

好玩的繩子—繩子旋轉 告訴我們什麼？

初小組物理科第二名

台北縣板橋市國光國民小學

作 者：林涵天，等六人

指導教師：林俊輝，邱重賢

一、研究動機

在民俗體育競賽期間，常常看見同學練習扯鈴，踢毽子和跳繩。其中跳繩一項大家認為最有趣，尤其是花式跳繩（五六位同學成一組，其中兩人各拿繩子的一邊旋轉，中間成二個圓圈，再由二人或三人拿短繩進去跳）同學們都拍手叫好，我卻對中間的二個圓圈圈發生興趣；奇怪呀？為什麼可以成為兩個圓圈圈呢？所以我和幾位同學一起在老師指導下研究這個問題。

二、研究問題

- (一)軟繩子會傳送力量嗎？
- (二)那一種類的繩子旋轉的波形最好？
- (三)繩子的長短會影響到波形的穩定嗎？
- (四)繩子的粗細會影響到波形的穩定嗎？
- (五)繩子的末端加重旋轉，效果會一樣嗎？
- (六)在繩子等長地方加重會影響到波形的穩定嗎？

三、研究設備器材

- (一)各種繩子（棉、麻、塑膠、橡膠管、布、尼龍等質料）鐵鍊。
- (二)砝碼、鐵墊片、算珠。
- (三)變壓器、小馬達（9V）普通、無段開關。

四、研究過程與步驟

問題(一)：軟繩子會轉送力量嗎？

研究方法：1.拿軟繩子在地上，一邊固定一邊做快速的左右擺動或是上下抖動。

- 2.拿繩子兩端各由兩人拿著在空中旋轉，像跳繩一樣。
- 3.繩子懸在空中然後左右擺動或上下抖來抖去。

結果：我們發現在水平、垂直、懸在空中都像蛇一樣。我們討論以後發現是這樣子的：

- 1.水平左右抖動力量傳送的最好，但不抖動力量就傳不到繩子的尾端。
- 2.懸在空中力量傳送得最快，且馬上就傳到末端。
- 3.繩子傳送力量時形成 \cup 形狀我們叫做波。

問題(二)：那一種類的繩子旋轉的波形最好？

研究方法：1.收集各種不同種類的繩子。

- 2.垂直於地面用手旋轉。
- 3.找有彈性的膠繩黑圓條（直徑 1 公分）灰圓條（直徑 0.5 公分）綠方條 (0.8×0.8 公分) 灰紋圓條（直徑 0.5 公分）白扁條（一為 1×0.5 公分，一為 1×0.4 公分）。
- 4.記錄旋轉情形。

穩定波定義：

我們把能形成像花式跳繩的形狀而不會亂跳動的波形，稱為穩定波。

“ \times ”不能成波。“ \circ ”能成波 20 秒以上，“ \triangle ”能成波 10 秒。

編號 姓名	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.
韻如	✓	○	\times	✓	○	△	\times	✓	△	○	\times	△	○	○	\times	△	✓	\times	\times	✓	✓	\times	✓	✓	○	
涵天	△	○	\times	✓	○	△	\times	△	△	○	\times	△	○	○	\times	△	✓	\times	\times	×	✓	✓	✓	✓	○	
冀寬	✓	○	\times	✓	△	○	✓	△	△	○	\times	△	○	○	\times	△	✓	\times	\times	✓	✓	✓	✓	✓	○	
心琦	✓	○	\times	△	△	○	\times	△	✓	○	\times	○	○	○	\times	\times	\times	✓	\times	✓	✓	✓	✓	✓	○	
渝維	✓	○	\times	✓	△	○	✓	○	△	○	\times	○	○	○	\times	△	✓	\times	\times	✓	✓	✓	✓	✓	○	
雲閔	△	○	\times	✓	△	△	\times	△	○	○	\times	△	○	○	\times	✓	✓	\times	\times	\times	✓	✓	✓	✓	○	

