

潛水艙的創新動手做實驗裝置

周建和、楊美嫻*

國立高雄師範大學 物理系

*通訊作者: maysun5433@gmail.com

(投稿日期: 民國 103 年 12 月 3 日, 接受日期: 103 年 12 月 13 日)

摘要: 本文討論如何利用簡易的材料製作自動潛浮之潛水艙, 幫助學生學習密度與浮力相關科學概念。各式自製潛水艙的沉浮機制主要來自發泡材料遇水產生氣體所造成的密度變化。裝置製作的重點考量包括: 氣艙空間的設計、氣體產生速率的快慢、排氣與進水的控制、與壓艙的重量。各種不同型態的潛水艙有相同的潛浮基本要素, 也有不同的排氣與進水設計, 操作時現象清楚容易觀察。實徵教學的發現, 裝置使用素材來自日常生活中、材料便宜而且可隨意取得、也容易製作與操作、並且同時具有創意培養與問題解決的學習內涵, 適合作為中小學生物理學習與一般民眾科普推廣的動手做實驗活動。

關鍵詞: 密度、浮力、動手做、教學演示

壹、前言

近年來物理教學改革的趨勢, 注重探索科學興趣與熱忱的培養、科學與技術探究方法和基本知能的學習、也強調溝通表達、團隊合作的能力、以及獨立思考問題解決能力的培養。同時主張在科學學習方面應以學習者的活動為主體、以探究和實作的方式來進行、知能與態度並重(教育部, 2008; 閻金鋒與郭玉英, 2008)。動手做實驗活動最常用來激發學生的科學學習興趣, 也被用來培養

學生的科學態度及科學方法。學生經由活動體驗科學探究、瞭解科學本質、鍛鍊科學過程技能。實驗活動在科學教育發展中已經有很長的一段時間, 並且被視為科學教育中的一環, 好的實驗活動可以提供學生建構知識的機會(Hadzigeorgiou, 2002; King, 2007; Tamir, 1990; Tobin, 1990)。

用來幫助學生了解浮力與密度的動手做實驗不少, 常見的有: 利用黏土或其他材料, 做出承載重量最多的船具; 利用水與油, 或不同濃度著色糖水、鹽水的密度不同呈現分

層；以 POE 教學方式進行不同水果放入液體中沉浮的預測與結果解釋；利用擠壓、放鬆，改變密閉寶特瓶內浮沉子密度，以控制其沉浮；利用熱漲冷縮，液體對流做為裝飾品的熔岩燈；以及將葡萄乾放入汽水中，藉著葡萄乾的縐褶表皮吸附氣泡因而上升，接近水面時又因氣泡逃脫沉入水中，狀似潛水艇的潛浮（周建和，2007）。市面上也見過應用葡萄乾放入汽水相似原理的潛水艇玩具，利用發泡材料遇水產生的氣體造成潛水艇密度的變化以驅動其自動沉浮。然而市售產品的外形色彩不透明無法直接看到內部的水位高低變化、學習者也不容易做其他改變、加上偏高的價格，其使用率有限，幫助科學學習的效果也有很大的改進空間。基於以上原因，探討如何利用簡易的材料製作自動潛浮之潛水艙的創新空間，可以用來增加浮力與密度單元的教學資源，幫助中小學學生的科學學習（林建志等，2008）。本文提出數種創新研發潛水艙動手做，以所使用的主體材料命名，先說明製作步驟以及如何自動沉浮，接著分析它們之間的異同，最後呈現一些實徵教學的發現與經驗。

貳、實驗裝置

具有集中發泡材料所產生氣體的空間就可用來製作自動潛浮之潛水艙，從扭蛋殼等塑膠瓶、有凹面的吸盤與氣球托、一直到一端封口的吸管、甚至連鏈袋都可以作成潛水艙。艙體通常需要加上金屬線、螺帽等不同重物，作為壓艙物，提供其達到下沉的條件。各種不同的艙體因為材質、形狀、大小不同，需要以不同方式設計其進水排水、進氣排氣的機構。關於燃料方面，市面上容易取得的發泡材料有：製作麵包時讓麵包膨鬆的泡打粉、洗澡時使人涼快舒服的浴用泡澡錠、清

