

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

080102

如何踢出夢想中的香蕉球

學校名稱：臺北市士林區天母國民小學

作者： 小四 鄭又嘉 小四 黃偉倫 小四 何宥承	指導老師： 廖雅如
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：香蕉球、馬格努斯效應、流體力學

摘要

香蕉球是在空中飛行且路徑為弧線形狀的球，因路線似香蕉形狀而得名。本實驗由三位國小四年級熱愛足球的學生共同研究，找出踢出香蕉球的方法：

1. 踢出香蕉球的秘訣主要在於球的旋轉。香蕉球受馬格努斯效應影響，球旋轉越快，飛行弧線會越明顯。
2. 擊球點離球心越近，轉速越小，球速越大；離球心越遠，轉速越大，球速越小。
3. 球速、轉速會影響球飛行軌跡。轉速越大，水平偏移距離越大。球速越小，偏移越厲害。
4. 擊球點與旋轉方向影響飛行的偏移方向。想讓球向左偏，就踢球心偏右下的位置；想讓球向右偏，就踢球心偏左下的位置。
5. 擊球點選擇球心偏右下，讓腳踝成 L 型、用腳內側摩擦球的邊緣，加強逆時針的旋轉力道，並適當揮動手臂，加強射門力量。

壹、研究動機

足球是一個團體性的競技項目，幾乎所有的進球，都是靠團隊共同努力。如果想單憑一己之力取得勝利，只有一種方式就是自由球得分。貝克漢就是以自由球技術而聞名的足球隊員。而人們將他的旋轉、落點準確的弧線球稱為「貝氏弧度」，也就是「香蕉球」。「香蕉球」為什麼會突然轉彎？要怎麼踢才能踢出「香蕉球」？對我們三個十分熱愛足球的小四生而言，要踢出繞過人牆，劃出一道完美弧線的「香蕉球」，就像是做夢一樣！想透過這次科學方法的研究，了解「香蕉球」的科學原理，並歸納出一套可以踢出「香蕉球」的腳法，有朝一日我們能踢出了夢想中的「香蕉球」，在空中劃出像彩虹一般的優雅而美麗的弧線！

教材相關單元:四下翰林版 第一單元 有趣的力；五下南一版第四單元 力與運動

貳、研究目的

- 一、藉由探討「香蕉球」的原理來理解「馬格努斯效應」
- 二、探討擊球點與球速、轉速的關係
- 三、探討球速與轉速對飛行軌跡的影響
- 四、探討擊球點與旋轉方向對飛行軌跡的影響

五、探討飛行軌跡的變化情形

六、探討身體該如何擺動才能踢出「香蕉球」

參、研究設備器材

電子足球 	高速攝影機 	空拍機 	旗桿、旗座 	手機 
球鞋 	球門 	粘土 	珍珠板 	人工草皮 
鋁線 	熱熔槍 	膠帶 	油漆筆 	剪刀 

肆、研究過程或方法與研究結果

一、文獻探討

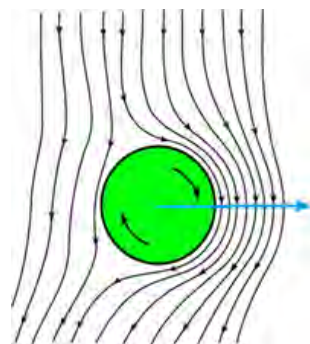
所謂香蕉球，即是在空中前行且路徑為弧線形狀的球，因為路線酷似香蕉的弧形狀而得名。也是因為那弧形路線，香蕉球還有「弧旋球」或「弧線球」的別稱。

提到香蕉球，球迷們的腦海中，一定會想到貝克漢在 1996 年的倫敦世界盃上，用一隻神奇的大腳踢出的美麗弧線。成功的香蕉球會完美地繞過防守的人牆，然後眼看就要飛到球門外

時忽然一拐，直入球門！當足球在空中飛行時，並且不斷地在旋轉，由於空氣具有一定的粘帶性，因此當球轉動時，空氣就與球面發生摩擦，旋轉著的球就帶動周圍的空氣層一起轉動，從而形成足球在空中向前並作弧線飛行。

那麼足球要在天空劃出怎樣的弧線，才能稱得上是「香蕉球」呢？首先，必須知道流體力學裡面的一個原理——白努利原理(Bernoulli's Law)：即無論是在水流還是在空氣流中，若流速慢，對旁側的壓力就大；若是流速快，對旁側的壓力就小。

下圖是一個球受空氣阻力影響的俯視圖。黑色線條代表著空氣的流動、線上的箭頭是空氣阻力的方向、球內箭頭是球的旋轉方向。慣用左腳的足球員將球踢入了空中，並使球順時針旋轉。球在空中不斷的和空氣摩擦，影響了空氣的流動。球的右側和球旋轉同方向的空氣流速較快，而左側則因為空氣流動方向和球旋轉方向相反，速度相對較慢。

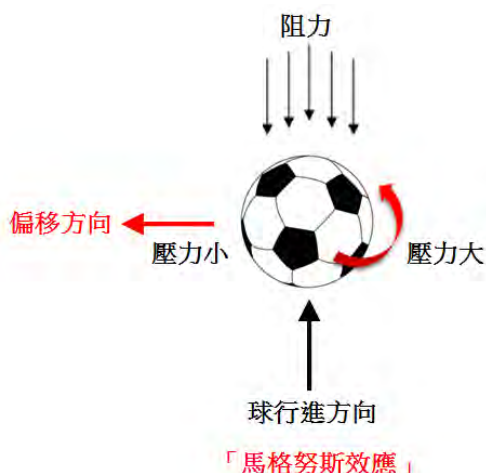


根據白努利定律，速度快的流體壓力會較小，反之則壓力大。因此可知，圖中的藍色箭頭指向球受力的方向。球路徑於是會成為一向右上運動的弧線。這就是著名馬格努斯效應(Magnus Effect)的應用。當火車或車子從我們面前高速駛過時，我們會感受到把我們往車子吸的吸力，其實這就是身體前後空氣的壓力差所造成的。高速的車子會帶動它周圍的空氣，所以我們前面的空氣流速較快而壓力較小，這也是為什麼月台上會有黃線的原因，就是要警告旅客不要站得太靠近軌道，以免被這種壓力差造成的吸力而撞到進出站的列車。

球員踢球時，如果用的是右腳，當腳作用於球上，因為和腳內側有摩擦，所以，足球不僅會向著球門飛行，還會有一個逆時針方向的旋轉。而空氣有一定的黏帶性，當球轉動時，空氣會和球面發生摩擦，旋轉的球帶動周圍空氣層一起轉動，會在球的周圍產生氣流，球左側摩擦產生的氣流的流動方向與飛行中迎面遇到的氣流方向相同，所以，球左側的空氣流動速度較快。而球右側的這兩股氣流的方向相反，所以球右側氣流速度較慢。

實驗一：藉由探討「香蕉球」的原理來理解「馬格努斯效應」

在蒐集「香蕉球」資料的同時，我們學習到「香蕉球」主要是受「馬格努斯效應」的影響，也就是球體轉速快的方向，氣流速度會加快，而氣流速度快的時候空氣壓力就變小，壓力大的方向就會往壓力小的方向推擠，因此球軌跡會出現偏移的現象。



於是我們了解「馬格努斯效應」之後，想驗證球的旋轉方向是否真的會影響球軌跡的行進。





研究過程：

1. 足球場中線的右邊為 A 區、左邊為 B 區。
2. 球員站在中線的地方踢球，左旋球(逆時針方向)與右旋球(順時針方向)各踢 5 次。
3. 觀察球飛行軌跡的變化與偏移，並用手机錄影並擷取照片。

實驗結果：

	實驗照片	球旋轉方向	球軌跡行進方向
左旋球		球逆時針旋轉	球的飛行弧線會先往 A 區方向飛行，再逐漸往 B 區方向偏移。

右旋球		球順時針旋轉 球的飛行弧線會先往 B 區方向飛行，再逐漸往 A 區方向偏移。
-----	---	---

	左旋球	右旋球
球旋轉方向	逆時針旋轉(俯視) 	順時針旋轉(俯視) 
飛行軌跡		
我們的發現	<p>1.旋球在空氣中飛行軌跡會出現偏移的現象。</p> <p>2.球的旋轉方向會影響球的飛行軌跡。</p> <p>3.踢左旋球，球飛行路線會先向右，再逐漸向左偏移；踢右旋球，球飛行路線會先向左，再逐漸向右偏移，驗證了「馬格努斯效應」。</p>	

實驗二：探討擊球點與球速、轉速的關係





根據「馬格努斯效應」，球會偏移與轉速有關係，因此我們很好奇踢球的不同位置，對球的轉速和球速有何影響？

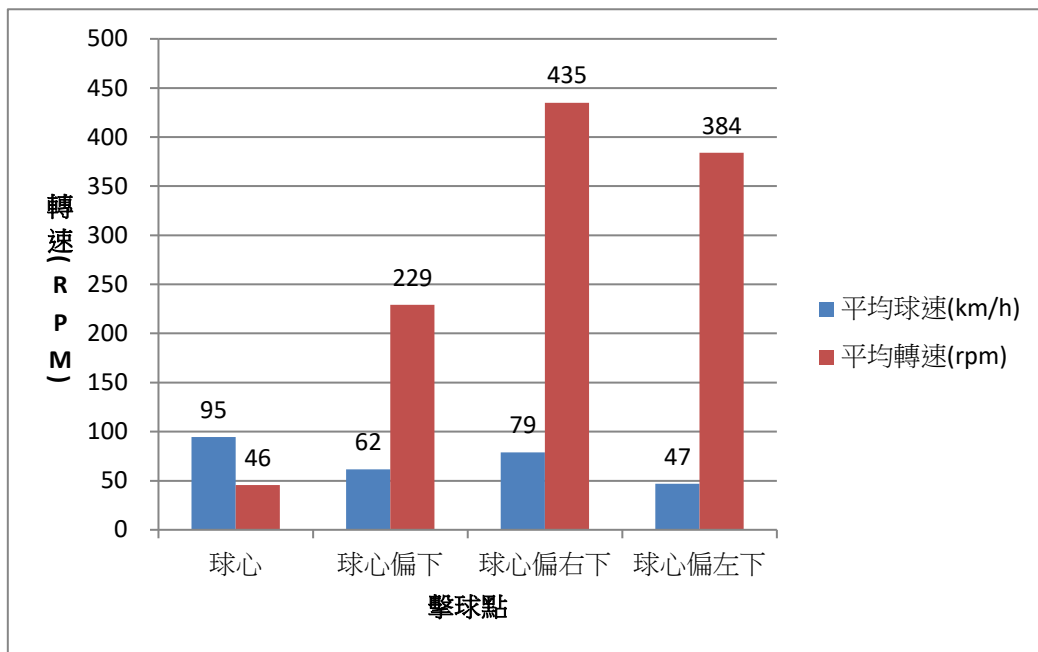
研究過程：

1. 把足球分成四個區域，分別是球心（標示橘色），球心偏下（標示紅色），球心偏右下（標示藍色），球心偏左下（標示綠色）。
2. 請一教練(慣用右腳)踢電子球的四個擊球點各 10 次。
3. 紀錄每次的球速(km/h)和轉速(rpm)。



實驗結果：

次數 擊球點		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
 (近)球心	球速	104	101	95	93	90	90	89	95	92	96	95
	轉速	35	39	44	51	42	46	69	40	44	45	46
 球心偏下	球速	57	58	65	61	60	62	66	62	63	61	62
	轉速	262	236	234	226	223	223	220	216	212	239	229
 球心偏右下	球速	76	80	78	85	76	78	79	75	76	83	79
	轉速	546	412	468	352	464	400	439	413	481	377	435
 球心偏左下	球速	51	48	49	45	42	50	49	46	43	47	47
	轉速	356	385	396	410	420	368	366	340	396	402	384



由上表，我們發現：(1)轉速：球心偏右下 > 球心偏左下 > 球心偏下 > 球心
 (2)球速：球心 > 球心偏右下 > 球心偏下 > 球心偏左下
 (3)擊球點離球心越近，轉速越小，球速越大；離球心越遠，轉速越大，球速越小。(球心與球心偏下做比較)

實驗三：探討球速與轉速對飛行軌跡的影響

球速和轉速的大小，會影響「香蕉球」的弧度、高度和飛行距離嗎？

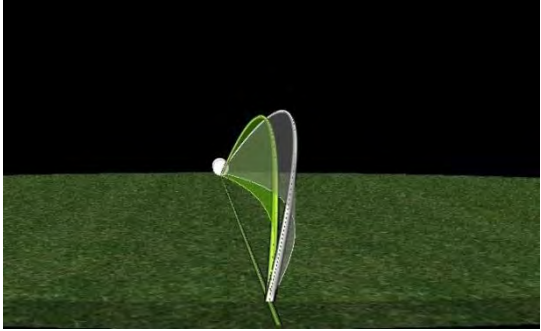
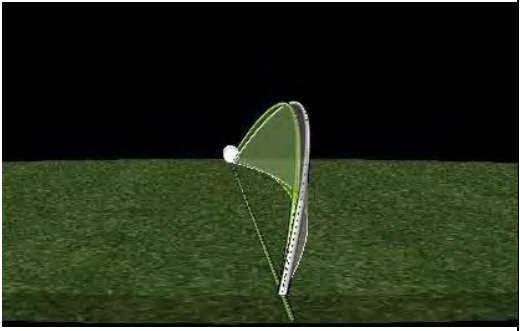
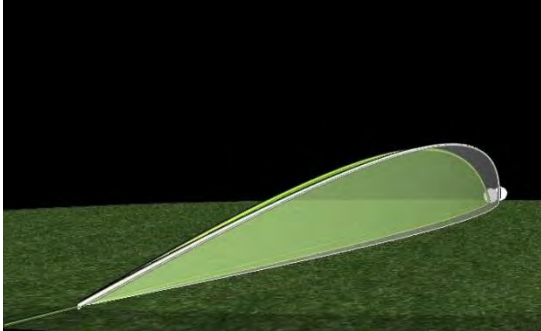
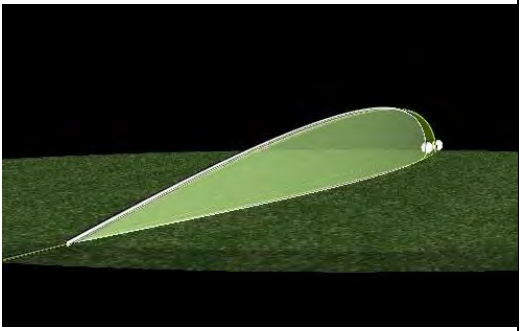
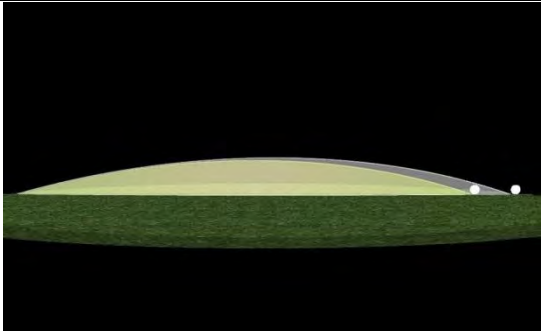
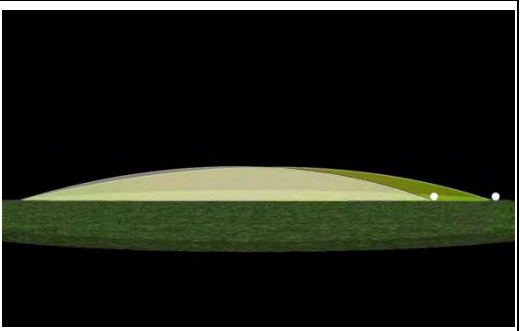
研究過程：

- 1.請教練站在與職業選手相同的位置，對球門進行射門。
- 2.紀錄球速(km/h)、轉速(rpm)及飛行軌跡
- 3.利用電子足球提供的職業選手的球速和轉速分析比對飛行軌跡