“√”成波 4 秒以下。

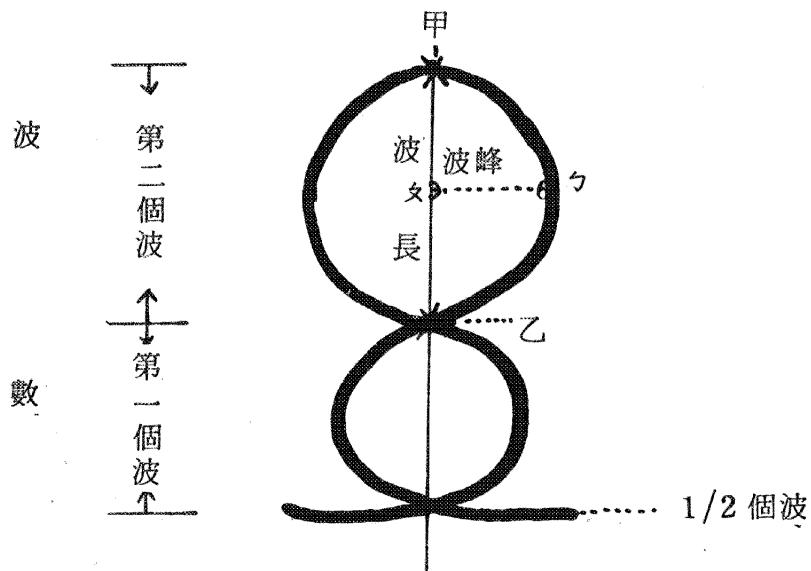
類別 項目	黑圓條	灰圓條	綠方條	灰圓條	白扁條 (厚)	白扁條 (薄)
波數	2.5-1.5	3.5-2.5	2.5	2.5-1.5	1.5-3.5	1.5-3.5
穩定時間	30秒以上	30秒以上	20秒	30秒以上	10秒	10秒

結果：

1. 我們發現 2, 10, 13, 14, 26 號最能形成穩定波；3, 15, 11, 19, 20 號的管子轉到手酸也不形成。能形成穩定波的，我們發現比較柔軟而有彈性。
2. 圓形的膠條比較穩定，方形條和扁條會扭曲而不能再繼續成穩定而不亂跳的波形。

問題(三)：繩子的長短會影響到波形的穩定嗎？

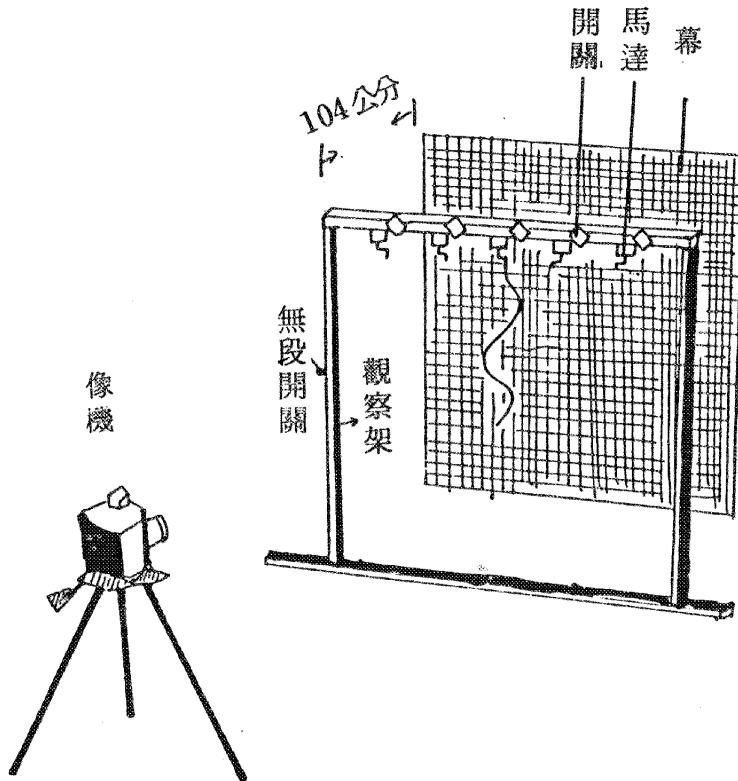
研究方法：1. 將細棉繩剪成 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 公分長共 10 條。
 2. 自己設計一座觀察架，利用 9 V 馬達轉動觀察，架子後面畫上方格，照相計算記錄。
 3. 計算波數波長波峯高度有多少方格。



