中華民國第四十三屆中小學科學展覽會參展作品專輯

國小組

物理科

科別：物理科

組別：國小組

作品名稱：迷蹤蝴蝶球之謎

關鍵詞：渦流、尾流、蝴蝶球

編號：080118

學校名稱：

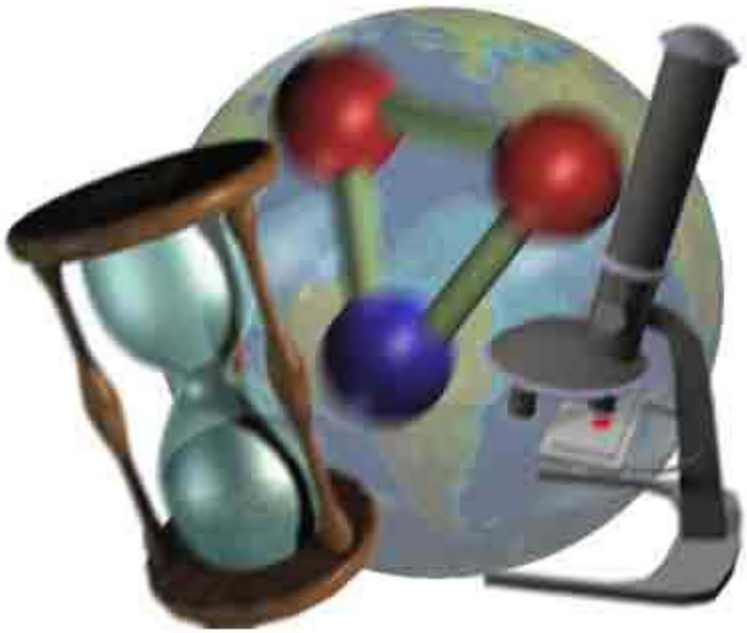
台北市大安區古亭國民小學

作者姓名：

林玟君、池玟儀、宋繼昀、謝易璇

指導老師：

王莉萍、張子櫻



摘要

棒球投手不但要會投快速直球，還要懂得變化球，藉以擾亂打擊手，掌控球局守勢，其中有一種讓球迷津津樂道、偏偏又令人不解的彈指球，以近乎不旋轉投出，竟得飄忽行徑，美譽蝴蝶球，本研究試以實驗解謎之。

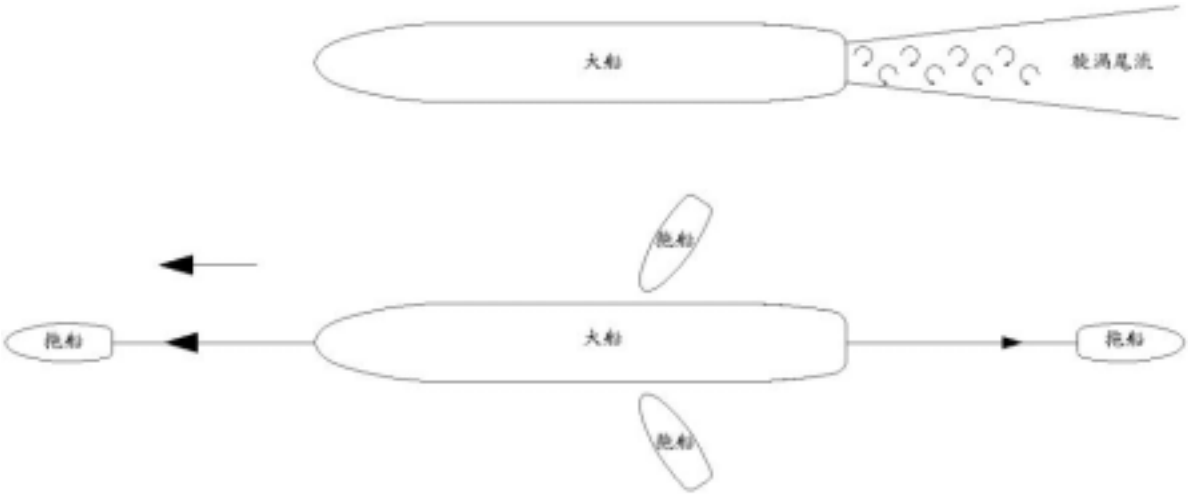
壹、研究動機：

一天，爸爸帶著我和同學去基隆玩，港口有一艘大船要進港，先慢慢停下來，接著，有四艘小船連忙靠近，其中一艘比較大的小船跑到大船的前面，用粗纜拉著大船前進，在大船左右兩旁各有一艘小船幫大船調整方向，爸爸說那些小船叫作拖船。

