

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

040111

臺北縣私立徐匯高級中學

指導老師姓名

張瑞育

作者姓名

莊道茂

目 次

壹、摘要	2
貳、研究動機	2
參、研究目的	2
肆、研究設備及器材	2
伍、研究過程及方法	4
陸、研究結果	7
柒、討論	11
捌、結論	15
玖、參考資料及其他	16
附錄	16

水是否有彈性—水在碰撞中的彈性研究

壹、摘要

本實驗是以探討剛體碰撞運動的方式來探討水碰撞後的彈性係數(coefficient of restitution)以及碰撞後的速度計算；以雷射光進行準直校準；數位攝影機進行拍攝，最後，以拋體運動、碰撞理論與及流體性質作為分析的依據。

計算出：

1. 水和剛體以及水與水碰撞的彈性係數皆 ≈ 0.47 ，並推測當超過單一水分子所組成的水和自然界中大部分物體碰撞時彈性係數皆等於水與水碰撞時所測得的數值。
2. 入射水柱初速與排開速率的比值 ≈ 3.48
3. 歸納出理論計算水與水碰撞後初速計算式

$$V_{\text{理論速度}} = 2 \cdot V_s \cdot \cos \beta + \Delta V \quad \text{即理論上碰撞後速度}$$

等於兩倍的入射速度的水平投影加上鉛直投影所造成的水平排開速度，利用此事可理論上計算水的彈性係數。

4. 利用彈性係數以及結論三的關係式可在理論上計算出碰撞後速度以及碰撞後反彈水滴的反彈角。

貳、研究動機

高中教材中未曾提及流體在碰撞時的情形，僅探討過剛體的碰撞運動。然而日常生活中，卻時常看到水碰撞的現象，例如打開水龍頭水柱衝擊水槽、下雨、消防隊員滅火……等，因而激起研究者的研究動機。

參、研究目的

- 一、主要研究目的是探討水與水以及水與剛體的彈性係數。
- 二、在研究水的彈性係數的同時，探討兩動量大小相同的水，在碰撞之後初速與碰撞前速度的關係。

肆、研究設備及器材

- 一、研究者設計製作之水對撞設備(見圖 4-1、圖 4-2)

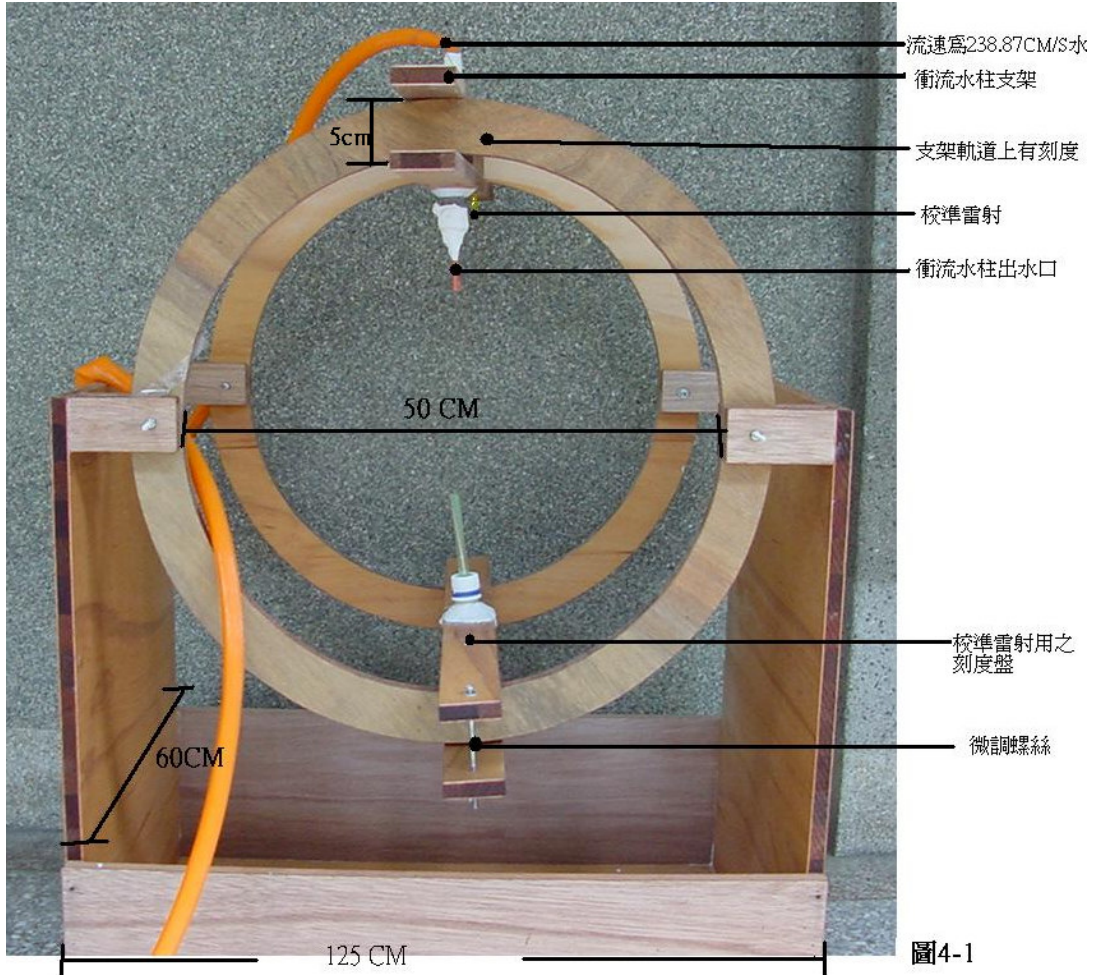


圖4-1

- 二、初速約為 238.87cm/s^{註1} 的水源
- 三、SONY Mavica 10X 6.0~60.0mm 數位影機
- 四、50cm*60cm 的鋼板(圖 4-3)



圖 4-2

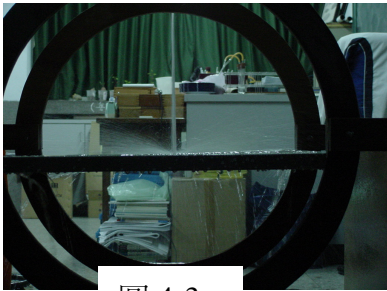
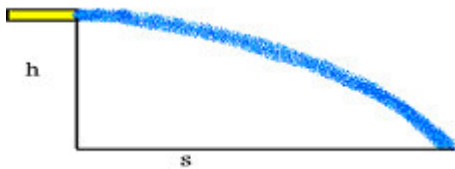


