

第十二屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA12-409

作品名稱：拖泥帶水-摩托車行經泥水之流體實驗

姓名：潘韻如

關鍵字：泥水、流場

壹、研究動機

您是否有在下雨天搭乘無去土除摩托車的經驗?坐在後座時有沒有發現背上會出現泥水的痕跡呢?地上的泥水在車子通過時，應隨著輪子的轉動沿切線方向飛出，但實際情形是泥水被輪子捲起，並有部分繞過擋泥板噴濺到後座者的背上，我們懷疑與渦流有關，猜測渦流的旋轉可能將泥水捲起來。我們想探討泥水被輪子捲起的原因，並記錄摩托車在行經泥水時，車體附近的流場與泥水噴濺的情形，找到可擋住所有泥水的擋泥板長度與擺放角度，以節省去土除的成本。

貳、研究目的

我們想了解摩托車在行經泥水時車體兩側的空氣流動與泥水噴濺的情形，藉由此研究結果，希望能推論出最適合摩托車的擋泥板長度和裝置的角度，並且知道在不同車速下所造成的現象會如何影響車體周圍的空氣流動，讓機車騎士可以知道如何行駛可以避免泥水噴濺到後座乘客背部。

參、研究設備及器材

一、實驗器材

(一)車輪泥水噴濺實驗

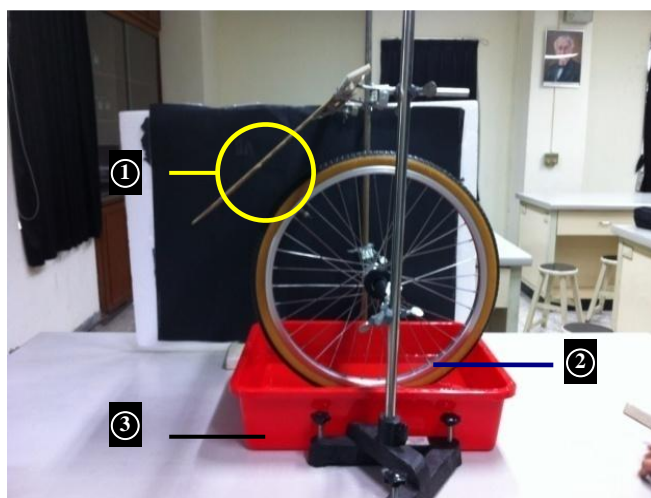
擋泥板、車輪、水槽、夾子、支架。

(二)水槽實驗

1. 螢光染劑實驗：四輪車、摩托車、壓克力水槽、橡皮管、滑輪、樂高馬達、電池、螢光染劑、紫光燈、針筒、噴嘴、鏡子、攝影機、高速攝影機。
2. 雷射光照實驗：四輪車、摩托車、壓克力水槽、滑輪、旋轉馬達、電池、高速攝影機、雷射光燈、影像分析軟體 MATLAB。

二、實驗架設與裝置

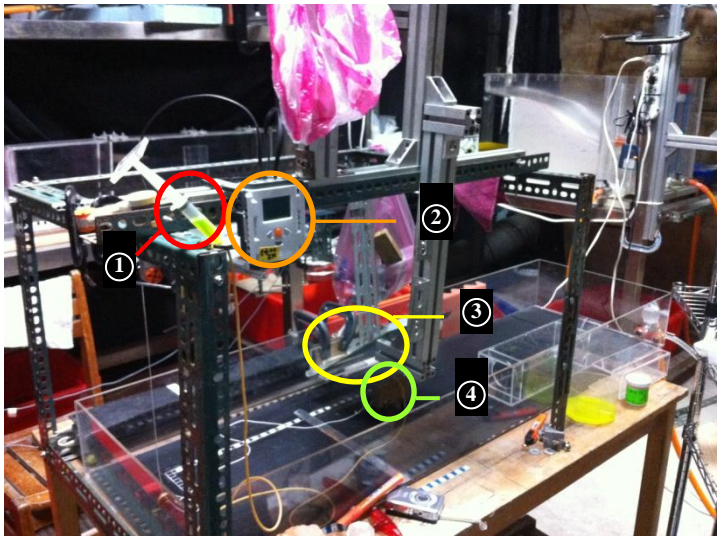
(一)車輪泥水噴濺實驗



1. 擋泥板
2. 車輪
3. 水槽

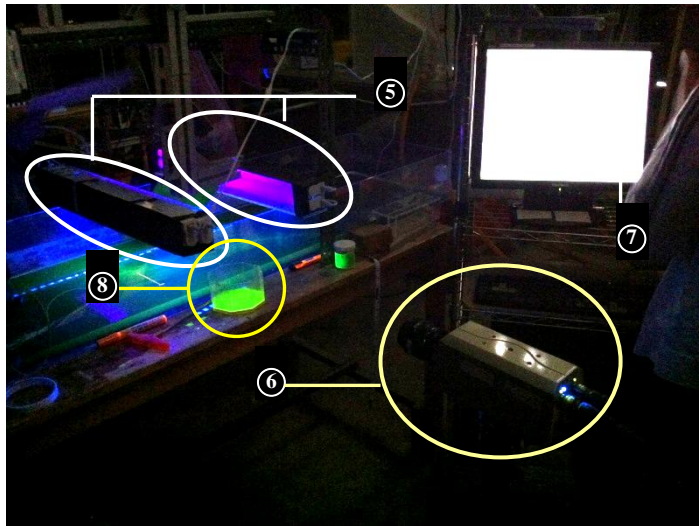
(二)水槽實驗

1. 螢光染劑實驗



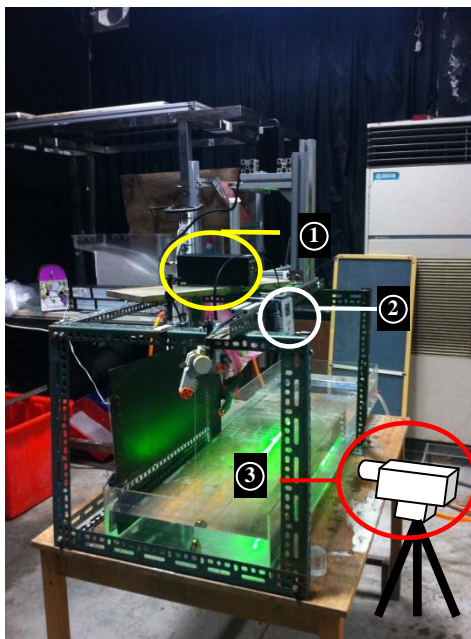
水槽(長寬高):
135×45×15(cm)