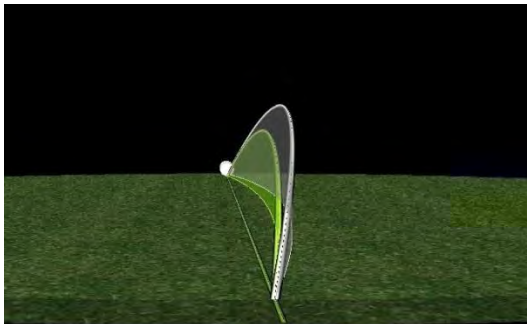
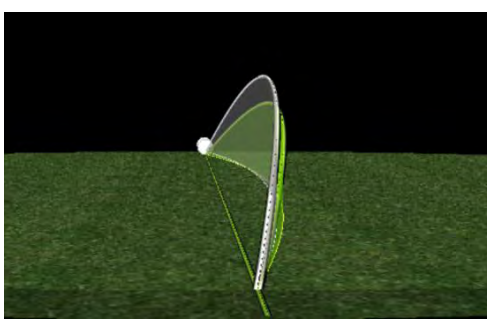
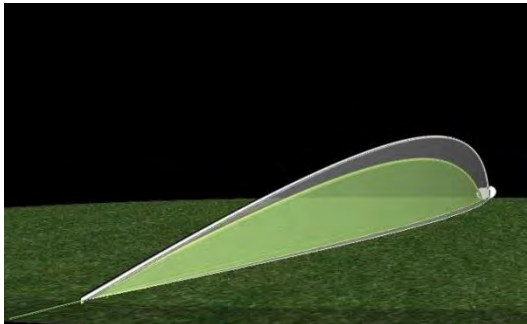
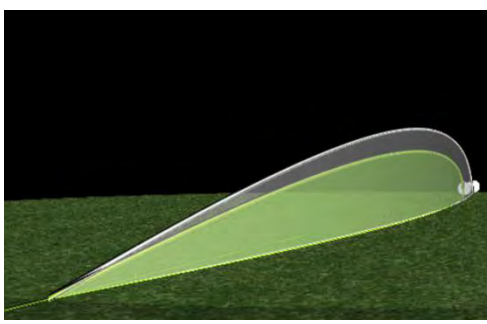
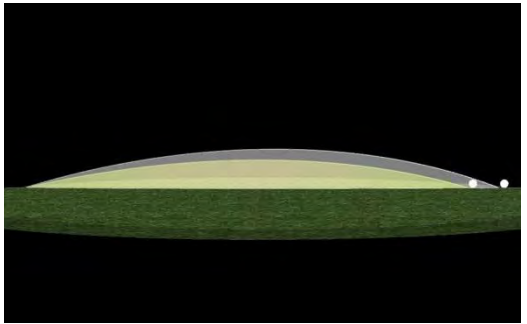
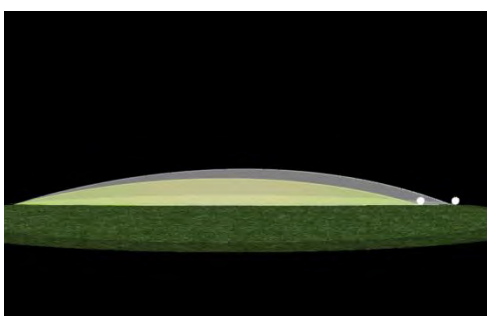
編號		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
教練	球速	75	86	80	95	92	68	63	82	76	82
	轉速	395	464	342	546	324	256	287	300	481	194
職業選手	球速	86	86	84	84	79	79	77	77	75	78
	轉速	500	500	375	375	350	350	300	300	300	330

實驗結果分析:

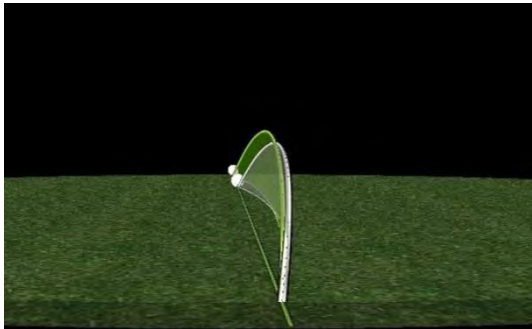
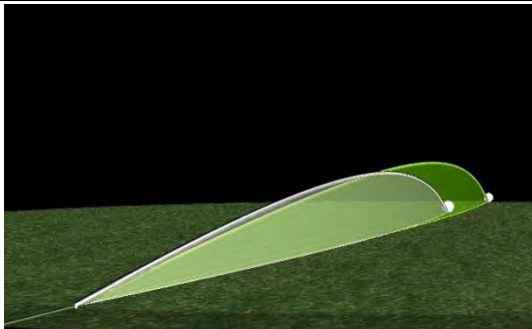
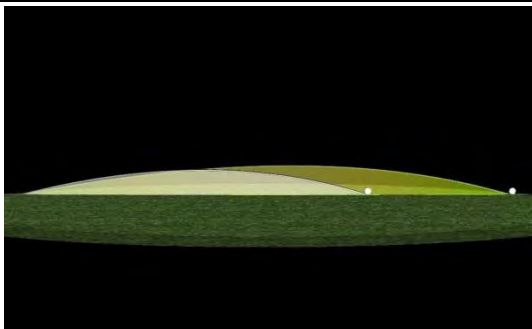
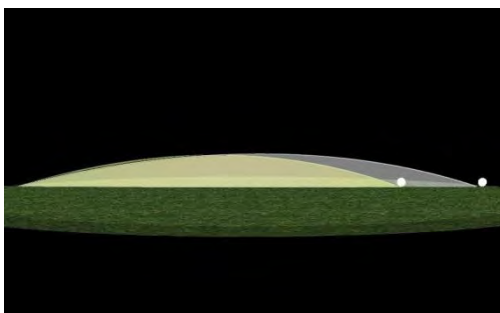
電子足球的飛行軌跡資料 01~02

飛行軌跡	01	黃色弧線 球速 75 轉速 395	02	黃色弧線 球速 86 轉速 464
		白色弧線 球速 86 轉速 500		白色弧線 球速 86 轉速 500
縱觀				
角度觀				
側觀				

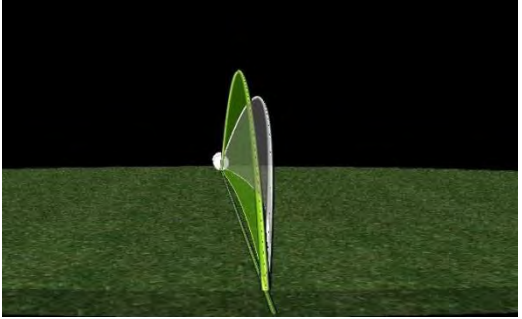
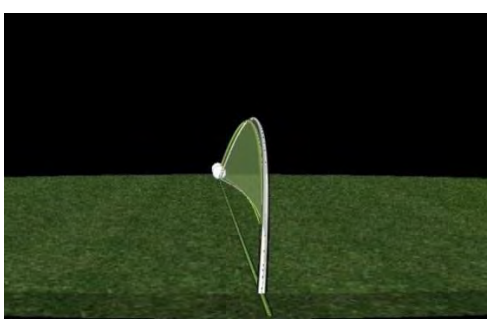
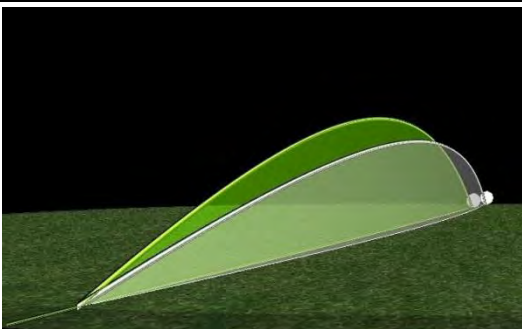
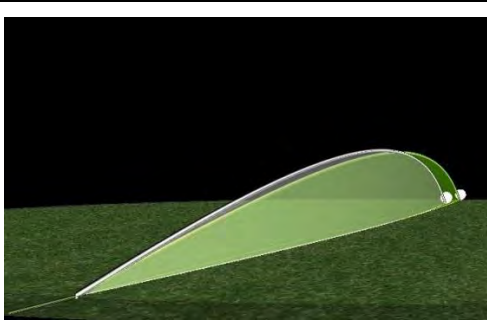
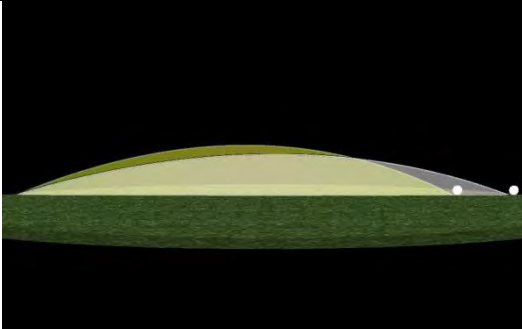
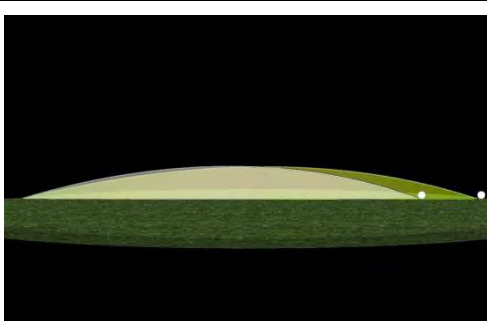
電子足球的飛行軌跡資料 03~04

飛行軌跡	03	黃色弧線 球速 80 轉速 342	04	黃色弧線 球速 95 轉速 546
		白色弧線 球速 84 轉速 375		白色弧線 球速 84 轉速 375
縱觀				
角度觀				
側觀				

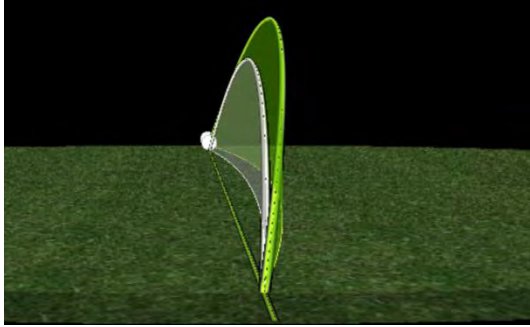
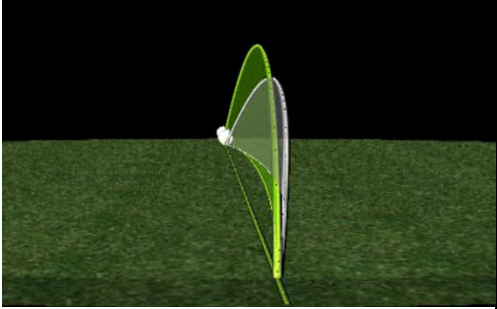
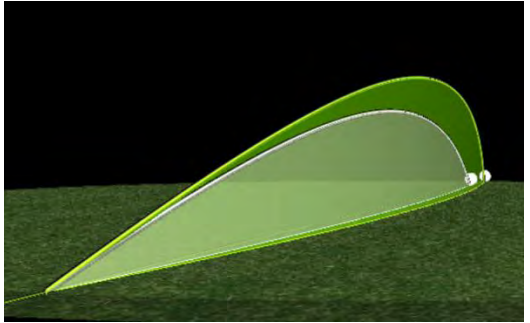
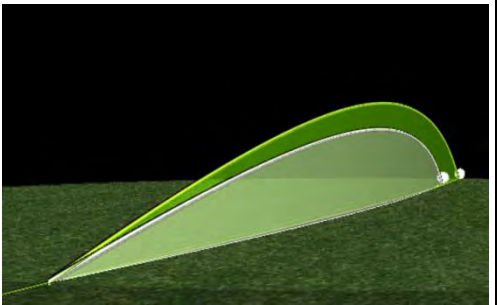
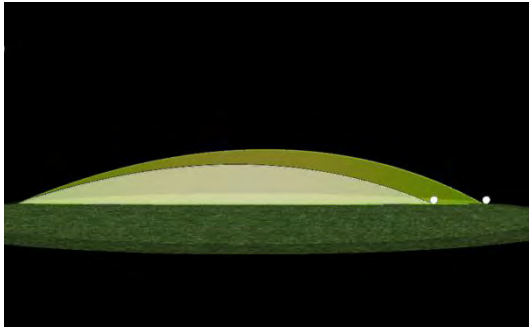
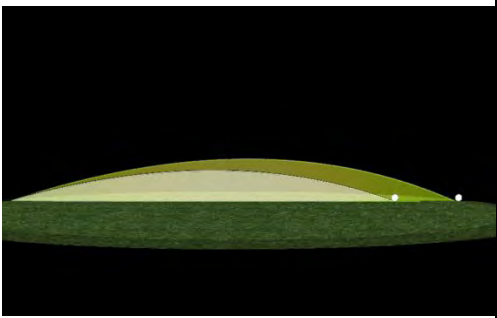
電子足球的飛行軌跡資料 05~06

飛行軌跡	05	黃色弧線 球速 92 轉速 324	06	黃色弧線 球速 68 轉速 256
		白色弧線 球速 79 轉速 350		白色弧線 球速 79 轉速 350
縱觀				
角度觀				
側觀				

電子足球的飛行軌跡資料 07~08

飛行軌跡	07	08
	黃色弧線 球速 63 轉速 287 白色弧線 球速 77 轉速 300	黃色弧線 球速 82 轉速 300 白色弧線 球速 77 轉速 300
縱觀		
角度觀		
側觀		

電子足球的飛行軌跡資料 09~10

飛行軌跡	09	黃色弧線 球速 76 轉速 481	10	黃色弧線 球速 82 轉速 194
		白色弧線 球速 75 轉速 300		白色弧線 球速 78 轉速 330
縱觀				
角度觀				
側觀				

從電子球提供的飛行軌跡資料，可以看出球的水平偏移距離、高度和飛行距離的差異。

為了瞭解轉速和球速的大小對飛行軌跡的影響，我們將上列十筆資料作分析比較。

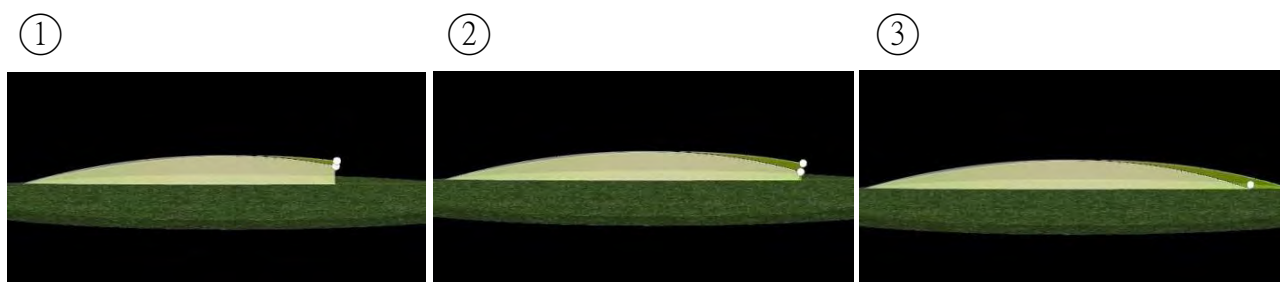
由資料分析比對飛行軌跡，我們發現：

1. 轉速越大，水平偏移距離就越大。但高度、飛行距離不一定比較大。根據白努利定律，

這可能是因為當轉速越大時，球的兩側的氣流壓力差越大，馬格努斯效應增大，偏轉軌跡加大，因而影響球的高度和飛行距離。

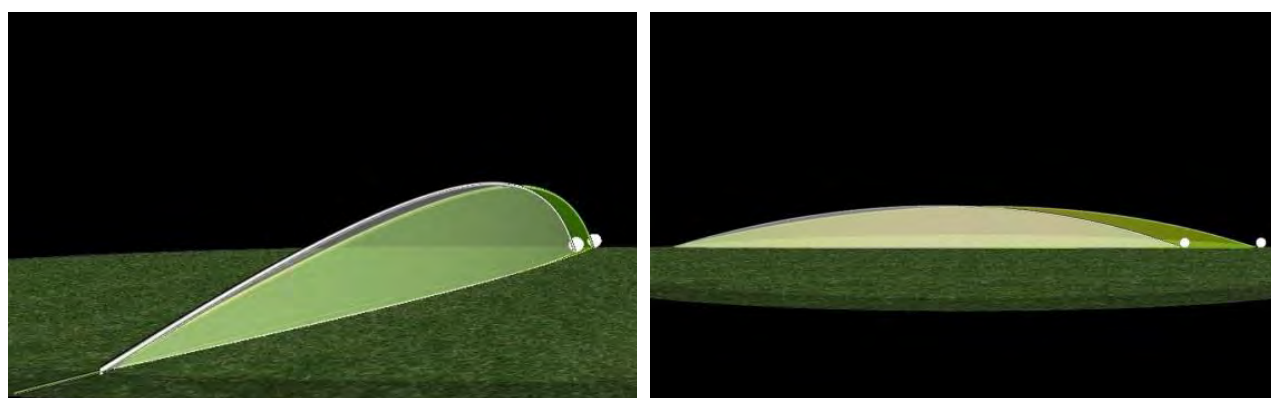
- 當球速相同時(如下圖-第 2 筆資料飛行軌跡)，轉速越大，越早偏轉落地，劃出弧線，因此飛行距離越小。

