



# 「離心力」真的存在嗎？

( Photo by Grace Ho on Unsplash )



**賴昭正**  
前清大化學系教授、系主任、  
所長；合創科學月刊。

## Take Home Message

離心力是一種用於描述作用於進行圓周運動物體的力，但其實這是一種假想的作用力。根據牛頓第一運動定律，一物體若不受外力則應該保持靜止或等速直線運動，若要改變此一運動狀態則必須使用外力。若要使物體做圓周運動，此外力應朝向運動的中心點。牛頓於 1684 年提出向心力的概念，描述作用在圓周運動物體上的唯一力，而其反作用力應該是作用於繩子上的力，而不是作用於該物體，因此離心力並不存在。

筆者在泛科學的〈離地表 100 公里就是太空？看不到浩瀚星河的太空旅遊能體驗什麼？〉一文裡，原想寫「當一質量為  $m$  之物體做圓形運動時，因想保持直線的慣性運動（牛頓第一運動定律）會產生要離開中心的離心力（centrifugal force）」。因為這一離心力，所以為了使該物體做圓形運動，我們必須用一個稱為「向心力」（centripetal force）的力把它拉住。這解釋聽起來很有道理，不但容易理解，也告訴我們向心力應該等於離心力，驗證了牛頓第三運動定律：作用力等於反作用力。可是，事實上筆者爲了這句話思考了很久！

### 真的有離心力嗎？

「離心力」這個詞是荷蘭物理學家和擺鐘的發明者，以倡導光波動說聞名於物理史的惠更斯（Christiaan Huygens）在 1659 年提出，描述作用在圓周運動物體上的力。惠更斯相信離心力是一種真正的、作用於兩物體之間的力，它不但得到了當時德國數學家萊布尼茲（Gottfried Leibniz）的支持，牛頓最初似乎也同意這一看法。

既然如此，為什麼筆者會為了「當一質量為  $m$  之物體做圓形運動時，因想保持直線的慣性運動會產生要離開中心的離心力」這句話思考很久呢？這是因為如果我們仔細分析一下，將發現根本沒有所謂的離心力。牛頓第一運動定律告訴我們：一物體若不受外力，應該保持靜止或等速直線運動；若要改變此運動狀態，第二定律則告訴我們必須使用外力。所以要使物體做圓周運動，這個外力應該是朝向運動的中心點！對此，牛頓最後終於想通了，並於 1684 年提出了「向心力」一詞，描述他認為是作用在圓周運動物體上的唯一力。而其反作用力應該是作用於繩子上的力，而不是作用於該物體的。所以，並沒有所謂作用於該物體的離心力。

但怎麼可能沒有離心力呢？實驗室中用來分離化學同位素的離心機不正是利用離心力原理嗎？事實上，離心機利用的是「慣性原理」，也就是要使比較重的元素做圓周運動需要比較大的向心力，因此這些元素才會被甩掉在外圍。

### 離心力是一種假想力？

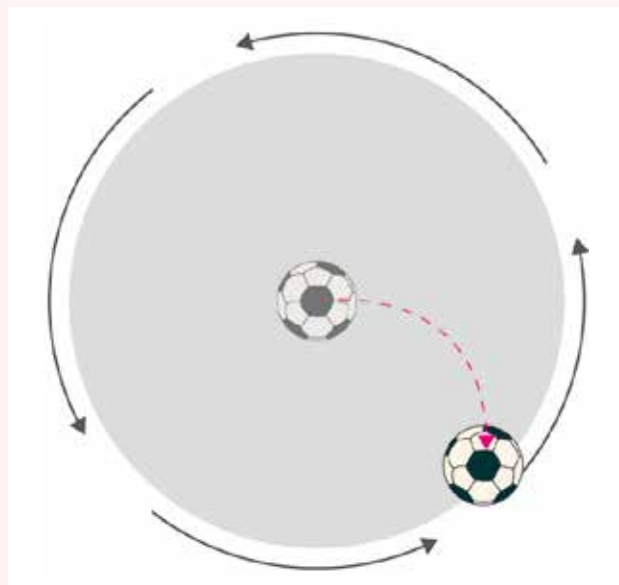
在完全沒有任何作用力的太空中，任何物體應該都是「漂浮」在原地不動的；如果你在這個時候往某一個方向以等加速  $g$  運動，會發現周遭的所有物體都是以  $g$  的等加速往相反方向運動。依據牛頓第二定律，你將得出質量為  $m$  的物體，其受力為  $mg$  的結論，可是我們知道該物體實際上並沒有受任何力。因此到底正確解答是什麼呢？其實，大家都對。

