

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

080118

甜蜜的秘密-探討網球甜蜜點和避震器的神秘關係

學校名稱：臺北市松山區民權國民小學

作者： 小五 歐叙鋒 小五 李佳晉	指導老師： 林瑛薇 張惠貞
-------------------------	---------------------

關鍵詞：甜蜜點、合力、避震器

摘要：

上網球課的時候，教練告訴我們，網球拍上有一個「甜蜜點」(Sweet Spot)，只要擊球點落在這個神秘的區域內，打起球來「事半功倍」，不僅擊出去的球力量較大、速度較快，而且揮拍的人在球拍握把上幾乎感覺不到震動；相對的，如果擊球點離「甜蜜點」太遠，打起球來不但「事倍功半」，擊出去的球又弱又慢，揮拍的人更可能因為常常要吸收球拍傳來的震動，而得到網球運動傷害。本研究藉由測量網球拍在不同位置擊球時所承受的震動，來找出網球拍上的「甜蜜點」，同時利用這項技術來探討裝不裝避震器和「甜蜜點」位置有無關聯，並比較不同設計的避震器，他們的避震效果有何差異。

壹、 研究動機：

運動器材店裏，除了販賣各種廠牌的網球拍之外，還常看到各式各樣的網球拍避震器。在電視的網球比賽轉播上，也有些知名的職業網球選手，會在他們的網球拍上裝設避震器，不過大部份的選手卻沒有裝。在網球拍上裝設避震器到底有沒有效果？它跟傳說中的「甜蜜點」(Sweet Spot) 到底有沒有關聯？

貳、 研究目的：

- 一、 研究測量網球拍震動的方法。
- 二、 研究藉由測量球拍的震動，在網球拍上找出「甜蜜點」的方法。
- 三、 研究網球拍裝設避震器的避震效果。
- 四、 研究網球拍裝設避震器是否影響「甜蜜點」的位置。
- 五、 比較網球拍裝設不同避震器的避震效果。

參、 研究設備器材：

- 一、 網球拍 1 支
- 二、 網球 2 顆(其中 1 個綁線當作瞄準器)
- 三、 捲尺 1 隻(用來測量牛奶罐的移動距離)
- 四、 梯子 1 具(作為網球拍的固定支架)
- 五、 避震器 2 具(不同設計)
- 六、 牛奶罐 1 支(空的 1 加侖容量)
- 七、 閱讀燈底座 1 座(用來支撐長尾夾)
- 八、 長尾夾 1 支(用來轉換尼龍繩的方向)
- 九、 尼龍繩 2 捆(粗細各 1 捆，粗的固定網球拍用，細的用來拉動牛奶罐)
- 十、 白板筆 1 支(用來標示牛奶罐上的對齊記號)
- 十一、 封箱膠帶 1 卷(用來標示網球拍上的不同位置)
- 十二、 曬衣夾 1 支(用來固定網球拍握把，同時可以旋轉)

網球拍	網球	瞄準器
		
捲尺	梯子	1號避震器(避震扣)
		

2號避震器(避震條)	牛奶罐	閱讀燈底座+長尾夾
		
封箱膠帶	尼龍繩(粗)	尼龍繩(細)
		

測量力距(Moment)-1	測量扭矩(Torque)-1
	
測量力距(Moment)-2	測量扭矩(Torque)-2
	

肆、 研究過程或方法：

一、 研究測量網球拍震動的方法。

利用分別測量縱向力矩、橫向力矩的方法，模擬網球拍在不同位置擊球點球員所受到的「震動」：

(一) 測量縱向力矩的方法：

- 1.以握把延長線當作拍面的中線(白線)，定出拍子的測量區。網球拍用封箱膠帶撕成的細條，隔成 5 欄 x 4 列的 20 個格子(如下圖所示)。因為左右對稱，實驗只需作一邊。(依序編號為 A、B、C、D、E、F、G、H 等，鄰近 A、B、C、D 區的中心線上，依序命名為 A0、B0、C0、D0。)



- 2.網球拍用粗的尼龍繩，沿重心線左右固定在梯子上（如照片），使拍子可以上下擺動，但不會左右轉動。

- 3.利用綁有細尼龍繩的網球當作瞄準器，將另外一個網球從梯子的頂端（離拍面 1.1 公尺），朝目標區自由落下，模擬網球擊中拍子的狀況。

- 4.在網球拍的握把綁上細尼龍繩，繩子的另一端綁上一個空的牛奶罐，繩子的中間利用長尾夾的弧圈，將拉力轉向（ ），觀察牛奶罐在卷尺上被拉動的距離，來測試縱向力矩的大小。

