

目錄

摘要.....	1
壹、研究動機.....	1
貳、研究目的.....	1
參、研究設備及器材.....	2
肆、研究過程與方法.....	3
伍、研究結果與分析.....	8
陸、討論.....	20
柒、結論.....	22
捌、參考資料.....	23

摘要

本研究是從地球科學天氣的要素中所提及的：氣壓與風出發，先觀察地球自轉所造成的科氏力是否如傳言中所言會使北半球的浴盆、洗手槽等容器，放水時所形成的漩渦皆為逆時針旋轉？在多次的實際觀測後發現傳言並不正確，因此我們嘗試著利用生活中簡單的容器，經由實驗設計發現只要使用對稱、底部平整的圓形容器，在適當的排水孔徑下，就能穩定的形成逆時針的漩渦，讓大尺度的科氏力，清楚的在小小容器中表現出來；再由理論面深入了解科氏力的數學式後，我們在校園中用簡易可行的方式，測量不同高度下鋼珠運動的偏向，以觀察科氏力對運動中的物體是否真有偏向的影響；讓科學家定義的這個難以理解想象的假想力，不再抽象難以捉摸～

壹、 研究動機

生活中常在浴盆、洗手槽或馬桶沖水時，看見排水口會產生漩渦，從小到大的求學過程中，也曾聽過老師上課時說：「北半球的颱風都是逆時針旋轉的，所以你們看到浴缸啊、馬桶啊沖水時所形成的漩渦也大都是逆時針旋轉的！」，後來在地理與地球科學課程中學到高、低氣壓時，就教到了這是科氏力所造成的影響，而且我們了解到科氏力是地球自轉所造成的一種假想力，在大範圍的運動如風、洋流、砲彈發射時，才會產生顯著影響；因此對於這個在天空這麼大尺度的運動中才能看到效應的假想力，我們希望能在實驗室或校園裡就能找到可行的觀測方式，來”看見”這個奇妙的科氏力。

貳、 研究目的

- 一、觀察不同容器洗手槽、浴盆、馬桶排水時的漩渦旋轉方向。
- 二、控制容器形狀、排水孔徑、排水位置，以找出最能顯現出科氏力效應的容器條件。
- 三、觀測不同高度下南北向、東西向之鋼珠落下時之偏向狀況。

參、 研究設備與器材

		
電鑽	數種容器	量尺
		
碼錶	尼龍繩	鋼珠
		
磁針	長水管	

肆、 研究過程與方法

一、 研究原理

對慣性座標系的觀察者來說，以牛頓力學為基礎處理物體受力運動，是常用的方法，但對於非慣性座標系的觀察者並不適用。1835年，法國氣象學家柯里奧利（Gaspard-Gustave Coriolis）提出，為了描述旋轉體系的運動，需要在運動方程中引入一個假想的力，人們可以像處理慣性系中的運動方程一樣簡單地處理旋轉體系中的運動方程，大大簡化了旋轉體系的處理方式，這一引入的假想力就是柯里奧氏力（Coriolis force），簡稱科氏力。

在轉動軸座標系中，觀察作用在物體上的有效力為

$$\vec{F}_r = m\vec{a}_r = m\vec{a}_f - m\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}) - 2m\vec{\omega} \times \vec{v}_r$$

\vec{a}_r 為物體對轉動軸坐標的加速度

\vec{a}_f 為物體對慣性坐標的加速度

m 為物體質量

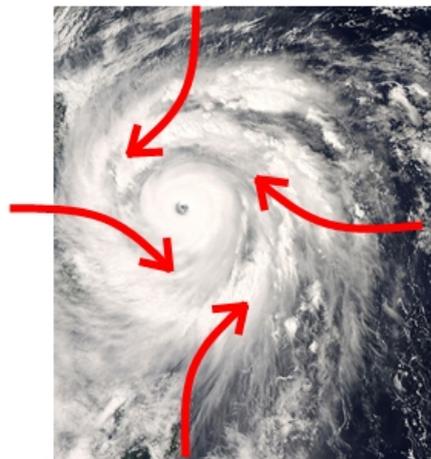
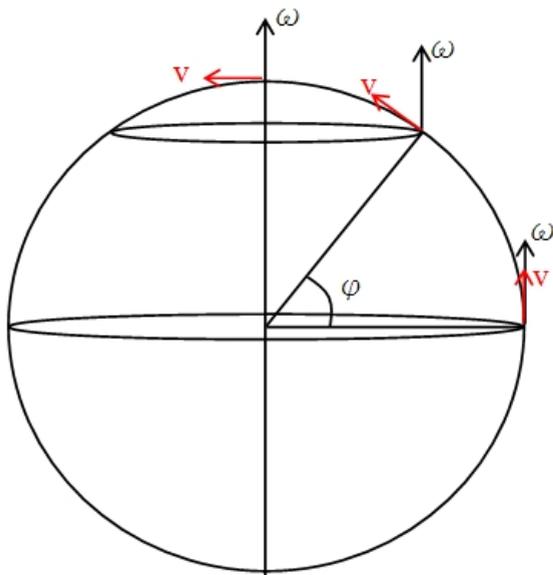
$\vec{\omega}$ 為物體對轉動軸坐標的角速度