潔假牙的發泡錠、以及了產生快速吸收的藥用發泡錠，它們遇水產生氣體的速率有所差異，各種潛水艙依其需求，會選擇搭配使用。茲分述如下：

(一) 扭蛋潛水艙

一、器材：透明的扭蛋外殼或塑膠圓筒、可彎吸管、螺絲帽或鋼珠、泡澡錠。

二、步驟：

1. 在扭蛋硬殼接合處上方，以及靠近底部適當距離各打對稱的兩個孔，如圖 1 所示。
2. 剪下可彎吸管前段，經由硬殼孔放入殼內，接著用火源適當加熱吸管口，如圖 2 所示。
3. 加熱過吸管口後，以原子筆前端適當擴大管口，如圖 3 所示。
4. 再將另一個吸管前段放入接合成一長段，如圖 4 所示。
5. 用加熱過的針頭對已接合的吸管「旁」以及「下」鑽數個細孔，如圖 5、圖 6 所示。
6. 將四個螺絲帽用熱熔膠相黏，在與軟殼接合。注意平衡不要傾斜，如圖 7 所示。
7. 將潛水艙頂部的可彎吸管彎曲朝上，朝上吸管長度約略超過硬殼頂部，如圖 8 所示。
8. 將上半身與下半身接合，即完成作品，如圖 9 所示。

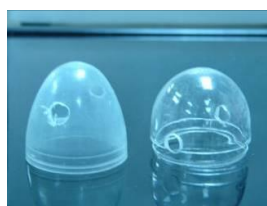


圖 1：艙體上下各打 2 個孔。



圖 2：用火源加熱吸管口。



圖 3：以原子筆擴大管口。

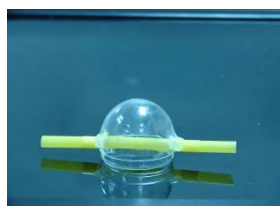


圖 4：兩段吸管接合。

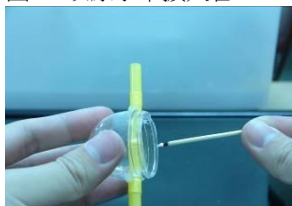


圖 5：吸管打細孔。

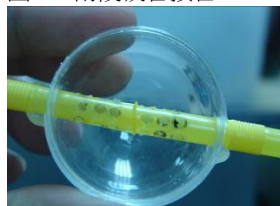


圖 6：打細孔的位置



圖 7：用熱熔膠黏合螺帽。



圖 8：吸管彎曲朝上超過頂部。



圖 9：上下殼接合。

三、現象觀察與原理說明：

1. 上浮：從起始的液面高度，經由發泡錠與水接觸後於艙內產生氣泡使內部氣壓上升，而將內部的水壓出艙外，使艙內液面下降，導致潛水艙的總質量下降，在潛水艙外部體積不變的條件下，潛水艙因整體密度小於水而上浮，如圖 10 所示。
2. 下沉：從浮在水面後的液面高度，艙內氣體經由吸管大量排氣而導致潛水艙內部氣體壓力驟降，而使艙外的水灌入艙內，使液面高度再度升高，導致潛水艙的總質量上升，在潛水艙外部體積不變的條件下，潛水艙整體密度大於水而下沉，如圖 11 所示。

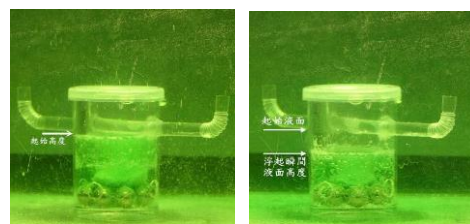


圖 10：上浮的液面高度變化。

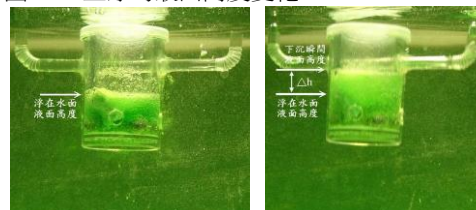


圖 11：從水面開始下沉的液面高度變化。

(二)、球托潛水艙

一、器材：球托、膠條、粗漆包線、泡打粉。

二、步驟：

1. 用鑽頭將球托底部打兩個洞，大小要能夠讓水與氣順暢通過，如圖 12 所示。
2. 用約 1.5 公分長的膠條將球托上方封口（或用一端封口的吸管取代），如圖 13 所示。
3. 將漆包線纏上球托，並扭曲成想要的造型，如圖 14 所示。
4. 將膠條拔起，填裝泡打粉於球托管狀空間內，再裝回膠條，放入水中，觀察現象。

