

科學圖書大庫

美國物理科學教學研究委員會主編

物理學實驗

(附測驗與解答)

譯者 張秀亞

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

美國物理科學教學研究委員會主編

物理學實驗

(附測驗與解答)

譯者 張秀亞

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫

版權所有

不許翻印

中華民國六十八年三月三十日初版

物理學實驗

(附測驗與解答)

基本定價 3.40

譯者 張秀亞 工業技術研究院研究員

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號
7815250

發行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 15795 號

承印者 大原彩色印製企業有限公司 台北市西園路2段396巷19號
電話：3611986・3813998

目 錄

1. 實驗的分析.....	1	28. 兩度空間之碰撞.....	48
2. 平面鏡的反射.....	3	29. 彈性碰撞.....	51
3. 折 射.....	4	30. 模擬核子碰撞之實驗.....	52
4. 會聚透鏡的成像.....	6	31. 非彈性碰撞.....	54
5. 發散透鏡.....	8	32. 位能之變化.....	55
6. 微粒的“折射”.....	9	33. 完全非彈性碰撞.....	57
7. 彈簧上的波.....	10	34. 帶電體.....	59
8. 波槽中的脈動波.....	12	35. 靜電感應.....	60
9. 拋物面鏡.....	14	36. 驅動力與終端速度.....	62
10. 週期波.....	15	37. 密利根實驗.....	65
11. 波的折射.....	17	38. 兩帶電球體間之作用力.....	66
12. 波與障礙.....	19	39. 增納二極體電壓調節器.....	69
13. 兩點波源所生的波.....	21	40. 一簡單的掃描電路.....	70
14. 干涉與相位.....	22	41. 電流之磁場.....	71
15. 楊氏干涉實驗.....	23	42. 以基本單位量度磁場.....	74
16. 單狹縫所生的繞射現象.....	26	43. 電子的質量.....	77
17. 折別力.....	27	44. 長直導綫附近之磁場.....	81
18. 利用光的干涉測量距離.....	29	45. 磁 流.....	83
19. 運動—速度與加速度.....	30	46. 放射衰變的亂度.....	88
20. 不變力作用下物體速度之變化.....	32	47. 氫光蒲朗克常數.....	89
21. 加速度、力、與質量的關係.....	34	測驗一.....	92
22. 慣性質量與重力質量.....	35	測驗二.....	102
23. 拋射運動中小球所受之力.....	38	測驗三.....	110
24. 向心力.....	41	測驗四.....	119
25. 簡諧運動.....	43	測驗五.....	129
26. 爆炸時動量變化.....	44	測驗六.....	141
27. 推車與磚塊.....	46	測驗解答.....	148

1. 實驗的分析

實驗結果的表達與分析，是物理學中不可或缺的一部份。表一中列有一組實驗的結果；讀者應該能夠將這些結果很清楚地表達出來，以便進一步推測由類似的實驗所得到的結果。

本實驗的目的，是測量水由鐵筒底部的洞中流出所需的時間。可以想見的，這個時間的長短視洞的大小與筒中水量的多寡而定。

爲了要知道洞的大小與時間的關係，我們可利用四個相同的圓筒，筒的底部各有一直徑不同的洞，可讓等量的水由不同的筒中流出；至於水量與時間的關係，則可由上述同一容器中，所裝不同高度的水來測定。

每一實驗都要重覆地做數次，以求得一平均時間，並將此平均時間列入表一中（時間以秒爲單位）。用手操作的馬錶，其精確度至每只能達到十分之一秒；因此表上所列的時間，它的最後一位數可能偏高或偏低一單位。因此，所量時間愈短，實驗的相對誤差愈大。

我們要用的全部實驗數據統統列在表裏了。不過，一個圖示往往可讓我們推測其它的結果，並可幫助我們找到一些數學的關係式。

首先，在固定的高度下（如30公分高），將時間對小洞的直徑作圖。習慣上，通常都把自變數（在此指直徑， d ）放在橫軸，而將應變數（時間）放在縱軸。爲使圖表的精確性

表 1

d in cm	h in cm			
	30.0	10.0	4.0	1.0
1.5	73.0	43.5	26.7	13.5
2.0	41.2	23.7	15.0	7.2
3.0	18.4	10.5	6.8	3.7
5.0	6.8	3.9	2.2	1.5