但大船的後面有一艘拖船反向倒拉著，像在拔河，如圖所示，這艘拖船隨著大船一齊被拉動往前走，我就覺得奇怪，既然要前進，爲什麼還要用一艘拖船往後倒拉呢？這不是在幫倒忙嗎？那往前拉的拖船不是會更加吃力嗎？於是求助爸爸，爸爸解說：「因爲大船在拖行時，船頭排開水，尾部須吸水補空，因而產生交錯渦流，船尾受此等渦流影響產生無法控制的搖擺，所以須有一艘拖船倒拉著，避免撞到碼頭或船隻。」

我們沒看過大船會甩尾巴，但是我們知道空中掉落的紙片或鈔票也是甩尾巴的方式掉落，那球類運動是不是也有一樣的現象？所以我們要做實驗來證明這個現象，因此引起同學們研究的興趣。

圖一 小船反向倒拉著前進的大船，使它保持直行。



圖二　大船進港，被多艘小拖船拉引靠岸的簡圖。

貳、研究目的：

一、　針對不同造型物體如流線形體、圓球體、平板體等進行試驗，使它們在流體中前進，觀察個別軌跡及差異的地方。

二、　查看日常所見之其他物體在流體中運動有沒有類似的現象？

參、實驗器材：

一、　設備、器材：直徑10公分之大口玻璃量杯一個，流線形體一個、玻璃珠五個、平板圓體三個、長柄湯匙一個、圓靶一個、記錄

二、　材料：水

肆、研究過程及方法：

空氣與水同屬流體，空氣的密度與黏性都比水來得稀，爲便於模擬及觀察流線形體、圓球體、平板體的在流體中運動，決定採用水作爲本試驗之流體材料，以縮短行距及簡化過程，並取它的便利性；利用重力進行上述三種物體之自由落體運動，將一般的水平運動代之以垂直運動進行模擬，觀察上述落體在流體中前進的現象，並個別記錄之。試驗方法訂定如下：

