

我的子彈會轉彎

—— 物體在旋轉環境中的運動方向

高小組物理科第一名

高雄市勝利國民小學

作 者：袁和舉、蔡俊佑、李怡靜

指導教師：陳順協、姜英梅

一、研究動機

在學校玩水槍時，大家喜歡坐在遊戲器材的旋轉椅上，一面旋轉時，一面發射水槍。後來發現在旋轉時，發射出的水柱有時會轉彎，而且有時轉彎的方向不一樣。是什麼原因產生這種現象呢？和旋轉有關嗎？我們和老師討論後，找到了相關資料才了解：原來這屬於地球科學及物理學裡的「科氏效應」現象。為了對這種現象有更具體認識，我們作了以下的研究。

二、研究目的

- (一) 在順、逆時針的旋轉環境中，物體由圓周向圓心的運動方向。
- (二) 在順、逆時針的旋轉環境中，物體由圓心向圓周的運動方向。
- (三) 研究環境旋轉速度的快慢和物體運動方向偏轉的關係。
- (四) 研究在旋轉環境中，物體運動速度和方向偏轉的關係。
- (五) 研究在旋轉環境中，物體運動方向偏轉的原因。
- (六) 研究地球的自轉和颱風旋轉的關係。

三、研究設備器材

- (一) 實驗一、二、八：弧型圓盤、球、石灰、碼表。
- (二) 實驗三、四：旋轉椅、水槍、木板、繩子。
- (三) 實驗五：彈珠、免墨水紙、厚紙板、小型電扇、保特瓶。
- (四) 實驗六、七：彈珠、竹筷、長尾夾、黑板、長條磁鐵、軌道。
- (五) 實驗九：旋轉鐵架、透明杯、紅墨水。

四、研究過程

〔實驗一〕球在旋轉盤上由圓周滾向圓心的路徑。

<方法>將球沾滿石灰放於圓周上，順、逆時針旋轉圓盤時，讓球自由滾下，量取石灰路徑最初偏轉的角度。

<結果>1. 記錄如表一。

2. 如圖一說明。

3. 旋轉速度愈快，偏轉角度愈大。

表一：球由圓周滾向圓心之記錄

圓周 212 公分	旋轉一圈 時間(秒)	圓周旋轉速度 (公分/秒)	滾動路徑 最初偏轉角度	旋轉 方向	偏轉方向和 旋轉方向	路徑 型態
	0不旋轉	0	0°沿半徑滾動	不旋轉	不偏轉	直線
	3.72	56.99	32°	順時針	同方向	弧線
	2.90	73.10	37°	順時針	同方向	弧線
	2.49	85.14	45°	順時針	同方向	弧線
	4.81	44.07	25°	逆時針	同方向	弧線
	3.82	55.50	30°	逆時針	同方向	弧線
	2.73	77.66	42°	逆時針	同方向	弧線

[實驗二] 球在旋轉盤上由圓心滾向圓周的路徑。

<方法>如實驗一方法，將弧形圓盤改以覆蓋方式，使球能由圓心滾到圓周。

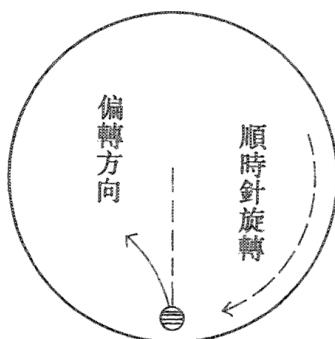
<結果>1. 記錄如表二。

2. 如圖二說明。

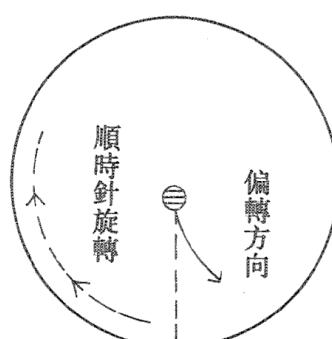
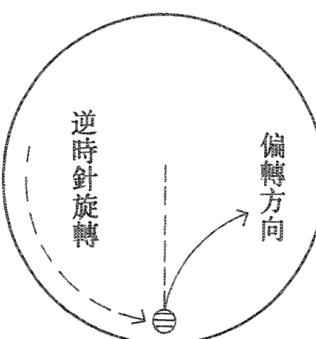
3. 旋轉速度愈快，偏轉角度也愈大。

