

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

第一名

080116

一人盪，兩人搖—單繩秋千擺盪能量移轉的探討

學校名稱：新北市新莊區丹鳳國民小學

作者：	指導老師：
小六 張仁瀚	林俊成
小六 吳灃恩	簡樹文
小五 余信宏	
小五 張皓程	

關鍵詞：能量轉移、停滯時間

得獎感言



自從上次得獎之後，我們就決定再做一次科展。有一次，我們無聊的坐在鞦韆上想著要做什麼題目時，每個人都異口同聲的說：「可以把鞦韆當實驗題目！」真沒想到，鞦韆也能成為實驗題目。

有了題目，我們就全力利用各種管道蒐集資料，並做了鞦韆的模形，一到周末就到教室與同學實驗和紀錄，加上老師在旁邊指導，使得我們的實驗更豐富、紮實。有能量的移轉、擺的軌跡、介質的長短、擺繩的角度……等。

到了比賽會場，看到琳瑯滿目的作品，讓我們有點緊張。評審時我負責在旁做實驗，信宏、皓程和灃恩各解說三段，合作無間的我們竟榮獲第一名。讓我們又叫又跳，實驗時的辛苦頓時煙消雲散，體會到「一分耕耘，一分收穫」。

一、摘要：使單繩秋千擺盪需要能量，能量可經由介質的傳遞移轉給另一個秋千，所以介質的變化，擺〈秋千〉的變化，都是影響能量移轉的重要因素，本研究即在探討如何顯示能量移轉的軌跡及探究影響能量移轉的變因。

二、研究動機：

某個周日，我和同學一起去青年公園的遊戲場玩單繩秋千的運動遊戲，玩沒多久就覺得累了，盪不動了，可是我看同伴仍舊興趣盎然，於是不忍掃他玩興，只好枯坐等他，仁瀚說：「看你力氣那麼小，要是我能將力氣移轉給你，能讓你的秋千也跟著盪，那就好了！」我說：「那是不可能的事啦！」這時頑皮的信宏跳上我們的秋千一腳踏一個說：「看我腳踏二條船！」只見到信宏的身體一下擺左一下擺右，而我的秋千也跟著盪起來，我說：「信宏你別費力氣了，而且這樣也危險！」信宏說：「我沒有用力啊！是秋千拉著我動的啊！」「別騙了！」「是真的啦！」我和信宏爭了半天，仁瀚說：「說不定是我們的能量經過信宏的身體傳給你的。」「不可能吧？」三人帶著疑問結束遊戲。

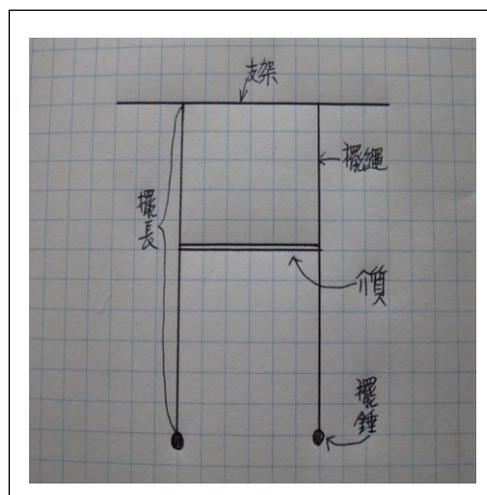
等上課時我們就一起請教老師，於是在老師的指導下，一起探究單繩秋千擺盪能量移轉的問題。

三、研究目的：

- 〈一〉怎樣呈現單繩秋千擺動移轉的軌跡變化。
- 〈二〉觀測單繩秋千擺動能量移轉的現象。
- 〈三〉探討影響單繩秋千擺動能量移轉的因素。

四、研究問題：

- 〈一〉單繩秋千的擺能可以移轉嗎？
- 〈二〉怎樣顯示擺能移轉的軌跡？
- 〈三〉擺盪力量的起始角度會影響擺能移轉的軌跡嗎？
- 〈四〉介質的材質會影響擺能的移轉嗎？
- 〈五〉介質位置會影響擺能移轉的軌跡嗎？
- 〈六〉介質的長短會影響擺能移轉的軌跡嗎？
- 〈七〉介質的角度會影響擺能移轉的軌跡嗎？
- 〈八〉介質的數量會影響能量移轉的軌跡嗎？
- 〈九〉擺繩的角度會影響擺能移轉的軌跡嗎？
- 〈十〉介質的重量會影響擺能移轉的軌跡嗎？
- 〈十一〉擺繩長短的差距會影響擺能移轉的軌跡嗎？
- 〈十二〉擺垂的重量會影響能量移轉的軌跡嗎？
- 〈十三〉擺的數量和組合形態會影響擺能移轉的軌跡嗎？



五、研究器材：

自製單繩秋千擺盪木架、雷射筆、細竹棍、粗鐵絲、切割版、碼表、砝碼、縫衣線、雙面膠。

六、研究過程及方法：

問題〈一〉單繩秋千的擺能可以移轉嗎？

實驗〈一〉能觀察到能量的移轉嗎？

實驗方法：1 我們用兩條縫衣線表示兩個單繩秋千，各綁 50 克的砝碼當作擺垂，並在兩縫衣線之間，綁上一根竹棒。如照片：

2 用手拉起其中一個秋千〈另一個保持不動〉，至某個高度後放手，觀看兩秋千搖盪的情形。

結果：我們發現一個奇怪的現象，就是兩個秋千好像會輪流交替搖盪，**甲秋千**從盪得高且快，轉趨為低且慢時，換成**乙秋千**由盪得低而慢轉變成快而高，沒多久又換成**乙秋千**低慢、甲秋千快高，如此循環不已，真是有趣。這也代表原本甲秋千能量可以移轉給乙，又回傳給甲，來回不停循環。如照片、錄影檔。

引發的想法：我們想了解兩秋千擺盪的高低位置或擺盪交替的時間是否有規律性，於是做下一個問題的探討。

問題〈二〉怎樣顯示擺能移轉的軌跡？

實驗〈二〉用沙漏的方式能看出能量移轉的軌跡嗎？

實驗構想：兩擺垂用自製的兩沙漏代替，在兩秋千下鋪上白紙，白紙上畫有長刻度表，當兩秋千交替搖盪時，沙子漏出，即可看出搖盪的軌跡。

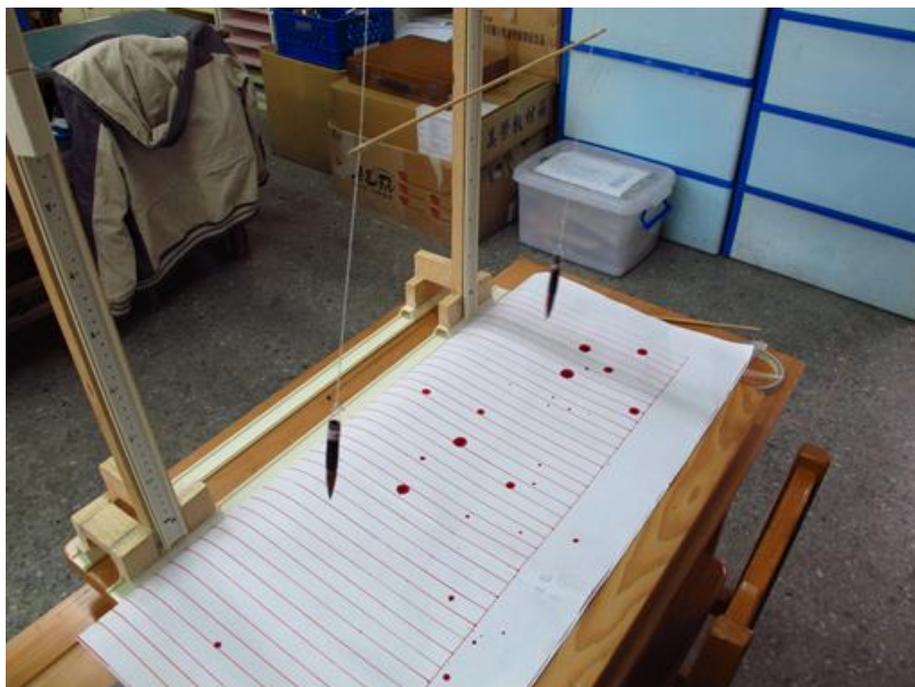
結果：我們發現，沙子漏下的情形並不平穩，有時量多有時量少，而且這一次擺盪的路徑，沙子會掩蓋上一次的路徑，所以效果不好，因此我們改做下一個實驗。