一、　靶心直徑同於圓球的玻璃珠，靶圈寬爲圓球之半徑，共六圈，貼杯底。

二、　量杯內之水要儘量保持平靜後才可進行投放落體的動作。

三、　先置落體於量杯正上方並瞄準靶心，浸到水面下後，才放手。

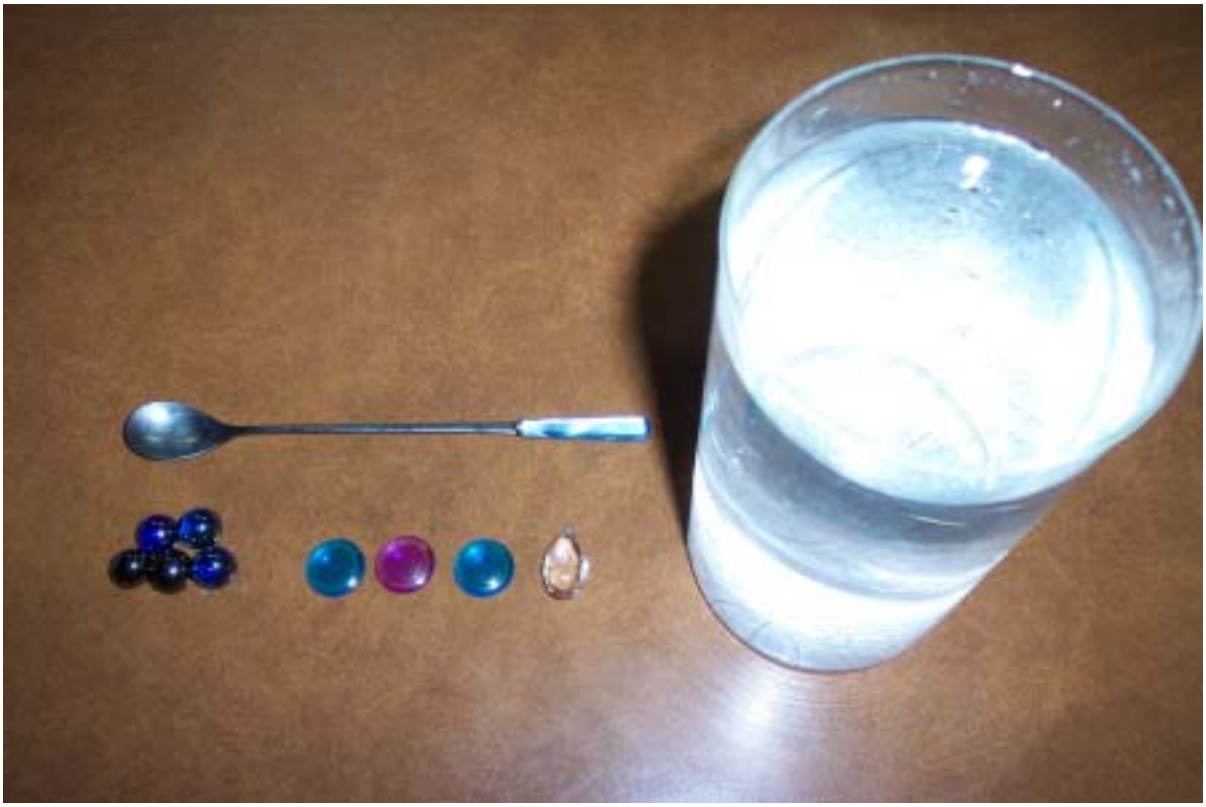
四、　眼睛盯住落體第一時間著落圓靶的位置，並記錄球次與著落區碼。

五、　同時另請兩位小朋友從兩個垂直側觀察落體下落之行徑。

六、　每落體投放相隔至少兩分鐘，讓量杯水儘量保持平靜，連作一百次。

七、　每用長柄湯匙取回落體，至少等兩分鐘，讓杯水平靜後再續作。

八、　製作統計圖表，分析試驗結果。



圖三 實驗器具：大口之玻璃量杯一個，直徑10公分、流線形體一個、玻璃珠五個、平板圓體三個、長柄湯匙一個

圖四 大口玻璃量杯底設置圓靶一個，靶心外加六個半徑寬之靶環。

圖五 先置玻璃珠於量杯正上方並瞄準靶心，浸到水面下後，才放手。

圖六 放手玻璃珠，玻璃珠以曲線行徑落下，偏離靶心而去。

圖七 圓靶貼於杯底，視玻璃珠第一時間著落圓靶的位置而非滾定位置，記錄之。

圖八 手執流線形體於量杯正上方並瞄準靶心，浸到水面下後，才放手。

圖九 放手流線形體，以曲線行徑落下，也偏離靶心而去。

圖十 手執平板體於量杯正上方並瞄準靶心，浸到水面下後，才放手。

圖十一 放手平板體，以劇烈搖擺之曲線行徑落下，也偏離靶心而去。

伍、研究結果：

照常理判斷，不旋轉之落體在水中應以直線落下而中靶心才是，結果發現各落體100次，竟沒有一次碰到靶心，而且每次落點都不一樣，換言之，其軌跡也不相同，具飄忽不定之特色，證明確實有外力在影響落體軌跡。

圖十二 圓靶

表一 圓球體之落點位置記錄

號碼	位置	號碼	位置	號碼	位置	號碼	位置	號碼	位置	號碼	位置
1	39	18	31	35	11	52	44	69	46	86	13
2	40	19	40	36	43	53	60	70	47	87	31
3	22	20	15	37	29	54	34	71	59	88	12
4	23	21	15	38	28	55	31	72	26	89	14
5	24	22	41	39	14	56	46	73	43	90	7
6	9	23	29	40	28	57	43	74	40	91	28
7	23	24	44	41	25	58	29	75	48	92	11
8	46	25	32	42	59	59	42	76	63	93	10
9	27	26	12	43	46	60	31	77	64	94	44
10	44	27	28	44	30	61	45	78	45	95	27
11	20	28	22	45	21	62	24	79	48	96	43
12	39	29	43	46	14	63	25	80	33	97	30
13	44	30	32	47	19	64	29	81	31	98	28
14	5	31	27	48	47	65	32	82	46	99	42
15	22	32	42	49	27	66	13	83	45	100	12
16	7	33	39	50	46	67	40	84	29		
17	5	34	17	51	14	68	47	85	45		

