

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 物理科

佳作

040102

不亦「躍」乎—黏滯液體彈跳的探討

學校名稱：國立新竹女子高級中學

作者： 高二 劉馨鎂 高二 林湘凌	指導老師： 宋俊毅 何宣螢
-------------------------	---------------------

關鍵詞： Kaye effect、非牛頓流體

## 摘要：

用非牛頓流體做實驗時，由於落下流體較高的剪切速率，會造成所接觸流體的黏滯度減少，當流體落下的高度夠高時，擊中平面時所受反作用力的影響大於黏滯力的影響，而使流體彈跳出去，稱為 **Kaye effect**。本次實驗結果，發現當斜面角度越大時，恢復係數越接近 1，當角度大於某一值後，幾為彈性碰撞。原因為角度大時液體被流體擊中時產生的凹陷越淺，受黏滯力的影響越少。而當流體下落的高度不足時，其剪切速率不夠，所以流體黏度大於正向力的影響，並不會產生彈跳效應。

當變換不同黏滯性的液體所產生的恢復係數  $e_1$ 、 $e_2$ ，差異並不大。原因是非牛頓流體下落時擁有較高的剪切速率，造成黏滯度減小。又因市售洗髮精黏滯度差異不大，造成實驗中黏度影響力不顯著。

## 壹、研究動機：

一天，洗澡時發現洗髮精快用完了，把洗髮精瓶倒過來，想不到一絲一絲的洗髮精竟然從瓶子裡面噴射出來，對於洗髮精細絲為什麼可以從瓶子底彈跳出來而不是像想像中從瓶子壁慢慢流出來，引起我的好奇心，就想說其他洗髮精會不會出現這種現象呢？直到偶然在網路上看到了一段關於這個現象的影片，激起了我們更進一步研究的興趣。到底這個現象為什麼會發生、發生的機制又是什麼？

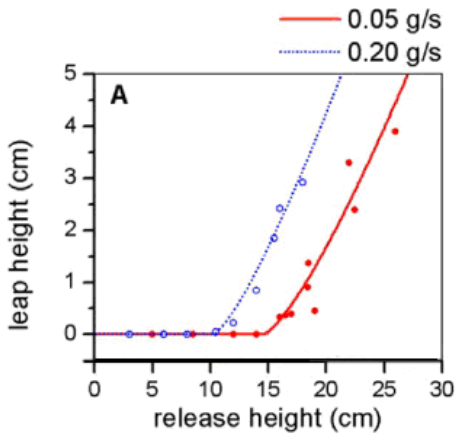
## 貳、研究目的：

- 一、探討黏滯液體彈跳時恢復係數與斜板  $\theta$  之間的關係。
- 二、探討黏滯液體彈跳時軌跡方程與斜板  $\theta$  之間的關係。
- 三、探討黏滯液體彈跳時恢復係數與高度  $h$  的關係。
- 四、探討黏度對彈跳時恢復係數的影響。

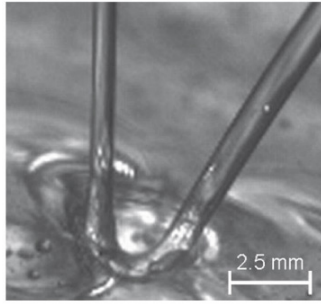
## 參、實驗原理：

### < 參考原理 I > Kaye effect

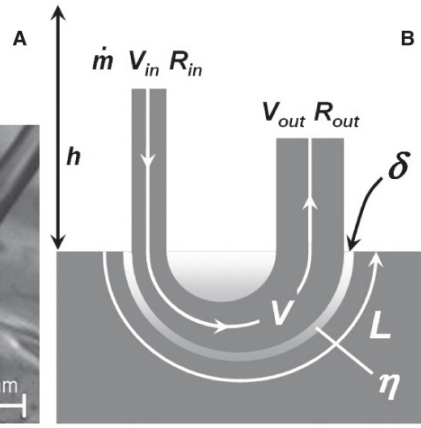
當有黏滯性的牛頓流體(Newtonian fluid)覆蓋在一平面上時，若由此平面上空持續流下小量的相同流體，流體因為有黏性，會如落下的繩子一般盤據成一團。但若用洗髮精之類的非牛頓流體(non-Newtonian fluid)重做上述實驗，由於落下流體較高的剪切速率，會造成所接觸流體的黏滯度減少，當流體落下的高度夠高時，擊中平面時所受反作用力的影響大於黏滯力的影響，而使流體彈跳出去(leaping)，其關係如(圖二)，而被擊中的平面處會產生一凹陷(dimple)。且流入的流體與彈射出去的流體會符合連續方程  $A_1v_1 = A_2v_2$ 。



(圖一)



(圖二)



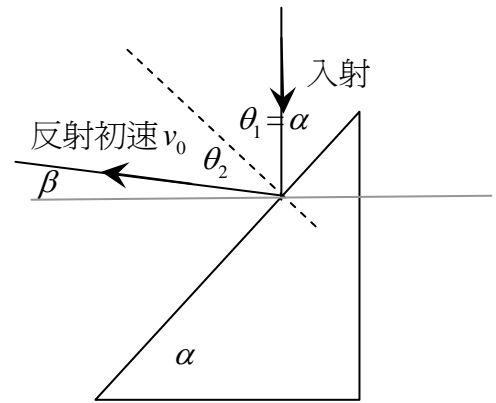
(圖三)

< 參考原理 II > 質點撞擊斜面後的拋體運動

如圖，質點撞擊斜面過程中，入射角為  $\theta_1$ ，反射角為  $\theta_2$ ，撞擊參數為  $e$ ，反射初速與平面的夾角為  $\beta$ 。其中撞擊時若所受的力皆垂直斜面，則平行斜面方向不受力，可得：

$$e = \frac{v_{\text{初射}}}{v_{\text{入射}}} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \Rightarrow \theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{\sin \theta_1}{e}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{\sin \alpha}{e}\right)$$

$$\text{又由圖中可知 } \beta = \frac{\pi}{2} - \theta_1 - \theta_2 = \frac{\pi}{2} - \alpha - \sin^{-1}\left(\frac{\sin \alpha}{e}\right) \dots \text{式(1)}$$



(圖四)

當反射質點撞擊斜面後以初速  $v_0$  射出，若只受重力作用以往上為正，其運動軌跡可用以下方程式描述。

$$y = -\frac{g}{2v_0^2(\cos \beta)^2} x^2 + (\tan \beta)x \dots \dots \text{式(2)}$$

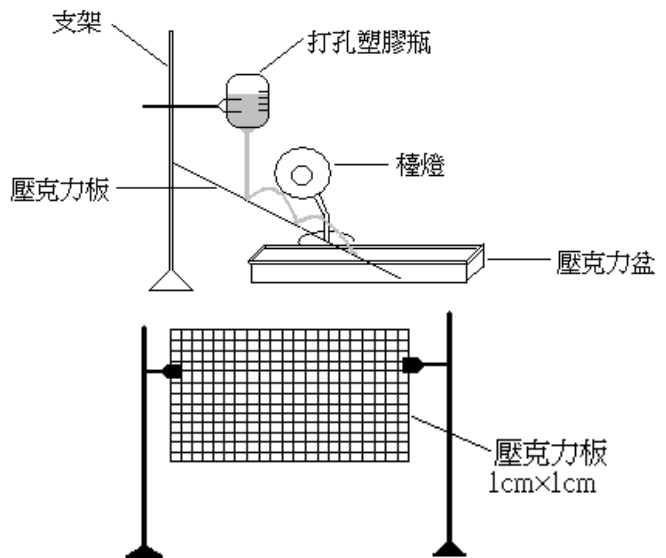
肆、實驗裝置及器材：

一、實驗裝置：

如右圖所示。

二、研究器材：

- (一) 支架
- (二) 擋風版
- (三) 打孔塑膠瓶
- (四) 壓克力版(無刻度)  
壓克力版(刻度為 1cm×1cm)
- (五) 壓克力盆
- (六) 檯燈
- (七) 尺(最小刻度 1mm)



(圖五)

(八)液體：

1. H<sub>2</sub>O(常溫)
2. 美吾髮洗髮精－黃色(簡稱 Y)
3. 花王洗髮精－綠色(簡稱 G)
4. 棕欖沐浴乳－紫色(簡稱 P)

(九)攝影機

(十)高速攝影機



(圖六)



