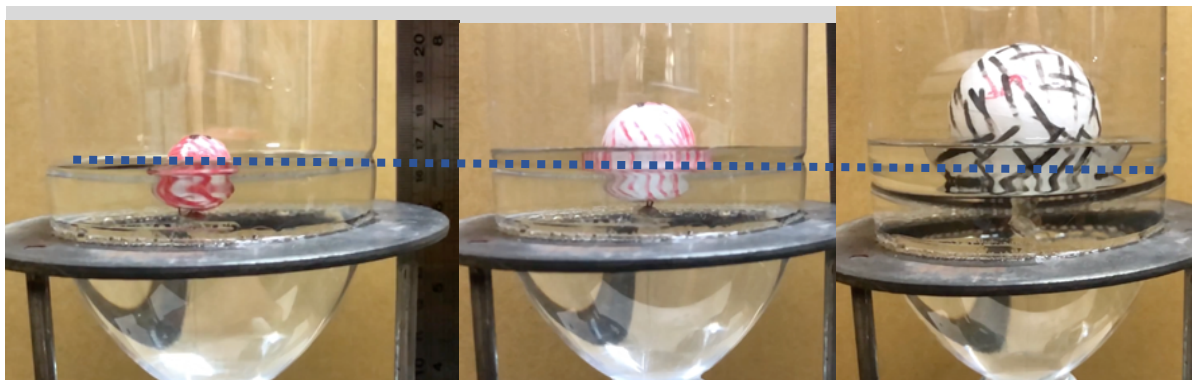


圖23、相同水深時，5公分的保麗龍球排開更多水

五、探討不同釋放高度撞擊波對球體及水柱噴射高度的變化

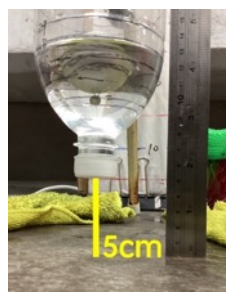
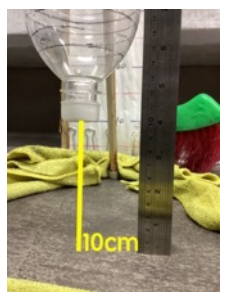

實驗一、探討不同釋放高度撞擊波對瓶內水中球體噴射高度的影響

1.方法：

(1)使用自製電磁鐵撞擊噴射裝置，直徑9公分的寶特瓶，7公分的釣魚線，以強力磁鐵連接4公分的保麗龍球，加水到水深8公分進行試驗。

(2)分別在距地面5公分、10公分、15公分的高度，使寶特瓶自然下墜，以平板水平慢動作拍攝寶特瓶落下及球噴射高度，紀錄10次有效數據並取平均值。

2.結果：

釋放高度	 5公分	 10公分	 15公分
平均	128.7	176.6	196.7

單位：公分

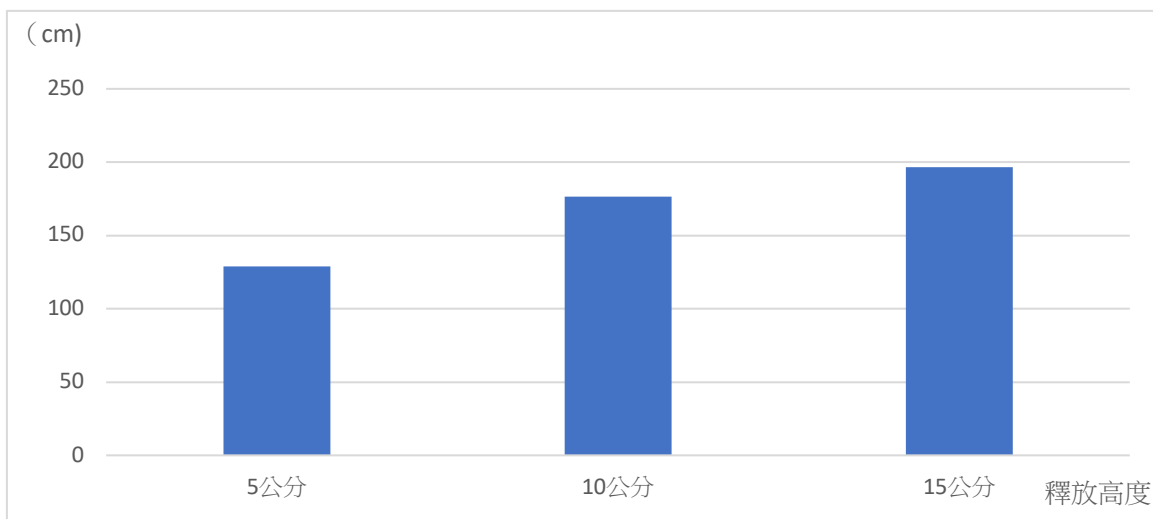


圖16、不同釋放高度撞擊波對瓶內球體噴射高度比較圖


3.發現

相同水位的寶特瓶，重量相同，釋放高度越高，水中球體噴射高度越高。

實驗二、不同高度釋放撞擊波對寶特瓶內水柱噴射高度的影響

1.方法：



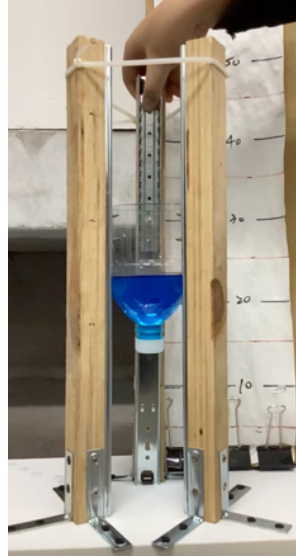
(1)因電磁鐵撞擊噴射裝置難紀錄到水柱噴射，因此設計滑軌裝置進行水柱實驗。

<p>再改良-- 將寶特瓶鎖在滑軌上，再鎖在三根木頭上。</p>		<p>優點：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.滑軌以滾珠連接，幾乎沒有摩擦力。 2.寶特瓶不會晃動。 3.寶特瓶撞擊地面後不會倒下，可以省水。 <p>缺點：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.較難更換寶特瓶。 2.高度有限制，最高只能到15公分。
--------------------------------------	---	---

(2)使用直徑9公分寶特瓶、裝水到8公分水高，分別在5、10、15公分的高度放開讓寶特瓶自由落下，以平板平視慢動作拍攝，後續觀察影片紀錄寶特瓶落下及水柱噴起高度，紀錄10次有效數據並取平均值。

