

「振動實驗器的製作」與研究

國中組物理科第一名

高雄市立壽山國民中學

作者：蔡丞、邱少華

指導教師：邱俊義、林聖書

一、研究動機

- (一)暑假參加科學研習，教授讓我們實地操作，來瞭解一些物理現象，讓我們感到興趣的是有關波動（振動）現象，如(1)藉由示波器而瞭解聲音振動的週期性和二維簡諧振動。(2)梅爾得實驗：藉電振音叉與繩的振動而瞭解駐波與共振原理，其中波速的計算還是由一個我們不瞭解的公式 $v = \sqrt{T/\rho}$ 而得。因為我們只瞭解 $v = f \lambda$ 以求波速。
- (二)在物理課本分子模型中讀過一個模型：粒子周圍都有6個粒子，且其間引力以彈簧相連接示意，我們想知道該粒子到底是作何種運動？
- (三)由以上研習營的活動和設計實驗，我們決心自行設計一個新的機械式的振源，又能改變振動的振幅，又能改變振動頻率的振源，又能直接測量頻率，來進行一連串的振動實驗。

二、研究目的

- (一)二維振動：一質點在平面兩直交方向作簡諧振動。
- (二)三維振動：一質點在空間三直交方向作簡諧振動的運動情形→模擬晶體振動。
- (三)三維振動補充設計：利用自製儀器將「平面二維擺」設計改裝成在空間三直交方向作簡諧振動的運動情形→可模擬晶體振動。
- (四)改進暑假科學研習營中「梅爾得實驗」利用繩的振動而瞭解駐波與共振原理。
- (五)螺線彈簧所生的「橫駐波」與共振之研究。
- (六)利用螺線彈簧「橫駐波」看「複音振動」之形成。

三、設計裝置過程

- (一)組合振盪器：
 1. 利用馬達帶動皮帶輪，兩齒輪（由報廢的影印機拆下），齒輪可降低轉速用，其中一齒輪上鑽小洞。
 2. 透明壓克力片一端鑽一孔洞黏上軸承，中間鋸一寬約2mm的凹槽，壓克力片成

了一支振動桿。因為壓克力振動桿的振動是一個弧線，若在振動桿一端黏貼一平面鏡後，振動桿經由雷射光點的入射角改變，反射後即可在屏幕上得一直線的簡諧振動。

(二)簡易穩壓電源供應器（以改變振盪器的振動頻率）：略

(三)自製測定振動頻率：取一計數器（由報廢的電動玩具拆下）和其控制開關，將鑽小洞之齒輪緣插入一細鋼銷，當齒輪轉動後，輪緣之細鋼銷和計數器之開關接觸後，即可計數齒輪轉動次數，即可算出振盪器之振動頻率。

四、研究步驟

(一)二維振動：

1. 將一振盪器置於x軸方向，一振盪器置於z軸作上下方向振動，取一雷射光源入射z軸振盪器後，反射至x軸振盪器，再反射至屏幕上（xz平面）。
2. 固定振動頻率 f_x ，逐次調整振動頻率 f_z ，觀察質點雷射光點在屏幕上的振動軌跡，及測量振動頻率 f_x ， f_z 。

(二)三維振動：（可模擬解釋晶體的振動）

1. 將一振盪器置於x軸，一振盪器置於y軸，且x軸和y軸之兩振盪器必須垂直（以直角規檢查），另一振盪器置於z軸，使三個振盪器同時均作簡諧振動，再以雷射光源入射反射至三個振盪器上（可藉助平面鏡調整角度）。
2. 雷射光先入射z軸振盪器反射至x軸，再反射至y軸振盪器。
3. 雷射光先入射y軸振盪器反射至z軸，再反射至x軸振盪器。
4. 雷射光先入射x軸振盪器反射至y軸，再反射至z軸振盪器。

