

第四編

波

目 錄

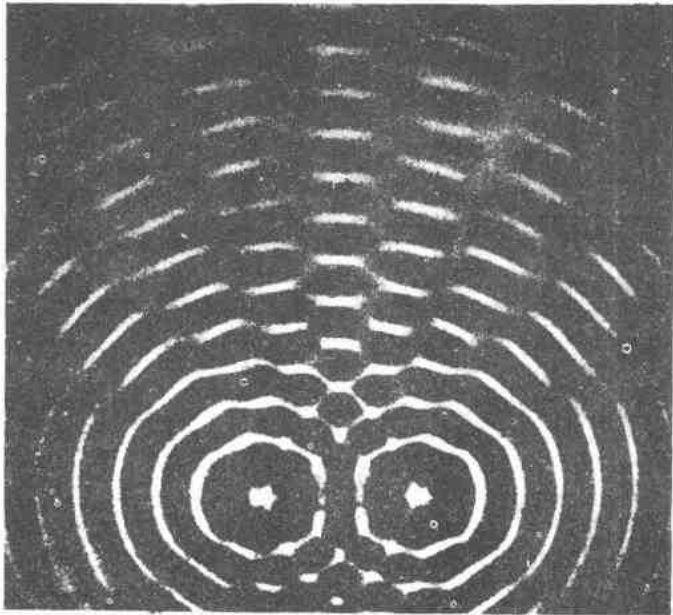
第四編	波	4-1
第一章	波 動	4-3
第一節	波動裝置	4-3
①	用多數單擺的波動裝置	4-3
②	用彈簧連結擺的波動裝置	4-6
③	瑞利(Rayleigh)的波動簾	4-8
④	示範波動的模型裝置	4-12
第二節	繩上傳的波	4-14
①	用螺線彈簧試驗波的重疊，反射等現象	4-14
②	駐 波	4-19
	Ⅰ. 電振音叉與弦	4-19
	Ⅱ. 用傳聲器與示波器檢查空氣中的駐波	4-22
	Ⅲ. 螺線彈簧所生的縱駐波	4-24
第三節	用水波投影器顯示水波	4-25
①	波之進行	4-25
②	波之反射	4-26
③	波之折射	4-29
④	波之繞射	4-33
⑤	波之干涉	4-36
⑥	波之散射	4-39
⑦	都卜勒效應	4-40
⑧	布喇格反射的模型實驗	4-42

第四節	駐 波	4-44
①	用弦音計生駐波	4-44
②	氣柱駐波的觀察	4-45
③	昆忒的實驗	4-46
④	克拉德尼的實驗	4-48
第二章	聲 源	4-49
第一節	聲 源	4-49
①	音 叉	4-49
②	超聲波的實驗	4-52
第二節	傳 播	4-57
①	真空鈴的實驗	4-57
②	聲波於水中的傳播	4-58
③	聲音於固體中之傳播	4-61
第三節	聲音的速度	4-63
①	野外聲速的測定	4-63
第四節	反 射	4-63
①	用鏡子聽筒內的錶聲	4-64
②	用圓筒求由板面的反射方向	4-65
第五節	聲學實驗用儀器	4-66
①	薩伐爾齒輪與音調	4-66
②	汽笛或驗音盤與音調	4-67
③	弦音計與音調	4-68
④	風琴管	4-69
⑤	錄音帶，唱片，CR振盪器的可聞聲音的實驗	4-71
⑥	跳動火燄	4-72
第六節	繞射、干涉	4-76
①	音叉的轉動	4-76
②	克音凱管的聲音干涉	4-77
③	兩音叉的干涉	4-78

④	用兩個揚聲器作聲源的聲音干涉	4-81
⑤	用單縫與揚聲器的繞射實驗	4-83
⑥	用音叉與壁面的干涉實驗	4-84
第七節	拍	4-85
①	用兩支音叉生拍的實驗	4-85
②	用陰極射線示波器觀察拍的波形	4-87
第八節	共鳴	4-89
①	共振擺	4-89
②	音叉共鳴的條件	4-90
③	共鳴箱的作用	4-91
④	氣柱的共鳴	4-92
	I. 用閉管與音叉的共鳴求音叉的頻率	4-92
	II. 開管與音叉的共鳴	4-96
	III. 氣柱的共鳴	4-98
第九節	都卜勒效應	4-101
①	壁與音叉(或揚聲器)	4-101
	I. 都卜勒效應	4-101
	II. 聲波的干涉	4-102
②	用移動揚聲器與傳聲器的方法	4-106
③	裝於轉動板上的蜂音器	4-111
④	原理示範的模型實驗	4-113
	I. 用有記號帶的方法	4-113
	II. 數長紙條上記號的方法	4-114
	III. 用耳聽錄音帶的方法	4-115
	狐狸樂聲	4-117

