

臺北市第 43 屆中小學科學展覽會

作品說明書封面

科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：搖擺不定—擺動的奧秘

關 鍵 詞：秋千、擺動、能量傳遞

編 號：

壹、研究動機：

每次經過操場或到公園裡玩，常看到秋千上擠滿了許多小朋友，而且總是有不會盪秋千的人，要求別人幫忙推。於是我們想：「可不可以讓兩個秋千一起擺動？」我們在三年級「生活中的力」單元中學到力的大小和方向性，也在五年級「力的世界」單元中，認識了地球的重力。這讓我們對力的現象，產生高度興趣，於是決定往這個方向研究。

貳、研究目的：

- 一、比較不同的連接材質、不同的高度或不同的間距，是否會影響球擺動時能量傳遞的情形。
- 二、測量秋千擺盪的角度，比較改變球的重量和數量、綁球棉線的長度和間距或秋千兩邊的高度，能量傳遞的情形如何？

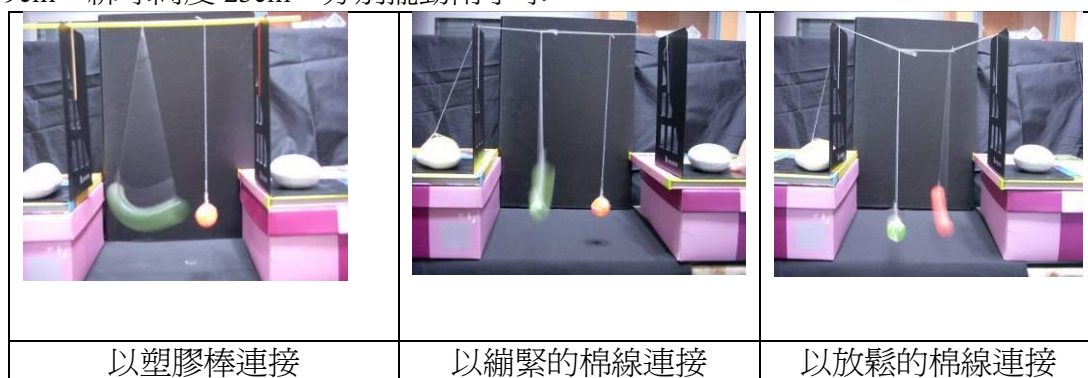
參、研究設備及器材：

- 一、等高書架兩個（高 19 cm）
- 二、塑膠棒
- 三、棉線
- 四、一個大球（直徑 3.5cm、重量 1.6g）
- 五、兩個小球（重量、大小都相同，一個橘色、一個綠色，直徑 2.5 cm、重量 0.8g）
- 六、書本十八本
- 七、直尺
- 八、大量角器
- 九、四顆石頭