(三)三維振動補充設計：利用自製儀器將「平面二維擺」設計改裝置成在空間三直交方向作簡諧振動的運動情形→可模擬晶體振動。（步驟略）

1. 爲了確實觀察此球作何種運動，我們在球的三個面，xy面，yz面，xz面，各裝一個發光二極體攝影觀察三個面的運動軌跡圖形。

(四)繩的共振與駐波：（振動桿振動方向與繩垂直）

1. 取一繩長110cm，一端懸一砝碼10gw，另一端接振盪器，調整振源頻率，直到繩上產生明顯駐波數目2個3個，分別測定產生駐波時的振源頻率及波長（由計數器即可求出振動頻率）。
2. 改變繩長，同上分別記錄產生駐波時的振源頻率及波長。
3. 固定繩長130cm，改變砝碼重，分別求出記錄當不同砝碼重時，繩上產生明顯不同駐波數目時的振源頻率。

(五)螺線彈簧所產生的「橫駐波」與共振：

1. 取一彈簧一端接振盪器，另一端固定於滑輪上，當振動時，在彈簧內產生橫波，調整振源頻率直到彈簧上產生明顯駐波數目1, 2, 3個時，分別測定產生駐波時的振源頻率及波長。
2. 移動定滑輪一端改變彈簧長度，操作同上。
3. 改變k值不同的彈簧，重覆操作同上。

(六) 利用螺線彈簧「橫駐波」看「複音振動」之研成。

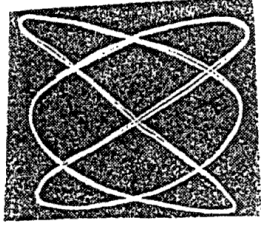
1. 取一螺線彈簧兩端各接一振盪器，以下稱AB振盪器為 f_A 及 f_B 。
2. 將B振盪器不動，調整 f_A 使彈簧產生一個駐波，關調電源但不改變 f_A ，調整 f_B 使之產生二個或三個駐波。
3. 使 f_A, f_B 同時振動，觀察波形。

五、研究結果

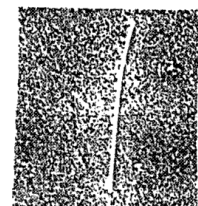
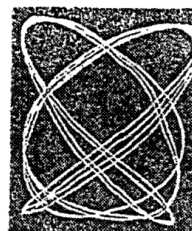
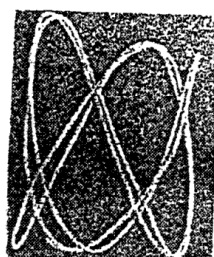
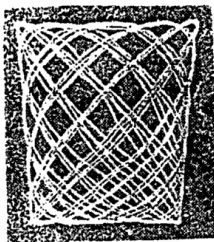
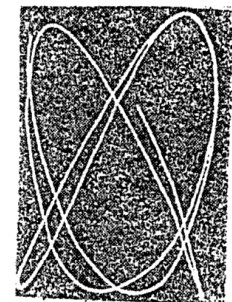
(一) 二維振動：(下列只列出部份資料與圖形)(由表一至表九)

1. 固定水平方向振動頻率，逐次調整鉛直方向振動頻率：
2. 固定鉛直方向振動頻率，逐次調整水平方向振動頻率：

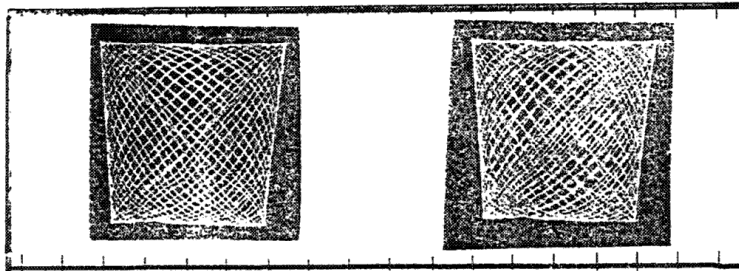
表二

x 軸	z 軸	質點振動軌跡
10秒內計數器 讀數之變化量	10秒內計數器 讀數之變化量	
187265 - 187228 = 37	115199 - 115174 = 25	
187301 - 187265 = 36	115223 - 115199 = 24	
187337 - 187301 = 36	115247 - 115223 = 24	
36	36	
頻率比值 3 : 2		

