

# 【2021 全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

## 高中（職）組成果報告表單

題目名稱：籃球動力學

### 一、摘要

流體力學在生活中處處可見，在各項運動、航太科技領域甚至在軍事產業上也有其作用。在本實驗中，本組先以 Tracker 軟體分析投籃後籃球的運動軌跡，再以馬格努斯效應去討論籃球的軌跡與理論拋物線間的差異，從中探討旋轉對於拋射物體的影響，從而延伸康達效應或馬格努斯效應在生活中的應用。

### 二、探究題目與動機

會打籃球的人都必聽過投籃時需手腕下壓，使球以後旋方式斜向投出，才会有較高的命中率。在物理課中談及拋體運動，本組便想到以 Tracker 程式將投籃影片中每一幀的籃球座標數據化，透過數據分析取得初速度、拋射角、最高點座標等參數，進而推估無空氣阻力下的拋物線，與實際運動軌跡作比較。然而經多次拋射，發現籃球運動軌跡的最高點竟比在無空氣阻力下的拋物線最高點還高，這對於剛學過平面拋射運動的我們而言可謂百思莫解。起初，大家以為應該是在影片分析上出差錯，但經多次分析、與老師討論，並查閱相關資料後，赫然察覺到，似乎應該還有空氣阻力以外的力作用，其中應還包括流體力學的作用。本組便著手進行探究籃球的動力學。

### 三、探究目的與假設

在投籃過程中，手臂會保持放鬆並順著下盤發力而屈伸，因此當起跳達最高點後，球便會順著手腕的下壓而產生對應的「後旋」。而「後旋」在每個職業籃球員的眼中都是投籃不可或缺之一部分，由此可見其應該對籃球飛行軌跡有一定程度的影響，因此本組以「後旋」變因作為實驗的主軸，探討「後旋」對籃球飛行軌跡的影響。

## 1. 理論根據：

根據理論：兩側弧度不均勻 + 不旋轉 = 康達效應；

兩側弧度均勻 + 旋轉 = 馬格努斯效應

而與物體兩側無關，只與同一道氣流有關，則為白努利定律。

如圖所示，根據馬格努斯效應，在移動的流體中流體會透過

繞行其障礙物邊界來保持其移動狀態，而考慮空氣阻力及球

體，發現旋轉的物體會提供其周圍氣流朝其旋轉切線向量方

向的加速度，因此，球在後旋時，旋轉的球體會透過摩擦力

帶動球體周圍的氣流，使球體上、下兩側氣流沿球體邊界流

動分別加速及減速。而使氣流沿球體邊界流動時，球體旋轉

時的向心力便是提供氣流改變其原先方向沿球體圓周流動時

的加速度來源，因此當上、下兩側受到籃球後旋的向心力而影響其流速時，氣流便會相對地給予球

體反作用力；而籃球向後旋轉時，其上方氣流速度方向會因與旋轉的切線向量同向而加速，因而產

生一向上的反作用力；反之，下方氣流則會因與其旋轉切線向量反向而減速，並因而產生一較上方

小的反作用力，因此該兩力的合力便提供球體在飛行過程中向上的力。

## 2. 推論：

若根據以上理論，在投籃時，使籃球以「後旋」方式投出，可使籃球在飛行過程提供額外向上的力，

增加飛行時的弧度，進而提高命中率。為證實此項假設，本組決定設計實驗加以驗證。

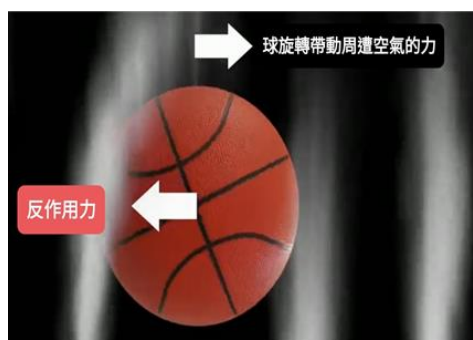


圖 1：截圖自申科學 0922 馬格努斯效應的原理及神奇應用

<https://www.youtube.com/watch?v=15bKZkUEieo>

## 四、探究方法與驗證步驟

### 1. 實驗設計與過程：

身高約 175 cm 的同學站在三分線位置立定投籃，拍攝者垂直於拋射面錄下其空心進籃的影片，並利用 Tracker 分析水平位置  $x$ 、鉛直位置  $y$  與飛行時間  $t$  的關係，畫出籃球實際的飛行軌跡 ( $y-x$  圖)。(影片：<https://reurl.cc/zbDmda>)