三、現象觀察與原理說明：

1. 上浮：當球托潛水艙放入水中，艙內泡打粉因浸水而產生氣泡，氣泡經由艙體下方孔洞排出並停留於艙底凹形結構內，導致潛水艙總體積隨氣泡變大而增加，在總質量幾乎不變的條件下，潛水艙因整體密度逐漸變小，至小於水時而上浮。
2. 下沉：當潛水艙上浮至接近水面時，因為搖晃而失去平衡，使氣泡從球托底部逃脫排出，導致潛水艙總體積隨之驟降，密度又再度回升至大於水而下沉，如此反覆數次。



圖 12：用鑽頭將底部打洞。

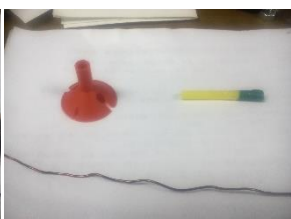


圖 13：用膠條將球托封口。



圖 14：纏上漆包線扭成造型。

(三)、吸盤潛水艙

一、器材：吸盤、吸管、膠條、泡打粉，如圖 15 所示。

二、步驟：

1. 用驗票用打孔器將一段吸管中間打一個凹口（凹口佔吸管一半），凹口向上水平放入吸盤，如圖 15、圖 16 所示。
2. 將另一隻吸管放入吸盤上方的垂直孔洞，修剪至適當的長度，用約 1.5 公分長的膠條將吸管上方封口（或用一端封口的吸管取代），如圖 16 所示。
3. 將垂直的吸管上方塞上膠條封口（或以吸管封口取代），如圖 17 所示。
4. 將垂直吸管拔起填裝泡打粉後裝回吸盤，放入水中，觀察現象。必要時，重複上述步驟進行調整。

三、現象觀察與原理說明：

1. 上浮：當吸盤潛水艙放入水中，水由橫向的凹口吸管流入後，再流入垂直吸管，並使垂直管內的泡打粉浸水而產生氣泡，當垂直吸管内氣壓上升而擠壓艙內的水由橫向吸管排出，使得潛水艙總質量變小且同時排開水的體積也變大條件下，導致潛水艙因整體密度逐漸變小，當密度小於水時而上浮。

2. 下沉：當上浮至液面時因為搖晃，使氣體由橫向吸管排出後管內氣壓驟降，水再度由橫向的吸管流入，導致密度又再度回升至大於水而下沉，如此反覆數次。



圖 15：吸盤、凹口吸管、吸管、膠條、泡打粉。



圖 16：凹口吸管水平放入吸盤。



圖 17：垂直的吸管上方塞上膠條封口。

(四)、藥盒(顏料盒)潛水艙

一、器材：家居生活分裝藥丸的小藥盒（或用來分裝水彩的密封顏料盒）、小螺帽六顆、吸管一隻、發泡錠一包。

二、步驟：

1. 藥盒常是數個連成一串，將藥盒裁切分開，如圖 18 所示。
2. 將藥盒兩側各打一個孔洞（排水/進水用），蓋子中央打一個孔洞（排氣/進氣用），如圖 19 所示。
3. 將吸管插入藥盒上方的排氣孔，放入螺帽，調整螺帽數目使潛水艙密度約等於水的密度（藥盒蓋子剛好位在水面附近），如圖 20 所示。
4. 調整吸管上下位置以控制盒內進水量的多寡。
5. 將發泡錠敲成小塊放入藥盒，再放入水中，觀察現象，必要時，重複上述步驟進行調整。

三、現象觀察與原理說明：

1. 上浮：當藥盒潛水艙放入水中，水由藥盒上方的吸管流入後，使艙內的發泡錠浸水而產生氣泡，使艙內氣壓上升而擠壓艙內的水由兩側孔洞排出，使得潛水艙總質量變小，在潛水艙外部體積不變的條件下，導致潛水艙因整體密度逐漸變小，當密度小於水而上浮。
2. 下沉：當上浮至液面時，艙內氣體經由吸管排氣而導致艙內氣壓驟降，水再度由兩側孔洞流入，導致潛水艙的總質量上升，密度又再度回升至大於水而下沉，如此反覆數次。