(3)與電磁鐵撞擊噴射裝置，內部裝球的釋放高度實驗數據比較。

2.結果：

			
釋放高度	5公分	10公分	15公分
水柱噴起高度	8	23.2	33

單位：公分

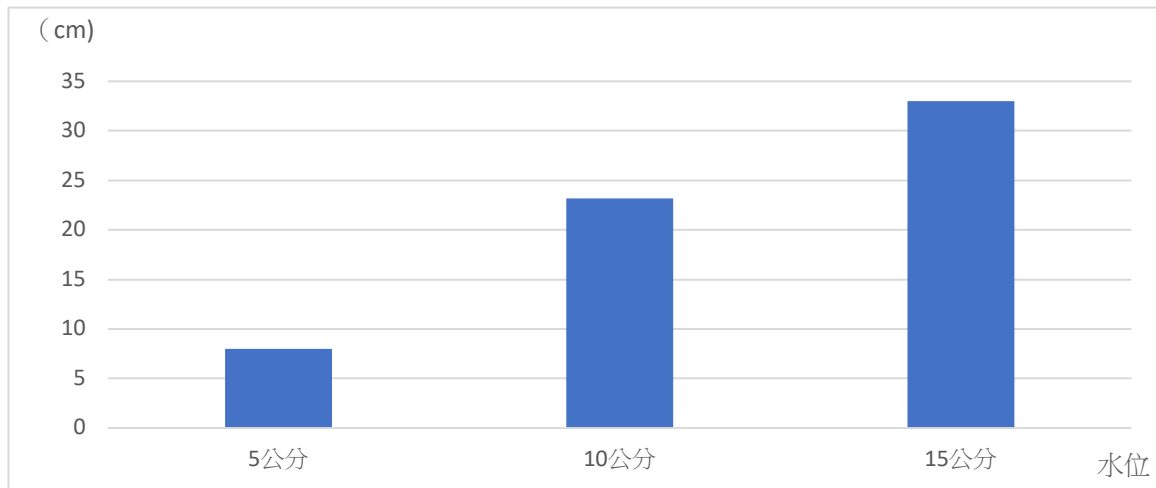


圖23、不同釋放高度撞擊波對水柱噴射高度比較圖

3.發現：

- (1)當水面沒有保麗龍球的情況，較難出現水柱，且水柱高度較矮。
- (2)釋放高度越高噴起的水柱會越高，
- (3)水柱會由寶特瓶周圍向中間集中，產生一個噴流噴出。
- (4)從不同釋放高度對球體及水柱噴射高度數據比較，兩者皆呈現越高釋放，噴射高度越高的趨勢。



圖24、水柱產生情形

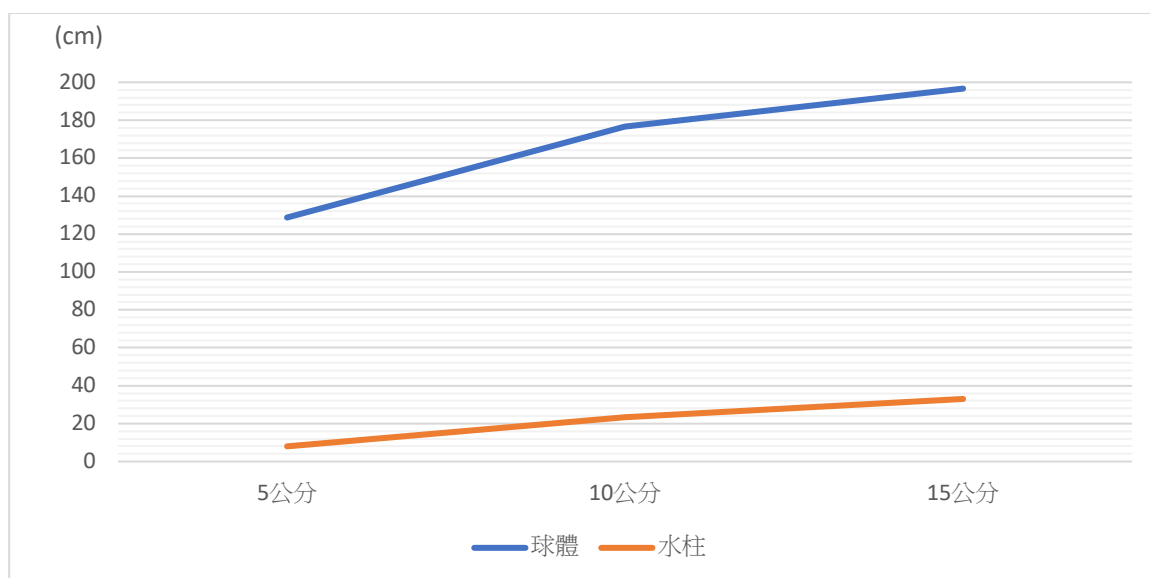


圖25、不同釋放高度對球體及水柱噴射高度比較圖

六、深水炸彈(浮球)噴射原理探討

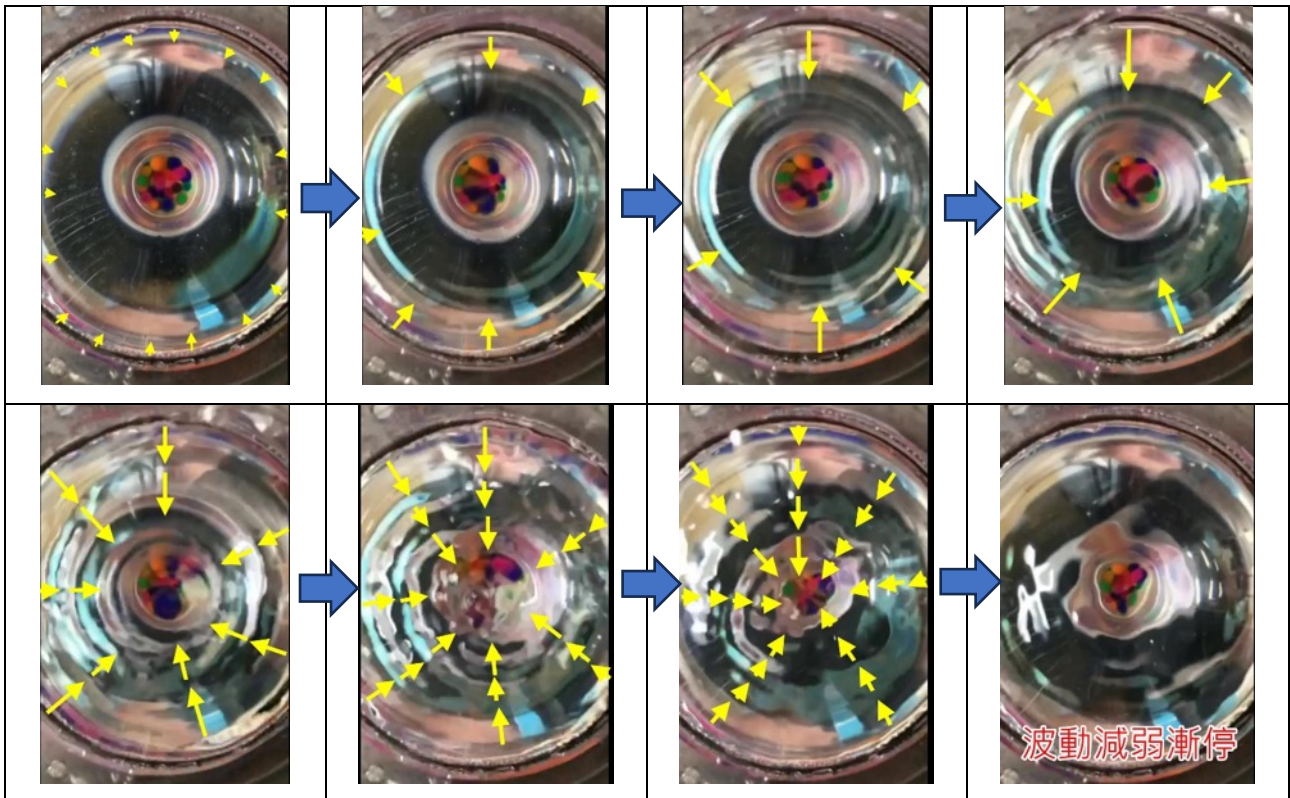
實驗一、水中放入沉底顆粒(水晶寶寶)，拍攝撞擊後水底與液面變化。

1.方法:

(1)將水瓶裝水8cm 高，放入少許與水密度相近的彩色水晶寶寶，固定滑軌上，距桌面1公分高度自然下墜，近拍錄影水面波動情形。

(2)運用影片處理軟體(威力導演)將速度模式縮小為影片原速的0.01倍速，方便觀察液體表面波動與水底受力後的變化情形。

2.結果:



