

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組物理科

040102

國立嘉義女子高級中學

指導老師姓名

莊立山

作者姓名

李麗玉

陳玟婷

丁思文

李彩慎

第44屆中學科學展覽會

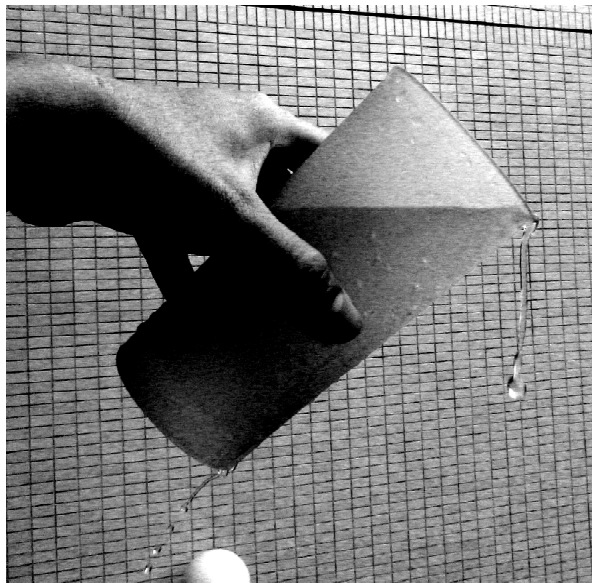
作品說明書

科別：物理科

組別：高中組

作品名稱：ムメノ

探討液體沿著固體表面流下來之現象



關鍵詞：ムメノ (液體沿著物體表面流下來的現象)

編號：

目錄

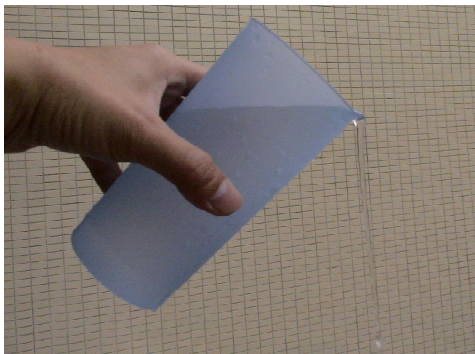
| | |
|-----------|----|
| 壹、摘要 | 1 |
| 貳、研究動機 | 1 |
| 參、研究目的 | 2 |
| 肆、研究設備及器材 | 2 |
| 伍、研究過程與方法 | 3 |
| 陸、研究結果 | 5 |
| 柒、討論 | 11 |
| 捌、結論 | 12 |
| 玖、參考資料及其他 | 13 |

壹、摘要

利用簡單的裝置，觀察液體在流出容器邊界時其流動的狀態，並討論其狀態和流速、容器邊界之間的關係。

貳、研究動機

在將杯中的水倒入碗中時，俐落一點就能將茶水順利的倒進碗中（如下方圖一）；但是如果小心翼翼的倒茶時，那麼茶反而常常會沿著杯壁流下來， $\mu \times \setminus \checkmark$ 得滿桌都是（如下方圖二）。這樣的現象雖然常見，但是到底是哪些物理量影響茶水的運動狀態，我們卻不甚了解。