結論不同是因為觀點不同的關係，你是從一個等加速的體系來看這世界，而我們則是站在一個靜態的體系上來看天下。你所說的力是因為你在進行等加速的關係，並在不想破壞牛頓第二運動定律的情況下所虛構出來的一種假想，而不是由任何實體物產生的力，因此物理學家稱之為「假想力」（fictitious force）或慣性力（inertial force）。

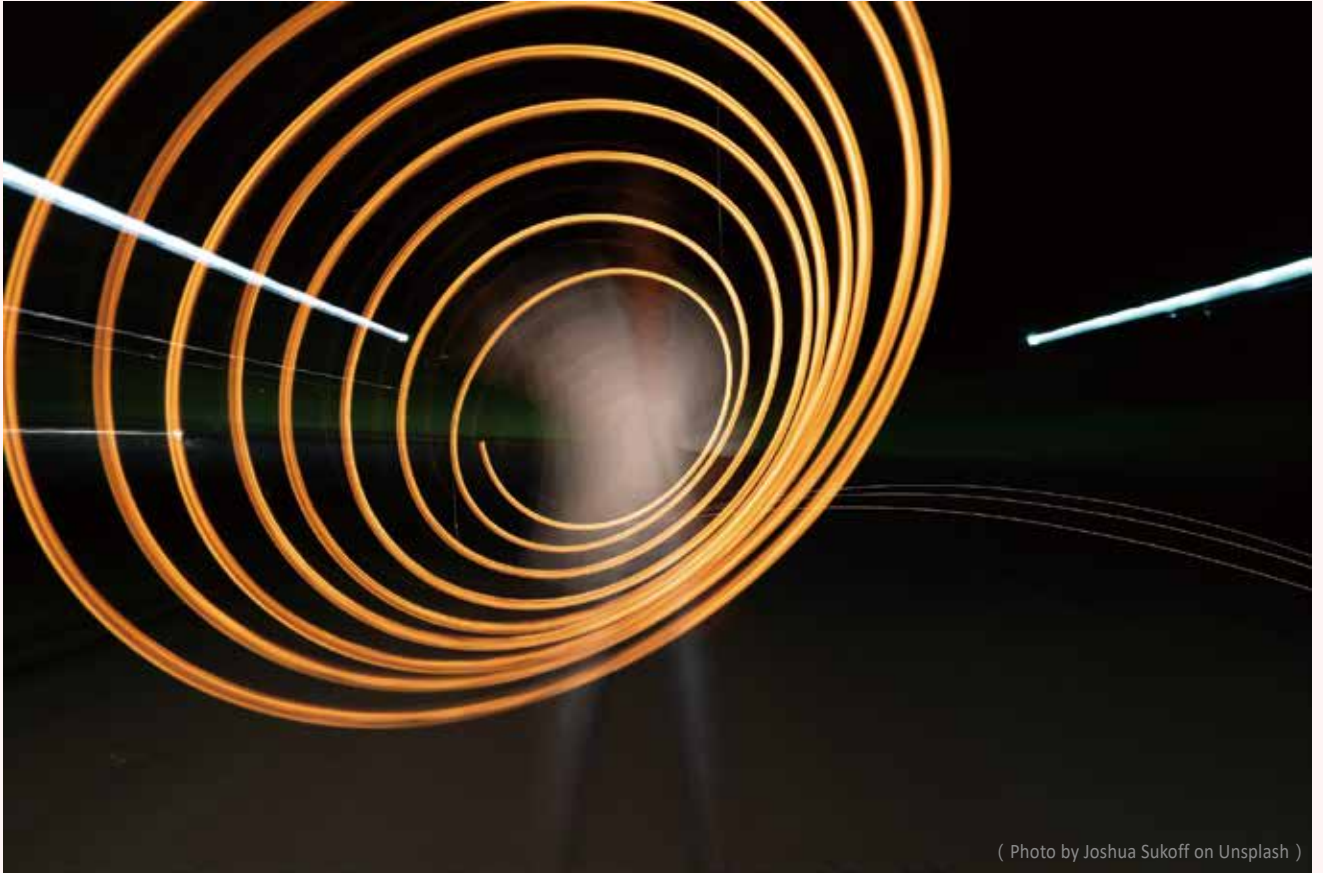
可是問題來了：我們怎麼知道是你，而不是我們在做等加速運動呢（註）？根據牛頓第二運動定律，物體受力所產生的加速度（ $a$ ）應與其質量（ $m$ ）成反比（ $a=F/m$ ），可是你卻發現所有物體的加速度都一樣，所以你觀察到的「力」，應該是因為你本身加速所造成的錯誤觀念。它也不符合牛頓第三運動定律，沒有反作用力了！

