中華民國第55屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組　物理科

佳作

080115

Jump！彈跳泡泡！

－泡泡拍打原理與變因之研究

學校名稱：國立臺中教育大學附設實驗國民小學

作者：	指導老師：
小五 姚杰邑 小五 林敬旻 小五 張詩篇 小五 朱唯與	黃尚偉

關鍵詞：泡泡拍打、泡泡疏水性、全反射

摘要

我們發現手套能拍打泡泡，進一步探討原因和變因。研究過程中，我們自製拍打泡泡檢測裝置，延伸研究全反射和泡泡接觸角。經過實驗得出下列結論：

1. 泡泡拍打變因有「布料材質；布料毛的長短、角度、平整、密度、濕度」。
2. 泡泡拍打主要原因推論是「泡泡疏水性」（泡泡接觸可拍打布料時內聚力＞附著力，使泡泡維持接觸面積最小的「球形」，便容易脫離布料）。
3. 「可拍打布料上的球狀水珠，底部有白色痕跡」，命名為「水珠白色現象」，是全反射造成！推論布料上有空氣層，能減少泡泡和布料接觸，幫助拍打泡泡。
4. 可藉由泡泡接觸角判斷泡泡拍打狀況。泡泡接觸角越大，拍打效果越好。
5. 泡泡拍打可應用於檢測拍打泡泡效果、泡泡拍、代替空氣壓縮實驗。

壹、研究動機

有一天老師拿了一組泡泡水玩具，要求我們用玩具附帶的手套玩泡泡。結果發現容易破的泡泡，居然用手套就能拍打(圖 1)！激起我們的好奇心，想知道什麼原因讓泡泡能夠拍打？

多次拍打泡泡後，我們發現泡泡接觸手套那一瞬間，接觸地方居然有白色痕跡，我們稱為「泡泡白色現象」(圖 2)。後來觀察布料上的水珠，也看到水珠底部有白色痕跡，我們稱為「水珠白色現象」(圖 3)。實驗時發現用手套拍打空中泡泡準確度不高，需要修正實驗方式！

我們發現拍打泡泡有很多迷團，希望以四年級自然課學到空氣秘密和水的折射為基礎，深入研究拍打泡泡原因和影響變因，希望能讓玩泡泡像玩球一樣，將拍打泡泡樂趣宣揚出去。

圖 1：市面販售的拍泡泡玩具，可用專用手套拍打泡泡

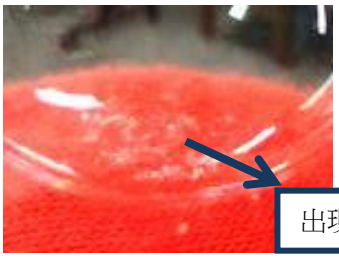


圖 2：發現泡泡接觸手套會有「泡泡白色現象」

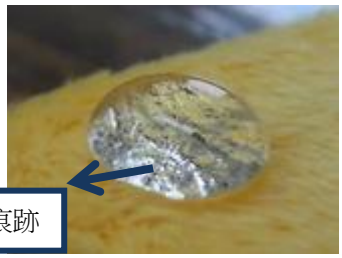


圖 3：發現水珠滴在布料上會有「水珠白色現象」

貳、研究目的

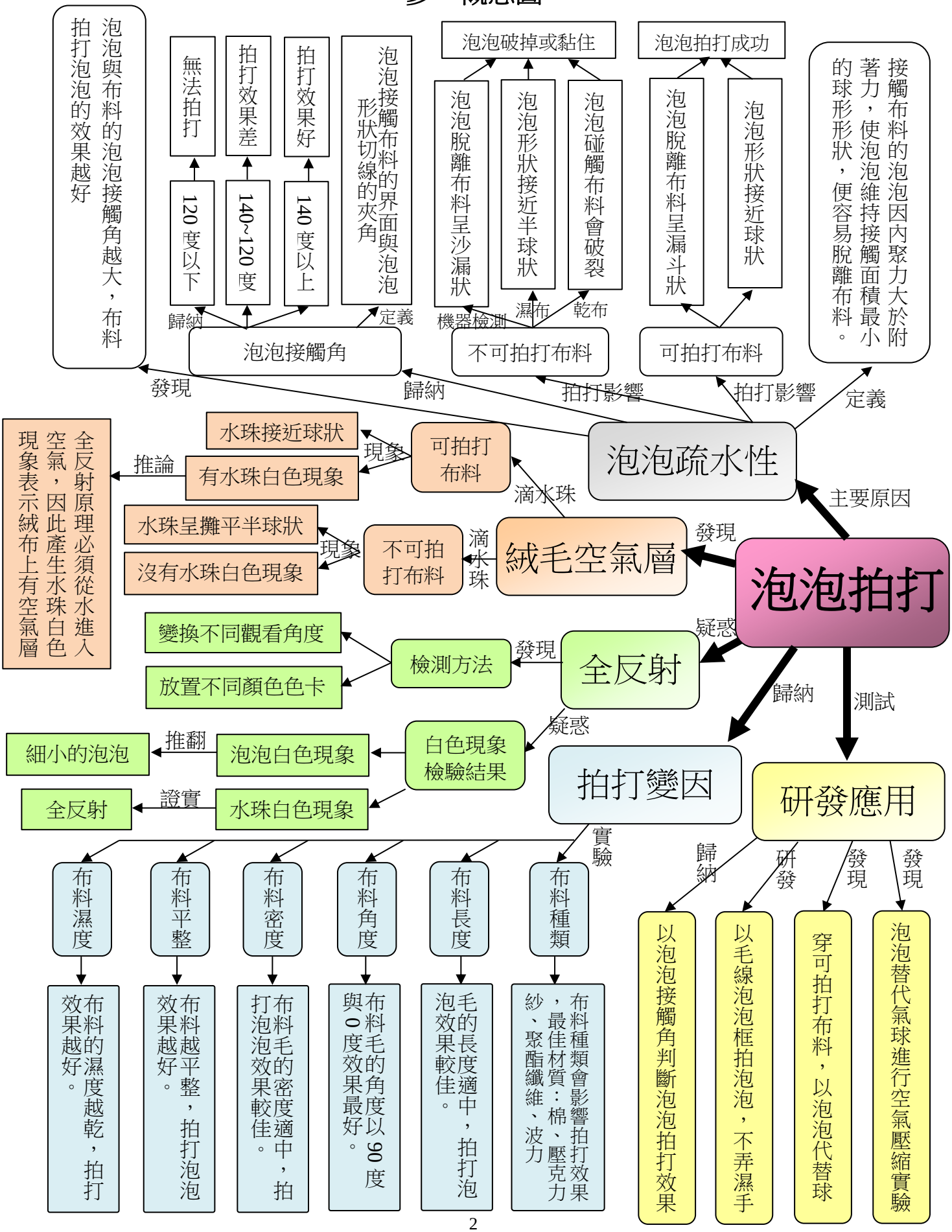
一、研究泡泡拍打的原因。

二、找出影響泡泡拍打的變因。

三、發現泡泡白色現象與水珠白色現象的原因。

四、研究泡泡拍打的應用。

參、概念圖


泡泡拍打
泡泡疏水性
主要原因
泡泡與布料的泡泡接觸角越大，布料拍打泡泡的效果越好
無法拍打
拍打效果差
拍打效果好
120 度以下
140~120 度
140 度以上
泡泡接觸布料的界面與泡泡形狀切線的夾角
歸納
定義
泡泡接觸角
發現
泡泡破掉或黏住
泡泡拍打成功
泡泡脫離布料呈沙漏狀
泡泡形狀接近半球狀
泡泡碰觸布料會破裂
泡泡脫離布料呈漏斗狀
泡泡形狀接近球狀
機器檢測
濕布
乾布
不可拍打布料
可拍打布料
拍打影響
接觸布料的泡泡因內聚力大於附著力，使泡泡維持接觸面積最小的球形形狀，便容易脫離布料。
定義
可拍打布料
現象
水珠接近球狀
有水珠白色現象
推論
全反射原理必須從水進入空氣，因此產生水珠白色現象表示絨布上有空氣層
滴水珠
絨毛空氣層
發現
水珠呈攤平半球狀
沒有水珠白色現象
現象
不可拍打布料
滴水珠
疑惑
全反射
發現
檢測方法
變換不同觀看角度
放置不同顏色色卡
歸納
測試
疑惑
白色現象檢驗結果
泡泡白色現象
推翻
細小的泡泡
水珠白色現象
證實
全反射
拍打變因
研發應用
實驗
布料濕度
布料平整
布料密度
布料角度
布料長度
布料種類
布料的濕度越乾，拍打效果越好。
布料越平整，拍打泡泡效果越好。
布料毛的密度適中，拍打泡泡效果較佳。
布料毛的角度以 90 度與 0 度效果最好。
毛的長度適中，拍打泡泡效果較佳。
布料種類會影響拍打效果，最佳材質：棉、壓克力紗、聚酯纖維、波力
歸納
研發
發現
發現
以泡泡接觸角判斷泡泡拍打效果
以毛線泡泡框拍泡泡，不弄濕手
穿可拍打布料，以泡泡代替球
泡泡替代氣球進行空氣壓縮實驗

肆、文獻探討

一、泡泡形成原因（參考「資料 1」）：

肥皂水分子長的像蝌蚪一樣，蝌蚪頭部那一端為親水基（喜歡親近水），蝌蚪尾部那一端為疏水基（不喜歡水）（見下圖 4）。當形成泡泡時，肥皂水分子會形成內外兩層的結構，外側親水基（頭部）朝內，內側親水基（頭部）朝外，兩層的親水基夾住中間的水份，避免水分喪失（見下圖 5），形成由一層薄水膜包住空氣的泡泡。

圖 4：肥皂水分子像蝌蚪，頭部為親水基，尾部為疏水基。

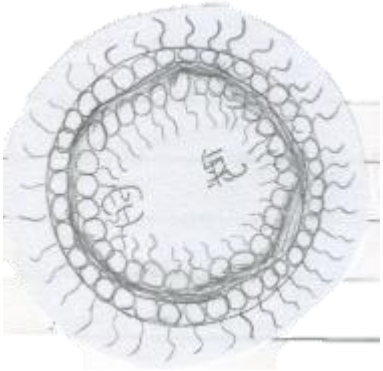


圖 5：泡泡是兩層肥皂水分子以親水基將中間的水分夾住，形成包空氣的薄膜。

二、接觸角（參考「資料 2」）：

「接觸角」是將水滴在固體物質表面上，「水珠—空氣的界面」與「固體表面」之間，往水珠方向的夾角（見下圖 6）。利用接觸角的大小可以判斷物質表面的親水或疏水程度。當接觸角越小，代表水珠與固體之間的附著力較大，水珠的內聚力較小，水珠會像攤平的半球形，顯示固體物質表面的親水性越好（見下圖 7）。當接觸角越大，水珠的內聚力比附著力大，水珠會像球狀，顯示固體物質表面的疏水性越好（見下圖 8）。整理表格如下：