1. 針筒
2. 樂高馬達
3. 鏡子
4. 四輪車



5. 紫光燈
6. 高速攝影機
7. 電腦
8. 螢光染劑

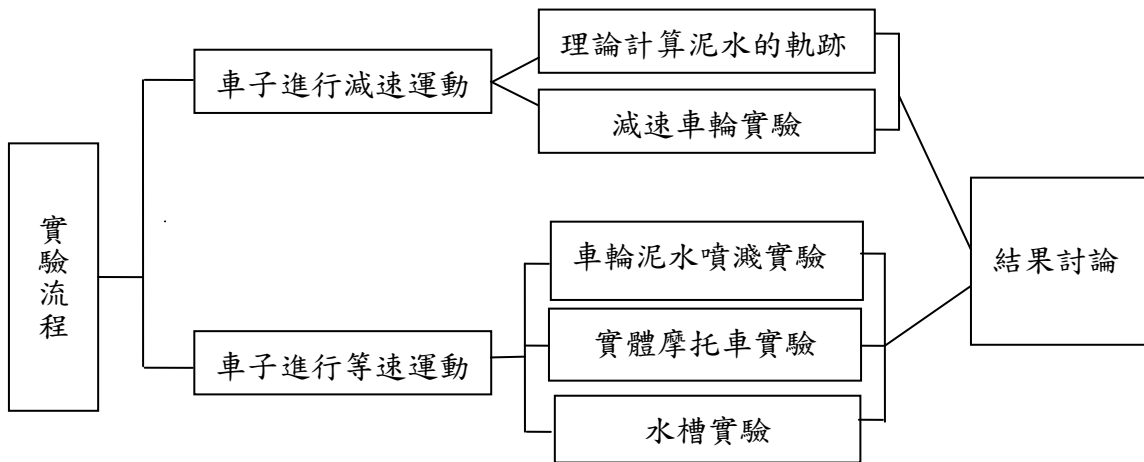
2. 雷射光照實驗



1. 雷射光燈
2. 樂高馬達
3. 高速攝影機

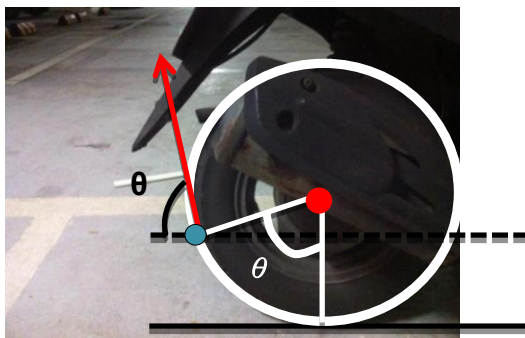
肆、研究過程及方法

一、實驗流程

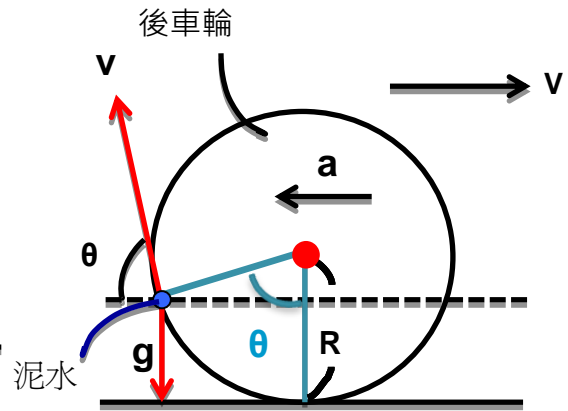


二、車子減速時泥水的噴濺軌跡

(一)理論計算



圖(一)

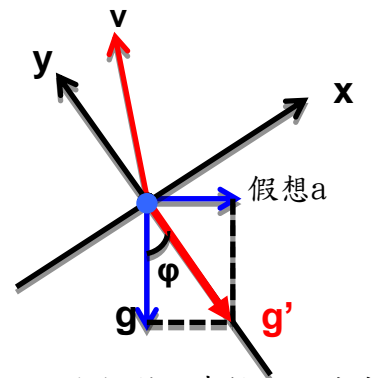


車子減速時

圖(二)

圖(一)為摩托車的后車輪，設此時有一泥水即將脫離車輪，我們假設泥水的脫離位置為座標原點(0, 0)。在圖(二)中，我們假設有一車子有一向右的車速 v ，當車子減速時會有一向左的加速度 a ，但當我們站在輪子上看泥水時，泥水相對於車輪是做一個向上飛的噴濺，我們假設輪子作純滾動，因此車速就會等於泥水的初速，當車子減速時，泥水相對於車輪會有一向右的假想加速度 a 。

將泥水受到的假想加速度 a 與重力加速度等效為 g' ，即可得到圖(三)。此時加入 xy 座標系，即可將之看成泥水受到一重力 g' 且會做一初速為 v 的上拋運動。

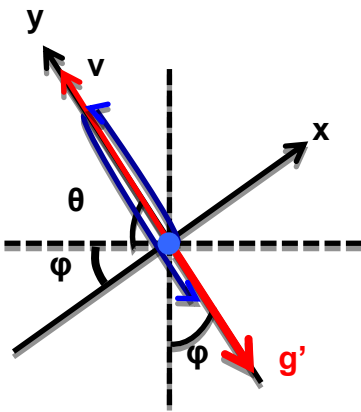


泥水相對於車輪的加速度

圖(三)

If $\theta = 90^\circ - \varphi$

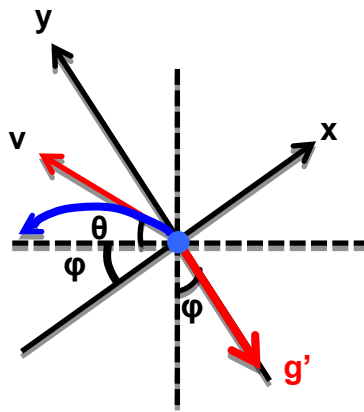
→泥水的軌跡回原位



圖(四)

If $\theta < 90^\circ - \varphi$

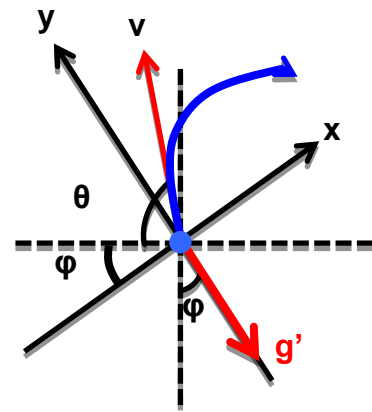
→泥水的軌跡飛離車



圖(五)

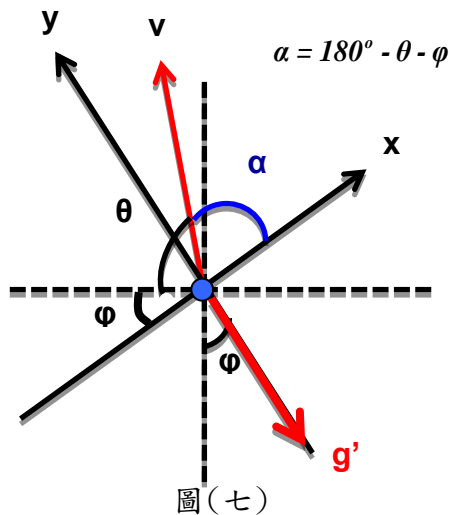
If $\theta > 90^\circ - \varphi$

→泥水的軌跡飛向車



圖(六)

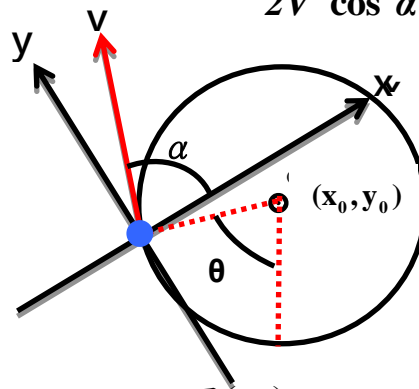
由圖(四)、圖(五)、圖(六)可知只有在泥水初速方向向右偏時，泥水才有可能擊中人的背部。



圖(七)

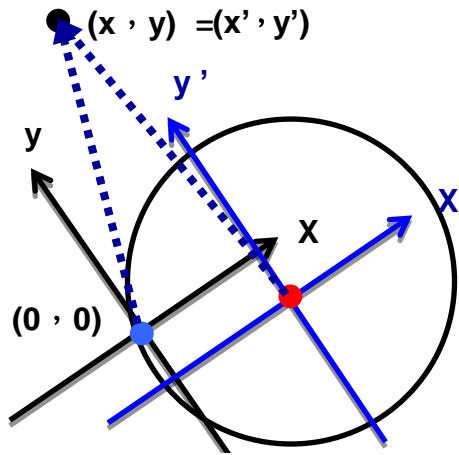
我們要計算泥水的運動軌跡，因此先假設泥水的斜拋仰角為 α ，帶入斜拋

軌跡方程式可得： $y = x \cdot \tan\alpha - \frac{g'}{2V^2 \cos^2\alpha} x^2$ ，如圖(七)。



圖(八)

如果我們以脫離位置為原點的話，那原點就會隨著脫離位置不同而改變，為了必免這個狀況，我們改以輪心為原點，並設輪心為 (x_0, y_0) ，如圖(八)。



圖(九)

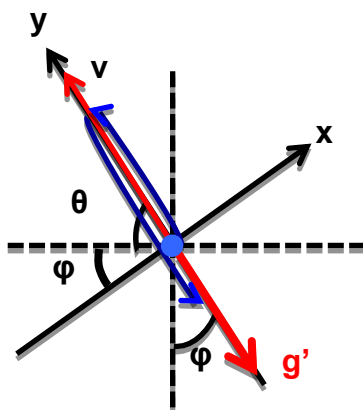
如圖(九)，我們將原本的 xy 座標系平移到輪心變成 $x'y'$ 座標系，經由運算後可得新的以輪心為原點的斜拋軌跡方程式：

$$y' + y_0 = (x' + x_0) \tan \alpha - \frac{g'}{2V^2 \cos^2 \alpha} (x' + x_0)^2$$