增加起見，在作圖時，我們通常選擇適當的刻度，以使整張繪圖紙都能被用到，且便於判讀。在繪圖紙上把數據標定了之後，就要將各點用平滑的曲線連接起來了。這時候應該注意，用那一種方法連接，所得到的曲線最精確。譬如說，我們可由圖上推測出水流過直徑四公分或八公分的洞中所需的時間。試問，“推測”的精確度如何？

光從圖表上去推測是不夠的，我們還應該知道水流時間 t 與洞的直徑 d 之間的數學關係。由圖上，可以看出，當 d 減小時， t 增加的很快，因此他們必有某種反比的關係存在。我們可以假設時間與洞的面積成反比。這是很合理的假設，因為如果洞的面積大的話，在同樣時間內，可以有較多的水自洞中流出。所以我們可將 t 對 $1/d^2$ 作圖，看看我們的假設是否成立。照著前面所提的方法作圖，並用平滑曲綫將各點連接起來。由這個圖，你看出些什麼關係？你的假設正確嗎？當水位已知時；你是否可以寫出一個 t 與 d 之間的數學關係式？在同一張繪圖紙上，將其它水位的 t 也對 $1/d^2$ 作圖，如此可以知道當水位改變時，這一 t 與 $1/d^2$ 的關係是否仍然成立。由這個圖上我們可以看到，在 $h = 1.0$ 公分時，所得到的曲綫稍稍向上延伸。如將此曲綫在另一張紙上放大重畫，可以看到什麼？在 $h = 1.0$ 公分時， t 與 d 的關係如何？

下一步我們要知道的是，當洞的直徑固定時，時間與高度的關係。將 t 對 h 作圖， h 取為橫座標。用平滑曲綫將各點連接起來，並將此曲綫以外插法向原點方向延伸。此曲綫是否通過原點？你是否預期它會通過原點？我們如何利用 t 對 $1/d^2$ 的作圖來推測 $h = 20.0$ 公分和 $d = 4.0$ 公分時的 t 值？

沒有一種簡單的幾何方法可以讓我們找到 t 與 h 之間的數學關係。我們只能由曲綫的形狀等法猜測一番。我們可以將繪圖紙轉 90° ，看看 t 改變時 h 的變化如何，再看當 h 改變時， t 如何的變化，以使我們的猜測更接近事實。找出一合適的關係式後，我們還要知道這個關係式在 $d = 5.0$ 公分時是否也成立，以資核驗。如果你對“對數”很熟的話，不妨試試 t 與 h 的關係是否適合一通用的公式，例如 $t \propto h^n$ 。如此，只要將 $\log t$ 對 $\log h$ 作圖就行。如果能得到直綫關係，直綫的斜率即是 n 。在這個實驗中， n 等於多少？

試找一可將 t ， h 和 d 都能夠包括進去的關係式，並由此關係式求算 $h = 20.0$ 公分和 $d = 4.0$ 公分時的 t 值。將此一 t 值與由作圖上直接得來的 t 比較一下；那一個比較準確？

2. 平面鏡的反射

用兩隻手各握一枝鉛筆，使成垂直。將右臂伸直，左手在右手後方15公分處。當鉛筆不動而將頭由右向左轉時，以右手的鉛筆作標準，左手的鉛筆看起來會向那邊移動？如將兩隻鉛筆放得靠近一些，則當頭轉動時，其相對的移動又如何？我們應該怎樣放這兩枝鉛筆，才能使這兩者之間看起來沒有相對移動（也即沒有視差）？