<圖一>



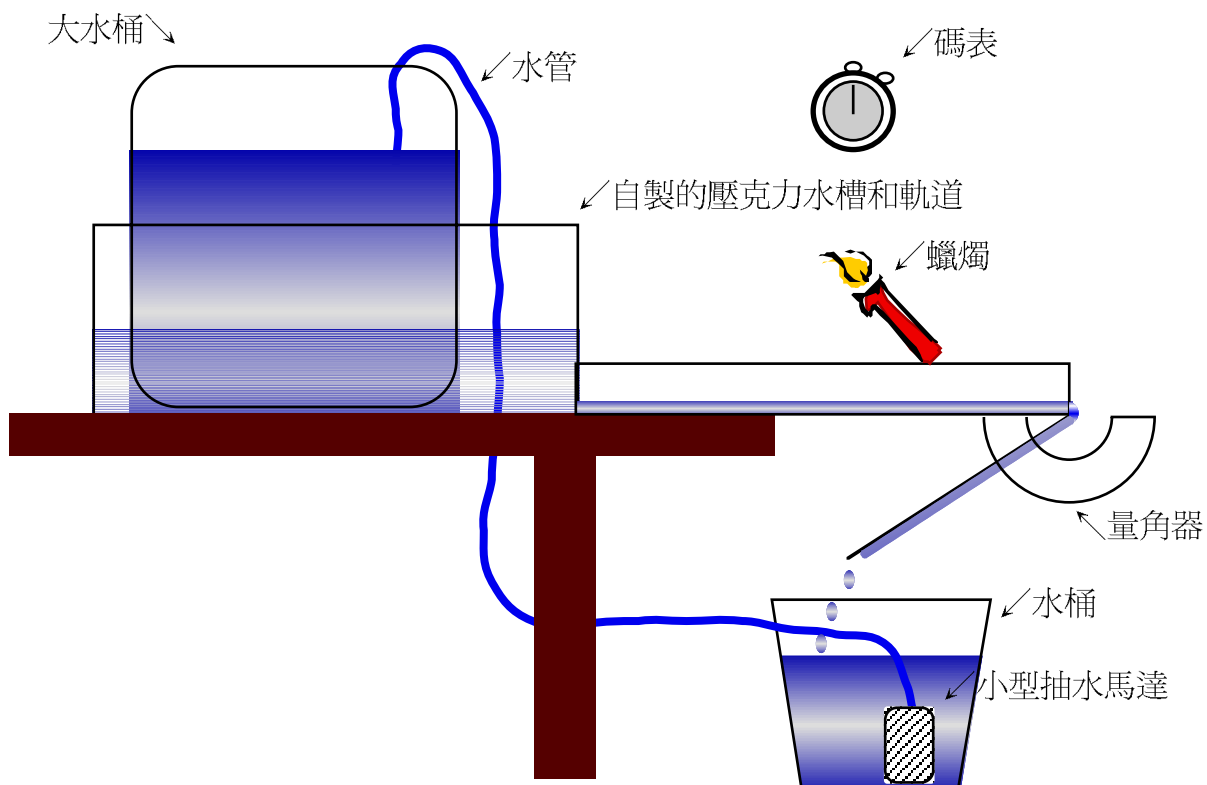
<圖二>

茶水在從杯中流出的瞬間，速度的方向應該近似水平方向，可是為何茶水在離開杯子後不全然是做一個簡單的水平拋射呢？茶水在流出杯緣時，運動方向明顯的改變，可以說做了將近半個圓周的鉛直面圓周運動，我們已經學過 $F = ma$ ，知道運動狀態的改變必然有受到了力的作用，但到底是哪一種力提供水做圓周運動所需的向心力呢？這使得我們想要對這個現象多一點了解。

參、研究目的

- 一、當液體自容器流出時，有時會有沿著物體表面流下的現象，我們稱之為 $\Delta \times \wedge \vee$ 。量化探討【液體的流速 V 】、【杯壁的傾斜角度 θ 】對於 $\Delta \times \wedge \vee$ 這個現象的影響。
- 二、定性的探討【液體的種類和固體表面材質】和【彎角處曲率半徑】對於 $\Delta \times \wedge \vee$ 這個現象的影響。
- 三、進一步觀察這個現象還受到哪些其他變因影響，並嘗試從理論討論這個現象。

肆、研究設備及器材



- 一、實驗裝置如上圖所示。
- 二、壓克力水槽和軌道完全由我們四個成員手工打造，自行切割壓克力板和木條快乾接合而成。原本渠道長度為50cm，後來為了使流速更穩定，重新製作新的渠道，長度為1m。
- 三、渠道上覆蓋一層膠膜，膜一直延伸到下方可以調整角度的壓克力板，以確保水流在流過時與軌道的接觸面性質保持固定。
- 四、大水桶的目的是為了穩定和調節水槽內的水位。
- 五、抽水馬達讓我們擺脫了一直舀水的日子。
- 六、蠟燭和碼表是我們測量流速的工具。
- 七、量角器是記錄在哪一個角度下會發生 $\Delta \times \wedge \vee$ 這個現象，在渠道的兩側各黏有一個。因為在實驗時渠道的兩側會各坐一個同學，兩個人同時讀取資料，如判斷有不同時，則取其平均。
- 八、利用養樂多的小吸管、筷子、珍珠奶茶的大吸管，放在渠道末端的懸崖處，以改變懸崖的曲率半徑。
- 九、其餘小道具還有水管、肥皂、打火機、濾網…等。

伍、研究過程和方法

一、維持穩定的水流

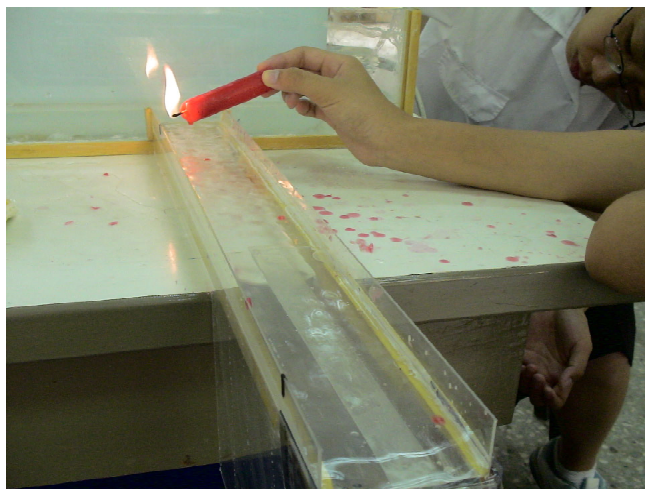
自製的水槽內有一個大型蓄水桶，蓄水桶下方有水龍頭可以調節進到水槽內的水量。水槽側面有一個窄窄的方形開口，讓水自開口流出後沿著與開口同寬的渠道前進，若保持水槽內水位高度的固定，則自渠道中流出的水流速度會穩定（如圖三）。利用小型抽水馬達將流下的水在繼續打回水槽內的水桶，一方面可以延續實驗的進行，一方面可以維持水位以維持穩定的水流，並藉著水槽內水位的高低，就可以調節流速。



<圖三>

二、測量流速

由於從軌道中流出的水量並不大，而且水深僅為數毫米，所以一般流速計都無法放進水流之中，為了要測量流速，一開始是在水中滴入顏料，但在流動的水中，顏料迅速的擴散，不容易測得準確的流速，所以改採滴入蠟油。蠟油會浮在水面，可以藉碼表計時測得流速，（如圖四）這是便宜簡單的方法，相對上的正確性也沒有問題。在平均之後誤差範圍大約在1cm/s~2cm/s之間。



<圖四>

三、測量角度

軌道的末端類似一個角度可調的懸崖，利用投影片和壓克力板接合，然後利用側板夾住壓克力片，並在側板上貼上量角器，則可確切量出懸崖的角度。（如圖五）



<圖五>

本實驗的主要工作在測量水流是否會 $\Delta \times \setminus \checkmark$ （亦即水流是否會沿著懸崖流下來），因此在水流穩定時，兩位工作人員不斷的測量流速，另外兩位工作人員則漸漸的改變懸崖的角度去尋找是否會 $\Delta \times \setminus \checkmark$ 之臨界角度。（如圖六、七）



