

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

佳作

030111

球有情、風無意，煙消雲不散

--觀察風通過物體表面的行徑路線

學校名稱：臺北市立民生國民中學

作者： 國二 莊自得 國二 陳奕臻 國二 吳佳儒 國二 王筱琪	指導老師： 蘇恭彥 廖純英
---	-----------------------------

關鍵詞：風洞、流體、分離現象

球有情、風無意，煙消雲不散

～觀察風通過物體表面的行徑路線

摘要

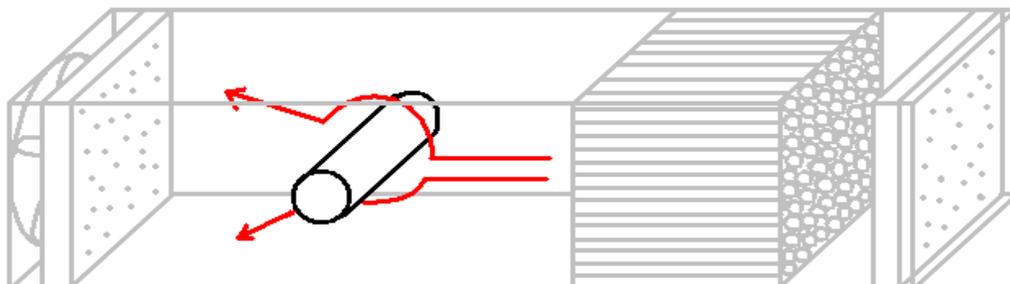
本研究是探討風遇到表面粗糙度有差異的球體時，行徑路線的變化並分析分離點的位置。

我們經過線香、蚊香、水霧，最後是以加熱低密度的白蠟油來產生煙霧，並利用電腦風扇、吸管及海綿，製作一個富有整流功能的小型風洞。配合雷射光（加上柱狀玻璃管）來觀察油煙遇到圓形（或球形）表面時的行進路徑。

實驗過程所拍攝的影片經截取、切割後，以軟體「Photoimpact 11」標示出分離點，並量出分離角度。經過許多研究後，我們發現：**流體通過物體表面時有分離的現象，當風速越快及表面粗糙，流體愈早分離接觸面，分離角度越小。**

壹、研究動機

輕巧的乒乓球和堅固的高爾夫球，同樣是爲了讓球體飛行時保持平穩快速，爲什麼表面的差異卻如此懸殊？爲了瞭解這其中的奧妙，我們決定對這項有趣的科學題目，進行深入的觀察與研究，希望能解開我們心中的疑惑！



貳、研究目的

- 一、在自製風洞中，分析流體通過圓形**不同管徑大小時**的分離角度。
- 二、在自製風洞中，分析不同流速對流體通過圓形**砂紙表面時**的分離角度。
- 三、在自製風洞中，分析不同流速對流體通過圓形**平滑表面時**的分離角度。
- 四、比較流體通過平滑面水管與砂紙面水管其分離角的差異
- 五、在自製風洞中，分析不同流速對流體通過**長方體時**的分離角度。

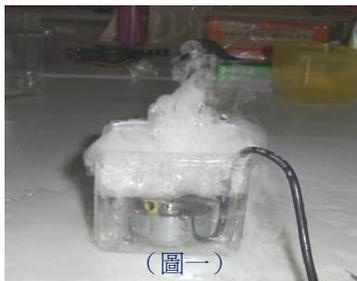
參、研究設備及器材

一、研究設備：

- (一) 超音波震動器 (濺出小水珠) (圖一)
- (二) 電湯匙 (將白臘油加熱成油煙) (圖二)
- (三) 電動風扇 (將油煙吹成橫向的風) (圖三)
- (四) 雷射與玻璃棒 (讓雷射光成一面扇形，打在霧上方便觀察) (圖四)
- (五) LED 手電筒 (打光以方便觀察煙霧) (圖五)
- (六) 相機與攝影機 (攝影觀察用)
- (七) 腳架 (固定拍攝定點及角度)
- (八) 電腦與軟體 (會聲會影、Photoimpact11)

二、研究器材

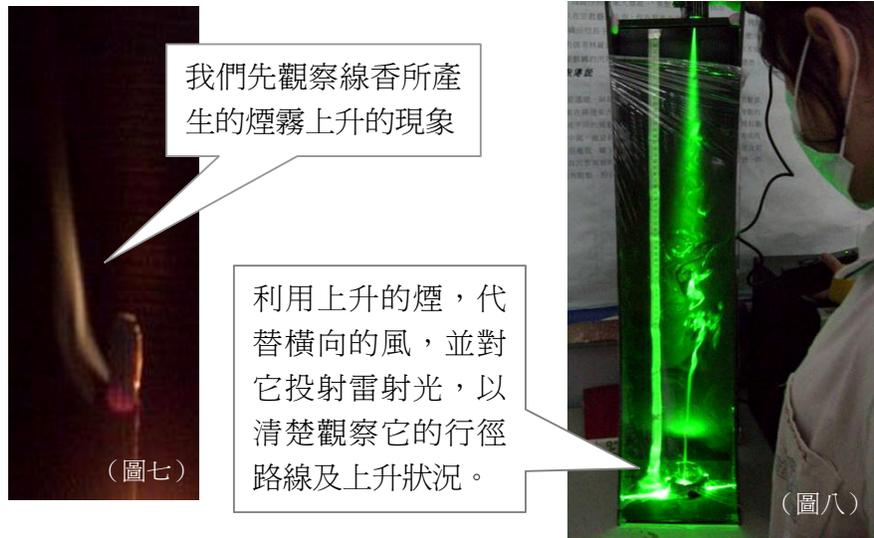
- (一) 寶特瓶及塑膠碗，裝設超音波震動器及風扇 (圖六)
- (二) 保麗龍球及塑膠水管及長方體木塊
- (三) 白臘油 (加熱產生煙霧)
- (四) 砂紙 (黏貼在塑膠水管上，改變其表面粗糙度)
- (五) 塑膠網與布料 (功能同上)
- (六) 熱融膠槍與膠條 (功能同上)



肆、研究過程或方法

一、如何呈現「風」？

爲了研究風遇到球體所產生的變化，我們開始尋找可以比直接用「風」來做實驗，更清楚明顯且好控制的物質。大家先上網找了許多與流體相關的知識，發現「線香」是運用最廣的實驗材料，因爲它方便、簡單、容易取得，所以我們試著用它所產生的「煙」來代替風（見下方圖七、圖八解說）。



二、煙的改進過程

以下四代的煙霧產生辦法，是我們由線香開始著手進行實驗後，分析出優缺點所改良的實驗儀器（圖九~十二）。



線香（第 1 代）



蚊香（第 2 代）



水霧（第 3 代）



白蠟油（第 4 代）

以下是我們研發每一代實驗儀器的歷程和分析其優缺點：

(一) 線香

線香最大的優點就是取得方便。我們在傳統市場找到了常見的三種粗細的線香（圖十三），編號越小的線香，直徑越小。我們對每個尺寸的線香，都做了一樣的實驗，觀察它們產生煙量的多寡，是否對實驗有影響。

實驗後發現，越細的線香，產生的煙量越小，不穩定。就算是最粗的線香，燃燒出來的煙也不會規律的上升。而且線香燃燒後會產生煙灰，對煙霧的上升也會有所影響。



(二) 蚊香

在研究過線香之後，我們猜想蚊香的煙量可能會較明顯，所以拿它來進行實驗（圖十四）。

結果發現它燃燒的速度雖然較線香穩定，煙量效果卻還是稍嫌不足。



(三) 水霧

因為之前的線香跟蚊香，皆容易受外界擾動影響，上升時都不穩定，所以我們決定再換一個製造煙霧的儀器。

我們的靈感來自許多風水裝飾品上都會有冒煙的裝置（圖十五～十六），查了很多相關資料後，我們發現原來那些冒煙的裝置都是使用超音波震動器，將水震成小水珠，看起來就像是煙霧，於是我們決定在實驗中使用超音波震動器來製造水霧（圖十七）。



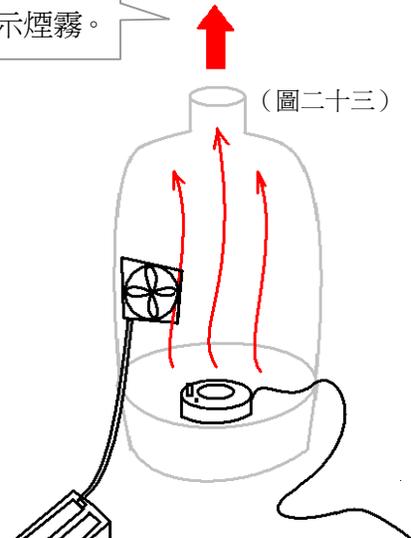
水霧的量很符合需求，但是煙霧的卻無法上升太高，所以我們決定在旁邊放上一個電腦用的散熱風扇改變壓力，將小水滴擠出寶特瓶，以增加它上升的高度（圖十八～二十三）。