現在，我們用視差來決定平面鏡所生成的像之位置。在平面鏡底部綁兩塊木塊，使它能够直立在桌面。在鏡前10公分的地方倒立一根釘子。此時釘子的像在什麼位置？試著由不同的角度去觀察釘子和像。像的位置在釘子之前還是之後？或是在同一個地方？在鏡前另放一枚釘子。變動此一釘子的位置，直到它與第一枚釘的像之間沒有視差為止。此時第二枚釘子所在的位置，就是第一枚釘子的像所在的位置。將第一枚釘子的位置改變，做同樣的實驗，此時第二枚釘子應放在何處？像距和物距間的關係如何？

我們也可以由作圖法找出一物體的位置。在一厚紙板上鋪一張紙，在紙上直着插一根針。從兩公尺以外的距離看這根針，並在連接觀察點與針的直線上再插兩根針。這兩根針所表示的方向即是由針至觀察點的方向。如果改變觀察點的位置，即得到不同的直線。這些直線在何處相交？

我們也可用同樣的方法找出像的位置。換一張乾淨的白紙，紙上立一面鏡子，在鏡前插一根針。在紙上畫下鏡子的位置。由不同的角度去觀察針在鏡中所成的像，並用針來定出光綫由像至觀察者的方向。這些直線都集中在那一點？在紙上畫下光綫由針至鏡面再反射到觀察者的路綫。鏡面與光綫所走路綫之間的夾角有什麼特別的性質？

將兩面鏡子直立在桌面上，鏡子互成 90° 角。在鏡子之間插一根針作為實物，然後推斷生成的像應該在什麼位置。最後用視差法找出所有的像。這些像所在的位置，是否與原先的推斷符合？為什麼？

3. 折 射

光的折射可由入射角和折射角的大小來表示。舉例來說，當光線自空氣進入水中時，其折射角即是光線在水中進行的方向與垂直於水面的直線（法綫）之間的夾角。在這個實驗中，我們要找出入射角與折射角之間的關係。

將半圓形透明塑膠盒的圓心，與圓形繪圖紙的圓心重合在一起。如圖所示，在塑膠盒的圓心處畫一垂直的記號，並將盒子注入半盒清水。在通過圓心，並垂直於塑膠盒直邊的直線上，垂直的插一根針。從盒子彎曲的一面來觀察針的位置。改變觀察的角度。當針與圓心的垂直記號重合時，用針記錄下這個觀察點的位置。當光線由空氣進入水中而入射角為 0° 時，光線的折射情形如何？

移動針的位置，使入射角在 20° 至 80° 之間，用同樣的方法，記下光線由針通過圓心，進入水中後的方向。針所插的位置，距圓心應不超過 4 公分，否則當入射角大的時候，不容易觀察得準確。

由以上的實驗，入射角和折射角的差別是否是常數？入射角和折射角的比是否是常數？將折射角對入射角作圖，同時也將 $\sin(\text{折射角})$ 對 $\sin(\text{入射角})$ 作圖，由作圖的結果，是否可找出什麼簡單的數學式去描述光線的折射？

