

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

佳作

030101

波形密碼--黑繩示波器的波形探討

學校名稱：新竹縣立二重國民中學

作者： 國二 胡芳瑜 國二 郭宇芸	指導老師： 王千祈 張淑娟
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：波數、相位差、波形函數關係式

摘要

「波形密碼」中的“波”，是黑繩示波器上白線反射的光線被黑繩擋住而形成影點，因視覺暫留而殘留並連成波線。首先，發現圓筒曲面經幾何投影會造成波長呈現「短—長—短」的歪像畫狀況，砂帶機則不會；黑繩的擺幅會限制波形振幅，黑棍則不會。第二部分，推導出相位差公式： $\text{相位差} = \frac{\text{波數} \times 360^\circ}{\text{半面白線步數}} = \frac{360^\circ}{\text{半面白線步數} \times \text{轉速比}}$ ，且當相位差為 360° 的整數倍時，波線會完全重合。以及波數公式： $\text{波數} = \frac{1}{\text{轉速比}} = \frac{\text{相位差} \times \text{半面白線步數}}{360^\circ}$ 。第三部分，從經拆解的 A、B、C 組函數關係式開始，最後推出 D 組（圓筒 + 黑繩）的函數關係式： $y = k \cos(f \times \tan(\omega x) + b) \times \cos(ax)$ 或 $y = k \cos(\omega \times |x|^m + b) \times \cos(ax)$ 。

壹、 研究動機

參觀台中自然科學博物館時，對圓筒示波器頗感興趣，加上學校教到有關於波與光的課程，因此萌生自製示波器進行實驗的念頭，但我們撥出的波形卻十分多變，引起我們的好奇，進而開始研究。

貳、 研究目的

- 一、 探討波出現的原因
- 二、 探討砂帶機和圓筒的波形差異
- 三、 探討黑繩與黑棍擺動時製造出的波形差異
- 四、 探討轉速比對波的影響，並推導出波數公式
- 五、 探討白線步數對波的影響，並推導出相位差公式
- 六、 推導實驗中各種波形的函數關係式

參、 研究設備及器材

- 一、設備與材料：PVC 管與接頭、水管膠、C 型管夾及螺絲釘、直尺、透明膠帶、木板、檯燈、熱熔膠槍（膠條）、大型塑膠桶、立可白、黑色壁報紙、電子調光器（110 V / 500 W）、箱扇馬達（東銘 TM-1089，110 V / 60 Hz / 60 W）、魔鬼氈、原子筆筆頭、鐵絲、砂帶機、立可白、墨汁、黑色粗橡皮繩、竹棍、束繩扣、數位相機（Nikon1）及攝影機（型號:HDR-P J580V）。

二、工具：剪管器、銼刀、砂紙、十字起子、捲尺。

三、實驗機構

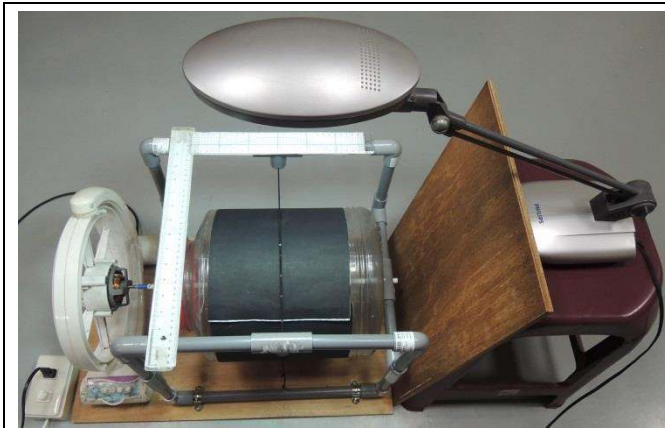


圖 1 圓筒機構



圖 2 砂帶機機構

四、軟體：Movie Maker（量測週期）、OriginPro 7.5（擬合波形的函數關係式）

肆、研究過程或方法

一、定義

- （一）轉速比 = 黑繩（黑棍）週期：圓筒（砂帶機）轉半圈所需時間。
- （二）圓筒或砂帶機上以立可白繪製的直線稱為「白線」，定義每兩條白線之間間隔為「一步」；「半面白線步數」就是半面圓筒（砂帶機）上的白線步數。
- （三）相位差：為兩相鄰白線的相位差（以角度或弧度為單位）。
- （四）完全重合：所有波線疊在一起，只看到一條波線的情況。

二、製作圓筒機構

- （一）用 PVC 管組成架構，並固定在木板上，減少晃動。
- （二）將棒子穿過圓筒，用熱熔膠黏合棒子與圓筒交接處。
- （三）留下箱扇的馬達部分。中軸與馬達以原子筆筆頭連接，使箱扇可以帶動圓筒轉動。
- （四）將黑繩穿過上方兩支 PVC 管，再穿入束繩扣，以束繩扣調整黑繩鬆緊。
- （五）將直尺固定在圓筒機構上。
- （六）捲上畫好白線的壁報紙（如表 1），以箱扇上的按鍵及電子調光器調整圓筒轉速。



圖 3 筆頭連接

表 1 圓筒壁報紙圖樣

編號	白線步數	圖樣	編號	白線步數	圖樣
D-1	2		D-4	12	
D-2	4		D-5	36	
D-3	6		D-5	18	

三、製作砂帶機機構

- (一) 製作砂帶機外的 PVC 管支架，並將黑繩穿過上方兩支 PVC 管，再穿入束繩扣。
- (二) 砂帶機本身傾斜，因此在前端墊木板，使砂帶機約在黑繩下方 2 cm 處。
- (三) 將砂帶染黑，以立可白畫上各種圖樣（如表 2）

表 2 砂帶白線圖樣

編號	半面白線步數	圖樣
B-1	2	
B-2	4	
B-3	8	

四、測量黑繩週期

(一) 黑繩的等時性

取一段黑繩固定在砂帶機的 PVC 管支架上，撥動黑繩並錄影，測量黑繩每次擺動的週期（如附件二），發現黑繩從撥動到靜止，不論振幅大小，週期始終相等，稱之為黑繩的等時性。因此後續在測量黑繩週期時，可以任取一次擺動作測量。

- (二) 將黑繩機構垂直擺放在桌上（如圖 4），繩子尾端分別吊掛砝碼 60 g~180 g，以立可白在黑繩與水管交接處畫上刻度。以錄影方式測量黑繩週期。此外，實驗時會手動微調黑繩鬆緊，再錄影確認其週期，配對出精準的轉速比。



五、手動黑棍：採手動方式，擺動黑棍模擬黑繩製造出波線。

六、器材組合：以表 3 組合進行實驗。

七、配對轉速比：配對 A~D 各組所需的轉速比。

八、實驗步驟：

表 3 實驗器材組合

	黑繩	黑棍
圓筒	D 組	C 組
砂帶機	B 組	A 組

(一) 前置作業：

1. 使用 DV 中的緩慢拍攝效果，測量圓筒（砂帶機）轉半圈所需時間。
2. 以相同方式測量黑繩週期。
3. 配對出合適的轉速比或其他條件。
4. 套上適合的壁報紙（或砂帶）

(二) 實驗進行：

1. 啟動圓筒（砂帶機）機構，待其到達穩定轉速。
2. 撥動黑繩（擺動黑棍）：將黑繩中央拉到固定位置，再放開；或是手持黑棍兩端快速擺動。
3. 用照相機及錄影機記錄波形狀況。

(三) 結果分析：

1. 整理出各個實驗數據中波的波數、相位差，以便推導公式。
2. 推導各波形的函數關係式，以 OriginPro 確認函數關係式是否符合波形。

九、繪製蚌蝸圖：因底圖狀似蚌蝸，故命名為蚌蝸圖。

本圖依據黑繩擺幅及歪相畫繪製，適用於 D 組，用以推測、模擬或紀錄波形。使用時，須知道轉速比及白線分布。

十、推導函數關係式並擬合波形

取適量點座標表示波形，輸入 OriginPro 的表格

中，製成點圖。找出適合的函數關係式，並進行擬合，以便確認該式是否符合波形。由於本研究中有的波形無法以常見的函數解釋，因此自行創建函數關係式。

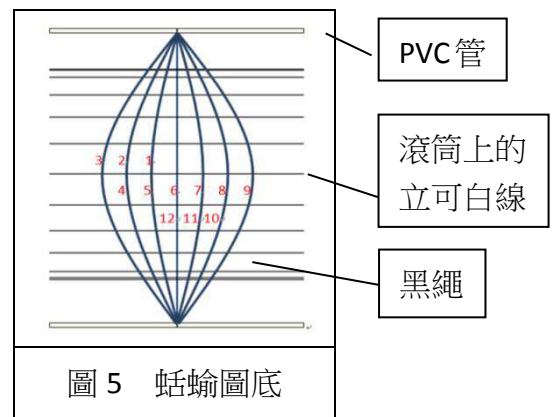
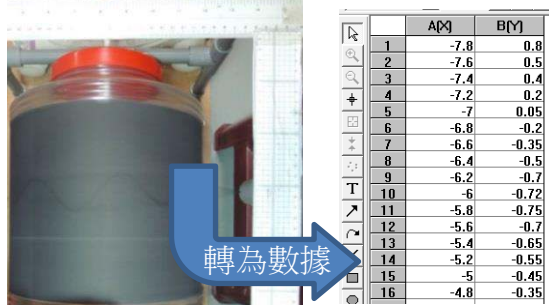
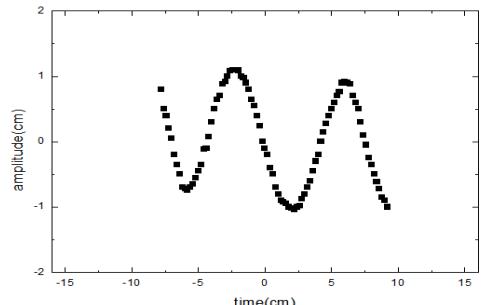
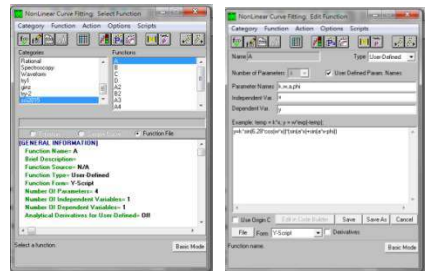
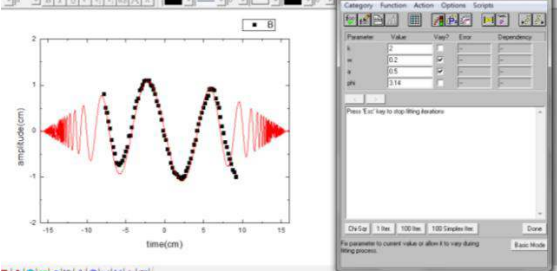


表 4 OriginPro 函數關係式擬合流程

	
<p>步驟 1 將波形上數點的座標輸入</p>	<p>步驟 2 製成點圖，方便在擬合時比較</p>
	
<p>步驟 3 尋找或創建適合的函數關係式</p>	<p>步驟 4 使電腦依參數繪製的座標圖（紅線）與波形數據（黑點）符合，則可能為該波的函數關係式。</p>

伍、 研究結果

一、探討波出現的原因

(一) 實驗一：白線有無對波線的影響（D組）

在壁報紙右半邊畫上白線，左半邊則不畫。啟動圓筒馬達並撥動黑繩，觀察波的情形。

結果：壁報紙右半邊有波線產生，左半邊沒有。證明黑繩示波器上的波線出現，必須有白線反射光線。因為視覺暫留，光線被黑繩擋住而產生的眾多影點會短暫殘留在白線上，連接成一條波線，此即黑繩示波器的原理。

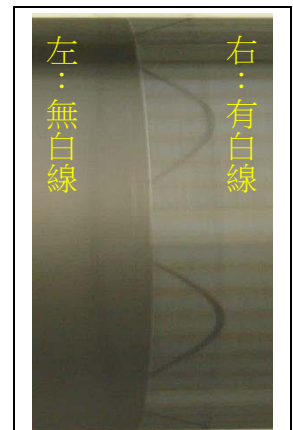


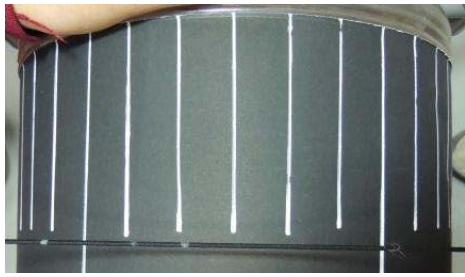
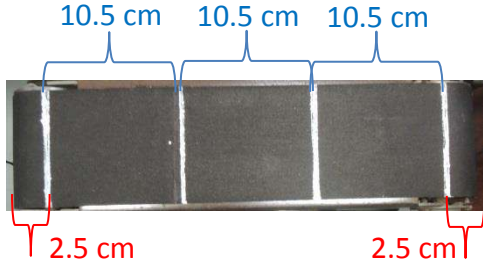
圖 6 實驗一結果