\vec{r} 為物體對轉動軸坐標的位置向量

\vec{v}_r 為物體對轉動軸坐標的速度

式中，第一項 $m\vec{a}_f$ 為慣性座標系觀察者所看到的實際作用力，

第二項 $-m\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$ 為離心力（centrifugal force），第三項 $-2m\vec{\omega} \times \vec{v}_r$ 為科氏力。



在地球赤道上，物體以速率 v 向北運動，其速度與地球自轉角速度方向相同， $-2m\vec{\omega} \times \vec{v}_r = 0$ 。

在北極點，物體以速率 v 運動，其速度與地球自轉角速度方向夾角為 $\pi/2$ ， $-2m\vec{\omega} \times \vec{v}_r = -2m\omega v_r$ ，

在北緯 φ 處：

若物體以速率 v 向北運動，則其速度與地球自轉角速度方向夾角為 φ ，

科氏力 $-2m\vec{\omega} \times \vec{v}_r = -2m\omega v_r \sin \varphi$ ，其方向向東。

若物體以速率 v 向南運動，則其速度與地球自轉角速度方向夾角為 $(\pi - \varphi)$ ，

科氏力 $-2m\vec{\omega} \times \vec{v}_r = -2m\omega v_r \sin \varphi$ ，其方向向西。

若物體以速率 v 向東運動，則其速度與地球自轉角速度方向夾角為 $\pi/2$ ，

科氏力 $-2m\vec{\omega} \times \vec{v}_r = -2m\omega v_r$ ，在地表上的方向偏南。

若物體以速率 v 向西運動，則其速度與地球自轉角速度方向夾角為 $\pi/2$ ，

科氏力 $-2m\vec{\omega} \times \vec{v}_r = -2m\omega v_r$ ，在地表上的方向偏北。

因此我們了解到了，在北半球做南北向運動的物體，因地球自轉的影響，都將沿其運動方向而受到一個偏右的假想力。所以地表附近的大氣流動時，受科氏力作用產生偏向，在北半球會形成逆時針方向的氣旋，熱帶區域大量吸收陽光能量，大氣對流旺盛，在此產生的氣旋也由於不斷吸收能量而增強，於是形成每年侵襲台灣的颱風。

從天氣氣象預報上常見的逆時針颱風氣旋，到生活中常見排水孔漩渦，引起我們研究的興趣，我們要仔細探究：

(一) 一般人口中：“排水孔的漩渦也都是逆時針旋轉的”是正確的嗎？

(二) 生活中的普通容器能否產生穩定的逆時針漩渦，證實科氏力的存在。

(三) 能否從南北向運動的物體測得偏向的結果，讓科氏力也能實際觀測。

二、 研究步驟

(一)、觀察不同排水孔排水時的漩渦旋轉方向(各裝置如下表二)

1. ①號教室外洗手槽，放至半滿水量，垂直拉起塞子，記錄十次漩渦旋轉方向。

2. ②號實驗室洗手槽，放至半滿水量，垂直拉起塞子，記錄十次漩渦旋轉方向。
3. ③號餐廳外洗碗槽，放至半滿水量，垂直拉起塞子，記錄十次漩渦旋轉方向。
4. ④號家庭浴盆，放至半滿水量，垂直拉起塞子，記錄十次漩渦旋轉方向。
5. ⑤號家庭馬桶，直接沖水，記錄十次漩渦旋轉方向。
6. ⑥號家庭洗衣槽，放至半滿水量，垂直拉起塞子，記錄十次漩渦旋轉方向。
7. ⑥號家庭洗衣槽，放至半滿水量，分別由左側、右側拉起塞子，記錄十次漩渦旋轉方向。

		
①號教室外洗手槽	②號實驗室洗手槽	③號餐廳外洗碗槽
		
④號家庭浴盆	⑤號家庭馬桶	⑥號家庭洗衣槽

表一

(二)、選擇不同形狀、不同孔徑容器，尋找排水時能穩定出現逆時針漩渦的條件。

蒐集家中不同形狀、不同大小的圓形或方形容器，以電鑽鑽孔不同孔徑，皆放水 2000c.c. 後，等候數分鐘至水面靜止後排水。(各容器如下表三)