此為水霧儀器中煙霧流動的示意圖，紅色箭頭表示煙霧。

我們發現水霧雖然已比之前穩定，但仍有許多缺點：

- 1、由於水珠的顆粒太大，所以煙霧容易沉積在下面（圖二十四）
- 2、因為產生的是小水滴，上升後會凝結變重，因而囤積在上方，造成我們不方便觀察（圖二十五）
- 3、我們推測由於風扇的速度太慢，做出的實驗無法得到清楚的結果

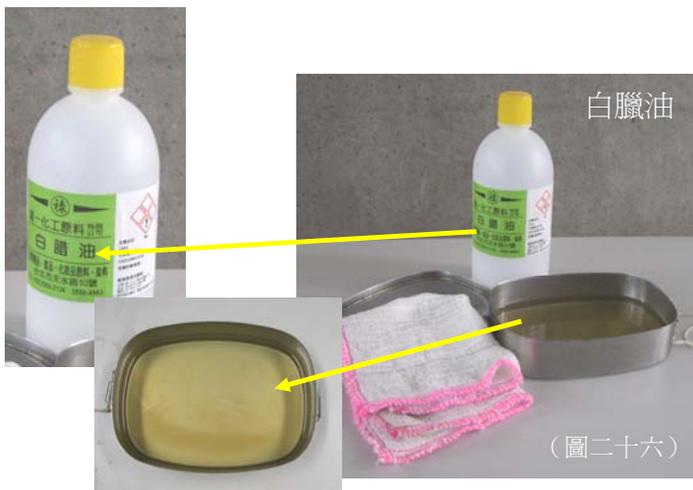


(四) 白臘油油煙

因為上述的許多原因，我們想找一種比水霧輕，而且流速好控制的煙霧來實驗。

查了許多資料後，我們發現白臘油（圖二十六）的密度較大多數的油小，所產生的煙較輕，所以較容易隨風飄散。也就是說，它是種容易用風扇控制流速的煙霧。

我們用電湯匙（圖二十七）加熱白臘油，產生的煙用風扇抽進實驗箱中，利用吸管讓煙霧可以平順的向前流動，然後將要實驗的塑膠水管固定在箱子中，這就是我們最後確定的實驗儀器，詳細說明請見下方架設儀器的部分。



三、架設觀察箱

我們前後共設計了兩代觀察箱，以下是針對每一代的說明：

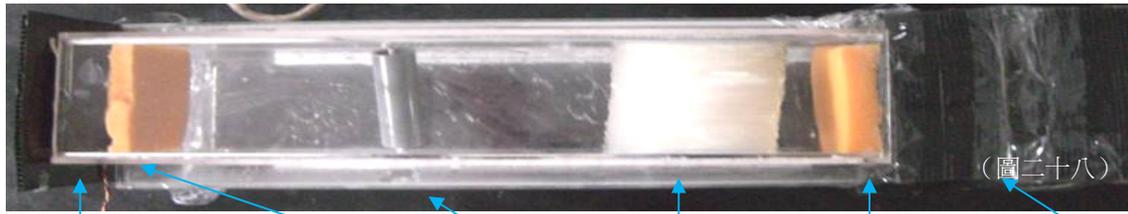
(一) 縱向透明壓克力觀察箱

為了方便觀察煙上升的現象和行徑路線，我們必須讓煙的流向穩定，因此要想辦法降低一切外界的干擾，例如聲音、振動、空氣流動等。我們在學校設備室找到一個透明壓克力觀察箱（60cmx12cmx12cm）（圖二十七），並在外面加上黑色塑膠板，以減輕光害。

(二) 橫向透明壓克力觀察箱（本研究主要儀器）

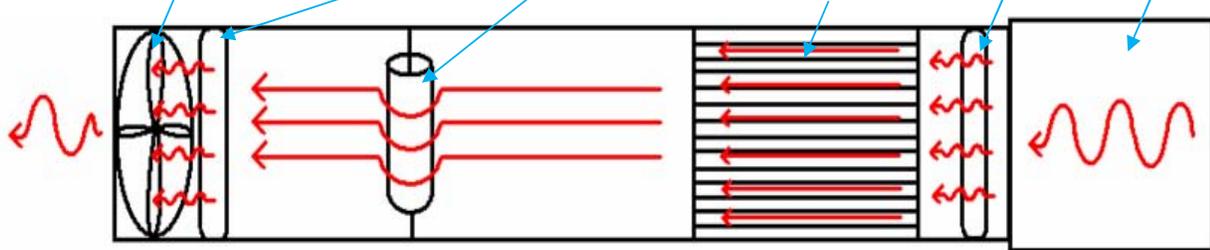
使用水霧的效果並不如預期的好，本來的裝置產生的煙速太過緩慢，所以我們決定將小風扇更換成大風扇。因為要將大風扇裝在一側壓克力箱開口，所以要將觀察箱 90 度翻轉，另一側（原本的底部）也要開通作為煙霧進入的開口（圖二十八～二十九）。





(圖二十八)

風扇：用抽風方式讓煙通過觀察箱。	海綿：阻擋風扇造成的旋轉氣流。	圓柱體	緊密排列的細吸管：第二次整理煙霧的流向，減少亂流出現。	海綿：第一次對煙霧整流。	儲煙區：收集白臘油煙。
------------------	-----------------	-----	-----------------------------	--------------	-------------



(圖二十九)

四、光源的改良

(一) 第一代光源：LED 燈

雖然用肉眼就可以看到煙，但爲了要在實驗中更清楚的觀察其行徑路線，同時讓它攝影的畫面更清晰，我們先使用 LED 燈（白光）照向煙霧(圖三十)。

(二) 第二代光源：雷射光

LED 燈亮度雖足夠但照射的範圍太小距離也太短，還是不容易觀察。因此我們想到雷射光，雷射光不僅照射距離長，光線也非常明亮。

一般雷射光只有一直線，能觀察的面積有限。經過討論後，我們在雷射光源前放玻璃棒(圖三十一~三十二)，利用光的折射現象，讓從一直線擴展成扇形，照射的範圍因此變大到可以照射到煙整個行徑的範圍(圖三十三~三十四)。



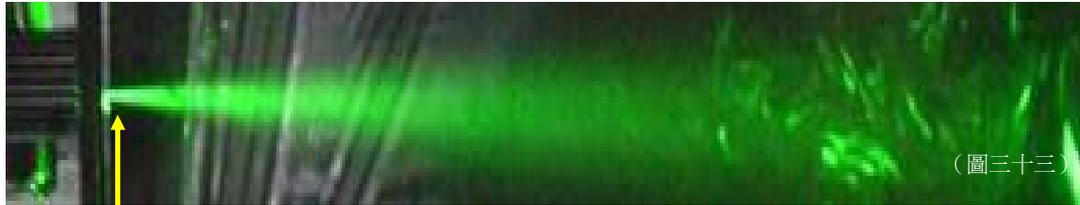
(圖三十)



(圖三十一)

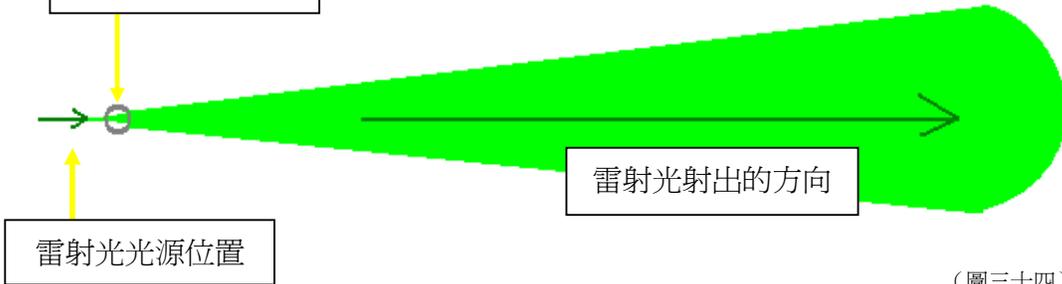


(圖三十二)



(圖三十三)

我們利用**玻璃棒**擴大雷射範圍。



(圖三十四)

(三) 雷射光源放置的位置

線香和水霧實驗的雷射可以放在觀察箱的側邊或上方。實驗後發現，雷射放置在側邊，雖然光線強度較一致，但是側面散開的角度會不夠大，觀察範圍並不完整。所以我們決定將雷射放置在上方，這樣範圍夠廣現象明顯，且能照到整個箱子，效果相當好（見圖三十五～圖三十六）。

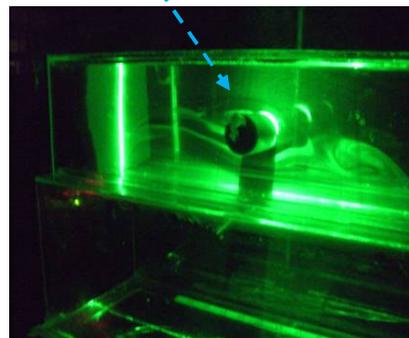
在白臘油的實驗中，我們把觀察箱 90 度翻轉，因此架設雷射時嘗試了上和下兩個方向。如果放在下面，雷射距離煙的間隔太短，光線散開的角度會不夠大，所以我們把雷射移到上方，可以上下調整所需要的距離（圖三十七）。