圖 6：「接觸角」水珠—空氣的界面與固體表面之間，往水珠方向的夾角。

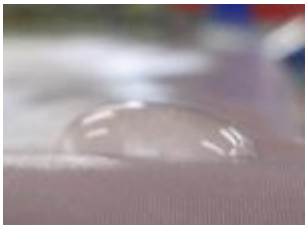


圖 7：接觸角小，水珠為攤平半球形，為親水性表面。

圖 8：接觸角大，水珠為球形，為疏水性表面。

接觸角	固體材質	水珠狀況	水珠形狀
小	親水性	內聚力＜附著力	攤平半球形
大	疏水性	內聚力＞附著力	球形

表 1：接觸角與水珠狀況比較表

伍、實驗裝置設計

為了研究泡泡能夠拍打的變因及原因，我們希望能夠準確測量出拍打泡泡的數據。我們研究歷屆全國科展有關泡泡實驗的作品，學習歷屆作品優點，並將缺點加以改良，花了**二個月**設計與製作出**「手拍泡泡裝置」、「自製拍打泡泡檢測裝置」和「水珠放大觀測裝置」**。

一、手拍泡泡裝置：

研究過程：

我們研究**第 49 屆全國科展作品「泡泡排球」**的實驗方法，是以「泡泡吹嘴在空中吹出泡泡，手持各種布料進行泡泡拍打」。但手持布料這種方法，布料大小、厚度不一，**我們修正製作出能包覆與更換布料種類、布料拉扯平整、內部中空，且固定拍打範圍的「手拍泡泡裝置」。**

將書包板切成直徑 7 公分圓盤，黏貼塑膠環。	完成的手拍泡泡裝置能更換包附的布料。	包覆布料後，布料經過拉扯後，能平整拍泡泡	從下而上拍打空中的泡泡，計算拍打次數。

二、自製拍打泡泡檢測裝置

研究過程：

即使使用自製「手拍泡泡裝置」，實驗誤差還是很大。泡泡大小、拍打力道和速度都會影響實驗結果。**我們決定研發能控制泡泡大小和拍打力道與速度的「自製拍打泡泡檢測裝置」**。

1. 固定「球形」泡泡大小：

我們研究**歷屆科展作品（見資料 3、4）發現固定泡泡大小都是「半球形」形狀，但半球形無法拍打泡泡與觀察泡泡白色現象！**後來使用塑膠圓環固定球形泡泡，測試過單環、雙環和三環設計，最後**使用「丁字環」設計來固定球形泡泡大小**（見附件二），塑膠環同時**捆上羊毛毛線**（見附件三）**增加含水量**，讓丁字環可長期附著球型泡泡，減少丁字環需要不斷泡水才能附著泡泡的問題。並以冰棒棍製作柄，方便固定在推高機上。

半球形泡泡容易固定大小，但無法拍打。	平面膜泡泡能固定大小，但接觸時不均勻。	單環固定球形泡泡，會變成上小下大的泡泡。	平行雙環的泡泡形狀比較接近橢圓形。

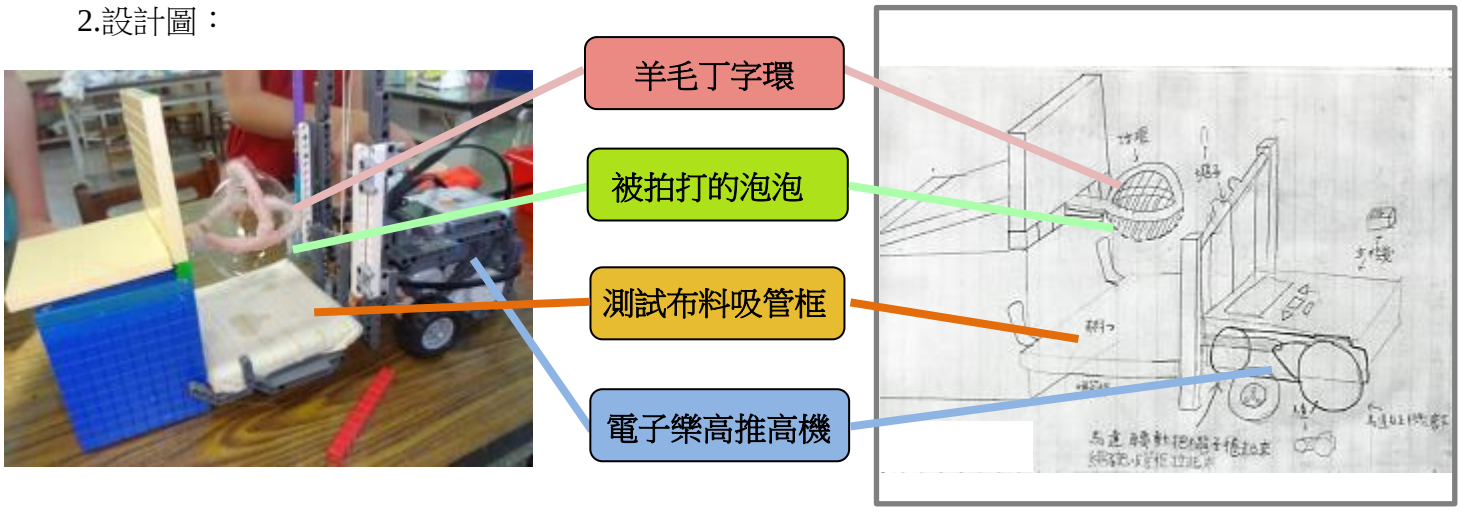
「丁字環」是固定球形泡泡大小最佳方法。	將各種線泡水秤重，發現羊毛毛線含水量最高	將羊毛毛線捆在環上，增加含水量、使用時間	完成的羊毛丁字環，能固定球形泡泡大小。

2. 固定拍打力道和速度：

拍打力道和速度會嚴重影響拍打結果，我們想要**製作能夠固定拍打力道和速度的裝置。**因為資優班有上電子樂高課程，我們**依照推高機設計圖以電子樂高零件組裝推高機，改裝成能夠裝載布料的托盤。**以書包板裁切邊長 13 公分正方形，黏上粗吸管墊高中空，製作出可更換布料的**「吸管框」**。**吸管框有能將布料拉扯平整、固定布料大小等優點。**最後設計出能卡住丁字環的架子。

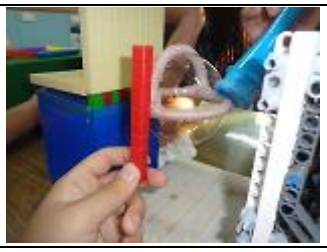
按照設計圖以電子樂高零件製作推高機。	將電子樂高推高機改裝成可裝載布料的托盤。	以書包板、粗吸管製作可更換布料的吸管框。	製作完成的吸管框，能快速更換布料。
吸管框能讓布料拉扯平整、固定布料大小。	以數學教具積木製作能夠卡住丁字環的架子。	使用泡泡吹嘴在丁字環上吹泡泡，測試效果	經過二個月才完成自製拍打泡泡檢測裝置。

2.設計圖：



3.標準實驗流程：

1. 將邊長 20 公分的正方形布料固定在吸管框上，將吸管框放置在推高機拖盤上。
2. 將羊毛丁字環泡過水，裝在拍打泡泡檢測裝置的架子上。
3. 以泡泡吹嘴在羊毛丁字環上吹出直徑 8 公分的泡泡（以數學教具積木測量泡泡直徑）。
4. 按下電子樂高推高機的開關，使推高機的拖盤上下拍打泡泡底部，計算泡泡被拍打的次數，直到泡泡破掉則停止計數。重複測五次，計算次數平均。
5. 拍打平均次數的標準是：10 次以上為拍打很好，9～1 次是拍打還好，0 次是拍打失敗。

			
將布料黏貼在吸管框上，放上推高機托盤。	將羊毛丁字環泡過水，裝在檢測裝置架上。	在羊毛丁字環上吹出直徑 8 公分泡泡。	按下推高機開關，使拖盤上下拍打泡泡底。

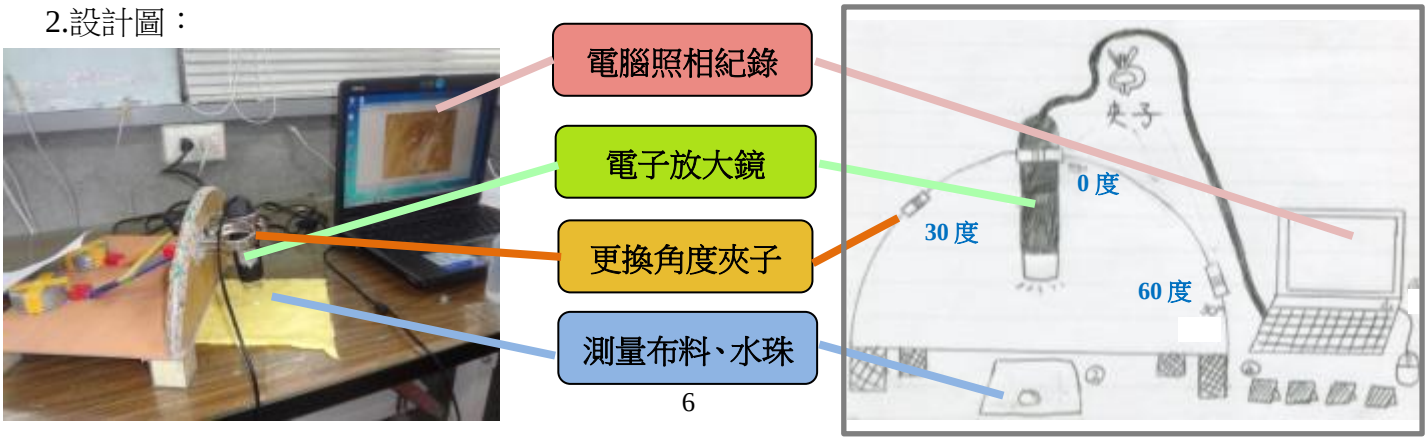
三、放大觀測裝置

研究過程：

我們想**檢測「水珠白色現象」是否為全反射**，使用**「電子放大鏡」**來觀察滴在布料上的水珠。為了證實全反射，電子放大鏡必須要改變不同角度觀測，但電子放大鏡原本的底座會搖晃，我們必須**自製一個容易更換角度、下方能夠放置布料的裝置。**後來將鐵製洗衣夾依照 0、30、60 度黏貼在半圓紙板上，**利用洗衣夾夾住電子放大鏡，就容易更換角度**。並以數學教具積木墊高底板，下方中空的設計，可任意移動布料，讓電子放大鏡對準水珠，以便觀察布料上水珠的影像變化。

電子放大鏡原本底座會搖晃，難以進行實驗	鐵製洗衣夾黏在半圓紙板上，夾住電子放大鏡	以超輕土增加放大鏡長度，夾子才夾得住！	底板墊高，可移動下方布料讓鏡頭對準水珠。