(黃色弧線 球速 86 轉速 464 / 白色弧線 球速 86 轉速 500)



- 當轉速相同時(如下上圖-第 8 筆資料飛行軌跡)，球速越小，越早發生偏轉(偏移越厲害)，飛行距離越小。

(黃色弧線 球速 82 轉速 300 / 白色弧線 球速 77 轉速 300)



球速越小，越早發生偏轉

球速越小，飛行距離越小

實驗四：探討擊球點與旋轉方向對飛行軌跡的影響

研究過程：

- 把足球分成四個區域，找出球的四個點分別是球心（標示橘色），球心偏下（標示紅色），球心偏右下（標示藍色），球心偏左下（標示綠色）。



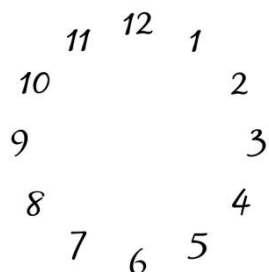
2. 球員與足球的距離，就是球員習慣射門時支撐腳與球的距離。






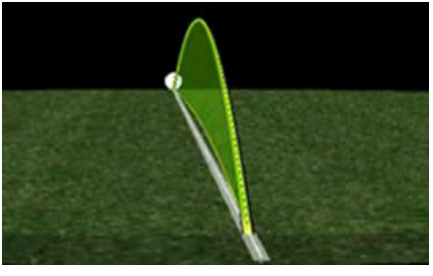
3. 分別踢電子球的球心(橘色點)、球心偏下(標示紅色)、球心偏右下(標示藍色)、球心偏左下(標示綠色)，並用照相機錄影和照相，手機紀錄飛行軌跡。






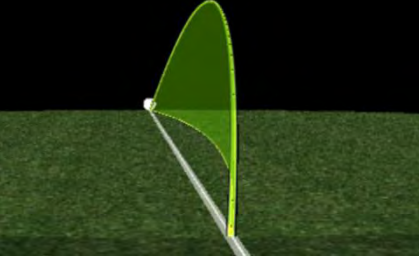








研究結果：

將足球簡化成平面的圓形，在圓形上刻畫出 12 個刻度(如下圖)，以便描述旋轉軸的方向。





















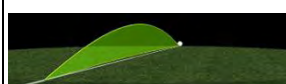





擊球點	旋轉方向	飛行軌跡圖(縱觀)	飛行軌跡
 <p>(近)球心</p>	 <p>後旋(旋轉軸 1—7)</p>	 <p>(球速 101Km/h 轉速 39rpm)</p>	球直直的往前飛行，並且會有最強的力道。(飛得最遠)
 <p>球心偏下</p>	 <p>後旋(旋轉軸 3—9)</p>	 <p>(球速 57 Km/h 轉速 262 rpm)</p>	球的飛行高度會偏高。

			<p>球飛行路線會先向右，再逐漸向左偏移。</p>
			
			<p>球飛行路線會先向左，再逐漸向右偏移。</p>
			

由實驗結果，我們發現：

- (1) 擊球點的不同會影響旋轉方向，因而造成飛行軌跡的不同。
- (2) 若想讓球直直往前飛行，踢出最有力道的球，就踢球心的位置；若想讓球飛行高度偏高，就踢球心偏下的位置。
- (3) 若想讓球向左偏，就踢球心偏右下的位置；若想讓球向右偏，就踢球心偏左下的位置。

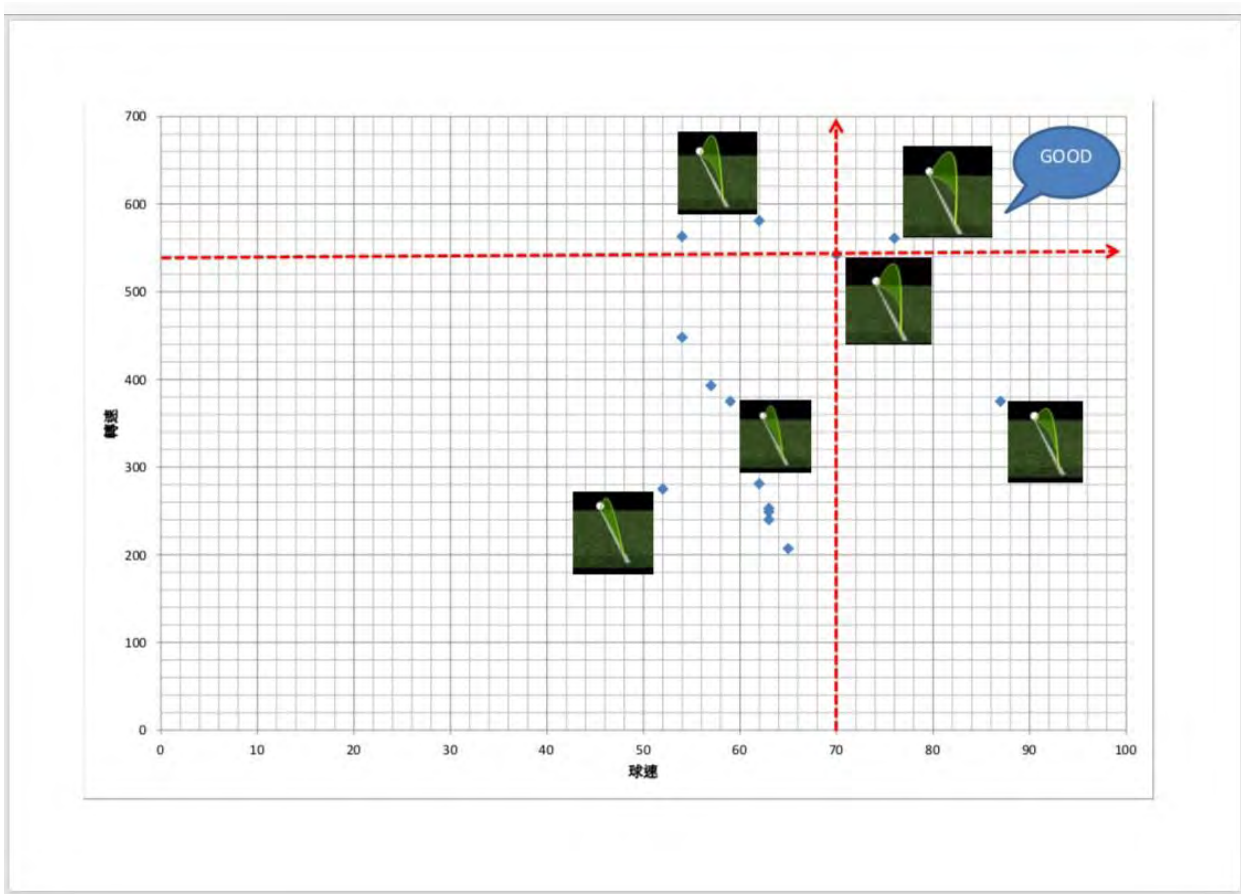
擊球點	球速	轉速	飛行軌跡		
	75	561			
	70	542			
	62	581			

擊球點	球速	轉速	飛行軌跡		
	66	513			
	72	493			
	76	487			

經過不斷的實驗、觀察、記錄和分析比對電子足球提供的資料，我們發現：

- (1)球速、轉速、旋轉方向等因素都會影響球的飛行軌跡。
- (2)要踢出弧度大的香蕉球，必須要有較大的轉速。而擊球點不同會造成不同的轉速，偏離球心愈遠，轉速愈大。
- (3)擊球點也影響球的飛行軌跡。如果想讓球向左偏，就踢球心偏右下的位置；如果想讓球向右偏，就踢球心偏左下的位置。

(4)由下圖可知，球速大，又有理想的轉速，飛行軌跡才能有最好的偏移效果。當球速每小時 70 公里以上，球速 540 轉以上，能有較大的飛行弧度。所以，慣用右腳的我們，會選擇踢球心偏右下的位置，能有較大的球速和轉速，更容易踢出香蕉球。



此外，我們也發現：要讓球劃出弧線需要十分精準，同時「繞過人牆或穿過人牆，並進球得分」是十分困難的。探究其原因如下：

- (1) 球速太慢，會太早的劃出弧線或是沒有弧線
- (2) 球速太快，就會太晚劃出弧線
- (3) 弧度不夠大，會被防守隊員攔截
- (4) 踢得太低，會在劃出弧線前觸地
- (5) 踢得太高，會高出橫梁
- (6) 踢得太偏，會讓球遠離球門

實驗五：探討香蕉球飛行軌跡的變化情形

研究過程：

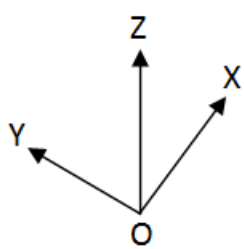
1. 在球場兩側架設座標帆布



2. 請教練(慣用右腳)在距離球門 23 公尺的位置，踢球心偏右下，對球門射球
3. 利用高速攝影機進行拍攝



4. 分析其中一次射門成功的香蕉球影像，探討球體飛行中位移、速度的變化情形



O：踢球的位置

X：往球門方向(向前為正)

Y：偏移方向

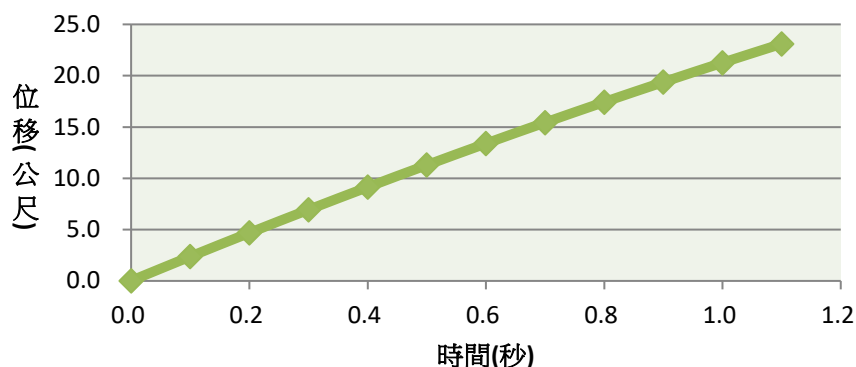
Z：高度(向上為正)

(一) 探討香蕉球飛行位移的變化

時間 (秒)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1
X	0	2.37	4.68	6.94	9.14	11.29	13.39	15.44	17.43	19.37	21.26	23.10
Y	0	-0.11	-0.15	-0.13	-0.06	0.06	0.22	0.41	0.64	0.88	1.14	1.41
Z	0	0.61	1.13	1.55	1.88	2.12	2.28	2.34	2.31	2.19	1.98	1.68

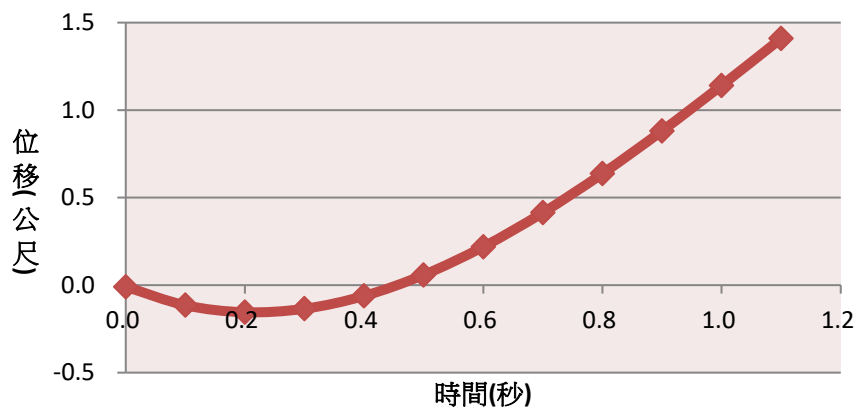
單位:公尺

香蕉球在X方向飛行位移變化圖



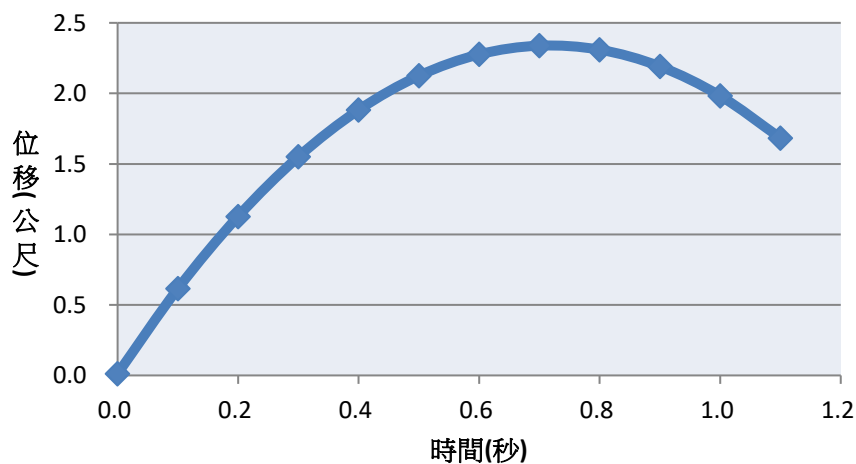
由 X 方向位移變化圖可看出，飛行距離隨著時間的增加，在 1.1 秒，飛行 23.1 公尺進球門。

香蕉球在Y方向飛行位移變化圖



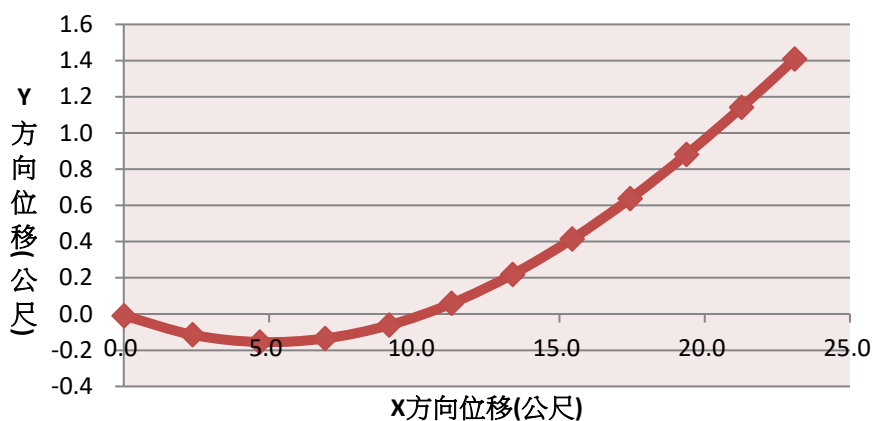
由 Y 方向位移變化圖可看出，香蕉球一開始先往 +Y 的反方向飛行，0.5 秒後逐漸往 +Y 方向偏移，而且隨著時間變化，水平偏移距離越來越大。

香蕉球在Z方向飛行位移變化圖



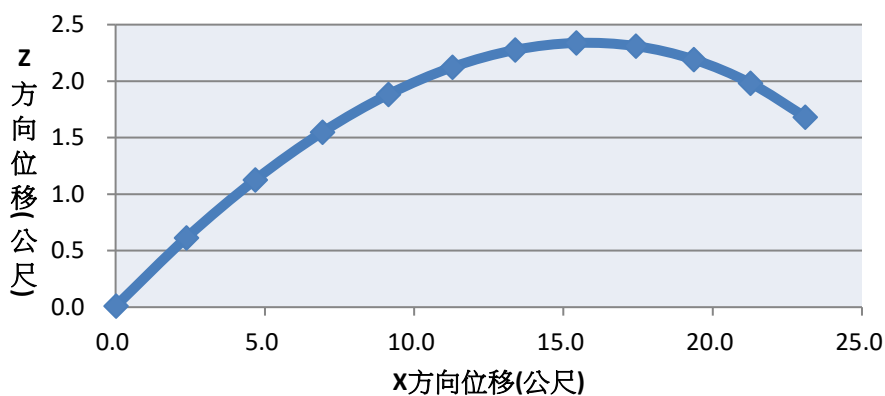
由 Z 方向位移變化圖可看出，香蕉球的高度隨著時間的變化，先向上越飛越高，飛行 0.7 秒到達最高點 2.34 公尺，之後逐漸落下，1.1 秒時高度 1.68 公尺飛進球門。