圖三十五：在線香實驗由上方用雷射照射



圖三十六：在水霧實驗使用雷射由上方照射



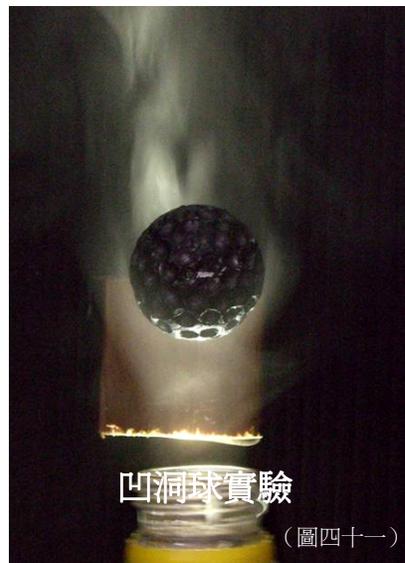
圖三十七：在白臘油的實驗中，使用雷射由上方照射

五、球體與塑膠水管

(一) 球體

我們想觀察風（以煙霧代替）吹過不同表面粗糙度的球體時所產生的現象和其行徑路線。我們先選大小相同但表面分為平滑（圖三十八～三十九）和有凹洞（以線香輕輕觸碰保利龍球表面使其產生凹洞）（圖四十～四十三）的兩種保麗龍球來觀察並做比較。

塗黑色的表面是爲了減少反光、方便觀察



凹洞球體製作過程：以線香觸碰保利龍球表面使其產生凹洞再用奇異筆塗黑。



(二) 塑膠水管

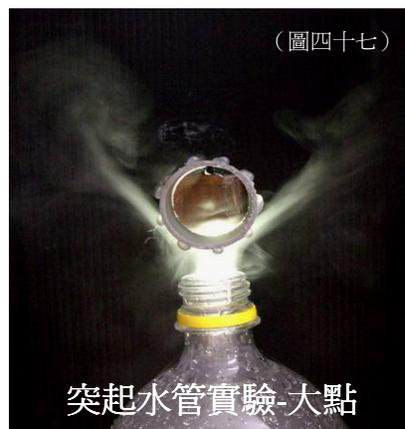
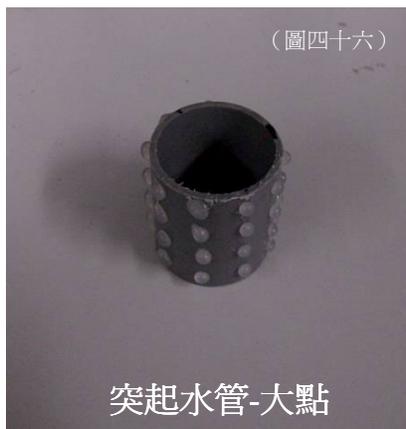
因為球體是三維空間，煙經過時會比較凌亂，無法明顯的看出煙霧的分離點和現象。因此，我們決定改用二維空間的圓柱塑膠水管來觀察。

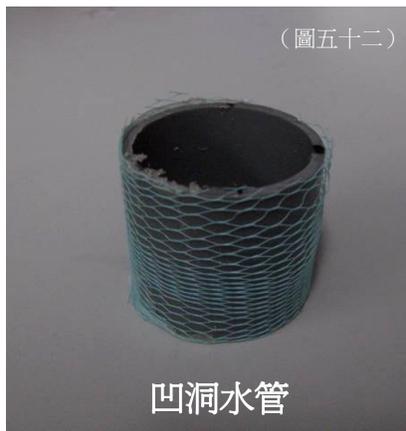
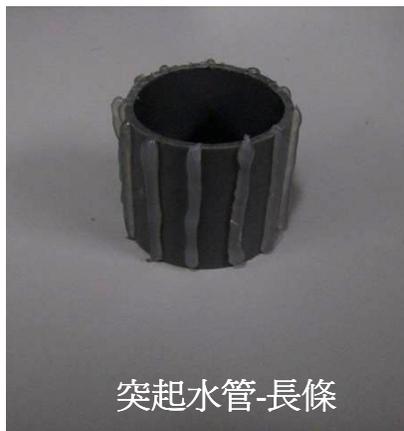
我們先改變塑膠水管的表面，分別是平滑（圖四十四～四十五）、突起和凹洞。其中突起的面分為三種：

- 1、較大也較分散的點點（圖四十六～四十七）
- 2、小的也較密集的點點（圖四十八～四十九）
- 3、密集的線條（圖五十～五十一）
- 4、砂紙（圖五十四～五十六）

以上1～3項皆是以用熱融膠槍加熱膠條黏在水管上的方法來改變其表面。第4項則以砂紙包覆塑膠水管表面。

凹洞的面則以在塑膠水管上覆蓋網子作為替代(圖五十二～五十三)。



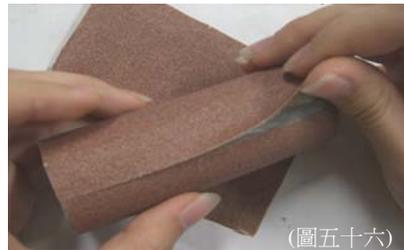




(圖五十四)



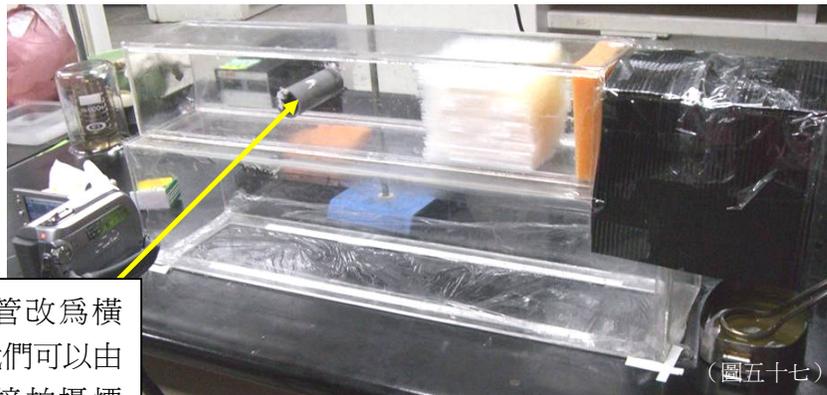
(圖五十五)



(圖五十六)

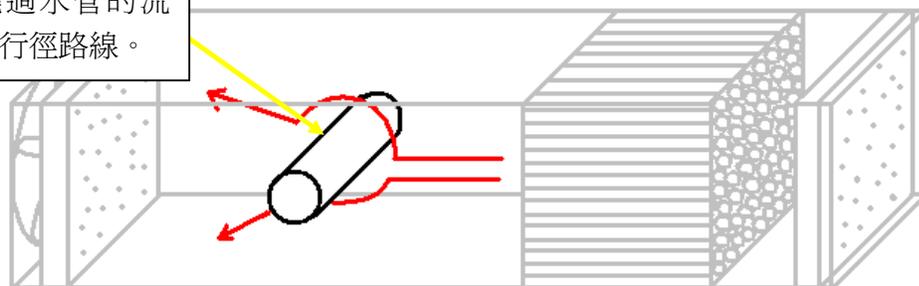
(三) 塑膠水管改變架設位置

但之後因為煙量不夠多、煙速不夠快等問題，我們換成以白臘油產生的煙霧來做實驗（詳細解釋請看第六頁「架設觀察箱」第三部分以及）。因此架設裝置改變、雷射改變、風扇位置改變，使得塑膠管架設的方式和方向也不同于之前（圖五十七）。



(圖五十七)

塑膠水管改為橫放，讓我們可以由側邊直接拍攝煙霧繞過水管的流向與行徑路線。

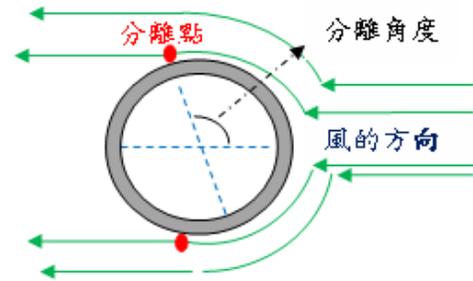
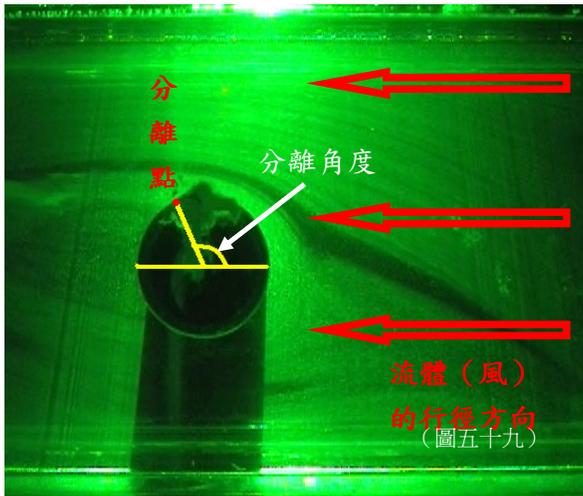


(圖五十八)