實驗〈三〉用毛筆滴出紅墨水的方式，可以看出能量移轉的軌跡嗎？

實驗方法：同實驗〈二〉，但我們的擺垂改成吸滿紅墨水的毛筆。

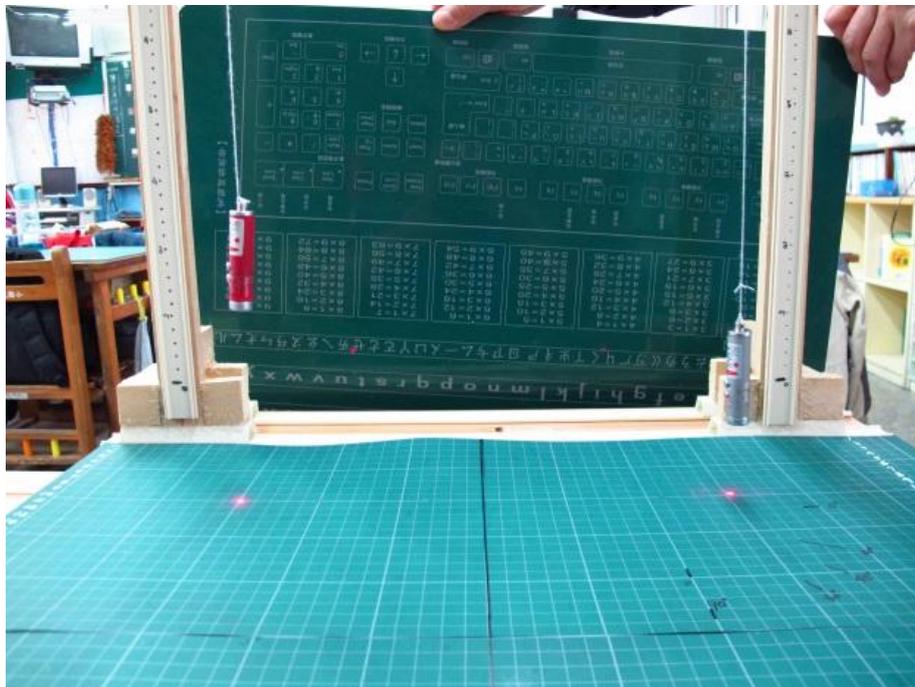
結果：我們發現，秋千擺盪後紅墨水向外甩出，到達的位置和筆尖到達的位置相差很多，且來回滴灑後，到處紅紅點點根本分不出是哪一次擺盪的軌跡，所以也算是不好的實驗。



實驗〈四〉：用鐳射筆的光線加上即時的紀錄可以看出能量移轉的軌跡嗎？

實驗方法：我們用 40CM 長的棉線當擺繩，以竹棒綁在擺繩中間當介質，但我們用鐳射比當做擺垂，並記錄紅外線到達的位置。

結果：可以清楚看到雷射紅點的來回搖盪，但因為速度很快，所以無法肯定確認擺垂的正確位置。



討論：如果能將擺盪的速度變慢，就能精確地觀測擺垂到達的位置，但即使擺盪的力量變弱、擺幅變小，速度依然很快，無法用肉眼確認，真是傷腦筋，豐恩說：「如果能像棒球一樣慢動作重播就好了！」，信宏忽然大叫說：「有了！我們可以請老師用數位相機先錄影，再用慢速度播放就可以清楚的看到擺盪到達確實的位置了！」，於是我們就重做實驗〈四〉，並以數位相機錄影紀錄。

結果：我們發現果然可以從慢速播放中清楚看到擺動能量移轉的軌跡了，如錄影和照片。

引發的疑問：從上述的實驗中，我們懷疑有很多變因：如介質的型態、擺繩的變化、擺垂的輕重……等是否都會影響能量轉移的情形。於是我們又針對各種變因做了一連串的探討。

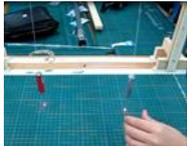
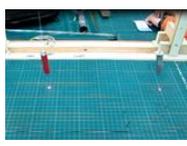
問題〈三〉擺盪力量的起始角度會影響擺能移轉的軌跡嗎？

實驗〈五〉方法同實驗〈四〉，但力量起始角度區分為①和介質〈竹棒〉垂直的 **90 度**②**60 度**③**45 度**④**30 度**⑤和介質在同一線上的 **0 度**。觀測各個角度能移轉的軌跡和能量移轉的時間。〈每次擺動的力量固定，即拉擺垂至離原點 10 公分處〉

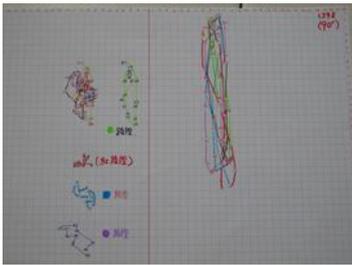
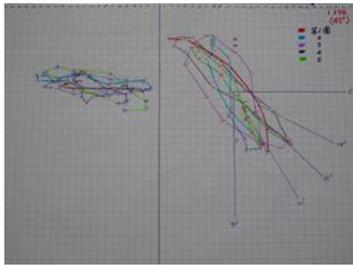
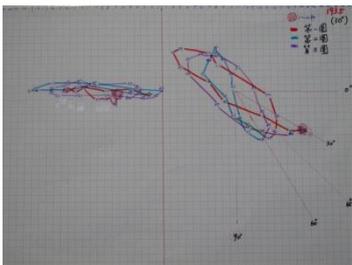
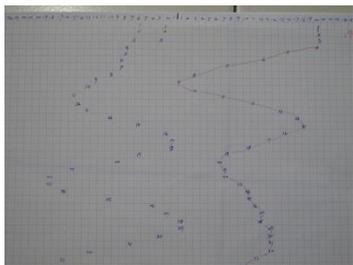
註：1、用手施力使它擺動的物體我們叫它**主振物**，經能量傳遞後而擺動的叫**受振體**。
2、能量移轉時間：主振體從振幅最大〈即擺盪的開始〉→到振幅最小〈即擺盪的停滯狀態〉的時間。

結果：1、我們發現角度越大時能量移轉的時間也越長，角度 0 度時，能量移轉的速度非常快，而且除了**角度 0 度和 90 度**時擺的振動較接近直線外，其餘角度擺的振動有時會歪斜，有時畫**橢圓形圈圈**。如下表和照片。

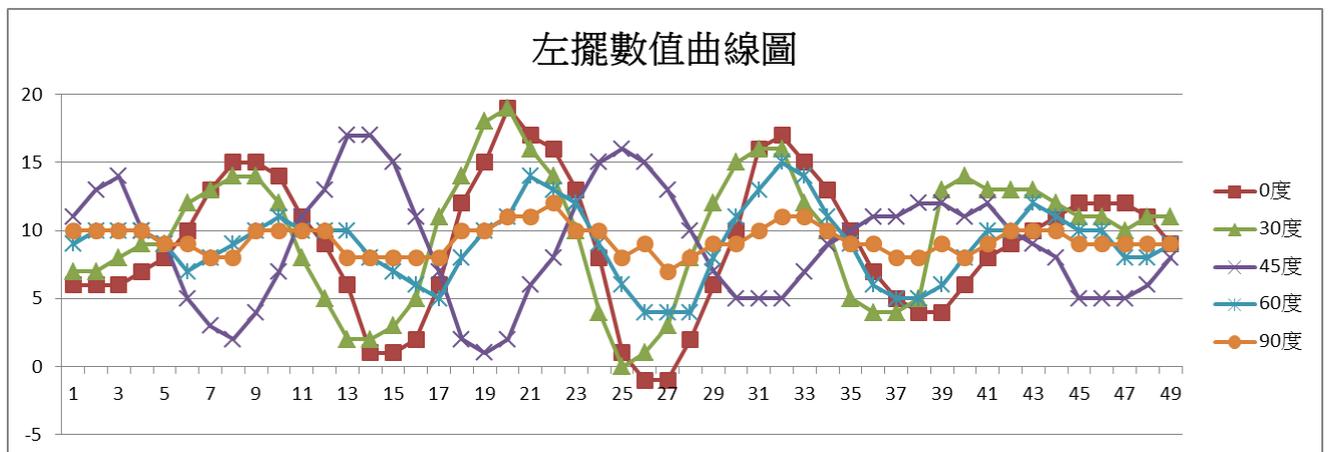
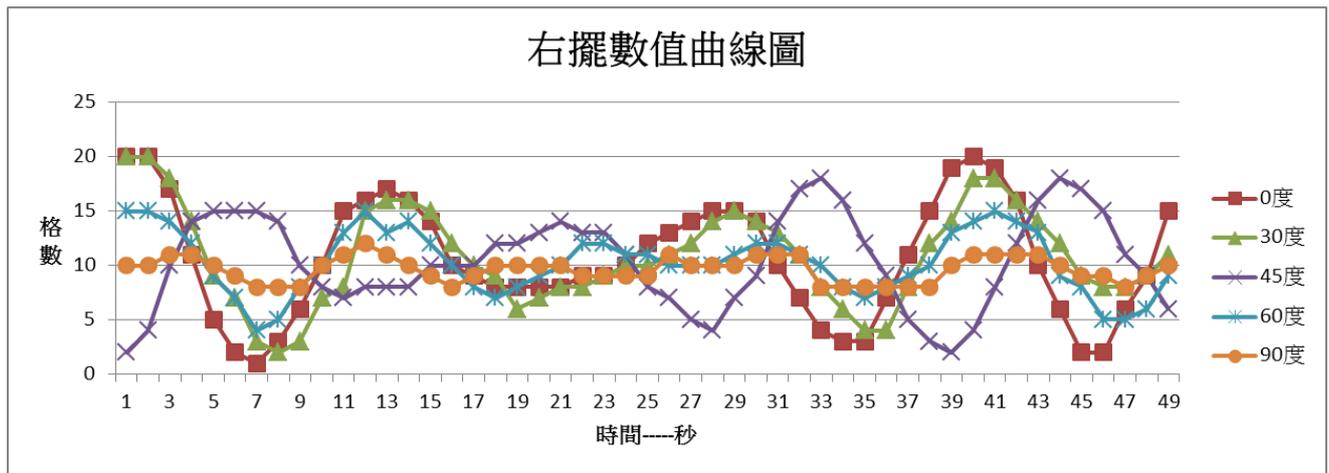
2、擺的起始角度不同能量移轉軌跡時間記錄表：