※ 波長的計算方法：由甲點到乙點的距離為波長，計算格數。

※ 波峯的計算方法：由勾點到叉點的距離為波峯，計算格數。

※波數的計算方法：計算有幾個波峯為波數最後一段定為 $\frac{1}{2}$ 個波。



※照像方法：

- (1) 觀察架與幕的距離固定 104公分利用太陽燈照射來拍照片。
- (2) 照像時使用 (ASA 100) F 4.5 ~ 5.6 快門 $\frac{1}{2} \sim 1$ 秒。
- (3) 波形最穩定的時候把它拍下來。

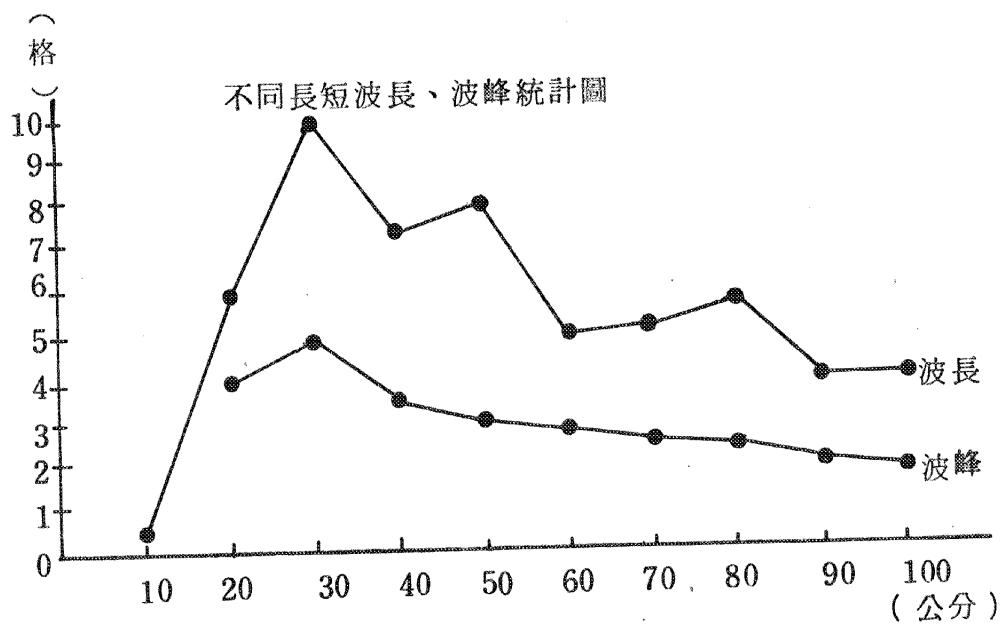
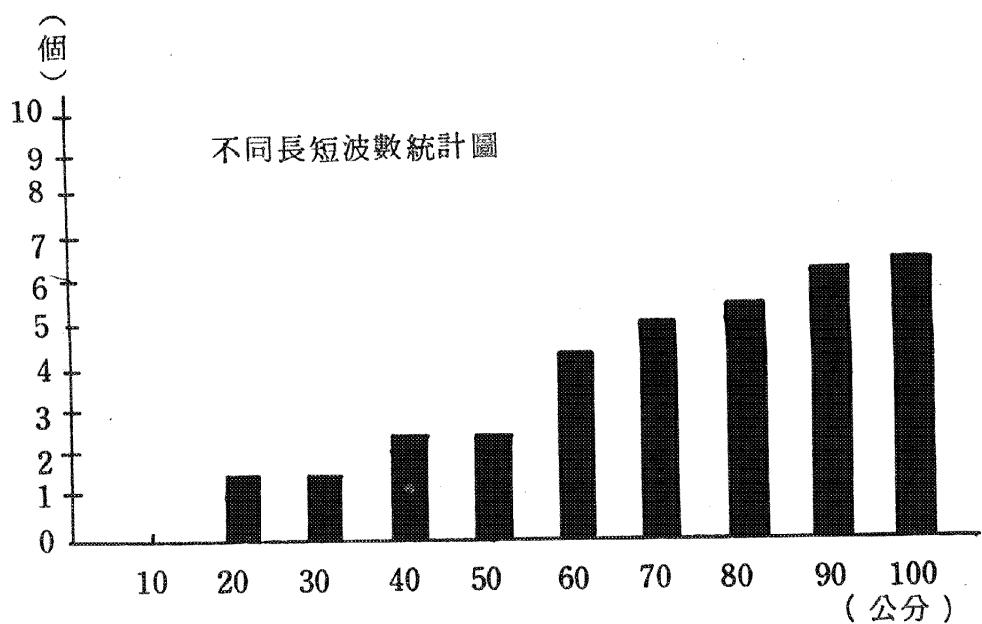
不同長短波數波長波峯統計表