3.發現：

(1)本實驗為觀察波動情形，撞擊距離短，水底瓶蓋附近的彩色水晶寶寶只有微微振動，彼此相對位置都沒有改變。

(2)液面出現由容器壁往中心方向的一圈一圈波紋，顯示撞擊波由瓶蓋沿著瓶身快速向上傳遞，由四周圍形成的周波振動液面往中心集中。

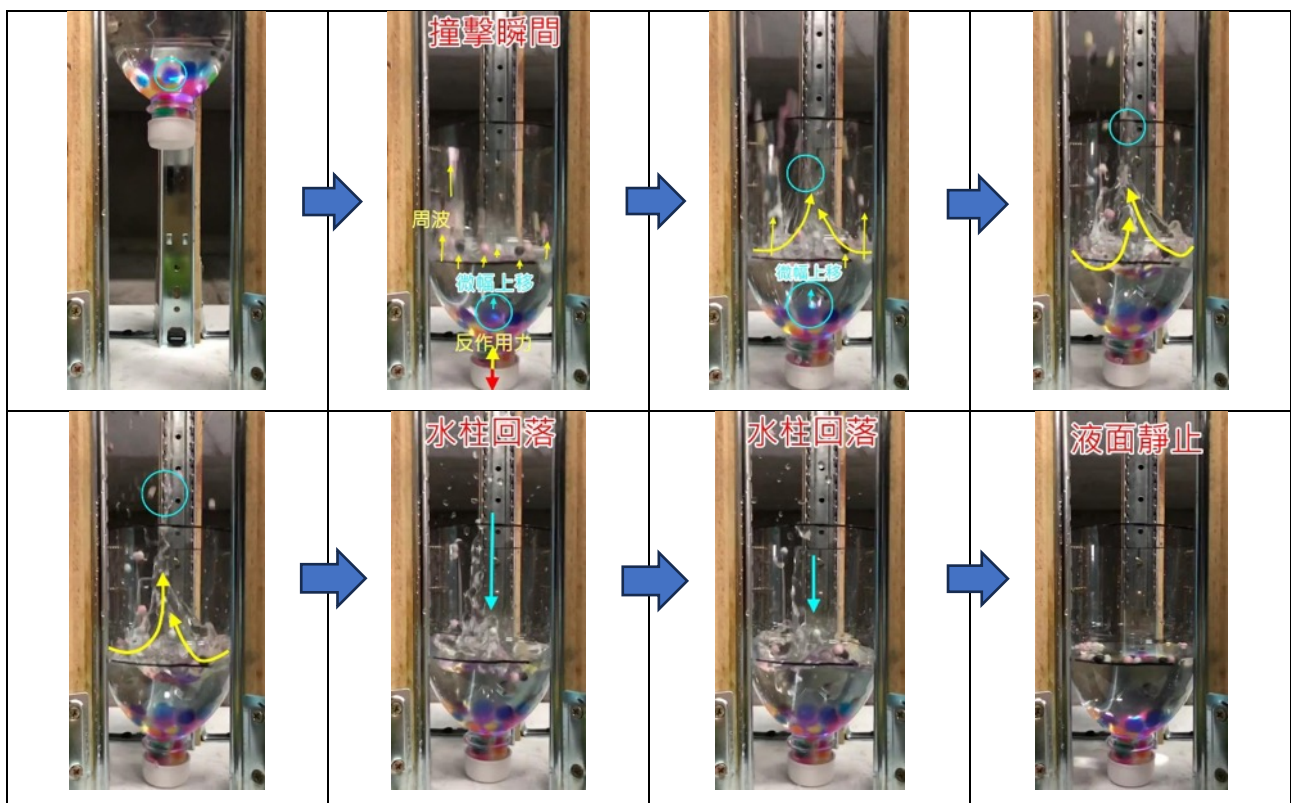
實驗二、水中放入沉底顆粒(水晶寶寶)與小浮球，觀察撞擊後水瓶內液體的流動軌跡。

1.方法：

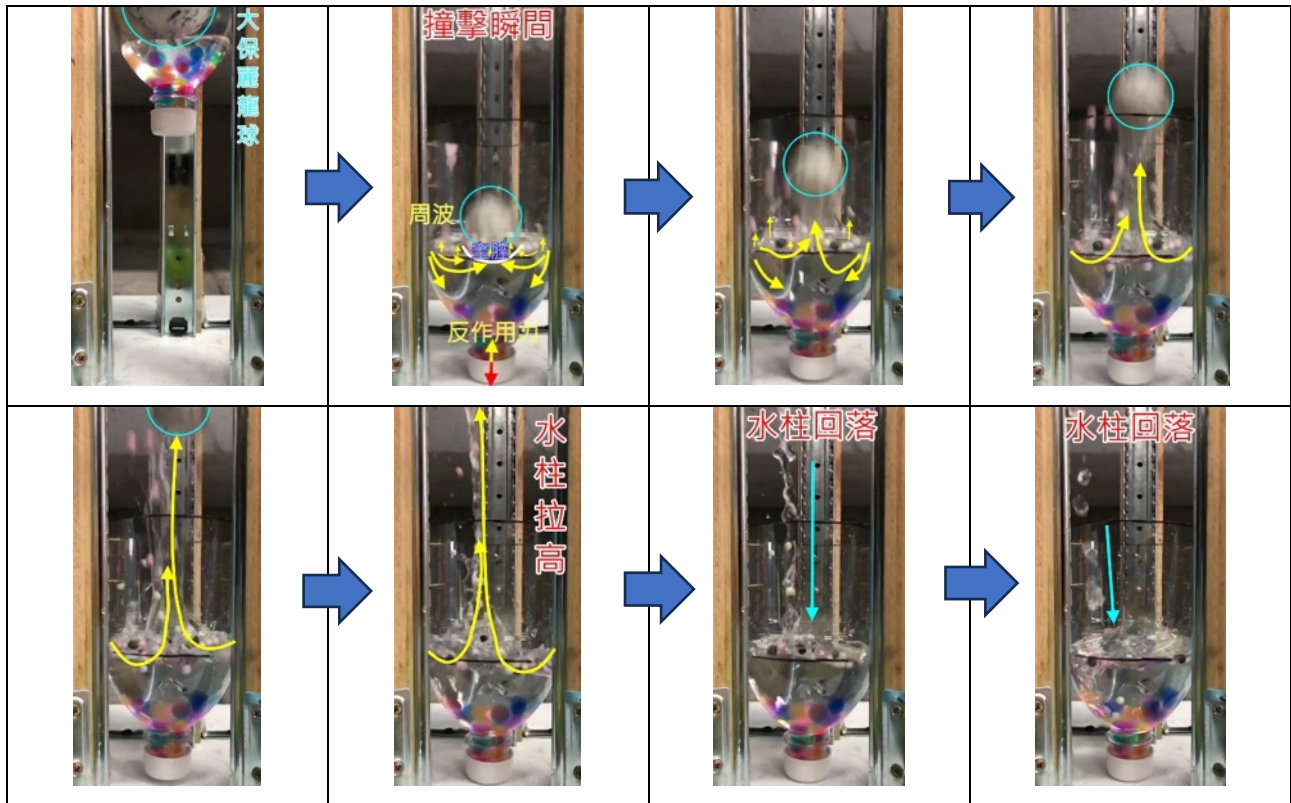
- (1)同上一實驗裝置，水瓶內再放入少許彩色小顆粒保麗龍球。
- (2)將水瓶固定滑軌上，距桌面15公分高度自然下墜，並全程錄影。
- (3)同上方法將影片速度模式縮小為原速的0.01倍速，截圖比較撞擊後水瓶內液體的流動軌跡。