2.設計圖：



陸、研究過程及結果

第一部分、布料材質對拍打泡泡的影響：

利用市面販售的拍泡泡玩具效果很好，但是否只有市售專拍泡泡手套和專用拍泡泡水能夠產生拍泡泡的效果？布料材質種類對於拍打泡泡是否有影響？

實驗一、手套、泡泡水種類對手拍泡泡的影響

（一）、研究過程：

1. 手套種類手拍泡泡實驗：

購買市售各類型手套。以泡泡吹嘴在空中吹出半個手掌大小的泡泡，穿戴各種手套，以手背從下往上輕拍泡泡，直到泡泡破裂，計算拍打次數。相同手套拍打泡泡五次，計算平均。

2. 泡泡水種類手拍泡泡實驗：

蒐集各種泡泡水，將各種泡泡水以泡泡吹嘴在空中吹出半個手掌大小泡泡，穿戴市售拍泡泡手套拍打泡泡，直到泡泡破裂，計算拍打次數。相同泡泡水拍打泡泡五次，計算平均。

（二）、手套種類與泡泡水種類比較（詳見原始記錄）：

1.手套種類手拍泡泡數據

手套名稱	市售專拍泡泡手套	工作用黑手套	工作用白手套	麋鹿編織保暖手套	清潔用防滑手套	舀午餐透明手套	清潔用紫手套	防風用藍白手套	彩繪沐浴手套
長相									
特徵	毛毛的會吸水	毛毛的會吸水	毛毛的會吸水	毛毛的會吸水	滑滑的防水	滑滑的防水	滑滑的防水	滑滑的防水	粗粗的會吸水
材質	壓克力紗	聚酯纖維	綿	壓克力紗	天然乳膠	PVC	人造乳膠	特多龍	尼龍紗
拍打成功與否	成功	成功	成功	成功	失敗	失敗	失敗	失敗	失敗
次數平均	26.6 下	34.2 下	26.6 下	37.4 下	0 下	0 下	0 下	0 下	0 下

2. 泡泡水種類手拍泡泡數據

泡泡水名稱	專用拍泡泡水	Bubble set	小綠熊	小黃人	小綠蛙	小藍鐵鎚	小紫美人魚
長相							
次數平均	26.6 下	0.4 下	0.6 下	0.4 下	3.8 下	8.4 下	9.8 下
拍打效果	很好	差	差	差	還好	好	好

（三）、研究結果：

1. 除了「市售專拍泡泡手套」外，**有些手套也能夠拍打泡泡，效果反而更好**（例如：**綿、聚酯纖維、壓克力紗**）。**防水材質的手套無法拍打泡泡**（例如：**PVC、天然乳膠、人造乳膠、特多龍**），我們**懷疑手套材質會影響泡泡拍打效果**。
2. 各種種類的泡泡水都能出現拍打泡泡效果，好壞效果不一。其中**以「專用拍泡泡水」效果最佳**，我們決定接下來實驗都用專用拍打泡泡水進行實驗。
3. 我們發現**以手套拍打泡泡準確度很低，因為泡泡大小、拍打速度、力道都會影響實驗結果。**
4. 拍打成功的手套，**當泡泡接觸手套時，會出現白色痕跡**，我們把它命名為**「泡泡白色現象」**。

圖 9：蒐集身邊的 17 種手套進行手拍實驗

圖 10：不知道這些手套的材質決定重做實驗

圖 11：蒐集與購買知道材質的各種手套

圖 12：以各種手套手拍五次計算次數平均

圖 13：防水手套拍打，泡泡會黏在手套

圖 14：蒐集身邊的泡泡水進行手拍實驗

圖 15：專用拍泡泡水的手拍效果還是最好

圖 16：泡泡接觸手套時，會出現「泡泡白色現象」

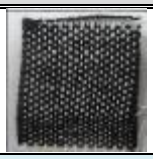
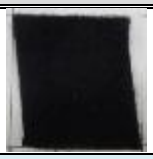
實驗二、布料種類對拍打泡泡的影響

（一）、研究過程：

1. 我們**懷疑布料種類會對拍打泡泡產生影響**，但因為手套拍打泡泡準確度很低。我們決定**以「自製拍打泡泡檢測裝置」檢測拍打泡泡效果**。
2. 至布料店參訪與購買各種材質布料（見附件四），我們**盡量挑選 100%材質的布料實驗**。
3. 各種布料剪成邊長 20cm 正方形，黏貼在自製吸管框上。將吸管框放在自製拍打泡泡檢測裝置上，在丁字環上吹出直徑 8 公分泡泡。啟動電子樂高主機，讓布料上下移動拍打泡泡直到泡泡破裂，計算拍打次數，並記錄發現。相同布料進行五次拍打實驗，計算平均。
4. 將各種布料固定在「手拍泡泡裝置」上，以手拍打空中的泡泡，直到泡泡破裂。測量五次計算平均，**以手拍次數驗證「自製拍打泡泡檢測裝置」的準確性。**

（二）、布料種類拍打泡泡數據（詳見原始記錄）：

1.泡泡拍打成功的布料種類數據：

	棉毛巾	絨布	仿動物毛	羊毛	不織布	毛線布
長相						
類型	植物纖維	化學纖維	化學纖維	動物毛	化學纖維	化學纖維
材質	棉	壓克力紗	波力	50%羊毛 50%壓克力紗	聚酯纖維	化學纖維
特徵	柔軟的 線繞成長毛	柔軟的 短毛	粗粗的 超長毛	粗粗的 細毛	滑滑的一點 點軟毛	柔軟的 短毛
拍打成功	成功	成功	成功	成功	成功	成功
泡泡白色現象出現	有出現	有出現	有出現	有出現	有出現	有出現
機器拍打次數平均	8.6 下	15.6 下	8.0 下	7.2 下	14.8 下	20.0 下
手拍泡泡次數平均	18.2 下	9.0 下	14.8 下	11.4 下	5.4 下	20.0 下

2.泡泡拍打失敗的布料種類數據：

	T/C	特多龍	防水壓克力紗	LN	兔毛	蠶絲	麻布
長相							
類型	化學纖維	化學纖維	化學纖維	化學纖維	動物毛	動物毛	植物纖維
材質	特多/棉	特多	壓克力紗/ 防水 PU 膜	尼龍	兔毛	70%仿真絲 30%尼龍	麻
特徵	粗粗的 很短的毛	一點粗粗 幾乎沒毛	很滑 沒有毛	很滑 像網子	很軟很長 的毛	滑滑的 幾乎沒毛	粗粗的 很短的毛
拍打成功	失敗	失敗	失敗	失敗	失敗	失敗	失敗
泡泡白色現象出現	無	無	無	無	無	無	無
機器拍打次數平均*	（泡泡拉扯） 3.2 下	（泡泡拉扯） 2.4 下	(泡泡拉扯) 6.0 下	（泡泡黏住） 4.4 下	（泡泡黏住） 0.8 下	（碰到就破） 0 下	（碰到就破） 0 下
手拍泡泡次數平均	0 下	0 下	0 下	0 下	0 下	0 下	0 下

（機器拍打次數平均*）以機器拍打，當泡泡沒有拍打成功時，有些泡泡沒破裂，可用機器繼續拍打，我們列為拍打失敗，計算拍打次數，並記錄泡泡失敗原因。失敗原因類型有以下幾種：

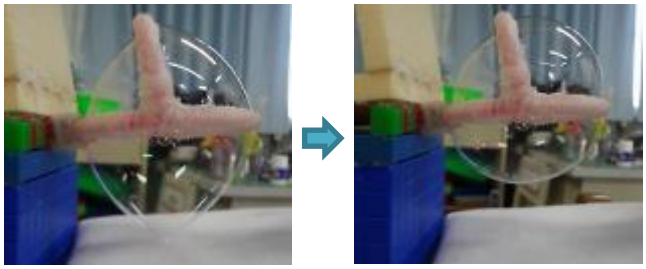
1. **泡泡黏住**：布料濕掉有泡泡黏在上面。造成上下泡泡會黏住而沒破裂。
2. **泡泡拉扯**：布料因不斷拍打濕掉，布料接觸泡泡時，泡泡黏住布料底部，產生長形漏斗泡泡，但因泡泡很長，即使布料下降泡泡也沒破掉。

泡泡黏住

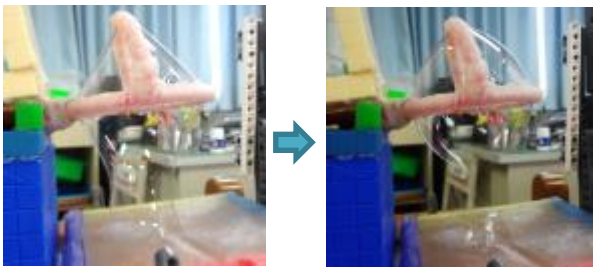
泡泡拉扯

（三）、結論

1. **布料種類會影響拍打泡泡效果，最適合拍打布料材質為：棉、壓克力紗、聚酯纖維、波力**。
2. 當拍打泡泡，泡泡與布料分離時，**拍打成功的泡泡會呈現「漏斗形」**（形狀為上大下小的倒三角形，泡泡很容易脫離布料），**拍打失敗的泡泡會呈現「沙漏型」**（形狀為上大下大的兩個顛倒三角形，泡泡會黏住布料，變成上下都形成小泡泡）。



泡泡離開**「可拍打布料」**時，泡泡下半部會變成**「漏斗形」**。泡泡繼續離開，**泡泡很容易就脫離布料**，因此**拍打成功**。



泡泡離開**「不可拍打布料」**時，泡泡下半部會變成**「沙漏形」**。泡泡繼續離開，**沙漏泡泡會斷開成上下兩個泡泡**，導致**拍打失敗**。

3. 拍打泡泡失敗的布料，**一開始拍打泡泡都會直接破掉**。但**當布料開始變濕後，會形成沙漏型泡泡**，**沙漏的腰身很細，導致泡泡上下分離**，布料上也黏住泡泡。
4. 泡泡拍打成功的布料上都有**細毛或長毛**。
5. 布料類型(動物毛、植物纖維、化學纖維)與拍打泡泡效果無關(都有拍打成功與失敗例子)。
6. 泡泡拍打成功的布料拍打泡泡時都會出現**「泡泡白色現象」**。
7. **自製拍打泡泡檢測裝置檢測的數據是有效的**！因為與手拍泡泡的數據比較（布料種類實驗），當裝置拍打失敗，手拍數據是失敗（0 次）。當裝置拍打成功，手拍數據也是成功。

圖 17：至布料店參訪提問與購買各種布料

圖 18：以自製拍打泡泡檢測裝置進行實驗

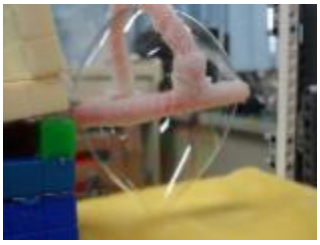


圖 19：絨布可拍打泡泡，離開泡泡成漏斗形

圖 20：防水壓克力紗無法拍打泡泡，呈沙漏型

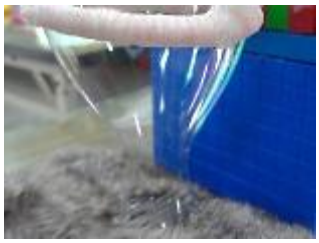


圖 21：兔毛無法拍打泡泡，成沙漏型

圖 22：沙漏型接著會分裂成上下兩個泡泡

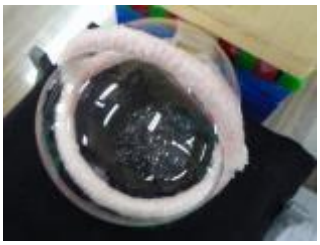


圖 23：使用裝置拍打，也會看到泡泡白色現象

圖 24：以手拍泡泡裝置驗證自製拍打泡泡檢測裝置的數據是合理的

第二部分、布料毛的變因對拍打泡泡的影響：

成功拍打布料都有細毛，我們懷疑布料毛會影響拍打效果。決定使用仿動物毛進行變因實驗。

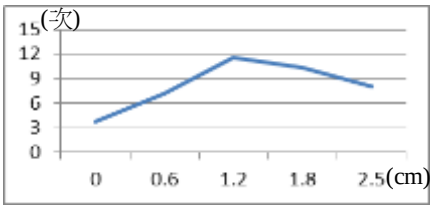
實驗三、仿動物毛變因對拍打泡泡的影響

（一）、研究過程（詳見原始記錄）

1. 毛的長度比較：

我們以電動剃刀與剪刀將仿動物毛剪成「**接近 0 cm、0.6 cm、1.2 cm、1.8 cm、2.5cm（原長）**」，以自製泡泡拍打檢測裝置進行拍打實驗，記錄五次數據，計算平均，整理圖表如下。