項目 \ 長度	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
項 目	公分									
波 數	0	1.5	1.5	2.5	2.5	4.5	5.2	5.5	6.5	6.5
波長平均	0.5	6	10	7.5	8	5	5.2	5.8	4	4
波峯平均	?	4	5	3.5	3	2.8	2.5	2.4	2	1.9

結果：

1. 100公分比20公分多5個波。
2. 50公分比20公分的波長多2格。
3. 30公分比100公分的波峯多3.1格。

我們發現：繩子越長波數越多，波峯也越低，所形成的波形越不穩定。



問題四：繩子的粗細會影響到波形的穩定嗎？

研究方法：1.以粗細不同用同質的膠管6條(75公分)及塑膠實心條6條(100公分)。

2.利用實驗三的觀察架觀察、拍照。

3.計算波數及波長、波峯的格數並記錄結果。

※膠管直徑1號0.3公分，2號0.5公分，3號0.6公分，4號

0.9公分，5號1公分，6號1.2公分。（以上照片略）
 ※膠條直徑1號0.1公分，2號0.2公分，3號0.3公分，4號
 0.4公分，5號0.5公分，6號0.8公分。（以上照片
 略）

橡膠管波數波峯波長統計表

號 項目	1	2	3	4	5	6
波數	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	1.5
波長平均	8	11	9.5	12	9	22
波峯平均	7	7	9	8.5	8	11

塑膠實心條波數波長波峯統計表

號 項目	1	2	3	4	5	6
波數	3.5	2.5	2.5	1.5	1.5	1.5
波長平均	9	9.5	22	25	25	33
波峯平均	4	5	8	15	15	13

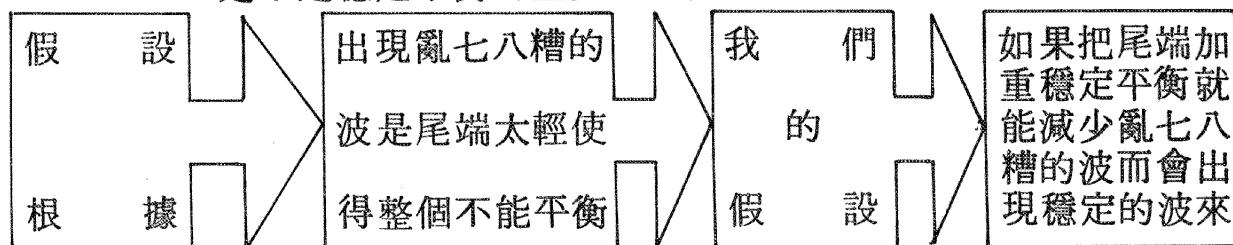
結果：

- 1.在橡膠管中以2，6，1號最穩定，但6號波數只有一個1，2號有兩個波。
- 2.在膠條中以6，5，4號最穩定2，3號其次，但2號有兩個波數。
- 3.粗繩的波長波峯均較長但波數少，只有一個。細繩的波長波峯均較短，但波數多，有兩個。
- 4.我們得到，同樣長的繩子，想得到較多的穩定波，細繩子效果最好，粗的繩子只能得到較少的穩定波。