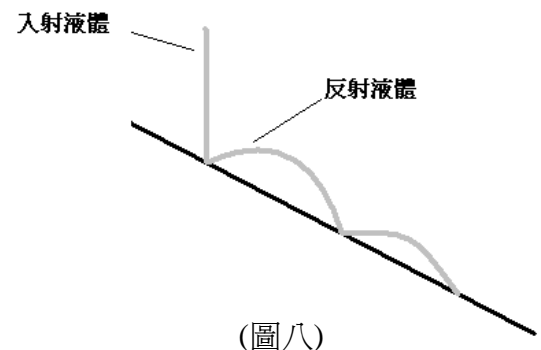
(圖七)

## 伍、實驗設計及步驟：

### 一、實驗設計：

#### (一)名詞定義：

1. 彈跳效應：液體於斜板跳躍的現象。
2. 入射液體：如(圖八)
3. 反射液體：如(圖八)
4. 高度  $h$ ：打孔塑膠瓶底的孔與斜板之距離。
5. 液柱長  $l$ ：將瓶子提高，使液體由所挖小孔流下，測量液柱由小孔至散開成滴狀斷裂的長度，稱液柱長，液柱越長表示黏度越大。



(圖八)

#### (二)數據讀取方式

1. 利用攝影機拍攝實驗影片，擷取影像處理。

2. 恢復係數  $e = \frac{v_{\text{初射}}}{v_{\text{入射}}}$  ……式(1)

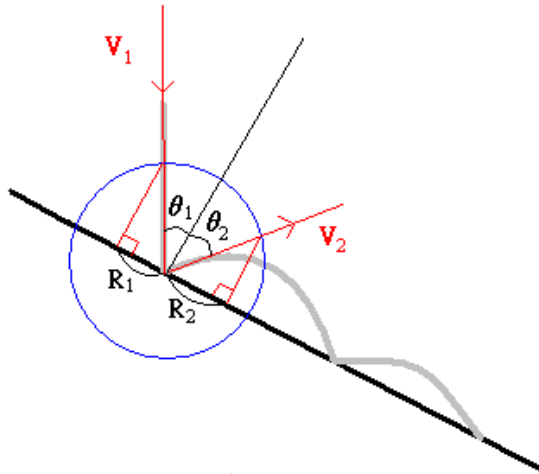
如圖，因液體在平行斜面方向不受力，

$$V_1 \sin \theta_1 = V_2 \sin \theta_2 \quad \dots\dots \text{式(2)}$$

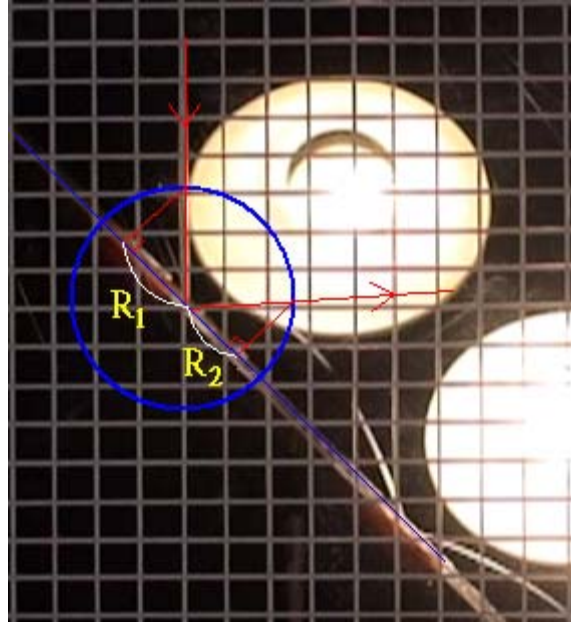
由式(1)(2)得：

$$e = \frac{V_2}{V_1} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

我們測量  $R_1$ 、 $R_2$  之值，以求得恢復係數，如(圖九)。

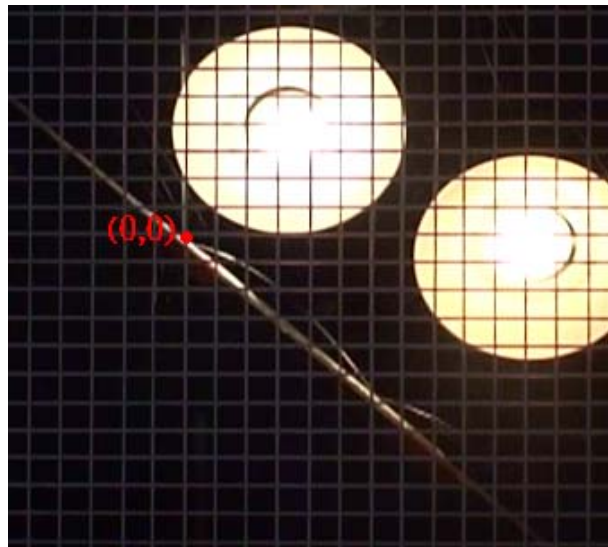


(圖九)



(圖十)

3.將壓克力版(刻度為 1cm×1cm)之任一點對齊液體第一次落於斜板的點，並訂為(0,0)，再於影像中的液體軌跡取數個點，標示座標，如(圖十一)。



(圖十一)

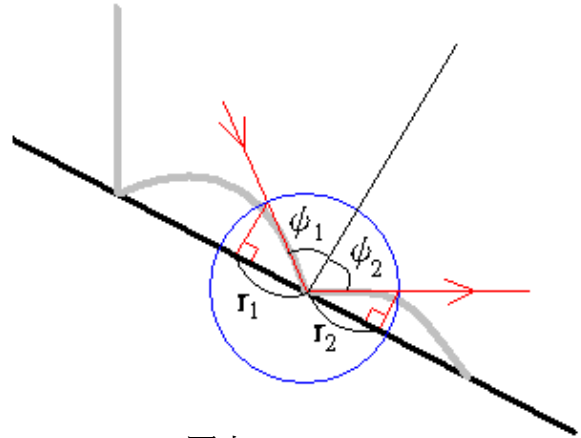
### (三)基本操作

1. 將攝影機、有刻度的壓克力板及實驗裝置調成水平位置。
2. 如裝置圖所示固定打孔塑膠瓶及斜板。
3. 調整斜板角度、固定打孔塑膠瓶內的洗髮精容量
4. 將瓶底的孔與斜板之距離調至所需之高度  $h$ 。
5. 打孔塑膠瓶之孔徑： 0.4cm
6. 實驗前所測量液柱長  $l$ ：液體 Y 20.3 cm；液體 G 18.2 cm；液體 P 25.7 cm
7. 實驗前所測量流量：液體 Y 0.42 g/s；液體 G 0.32 g/s；液體 P 0.38 g/s

## 二、實驗步驟：

(一) 探討黏滯液體恢復係數與斜板  $\theta$  之間的關係。

1. 將  $h$  固定為 20cm，將斜板調至 20 度，在打孔塑膠瓶內裝入液體 Y。
2. 使液體 Y 由孔中自由落下於斜面上，觀察其彈跳狀況。
3. 使用攝影機拍攝，擷取彈跳時的影像於適當大小，並測量第一次彈跳時， $R_1$ 、 $R_2$  之值，如(圖九)。
4. 同步驟 3，測量第二次彈跳之  $r_1$ 、 $r_2$  之值，如(圖十二)。



(圖十二)

5. 改變斜板角度為 25 度至 70 度，重複步驟 1-4。(因 20 度前彈跳情況不穩定，所以從 20 度作測量。)

(二) 探討黏滯液體彈跳的軌跡方程與斜板  $\theta$  之間的關係。

1. 將  $h$  固定為 20 cm，將斜板調至 20 度，在打孔塑膠瓶內裝入液體 Y。
2. 使液體 Y 由孔中自由落下於斜面上，觀察其彈跳狀況。
3. 使用攝影機拍攝，擷取彈跳時的影像於適當大小。
4. 於影像中的液體軌跡取數個點，標示座標。
5. 將上述座標輸入 Excel 模擬其軌跡方程式。
6. 改變斜板角度為 25 度至 70 度，重複步驟 1-5。

(三) 探討黏滯液體恢復係數與高度的關係。

1. 將斜板角度固定為 40 度，在打孔塑膠瓶裝入液體 Y。
2. 在固定流量下改變  $h$  之高度分別為 5 cm、6 cm、7 cm、8 cm、9 cm、10 cm、12 cm、14 cm、16 cm、18 cm、20 cm。
3. 使用攝影機拍攝，擷取彈跳時的影像於適當大小，測量第一次彈跳時， $R_1$ 、 $R_2$  之值。