圖 4-3



註 1

如圖，s=87cm，h=65cm

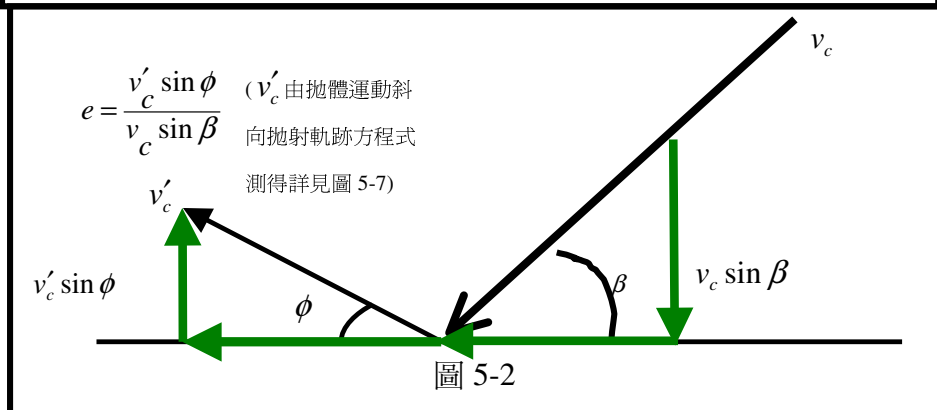
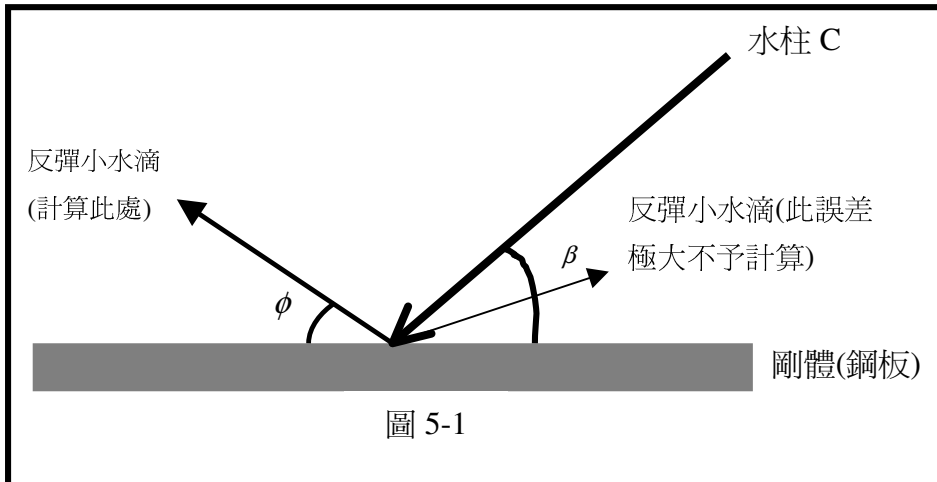
$$v_{s(source)} = \frac{s}{t} = \frac{s}{\sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}}} = s \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot h}} \text{ 得 } v_s = 238.87 \text{ CM/S}$$

伍、研究過程及方法

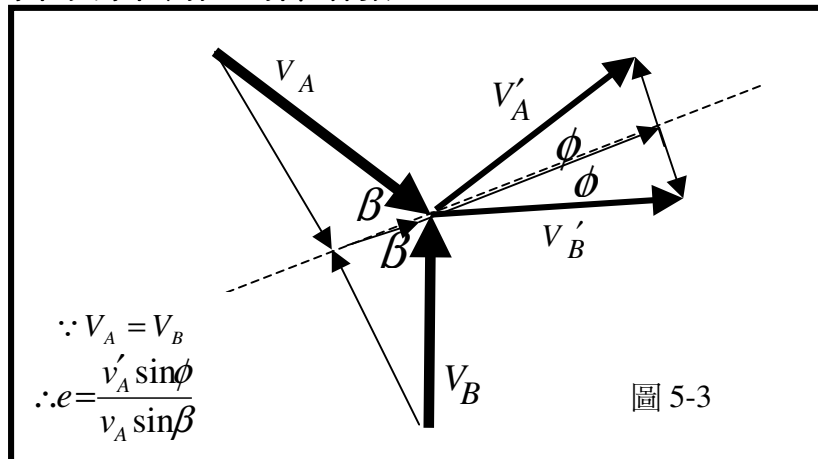
一、參考理論與應用

(一) 彈性係數的測量

1. 水柱與剛體碰撞之彈性係數



2. 水柱與水柱對撞之彈性係數



(二) 水柱與水柱碰撞後初速

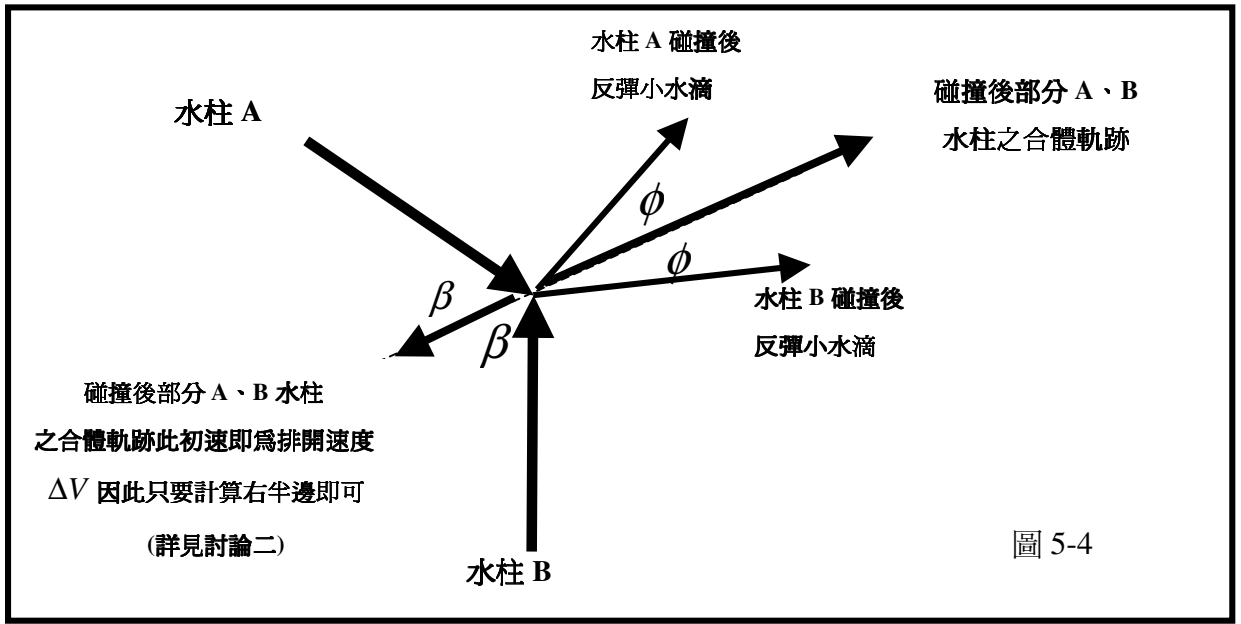
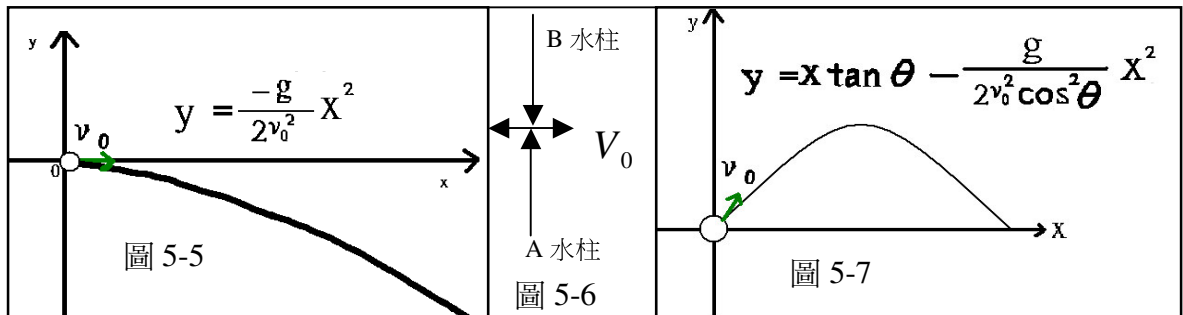