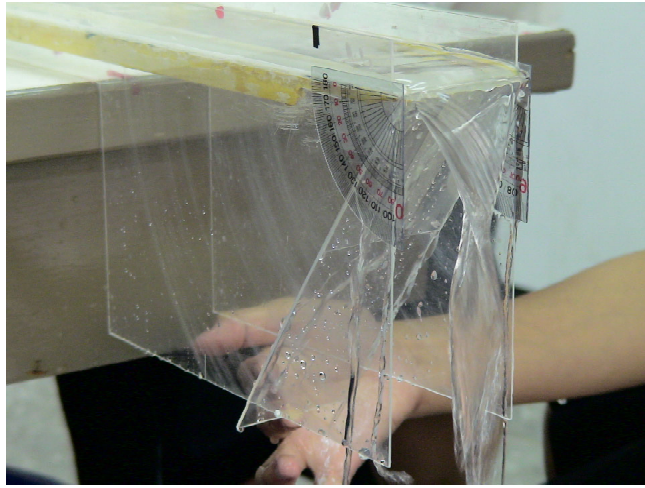
<圖六>液體直接流出



<圖七>液體 $\Delta \times \setminus \checkmark$ 下來

但在經過幾次實驗之後，我們發現在懸崖處在某個角度範圍內時，會有一些特殊的現象。比方說漸漸增加角度至 θ 時水流會 $\Delta \times \setminus \checkmark$ ，但漸漸減少角度至相同的 θ 時，水流又不會 $\Delta \times \setminus \checkmark$ 下來。因此測量時，針對同一個流速，我們都會分別測量漸漸減少角度和漸漸增加角度時的臨界角度。

但是臨界的現象有時並不明顯，在某些流速下，會發生一部份水沿著斷崖流 $\Delta \times \setminus \checkmark$ 下來，而另一部份卻衝出懸崖外直接流入水桶中的狀況。我們在實驗中也一一記錄。（如圖八和報告封面）



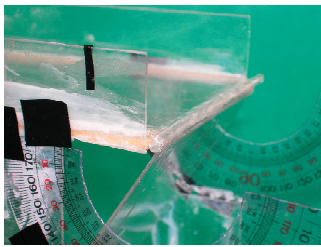
<圖八> (同時發生 $\Delta \times \wedge \searrow$ 下和流出的現象)

四、改變流體與界面的性質

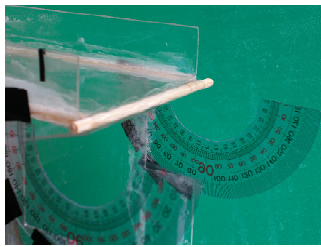
第一階段的實驗是使用清潔的自來水與一般的投影片。第二階段的實驗是使用肥皂水與一般的投影片。第三階段的實驗是使用清水與噴上撥水劑的投影片。

五、改變懸崖轉角處的曲率半徑

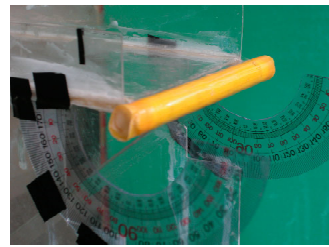
進一步改變兩塊壓克力的夾角處，以不同的曲率半徑重複上面的實驗。



<養樂多吸管 $r=1.517\text{mm}$ >



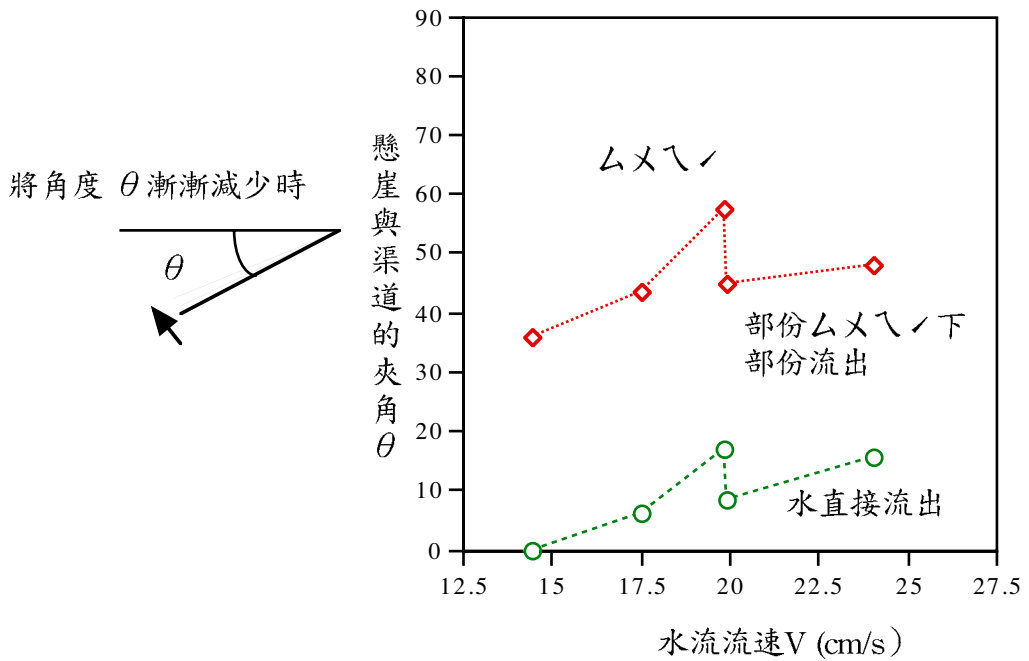
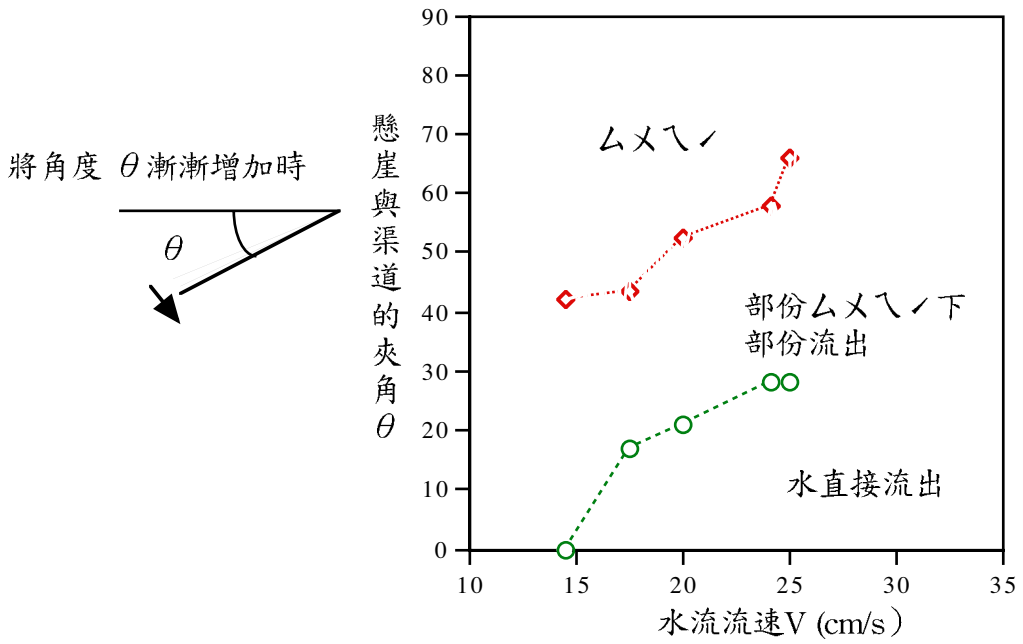
<筷子 $r=2.575\text{mm}$ >