(二) 結果討論

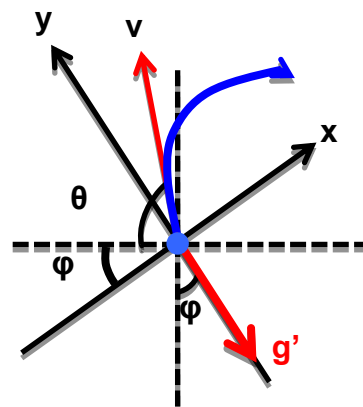
經過測量及查詢，車輪半徑 R 為 $0.2m$ ，車速 v 約為 $60km/hr$ ，我們假設車輪是純滾動的，因此車速會等於泥水的噴出速度。煞車距離為 $36m$ ，可以得到加速度 a 約為 $4m/s^2$ ，再經電腦計算後，可得 φ 大約為 22.2° ， $90^\circ - \varphi$ 會等於 67.8° 。

If $\theta = 90^\circ - \varphi = 67.8^\circ$
泥水的軌跡回原位，如圖(十)。



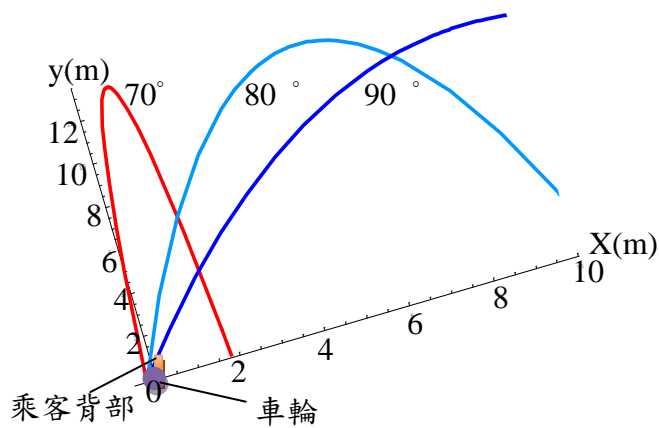
圖(十)

If $\theta > 90^\circ - \varphi = 67.8^\circ$
泥水的軌跡飛向車，如圖(十一)。



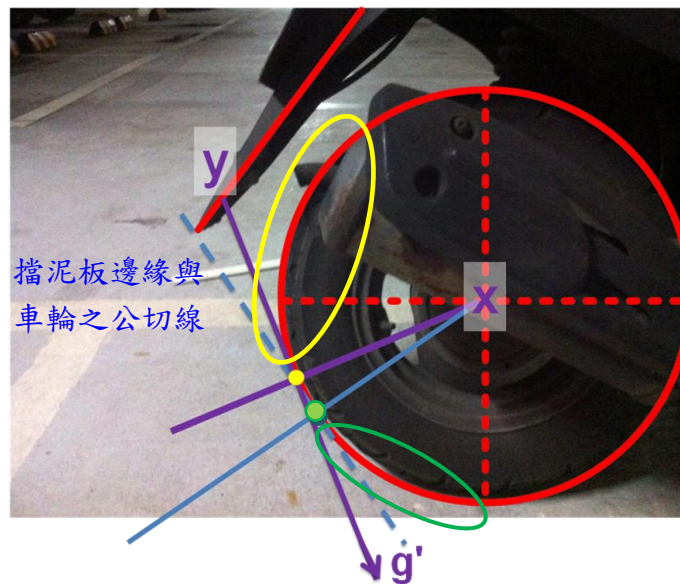
圖(十一)

為了讓泥水可以飛向車，我們分別將 θ 帶入比 67.8° 角度還要大的 70° ， 80° ， 90° 並將上述的參數帶入軌跡方程式後經由 mathematica 可畫出圖(十二)的圖。



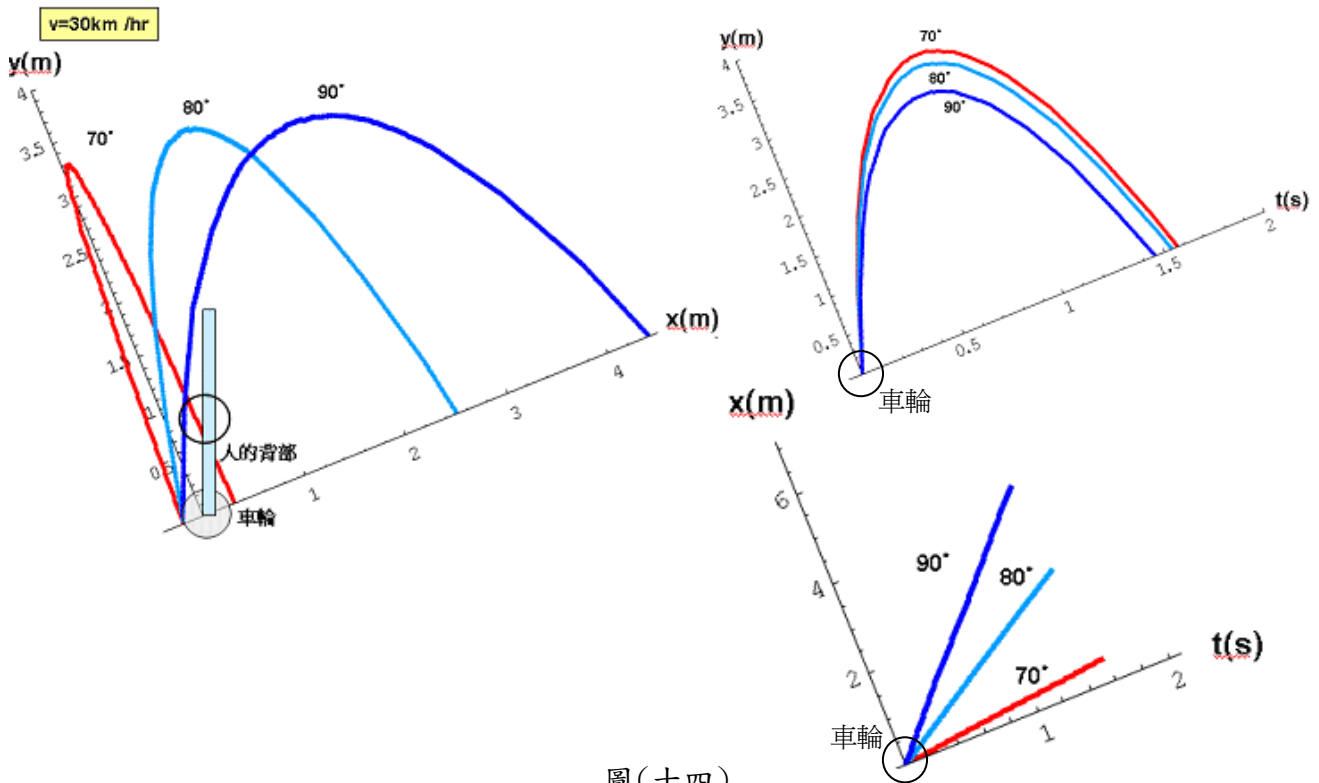
圖(十二)

由圖(十二)可知，只有 θ 大約等於90度時，泥水才有機會噴到後座乘客之背部。



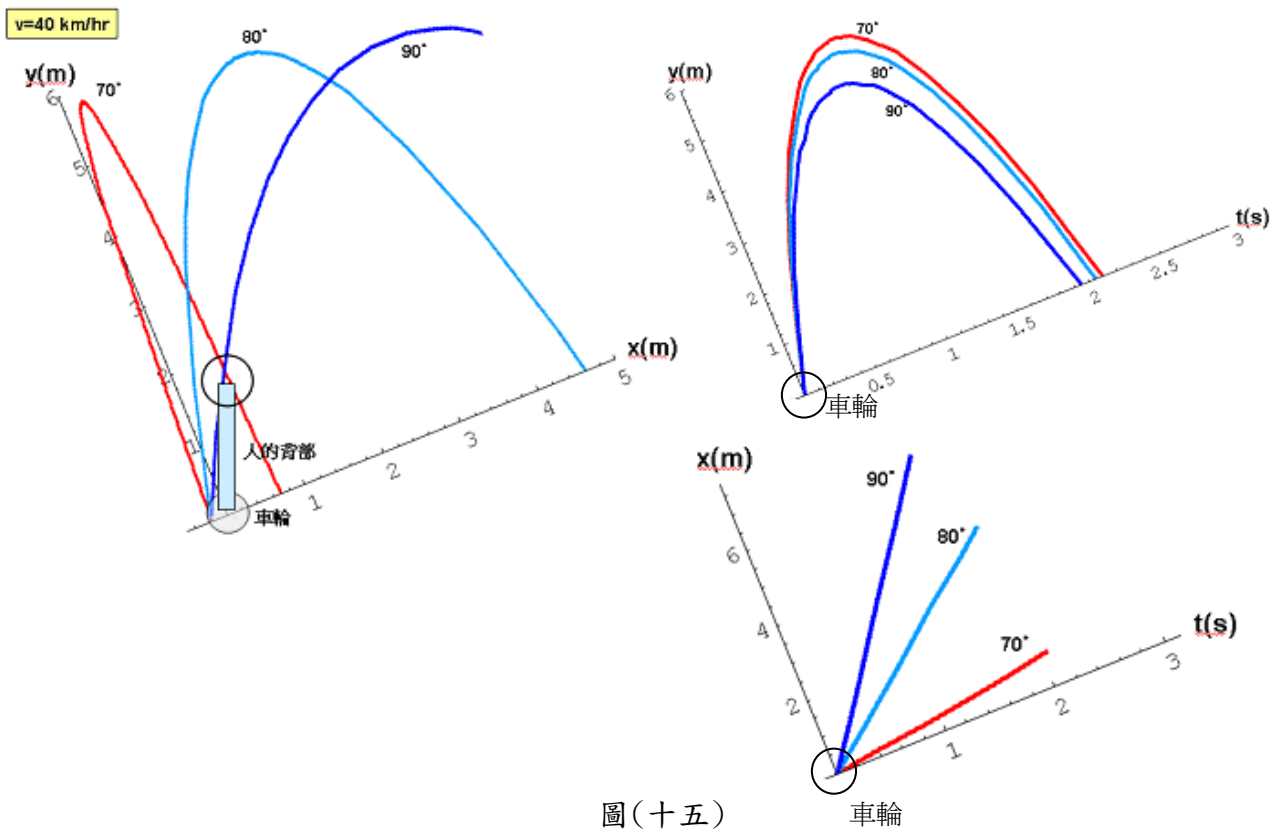
圖(十三)