表二：球由圓心滾向圓周之記錄

圓周 212 公分	旋轉一圈 時間(秒)	圓周旋轉速度 (公分/秒)	滾動路徑 最初偏轉角度	旋轉 方向	偏轉方向和 旋轉方向	路徑 型態
	0不旋轉	0	0°沿半徑滾動	不旋轉	不偏轉	直線
	3.18	55.64	35°	順時針	反方向	弧線
	2.95	71.86	38°	順時針	反方向	弧線
	2.54	83.46	46°	順時針	反方向	弧線
	3.92	54.08	34°	逆時針	反方向	弧線
	2.89	73.36	40°	逆時針	反方向	弧線
	2.56	82.81	45°	逆時針	反方向	弧線



圖一：由圓周滾向圓心的球會和旋轉同方向偏轉



圖二：由圓心滾向圓周的球和旋轉反方向偏轉

[實驗三]水槍由圓周射向圓心的偏轉情形。

- <方 法>1. 在圓心固定一面木靶，水槍固定在圓周，並調整射中圓心。
2. 以不同速度作順、逆時針旋轉時發射水槍。

<結 果>1. 記錄如表三。

2. 旋轉速度愈快，偏離中線距離愈大。

表三：水槍由圓周射向圓心之記錄

圓周 495 公分	旋轉一圈 時間(秒)	圓周旋轉速度 (公分/秒)	射擊點偏離中 線距離(公分)	旋轉 方向	偏轉方向和 旋轉方向
	6.02	82.23	① 9.8	順時針	同方向
	4.25	116.47	② 12.0	順時針	同方向
	3.58	138.27	③ 13.0	順時針	同方向
	5.85	84.62	① 10.2	逆時針	同方向
	4.79	103.34	② 11.5	逆時針	同方向
	3.31	149.55	③ 15.5	逆時針	同方向

[實驗四]水槍由圓心射向圓周的偏轉情形。

<方 法>如同實驗三，將木靶改放圓周，水槍固定圓心。

<結 果>記錄如表四。

表四：水槍由圓心射向圓周之記錄

圓 周 495 公 分	旋轉一圈 時間(秒)	圓周旋轉速度 (公分/秒)	射擊點偏離中 線距離(公分)	旋轉 方向	偏轉方向和 旋轉方向
	8.07	61.34	① 13.0	順時針	反方向
	5.49	90.16	② 16.5	順時針	反方向
	4.42	111.99	③ 20.4	順時針	反方向
	6.16	80.36	① 14.5	逆時針	反方向
	4.48	110.49	② 20.0	逆時針	反方向
	4.01	123.44	③ 23.8	逆時針	反方向

[實驗五]物體的運動速度和方向偏轉的關係。

<方 法>1. 利用小型電扇作一個可等速旋轉的圓形平面，及可調整傾斜度的彈珠軌道。

2. 利用「免墨水紙」沾水即墨的特性，讓沾水的彈珠留下滾動路徑。

<結 果>1. 記錄如表五。

2. 彈珠隨平面旋轉時，當彈珠滾向圓心或滾向圓周的速度愈慢，偏轉角度愈大；滾動速度愈快，偏轉角度愈小。

物體的運動方向為什麼會受環境旋轉而偏轉呢？以實驗六、七來表達我們所能了解的基本原因。

[實驗六]旋轉半徑上，內、外圈速度的比較。

<方 法>1. 在一根竹筷上分開夾二個夾子表示半徑上內、外圈的位置，在位置上各放一個彈珠。

2. 以筷子一端為圓心，讓筷子作圓弧的轉動，當兩顆彈珠受慣性作用，滾出竹筷時，即可比較內、外圈旋轉速度的快慢。

<結 果>1. 記錄如表六。

2. 外圈甲的彈珠比內圈乙滾得快，表示外圈的旋轉速度比內圈快。

表五：彈珠的速度和偏轉角度的關係

	彈珠軌道 傾斜角度	滾動速度 比 較	偏轉角度
圓周 滾向 圓心	10°	慢	40°
	20°	中	28°
	30°	快	17°
圓心 滾向 圓周	10°	慢	43°
	20°	中	32°
	30°	快	19°