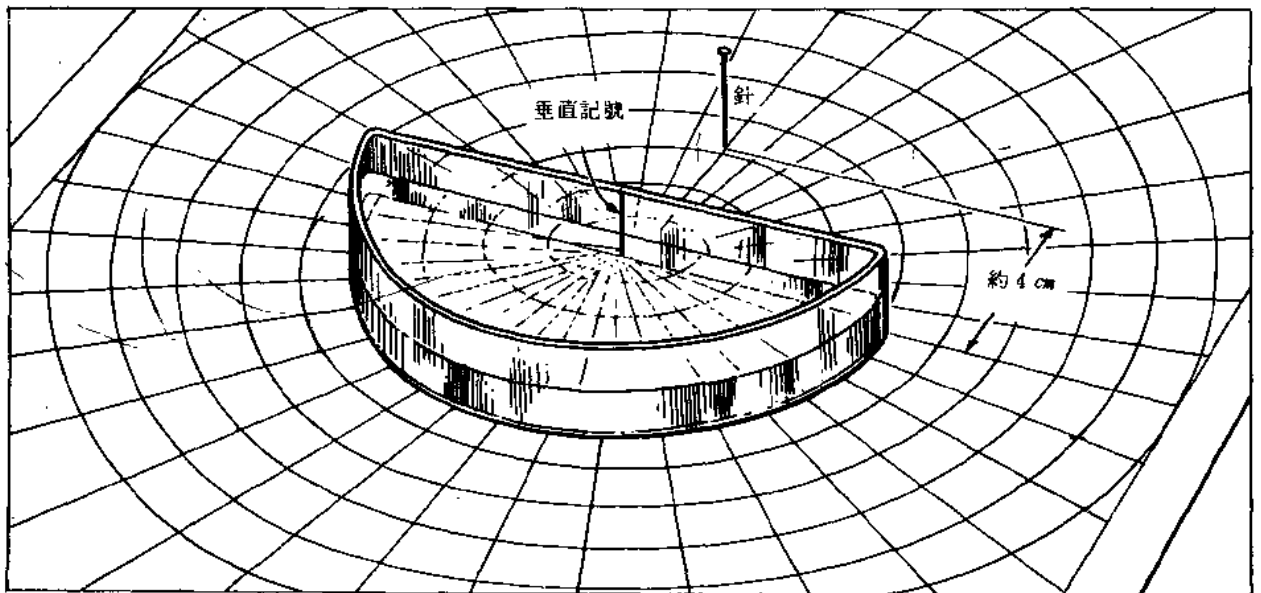


圖 1

用同樣的裝置，試驗當光綫由水中進入空氣中時，它所經過的路徑是否與由空氣中進入水中時相同？你是否可以預測光綫斜著穿過一塊兩面平行的玻璃塊時的折射情形？

將塑膠盒中換裝其他的透明液體，並重複以上的實驗；將 $\sin$ （折射角）對 $\sin$ （入射角）作圖。此液體的折射情形是否與水的折射情形相同？

4. 會聚透鏡的成像

通過一個會聚透鏡觀察物體時，眼睛可看到之像比物體大還是小？是直立抑倒立？當鏡片的位置移動時，像的大小及位置是否會變動？

會聚透鏡成像的情形，可由下圖所示的裝置來觀察。在桌上固定一條長紙帶，將小灯泡放在紙帶的一端作為物，用黏土將會聚透鏡固定，並直立在紙帶上某個地方。用視差法來決定像的位置，並記錄像的大小以及是正立或倒立。此時，將灯泡略向透鏡推近。同樣，記下像的位置，大小及方向。繼續將灯泡慢慢向透鏡靠近，直到所生成之像在紙帶之外，無法記錄時為止。像距與物距間是否有任何關係？如果物在透鏡外無窮遠處，則像該在何處生成？