由圖(十三)可知黃圈裡的泥水脫離點，才有可能使泥水飛向車體。而圖中綠圈裡的泥水脫離點，才有可能使泥水繞過擋泥板。由此推論，泥水不可能繞過擋泥板而噴濺到乘客背部。我們推論有可能是車速不夠小或加速度不夠大。因此我們分別做了車速 30km/hr、40km/hr、50km/r 且初拋角為 70° ， 80° ， 90° 的(x-y)軌跡圖、(x-t)圖及(y-t)圖，而加速度皆假設為 4m/s^2 。(下列圖皆不考慮擋泥板)



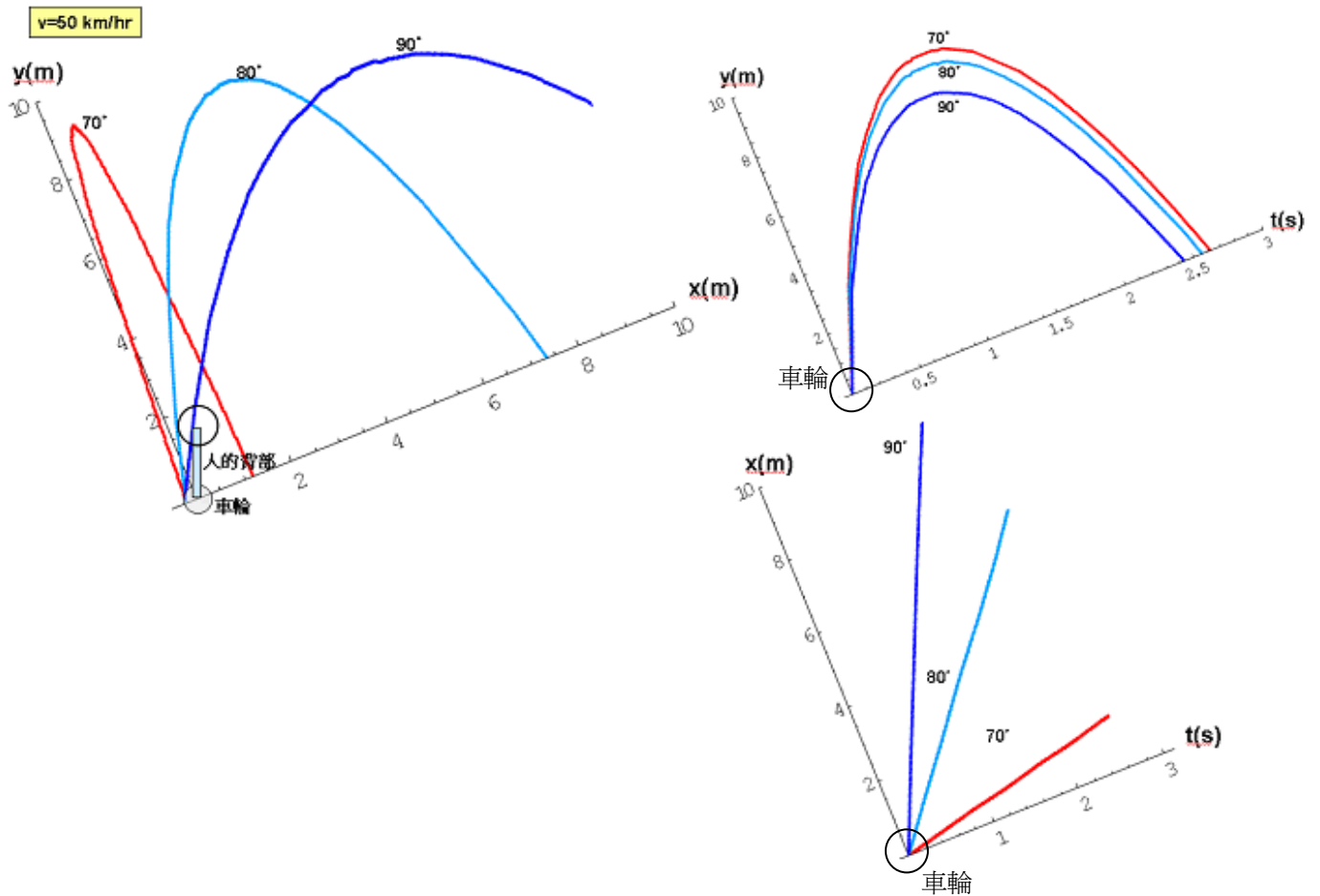
圖(十四)

圖(十四)為車速 30km/hr 時泥水噴出的軌跡，我們可以發現：拋射仰角為 70° 的泥水可能在 $y=0.6\text{m}$ 降落時打中背部，再對照 $(y-t)$ 圖可知擊中時間為 1.5 秒。



圖(十五)

圖(十五)為車速 40km/hr 時泥水噴出的軌跡，我們可以發現：拋射仰角為 70° 及 90° 的泥水分別可能在降落及上升時打中背部，且高度大概在 $y=1.6\text{m}$ ，再對照 $(y-t)$ 圖，可知擊中時間分別約為 2 秒及 0.2 秒。



圖(十六)

圖(十六)為車速 50 km/hr 時泥水噴出的軌跡，我們可以發現：拋射仰角為 90° 的泥水可能在上升時打中背部，且高度大概在 $y = 1.8 \text{ m}$ ，再對照 $(y-t)$ 圖，可知擊中時間約為 0.15 秒。

由上列三圖中可知，車速為 30 km/hr 時，拋射仰角為 70° 的泥水會打中背部，但因為是下落後才打中，時間較慢，考慮空氣流動的影響，可能已被空氣帶到車體後方；車速為 40 km/hr 時，拋射仰角為 70° 及 90° 的泥水分別可能在降落及上升時打中背部，此時拋射仰角 90° 的泥水可以很快速的打中背部，較符合實際情形；車速為 50 km/hr 時，此時已沒有拋射仰角為 70° 的泥水打中背部，但所有軌跡有越來越往後座乘客背部傾斜的趨勢，因此我們推測車速越來越大時，拋射仰角 70° 和 80° 的泥水很有可能在上升時即打中後座乘客的背部。

三、減速車輪實驗

為了用實驗來驗證上述理論，我們做了以下減速車輪實驗。



圖(十七)

(一)實驗原理及步驟

圖(十七)為減速車輪實驗裝置圖。將車輪轉動後，自起始點處放手讓車輪滾下，車輪撞到前方障礙物後會瞬間煞車減速。我們可藉此觀察噴濺的泥水與車輪的相對位置。

(二)實驗結果

實驗結果不如預期，因為難以讓車輪持續接觸水灘使泥水不斷噴出。且加速用的軌道不夠長，使車輪前進速度不如實際車體運動情形快，因此噴濺的泥水沒有明顯飛過車輪。

理論計算及減速車輪實驗都是不考慮擋泥板的，但我們遇到的實際情形是安裝了擋泥板後，泥水仍會打中背部，因此我們推測泥水繞過擋泥板而噴濺到乘客背部的原因，可能與空氣的流動有關，所以我們進行以下流場的實驗。