**表 1：籃球座標( $x, y$ )與時間  $t$  關係，以拋出點座標 (0, 2.258) 公尺**

時間 $t$ (s)	水平位置 $x$ (m)	高度 $y$ (m)	時間 $t$ (s)	水平位置 $x$ (m)	高度 $y$ (m)
0.000	0.000	2.258	0.700	3.102	4.732
0.033	0.159	2.485	0.733	3.253	4.752
0.067	0.310	2.679	0.767	3.394	4.75
0.100	0.449	2.883	0.800	3.536	4.748
0.133	0.599	3.088	0.833	3.689	4.725
0.167	0.763	3.25	0.867	3.843	4.702
0.200	0.905	3.411	0.900	3.976	4.656
0.233	1.068	3.584	0.933	4.119	4.622
0.267	1.211	3.723	0.967	4.275	4.555
0.300	1.366	3.852	1.000	4.421	4.488
0.333	1.499	3.980	1.033	4.567	4.411
0.367	1.655	4.098	1.067	4.713	4.333
0.400	1.789	4.205	1.100	4.86	4.234
0.433	1.934	4.311	1.133	5.008	4.123
0.467	2.092	4.397	1.167	5.168	4.003
0.500	2.239	4.472	1.200	5.306	3.871
0.533	2.376	4.545	1.233	5.466	3.739
0.567	2.525	4.598	1.267	5.606	3.585
0.600	2.673	4.651	1.300	5.757	3.432
0.633	2.811	4.703	1.333	5.919	3.268
0.667	2.963	4.712	1.367	6.071	3.093

在此次實驗中，以球體旋轉作為變因，但鑒於在現實環境中難以無旋轉的方式將球體投出做比較，只能利用 Tracker 分析投籃的初速度  $v_0$  及拋射角  $\theta_0$ ，利用斜拋運動方程式，得出在無空氣阻力及無旋轉狀態的球體飛行軌跡，計算籃球在拋射過程中的理論數據 (最大高度、飛行時間  $T$ 、拋射距離  $R$ )，畫出籃球的理論軌跡，並且將其理論數據與實際拋射軌跡所實驗出的數據做比較。

經 Tracker 軟體分析，求得當初速  $v_0 = 8.398 \text{ m/s}$ 、仰角  $\theta_0 = 55^\circ$ 、出手高度  $h_0 = 2.258$  公尺時，籃球可空心破網。若不考慮空氣阻力及球的旋轉，則其理論軌跡方程式為  $y = 2.258 + 6.879 t$

$$- \frac{1}{2} \times 9.8 \times t^2, \text{ 上升至最高點時間 } t = \frac{6.879}{9.8} = 0.702 \text{ 秒, 最高點高度 } h = 2.258 + \frac{6.879^2}{2 \times 9.8}$$