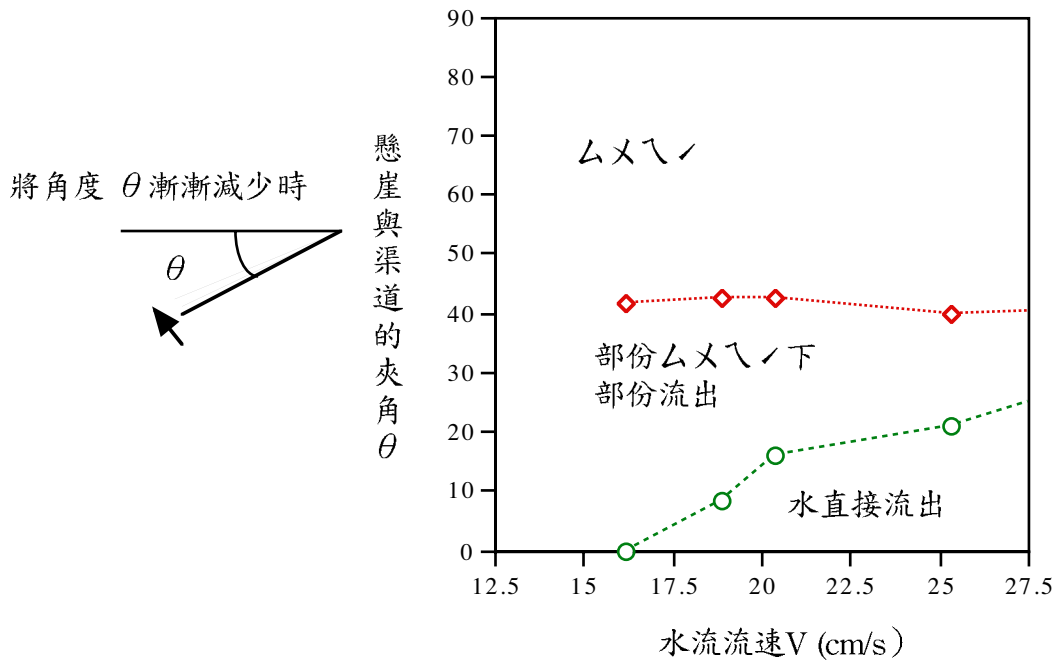
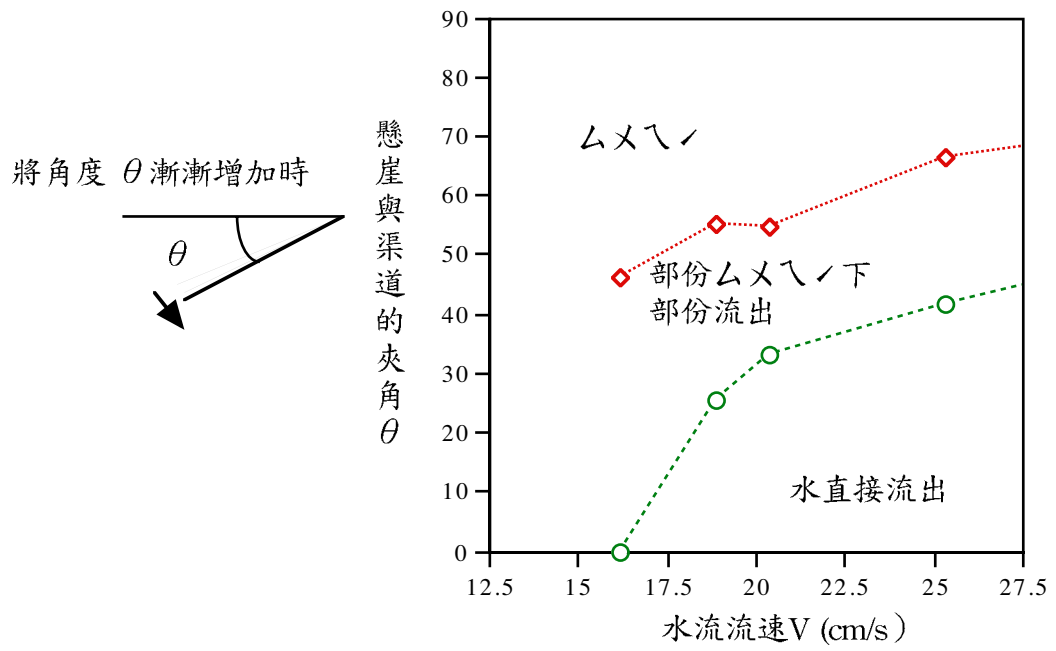
<珍奶吸管 $r=5.9\text{mm}$ >