1. 觀察 A~G 容器，鑽孔孔徑 0.3cm，排水時記錄 10 次漩渦旋轉方向與漩渦形成時間。
2. 觀察 A~G 容器，鑽孔孔徑 0.5cm，排水時記錄 10 次漩渦旋轉方向與漩渦形成時間。
3. 觀察 A~G 容器，鑽孔孔徑 1.1cm，排水時記錄 10 次漩渦旋轉方向與漩渦形成時間。
4. 觀察 A 容器，分別就墊高其東側、墊高其西側、鑽孔東側、鑽孔西側，排水時記錄 5 次漩渦旋轉方向。
5. 觀察 H 容器，鑽孔孔徑 0.5cm、1.1cm、2.1cm，放滿水且靜置至水面完全靜止後，量測其漩渦方向、形成時間與放水結束時間。
6. 觀察排水孔徑 0.5cm、1.1cm、2.1cm 的漩渦形狀與排水水柱排水情形。

表三

		
A 容器 直徑 22cm	B 容器 直徑 29cm	C 容器 直徑 33cm
		
D 容器 直徑 36cm	E 容器 直徑 23cm	F 容器 20x20cm
		
G 容器 25 X 34cm	H 容器 直徑 20cm	

(三)、物體在高處沿著南北方向、東西方向射出，觀測其落點在出發方向的哪一側？

在學校大樓不同樓層，沿著南北向之樑柱，緊靠一根長水管，取 20 顆鋼珠，並先於地面上校準好與樑柱同方向之白色尼龍線，長水管稍傾斜約 45 度角，使鋼珠自由落下，觀察其落地位置在白線之左右兩側次數。

1. 觀測學校大樓二樓時，20 顆鋼珠落下之落點在南北向白線兩側之次數。
2. 觀測學校大樓三樓時，20 顆鋼珠落下之落點在南北向白線兩側之次數。
3. 觀測學校大樓四樓時，20 顆鋼珠落下之落點在南北向白線兩側之次數。
4. 觀測學校大樓二樓時，20 顆鋼珠落下之落點在東西向白線兩側之次數。

伍、 研究結果與分析

一、 (一)、 不同排水孔排水時的漩渦旋轉方向－實驗結果與分析：

	排水孔形狀	觀察 10 次之 旋轉方向			排水情形描述
		逆 時 針	順 時 針	無 旋 轉	
①號 教室外 洗手槽		4	5	1	排水時會先冒泡泡，漩渦結構感覺較鬆散，可能因洗手台形狀為長方形且面積較大之故，且不規則瓷磚亦影響水流之穩定。
②號 實驗室 洗手槽		6	4	0	排水時漩渦明顯，漩渦流速快、形狀明顯，可能因水位較高，洗手槽截面積小，導致流速較快。
③號 餐廳外 洗碗槽		8	2	0	排水孔洞較深，排水孔附近水平位置相對較低，反覆實驗多為逆時針，可能與槽底未完全水平有關係。

④號 家庭 浴盆		逆 時 針	順 時 針	無 旋 轉	排水孔位置較低，盆底狹長，水流速率明顯較快，漩渦明顯且集中，順逆趨勢不明顯。
		4	6	0	
⑤號 家庭 馬桶		逆 時 針	順 時 針	無 旋 轉	漩渦上布滿不同水波波紋，因四周持續放水所致，可能因受馬桶本身放水位置影響，沖水即形成逆時針漩渦，但漩渦面積較大且不集中。
		10	0	0	
⑥號 家庭 洗衣槽		逆 時 針	順 時 針	無 旋 轉	排水孔洞較深，水流速度快，漩渦形狀明顯且集中，大多呈逆時針方向旋轉。
		6	4	0	

- 1、 操作時，須於放水後靜置 5~10 分鐘，以減少放水力道造成的水流不穩定因素，並置浮標於水面上直至浮標完全平靜，才開始排水。
- 2、 水槽形狀、水槽面積、槽底是否水平，皆會影響水的流速與漩渦旋轉方向。
- 3、 排水孔排水的孔洞深淺，排水孔的孔洞大小，排水孔的截面積等，會影響排水流速，但其形狀若為對稱者，應不影響排水時漩渦旋轉方向。
- 4、 拔開排水孔塞子時，須盡力由垂直方向拉起，以避免施力不均而影響漩渦旋轉方向。

(二)、

1、 我們以⑥號家庭洗衣槽測試，將塞子分別由左右兩側拉起，得到結果如下：

⑥號家庭洗衣槽	塞子由右側拉起			塞子由左側拉起		
	逆時針	順時針	無旋轉	逆時針	順時針	無旋轉
旋轉方向	逆時針	順時針	無旋轉	逆時針	順時針	無旋轉
	10	0	0	0	10	0

2、 因洗衣槽的設計為排水口處較低，且其位置位於容器上方處，所以當我們由右側拉起排水孔塞時，右下側的水自然往排水孔處流動，而形成逆時針的漩渦。反之排水孔塞子由左側拉起時，即形成順時針的漩渦。