(頻率部份略)



下面列出二張振動軌跡較密且複雜軌跡： f_x 和 f_y 頻率比值接近1（但不等於1）



(二)三維振動：（因篇幅關係，數據略）

(三)三維振動補充設計：利用自製儀器將「平面二維擺」設計改置成在空間三直交方向作簡諧振動的運動情形→可模擬晶體振動（只列出一組）

表十三

Z 軸	X 軸	X 軸
10 秒內計數器 讀數之變化量	$l_{xa} = l_{xa'} = 70\text{cm}$	$l_{yb} = l_{yb'} = 70\text{cm}$
707142 - 707122 = 20	$\theta_A = 3^\circ$ $\theta_{A'} = 3^\circ$	$\theta_B = 4^\circ$ $\theta_{B'} = 5^\circ$
707161 - 707142 = 19		
707181 - 707161 = 20		
20		
$f_z = 2.0$		

XZ面軌跡圖形	YZ面軌跡圖形	XY面軌跡圖形

(四)繩的共振與駐波：（數據太多，只列出部份數據）

1. 固定張力 $T=10\text{gw}$ ，改變繩長 $L=110\text{cm}$ ， 120cm ……（數據略）

2. 固定繩長 $L=130\text{cm}$ ，改變張力大小（改變砝碼懸重）

表十八

張力 $T(\text{gw})$	駐波 數目	波長 入 (cm)	10秒內計數器 讀數之變化量	頻 率 $f(1/\text{s})$	波 速 $v(\text{cm}/\text{s})$	波速 V 平均 值
10	2	130	702306-702246=60	6.100	793.00	793.75
			702368-702306=62			
			702429-702368=61			
	3	86.67	702523-702429=94	9.167	794.50	
			702613-702523=90			
			702704-702613=91			
20	1	260	702750-702704=46	4.333	1126.58	1122.29
			702792-702750=42			
			702834-702792=42			
	2	130	702919-702834=85	8.600	1118.00	
			703004-702919=85			
			703092-703004=88			

30	1	260	703148-703092= 56	5.367	1386.58	1380.14
			703200-703148= 52			
			703252-703200= 52			
	2	130	703359-703252=107	10.57	1373.71	
			703463-703359=104			
			703569-703463=106			
40	1	260	703631-703569= 62	6.133	1594.58	1590.29
			703693-703631= 62			
			703753-703693= 60			
	2	130	703874-703753=121	12.20	1586.00	
			703996-703874=122			
			704119-703996=123			

在此實驗過程中當我們發覺繩子張力 T 和波速有關，尤其是 $T=10\text{gw}$ 和 $T=40\text{gw}$ ，其波速比值約 $1:2$ ，於是我們又做了一個有趣實驗：在 $T=40\text{gw}$ 駐波數目為1個時，我在不改變振動頻率下，將 T 減至 10gw ，發現駐波數為2個，於是我們討論波速 V 和張力 T 關係（略）

(五)螺線彈簧所生的「橫駐波」與共振：

1. 彈簧 K 值 $=1.28\text{gw/cm}$ ， $L=60\text{cm}$

表十九

駐波數目	波長入 (cm)	10秒內計數器讀數之變化量	頻率 $f(1/\text{sec})$	波速 $v(\text{cm}/\text{s})$
1	120	$704166 - 704120 = 46$	4.533	543.96
		$704211 - 704166 = 45$		
		$704257 - 704211 = 46$		
2	60	$704347 - 704257 = 90$	9.200	552.00
		$704441 - 704347 = 94$		
		$704533 - 704441 = 92$		
3	40	$704671 - 704533 = 138$	13.767	550.68
		$704808 - 704671 = 137$		
		$704946 - 704808 = 138$		