(二) 測量橫向力矩的方法

- 1.網球拍用封箱膠帶撕成的細條，以握把的延長線當作拍面的中線，隔成 5 欄 x 4 列的 20 個格子。因為左右對稱，實驗只需作一邊。(依序編號為 A、B、C、D、E、F、G、H 等，鄰近 A、B、C、D 區的中心線上，依序命名為 A0、B0、C0、D0。)

2. 網球拍用粗的尼龍繩與曬衣夾，沿拍子的中心線上下固定（如照片），使拍子可以左右轉動，但不會上下擺動。
3. 利用綁有細尼龍繩的網球當作瞄準器，將另外一個網球從梯子的頂端（離拍面 1.1 公尺），朝目標區自由落下，模擬網球擊中拍子的狀況。
4. 在網球拍的握把綁上細尼龍繩，繩子的另一端綁上一個空的牛奶罐，繩子的中間利用長尾夾的弧圈，將拉力轉向，觀察牛奶罐在卷尺上移動的距離，來測試橫向力矩的大小。

（三）計算「震動」(合力)的方法

由於縱向力矩與橫向力矩發生在不同的方向（互相垂直），我們可以利用直角三角形求斜邊長的公式：「最長邊的平方等於另外兩邊長的平方和」，求得縱向力矩與橫向力矩的合力：

※合力 \times 合力 = 縱向力矩 \times 縱向力矩+ 橫向力矩 \times 橫向力矩

※合力=（縱向力矩 \times 縱向力矩+ 橫向力矩 \times 橫向力矩）的平方根

※其中平方根的計算，可以利用試算表工具(Excel)的 SQRT 函數（採整數計算）。

二、研究藉由測量球拍的震動，在網球拍上找出「甜蜜點」的方法。

- （一）藉由測量在不同位置擊球點，網球拍所受到的震動(合力)。同時因為網球拍左右對稱，另外一邊的數據，可以假設與有測量的對應位置(A、B、C、D、E、F、G、H)一樣。
- （二）再利用試算表工具(Excel)的統計圖顯示，可以找出網球拍上受到的震動最小的區域，就是甜蜜點(Sweet Spot)的位置。

三、研究網球拍裝設避震器的避震效果。

- （一）利用市面上販賣的網球拍專用避震器(避震扣)，測量在不同位置擊球點，網球拍所受到的震動(合力)。
- （二）比較網球拍裝有避震器和不裝避震器，兩者的避震效果。

四、研究網球拍裝設避震器是否影響「甜蜜點」的位置。

- （一）將「網球拍裝設避震器」所測得的數據，同樣利用試算表工具(Excel)的統計圖顯示出網球拍上受到的震動最小的區域，以決定甜蜜點(Sweet Spot)位置。
- （二）與「網球拍不裝避震器」的甜蜜點(Sweet Spot)位置作比較，以決定網球拍裝設避震器是否影響「甜蜜點」的位置。

五、比較網球拍裝設不同避震器的避震效果。

- （一）利用市面上販賣的網球拍專用避震器(避震扣)，測量在不同位置擊球點，網球拍所受到的震動(合力)。
- （二）與另一種網球拍專用避震器(避震條)比較，兩者在相對擊球點位置網球拍所受到的震動差異(合力)，以決定不同避震器是否有不同的避震效果。

伍、 研究結果：

- 一、 實驗一：針對無避震器的網球拍，測量在不同擊球位置相對的綜合受力分布狀況。

實驗設計：

- (一) 測量在不同位置擊球點，網球拍所受到的縱向力矩。
- (二) 測量在不同位置擊球點，網球拍所受到的橫向力矩。
- (三) 計算無避震器的網球拍，在不同擊球位置所承受的「震動」(合力)。
- (四) 繪製網球拍在不同擊球位置相對的合力分布狀況，以顯示甜蜜點 (Sweet Spot) 的位置。

無避震器的網球拍實驗結果紀錄表

測量縱向力矩-以牛奶罐移動的距離(mm)表示縱向力矩的大小

位置 第 x 次	A	B	C	D	E	F	G	H
1	35	125	290	385	40	160	290	380
2	45	140	250	355	42	142	285	390
3	40	125	270	380	45	130	280	395
平均	40	130	270	373	42	144	285	388