落點大多集中在第二及第三靶環，第一靶環次之，其他幾乎無。

表二 圓球體之落點次數記錄

一環	次數	二環	次數	三環	次數	四環	次數	五環	次數	六環	次數
1	0	17	1	33	1	49	0	65	0	81	0
2	0	18	0	34	1	50	0	66	0	82	0
3	0	19	1	35	0	51	0	67	0	83	0
4	0	20	1	36	0	52	0	68	0	84	0
5	2	21	1	37	0	53	0	69	0	85	0
6	0	22	3	38	0	54	0	70	0	86	0
7	2	23	2	39	3	55	0	71	0	87	0
8	0	24	2	40	4	56	0	72	0	88	0
9	1	25	2	41	1	57	0	73	0	89	0
10	1	26	1	42	3	58	0	74	0	90	0
11	2	27	4	43	5	59	2	75	0	91	0
12	3	28	5	44	5	60	1	76	0	92	0
13	2	29	5	45	4	61	0	77	0	93	0
14	4	30	2	46	6	62	0	78	0	94	0
15	2	31	5	47	3	63	1	79	0	95	0
16	0	32	3	48	2	64	1	80	0	96	0
合計	19	合計	38	合計	38	合計	5	合計	0	合計	0

表三 流線形體之落點位置記錄

號碼	位置	號碼	位置	號碼	位置	號碼	位置	號碼	位置	號碼	位置
1	10	18	48	35	32	52	56	69	15	86	50
2	32	19	59	36	44	53	39	70	48	87	23
3	47	20	30	37	47	54	19	71	53	88	40
4	47	21	29	38	30	55	41	72	64	89	38
5	56	22	31	39	75	56	20	73	62	90	31
6	42	23	48	40	33	57	39	74	48	91	40
7	30	24	36	41	33	58	39	75	38	92	41
8	31	25	57	42	58	59	50	76	22	93	57
9	14	26	42	43	73	60	33	77	39	94	46
10	15	27	44	44	37	61	62	78	73	95	72
11	18	28	29	45	41	62	38	79	22	96	80
12	13	29	43	46	17	63	71	80	20	97	47
13	29	30	14	47	63	64	24	81	39	98	27
14	48	31	44	48	33	65	46	82	8	99	57
15	34	32	29	49	57	66	73	83	23	100	39
16	35	33	27	50	50	67	31	84	25		
17	57	34	33	51	36	68	17	85	20		

落點大多集中在第三靶環，第二、四、一、五、六靶環依序遞減。

表四 流線形體之落點次數記錄

一環	次數	二環	次數	三環	次數	四環	次數	五環	次數	六環	次數
1	0	17	2	33	2	49	0	65	0	81	0
2	0	18	1	34	1	50	2	66	0	82	0
3	0	19	1	35	1	51	0	67	0	83	0
4	0	20	3	36	2	52	0	68	0	84	0
5	0	21	0	37	1	53	1	69	0	85	0
6	0	22	2	38	3	54	0	70	0	86	0
7	0	23	2	39	6	55	1	71	1	87	0
8	1	24	1	40	2	56	2	72	1	88	0
9	0	25	1	41	3	57	5	73	3	89	0
10	1	26	0	42	2	58	1	74	0	90	0
11	0	27	2	43	1	59	1	75	1	91	0
12	0	28	0	44	3	60	0	76	0	92	0
13	1	29	4	45	0	61	0	77	0	93	0
14	2	30	3	46	2	62	2	78	0	94	0
15	2	31	4	47	4	63	1	79	0	95	0
16	0	32	5	48	5	64	1	80	1	96	0
合計	7	合計	31	合計	38	合計	17	合計	7	合計	0