(四) 探討黏度對彈跳時恢復係數的影響。

1. 將液體 Y 改為液體 G、P，重複實驗一。

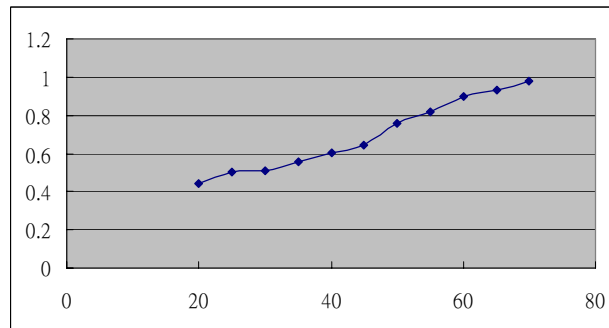
## 陸、數據與分析：

一、探討黏滯液體恢復係數與斜板  $\theta$  之間的關係。

- (一) 液體 Y， $h=20$  cm，測量各角度下的  $e_1$ 、 $e_2$   
(表中所式為平均值，詳細數據見附錄一)

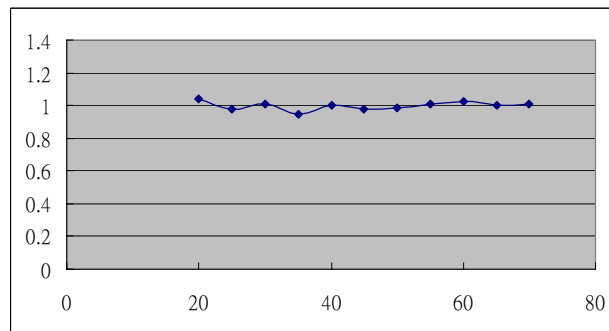
	20度	25度	30度	35度	40度	45度	50度	55度	60度	65度	70度
$e_1$	0.4414	0.4996	0.5093	0.5537	0.6037	0.6438	0.7593	0.8181	0.8990	0.9290	0.9786
$e_2$	1.0375	0.9741	1.0105	0.9501	1.0005	0.9763	0.9881	1.0083	1.0244	0.9995	1.0100

(二) 液體 Y， $h=20\text{ cm}$ ， $e_1$  對斜板  $\theta$  之關係圖



(圖 1-2-1)

(三) 液體 Y， $h=20\text{ cm}$ ，斜板  $\theta$  與  $e_2$  之關係圖



(圖 1-3-1)

(四)數據分析：

由圖表可知，於固定小孔高度下， $e_1$  與角度呈現正相關。  
而  $e_2$  卻不隨角度變化，其恢復係數幾乎為 1。

二、探討黏滯液體在不同角度的斜板上產生彈跳的軌跡方程式。

(一) 液體 Y， $h=20\text{ cm}$ ，標出各角度下液體第一次彈跳的座標，模擬其彈跳軌跡方程式

Y20 度的軌跡方程式

第一組：(0,0) (2.5,0) (3,-0.5) (4.5,-1.5)

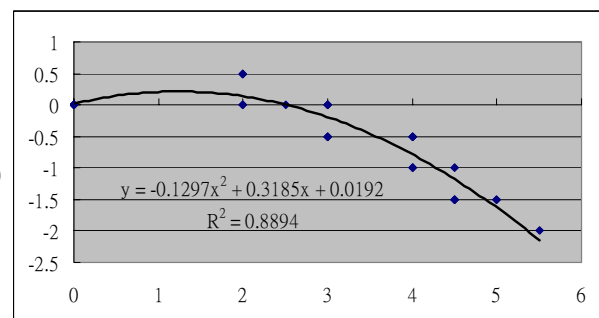
第二組：(0,0) (2,0) (3,-0.5) (4,-1) (4.5,-1.5)

第三組：(0,0)(3,0) (4,-0.5) (4.5,-0.5) (5.5,-1.5)

第四組：(0,0) (2,0) (3,-0.5) (4,-1) (4.5,-1.5)

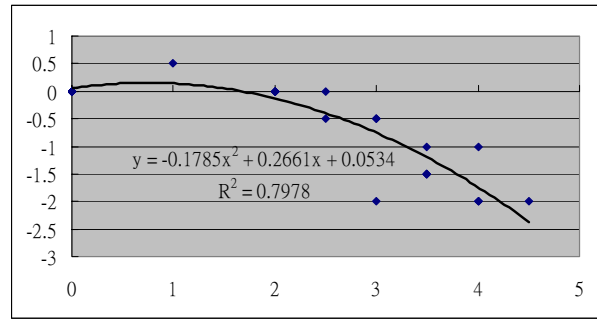
第五組：(0,0) (2,-0.5) (3,0) (4,-0.5) (5,-1.5)

第六組：(0,0) (2,0.5) (3,0) (4,-0.5) (5,-1.5)



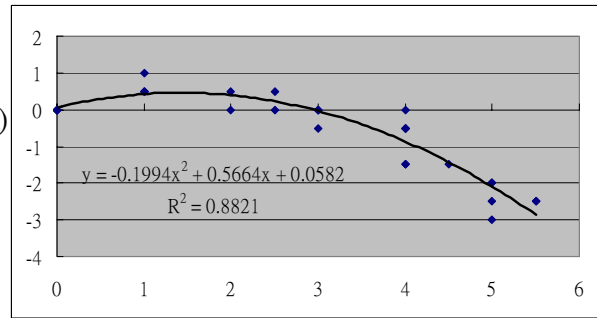
Y25 度的軌跡方程

- 第一組：(0,0) (2,0) (3,-1) (3.5,-1.5)
- 第二組：(0,0) (2,0) (3,-0.5) (3.5,-1.5)
- 第三組：(0,0) (1,0.5) (3.5,-1) (4,-2)
- 第四組：(0,0) (2,0) (2.5,-0.5) (3.5,-1.5)
- 第五組：(0,0) (2.5,0) (4,-1) (4.5,-2)
- 第六組：(0,0) (2,0) (3,-0.5) (4,-2)



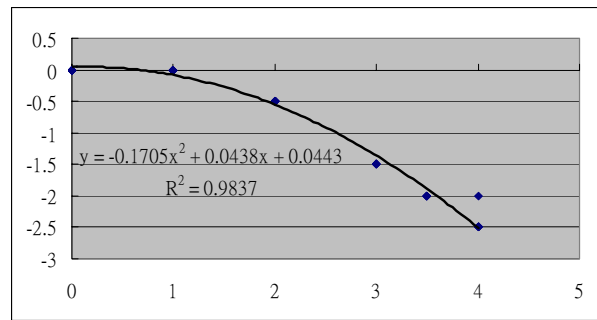
Y30 度的軌跡方程

- 第一組：(0,0) (2,0) (3,-0.5) (4,-1.5) (5,-3)
- 第二組：(0,0) (3,0) (4,-0.5) (4.5,-1.5) (5.5,-2.5)
- 第三組：(0,0) (1,0.5) (3,0) (4,-0.5) (5.5,-2.5)
- 第四組：(0,0) (2,0.5) (3,0) (4,-1.5) (5,-2.5)
- 第五組：(0,0) (1,0.5) (2.5,0) (4,-0.5) (5,-2.5)
- 第六組：(0,0) (1,1) (2.5,0.5) (4,0) (5,-2)



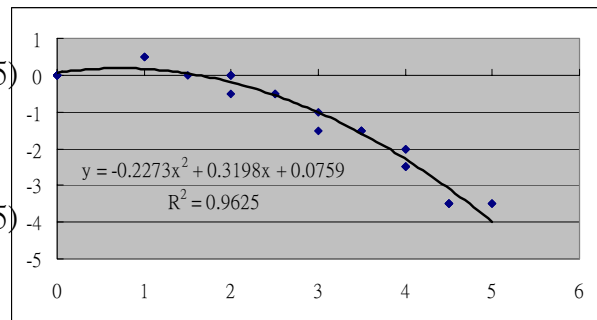
Y35 度的軌跡方程

- 第一組：(0,0) (1,0) (2,-0.5) (3,-1.5) (4,-2.5)
- 第二組：(0,0) (1,0) (2,-0.5) (3,-1.5) (4,-2.5)
- 第三組：(0,0) (1,0) (2,-0.5) (3.5,-2) (4,-2.5)
- 第四組：(0,0) (1,0) (2,-0.5) (3.5,-2) (4,-2.5)
- 第五組：(0,0) (1,0) (2,-0.5) (3,-1.5) (4,-2.5)
- 第六組：(0,0) (1,0) (2,-0.5) (3,-1.5) (4,-2.5)