(二) 黑繩做簡諧運動，所以在白線上製造的影點，會連成類似正弦波的波線。

二、探討各組示波器的特性



(一) 圓筒與砂帶機平面結構的幾何投影狀況

表 5 圓筒與砂帶機幾何投影觀察

項目	圓筒（壁報紙 D-5）	砂帶機（砂帶 B-2）
照片		
情形描述	半面白線共 18 步，但平視僅能清楚看到約 13 ~14 步，推論實驗時也無法看到完整波形，因此設想波形時，會將波形延伸達半面的波數。	中間部分白線間距等長，但兩端有縮小，因此設想波形時，會先取中間部分，再將波形延伸達半面波數。

(二) 圓筒與砂帶機的波形比較

表 6 圓筒與砂帶機波形觀察

	圓筒曲面	砂帶機平面結構
轉速比	1:2 (0.045sec : 0.088sec)	1:2 (0.04sec : 0.08sec)
壁報紙或砂帶編號	壁報紙 D-2	砂帶 B-1 (與 D-2 白線數相同)
照片		
波長狀況	短—長—短	等長
圖形上波數	不到 1.5 個	約 2 個
實際波數	2 個	2 個

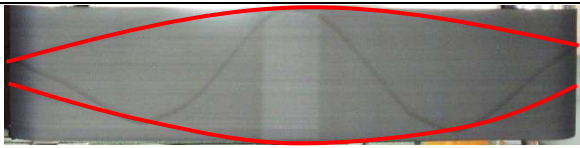
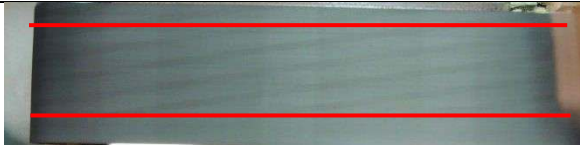

1. 圓筒的圓弧，經幾何投影到平面（視線）上後，圓筒兩端、中間和視線平面的距離不等，造成遠近重疊錯覺，波長呈現「短—長—短」，稱之為歪像畫狀況。砂帶機平面結構則和視線平面距離相等，無遠近重疊錯覺狀況，使波長等長。
2. 在轉速比 1:2 時，圓筒和砂帶機上波形的波數相同，可證明波數不會因圓筒曲面或砂帶機平面而改變。

(三) 黑繩與黑棍的振幅變化比較

實驗二：波形振幅的變化（A 組、B 組）

固定砂帶機轉速並使用砂帶 B-2。使用黑繩或黑棍製造波，觀察波的振幅變化。

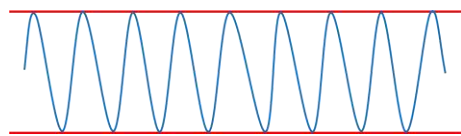

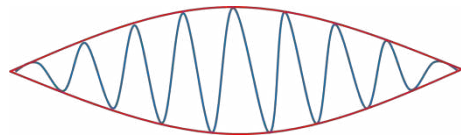

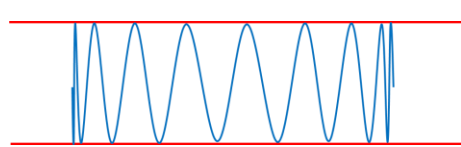

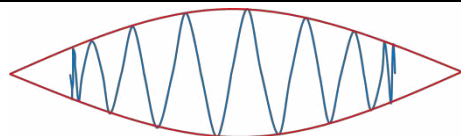

表 7 波的範圍實驗（紅線為波的範圍）

方法	結果	狀況描述
黑繩，轉速比 1:2 (0.04sec : 0.08sec)		波被侷限在上下包絡線之內，即黑繩擺幅之中。
雙手來回平移黑棍		波的範圍類似長方形，和正弦波最相似。
單手左右擺動黑棍		黑棍的彎曲程度最大，波的範圍類似扇形。

1. 波形會侷限在黑繩或黑棍的擺幅中。
2. 由於黑棍以手擺動，擺速較慢，波形不完整。若能加快黑棍擺速，可能製造出和正弦波相近的波。
3. 使用黑繩製造波形時，黑繩擺幅侷限了波形範圍，導致振幅呈現「小—大—小」變化，其中黑繩的擺幅為上、下包絡線。若改用黑棍快速平移，波形振幅會從頭至尾相等，可以去除限制波範圍的包絡線。

(四) 各組示波器的波形

表 8 各組示波器的波形

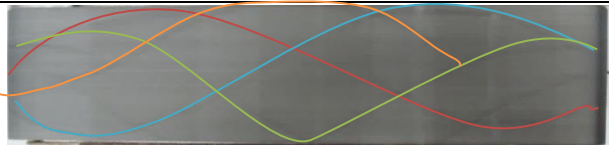
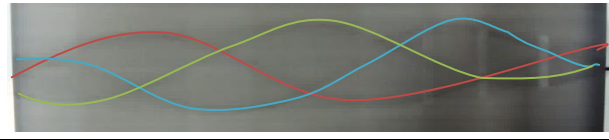
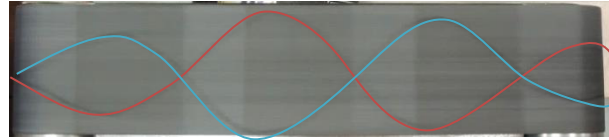

示波器組合	模擬波形	實際波形
A : 砂帶機 + 黑棍		
B : 砂帶機 + 黑繩		
C : 圓筒 + 黑棍		
D : 圓筒 + 黑繩		

由於手的擺動速度較慢，造成 A、C 組波形較不完整，模擬波形是以「黑棍是在做簡諧運動」前提繪製，則 A 組繪畫出類似正弦波的波形，C 組再加上圓筒歪像畫狀況。

三、探討黑繩週期對波的影響——實驗三：黑繩週期對波的影響（B組）

使用砂帶 B-2，固定砂帶機轉半圈所需時間（0.08sec），調整黑繩鬆緊以改變其週期，觀察波形變化。

表 9 黑繩鬆緊對波的影響實驗

黑繩鬆緊程度	黑繩週期 (sec)	結果	波數	相位差
最鬆	0.077 (轉速比 1:1)		1 個波 = 1 ÷ 1	90° = $\frac{360^\circ \times 1}{4}$
次鬆	0.056 (轉速比 1:1.5)		1.5 個波 = 1.5 ÷ 1	135° = $\frac{360^\circ \times 1.5}{4}$
次緊	0.04 (轉速比 1:2)		2 個波 = 2 ÷ 1	180° = $\frac{360^\circ \times 2}{4}$
最緊	0.034 (轉速比 1:2.5)		2.5 個波 = 2.5 ÷ 1	225° = $\frac{360^\circ \times 2.5}{4}$


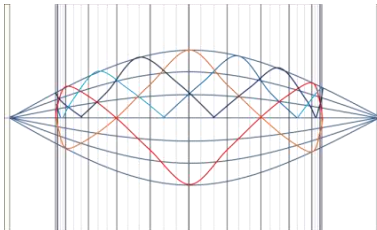
1. 黑繩愈鬆，週期越長，波數愈少；黑繩愈緊，週期越短，波數愈多。
2. 黑繩愈鬆，週期越長，相位差也愈小。

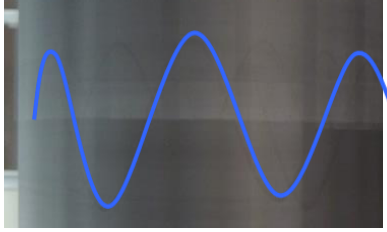
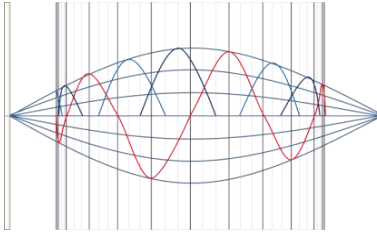
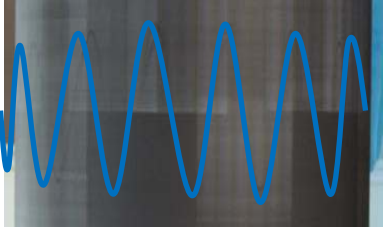
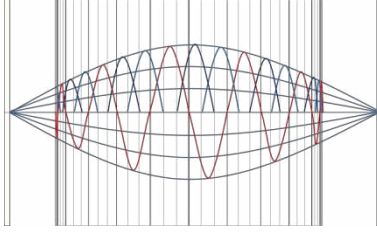
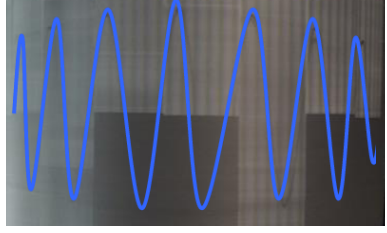
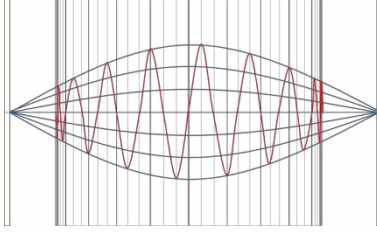
四、探討圓筒轉速對波的影響

實驗四：圓筒轉半圈所需時間對波的影響（D組）

使用壁報紙 D-6，固定黑繩長（週期：0.045 秒），調整圓筒轉半圈所需時間長短，使其轉速比等於 1:1.5、1:3、1:6、1:9 來進行實驗。

表 10 圓筒轉速對波的影響實驗

圓筒轉半圈所需時間 (秒)	轉速比	實驗結果 (藍線標示其中一條波)	蜉蝣圖	波數與相位差
0.0625	1:1.5			1.5 ÷ 1 = 1.5 個波
				$\frac{360^\circ}{9} \times 1.5 = 60^\circ$

0.135	1:3			$3 \div 1 = 3$ 個波 $\frac{360^\circ}{9} \times 3 = 120^\circ$
約 0.25	1:6			$6 \div 1 = 6$ 個波 $\frac{360^\circ}{9} \times 6 = 240^\circ$
約 0.4	1:9			$9 \div 1 = 9$ 個波 $\frac{360^\circ}{9} \times 9 = 360^\circ$

(一) 圓筒轉半圈所需時間愈短，波數愈少；所需時間愈長，波數愈多。

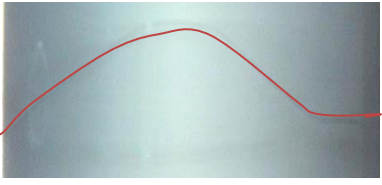
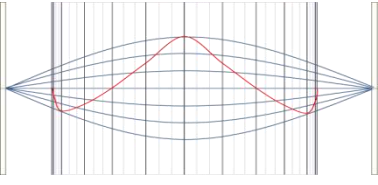
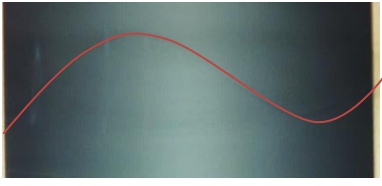
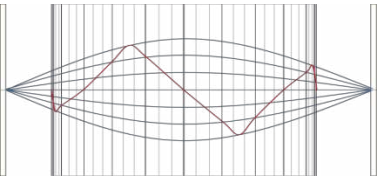
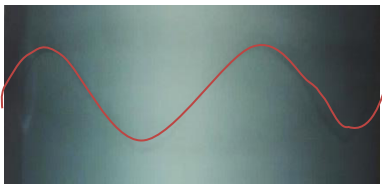
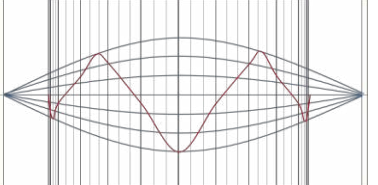
(二) 圓筒轉半圈所需時間愈短，相位差愈小。

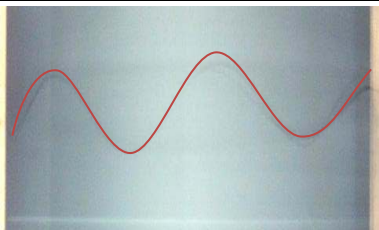
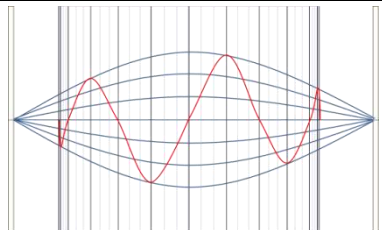
五、探討轉速比對波的影響

(一) 實驗五：轉速比對波的影響 (D組)

固定使用壁報紙 D-1，改變轉速比為：1:1.5、1:2、1:2.5、1:3，探討改變轉速比對波形的影響

表 11 轉速比對波的影響實驗

轉速比	結果	蛞蝓圖	波數/相位差
1:1.5 (0.045sec : 0.071sec)			$1.5 \div 1 = 1.5$ 個波 $\frac{360^\circ \times 1.5}{1} = 540^\circ$
1:2 (0.045sec : 0.071sec)			$2 \div 1 = 2$ 個波 $\frac{360^\circ \times 2}{1} = 720^\circ$
1:2.5 (0.039sec : 0.083sec)			$2.5 \div 1 = 2.5$ 個波 $\frac{360^\circ \times 2.5}{1} = 900^\circ$