第四編

波



水波的干涉

4-1

第一章 波動

第一節 波動裝置

①用多數單擺的波動裝置

【目的】 1. 觀察媒質各點作簡諧運動並且相鄰各點間相位微有差異時，即生正弦波形的現象（初）（高）。

2. 觀察波長·速度·頻率間的關係（初）（高）。

3. 觀察橫波·縱波之區別（初）（高）。

【準備】 圖1 AB及CD為寬15毫米，厚1.5毫米，長90厘米的兩塊相同的三角鐵。或如圖2將厚鍍鋅鐵板，釘在木板上做成三角鐵。在一面的邊緣按30毫米的間隔鑽25個孔，在每個

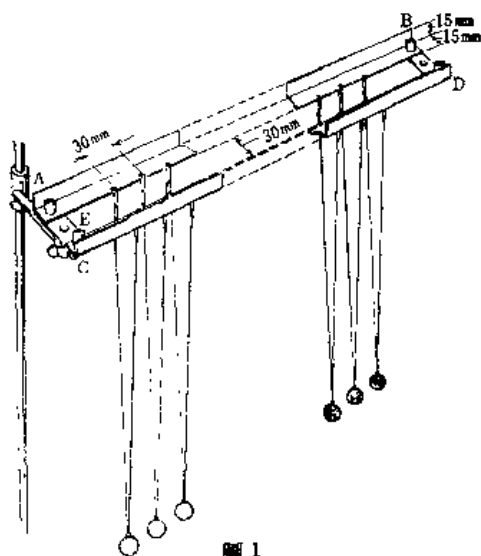


圖 1

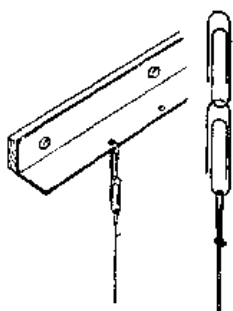
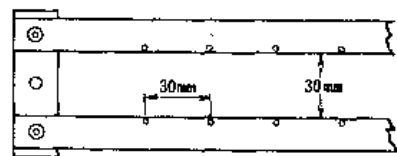


圖 2

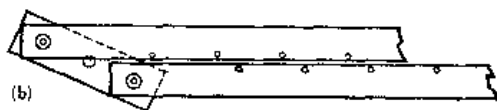
孔吊兩個迴紋針 (圖 2)。用線將有孔的金屬球 (直徑 10 ~ 20 毫米)，懸掛於各迴紋針上。繫線要用活結以便調節擺長。將兩條三角鐵裝在平行移動板 E 上 (圖 1)，使三角鐵的邊緣間隔為 30 毫米，而後固定於支架上。擺長約為 50 厘米。同時準備一玻璃棒 (外徑約 12 毫米，長約 120 厘米，一端燒成半球形)。

【方法】 1. 簡諧運動的相位與波動的關係

- (1) 如圖 3 (b) 使各線的兩個支點方向與三角鐵平行。令末端的球擺動，觀察其簡諧運動。
- (2) 用玻璃棒同時推金屬球使之由平衡位置向一邊作同一的位移，去玻璃棒，使各球同時按同一位移開始做簡諧運動。此時因為各球沒有相位差，就沒有波動的現象。



(a)



(b)

圖 3

(3)如果向三角鐵平行方向拉出玻璃棒，相鄰的球做有相位差的簡諧運動乃產生橫波，波動向相位晚的方向進行。

2. 波長·速度·頻率的關係

(1)設懸球的頻率為 n ，拉出棒的速度為 v ，波長為 λ 則

$$\lambda = \frac{v}{n}$$

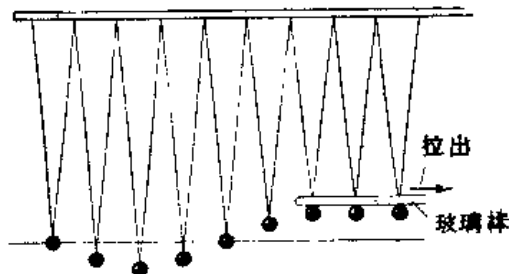
由此式可知拉出棒的速度快，波長就大（因為 n 為一定值）。又可由 n 及 λ 的值計算 v ，和 v 的實測值做比較。