2.結果：

甲.無裝置大浮球撞擊後水體流動軌跡分析



乙.有裝置大浮球撞擊後水體流動軌跡分析



3.發現：

- (1)由高處滑落的水瓶撞擊瞬間，水底瓶蓋附近的彩色水晶寶寶仍只微微振動，也沒有向上衝，彼此相對位置也沒有改變，顯示底部水只是做為反作用能量傳遞的角色，並不會向上流動。
- (2)撞擊波由瓶蓋沿著瓶身快速向上傳遞，周波振動容器壁四周的小顆粒浮球向上跳動，部分小顆粒浮球快速往液面中心集中，並隨水柱向上噴出。
- (3)尤其有大保麗龍浮球的裝置，更因液面中央形成大空腔，水的表面張力快速將空腔填滿，加上周波推動水流快速向中心流動，與來自底層撞擊後反作用力向上傳遞的碰撞能量一起匯集而集中噴射，如同沃辛頓射流的情形將球噴出。
- (4)有無大浮球的裝置，在相同高度滑落的水瓶，撞擊後形成的噴射水柱有很大不同。有大浮球的裝置，因強大的水分子內聚力被大浮球向上噴射而順勢拉升的水柱更細長，水柱噴射高度更高。

肆、討論

一、設計深水炸彈實驗裝置

本次實驗目的是瞭解深水炸彈的原理，為減少干擾僅在室內進行實驗。

為使深水炸彈噴射效果達到更好的效果，整理以下幾項條件：

1. 電磁鐵撞擊噴射裝置：達到水體平衡停止狀態，可將電磁鐵並聯使用，達到同時吸附、釋放寶特瓶的效果。
2. 寶特瓶撞擊地面後，撞擊波會傳遞至水面中央，藉著強力磁鐵與釣魚線，使球漂浮在水面中央，減少水的表面張力把球吸附到瓶身，讓球體噴射高度更高。
3. 滑軌裝置：避免寶特瓶掉落歪斜造成傾倒；使用滾珠式滑軌，減少摩擦力影響實驗結果。
4. 彈簧撞擊實驗：為瞭解撞擊是否能對水體產生直接效果，以彈珠台彈簧裝置直接撞擊寶特瓶蓋，發現2公斤的力僅能使直徑5公分的球脫離強力磁鐵的磁力。球噴出水面是球本身浮力造成。

二、探討衝擊波對寶特瓶內水中球體噴射高度的影響

經由撞擊波撞擊實驗過程，想知道撞擊波會否影響球的噴射高度，本實驗針對球的種類、彈力以及體積大小進行研究。發現以下幾點：



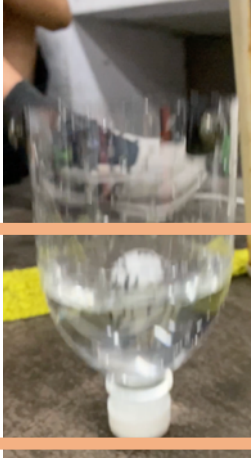

1. 球的種類會影響噴流效果，海綿球與塑膠球能浮在水面下，較輕的海棉球能夠藉水柱噴射出，重的塑膠球則一直在水面下水柱亦無法噴射出。
2. 球本身的彈力不影響噴流效果，彈力球及乒乓球本身彈力很好；彈力球浮在水面下噴射高度不高；乒乓球浮在水面上噴射高度較高。
3. 球的大小會影響浮力，以直徑9公分的寶特瓶為例，體積小的保麗龍球浮力不夠掙脫強力磁鐵的磁力，減少噴射高度；以直徑4公分的保麗龍球的噴射高度最好；超過4公分的保麗龍球，可能重量亦會減少噴射的高度。

三、探討深水炸彈產生噴射的原理：

1. 深水炸彈受到浮力、沃辛頓射流及超彈力碰撞等交互作用影響球體噴射高度的變化。
2. 球體噴射的撞擊波來自於寶特瓶及水的重量，在瓶蓋撞擊地面後，地面給予的作用力透過瓶身傳遞，由四周圍形成周波振動液面網中心集中，與水體直接傳遞的能量交互作用

在液面中央形成水柱將球體向上噴射而出。

3. 浮力：經由沒入水中深度實驗得知，同一顆球在水中的體積越多，產生的浮力會越大，當球掙脫磁鐵的磁力向上浮起的同時，受到噴流向上的推力，會讓球噴射的高度更高。
4. 沃辛頓射流：瓶身受到衝擊波影響產生震動，能量透過震動傳遞到水體產生周波，波向中心傳遞在中央聚集產生最高峰，此時中央產生空腔，空腔會將球往水中向下拉，此時水的恢復力會填滿空腔，加上底部撞擊後反作用力向上傳遞的能量，匯集在一起後向上噴射，若球在噴流中央就會如同沃辛頓射流被推著噴射出。
5. 超彈力碰撞：在寶特瓶直徑大小與寶特瓶水位實驗中，可得知相同的保麗龍球會因為水量越多，重量越大，保麗龍球噴射的高度會越高，與超彈力碰撞的情況相同。

			
水波向中間集中產生空腔	撞擊瞬間產生週波	球被吸引至空腔內	結合底下能量形成水柱噴出

伍、結論

根據我們的實驗結果，可以整理出以下的結論：

一、探討衝擊波對寶特瓶內水中不同種類、大小球體噴射高度的影響

1. 球的種類：浮力較大、以釣魚線及磁鐵固定在水面中央，會讓球噴射更高。
2. 球的大小：體積小的球浮力小，需擺脫磁力才能噴射出去；體積大的球重量較重，噴流效果也不好。

二、探討衝擊波對不同寶特瓶身內水中球體噴射高度的影響

1. 相同水位時，直徑愈大的寶特瓶重量越大，產生的撞擊波可讓球噴射更高。

2.撞擊面較小的寶特瓶蓋產生的撞擊波對球體的噴射較高。

3.釋放高度越高造成撞擊波對球體的噴射高度越高。

4.瓶頸斜度較大的寶特瓶產生的撞擊波對球體噴射較高，瓶頸斜度90度的直筒瓶身較難產生噴流。

三、 探討衝擊波對改變水體變因時，瓶內球體噴射高度的變化

1.水位越高重量越大，產生的撞擊波對球體噴流更高。

2.球體一半沒入水中，排開水的體積會形成浮力加上撞擊波會讓球體噴射高度更高。

四、 探討不同釋放高度撞擊波對球體及水柱噴射高度的變化

1.釋放高度越高產生的撞擊波對球體產生的噴流更高。

2.相同條件下水柱與球體噴射高度具有關聯性。

五、 深水炸彈(浮球)噴射原理探討

1.水體與寶特瓶為傳遞撞擊波的角色，撞擊波由瓶蓋沿著瓶身及水體傳遞，匯集在水面中央形成水柱向上噴射而出。

2.在有浮球的情況，在液面中央形成空腔，水的表面張力會快速填滿空腔，周波推動水流向中心流動，與底層傳遞的碰撞能量一起匯集而集中噴射。

3.浮球在噴射之後水的內聚力會形成一股細長水柱。

六、 找出彈跳最高的條件

本實驗直徑4公分的保麗龍球、以釣魚線及磁鐵固定在水面中央深度約2公分、直徑11公分的寶特瓶、碰撞面積小、瓶頸斜度大、水位高於8公分、釋放高度越高產生的噴射越好。

陸、參考文獻資料

1.沃辛頓噴流

Zhuojun Cai, Bo Wang, Shijie Liu, Haofei Li, Siqi Luo, Zhichao Dong, Yilin Wang, Lei Jiang. (2022). Beating Worthington jet by surfactants. *Cell Reports Physical Science*, CellPress.