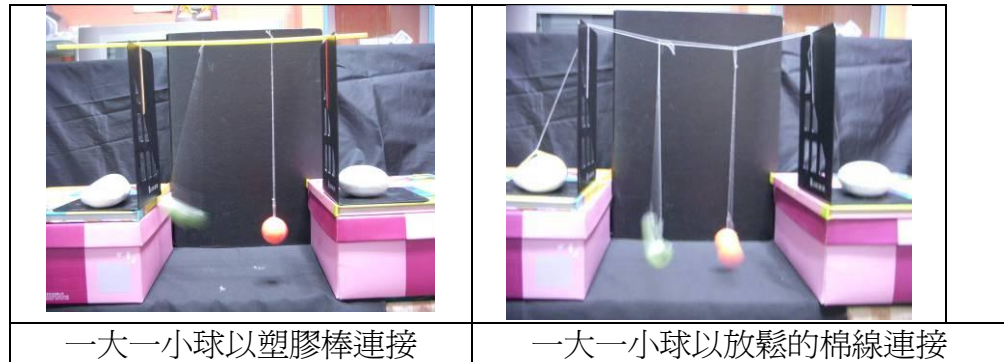
肆、研究過程及步驟：

研究一、比較不同的連接材質、不同的高度或不同的間距是否會影響球擺動時能量傳遞的情形。

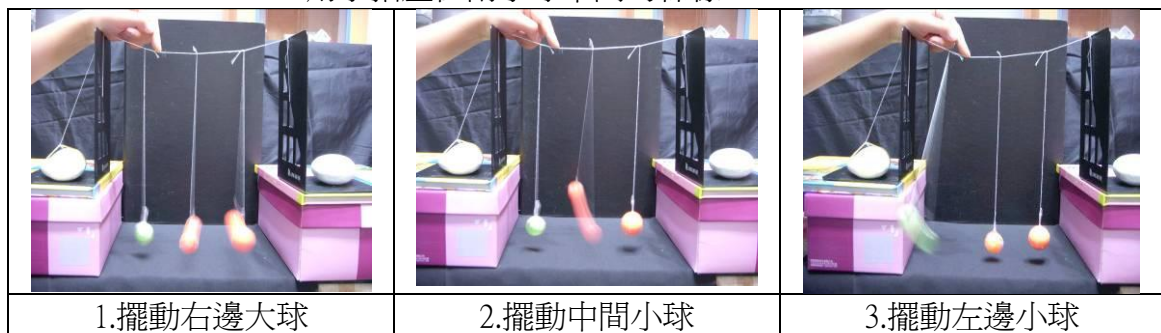
- (一) 以不同材質（塑膠棒、繃緊的棉線、放鬆的棉線）連接，球的間距 9cm，綁球高度 23cm，分別擺動兩小球。



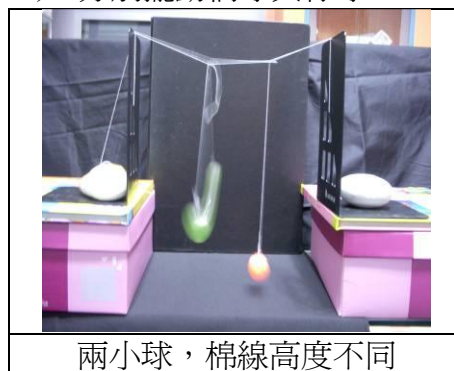
(二) 以不同材質（塑膠棒、放鬆的棉線）連接，球的間距 9cm，綁球高度 23cm，分別擺動大球與小球。



(三) 右邊一大球、中間一小球、左邊一小球，球的間距 7cm，綁球高度 23cm，用手指壓住兩小球中間的棉線。



(四) 兩小球，以放鬆的棉線連接，球的間距 9cm，綁球的棉線高度不相同（17cm、23cm），分別擺動橘球與綠球。



(五) 如下圖，兩小球，以放鬆的棉線連接，球的間距不相同（7cm、7cm、13cm），綁球的棉線高度同為 23cm，分別擺動橘球與綠球。



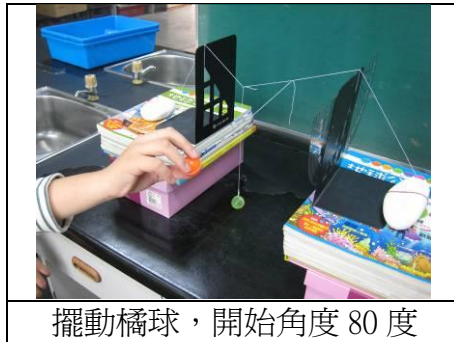
(六) 將兩個書架，調整為高度相差 6cm，以放鬆的棉線連接，球的間距 9cm，綁球的高度 23cm，橘球較高、綠球較低，分別擺動較高的球和較低的球。



研究二、書架中間用放鬆的棉線連接，在書架上貼大量角器，仔細測量球擺動角度的變化過程，記錄 10 度以上的擺動情形。

(一) 兩小球，球的間距 9cm、綁球的高度 23cm，

1. 擺動橘球，開始角度 80 度。



2. 擺動橘球，開始角度 60 度。



(二) 一大球一小球，球的間距 9cm、綁球的高度 23cm，

1. 擺動大球，開始角度 80 度。



一大一小，擺動大球，開始角度 80 度

2. 擺動小球，開始角度 80 度。



一大一小，擺動小球，開始角度 80 度

(三) 兩小球一大球，球的間距 7cm、綁球的高度 23cm，



1. 擺動中間小球，開始角度 80 度



2. 擺動左邊小球，開始角度 80 度



3. 擺動右邊大球，開始角度 80 度

(四) 兩個小球，球的間距長度不相同（7cm、7cm、13cm），綁球的棉線高度相同（23cm）。

1. 擺動比較靠近中間的球，開始角度 80 度。
2. 擺動比較靠近書架的球，開始角度 80 度。

(五) 兩邊書架高度相差 6cm，球的間距 9cm，綁球的高度 23cm，一球較高、一球較低。

1. 擺動較高的球，開始角度 80 度。
2. 擺動較低的球，開始角度 80 度。

伍、研究結果：

研究一、

(一)