1:3 (0.039sec :0.083sec)			3÷1=3 個波
			$\frac{360^\circ \times 3}{1} = 1080^\circ$

由於本實驗的相機快門曝光時間不夠長，無法看出相位落後的現象。如果可以完全呈現，1:1.5 及 1:2.5 時，將可看到兩條波相差 180°。

(二) 發現：


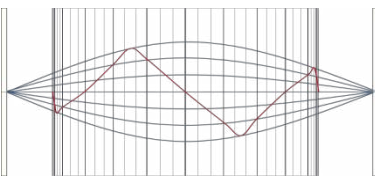
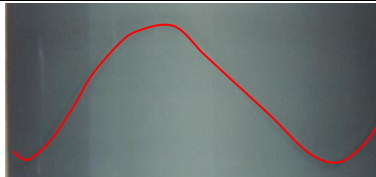
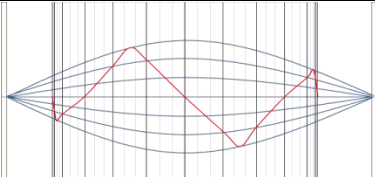
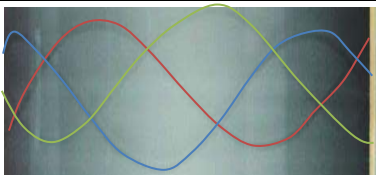
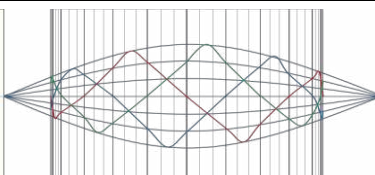
1. 轉速比倒數愈大，波數愈多，且轉速比的倒數就等於波數。
2. 白線步數固定時，波數愈多，相位差愈大。
3. 即使黑繩週期或圓筒轉半圈所需時間不同，只要轉速比相同（如實驗三和實驗五中的 1:2），波數就會相同。調整轉速比，相當於同時調整黑繩週期和圓筒轉半圈所需時間，省去兩項變因分開討論的繁瑣，因此後續研究中會直接使用轉速比。

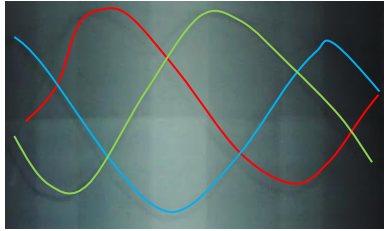
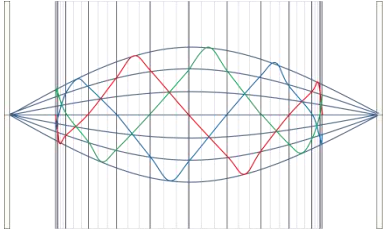
陸、探討白線步數對波的影響

(一) 實驗六：白線步數對相位差的影響——D組

固定轉速比 1:2 (0.045sec : 0.088sec)，分別使用壁報紙 B-1~B-4 進行實驗，探討白線步數對波的影響。

表 12 白線步數對波的影響實驗——D組

組別	壁報紙	結果	蛞蝓圖	波數 (個)	相位差 (°)
一	D-1			2÷1= 2 2 個波	$\frac{360^\circ \times 2}{1}$ =720°
二	D-2				$\frac{360^\circ \times 2}{2}$ =360°
三	D-3				$\frac{360^\circ \times 2}{3}$ =240°

四	D-4			$\frac{360^\circ \times 2}{6}$ $= 120^\circ$
---	-----	---	--	---

第三和四組，雖然相位差不同，相位狀況卻相同。原因是：若有兩條波線，其中波線二落後波線一 120° ，看起來就相當於波線二提前波線一 240° 。在圓筒上波線都是黑色，所以兩種情形看起來相同。

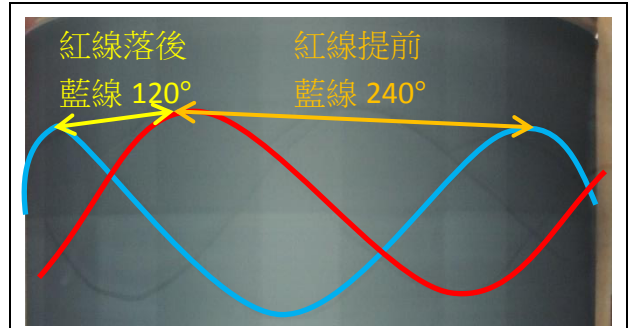
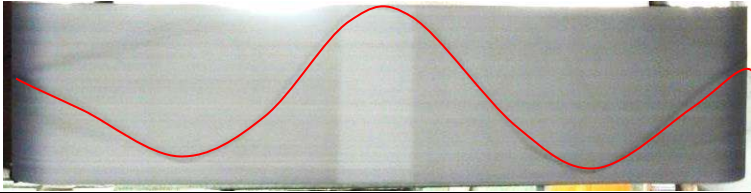
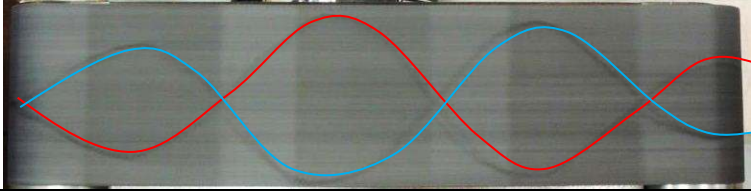
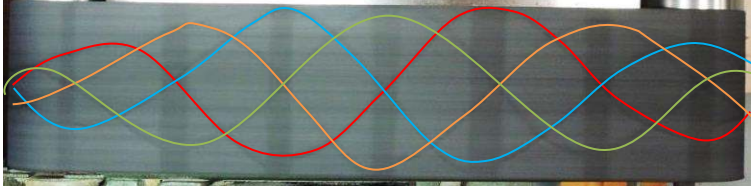


圖 7 相位狀況

(二) 實驗七：白線步數對波的影響實驗 (B組)

固定轉速比 1:2 (0.04sec : 0.08sec)，分別使用砂帶 B-1~B-3 進行實驗，探討白線步數對波的影響。

表 13 白線步數對波的影響實驗 (B組)

組別	砂帶	結果	波數	相位狀況
一	B-1		2 ÷ 1 = 2 個波	$\frac{360^\circ \times 2}{2}$ $= 360^\circ$
二	B-2			$\frac{360^\circ \times 2}{4}$ $= 180^\circ$
三	B-3			$\frac{360^\circ \times 2}{8}$ $= 90^\circ$

(三) 小結

1. 白線步數多寡不會影響波數。
2. 白線步數愈多，相位差愈小。

陸、 討論

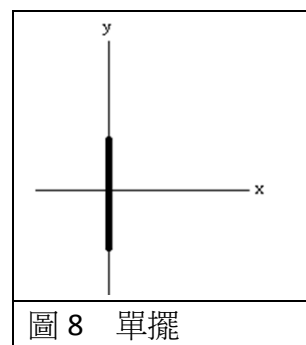
一、示波器上的簡諧運動

(一) 圓筒(砂帶機)和黑繩(黑棍)的運動可以想成是，在一傳輸帶上，有一單擺震盪，而傳輸帶相當於圓筒(砂帶機)上的白線運動，單擺震盪相當於黑繩(黑棍)的擺動。如圖 8，粗線代表一單擺，其最大位移為 A ，而單擺作簡諧運動， $X(\text{位移}) = A\sin(\omega t + b)$ 。

其中 $\omega = 2\pi f$ 為角頻率， b 為相位差。故當傳輸帶沿著 x 軸運動時，單擺會出正弦函數圖形。其函數為：

$$x(t) = vt \quad (\text{等速運動})$$

$$y(t) = A\sin(\omega t + b)$$



(二) 振幅大小與弦左右搖擺的量相同，而在駐波中，繩子擺動振幅最大的位置叫波腹，在正弦波的最大振幅會因為給予的能量(撥弦的大小)以及時間因素受影響，而時間過久了繩子所儲存的能量也會慢慢消耗，最終到達靜止，振幅歸零。

二、波數公式推導：

- (一) 轉比前項固定時，後項愈大，波數愈多。因為以波的角度來說，轉速比前項相當於波的週期，後項則是欲求的時間長短，若週期固定，欲求時間愈長，波數會愈多。
- (二) 白線步數改變不會影響波數多寡。
- (三) 波數公式的推導：

欲計算某波在一段時間內製造出的波數，可以列出公式(1)：

$$\text{波數} = \frac{\text{欲求時間長度}}{\text{某波週期}}$$

如果轉換成本研究的情形，則可以列出下列公式(2)：

$$\text{波數} = \frac{\text{圓筒(砂帶機)轉半圈所需時間}}{\text{黑繩週期}}$$

平視圓筒或砂帶機時，只能看到半面的波。一條白線每回出現的時間長短就是「圓筒(砂帶機)轉半面所需時間」，能產生多少個波則由黑繩週期決定。

事實上，公式(2)所求出的值就是轉速比的倒數。因此可整理出「波數公式」：

$$\text{波數} = \text{轉速比的倒數} = \frac{1}{\text{轉速比}}$$

在研究報告中，波數都是以波數公式運算，例如轉速比 1:1.5 時的波數等於「 $1.5 \div 1 = 1.5$ 個波」即是以轉數比後項除以前項，算出轉速比的倒數。

三、相位差公式與完全重合原則：

- (一) 白線步數固定時，波數越多，相位差愈大。白線步數固定代表波線起始點的距離固定，此距離中波數愈多，相位差也就愈大。
- (二) 白線步數愈多，相位差愈小，波線愈密。因為固定空間內白線步數愈多，相當於各條波形距離愈近，在波數固定時，相位差就會愈小。
- (三) 實驗七為例，已知三組的轉速比皆是 1:2，則畫面上會有 2 個波。(如表 14)

表 14 實驗七相位差整理

組別	總波數	半面白線步數	每步分得波數	相位差 (每步波數的總角度)	相位狀況
一	2	2	1	360°	完全重合 (相鄰兩線中，第二條波落後第一條波 360°後，又會與第一條波重疊)
二		4	$\frac{1}{2}$	180°	落後 180° (半個波)
三		8	$\frac{1}{4}$	90°	落後 90° (四分之一個波)

由上表可以整理出相位差的計算公式：

$$\text{相位差} = \frac{\text{波數} \times 360^\circ}{\text{半面白線步數}} = \frac{360^\circ}{\text{半面白線步數} \times \text{轉速比}}$$

若欲求的兩白線並未相鄰，則再乘上「兩線相差步數」

(四) 完全重合原則

實驗六中的第一、二組，相位差分別是 720°、360°，波線都能完全重合；實驗七中的第一組，相位差是 360°，亦能完全重合。它們的相位差都是 360°的整數倍，由於剛好相差整數個波（360°為一個波），落後的波線能與提前的波線疊合。如果相位差是 180°，會相差半個波，就無法疊合。整理出**完全重合原則：當相位差為 360°或其整數倍時，會完全重合。**

(五) 相位差公式推回波數公式

得知相位差及白線步數，也可計算波數。公式如下：

$$\text{波數} = \frac{\text{相位差} \times \text{半面白線步數}}{360^\circ}$$

公式中「相位差 × 半面白線步數」就是算出「半面共有多少角度的波」，再以每個全波為 360° 計算出波數。

四、推導波形的函數關係式

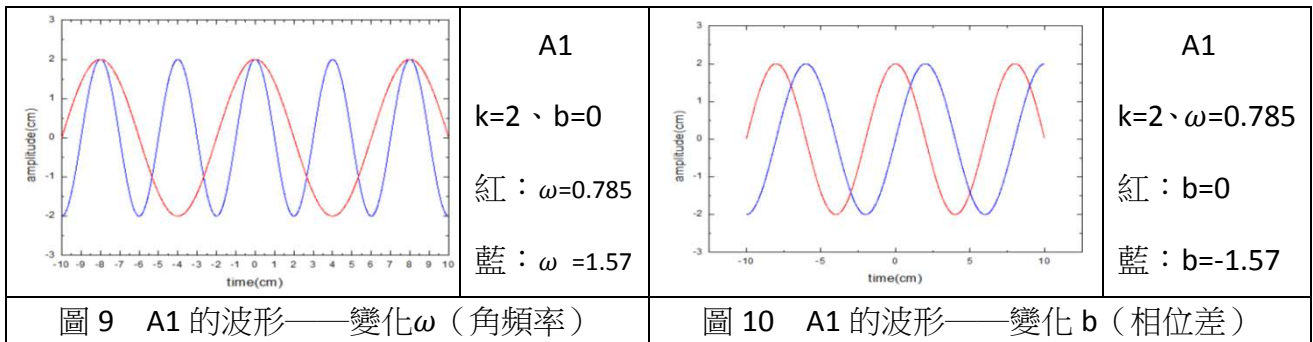
欲找出一條波形能符合 D 組實驗數據的座標點函數關係式，解釋波形結構，但觀察發現一般常見函數關係式無法符合此波形，所以決定自行創建。但 D 組波形較為複雜，嘗試從較波形單純的 A、B、C 組開始推導函數關係式。