3、 此部分的觀察顯示，不同水槽、不同容器，除了受上述容器形狀影響外，當我們施力拔起排水孔塞時，施力方向的不平均，也會影響排水時漩渦的旋轉方向。



二、選擇不同形狀、不同孔徑容器，尋找排水時能穩定出現逆時針漩渦的條件。

由步驟（一）的實驗我們已了解到生活中的排水容器放水時不一定呈現逆時針旋轉，且很明顯的，漩渦旋轉方向因容器的不規則、不平整影響很大；因此我們在這個步驟裡使用了生活中隨手可得的較對稱形狀的容器如圓形、長方形、正方形的容器，以消除容器形狀不規則所造成的影響，接著我們繼續進行以下步驟以尋找容器排水時能否穩定出現逆時針漩渦，以驗證科氏力的存在。

(一)、 A~G 容器，容器中央鑽孔 0.3cm，放水 2000c.c 出現逆時針漩渦的次數。

1、實驗結果：

	A 容器	B 容器	C 容器	D 容器	E 容器	F 容器	G 容器
	圓形	圓形	圓形	圓形	圓形	正方形	長方形
	直徑	直徑	直徑	直徑	直徑	20x20	25 X 34
	22cm	29cm	33cm	36cm	23cm	cm	cm
水位高	4.5cm	3.2cm	3cm	2.3cm	4.8cm	4.6cm	2.4cm
逆時針	3	2	2	1	5	2	3
順時針	1	2	1	1	1	2	3
無旋轉	6	6	7	8	4	6	4
逆時針 比例	30%	20%	20%	10%	50%	20%	30%

- 由以上實驗過程發現當排水孔鑽孔 0.3cm 時，各容器出現漩渦的次數並不明顯，但可從數據發現，容器直徑越大者即底部截面積越大者，出現漩渦次數越少，我們認為應該是直徑越大的容器，在相同 2000c.c 的水量下其水位較低，使得流速過小，科氏力的影響相對的不明顯所致。
- 各容器出現逆時針漩渦的比例皆不高，唯獨鐵質 E 容器出現逆時針比例較高，推究其原因應為 E 容器底部與四周均較為平整，使得形狀不規則導致水流受力不平均的因素消除，才能有較多次數的漩渦出現。
- 因為孔徑小，感覺流速非常緩慢，觀察到的漩渦較小，且大部分在水快流完時才產生。

(二)、 A~G 容器，容器中央鑽孔 0.5cm，放水 2000c.c 出現逆時針漩渦的次數。

1、實驗結果：

	A 容器	B 容器	C 容器	D 容器	E 容器	F 容器	G 容器
	圓形	圓形	圓形	圓形	圓形	正方形	長方形
	直徑	直徑	直徑	直徑	直徑	20x20	25 X 34
	22cm	29cm	33cm	36cm	23cm	cm	cm
水位高	4.5cm	3.2cm	3cm	2.3cm	4.8cm	4.6cm	2.4cm
逆時針	8	6	7	7	9	6	5
順時針	1	1	1	2	1	2	3
無旋轉	1	3	2	1	0	2	2
逆時針比例	80%	60%	70%	70%	90%	60%	50%

- 2、鑽孔到 0.5cm 時，漩渦的次數明顯增加，直徑較小且水位較高的 A、E 容器，出現逆時針的比例在 80% 以上；直徑較大的圓形與正方形、長方形亦多為逆時針漩渦，但偶有順時針或無旋轉的情形。
- 3、與鑽孔 0.3cm 比較起來直徑較大的圓形容器，在排水孔直徑加大後，出現漩渦的次數明顯增大，且大都出現為逆時針漩渦，呈現出相對穩定性。
- 4、實驗過程中發現漩渦明顯變大，且漩渦形成時間較早，漩渦已有孔洞結構出現，和鑽孔 0.3cm 的表面漩渦比較起來，結構已較為完整。
- 5、有幾次在順時針漩渦快流完時，發現漩渦會漸漸轉為逆時針，感覺像是漸漸因科氏力作用而改變了旋轉方向。

(三)、 A~G 容器，容器中央鑽孔 1.1cm，放水 2000c.c 出現逆時針漩渦的次數。

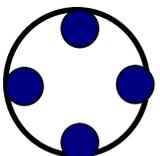
1、實驗結果：

	A 容器	B 容器	C 容器	D 容器	E 容器	F 容器	G 容器
	圓形	圓形	圓形	圓形	圓形	正方形	長方形
	直徑	直徑	直徑	直徑	直徑	20x20	25 X 34
	22cm	29cm	33cm	36cm	23cm	cm	cm
水位高	4.5cm	3.2cm	3cm	2.3cm	4.8cm	4.6cm	2.4cm
逆時針	9	9	10	9	10	7	5
順時針	1	1	0	1	0	3	4
無旋轉	0	0	0	0	0	0	1
逆時針比例	90%	90%	100%	90%	100%	70%	50%