問題(五)：繩子末端加重旋轉，效果會一樣嗎？

- 討論：1.由以上的實驗中，我們發現波形常常亂七八糟而不能穩定，是不是繩子太輕了呢？
- 2.由以上的實驗中穩定的波形尾端都出現½個波，而半個波

是不是穩定平衡的主要地方呢？



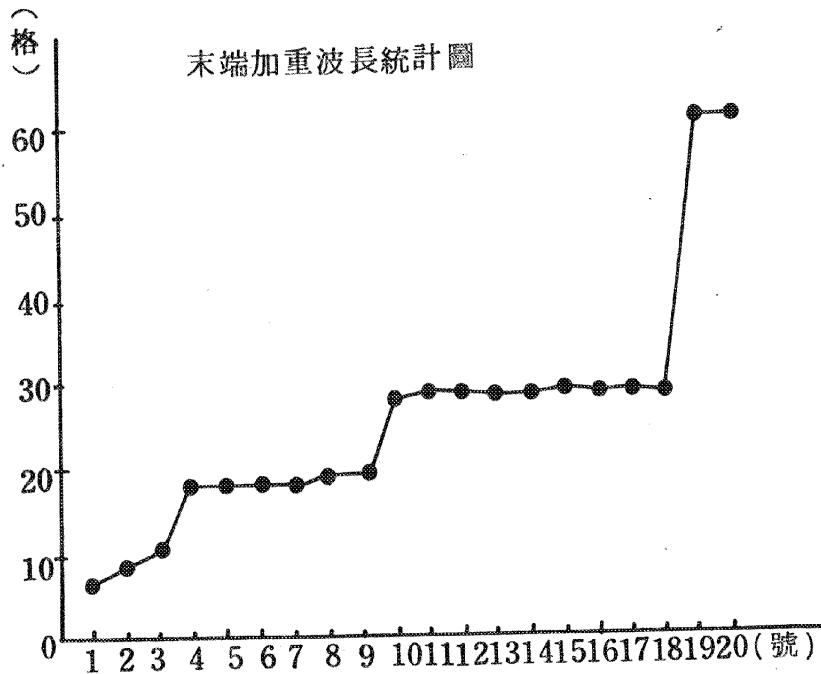
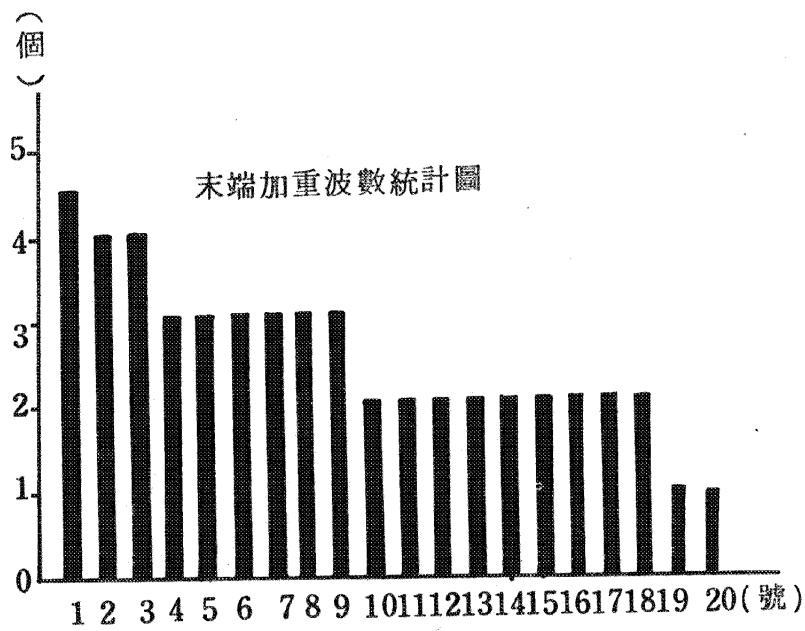
研究方法：1.拿棉繩剪成 100 公分長。