六、判斷分離角與其測量方法

(一) 如何判斷分離角

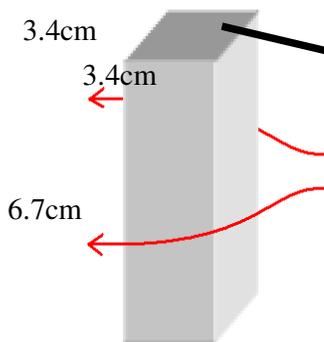
煙行經球體或塑膠水管時不會依照原本的路線行進而是會偏離原來路線，其分離的角度我們稱之為分離角。從煙的分離點連線至球體或塑膠水管圓心的角度即為分離角（圖五十九~六十）。



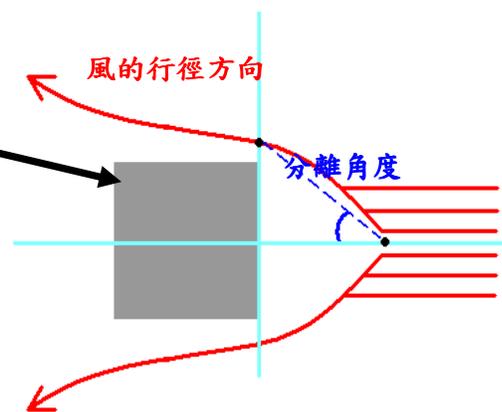
(圖六十)

(二) 如何判斷流體行經長方體之分離角

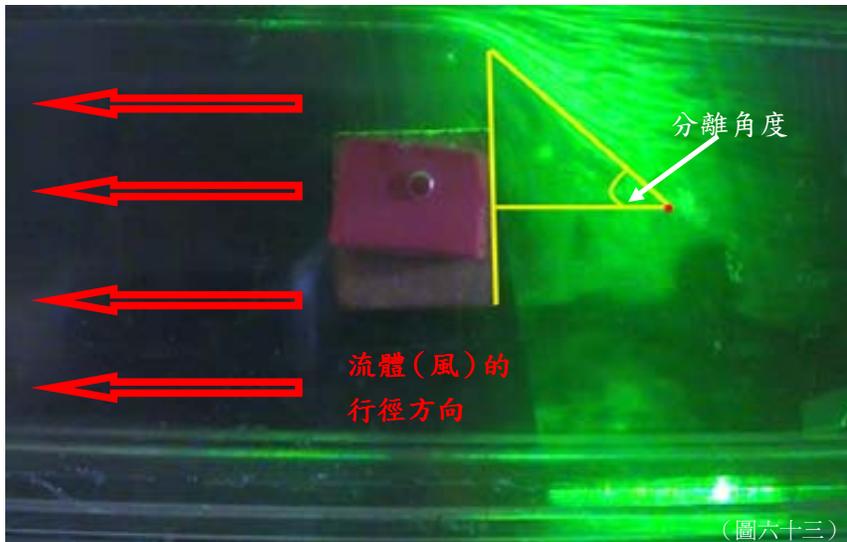
煙行經四角柱(正方體或長方體)以前就會被其形狀迫使產生分離的現象，其分離的角度我們稱之為分離角。向上延伸正方形受風面的邊長交煙霧行徑的路線為一點。再從受風面邊長的中點垂直延伸交風行徑的路線為另一點。將兩點連線，其線段與邊長中點的垂直延伸線的夾角為分離角。分離角越小代表越早分離。（圖六十一~六十二）。



(圖六十一)



(圖六十二)



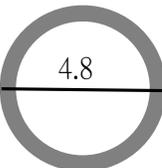
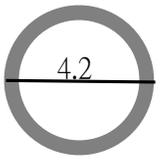
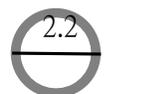
(三) 如何畫出與測量分離角

要能清楚的畫出分離角，我們從影片中截取、切割較清楚的畫面。然後找了電腦軟體「繪聲繪影」將我們實驗過程所拍攝的影片切割成好幾張圖片，再選擇畫面最清楚的來畫出分離角。我們找到了符合我們需求的軟體「Photoimpact 11」，不僅可以在照片上繪圖出直線，還能直接量出角度。

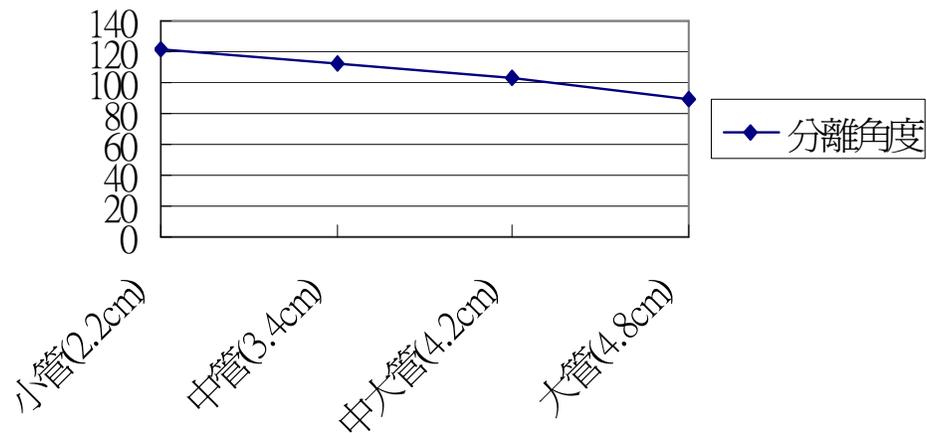
伍、研究結果

研究一：

在相同流速下，討論流體通過四種不同管徑大小的水管對其分離角度之影響

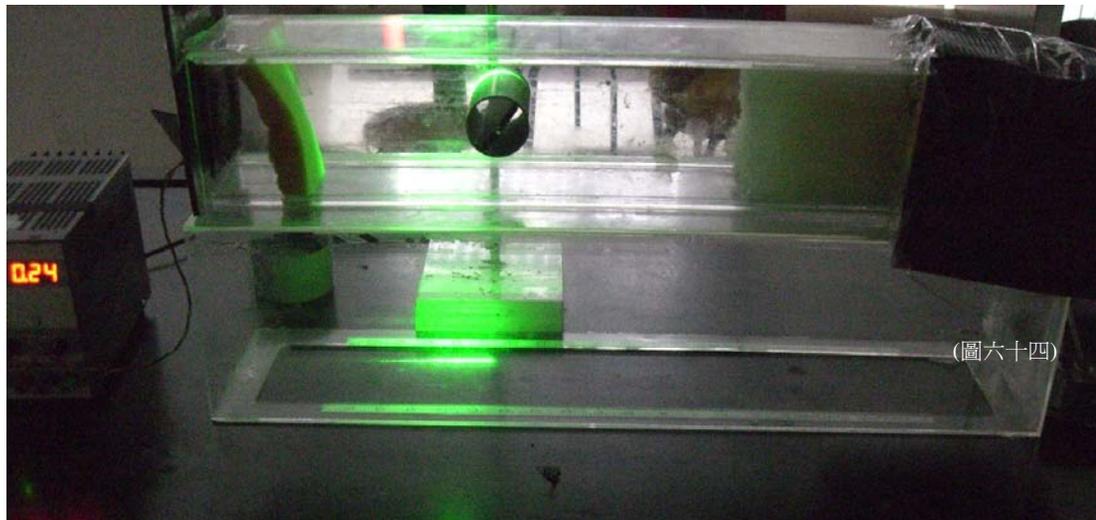
流體速度 (公尺/秒)	0.25	0.25	0.25	0.25
塑膠水管管 徑大小(cm)				
分離 角度(°)	89	103	112	121

在相同流速下，流體通過四種不同管徑大小的水管對其分離角度之影響

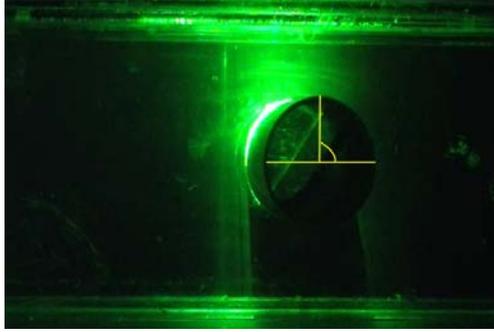


說明：

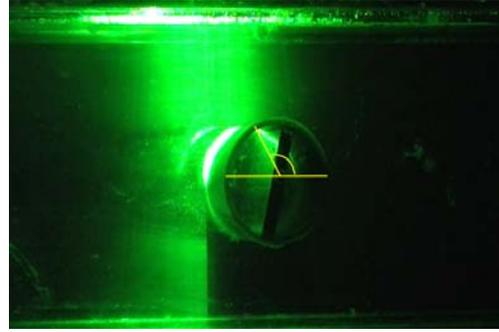
- 1、風扇輸入電壓愈大，風速愈大。
- 2、風扇輸入電壓每增加 1 伏特，風速約增加 0.04 公尺/秒。
- 3、管徑愈大，分離角度就愈小，也就是說流體會愈早分離。