陸、研究結果

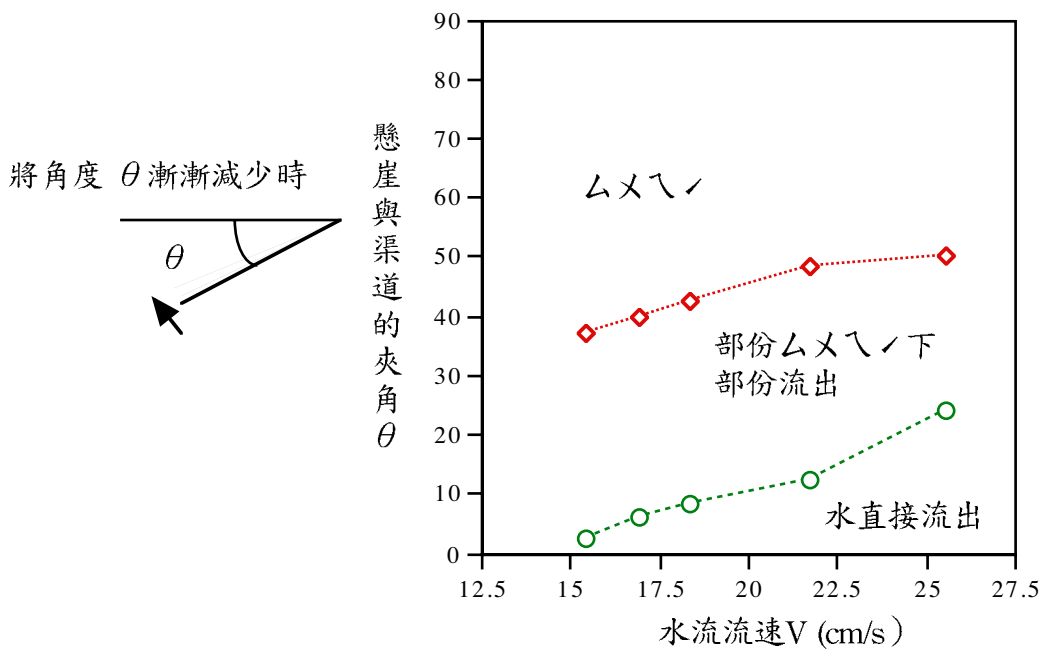
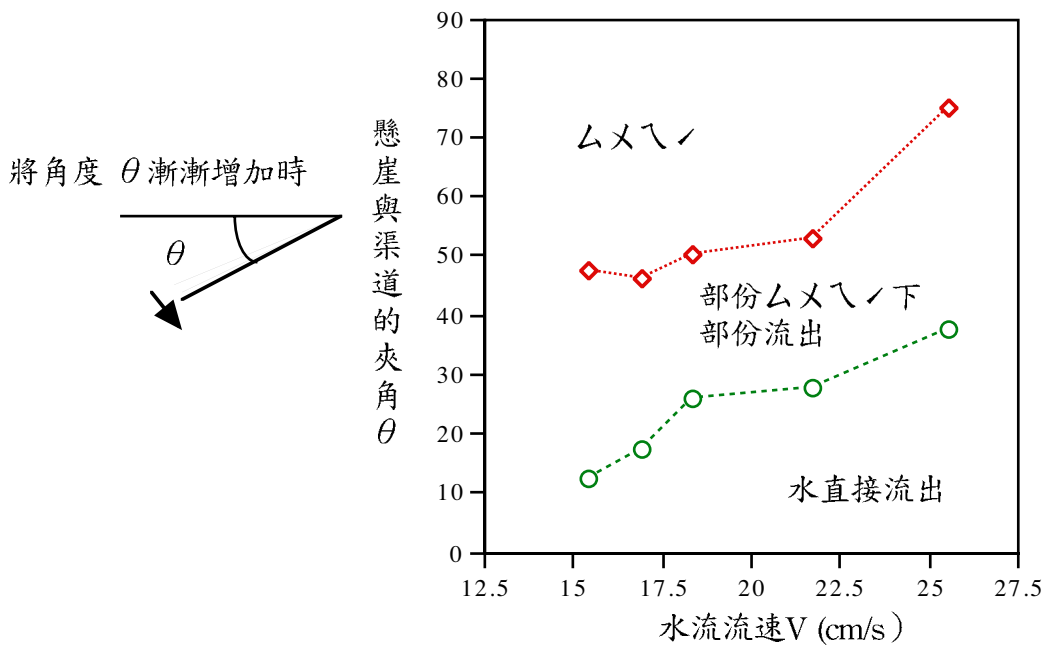
實驗結果1.1.1：清水，曲率半徑為1.517mm