2.表面張力

李品慧 (2008)。表面張力的現象與成因。科學 Online 高瞻自然科學教學資源平台。 <https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=1529>

3.浮力

李品慧 (2009)。浮力 〈Buoyancy〉 科學 Online 高瞻自然科學教學資源平台。 <https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=1533>

4.超彈力碰撞

何治樺、杜宗勳、李亞宸。物理演示實驗室。 <https://phy.tw/科學實驗/item/101-item-title>

【評語】 080113

主題發想新穎，變因控制設計與現象觀測多元仔細，實驗影片及照片皆清楚呈現實驗結果。討論主題 2-4，討論變因控制上有連貫性，可以清楚地看出最佳的結果，但其他討論主題的實驗之間的因果關聯性較缺乏；數據測量時有進行多次測量後再取平均，如可以把誤差放入作圖內，能使實驗結果更具有參考性。選擇數據圖可以再思考除了長條圖以外的呈現方式並清楚標明縱軸跟橫軸分別代表什麼，同學可以再多了解實驗中所使用的裝置及相關原理。

作品海報

深水

炸



彈

探究衝擊波對
水體與浮球之力學交互作用

摘要

本實驗是探討球體受到水與寶特瓶撞擊後交互作用產生噴射的實驗。藉由研究裝著球與水的寶特瓶落下高度與球的噴射高度數據，找出交互作用的關聯性，進而找到噴射的最佳條件，並探討球噴射的原理。

我們藉由電磁鐵、滑軌裝置，以攝影慢速播放方式，發現球體噴射的力來自於撞擊波，藉由寶特瓶瓶身及水體傳遞能量，在水面中央形成空腔及水柱噴射。本實驗以直徑4公分的保麗龍球、使用釣魚線及磁鐵固定在水面中央、約2公分沒入水中；直徑11公分、瓶頸斜度大、撞擊面積小的寶特瓶組合，產生的撞擊波對球體有最佳噴射高度。

研究動機

我們在網路看到一部有趣實驗，拍攝者將寶特瓶切開後裝水，再將球放置在水的正中間，之後把寶特瓶放開撞擊地面，球會彈起比原本高度還高，像是炸彈在水裡開花一樣，所以想要試試進行這個研究。

研究目的

- 一、設計深水炸彈實驗裝置。
- 二、探討衝擊波對寶特瓶內水中不同種類、大小球體噴射高度的影響。
- 三、探討衝擊波對不同寶特瓶身內水中球體噴射高度的影響。
- 四、探討撞擊波對改變水體變因時，瓶內球體噴射高度的變化。
- 五、探討不同釋放高度撞擊波對球體及水柱噴射高度的變化。
- 六、深水炸彈(浮球)噴射原理探討。
- 七、找出彈跳最高的條件。

應用原理

- 一、沃辛頓射流：當物體進入液體表面時，會形成一個空腔，然後水的表面張力和恢復力會將空腔填滿，因為瞬間恢復速度很快，導致空腔中央射出一道水柱。
- 二、表面張力：水中的水分子會以相同大小對鄰近的分子產生吸引力。但是水最上端的分子因為上方沒有相同的分子去吸住它，所以為了不被向下拉，於是就將表面積縮小。
- 三、浮力：將物體放在液體、氣體等物質上會產生一個和地心引力相反的作用力。在水平面上的物體(浮體)，它的浮力等於物體的重量。
- 四、超彈力碰撞：兩顆質量不同的球，小球在大球上同一垂直線上自由落體下降，撞擊到地面後，小球受到撞擊及能量累積，小球會以更快的速度回彈，高度亦會比原來位置高，與深水炸彈的情形很類似。

研究設備及器材

- 一、研究器材:自製滑軌裝置、自製彈珠台彈簧發射器、自製電磁鐵撞擊噴射裝置、熱熔膠槍、熱融膠、釣魚線、強力磁鐵、釘書針、捲尺、平板、直徑1-7公分的保麗龍球、不同種類的球、不同大小的寶特瓶。
- 二、研究器材: 威力導演(分析影片影格時間軟體)

研究過程與結果

一、設計深水炸彈實驗裝置

實驗一、深水炸彈試做實驗

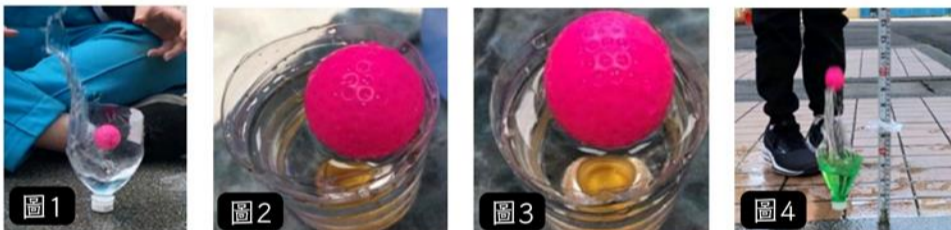


圖1、水柱噴起、球停留在瓶中。 圖2、受水的表面張力影響球會往瓶身吸附。
圖3、利用磁力將球固定在水面中央。 圖4、深水炸彈成功彈射

實驗二、製作自製電磁鐵撞擊噴射裝置



圖5、第一代自製裝置。 圖6、第二代自製裝置。 圖7、電磁鐵實驗進行方式。
圖8、在不同高度錄製影片，減少角度判讀誤差。

二、探討撞擊波對瓶內水中不同種類、大小球體噴射高度的影響

實驗一、不同種類的球彈跳實驗

對照圖	塑膠球	硬式海綿球	彈跳球	塑膠高爾夫球	乒乓球
球的種類	塑膠球	硬式海綿球	彈跳球	塑膠高爾夫球	乒乓球
平均彈跳高度	3公分	6公分	15.5公分	6公分	17公分

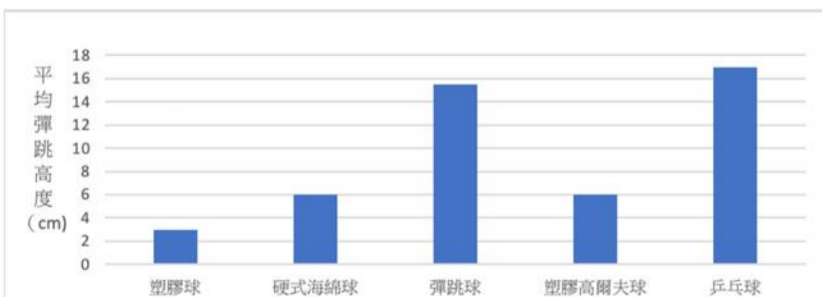


圖9、不同種類的球平均彈跳高度比較圖

實驗二、探討撞擊波對瓶內水中不同種類球體噴射高度的影響

對照圖	2.5cm	2.8cm	3.2cm	3.7cm	4cm
球的種類	塑膠球	硬式海綿球	彈跳球	塑膠高爾夫球	乒乓球
平均噴射高度	沒噴射	202.93公分	沒噴射	95.2公分	249.3公分