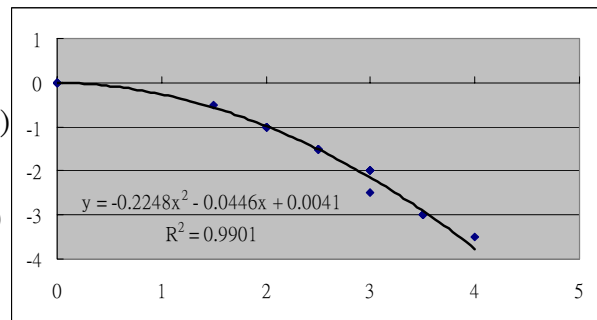
Y40 度的軌跡方程

- 第一組：(0,0) (2.5,-0.5) (3.5,-1.5) (4,-2) (5,-3.5)
- 第二組：(0,0) (1.5,0)(3,-1) (4,-2.5)(4.5,-3.5)
- 第三組：(0,0) (2,0) (2.5,-0.5) (4,-2) (5,-3.5)
- 第四組：(0,0) (2,-0.5) (3,-1.5) (4,-2.5) (4.5,-3.5)
- 第五組：(0,0) (1,0.5) (2,0) (3.5,-1.5) (4.5,-2.5)
- 第六組：(0,0) (1,0.5) (2,0) (3.5,-1.5) (4,-2.5)



Y45 度的軌跡方程

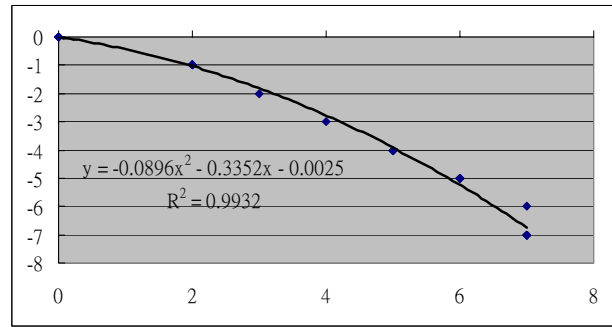
- 第一組：(0,0) (2,-1) (2.5,-1.5) (3,-2) (3.5,-3)
- 第二組：(0,0) (2,-1) (2.5,-1.5)(3,1,-2.5) (3.5,-3)
- 第三組：(0,0) (2,-1) (2.5,-1.5) (3,-2) (3.5,-3)
- 第四組：(0,0) (1.5,-0.5) (2,-1)(2.5,-1.5)(3.5,-3)
- 第五組：(0,0) (2.5,-1.5) (3,-2) (3.5,-3)(4,-3.5)
- 第六組：(0,0) (2,-1) (2.5,-1.5) (3,-2) (3.5,-3)





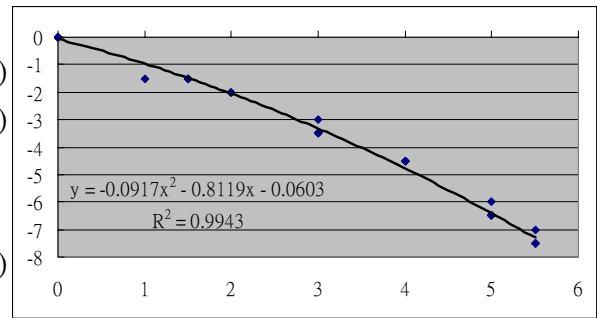
Y50 度的軌跡方程

- 第一組：(0,0) (2,-1) (5,-4) (6,-5) (7,-7)
- 第二組：(0,0) (2,-1) (5,-4) (6,-5) (7,-7)
- 第三組：(0,0) (2,-1) (5,-4) (6,-5) (7,-7)
- 第四組：(0,0) (2,-1) (5,-4) (4,-3) (7,-6)
- 第五組：(0,0) (2,-1) (5,-4) (6,-5) (7,-7)
- 第六組：(0,0) (2,-1) (5,-4) (6,-5) (7,-7)



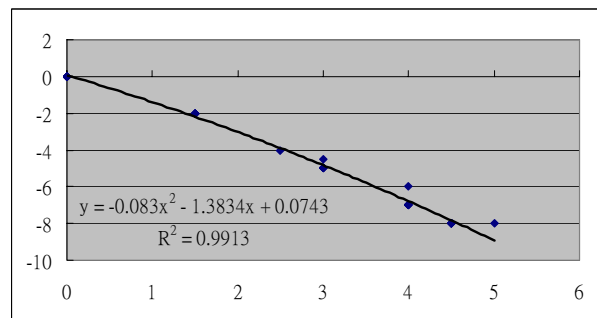
Y55 度的軌跡方程

- 第一組：(0,0)(1.5,-1.5)(3,-3.5)(5,-6.5)(5.5,-7.5)
- 第二組：(0,0)(1.5,-1.5)(4,-4.5)(5,-6.5)(5.5,-7.5)
- 第三組：(0,0) (2,-2) (3,-3.5) (4,-4.5) (5,-7)
- 第四組：(0,0)(1.5,-1.5)(4,-4.5)(5,-6.5)(5,-6.5)
- 第五組：(0,0)(1.5,-1.5)(3,-3.5)(5,-6.5)(5.5,-7.5)
- 第六組：(0,0) (2,-2) (3,-3.5) (4,-4.5) (5,-6.5)



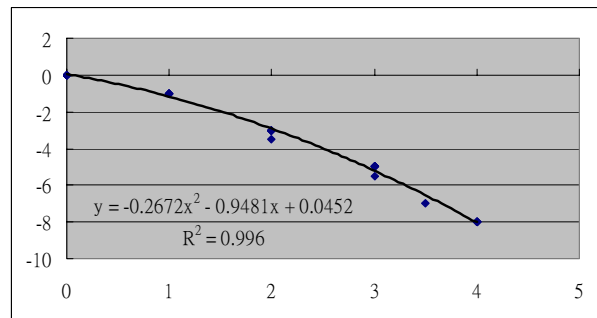
Y60 度的軌跡方程

- 第一組：(0,0) (1.5,-2) (3,-5) (4,-7) (4.5,-8)
- 第二組：(0,0) (1.5,-2) (3,-5) (4,-7) (4.5,-8)
- 第三組：(0,0) (1.5,-2) (3,-4.5) (4,-7) (4.5,-8)
- 第四組：(0,0) (1.5,-2) (3,-5) (4,-7) (4.5,-8)
- 第五組：(0,0) (1.5,-2) (2.5,-4) (4,-6) (5,-8)
- 第六組：(0,0) (1.5,-2) (3,-5) (4,-7) (4.5,-8)



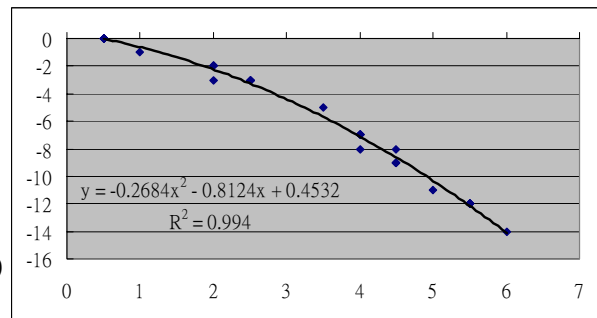
Y65 度的軌跡方程

- 第一組：(0,0) (1,-1) (2,-3) (3,-5) (4,-8)
- 第二組：(0,0) (1,-1) (2,-3) (3,-5) (4,-8)
- 第三組：(0,0) (1,-1) (2,-3) (3,-5) (4,-8)
- 第四組：(0,0) (1,8) (2,-3.5) (3,-5) (4,-8)
- 第五組：(0,0) (1,-1) (2,-3) (3.5,-7) (4,-8)
- 第六組：(0,0) (1,-1) (2,-3) (3,-5) (4,-8)