四、車子等速時空氣與泥水的相互關係

(一)車體模型的設計

由於影響下列實驗的因素很多，所以我們先簡化車體模型。一開始為了觀察現象，所以先用簡易製作的四輪車來實驗，為了更加符合實際情形，所以我們後來使用兩輪車模型來實驗。在車輪部分先用滑動代替轉動，等到車體簡化後的實驗完成，再使用更符合實際的車體模型來做實驗。(本次實驗只做到第一種車體。)



(二)實驗的設計

為了簡化實驗的複雜度，我們先將車體移動所造成的渦流與車輪濺起泥水的兩因素分開討論，因此我們將實驗分成兩部份：

1. 車輪泥水噴濺實驗

我們將陀螺儀架設在支架上當做車輪，用以模擬泥水實際的飛濺情形。希望藉由這個實驗，可以找到泥水在垂直方向上的運動，並將此結果與水槽實驗連結並討論。

2. 實體摩托車實驗

我們利用真正的摩托車進行實驗來觀察雨天時泥水的噴濺，並將此結果與水槽實驗結合並討論，而此實驗會在雨天進行，並盡量保持車子是等速前進的。

3. 水槽實驗

(1)前置實驗

為了確定實驗中的車子等速前進，我們利用高速攝影機拍攝，並從間隔時間固定的每張照片，記錄車體所移動的距離，畫出距離與時間的關係圖。另外，為了比較在不同車體移動速度下之附近流場情形，我們利用不同的馬達轉速來改變車速。

(2)螢光染劑實驗

我們會在車體後方加裝噴管，並讓噴管內充滿螢光染劑，再以橡皮管連接到針筒，當車子被馬達拉動時，我們會按壓針筒讓染劑噴出，來觀察車體前進後的染劑流動情形。

(3)雷射光照實驗

為了解車體行經泥水的運動情形，我們以馬達驅動棉線拉車，並用雷射光照射水中的雜質，當車體前進時，可以藉由雜質的運動來觀察車體附近的流場。

(三)實驗步驟

1. 車輪泥水噴濺實驗

- (1)將輪子放入水槽中，用夾子和支架固定好，輪子後上方以紙板代替擋泥板。
- (2)轉動車輪以模擬車子騎過水灘的情形並拍下，及紀錄紙板被水噴濺的情形，如圖(十八)。



圖(十八)

2. 實體摩托車實驗

- (1)首先會在後方架設攝影機。
- (2)騎經低窪地，用攝影機錄下泥水的噴濺軌跡。
- (3)分析與討論泥水的軌跡。



圖(十九)

3. 水槽實驗

(1) 前置實驗

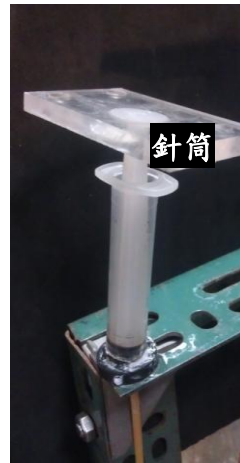
- ① 在水槽內加完水後，將高速攝影機架設在側面。
- ② 啟動馬達，並拍攝照片。
- ③ 從間隔時間固定的每張照片，記錄車體所移動的距離，並畫出距離與時間的關係圖。

(2) 螢光染劑實驗

- ① 如圖(二十)，先在車體後方加裝噴管。如圖(二十一)，噴嘴連接橡皮管到針筒，並在車體移動時按壓針筒使噴管內的染劑噴出，即可模擬泥水離開車輪後的情形。



圖(二十)

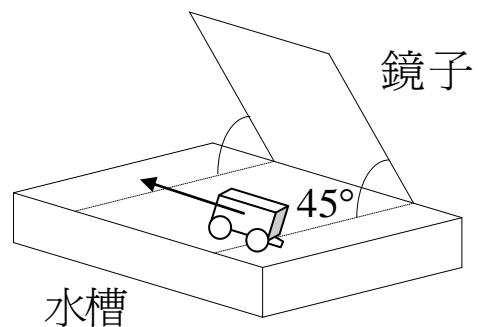


圖(二十一)

- ② 為了能同時拍到垂直與水平方向的染劑流動情形，以求實驗的一致性，我們在水槽上方加裝一面傾斜 45 度角的鏡子，如圖(二十二)、圖(二十三)。



圖(二十二)

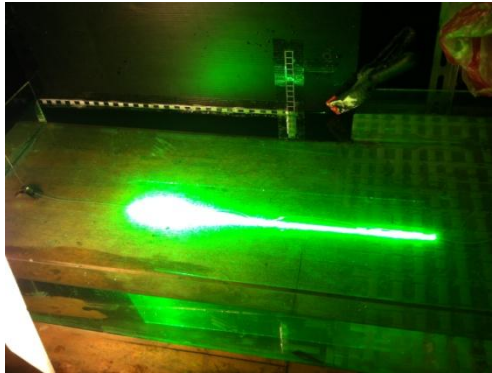


圖(二十三)立體示意圖

- ③ 固定相機或高速攝影機以拍攝同一定點的畫面。
- ④ 在水槽內裝水至車體高度的頂端，啟動馬達，拉動車子前進。
- ⑤ 擷取影片其中兩張照片，觀察不同時間染劑的流動情形。
- ⑥ 討論分析。

(3) 雷射光照實驗

- ① 先將車體噴上黑漆以防止被雷射光照射所造成的反光。
- ② 在水槽的上方架設雷射光燈打雷射切頁，如圖(二十四)，並在實驗側面設置高速攝影機。



圖(二十四)

- ③ 固定相機或高速攝影機以拍攝同一定點的畫面。
- ④ 啟動馬達，拉動車子前進。
- ⑤ 將所拍攝的照片利用 MATLAB 軟體分析。首先，利用程式設定參數並執行，即可抓住每張照片亮度達設定門檻值的點，再將其中三張照片重疊並分別以紅、綠、藍三種顏色標示三個時間點的點位置，即可得到粒子的軌跡圖。另外還利用長期曝光來觀察粒子在某段時間內的軌跡。
- ⑥ 討論所分析的照片。

伍、研究結果

一、車子等速時空氣與泥水的相互關係

(一) 車輪泥水噴濺實驗

1. 在定點轉動的車輪實驗中，我們觀察到水是由車輪的切線方向噴出。加上擋泥板後，噴出的水因擋泥板的阻擋而無法飛越到擋泥板的上方，因此坐在摩托車後方的乘客，其背後會被泥水噴濺的原因絕非由車輪噴出所造成，應與摩托車移動時所造成的氣流有關。因此推測車體的移動會影響泥水的軌跡。如圖(二十五)、圖(二十六)。



圖(二十五)



圖(二十六)

(二)實體摩托車實驗

1. 拍攝影片不如預期，泥水並沒有明顯的噴濺，推測可能是當天雨下得不夠大，或是低窪地不夠深，導致拍攝效果不佳。

(三)水槽實驗

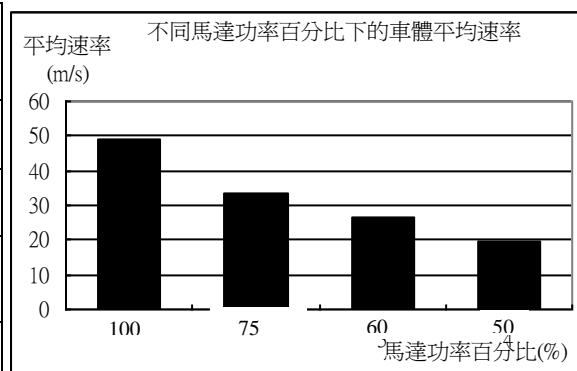
為了確定泥水的噴濺與車體周圍的空氣流場有關，我們進行水槽實驗，此實驗利用水來模擬空氣，並用滴加染劑及打雷射光燈來模擬泥水的噴濺。

1. 前置實驗

表(一)、表(二)是馬達分別以輸出功率 100%、75%、60%、50%轉動時車子行駛的平均速率與標準差。(原始數據請參看附錄)

輸出功率百分比	平均速率(cm/s)
100%	48.82 ±1.05
75%	33.34±1.05
60%	26.39±1.08
50%	19.75±1.10

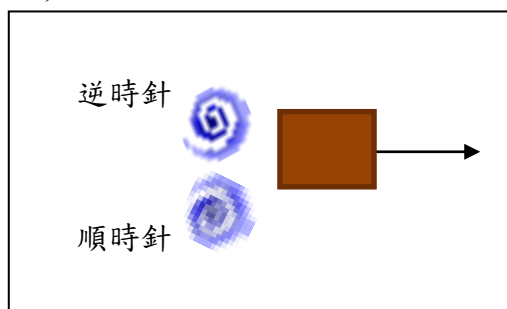
表(一)