表六：旋轉半徑上，內、外圈速度的比較

速 度 比 較	彈珠在內圈 (乙)	彈珠在外圈 (甲)	次 數
	慢	快	
	慢	快	1
	慢	快	2
	慢	快	3

[實驗七]物體受兩個垂直方向速度的運動情形。

<方法>1. 在傾斜板面上區隔水平前進軌道，以對照彈珠拋物線路徑的水平速度。

2. 讓甲、乙彈珠自相同傾斜角的軌道同時滾進傾斜板面，比較甲、乙的水平前進速度。
3. 換不同的彈珠，以相同方法試驗。

<結果>1. 記錄如表七。

2. 水平前進的彈珠受垂直方向的速度時，並不改變它的水平方向速度。

表七：水平速度的比較

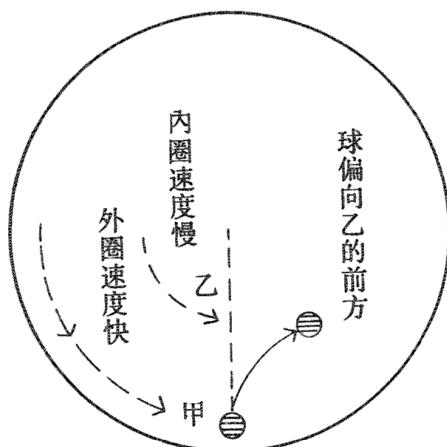
前進速度	水平前進的彈珠	拋物線前進的彈珠	兩者水平速度
慢	甲	乙	大約相同
	乙	甲	大約相同
中	丙	丁	大約相同
	丁	丙	大約相同
快	戊	己	大約相同
	己	戊	大約相同

<討論>1. 如圖四、五說明。當旋轉時，根據實驗六，外圈的甲速度比內圈的乙快。

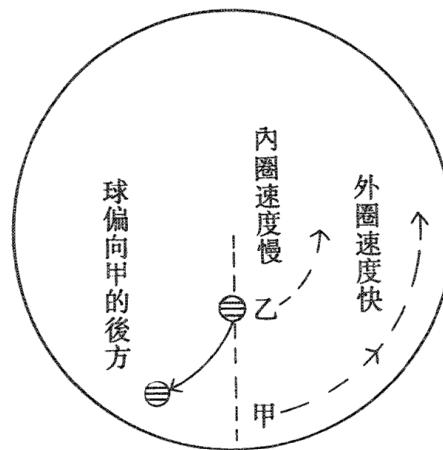
2. 如圖四，當由甲拋球給乙，根據實驗七，球會保持甲的速度，又因為比內圈快，所以球會偏向乙的前方，形成和旋轉同方向偏轉的路徑。