Y70 度的軌跡方程

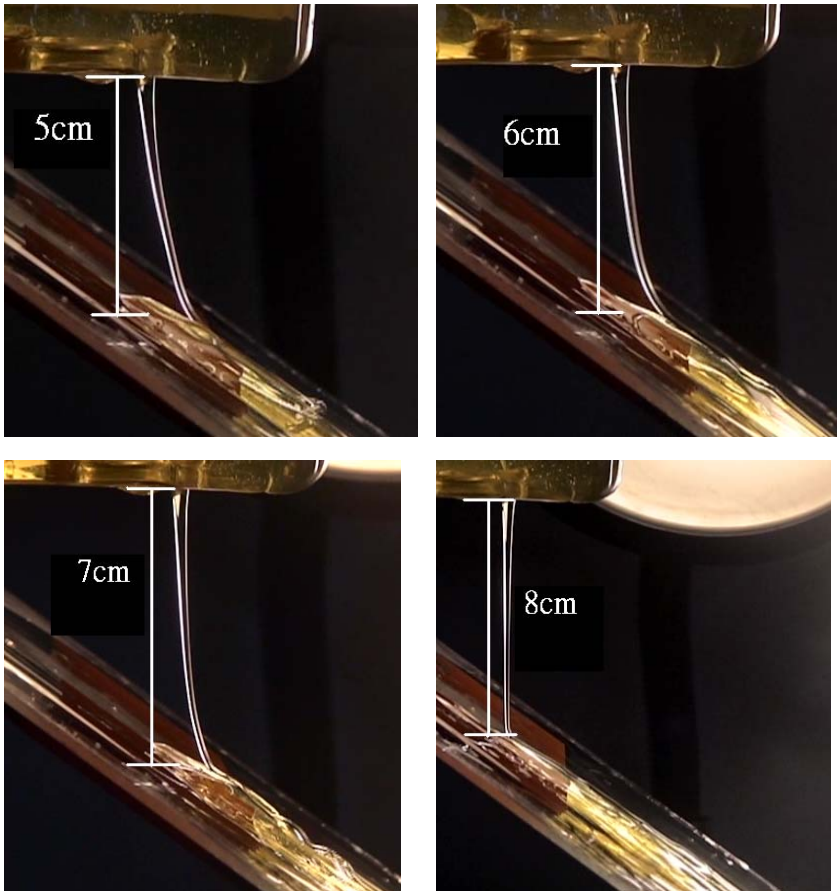
- 第一組：(0.5,0) (2,-3) (4,-8) (4.5,-9) (5.5,-12)
- 第二組：(0.5,0) (1,-1) (4,-7) (5.5,-12) (6,-14)
- 第三組：(0.5,0)(2,-2)(2.5,-3)(3.5,-5)(4.5,-8)
- 第四組：(0.5,0) (2,-2) (2.5,-3)(4,-7)(5.5,-12)
- 第五組：(0.5,0) (4,-7) (4.5,-9) (5,-11) (5.5,-12)
- 第六組：(0.5,0) (2.5,-3)(4,-7)(4.5,-8)(5.5,-12)



### 三、探討黏滯液體恢復係數與高度的關係

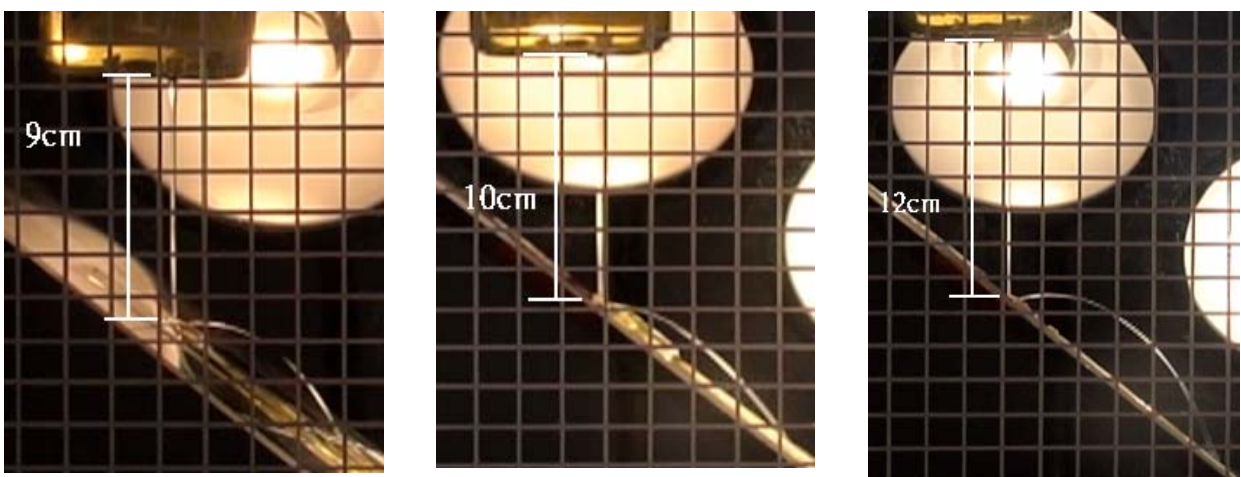
由於液體 Y 在 9 cm 之前不易產生彈跳效應，將結果分為 5~8cm 與 9cm~24cm 兩部分探討。

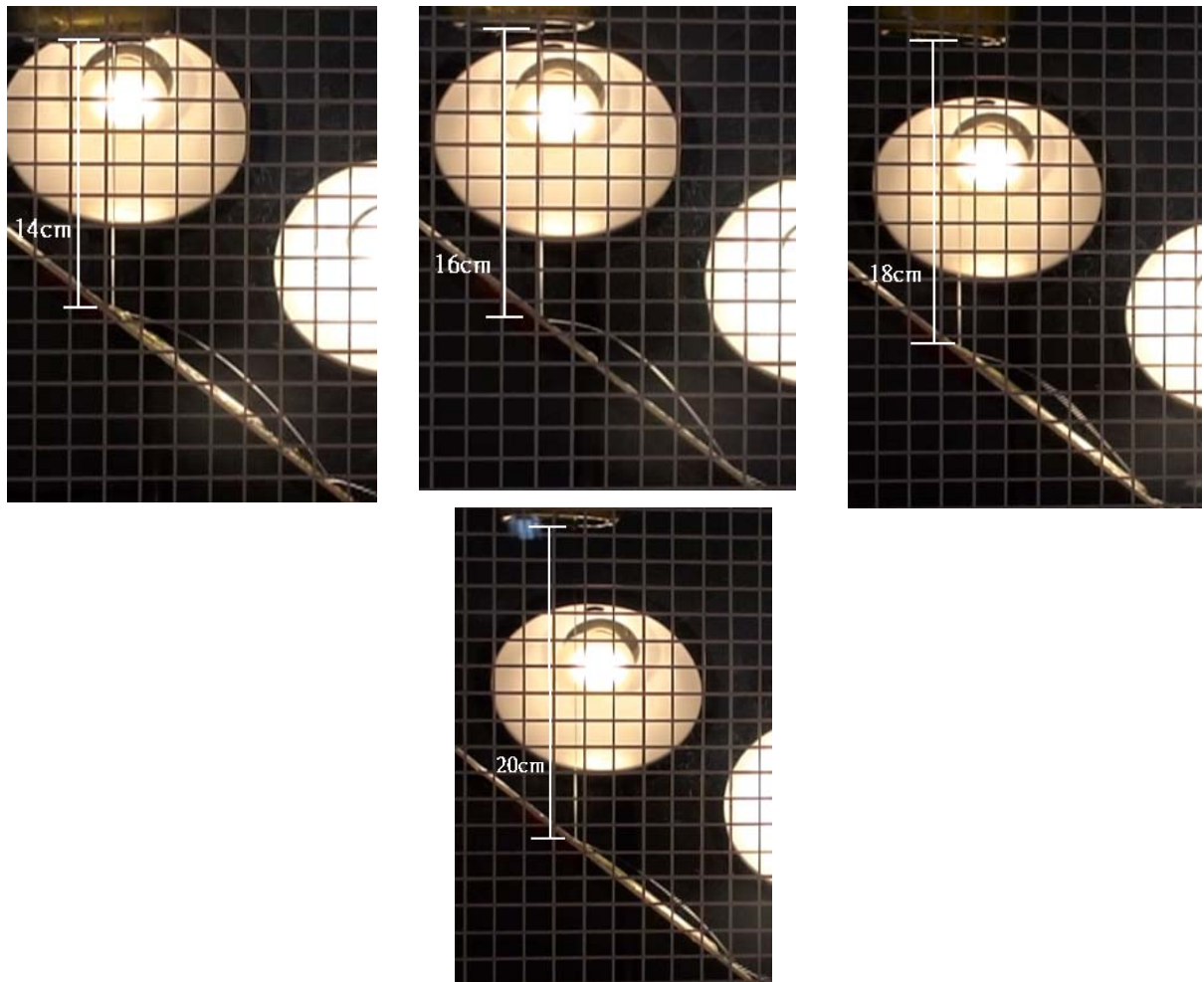
(一)液體 Y，斜板  $\theta = 40$  度，h：5 cm 到 8 cm 時的彈跳圖形