圖 5-4

1. 水平拋射應用於本實驗：

$$y = \frac{g}{2} \cdot \left(\frac{x}{v_0} \right)^2 \quad \therefore v_0 = \sqrt{\frac{g}{2} \cdot \frac{x^2}{y}}$$

用以計算兩水柱正向對撞後合體初速(見圖 5-5、圖 5-6)



2. 斜向拋射應用斜向對撞後計算合體初速

(見圖 5-4、5-7)以及水與剛體碰撞時計算反彈小水滴的初速(見圖 5-2)。

初速 v_0 斜角 θ 拋出

$$y = x \cdot \tan \theta - \frac{g}{2} \cdot \left(\frac{x}{v_0 \cos \theta} \right)^2 \Rightarrow \frac{g}{2} \cdot \left(\frac{x}{v_0 \cos \theta} \right)^2 = x \cdot \tan \theta - y$$

$$\Rightarrow \frac{x^2}{v_0^2 \cos^2 \theta} = \frac{2}{g} (x \cdot \tan \theta - y) \Rightarrow v_0^2 = \frac{x^2}{\cos^2 \theta \cdot \frac{2}{g} (x \cdot \tan \theta - y)}$$

$$\Rightarrow v_0 = \frac{x}{\cos \theta} \cdot \sqrt{\frac{g}{2} \cdot (x \cdot \tan \theta - y)}$$

(三) 流體性質在本研究中的應用：

- 1.液體可以承受垂直於其表面的縱向力，但無法抵抗平行於其表面的橫向力(或稱為剪力)。這是因為液體具有流動的特殊性所致。
- 2.理想穩流體具有下列特性：
 - (1) 沒有粘滯性
 - (2) 速率和壓力不隨時間而變
 - (3) 不會轉動
 - (4) 不可壓縮性

二、實驗方法與步驟

(一)水柱與剛體碰撞實驗

1. 將 C 水柱換成扁水管開口換成橢圓，使 C 水柱為扁水柱水柱初速 477.10cm/s 。
- 2.將 C 水柱移至軌道 180° 角處(如圖 5-9)，將鋼板固定於環行軌道之內，以木工用之水平儀校準使之與地平面保持水平(如圖 5-10)；以雷射校準水柱使兩水柱完全對準。
- 3.C 水柱在軌道位置 180° 處開始時 以 15° 為單位依次下旋，每 15° 為一組，至 15° 為止共六組，以數位相機拍攝以待分析。

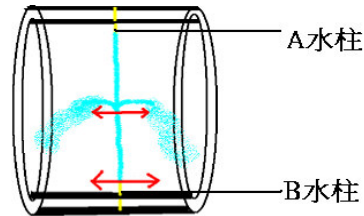


圖 5-8

(二) 水柱對撞實驗

- 1.將 B 水柱移至軌道 0° 角處(如圖 5-9)，並開啓水源如(圖 5-8)；以雷射校準水柱使兩水柱完全對準。
- 2.B 水柱在軌道位置 180° 處開始時以 15° 為單位依次下旋，每 15° 為一組，至 90° 為止共七組，B 水柱始終固定於軌道位置 0° 處。在環境因子穩定情況下，以數位相機拍攝以待分析。

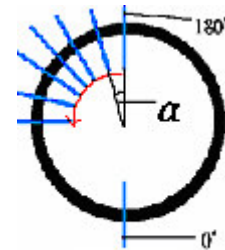


圖 5-9

注意 1. 時時留心衝流水柱之壓強是否穩定，特別是攝影時注意當下碰撞後運動軌跡的穩定性。

注意 2. 水柱需相互對準以穩定運動軌跡。

(三) 數據的取得與分析

1. 彈性係數

- (1) 拍攝誤差 $< 10\%$ 的照片
- (2) 將照片放大並附上有方格的塑膠片以描點最後轉繪至方格紙
- (3) 描點並測量其最接近碰撞後期接近中期初速的分量(見圖 5-3)

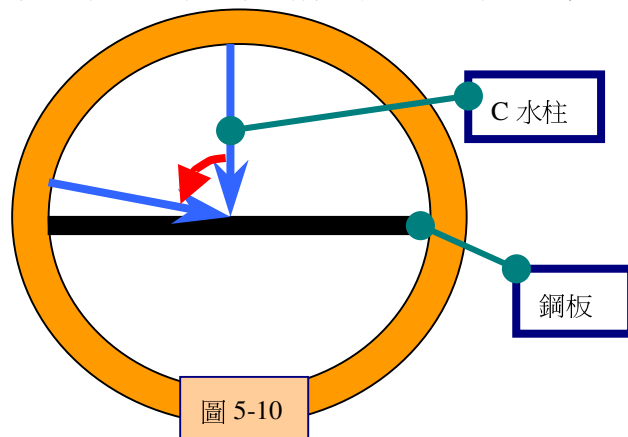


圖 5-10

(4)算出 e 值

2.碰撞後速度

(1)拍攝誤差 < 10%的照片

(2)將照片放大並附上有方格的塑膠片以描點最後轉繪至方格紙

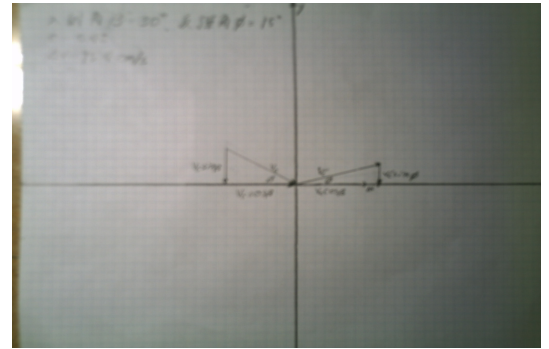
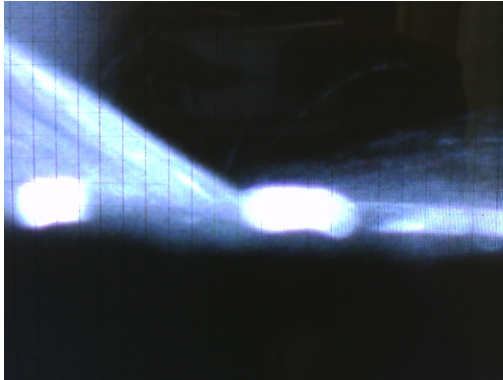
(3)以拋體運動中計算落體軌跡的方法，描繪碰撞後運動軌跡座標帶入拋體運動軌跡方程式求碰撞後初速度

陸、研究結果

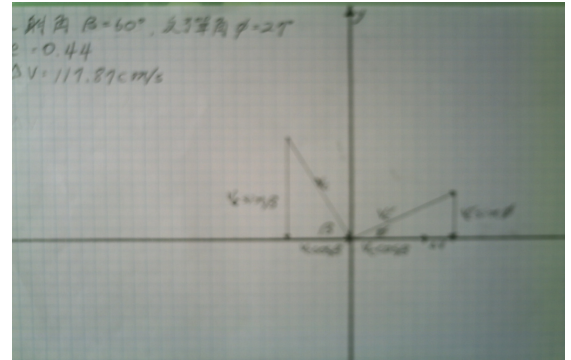
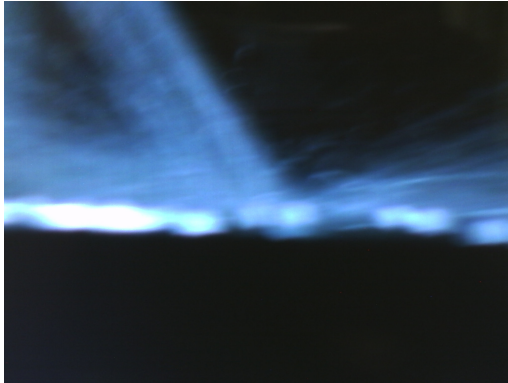
用 SONY MVC-CD100 數位相機拍攝