3. 如圖五，當由乙拋球給甲，球會偏向甲的後方，形成和旋轉反方向偏轉的路徑。

4. 當球由外圈進入愈內圈；或由內圈進入愈外圈時，速度差距愈大，因此路徑偏轉的角度會愈來愈大。所以偏轉的路徑呈現圓弧型，而不是直線。



圖四：當球由外圈進入內圈，路徑會和旋轉同方向偏轉



圖五：當球由內圈進入外圈，路徑會和旋轉反方向偏轉

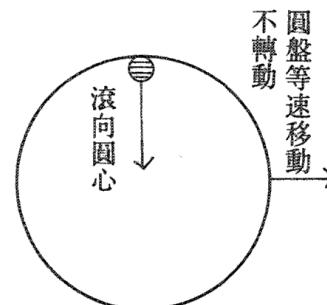
[實驗八] 球在等速移動的圓盤中，滾動的路徑。

- <方法> 1. 讓球在圓周或圓心上，不轉動圓盤。球隨著圓盤等速移動時，再讓球滾向圓心或圓周，如圖六、七。
 2. 試以不同的速度移動圓盤，觀察球的滾動路徑。

- <結果> 1. 記錄如表八。
 2. 不論圓盤等速移動的快慢，球的路徑都幾乎呈直線不偏轉。

表八：球在等速移動的圓盤中，滾動路徑之記錄

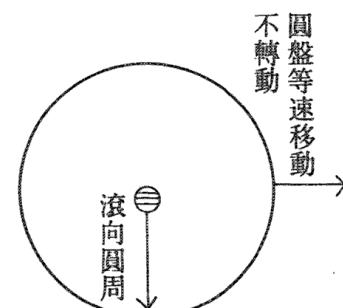
	圓盤移動距離 180公分	移動時間 (秒)	移動速度 (公分/秒)	球的滾動路徑
圓向		1.97	91.37	直線不偏轉
周圓		1.83	98.36	直線不偏轉
滾心		1.39	129.50	直線不偏轉
圓向		2.24	80.36	直線不偏轉
心圓		1.76	102.27	直線不偏轉
滾周		1.48	121.62	直線不偏轉



圖六：球在等速移動的圓盤中滾向圓心

[實驗九] 科氏效應產生的漩渦。

- <方法> 1. 設計一個可夾住杯子作旋轉的鐵架設備。
 2. 讓杯內的水平穩。當杯底中心漏水時，先不旋轉鐵架，杯內滴入紅墨水，觀察水流情形。
 3. 以相同方法，改以順時針和逆時針旋轉鐵架，觀察水流情形。



圖七：球在等速移動的圓盤中滾向圓周

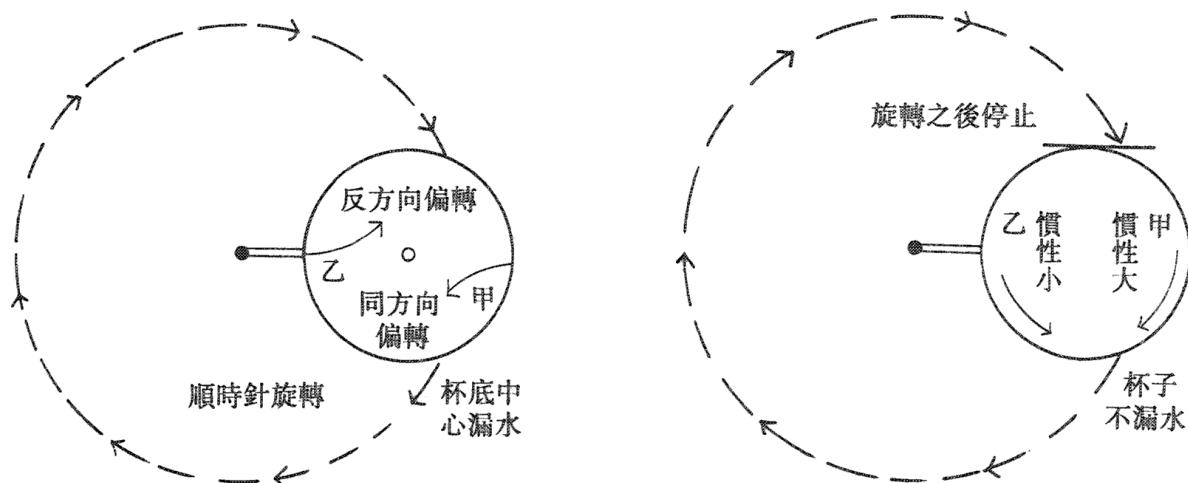
4. 當杯子不漏水時，順、逆時針旋轉鐵架，觀察水流。

<結果>記錄如表九。

- <討論>1. 如圖八，當杯底中心漏水又作順時針旋轉時，甲、乙處的水流因科氏效應產生偏轉，而形成順時針漩渦。相同原理，逆時針旋轉會產生逆時針漩渦。
2. 如圖九，當杯子不漏水，作順時針旋轉時，杯內的水只隨杯子作圓周的繞行，不產生漩渦。但是甲在外圈的旋轉速度大；乙在內圈的旋轉速度小，所以當旋轉突然停止時，甲處的慣性大，使水面產生順時針緩慢旋轉。反之，逆時針旋轉也是相同原理。
3. 從實驗結果發現：水的流動及受環境旋轉，就會因科氏效應產生漩渦。由此證實颱風的旋轉方向是風的流動及受地球由西向東自轉的影響。