表(二)

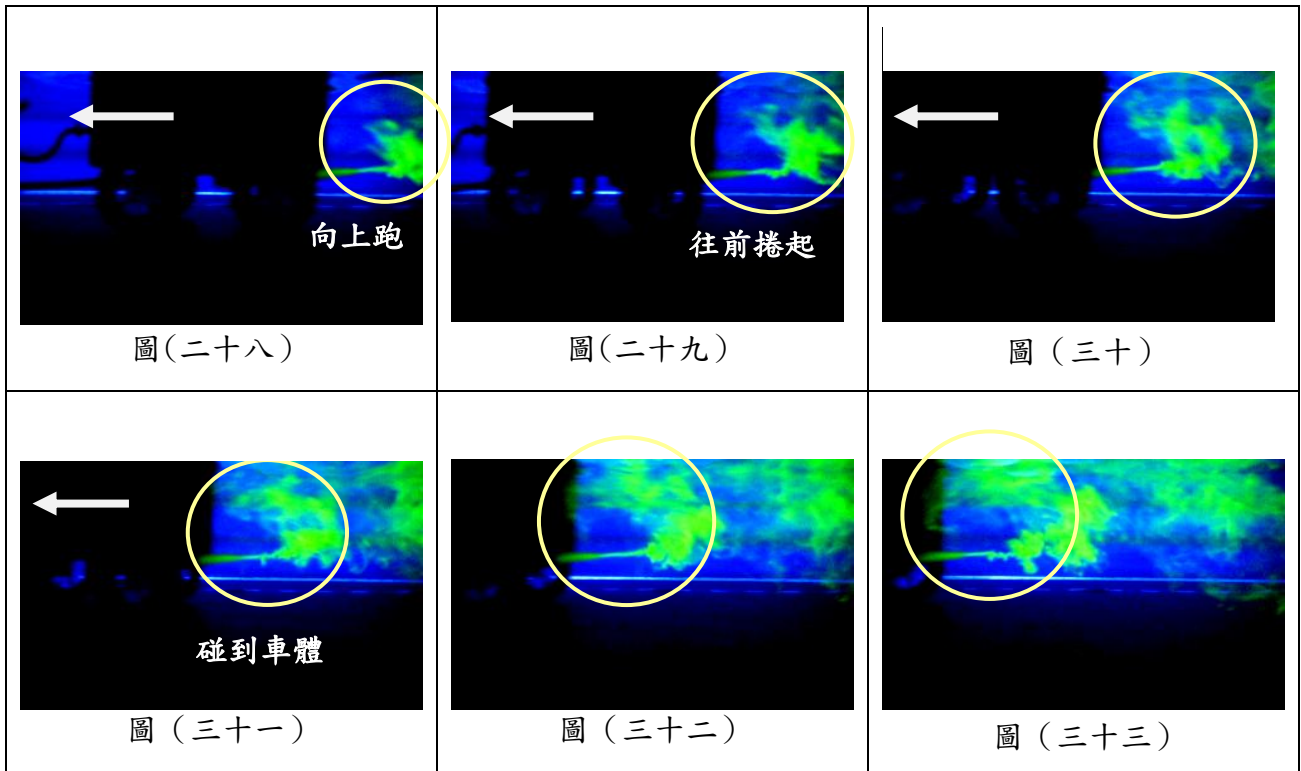
2. 螢光染劑實驗

- (1)我們從實驗中發現，在俯視圖中，當車體在水中前進時，車體後方的流場會出現兩邊對稱的渦流，這是因為當車體前進時，車子原來的位置會因車子前進而有空缺，且車體會給水一個向前的摩擦力，所以在兩側的水會遞補上去，形成渦流，如圖(二十七)。

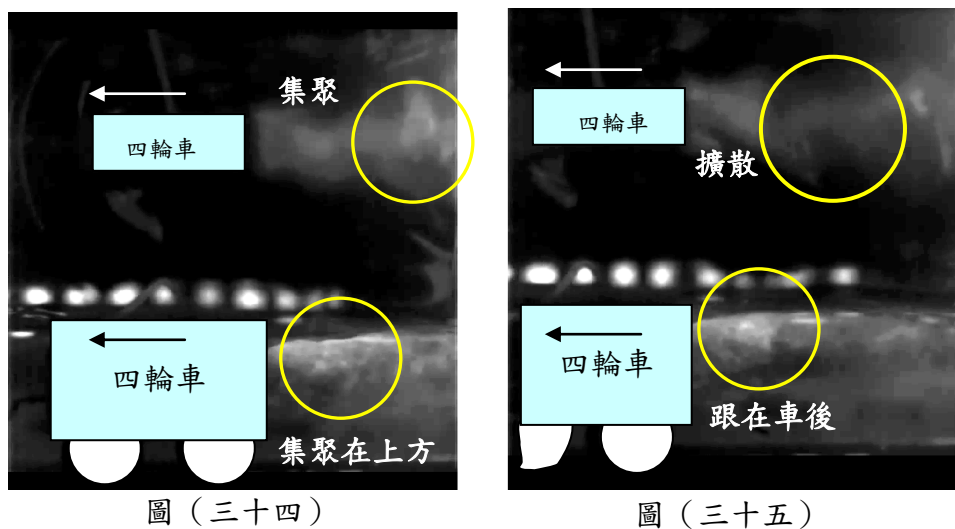


圖(二十七) 水槽流動渦流示意圖

- (2)染劑除了可以觀察水的流場之外，還可以模擬泥水。圖(二十八)到圖(三十三)是當車體向前行進時，染劑的擴散狀況。如圖(二十八)，當染劑從噴管噴出後，染劑的擴散方向主要是向上。如圖(二十九)、圖(三十)，染劑有漸漸沿逆時針方向捲起的趨勢，並且向車體的尾部接近。到了圖(三十一)、圖(三十二)、圖(三十三)的時候，染劑已碰到車體尾部，藉由此結果我們推測在實際情況下泥水真的會受空氣的流場影響，而捲回來打在後座乘客的背部。



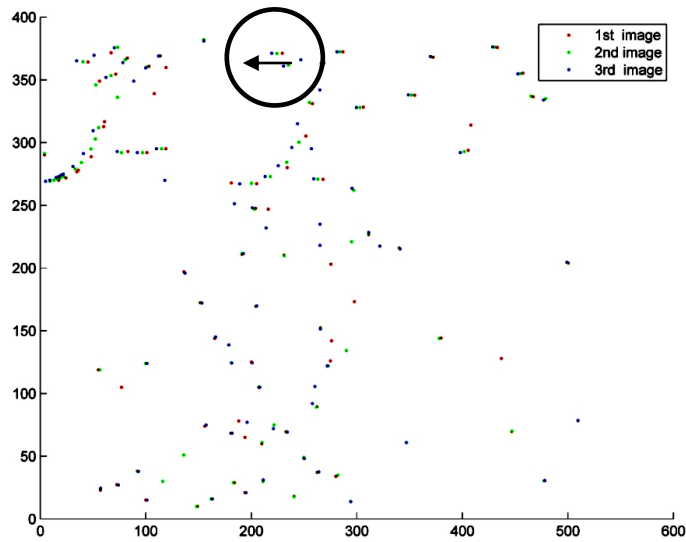
(3)我們用鏡子同時拍攝車體俯視與側視的流場，圖(三十四)、圖(三十五)的上半部分是俯視的流場，圖(三十四)、圖(三十五)的下半部分是側視的流場。且圖(三十四)是先拍攝的，圖(三十五)是後來拍攝的，白色的部分是螢光染劑，可以很明顯地觀察到螢光染劑是向上流且分布位置大都緊跟在車體後方，因此我們推測泥水的噴濺真的與空氣流場有關。但有關其捲回來的原因我們會再進一步的探討。