用力起始角度	90 度	60 度	45 度	30 度	0 度
能量移轉軌跡描述	能量移轉的時間很長，擺動的形狀從主振體的振幅 20 格移轉至受振體是 17 格。 ◎軌跡如攝影檔。	擺垂循著 60 度線來回 2 次→循 90 度線 1 次→逆時針轉一圈→又回到 60 度線。如此重複擺動。 ◎軌跡如攝影檔。	擺垂循著 45 度線來回 1 次後→循 90 度線 1 次→逆時針轉一圈→再回到 45 度線重複上述擺動規律。 ◎軌跡如攝影檔。	擺垂畫直線和圓圈，不會靜止於一點。 ◎軌跡如攝影檔。	停滯在擺動的狀態很明顯，能量移轉很明確，受振體振幅也最大，仍達 20 格。 ◎軌跡如攝影檔。
能量移轉完成時間	78.2 秒	10.5 秒	3.1 秒	3.2 秒	2.6 秒
實驗照片					

3、起始角度不同軌跡圖片：

起始角度	90 度	60 度	45 度
軌跡圖片			
起始角度	30 度	0 度	
軌跡圖片			

◎不同角度軌跡曲線圖



討論：0 度時移轉能量的速度最快最好觀測，但是我們盪秋千通常是採 90 度搖盪，所以以下各實驗，我們就以 0 度和 90 度來做實驗觀測。

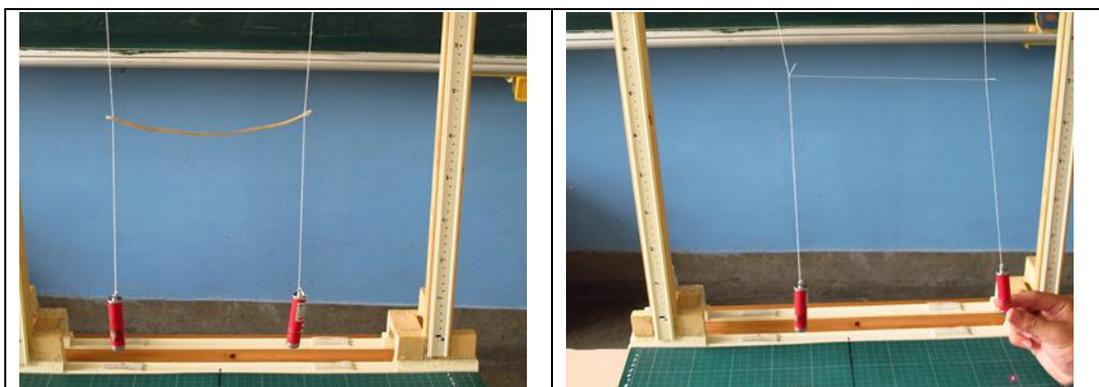
問題〈四〉介質的材質會影響擺能的移轉嗎？

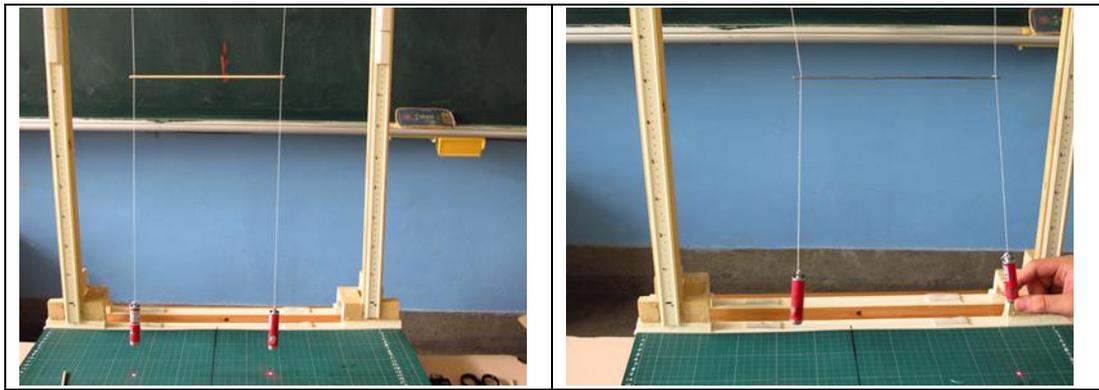
實驗〈六〉方法同實驗〈四〉但我們控制介質分別為軟質的棉線、彈性的橡皮筋、硬質的竹棒和硬質的鉛線，觀測其能量移轉的軌跡及能量移轉的時間。

結果：我們發現：在 0 度時，硬質的介質比軟質的介質能量移轉的速度快，而在 90 度時，軟質反而比硬質快，但軟質的介質在擺盪的過程中會有拉扯的情形，我覺得拉扯時會影響到原來的平衡，所以不是很正確。因此我們後面的實驗都採用竹棒當介質。

如下表：

介質性質	軟質棉線		彈性橡皮筋		硬質竹棒		硬質鐵線	
	0 度	90 度	0 度	90 度	0 度	90 度	0 度	90 度
擺動角度								
移動軌跡	棉線會鬆弛彎曲，0 度的擺盪會有拉扯的現象。		橡皮筋有彈性，所以會彎曲拉扯，容易有誤差。		同問題〈三〉的軌跡。		和竹棒相同，但 90 度時能量移轉時間比竹棒的移轉時間還快一些。	
移轉時間紀錄	5.8	35.5	3.8	28.2	2.2	78.5	2.3	67.5
	6.1	34.0	3.9	27.3	2.0	78.1	2.0	67.4
	6.2	33.5	4.2	26.8	2.1	78.8	2.1	68.2
	5.8	36.5	4.3	28.1	2.0	78.9	1.9	68.6
	6.2	36.0	4.1	26.5	2.3	77.6	2.0	67.8
平均時間	6.0	35.1	4.1	27.4	2.1	78.2	2.1	67.9