以塑膠棒連接	以繃緊的棉線連接	以放鬆的棉線連接
1. 擺動橘色球，綠色球不會擺動。 2. 擺動綠色球，橘色球不會擺動。	1. 擺動橘色球，綠色球不會擺動。 2. 擺動綠色球，橘色球不會擺動。	1. 擺動橘色球，綠色球會擺動。 2. 擺動綠色球，橘色球會擺動。

(二)

以塑膠棒連接	以放鬆的棉線連接
1. 擺動大球，小球不會擺動。 2. 擺動小球，大球不會擺動。	1. 擺動大球，小球會擺動。 2. 擺動小球，大球會擺動。

(三) 兩小球和一個大球，用手指壓住兩小球中間的棉線。

1. 擺動右邊大球，中間小球與大球都會輪流擺動，左邊小球不會擺動。
2. 擺動中間小球，大球與中間小球都會輪流擺動，左邊小球不會擺動。
3. 擺動左邊小球，大球與中間小球都不會擺動。

(四) 兩個小球，以放鬆的棉線連接，綁球的棉線高度不相同（17cm、23cm）。

1. 擺動線較長的球，線較長的球就會把能量傳給線較短的球，所以線較短的球會擺動一陣子，線較長的球還是會持續擺動一段時間，直到慢慢停止。
2. 擺動線較短的球，線較短的球就會把能量傳給線較長的球，所以線較長的球會產生擺動，線較短的球還是會持續擺動一段時間，直到慢慢停止。

(五) 以放鬆的棉線連接，球的間距長度不相同（7cm、7cm、13cm）。

1. 擺動橘球，綠球與橘球會輪流擺動。

2. 擺動綠球，橘球與綠球也會輪流擺動。

(六) 將兩個書架，調整為高度相差 6cm，以放鬆的棉線連接。

1. 擺動高的球，高球與低球會輪流擺動。
2. 擺動低的球，低球與高球也會輪流擺動。

研究二、

(一) 兩小球，球的間距 9cm、綁球的高度 23cm，

1. 擺動橘球，開始角度 80 度。

球 別 次 數	橘球給綠球		綠球再傳給橘球		橘球再傳給綠球		時間
	橘球擺動最小的角度	綠球擺動最大的角度	綠球擺動最小的角度	橘球擺動最大的角度	橘球擺動最小的角度	綠球擺動最大的角度	
1	< 10	60	< 10	50	< 10	50	4:24
2		75		60		60	4:30
3		60		55		50	5:07
4		70		60		50	
5		75		50		55	
6		70		55		55	
7		70		60		50	
8		60		50		45	
9		60		50		55	
10		70		50		45	
平均	< 10	67	< 10	54	< 10	52	4:40

2.擺動橘球，開始角度 60 度。

球 別 次 數	橘球給綠球		綠球再傳給橘球		橘球再傳給綠球		時間
	橘球擺動最小的角度	綠球擺動最大的角度	綠球擺動最小的角度	橘球擺動最大的角度	橘球擺動最小的角度	綠球擺動最大的角度	
1	< 10	55	< 10	45	< 10	45	3:04
2		60		55		55	2:40
3		65		50		50	2:49
4		60		50		45	
5		60		55		50	
6		65		50		50	
7		60		50		55	
8		65		50		50	
9		60		50		50	
10		60		50		50	
平均	< 10	61	< 10	51	< 10	50	2:51