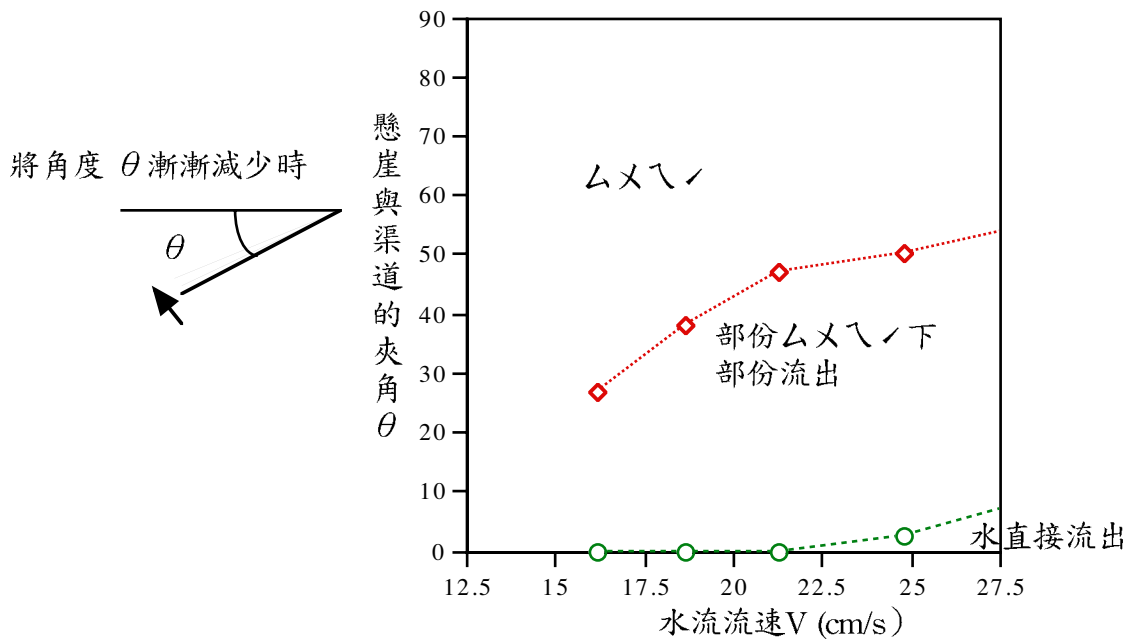
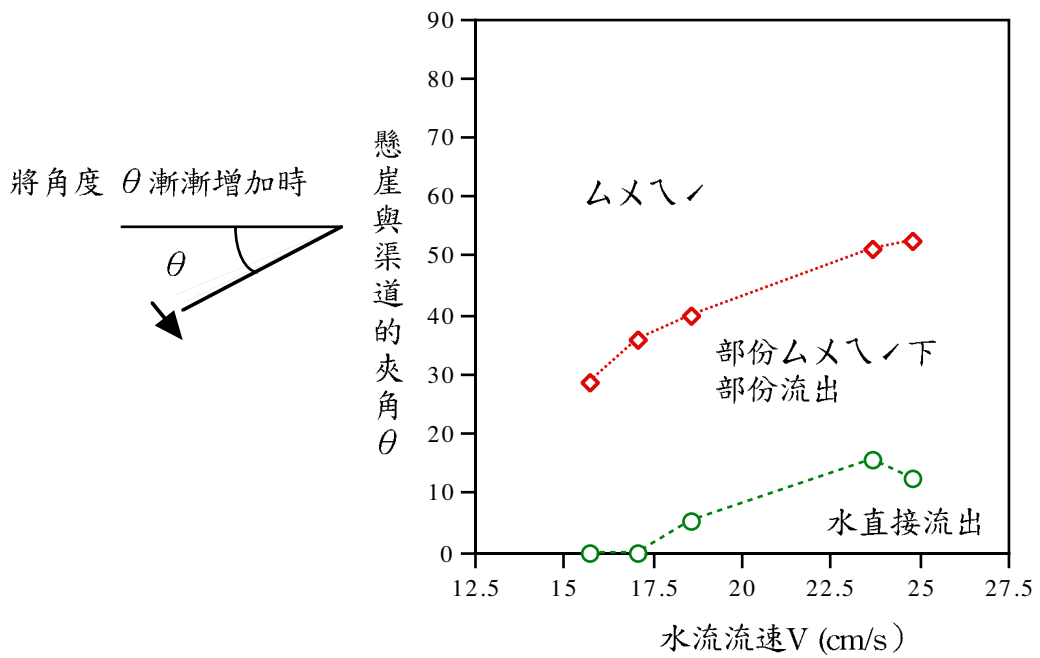
實驗結果1.1.2：肥皂水，曲率半徑為1.517mm