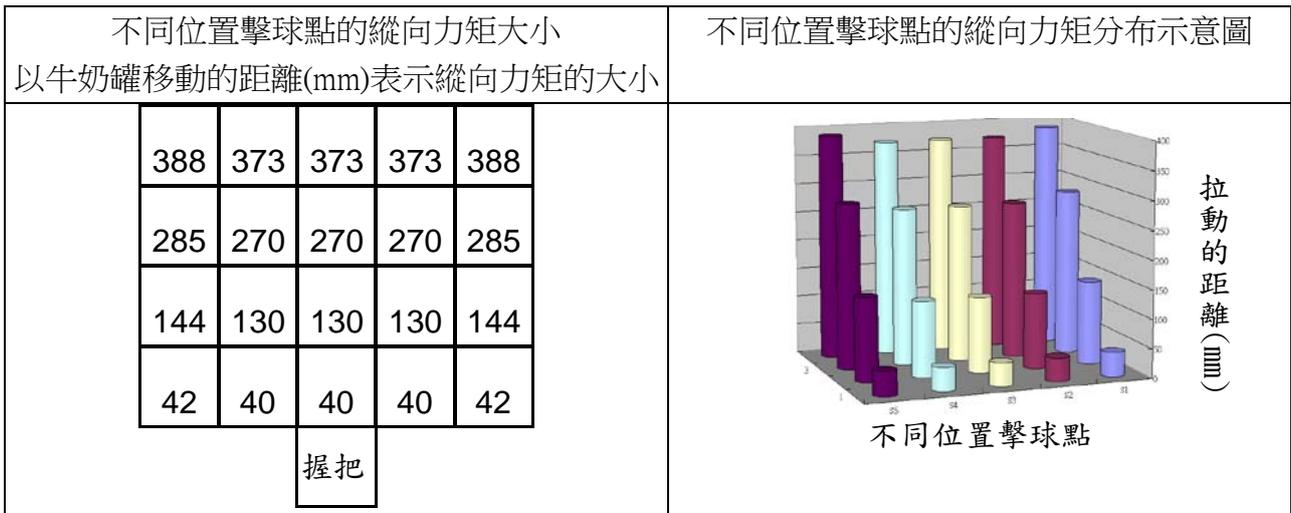
備註：A0、B0、C0、D0 位置同 A、B、C、D 位置的測量

測量橫向力矩-以牛奶罐移動的距離(mm)表示橫向力矩的大小

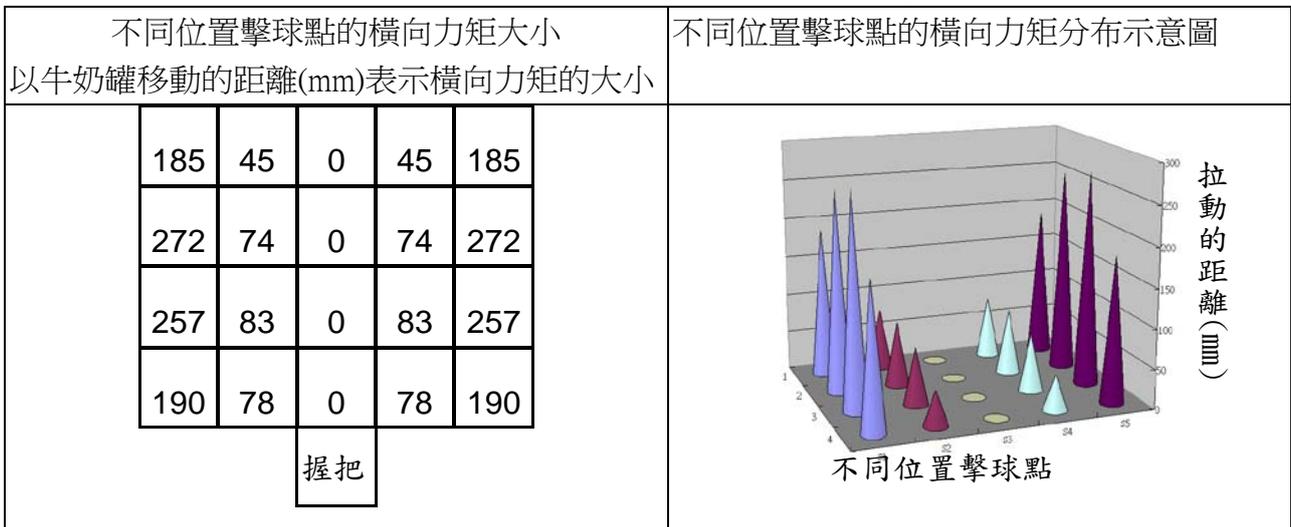
位置 第 x 次	A	B	C	D	E	F	G	H
1	82	73	62	52	172	258	267	175
2	76	75	74	44	158	260	280	200
3	75	101	86	40	240	254	270	180
平均	78	83	74	45	190	257	272	185