- 鑽孔到 1.1cm 時，A~E 五個圓形容器幾乎皆呈現逆時針漩渦；正方形、長方形容器則顯示出能出現漩渦卻不一定為逆時針的性質，我們推測可能因正方形邊長較小或長方形不對稱，影響了科氏力無法平均作用，使得科氏力作用不明顯所致。
- 實驗過程中發現完整的漩渦結構，甚至部分漩渦中央孔洞明顯，流速也明顯加快，漩渦流下排水孔後形成的水柱，也明顯的扭曲呈現螺旋狀，顯示水流出時受到較大力道的旋轉作用。
- 由數據可看出與鑽孔 0.5cm 者比較起來，已幾乎每次都能產生漩渦，我們推測排水孔在達到某個適當的孔徑後，水流出排水孔的摩擦力與附著力等因素變小後，科氏力作用明顯增強，使逆時針比例接近 100%，相當於清楚說明了科氏力的存在。

(四)、觀察 A 容器，分別就墊高其東側、墊高其西側、鑽孔東側、鑽孔西側，排水時 記錄 5 次漩渦旋轉方向。

我們於找尋參考資料時，發現部分文章提到，把容器墊高或排水孔鑽於容器邊緣時會有順時針漩渦產生，就此部分我們實驗的結果如下：

A 容器	墊	墊	墊	墊	鑽孔	鑽孔	鑽孔	鑽孔
圓形	高	高	高	高	改置	改置	改置	改置
直徑	東	西	南	北	邊緣	邊緣	邊緣	邊緣
22cm	側	側	側	側	東側	西側	南側	北側
示意圖								
逆時針	5	5	5	5	5	5	5	5
順時針	0	0	0	0	0	0	0	0
無旋轉	0	0	0	0	0	0	0	0

- 我們將 A 容器墊高東、西、南、北四個方向，或者把排水孔位置改鑽於容器邊緣的東、西、南、北四個方位，各排水 5 次所得到結果皆為逆時針漩渦，並未出現順時針的情形，我們推測別的文章之實驗會出現順時針可能是於墊高容器時產生歪斜，以致於容器各方受力不均；或者因墊高容器某一側，而於拔起排水孔塞時偏向某一側拉起，而有順時針情形產生。
- 就我們推論，無論墊高任一側或鑽孔邊緣任一方位，只要容器保持對稱不歪斜，依科氏力使運動方向產生一偏右作用力的特性，產生逆時針漩渦才是與理論符合的。

(五)、觀察 H 容器，鑽孔孔徑 0.5cm、1.1cm、2.1cm，放滿水且靜置至水面完全靜止後，觀察其漩渦方向、量測漩渦形成時間與放水結束時間。在以上實驗中我們大致驗證了在圓形平整的容器中，確實能看到科氏力的作用，爲了更精確的證實此點，並尋找漩渦的更多特性，我們在此步驟中以 H 容器放滿水，在不同的三次排水孔徑下，記錄漩渦出現的第一時刻時間，觀察漩渦旋轉方向，與全部排完水時間；與前幾次步驟最大差別乃在於本步驟中，我們於每次放水完畢皆等待約十分鐘以上，以求水面浮標、水中暗流能接近幾乎靜止，將水中的擾流減至最低。

1、實驗結果：

H 容器 直徑 20 cm	漩渦形成		漩渦 旋轉 方向	排水結束	
	時間 (秒)	平均 時間 (秒)		時間 (秒)	平均 時間 (秒)
排水孔 孔徑 0.5 cm	①90 ②90 ③106	95.3	皆爲逆時針	560 594 600	585
排水孔 孔徑 1.1 cm	①43 ②53 ③75 ④75 ⑤108 ⑥103	82.8	皆爲逆時針	138 138 138 138 139 140	138
排水孔 孔徑 2.1 cm	①13 ②14 ③14 ④13.7 ⑤15	13.9	皆爲逆時針	38 39 34 38 37	37.2

2、我們先從理論推算，假設容器截面積為 A ，放水高度為 h 而底部排水孔截面積為 a ，假設排水孔往下洩流速度約為 $v = \sqrt{2gh}$ ，則容器內大部分水流速度約略是 $u = \frac{a}{A} \sqrt{2gh}$ ，我們在研究原理中已了解到科氏力造成的加速度值約是 $\alpha = 2\omega u = 2\omega \cdot \frac{a}{A} \sqrt{2gh}$ ，所以經過時間 t 後科氏力所造成的偏轉速度之數量級約為 $\alpha t = 2\omega \frac{a}{A} \sqrt{2gh} t$ ，再依角動量不減原理，估計一下在排水孔附近水的旋轉速度之數量級為 $v = \sqrt{\frac{A}{a}} \cdot \alpha t = 2\omega \sqrt{\frac{a}{A}} \sqrt{2gh} t$ ，而水洩流時間 t 可以用 $A \cdot h = a v t = a \cdot \sqrt{2gh} t$ 估計出約為 $t = \frac{A}{a} \sqrt{\frac{h}{2g}}$ (1)，

$$\text{而排水孔附近水的旋轉速度 } v = \omega h \cdot \sqrt{\frac{A}{a}} \quad (2),$$

此結果為假設高度 h 的水直接落下排水孔的時間，若再考慮全部水量與容器之摩擦力、流體黏滯力等，時間應再更為加長，因相關作用力過於複雜，故式(1)、式(2)僅為較粗略的預估，提供本實驗對數據作以下之分析。