橘球的開始角度為 60 度時，擺動的角度比開始角度 80 度時小，擺動時間也較短。

(一) 一大球一小球，球的間距 9cm、綁球的高度 23cm，
1.擺動大球，開始角度 80 度。

球 別 次 數	大球給小球		小球再傳給 大球		大球再傳給 小球		小球再傳 給大球		時間
	大球 擺動 最小 的角 度	小球 擺動 最大 的角 度	小球 擺動 最小 的角 度	大球 擺動 最大 的角 度	大球 擺動 最小 的角 度	小球 擺動 最大 的角 度	小球 擺動 最小 的角 度	大球 擺動 最大 的角 度	
1	< 10	70	< 10	55	< 10	55	< 10	50	5:18
2		65		50		50		45	5:28
3		65		55		50		50	4:52
4		70		55		50		50	
5		70		60		50		40	
6		65		50		50		40	
7		70		55		50		45	
8		60		50		45		40	
9		70		65		50		50	
10		60		60		50		50	
平 均	< 10	67	< 10	56	< 10	50	< 10	46	5:13

2.擺動小球，開始角度 80 度。

球 別 次 數	小球給大球		大球再傳給 小球		小球再傳給 大球		大球再傳 給小球		時間
	小球 擺動 最小 的角 度	大球 擺動 最大 的角 度	大球 擺動 最小 的角 度	小 球 擺 動 最 大 的 角 度	小 球 擺 動 最 小 的 角 度	大球 擺動 最大 的角 度	大 球 擺 動 最 小 的 角 度	小 球 擺 動 最 大 的 角 度	
1	< 10	50	< 10	55	< 10	45	< 10	50	4:53
2		60		60		55		55	5:10
3		60		60		50		50	4:56
4		60		60		50		50	
5		55		60		55		50	
6		50		55		50		50	
7		60		60		45		50	
8		55		60		50		50	
9		60		60		45		50	
10		60		60		55		50	
平均	< 10	57	< 10	59	< 10	50	< 10	51	5:00

1.大球把能量傳給小球時，會比小球把能量傳給大球時大，小球回傳給大球時，大球的擺動幅度會比較小，當大球再回傳給小球時，小球的擺動幅度則和剛才大球的擺動幅度差不多。

2.小球擺動完後能量傳給大球，大球的擺動幅度並沒有很大，不過當大球再傳給小球時，小球的擺動幅度會比大球的擺動幅度還大。

(二) 兩小球一大球，球的間距 7cm、綁球的高度 23cm，
1.擺動左邊小球，開始角度 80 度。

次數	球別	左邊小球給中間小球和右邊大球			中間小球再傳給左邊小球			右邊大球再傳給中間小球			左邊小球和中間小球給右邊大球			時間
		左邊小球擺動最小的角度	中間小球擺動最大的角度	右邊大球擺動最大的角度	右邊大球擺動最大的角度	中間小球擺動最小的角度	左邊小球擺動最大的角度	左邊小球擺動最大的角度	中間小球擺動最大的角度	右邊大球擺動最小的角度	左邊小球擺動最小的角度	中間小球擺動最小的角度	右邊大球擺動最大的角度	
1	<10	30	40	40	<10	30	30	40	<10	<10	<10	40	3:39	
2		30	50	50		20	20	20				30	3:52	
3		40	45	45		40	40	35				30	4:17	
4		30	40	40		30	30	20				30		
5		40	55	55		30	30	50				40		
6		30	40	40		30	30	50				30		
7		35	40	40		30	30	40				40		
8		30	45	45		30	30	40				40		
9		35	50	50		30	30	40				40		
10		40	40	40		45	45	45				45		
平均	<10	44	45	<10	32	40	<10	<10	<10	37	3:56			

左邊小球引起右邊大球和中間小球擺動後，自己就會停止擺動。
接著中間小球也在左邊小球靜止的瞬間停下來，過一會兒右邊大球
也會把能量傳遞完，讓中間小球劇烈擺動，接著它們兩個會把能量
傳回右邊大球，就一起停止了。最後右邊大球、中間小球、左邊小
球也會按照前面的順序輪流靜止和擺動。

2.擺動中間小球，開始角度 80 度。

球 別 次 數	中間小球給左邊小 球和右邊大球			左邊小球和右邊大 球給中間小球			中間小球給左邊 小球和右邊大球			時間
	中 間 小 球 擺 動 最 小 的 角 度	左 邊 小 球 擺 動 最 大 的 角 度	右 邊 大 球 擺 動 最 大 的 角 度	左 邊 小 球 擺 動 最 小 的 角 度	右 邊 大 球 擺 動 最 小 的 角 度	中 間 小 球 擺 動 最 大 的 角 度	中 間 小 球 擺 動 最 小 的 角 度	左 邊 小 球 擺 動 最 大 的 角 度	右 邊 大 球 擺 動 最 大 的 角 度	
1	<10	35	35	<10	<10	40	<10	35	20	3:52
2		35	35			45		40	20	3:57
3		40	40			45		40	20	3:52
4		35	35			45		45	20	
5		35	35			50		40	20	
6		30	30			45		40	15	
7		30	30			50		40	25	
8		35	35			45		40	20	
9		35	35			50		40	20	
10		30	30			50		40	20	
平 均	<10	34	34	<10	<10	47	<10	40	20	3:54