(一) A 組函數關係式——正弦波形

A 組〈砂帶機 + 黑棍〉的波形是一條類似正弦波的波形。若以三角函數來表示，類似正弦波形的有正弦函數 (sin) 和餘弦函數 (cos)，兩者的波形相差 $\frac{\pi}{2}$ 弧度，但可用相位差 b 調整，所以只列出後者：

$$A1: y = k \cos(\omega x + b)$$

其中 k 為振幅， $\omega = 2\pi f$ 為角頻率， b 為相位差。



(二) B 組函數關係式——加入黑繩擺幅

B 組〈砂帶機 + 黑繩〉相較於 A 組，多了使振幅呈現「小—大—小」的黑繩擺幅。對於呈現黑繩擺幅，先後有兩個想法。

1. 想法一：上、下包絡線

試以相差 π 弧度的上、下包絡線模擬黑繩振幅 (如圖 11)

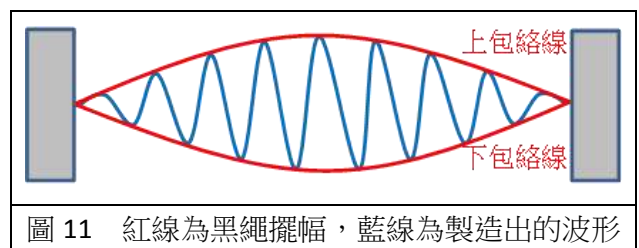


圖 11 紅線為黑繩擺幅，藍線為製造出的波形

上下包絡線各自是一連續波形，不過本研究只取其中半個波的範圍模擬黑繩擺幅。

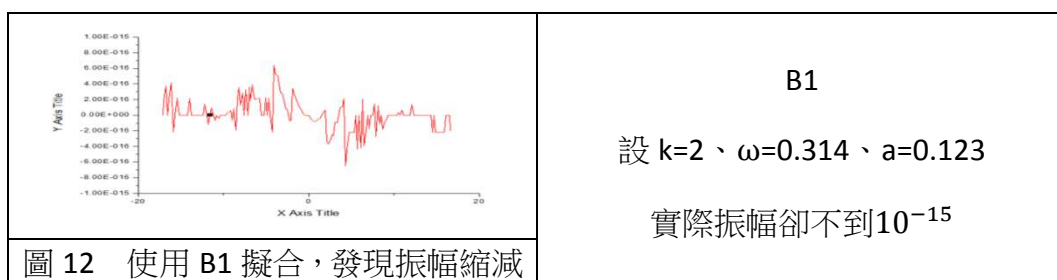
先推出上包絡線之函數關係式為： $y = k \sin(ax)$ 。其中 a 為包絡線之角頻率。

下包絡線則落後了上包絡線 π 弧度，可得其函數關係式： $y = k \sin(ax - \pi)$ 。

將上、下包絡線放到 **A1** 的式子中。得 **B1**：

$$y = k \cos(\omega x) \times [\sin ax + \sin(ax - \pi)]$$

但在使用 **B1** 擬合時，發現波形的振幅會比輸入值還小（如圖 12）。



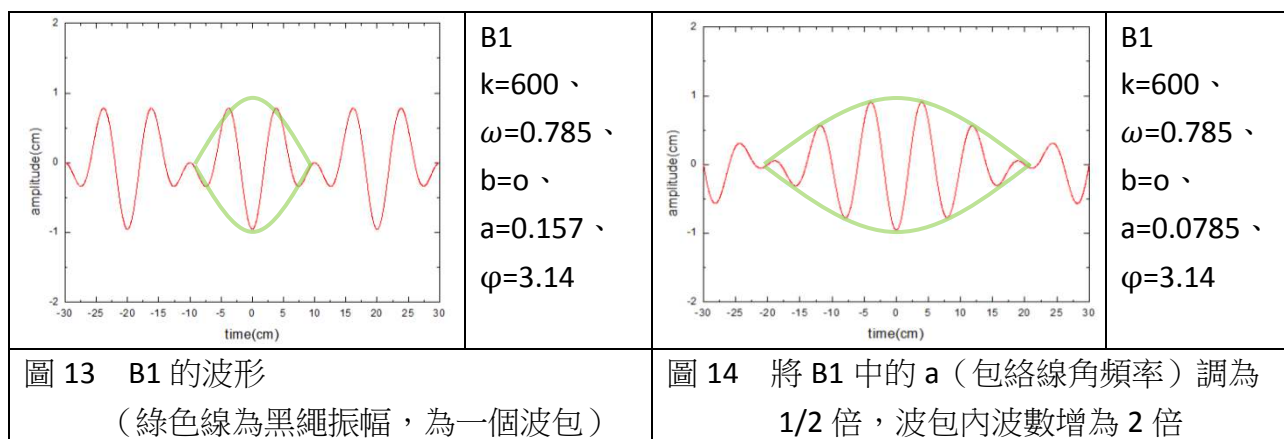
推測振幅變小的原因在於 π 。單看 **B1** 中的 $[\sin ax + \sin(ax - \pi)]$ ，兩項相加應等於 0。但擬合軟體中的 π 值和實際 π 值有些許誤差，使兩項相加後不等於 0， k 可能因為乘上這個極小的值，而變成極小的數。

為了控制誤差，將 π 修正為參數 φ （即 phi），以便自行設定 π 值控制誤差：

$$y = k \cos(\omega x + b) \times [\sin ax + \sin(ax - \varphi)]$$

經測試發現以上推測無誤。 k 值必須比實際振幅大數倍，才能抵銷 π 的誤差。

◎模擬波形



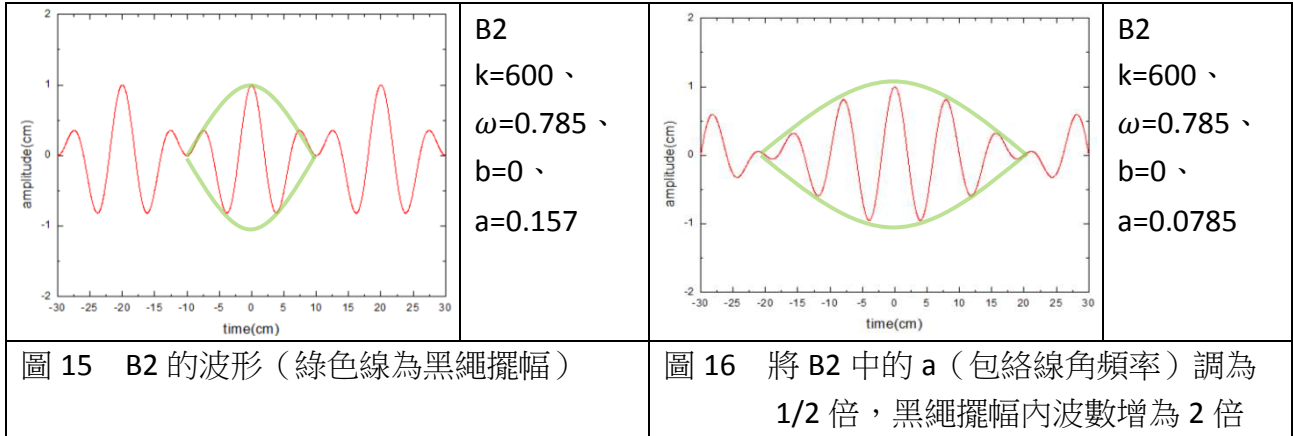
B1 的波形，和 **B** 組波形相似，但 k 值和實際振幅相差甚遠。另外，原本上、下包絡線是用 \sin ，但實際波形的包絡線（如圖 13 的綠色波線）和 \cos 的波形較為相似。

2. 想法二：乘上 \cos

在觀察 \cos 的波形時，發現「 $-\pi$ 到 π 」之間 \cos 波的 y 值呈現「小一大一小」，和黑繩擺幅內的振幅變化相同，那麼如果把 A1 波線再乘上一個 \cos 波，是否也能達到 B1 的效果呢？因此設計出 B2：

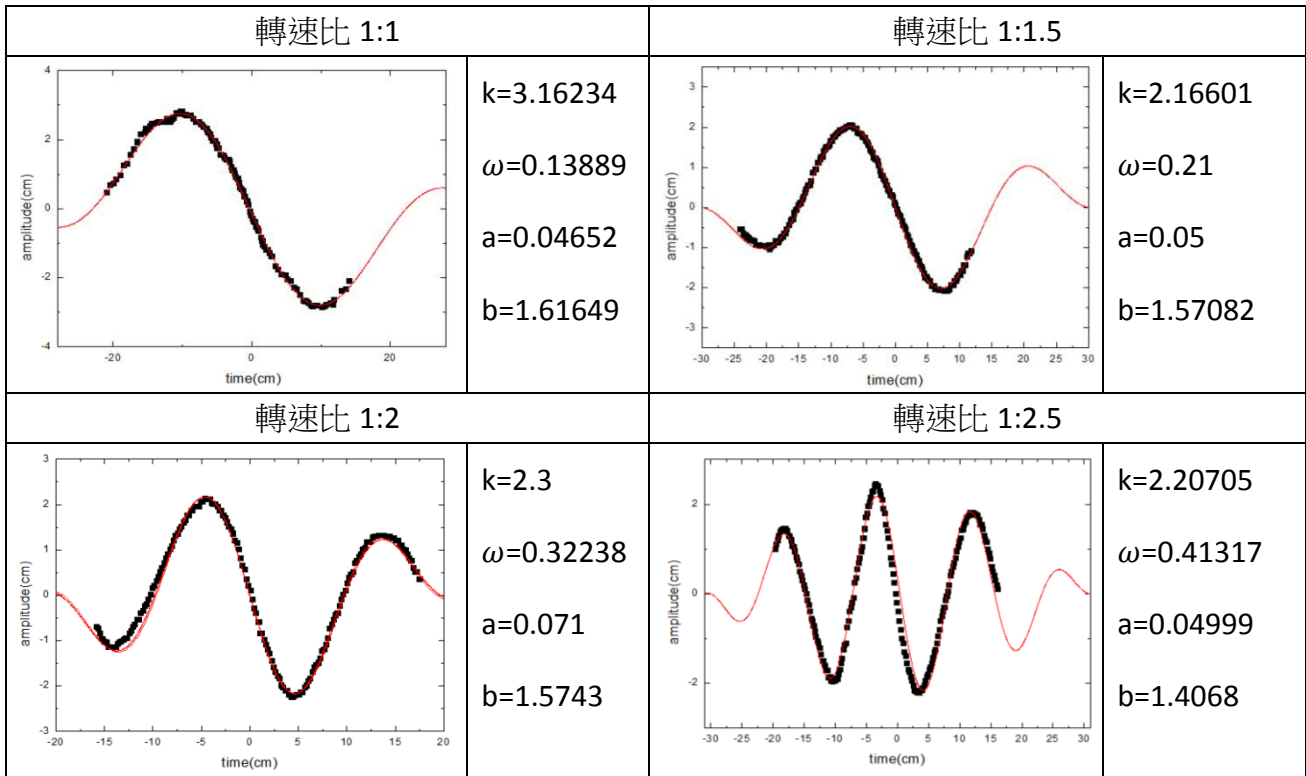
$$y = k \cos(\omega x + b) \times \cos(ax)$$

◎模擬波形



B2 和 B1 的波形極為相似，不過同樣在 $x=0$ 時，B1 的 y 值為負值，而 B2 的 $y=1$ 。此外，B1 有 k 值和實際值不同的問題，而 B2 沒有。

◎ B2 擬合實際波形



B2 能符合 B 組波形，且各參數值能夠符合實際情況，因此，在後續研究中，

會採用 B2 而非 B1。

3. 討論：

B 組函數關係式的圖形，像是多個連續的波包，B 組實驗中黑繩擺動所得的波形，則像其中一個波包。根據維基百科：「波包是局限在空間的某有限範圍區域內的波動，在其它區域的部分非常微小，可以被忽略。……描繪波包輪廓的曲線稱為包絡線。當波包傳播於空間時，波的相位以相速度傳播，包絡以群速度移動。」若從此事深入探討，可能推出其他函數關係式。

(三) C 組函數關係式——加入歪像畫

C 組〈圓筒+黑棍〉有波長呈現「短—長—短」的歪像畫狀況，由圓筒曲面造成，然而擬合軟體無法使用圓形方程式，只好創建其他相似的函數關係式。

1. 想法一：cosine

觀察 cos 的波形類似圓筒弧度，所以嘗試用餘弦函數。推出：

$$y = k \cos(\cos(\omega x) + b)$$

此函數關係式的波形（如圖 17）無歪像畫狀況，波的中央水平位置也不在 x 軸，推測是因為 cos 值範圍在 ± 1 ，而無法完整呈現波形。所以再乘上 2π 以保持波形完整。綜合以上內容