2.到五金行買鐵墊片在尾端逐漸加重。

3.利用觀察架觀察，每次均以一個最有規律的穩定波不
再亂跳的時候為主。

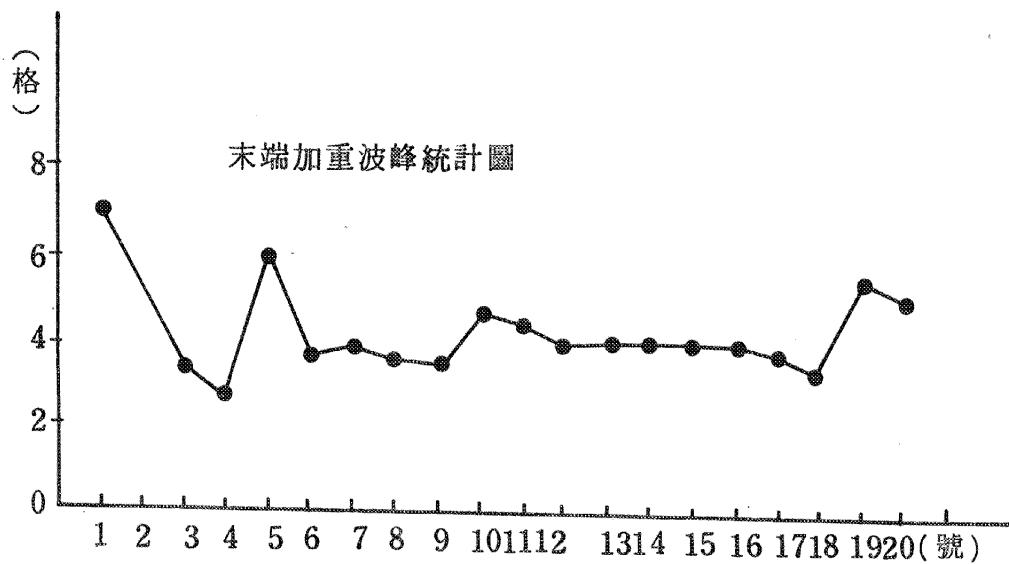
4.最穩定的時候照相，並以相片記錄。

號碼	項目 墊片數	波數	波長平均	波峯平均	穩定情形
1	0	4.5	7	7	✗
2	1	4	9.25	3.5	✓
3	2	4	10.25	2.5	✓
4	3	3	18.2	6	✓
5	4	3	18.2	4	△
6	5	3	18.5	3.6	△
7	6	3	18.7	3.8	△
8	7	3	19.3	3.6	△
9	8	3	19.5	3.3	△
10	9	2	28.8	4.75	○
11	10	2	29	4.5	○
12	11	2	29	4	○
13	12	2	29	4	○
14	13	2	29.5	4	○
15	14	2	29	4	○
16	15	2	29.5	4	△
17	20	2	29	3.75	○
18	26	2	29.5	3.4	△
19	27	1	61	5.5	○
20	30	1	61	5	○



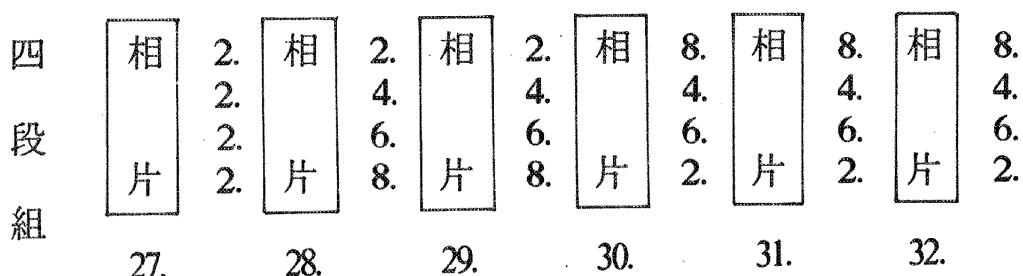
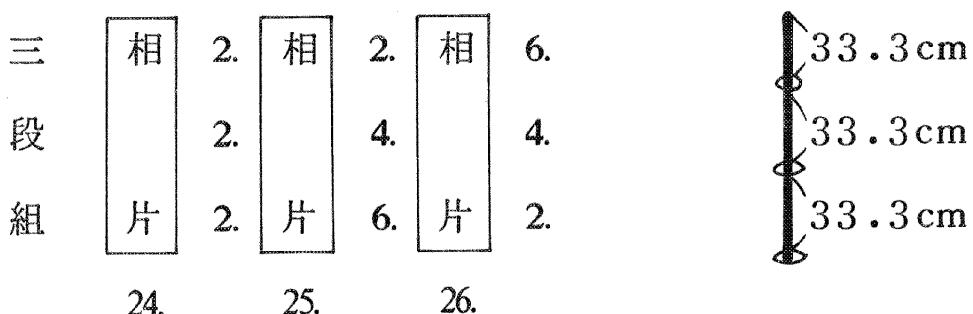
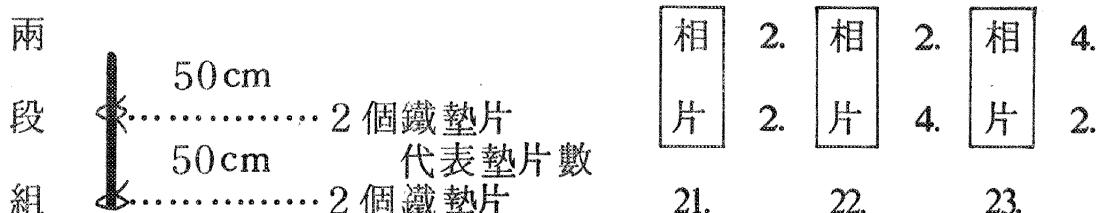
- 結果：
1. 末端加越重波數越少，由 1 號到 20 號相差 3 個波。
 2. 末端越重波長越長，由 1 號到 20 號相差 54 格。
 3. 在同波數中波峯也受影響，如 10 號到 18 號相差了 1.35 格。
 4. 末端加重後波會跟著穩定， $\frac{1}{2}$ 波也沒有了由 2 號到 20 號都可看出來。