中間小球的能量傳遞出去時，能量會平均傳給左邊小球和右邊大球，左右兩球的擺動狀況和擺動角度幾乎一模一樣。接下來左右兩球會再把能量傳回中間小球，再來它們會再依照前者的擺動方式持續擺動，形成自動擺動的情況。

3.擺動右邊大球，開始角度 80 度。

球 別	右邊大球給中 間小球和左邊 小球			中間小球給右 邊大球			左邊小球給中 間小球			中間小球給左 邊小球			時 間
	右 邊 大 球 擺 動 最 小 的 角 度	中 間 小 球 擺 動 最 大 的 角 度	左 邊 小 球 擺 動 最 大 的 角 度	左 邊 小 球 擺 動 最 大 的 角 度	中 間 小 球 擺 動 最 小 的 角 度	右 邊 大 球 擺 動 最 大 的 角 度	左 邊 小 球 擺 動 最 小 的 角 度	中 間 小 球 擺 動 最 大 的 角 度	右 邊 大 球 擺 動 最 大 的 角 度	右 邊 大 球 擺 動 最 大 的 角 度	中 間 小 球 擺 動 最 小 的 角 度	左 邊 小 球 擺 動 最 大 的 角 度	
次 數													
1	< 10	60	50	50	< 10	50	< 10	40	50	50	< 10	40	3:30
2		55	55	55		60		40	60	60		45	4:07
3		50	55	55		55		40	55	55		45	4:07
4		50	55	55		60		40	60	60		45	
5		50	55	55		50		50	50	50		50	
6		55	50	50		50		40	50	50		40	
7		60	60	60		55		40	55	55		45	
8		55	55	55		50		40	50	50		50	
9		60	60	60		50		40	50	50		45	
10		50	45	45		50		40	50	50		40	
平 均	< 10	55	54		< 10	53	< 10	41	53		< 10	45	3:55

右邊大球開始擺動後，左邊小球、中間小球也會陸續擺動，等到右邊大球能量傳遞完畢就會瞬間停住，中間小球會馬上把能量傳給右邊大球，自己會停止一陣子，然後左邊小球也會把能量傳給中間小球，自己會突然靜止，再來中間小球會先停止，緊接著右邊大球才會停下來。

(三) 兩小球，球的間距長度不相同（7cm、7cm、13cm），綁球的棉線高度相同（23cm）。

1.擺動較靠近中間的球，開始角度 80 度。

球 別 次 數	中間球給書架邊 的球		書架邊的球再傳 給中間球		中間球再傳給書 架邊的球		時間
	中間球 擺動最 小的角 度	書架邊 的球擺 動最大 的角度	書架邊 的球擺 動最小 的角度	中間球 擺動最 大的角 度	中間球 擺動最 小的角 度	書架邊 的球擺 動最大 的角度	
1	<10	60	<10	50	<10	55	3:18
2		65		55		50	3:24
3		60		60		50	3:33
4		60		55		50	
5		60		55		50	
6		65		55		55	
7		55		55		50	
8		70		60		50	
9		70		60		50	
10		60		55		55	
平均	<10	63	<10	56	<10	52	3:25

中間球將能量傳給書架邊的球後，書架邊的球就會開始劇烈的擺動，然後書架邊的球再把能量回傳給中間球，它們的速度是不一致的，所以有時不會同方向，有時會同方向。

2.擺動較靠近書架的球，開始角度 80 度。

球 別 次 數	書架邊的球給中 間球		中間球再傳給書 架邊的球		書架邊的球再傳 給中間球		時間
	書架邊 的球擺 動最小 的角度	中間球 擺動最 大的角 度	中間球 擺動最 小的角 度	書架邊 的球擺 動最大 的角度	書架邊 的球擺 動最小 的角度	中間球 擺動最 大的角 度	
1	<10	60	<10	55	<10	40	3:42
2		55		55		45	3:02
3		50		50		50	3:17
4		60		50		45	3:03
5		50		50		45	3:17
6		60		55		50	
7		55		55		40	
8		50		50		40	
9		55		50		40	
10		55		50		40	
平均	<10	55	<10	52	<10	44	3:10