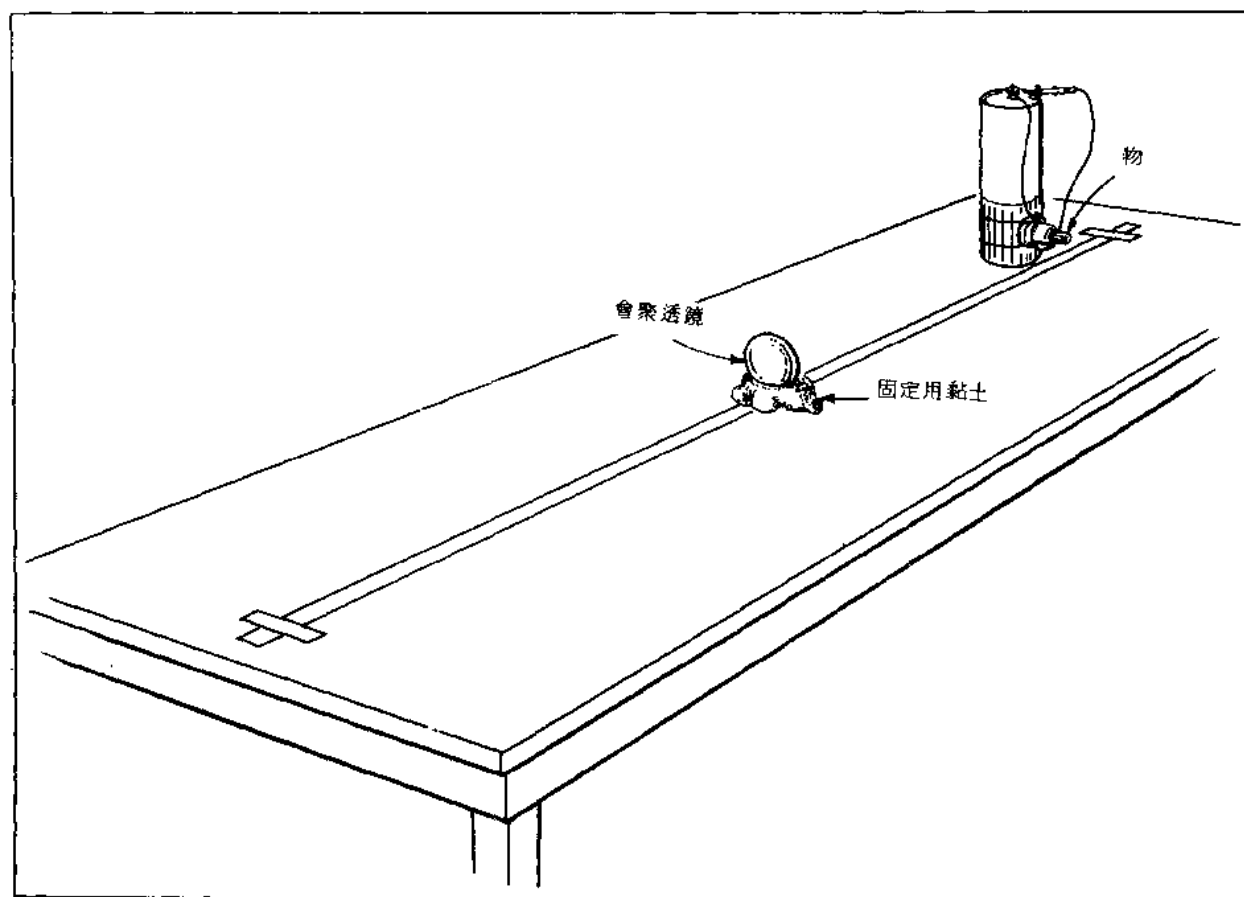


圖 1

此時像所生成的位置應該是透鏡的主焦點。試證明透鏡有兩個主焦點，各在透鏡的一邊，而與透鏡中點的距離相等。

現將灯泡儘量向鏡片靠近，再用視差法找出像的位置。此時像是直立或倒立？如將灯泡慢慢背向鏡片移開，像的位置與大小又如何？

令 S_o 為由主焦點至物的距離， S_i 為主焦點至像的距離（測物距 S_o 時，所用的主焦點與物在鏡面的同一邊，而測像距 S_i 所用的主焦點在物的不同邊）。實驗的結果顯示，當 S_o 增加時， S_i 必定減少。由此可將 S_i 對 $1/S_o$ 作圖。試問 S_i 與 S_o 之間的數學關係如何？

如將灯泡放在主焦點的位置，像應在何處生成？是否可以觀察得到？

5. 發散透鏡

我們可以像上面的實驗一樣，用發散透鏡的成像，來研究發散透鏡的性質；或由一束平行光綫通過透鏡時的折射情形來研究其性質。此實驗的裝置與實驗 4 相似；在會聚透鏡後的主焦點處放一個光源，平行光綫會在鏡前生成。爲了使此平行光線便於觀察起見，可在會聚透鏡前放一塊中間有圓洞的擋板。穿過擋板上圓洞的光綫即爲一平行光束。讓此平行光束經過一個發散透鏡，照射到一張垂直的紙板上。當紙板與發散透鏡的距離改變時，紙板上所形成的光圈的距離也會改變。將直徑對距離作圖。是否可由圖上找到透鏡的主焦點？發散透鏡是否能生成放大的像？是否能成實像？

將灯泡放在發散透鏡的主焦點處；此時是否可以推測物與像大小之比及像生成之位置？看看是否可用理論來支持在此實驗中由觀察所得的結論？

6. 微粒的“折射”