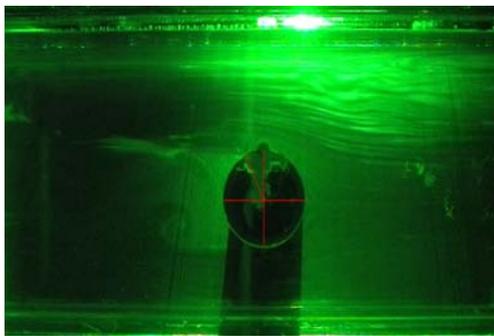
在相同流速下，討論流體通過四種不同管徑大小的水管對其分離角度之影響
 (實驗以風扇輸入電壓 10 伏特，風速：0.25 公尺/秒來測量)



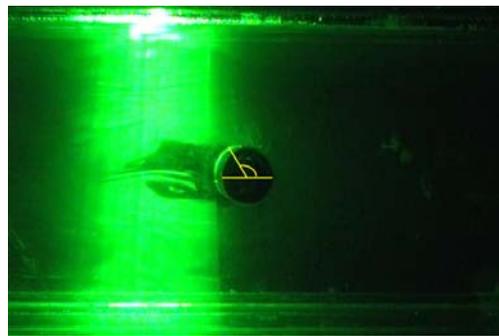
大管 4.8 cm (圖六十五)



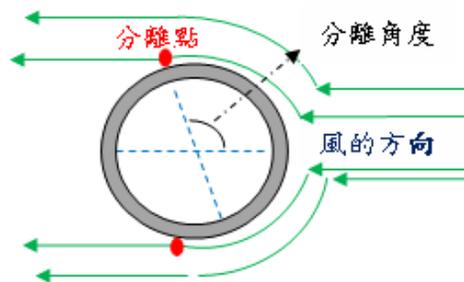
中大管 4.2 cm (圖六十六)



中管 3.4 cm (圖六十七)



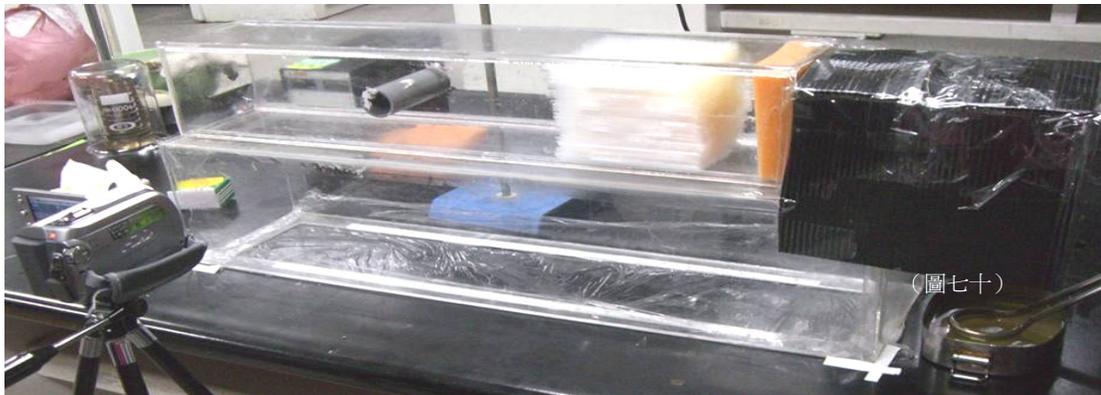
小管 2.2 cm (圖六十八)



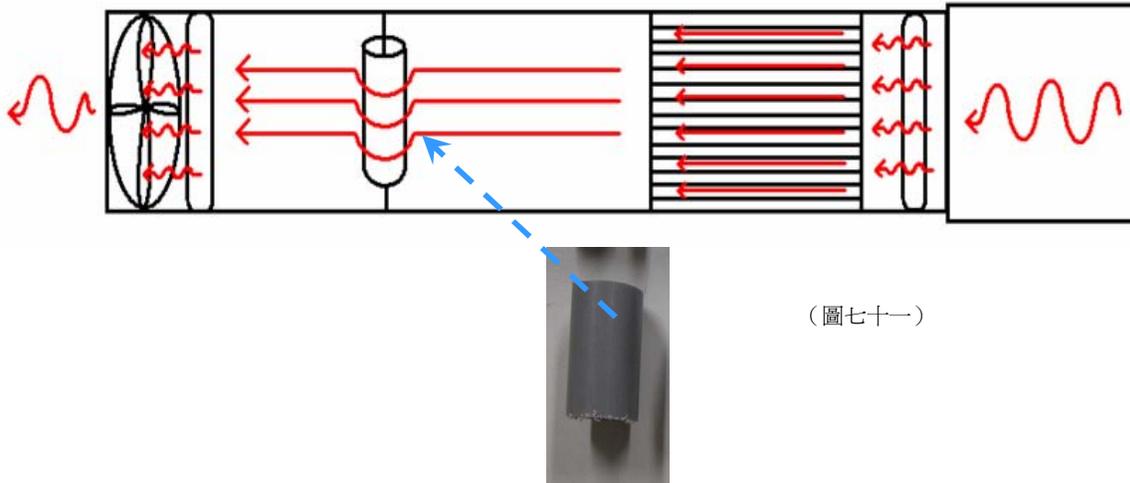
範例說明 (圖六十九)

研究二：利用改變風扇轉速討論流體流速對平滑水管(圖七十二~七十五)分離角度之影響

風扇輸入 電壓(伏特)	9.0	10.0	11.0	12.0
流體速度 (公尺/秒)	0.21	0.25	0.29	0.33
分離 角度(°)	120	112	105	99

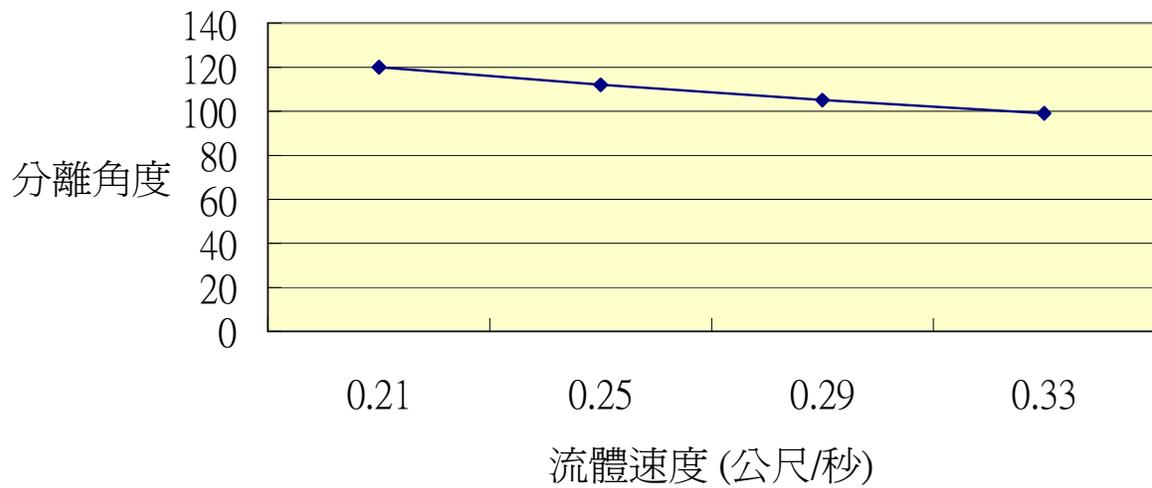


(圖七十)



(圖七十一)

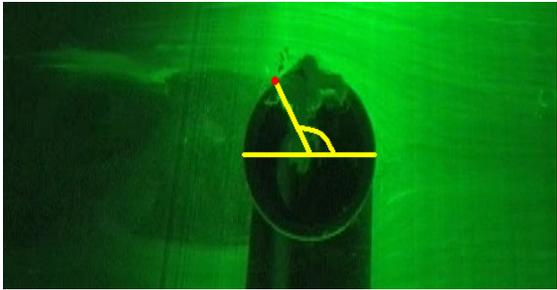
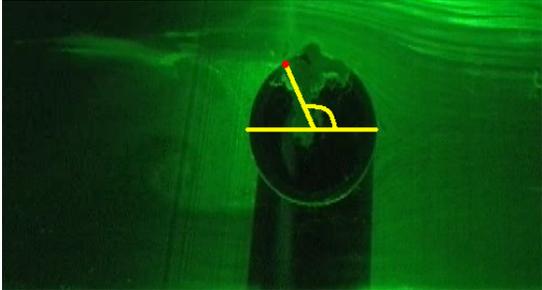
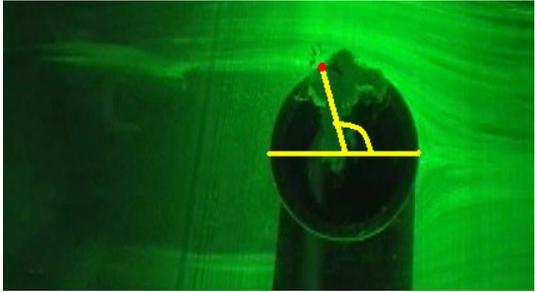
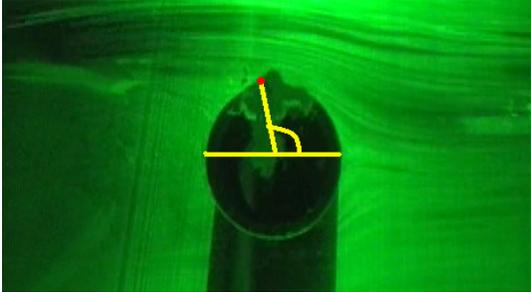
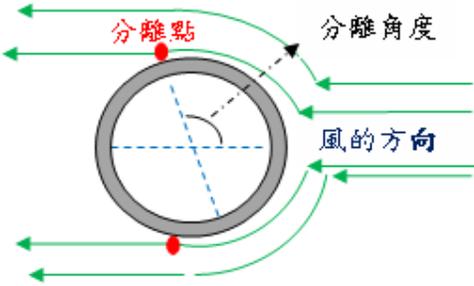
改變風扇轉速討論流體流速對平滑水管分離角度之影響