香蕉球在XY方向飛行位移關係圖



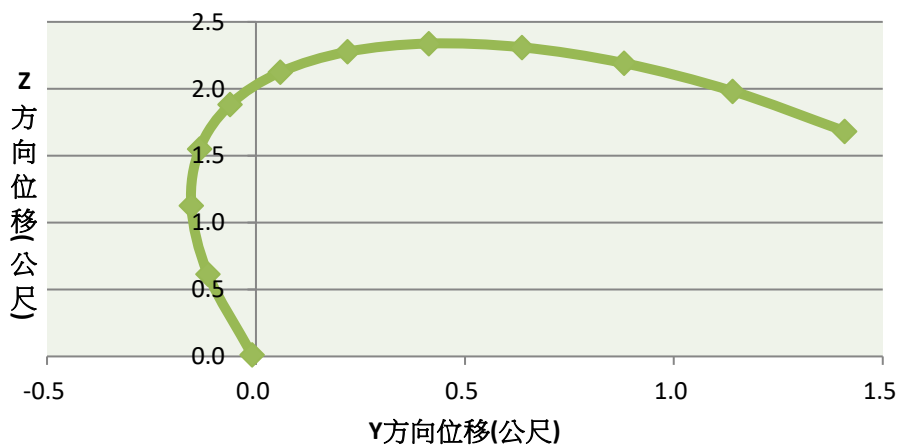
由 XY 方向飛行位移關係圖可看出，香蕉球在向前飛行 9.14 公尺遠時，開始產生偏移。

香蕉球在XZ方向飛行位移關係圖



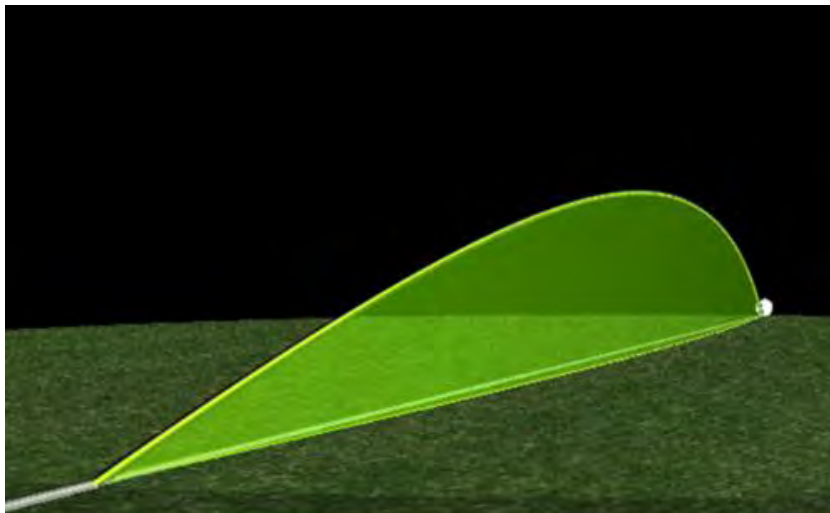
由 XZ 方向飛行位移關係圖可看出，香蕉球飛行 15.44 公尺，高度最高。在飛行 23.1 公尺、高度 1.68 公尺時飛進球門。

香蕉球在YZ方向位移關係圖



由 YZ 方向飛行位移關係圖可看出，香蕉球飛行高度 2.12 公尺(並非最高點)時，開始產生偏移。

此外，由電子球提供的角度觀圖，也可看出球體飛行過程軌跡的變化。



香蕉球除了受到重力的作用，還會受到空氣阻力及馬格努斯效應的偏移力影響。

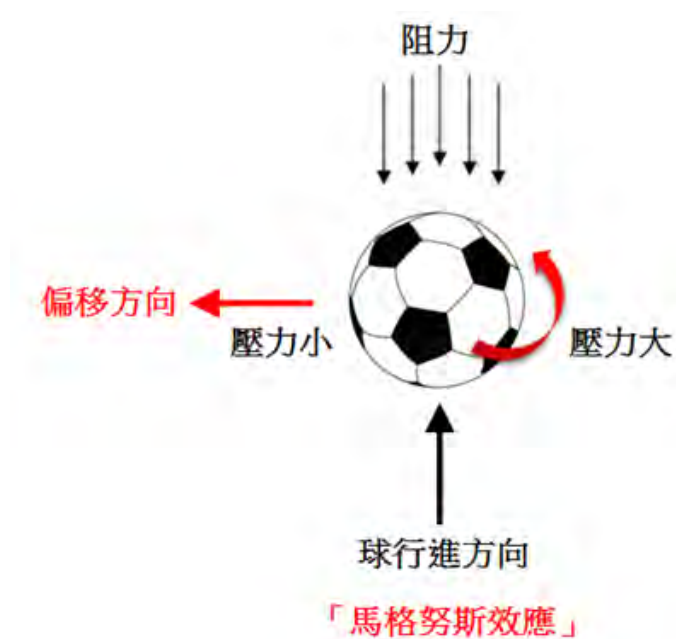
①飛行軌跡的前一段似乎是直線運動，偏移不明顯。

②飛行軌跡的後半段(當球飛行越來越慢，速度減緩)，偏移越來越大

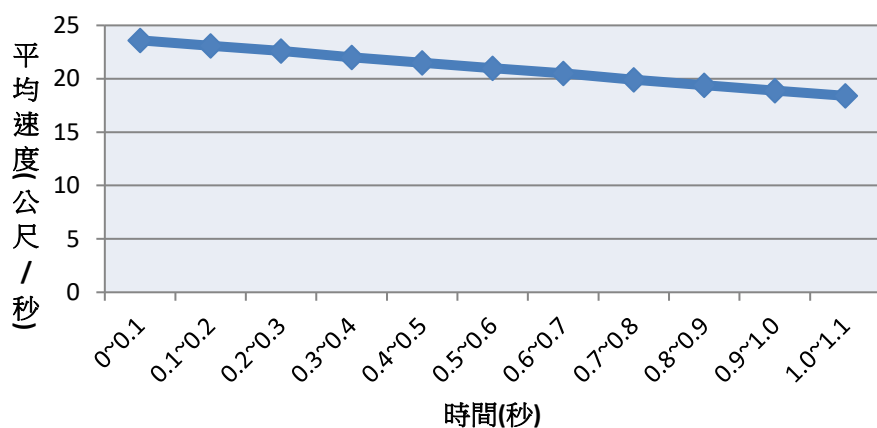
(二) 探討香蕉球平均速度的變化

時間(秒)	0~0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.8	0.8~0.9	0.9~1.0	1.0~1.1
X	23.7	23.1	22.6	22	21.5	21	20.5	19.9	19.4	18.9	18.4
Y	-1.1	-0.4	0.2	0.7	1.2	1.6	1.9	2.3	2.4	2.6	2.7
Z	6.1	5.2	4.2	3.3	2.4	1.6	0.6	-0.3	-1.2	-2.1	-3

單位:公尺/秒

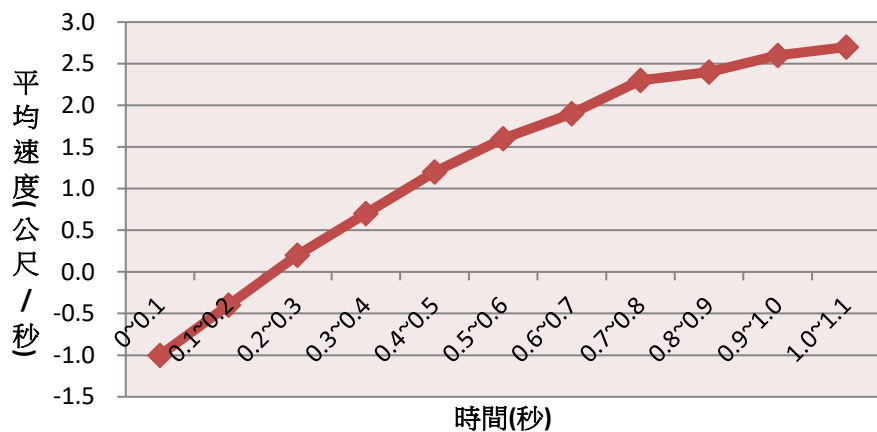


香蕉球在X方向平均速度變化圖



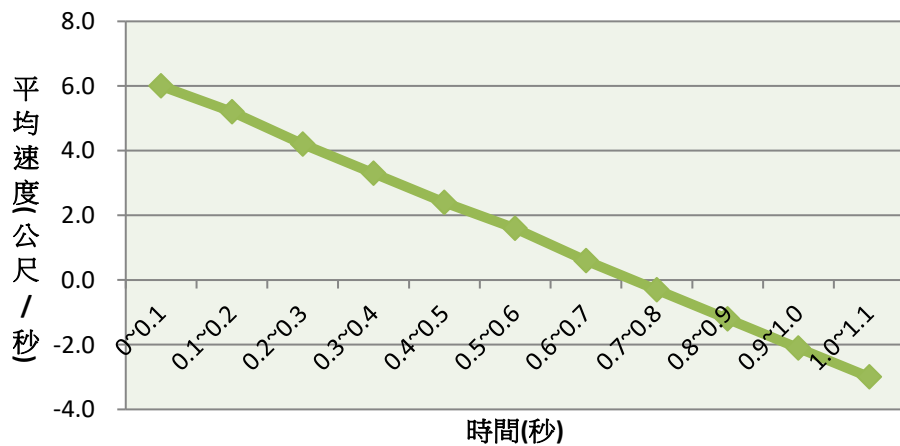
由 X 方向平均速度變化圖可看出，X 方向的飛行速度越來越小，這可能是受到空氣阻力(如上圖)的影響。

香蕉球在Y方向平均速度變化圖



由 Y 方向平均速度變化圖可看出，Y 方向的飛行速度越來越大，顯示在偏移方向可能受到馬格努斯效應(如上圖)的影響。

香蕉球在Z方向平均速度變化圖







由 Z 方向平均速度變化圖可看出，Z 方向的飛行速度越來越小，這可能是受到地心引力的影響。

實驗六：探討身體該如何擺動才能踢出「香蕉球」

研究過程：

- (1) 使用螢幕擷取軟體將踢出香蕉球的影片轉換成照片
- (2) 從照片做觀察分析、探討踢出「香蕉球」的動作

結果分析如下：

動作	分析與討論
	保持頭部向下，眼睛向前，身體傾斜，跑步向前，準備起腳。
	左腳是我們的支撐腳，右腳是我們的慣用腳，要用我們的腳背來踢球心偏右下的位置。
	左腳緊貼著球，與球的目標方向保持一致。
	利用右腳腳掌的長骨(標示為藍色)摩擦足球，踢出弧線。

 	<p>使腳踝呈 L 型，用腳內側摩擦足球的邊緣，加強逆時針旋轉的力道。起腳時如果腳太低，易踢到草地，造成射門失敗。</p>
	<p>面對球門呈 45 度角，膝蓋微曲，準備起腳射門，如果身體沒有跟球門呈 45 度角，球會變成直線前進。</p>
	<p>擊球後右腳要隨著足球向前擺動，要造成更大的弧線，右腳除了向前擺之外，還應該稍微朝足球前方繞，做一個抽擊球的動作，為球增加旋轉。適當揮動手臂，也可以加強射門力量。</p>

伍、討論

實驗一：藉由探討香蕉球的原理來理解「馬格努斯效應」

1. 只要能讓球旋轉方向明顯是偏向左右一邊的，球的飛行路線就是有弧度的。
2. 在許多影響足球飛行的外力中，之前我們只知道有地心引力，經過這次實驗才發現還有四周看不見，也摸不著的空氣。
3. 踢球的時候，球會受到擊球的力道與鞋子與球之間的摩擦力，而當旋球在空中飛行的時候，會受到重力、風力、空氣阻力和馬格納斯效應所造成的偏移力影響。

實驗二：探討擊球點與球速、轉速的關係

1. 當擊球力量相同時，離球心越近，轉速越小，球速越大。
2. 查資料得知，當我們踢球的作用力通過球心時，球不發生旋轉，所以我們只要踢球的作用力（合力）不通過球心，就可以使球產生轉動。但我們實驗了無數次，擊球點要

完全正中球心很困難，所以從電子球上的資料只能得知越靠近球心，轉速越小，球速越大。日後我們可以設計實驗來驗證：擊球點是球心，轉速為 0，球就不會旋轉。

3 我們推測當擊球的全部力量作用在球表面的切線方向，轉速可能最大，球速為 0。不過沒有球速，球就不會飛行，也就不能畫出弧線，無法形成香蕉球。

4. 做此實驗，我們以同一個球員的力道踢球，來測量球速和轉速，但當同一球員踢很多次球時，力道可能會越來越小，或穩定度越來越差。為了避免有人為因素的干擾，我們重複多次實驗，再求球速和轉速的平均值。

實驗三：探討球速、轉速對飛行軌跡(弧度、高度、飛行距離)的影響

1. 如果球轉得不夠快，足球轉彎的弧度就不會太明顯。所以踢旋球的重點是要讓足球旋轉，而不是足球往前的速度。
2. 經過我們不斷實驗，發現球速太慢，會太早的劃出弧線或是沒有弧線。球速太快，就會太晚劃出弧線。
3. 轉速小，弧度不夠大，就會被防守隊員攔截。
4. 踢得太偏，會讓球遠離球門；踢得太低，會在劃出弧線前觸地；踢得太高，會高出橫梁。

實驗四：探討擊球點與旋轉方向對飛行軌跡的影響

1. 球心是我們傳地面球會選擇的擊球點，球心偏下是當前面沒有人阻擋時射門會選擇的擊球點，而球心偏左下和球心偏右下則是球員在踢香蕉球時通常會踢的位置。要掌握足球的擊球點，使球在空中進行過程中會帶有一點的旋轉。

實驗五：探討「香蕉球」飛行軌跡的變化情形

1. 經過這次的拍攝實驗，看到教練踢了上百顆球，讓我們深深體會到要讓球劃出弧線，並成功射進球門，並不是一件簡單容易的事。
2. 香蕉球飛行中似乎受到很多力的作用和影響，因而飛行軌跡不是對稱的拋物線。

實驗六：探討身體該如何擺動才能踢出「香蕉球」

1. 如果將踢球的點稍微偏離中心，並使腳和小腿呈 L 型，就能踢出香蕉球。
向足球起跑，支撐腳最後就落在你後退之前已經選定的位置上，膝蓋微曲，身體向支撐

腳一方傾斜，越接近 45 度越好。如果身體沒有跟球門呈 45 度角，球會變成直線前進，不會有弧線前進。

- 2.要掌握好球腳點，以控制足球的方向和角度。射門腳向足球揮動，確保用腳內側前部接觸足球，接觸點應該是足弓和大拇指之間的位置。
- 3.用右腳腳弓內側，和球接觸時間比較長，帶動球去轉動。踢旋球的一個最重要的關鍵，要和球有一個比較長時間的接觸，使球隨腳發生轉動。
- 4.用力射門前，可先以逐漸加快的速度熟練掌握整套動作，最後射球的力量越大，球在空中劃出的弧線也會越大。
- 5.擊球後射門腳要隨著足球向前擺動，要造成更大的弧線，腳除了向前擺之外，還應該稍微朝足球前方繞，做一個抽擊球的動作，為球增加旋轉。
- 6.適當揮動手臂，也可以加強射門力量。
- 7.起腳時如果腳太低，易踢到草地，造成射門失敗。
- 8.足球鞋的鞋面上的縫線是為了增加鞋面和球面的摩擦力，不同的縫線和紋路提供了多變的性能。