在一水平的平面上，一鋼球以幾乎不變的速率沿直一綫運動，並以斜角的方式落下一個斜坡。在下落的過程中，由於重力而使球的速度增加；這會使球運動的方向改變。因此在斜坡的底部，鋼球仍作直綫運動，但方向却不是原先的方向了。

上面所述鋼球運動的情形，和光綫由空氣中折射入水中的情形是一樣的。球由斜坡上落到斜坡底部時，方向改變。同樣地，當光綫由空氣進入玻璃時，光綫的方向也會改變。在這裡，較高的平面可代表空氣，較低的平面是玻璃，而斜坡則是空氣與玻璃的交界面。

用下圖所示的裝置，來試驗微粒的“折射”是否符合斯涅耳定律。令鋼球由不同的斜角落下斜坡，以表示入射角的改變；而入射角與折射角間的關係，可由複寫紙上鋼球運動所留下的綫條來量出。在此實驗中，為什麼要儘量使鋼球自同一點落下斜坡？將入射角、折射角都記錄下來，它們之間的關係是否符合斯涅耳定律？將鋼球的運動與光綫在水中與空氣中進行的速度作一比較！

你是否可以製造一個可以使鋼球的滾動會聚於一焦點的“透鏡”？

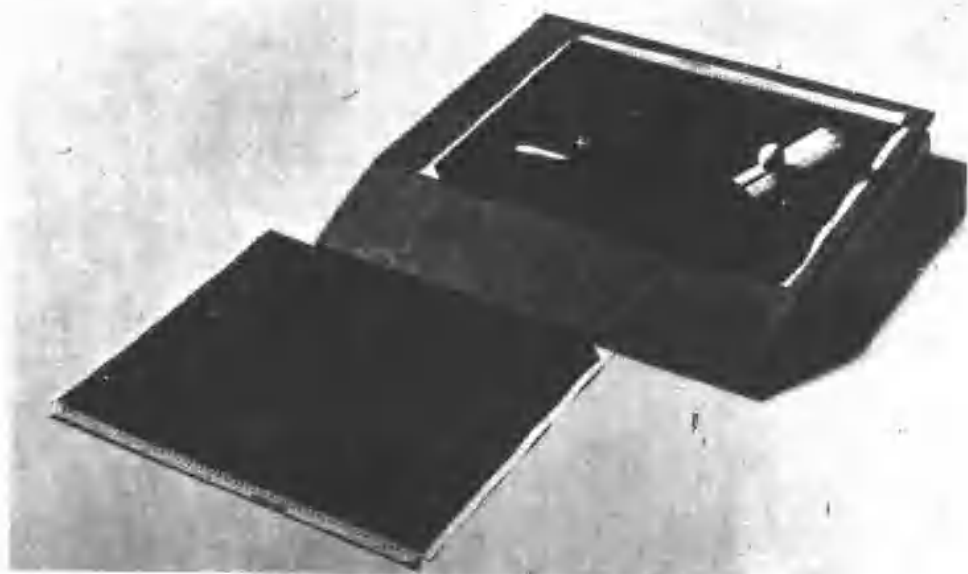


圖1 將兩個水平的平面一短斜坡連接起來。在兩個水平面上各貼一張白紙，紙的邊緣必須碰到斜坡的上、下端。在白紙上各固定一張複寫紙。

7. 彈簧上的波

這個實驗是研究波的運動情形的。

在一平滑的地板上，將彈簧的一端固定，而由另一端將彈簧拉長為 10 公尺左右。經過一番練習之後，便可使彈簧產生一短而易於觀察的脉波；仔細觀察脉波沿著彈簧運動的情形，脉波的形狀和速率是否有改變？

振動彈簧以生成數個形狀、大小不同的脉波；波傳送的速率與波的大小是否有關？如要精確觀察波的傳送速率，可讓波來回走若干次，同時假設波速不受反射的影響，如何可以曉得這個假設是否成立？