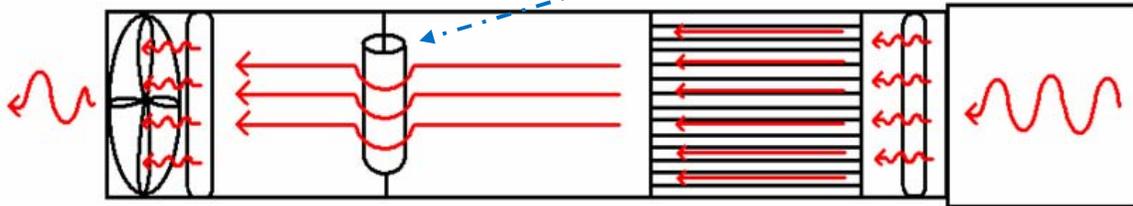
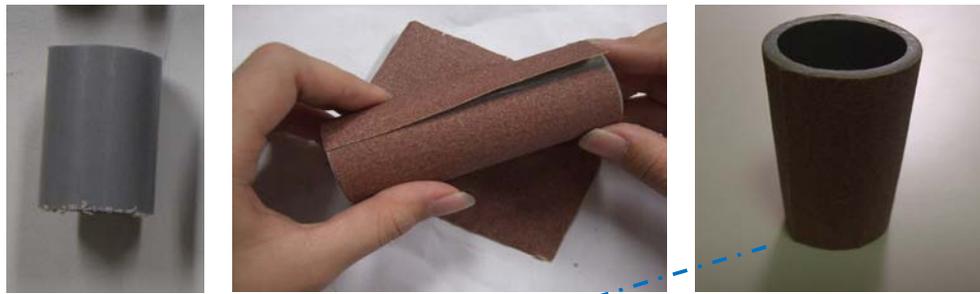
說明：

- 1、風扇輸入電壓愈大，風速愈大。
- 2、風扇輸入電壓每增加 1 伏特，風速約增加 0.04 公尺/秒。
- 3、當風速愈大時，流體動能愈大，較易突破層流的界限而造成流體分離現象。
- 4、風扇輸入電壓每增加 1 伏特，分離角約減小 8 度。

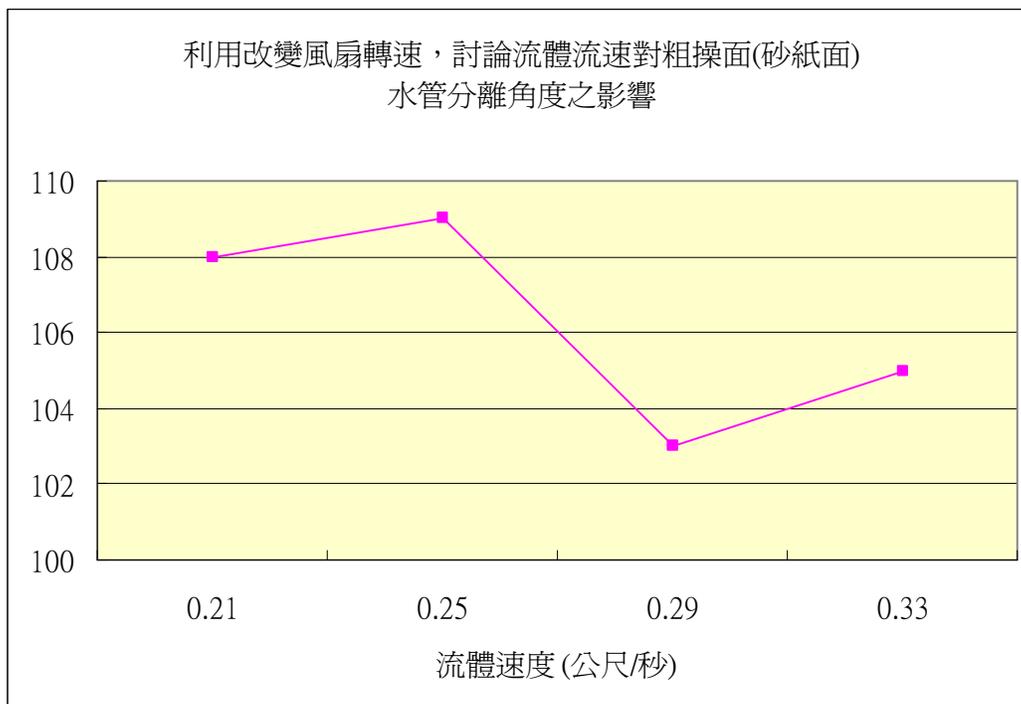
以下是上述表格之圖片（圖七十二~七十五）

利用改變風扇轉速討論流體流速對平滑水管分離角度之影響	
	
風速：0.21 公尺/秒（圖七十二）	風速：0.25 公尺/秒（圖七十三）
	
風速：0.29 公尺/秒(圖七十四)	風速：0.33 公尺/秒(圖七十五)
	
說明範例(圖七十六)	

研究三：利用改變風扇轉速，討論流體流速對粗糙面（砂紙面）水管分離角度之影響。



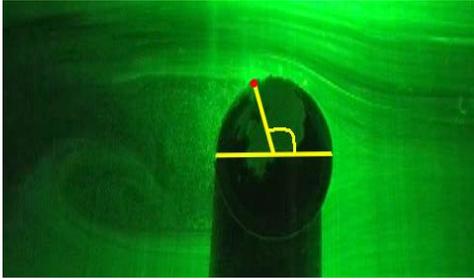
風扇輸入電壓(伏特)	9.0	10.0	11.0	12.0
流體速度(公尺/秒)	0.21	0.25	0.29	0.33
分離角度(°)	108	109	103	105