2. K 值不變：彈簧長 $L=80\text{cm}$

表二十

駐波數目	波長入 (cm)	10秒內計數器讀數之變化量	頻率 $f(1/\text{sec})$	波速 $v(\text{cm}/\text{s})$
1	160	$704992 - 704946 = 46$	4.533	725.28
		$705038 - 704992 = 46$		
		$705083 - 705038 = 45$		
2	80	$705174 - 705083 = 91$	9.200	736.00
		$705267 - 705174 = 93$		
		$705359 - 705267 = 92$		
3	53.3	$705497 - 705359 = 138$	13.800	735.54
		$705635 - 705497 = 138$		
		$705773 - 705635 = 138$		

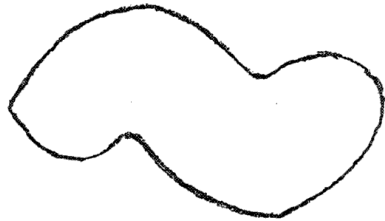
由於1、2我們發覺：當駐波生時，若將彈簧長度增長（移動另一端），產生駐波的數目及共振頻率卻不改變。……這和繩共振不同。

3. 同上：同質料彈簧，改變 K 值=1.92gw/cm，彈簧長 $L=60$ cm（數據略）

(六)利用螺線彈簧「橫駐波」看「複音振動」之形成：（部份略）

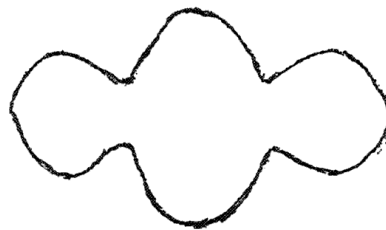
1. 調整 f_A 使彈簧產生一個駐波

調整 f_B 使彈簧產生兩個駐波



2. 調整 f_A 使彈簧產生一個駐波

調整 f_B 使彈簧產生三個駐波



六、研究討論

(一)二維振動：（照片中所顯示之振動軌跡，均夜間以B快門拍攝）

1. 我們在屏幕觀察振動波形時，波形由直線軌跡→橢圓軌跡...→直線軌跡反覆循環，那是 f_x 和 f_z 起始相位差值一直在變化所造成的現象，經我們研究結果起始相位差一直在改變的原因？（原因該在振盪器儀器的不同源）

2. 我們由屏幕觀察出不同的振動軌跡，（表一） $f_x : f_z = 3 : 1$ ，（表二） $f_x : f_z = 3 : 2$ ，（表三） $f_x : f_z = 6 : 5$ ，（表四） $f_x : f_z = 3 : 4$ ，（表五） $f_x : f_z = 3 : 5$ ，（表六） $f_x : f_z = 5 : 4$ ，（表七） $f_x : f_z = 13 : 12$ ，（表九） $f_x : f_z = 1 : 2$

3. 我們由自製測頻器獲得一個結論：

(1) 當 f_x ， f_z 兩頻率比值不同時，質點的振動軌跡就不同。

(2) 當 f_x ， f_z 兩頻率比值愈小時，即愈接近1時，但不等於1，其軌跡愈複雜且密。

(二)三維振動：

1. 雷射光先入射 z 軸反射至 x 軸，再反射至 y 軸振盪器：先由 f_z ， f_x 在 ZX 面合成振動圖形，因 f_y 振動方向和 ZX 面垂直，所以改變 f_y 頻率皆不會影響振動的軌跡圖形。

2. 雷射光先入射 y 軸反射至 z 軸，再反射至 x 軸振盪器：略

3. 經由1，2的三維振動實驗：我們推論一粒子若同時受到三個兩兩互相垂直的簡諧振動，該粒子的運動情形，可以解釋為在 ZX ， XY ， YZ 三個平面出現三種具有週期性的運動軌跡。