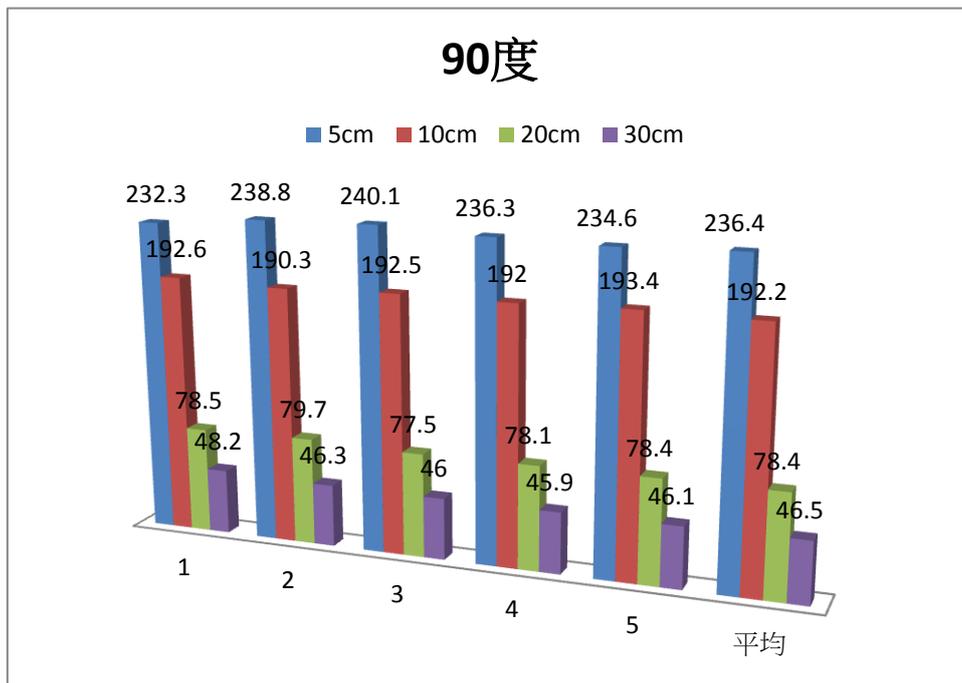
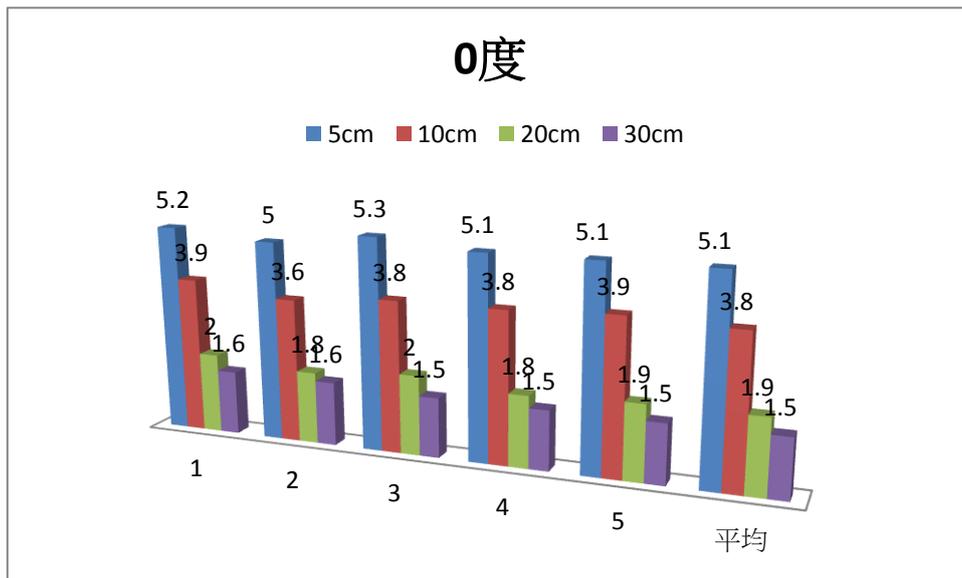


問題〈五〉介質位置會影響擺能移轉的軌跡嗎？

實驗〈七〉：方法同實驗〈四〉，但我們控制介質分別離上端橫木〈固定擺繩的橫木〉，分別為 5CM、10CM、20CM、30CM 觀測其能量移轉的軌跡及能量移轉的時間。

結果：1、我們發現能量移轉的時間變化很大，離橫木越近移轉所需的時間就越長，在 90 度的擺盪中，振幅的變化也很大。如下表：

介質位置	離橫木 5 公分		離橫木 10 公分		離橫木 20 公分		離橫木 30 公分	
	90 度	0 度	90 度	0 度	90 度	0 度	90 度	0 度
移轉軌跡	轉移的時間很久達到 235.5 秒，且主振體無停滯現象，振幅從 20 格到受振體只有 4.5 格。	主振體傳到受振體振幅改變不大，都是 18 格。	轉移情形和左邊類似，但受振體振幅減到 7 格。	振幅大約 17 格，完成轉移時間稍快。	轉移情形和左邊類似，但受振體振幅減到 11.5 格，有停滯現象產生。	轉移速度很快約只有 2 秒，兩邊的振幅不大，都是 18 格。	18 秒轉移完成，振幅兩邊差不多都是 14 格，有停滯現象。	花 1 秒轉移完成，振幅都是 20 格。
移轉時間紀錄	232.3	5.2	192.6	3.9	78.5	2.0	48.2	1.6
	238.8	5.0	190.3	3.6	79.7	1.8	46.3	1.6
	240.1	5.3	192.5	3.8	77.5	2.0	46.0	1.5
	236.3	5.1	192.0	3.8	78.1	1.8	45.9	1.5
	234.6	5.1	193.4	3.9	78.4	1.9	46.1	1.5
平均時間	236.4	5.1	192.2	3.8	78.4	1.9	46.5	1.5



2、離上端固定橫木越近，90 度的擺盪能量移轉的情形越不明顯，為什麼會這樣，我們觀察很多次之後，發現到：

①能量移轉的過程中介質也會擺動。

②介質離上端橫木越近時，在能量移轉的過程中，介質擺動的幅度也越小。

因此我們心裡產生了一個假設，如果將介質固定不能擺動，能量也就無法移轉。於是為了驗證我們的假設，我們就做了下面的實驗。

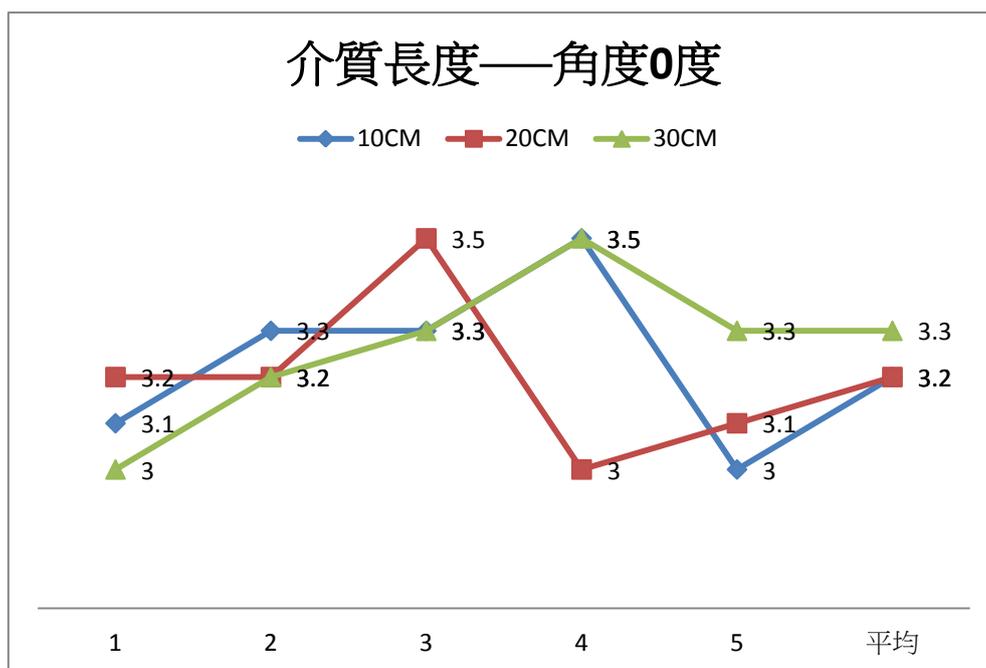
實驗〈八〉：同時驗〈六〉，我們將介質離上端橫木 20CM 處，但將介質和木條綁死固定，觀測擺的移動情形，結果我們發現主振體的秋千來回擺動，但受振體毫無反應，這證明我們的假設是正確的。

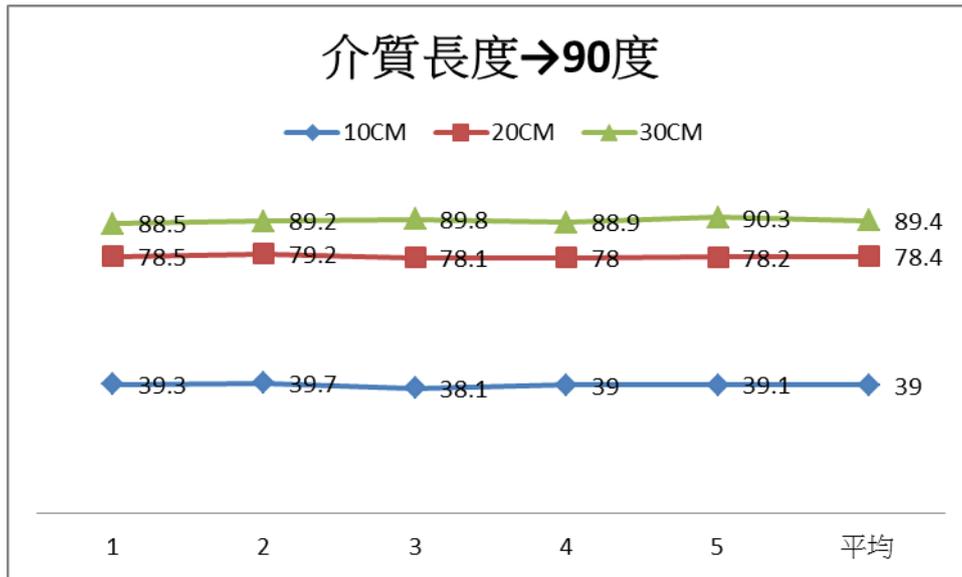
問題〈六〉介質的長短會影響擺能移轉的軌跡嗎？

實驗〈九〉方法同上，我們固定介質的位置〈離上端橫木 15 公分處〉，但控制介質的長度，分別為 10CM、20CM、30CM 觀測其能量移轉的軌跡和能量移轉的時間。