3. 橫波與縱波的區別

(1)使球做橫波後，用平行移動板 E 將三角鐵 AB，CD 平行移動（圖 3(a)）。球的振動方向將變為與角鐵方向平行，也與波進行方向平行乃產生縱波。球的密部向相位晚的方向移動，隨即產生疎部。

【要點】 1. 如果擺長不等，則週期不等，因而引起相位的變化，使波動紊亂。

2. 擺的支點，須無摩擦，如有摩擦而且各點的摩擦不同，則摩擦大的懸球振幅減衰快，波動亦立刻迅即發生紊亂（使用兩支迴紋針的目的就是為減少摩擦）。
3. 做橫波實驗時，注意不要使相鄰的擺線相疊。
4. 生波動時用末端為半球形的玻璃棒以減少摩擦，將玻璃棒對着球時比對線上的結果好。
5. 做縱波實驗時，使開始的橫波波長大較易觀察。
6. 實驗後，將儀器由固定架取下，將擺線捲在三角鐵上收存，取下時不可使線糾纏難解。



4-6 物理實驗大全(四)一波

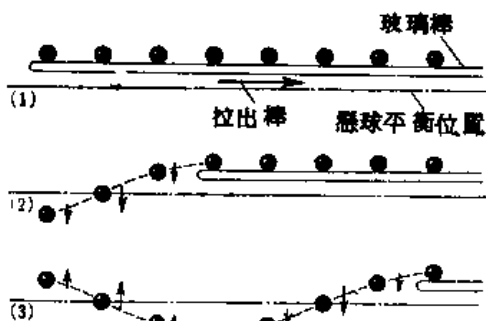
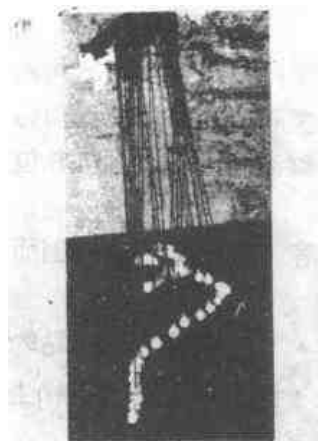


圖 5



照片 1

【參考】 本裝置的特點，是各單擺獨立擺動，因此某一球擺動鄰球不受影響，能量也互不傳播（所以不是以全體構成一媒介）。在兩末端也無反射，可保持長時間的正弦波形，而且把橫波可變為縱波，也是這裝置的優點。

②用彈簧連結擺的波動裝置

- 【目的】
1. 用彈簧的回復力示範波傳播能量（初）（高）。
 2. 示範波動在固定端及自由端的反射（高）。
 3. 示範駐波的生成（高）。

【準備】 螺旋彈簧

（用直徑 0.45 毫米的鋼線捲成螺線圈，每圈之直徑比前項實驗多數單擺波動模型製造的懸球直徑稍小，匝數約 345 次。）

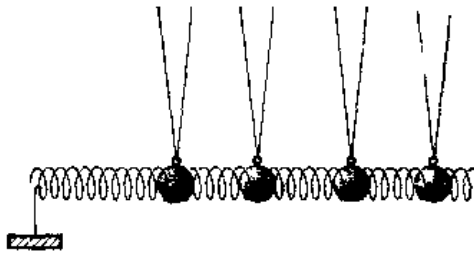


圖 1

【方法】 1. 由彈簧回復力傳播波動

- (1) 將前項多數單擺波動模型裝置 (參照①) 的懸球夾在螺線彈簧內，每一間隔為 10~15 匝，各球以彈簧連絡。如圖 1 拉開彈簧，固定其兩端，使各球均勻分配於彈簧內。
- (2) 將三角鐵條放在能產生橫波位置，用手以橫方向擺動末端一球，相鄰球就以遲一些相位擺動即可示範波動的進行。