毛的長度	接近 0 cm	0.6 cm	1.2 cm	1.8 cm	2.5cm（原長）
機器拍打次數平均	3.8 下	7.2 下	11.6 下	10.4 下	8.0 下



(1) 小結：毛的長度適中，泡泡拍打效果較佳。毛太短或太長拍打效果會變差。為了方便，接下來的仿動物毛變因實驗都以 2.5cm（原長）進行實驗。

圖 25：請資優班老師教我們使用電動剃刀

圖 26：使用電動剃刀將仿動物毛剃出不同長度

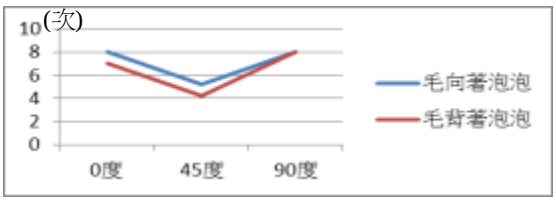
圖 27：使用接近 0cm 的毛皮進行拍打實驗

圖 28：使用適中的毛長度拍打效果最好

2. 毛的角度比較：

為了固定毛的角度，我們嘗試使用髮膠固定仿動物毛皮的角度，但泡泡碰觸到髮膠就會破掉。因此改用梳子將毛梳成「**0 度、45 度、90 度**」進行拍打實驗，整理圖表如下。

毛的角度		0 度	45 度	90 度
機器拍打次數平均	毛向著泡泡	8.0 下	5.2 下	8.0 下
	毛背著泡泡	7.0 下	4.2 下	



(1) 小結：**毛的長度以 90 度與 0 度效果最好，45 度最差**。接下來都以毛 90 度進行實驗。

圖 29：我們使用同學的頭髮練習使用髮膠

圖 30：我們在仿動物毛上塗髮膠梳成固定角度

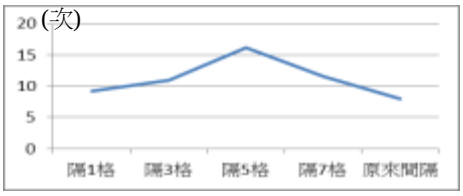
圖 31：髮膠會讓泡泡直接破掉，改只用梳子梳

圖 32：完成的 0 度角仿動物毛

3. 毛的密度比較：

我們發現**仿動物毛皮的毛在底部的排列方式是有規律的**，因此將仿動物毛以間隔方式（**隔 1 格、隔 3 格、隔 5 格、隔 7 格、原來間隔）將毛拔除**，進行拍打實驗，整理圖表如下。

毛的密度	隔1格	隔3格	隔5格	隔7格	原來間隔
機器拍打次數平均	9.2 下	11.0 下	16.2 下	11.6 下	8.0 下



(1) 小結：**毛的密度會影響拍打泡泡效果，以隔 5 格拔除毛的拍打次數最多，太密或太疏都會讓拍打泡泡效果變差。**

圖 33：使用流海剪刀想讓布料稀疏但失敗

圖 34：用針和竹筷自製的挑毛工具

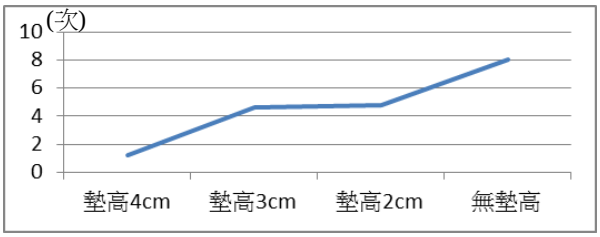
圖 35：用挑毛工具將毛從背面間隔挑出來

圖 36：中下方白色部分是挑過毛後較稀疏的地方

4. 毛的平整比較：

我們**使用數學教具積木將一側仿動物毛墊高**（**「墊高 4、3、2 公分、沒有墊高」**（吸管框有粗吸管高度，墊 1 公分沒有效果故省略實驗），研究毛平整度拍打效果，整理圖表如下。

毛的平整	墊高 4 公分	墊高 3 公分	墊高 2 公分	沒有墊高
機器拍打次數平均	1.2 下	4.6 下	4.8 下	8.0 下



(1) 小結：**布料越平整拍打效果越好，當布料墊的斜度越高，拍打效果越差。**

圖 37：使用數學教具積木將仿動物毛一側墊高

圖 38：墊高不同高度的仿動物毛皮

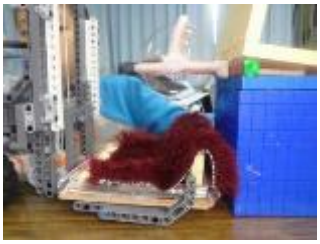


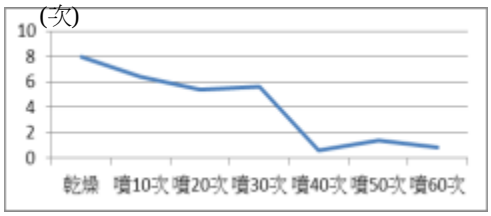
圖 39：測試墊高 3 公分的拍打實驗

圖 40：布料越平整拍打效果越好

5. 毛的濕度比較：

進行泡泡拍打時，布料會漸漸濕掉。我們**以噴霧器距離 30 公分噴仿動物毛**，模擬布料濕掉狀態，**噴 10～60 次**，進行拍打實驗，整理圖表如下：

毛的濕度	乾燥	噴 10 次	噴 20 次	噴 30 次	噴 40 次	噴 50 次	噴 60 次
機器拍打次數平均	8.0 下	(失敗) 6.4 下	(失敗) 5.4 下	(失敗) 5.6 下	(失敗) 0.6 下	(失敗) 1.4 下	(失敗) 0.8 下



(1) 小結： a.**毛的濕度越濕，拍打效果越差。**

b.當仿動物毛噴 10 次以上，拍打泡泡都是失敗（毛上面會堆積小泡泡）。

c.當噴霧過後，**仿動物毛上會形成小水珠**，不會消失。測試絨布滴水珠，也會形成小水珠。**小水珠底部還能夠出現白色痕跡，我們將它稱為「水珠白色現象」**。

圖 41：使用噴霧器距離 30 公分對布料噴水

圖 42：噴完的仿動物毛上有細小的水珠

圖 43：拍打時因為下面堆積小泡泡而拍打失敗

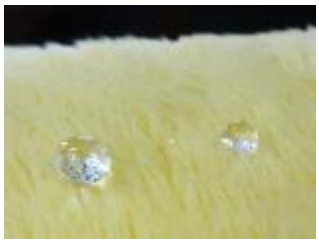


圖 44：絨布上形成小水珠，底部白白的！我們稱它「水珠白色現象」。

6. 仿動物毛變因結論：

(1) **布料的毛會影響泡泡拍打的效果！當布料的毛長適中、呈 90 或 0 度角、越平整、疏密度適中、越乾燥，泡泡拍打效果越好！**

(2) **絨布滴水珠會形成小水珠。小水珠底部出現白色痕跡，我們稱它為「水珠白色現象」**

第三部分、泡泡白色現象與水珠白色現象的全反射檢測：

我們發現**泡泡被布拍打，底部變成白色，稱為「泡泡白色現象」**。**水珠滴在布上，底部會出現白色，稱為「水珠白色現象」**。我們懷疑白色現象是**全反射**造成，利用**「放大觀測裝置」**檢驗。

實驗四、布料種類滴水珠的研究

（一）、研究原因：

進行仿動物毛的濕度實驗時，我們發現**有些布料會形成水珠，並不會被布料吸收**。而且**水珠底部能夠看到白色，我們稱它為「水珠白色現象」**。我們決定檢測**水珠滴在各種布料**上的狀況，觀察水珠、水珠白色現象和拍打泡泡之間有無關聯。

（二）、研究方法

在各種布料上以滴管滴水珠。如果水珠留在布料上，記錄水珠的長相。如果水珠會被布料吸收，則檢測八次被吸收的時間，計算水珠消失最大值的時間。

（三）、布料種類拍打泡泡數據（詳見原始記錄）：

1.水珠成形的布料種類數據：

	絨布	不織布	仿動物毛	蠶絲	LN	防水壓克力紗	麻布
水珠成形	會	有時會	有時會	會	有時會	會	有時會
水珠長相							
材質	壓克力紗	聚酯纖維	波力	70%仿真絲 30%尼龍	尼龍	壓克力紗/ 防水 PU 膜	麻
泡泡拍打	成功	成功	成功	失敗	失敗	失敗	失敗
水珠白色現象出現	有出現	有出現	夾在毛中 無法觀察	沒出現	沒出現	沒出現	沒出現
水珠形狀	接近球形	橢圓球形	接近球形	攤平半球形	攤平半球形	攤平半球形	攤平半球形
消失最大值時間		1.83 秒	0.70 秒		4.90 秒		5.56 秒

2. 水珠不成形布料種類數據：

	T/C	特多龍	羊毛	兔毛	毛線布	棉毛巾
水珠成形	不會	不會	不會	不會	不會	不會
材質	特多/棉	特多	50%羊毛 50%壓克力紗	兔毛	化學纖維	棉
消失最大值時間	0.68 秒	1.01 秒	1.17 秒	6.70 秒	26.80 秒	2.22 秒
拍打成功	失敗	失敗	成功	失敗	成功	成功

（四）、結論

1. 能形成水珠的布料可分為可拍打布料和不可拍打布料。
2. 可拍打布料的水珠形狀像球形，且能夠觀察到「水珠白色現象」。不可拍打布料的水珠形狀像攤平半球形，沒有「水珠白色現象」。
3. 滴水實驗時意外發現泡泡在濕絨布上形狀是「半球形」，與乾絨布上的「球形」不一樣。

圖 45：使用滴管滴到布料上，羊毛會吸水。

圖 46：水珠不成形的以碼表記錄消失時間。

圖 47：絨毛上的水珠會有「水珠白色現象」。

圖 48：不織布上的水珠會有「水珠白色現象」。

圖 49：LN 上的水珠沒有水珠白色現象，只有布料紋路造成的反光。

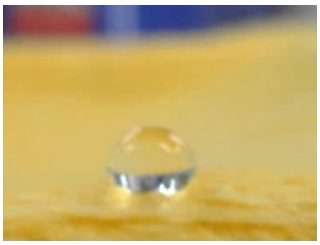


圖 50：絨布上的水珠形狀像球形。

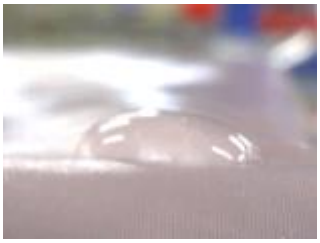


圖 51：防水壓克力紗上水珠是攤平半球形。

圖 52：絨布滴水時，意外發現泡泡落到濕掉絨布上形狀從球形變半球形。

實驗五、泡泡與水珠白色現象的全反射檢測

（一）、研究原因：

資優班之前上過全反射的課程（見附件五）。當名片夾泡入水中，外側會變成白色。我們懷疑泡泡和水珠的底部突然變成白色是全反射造成，決定利用全反射特性來檢驗白色現象。

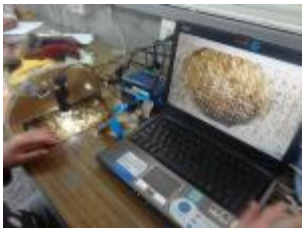
（二）、研究方法

使用原理（全反射特性）（見附件五）：

1. 觀測角度大，全反射會出現。觀測角度小，全反射會消失。0 度觀測不會有全反射。
2. 全反射是鏡子，會映照出周圍顏色。當周圍顏色改變，全反射的顏色也會跟著變。