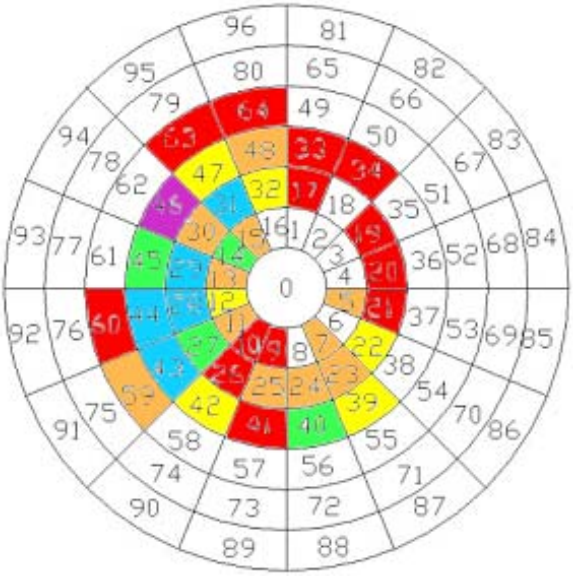
表五 平板體之落點位置記錄

號碼	位置	號碼	位置	號碼	位置	號碼	位置	號碼	位置	號碼	位置
1	6	18	19	35	12	52	17	69	4	86	8
2	19	19	20	36	23	53	22	70	14	87	21
3	25	20	17	37	18	54	5	71	20	88	19
4	29	21	11	38	7	55	25	72	10	89	24
5	3	22	15	39	26	56	19	73	21	90	23
6	22	23	28	40	16	57	23	74	32	91	5
7	29	24	29	41	3	58	10	75	12	92	28
8	30	25	23	42	42	59	31	76	20	93	34
9	15	26	5	43	43	60	35	77	27	94	13
10	55	27	30	44	21	61	40	78	3	95	32
11	59	28	48	45	11	62	41	79	37	96	31
12	62	29	52	46	8	63	28	80	35	97	27
13	59	30	21	47	45	64	42	81	37	98	21
14	62	31	62	48	28	65	23	82	17	99	9
15	10	32	12	49	47	66	22	83	55	100	7
16	26	33	13	50	6	67	8	84	5		
17	5	34	18	51	10	68	24	85	27		

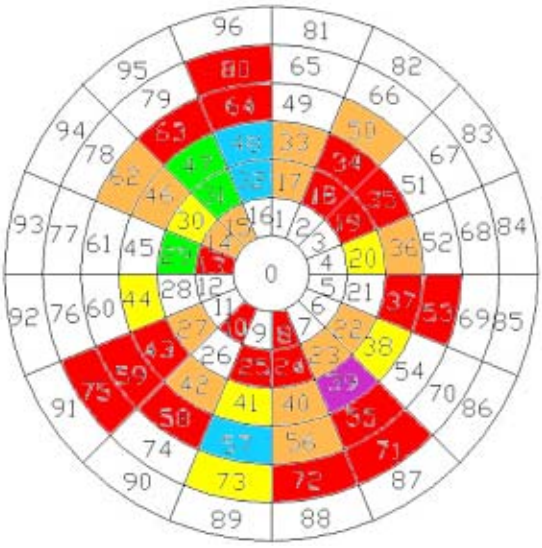
落點大多集中在第二、一靶環，較接近靶心，第三、四靶環依序遞減。

表六 平板體之落點次數記錄

一環	次數	二環	次數	三環	次數	四環	次數	五環	次數	六環	次數
1	0	17	3	33	0	49	0	65	0	81	0
2	0	18	2	34	1	50	0	66	0	82	0
3	3	19	4	35	2	51	0	67	0	83	0
4	1	20	3	36	0	52	1	68	0	84	0
5	5	21	5	37	2	53	0	69	0	85	0
6	2	22	3	38	0	54	0	70	0	86	0
7	2	23	5	39	1	55	2	71	0	87	0
8	3	24	2	40	1	56	0	72	0	88	0
9	1	25	2	41	1	57	0	73	0	89	0
10	4	26	2	42	2	58	0	74	0	90	0
11	2	27	3	43	1	59	1	75	0	91	0
12	3	28	4	44	0	60	0	76	0	92	0
13	2	29	3	45	1	61	0	77	0	93	0
14	1	30	2	46	0	62	3	78	0	94	0
15	2	31	2	47	1	63	0	79	0	95	0
16	1	32	2	48	1	64	0	80	0	96	0
合計	32	合計	47	合計	14	合計	7	合計	0	合計	0