圖 18：先將顏料盒裁切分開。



圖 19：將顏料盒打洞，兩側進排水洞，中央進排氣洞。

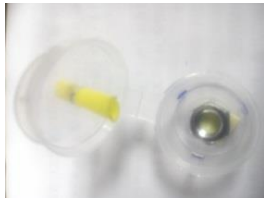


圖 20：將吸管插入排氣孔，放入螺帽。

(五)、吸管潛水艙

一、器材：透明粗吸管、有色粗吸管、粗漆包線、發泡錠一包。

二、步驟：

1. 用塑膠袋封口機將透明吸管一端封口備用，如圖 21 所示。
2. 裁減透明吸管至適當長度，靠近中央處纏上漆包線若干（可彎成蝦腳造型），用剪刀於前段下方剪一切口，插入吸管小片以防止放入的發泡錠小塊因傾斜而滑落，如圖 21 所示。
3. 將有色吸管剪出（如蝦子或鯊魚）造型，包在透明吸管外殼。注意：透明吸管封

口處為頭部，未封口處為尾部，如圖 22 所示。

4. 將發泡錠敲成小塊放入吸管潛水艙內，再將潛水艙放入水中，觀察現象，必要時，重複上述步驟進行調整。

三、現象觀察：

1. 上浮：當吸管潛水艙放入水中，水由尾部（透明吸管未封口處）流入，使艙內的發泡錠浸水產生氣泡，產生的氣泡往頭部（吸管封口處）流動，使潛水艙頭部朝上、尾部朝下傾斜，因艙內氣壓急遽上升而擠壓艙內的水由尾部排出，使得潛水艙總質量變小，在潛水艙外部體積不變的條件下，導致潛水艙因整體密度小於水而快速上升。
2. 下沉：當潛水艙升至水面時，艙內氣體經由尾部排氣而導致艙內氣壓驟降，水再度由尾部流入艙內，導致潛水艙的總質量上升，密度又再度回升至大於水而下沉，狀似蝦子在水中的游動，如此能反覆上下浮沉數次。

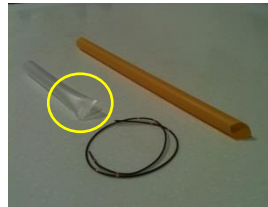


圖 21：透明吸管一端封口。



圖 22：插入吸管小片防止發泡錠因傾斜而滑落。



圖 23：蝦子和鯊魚造型之吸管潛水艙。

參、實徵教學的發現與經驗

(一)、「潛水艙」活動學習情形及學習後的感想意見調查表

為了瞭解潛水艙的創新動手做實驗裝置在科學學習上是否發揮作用，特別將這些實驗裝置拿到中小學自然科學活動場合試用，並實施使用意見調查，蒐集回饋與反映。調查工具為「潛水艙活動意見調查表」，茲請科學教育方面的專家、物理教育方面的專家、國中小現職教師共六位進行專家效度的評定。

以 103 年 3 月台南某高中科學活動的培訓活動為例，發放問卷 58 份，共計回收問卷 58 份，回收率為 100%。在 58 名受測學生中，高三生 1 人，高二生 57 人。調查表共計 15 題，得分範圍為 1~5 分，分數愈高，表示學生對使用潛水艙創意教具之同意程度愈高；分數愈低，表示同意程度愈低。受測學生對使用潛水艙創意教具之各題的同意度之平均值皆達 3.28 以上，傾向於同意以下觀點：

- (1) 學生喜歡潛水艙創意教具、能夠操作潛水艙創意教具實驗、讓學生更喜歡動手做實驗；
- (2) 使用潛水艙創意教具對學生的科學學習有幫助、可以激發學生的好奇心、使學生聯想到科學問題、幫助學生思考科學概念、學到科學知識；
- (3) 潛水艙創意教具具安全性；
- (4) 潛水艙創意教具可以做更多的實驗；
- (5) 學生會想和其他人一起玩潛水艙創意教具；
- (6) 學生會想再參加潛水艙創意教具活動。