陸、結論

一、球體在空中飛行，除了會受到重力、風力、空氣阻力，還會因「旋轉」而受到「馬格努斯效應」所造成的偏移力影響，飛行軌跡出現偏移的現象。

二、擊球點不同造成不同的轉速和球速。

(一)轉速：球心偏右下 > 球心偏左下 > 球心偏下 > 球心

(二)球速：球心 > 球心偏右下 > 球心偏下 > 球心偏左下

(三)擊球點離球心越近的位置，轉速越小，球速越大。擊球點離球心越遠的位置，轉速越大，球速越小。

三、球速、轉速會影響球的飛行軌跡(水平偏移距離、高度、飛行距離)。

(一)轉速越大，水平偏移距離越大。但高度、飛行距離不一定比較大。根據白努利定律，這可能是當轉速越大時，球的兩側的氣流壓力差越大，因而「馬格努斯效應」大，偏轉軌跡加大，影響球的高度和飛行距離。

(二)當球速相同時，轉速越大，越早偏轉落地，劃出弧線，因此高度、飛行距離越小。

(三)當轉速相同時，球速越小，越早發生偏轉(偏移越厲害)，飛行距離越小。

四、擊球點的不同會影響旋轉方向，因而造成飛行軌跡的不同。

(一)球心：球的轉速很小，球速很大，球會直直的往前飛行，且有最強的力道。

(二)球心偏下(後旋)：踢球心偏下，球的飛行高度會偏高。

(三)球心偏右下：球飛行路線會先向右，再逐漸向左偏移。

(四)球心偏左下：球飛行路線會先向右，再逐漸向左偏移。

五、香蕉球除了受到地心引力的作用，還會受到空氣阻力及馬格努斯效應的偏移力影響，飛行軌跡是不對稱的拋物線。飛行軌跡的前一段似乎是直線運動，偏移不明顯。飛行軌跡的後半段(當球飛行越來越慢，速度減緩)，偏移越來越大。

六、對於慣用腳是右腳的我們，擊球點的會選擇球心偏右下，讓腳踝成 L 型、用腳內側摩擦球的邊緣，加強逆時針的旋轉的力道。擊球後，右腳(射門腳)要隨著足球向前擺動，還要稍微朝足球前方繞，做一個抽擊球的動作，增加旋轉。適當揮動手臂，也可以加強射門力量。

七、球的球速、轉速、旋轉方向都會影響球的飛行軌跡，而飛行軌跡偏移效果同時取決於擊球點和擊球的力量。若能掌握擊球的力量，讓球以最快速度飛行，又能產生理想的轉速，就是踢香蕉球進球得分的訣竅。

柒、參考資料及其他



一、The Physics of football. Physicsworld . Jun 1,1998

二、Why the Adidas soccer ball, Jabulani, promises to confound goalies with its 'otherworldly' behavior. June 14, 2010.

三、周楠 (2008)：淺談香蕉球的力學原理。體育與物理。

四、王傳、劉欣 (2008)：淺談香蕉球的力學原理。體育科技文獻通報。第 16 卷第 3 期。

捌、模型製作

	<p>親手製作於不同擊球點，球的飛行路線不同之模型。</p>
	<p>橘球:擊球點為球心—球會直直的往前飛行。 紅球:擊球點為球心偏下—球的飛行高度會偏高。 藍球:擊球點為球心偏右—球的飛行路線會先向右,再逐漸向左偏移。 綠球:擊球點為球心偏左—球的飛行路線會先向左,再逐漸向右偏移。</p>

玖、實驗心得

科學是通過經驗實證的方法，對現象進行歸因的學科。在做「如何踢出夢想中的香蕉球」這個實驗之前，我們三個單純的以為：只要照著理論來操縱，就能得出結果。然而在實驗的過程中卻發現，就算你知道要踢球心偏左或偏右，實際操作起來，就算踢完數百球之後，也很難真正踢出香蕉球的完美弧線。我們深知：科學活動所得的知識是要條件明確的、能經得起檢驗的。所以我們一次次實驗努力所得的數據，都試圖力求完美，只為了證明我們的理論。可是，在追求漂亮數據的同時，卻不斷產生了更多的問題、挫折與質疑。最後我們想說的是：你不能礙於研究困難重重，便輕言放棄所有的努力；也不要因為得不到想要的實驗數據或結果（踢出香蕉球），就推翻自己的理論，因為這都不是實驗的精神，更不是做科學研究的態度。雖然，我們只是三個國小四年級的學生，雖然我們沒有因為研究這個主題而練成踢香蕉球的神功，但我們卻深深樂在其中，樂在研究與發現問題、解決問題的過程中。

【評語】 080102

本作品欲研究的題目有許多執行面上的困難處。尤其是如何較精準地控制球體的轉速和行進速度。但同學們利用電子足球之科技產品，結合手機 APP 擷取數據來克服問題，並據以的分析運動軌跡、轉速等不易量測的物理量。這是一個很大的進展。他們在運動科學的研究努力與克服問題的精神值得給予讚賞。

壹、前言

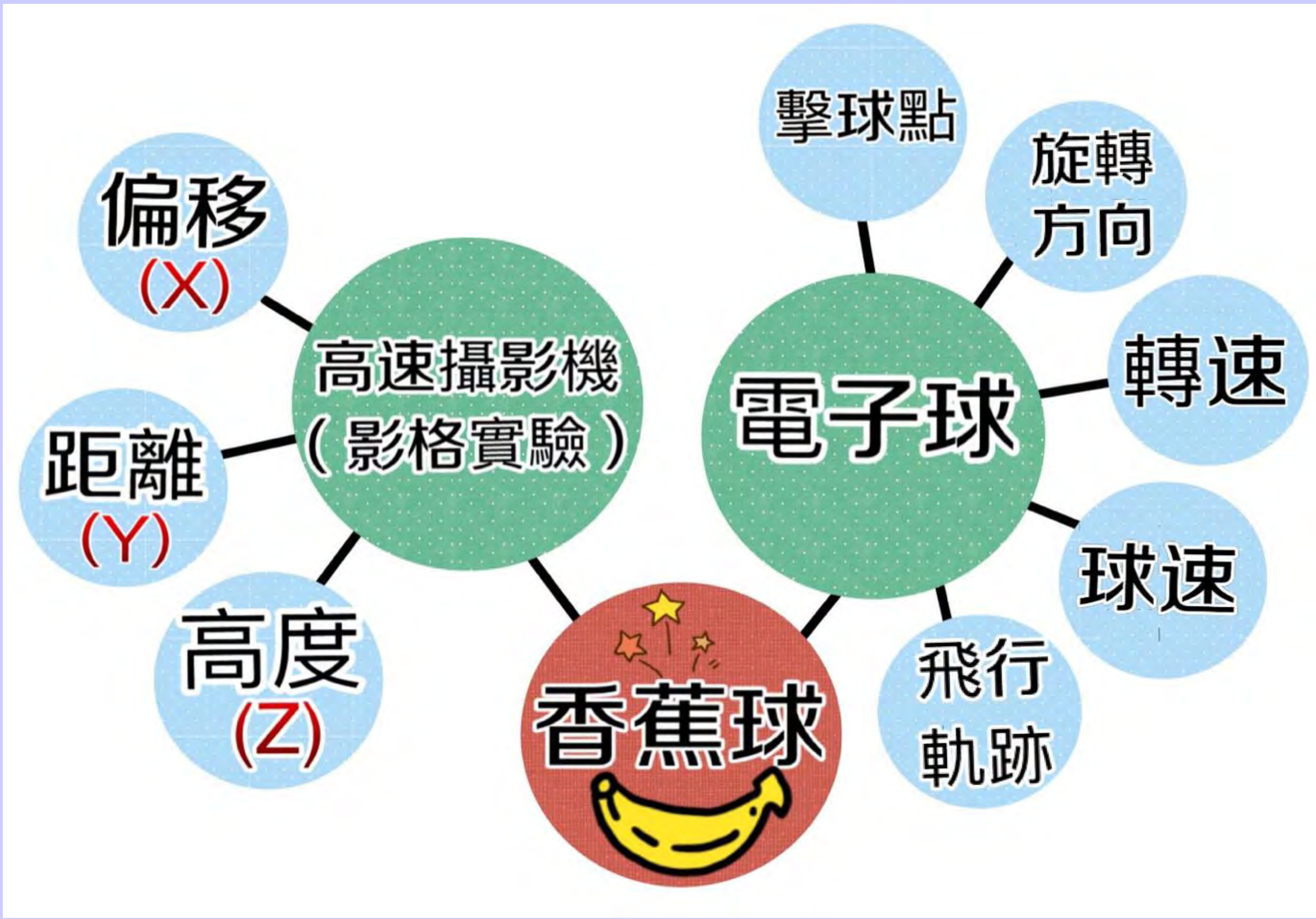
「香蕉球」是在空中飛行且路徑為弧線形狀的球，因路線似香蕉形狀而得名。我們是三個喜歡踢足球的四年級男生，因為想踢出夢想中會轉彎得分的「香蕉球」，所以做了以下實驗。

首先我們利用電子足球分析「香蕉球」的轉速、球速、擊球點、飛行軌跡、旋轉方向之間的關係。再結合高速攝影的影格實驗來探討水平偏移、高度、距離的變化情形。我們進行下列五個實驗逐步探討

貳、研究目的

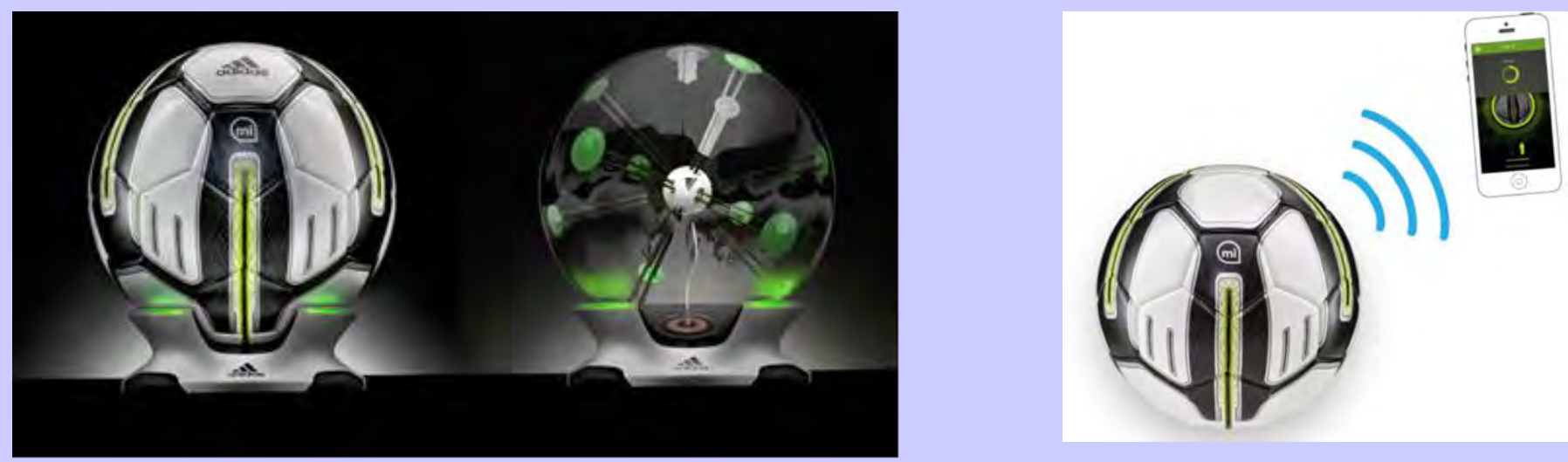
- 一、藉由探討「香蕉球」的原理來理解「馬格努斯效應」
- 二、探討擊球點與球速、轉速的關係
- 三、探討球速與轉速對飛行軌跡的影響
- 四、探討擊球點對飛行軌跡的影響
- 五、探討飛行軌跡的變化情形

參、研究架構



肆、研究設備及器材

★電子足球：



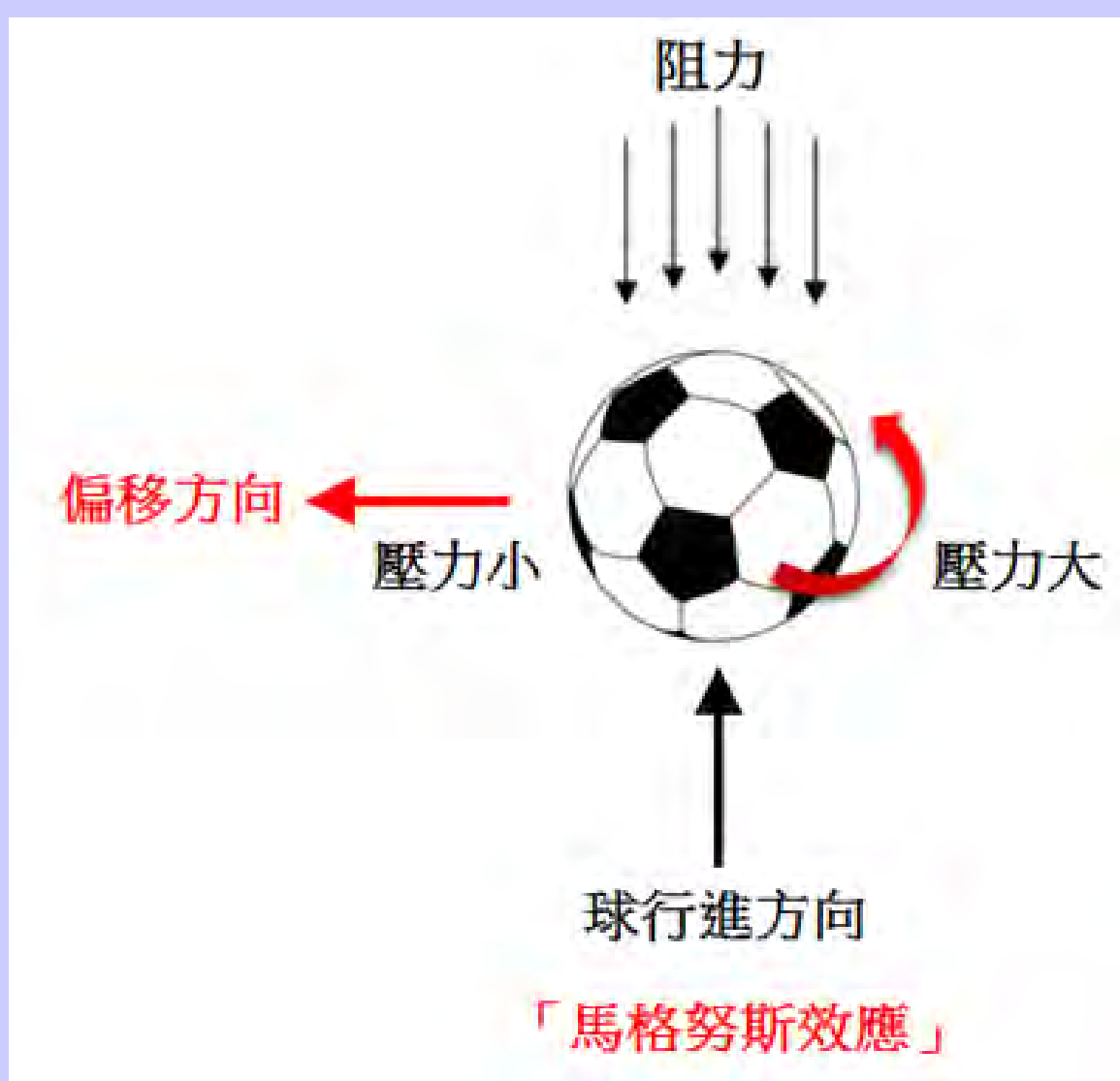
★高速攝影機：

每秒可拍攝180張的影格

伍、研究結果與討論

實驗一：藉由探討「香蕉球」的原理來理解「馬格努斯效應」

★馬格努斯效應：



★研究過程：

1. 足球場中線的右邊為A區、左邊為B區。
2. 站在中線發球，逆時針、順時針旋轉球各踢5次。
3. 觀察球飛行軌跡的變化，用手機錄影並擷取照片。

★實驗結果：

球旋轉方向	實驗照片	球軌跡行進方向
球逆時針旋轉 (俯視)		球會先往A區方向飛行，再逐漸往B區方向偏移。
球順時針旋轉 (俯視)		球會先往B區方向飛行，再逐漸往A區方向偏移。