將兩根完全相同的彈簧延伸至不同的長度。此時兩彈簧是否代表不同的介質？所生脉波的波率是否受彈簧張力的影響？如從彈簧的兩端同時各產生一脉波，試問兩脉波相交時的情形如何？將大小形狀不同的脉波由兩邊輸入，或由同一邊輸入，則其相交的情形如何？

當兩波相交時，彈簧所生的最大位移，與各波單獨存在時的最大位移有什麼關係？記錄下產生脉波時手振動的幅度，便可得到個別脉波的最大位移。為了方便起見，可請第三者用粉筆在地板上記錄兩脉波相交時所生之最大位移。

脉波在兩根連接在一起的不同彈簧上傳動的情形，跟它在不同介質中傳送的情形相同；如圖 1 所示。在兩根彈簧的接頭處，波的運動情形如何？

如將一彈簧接到一細長的繩子上（圖 2），則當脉波由彈簧傳送至繩子時如何反射？將此種情況下脉波的反射，與脉波在彈簧固定的一端反射的情形作一比較。脉波在繩子上傳送的速率比在彈簧上大還是小？



圖 1

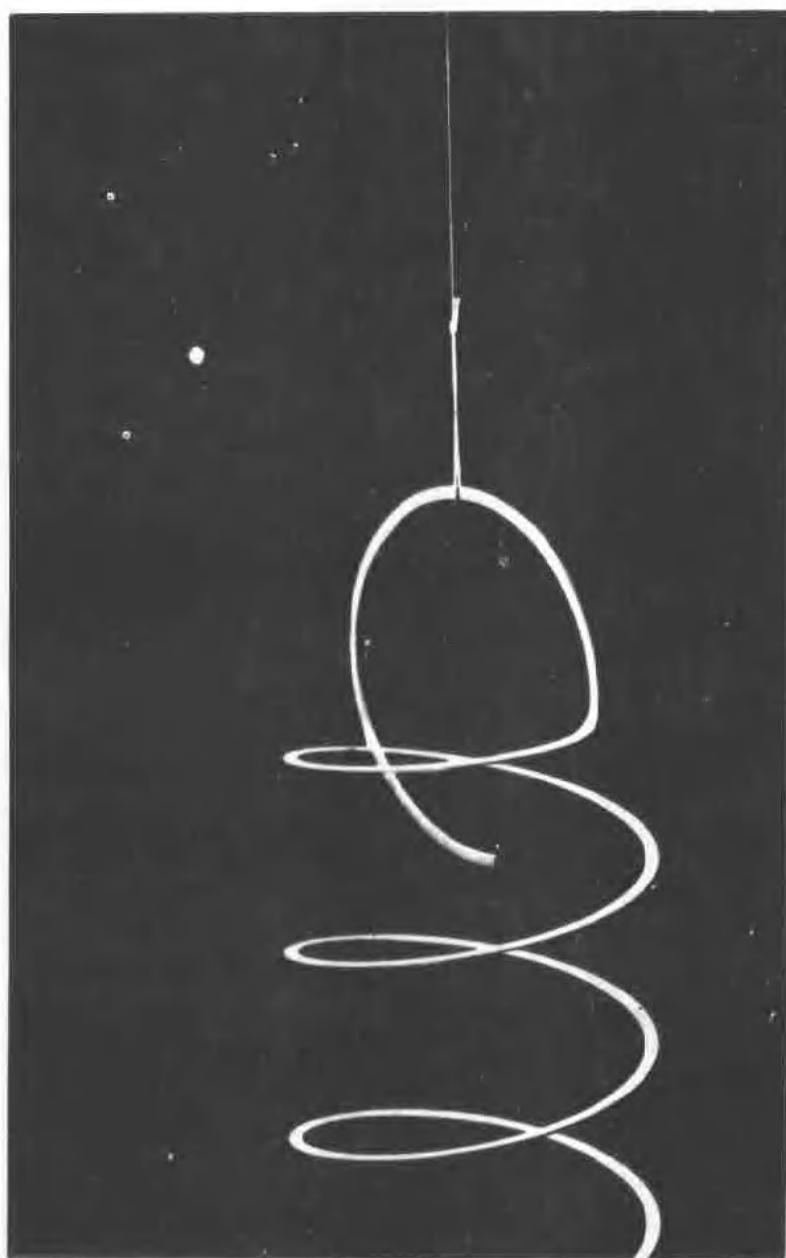