檢測方式（1.改變觀測角度）：

將水珠（泡泡）放在各種布料上，使用「放大觀測裝置」以電子放大鏡在 0、30、60 度觀測，比較不同角度時的白色現象是否會改變（0 度觀測不會有全反射。角度越大，全反射越明顯）。

			
水珠滴在各種布料上，放在放大觀測裝置下	以電子放大鏡從 0 度對準水珠調整焦距。	在電腦上以軟體拍攝水珠照片。	以電子放大鏡從 30、60 度紀錄水珠狀態。

檢測方式（2.改變周遭顏色）：

將水珠（泡泡）放在各種衣料上，使用「放大觀測裝置」在 0、30、60 度觀測，同時在水珠旁邊放置紅、綠、藍、黑色四種直立色卡。觀察白色現象是否改變顏色。

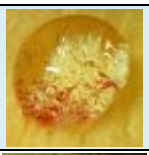
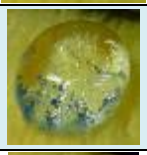
以「放大觀測裝置」記錄沒有色卡的狀態。	放置紅色直立色卡，記錄白色現象顏色變化。	更換為綠、藍、黑色，記錄顏色變化。	更換不同角度與布料進行相同步驟的實驗。

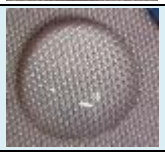
（三）、研究過程：

1.「泡泡白色現象」檢測：泡泡放在黑色不織布上，發現泡泡白色現象在不同角度觀看都不會改變消失。更換色卡，也沒有變化。因此泡泡白色現象與全反射無關。後來以放大觀測裝置觀看白色現象殘渣發現是很細小的泡泡和水珠（圖 53）。因此泡泡白色現象是泡泡膜與衣料接觸造成細小泡泡。

圖 53：泡泡白色現象是很小的泡泡和水珠

2.「水珠白色現象」檢測：水珠能長時間出現在衣料上只有絨布、防水壓克力紗、蠶絲，因此只針對這些布料檢測。我們針對校園植物進行泡泡手拍測試（詳見原始記錄），發現**「構樹背面（手拍平均 7.6 下）」能拍打泡泡**，進行全反射測試也出現「水珠白色現象」，記錄如下：

絨布	0 度	30 度	60 度
沒放色卡			
放置紅色色卡			
放置綠色色卡			
放置藍色色卡			
放置黑色色卡			
結果	角度增加白色現象面積也跟著增加 更換色卡，白色現象會變色		

防水壓克力紗	0 度	30 度	60 度
沒放色卡			
放置紅色色卡			
放置綠色色卡			
放置藍色色卡			
放置黑色色卡			
結果	角度改變都沒有出現白色現象 更換色卡，水珠不會變色		

蠶絲	0 度	30 度	60 度
沒放色卡			
放置紅色色卡			
放置綠色色卡			
放置藍色色卡			
放置黑色色卡			
結果	角度改變都沒有出現白色現象 更換色卡，水珠不會變色或整顆變色		

構樹背面	0 度	30 度	60 度
沒放色卡			未拍攝
放置紅色色卡			
放置綠色色卡			
放置藍色色卡			
放置黑色色卡			
結果	角度增加白色現象面積也跟著增加 更換色卡，白色現象會變色		

（四）、結論

1. 「泡泡白色現象」不是全反射造成，是泡泡膜與布料接觸產生的細小泡泡。
2. 「水珠白色現象」是全反射造成，更換角度會改變面積大小，更換色卡會變色。
3. 可拍打泡泡布料（絨布）會因為全反射產生「水珠白色現象」，不可拍打泡泡布料（防水壓克力紗、蠶絲、麻布）不會產生水珠白色現象

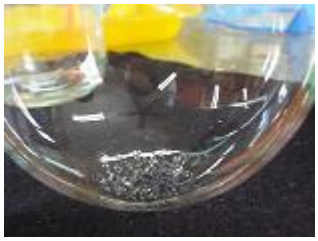


圖 54：泡泡放在不織布上的泡泡白色現象

圖 55：更改色卡發覺泡泡白色現象顏色不變

圖 56：不織布上殘留泡泡白色現象痕跡

圖 57：以電子放大鏡觀測殘留泡泡白色現象痕跡

圖 58：將構樹包在手拍檢測裝置上

圖 59：以手拍泡泡測試校園蒐集的植物

圖 60：血桐背面拍打泡泡的效果很好

圖 61：觀看植物上的水珠是否產生全反射變化

第四部分、泡泡接觸角與拍打效果的關係：

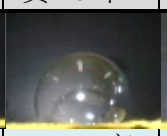
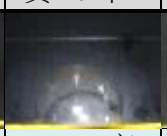
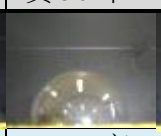
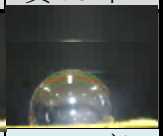
進行布料滴水實驗時，我們意外發現泡泡掉在濕掉絨布上的形狀是「半球形」，和在乾絨布上的形狀「球形」並不一樣。就像是水珠在疏水面和親水面形狀不一樣。我們嘗試將發現到的現象數據化，所以決定測量泡泡接觸角（泡泡－空氣界面與布料形成的夾角，見圖 66）。

實驗六、絨布濕度對泡泡接觸角的影響

（一）、研究過程：

1. 以泡泡吹嘴將泡泡吹於空中，讓泡泡掉落至絨布上。以相機從正前方拍攝泡泡形狀，並在電腦上以「Meazure」軟體計算泡泡的接觸角。
2. 將絨布放置於噴霧器前方 30 公分，壓 10 次噴霧器讓絨布變濕，再以第一步驟測量泡泡接觸角。以每 10 次為單位不斷增加絨布濕度進行實驗。
3. 將不同濕度的絨布放在「自製泡泡拍打檢測裝置」，檢測拍打泡泡效果，與泡泡接觸角進行比較。

（二）、絨毛濕度對泡泡接觸角的數據（詳見原始記錄）：

	乾	噴 10 下	噴 20 下	噴 30 下	噴 40 下	噴 50 下	噴 60 下	噴 70 下
泡泡長相								
泡泡接觸角	154.2 度	125.2 度	107.9 度	105.3 度	104.3 度	99.2 度	96.5 度	92.9 度
泡泡機器拍打成功	成功	失敗	失敗	失敗	失敗	失敗	失敗	失敗
機器拍打次數平均	15.6 下	（泡泡黏住）5.8 下	（泡泡黏住）4.6 下	（泡泡黏住）8.4 下	（泡泡黏住）6.4 下	（泡泡黏住）17.8 下	（泡泡黏住）15.0 下	（泡泡黏住）17.2 下

（三）、結論

1. 絨布越乾，泡泡接觸角越大，越接近球形，拍打泡泡效果越好；絨布越濕，泡泡接觸角越小，越接近半球形，拍打泡泡效果越差。
2. 我們推測可以用泡泡放在布料上的形狀（泡泡接觸角）來判斷布料拍打泡泡狀況。

圖 62：意外發現泡泡在濕絨布上形狀是半球狀

圖 63：以噴霧器距離 30 公分將絨布噴濕

圖 64：讓泡泡自然掉落絨布上進行拍照

圖 65：以相機拍攝泡泡在絨布上的形狀

實驗七、布料種類對泡泡接觸角的影響

（一）、研究過程：

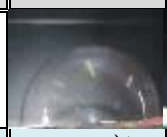
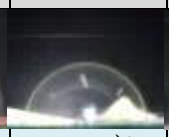
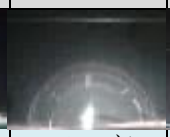
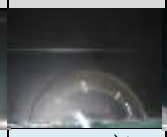
1. 我們推測可以用泡泡放在布料上的形狀（泡泡接觸角）來判斷布料拍打泡泡狀況。因此我們將泡泡放置在之前實驗的各種布料上面檢測泡泡接觸角。
2. 以泡泡吹嘴將泡泡吹於空中，讓泡泡掉落至棉布上。以相機從正前方拍攝泡泡形狀，並在電腦上以「Meazure」軟體計算泡泡接觸角。更換布料種類重複步驟二實驗。
3. 布料種類如果無法拍打泡泡成功，泡泡放置布料上方會破裂。我們會將布料以噴霧器噴濕，直到泡泡能夠放置在布料上。

（三）、布料種類對泡泡接觸角的數據（詳見原始記錄）：

1.可拍打布料的泡泡接觸角數據：

	專用泡泡拍打手套	棉毛巾	絨布	仿動物毛	羊毛	不織布	毛線布
泡泡長相							
泡泡接觸角	159.8 度	137.4 度	157.1 度	134.2 度	133.7 度	149.6 度	144.4 度
泡泡機器拍打	成功	成功	成功	成功	成功	成功	成功
拍打次數平均	12.6 下	8.6 下	15.6 下	8.0 下	7.2 下	14.8 下	20.0 下

2.不可拍打布料的泡泡接觸角數據

	T/C	特多龍	防水壓克力紗	LN	兔毛	蠶絲	麻布	水面
泡泡長相								
泡泡接觸角	94.2 度	90.4 度	85.8 度	83.9 度	98.8 度	80.8 度	112.2 度	78.4 度
泡泡機器拍打	失敗	失敗	失敗	失敗	失敗	失敗	失敗	

3.布料的泡泡接觸角整理：

拍打效果	失敗（0 次）			還好（9～1 次）			很好（10 次以上）		
角度區間	120 度以下			120 度～140 度			140 度以上		
材質/接觸角/拍打次數	水面	78.4 度		羊毛	133.7 度	7.2 下	毛線布	144.4 度	20.0 下
	蠶絲	80.8 度	失敗	仿動物毛	134.2 度	8.0 下	不織布	149.6 度	14.8 下
	LN	83.9 度	失敗				絨布	157.1 度	15.6 下
	防水壓克力紗	85.8 度	失敗	棉毛巾	137.4 度	8.6 下	專用泡泡拍打手套	159.8 度	12.6 下
	特多龍	90.4 度	失敗						
	T/C	94.2 度	失敗						
	兔毛	98.8 度	失敗						
	麻布	112.2 度	失敗						

（四）、結論

1. **泡泡接觸角（泡泡形狀）能判斷泡泡拍打狀況。泡泡接觸角越大，泡泡拍打效果越好。**
2. 泡泡接觸角可畫出三塊區間判斷泡泡拍打狀況。

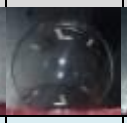
角度區間	**120 度以下**	**120 度～140 度**	**140 度以上**
拍打效果	**拍打失敗（0 次）**	**拍打還好（9～1 次）**	**拍打很好（10 次以上）**