(圖十三) h：5 cm 到 8 cm 之實際照片

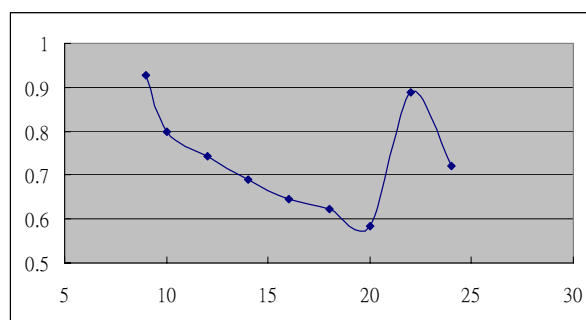
(二)液體 Y，斜板  $\theta = 40$  度，h：9 cm 到 24 cm





(圖十四)  $h : 9 \text{ cm}$  到  $20 \text{ cm}$  之實際照片

	9 cm	10 cm	12 cm	14 cm	16 cm	18 cm	20 cm	22 cm	24 cm
$e_1$	0.9282	0.7996	0.7437	0.6891	0.6442	0.6218	0.5837	0.8894	0.7201



(圖 3-2-1)高度  $h$  與  $e_1$  之關係圖

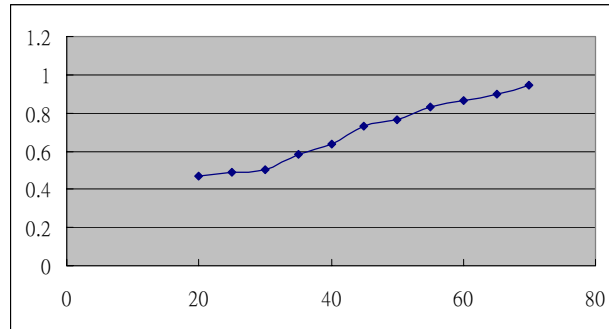
#### 四、探討黏度對彈跳時恢復係數的影響

(一) 液體 G， $h=20 \text{ cm}$ ，在不同角度斜板上的  $e_1$ 、 $e_2$

(表中所式為平均值，詳細數據見附錄二)

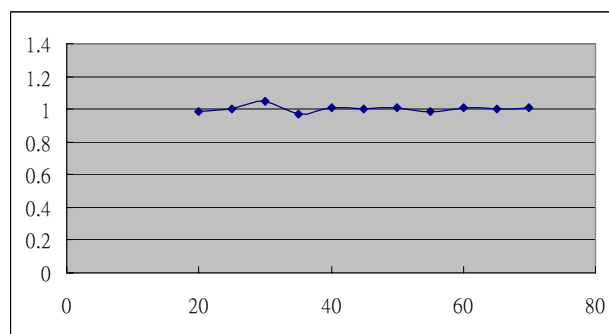
	20 度	25 度	30 度	35 度	40 度	45 度	50 度	55 度	60 度	65 度	70 度
$e_1$	0.4787	0.4869	0.5045	0.5812	0.6394	0.7295	0.7665	0.8282	0.8640	0.8994	0.9452
$e_2$	0.9862	0.9990	1.0493	0.9733	1.0100	1.0029	1.0094	0.9875	1.0125	1.0000	1.0121

(二) 液體 G， $h=20\text{ cm}$ ， $e_1$  對斜板  $\theta$  關係圖



(圖 4-2-1)

(三) 液體 G， $h=20\text{ cm}$ ， $e_2$  對斜板  $\theta$  關係圖



(圖 4-3-1)

(四)數據分析：

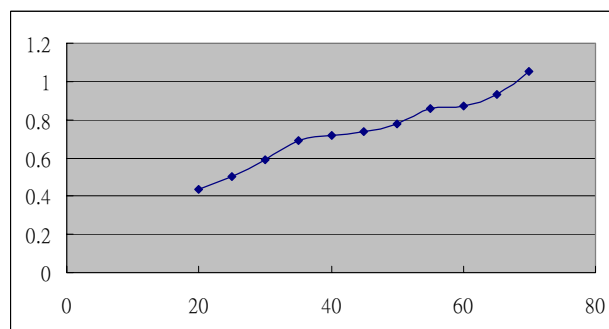
由圖表可知，於固定小孔高度下， $e_1$  與角度呈現正相關。  
而  $e_2$  卻不隨角度變化，其恢復係數幾乎為 1。

(五) 液體 P， $h=20\text{ cm}$ ，在不同角度斜板上的  $e_1$ 、 $e_2$

(表中所式為平均值，詳細數據見附錄三)

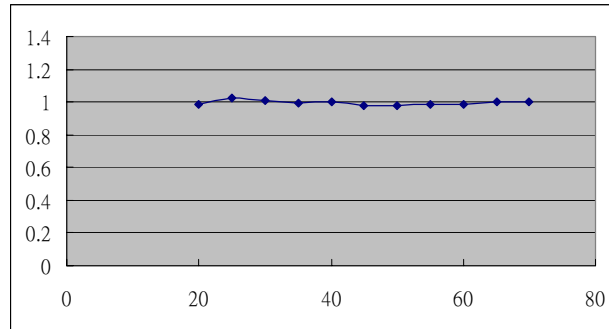
	20 度	25 度	30 度	35 度	40 度	45 度	50 度	55 度	60 度	65 度	70 度
$e_1$	0.4382	0.5004	0.5906	0.6921	0.7202	0.7393	0.7778	0.8577	0.8736	0.9319	1.0496
$e_2$	0.9874	1.0215	1.0086	0.9933	1.0002	0.9806	0.9809	0.9889	0.9875	1.0009	1.0013

(六) 液體 P， $h=20\text{ cm}$ ， $e_1$  對斜板  $\theta$  關係圖



(圖 4-6-1)

(七) 液體 P， $h=20\text{ cm}$ ， $e_2$  對斜板  $\theta$  關係圖



(圖 4-7-1)

(八)數據分析：

由圖表可知，於固定小孔高度下， $e_1$  與角度呈現正相關。而  $e_2$  卻不隨角度變化，其恢復係數幾乎為 1。

## 柒、實驗討論：

### 一、黏滯液體恢復係數與斜板 $\theta$ 之間的關係

經由實驗數據得知， $h$  為  $20\text{ cm}$  時，在  $20$  度到  $70$  度之間， $e_1$  隨  $\theta$  上升而增大；當  $\theta$  到  $70$  度時， $e_1$  近乎等於 1。而  $e_2$  不論  $\theta$  變化為何皆趨近於 1。

由〈參考原理 I〉Kaye effect 液體擊中平面後會產生一凹陷，由本次實驗的結果，可推測當角度越大時，液體產生的凹陷會越淺，亦即所受黏滯力的影響越少，恢復係數越接近 1，當角度大於某一值後，幾為彈性碰撞。這點由第二次彈跳入射角度都較第一次碰撞大，恢復係數都幾乎等於 1 可得驗證。

### 二、黏滯液體彈跳的軌跡方程與斜板 $\theta$ 之間的關係

實驗中的軌跡方程較質點的斜拋軌跡方程為低，表示流體彈跳後仍受重力以外的力量影響，此力量應為下方流體的黏滯力使飛行軌跡發生變化。

### 三、黏滯液體恢復係數與高度的關係

由實驗結果發現，介於  $5\text{ cm}$  到  $8\text{ cm}$  時，未發生彈跳效應。

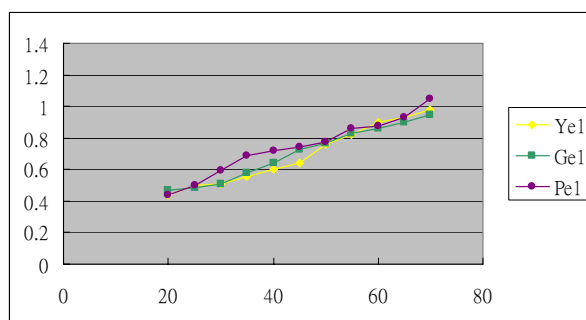
在  $9\text{ cm}$  到  $20\text{ cm}$  間液體的  $e_1$  隨高度上升而減少。而高度超過  $20\text{ cm}$ ，發現彈跳情況不穩定且出現次數較少。

因此我們推論，彈跳效應要在一定範圍的速度下才會發生，未達到臨界點最小值的速度將會產生如(圖十三)的現象，僅在斜板上流動，無法跳起。這點與參考原理中下落速度不夠大，無法發生彈跳效應的部份相呼應。