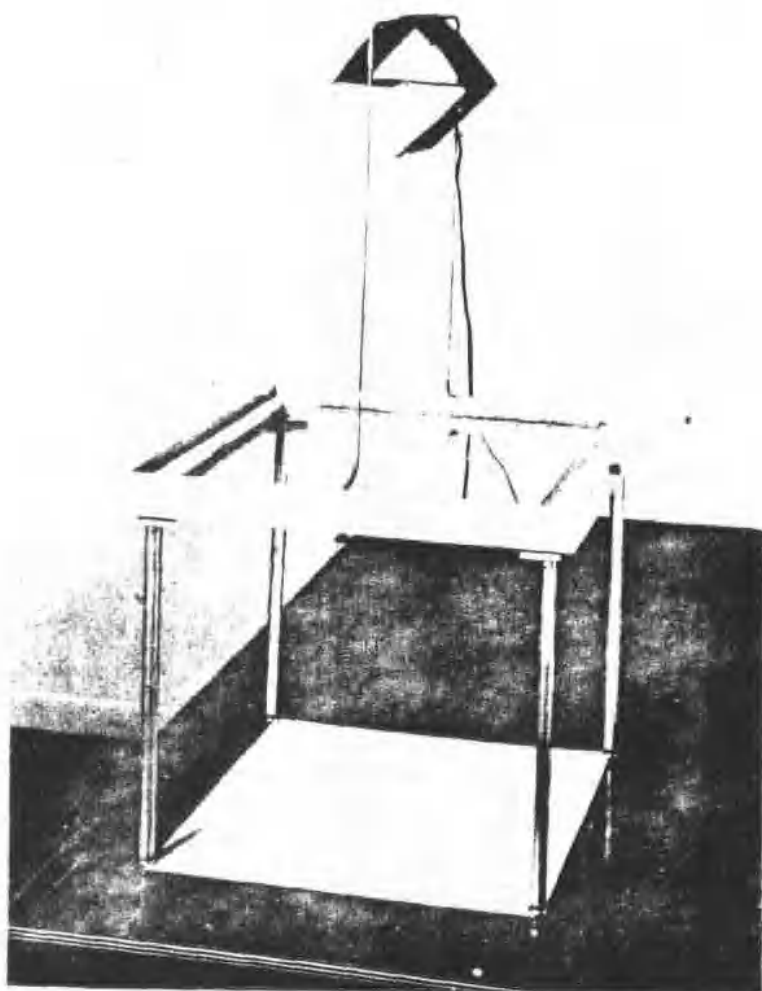


圖 2

8. 波槽中的脈動波

照圖一所示，裝置一個波槽，紙幕，和光源。波槽必須水平；在槽中盛 $\frac{1}{2}$ 至 $\frac{3}{4}$ 公分高的水。用這個裝置可以很容易地看出波的各種傳送情形。這個方法比利用彈簧好的地方是，波的傳送不只限於直綫的方向。如用指尖輕點波槽中的水，則在紙幕上看到的波是什麼形狀的？是否各方向的波速都相同？



在波槽中，我們可以利用一可轉動的軸，在波槽一邊的水面附近滾動一小段距離，以生成一直綫脉波。生成的直綫脉波在波槽中移動時，是否能維持直綫進行？在波槽中放一擋板，再由不同的方向產生脉波。當直綫脉波以不同的入射角打到擋板時，波反射的方向如何？反射的波是否仍是直綫脉波？折射角與入射角間的關係又如何？

如果入射波是圓形，當它碰到擋板時的反射情形如何？能否找到反射波的波心（亦即入射波波心的像）？如何能解釋以上實驗的結果？



圖 2 阻尼器的放置方法（阻尼器可防止波的反射）