3. **拍打泡泡失敗的布料，無法在乾的時候放上泡泡。**

（五）、延伸討論

我們將之前進行毛的變因實驗，將其上面放置泡泡拍照（毛的平整變因，當毛不平整後，泡泡無法放置在上面，無法實驗），**經過驗證泡泡接觸角的大小大多都能反映拍打狀況。**

毛的長度	接近 0 cm	0.6 cm	1.2 cm	1.8 cm	2.5cm（原長）
泡泡長相					
泡泡接觸角	121.2 度	146.4 度	150.1 度	144.5 度	134.2 度
機器拍打次數平均	3.8 下	7.2 下	11.6 下	10.4 下	8.0 下

毛的角度		0 度	45 度	90 度
泡泡長相				
泡泡接觸角		144.7 度	145.5 度	164.7 度
機器拍打次數平均	向毛	8.0 下	5.2 下	8.0 下
	背毛	7.0 下	4.2 下	

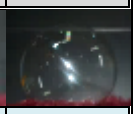
毛的密度	隔 1 格	隔 3 格	隔 5 格	隔 7 格	原來間隔
泡泡長相					
泡泡接觸角	143.7 度	151.0 度	162.1 度	148.1 度	134.2 度
機器拍打次數平均	9.2 下	11.0 下	16.2 下	11.6 下	8.0 下

圖 66：泡泡接觸角的計算方式

圖 67：泡泡放置在防水壓克力紗上拍照

圖 68：泡泡放置在不織布上拍照

圖 69：用 Meazure 軟體計算泡泡接觸角

圖 70：用 Meazure 軟體計算泡泡接觸角

實驗八、泡泡拍打研究的改良應用

（一）、研究原因：

我們以「用衣料就能接觸泡泡」、「泡泡在布料上呈現球狀」特色，思考泡泡拍打研究改良應用。我們發現可用泡泡來替代各種球類運動！也能用泡泡替代氣球觀察空氣壓縮變化！

（二）、研究結果：

1. 檢測泡泡拍打狀況：將泡泡放置在可拍打布料上，測量泡泡接觸角，就能推測泡泡拍打狀況，可用測量泡泡接觸角檢核泡泡水或布料的拍打泡泡效果。
2. 泡泡拍：使用手套玩泡泡，布料會漸漸濕掉，玩到後來手上會沾滿泡泡水。但用絨布做成拍子，風阻太大，拍打泡泡時會形成風，無法拍打泡泡。我們發現不需整塊布料，只要毛線間隔就能拍打泡泡，進而研發出利用毛線編織成格子狀的「泡泡拍」（像羽球拍）。根據實驗以壓克力紗毛線製作的間隔 1 公分的「泡泡拍」效果最好（框 20cm X 25cm）。
3. 全身拍泡泡：實驗中我們發現身上穿的衣服，有時也可以碰觸泡泡而不破掉。因此只要全身穿著可拍泡泡的衣服與褲子，就可以用全身玩泡泡（可以用腳踢泡泡，像足球一樣）。
4. 代替氣球進行空氣壓縮實驗：泡泡可以靜置在可拍打布料上形成球狀，因此可戴手套對泡泡進行擠壓各種動作，在自然課替代氣球進行空氣壓縮實驗。

圖 71：絨布拍會搧出風，影響泡泡拍打

圖 72：至手工藝品店尋找製作泡泡框材料

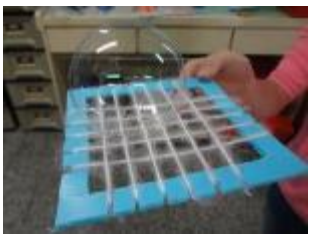


圖 73：模仿毛線編織器方法，製作泡泡拍

圖 74：製作各種毛線織法的泡泡拍，進行檢測

圖 75：使用自製檢測裝置測試毛線間隔大小實驗

圖 76：效果最好的是間隔 1cm 的壓克力紗泡泡拍

圖 77：穿著可拍打衣料褲子，能用腳踢泡泡

圖 78：用手套進行空氣壓縮性質實驗（泡泡被手套壓扁了）

柒、討論

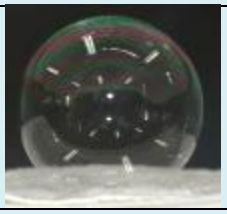
一、泡泡拍打主因推論：可拍打布料有「泡泡疏水性」

根據之前實驗，我們推論**泡泡能用可拍打布料拍打的原因**是**泡泡在可拍打布料上會呈現類似水珠的疏水性效果，使泡泡的內聚力大於附著力，泡泡會維持與可拍打布料接觸的最小面積**。我們將這種原因命名為**「泡泡疏水性」**。推論原因如下：

1. 泡泡在可拍打布料上呈「球形」，接觸布料面積小，容易脫離布料：

水珠在疏水性材質上呈現「球形水珠」，我們發現**泡泡也會在可拍打布料上呈現「球形泡泡」。拍打泡泡效果越好，泡泡的接觸角越大，越接近球形。**由以下兩個實驗證實：

實驗六 絨布濕度對泡泡接觸角的影響				
	乾(154.2 度)	噴 20 下(107.9 度)	噴 40 下(104.3 度)	噴 60 下(96.5 度)
	絨布乾時最接近球形，拍打效果最好。當絨布開始變濕，泡泡形狀越接近半圓形，拍打泡泡也都呈現失敗狀態（泡泡會黏住布料）。			

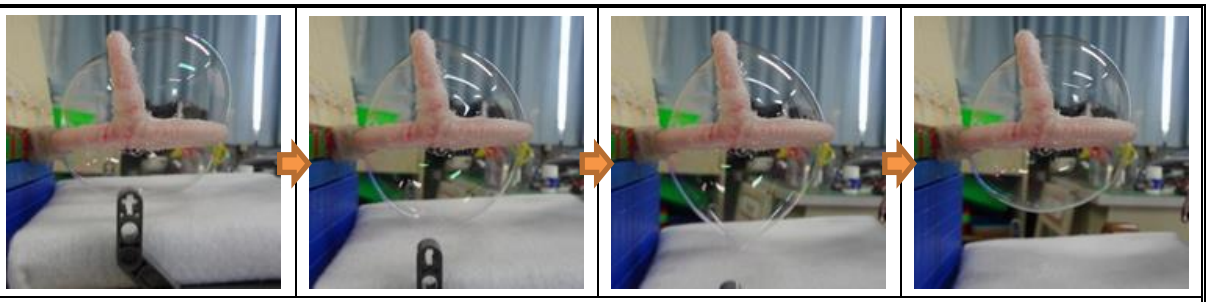
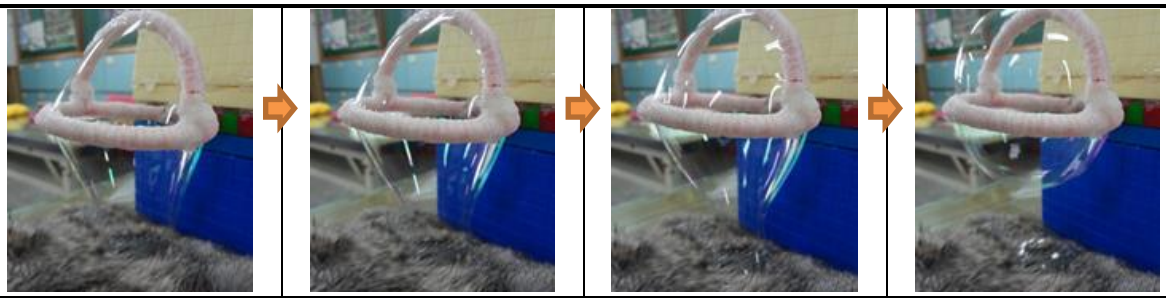
實驗七 布料種類對泡泡接觸角的影響	角度	140 度以上	120 度～140 度	120 度以下
	拍打	拍打平均 12 次以上	拍打平均 7～8 次	拍打失敗
	範例 1			
		專用泡泡拍打手套(159.8 度)	棉毛巾(137.4 度)	防水壓克力紗(85.8 度)
	範例 2			
		不織布（149.6 度）	仿動物毛(134.2 度)	蠶絲(76.8 度)
	泡泡接觸角 140 度以上（球形），拍打效果最好。120 度～140 度（3/4 球形），拍打效果其次。120 度以下（半球形），無法拍打泡泡。			

推論： 我們**推測泡泡在可拍打布料上的「內聚力＞附著力」，因此泡泡努力維持「球形」形狀，與布料接觸面積最小。**因為**接觸面積越小，泡泡越容易脫離布料**，因此**可拍打布料不容易沾黏泡泡，拍打泡泡時泡泡會順利離開布料。**泡泡在乾的不可拍打布料上會直接破掉，當布料開始變濕，泡泡開始會附著。**泡泡會像在潮濕的表面一樣（「附著力＞內聚力」），泡泡形狀像半球形**。因為**泡泡將近一半黏在布料上，無法將泡泡從不可拍打布料上甩開。**

2. 泡泡脫離可拍打衣料時呈「漏斗形」，接觸布料面積小，容易脫離布料：

泡泡被可拍打布料拍到瞬間，當泡泡離開布料時，**泡泡會從「球形」變形為「下半球為漏斗形」，影響到離開布料的接觸面積。**由以下兩個實驗證實：

<table>
<tr><td rowspan="4">**實驗二**

布料種類對拍打泡泡的影響</td><td>  </td></tr>
<tr><td>**可拍打布料（不織布）的離開連續照片：**由上圖一可知原本泡泡接觸布料快 1/4 球，隨著布料離開，泡泡只剩底部和布料接觸（上圖二），接著**泡泡下半球變形為上大下小的漏斗形，只剩下漏斗尖端少量接觸布料**（上圖三），最後順利離開布料（上圖四）。</td></tr>
<tr><td>  </td></tr>
<tr><td>**不可拍打布料（兔毛）離開連續照片：**由上圖一可知布料逐漸離開泡泡，但泡泡還是黏著布料，呈現倒梯形泡泡。隨著布料離開，倒梯形泡泡中央越來越瘦（上圖二）。接著**倒梯形中央開始比上下端瘦，變成上下大、中間小的沙漏形**（上圖三），最後**中間過瘦而斷開，上下方各形成半球泡泡**（上圖四）。由四張圖可知泡泡底部黏住布料範圍都是相同，當布料離開，泡泡底部並不會脫離布料。此實驗的泡泡被固定，因此才會被強制拉扯成上下兩個半球泡泡。平常泡泡拍打，泡泡會被布料黏住無法脫離。</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="3">**漏斗形泡泡可見於各種布料與拍打方式**</td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>**仿動物毛機器拍打**</td><td>**戴棉手套拍打**</td><td>**絨布大塊布拍打**</td><td>**毛線布手持裝置拍打**</td></tr>
<tr><td colspan="4">由此推論**漏斗形泡泡應該為泡泡與可拍打布料最後分離的泡泡長相。**</td></tr>
</table>

推論： 我們推測當**泡泡離開可拍打布料時會產生漏斗形泡泡是因為可拍打布料有「泡泡疏水性」**。因為泡泡容易脫離布料，且泡泡努力在可拍打布料上維持最小的接觸面積且，因此當泡泡逐漸離開布料，接觸面積也相對減少，最後只剩下泡泡尖端與布料接觸，產生漏斗形泡泡。