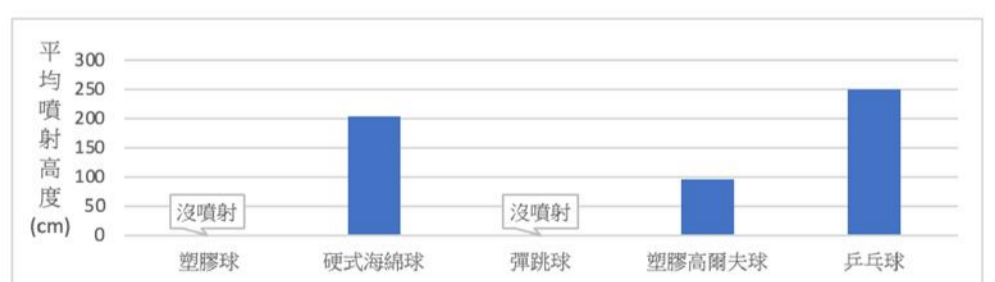


圖10、不同種類球體噴射高度比較圖

實驗三、探討撞擊波對瓶內水中不同大小球體噴射高度的影響

對照圖	1公分	2公分	3公分	4公分	5公分	6公分	7公分
直徑	1公分	2公分	3公分	4公分	5公分	6公分	7公分
平均噴射高度	40.3公分	195.5公分	229.8公分	245.7公分	193.2公分	137.2公分	122.1公分

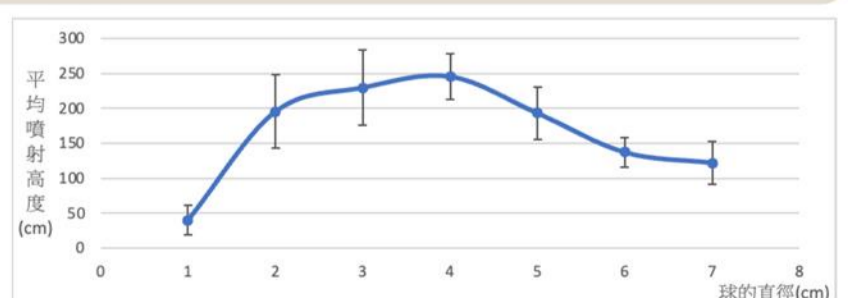
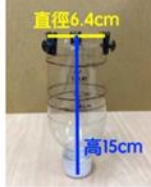

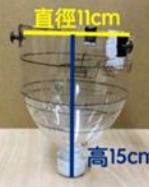


圖11、不同大小球體噴射高度比較圖

* 1.球噴射高度與彈跳力沒有相關。 2.以直徑9公分的寶特瓶，4公分的保麗龍球噴射高度最高。

三、探討衝擊波對不同寶特瓶身內水中球體噴射高度的影響

實驗一、探討衝擊波對不同直徑瓶身水中球體噴射高度的影響

對照圖			
寶特瓶直徑	6.4公分	9公分	11公分
平均噴射高度	181.4公分	247.7公分	251.8公分

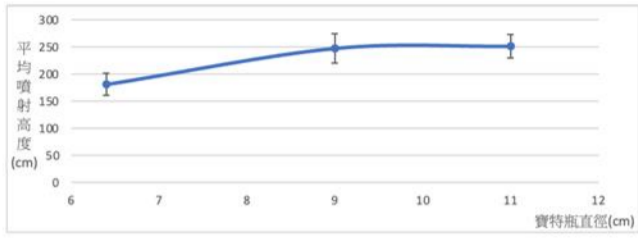
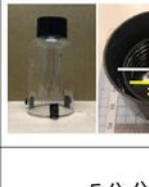
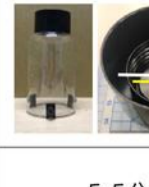


圖12、不同直徑寶特瓶對瓶內球體噴射高度比較圖

* 相同條件，直徑越大的寶特瓶，球的噴射高度越高。

實驗二、探討撞擊面大小衝擊波對瓶內水中球體噴射高度的影響

對照圖		
瓶蓋外直徑	5公分	5.5公分
平均噴射高度	257.6公分	174.7公分

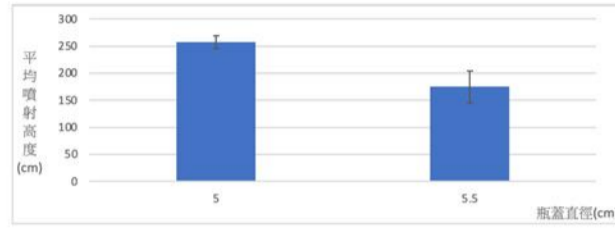





圖13、撞擊面大小衝擊波對瓶內球體噴射高度比較圖

* 相同條件，撞擊面越小，球噴射高度越高。

實驗三、探討撞擊波對不同斜度瓶頸瓶內水中球體噴射高度的影響

對照圖			
瓶口斜度	大	中	90度
平均噴射高度	76.3公分	90.5公分	29.1公分

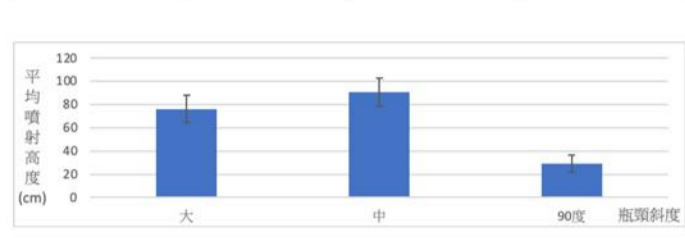
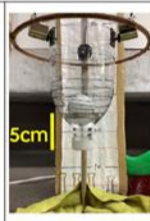
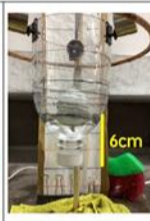

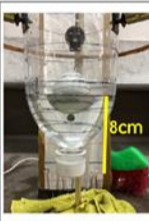
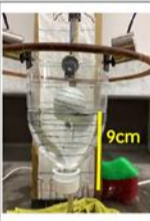


圖14、撞擊波對不同瓶頸斜度寶特瓶瓶內球體噴射高度比較圖

* 1. 瓶口斜度越大，球的噴射高度越高。
2. 因水位高5公分，斜度大的寶特瓶水量較少。

四、探討衝擊波對改變水體變因時，瓶內球體噴射高度的變化

實驗一、探討水位高低不同，衝擊波對瓶內水中球體噴射高度的影響

對照圖					
水位高度	5公分	6公分	7公分	8公分	9公分
平均噴射高度	117.2公分	133.8公分	167.7公分	247.7公分	248.3公分

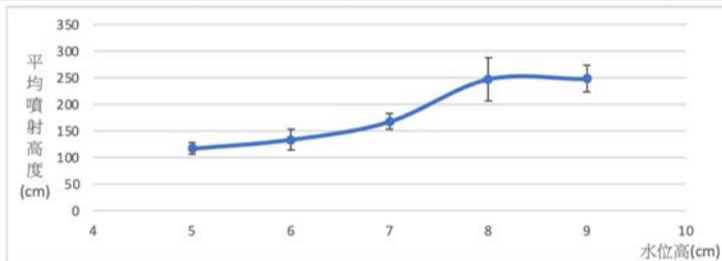
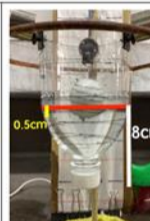
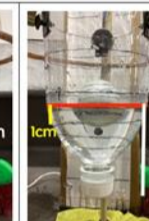
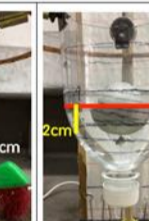