3、依據式(1)，對同一容器，排水時間 t 與排水孔徑面積成反比，以 0.5、1.1、2.1cm 三孔徑之排水時間與面積反比之結果

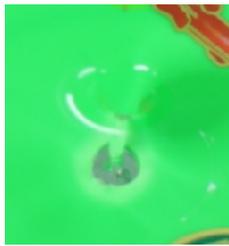
$$\frac{t_{0.5}}{t_{1.1}} = 4.24 \text{ 與面積反比 } \frac{A_{1.1}}{A_{0.5}} = 4.84$$

$$\frac{t_{1.1}}{t_{2.1}} = 3.71 \text{ 與面積反比 } \frac{A_{2.1}}{A_{1.1}} = 3.646$$

在孔徑 1.1cm、2.1cm 排水孔徑比值幾乎等於面積反比比值，可推測在適當的孔徑下，水流較能正常流過排水孔時，排水時間能準確的近乎於截面積成反比。

4、在這個步驟，我們刻意等候很長時間以等待水波或水中暗流完全靜止，以防止放水時初始條件水流方向與水中擾流影響了科氏力作用，實驗結果顯示每次都呈現逆時針旋轉，且在排水結束時間上，各次排水孔徑排水結束時間接近一致，未有太多誤差；另外在代表科氏力出現的漩渦形成的第一時刻，在孔徑 0.5cm 的三次實驗中時間甚為接近，在孔徑 1.1cm 的 6 次中則為 ①、②接近相同、③、④接近相同、⑤、⑥ 接近

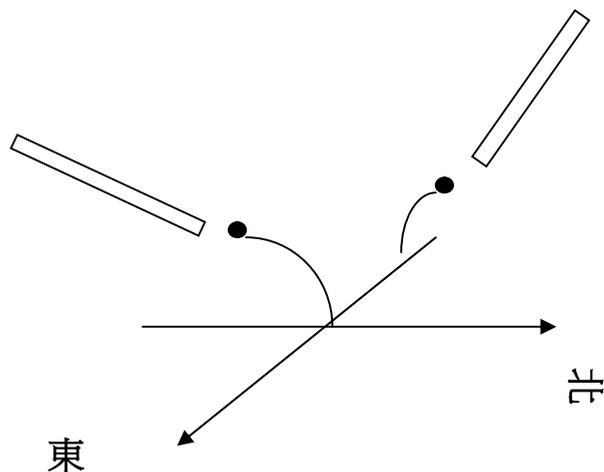
相同，乃因為每次測量耗時甚久，分別在三個不同日所做測量而呈現起始狀況如容器方位、水平位置無法每次條件一樣所導致，我們刻意保留此項數據，以表現出科氏力微弱，甚為容易受外在條件而影響，但卻仍能呈現逆時針漩渦。值得一提的是在孔徑 2.1cm 的 5 次實驗中，漩渦形成的第一時刻近乎相同，我們可視為孔徑加大後，容器內水平流速增快甚多，依科氏力 $-2m \omega \times \bar{u}$ 與水平流速成正比而在上面的討論中水平流速約為 $u = a/A \cdot \sqrt{2gh}$ 的特性，在孔徑 2.1cm 時因流速加快，以致科氏力較孔徑 1.1cm 增大約 4 倍，所以外在作用力的影響相對減弱而能有較穩定的漩渦形成時間。

		
排水孔徑 0.5cm 漩渦	排水孔徑 1.1cm 漩渦	排水孔徑 2.1cm 漩渦
		
排水孔徑 0.5cm 排水柱	排水孔徑 1.1cm 排水柱	排水孔徑 2.1cm 排水柱

(六)、綜合以上不同孔徑排水孔產生的漩渦(上圖)，我們觀察到，孔徑越大時，排水形成的漩渦旋轉直徑，同時有放大的現象；以排水孔徑 1.1cm、2.1cm 而言，漩渦中心更有明顯的空氣柱，類似於氣壓中心垂直氣流；另一較特別的現象，是流出排水孔的水柱，因排水孔加大、流速加快而呈現螺旋旋轉狀，且流速越快旋轉幅度明顯的加大。

三、 物體在高處沿著南北方向、東西方向射出，觀測其落點在出發方向的哪一側？

既然科氏力在北半球能使南北向運動的物體受到一偏向其出發方向偏右的作用力，我們就設計一個簡易可行的方法，看能否看到這樣的現象。我們在學校大樓不同樓層，沿著大約南北向之樑柱，緊靠一根長水管，取 20 顆鋼珠，並先於地面上校準好與樑柱同方向之白色尼龍線，長水管稍傾斜約 45 度角，使鋼珠自由落下，觀察其落地位置在白線之左右兩側次數，我們在東西向上亦重覆此步驟以做為比較。