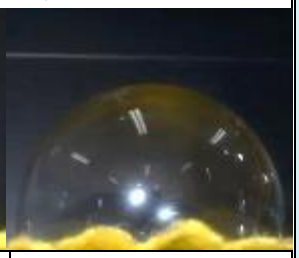
泡泡易附著在濕的不可拍打布料上，當實驗二強制將泡泡拉離布料時，泡泡在兩端(環和布料)都有很大附著力，隨著拉扯形成沙漏形泡泡。接著斷裂開來，形成兩側都是半球形泡泡。

3. 影響「泡泡疏水性」的變因：

我們使用測量毛皮上泡泡的接觸角，驗證拍打泡泡變因是否和泡泡疏水性有關係：由以下兩個實驗證實：

<table>
<tr><td rowspan="4">實驗七

布料種類對泡泡接觸角的影響</td><td colspan="2">布料材質</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>毛線布(144.4 度)</td><td>LN(83.9 度)</td></tr>
<tr><td>拍打次數 20.0 下</td><td>拍打失敗</td></tr>
<tr><td colspan="2">布料材質會影響拍打效果</td></tr>
<tr><td rowspan="4">實驗七
布料種類對泡泡接觸角的影響－延伸討論</td><td colspan="2">毛的長短</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>長度 1.2 cm(150.1 度)</td><td>長度 0 cm(121.2 度)</td></tr>
<tr><td>拍打次數 11.6 下</td><td>拍打次數 3.8 下</td></tr>
<tr><td colspan="2">毛越短拍打效果越差</td></tr>
<tr><td rowspan="4">實驗七布料種類對泡泡接觸角的影響－延伸討論</td><td colspan="2">毛的角度</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>角度 90 度(164.7 度)</td><td>角度 45 度(145.5 度)</td></tr>
<tr><td>拍打次數 8.0 下</td><td>拍打次數 5.2 下</td></tr>
<tr><td colspan="2">90 度角拍打效果較好</td></tr>
<tr><td rowspan="4">實驗七布料種類對泡泡接觸角的影響－延伸討論</td><td colspan="2">毛的密度</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>隔 5 格拔除(162.1 度)</td><td>隔 1 格拔除(143.7 度)</td></tr>
<tr><td>拍打次數 16.2 下</td><td>拍打次數 9.2 下</td></tr>
<tr><td colspan="2">毛太疏拍打效果較差</td></tr>
<tr><td rowspan="4">實驗六

絨布濕度對泡泡接觸角的影響</td><td colspan="2">毛的濕度</td></tr>
<tr><td> </td><td>  </td></tr>
<tr><td>噴 10 下(125.2 度)</td><td>噴 50 下(99.2 度)</td></tr>
<tr><td>拍打失敗</td><td>拍打失敗</td></tr>
<tr><td colspan="2">布料越乾拍打效果越好</td></tr>
<tr><td rowspan="4">實驗七布料種類對泡泡接觸角的影響－延伸討論</td><td colspan="2">毛的平整度</td></tr>
<tr><td> </td><td>將泡泡放置在一側墊高（增加斜率）的毛皮上，泡泡都會直接破裂，無法照片。</td></tr>
<tr><td>平整(134.2 度)</td><td>不平整(無法測量)</td></tr>
<tr><td>拍打次數 8.0 下</td><td>拍打次數 4.8 下</td></tr>
<tr><td colspan="2">布料越平整拍打效果越好</td></tr>
</table>

推論： 實驗三「仿動物毛變因對拍打泡泡的影響」所做出來毛皮變因對泡泡拍打次數的影響，對照泡泡接觸角的角度測量，會發現**大部分的數據都能夠驗證「泡泡接觸角的角度越大，泡泡拍打效果越好」**。因此**影響「泡泡疏水性」變因和泡泡拍打變因是相同的**。

二、泡泡拍打原因推論：有些可拍打布料有「疏水性」

根據之前實驗，我們推論可拍打布料上的水珠會呈現疏水性的球狀，能幫助拍打泡泡。

1. 當布料上能形成水珠時，可拍打布料的水珠為球狀，不易黏住泡泡：

持續以布料拍打泡泡，布料會因一直接觸泡泡水而變濕。假如布料上能形成水珠，可拍打布料的水珠形狀為球狀。不可拍打布料為攤平半球狀。由以下實驗證實：

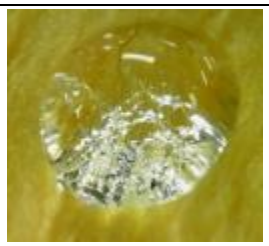
實驗四	可拍打布料		不可拍打布料	
布料種類對拍打泡泡的影響				
	絨布	構樹背面	防水壓克力紗	LN

推論： 推測當布料經過長時間拍打泡泡，布料上會漸漸沾到泡泡水，呈現濕掉狀態。有些可拍打布料是疏水性，水珠會各自呈現球形（圖 79），不互相連結，因此泡泡碰觸布料時，不會被大片的水黏住，容易脫離。不可拍打布料因為水珠呈現攤平半球形，水容易合成一大片，泡泡碰到易沾黏。

圖 79：絨毛噴大量水還是呈現各自水珠狀

2. 布料上能形成水珠時，可拍打布料上有空氣層，減少和布料接觸，不易黏住泡泡：

假如布料上能形成水珠，可拍打布料的水珠會出現全反射造成的「水珠白色現象」，不可拍打布料的水珠沒有水珠白色現象。由以下實驗證實：

實驗五	可拍打布料（60 度角拍攝）		不可拍打布料（60 度角拍攝）	
泡泡與水珠白色現象的全反射檢測				
	絨布	構樹背面	防水壓克力紗	蠶絲

推論：經過實驗五證實，水珠白色現象是由全反射造成。全反射產生的條件是從水進入空氣，因此水珠白色現象可證明水珠的下方和衣料的上方有空氣層。泡泡接觸可拍打布料時，同時接觸大量空氣，因此與布料的接觸較少，泡泡拍打時較不容易破裂。

不可拍打布料沒有觀察到水珠白色現象，因此水珠和布料之間完全沒有空氣。泡泡接觸不可拍打布料時，直接接觸布料，因此泡泡與布料接觸面積大，泡泡拍打時容易破裂。

三、網路上泡泡拍打原因討論

我們搜尋網路有關泡泡拍打資料，但**網路討論泡泡拍打原因的資料很少**，大多是討論如何製作可拍打的泡泡水。我們**將和泡泡拍打原因相關的內容整理表格如下**，與我們的研究做比較：

來源	泡泡拍打相關原因	與我們研究的比較
資料5	手套要棉質，濕掉會效果不好	**資料 5 只有提到拍打泡泡變因（布料材質、毛的濕度）**。但**壓克力紗、聚酯纖維、波力效果也很好**。濕度越濕拍打效果越差。
資料6	要避免手套上有油脂，灰塵，蒸發、重力影響	**資料 6 只有提到泡泡容易破裂原因**。油脂與泡泡水反應；灰塵造成泡泡有雜質；蒸發讓泡泡水分變少；重力讓泡泡水分不均勻，都會造成泡泡破裂。但並沒有解釋泡泡拍打原因。
資料7	灰塵、濕氣和嚴重皺紋(肥皂膜表面張力非常弱)會撕裂泡泡。新手套效果最好。	**資料 7 只有提到造成泡泡容易破裂原因和變因（濕度、平整度）**。灰塵造成泡泡有雜質。我們研究中：布料濕度越濕或越不平整，會造成拍打效果越差。新手套是為了避免灰塵、污垢。
資料8	與泡泡含水量的多寡有關。而棉、毛、亞麻材質不易破壞泡泡的表面張力	**資料 8 提到泡泡含水量是泡泡水的研究比較，與我們實驗無關**。提到棉、毛、亞麻材質不易破壞泡泡的表面張力，**我們觀察到可拍打布料較容易脫離使泡泡，避免泡泡黏住**。
資料9	泡泡在手上彈跳關鍵在於：不能讓泡泡「黏」在手上而破掉。細緻的棉布表面有微小纖維突起，可提供具有彈性和緩衝性彈跳界面。	**資料 9、3 提出的原因相近，都是棉、毛布料上有微小纖維突起，提供具有彈性和緩衝性的彈跳界面**。但根據我們的研究，毛的變因確實會影響泡泡拍打效果，但**並非有彈性、緩衝的毛都能拍打泡泡。兔毛的毛很長很軟，但泡泡碰到就破掉。T/C、麻布上有很短的毛，泡泡碰到也會破掉**。因此有毛提供彈性和緩衝性彈跳界面不一定會成功，還要考慮其他變因影響。 **資料 9 和 3 提到不能讓泡泡「黏」在手上而破掉**。我們的研究中，**可拍打材質的確是容易脫離泡泡，不可拍打材質會容易黏住泡泡，造成泡泡破裂**。
資料3	泡泡彈跳關鍵是不能讓泡泡和打擊材料互相「黏」在一起，因此毛、棉料表面纖維突起提供很好彈跳界面。	
歸納結論	網路上針對泡泡拍打原因的描述很少，只有**提出棉、毛布料產生彈跳界面和要避免泡泡與拍打布料互相黏住**。我們的研究針對泡泡拍打原因提出**「泡泡疏水性」：有關泡泡拍打的各種變因會使可拍打布料產生一個泡泡疏水性的力量（使泡泡接觸布料時內聚力大於附著力，接觸面積最小），泡泡便容易脫離布料，造成泡泡拍打不易破裂**。	

捌、結論

一、影響泡泡拍打的變因：

1. 影響泡泡拍打的變因有：布料材質；布料毛的長短、角度、平整度、密度、濕度。
2. 最適合拍打泡泡的布料材質為：棉、壓克力紗、聚酯纖維、波力。
3. 當布料毛長適中、呈 90 或 0 度角、越平整、疏密度適中、越乾燥，泡泡拍打效果越好！

二、泡泡拍打的原因：

1. 泡泡拍打原因，我們推論可拍打布料有「泡泡疏水性」。
2. 「泡泡疏水性」是指當泡泡放置在可拍打布料上，泡泡的內聚力大於附著力，會維持「球形」形狀，與布料接觸面積最小，使泡泡容易脫離布料。
3. 泡泡疏水性是由各種影響泡泡拍打變因綜合而成的影響力。
4. 泡泡脫離可拍打衣料時呈「漏斗形」，接觸布料面積小，容易脫離布料。
5. 布料上能形成水珠時，可拍打布料的水珠為球狀，不易黏住泡泡。
6. 布料上能形成水珠時，可拍打布料上有空氣層，減少和布料接觸，不易黏住泡泡。

三、泡泡白色現象與水珠白色現象的原因：

1. 「泡泡白色現象」不是全反射造成，是泡泡膜與布料接觸產生的細小泡泡。
2. 「水珠白色現象」是全反射造成，更換角度會改變白色現象面積大小，更換色卡會變色。
3. 可拍打布料的水珠形狀像球形，且能夠觀察到「水珠白色現象」。不可拍打布料的水珠形狀像攤平半球形，沒有「水珠白色現象」。

四、泡泡接觸角的研究：

1. 泡泡接觸角（泡泡形狀）能判斷泡泡拍打狀況。泡泡接觸角越大，泡泡拍打效果越好。
2. 泡泡接觸角可畫出三塊區間判斷泡泡拍打狀況。120 度以下（拍打失敗）（次數 0 次）；120 度～140 度（拍打還好）（次數 1～9 次）；140 度以上（拍打很好）（次數 10 次以上）。
3. 絨布越乾，泡泡接觸角越大，越接近球形；絨布越濕，泡泡接觸角越小，越接近半球形。