我們又得到：尾端 $\frac{1}{2}$ 個波是穩定平衡的主要地方，尾端加重後會更穩定但波數減少，波長增長，波峯會減低。



問題(六)：在繩子等長地方加重，會影響到波形的穩定嗎？

研究方法：1.把繩子分成二等分、三等分、四等分、五等分、並在
每一分隔的地方和尾端都綁上不同重量的鐵墊片。
2.以相同的旋轉速度（刻度在 16）實驗並記錄結果。



五 段 組	相 片	2. 2. 2. 2. 2.	相 片	2. 4. 6. 8. 10.	相 片	2. 4. 6. 8. 10.	相 片	2. 4. 6. 8. 10.	相 片	2. 4. 6. 8. 10.		
		33.		34.		35.		36.		37.		38.

五 段 組	相 片	10. 8. 6. 4. 2.										
		39.		40.		41.		42.		43.		44.

※以上相片均是旋轉時最穩定的狀態下拍照下來的。

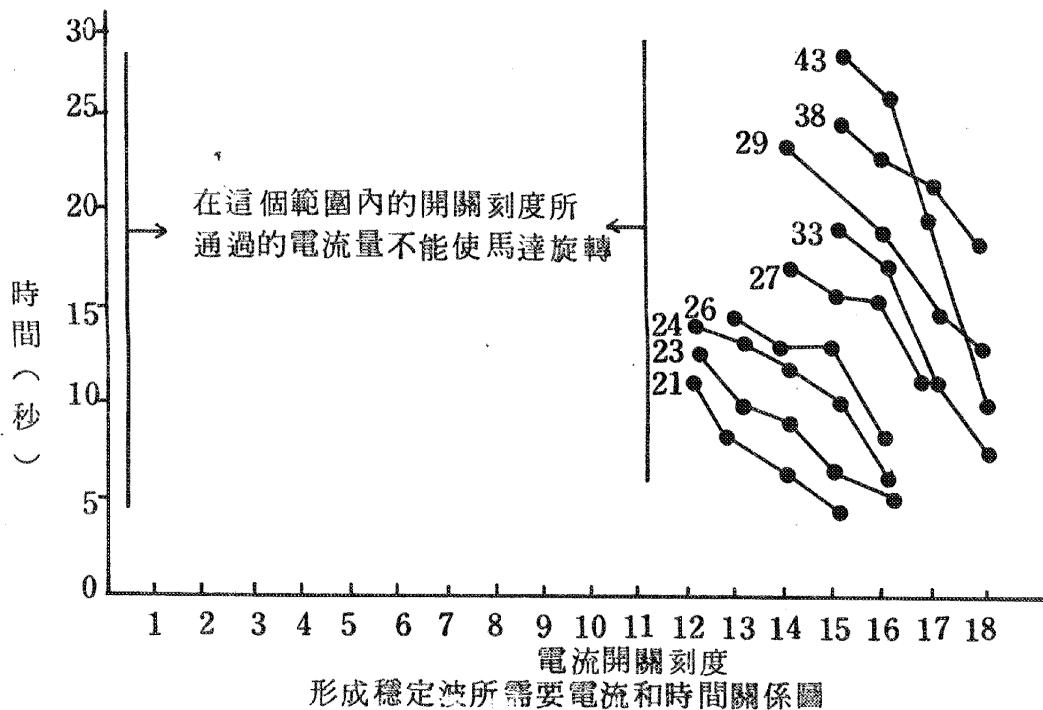
※相片內容（略）。

結果：

1. 不管是分成幾段，假如每段所加的墊片數量相同的話，那麼所形成的波就非常穩定，如編號 21，24，27，33。
2. 假如各段所加的墊片數量不同，就有兩種不同的情形：
 - (1) 繩子的末端墊片假如比其他各處多就穩定如 23，26，28，29，38。
 - (2) 繩子的末端墊片數假如比其他各處少就不穩定如 22，25，31，32，44。
3. 使用 100 公分時繩子分成 2 段 4 段，波峯都會在加墊片的地方。如分成 3 段和 5 段，波峯不會在加墊片處。
4. 每一種加墊片的方式，從開始到形成穩定波所需要的時間和電的大小都不一樣，如統計圖：

五、結果與討論

- (一) 由實驗(一)中我們明白，軟繩子也會傳送力量，它傳送的力量是靠波的前進傳送的。
- (二) 由實驗(二)中我們明白柔軟的繩子和有彈性的繩子要造成穩定波較容易，不柔軟的繩子必須要 1.5 公尺以上才能造成穩定波。圓形



的繩子比較不會扭曲所以能旋轉成較久的穩定波。