以大樓樑柱校準南北向



以磁針校正東西向



固定水管使鋼珠自由落下

(一)、實驗結果：

水管 仰角 約為 45度	南北向高度 5.01 公尺 2樓			南北向高度 8.76 公尺 3樓			南北向高度 12.51 公尺 4樓			東西向高度 5.01 公尺 2樓		
較原 出發 方向偏?	偏 右	偏 左	未 偏 移	偏 右	偏 左	未 偏 移	偏 右	偏 左	未 偏 移	偏 右	偏 左	未 偏 移
次數	14	2	4	15	3	2	17	2	1	2	15	3
平均 偏移	1~2 cm	0~1 cm		1~3 cm	0~1 cm		1~3 cm	0~2 cm		0~1 cm	0~1 cm	
偏右 比例	70%			75%			85%					

(二)、因為科氏力等於 $-2m \omega X \bar{u} \sin \varphi$ ，其使物體偏向的距離 $X = 1/2 a t^2$ ，又 $F = m a$ 可解出 $X = F(t^2/2m)$ ，故偏向位移與科氏力 F 或時間平方成正比；因為 ω 為地球自身轉速其值極小也無法改變，所以在此步驟中我們若想看到科氏力較明顯的向右偏移結果，較可行的方法即為加大往北飛行的水平速度 \bar{u} ，或者增加鋼珠的飛行時間 t ，也因此我們才會提高落下高度以增加飛行時間、傾斜水管加快鋼珠落下速度。

(三)、在此步驟我們想藉由科氏力能使南北向運動的物體產生與其運動方向偏右的特性，來觀察自長水管中落下的鋼珠是否真能向右偏移，以達成能實際觀察到科氏力作用的目的。由(一)的實驗結果看起來，在鋼珠往北射出的三次實驗中，偏右的次數與比例明顯偏高，符合北半球南北向運動物體會受到與出發方向偏右科氏力作用的現象，且就算有幾次偏左的情況出現，其偏移也明顯的偏小。

(四)、為了再進一步確認南北向運動會偏右的科氏力作用，我們用磁針仔細的在東西向上

重做一次相同步驟，由(一)的實驗結果及實驗過程的觀察，可明顯看出在東西向射出的鋼珠，多次直接打中東西向的校準白線上，未打中校準線者，落地位置與東西向校準線也極為接近，皆在 0~1 公分的範圍內，這更能顯現出南北向射出的鋼珠確實有偏右的現象存在，也說明了應是科氏力作用的結果。

陸、 討論

- 一、 生活中不同容器排水孔的選擇須多樣化，容器的形狀、平整、面積大小；排水孔的形狀、孔徑，都會影響漩渦的形成方向與旋轉流速，所以對不同容器不同排水孔須做詳細觀察、記錄，才能了解可能的相關因素。
- 二、 放水的方向會影響漩渦的旋轉方向，故放水完畢須等待水面完全靜止，因水中可能尚有擾流存在，故在水面看似靜止後，仍須靜待數分鐘，才能減少放水時水流流向影響了排水孔漩渦的旋轉方向。
- 三、 拔起排水孔的方式，對水的流向影響很大，在生活中的容器部分，要注意盡可能的由上方垂直拉起，才能避免如上述我們在洗衣槽部分，因為排水孔塞拔起方向不同，所造成的漩渦旋轉方向明顯不同的結果。
- 四、 由實驗的結果可看出生活中四處可見的排水容器，放水時形成的漩渦方向，並沒有一一定是順時針或逆時針，容器的不平整、不對稱、排水孔的形狀、人為的放水方式，決定了排水時漩渦的旋轉方向。
- 五、 在選擇的平整、對稱容器實驗過程中，須盡可能在相同地點操作，對容器擺放位置、放水方式維持穩定，因水流極易因振動而受影響，故操作時避免碰觸桌面，才能確保水面靜止與水中擾流的影響。
- 六、 在選擇的容器中，以電鑽鑽孔後務必將鑽孔以砂紙或磨刀，磨至平整光滑，以減少排水孔粗糙不平，而影響了排水時漩渦的旋轉方向。
- 七、 在選擇的容器中，以我們實驗中的經驗，排水孔塞務必由下方拉下塞子後排水，才能