備註：A0、B0、C0、D0 位置，因網球拍不轉動，橫向力矩為 0

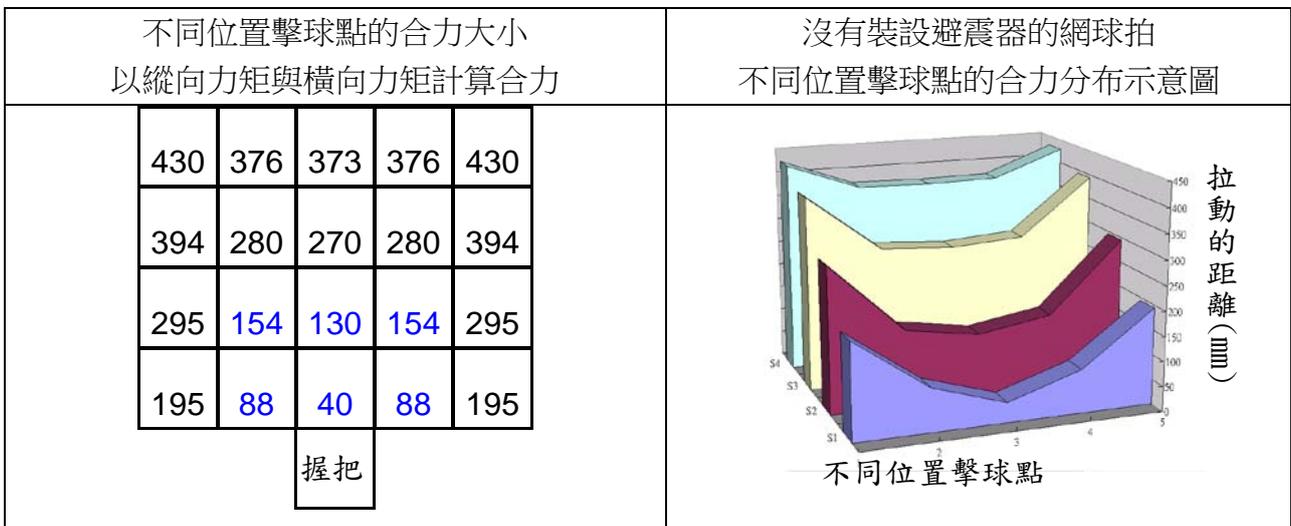
無避震器網球拍拍面各區受力實驗結果圖表
不同位置擊球點的縱向力矩大小與分布



不同位置擊球點的橫向力矩大小與分布



計算不同位置擊球點所相對承受的「震動」(合力) 的大小與分布



- 二、 實驗二：針對裝設避震扣的網球拍，測量在不同擊球位置相對的合力分布狀況。
- (一) 測量在不同位置擊球點，網球拍所受到的縱向力矩。
 - (二) 測量在不同位置擊球點，網球拍所受到的橫向力矩。
 - (三) 計算裝設避震扣的網球拍，在不同擊球位置所承受的「震動」(合力)。
 - (四) 繪製網球拍在不同擊球位置相對的合力分布狀況，以顯示甜蜜點(Sweet Spot)的位置。

裝設避震扣的網球拍的實驗紀錄表

測量縱向力矩-以牛奶罐移動的距離(mm)表示縱向力矩的大小

位置 第 x 次	A	B	C	D	E	F	G	H
1	33	120	264	420	47	145	287	455
2	43	133	270	470	42	154	271	475
3	50	112	272	450	50	156	281	460
平均	42	122	269	447	46	152	280	463