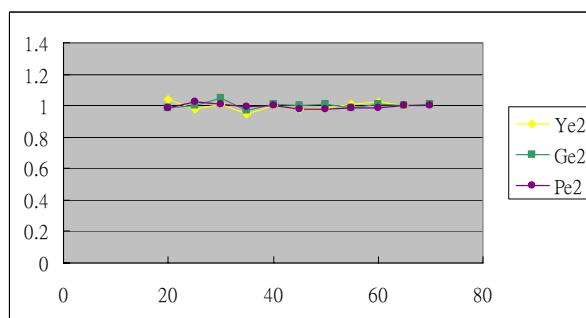
### 四、不同黏滯液體對恢復係數的影響

由(圖十五)，(圖十六)得知，不同黏度的三種液體，其  $e_1$  皆呈正相關，而  $e_2$  皆趨近於 1。因而我們推論在一定黏度範圍下，不同黏度液體對彈跳效應的影響不大，可能是因為市售洗髮精或沐浴乳濃度變化不大造成這種結果，或是因為原理中的當剪切速率加大時，黏度會減少，減少後的流體黏度皆相近。





(圖十五) 不同黏度的三種液體各角度下的  $e_1$



(圖十六) 不同黏度的三種液體各角度下  $e_2$

## 捌、實驗結論：

由本次實驗的結果，可推測當角度越大時，液體產生的凹陷會越淺，亦即所受黏滯力的影響越少，恢復係數越接近 1，當角度大於某一值後，幾為彈性碰撞。這點由第二次彈跳入射角度都較第一次碰撞大，恢復係數都幾乎等於 1 可得驗證。

另外，當流體下落的高度不足時，其剪切速率不夠，所以流體黏度仍大於正向力的影響，並不會產生彈跳效應。而在高度足夠時，由於落下流體較高的剪切速率，會造成所接觸流體的黏滯度減少，此時落下流體擊中平面時所受的反作用力的影響大於黏滯力的影響，而使流體彈射出去，形成漂亮的拱橋形狀。

當變換不同黏滯性的液體所產生的恢復係數  $e_1$ 、 $e_2$ ，差異並不大。原因是因為洗髮精等非牛頓流體，當其下液體擁有較高的剪切速率，使得液體的黏滯度減小，而與原本黏度不同。又因市售的洗髮精黏滯度差異不大，造成此實驗中黏度影響力不顯著。

## 玖、感想與展望：

在實驗設計方面，我們真是歷經了許多波折啊！從一開始在教室角落發現的塑膠盆、過期的塊狀沐浴乳，進化成高級壓克力盆和名牌洗髮精。原本平版上四處亂射的洗髮精令我們不知所措，嘗試了好幾個禮拜，才找到其跳躍在斜板上呈現拱橋形狀的現象。接著重複的測量、修改、紀錄雖然讓我們筋疲力盡。但因為有種種的考驗，使我們得到了自我分析實驗和互助合作解決問題的能力，換來的學習經驗比任何事都來的珍貴。

此次實驗是對黏滯液體彈跳的初步探討，數據分析使我們知道了流體速度與斜面角度與彈跳效應間的關係，但黏滯液體的彈跳機制除了受到高度、斜板  $\theta$  的影響，到底還與什麼因

素有關呢？使我們想進一步的將實驗做下去：

1. 使接觸面的摩擦係數改變，觀察其是否會影響彈跳效應
2. 將實驗裝置改良得以測得 70 度以上的恢復係數與軌跡方程
3. 調配不同黏度的液體找出產生彈跳效應臨界濃度的最大值及最小值

## 拾、參考資料及其他：

一、Written by MichelVersluis, CorBlom, Devarajvan der Meer, Kovan der Weele and DetlefLohse，

Leaping shampoo and the stable Kaye effect，Published 20 July 2006

二、褚德三編 高中物理(上)運動學及物理(下)碰撞與功能轉換、流體的性質 龍騰文化事業公司編印

### 附錄一 液體 Y 20 度至 70 度彈跳時的恢復係數

表 1.

Y20	R <sub>1</sub>	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	R <sub>2</sub>	1.4	1	0.6	0.6	1.1	1	1.1	1.1	1	1.3
	r <sub>1</sub>	1	1	1.2	1	0.9	0.9	1.4	1.1	1.3	1
	r <sub>2</sub>	0.8	1	1.1	1.1	0.9	0.7	1.3	1.3	1.2	1.2

表 2.

Y25	R <sub>1</sub>	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	R <sub>2</sub>	0.8	0.9	1	0.8	1	1	0.7	0.9	0.6	0.9
	r <sub>1</sub>	0.8	1	1	0.9	1	1.1	0.8	0.9	0.8	0.9
	r <sub>2</sub>	0.7	1	1.1	1	1	1.1	0.9	0.9	0.8	1

表 3.

Y30	R <sub>1</sub>	0.5	0.6	0.4	0.6	0.7	0.6	0.7	0.5	0.6	0.4
	R <sub>2</sub>	0.9	1	0.8	1.1	1.5	1.2	1.4	1.1	1.3	0.6
	r <sub>1</sub>	1.6	1.5	1.4	1.3	1.4	1.4	1.2	1.3	1.6	0.9
	r <sub>2</sub>	1.8	1.6	1.3	1.2	1.2	1.4	1.2	1.3	1.7	0.9

表 4.

Y35	R <sub>1</sub>	0.5	0.8	0.6	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.9	0.9
	R <sub>2</sub>	1	1.5	1.1	0.8	0.9	1.3	1.3	1.3	1.6	1.5
	r <sub>1</sub>	1	1.4	0.8	0.9	0.9	1.4	1.3	1.4	1.5	1.5
	r <sub>2</sub>	1.1	1.5	1.1	1	0.9	1.5	1.2	1.3	1.5	1.6

表 5.

Y40	R <sub>1</sub>	1	0.9	0.9	1	0.8	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8
	R <sub>2</sub>	1.7	1.5	1.6	1.6	1.3	1.5	1.5	1.3	1.3	1.3
	r <sub>1</sub>	1.5	1.8	1.6	1.5	1.4	1.5	1.5	1.3	1.4	1.4
	r <sub>2</sub>	1.5	1.6	1.7	1.5	1.4	1.5	1.5	1.4	1.5	1.3

表 6.

Y45	R <sub>1</sub>	0.9	0.8	0.7	0.8	1	1	0.8	0.8	0.8	0.7
	R <sub>2</sub>	1.4	1.3	1.1	1.2	1.5	1.6	1.2	1.3	1.2	1.1
	r <sub>1</sub>	1.3	1.2	1.2	1.1	1.5	1.4	1.2	1.3	1.2	1.2
	r <sub>2</sub>	1.3	1.2	1.2	1.2	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2

表 7.

Y50	R <sub>1</sub>	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1	1.1	1	1	1
	R <sub>2</sub>	1.6	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.4	1.3
	r <sub>1</sub>	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
	r <sub>2</sub>	1.6	1.5	1.4	1.4	1.5	1.4	1.5	1.4	1.4	1.3

表 8.

Y55	R <sub>1</sub>	1	1.1	1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1
	R <sub>2</sub>	1.2	1.4	1.2	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2
	r <sub>1</sub>	1.2	1.3	1.2	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3
	r <sub>2</sub>	1.2	1.3	1.2	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2

表 9.

Y60	R <sub>1</sub>	1.1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.2	1	1	1.1	1.1
	R <sub>2</sub>	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.2	1.2	1.1
	r <sub>1</sub>	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.2	1.3	1.3	1.2
	r <sub>2</sub>	1.3	1.3	1.3	1.4	1.3	1.4	1.2	1.2	1.2	1.2

表 10.

Y65	R <sub>1</sub>	1.2	1.3	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4
	R <sub>2</sub>	1.3	1.4	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5
	r <sub>1</sub>	1.3	1.4	1.4	1.5	1.3	1.4	1.5	1.2	1.2	1.4
	r <sub>2</sub>	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.4	1.4	1.2	1.3	1.4

表 11.

Y70	R <sub>1</sub>	1.2	1	1	0.9	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
	R <sub>2</sub>	1.2	1	1	0.9	1.3	1.3	1.4	1.3	1.4	1.4
	r <sub>1</sub>	1.2	1.1	0.9	0.9	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
	r <sub>2</sub>	1.2	1	0.9	0.9	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

附錄二 液體 G 20 度至 70 度彈跳時的恢復係數

表 1.