一、 水柱與剛體碰撞實驗

(一) 檔名 PICT0003: C 水柱軌道位置 120° (C 水柱入射角 30° ，曝光+2ev，焦距 2.8m，放大 40 倍)

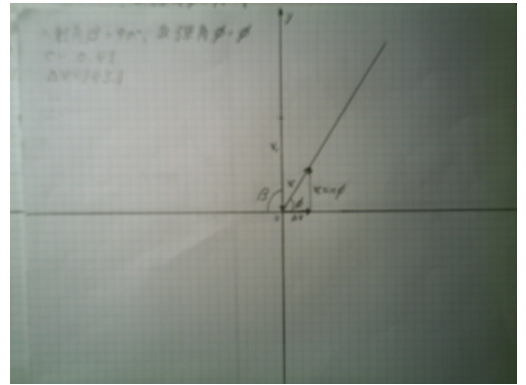
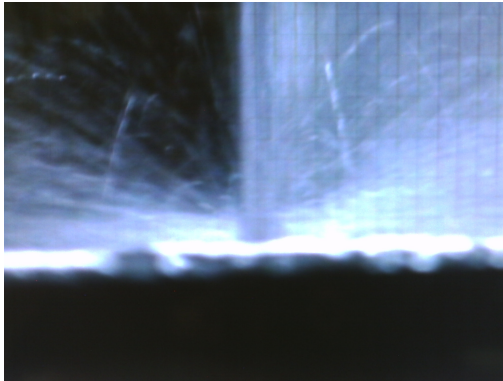


(二) 檔名 PICT0207: C 水柱軌道位置 150° (C 水柱入射角 60° ，曝光+2ev，焦距 2.7m，放大 40 倍)



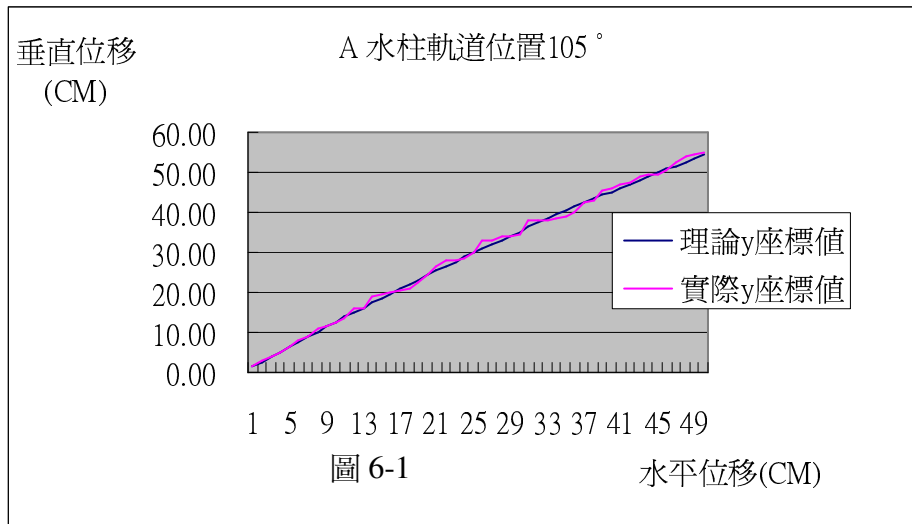
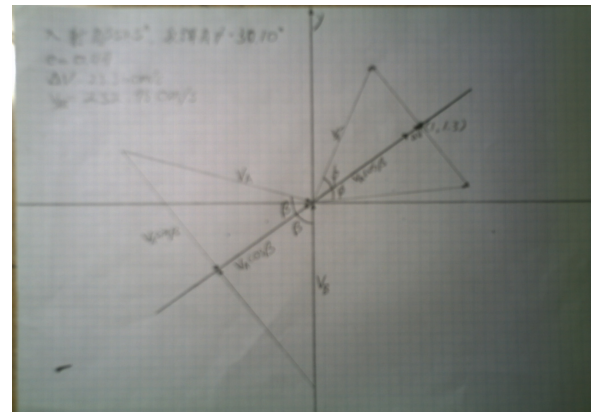
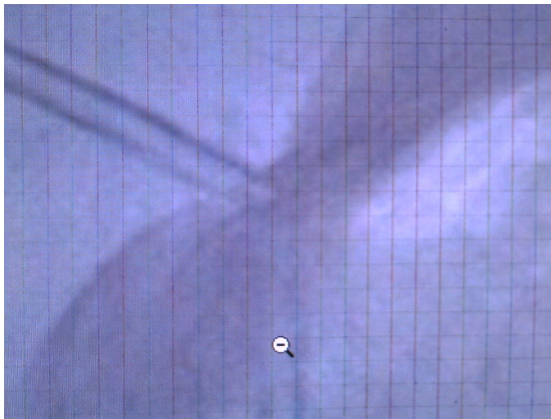
(三) 檔名 PICT0401: C 水柱軌道位置 180° (C 水柱入射角 90° ，曝光+2ev，

焦距 2.8m，放大 10 倍)



二、 水柱對撞實驗

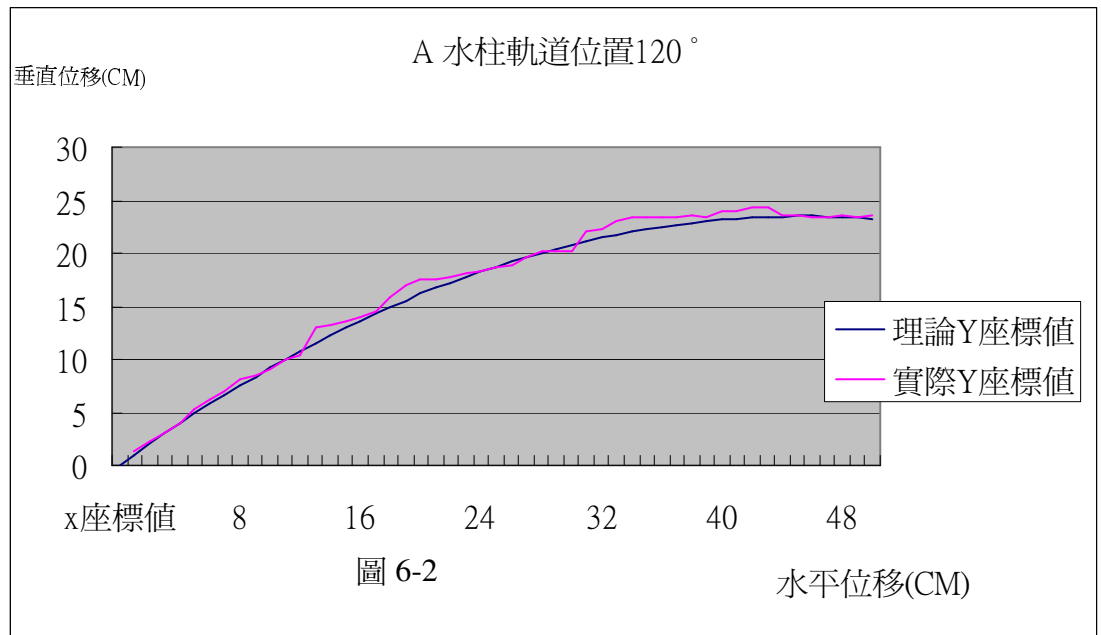
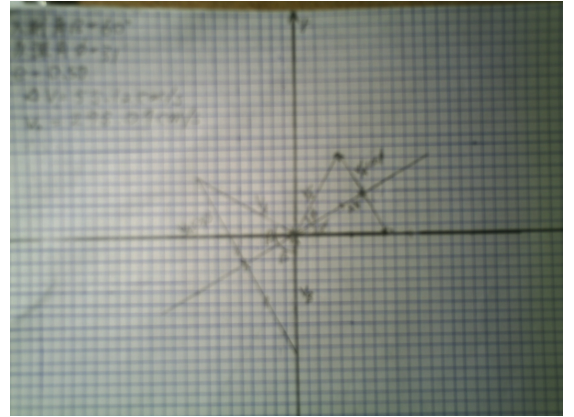
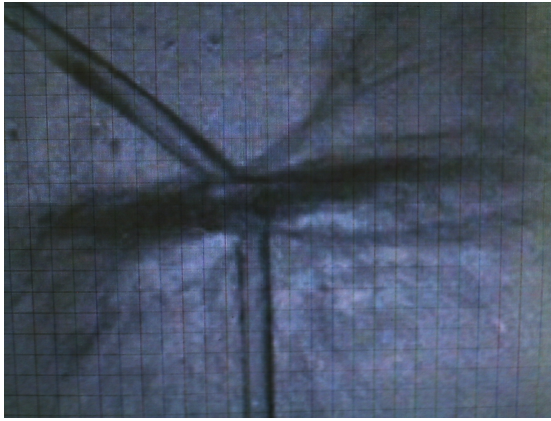
(一) 檔名 DSC00098:C 水柱軌道位置 105°(A 水柱入射角 15°，曝光+2ev，
焦距 2.6m，放大 40 倍)