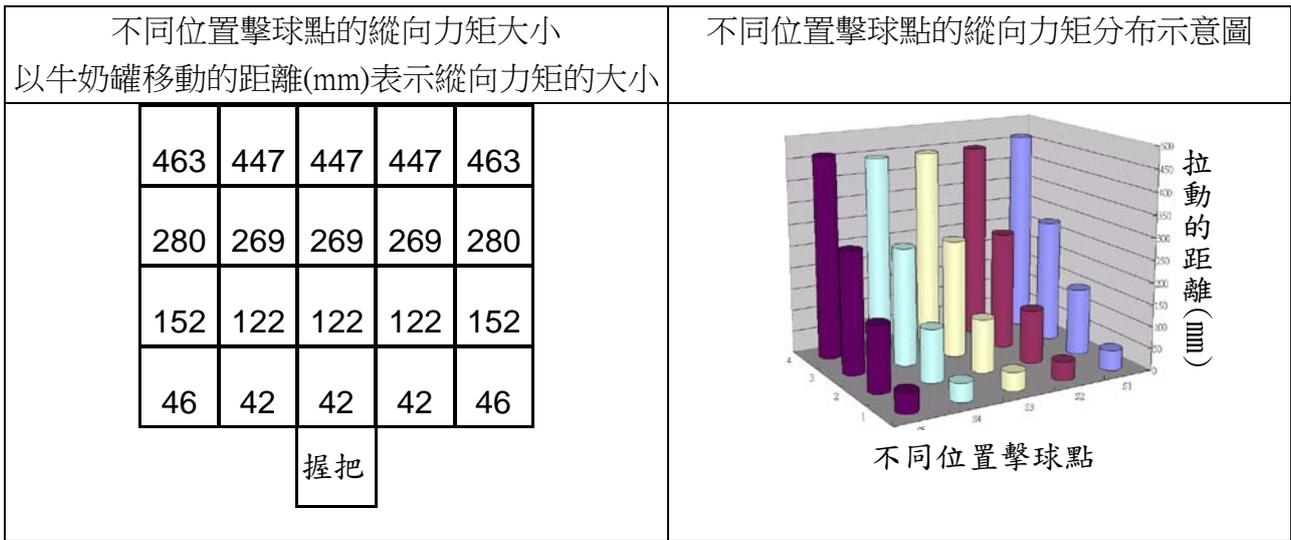
備註：A0、B0、C0、D0 位置同 A、B、C、D 位置的測量

測量橫向力矩-以牛奶罐移動的距離(mm)表示橫向力矩的大小

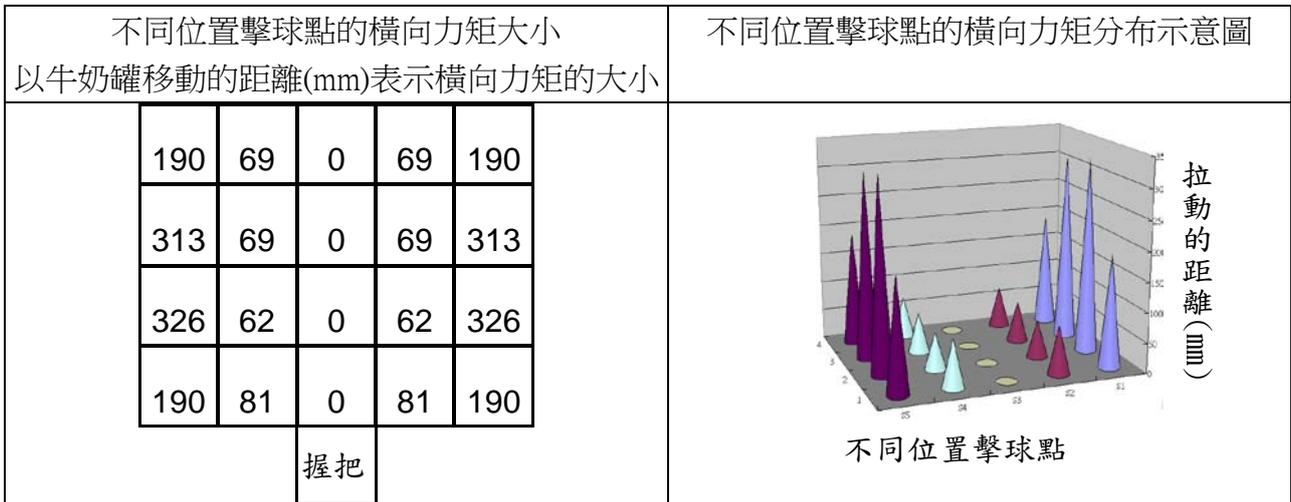
位置 第 x 次	A	B	C	D	E	F	G	H
1	77	47	54	75	180	293	325	160
2	77	60	52	50	191	335	313	199
3	90	80	100	83	200	350	302	210
平均	81	62	69	69	190	326	313	190