圖十三 圓球體之落點分佈記錄



圖十四 流線形體之落點分佈記錄

圖十五 平板體之落點分佈記錄

落點１次：紅色
落點２次：橘色
落點３次：黃色
落點４次：綠色
落點５次：藍色
落點６次：紫色

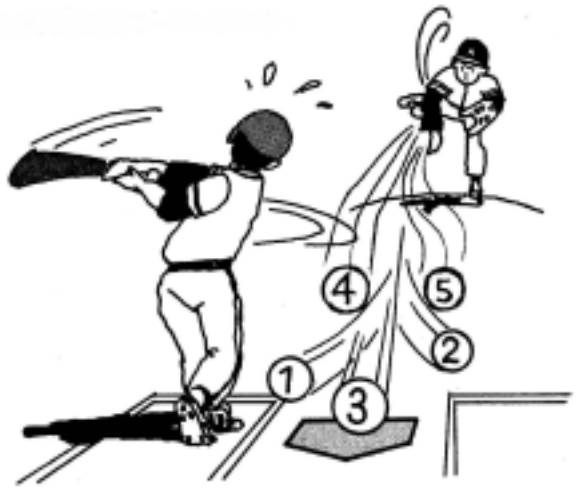
從量杯側面觀察，流線形體、圓球體的軌跡大部份都呈彎曲狀或 S 狀，每次之下落軌跡及方向都不固定，但全部偏離中線，沒擊中靶心。至於平板體，下落軌跡則以比較劇烈的搖擺而下，因快速左右回正，所以呈現多重 S 彎曲狀，落速較前兩者慢，落點較接近靶心，但同樣沒擊中靶心。

由以上試驗得知，試體落點在各個方向皆有，飄落的分佈區還算均勻。

陸、討論：

常見之棒球變化球有內曲球、外曲球、滑球、下墜球、上飄球等，都屬於快速旋轉的球。此類變化球之產生，是藉手臂及手指動作的差異，旋轉球體，帶動周圍氣流，利用流體快速得低壓、慢速得高壓的伯努利原理，造成兩側壓力差，迫使球體依照指定的方向轉彎。足球在傳球及射門時所產生的香蕉球，也是同樣的道理。

相對前類的變化球，另一種常爲球迷津津樂道的，是近乎不旋轉的彈指球，這類球具有難以預測的行徑！某些救援投手專投此球迷惑打擊手，讓人打不到球，以便收拾殘局，它漫舞如蝴蝶般，所以美譽爲蝴蝶球。



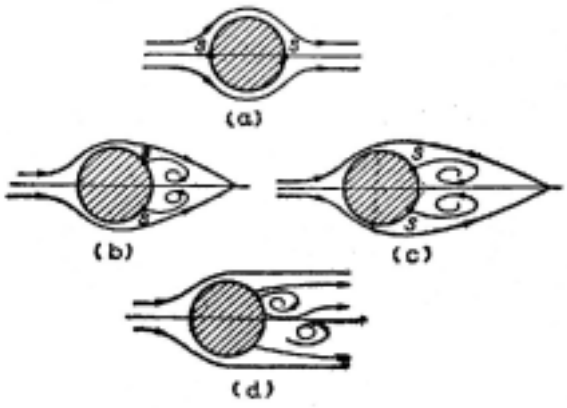
彈指球

圖十六

1 號內曲球，2 號外曲球，3 號直球，4 號下墜球，5 號彈指球即蝴蝶球

蝴蝶球具有飄忽特質，這麼厲害的功能是怎麼產生的呢？從以上試驗得知，不旋轉的球是不依直線行走的，而且還會不定向亂彎，無法預測，這跟被拖行的船不定向甩尾巴的道理是一樣的，受到尾流旋渦影響。

尾流旋渦之成因是，物體行進時排開前方流體，後方空缺須補進，流體於是從側旁灌入，同時形成對稱之雙旋渦，因相互衝突，才以交錯方式灌入，如此才穩定生長成列，即卡門渦列，如下圖(a)(b)(c)(d)次序形成。