(詳細數據請見附錄)

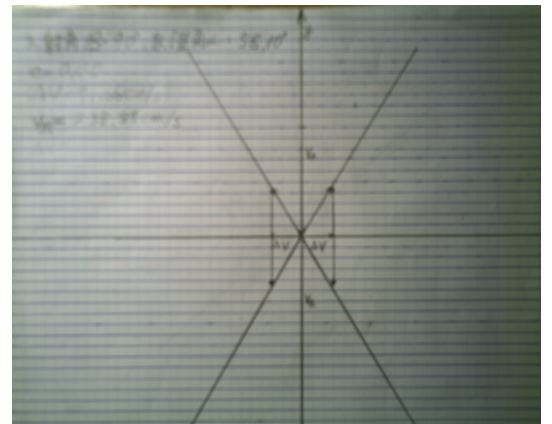
(二) 檔名 DSC 00136:C 水柱軌道位置 120°(A 水柱入射角 30°，曝光+2ev，

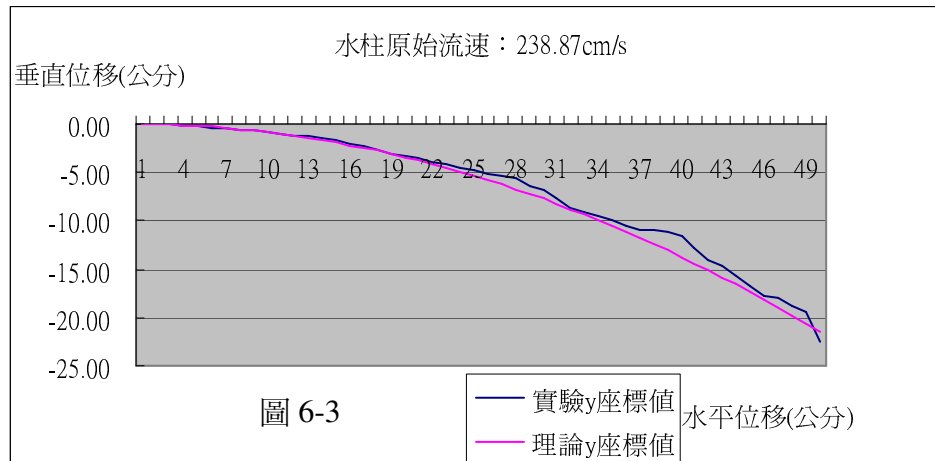
焦距 2.6m，放大 40 倍)



(詳細數據請見附錄)

(三) 檔名 DSC00029：C 水柱軌道位置 180° (A 水柱入射角 90° ，曝光 +2ev，焦距 2.7m，放大 10 倍)





(詳細數據請見附錄)

三、 實驗數據

(一) 水柱與鋼板碰撞

彈性係數平均值 $\approx 0.46 \approx$ 理論計算值

檔案編號	PICT0003	PICT0207	PICT0401
入射角 β	30°	60°	90°
反彈角	15°	27°	58°
c 水柱軌道位置	120°	150°	180°
實際彈性係數	0.48	0.44	0.47
理論碰撞後反彈小水滴初速值(cm/s) $V'_c \cos\phi = V_c \sin\beta + \Delta V$ 註 2	493.31	385.35	267.18
實際碰撞後反彈小水滴初速值(cm/s)	501.22	401.05	277.2
誤差%	1.61	4.07	3.75
理論修正值 ΔV (cm/s)	95.4	117.87	143.10

(二) 水柱與水柱碰撞

彈性係數平均值 $\approx 0.47 \approx$ 理論計算值

檔案編號	DSC 00098	DSC 00136	DSC 00029
入射角 β	52.5°	60°	90°
反彈角 ϕ	30.10°	31.00°	58.10°
A 水柱軌道位置	105°	120°	180°

註 2 各參數見 7-3， ΔV 計算方法見討論一

實際彈性係數	0.44	0.50	0.47
理論碰撞後合體初速值(cm/s)	232.75	298.07	68.71
$V_{\text{理論速度}} = 2 \cdot V_s \cdot \cos\beta + \Delta V^{\text{註}^3}$			
實際碰撞後合體初速值(cm/s)	234.54	300.21	69.75
誤差%	0.77	0.72	1.51%
理論修正值 ΔV (cm/s)	23.36	55.12	71.66

柒、討論

一、水柱與剛體碰撞

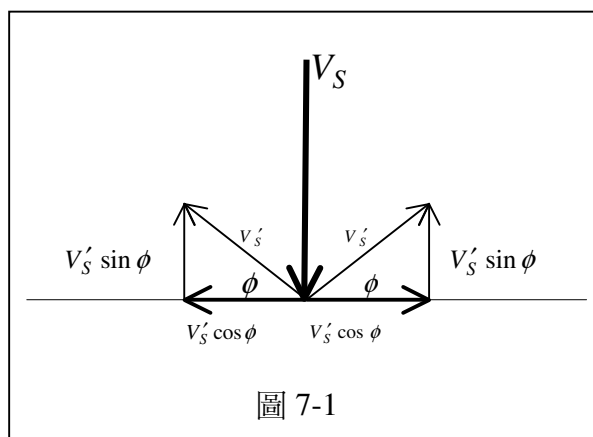
(一) 實驗方法

1. 為測量水的彈性係數，設鋼板為剛體，使水和鋼板進行碰撞。
2. 本實驗以水柱進行碰撞，對於碰撞後的水而言會被施予壓力而僅少部分接近水柱表面的水能反彈，為使水反彈的現象更為明顯，研究者將圓水柱改為截面橢圓的扁水柱，相較圓水柱將有更多的水更接近表面而反彈，使測量更為精確。