2. 波在固定端及自由端的反射

- (1) 使末端的球作半週期運動，即送出半波長的脈波 (pulse) 下面各種情形下分別觀察波在另一端反射的情況。
 - a. 將他端的球用手持定或懸掛重物，使之成為固定端。
 - b. 他端的球處彈簧加長使之對於橫振動成為自由端。

3. 駐波生成法

- (1) 使一端的球做橫振動以表演波動向右進行；使他端球做橫振動表演波動向左進行。然後使兩端球同時以同一週期做振動，則產生兩個相反方向進行波的重疊現象。如果調節至適當的週期，則變為似乎沒有移動的波 (駐波) 實際有些球幾乎不動 (節) 但有些球振動很大 (腹) (圖 2)。
- (2) 兩端以相反的相位擺動，同時調節其週期使之相等。

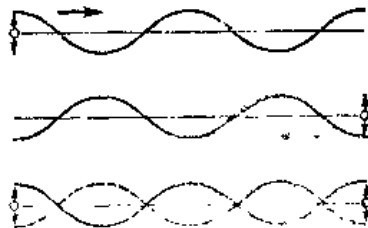


圖 2

(3)由反射波生駐波。使一端球振動送出波，同時調節週期可以得反射波與入射波重疊的駐波，可按以下兩種情形做實驗。

- a. 在他端球懸掛重物，作為固定端 (圖 3(a))。
- b. 在他端加長彈簧作為自由端 (圖 3(b))。

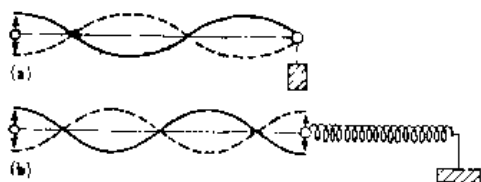


圖 3

(4)固定端為駐波的節，自由端為腹。

(5)平行移動三角鐵條，使球做縱振動，觀察縱波的傳播，反射，駐波等現象。

【要點】 1. 於三角鐵上吊 25 個單擺，可有 24 個間隔因之可作 2 等分、3 等分、6 等分，12 等分等，能用很多方法等分之，便於用同一媒質示範各種不同波長駐波。

2. 要使波速度緩慢，則須增加球間彈簧匝數。

【參考】 1. 此裝置便於縱駐波的表演。

2. 此裝置不便於觀察在自由端及固定端波反射時波的相位關係或其重疊。使球做振動所需的回復力有二個來源，一為作用於擺的重力，一為彈簧為彈性力。若用彈性小的彈簧，波速並不太減弱但反射時運動變為複雜。如為示範反射時相位的關係與重疊的情形，可利用螺線彈簧即所謂瑞利 (Rayleigh) 波動。

⑥瑞利(Rayleigh)的波動

【目的】 與⑤螺旋彈簧的目的同 (初) (高)。

【準備】 瑞利波動。

【製作法】 準備如圖 1.60 厘米×1 厘米×1 厘米的木條約 60 支，在中央處以 $D = 6.0$ 厘米的間隔鑽兩孔，穿入風箏線後用牙籤塞緊，使線固定。棒間間隔 d 為 2.5 厘米，在最下端的棒將線留下約

30 厘米長。兩線結在一起，懸掛一重約 300 克的重物 W 。棒的兩端塗白色，以便觀察。將上端固定板 A 吊在天花板或固定於高處。在最上端的棒裝螺絲 K 使它能對於固定板 A 作轉動。直接用手轉動它或做成如圖裝置，在 A 板釘一棒 B ，在 B 上裝兩環 C D ，用線連結棒 E F 與環 C D 及釘 G 如圖 1，於轉動 E F 就可以轉動最上端的棒。