結果：我們發現在 90 度的擺盪下介質的長短和能量移轉的時間有密切的關係。如下表：

介質長度	10CM		20CM		30CM	
	擺動角度	0 度	90 度	0 度	90 度	0 度
能量移轉軌跡	90 度：主振體和受振體的振幅差別不大在 1→2 格之間，能量轉移過程中，主振體和受振體都有明確的停滯狀態，但移轉的時間隨介質增長也增加。 0 度：振幅差別不大，能量移轉有明顯的停滯狀況，但移轉的時間不會因介質變長而有太多的改變。					
能量移轉時間	3.1	39.3	3.2	78.5	3.0	88.5
	3.3	39.7	3.2	79.2	3.2	89.2
	3.3	38.1	3.5	78.1	3.3	89.8
	3.5	39.0	3.0	78.0	3.5	88.9
	3.0	39.1	3.1	78.2	3.3	90.3
平均時間	3.2	39.0	3.2	78.4	3.3	89.4

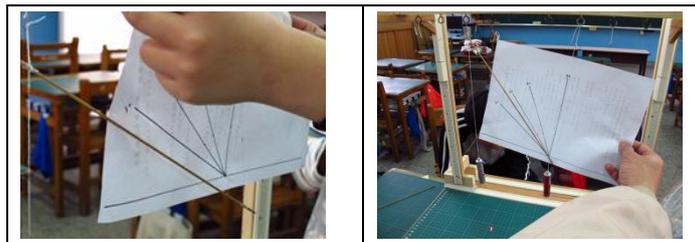




問題〈七〉介質的角度會影響擺能移轉的軌跡嗎？

實驗〈十〉方法同上，但中間介質角度變為 **30 度** 和 **45 度**，觀測能量移轉情形。

結果：我們發現能量仍舊能移轉，但受振體振幅明顯較小，且受振體振動的頻率也比主振體少了很多。如下表：



介質角度	30 度		45 度	
	90 度	0 度	90 度	0 度
擺動角度	90 度	0 度	90 度	0 度
能量移轉軌跡	振幅從主振體 20 格移轉到受振體只有 9 格，主振體沒有停滯狀態。代表能量移轉不是很順利，力量變弱。	振幅從 14 格移轉至受振體只剩 8 格，受振體每 2 秒停滯一次，主振體不會停滯。	擺幅略呈弧線，振幅從 20 格移轉到受振體只剩 11 格，主振體不會停滯。	主振體振動頻率超快，但受振體頻率很慢，振幅從 14 格剩下 6 格，受振體每 1 秒就停滯 1 次，主振體不會停滯。
能量移轉時間	主振體不會停滯，所以不予計時。			

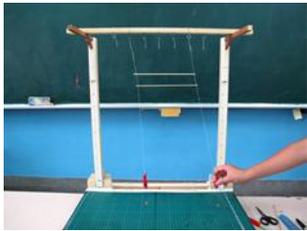
問題〈八〉介質的數量會影響能量移轉的軌跡嗎？

實驗〈十一〉方法同實驗〈四〉，但會控制介質數量分別為一根、二根、三根，觀察其能量移轉的軌跡及能量移轉的時間。

結果：我們發現：**0度時**擺幅和能量移轉的時間在介質是一根或二根差別不大，但介質三根時擺幅沒什麼改變，但移轉的時間卻縮短許多。

90度時介質是三根時，擺幅降低很多只剩原來的一半。

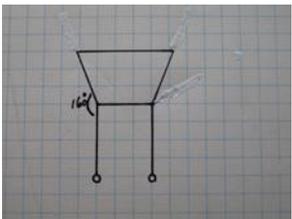
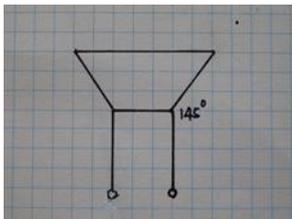
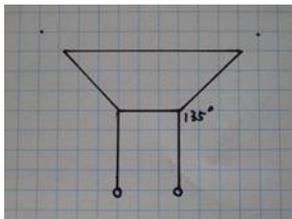
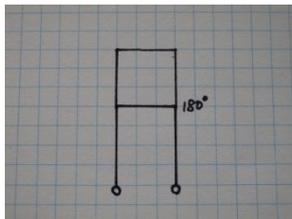
如下表：

介質數量	一根竹棒		二根竹棒		三根竹棒	
實驗照片						
擺動角度	0度	90度	0度	90度	0度	90度
能量移轉的軌跡	振幅從 20 格轉至受振體最大振幅有 19.5 格。	振幅從 20 格轉至受振體最大振幅只有 10 格。	振幅從 20 格轉至受振體最大振幅仍是 20 格。	振幅從 20 格轉至受振體最大振幅只有 9.0 格。	振幅從 20 格轉至受振體最大振幅有 19 格。	振幅從 20 格轉至受振體最大振幅只有 9.0 格。
能量移轉時間	3.2 秒	127 秒	3.3 秒	129 秒	2.5 秒	138 秒

問題〈九〉擺繩的角度會影響擺能移轉的軌跡嗎？

實驗〈十二〉方法同上，我們控制介質上方擺繩的角度分別為：**180度、160度、145度、135度**互相比較，觀測能量移轉的軌跡和時間。

結果：我們發現擺繩的角度和介質移轉的時間在擺盪角度是 90 度時有非常明顯的變化，原本擺繩是 180 度時，能量的移轉時間長達 78 秒，但當擺繩角度是 160 度時，只花 4 秒鐘就完成能量轉移，當擺繩角度是 135 度時更只花 2 秒就完成移轉呢！而擺盪角度是 0 度時則差別不大，都是約在 4 秒左右完成移轉。如下表：

擺繩角度								
擺動角度	90 度	0 度	90 度	0 度	90 度	0 度	90 度	0 度
能量移轉軌跡	振幅從主振體移轉至受振體是 12 格，能量移轉迅速。	振幅從主振體移轉至受振體是 12 格。	振幅從主振體移轉至受振體是 11 格，移轉時間更快只需 3 秒。	振幅從主振體移轉至受振體是 11 格。	振幅從主振體移轉至受振體是 11 格，移轉時間更快只需 2 秒。	振幅從主振體移轉至受振體是 11 格。	振幅從主振體移轉至受振體是 12 格。	振幅從主振體移轉至受振體是 12 格。
能量移轉時間紀錄	3.9	3.9	3.1	4.0	2.2	4.0	77.6	3.9
	3.8	3.8	3.3	3.8	1.9	4.1	78.3	3.7
	4.0	3.6	3.0	4.0	2.0	4.0	78.2	4.0
	4.0	3.9	3.1	3.7	2.1	3.9	77.9	3.7
	4.1	3.8	3.0	3.7	1.9	3.9	78.3	3.7
平均	4.0	3.8	3.2	3.8	2.0	4.0	78.0	3.7

問題〈十〉介質的重量會影響擺能移轉的軌跡嗎？

實驗〈十三〉：方法同上，但我們在介質〈竹棒〉分別掛上 1、3、5 個砝碼，觀測其能量移轉的情形。



結果：我們發現在 90 度的能量移轉中，移轉的時間縮短了很多，從原本未掛砝碼的 78 秒，縮短到掛 5 個砝碼的 4 秒鐘，且不論在 0 度或 90 度的擺盪中，主振體擺幅很快的就變小，傳到受振體振幅也變小許多，證明擺能的轉移也變小了。如下表：

介質重量	未加砝碼		加一個砝碼		加三個砝碼		加五個砝碼	
	90 度	0 度						
能量移轉軌跡	振幅由主振體 20 格傳到受振體仍有 19 格。	振幅由主振體 20 格傳到受振體仍有 17 格。	振幅由主振體 20 格傳到受振體仍有 19 格。	振幅由主振體 20 格傳到受振體仍有 17 格。	振幅由主振體 20 格傳到受振體仍有 18 格。			
能量移轉時間紀錄	78.4	3.6	14.8	2.00	6.90	2.04	3.03	2.00
	78.2	3.8	14.1	2.06	6.75	2.03	3.01	1.93
	78.6	3.8	14.6	2.25	6.84	2.02	2.98	1.95
	78.1	3.9	14.4	2.08	6.80	2.01	3.00	1.92
	77.8	3.9	14.6	2.11	6.86	2.05	3.03	1.90
平均時間	78.2	3.8	14.5	2.10	6.83	2.03	3.01	1.94