3. 雷射光照實驗

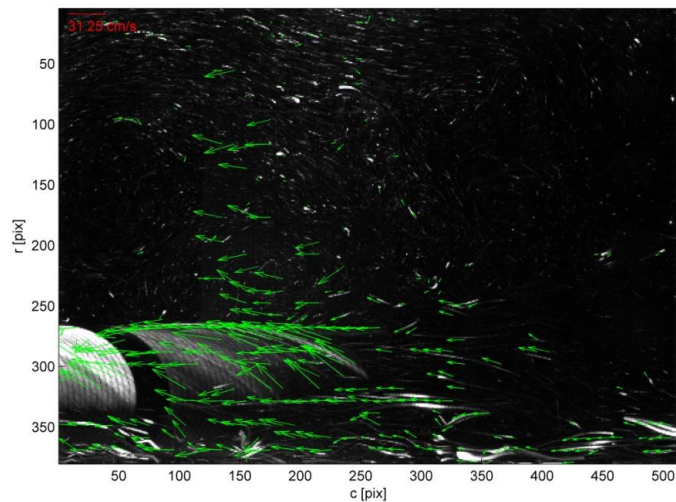
從染劑實驗中，由於染劑的擴散會使水變混濁，導致無法觀察到更細微的流場，因此我們打雷射切頁照射水中的雜質，並利用顆粒的流動來模擬水的流場，觀察水的流動情形。

(1)圖(三十六)為連續三張照片的粒子(水中雜質)軌跡圖，利用顏色的不同可得知粒子會隨著車前進，其中以上方最為明顯。X-Y軸的座標單位皆是像素(pixel)。



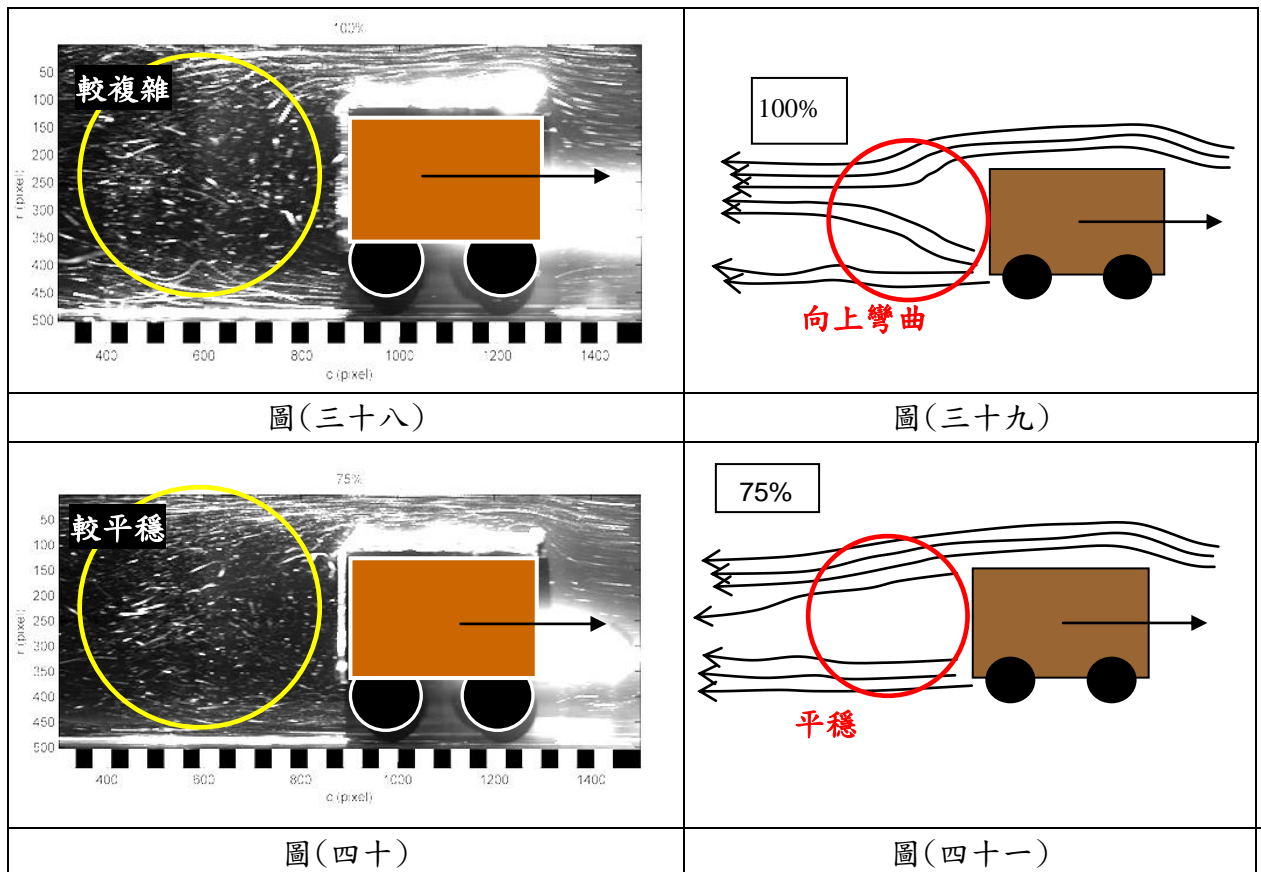
圖(三十六)

(2)圖(三十七)為水中被雷射光照射雜質的曝光圖，此圖的車子向左行駛，箭頭是水中流場的平均速度，由此圖可知在車體行經後，流場的速度向前且車體後方大部分流場速度向上。

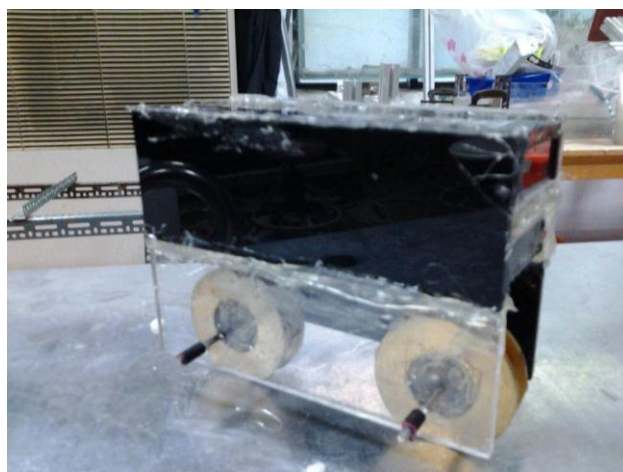


圖(三十七)

(3)我們將圖(三十七)的照片減掉水平的車速即可得到下圖(三十八)及圖(四十一)的影像，而車體因影像的處理改為向右行駛。圖(三十八)車體的馬達功率為100%，平均速率為48.82(cm/s)。圖(三十九)是圖(三十八)的軌跡示意圖，由圖可知水相對於車體是向左流動的，而車的後方有向上流的趨勢。圖(四十)車體的馬達功率為75%，平均速率為33.34(m/s)，圖(四十一)是圖(四十)的軌跡示意圖，從圖中可觀察到，水的流動比較平穩。且速度快的流場比速度慢的流場分佈更複雜，尤其速度慢的下半部分流場叫沒有向上彎曲的趨勢。因此我們推測車速會影響水的流場，進而影響泥水的噴濺。



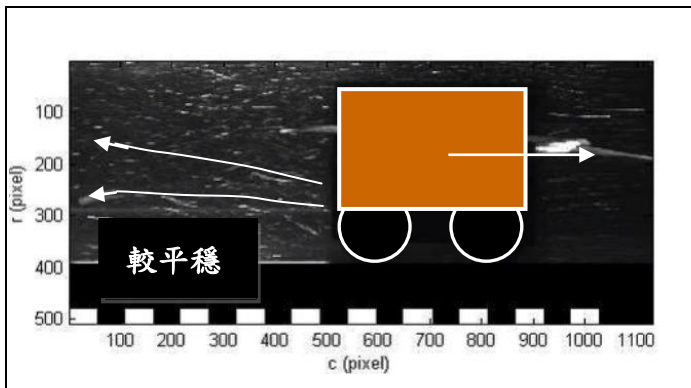
(4)經過上述四輪車的實驗後，為了讓實驗更符合實際情形，我們改用兩輪車，並拍攝在不同車速下的流場變化。如圖(四十二)。



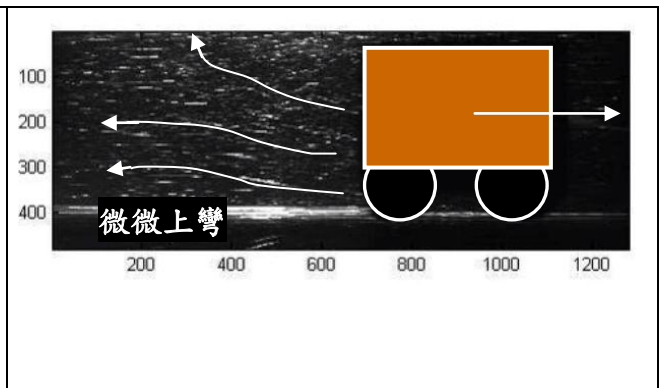
圖(四十二)