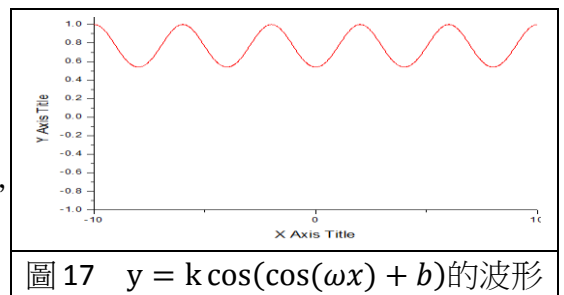


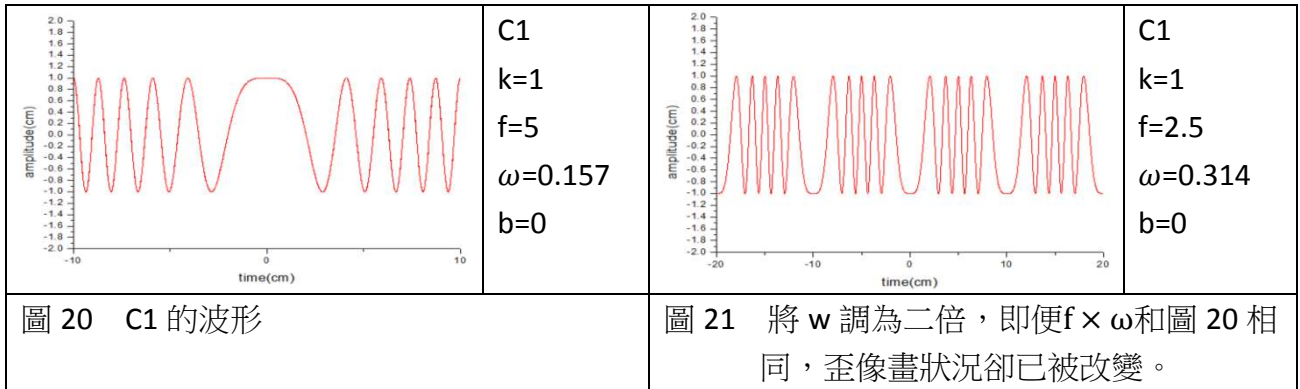
圖 17 $y = k \cos(\cos(\omega x) + b)$ 的波形

得： $y = k \cos(2\pi \cos(\omega x) + b)$

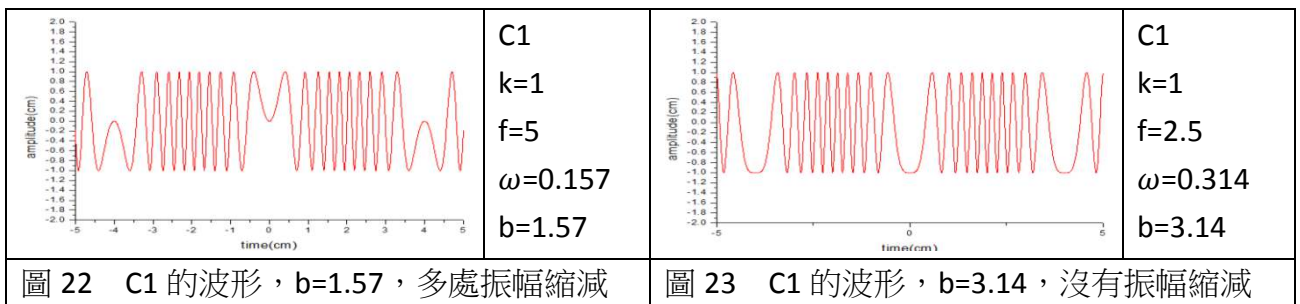
	<p>$k=1$ $\omega=0.785$ $b=0$</p>		<p>$k=1$ $\omega=1.57$ $b=0$</p>
<p>圖 18 $y = k \cos(2\pi \cos(\omega x) + b)$ 的波形</p>		<p>圖 19 將 ω 調為二倍，波形頻率變高，但歪像畫狀況不變</p>	

此函數關係式的波形已有歪像畫狀況，但即使調整 ω ，也無法改變歪像畫狀況。猜想「波線的角頻率」可能要跟「歪像畫狀況的角頻率」分開，才能

分別調整，所以將「歪像畫狀況的角頻率」設為 ω ，「波線的角頻率」則是 ω 再
 乘上 f (頻率)，得出 $C1 : y = k \cos(f \times 2\pi \cos(\omega x) + b)$



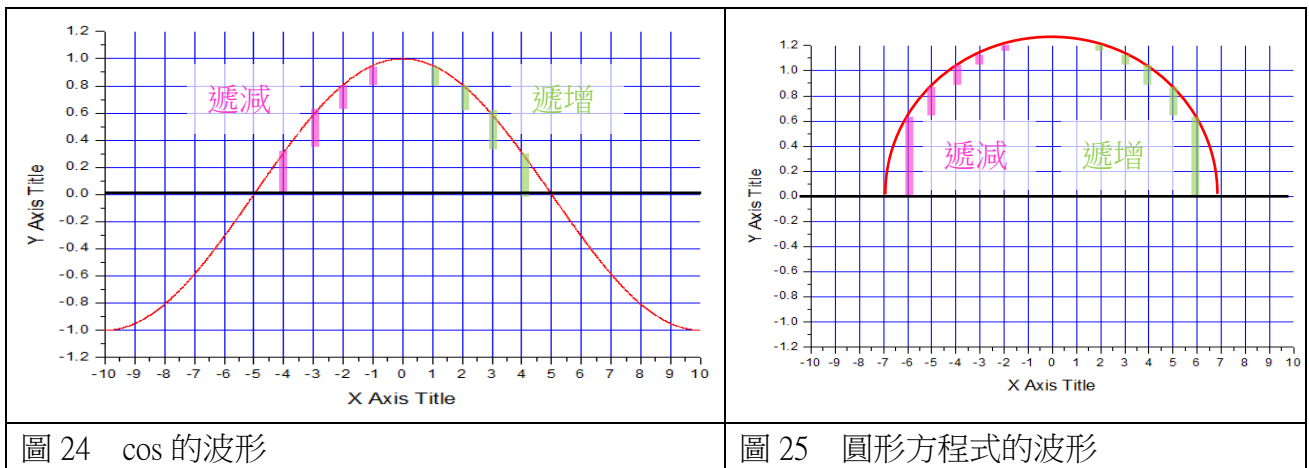
C1 可以調整歪像畫情形。但在擬合時，發現如果 $b=1.57$ ，會有振幅縮減的狀況（如圖 22）。



推測是 C1 式子中運算的問題。因為 \cos 的波形提前 $\frac{\pi}{2}$ 弧度後，就相當於落後 π 弧度的 \sin 波，而 \sin 在 0° 時確實為 0，可能因此造成振幅縮減。

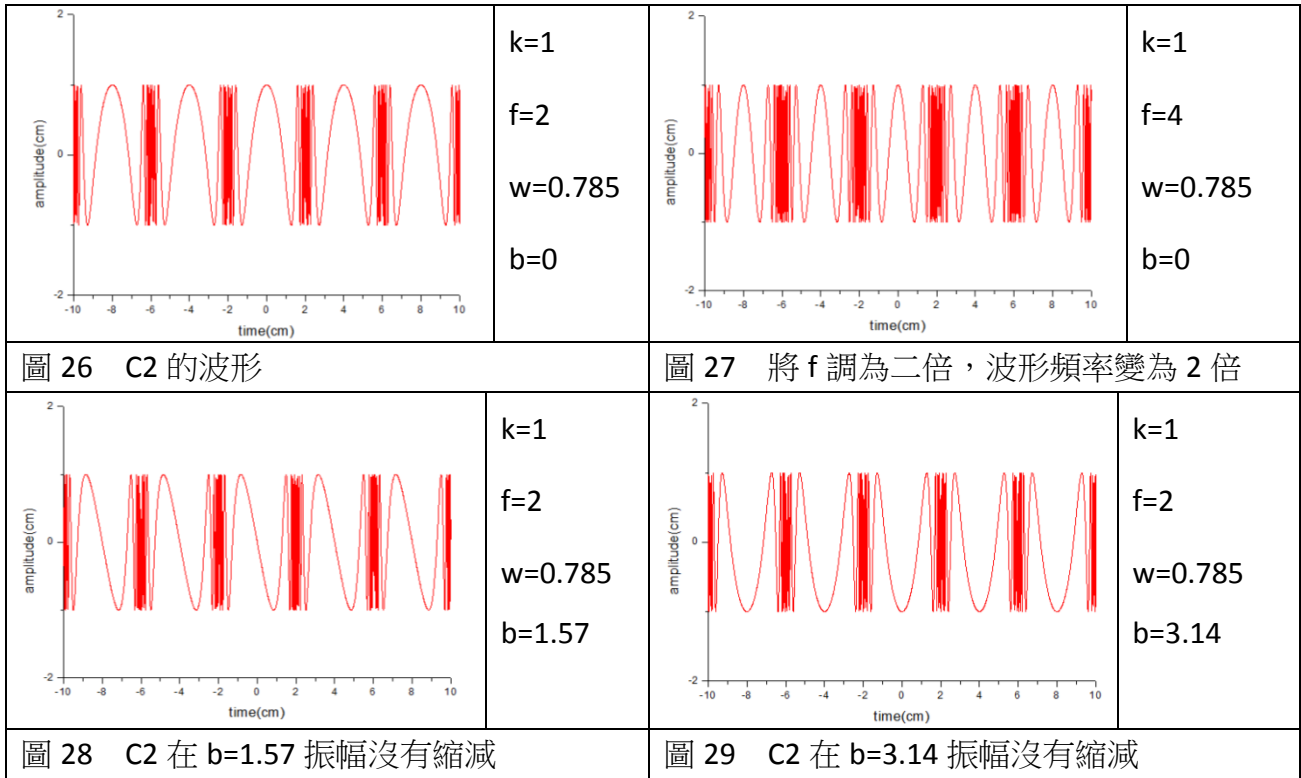
2. 想法二：tangent

觀察 \cos 的波形（如圖 24），如果 x 每 1 取一個點，再列出相鄰兩點之間的 y 座標差值(絕對值)，會發現在 $-\frac{\pi}{2} \sim 0$ 之間呈現遞減，而 $0 \sim \frac{\pi}{2}$ 之間呈現遞增，和圓筒弧度（如圖 25）的情形類似。



觀察其他三角函數，tangent 也有類似的情形，所以嘗試用 tan，得出 C2：

$$y = k \times \cos(f \times \tan(\omega x))$$



C2 的波形呈現一節疏、一節密的狀況，而較疏的部分能符合歪像畫狀況。

另外，C2 的波形完全沒有振幅縮減的狀況。

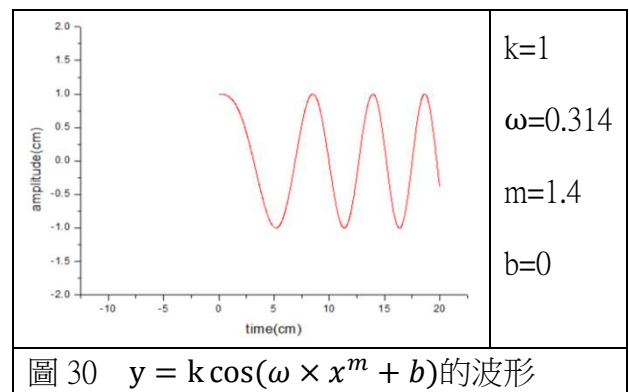
3. 想法三：m 次方

觀察 $y=x^2$ 的波形，y 值呈現「大—小—大」變化，歪像畫狀況的波形角頻率也是呈現「大—小—大」，因此猜想出函數關係式：

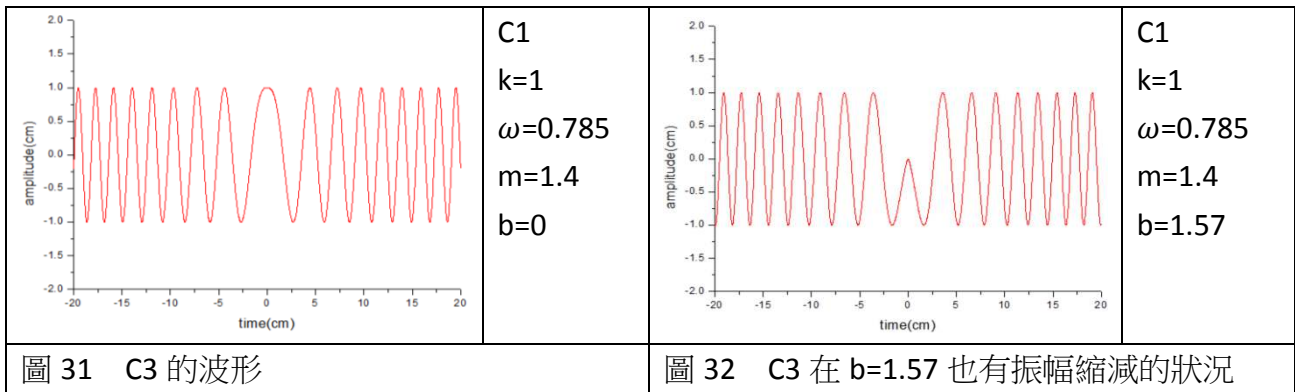
$$y = k \cos(\omega \times x^m + b)$$

發現此函數關係式的波形只有 $x > 0$ 的部分有波形（如圖 30），另一半沒有。猜想如果將 x 變成絕對值，負數變成正數，就也能呈現波形。因此推出

C3：



$$y = k \cos(\omega \times |x|^m + b)$$



C3 可以模擬出歪像畫狀況，但也有振幅縮減的問題。

先不討論振幅縮減，觀察 m 值大小與波形變化，發現如表 15 的規律：

表 15 m 值與波形變化的規則

m < 1 (m=0.8)	m = 1	m > 1 (m=1.3)
<p>波長呈現「長—短—長」，不符合圓筒的歪像畫狀況。</p>	<p>波長呈「等長」，為砂帶機平面結構（無歪像畫）的狀況。</p>	<p>波長呈現「短—長—短」，符合圓筒的歪像畫狀況。</p>