我們的想法：當介質加掛砝碼愈多時能量的移轉就越小，這令我想起 101 大樓裡有一個下垂的大鐵球，是否因為可以減少能量移轉而達到減震的作用呢？我們想驗證自己的想法，所以也模擬 101 大樓的形式，將加掛增重介質的部分改成垂繩加重介質，比較其能量移轉的軌跡。於是我們又做了下一個實驗。

實驗〈十四〉方法同上，但我們將 5 個砝碼固定在一條縫衣線的下端，並綁在介質的中間，觀測其振幅減少的情形。

結果：我們發現在擺盪中，振幅衰減的速度變快了，尤其是 0 度的擺盪在短時間內由 15 格變為 2 格，和介質未加掛砝碼的振幅衰減速度相差甚多。

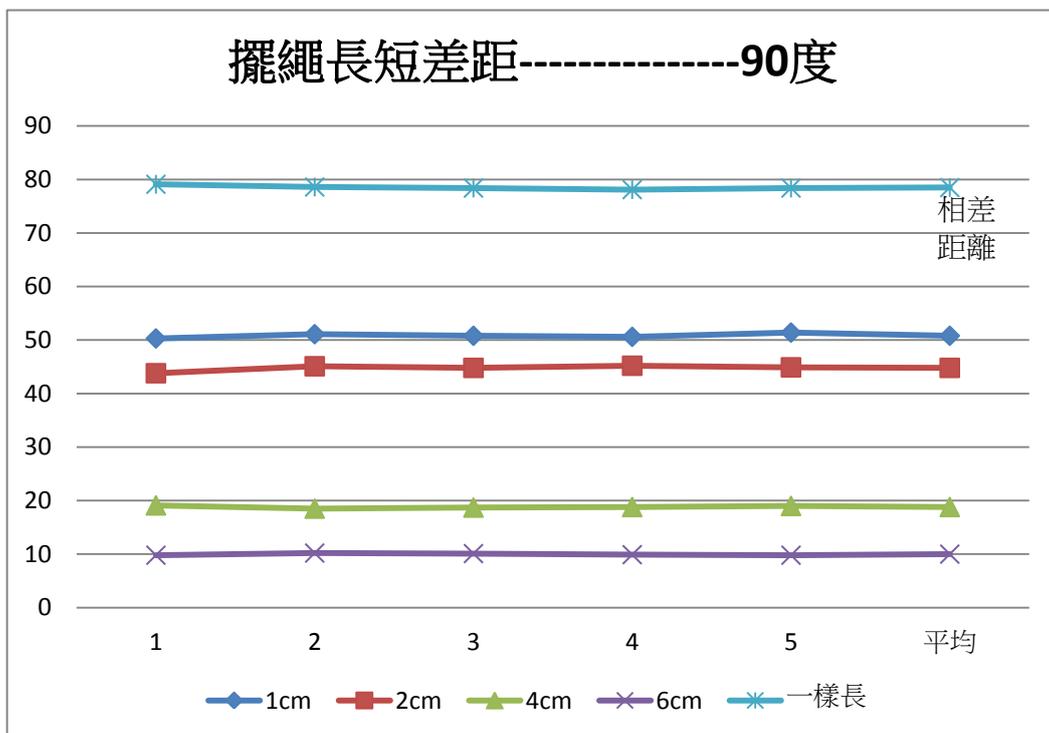
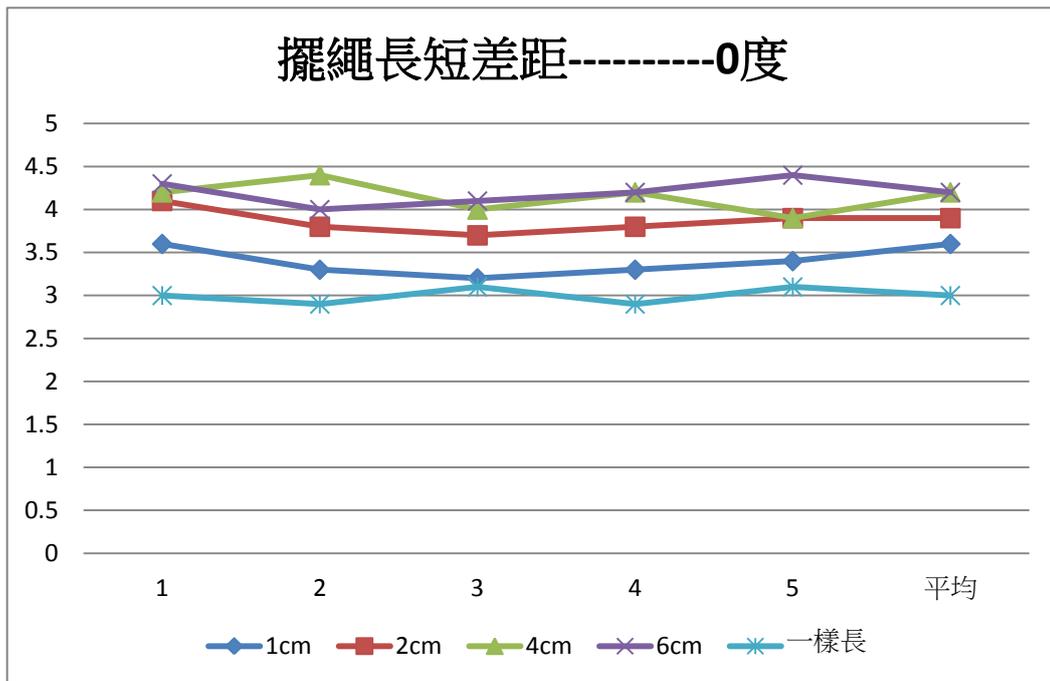
重量	度數	
	擺盪角度 0 度	擺盪角度 90 度
掛 5 個砝碼 	主振體振幅變化情形： 20→停→13→停→9→停 →6→停→4→停→2	主振體振幅變化情形： 20→停→9→停→8→停 →6→停
未加掛砝碼	主振體振幅變化情形： 20→停→16→停→14→停→ 14→停→13→停→12	主振體振幅變化情形： 20→停→14→停→14→停→ 13→停→13→停→12

問題〈十一〉擺繩的長短的差距會影響擺能移轉的軌跡嗎？

實驗〈十五〉方法同上，但我們控制擺繩分別是一樣長，或相差 1CM、2CM、4CM、6CM 〈主振體的擺較長〉。

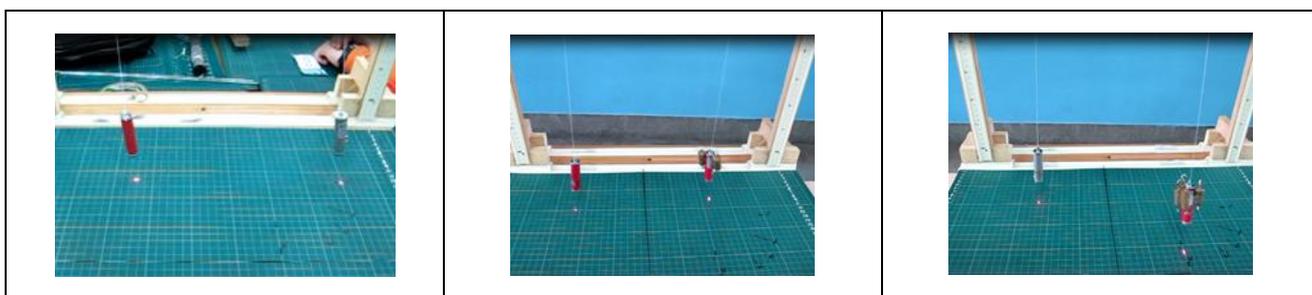
結果：我們發現擺繩相差越多時能量的移轉越不明顯，尤其是角度為 90 度時，當相差 4CM 或 6CM 時，受振體擺幅只在 1→2 格，且只有受振體停頓的現象，而主振體幾乎是不停的擺盪。角度是 0 度的狀況雖可較明顯的看到能量移轉的情形。但主振體停頓的情形仍比兩繩等長不明顯。如下表：