將對水流的擾動減至最低。

- 八、 實驗過程中可以剪下之細線碎屑或水流表面灰塵為觀察之浮標，以清楚觀察漩渦形成時間，放水結束時間則以流出之水流已呈現斷續狀態為終止時刻。
- 九、 我們選擇了不同形狀、不同直徑的容器後，發現圓形容器較長方形、正方形容器容易產生逆時針漩渦，且當鑽孔越大時圓形容器幾乎只形成逆時針漩渦，由於我們整個實驗的操作時間不同，兩位同學操作位置不同，故能排除因個人操作習慣而影響排水流向的因素，所以我們的實驗結果可以肯定，在平整、對稱的圓形容器，於排水時能觀察到穩定的逆時針旋轉漩渦，驗證了柯氏力的存在。
- 十、 我們於觀察漩渦產生的過程中，同時仔細的觀察了漩渦的形狀、漩渦的中心水流與水流排出的相關現象，發現不同高度、不同流量、不同排水孔徑的漩渦，都會對漩渦的結構造成極大影響，在自然界中高低氣壓氣旋、颱風結構與此相似；甚至於海平面上的漩渦、龍捲風的形成亦可藉由了解漩渦的結構，而進一步測量出漩渦的危險地帶，而降低災難的傷害；或著藉由漩渦周圍的流速、水壓不同而進行發電，以提供一種新的能源方式。
- 十一、 鋼珠自高樓落下的實驗過程中，須考慮風力造成的影響，故我們選擇清晨較無風的時刻進行實驗，在此步驟裡我們發現沿著大樓樑柱的南北方位、或磁針校準的東西方位的確認，及鋼珠自水管中自由落下時之射出方向是否能對準以上方位，存在著不少難以精確控制的因素，我們盡可能的由相同的人操作相同部分，以降低誤差；但由理論面而設計的這個實驗方法，在我們認為是可行可以測量的；在未來，或許可經由加大鋼珠速度、採用與鋼珠同口徑之較長鋼管、在室內發射鋼珠、直接於地上標示南北向之校準線來改進本實驗的準確度。

柒、 結論

- 一、本研究之目的在於找出可行的方式，了解奇妙又抽象的科氏力，首先我們對洗手槽、洗衣槽、浴盆、馬桶等生活中的不同容器進行觀察，以了解“洗手台、浴缸等容器，排水時，所看到的漩渦皆為逆時針旋轉，就是科氏力造成的。”這句話的正確性，經過我們的實驗探討後，我們發現容器形狀、容器是否平整、排水孔位置、排水孔形狀、拔起排水孔塞等諸多因素，會影響科氏力的作用；所以“北半球的容器排水時，皆會看見逆時針的漩渦，是科氏力造成的。”，並不正確，因為生活中的一般容器，有太多因素影響了水流方向，科氏力的影響幾乎難以表現出來。
- 二、我們經由容器的選擇找尋最適合能表現出科氏力的容器條件，發現底部平整的、圓形的、排水孔平滑的容器，在適當的操作如等待水面水流完全靜止、排水孔由下方拔下等，盡量減少外在作用力的情況下，皆能看見逆時針漩渦，也就驗證了科氏力的作用確實存在。
- 三、我們在選擇的容器中得到幾個結論：
 - (一) 圓形的容器排水時較正方形、長方形易產生逆時針漩渦。
 - (二) 排水孔徑必須適當大小，才能產生逆時針漩渦，排水孔徑太小，科氏力作用可能不明顯，排水孔徑太大，水可能直接排放而來不及產生漩渦。
 - (三) 我們墊高容器的不同方位、鑽孔容器的不同側邊，皆不影響排水時漩渦的轉向，還是呈現逆時針漩渦。
 - (四) 我們計算了容器的排水時間，發現能準確的與排水孔徑面積成反比；更重要的我們也對同一容器不同孔徑的逆時針漩渦作仔細測量，發現漩渦出現的時間，隨著孔徑變大，能穩定的於相同時刻出現，表示孔徑的加大，使得科氏力的作用變的明顯，而能在相近的時間點穩定的測得。
 - (五) 我們觀察了不同排水孔徑的漩渦形狀與颱風、龍捲風、海面漩渦相似，可藉由對漩渦的進一步研究，更加了解這些自然現象；或經由漩渦內外水流存在的速度梯度，而進行發電，提供一種新的能源方式。

四、我們在學校大樓進行了科氏力的實驗測量，發現在南北方向射出的鋼珠其落地位置較原方向有明顯偏右的傾向，在東西向射出的鋼珠其落地位置則無明顯的偏向，雖然科氏力的偏移在小尺度上不明顯，但若能做更精細的校準與實驗改良後，這仍是一個可行可以驗證科氏力存在的方式。

捌、 參考資料

一、自然與生活科技 3 下，3-2 天氣的要素：南一版。

二、流言追追追第 34 集，南北漩渦大不同。

二、牛通的博士班入學口試：物理雙月刊 9（二十卷六期）1998 年 12 月。

三、陳奕中，漩渦之美，臺灣 2003 年國際科學展覽會。

四、李宛融、楊子懿、李主謙，「排水孔上」見真章，中華民國第四十五屆中小學科學展覽。

五、方雅妮、許庭瑄、吳怡慧、蔡雅婷，如影似真的偏轉魔力－科氏力，中華民國第四十五屆中小學科學展覽會。