

# 2023 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

## 普高組 成果報告表單

題目名稱： 看見的不一定存在 Coriolis force-科里奧利力

### 一、摘要

旋轉體系中進行運動的質點，相對於旋轉體系而產生偏移。1835 年法國科學家 Gaspard-Gustave Coriolis 在他發表的論文中探討了這個現象，後人將這個假想力稱為科里奧利力或地球自轉偏向力，簡稱科氏力。

本研究將科氏力的影響以可視化的方式呈現，可觀察到地球南北半球物體的偏向方向相反，而赤道地區的運動物體亦受到地球自轉偏向力影響。本研究亦進行三維空間科氏力分析，分述南北向、東西向、垂直向運動在地球高緯度和低緯度地區所產生的不同程度科氏力影響。

### 二、探究題目與動機

在課程學習時，老師們提到了一個神奇的力量-科氏力。地理課告訴我們因為科氏力的作用，形成了行星風系，影響了大陸東西岸兩岸的天氣氣候；地球科學課也告訴我們因為科氏力的作用，使得空氣和水流都受到了科氏力的影響而偏向，形成氣團、氣旋、洋流在北半球和南半球的流動方向相反。然而，在國高中的力學課程中，並未介紹到科氏力的相關知識，所以我們便著手進行科氏力的探究，想要對這個「看的到物體運動路徑改變」卻又「非真實存在的假想力」進行探究學習。

參觀科學展覽館時，我們總喜歡駐足在一個圓形轉盤前(圖一)，搶著操作那轉動圓盤，觀察我們所丟出的球，在我們看來球就是直直的滾出去了。而在科博館和科教館的展區中(圖二)，設置了大型的旋轉盤，讓我們可以坐進了大圓盤裡，並在旋轉的大圓盤裡丟球，我們竟神奇的觀測到球轉彎了。原來，站在圓盤前面的我們是慣性坐標系的觀察者，看到了球直直向前飛去；而後來坐在大轉盤裡的我們，體驗了在一個在旋轉坐標系中的觀察者，看到直直被丟出的運動體竟然偏轉了。



圖一 科氏力轉盤

圖片來源：國立海洋科技博物館網頁

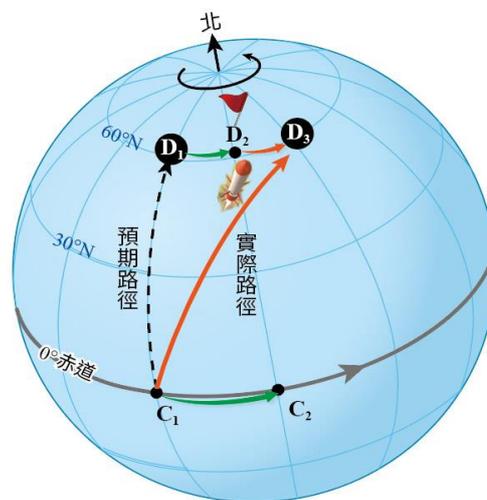


圖二 科博館的科氏力大轉盤

圖片來源：人間福報

然而，這個偏轉力在平面旋轉體如此，那麼在球體旋轉體又該如何？地球科學課本中圖示了高緯度和低緯度地區隨地球自轉的切線速度大小不同(圖三)，當物體進行南北方向運動時，因為跨越不同緯度，所以落點會發生偏移。那麼，東西方向的運動是否也會發生偏移呢？另外，科氏力在北半球和南半球的作用方向相反，那麼赤道地區有沒有科氏力呢？

我們查找了許多資料，發現科氏力的定性分析多以角動量守恆進行探討，並沒有可視化的簡單呈現，而完整的公式推導又牽涉到向量、分量、外積、微分、偏微分、向量相加減、角速度、角動量、向心力、離心力、重力.....十分複雜難懂，所以我們便想嘗試以簡單的可視化方式，去呈現地球上各方向運動分量在地球自轉系統下的偏向情形，輔以公式說明各方向運動分量在地球高低緯度區所呈現的不同科氏力變化。