因此，如果要模擬圓筒歪像畫狀況，m 必須大於 1。m=1 時，則為砂帶機平面結構的狀況。

4. 振幅縮減的問題

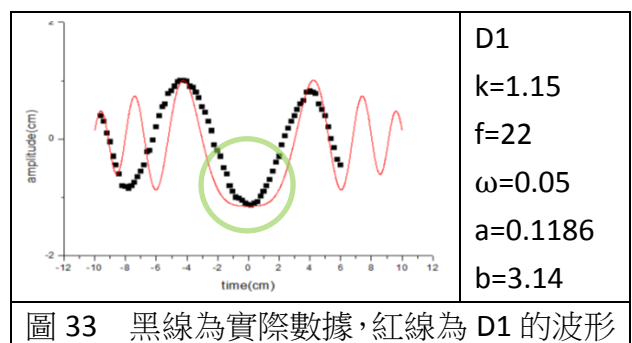
C1 和 C3 在 b=1.57 時都會有振幅縮減的問題，在 b=0、3.14、6.28 等數值時則不會。因此在擬合時，盡量將 b 值設在 b=0、3.14、6.28 等數，就不會有振幅縮減的狀況。目前，只有 C2 完全不會有振幅縮減的情形。

(四) D 組函數關係式——黑繩擺幅 + 圓筒歪像畫狀況

結合 B2 和 C1、C2、C3，可得以下函數關係式：

1. D1 : $y = k \cos(f \times 2\pi \cos(\omega x) + b) \times \cos(ax)$

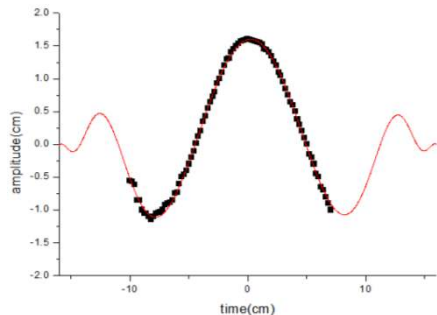
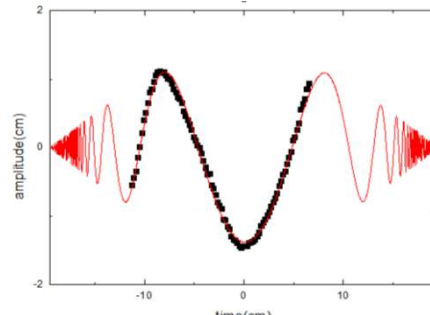
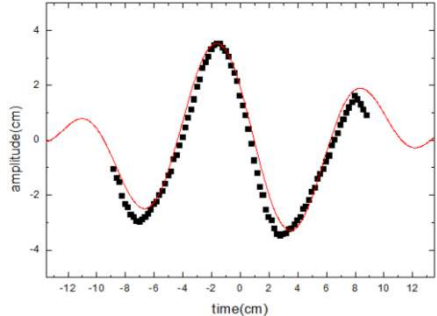
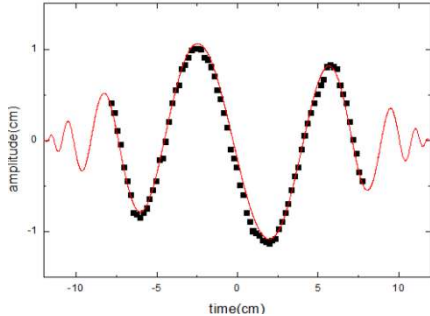
擬合時，發現 D1 的波峰較平（如圖 33 綠線圈出處），而實際數據的波峰較尖，因此兩波很難疊合。再嘗試其他數據，D1 仍難以符合，因此判定 D1



的歪像畫狀況不符合實際波形。

2. $D2 : y = k \cos(f \times \tan(\omega x + b)) \times \cos(ax)$

◎D2 擬合實際波形

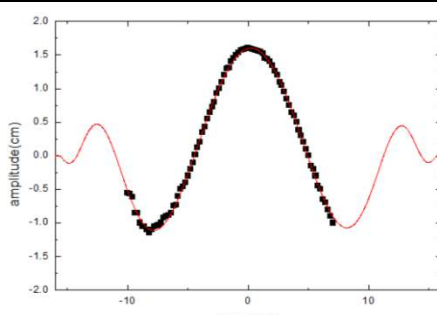
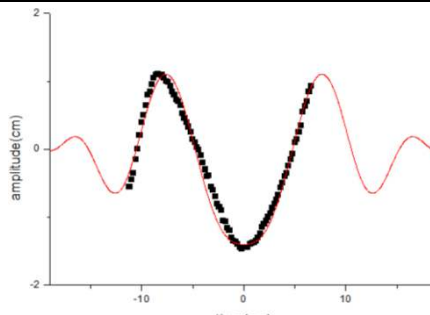
<p style="text-align: center;">轉速比 1:1.5</p> 	<p>k=1.60451 f=4.25696 $\omega=0.07521$ b=-0.7961 a=0.07</p>	<p style="text-align: center;">轉速比 1:2</p> 	<p>k=1.38082 f=3.56941 $\omega=0.08779$ b=3.09811 a=0.08029</p>
<p style="text-align: center;">轉速比 1:2.5</p> 	<p>k=3.60605 f=18.90198 $\omega=0.03093$ b=1.00537 a=0.11856</p>	<p style="text-align: center;">轉速比 1:3</p> 	<p>k=1.1213 f=6.02639 $\omega=0.11117$ b=1.75436 a=0.13138</p>

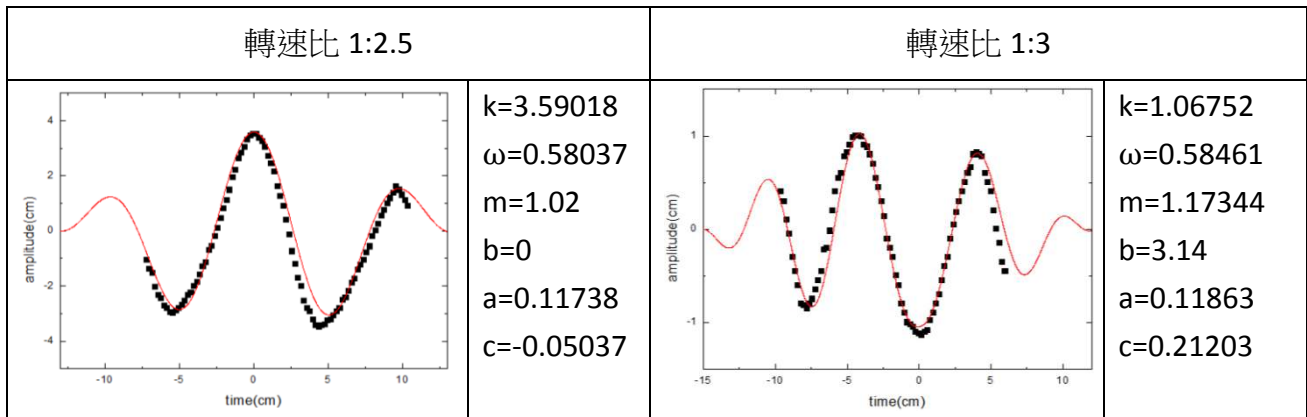
D2 能大致符合 D 組波形。但因歪像畫部分並非使用模擬圓筒弧度的標準方程式——圓形方程式，故波包兩端較難符合。

3. $D3 : y = k \cos(\omega \times |x|^m + b) \times \cos(ax + c)$

c 是黑繩擺幅的水平位移（相位差），便於擬合。

◎D3 模擬實際波形

<p style="text-align: center;">轉速比 1:1.5</p> 	<p>k=1.6 $\omega=0.21$ m=1.3 b=0 a=0.1 c=0</p>	<p style="text-align: center;">轉速比 1:2</p> 	<p>k=1.4 $\omega=0.18064$ m=1.38514 b=3.14 a=0.08513 c=0</p>
--	---	---	---



D3 能大致符合 D 組波形。但因歪像畫部分並非使用模擬圓筒弧度的標準方程式——圓形方程式，故波包兩端較難符合。

4. 總結：

D1 的波形中，波峰較平，和實驗所得的波形有較大的差異，判斷 D1 並非符合的函數關係式。D2 和 D3 的波形都能大致符合實驗數據，但 D3 會有振幅縮減的狀況，而 D2 不會。整體來說，由於並非使用模擬圓筒弧度的標準方程式——圓形方程式，在細節部分可能無法完全符合。

柒、 結論

一、圓筒的圓弧，經幾何投影呈現歪像畫狀況，使波長呈「短—長—短」的變化，砂帶機則可以去除歪像畫的狀況。

二、黑繩擺幅形成上下包絡線，侷限波的範圍，造成振幅呈「小—大—小」的變化；黑棍則可以去除包絡線，讓振幅等高。

三、波數公式：
$$\text{波數} = \frac{1}{\text{轉速比}} = \frac{\text{相位差} \times \text{半面白線步數}}{360^\circ}$$

四、白線步數及相位差公式：

(一) 只改變白線步數不會影響波數多寡。

(二) 相位差公式：
$$\text{相位差} = \frac{\text{波數} \times 360^\circ}{\text{半面白線步數}} = \frac{360^\circ}{\text{半面白線步數} \times \text{轉速比}}$$

(三) 完全重合原則：當相位差為 360° 或其整數倍時，所有波會完全重合。

五、波的函數關係式

(一) A組（砂帶機+黑棍）： $y = k \cos(\omega x)$

(二) B組（砂帶機+黑繩）： $y = k \cos(\omega x + b) \times \cos(ax)$

(三) C組（圓筒+黑棍）：

1. C2： $y = k \times \cos(f \times \tan(\omega x) + b)$ ，不會有振幅縮減的狀況。

2. C3： $y = k \cos(\omega \times |x|^m + b)$ ，在 $b=1.57$ 等數值時會有振幅縮減的狀況。

(四) D組（圓筒+黑繩）：

1. D2： $y = k \cos(f \times \tan(\omega x) + b) \times \cos(ax)$

2. D3： $y = k \cos(\omega \times |x|^m + b) \times \cos(ax + c)$

兩條都能大致符合實際波形，但因並非使用圓形方程式，細節部分較難吻合。

另外，D3 在 $b=1.57$ 等數值時會有振幅縮減的狀況。

捌、 參考資料及其他

一、維基百科。**波包**。取自 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B3%A2%E5%8C%85>

二、維基百科。**群速度**。取自 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%BE%A4%E9%80%9F%E5%BA%A6>

三、維基百科。**相速度**。取自 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%9B%B8%E9%80%9F%E5%BA%A6>

附件

一、圓筒、砂帶機週期總表（砂帶機週期因不穩定，固定使用刻度 1 來配轉速比。）

圓筒週期		砂帶機週期	
狀況	轉半圈所需時間(秒)	狀況	週期(秒)
弱速	0.1176	刻度 1	0.08
中速	0.09523	刻度 2	0.0787
強速	0.083	刻度 3	0.07936
		刻度 4	0.08196
		刻度 5	0.08547

二、黑繩等時性

砂帶機黑繩 (35cm) 週期			
次數	起點	終點	週期(秒/次)
第 1 次	1.65	3.31	0.0519
第 2 次	3.31	5.09	0.0556
第 3 次	5.09	6.77	0.0525
第 4 次	6.8	8.51	0.0534
第 5 次	8.51	10.28	0.0553
第 6 次	10.28	11.92	0.0513
第 7 次	11.92	13.66	0.0544
第 8 次	13.66	15.37	0.0534
第 9 次	15.37	17	0.0509
第 10 次	17	18.78	0.0556
平均			0.05343

三、砝碼與黑繩週期

刻度	砝碼重 (g)	砂帶機黑繩週期 (秒)	圓筒黑繩週期 (秒)
一	60	0.0769	0.04494382
二	80	0.06557	0.03960396
三	100	0.0556	0.03125
四	120	0.0482	0.026666667
五	140	0.04	0.024691358
六	160	0.037	0.018867925
七	180	0.033898	