公尺。

表 2：籃球的實際與理論水平距離與最大高度

	水平距離 (公尺)	鉛直最高處 (公尺)
實 際	6.071	4.752
理 論	6.586	4.262

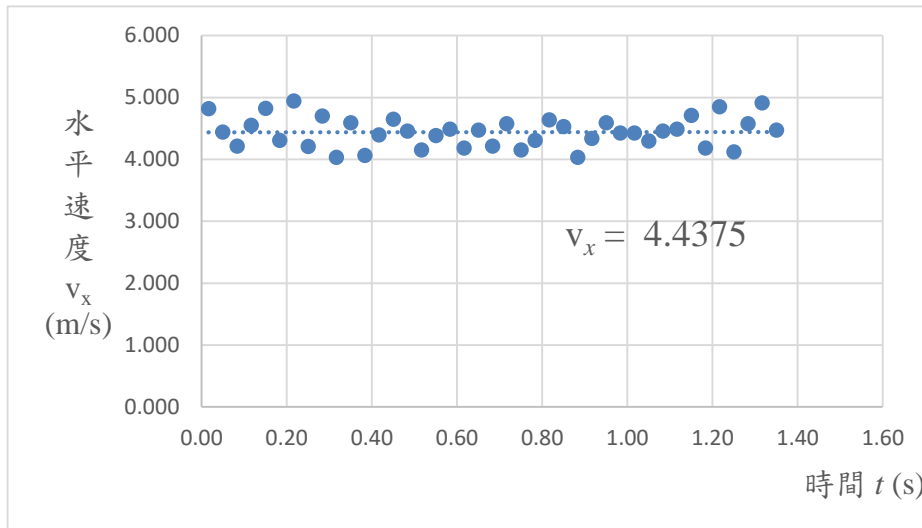


圖 2：水平速度  $v_x$  與時間  $t$  關係

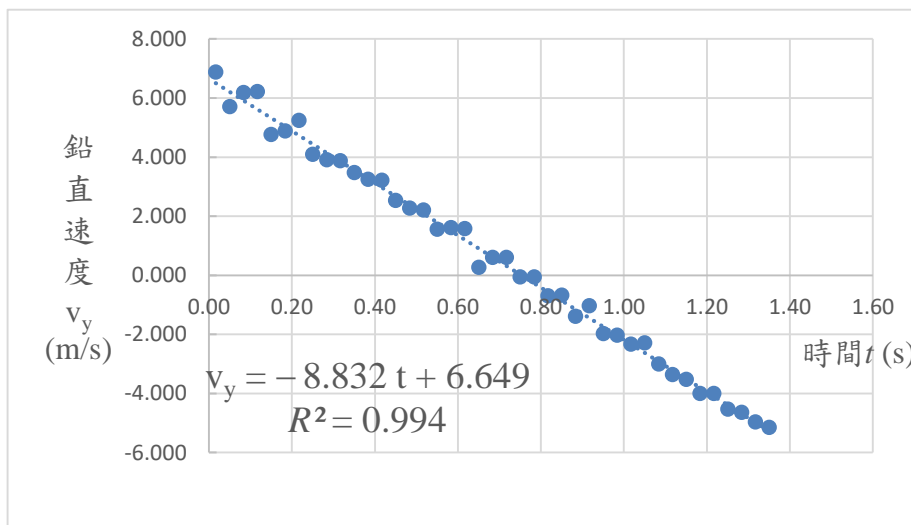


圖 3：鉛直速度  $v_y$  與時間  $t$  關係

由以上數據分析，可發現實際飛行軌跡的高度較理論飛行軌跡高，而水平位移則略短。後者可歸因於空氣阻力的影響，但前者則明顯不符合僅考慮空氣阻力的設定，因此可得出該現象的確極可能源自於後旋，即馬格努斯效應所致。