下列各圖是兩輪車在不同馬力的車速下所拍到的流場。由圖(四十三)可看到，馬達馬力為 50%時，車子附近的流場較平穩，也無上捲的趨勢；由圖(四十四)可看到，馬力為 60%時，流場有微微上彎的趨勢；而由圖(四十五)可看到，馬力為 75%時，車體後方的流場有向上捲起的趨勢，且水中粒子的移動情形越來越複雜；由圖(四十六)可看到，到了馬力為 100%時，流場變得非常混亂，推測可能出現紊流，導致無法明顯觀察到水流的變化。

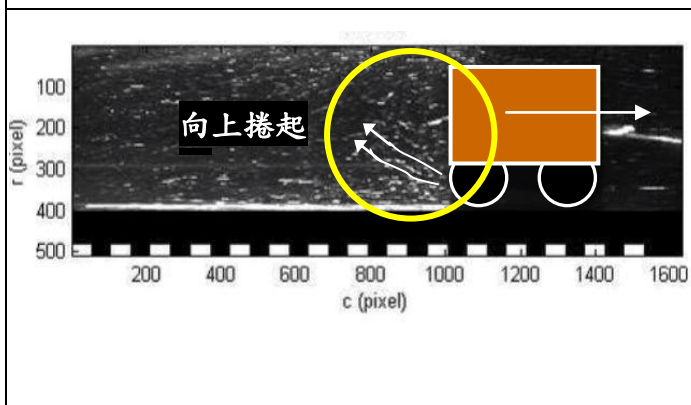
由上述結果我們可以推論:在實際狀況下，車子速度越大，泥水就越容易受到空氣流動影響而捲起；而當速度過大時，車體後方會出現低壓的狀態，導致附近的空氣會快速補上，而出現紊流，但無法確定泥水是否仍會捲起來。



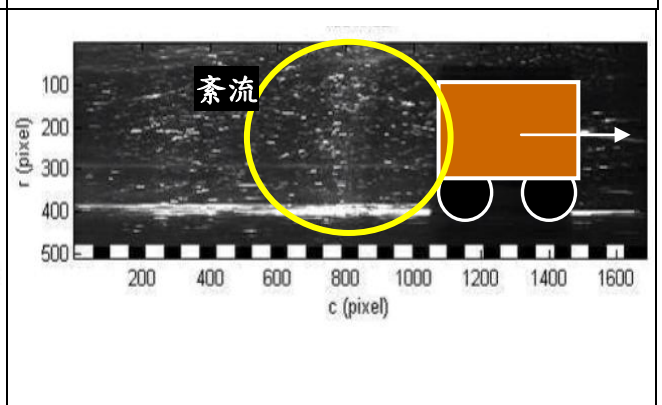
圖(四十三) 馬力 50%



圖(四十四) 馬力:60%



圖(四十五) 馬力:75%



圖(四十六) 馬力:100%

陸、結論

- 一、泥水繞過擋泥板而噴濺到乘客背部的原因，與車體的減速無太大的關係。
- 二、泥水的噴濺與空氣中的流場有關。
- 三、車速越快時，泥水繞過擋泥板打中乘客背部的現象越明顯。

捌、討論與應用

藉由以上實驗結果，我們知道在雨天騎摩托車時，車速越快，後座乘客被泥水噴濺的機會越大，因此我們在雨天時，車騎慢一點就可避免泥水噴濺的情形。另外也可以在後輪的上方加長擋泥板，確保擋泥板足以阻擋受流場影響而噴濺的泥水。如此一來，就算不用去土除也可避免泥水的噴濺了！

玖、參考資料及其他

一、David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker, Fundamentals of Physics

物理(上), 第八版, 全華圖書股份有限公司, 第十一章 流體力學

二、車體模型，擋泥板 三陽機車官方網站：<http://tw.sym-global.com/>

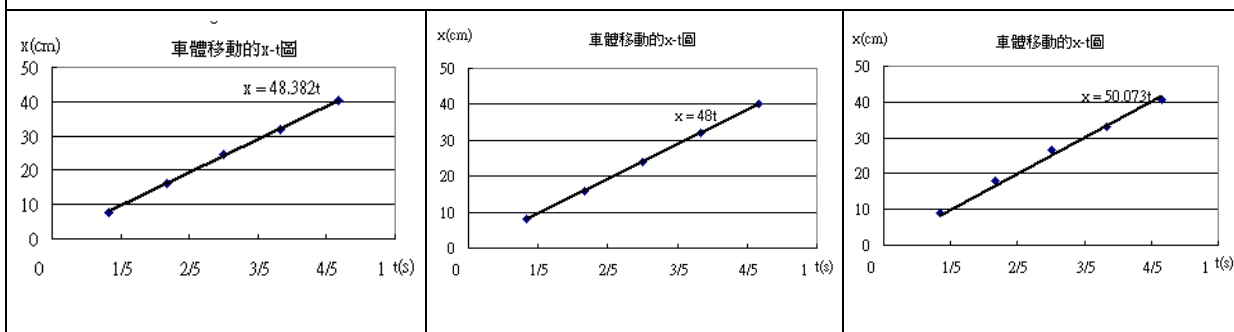
三、自製擋泥板 <http://forum.jorsindo.com/thread-2280009-1-1.html>

四、後輪噴起來的水真的有辦法噴到背後嗎？

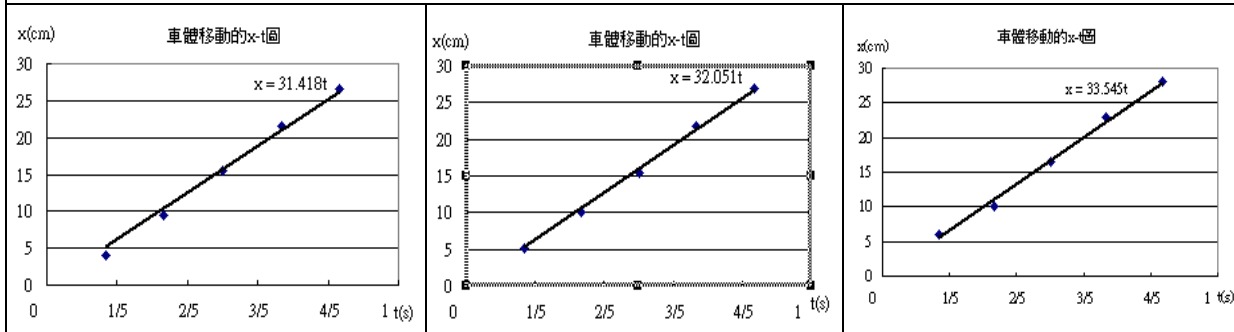
<http://www.mobile01.com/topicdetail.php?f=266&t=2020272&p=1>

附錄：

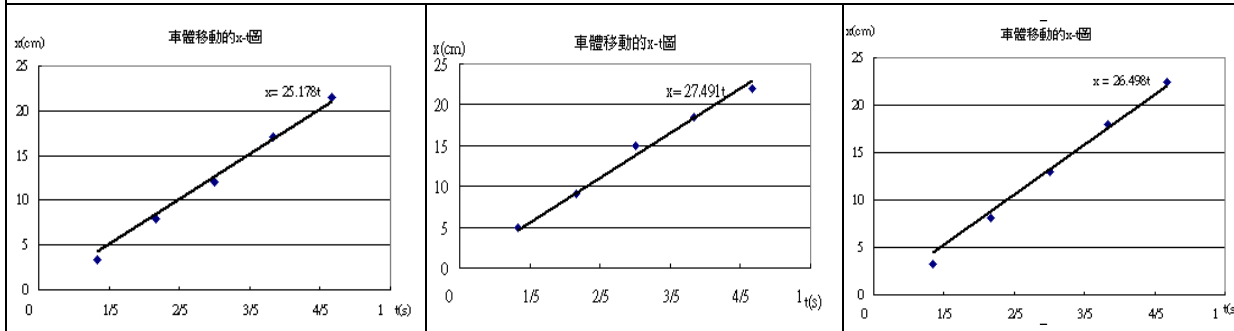
100%的馬力 平均速率為:48.82(cm/s) 標準差:1.05



75%的馬力 平均速率為:33.34(cm/s) 標準差:1.05



60%的馬力 平均速率為:26.39(cm/s) 標準差:1.08



50%的馬力 平均速率為:19.75(cm/s) 標準差:1.10