(三) 在實驗(三)中我們也得到了繩子越長，波數越多，波峯越低，但不穩定常亂七八糟，所以計算時是以照片上多個波的結果平均成的。另外我們發現電力太強繩子會扭捲一團，所以電力要控制在最穩定的時候來照相觀察。

(四) 在實驗(四)中也得到了粗繩比細繩波數少，但波長波峯都會大些，想得到多數波，需用細繩，但波形卻會亂些。

(五) 在實驗(五)中我們得到了末端加重，波較能穩定，但波形會受尾端的重量改變而影響，越重波數越少，波長越長，波峯降低。但波峯的降低是隨著波數的改變而改變，例如在 2 波數中波峯會一直降低但跳到 1 波數時波峯會增高再逐漸降低。

(六) 在實驗(六)中我們發現了 2 個有趣的現象：

1. 在 9 號到 10 號間由 3 個波轉變成 2 個波，不穩時末端會晃動，才轉變成 2 個波（全程約 25 秒）。
2. 在 19 號時有墊片沒固定好會隨著旋轉而上升，這大概和離心力有關吧！（到穩定時要 23 秒）。

(七) 在實驗(六)中我們得到了：

1. 不管是分幾段，每處墊片數相同都能形成穩定的波。
2. 尾端墊片數比其他多較能形成穩定波。
3. 尾端墊片數比其他少，雖然有時也能成有規則的旋轉，但比較不能形成穩定的波形。
4. 尾端墊片數少也能成穩定波則尾段的半波比尾段重的半波比較，較長，可見其尾段的 $\frac{1}{2}$ 波是平衡的主要地方。
5. 使用 100 公分長分成 2 段 4 段時波會在加墊片後，3 段和 5 段時波就不會在加墊片處。

(八) 在實驗(四)中找出軟膠管的 1, 2, 6 號和塑膠實心條的 5, 6 號這些最穩定的波裏，我們算出尾段的格數和波長波峯的格數如表：

號 項目	膠管 1 號	膠管 2 號	膠管 6 號	膠條 5 號	膠條 6 號
尾 段	10	10	14	18	16
波 長	11	11	22	25	33
波 峯	7	7	11	15	13

我們發現“尾段的格數減波峯的格數都是 3 格”真是奇妙。由這裏以及實驗(五)的尾端加重結果，都可以證明：

“尾段的 $\frac{1}{2}$ 波是穩定波平衡的最主要地方。如果尾段不加重，它的尾段長度就要比波峯長才能穩定。否則波形會亂跳沒有辦法成爲穩定的波形。”

評 語

1. 表演生動，模具製作可。
2. 理解力佳，答辯力強。
3. 物理內容適合。
4. 自信心強。