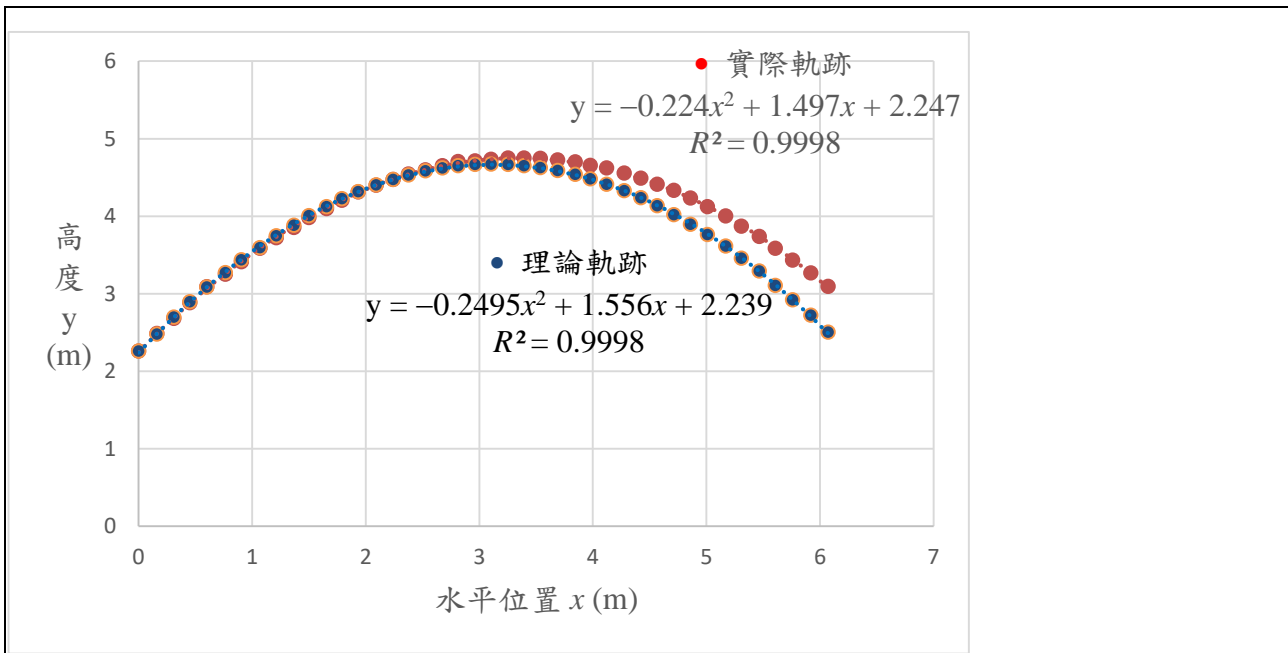


圖 4：實際軌跡與理論軌跡的比較

## 五、結論與生活應用

1. 飛機的機翼上方為弧狀，而當飛機向前飛行時，氣流就會因著

附壁效應而隨著機翼流動，因此上方氣流便會被機翼所導向下

移動，與機翼下方水平移動的氣流在機翼後端匯集，因機翼的

附壁效應使上方氣流向後流動，故氣流施予機翼向上的反作用力，因而使飛機獲得向上的升力。

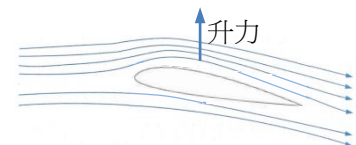


圖 5：氣流流經機翼的附壁效應

2. 在足球場的 12 碼罰球常常可以看到踢出越過人牆完

美弧線的香蕉球，而香蕉球也是利用馬格努斯效應所

產生的現象。當圖中的藍色球員朝向球的右邊踢過

去，自上方觀察，球體以逆時鐘方向旋轉，因此當氣

流通過足球的右側時，其速度會因與足球旋轉方向相

反而減速，對氣流而言，球體提供的向心力較左側少，導致雙邊氣流對於球體所產生的反作用

力形成指向左下方的合力，使原先向右上踢出的球最後會朝左下方偏離。

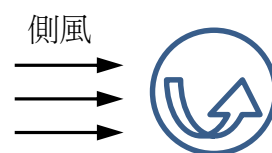


圖 6：截圖自台視世足對決 12 碼 PK 戰

<https://www.ttv.com.tw/info/view.asp?id=38826>

&from=619

3. 一般槍枝所射出的子彈也會受到馬格努斯效應的影響，在槍管內部通常有膛線，使子彈在擊發時沿著膛線的方向旋轉，以自旋力使其產生陀螺儀效應以減少因發射時槍口抬升而可能導致的彈體翻滾及彈道偏移。但膛線的使用雖能增加一定精度，卻仍會因



逆時針方向旋轉的子彈

圖 7：子彈的馬格努斯效應

著旋轉產生的馬格努斯效應影響其精度。若以逆時鐘方向膛線而言，子彈射出後會向逆時鐘方向旋轉，此時如果有由左向右的側風吹過子彈，子彈下方氣流便會因與旋轉方向同向而加速，子彈提供下方氣流較大的向上向心力，反之上方則會減速，子彈提供上方氣流較小的向下向心力。因此，上、下氣流提供子彈向下的反作用力，造成子彈向下偏移，射程因此縮短。

4. 在棒球比賽中，投手投出各種千奇百怪軌跡的球路，此與馬格努斯效應有著極大的關聯。一般的棒球都會有著兩條粗貫穿整個球體的縫線，它能帶給投手的最大作用便是幫助投手控制球投出時的旋轉方向，並且也能利用它的摩擦力幫助投手投出更高轉速的球，使球在飛行時能有更明顯的馬格努斯效應作用，以增加球在路徑變化上的激烈程度。

5. 在使用不同容器盛裝液體時，也會有著康達效應的現象。例如使用杯子倒水時，如果杯緣較圓厚便會造成水在流出杯口時沿著杯緣流到杯子的外側；反之如果使用杯壁較薄的杯子盛裝液體時，該液體就較不容易因著康達效應而沿著杯壁流出。

#### 參考資料

<https://reurl.cc/YWqKAa>

<https://reurl.cc/xgpvze>

<https://reurl.cc/3N66rM>

<https://reurl.cc/pm99nQ>

<https://reurl.cc/E2mVYA>