(二) 碰撞後初速

1. 發現

根據實驗數據(見檔案編號 PIC0401 數據)研究者發現，和鋼板正向碰撞後的水會有速度 V'_s ，其特別之處在於因研究者所使用的為一水柱，其後不斷有水柱造成壓強，因此在碰撞後有受壓力應無法反彈，但研究者發現接近水柱表面的水因受壓不均勻會撞到鋼板表面水平散射的一層水膜而反彈。



2. 推測原因

1. 將水柱簡化成如圖 7-2 每一小圓皆是一小水滴，根據流體性質 1. 液體可以承受垂直於其表面的縱向力，但無法抵抗平行於其表面的橫向力(或稱為剪力)。這是因為液體具有流動的特殊性所致。2. 流體在碰撞時，其能量會消耗在使其本身分裂成更小更小的水滴。根據以上兩點可知，水在碰

註³ 各參數見 7-5， ΔV 計算方法見討論二

撞時所分裂的小粒子會滯留堆積在碰撞面上，並被後續粒子迅速推擠排出。

2. 正向碰撞中所得到的數據初速 V_s ^{註4} 和其排開速度 $V'_s \cos \phi$ (見圖 7-1) 之比值 V_s :

$V'_s \cos \phi$ 固定，因此當水柱和剛體斜向碰撞時入射速度 V_c ^{註5} 鉛直投影量和其本身的排開速度的比值 $V_s : V'_s \cos \phi = V_c \sin \beta : \Delta V \approx 3.5$ 而可得 ΔV ，因為若入射水柱之流速越大其排開速度也就越大，只要其幾何形狀相似則比值是一定的。其可作為研究者在理論上計算與計算碰撞後軌跡的實際初速時，兩者誤差的修正值。

(三) 彈性係數

1. 擠出後的水會在鋼板上鋪上一層薄薄的水膜如圖 7-2 的黃色小水滴，這時，後到的水會撞擊到此層膜面，而接近水柱表面的水(圖 7-2 紅色小水滴)因 1. 受壓 2. 有水平排開速度 $V'_s \cos \phi$ (見圖 7-2 因受黃色等接近水柱中央的小水滴推擠而能向外彈出)。因此，若以水撞自然界中大部分物體所測量到的**彈性係數**應皆等於水與水碰撞後的**彈性係數**，由實驗數據可驗證這一點。

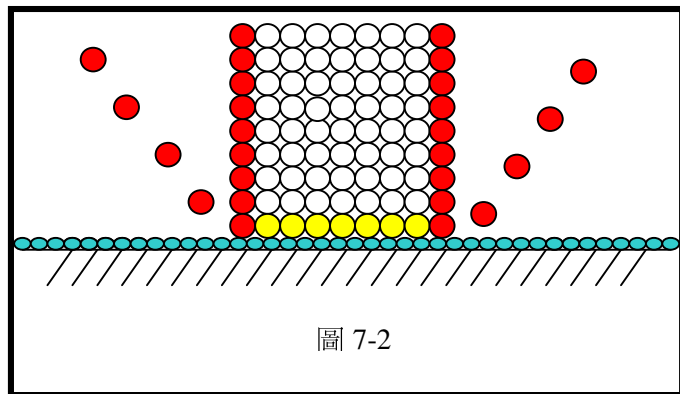


圖 7-2

2. 單純剛體碰撞並不會產生排開速度，但本實驗是流體，所以當以計算固體的

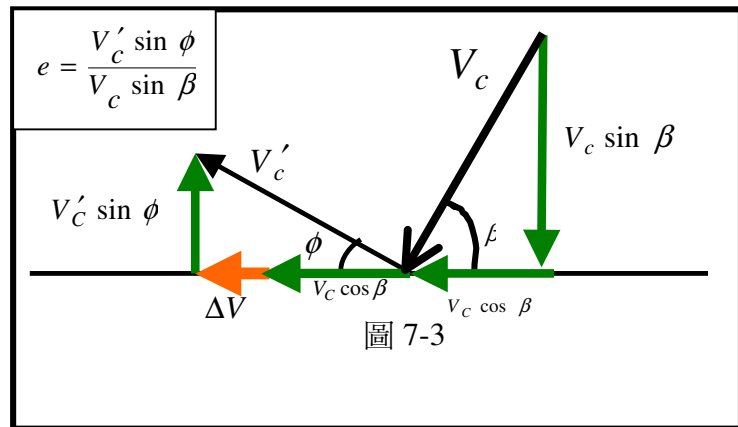


圖 7-3

方式計算水與剛體的斜向碰撞時 $V'_c \cos \phi$ 將大於 $V_c \cos \beta$ 從實驗數據也可看出需要 ΔV 作為測量彈性係數時的修正值(見圖 7-3)，斜向碰撞時水平速度應修正為 $V'_c \cos \phi = V_c \cos \beta + \Delta V$ ^{註6}。此時用於理論上^{註7}

註4 V_s 為水柱流速=477.10cm/s

註5 $V_c = C$ 水柱入射速度=477.10cm/s

註6 以 ΔV 代表本研究中水柱碰撞後的排開速度值

計算**彈性係數**的垂直速度 $V'_c \sin \phi$ 才是正確的。

3.利用此方法所計算的彈性係數，幾乎等於利用軌跡方程式實際測量出的 V'_c 所算出的彈性係數值 ≈ 0.46 。

二、水柱與水柱碰撞

(一) 實驗方法

在做完水與剛體的碰撞後，研究者推測當水的組成是超過一個水分子時，在碰撞中先至的水因不能反彈於是形成一薄膜於物體上因此彈性係數應和水與水撞時相同因而設計此實驗以驗證假設。