**註** 牛頓認為絕對空間是存在的；萊布尼茲則不同意這一看法，他認為空間是用來描述兩個物體的相對位置，只有一個物體的空間與加速度是沒有意義的。離心力的概念與絕對旋轉的概念有密切相關（詳見《科學月刊》524 期〈牛頓的水桶〉）。

讓我們在這裡再來看一看任何人都可以做的實驗：如果你在原地不動，將一高爾夫球往前面踢，會發現高爾夫球沿直線前進；可是如果你在旋轉的某一瞬間往前踢，對地面上的人來說，高爾夫球還是沿直線前進，但你將發現高爾夫球的軌跡為一曲線（圖一）。如果你不知道自己正在旋



圖一：一位在旋轉圓盤的人在旋轉的瞬間將球往前踢，對地面上的人來說，球還是沿直線前進，但旋轉的人則會發現球的軌跡為一曲線。（123RF）



( Photo by Joshua Sukoff on Unsplash )

轉，你將得出有一個看不見的力在推高爾夫球，物理學家稱這一力為「科氏力」(Coriolis force)，科氏力所造成的加速與高爾夫球的質量無關，僅與旋轉速率成正比。科氏力在日常生活中到處可見，氣旋(cyclone)就是科氏力的一個例子。

### 萬有引力也是一種假想力

筆者在《科學月刊》618期撰寫的〈愛因斯坦一生中最幸運的靈感 廣義相對論的助產士〉一文裡，提到愛因斯坦在1907年時，突然領悟到了重力現象可以用加速度來模擬。這一想法啟動了愛因斯坦嘗試改變重力論的8年艱苦抗戰，於1915年11月完成了人類有史以來最美麗的物理

理論：廣義相對論(General Theory of Relativity)。他使用的想像實驗是電梯，但事實上與我們上面所用的太空實驗是相同的。讀者可以想像自己處在一個自由落體的電梯裡，周遭所有的物體都以同樣的加速度 $g$ 往反方向下落，這不正是牛頓所發現的重力( $mg$ )現象嗎？但這裡沒有反作用力，所以重力也應是一種「假想力」！這下子牛頓可要生氣了，萬有引力是再真實也不過了，怎麼可能是一種虛構的力？

愛因斯坦廣義相對論的基石，就是認為萬有引力本身是一種虛構的力(更確切地說，它與假想力無法區分)。在廣義相對論裡，萬有引力是不存在的，地球之所以繞

太陽運行，完全不是因為萬有引力的關係，而是太陽改變了其周遭的幾何，地球只是沿著彎曲時空幾何的「測地線」(geodesic)〔註〕運行而已。

**註** 在廣義相對論中，測地線將平面幾何兩點之間最短距離的「直線」概念推廣到彎曲的時空幾何，不受任何外力的自由下落粒子總是沿著測地線移動。

事實上，「萬有引力是一種真正的力」是很難理解的。兩個物體怎麼會憑空相互作用呢？但是我們從小就被灌輸萬有引力的觀念，現在似乎沒有多少人會認為萬有引力是一種「虛構力」的！

### 離心力是虛構的！

所以我們現在清楚了，對地球上的觀察者來說，離心力是不存在的；但對太空艙內的太空人來說，離心力確實是存在的，它正好抵消了地球的重力引力（向心力），解釋了為何太空艙內的所有物體若不是靜止不動就是沿直線運動（牛頓第一運動定律）。

事實上離心力為一種虛構力的想法在 1700 年代中期就已經變得根深蒂固了：1746 年，荷蘭數學家白努利 (Daniel Bernoulli) 在試圖描述物體相對於任意點的圓周運動時，發現「離心力是虛構的這一想法（便）毫無疑問地出現了」，其大小取決於測量圓周運動所選擇的中心點。儘管如此，即使是物理研究所的教科書中還是很少提起此一概念。

#### 延伸閱讀

1. 賴昭正，〈離地表 100 公里就是太空？看不到浩瀚星河的太空旅遊能體驗什麼？〉· 泛科學 · 2021 年 10 月。
2. 賴昭正，〈愛因斯坦一生中最幸運的靈感 廣義相對論的助產士〉· 《科學月刊》第 618 期 · 2021 年 6 月。
3. 〈牛頓的水桶〉· 《科學月刊》第 524 期 · 2013 年 8 月。



( Photo by daniel james on Unsplash )