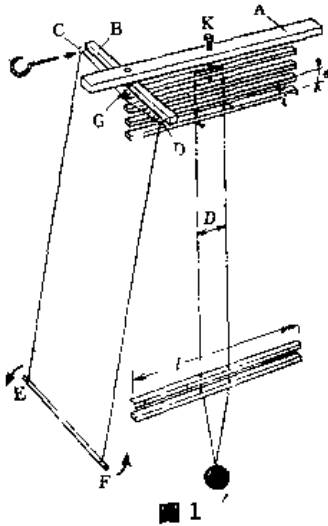


圖 1

【方法】 1. 脈波的重疊

(1) 將上端棒由最初位置轉動約 30° 後，即向原位置轉正確做半週期運動。因而向下送出半波長的脈波(圖 2)。

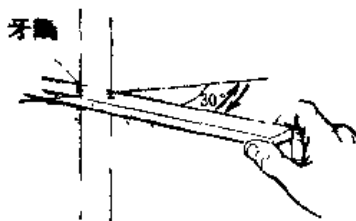


圖 2

(2) 由最下端棒往上方送出半波長的脈波

(3) 在上下端同時由同側的位移送出脈波，就可看到兩波重疊部份

，位移變大而後兩波分別繼續進行。

(4)以相反位移同時送出兩脈波，則可看到兩波重疊處位移變小，而後各波繼續進行（參照第2節圖1，(b)與圖4）。

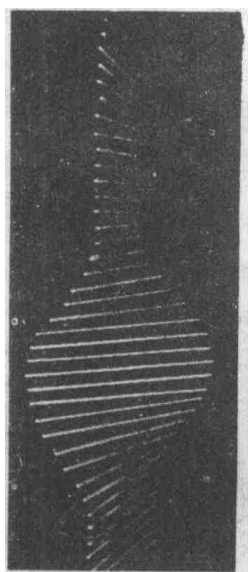
2. 反射與相位的關係

(1)使下端棒自由，由上端棒送出正確的半波長脈波，可以觀察在下端處因入射波與反射波重疊引起波形變化。最後能看反射波以入射波的腹為腹往上進行。

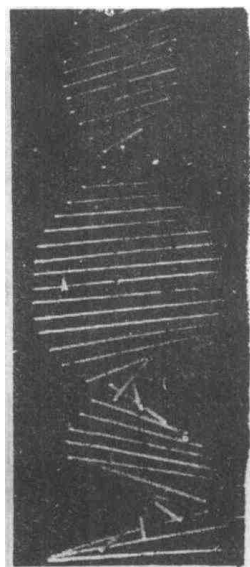
(2)以手握下端棒固定之，轉動上端棒送出半波長脈波。至下端生反射波其腹方向與入射波腹相反，向上進行。

3. 用反射產生駐波

(1)使下端棒自由，自上端棒連續給於振動（往復轉動），調節其振動的週期以產生駐波，此時下端為駐波的腹，做很大振動（照片1）。



照片 1



照片 2

(2)固定下端棒，做同樣實驗，下端則變為駐波的節。

【要點】 1. 要把線與棒固定，可將牙籤削尖，其尖端緊緊插入

線孔中。如需要改變棒間隔則用手握棒拉線即可拉出牙籤，或用針頂出所塞之牙籤。

2. 各棒兩端皆塗成白色以便觀察。
3. 為產生正確的半週期脈波、使最上端棒做正確的半週期的運動，此棒必須轉回到原來位置，但不可轉過原位置，就可送出半週期的脈波，
4. 如果送出這樣脈波，最下端棒為自由端時，脈波反射完了後最下端棒則可恰好停止在原來位置。這是應有現象，但是按普通想可能繼續有振動。

【參考】 1. 設角棒長度為 l ，質量為 M ，則通過棒中心鉛直轉動軸的轉動慣量為 I ，則

$$I = M \cdot l^2 / 12$$

設棒與棒間間隔為 d 厘米，二條間間隔為 D 厘米，各線的線張力為 F 達因，波形的傳播速度則為

$$V = \frac{D}{2} \sqrt{\frac{2F}{I \cdot d}} \quad (\text{支/秒})$$

$$V' = \frac{D}{2} \sqrt{\frac{2 \, dF}{I}} \quad (\text{厘米/秒})$$

2. 如上式關係，線的間隔 D 越小，轉動慣量 I 越大，或張力 F 越小，波的傳播速度則越小。因此需要調節波動速度時，調節上面因子即可。如果在中途使轉動慣量變化，就可以觀察波的反射與進行的現象（圖 3）。
3. 若為使波的速度變小而增加懸掛物體的重量，則可能因棒重產生線的上下部分的張力相差很大。為使上下的張力均勻，則所懸掛重物的重量須有一定值。
4. 若在下一半的棒加重，或改變棒下一半的間隔，則於上下境界處，可見脈波的一部分反射，一部分進行的現象。
5. 在黑暗幕前面做波動廉子的實驗，將 8 厘米電影攝影機以橫位置用較快的時間攝取波動的影片，用較慢的放映速度來放映，