備註：A0、B0、C0、D0 位置，因網球拍不轉動，橫向力矩為 0

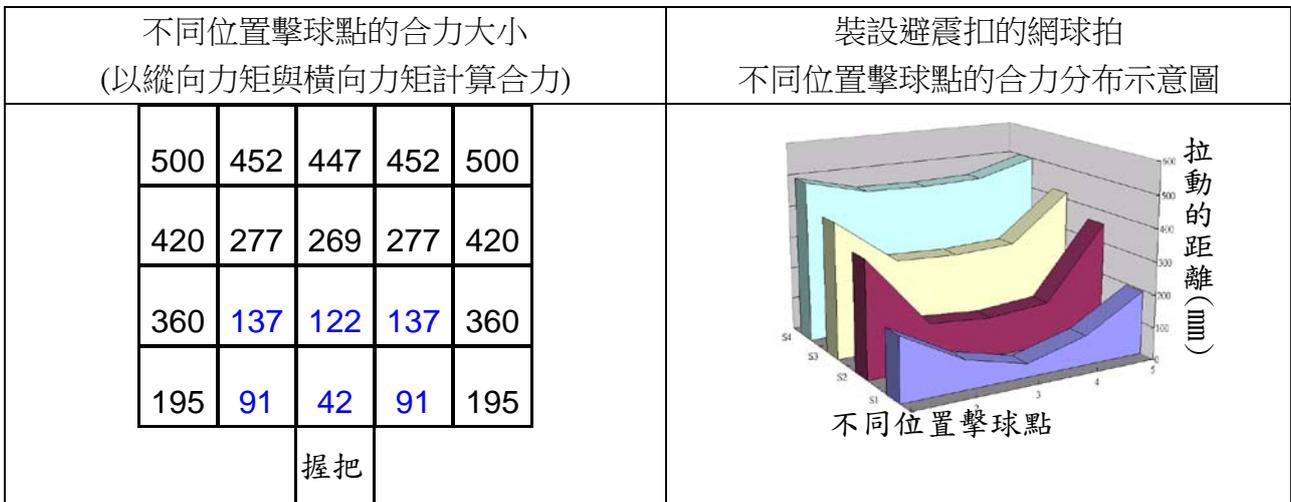
裝設避震扣的網球拍的實驗結果：
不同位置擊球點的縱向力矩大小與分布



不同位置擊球點的橫向力矩大小與分布



計算不同位置擊球點所相對承受的「震動」(合力) 的大小與分布



三、 實驗三：針對裝設避震條的網球拍，測量在不同擊球位置相對的合力分布狀況。

實驗設計：

- (一) 測量在不同位置擊球點，網球拍所受到的縱向力矩。
- (二) 測量在不同位置擊球點，網球拍所受到的橫向力矩。
- (三) 計算裝設避震條的網球拍，在不同擊球位置所承受的「震動」(合力)。
- (四) 繪製網球拍在不同擊球位置相對的合力分布狀況，以顯示甜蜜點(Sweet Spot)的位置。

裝設避震條的網球拍的實驗紀錄表：

測量縱向力矩-以牛奶罐移動的距離(mm)表示縱向力矩的大小

位置 第 x 次	A	B	C	D	E	F	G	H
1	21	125	242	372	38	117	272	390
2	31	132	256	390	40	110	260	405
3	30	143	268	406	50	112	252	425
平均	27	133	255	389	43	113	261	407

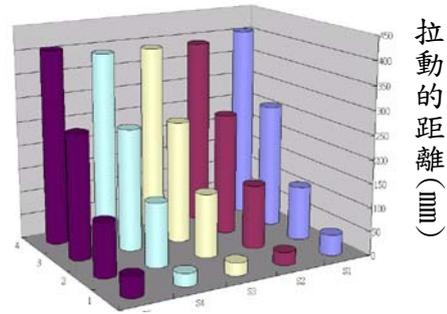
備註：A0、B0、C0、D0 位置同 A、B、C、D 位置的測量

測量橫向力矩-以牛奶罐移動的距離(mm)表示橫向力矩的大小

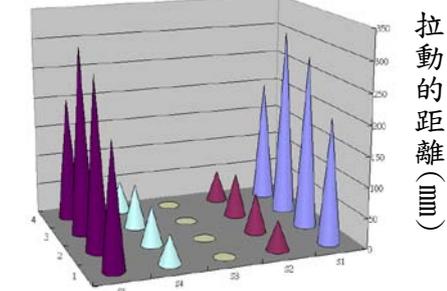
位置 第 x 次	A	B	C	D	E	F	G	H
1	37	62	60	52	201	272	300	200
2	61	71	91	58	208	282	320	201
3	50	64	70	45	207	300	306	208
平均	49	66	74	52	205	285	309	203

備註：A0、B0、C0、D0 位置，因網球拍不轉動，橫向力矩為 0

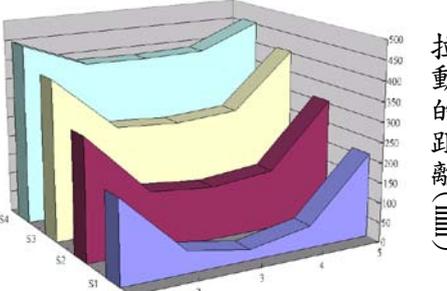
裝設避震條的網球拍的實驗結果：
不同位置擊球點的縱向力矩大小與分布

不同位置擊球點的縱向力矩大小 以牛奶罐移動的距離(mm)表示縱向力矩的大小					不同位置擊球點的縱向力矩分布示意圖				
407	389	389	389	407	 <p>拉動的距離 (mm)</p> <p>不同位置擊球點</p>				
261	255	255	255	261					
113	133	133	133	113					
43	27	27	27	43					
握把									