圖三 科氏力示意圖  
圖片來源：龍騰教材

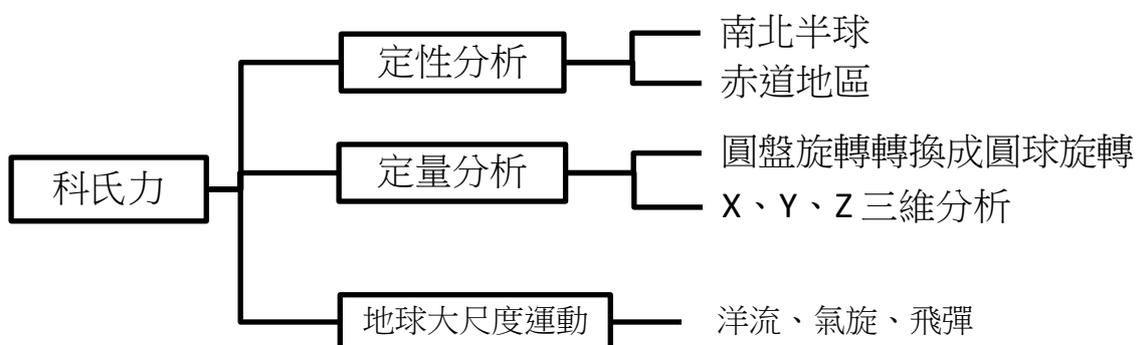
### 三、探究目的與假設

- (一)探討地球上運動物體的各速度分量(東西向、南北向、垂直向)受科氏力影響的方向性。
- (二)探討地球上赤道地區和中高緯度地區的科氏力差異性。

### 四、探究方法與驗證步驟

#### 一、研究架構

本實驗分為對科氏力定性及定量分析兩部分，以及科氏力對地球大尺度運動物體的影響。



## 二、研究方法

### (一)定性分析

#### 1.南北半球

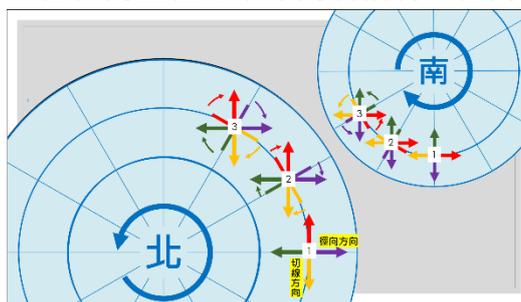
(1)我們先將地球簡化壓扁為一個圓盤，如圖四，標示同緯度不同位置的切線(紅黃)和徑向(綠紫)方向。此時切線方向即為東西方向，徑向方向則為南北方向的平面投影，緯度越高，徑向方向越接近地球南北方向。

(2)若地球有一靜置的物體，則物體會隨著地球自轉而沿著緯度圈移動。若地球有一物體有位移向量(以紅黃綠紫箭頭標示)，則此物體的運動向量會隨著地球自轉而與方向標示發生偏移，如圖五。

(3)比較圖五中 1 號和 2 號、3 號可發現，位移向量在北半球向右偏轉，在南半球向左偏轉。



圖四 同緯度不同地點方向標示



圖五 位移向量隨時間與方向標發生偏移

#### 2.赤道地區

(1)標示赤道區不同位置的切線(紅黃)和徑向(綠紫)方向，如圖六。此時切線方向即為紅色為東，黃色為西，紫色為垂直地面向上，綠色為垂直地面向下，射入紙面為向南，射出紙面為向北。

(2)若地球有一物體有位移向量(以紅黃綠紫箭頭標示)，則此物體的運動向量會隨著地球自轉而與方向標示發生偏移，如圖七。

(3)比較圖七中 1 號和 2 號可發現，向東的位移向量向上偏轉，向西的位移向量向下偏轉，向上的位移向量向西偏轉，向下的位移向量向西偏轉，南北的位移向量不偏轉。



圖六 赤道地區方向標示



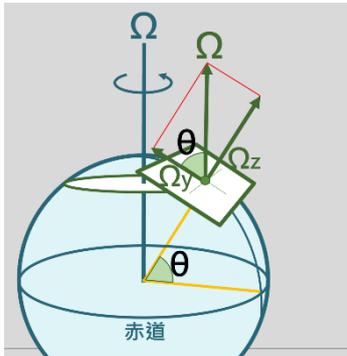
圖七 赤道地區位移向量隨時間與方向標發生偏移

## (二) 定量分析

### 1. 圓盤旋轉轉換成圓球旋轉

(1) 將地球自轉軸的角速度分為與地平面垂直的  $\Omega_z$  和與地平面平行的  $\Omega_y$ ，如圖八，  
 $\Omega_z = \Omega \sin\theta$ ， $\Omega_y = \Omega \cos\theta$ 。