G20	R <sub>1</sub>	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6
	R <sub>2</sub>	1.1	1	1.3	1.2	1.1	1.2	1	1.1	1.3	1.2
	r <sub>1</sub>	1.1	1	1.2	1.1	1.2	1.3	1.1	1.2	1.5	1.3
	r <sub>2</sub>	1.1	0.9	1.3	1.2	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4	1.3

表 2.

G25	R <sub>1</sub>	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
	R <sub>2</sub>	1.2	1.2	1.3	1.3	1.1	1.4	1.5	1.5	1.4	1.5



	r <sub>1</sub>	1.1	1.2	1.2	1.6	1.3	1.5	1.6	1.7	1.6	1.6
	r <sub>2</sub>	1.1	1.3	1.2	1.6	1.3	1.5	1.6	1.7	1.6	1.5

表 3.

G30	R <sub>1</sub>	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6
	R <sub>2</sub>	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1	1.1	1.1	1.1	1.1
	r <sub>1</sub>	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.2	1.1	1.1	1
	r <sub>2</sub>	1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1	0.9

表 4.

G35	R <sub>1</sub>	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8
	R <sub>2</sub>	1.5	1.4	1.5	1.4	1.6	1.3	1.5	1.4	1.4	1.3
	r <sub>1</sub>	1.5	1.5	1.4	1.4	1.5	1.3	1.4	1.4	1.4	1.3
	r <sub>2</sub>	1.6	1.5	1.4	1.4	1.5	1.3	1.5	1.5	1.4	1.4

表 5.

G40	R <sub>1</sub>	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7
	R <sub>2</sub>	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1
	r <sub>1</sub>	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1	1.2	1.1	1.1
	r <sub>2</sub>	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1

表 6.

G45	R <sub>1</sub>	1.1	1.1	1	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.9	0.7
	R <sub>2</sub>	1.4	1.4	1.3	1.2	1.3	1.3	1.1	1	1.3	1
	r <sub>1</sub>	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.3	1.1	1.1
	r <sub>2</sub>	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1

表 7.

G50	R <sub>1</sub>	0.9	0.9	0.9	1.1	0.9	0.8	0.8	0.9	1	1
	R <sub>2</sub>	1.2	1.2	1.2	1.4	1.1	1.1	1.1	1.1	1.3	1.3
	r <sub>1</sub>	1.2	1.4	1.2	1.4	1.1	1.1	1.2	1.1	1.4	1.4
	r <sub>2</sub>	1.2	1.4	1.2	1.4	1.1	1	1.2	1.2	1.4	1.3

表 8.

G55	R <sub>1</sub>	1.3	1.4	1.3	1.2	1.3	1.2	1.1	1.3	1.2	1.2
	R <sub>2</sub>	1.5	1.6	1.6	1.4	1.6	1.5	1.3	1.6	1.5	1.5
	r <sub>1</sub>	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5	1.4
	r <sub>2</sub>	1.5	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.6	1.5	1.5	1.4

表 9.

G60	R <sub>1</sub>	1.2	1.2	1.1	1.3	1.1	1.4	1.3	1.4	1.4	1.4
	R <sub>2</sub>	1.4	1.4	1.3	1.5	1.3	1.6	1.5	1.6	1.6	1.6
	r <sub>1</sub>	1.5	1.4	1.3	1.5	1.4	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7
	r <sub>2</sub>	1.5	1.4	1.3	1.5	1.4	1.6	1.6	1.7	1.6	1.6

表 10.

G65	R <sub>1</sub>	1.3	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4
-----	----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

	R <sub>2</sub>	1.4	1.5	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5	1.4	1.6
	r <sub>1</sub>	1.5	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5	1.4	1.4	1.6
	r <sub>2</sub>	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6

表 11.

G70	R <sub>1</sub>	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.8	1.6	1.6	1.6	1.8
	R <sub>2</sub>	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.9	1.7	1.7	1.7	1.9
	r <sub>1</sub>	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.9	1.7	1.7	1.7	1.9
	r <sub>2</sub>	1.9	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	1.7	1.7	1.6	1.8

附錄三 液體 P 20 度至 70 度彈跳時的恢復係數

表 1.

P20	R <sub>1</sub>	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6
	R <sub>2</sub>	1.3	1.4	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.3	1.2	1.4
	r <sub>1</sub>	1.4	1.4	1.3	1.2	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3
	r <sub>2</sub>	1.4	1.4	1.4	1.2	1.4	1.4	1.5	1.2	1.3	1.4

表 2.

P25	R <sub>1</sub>	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.7
	R <sub>2</sub>	1.5	1.6	1.5	1.7	1.5	1.5	1.5	1.4	1.2	1.4
	r <sub>1</sub>	1.5	1.6	1.4	1.6	1.6	1.6	1.4	1.3	1.4	1.5
	r <sub>2</sub>	1.4	1.6	1.4	1.5	1.6	1.6	1.4	1.3	1.3	1.5

表 3.

P30	R <sub>1</sub>	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8
	R <sub>2</sub>	1.2	1.2	1.2	1.3	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4	1.4
	r <sub>1</sub>	1.3	1.4	1.4	1.5	1.3	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5
	r <sub>2</sub>	1.3	1.4	1.3	1.6	1.3	1.5	1.4	1.5	1.5	1.4

表 4.

P35	R <sub>1</sub>	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	1	0.8	0.8	0.8	0.9
	R <sub>2</sub>	1.2	1.2	1.3	1.2	1.3	1.5	1.2	1.1	1.2	1.4
	r <sub>1</sub>	1.4	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.4	1.4	1.2	1.4
	r <sub>2</sub>	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.4	1.5	1.2	1.4

表 5.

P40	R <sub>1</sub>	0.9	1.1	1.1	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	R <sub>2</sub>	1.2	1.5	1.4	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1	1.2	1.2
	r <sub>1</sub>	1.4	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.4	1.3
	r <sub>2</sub>	1.4	1.6	1.4	1.4	1.5	1.4	1.2	1.3	1.4	1.3

表 6.

P45	R <sub>1</sub>	0.9	1	0.9	1	1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	R <sub>2</sub>	1.2	1.4	1.2	1.4	1.4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	r <sub>1</sub>	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.4	1.3	1.5
	r <sub>2</sub>	1.5	1.3	1.4	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5	1.4	1.5

表 7.

P50	R <sub>1</sub>	1	1.1	1.1	1	0.9	0.9	1	1	1	1
	R <sub>2</sub>	1.3	1.5	1.5	1.2	1.2	1.1	1.3	1.3	1.3	1.2
	r <sub>1</sub>	1.4	1.5	1.5	1.5	1.3	1.5	1.3	1.3	1.3	1.3
	r <sub>2</sub>	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.6	1.4	1.3	1.4	1.5

表 8.

P55	R <sub>1</sub>	1.2	1.3	1.1	1.1	1.3	1.1	1.3	1.2	1.2	1.3
	R <sub>2</sub>	1.4	1.5	1.3	1.3	1.5	1.3	1.5	1.4	1.4	1.5
	r <sub>1</sub>	1.4	1.4	1.4	1.4	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6
	r <sub>2</sub>	1.5	1.4	1.3	1.4	1.6	1.6	1.5	1.6	1.6	1.5

表 9.

P60	R <sub>1</sub>	1.3	1.3	1.4	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	1.4	1.3
	R <sub>2</sub>	1.5	1.5	1.6	1.5	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6	1.5
	r <sub>1</sub>	1.4	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.6	1.4	1.4	1.5
	r <sub>2</sub>	1.4	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.6	1.4	1.4	1.6

表 10.

P65	R <sub>1</sub>	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.4	1.3
	R <sub>2</sub>	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.5	1.4
	r <sub>1</sub>	1.5	1.6	1.6	1.5	1.5	1.6	1.4	1.5	1.5	1.5
	r <sub>2</sub>	1.5	1.5	1.6	1.5	1.5	1.6	1.5	1.4	1.5	1.6

表 11.

P70	R <sub>1</sub>	1.5	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5	1.6	1.5
	R <sub>2</sub>	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.3	1.4	1.4	1.5	1.4
	r <sub>1</sub>	1.6	1.5	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.7	1.6	1.5
	r <sub>2</sub>	1.5	1.6	1.5	1.6	1.6	1.5	1.5	1.7	1.5	1.5

**【評語】** 040102

能參考相關文獻對 Kaye effect 加以探討。在理論分析和實驗探究方面仍有改進餘地。