(二)、「潛水艙」活動的教學設計

「潛水艙」活動的教學設計是一個以動手做實驗為主的教學設計（Hands-On Toward；以下簡稱 HOT），在試用階段活動的教學設計嘗試過三種模式，分述如下

1. 關於動手做模擬科學史小故事教學模式 HOT-IHVs (Interactive Historical Vignettes)：

精選古今相關科學發現為題材，籍由文章導讀、小組腦力激盪、教室內科學發現相關的情境模擬的動手實驗，引導認識科學革命如何影響現代科技與文明，藉以提昇科技素養(郭庭源等,2009)。「潛水艙」用來搭配阿基米德原理的認識與發現。

2. 關於動手做 5E 探究式教學模式 HOT-5E：依照 5E 學習模式 Engagement、Exploration、Explanation、Elaboration、Evaluation 各階段的角色，思考可能安排哪些物理實作，進行初步的 HOT-5E 創意教學模式創意搭配設計練習，又如何使用潛水艙教具來進行這些實驗。(周建和，2007；林琬縈等，2009)。
3. 動手做創意培養教學模式 HOT-CDT (Creative Development Teaching)：隨手使用身邊隨手可及的器具材料，運用科學與技術，在短時間內製作簡易裝置，即時解決問題完成創新作品，2014 年以此模式作為「高雄市 103 年度國民中小學創意運動會腦力競賽」國小組的決賽題本。

(三)、「潛水艙」的創意設計

在某大學物理系分科師資培育課程中，以兩週共 4 小時的時間教做上述 5 種潛水艙後，以作業方式讓學生進行原理解釋，並且比較其中之異同。

修課同學有男 15 位，女 2 位。除了一位碩班生外，皆為大三生。在原理分析中，大部分同學都能應用物理原理合宜解釋，但卻仍然發現一些偏離科學專家概念的個案，包括：

1. 火箭推動模式：認為發泡材料產生氣體噴出產生的反作用力是上浮的動力來源。
2. 排開液體另類的解讀：認為阿基米德原理中浮力來源的「排開液體體積重」，是動態過程中潛水艙內排出的液體體積重。

在此分科師資培育課程以及另一個通識

課程中（修課同學有非理工科系大一至四同學男 8 位，女 27 位。），在知識了解與技能體驗的背景下，讓學生進行潛水艙創意專題製作，規定潛水艙作品需要與前述教做的 5 種潛水艙不同（潛浮機制不同、或主體材料不同、或動作設計、或外型不同）。在同學作品中不乏發現突顯的創意，不但是將所學的原理與技能應用，由於換了材料外在環境完全改變之下，更需要解決問題的能力。從個案心得感受中，可以看到問題解決的成效，以及創意培養的元素。

一位師資培育課程同學的心得感受這樣說：「帶我們製作潛水艙，感覺不會太難……。但是當我自己照著自己的藍圖製作時，才發現洞的位置是門學問。重點是水跟氣體不一定會照著你想的洞進出。要不斷調整與測試。發泡錠的大小也很重要，當發泡錠太大時，產生的氣泡太多就不容易沉下去。每次測試的過程，都有小地方要調整，就不像上課時，一下就能成功。自己動手做玩具，讓我學習到如何解決問題，在每次失敗中尋找可能的原因，然後改進再改進。重要的是不要放棄，持續的測試，就會找到能成功的方法。」。該組的作品「潛水怪獸」如圖 24 所示。

通識課程同學的心得感受這樣說：「習慣以視覺經驗和感覺經驗出發的我們，在碰上『物理』時，會有許多新奇的地方，而當物理被『生活』化時，又帶來了更多不同的感受。……潛水艇的改造和實驗部份，著實花了我們不少時間，要拿捏好整體的重量是第一道關卡，而難題就是如何在一開始不使氣泡快速排出，在浮出水面後又能自動排出，試過許多組裝的方式，最後成功的狀態是跟大家一開始想的完全不一樣，這也證明了，凡事都要多方嘗試與研究，以及找出錯誤並修正。整個實驗最大的喜悅還是在成功之時了，當屏息以待的我們，看到漁人浮出水面並下沉，組員們同時歡呼了出來呢！」。該組的作品「漁人」如圖 25 所示。



圖 24：師資培育課程同學的作品「潛水怪獸」，主體換了一個體積明顯變大的盒子，所有機制和課堂上學做的經驗都不同，需要重新設計改良，解決許多問題才能成功。



圖 25：通識課程同學的作品「漁人」，以類似藥盒的健達出奇蛋空盒，進行美觀魚身的裝修，盒子變成橫躺，重心位置、排放氣、排放水都變了，需要重新設計改良才能解決問題製作成功。