五、泡泡拍打的應用

1. 可用測量泡泡接觸角檢核泡泡水或布料的拍打泡泡效果。
2. 不需完整布料，只要用毛線就可拍泡泡。可以利用毛線編織成格子狀的「泡泡拍」玩泡泡，避免用手套玩會沾濕手。間隔 1 公分的壓克力紗毛線「泡泡拍」拍打泡泡效果最好。
3. 全身穿著可拍泡泡的衣服與褲子，就可以用全身玩泡泡
4. 泡泡可以靜置在可拍打布料上形成球狀，因此可戴手套對泡泡進行擠壓各種動作，在自然課替代氣球進行空氣壓縮實驗。

玖、心得

做科展是三、四年級時的夢想，當知道自己五年級要進行科展研究，我們抱著期待、緊張、疑惑的心情。但真正開始實驗，才發現科展並非想像中那麼容易，而且做到越後面越辛苦。但科展帶來的成就感和好奇心支持我們一直研究下去。

科展又辛苦又開心，除了放學和假日要額外留校外，每次實驗都像是疲勞轟炸。例如製作檢測裝置時，有一個小地方不小心做錯，整個裝置只好全部重做。做泡泡水和仿動物毛實驗時，滿天飛的仿動物毛和整桌的泡泡水，真的讓人欲哭無淚。當一回家，還要面對寫不完的科展筆記本，常常弄到很晚才能完成。甚至實驗後才發現有錯誤，必須要實驗全部重做，都讓人很想放棄。但在實驗過程中找到樂趣和完成實驗的成就感，就會將心中的勞累一掃而空，讓我們有勇氣繼續做下去。

這一年來我們學到了分工合作和團隊默契，還有時間掌控，避免將很短的科展時間浪費掉。更重要的是以前遇到問題，可能會問別人，別人不會就會算了，直接放棄。不過做了科展後，發現可以自己動手做，不只是等待別人答案，要自己尋找。

最後要感謝互相幫忙合作的同學，沒有同伴就沒辦法順利完成科展！也謝謝辛苦指導我們的老師、背後默默支持我們的家長，及熱情贊助與回答我們問題的布料店阿姨。因為有你們，才能完成這次的科展研究。

拾、參考資料及其他

（附件一）參考資料

	參考資料內容	參考資料出處
1	● 泡泡的構造	**泡泡是什麼**(無日期)。科學遊戲實驗室。2014 年 10 月 1 日，取自：http://scigame.ntcu.edu.tw/Whats_Bubblle.html
2	● 接觸角的定義與親水疏水關係	張育唐、陳藹然(2011)。**接觸角**。科學 Online－科技部高瞻自然科學教學資源平台。2014 年 10 月 1 日，取自：http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=27484
3	● 用手套直接拍打泡泡進行實驗。 ● 在塑膠盒畫圓固定半球泡泡大小 ● 布上纖維突起將泡泡彈起及緩衝	劉大業、陳廷嘉、宋柏諺 (2009)。**泡泡排球。**中華民國第四十九屆中小學科學展覽會作品說明書。2014 年 10 月 1 日，取自：http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/49/pdf/080827.pdf
4	● 以方格紙畫圓固定半球泡泡大小	江翎、張善絜、何松霖、羅宇莊 (2009)。**許我一個長命泡泡吧！---氫氣泡泡會比較長命嗎？**。中華民國第四十九屆中小學科學展覽會作品說明書。2014 年 10 月 1 日，取自：http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/49/pdf/080201.pdf

	參考資料內容	參考資料出處
5	● 手套要棉質，濕掉效果不好	**彈跳泡泡**(無日期)。科學遊戲實驗室。2014 年 10 月 1 日，取自：http://scigame.ntcu.edu.tw/bubble/bubble-016.html
6	● 手套避免油脂，灰塵，蒸發、重力影響	**Bouncing Bubble** (無日期)。**Steve Spangler Science**。2014 年 10 月 1 日，取自：http://www.stevespanglerscience.com/lab/experiments/bouncing-bubble
7	● 灰塵、濕氣和嚴重皺紋，會撕裂泡泡	**よく弾むシャボン玉**(2009)。不思議科學實驗室。2014 年 10 月 1 日，取自：http://web.kyoto-inet.or.jp/people/ebisan/hazumu.htm
8	● 棉、毛、亞麻材質不易破壞泡泡的表面張力	洪榮昭、林懿偉(2006)。**講題：科學玩具**。科學教育學術研討會研習-0ad54。2014 年 10 月 1 日，取自：http://www.google.com.tw/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Felearning.ice.ntnu.edu.tw%2Fpfo_down.asp%3Fpsn%3D36211&ei=OQoBVZv6CIOD8QW0goDwBw&usg=AFQjCNFnJB47Ug0XUbWyTaMe1KIC9TQhWQ&sig2=-R9H8FkR_BT6cgpzL_408Q&bvm=bv.87920726,d.dGc
9	● 棉布上的纖維突起提供彈性和緩衝性的彈跳界面	蔡延秀、張嘉怡(無日期)。**超越極限的彈跳泡泡球**。2014 年 10 月 1 日，取自：http://sf.wfjh.kh.edu.tw/module/power/workUpload/2012_533603.doc

（附件二）用圓環固定球形泡泡大小研究

（一）、研究過程：

因為要進行拍打實驗，希望能夠固定泡泡大小，且讓泡泡是球形浮在空中。我們**拿 7 公分塑膠圓環固定泡泡大小**，做出**單環、平行雙環、丁字環、雙十形環**進行泡泡形狀測試，我們發現**平行雙環的距離會影響泡泡形狀**，測量出**雙環距離 4 或 6 公分是最佳距離**，太近或太遠泡泡都會變形。最後評估後，我們覺得**「丁字環」形成空中球形泡泡的效果最好！**

（二）、比較表格：

名稱	單環	平行雙環	丁字環	雙十形環
長相				
優點	1. 拍打面積較大 2. 容易製作	1. 比單環好控制泡泡大小	1. 形狀是圓形	1. 泡泡大小差不多
缺點	泡泡變成上小下大，圓環無法當赤道	1. 形狀接近橢圓形	1. 只能控制半邊泡泡大小	1. 形狀是橢圓形 2. 環卡住拍打泡泡

圖 80：以塑膠圓環、竹筷、冰棒棍製作

圖 81：以冰棒棍支撐塑膠環，避免泡泡碰到手

圖 82：以泡泡吹嘴測試雙十形環

圖 83：測量雙環的最佳距離，是 4 或 6 公分

（附件三）線的種類對吸水性研究

（一）、研究過程：

丁字環是塑膠材質，當丁字環上面沒有水時，泡泡無法附著。丁字環要先泡水沾濕，泡泡才能吹在丁字環上。但丁字環很容易乾掉，實驗中必須一直拆下來泡水。我們想到將泡泡框纏上線，增加肥皂水含量。因此我們測試各種線的吸水量，找出最適合纏在丁字環上的線。最後測出羊毛線含水量最高！我們做出只要沾一次水就能進行很久拍打泡泡實驗的丁字環。

將各種線秤 3g，手壓線入水十秒撈起瀝乾	將瀝乾的毛線秤重，計算毛線含水量	含水量最高是羊毛，製作成羊毛丁字環	加水羊毛丁字環可進行 100 次以上泡泡附著

（二）、實驗數據：

名稱	棉線	毛線 1	毛線 2	毛線 3
成分	棉	壓克力紗	特拉綸	羊毛
泡水後重量	5.5 g	12.9 g	15.9 g	20.3g
含水量	2.5 g	9.9 g	12.9 g	17.3g

表 2：線的種類泡水的含水量數據

名稱	丁字環	羊毛丁字環
含水量比較	0.3 g	7.2 g
沾水後可附著泡泡次數	5 次	100 次（停止測試）

表 3：有無纏羊毛線丁字環比較數據

（附件四）參訪布料店

（一）、研究過程：

我們希望能用各種布料進行泡泡拍打測試，所以我們決定拜訪學校附近的布料店，尋求各種不同的布料，並希望布料店老闆能夠解答「市售專拍泡泡手套」的材質是什麼。布料店老闆很熱情的介紹各種布料，並提供一些免費布料讓我們進行實驗我們得到以下資訊：

1. 布料類型可區分成「動物毛、植物纖維、化學纖維」。
2. 動物毛的布料都很貴，我們只有挑選「兔毛、羊毛、蠶絲」。
3. 「市售專拍泡泡手套」根據布料店老闆判斷的材質是「壓克力紗」。

圖 84：至學校附近的布料店參訪

圖 85：布料店老闆教導我們有關布料的知識

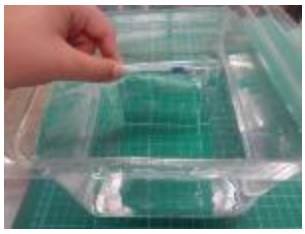
圖 86：在布料店示範用布料拍打泡泡

圖 87：再次去布料店詢問布料問題與購買布料

（附件五）浸泡名片夾的全反射實驗

（一）、研究過程：

實驗中發現泡泡和水珠都會出現白色現象，我們聯想到資優班以前上過**全反射的課程**，**經過泡水後會出現白色亮光的地方**。我們進行的**浸泡名片夾實驗**如下：

卡片上畫圖案(黑貓)放入名片夾中。名片夾外畫另一種圖案(白貓)。	名片夾還沒放入水中時，看到的是名片夾內的圖案（黑貓）	將名片夾泡入水中，黑貓不見了，看到是名片夾外的白貓。	畫面中的名片夾進水，所以有一半圖案無法全反射而顯現出來。
			
放在水族箱底部也會出現全反射效果，只顯現出外面的太陽圖案。	**當更改觀看角度後，全反射效果會消失**，看到的圖案就是裡面的小花	**全反射讓名片夾外側變鏡子**，名片夾會變成水族箱底部顏色(白色)	將水族箱底部改成綠色切割墊，名片夾外側會跟著變綠色。

全反射原理與條件：

光線從水進入空氣中，當入射角角度很大時，會形成沒有折射，只有反射的效果。下面的圖是將名片夾泡進水中和放在水族箱底部，光線產生全反射的路徑圖。

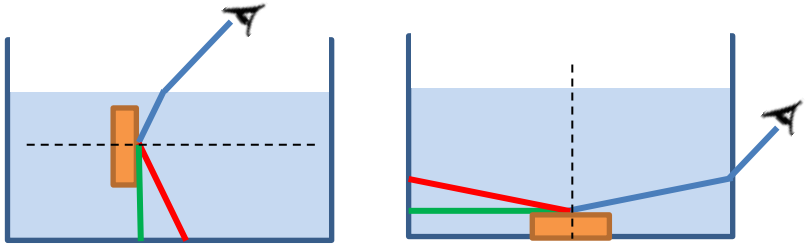


圖 88：
藍色為眼睛觀看路線。綠色為全反射造成的折射路線(在名片夾表面)。紅色為名片夾反射光線路線，因此眼睛會透過名片夾藉由紅色反射路線看到水族箱底部（或側面）。

我們使用全反射的兩個特性來檢測是否為全反射：

1. **觀測角度大，全反射會出現。觀測角度小，全反射會消失。0 度觀測不會有全反射。**
2. **全反射是鏡子，會映照出周圍顏色。當周圍顏色改變，全反射的顏色也會跟著變。**

【評語】080115

能自製各種材質的泡泡拍子控制變因。