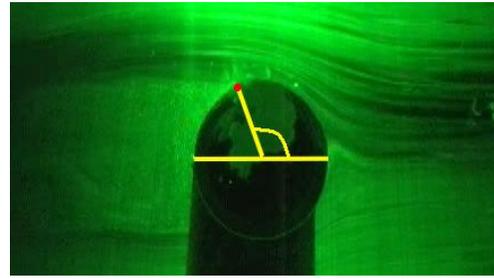
說明：

1、分離角隨風速增加而減小，但未呈現明顯之線性關係。可能是由於實驗量測誤差所造成。

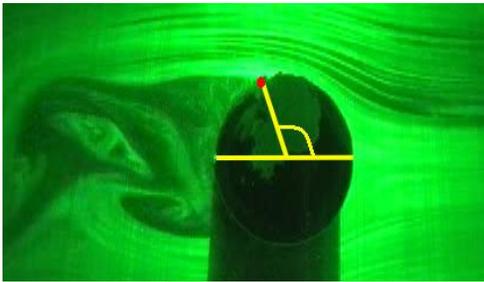
利用改變風扇轉速，討論流體流速對粗糙面(砂紙面)水管分離角度之影響。



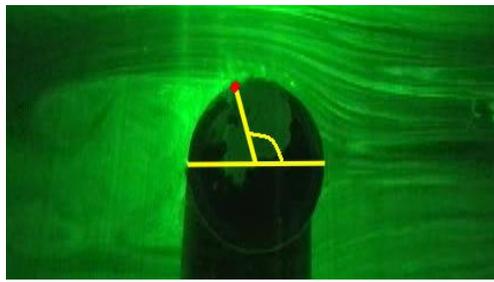
風速：0.21 公尺/秒（圖七十七）



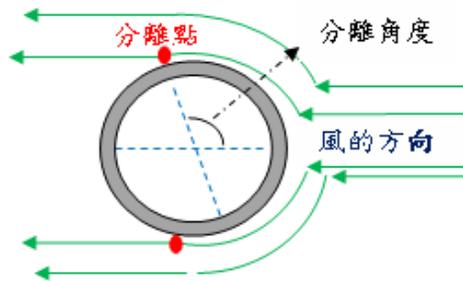
風速：0.25 公尺/秒（圖七十八）



風速：0.29 公尺/秒（圖七十九）



風速：0.33 公尺/秒（圖八十）

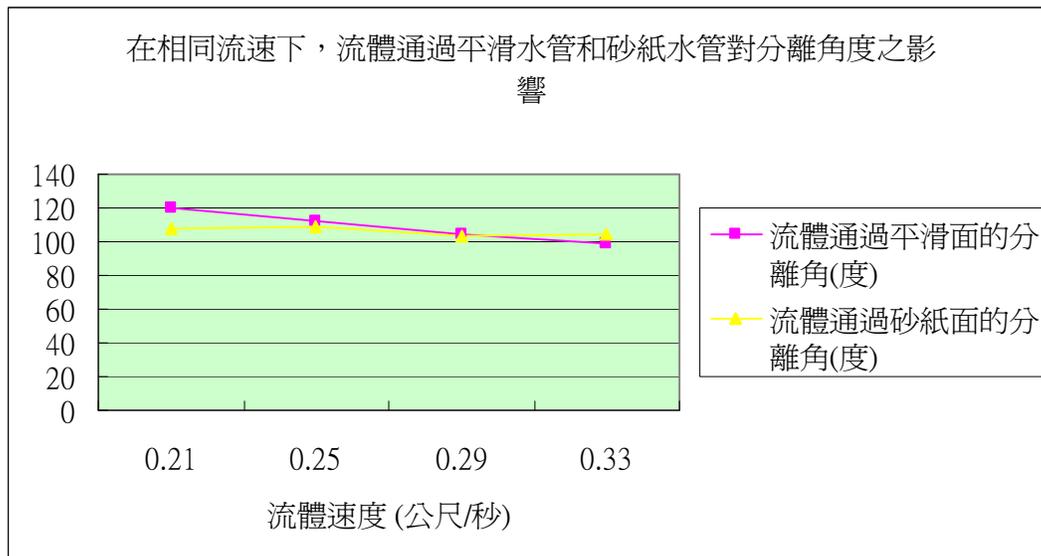


範例說明（圖八十一）

研究四：

在相同流速下，流體通過平滑水管和砂紙水管對分離角度之影響

風扇輸入電壓(伏特)	9.0	10.0	11.0	12.0
流體通過平滑面的分離角度(°)	120	112	105	99
流體通過砂紙面的分離角度(°)	108	109	103	105

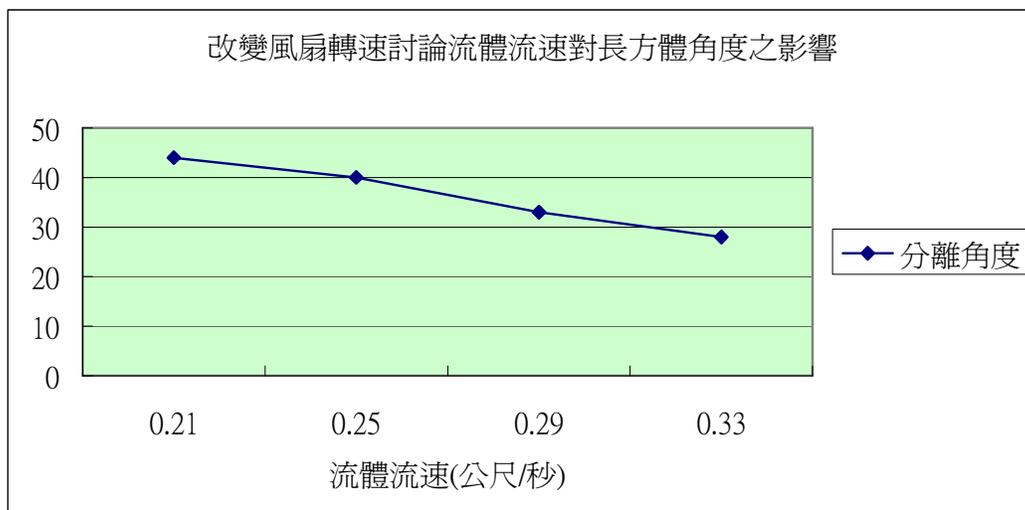


說明：

- 1、砂紙面的分離角度大多大於平滑面，也就是說通過砂紙面時，會較早分離

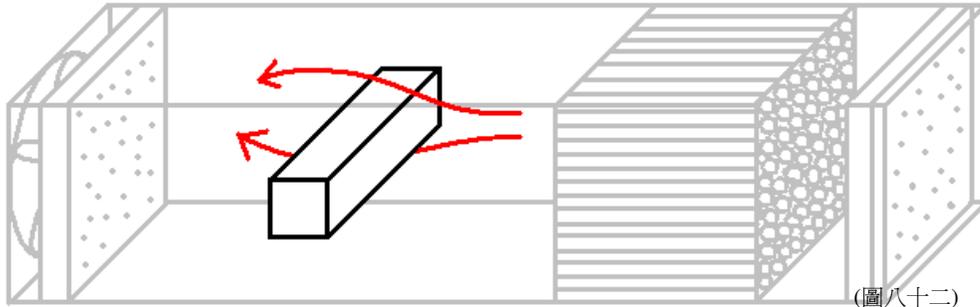
研究五：

利用改變風扇轉速討論流體流速對平滑水管(圖八十三、八十六)分離角度之影響

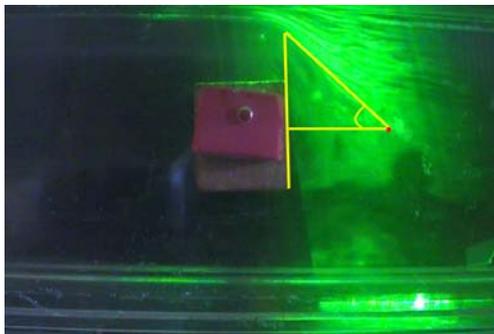


說明：

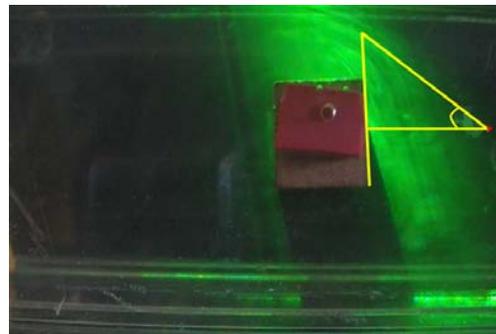
- 1、風扇輸入電壓愈大，風速愈大。
- 2、風扇輸入電壓每增加1伏特，風速約增加0.04公尺/秒。
- 3、風速愈大，分離角度愈小，也就是流體會愈早分離，實驗結果和圓形水管相符。



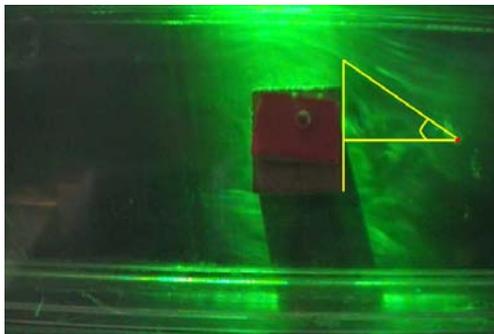
利用改變風扇轉速，討論流體流速對長方體的分離角度之影響。



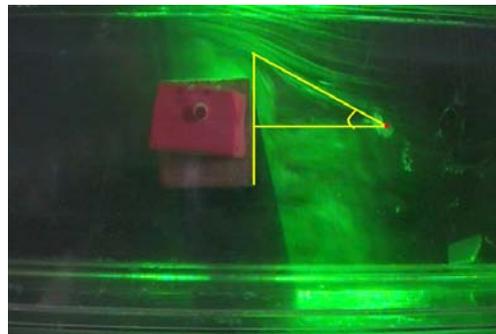
風速：0.21 公尺/秒 (圖八十三)



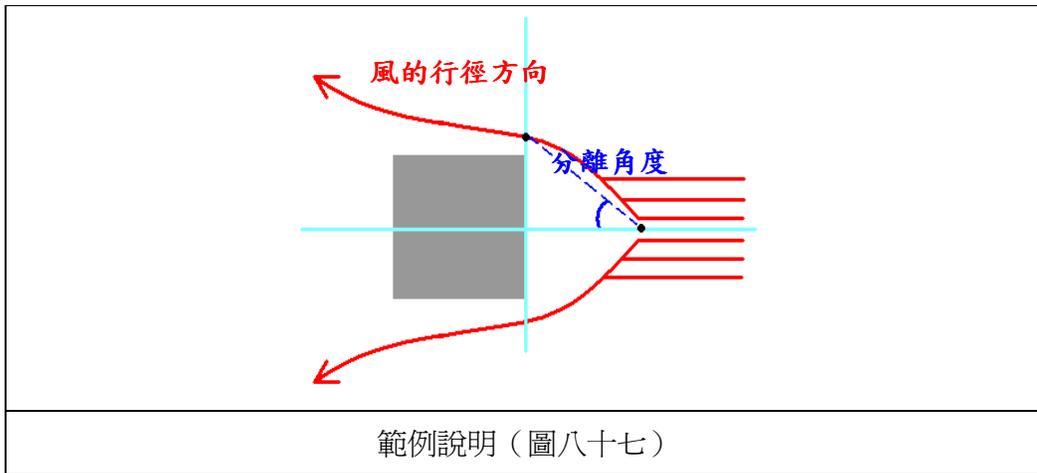
風速：0.25 公尺/秒 (圖八十四)



風速：0.29 公尺/秒 (圖八十五)



風速：0.33 公尺/秒 (圖八十六)