肆、結論與建議

簡易材料自動潛浮之潛水艙動手做單元含有豐富的教學設計內涵，對幫助學生學習密度與浮力相關科學概念提供的創新素材。其中氣艙空間的設計、氣體產生速率的快慢、排氣與進水的控制、與壓艙的重量是製作時的重點考量。扭蛋潛水艙、球托潛水艙、吸盤潛水艙、藥盒潛水艙、吸管潛水艙等各種不同型態的潛水艙有相同的潛浮基本要素，也有不同的排氣與進水設計，現象清楚容易觀察。實徵教學的發現，裝置使用素材來自日常生活中、材料便宜可隨意取得、容易製作、同時具有創意培養與問題解決的學習內涵，適合作為中小學生物理學習與一般民眾科普推廣的動手做實驗活動。

致謝

感謝國科會科學教育實作型成品設計製作計畫補助(計畫編號: NSC 102-2511-S-017-004 - MY2), 本文為該計畫的計畫成果之一部份。

參考文獻

1. 林建志、周建和、蘇明俊 (2008). 用發泡錠驅動之創意潛水艙, **2008 物理教學及示範研討會**, 彰化師範大學。
2. 林琬縈、蘇明俊、周建和 (2009). 以 5E 學習環教學模式為基礎探討高職進修學校物理教學策, **2009 物理教學及示範研討會論文集**, 東吳大學。
3. 周建和 (2009). 街頭物理: 還有一些物理教學, 第 1 頁, **物理雙月刊**, 8 月。
4. 周建和 (2007). Hot-5E 教學潛浮篇, **2007 物理教學及示範研討會論文集**, 逢甲大學。
5. 教育部 (2008). **國民中小學九年一貫課程綱要自然與生活科技學習領域**, 台北市: 教育部。
6. 教育部 (2008). **普通高級中學必修科目「基礎物理」課程綱要**, 台北市: 教育部。
7. 郭庭源、蘇明俊、周建和 (2009). 運用互動式歷史小故事 (IHVs) 融入高職物理教學對學生對科學態度之探討-以電磁學為例, **2009 物理教學及示範研討會論文集**, 東吳大學。
8. 黃湘武、劉謹輔、陳忠志、杜鴻模、陸業堯、江新合 (1985). 國中生質量守恆、重量守恆、外體積觀念與比例推理能力的抽樣調查研究, **中等教育**, 36(1), 44-65。
9. 閻金鋒、郭玉英 (2008). **中學物理新課程教學概論**。北京市: 北京師範大學出版集團。
10. Hadzigeorgiou, Y. (2002). A Study of the Development of the Concept of Mechanical Stability in Preschool Children. *Research in Science Education*, 32(3), 373-91.
11. King, K. P. (2007). Inertial mass, *Science Scope*, 31(4).
12. Piaget & Garcia, R. (1974). *Understanding Causality*. New York: W.W. Norton & Company. (originally published, 1971).
13. Tamir, P. (1990). Factors Associated with the Relationship between Formal, Informal and Non-formal Science Learning, *Journal of Environment Education*, 22(2), 34-42.
14. Tobin, K. G. (1990). Research on science laboratory activities, In pursuit of better questions and answers to improve learning. *School Science and Mathematics*, 90, 403-418.

Innovative Science Hands-on Kits for Buoyancy and Diving Tanks

Chien-Ho Chou, Mei-Shan Yang

National Kaohsiung Normal University, Taiwan

Corresponding author: maysun5433@gmail.com

Abstract

We use a variety of everyday items to enrich the development of automatic diving tank science hands-on kits for density and buoyancy learning. We used all kinds of diving tanks with the same fundamental mechanism of density variation due to the gas produced by foam materials being mixed with water. The gas generating rate, exhaust and intake of gas, exhaust and intake of water, weight and ballast are the important control factors. Different types of diving submersible floating cabins have different exhaust and inlet designs, are easily operated, and produce clearly observed phenomena. From the empirical teaching, we found that they are all easy to make and operate, and are effective for creative and problem-solving science learning, and also as popular science activities.

Key words: Density, Buoyancy, Hands-on experiments, Demonstration