(二) 碰撞後初速

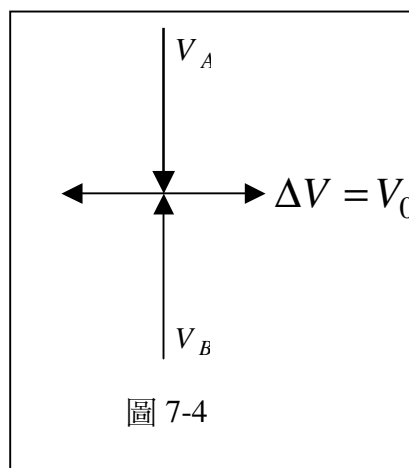
1. 發現

在此實驗中發現了下列幾點：

(1) 在此實驗中測得的彈性係數與剛體碰撞時幾乎相同，誤差小於 1%，驗證了討論一的推論。

(2) 在兩水柱正向對撞時會有 ΔV (排開速度)出現，情形和與剛體碰撞相同。

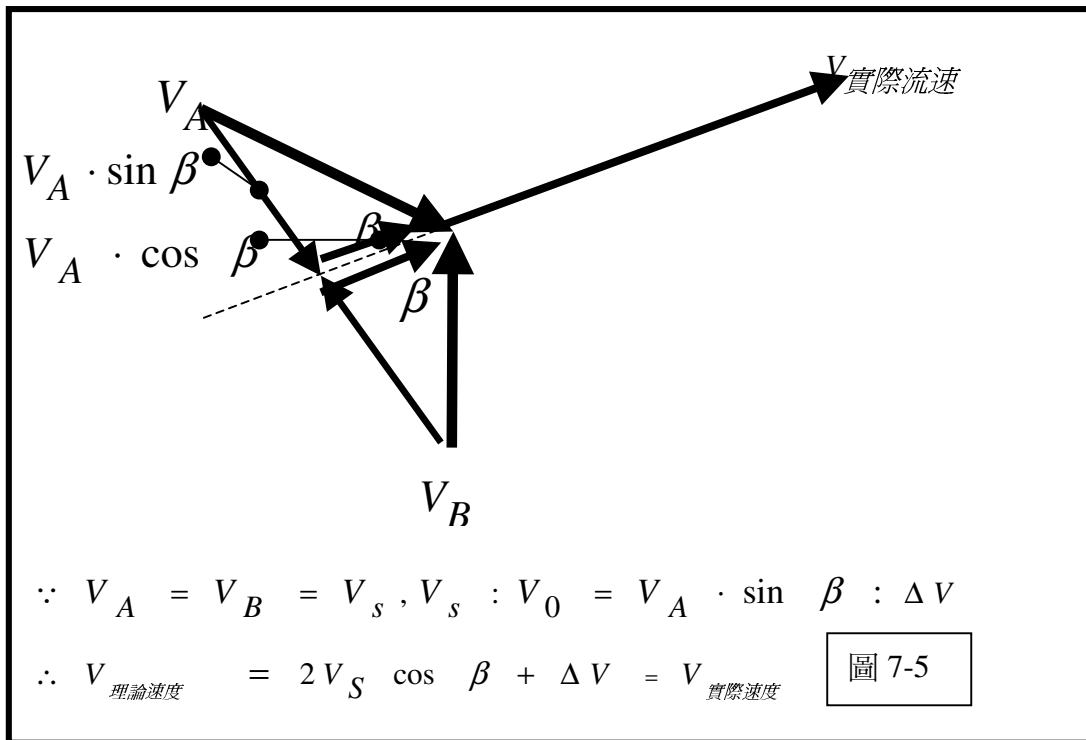
(3) 利用兩水柱的斜向碰撞數據，計算彈性係數時水平速度同樣也應修正為 $V'_A \cos \phi = V_A \cos \beta + \Delta V$ 。此時用於計算彈性係數的垂直速度 $V'_A \sin \phi$ 才是正確的。



2. 推測原因

(1) 根據實驗數據(見檔案編號 DSC 0029)研究者發現以水柱和水柱碰撞時情形是和水柱與剛體碰撞時相同的，唯一不同點是鋼板以利一水柱取代，因此發現碰撞後初速的計算未加上 ΔV (排開速度)則實際計算軌跡所得的 $V_{\text{實際初速度}} > V_{\text{理論初速度}}$ ，因此理論計算時是需要加上 ΔV 作為修正值的。

(2)水與水碰撞實驗 ΔV 理論計算值修正方法：



初速 V_s (source) 是和正向碰撞後排開速度 V_0 成固定比例的，此比值約為 3.48。得關係式： $V_s : V_0 = V_s \cdot \sin \beta : \Delta V$ 而可得 ΔV (見圖 7-5)。左式為正向碰撞實驗中的排開速度 v_0 ，右式 ΔV 則是斜向碰撞實驗中 V_s 的垂直分量(排開速度)。因此可得一理論計算式

$$V_{\text{理論初速度}} = 2 \cdot V_s \cdot \cos \beta + \Delta V$$

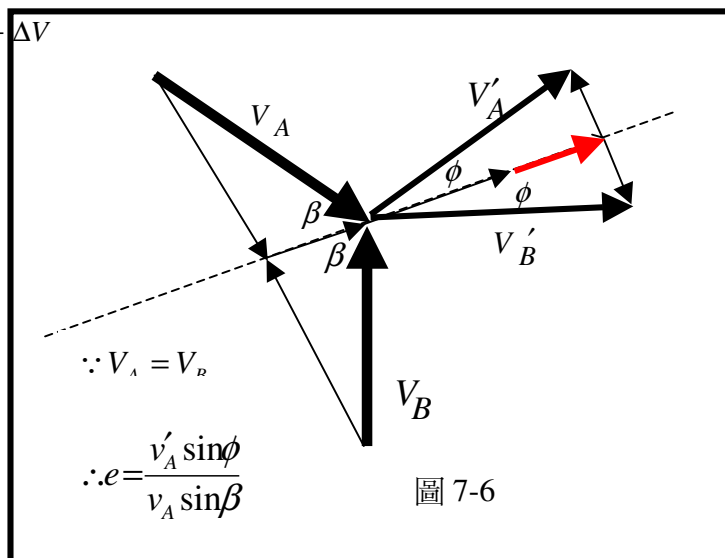
此修正過的理論初速度和實際軌跡測得的速度 < 誤差。

(三) 彈性係數

理論計算方法如同水柱與剛體碰撞時一般須以 ΔV 作為的修正值見圖 7-6，理論計算^{註 8}

時 V'_A 水平投影

$V'_A \cos \phi = V_A \cos \beta + \Delta V$ ，修正過的理論值約等於實際值 ≈ 0.47 。



^{註 8} 實際 v'_A 由拋體運動軌跡方程式算出(見圖 5-7)

三、環境因子對本實驗的影響：

影響本實驗的環境因子，主要有兩端水源的壓強，以及兩衝流水柱是有對準。關於前者，因研究者使用水源為學校水源水塔供給；因此實驗過程需留心其壓強是否改變，因若壓強不一，則碰撞後無法產生一穩定碰撞軌跡。如此，描點數據就會有極大的誤差。至於後者，研究者是以雷射光進行校準，以減少誤差；同時為克服環境因子所造成的誤差，研究者以數位相機進行拍攝，可即拍即看立即修正因此在描點時，只取環境因子穩定時的照片，研究者擷取了一千張五百多張的照片僅精選 6 張系統誤差 < 2% 的照片。

捌、結論

一、研究結論

綜合整個研究，研究者得出以下的結論：

1. 超過單一水分子所組成的水和剛體碰撞時彈性係數 ≈ 0.47 ，約等於水和水碰撞所測得的彈性係數，兩者誤差 $0.02\% < 10\%$ ，並推測當超過單一水分子所組成的水和自然界中大部分物體碰撞時彈性係數皆等於水與水碰撞時所測得的數值。
2. 入射水柱初速與排開速度的比值 ≈ 3.48 。
3. 理論計算水碰撞後初速計算式

$$V_{\text{理論速度}} = 2 \cdot V_s \cdot \cos \beta + \Delta V \quad (V_s \text{ 爲入射水柱速度，} \beta \text{ 爲}$$

入射角， ΔV 爲排開速度) 利用此式可理論上計算出水碰撞後的彈性係數。

4. 利用彈性係數以及結論三的關係式可在理論上計算出碰撞後速度以及碰撞後反彈水滴的反彈角。
5. 本研究可應用於噴漆方法的改良、噴墨印表機的印刷方式改良、噴射引擎中液態燃料的點燃方式、以及有關流體碰撞的其他情形……等。

二、未來研究方向及展望

1. 本研究在有限的的能力下研究者發現有以下幾點：
 - (1) 利用傅利葉分析，可以把散射水膜上的微擾，分解成不同波長水波組合。
 - (2) 可利用波函數分析週期波，並以重疊作用的正弦波解釋之。
 - (3) 研究並歸納出在何種因素下會產生何種週期波。

在寒冬中，走過無數個清晨，挨著四處飛濺的水花，研究者都是在實驗室裡，

穿著雨衣像傻子般的度過，支持研究者的是欣賞這自然界中，奧妙的神秘現象。不管是在推導理論時還是實驗室中，研究者帶著純物理的眼光看著這些美好的現象——被發現、討論、賦予意義。也因此，研究者決定要繼續往下深入研究、探索，並以之為一生的志業。

玖、參考資料及其他

(依作者或編者筆劃排列)

《科學中的數學方法》，新竹：凡異出版社。

Wolfson, Richard, Jay M. Pasachoff, *Physics with Modern Physics for Scientists and Engineers*, 2nd ed. New York: HarperCollins College Publishers, 1995.