表九：旋轉方向和漩渦的關係

		環 境 狀 態		
		靜 止	順時針旋轉	逆時針旋轉
杯 內 的 水	不 漏 水		不產生漩渦	不產生漩渦
	向 中 心 流 動	水 靜 下 面 止 降	順時針漩渦	逆時針漩渦



圖八：科氏效應產生的漩渦

圖九：杯內靜止的水因旋轉之後停止時，
甲在外圈的慣性大於乙的慣性，所
以水面產生甲方向的緩慢旋轉。

五、研究結果

(一)從實驗一～五發現，物體在旋轉環境中：

1. 當從外圈進入內圈時，會和旋轉同方向偏轉。反之，當從內圈進入外圈時，會和旋轉反方向偏轉。
2. 當旋轉速度愈快，方向偏轉愈大；旋轉速度愈慢，方向偏轉愈小。
3. 當物體運動速度愈快，偏轉愈小；運動速度愈慢，偏轉愈大。

(二)從實驗六～八推論偏轉的原因：

環境在旋轉時，外圈的旋轉速度大於內圈，造成物體由外（內）圈進入內（外）圈時，因為內、外圈旋轉速度的差距，所以產生運動方向的偏轉。

(三)從實驗九發現，向中心流動的水流：

在順時針旋轉環境裡會產生順時針漩渦，反之則產生逆時針漩渦。這和颱風在南半球順時針旋轉，北半球逆時針旋轉的原理相同。

六、討 論

(一)實驗一～五的操作，物體在運動前，要隨環境旋轉，才符合實驗的條件。並不是從旋轉環境外丟入一個物體進入旋轉環境。

(二)因為偏轉的路徑是呈弧線，實驗一、二、五為了將偏轉的程度量化，我們只好量取最初的偏轉角度，作為偏轉程度的比較。

(三)「路徑偏轉的方向」我們考慮如果以「偏左、偏右」表示，容易因參考點不同而產生誤解，所以用「和環境的旋轉同方向或反方向偏轉」表示。

(四)因為技術的關係，我們得到的數據，如：轉速、偏轉角度，只能作為現象的觀察、比較。如何改進方法，測得精確的數據，進而計算出科氏效應裡相關變因的關係，值得再研究。

七、結 論

(一)物體在旋轉環境中的運動方向：

1. 由外圈向內圈運動時，會和旋轉同方向偏轉。
2. 由內圈向外圈運動時，會和旋轉反方向偏轉。

(二)當環境旋轉愈快；或物體運動速度愈慢；或物體運動範圍愈大，方向的偏轉會愈大；反之則偏轉愈小。

(三)因為內、外圈旋轉速度的差距，使得物體由外圈進入內圈，或由內圈進入外圈，會產生運動方向的偏轉。實際上，並沒有受到外力使它偏轉方向。

(四)向中心流動的水流：

1. 在順時針旋轉環境裡，會產生順時針漩渦。
2. 在逆時針旋轉環境裡，則產生逆時針漩渦。

(五)環境旋轉的快慢、物體運動速度的大小及運動範圍的遠近：會產生多大的運動方向偏差，有待我們更進一步的研究。

八、參考資料

- (一)圖解科學大辭典，206頁，華文圖書公司印行。
- (二)認識大氣科學，劉源俊著譯，正中書局印行。
- (三)地球科學精華，戚啟勳編譯，明文書局印行。
- (四)氣象科學入門，曾煥華編譯，銀禾文化出版。
- (五)近代氣象學基礎，陸正華、許以平著，明文書局印行。

評 語

用轉動系統分析其對運動的影響，在力學中屬於較難的實驗，作者設計展現此種影響效應的實驗方法相當突出，極富創意。