不同位置擊球點的橫向力矩大小與分布

不同位置擊球點的橫向力矩大小 以牛奶罐移動的距離(mm)表示橫向力矩的大小					不同位置擊球點的橫向力矩分布示意圖				
203	52	0	52	203	 <p>拉動的距離 (mm)</p> <p>不同位置擊球點</p>				
309	74	0	74	309					
285	66	0	66	285					
205	49	0	49	205					
握把									

計算不同位置擊球點所相對承受的「震動」(合力) 的大小與分布

不同位置擊球點的合力大小 以縱向力矩與橫向力矩計算合力					裝設避震條的網球拍 不同位置擊球點的合力分布示意圖				
455	393	389	393	455	 <p>拉動的距離 (mm)</p> <p>不同位置擊球點</p>				
404	266	255	266	404					
306	149	133	149	306					
209	56	27	56	209					
握把									

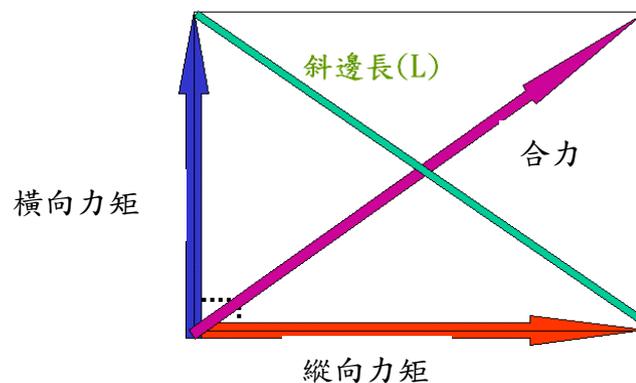
陸、 討論：

- 一、 為什麼我們可以用牛奶罐在卷尺上被拉動牛奶罐的距離，來表示縱向力矩與橫向力矩的大小？

依據「能量守恆定律」："能量既不會無中生有，也不會憑空消失。它可以從一種形式，轉換成另一種形式，但能量總和永遠不變。" 所以，網球從高處落到網球拍所傳遞的能量(重力位能=網球重量*固定的高度)，除了部份能量由固定網球拍的繩子所吸收，依據繩子固定在網球拍的水平重心線或垂直中心線所造成不同程度的力矩(縱向受力)或是扭矩(橫向受力)，其餘的能量部分可轉換成對牛奶罐所作的功(=牛奶罐上的施力*拉動的距離)。

- 二、 為什麼可以分別測量網球拍承受的力矩(縱向受力)和扭矩(橫向受力)，再計算「綜合受力」來代表網球拍承受的震動？

※「畢氏定理」(Pythagoras' Theorem)說明了直角三角形三邊的關係：『斜邊的平方等於另外兩邊的平方之和。(請參考下圖)』



$$\text{畢氏定理：} T^2 + M^2 = L^2$$

$$\text{因為 } S=L$$

$$\text{所以 } S^2 = T^2 + M^2$$

※由於縱向力矩和橫向力矩兩者的方向互相垂直，我們可以利用畢氏定理來求出合力的大小。

- 三、 網球拍裝設避震器是否有明顯的避震效果？

(一) 比較實驗一(無避震器)和實驗二(避震扣)的實驗結果，計算兩個實驗在相對位置的「合力」差異百分比(見下表)。藉此來比較「未裝避震器」與「裝設避震扣」的避震效果。

※避震扣差異百分比=(無避震器的綜合受力-避震扣的綜合受力)÷無避震器的綜合受力。

※[無避震器 vs. 避震扣] 避震效果： -6.6% (不考慮 A0-A-E 則避震效果: -7.9%)

※結果發現避震扣並沒有避震效果，甚至更差。因為避震效果在 10%的範圍內，人體可能感覺不出來。

16.3%	-20.2%	-19.8%	-20.2%	-16.3%	H	D	D0	D	H
-6.6%	1.1%	0.4%	1.1%	-6.6%	G	C	C0	C	G
-22.0%	11.0%	6.2%	11.0%	-22.0%	F	B	B0	B	F
0.0%	-3.4%	-5.0%	-3.4%	0.0%	E	A	A0	A	E
					握把				

(二) 比較實驗一(無避震器)和實驗三(避震條)的實驗結果，計算兩個實驗在相對位置的「合力」差異百分比(見下表)，藉此來比較「未裝避震器」與「裝設避震條」的避震效果。

※避震條差異百分比=(無避震器的綜合受力－避震條的綜合受力)÷無避震器的合力。

※[無避震器 vs. 避震條] 避震效果： 3.7% (不考慮 A0-A-E 則避震效果: --1.2%)