(2) 地球上有一運動向量  $V$ 。 $V$  可分為地平面向東的  $V_x$  向量，向北的  $V_y$  向量及向上的  $V_z$  向量。



圖八 自轉軸角速度

### 2. X、Y、Z 三維分析

(1) 科氏加速度  $a_c = -2\Omega \times V$ ，將  $\Omega_y$ 、 $\Omega_z$  分別和  $V_x$ 、 $V_y$ 、 $V_z$  外積，共得出六項分別為

$$\Omega_y \times V_x, \Omega_y \times V_y, \Omega_y \times V_z, \Omega_z \times V_x, \Omega_z \times V_y, \Omega_z \times V_z。$$

(2)  $\Omega_y$  和  $V_y$  互相平行、 $\Omega_z$  和  $V_z$  互相平行，外積後為零。

(3)  $\Omega_y$  和  $V_x$ 、 $\Omega_y$  和  $V_z$ 、 $\Omega_z$  和  $V_x$ 、 $\Omega_z$  和  $V_y$  相互垂直，外積後等於純量  $\Omega_y V_x$ 、 $-\Omega_y V_z$ 、 $-\Omega_z V_x$ 、 $\Omega_z V_y$ 。

(4) 三維科氏加速度如下：

$$\frac{dV_x}{dt} = 2V_y\Omega\sin\theta - 2V_z\Omega\cos\theta$$

$$\frac{dV_y}{dt} = -2V_x\Omega\sin\theta$$

$$\frac{dV_z}{dt} = 2V_x\Omega\cos\theta$$

### 3. 科氏力對地球大尺度運動影響

(1) 洋流及氣旋是海洋及大氣在地球上的大規模流動，都嚴重的受到科氏力的影響。因洋流及氣旋在水平方向的運動速度遠大於垂直方向運動速度，所以多考慮的是  $2V_y\Omega\sin\theta$  和  $-2V_x\Omega\sin\theta$ ，使洋流和氣旋在南北半球旋轉方向不同。

(2) 洋流跨越地球不同緯度，越低緯度  $\sin\theta$  值越小，使大洋西側低緯到高緯度區的海水較集中，大洋東側高緯度流向低緯度的海水較分散，即為西方強化現象。

(3) 氣旋跨越地球不同緯度，越低緯度  $\sin\theta$  值越小，使赤道海洋區雖然水氣和熱量足夠，卻很少形成強烈熱帶氣旋(颱風、颶風、旋風)。

(4) 航太科技方面科氏力也會影響飛行方向。火箭、飛彈都是以極高的速度向上發射，在地緯度地方  $\cos\theta$  值越大，對飛行的方向偏轉效果也越顯著。

## 五、結論與生活應用

### (一)結論

- 1.科氏力在地球南北半球及赤道地區都存在。
- 2.不同方向的運動在不同緯度地區可造成不同程度的科氏力。
- 3.高緯度地區的  $\sin\theta$  數值較大， $\cos\theta$  數值較小，東西向和南北向的水平運動會產生較大的科氏力，垂直地面的運動體受科氏力影響較小。
- 4.低緯度地區的  $\sin\theta$  數值較小， $\cos\theta$  數值較大，東西向的運動會造成較大的向上或向下的科氏力，南北向的運動受科氏力影響較小，垂直升落的物體也會造成較大的東西向偏移。

### (二)生活應用

科氏力影響洋流與大氣，了解科氏力能讓我們更能掌握天氣現象，例如黑潮蛇行、颱風路徑預測……。科技方面除了大型火箭、飛彈之外，現在我們也利用科氏力的原理，製作出了陀螺儀、流量檢測計等實用的高階電子零件。

## 參考資料

- 國立自然科學博物館
- 國立臺灣科學教育館
- 國立海洋科技博物館
- Bilibili Ch.1.2 離心力與科氏力 (2020) <https://space.bilibili.com/136956317> (March 28,2023)
- Herrera, E., & Morett, S. (2016). On the direction of Coriolis force and the angular momentum conservation. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 38.
- Persson, A. (1998). How do we understand the Coriolis force?. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(7), 1373-1386.

註：

1. 報告總頁數以 6 頁為上限。
2. 除摘要外，其餘各項皆可以用文字、手繪圖形或心智圖呈現。
3. 未使用本競賽官網提供「成果報告表單」格式投稿，**將不予審查**。
4. 建議格式如下：
  - 中文字型：微軟正黑體；英文、阿拉伯數字字型：Times New Roman
  - 字體：12pt 為原則，若有需要，圖、表及附錄內的文字、數字得略小於 12pt，不得低於 10pt
  - 字體行距，以固定行高 20 點為原則
  - 表標題的排列方式為向表上方置中、對齊該表。圖標題的排列方式為向圖下方置中、對齊該圖