圖15、撞擊波對不同水位寶特瓶瓶內球體噴射高度比較圖

* 1. 寶特瓶水位超過9公分，電磁鐵無法吸附。
2. 寶特瓶水位越高，球的噴射高度越高。

實驗二、探討撞擊波對瓶內沒入水中不同深度球體噴射高度的影響

對照圖			
沒入水中部分	0.5公分	1公分	2公分
平均噴射高度	207.6公分	214.7公分	272.6公分

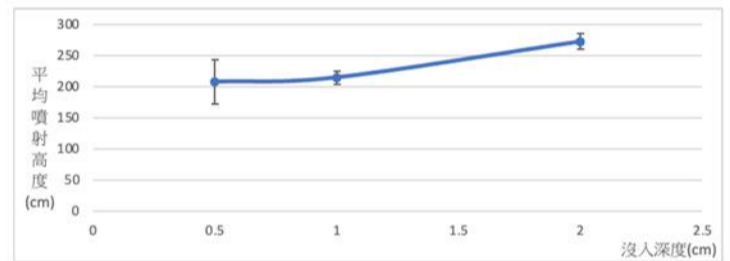


圖16、撞擊波對瓶內沒入水中不同深度球體噴射高度比較圖

* 1. 球沒入水中越多噴射高度越高。
2. 球沒入水中0.5公分的球噴射較不穩定。

實驗三、探討撞擊波撞擊寶特瓶對瓶內水體與浮球的影響

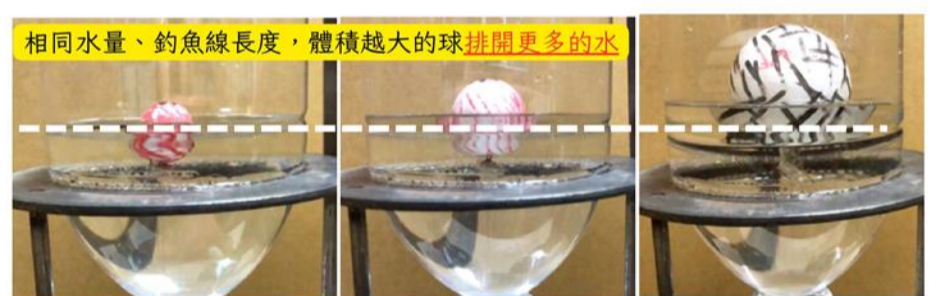
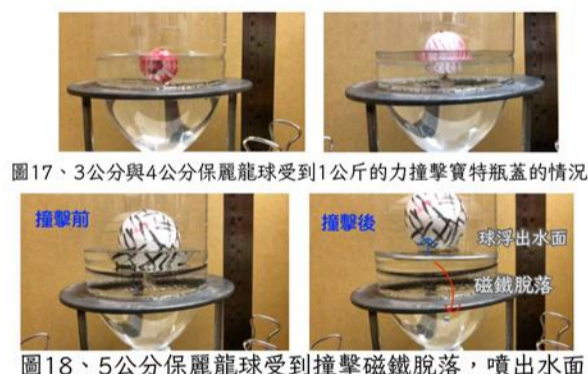

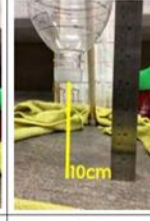



圖19、不同體積的球固定在水中後水位的高度

* 1. 只有瓶蓋向上的作用力，會產生衝擊波讓直徑5公分的保麗龍球掙脫磁力。
2. 體積越大的球浮力越大，與衝擊波相互作用讓球掙脫磁力。

五、探討不同釋放高度撞擊波對球體及水柱噴射高度的變化

實驗一、探討不同釋放高度撞擊波對瓶內水中球體噴射高度的影響

對照圖			
釋放高度	5公分	10公分	15公分
平均噴射高度	128.7公分	176.6公分	196.7公分

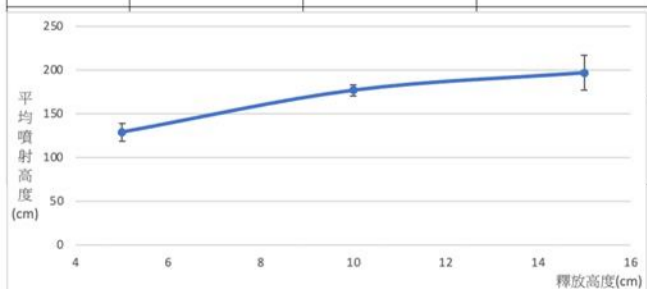





圖20、不同釋放高度撞擊波對瓶內球體噴射高度比較圖

實驗二、不同高度釋放撞擊波對寶特瓶內水柱噴射高度的影響

自製滑軌釋放裝置			
釋放高度	5公分	10公分	15公分
平均水柱噴射高度	8公分	23.2公分	33公分

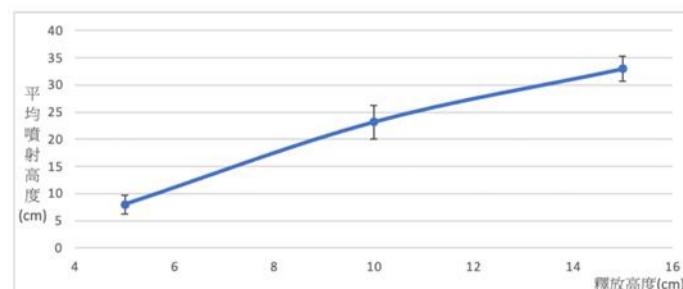


圖21、不同釋放高度撞擊波對水柱噴射高度比較圖

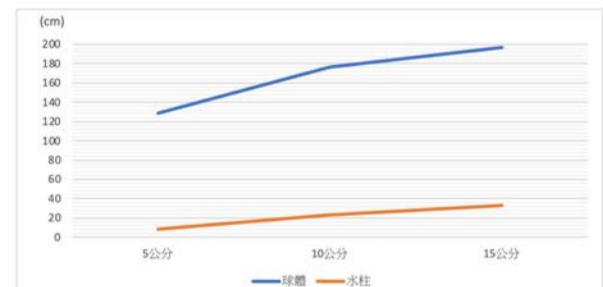
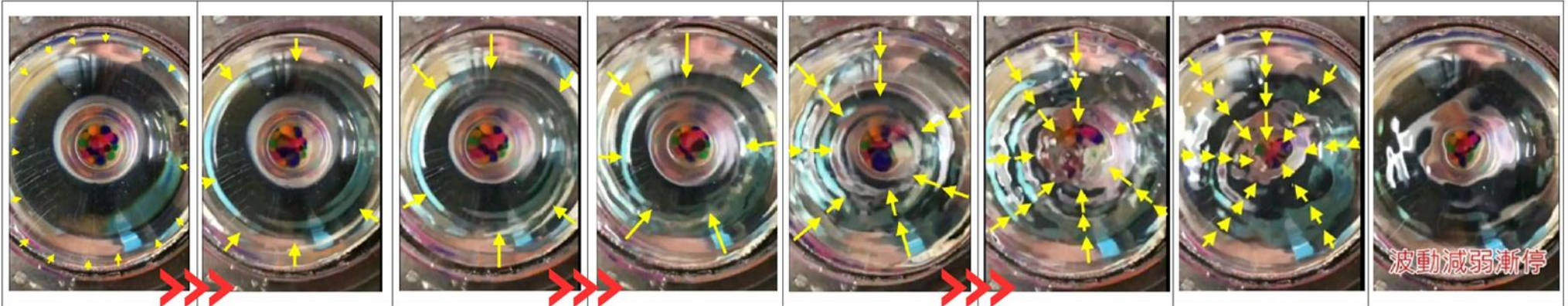