(一) 砝碼重量愈重，黑繩週期愈短。

(二) 實驗時以此表為標準調整黑繩週期，並手動微調黑繩鬆緊，錄影確認其週期，配出精準的轉速比。

三、擬合數據

(一) D 組轉速比 1:1.5

編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸
1	14	6.4	-15.2	-0.5	25	18.8	6.55	-10.4	-0.35	49	23.6	8.53	-5.6	1.63	73	28.4	7.25	-0.8	0.35
2	14.2	6.38	-15	-0.52	26	19	6.65	-10.2	-0.25	50	23.8	8.54	-5.4	1.64	74	28.6	7.15	-0.6	0.25
3	14.4	6.33	-14.8	-0.57	27	19.2	6.75	-10	-0.15	51	24	8.56	-5.2	1.66	75	28.8	7.05	-0.4	0.15
4	14.6	6.1	-14.6	-0.8	28	19.4	6.85	-9.8	-0.05	52	24.2	8.54	-5	1.64	76	29	6.95	-0.2	0.05
5	14.8	6.1	-14.4	-0.8	29	19.6	6.96	-9.6	0.06	53	24.4	8.53	-4.8	1.63	77	29.2	6.8	0	-0.1
6	15	5.95	-14.2	-0.95	30	19.8	7.07	-9.4	0.17	54	24.6	8.52	-4.6	1.62	78	29.4	6.75	0.2	-0.15
7	15.2	5.9	-14	-1	31	20	7.15	-9.2	0.25	55	24.8	8.51	-4.4	1.61	79	29.6	6.65	0.4	-0.25
8	15.4	5.9	-13.8	-1	32	20.2	7.3	-9	0.4	56	25	8.5	-4.2	1.6	80	29.8	6.5	0.6	-0.4
9	15.6	5.85	-13.6	-1.05	33	20.4	7.38	-8.8	0.48	57	25.2	8.47	-4	1.57	81	30	6.45	0.8	-0.45
10	15.8	5.8	-13.4	-1.1	34	20.6	7.5	-8.6	0.6	58	25.4	8.4	-3.8	1.5	82	30.2	6.3	1	-0.6
11	16	5.85	-13.2	-1.05	35	20.8	7.6	-8.4	0.7	59	25.6	8.39	-3.6	1.49	83	30.4	6.25	1.2	-0.65
12	16.2	5.9	-13	-1	36	21	7.68	-8.2	0.78	60	25.8	8.35	-3.4	1.45	84	30.6	6.15	1.4	-0.75
13	16.4	5.91	-12.8	-0.99	37	21.2	7.75	-8	0.85	61	26	8.3	-3.2	1.4	85	30.8	6.05	1.6	-0.85
14	16.6	5.92	-12.6	-0.98	38	21.4	7.88	-7.8	0.98	62	26.2	8.21	-3	1.31	86	31	5.95	1.8	-0.95
15	16.8	5.95	-12.4	-0.95	39	21.6	7.95	-7.6	1.05	63	26.4	8.15	-2.8	1.25	87	31.2	5.85	2	-1.05
16	17	6.03	-12.2	-0.87	40	21.8	8.05	-7.4	1.15	64	26.6	8.05	-2.6	1.15	88	31.4	5.75	2.2	-1.15
17	17.2	6.05	-12	-0.85	41	22	8.15	-7.2	1.25	65	26.8	8	-2.4	1.1	89	31.6	5.7	2.4	-1.2
18	17.4	6.06	-11.8	-0.84	42	22.2	8.25	-7	1.35	66	27	7.9	-2.2	1	90	31.8	5.65	2.6	-1.25
19	17.6	6.1	-11.6	-0.8	43	22.4	8.26	-6.8	1.36	67	27.2	7.8	-2	0.9	91	32	5.6	2.8	-1.3
20	17.8	6.2	-11.4	-0.7	44	22.6	8.35	-6.6	1.45	68	27.4	7.7	-1.8	0.8	92	32.2	5.55	3	-1.35
21	18	6.22	-11.2	-0.68	45	22.8	8.4	-6.4	1.5	69	27.6	7.6	-1.6	0.7	93	32.4	5.5	3.2	-1.4
22	18.2	6.35	-11	-0.55	46	23	8.45	-6.2	1.55	70	27.8	7.55	-1.4	0.65					
23	18.4	6.45	-10.8	-0.45	47	23.2	8.48	-6	1.58	71	28	7.45	-1.2	0.55					
24	18.6	6.49	-10.6	-0.41	48	23.4	8.52	-5.8	1.62	72	28.2	7.33	-1	0.43					



(二) D 組轉速比 1:2

編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸
1	14	13	-7.5	-0.4	24	18.6	14.28	-2.9	0.88	47	23.2	12.5	1.7	-0.9	70	27.8	12.6	6.3	-0.8
2	14.2	13.1	-7.3	-0.3	25	18.8	14.25	-2.7	0.85	48	23.4	12.48	1.9	-0.92	71	28	12.68	6.5	-0.72
3	14.4	13.2	-7.1	-0.2	26	19	14.19	-2.5	0.79	49	23.6	12.39	2.1	-1.01	72	28.2	12.75	6.7	-0.65
4	14.6	13.4	-6.9	0	27	19.2	14.08	-2.3	0.68	50	23.8	12.35	2.3	-1.05	73	28.4	12.8	6.9	-0.6
5	14.8	13.55	-6.7	0.15	28	19.4	14	-2.1	0.6	51	24	12.25	2.5	-1.15	74	28.6	12.88	7.1	-0.52
6	15	13.75	-6.5	0.35	29	19.6	13.95	-1.9	0.55	52	24.2	12.2	2.7	-1.2	75	28.8	12.98	7.3	-0.42
7	15.2	13.95	-6.3	0.55	30	19.8	13.88	-1.7	0.48	53	24.4	12.19	2.9	-1.21	76	29	13.05	7.5	-0.35
8	15.4	14.05	-6.1	0.65	31	20	13.8	-1.5	0.4	54	24.6	12.15	3.1	-1.25	77	29.2	13.15	7.7	-0.25
9	15.6	14.2	-5.9	0.8	32	20.2	13.7	-1.3	0.3	55	24.8	12.1	3.3	-1.3	78	29.4	13.2	7.9	-0.2
10	15.8	14.35	-5.7	0.95	33	20.4	13.65	-1.1	0.25	56	25	12.08	3.5	-1.32	79	29.6	13.3	8.1	-0.1
11	16	14.4	-5.5	1	34	20.6	13.58	-0.9	0.18	57	25.2	12.1	3.7	-1.3	80	29.8	13.4	8.3	0
12	16.2	14.5	-5.3	1.1	35	20.8	13.54	-0.7	0.14	58	25.4	12.1	3.9	-1.3	81	30	13.48	8.5	0.08
13	16.4	14.6	-5.1	1.2	36	21	13.46	-0.5	0.06	59	25.6	12.1	4.1	-1.3	82	30.2	13.65	8.7	0.25
14	16.6	14.65	-4.9	1.25	37	21.2	13.35	-0.3	-0.05	60	25.8	12.15	4.3	-1.25	83	30.4	13.7	8.9	0.3
15	16.8	14.66	-4.7	1.26	38	21.4	13.25	-0.1	-0.15	61	26	12.16	4.5	-1.24	84	30.6	13.8	9.1	0.4
16	17	14.65	-4.5	1.25	39	21.6	13.15	0.1	-0.25	62	26.2	12.18	4.7	-1.22	85	30.8	13.9	9.3	0.5
17	17.2	14.64	-4.3	1.24	40	21.8	13.16	0.3	-0.24	63	26.4	12.2	4.9	-1.2	86	31	14.1	9.5	0.7
18	17.4	14.6	-4.1	1.2	41	22	13	0.5	-0.4	64	26.6	12.25	5.1	-1.15	87	31.2	14.18	9.7	0.78
19	17.6	14.55	-3.9	1.15	42	22.2	12.95	0.7	-0.45	65	26.8	12.3	5.3	-1.1	88	31.4	14.25	9.9	0.85
20	17.8	14.54	-3.7	1.14	43	22.4	12.85	0.9	-0.55	66	27	12.4	5.5	-1	89	31.6	14.4	10.1	1
21	18	14.48	-3.5	1.08	44	22.6	12.75	1.1	-0.65	67	27.2	12.45	5.7	-0.95	90	31.8	14.48	10.3	1.08
22	18.2	14.4	-3.3	1	45	22.8	12.7	1.3	-0.7	68	27.4	12.5	5.9	-0.9					
23	18.4	14.35	-3.1	0.95	46	23	12.65	1.5	-0.75	69	27.6	12.55	6.1	-0.85					



(三) D組轉速比 1:2.5

編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸
1	13.4	4.65	-9.6	-1.05	24	18	5.5	-5	-0.2	47	22.6	6.6	-0.4	0.9	70	27.2	3.8	4.2	-1.9
2	13.6	4.3	-9.4	-1.4	25	18.2	5.8	-4.8	0.1	48	22.8	6.1	-0.2	0.4	71	27.4	3.95	4.4	-1.75
3	13.8	4.15	-9.2	-1.55	26	18.4	6.15	-4.6	0.45	49	23	5.55	0	-0.15	72	27.6	4.28	4.6	-1.42
4	14	3.65	-9	-2.05	27	18.6	6.5	-4.4	0.8	50	23.2	4.95	0.2	-0.75	73	27.8	4.45	4.8	-1.25
5	14.2	3.35	-8.8	-2.35	28	18.8	6.8	-4.2	1.1	51	23.4	4.5	0.4	-1.2	74	28	4.65	5	-1.05
6	14.4	3.25	-8.6	-2.45	29	19	7.18	-4	1.48	52	23.6	4	0.6	-1.7	75	28.2	4.9	5.2	-0.8
7	14.6	2.99	-8.4	-2.71	30	19.2	7.65	-3.8	1.95	53	23.8	3.7	0.8	-2	76	28.4	5.13	5.4	-0.57
8	14.8	2.9	-8.2	-2.8	31	19.4	7.9	-3.6	2.2	54	24	3.15	1	-2.55	77	28.6	5.5	5.6	-0.2
9	15	2.75	-8	-2.95	32	19.6	8.33	-3.4	2.63	55	24.2	2.88	1.2	-2.82	78	28.8	5.7	5.8	0
10	15.2	2.7	-7.8	-3	33	19.8	8.52	-3.2	2.82	56	24.4	2.76	1.4	-2.94	79	29	5.95	6	0.25
11	15.4	2.81	-7.6	-2.89	34	20	8.75	-3	3.05	57	24.6	2.46	1.6	-3.24	80	29.2	6.25	6.2	0.55
12	15.6	2.9	-7.4	-2.8	35	20.2	9	-2.8	3.3	58	24.8	2.25	1.8	-3.45	81	29.4	6.45	6.4	0.75
13	15.8	3	-7.2	-2.7	36	20.4	9.15	-2.6	3.45	59	25	2.2	2	-3.5	82	29.6	6.7	6.6	1
14	16	3.15	-7	-2.55	37	20.6	9.2	-2.4	3.5	60	25.2	2.25	2.2	-3.45	83	29.8	6.88	6.8	1.18
15	16.2	3.35	-6.8	-2.35	38	20.8	9.2	-2.2	3.5	61	25.4	2.3	2.4	-3.4	84	30	7.08	7	1.38
16	16.4	3.45	-6.6	-2.25	39	21	9.05	-2	3.35	62	25.6	2.45	2.6	-3.25	85	30.2	7.3	7.2	1.6
17	16.6	3.7	-6.4	-2	40	21.2	8.95	-1.8	3.25	63	25.8	2.48	2.8	-3.22	86	30.4	7.18	7.4	1.48
18	16.8	3.85	-6.2	-1.85	41	21.4	8.75	-1.6	3.05	64	26	2.63	3	-3.07	87	30.6	7	7.6	1.3
19	17	4.1	-6	-1.6	42	21.6	8.4	-1.4	2.7	65	26.2	2.78	3.2	-2.92	88	30.8	6.8	7.8	1.1
20	17.2	4.4	-5.8	-1.3	43	21.8	8.15	-1.2	2.45	66	26.4	2.88	3.4	-2.82	89	31	6.6	8	0.9
21	17.4	4.55	-5.6	-1.15	44	22	7.85	-1	2.15	67	26.6	3.18	3.6	-2.52					
22	17.6	5	-5.4	-0.7	45	22.2	7.3	-0.8	1.6	68	26.8	3.28	3.8	-2.42					
23	17.8	5.15	-5.2	-0.55	46	22.4	6.95	-0.6	1.25	69	27	3.5	4	-2.2					