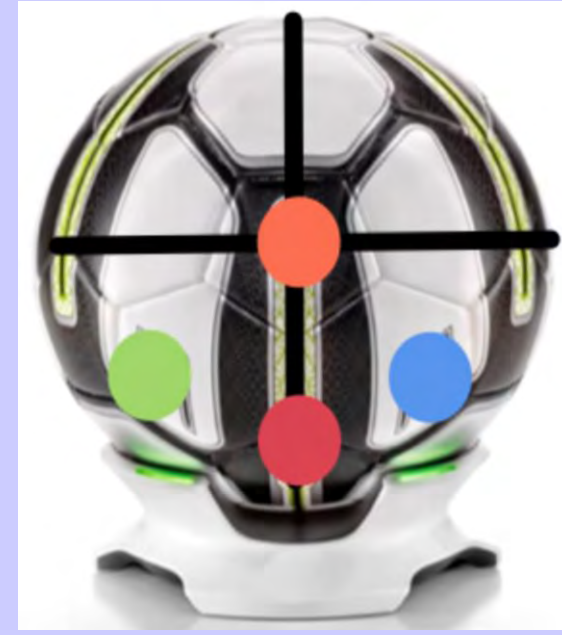
★討論：

1. 只要球旋轉，球的飛行軌跡就會出現偏移的現象。
2. 球的旋轉方向會影響球的飛行軌跡。
3. 當旋球在空中飛行的時候，會受到重力、風力、空氣阻力和馬格努斯效應所造成的偏移力影響。

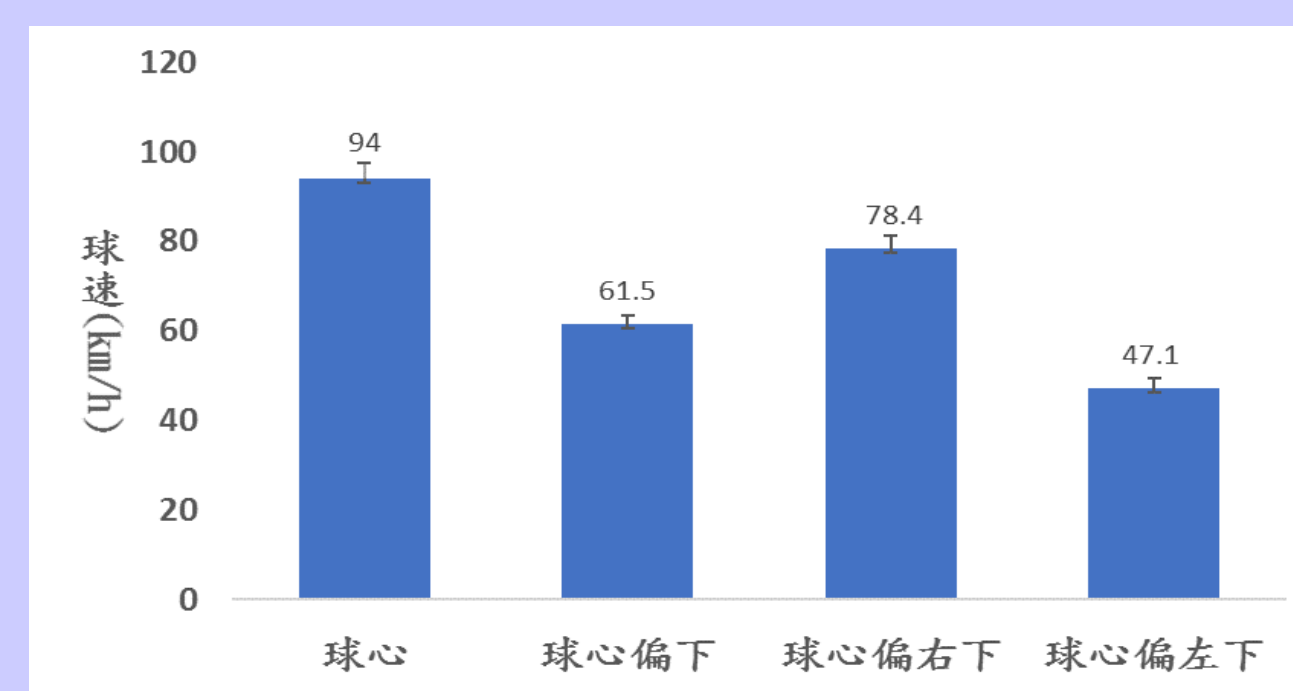
實驗二：探討擊球點與球速、轉速的關係

★研究過程：

1. 把足球分成四個區域，分別是球心、球心偏下、球心偏右下、球心偏左下。
2. 四個擊球點各踢10次。
3. 記錄每次的球速(km/h)、轉速(rpm)。
4. 多次測量再求平均值。

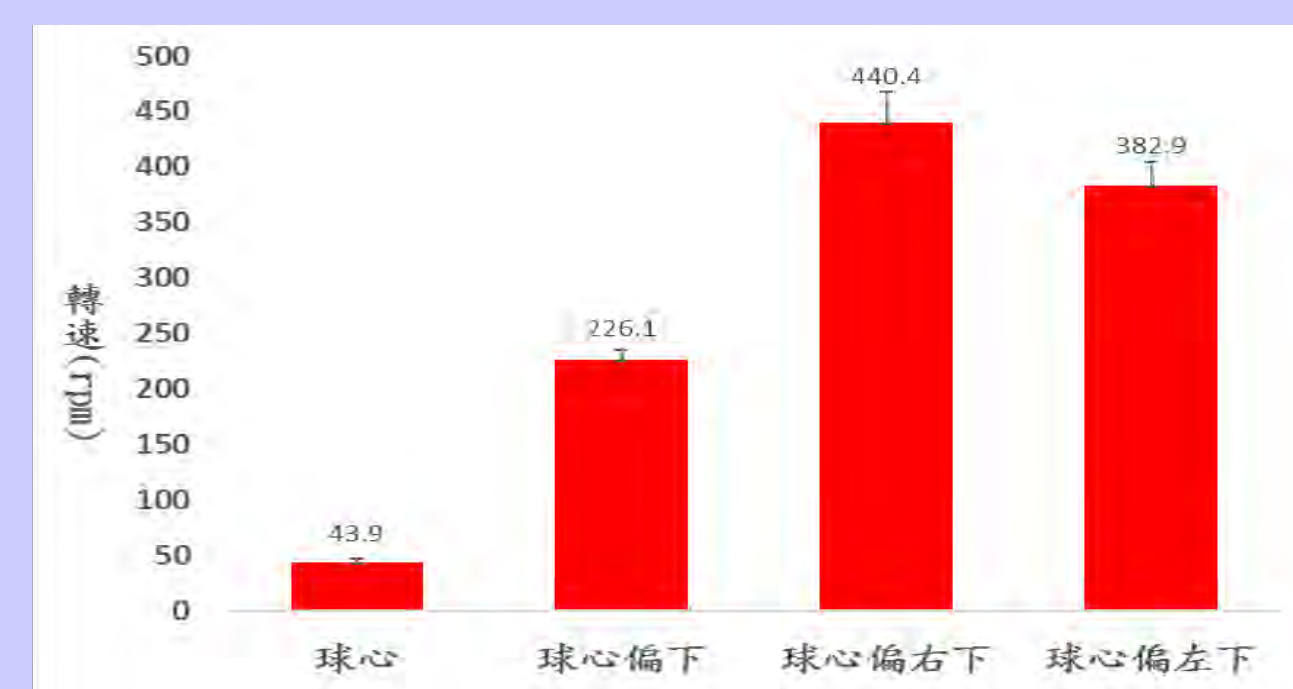


★實驗結果：



☆平均球速：

球心 > 球心偏右下 > 球心偏下 > 球心偏左下

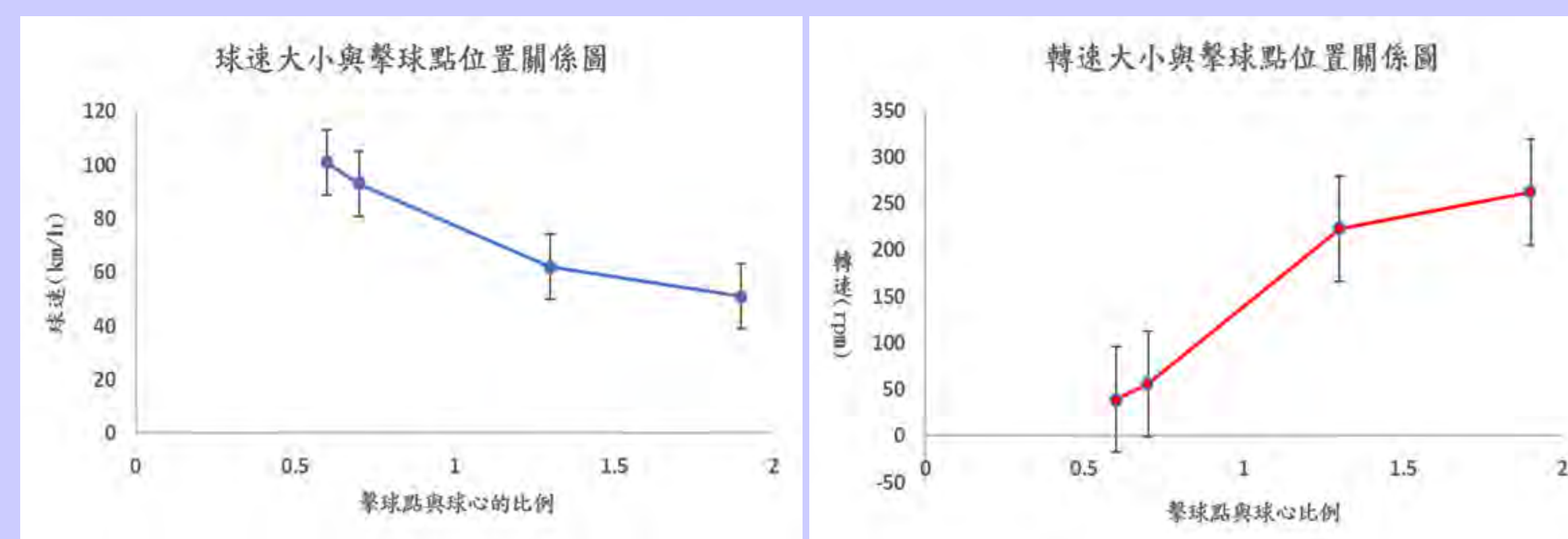


☆平均轉速：

球心偏右下 > 球心偏左下 > 球心偏下 > 球心

★討論：

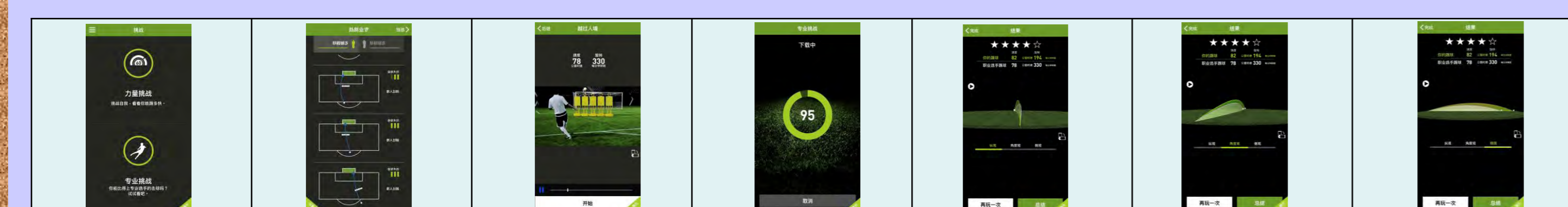
1. 擊球點離球心越近，球速越大，轉速越小。
2. 擊球點離球心越遠，球速越小，轉速越大。



	球速	轉速
擊球點離球心距離	近	大
(球心與球心偏下做比較)	遠	小

實驗三：探討球速與轉速對飛行軌跡的影響

★研究過程：



★實驗結果：

	黃色弧線： 球速82km/h 轉速194rpm 白色弧線： 球速86km/h 轉速500rpm	黃色弧線： 球速86km/h 轉速464rpm 白色弧線： 球速86km/h 轉速500rpm	黃色弧線： 球速82km/h 轉速300rpm 白色弧線： 球速77km/h 轉速300rpm
縱觀	 轉速越大(白色弧線) 水平偏移距離越大	 	 球速越小(白色弧線) 越早發生偏轉
角度觀	 	 	
側觀	 轉速越大(白色弧線) 飛行距離越小	 	 球速越小(白色弧線) 飛行距離越小

★討論：

根據白努利定律，這是因為當轉速越大時，球兩側的氣流壓力差越大，馬格努斯效應增大，偏轉軌跡加大，因而影響球的飛行距離。

實驗四：探討擊球點對飛行軌跡的影響

★研究過程：

分別踢電子球的球心、球心偏下、球心偏右下、球心偏左下，並用照相機錄影和照相，手機記錄飛行軌跡。

★實驗結果：

	模型照片	飛行軌跡圖 (縱觀)	飛行軌跡
(近)球心			球直直地往前飛行，並且會有最強的力道。 球速101Km/h 轉速39rpm
球心偏下			球的飛行高度會偏高。 球速57Km/h 轉速262rpm
球心偏右下			球飛行路線會先向右，再逐漸向左偏移。 球速76Km/h 轉速546rpm
球心偏左下			球飛行路線會先向左，再逐漸向右偏移。 球速79Km/h 轉速402rpm

★討論：

1. 擊球點的不同會影響旋轉方向，造成飛行軌跡的不同。

★經過不斷的實驗、觀察、記錄和分析比對電子足球提供的資料，我們發現：

1. 球速、轉速、旋轉方向等因素都會影響球的飛行軌跡。
2. 球速大，又有理想的轉速，飛行軌跡才能有最好的偏移效果。

飛行軌跡 (踢球心偏右下)	 球速 76km/h 轉速 561rpm	 球速 62km/h 轉速 581rpm	 球速 54km/h 轉速 563rpm	 球速 59km/h 轉速 375rpm
球速、轉速乘積	42636	36022	30402	22125
水平偏移距離比例	1.1	0.6	0.3	0.1

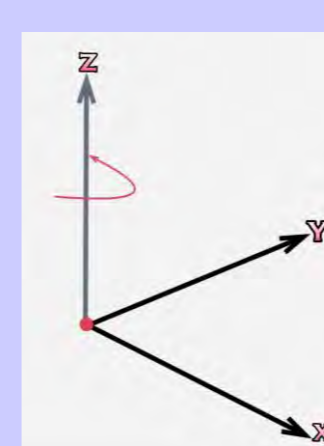
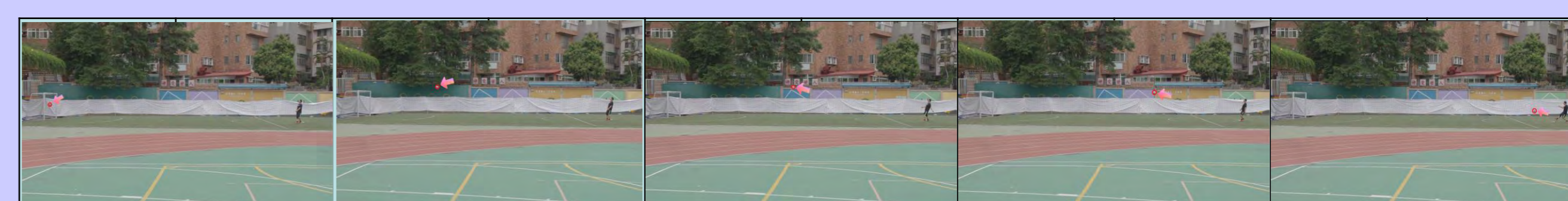
3. 要讓球「繞過人牆或穿過人牆，並進球得分」是十分困難的。原因如下：

- (1) 球速太慢，會太早的劃出弧線或是沒有弧線
- (2) 球速太快，就會太晚劃出弧線
- (3) 弧度不夠大，會被防守隊員攔截
- (4) 踢得太偏，會讓球遠離球門
- (5) 踢得太低，會在劃出弧線前觸地
- (6) 踢得太高，會高出橫梁