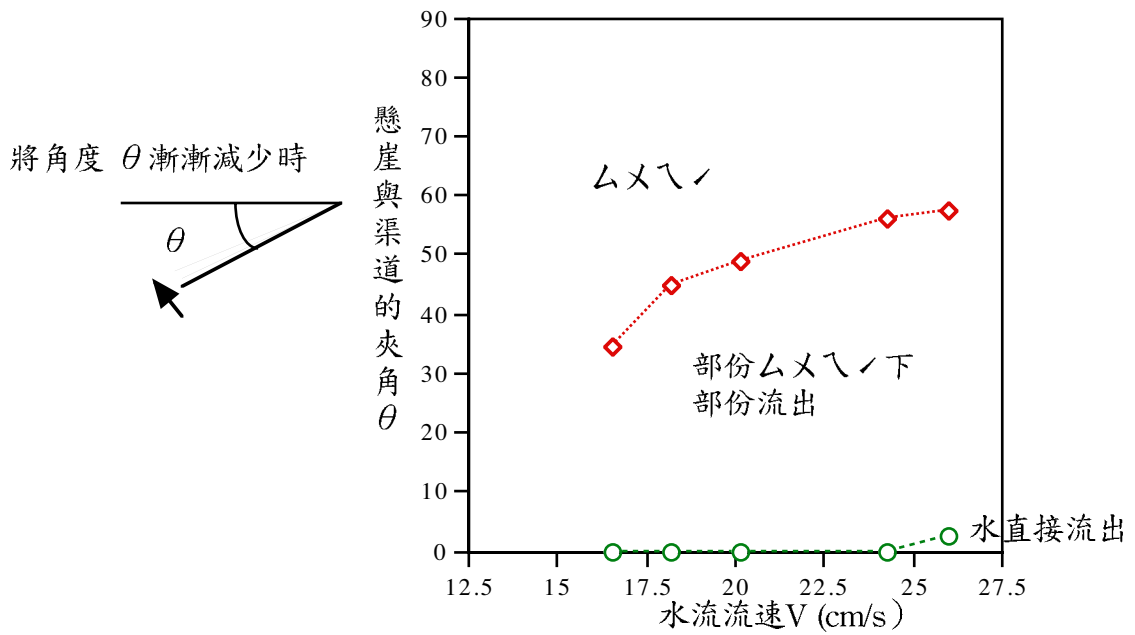
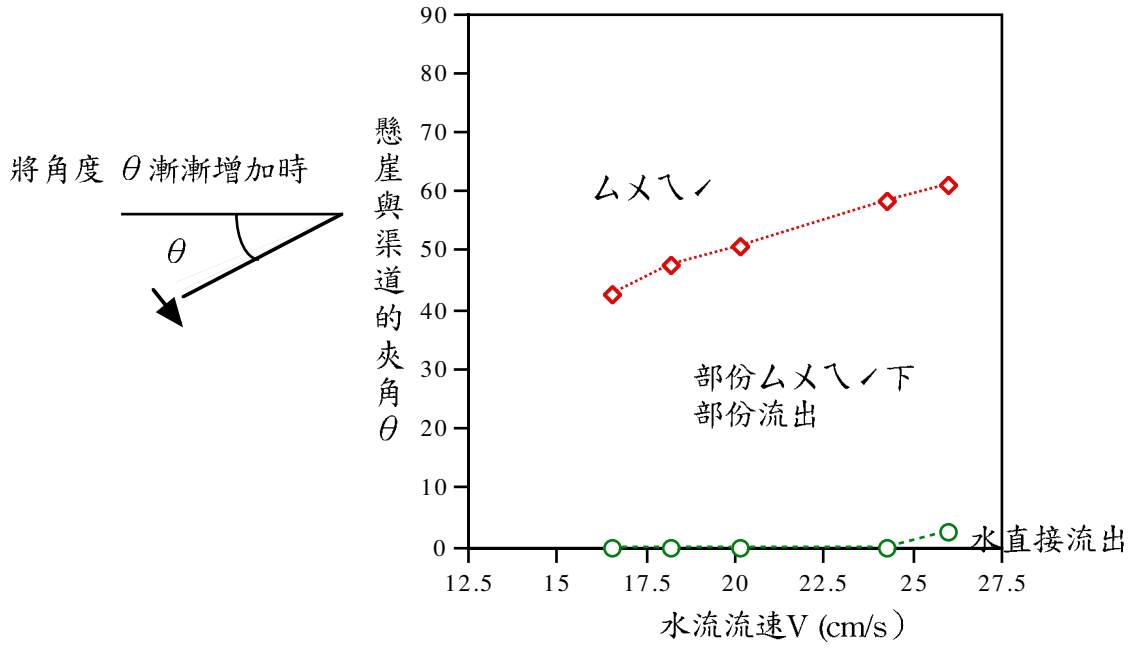
實驗結果1.1.3：撥水劑，曲率半徑為1.517mm



實驗結果2.1.1：清水，曲率半徑為2.575mm



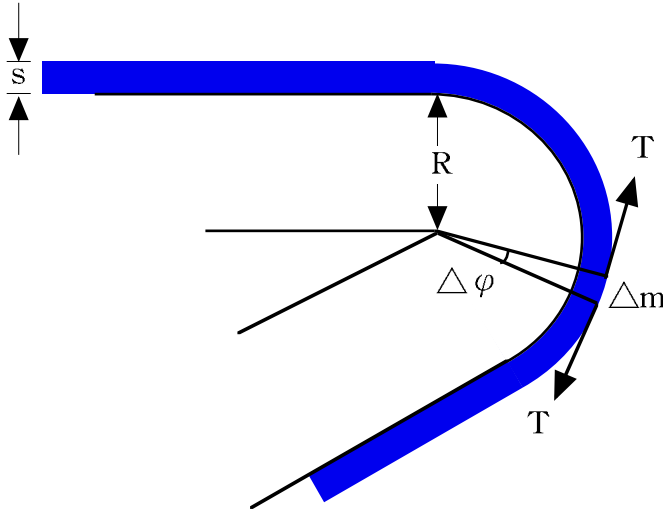
實驗結果3.1.1：清水，曲率半徑為5.9mm



柒、討論

假設：水流流過懸崖時，可視為鉛直面圓周運動。其向心力由表面張力所提供。

如下圖所示，當水流可沿固體表面 $\hookrightarrow \searrow$ 下時，



水槽寬度 L （在本圖的 Z 方向）

轉彎之曲率半徑 R

水流的厚度為 s

水的表面張力 T

水的密度為 d

則所討論的某一小部份水流質量為 Δm

$$\Delta m = \frac{1}{2} \Delta \phi \cdot ((R+s)^2 - R^2) \cdot L \cdot d$$

該一小部份水流受力作鉛直面圓周運動，

$$\text{則} \quad 2 \cdot T \cdot L \cdot \sin \frac{\Delta \phi}{2} - \Delta m g \cos \phi - N = \Delta m \frac{v^2}{\left(R + \frac{s}{2}\right)}$$