4-12 物理實驗大全(四) 一波

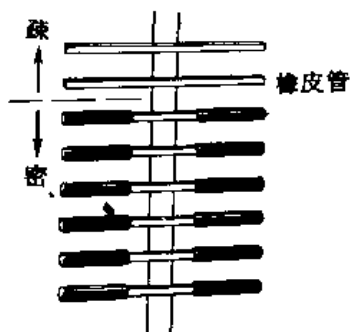


圖 3

在繩子下面一半繩兩端套橡皮管增加其質量(轉動慣量)此部份的傳播速度就變慢而可以在境界處看到波動分成反射及進行兩波而能觀察由疏進為密或相反時波動的進行情形。

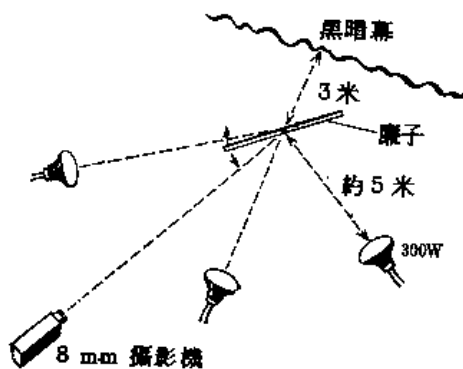


圖 4

也是一個好方法。

① 示範波動的模型裝置

【目的】 表演縱波(疏密波)傳播的模型(初)(高)。

【原理】 在縱波介質各點的振動方向與波的進行方向平行。如果把各點運動情形投影於紙上時，則得如圖 1 相鄰各點的位置。可作正弦波形圖表示其相位微有差異。

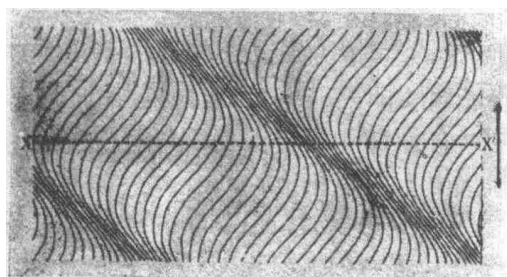


圖 1

相反的，做如圖 1 的圖，並利用一適當裝置能看見沿 X X' 軸上各質點之運動，若把圖向矢方向移動，則又可表現出縱波傳播的情形。

【準備】 白紙，厚紙(或金屬板，木材等)，粗金屬線，尺，規尺。

【方法】 1. 表示縱波各點運動的正弦波形的作圖法

- (1) 在白紙上用鉛筆以等間隔（約 1 厘米）畫平行線表示介質各點尚未傳波時位置。
- (2) 以各線為基準畫一正弦波形。相鄰曲線的相位微作移動（約 0.5 ~ 1 厘米）。畫各正弦波形，如【參考】所述，可予先作一正弦波的紙型，作為規尺。

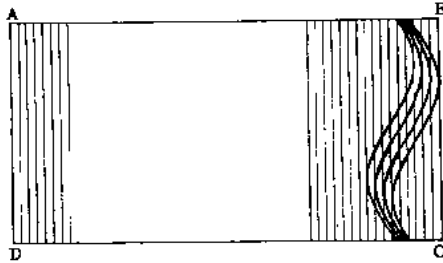


圖 2

2. 畫好正弦波形的紙作成圓柱形。

- (1) 將 AB 線與 DC 線即首尾兩線相貼做成圓柱形。注意要使正弦波形的起點與一週期後終點恰好一致，因此於轉動圓柱時，可見正弦波形的連續變化。
- (2) 用厚紙（或金屬板或木材等）做轉動圓柱，其大小剛好能把波形圓柱緊緊地套上。裝搖柄以便轉動。



照片 1

- (3) 將畫正弦波形的紙貼在轉動圓柱上。

3. 觀測縱波傳播用外箱

- (1) 製作有狹縫 XX' 的外箱（長方形或圓形都可）。
- (2) 把正弦波形轉動圓柱裝在此箱內（圖 3、）。

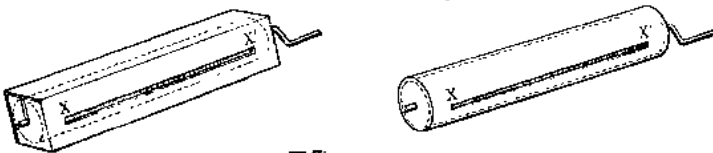


圖 3