書架邊的球的能量傳給中間球以後，中間球會跟前面結果一樣，開始劇烈的擺動。

(四) 兩邊書架高度相差 6cm，球的間距 9cm，綁球的高度 23cm，一球較高、一球較低，

1.擺動較高的球，開始角度 80 度。

球 別 次 數	高球給低球		低球再傳給高球		高球再傳給低球		時間
	高球擺動最小的角度	低球擺動最大的角度	低球擺動最小的角度	高球擺動最大的角度	高球擺動最小的角度	低球擺動最大的角度	
1	< 10	60	< 10	45	< 10	45	4:03
2		55		45		45	4:10
3		60		45		45	4:13
4		55		40		35	
5		55		50		45	
6		60		45		40	
7		50		45		40	
8		50		45		40	
9		55		40		40	
10		60		50		45	
平均	< 10	56	< 10	45	< 10	42	4:09

當位置較高的球開始擺動後，較低的球就會逐漸的開始擺動。
等到低球傳給高球，高球再傳給低球後，低球的最大角度幾乎跟上
次高球的最大角度一樣。

2.擺動較低的球，開始角度 80 度。

球 別 次 數	低球給高球		高球再傳給低球		低球再傳給高球		時間
	低球擺動最小的角度	高球擺動最大的角度	高球擺動最小的角度	低球擺動最大的角度	低球擺動最小的角度	高球擺動最大的角度	
1	< 10	55	< 10	50	< 10	40	4:08
2		50		50		45	3:59
3		55		50		40	4:25
4		50		45		40	
5		55		50		35	
6		55		45		40	
7		55		50		40	
8		50		50		40	
9		50		40		35	
10		60		50		40	
平均	< 10	54	< 10	47	< 10	40	4:11

低的球開始擺動後，高的球也會開始跟著擺動，接著高球會在一瞬間靜止擺動，然後低球又會開始劇烈擺動。

陸、討論：

研究一、

- (一) 兩個書架間以塑膠棒或繃緊的棉線連接，不管球的重量是輕或重，都不能讓開始擺動的球把能量傳給別的球，讓別的球跟著擺動。可見塑膠棒或繃緊的棉線無法傳遞能量。
- (二) 若用放鬆的棉線連接，則橘球開始擺動時，會帶動上面的棉線一起晃動，綠球也會因棉線所傳遞的能量，而跟著晃動；當橘球能量傳遞完畢靜止時，接收能量的綠球就會逐漸的劇烈晃動！接下來就換成綠球把能量回傳給橘球了；於是能量就會在兩球之間互相傳來傳去。
- (三) 我們發現：輪流擺動最大的關鍵是書架間的連接材質能否擺動，只要連接材料無法擺動，能量就無法傳遞給另一顆球。而塑膠棒和繃緊的棉線因無法晃動，導致能量不能相互傳遞，當然也就無法使兩球相互擺動了。
- (四) 兩個書架間若以放鬆的棉線連接，則不管球重量相不相等（就像大

人和小孩坐在兩個鞦韆上)，或球數量改變（就像好多人一起盪鞦韆），也不管球的間距相不相同，都可以將開始擺動能量傳給別的球，使其他的球跟著擺動。所以爾後的實驗均以放鬆的棉線連結。

- (五) 若用手指壓住棉線，則能量傳遞無法穿過手指壓住的地方，若用手指壓住點的左邊開始擺動球，球則只能在壓住點左邊擺動；若用手指壓住點的右邊開始擺動球，球則只能在壓住點右邊擺動。
- (六) 一般遊戲用的秋千架用非常堅固的鐵管製作。其中一個秋千擺動時，鐵管無法跟著晃動，所以無法讓另一個秋千自動擺盪起來。假如可以製作一種既安全又可以傳遞能量的秋千架，擺動一個秋千可讓別的秋千也跟著擺動！這應該是一種造福小朋友們的有趣發明！