圖22、不同釋放高度對球體及水柱噴射高度比較圖

* 1. 相同條件，寶特瓶釋放高度越高，球噴射高度越高。
2. 寶特瓶釋放高度越高水柱噴起越高。
3. 球與水柱噴起高度與釋放高度有關。
4. 寶特瓶與水視為一體。球、寶特瓶與水會產生超彈力碰撞，球會噴射得很高。

六、深水炸彈(浮球)噴射原理探討

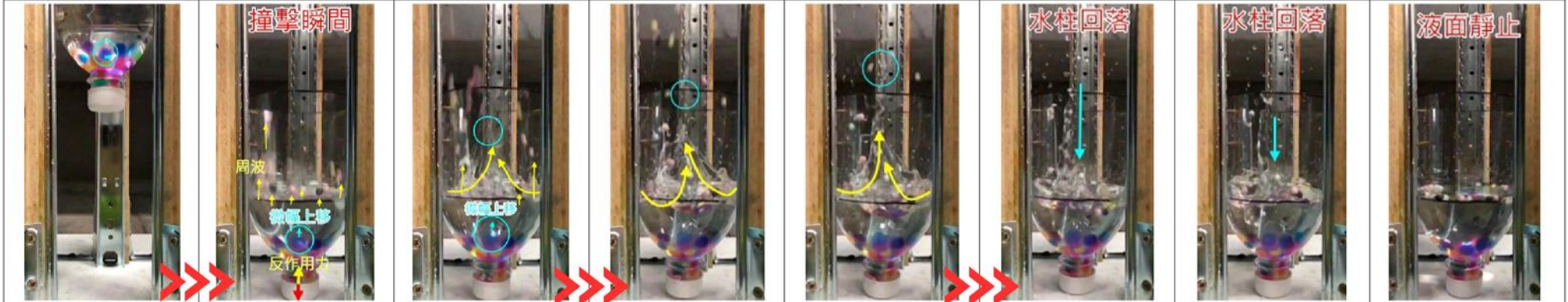
實驗一、水中放入沉底顆粒(水晶寶寶)，拍攝撞擊後水底與液面變化。



* 寶特瓶撞擊地面後衝擊波由瓶蓋沿著瓶身向上傳遞，會使瓶身產生震動，震動在水面產生一圈圈**波紋(周波)**，波紋向中間匯集，最後波紋慢慢減弱停止。

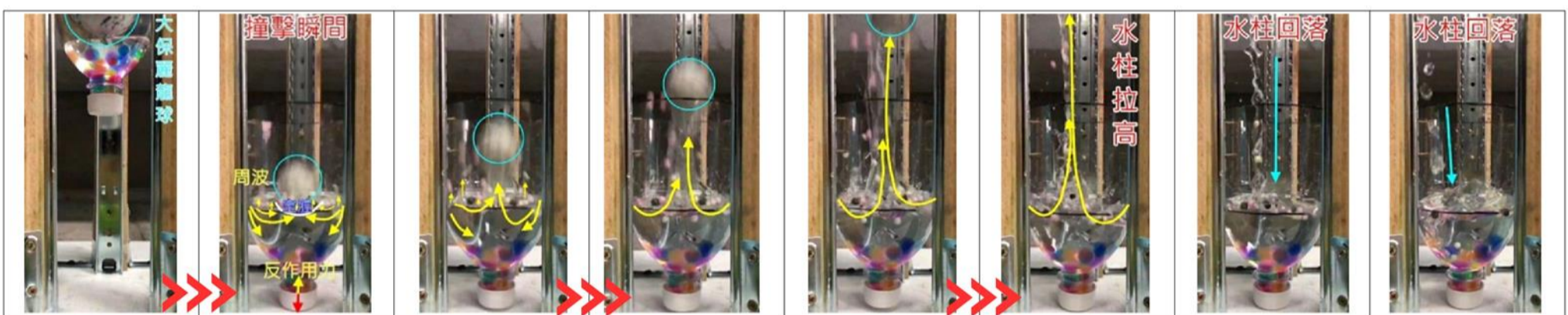
實驗二、水中放入沉底顆粒(水晶寶寶)與小浮球，觀察撞擊後水瓶內液體的流動軌跡。

甲.無裝置大浮球撞擊後水體流動軌跡分析



- * 1.撞擊後水中的**水晶寶寶微幅移動**，表示寶特瓶內的水幾乎沒有移動，僅傳遞衝擊波的能量。
- 2.撞擊後水面形成周波匯集到中間往上噴起形成水柱。

乙.有裝置大浮球撞擊後水體流動軌跡分析



- * 1.撞擊後水中的水晶寶寶微微移動，表示**水中的水幾乎沒有移動**。
- 2.撞擊後水面形成周波匯集到中間，球先被周波的**空腔**向下拉，加上撞擊的**反作用力**及水的**恢復力**，球會向上噴射到更高的位置。
- 3.因為水之間的吸引力，球噴射出水面後，會在球下形成一道又細又長的水柱。

結論

根據我們的實驗結果，可以整理出以下的結論：

一、探討衝擊波對寶特瓶內水中不同種類、大小球體噴射高度的影響

- 1.球的種類：球的**浮力**較大、以釣魚線及磁鐵固定在水面中央，會讓球噴射更高。
- 2.球的大小：球的直徑介於寶特瓶的一半效果最好，體積小的球浮力小，需擺脫磁力才能射出；體積大的球重量較重，噴流效果也不好。

二、探討衝擊波對不同寶特瓶身內水中球體噴射高度的影響

- 1.相同水位時，直徑愈大的寶特瓶**重量越重**，產生的衝擊波可讓球噴的更高。
- 2.**撞擊面**較小的瓶蓋產生的衝擊波對球體的噴射較高。
- 3.**瓶頸斜度較大**的寶特瓶產生的衝擊波對球體噴射較高，瓶頸斜度90度的直筒較難產生噴流。

三、探討衝擊波對改變水體變因時，瓶內球體噴射高度的變化

- 1.水位越高**重量越重**，產生的衝擊波會使球噴射得更高。
- 2.**球體**一半沒入水中，排開水的體積會形成浮力加上衝擊波會讓球體噴射更高。

四、探討不同釋放高度撞擊波對球體及水柱噴射高度的變化

- 1.**釋放高度越高**產生的衝擊波對球體產生的噴流更高。
- 2.相同條件下水柱與球體噴射高度具有**關聯性**。

五、深水炸彈(浮球)噴射原理探討

- 1.水體與寶特瓶為傳遞衝擊波的角色，**衝擊波**由瓶蓋沿著瓶身及水體傳遞，匯集在水面中央形成水柱噴出。
- 2.在有球的情況，液面中央形成**空腔**，水的恢復力會快速填滿空腔，**周波**向中心流動，與底層傳遞的能量一齊噴射。
- 3.浮球在噴射之後水的內聚力會在球下方形成細長的**水柱**。

六、找出彈跳最高的條件

本實驗使用直徑4公分的保麗龍球、以釣魚線及磁鐵固定在水面中央深度約2公分、直徑11公分的寶特瓶、碰撞面積小、瓶頸斜度大、水位高於8公分、釋放高度越高產生的噴射最好。

參考資料

- 李品慧 (2008)。表面張力的現象與成因。科學Online高瞻自然科學教學資源平台。
- 李品慧 (2009)。浮力 (Buoyancy) 科學Online高瞻自然科學教學資源平台。
- 何治樺、杜宗勳、李亞宸。超彈性碰撞。物理演示實驗室。