(三)三維振動補充設計：模擬晶體振動

1. 由三維振動的實驗顯示出：在固體中的晶體例如 $NaCl$ 它是有規則地由鈉離子

及氯離子，相互排列在立方晶體上，如圖：1粒鈉離子在作運動時，同時受到6粒氯離子力的作用，產生X，Y及Z三個方向，三組頻率的簡諧振動影響，同時在xy，yz，xz三個平面上會有振動軌跡出現。

2. 當Z軸振動頻率改變時，xz面和yz面振動軌跡會改變，但xy面振動軌跡卻不改變，是因為Z軸振動方向和xy面垂直。
3. 當Y軸振動頻率改變時，xy面和yz面振動軌跡會改變，但xz面振動軌跡卻不改變。（結論同上）

(四)利用繩的振動瞭解駐波與共振原理：（部份略）

1. 當繩之張力 $T=10gw$ ， $L=110cm$ 固定時改變振盪器之振動頻率，使繩產生2個，3個不同的駐波數目，再由 $v=f\lambda$ 計算得知波速都相同，改變 $L=120cm$ ， $130cm$ 計算後亦獲得波速亦相同。（在不改變繩的性質下）
2. 由1我們推論波速可能和繩之張力 T 有關，於是我們固定繩長 $L=130cm$ 改變繩之張力，由數據顯示張力 T 愈大，波速愈快，且由關係圖得知波速 v 和張力 T 的平方根成正比。

(五)螺線彈簧所產生的「橫駐波」與共振：

1. 由數據顯示：彈簧的橫駐波現象和繩相同，也是由很多數目的共振頻率，兩端張力愈大時，即螺線彈簧愈長時，波速亦愈快。
2. 我們發覺：當駐波發生時，若將彈簧長度增長（移動另一端）產生駐波的數目及共振頻率卻不因彈簧長度的增長而改變。這一點是和繩共振唯一不相同的地方。我們推測：若 $v=\sqrt{T/\rho}$ 公式還成立的話，因彈簧長度增長 T 增大， ρ 變小，則導至 T/ρ 變大，所以波速 v 也增大。這裡和我們的實驗結論相同：彈簧增長則 λ 增加而共振頻率 f 不改變，由 $v=f\lambda$ 得知波速 v 變大。
3. 同質料， k 值不同的彈簧，當彈簧長度相同時， k 值愈大的彈簧，傳遞波的速度也愈大。

(六)利用螺線彈簧「橫駐波」看「複音振動」之形成。

1. 以一個駐波模擬基音振動，二個或三個駐波模擬泛音振動，合成複音振動波形。
2. 若兩彈性振動體，當其振動時若基音振動相同，但其泛音振動不同或泛音振動數目不同時，其合成複音振動波形也就不同即音色就不同。

七、結論

(一)經由自製振盪器的教具二維振動實驗，使我們輕而易舉的瞭解：

一質點在兩直交簡諧振動下，當兩頻率比值不同時，質點會產生不相同的運動

- 軌跡。且頻率比值愈接近1時（但不等於1），質點振動軌跡愈複雜，但有週期性。
- (二)經由三維振動實驗：我們瞭解一粒子在兩互相直交的三組振動頻率影響下，該粒子的運動情形，事實上是可以用三個面(XY，YZ，ZX)的週期性運動軌跡來解釋晶體的振動情形。
- (三)由繩的共振實驗：使我們瞭解要產生共振時，必須策動頻率等於繩的固有頻率，同時我們也瞭解物理課本中兩音叉的共振實驗，必須兩音叉頻率相同才可發生。地震波來時，若引起房屋的共振，那麼振幅加大，則易造成房子倒塌。

八、參考資料

(一)國中物理課本。(二)攝影用書。(三)科學研習營參考資料。(四)高雄市卅二屆科學展覽作品。(五)基本物理學。(六)機械設計用書。

評語

本件作品內容主要在設計一個振盪器，研究觀察二維振動，三維振動之運動情形；並利用繩、螺線彈簧的振動，進行駐波與共振之研究。

整個思考程序具系統化並合乎邏輯，實驗操作生動 熟，且其自製之振盪器教具，富有教學上之實用價值。