研究二、

- (一) 兩球之間能量傳遞的情況：橘球開始擺動後，連接的棉線也會晃動，牽動綠球，讓綠球越擺越大，然後橘球的擺動幅度會越來越小。接著，綠球擺動又會漸漸變小，然後瞬間停止，而橘球也開始劇烈擺動，最後他們就會像上述那樣擺動又停、停了又擺，能量就在橘球和綠球之間傳來傳去。
- (二) 為什麼開始角度越大，擺動的時間也會越久，擺動的幅度也會越大呢？我們認為開始的角度越大，它向下掉的垂直高度就越大，受到地球引力就越大。所以能量比較多，盪得比較久。

- (三) 兩書架等高，一大球一小球比較。

	大球開始擺動	小球開始擺動
相同	1. 有時會擺動相同方向，有時會擺動不同方向。 2. 都會帶動另一球擺動	
相異	1. 小球會上下震動 2. 小球擺動較大	1. 小球會轉動 2. 小球擺動較小
分析	大球重量比較大，較易帶動小球，所以會同方向，但之後因為速度不同，所以，才會不同方向。	小球重量比較小，不易帶動大球，所以無法同方向，但之後因速度改變，所以變成同方向擺動。

- (四) 兩小球，一大球的擺動比較。

	左邊小球開始擺動	中間小球開始擺動	右邊大球開始擺動
相同	都會把能量傳給別的球，並且會在一瞬間停止。		
相異	左邊小球擺動比右邊大球幅度還要小。	中間小球擺動後，會瞬間停止，並把能量傳給另兩顆	大球開始擺動時，能量比較大，所以兩顆小球的角度會

		球，但兩個球幾乎會同方向。	比較大。
--	--	---------------	------

(五)兩小球，間距不同，不管擺動的是靠近中間的球，還是比較靠近書架的球，它們會同向方的機會和不同方向的機率都非常的大。因為他們的速度是不一致的，所以有的時候不會同方向，而有的時候卻會同方向。

(六)兩小球，書架高低不同的擺動。

	高球開始擺動	低球開始擺動
相同	都會把能量傳給別的球。	
相異	兩個球擺盪不同方向。	兩個球擺盪有時同方向，有時不同方向。

(七)兩小球一大球的擺動實驗中，中間小球擺動後，左右兩球也會開始擺動，再來中間小球會在一瞬間停止，接著持續擺動。緊接著，左右兩球會停止，又持續擺動。然後就按照上述的過程規律擺動。

柒、結論：

- 一、如果連接材質用不能晃動的材料（如：塑膠棒、繃緊的棉線），則秋千無法傳遞能量；秋千上連接的材質要用可以擺動的材質（如：放鬆的棉線），才可以把能量傳遞出去，讓別的秋千跟著擺動。
- 二、只要連接材質可以晃動，就算秋千上掛的球數量改變、重量不同、綁球棉線的高度不同、書架的高低不同……等，都不會妨礙能量傳遞給別的球。
- 三、我們觀察到：在兩顆球擺動的實驗中，用兩顆重量不一樣的大球和小球，擺動大球，角度 80 度，在這種條件下產生的擺動效果最穩定，擺盪的平均角度也最大。
- 四、三顆球擺動的實驗中，在「擺動中間小球 80 度」這個實驗，我們觀察到擺動中間小球比擺動左邊小球和擺動右邊大球，所產生的擺動順序更具有規律性。
- 五、若連接的材質中間被壓住，則能量無法穿過被壓住的點，導致被壓住的另一邊無法擺動。
- 六、開始擺動的角度越大，或由大球開始擺動時，能量都會較大，可以讓擺動幅度較大，也擺得比較久。

捌、參考資料及其他：

- 一、彰化縣 k12 數位學校（2010）線上檢索日期：2010 年 2 月 24 日
網址：<http://chc.k12.edu.tw/1003015434/sciclass/back/011.htm>



- 二、黃崇城（民 96）。自然與生活科技課本第二冊第二單元：『生活中的力』
p30~51。台北：牛頓開發教科書股份有限公司。
- 三、黃崇城（民 98）。自然與生活科技課本第六冊第四單元：『力的世界』p50~60。
台北：牛頓開發教科書股份有限公司。