※發現避震條沒有明顯避震效果。因為避震效果在 10%的範圍內，人體可能感覺不出來。

四、 網球拍裝設避震器是否影響「甜蜜點」的位置

觀察實驗一(無避震器)、實驗二(裝避震扣)、與實驗三(裝避震條) 的實驗結果所顯示的「甜蜜點」分布位置並無太大的差異，這是因為避震器的重量和體積相對於網球拍而言，顯得太小了，並不足以影響網球拍的重心點，而且「合力」只有在靠近避震器旁邊才有比較明顯的影響。所以，整體來說裝了避震器，並不影響網球拍「甜蜜點」的位置。

五、 網球拍裝設不同避震器是否有不同的避震效果？

比較實驗二(裝避震扣)和實驗三(裝避震條)的實驗結果，可以得出兩個實驗在相對位置的「合力」差異百分比(見下表)，藉此來比較「裝設避震扣」與「裝設避震條」的避震效果。

※[避震扣 vs. 避震條] 避震差異百分比：10.2% (因為擊球點不可能太靠近握把，所以不考慮 A0-A-E 則避震效果:6.8%)

※避震扣和避震條的差異百分比=(避震扣的綜合受力－避震條的綜合受力)÷無避震器的綜合受力。

※結果發現避震條的避震效果(3.7%)比避震扣(-6.6%)好。

-5.8%	-4.5%	-4.3%	-4.5%	-5.8%	H	D	D0	D	H
-2.5%	5.0%	5.6%	5.0%	-2.5%	G	C	C0	C	G
-3.7%	3.2%	-2.3%	3.2%	-3.7%	F	B	B0	B	F
-7.2%	36.4%	32.5%	36.4%	-7.2%	E	A	A0	A	E
		握把					握把		

六、 針對討論三提到裝設避震器的網球拍並無明顯之避震效果，我們覺得有些疑惑，於是又作了進一步的研究：

根據能量守恆 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ ，可求出 $v = \sqrt{2gh}$ 。

我們的實驗是以網球距拍面 1.1 公尺的高度來算球速， $v=4.69$ 公尺/秒，與網球球員平均發球速度 55.56 公尺/秒來比較，速度相差 12 倍。其原因在於本實驗中的網球以自由落體形式自距離拍面 1.1 公尺處落下，屬於低能量的撞擊，速度自然無法與真正擊球時的球速相提並論。因此，本實驗之結果可能無法代表實戰時網球拍之受力情形。但這也是我們的期待，希望在未來能夠找到更適合的設備與器材，提供我們做更精確的研究。

柒、 結論：

- 一、 依據「能量守恆定律」，網球從高處落到網球拍所傳遞的能量(重力位能=網球重量*固定的高度)，除了部份能量由固定網球拍的繩子所吸收，其餘的能量都可轉換成對牛奶罐所作的功(=牛奶罐上的施力*拉動牛奶罐的距離)。所以，我們可以用牛奶罐在卷尺上被拉動的距離，來表示縱向力矩與橫向力矩的大小。
- 二、 由於縱向力矩和橫向力矩兩者的方向互相垂直，我們可以利用畢氏定理來求出合力的大小。受力最小處就是「甜蜜點」的位置。
- 三、 網球拍裝設避震器並沒有明顯的避震效果，有些避震器甚至有反效果。但不管避震效果是正面或負面，差異在 10%的範圍內，人體可能感覺不出來。
- 四、 網球拍裝設避震器並不影響「甜蜜點」的位置。因為避震器的重量和體積相對於網球拍而言，顯得太小了，並不足以影響網球拍的重心點，而且「綜合受力」只

有在靠近避震器旁邊才有比較明顯的影響。所以，整體來說裝了避震器，並不影響網球拍「甜蜜點」的位置。

- 五、 如果比較實驗所用兩種避震器的避震效果，「避震條」的避震效果比「避震扣」好。但有趣的是，「避震條」的市價卻比較便宜。也許「避震扣」是貴在會發出聲音吧！
- 六、 做完實驗，我們心中仍有疑問？既然避震器效果不大。為什麼還是有人裝設呢？訪問學校體育班網球隊的選手及教練，發現 20 位選手中只有 5 位裝設避震器。沒有裝設的原因是他們認為裝不裝避震器效果差異不大，甚至有人覺得裝避震扣時還會影響到拍面的張力。而裝設避震器的選手，有的是因買拍子就附贈避震器，也有人覺得避震器的確有效果，也許裝不裝避震器的理由會因人而異，但最重要的是如何減輕手臂承受的震動，避免運動傷害。

捌、 參考資料及其他：

- 一、 觀念物理第 I 冊、第 III 冊
- 二、 網球物理學(<http://www.racquetresearch.com/>)

【評語】 080118

- 1.科學方法的運用可再加強，實驗變因探討宜再深入。
- 2.取材生活化建議增加變因的控制。