圖十七 卡門渦列之生長。

綜合以上實驗，再相互比較原先想證實之現象，可以說很近似：

不定彎行的圓球體(不旋轉) ⟶ 飄忽的蝴蝶球
亂鑽的流線形體(不旋轉) ⟶ 甩尾巴的大船
激盪的平板體(不旋轉) ⟶ 下落盪飄的紙張

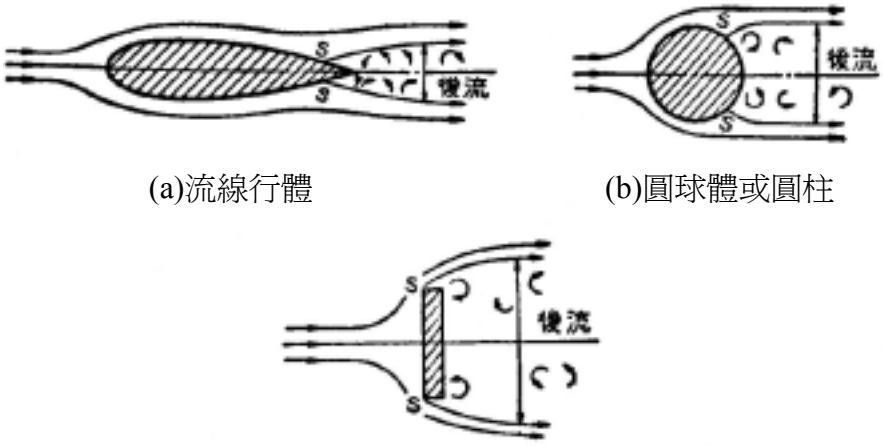
再從日常觀察，推知這些現象皆受尾流旋渦的影響。

不旋轉物體受到卡門渦列在其後交錯作用影響下，而得飄忽行徑，可與實驗結果相對應。了解以上，同學們腦力激盪一下，再詳加討論，發現蝴蝶球之飄忽現象也發生在其他球類或日常生活裏，分別舉例如下：

一、足球射門，以不旋轉方式踢出，迷惑守門員而進球得分。
二、排球開球以大巴掌拍出，不帶旋轉而飄忽，困擾對手，接球困難。
三、高速賽車因強勁的車尾渦流會使車體擺動而失控，故車尾裝設穩流翼。
四、魚缸內的上升小水泡，以蛇行方式浮至水面。
五、風中飄揚之國旗會左右擺動，是受到交錯渦流影響。
六、哈利波特裡的小巫師追逐時披風會上下擺動，也是受到交錯渦流影響。

圖十八 足球射門

圖十九 強勁的賽車尾部渦流。



(a)流線行體　　(b)圓球體或圓柱

(c)平板體

圖二十 各試體之尾流比較。

從以上實驗得知，行進之流線形體、圓球體、平板體都有尾流，其主要差異爲所產生之尾流寬度不同。所謂流線形體，可解說如下:在物體後部所生的尾流寬度較本身寬度爲狹者，其阻力較小，如現代的船舶、飛機，近乎淚滴狀；至於圓球或平板體，其後部所生的尾流寬度大多等於或大於本身之寬度，故不是流線形體。

旋轉物體在運動中，會將週旁之流體旋引進入後方空缺，破壞卡門渦列的結構，使得尾流對行徑的影響變小，或有縫的導流構造也會延後或破壞卡門渦列。球體旋轉之軸心垂直於前進方向者，藉旋轉造成兩側氣流壓力差而得特定轉向，如棒球曲球；物體旋轉之軸心平行於前進方向者，會使行徑更爲穩直，飛得更遠，如經過槍管之來幅線射出的子彈。從此得知，旋轉與不旋轉之行進結果是不一樣的。

柒、結論：

由以上的證明，得知不同物體在流體中快速運行都會有卡門渦列的尾流，所以才會產生行徑不可測現象；我們從實驗得到如下結論：

一、　不旋轉的物體在流體中運動，因渦列尾流之作用，會出現搖擺現象，蝴蝶球即利用此原理形成。

二、　平板體的搖擺程度比流線形體或圓球體更爲明顯且劇烈，行進速度也較慢，表示阻力比較大。

捌、參考資料及其他：

一、普通流體力學　王石安 編　臺灣中華書局印

二、形與流 帶阻力的流體力學　Ascher H.Shapiro 著 臺灣中華書局印

三、騙人的球　Martin Quigley 著　王希一 譯　麥田出版公司

四、牛頓打棒球　Robert K. Adair 著　李靜宜 譯　牛頓出版公司

五、力學棒球　小岩利夫 著　黃承富 譯　麥田出版公司

評語

這是一個有趣的題目，研究的同學用簡單的方法來了解一個十分複雜的物理現象，是很難得的。尤其是解說時，同學能夠完整地解釋物理現象及原理，令人印象深刻。