實驗五：探討香蕉球飛行軌跡的變化情形

★研究過程：

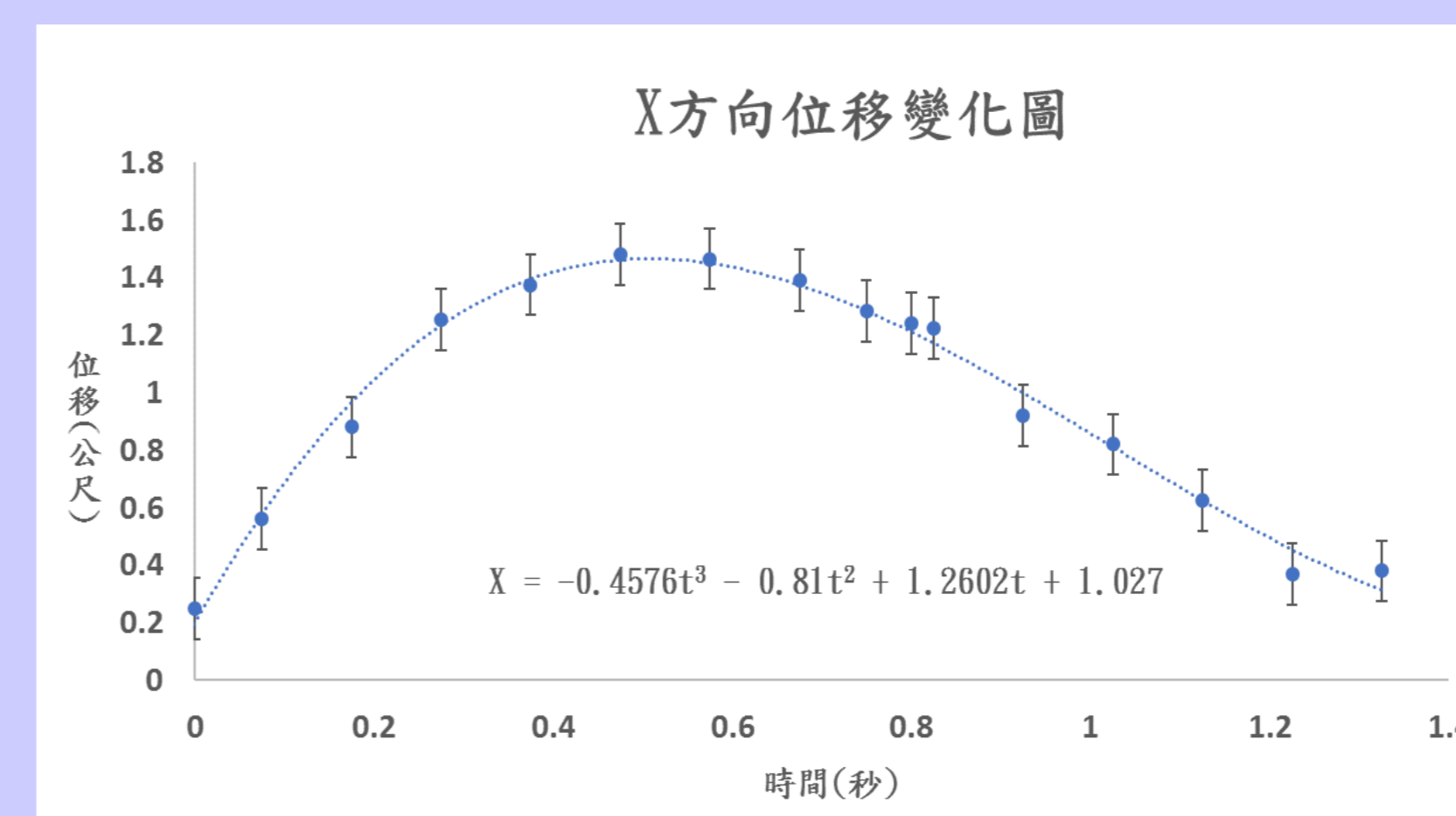
1. 在球場兩側架設座標帆布。
2. 請教練站在足球場中場的位置，踢球心偏右下，對球門進行射門。
3. 利用高速攝影機進行拍攝。
4. 分析其中一次射門成功的香蕉球影像。



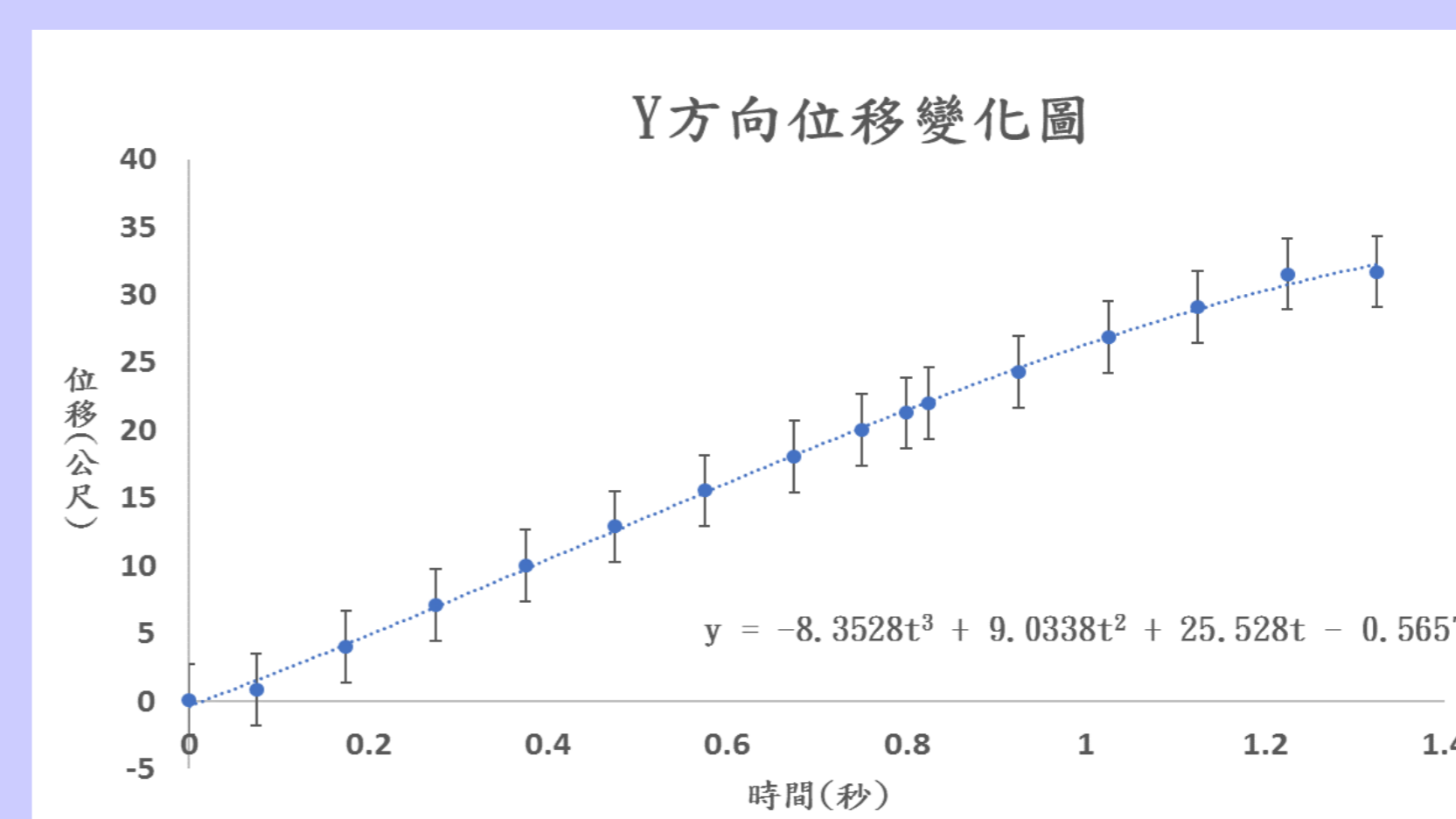
0：原點(0, 0, 0) (踢球的位
置)
X：球門面(向右為正)
Y：圍牆面(向前為正)
Z：上下方向(向上為正)