說明：

1、分離角隨風速增加而減小，也是說流體會愈早分離，和圓形時的實驗結果相符。

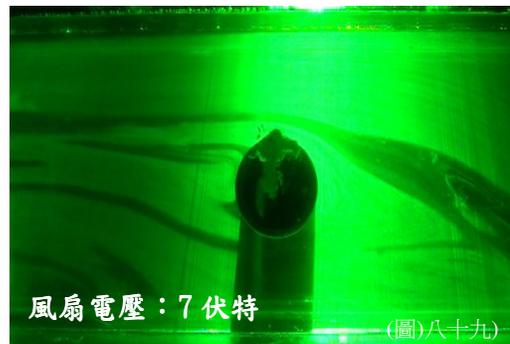
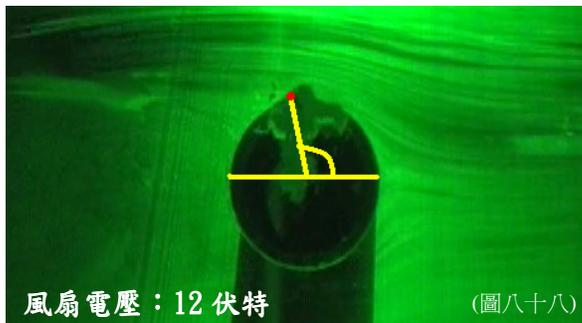
陸、討論

一、流體對水管不同管徑大小其分離角度之影響：

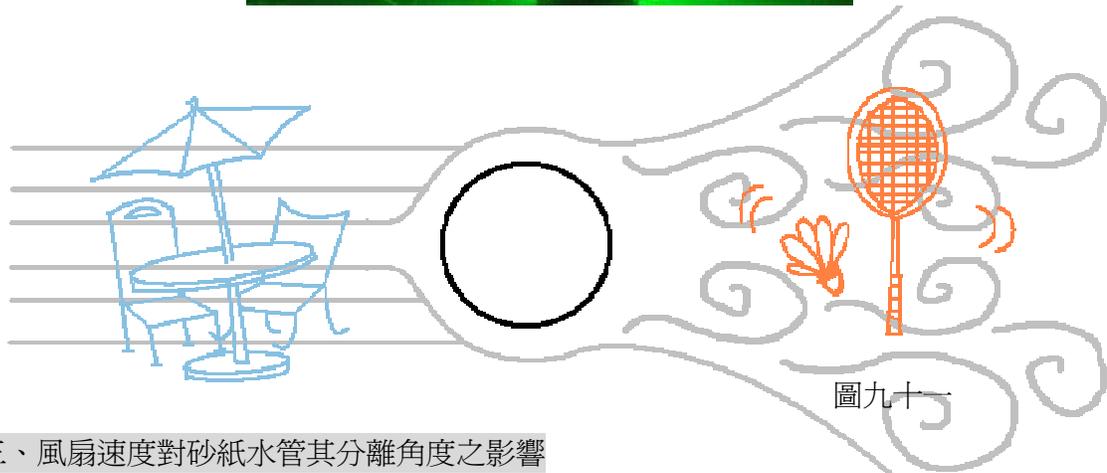
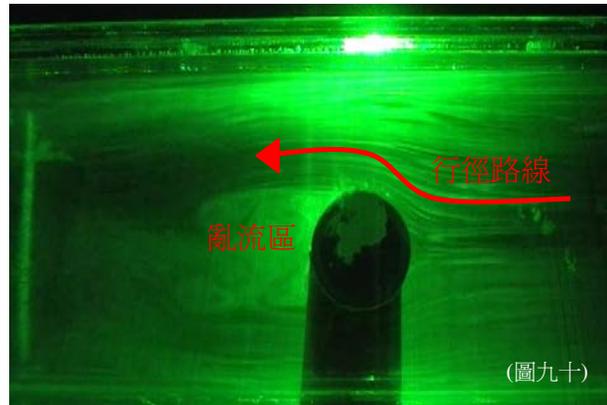
- (一) 風扇輸入電壓愈大，風速愈大。
- (二) 風扇輸入電壓每增加 1 伏特，風速約增加 0.04 公尺/秒。
- (三) 管徑愈大，分離角度就愈小，也就是說流體會愈早分離。

二、風扇速度對平滑水管其分離角度之影響：

- (一) 風扇電力愈大，風速愈大。
- (二) 當風速愈大時，流體動能愈大，較易突破層流的界限而造成流體分離現象。
- (三) 風扇輸入電壓每增加 1 伏特，分離角約減小 8 度。
- (四) 若風扇電力 8 伏特以下，因為強度不夠強，所以煙會自然的向上升，無法像 8 伏特以上的實驗，由風扇穩定的將煙抽出，因此不將 7 伏特以下納入實驗。(見圖八十八、八十九)



(五) 由研究中，我們發現流體會分為兩部分，一部分是流體的行徑路線，另一部份則是亂流(圖九十)，原先我們認為，亂流區中的流速較快，但後來觀察影片，發現亂流區的流速較為緩慢，所以若觀察物體是一棟建築物，那我們就可以在亂流區的部分設置要必免被風影響的設施，如：羽毛球場。而在風行徑的路線上，就可以設置希望有風的設施，如：咖啡座。(圖九十一)



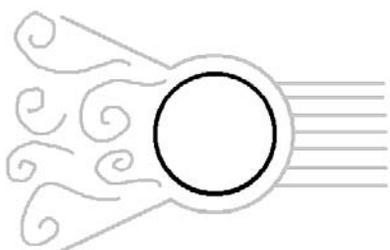
三、風扇速度對砂紙水管其分離角度之影響

- 1、風扇電力愈大，風速愈大。
- 2、風速愈大，分離角度愈小，也就是會愈早分離。
- 3、若風扇電力 8 伏特以下，因為強度不夠強，所以煙會自然的向上升，因此不將 8 伏特以下納入實驗。

四、平滑水管與砂紙水管對其分離角度之影響

- 1、砂紙水管表面粗糙，較易擾動流體而提供其較大動能，造成流體較早分離。由實驗觀察得知，在相同的風速下，平滑水管之分離角度都較砂紙水管大。(圖九十二、九十三)
- 2、依照我們的實驗結果，我們將以上結論推導回一開始探討的高爾夫球與乒乓球。我們探討表面粗糙度不同對風通過球體的行徑路線變化，而風越早產生分離，球體背風面所產生的亂流現象就越多，受阻力(受風面)面積較小，所以飛行距離會較遠。我們推測這就是高爾夫球設計的原理。我們可以發現，高爾夫球的運動範圍是廣闊的草原，相較之下，乒乓球卻只需要再狹小的桌面上進行遊戲，活動範圍非常小，而我們認為這就是其表面的設計與高爾夫球不同的原因。

風經過平滑球(乒乓球)



(圖九十二)

風經過粗糙球(高爾夫球)



(圖九十三)

五、風扇速度對平滑水管其分離角度之影響：

- 1、分離角隨風速增加而減小，也是說流體會愈早分離，和圓形時的實驗結果相符。
- 2、進一步證明由圓形水管推知的建築應用是可行的

柒、結論

- 一、流體對水管不同管徑大小其分離角度，發現：
管徑愈大，分離角度就愈小，也就是說流體會愈早分離。
- 二、我們探討風扇速度對平滑水管其分離角度之影響，發現：
 - 1、當風速愈大時，流體動能愈大，較易突破層流的界限而造成流體分離現象。
亦即當風速越大時，分離角度越小，也就是越早分離。
 - 2、每增加一伏特的電壓，分離角度約減小 8 度。
- 三、我們探討風扇速度對砂紙水管其分離角度之影響，發現：
風速越大，砂紙水管分離角度越小，也就是越早分離。
- 四、我們探討平滑水管與砂紙水管對其分離角度之影響，發現：
砂紙水管表面粗糙，較易擾動流體而提供其較大動能，造成流體較早分離。由實驗觀察得知，在相同的風速下，平滑水管之分離角度都較砂紙水管大。
- 五、風扇速度對平滑水管其分離角度之影響，發現：
分離角隨風速增加而減小，也是說流體會愈早分離，和圓形時的實驗結果相符。

捌、展望

- 一、不同形狀的物體增加表面粗糙度對分離角度的影響
- 二、我們希望能夠直接放入真實建築物的縮小模型來進行實驗
- 三、建築物通常都不會單獨一棟，而是兩棟以上的建築物排在一起，所以我們還想探討風經過它們時的行徑路線。

玖、參考資料

- 一、吳俊輝等、自然與生活科技第三冊、台灣、康軒出版、p86-99、2004 年
- 二、簡介白努力：<http://www.ling.fju.edu.tw/phonetic/Bernoulli.htm>
- 三、維基百科-雷諾數
<http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E9%9B%B7%E8%AB%BE%E6%95%B8&variant=zh-tw>
- 四、省立台中女中高級中學李怡玫、第三十四屆中小學科學展覽會高中組物理科第三名、作品名稱：速率越大阻力就越大嗎？——流體阻力的探討

【評語】 030111

1. 本研究從事設計風洞模型探討空氣流體流經物體流體行動。該主題雖然已有不少之前實驗探討，但是本作品設計風洞，以吸管組體製作之部分乃有創意，應為本件之特點。
2. 本作品應可應用創造之風洞模型，持續從事特定型態物體之探討，並將觀察現象配合理論分析，比較與其他方法之不能察得細微表徵。