將 Δm 代入，且令圓周運動的半徑 $r = R + \frac{s}{2}$

$$\text{則} \quad 2 \cdot T \cdot L \cdot \sin \frac{\Delta \phi}{2} = N + \frac{1}{2} \Delta \theta \cdot ((R+s)^2 - R^2) \cdot L \cdot d \cdot g \cdot \sin \phi + \frac{1}{2} \Delta \theta \cdot ((R+s)^2 - R^2) \cdot L \cdot d \cdot \frac{v^2}{r}$$

$\therefore \Delta \phi \rightarrow 0 \therefore \sin \Delta \phi = \Delta \phi$ ，且當水流恰欲 $\hookrightarrow \searrow$ 下時，正向力 $N=0$

$$\therefore T = \frac{1}{2} ((R+s)^2 - R^2) \cdot d \cdot \left(\frac{v^2}{r} + g \cdot \sin \phi \right)$$

可以得到水流 $\hookrightarrow \searrow$ 下時，角度 ϕ 和水流流速的關係，
但式子中的水流厚度 s ，曲率半徑 R ，目前都無法精密的控制與測量。
故只能進行定性的分析。尚無法定量驗證。

捌、結論

一、流速和角度對液體是否發生 $\Delta \times \wedge \vee$ 的影響。

- 1.在上面資料圖中，可以見到圖形幾乎都呈正相關，顯示水流之流速越高、懸崖面與水道面夾角越小時，則越不容易發生液體 $\Delta \times \wedge \vee$ 下來的現象。
- 2.當流速固定時，懸崖由角度為 0° 漸漸增加時，要比角度由 90° 漸漸減少時容易發生液體 $\Delta \times \wedge \vee$ 下的現象。
- 3.在適當的角度與流速時，會發生 $\Delta \times \wedge \vee$ 下與直接流出同時發生的現象。

二、三種液體與固體邊界關係對此現象所造成的影響

- 1.在以清水做實驗時，水流在流出渠道之後，明顯的會因內聚力而聚合成一束。但以肥皂水做實驗時，流出的肥皂水因內聚力低，則成為一片和渠道近似同寬的水膜。
- 2.原本預期肥皂水會比較容易發生 $\Delta \times \wedge \vee$ 下的現象（意指在較高的流速較小的角度都能發生），但是實驗結果雖有些微的改變，並沒有明顯的差別。
- 3.原本預期清水流過塗有撥水劑的表面時會比較不容易發生 $\Delta \times \wedge \vee$ 下的現象（意指要在較低的流速或較大的角度才能發生），但是實驗結果並沒有明顯的差別。

三、懸崖轉角處的曲率對此現象所造成的影響

- 1.因為材料的限制，曲率半徑只設計了三個值，分別是1.517mm、2.575mm、5.90mm，結果發現曲率半徑對此現象的影響非常明顯。
- 2.曲率半徑為1.517mm時，比較容易在流速較高時觀測到直接流出的現象。
- 3.曲率半徑為2.575mm和5.90mm時，很難觀測到直接流出的現象。尤其是曲率半徑為5.90mm而且角度是由大漸漸減小時，幾乎都會發生 $\Delta \times \wedge \vee$ 下的現象。
- 4.液體是否能沿著一個反向的斜面滑下，和流速沒有明顯的關係，但是液體是否能從原本水平流動轉成向反斜下方流動，在轉彎時若流速過大，則無法順利轉過，若懸崖的曲率半徑不大，則此時容易發生直接流出的現象。

玖、參考資料及其他

一、參考資料

林明瑞 高中物質科學物理篇（下） 第二版 南一書局 第十章p113-p165 93.2出版

二、實驗後發現的問題與未來的展望

- (一) 渠道出口處的紊流多少會影響到現象的發生和流速的準確，渠道側面的擋板也會影響水流。所以應該進一步使用更寬更長的渠道，以減少渠道邊界和出水口紊流對此現象的影響。出水口處應該加裝海綿或其他使流速穩定的裝置，不過這就會需要更高的水槽。
- (二) 目前測量流速的方法雖然便宜簡單，但是如能有更佳的測量方式可以量得各點的流速，則可以做進一步的分析。
- (三) 水流厚度應該會影響此現象，尤其是一部份水 $\Delta \times \wedge \vee$ 下又同時有一部份水直接流出時，若能減少水流厚度，則應該可以更清楚的分析這個現象。
- (四) 目前是以投影片連結兩塊壓克力板作成懸崖，彎曲處之曲率半徑難以調整，目前只有三組不同的數據，若能進一步設計出曲率半徑能連續改變的懸崖，則可以做更有說服力的定量分析。
- (五) 同樣的，目前也只對清水、肥皂水、和塗佈撥水劑的投影片做了實驗，應再嘗試更多種液體與固體界面的組合。舉例來說，很希望能親眼看到水銀從壓克力渠道中流出的現象，推測水銀應該幾乎不會發生 $\Delta \times \wedge \vee$ 的現象，不過這在目前，經費與安全性的考慮下暫時不被許可。
- (六) 回到研究的動機，將水倒出杯子時，杯口並不是平直的，杯口的形狀應該會嚴重的影響整個現象。因此進一步應該做改變渠道底部形狀和懸崖邊緣形狀對此現象之影響。

評語

040102 高中組物理科

ㄇ×ㄟ 探討液體沿著固體表面流下來之現象

- 一、 實驗取材日常生活常見現象，設計實驗去了解影響的因素，精神值得嘉許。
- 二、 宏觀性的走向有歸納，可大概得知角度、速度與其相關性。
- 三、 變因的控制可再加強，如不同彎道、材質等。