★實驗結果：

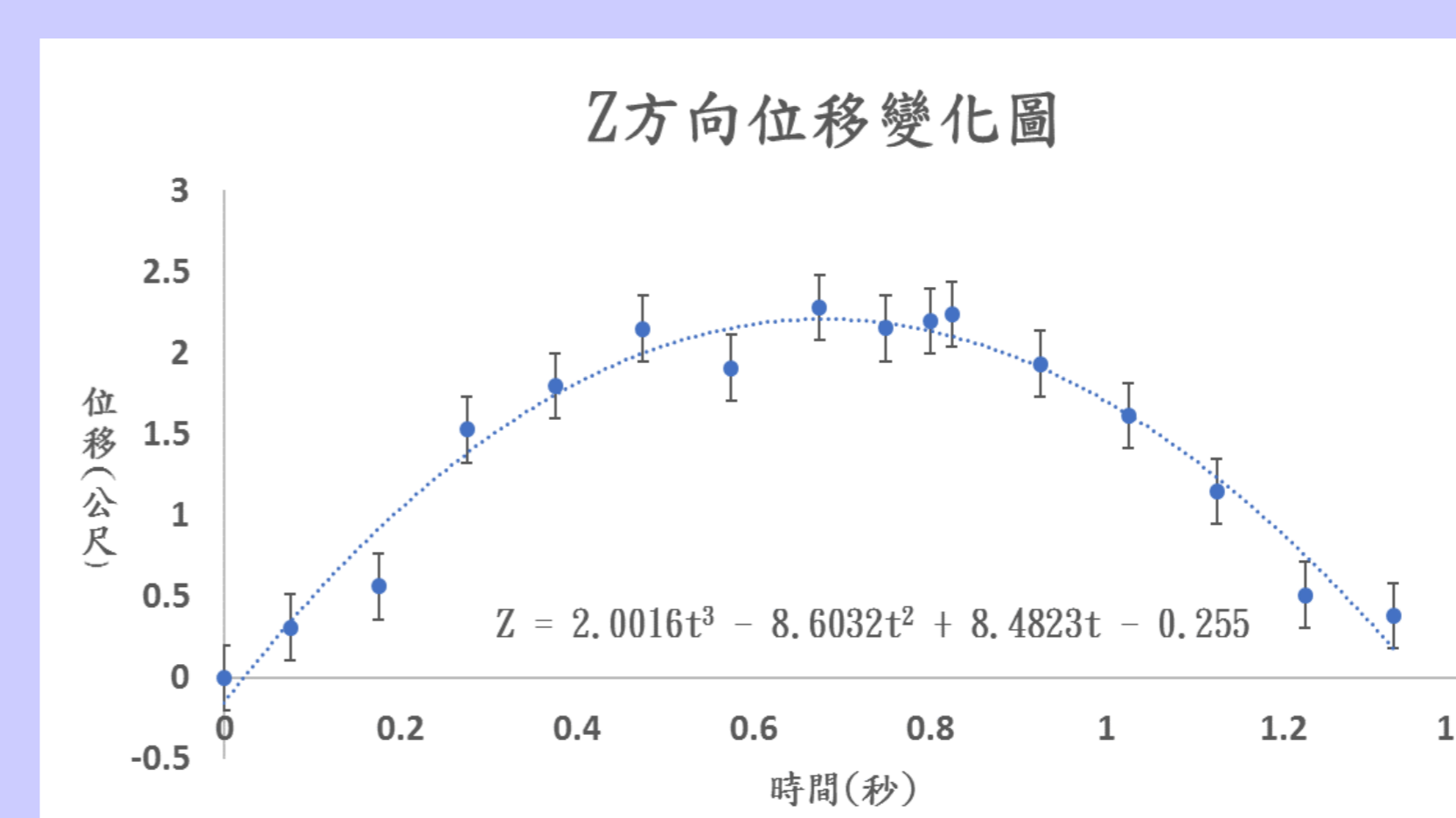
☆探討香蕉球飛行位移的變化



香蕉球一開始先往+X的方向飛行，0.6秒後逐漸偏移。

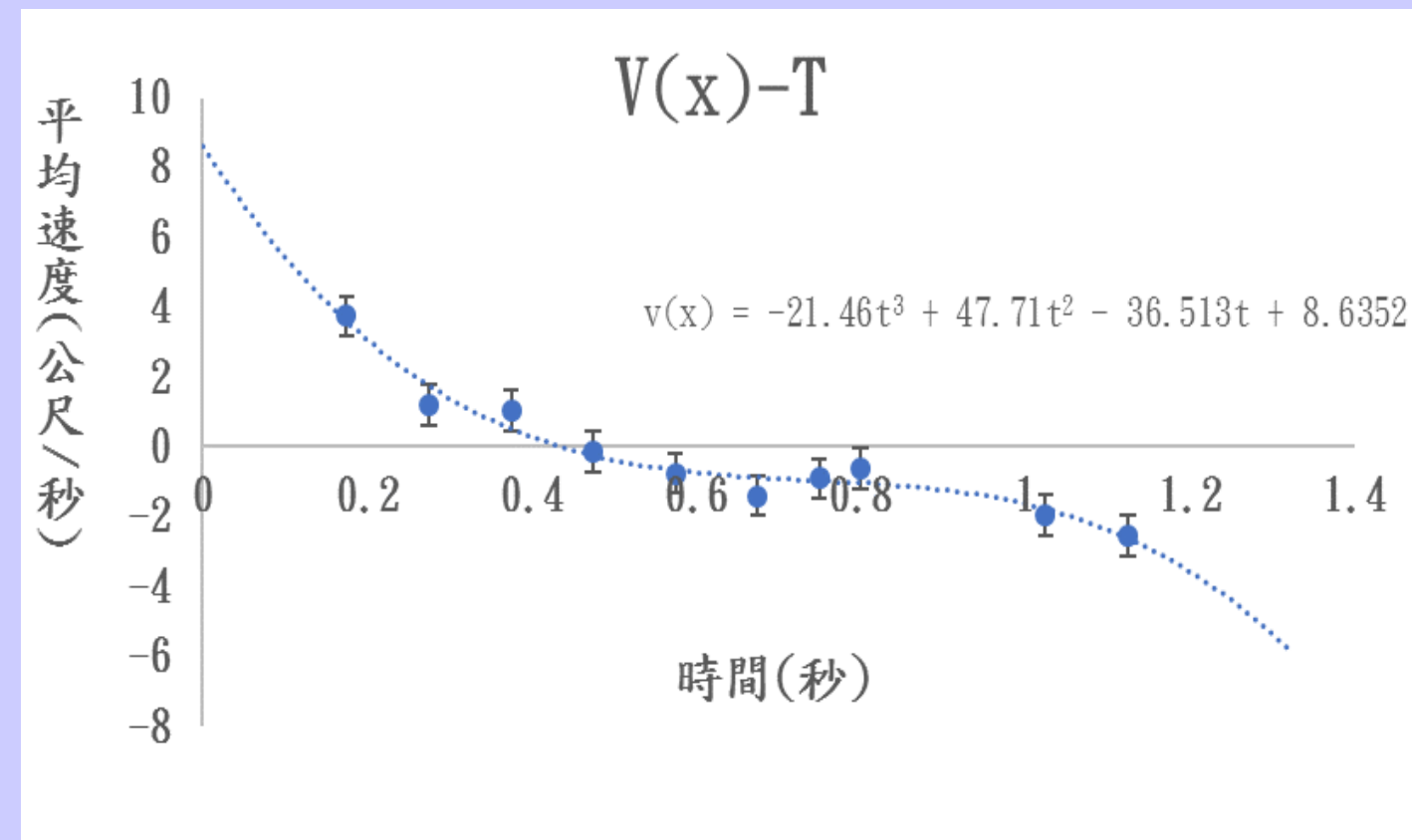


飛行距離隨著時間增加。

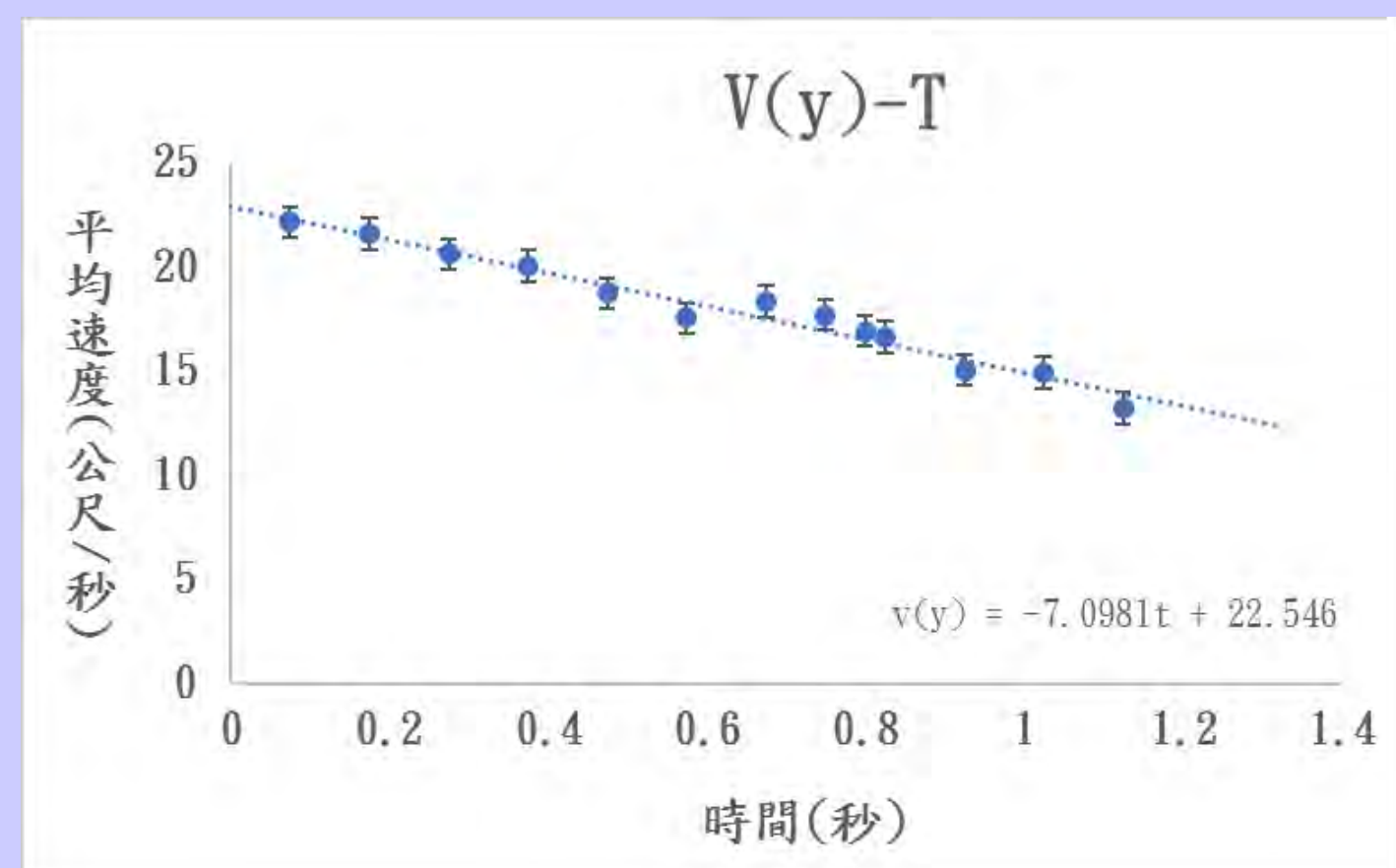


香蕉球的高度隨著時間的變化，向上越飛越高，約0.6秒時逐漸落下。

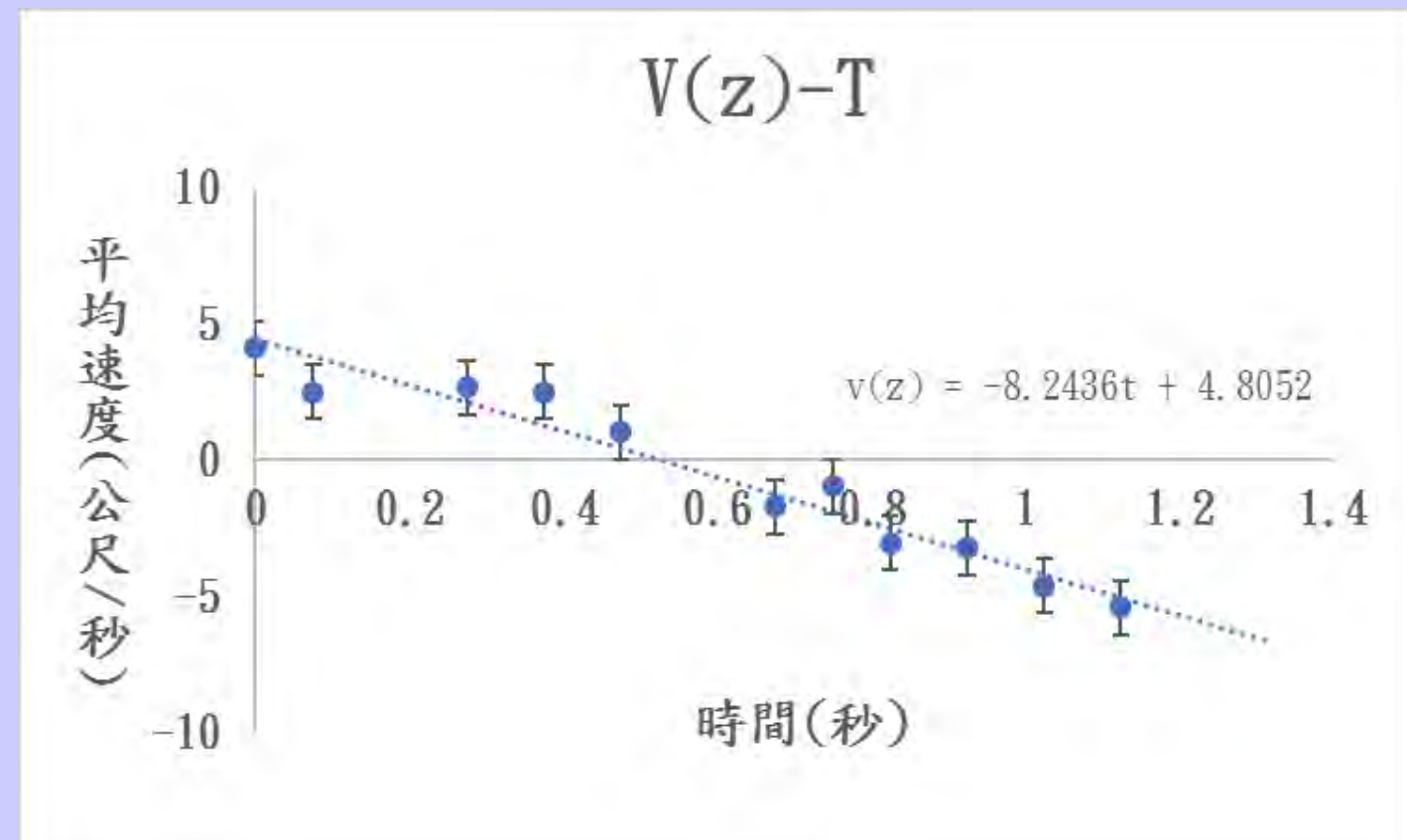
☆探討香蕉球平均速度的變化:



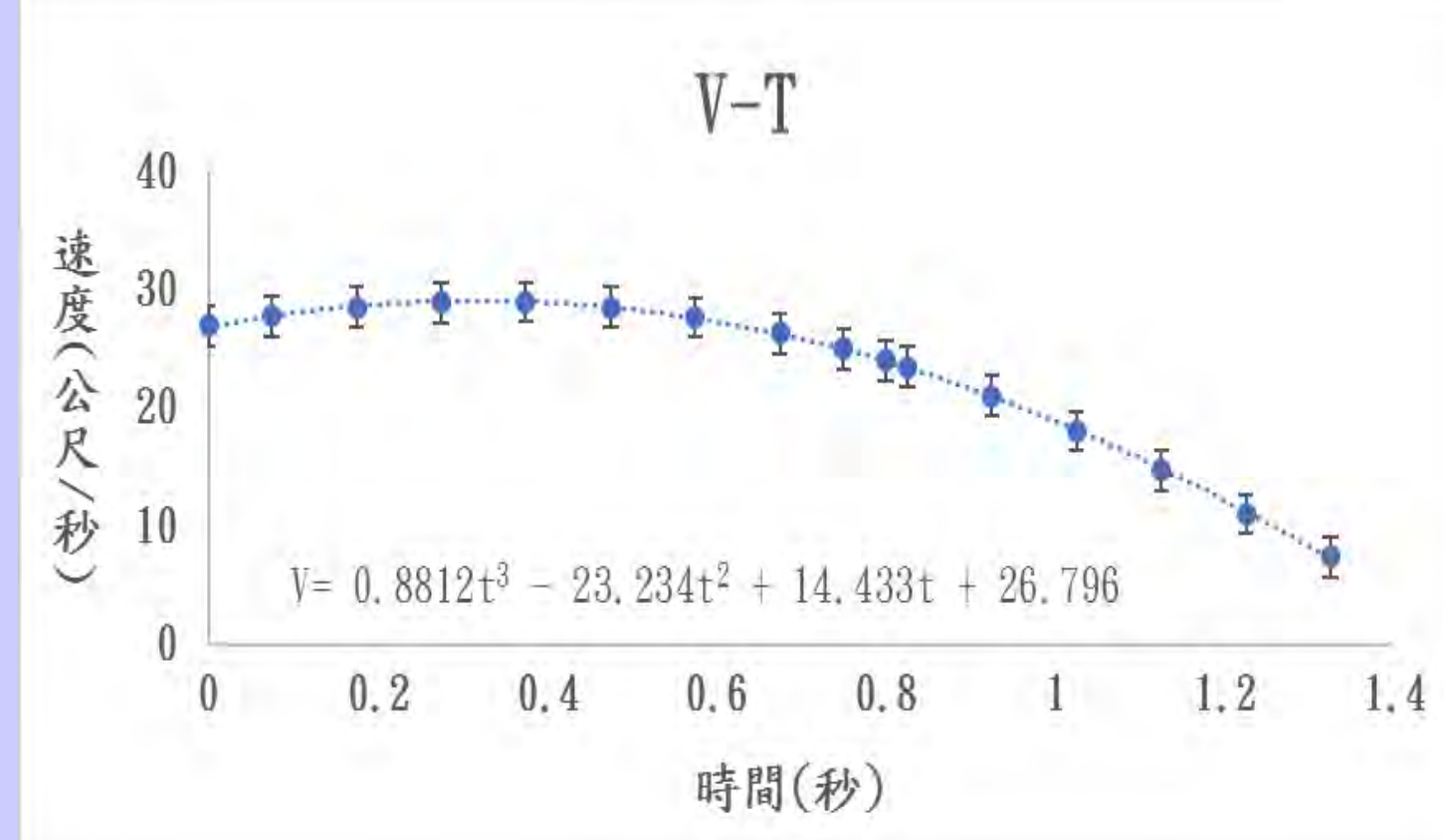
X方向-向右的速度隨時間越來越小，偏轉後，向左的速度越來越大，這是受**馬格努斯效應**的作用。



Y方向-向前的速度越來越小，這是受的**空氣阻力**的影響



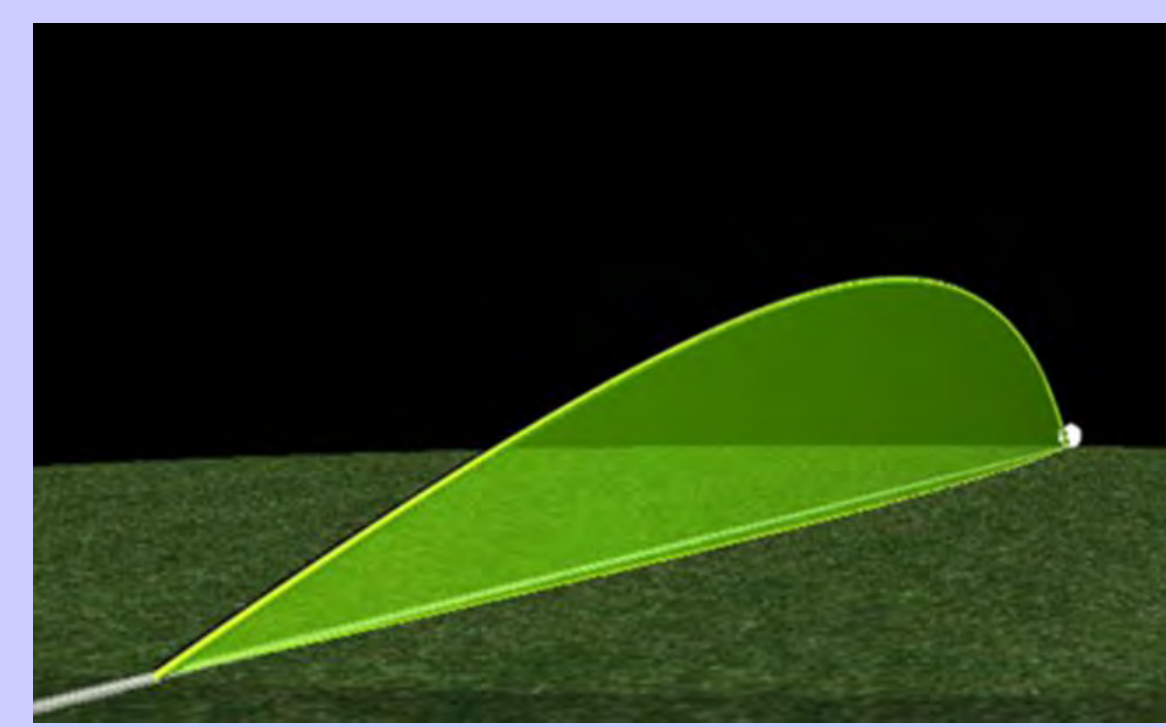
Z方向-向上的速度隨時間越來越小，到達最高點後，向下的速度越來越大，這是受到**地心引力**的影響



綜合XYZ軸的速度變化圖，隨著時間增加香蕉球的速度減少。

★討論:

1. 由電子球提供的角度觀圖，也可看出球體飛行過程軌跡的變化。
- ☆飛行軌跡的前一段似乎是直線運動，偏移不明顯。
- ☆飛行軌跡的後半段(當球飛行越來越慢，速度減緩)，偏移越來越大。



陸、結論

- 一、踢出香蕉球的秘訣主要是在於球的旋轉。香蕉球受馬格努斯效應的影響，球旋轉的越快，球的弧線也會越明顯。
- 二、擊球點離球心越近，轉速越小，球速越大；離球心越遠，轉速越大，球速越小。
- 三、球速、轉速會影響球飛行軌跡。轉速越大，水平偏移距離越大，飛行距離越小。球速越小，越早發生偏轉，飛行距離越小。
- 四、擊球點與旋轉方向影響飛行的偏移方向。想讓球向左偏，就踢球心偏右下的位置；想讓球向右偏，就踢球心偏左下的位置。
- 五、依據上述實驗配合身體擺動，希望有朝一日能踢出夢想中的香蕉球。

動作		分析與討論
	擊球點	☆左腳是我們的支撐腳，右腳是慣用腳，用腳背踢球心偏右下的位置。
	旋轉方向	☆眼睛向前、身體傾斜與球的目標方向保持一致。身體面對球門呈45度角，腳背摩擦正確擊球點踢出弧線。
	轉速	☆使腳踝呈L型，用腳內側摩擦足球邊緣，加強逆時針旋轉的力道。如此一來增加球的轉速，馬格努斯效應增大，球的水平偏移更加明顯，香蕉球更容易進球得分。
	球速	☆擊球後右腳稍微朝足球前方繞，做一個抽擊球的動作，適當揮動手臂，這些都可以增加球速。

- 六、球的球速、轉速、旋轉方向都會影響球的飛行軌跡。飛行軌跡的偏移效果同時取決於擊球點和擊球的力量。如果我們能掌握擊球的力量，就能讓球以最快的速度飛行，又能產生理想的轉速，這就是踢香蕉球進球得分的訣竅。

柒、參考資料

Why the Adidas soccer ball, Jabulani, promises to confound goalies with its 'otherworldly' behavior. June 14, 2010.

捌、模型製作

親手製作於不同擊球點，球的飛行路線不同之模型。