擺繩長短	擺動角度	能量移轉情形	能量移轉時間					平均
相差 1CM	90 度	主振體振幅從 20 格移轉至受振體振幅最大只有 6→7 格，主振體停滯狀況不明顯。	50.3	51.1	50.8	50.6	51.4	50.8
	0 度	主振體振幅 20 格移至受振體振幅仍有 10 格，受振體有明顯停滯現象，但主振體停滯較不明顯。	3.6	3.3	3.2	3.3	3.4	3.6
相差 2CM	90 度	主振體振幅由 20 格至受振體時只有 5 格，主振體停滯情形不明顯。	43.8	45.1	44.8	45.2	44.9	44.8
	0 度	主振體振幅 20 格移至受振體振幅仍有 10 格，主振體停滯不明顯。	4.1	3.8	3.7	3.8	3.9	3.9
相差 4CM	90 度	受振體振幅最多只有 2 格，而主振體幾乎是沒有停滯狀況。	19.1	18.5	18.7	18.8	19.0	18.8
	0 度	主振體振幅 20 格移至受振體振幅減為 9 格，主振體不停滯。	4.2	4.4	4.0	4.2	3.9	4.2
相差 6CM	90 度	受振體只稍稍呈橢圓路徑搖晃，範圍只有 1 格，主振體沒有停滯的情形。	9.8	10.2	10.1	9.9	9.8	10.0
	0 度	主振體振幅 20 格移至受振體振幅減為 9 格，主振體不停滯。	4.3	4.0	4.1	4.2	4.4	4.2
一樣長	90 度	主振體振幅 20 格移轉至受振體仍可達 14 格，兩邊輪流停滯，移轉過程時間較長。	79.1	78.6	78.4	78.1	78.4	78.5
	0 度	主振體振幅 20 格移至受振體振幅仍有 10 格，且兩擺互相輪流停滯明顯。	3.0	2.9	3.1	2.9	3.1	3.0



問題〈十二〉擺垂的重量會影響能量移轉的軌跡嗎？

實驗〈十六〉方法同實驗四，但我們控制兩擺垂的重量，分別相差一個砝碼、二個砝碼、三個砝碼及兩邊等重的情況，比較它們能量移轉軌跡的差異。如下表：



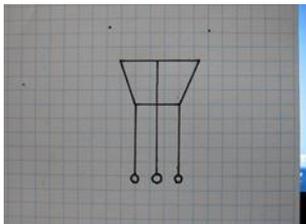
擺垂重量	兩邊擺垂等重		右邊擺垂多 2 個砝碼		右邊擺垂多 4 個砝碼	
擺動角度	0 度	90 度	0 度	90 度	0 度	90 度
移轉軌跡	主振體有明顯停滯狀況，主振體傳到受振體振幅從 20 格變為 18 格。	主振體傳到受振體時從 20 格變成 11.5 格。	主振體停滯不明顯，振幅從主振體到受振體時增加到 25 格。	振幅比沒有加砝碼時增加到 14 格，但傳遞的時間很長達到 625 秒。	主振體幾乎不停滯，但振幅從主振體到受振體增為 30 格。	主振體幾乎不停滯，但振幅從主振體到受振體增為 30 格。
移轉時間	2.3 秒	78.2 秒	無法觀測	625 秒	無法觀測	938 秒

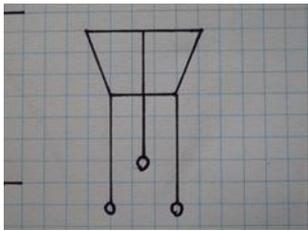
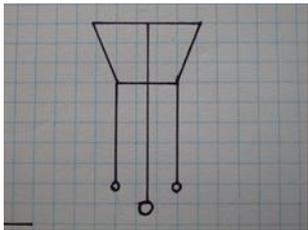
結果：我們發現擺錘加重時，主振體好似能量充沛，所以傳到受振體時，從原本等重的 18 格增加到 30 格（角度是 0 度時），且因能量充沛所以能量並沒有完全傳過去一樣，因此沒有停滯的現象，但反觀受振體，當能量反傳回主振體時，就有很明顯的停滯現象。在角度 90 度時，一樣會使幅度增加，從 11.5 格增加為 14 格（增加 2 個砝碼時），甚至到達 30 格（增加 4 個砝碼時）。

問題〈十三〉擺的數量與組合型態會影響擺能移轉的軌跡嗎？

實驗〈十七〉方法同上，但我們將三條擺繩分別控制為 **A** 三條擺繩一樣長 **B** 中間較短，左右兩端一樣長 **C** 左右一樣，但中間較長。觀測其能量移轉情形。

結果：如表格所述：

擺垂組合型態	擺動角度	能量移轉情形紀錄
A 一樣長 	90 度	<p>主振體是①時：順序由①→②→③擺盪 3 次後，轉成②和③幾乎同步擺盪，①號獨立快速擺盪三次後，換成①和②幾乎同步，③號獨立快速擺動，如此循環。有擺動到停滯時間①7 秒②3 秒③7 秒。</p> <p>主振體是②時：左右同步，由開始到停滯時間都是 3 秒，就移轉一次，且因為左右同步，好像將主振體②甩得特別用力，所以振幅特別大。</p>

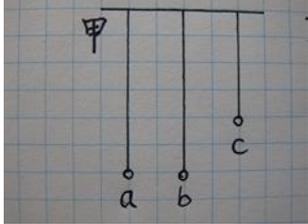
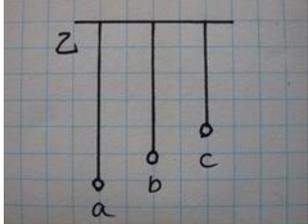
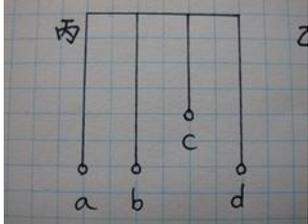
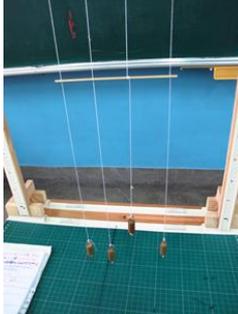
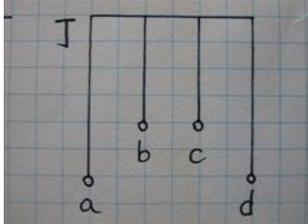
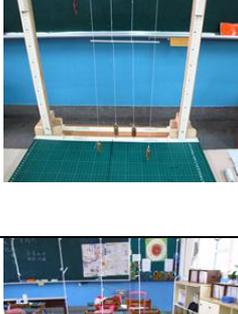
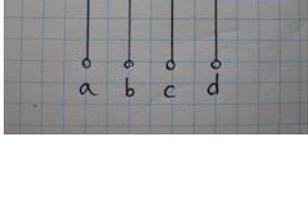
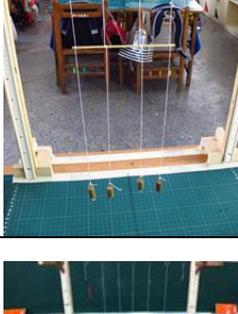
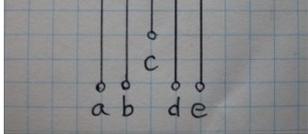
	0 度	<p>主振體是①時：振幅最大，受振體②振幅稍比①小，受振體③振幅最小，從搖動到停滯時間都是 3 秒，互相輪替。</p> <p>主振體是②時：能量傳遞到左右幾乎同時，所以左右端幾乎同時擺動，從擺動到停滯也是 3 秒，互相輪替。</p>
B 中間短 	90 度	<p>主振體是①時：左右兩邊互傳時間約 7 秒，停滯一次振幅相同，但中間約 1.5 秒停滯一次，且振幅小很多，約 5→6 格。</p> <p>主振體是②時：左右兩個成同步化，約 2 秒鐘停滯一次，擺幅比中間稍少一、二格，而中間則都沒有停滯現象。</p>
	0 度	<p>主振體是①時：中間不動，只有兩邊互傳，兩邊不停轉移看不到有明顯停滯現象。</p> <p>主振體是②時：中間②不停左右搖晃，而兩邊卻幾乎不動。</p>
C 中間長 	90 度	<p>主振體是①時：左右約 23 秒停滯一次，中間則 3.5 秒停滯一次，中間擺幅比左右小 2→3 格。</p> <p>主振體是②時：主振體在中間，約 4 秒停滯一次，左右是同步，和中間互相移轉。</p>
	0 度	<p>主振體是①時：中間只稍微晃動，左右輪流移轉，停滯現象不明顯。</p> <p>主振體是②時：只有中間左右不停擺盪，左右幾乎不動。</p>