休伊特(Paul G. Hewitt)著，師明睿譯，《觀念物理 III：物質三態·熱學》(*Conceptual Physics: The High School Program*, 3rd ed.) 台北：天下遠見出版公司，2001。

李祥編著，《流體力學觀念剖析》(上冊)台北：鼎茂圖書公司，1993。

李祥編著，《流體力學觀念剖析》(下冊)台北：大碩出版社，1992。

杜先智，《數學在中學物理中的應用》台北：九章出版社，1994。

沃克(Jearl Walker)著，葉偉文譯，《物理馬戲團 I—Q & A》(*The Flying Circus of Physics with Answers*)台北：天下文化，2000。

庫立誥(I. G. Currie)著，陳皇鈞譯，《流體力學》台北：曉園出版社，1985。

張仁昌、劉國棟、劉怡君編撰，林明瑞主編，《高級中學物質科學物理篇》(上)(下)，修訂版，台南：南一書局，2003。

盛博納著，行政院國家科學委員會科普文章—水波。

莫特(Robert L. Mott)著，徐瑞堂、徐貴新、陳鴻輝、劉張源編譯，《流體力學》(*Applied Fluid Mechanics*, 4th ed., 1994)再版，台北：高立圖書公司，1998。

陳慶芳編者，流體力學概論，徐氏基金會出版。

費因曼(Richard P. Feynman)著，陳順強編譯，《費因曼物理學》第二部下冊，再版。新店：徐氏文教基金會，2001。

費曼(Richard P. Feynman)著，師明睿譯，《費曼的6堂Easy物理課》(*Six Easy Pieces: Essentials of Physics Explained by Its Most Brilliant Teacher*) 台北：天下遠見出版公司，2003。

楊介信、張大同主編，《中學物理實驗大全》新竹：凡異出版社，1997。

褚德三、沈青嵩、蔡尚芳、蔣亨進、楊樹基、簡麗賢編著，褚德三主編，《物質科學物理篇》(上、下)，龍騰文化公司，2003。

附錄

一、A 水柱軌道位置 180 度(入射角 $\beta 90^\circ$)

單位：公分(cm)

x 座標值	實驗 y 座標值	理論 y 座標值	x 座標值	實驗 y 座標值	理論 y 座標值
1	-0.01	-0.01	26	-5.20	-5.81
2	-0.02	-0.03	27	-5.40	-6.26
3	-0.06	-0.08	28	-5.60	-6.73
4	-0.14	-0.14	29	-6.50	-7.22
5	-0.25	-0.21	30	-6.80	-7.73
6	-0.33	-0.31	31	-7.70	-8.25
7	-0.41	-0.42	32	-8.60	-8.79
8	-0.56	-0.55	33	-9.00	-9.35
9	-0.68	-0.70	34	-9.50	-9.93
10	-0.79	-0.86	35	-10.00	-10.52
11	-1.00	-1.04	36	-10.50	-11.13
12	-1.20	-1.24	37	-10.90	-11.76
13	-1.30	-1.45	38	-11.00	-12.40
14	-1.50	-1.68	39	-11.25	-13.06
15	-1.60	-1.93	40	-11.60	-13.74
16	-2.00	-2.20	41	-12.90	-14.44
17	-2.30	-2.48	42	-14.00	-15.15
18	-2.67	-2.78	43	-14.60	-15.88
19	-3.00	-3.10	44	-15.80	-16.63
20	-3.21	-3.44	45	-16.70	-17.39
21	-3.60	-3.79	46	-17.80	-18.17
22	-4.00	-4.16	47	-18.00	-18.97
23	-4.20	-4.54	48	-18.90	-19.79
24	-4.50	-4.95	49	-19.50	-20.62
25	-4.80	-5.37	50	-22.60	-21.47

二、 A 水柱軌道位置 120 度(入射角 $\beta 60^\circ$)

單位：公分(cm)

x 座標值	理論 y 座標值	實際 y 座標值	x 座標值	理論 y 座標值	實際 y 座標值	x 座標值	理論 y 座標值	實際 y 座標值

1	1.02	1.34	17	14.31	14.46	33	21.75	23.01
2	2.03	2.35	18	14.94	15.90	34	22.02	23.41
3	3.00	3.02	19	15.56	17.00	35	22.27	23.44
4	3.96	4.01	20	16.15	17.50	36	22.50	23.43
5	4.89	5.36	21	16.72	17.60	37	22.70	23.41
6	5.80	6.21	22	17.26	17.80	38	22.88	23.61
7	6.69	7.00	23	17.78	18.10	39	23.04	23.45
8	7.55	8.10	24	18.28	18.35	40	23.17	24.00
9	8.40	8.50	25	18.76	18.75	41	23.28	24.01
10	9.21	9.00	26	19.21	18.89	42	23.37	24.32
11	10.01	10.00	27	19.64	19.56	43	23.44	24.38
12	10.78	10.32	28	20.05	20.10	44	23.48	23.58
13	11.53	13.00	29	20.44	20.11	45	23.50	23.65
14	12.26	13.25	30	20.80	20.12	46	23.50	23.42
15	12.97	13.58	31	21.14	22.03	47	23.47	23.41
16	13.65	13.98	32	21.46	22.31	48	23.43	23.55
						49	23.36	23.32
						50	23.26	23.51

三、A 水柱軌道位置 105 度(入射角 β 52.5°)

單位：公分(cm)

x 座標值	理論 y 座標值	實際 y 座標值	x 座標值	理論 y 座標值	實際 y 座標值	x 座標值	理論 y 座標值	實際 y 座標值
1.00	1.30	1.50	17.00	20.91	20.31	33.00	38.31	38.25
2.00	2.59	3.10	18.00	22.06	20.91	34.00	39.32	38.26
3.00	3.87	4.20	19.00	23.20	22.45	35.00	40.33	39.02
4.00	5.14	5.20	20.00	24.34	24.56	36.00	41.32	40.11
5.00	6.41	6.50	21.00	25.46	26.56	37.00	42.31	42.31
6.00	7.66	7.80	22.00	26.58	27.81	38.00	43.29	43.24
7.00	8.91	9.20	23.00	27.69	28.23	39.00	44.26	45.36
8.00	10.15	11.00	24.00	28.79	28.56	40.00	45.23	46.21
9.00	11.38	11.45	25.00	29.88	29.78	41.00	46.18	46.98
10.00	12.60	12.70	26.00	30.97	33.21	42.00	47.12	47.59
11.00	13.81	13.50	27.00	32.04	33.25	43.00	48.06	48.89

12.00	15.02	16.00	28.00	33.11	33.78	44.00	48.99	49.62
13.00	16.21	16.23	29.00	34.16	34.01	45.00	49.91	49.51
14.00	17.40	19.20	30.00	35.21	34.69	46.00	50.82	50.74
15.00	18.58	19.30	31.00	36.25	37.81	47.00	51.72	52.71
16.00	19.75	19.89	32.00	37.29	38.21	48.00	52.61	53.84
						49.00	53.50	54.36
						50.00	54.37	55.21

評語

040111 高中組物理科

水是否有彈性？水在碰撞中的彈性研究

- 一、 以簡單的實驗找出水的恢復係數很不錯。
- 二、 除了水對水，水對鋼板，還可測量水打擊彈性體的情況。
- 三、 對於入射角不等於反射角可多加探討，對實驗修正項的討論，可以另一實驗去證明。