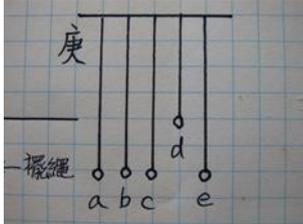
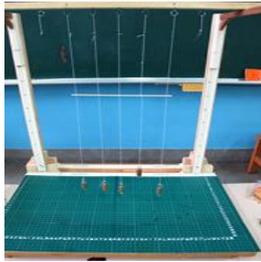
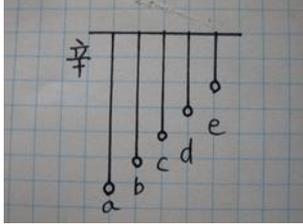
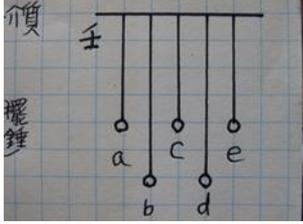
我們的疑問：從上個實驗中的 B 組和 C 組，我們發現為什麼左右兩邊一樣長的單擺好像“同一國”一樣的同步擺動，且和中間擺的方向相反，是因為它們繩子一樣長的關係嗎？或是還有其他的因素呢？為解決疑問，我們再做下一個實驗。

實驗〈十八〉：方法同上，但是我們將三→五個砝碼做不一樣方式的組合，分別以不同砝碼當主振體觀測其擺動情形。〈因為砝碼數量多空間太少，所以只做 90 度的擺盪實驗〉

結果：1、我們發現必須符合二條件：1 主振體的位置需在對稱的受振體中間。
2 受振體的擺長要一樣長時。

才會發生受振體同步擺動的情形。如下表：

擺錘組合型態	實驗照片	能量移轉情形紀錄
		<p>以任何一個砝碼當主振體都不會同步。</p>
		<p>以任何一個砝碼當主振體都不會有同步共擺情形。</p>
		<p>以四個砝碼中的任何一個砝碼為主振體，都無法產生同步情形。</p>
		<p>以任何一個砝碼當主振體，都不會產生同步現象。</p>
		<p>以四個砝碼中的任何一個砝碼當主振體，都不會產生同步情形。</p>
		<ul style="list-style-type: none"> ● 以 c 為主振體時，a、b、d、e 四個同步。 ● 以 a、b、d、e 為主振體時，則都不會產生同步情形。

		<p>以五個砝碼中的任何一個當主振體時，都不會產生同步現象。</p>
		<p>以任何一個砝碼當主振體都不會有同步共擺情形。</p>
		<ul style="list-style-type: none"> ● 以 c 為主振體時，b 和 d 同步；a 和 c 同步。 ● 以 a、b、d、e 為主振體時，則都不會產生同步情形。

七、討論與結論：

- 〈一〉單繩秋千的能量確實能經由介質的傳導而移轉。
- 〈二〉利用數位相機拍攝再放入電腦轉檔使秋千擺動的速度變慢後可以清楚的看到秋千能量移轉的軌跡，首先主振體擺動後振幅會由大變小，甚至幾乎停止，此時受振體由原來的靜止狀態變成擺動狀態，且振幅由小到最大，然後又漸漸變小，至幾乎靜止，其後又相互輪替循環不已。主振體或受振體停滯時表示當時的擺幾乎失去能量，等能量再傳回接續時，擺才再繼續擺盪。
- 〈三〉擺動的起始角度不同，能量移轉的形態也不同，以 0 度移轉時間最短，但移轉的能量最大；以 90 度移轉的時間最長，因為消耗能量最多，移轉到受振體的能量最少，所以擺動幅度比較小。
- 〈四〉單繩秋千能量可以移轉需要介質的傳導，且介質是需要有自由移動的範圍，如果將介質固定不動，則能量不能移轉。
- 〈五〉不管軟質或硬質的介質都能傳遞單繩秋千的能量，但其中以硬質的介質傳遞的效果最好。
- 〈六〉介質離橫木越近，能量移轉時間越長，停滯時間也不明顯，介質離橫木越遠達 30CM 時，

能量移轉時間越短，且可明顯看到停滯再擺動的情形。

〈七〉介質越長能量移轉的時間也越長，好像能量移轉時要走的路徑也越長，所以需時間也越長。

〈八〉介質角度的大小明顯影響能量傳遞的時間及能量傳遞的多寡。

〈九〉擺垂的重量越重，當他是主振體時，在同一高度所含的位能比受振體來得大，所以轉成動能再傳到受振體時，就會使受振體盪得比主振體高，振幅也變大。當重量相差越多，振幅的大小也相差越大。

〈十〉介質的重量越重，消耗傳遞的能量越大，所以振幅的衰減速度越快。我們認為 101 大樓裡的大鐵球能減震，和我們的實驗有異曲同工之妙。

〈十一〉介質的數量不太會影響振幅的大小，而在能量轉移的時間上，0 度時三根介質比一根介質縮短了 0.7 秒，但在 90 度卻增加了 11 秒。

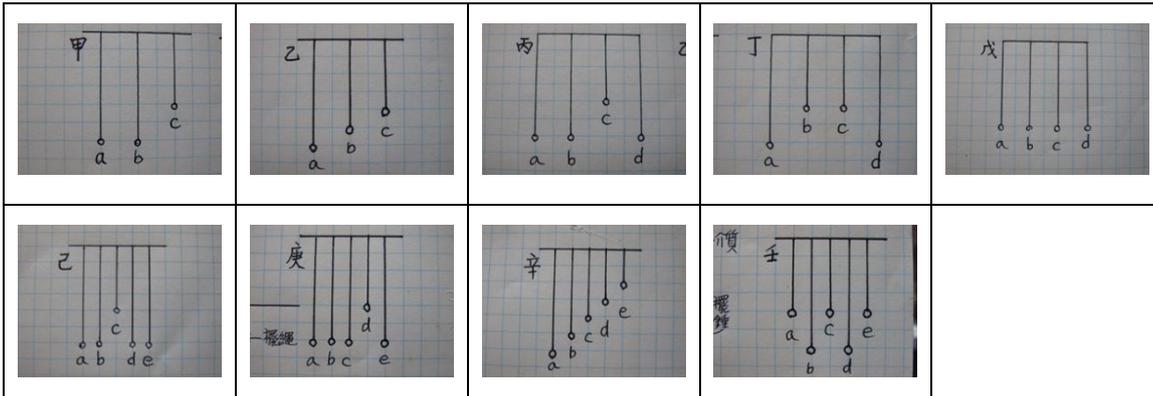
〈十二〉擺繩的長短不同，對能量移轉影響很大，相差越長時，移轉的時間越短，但移轉的能量也越少；相差到 6CM 時，原本 20 格的振幅移到受振體時只剩 1 格。因為移轉到受振體的能量很少，所以主振體幾乎不停滯。

〈十三〉擺繩的角度對能量移轉影響，在 90 度的擺動中差別很明顯，原本 180 度時移轉時間達 78 秒，但是在 160 度時，只剩下 4 秒，在 135 度時更只在 2 秒就完成。且移轉能量很順暢，振幅從 20 格致受振體仍達 20→19 格。

〈十四〉擺的組合長短不同時，出現很多有趣的變化：

擺盪角度	振源位置	擺的變化情形
90 度	主振體是 ①時	<ul style="list-style-type: none"> ●型態 A 和 B 從左傳到右約花 7 秒，型態 C 則須 23 秒。 ●中間的擺②在型態 A、B 時移轉時間都較短，約在 1.5→3.5 之間。
	主振體是 ②時	<ul style="list-style-type: none"> ●因為主振體在中間，所以型態 A、B、C 都發生左右兩擺同步擺動的情形。 ●中間②號擺，從擺動到停滯的時間都很短，以型態 C 時間較長是 4 秒，型態 B 最短為 2 秒鐘。
0 度	主振體是 ①時	<ul style="list-style-type: none"> ●型態 A 的擺能會以①→②→③的順序模式不斷輪替。 ●型態 B 裡的 2 號擺只輕微搖晃，在型態 C 裡甚至停止不動。 ●型態 B、C 裡的左右兩擺仍不停互相傳遞沒有停滯現象。
	主振體是 ②時	<ul style="list-style-type: none"> ●在型態 A 裡①③兩擺幾乎同時擺動。②號擺和它們好像不同國，擺向不同。 ●在型態 B、C 裡①③兩擺停止不動，而②號擺卻搖擺不停。

〈十五〉多條單繩秋千組合時，對稱與否和共振的效果有明顯的密切關係，組合形式如下



我們發現必須符合二條件：1 主振體的位置需在對稱的受振體中間。

2 受振體的擺長要一樣長時。

我們從上面九種組合結構中發現，己、壬兩種組合符合發現的規律，因此會產生同步共擺的情形。

八、心得與感想：

原本是單繩秋千的運動遊戲，沒想到為了一句話，經實驗卻證實能量可以移轉，且發現影響能量移轉的變因有很多。可見日常生活中，處處充滿物理的知識。只要有耐心驗證可以從中得到許多收穫。

九：參考資料：

維基百科 — 簡單的擺

國語周刊叢書 — 科學寶庫〈上〉

【評語】 080116

1. 題目有創意能引起好奇心。
2. 量測方法獨特，能合理呈現數據之結果。
3. 傳達表現及團隊默契頗佳。