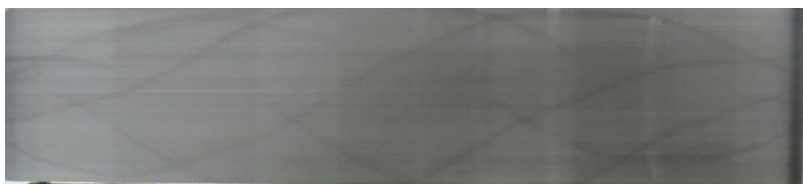
(四) D組轉速比 1:3

編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸
1	9	6.4	-7.8	0.8	22	13.2	6.25	-3.6	0.65	43	17.4	5.1	0.6	-0.5	66	22	6.2	5.2	0.6
2	9.2	6.1	-7.6	0.5	23	13.4	6.3	-3.4	0.7	44	17.6	4.9	0.8	-0.7	67	22.2	6.3	5.4	0.7
3	9.4	6	-7.4	0.4	24	13.6	6.48	-3.2	0.88	47	18.2	4.68	1.4	-0.92	68	22.4	6.36	5.6	0.76
4	9.6	5.8	-7.2	0.2	25	13.8	6.52	-3	0.92	48	18.4	4.65	1.6	-0.95	69	22.6	6.5	5.8	0.9
5	9.8	5.65	-7	0.05	26	14	6.6	-2.8	1	49	18.6	4.6	1.8	-1	70	22.8	6.52	6	0.92
6	10	5.4	-6.8	-0.2	27	14.2	6.68	-2.6	1.08	50	18.8	4.58	2	-1.02	71	23	6.5	6.2	0.9
7	10.2	5.25	-6.6	-0.35	28	14.4	6.7	-2.4	1.1	51	19	4.56	2.2	-1.04	72	23.2	6.48	6.4	0.88
8	10.4	5.1	-6.4	-0.5	29	14.6	6.7	-2.2	1.1	52	19.2	4.6	2.4	-1	73	23.4	6.3	6.6	0.7
9	10.6	4.9	-6.2	-0.7	30	14.8	6.69	-2	1.09	53	19.4	4.62	2.6	-0.98	74	23.6	6.2	6.8	0.6
10	10.8	4.88	-6	-0.72	31	15	6.6	-1.8	1	54	19.6	4.72	2.8	-0.88	75	23.8	6.1	7	0.5
11	11	4.85	-5.8	-0.75	32	15.2	6.58	-1.6	0.98	55	19.8	4.8	3	-0.8	76	24	5.9	7.2	0.3
12	11.2	4.9	-5.6	-0.7	33	15.4	6.5	-1.4	0.9	56	20	4.9	3.2	-0.7	77	24.2	5.7	7.4	0.1
13	11.4	4.95	-5.4	-0.65	34	15.6	6.4	-1.2	0.8	57	20.2	5	3.4	-0.6	78	24.4	5.55	7.6	-0.05
14	11.6	5.05	-5.2	-0.55	35	15.8	6.25	-1	0.65	58	20.4	5.15	3.6	-0.45	79	24.6	5.35	7.8	-0.25
15	11.8	5.15	-5	-0.45	36	16	6.15	-0.8	0.55	59	20.6	5.3	3.8	-0.3	80	24.8	5.25	8	-0.35
16	12	5.25	-4.8	-0.35	37	16.2	6	-0.6	0.4	60	20.8	5.4	4	-0.2	81	25	5.1	8.2	-0.5
17	12.2	5.48	-4.6	-0.12	38	16.4	5.84	-0.4	0.24	61	21	5.6	4.2	0	82	25.2	4.98	8.4	-0.62
18	12.4	5.5	-4.4	-0.1	39	16.6	5.6	-0.2	0	62	21.2	5.75	4.4	0.15	83	25.4	4.88	8.6	-0.72
19	12.6	5.68	-4.2	0.08	40	16.8	5.5	0	-0.1	63	21.4	5.88	4.6	0.28	84	25.6	4.75	8.8	-0.85
20	12.8	5.9	-4	0.3	41	17	5.4	0.2	-0.2	64	21.6	6	4.8	0.4	85	25.8	4.7	9	-0.9
21	13	6.1	-3.8	0.5	42	17.2	5.2	0.4	-0.4	65	21.8	6.1	5	0.5					



(五) B 組轉速比 1:1

編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸
1	15.0	3.75	-20.9	0.45	33	25.9	6.1	-10	2.8	65	32.8	4.65	-3.1	1.35	97	38.8	1.9	2.9	-1.4
2	15.5	3.98	-20.4	0.68	34	26.3	6.01	-9.6	2.71	66	33.0	4.5	-2.9	1.2	98	38.9	1.9	3	-1.4
3	16.0	4.02	-19.9	0.72	35	26.4	6.01	-9.5	2.71	67	33.2	4.4	-2.7	1.1	99	39.35	1.62	3.45	-1.68
4	16.4	4.15	-19.5	0.85	36	26.6	6.0	-9.3	2.7	68	33.4	4.4	-2.5	1.1	100	39.4	1.62	3.5	-1.68
5	17.0	4.25	-18.9	0.95	37	26.8	5.98	-9.1	2.68	69	33.5	4.3	-2.4	1	101	39.8	1.52	3.9	-1.78
6	17.5	4.55	-18.4	1.25	38	27.0	5.98	-8.9	2.68	70	33.7	4.21	-2.2	0.91	102	40.3	1.38	4.4	-1.92
7	18.0	4.6	-17.9	1.3	39	27.2	5.98	-8.7	2.68	71	33.95	4.16	-1.95	0.86	103	40.85	1.35	4.95	-1.95
8	18.5	4.85	-17.4	1.55	40	27.5	5.9	-8.4	2.6	72	34.0	4.15	-1.9	0.85	104	41.15	1.25	5.25	-2.05
9	19.0	5.02	-16.9	1.72	41	27.9	5.81	-8	2.51	73	34.1	4.05	-1.8	0.75	105	41.6	1.2	5.7	-2.1
10	19.5	5.22	-16.4	1.92	42	28.0	5.81	-7.9	2.51	74	34.3	3.9	-1.6	0.6	106	42.1	1.0	6.2	-2.3
11	20.0	5.45	-15.9	2.15	43	28.2	5.81	-7.7	2.51	75	34.5	3.85	-1.4	0.55	107	42.5	0.95	6.6	-2.35
12	20.5	5.5	-15.4	2.2	44	28.4	5.8	-7.5	2.5	76	34.7	3.8	-1.2	0.5	108	42.9	0.79	7	-2.51
13	20.7	5.6	-15.2	2.3	45	28.7	5.72	-7.2	2.42	77	34.9	3.65	-1	0.35	109	43.5	0.63	7.6	-2.67
14	21.0	5.6	-14.9	2.3	46	29.0	5.65	-6.9	2.35	78	35.0	3.65	-0.9	0.35	110	43.7	0.61	7.8	-2.69
15	21.3	5.68	-14.6	2.38	47	29.5	5.60	-6.4	2.3	79	35.2	3.51	-0.7	0.21	111	43.9	0.6	8	-2.7
16	21.5	5.75	-14.4	2.45	48	29.6	5.51	-6.3	2.21	80	35.34	3.5	-0.56	0.2	112	44.2	0.56	8.3	-2.74
17	21.8	5.76	-14.1	2.46	49	29.7	5.49	-6.2	2.19	81	35.5	3.4	-0.4	0.1	113	44.5	0.48	8.6	-2.82
18	22.3	5.78	-13.6	2.48	50	30.0	5.45	-5.9	2.15	82	35.7	3.2	-0.2	-0.1	114	44.8	0.45	8.9	-2.85
19	22.5	5.8	-13.4	2.5	51	30.1	5.35	-5.8	2.05	83	35.9	3.1	0	-0.2	115	45.25	0.49	9.35	-2.81
20	22.8	5.8	-13.1	2.5	52	30.3	5.25	-5.6	1.95	84	36.1	3.0	0.2	-0.3	116	45.4	0.49	9.5	-2.81
21	23.1	5.8	-12.8	2.5	53	30.5	5.25	-5.4	1.95	85	36.25	2.93	0.35	-0.37	117	46.1	0.43	10.2	-2.87
22	23.5	5.8	-12.4	2.5	54	30.7	5.25	-5.2	1.95	86	36.4	2.9	0.5	-0.4	118	46.5	0.45	10.6	-2.85
23	23.8	5.8	-12.1	2.5	55	30.9	5.16	-5	1.86	87	36.6	2.75	0.7	-0.55	119	46.7	0.5	10.8	-2.8
24	24.2	5.8	-11.7	2.5	56	31.0	5.05	-4.9	1.75	88	36.8	2.7	0.9	-0.6	120	47.3	0.55	11.4	-2.75
25	24.5	5.87	-11.4	2.57	57	31.2	5.05	-4.7	1.75	89	37.0	2.65	1.1	-0.65	121	47.7	0.5	11.8	-2.8
26	23.8	5.9	-12.1	2.6	58	31.4	4.85	-4.5	1.55	90	37.3	2.45	1.4	-0.85	122	47.8	0.65	11.9	-2.65
27	24.1	5.9	-11.8	2.6	59	31.6	4.84	-4.3	1.54	91	37.5	2.35	1.6	-0.95	123	49	0.9	13.1	-2.4
28	24.4	5.9	-11.5	2.6	60	31.9	4.83	-4	1.53	92	37.6	2.25	1.7	-1.05	124	49.5	0.95	13.6	-2.35
29	24.7	5.91	-11.2	2.61	61	32.0	4.75	-3.9	1.45	93	37.8	2.2	1.9	-1.1	125	50	1.2	14.1	-2.1
30	25.1	6.05	-10.8	2.75	62	32.25	4.7	-3.65	1.4	94	38.0	2.1	2.1	-1.2					
31	25.5	6.05	-10.4	2.75	63	32.5	4.7	-3.4	1.4	95	38.25	2.1	2.35	-1.2					
32	25.7	6.1	-10.2	2.8	64	32.6	4.7	-3.3	1.4	96	38.6	1.99	2.7	-1.31					



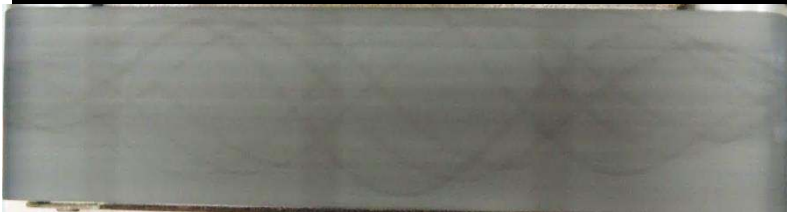
(六) B組轉速比 1:1.5

編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸
1	15	2.9	-24	-0.55	46	24.2	3.55	-14.8	0.1	91	33.2	5.3	-5.8	1.85	136	42.3	2.25	3.3	-1.2
2	15.2	2.9	-23.8	-0.55	47	24.4	3.55	-14.6	0.1	92	33.4	5.29	-5.6	1.84	137	42.5	2.15	3.5	-1.3
3	15.5	2.78	-23.5	-0.67	48	24.6	3.65	-14.4	0.2	93	33.6	5.28	-5.4	1.83	138	42.7	2.1	3.7	-1.35
4	15.65	2.75	-23.35	-0.7	49	24.8	3.7	-14.2	0.25	94	33.8	5.27	-5.2	1.82	139	42.9	2	3.9	-1.45
5	15.9	2.75	-23.1	-0.7	50	25	3.8	-14	0.35	95	34	5.2	-5	1.75	140	43.1	1.95	4.1	-1.5
6	16.05	2.7	-22.95	-0.75	51	25.2	3.9	-13.8	0.45	96	34.3	5.18	-4.7	1.73	141	43.3	1.9	4.3	-1.55
7	16.2	2.68	-22.8	-0.77	52	25.4	3.98	-13.6	0.53	97	34.5	5.1	-4.5	1.65	142	43.5	1.8	4.5	-1.65
8	16.45	2.65	-22.55	-0.8	53	25.6	4	-13.4	0.55	98	34.7	5.05	-4.3	1.6	143	43.7	1.7	4.7	-1.75
9	16.6	2.62	-22.4	-0.83	54	25.8	4	-13.2	0.55	99	34.9	5	-4.1	1.55	144	43.9	1.7	4.9	-1.75
10	16.8	2.62	-22.2	-0.83	55	26	4.1	-13	0.65	100	35.1	4.9	-3.9	1.45	145	44.1	1.65	5.1	-1.8
11	17	2.6	-22	-0.85	56	26.2	4.3	-12.8	0.85	101	35.3	4.85	-3.7	1.4	146	44.3	1.6	5.3	-1.85
12	17.2	2.6	-21.8	-0.85	57	26.4	4.3	-12.6	0.85	102	35.5	4.8	-3.5	1.35	147	44.5	1.6	5.5	-1.85
13	17.4	2.5	-21.6	-0.95	58	26.6	4.4	-12.4	0.95	103	35.7	4.68	-3.3	1.23	148	44.7	1.49	5.7	-1.96
14	17.6	2.5	-21.4	-0.95	59	26.8	4.4	-12.2	0.95	104	35.9	4.65	-3.1	1.2	149	44.9	1.49	5.9	-1.96
15	17.7	2.5	-21.3	-0.95	60	27	4.55	-12	1.1	105	36.1	4.65	-2.9	1.2	150	45.1	1.48	6.1	-1.97
16	18	2.5	-21	-0.95	61	27.2	4.55	-11.8	1.1	106	36.3	4.6	-2.7	1.15	151	45.3	1.4	6.3	-2.05
17	18.2	2.48	-20.8	-0.97	62	27.4	4.65	-11.6	1.2	107	36.5	4.5	-2.5	1.05	152	45.5	1.39	6.5	-2.06
18	18.4	2.48	-20.6	-0.97	63	27.6	4.7	-11.4	1.25	108	36.7	4.35	-2.3	0.9	153	45.7	1.39	6.7	-2.06
19	18.6	2.47	-20.4	-0.98	64	27.8	4.7	-11.2	1.25	109	36.9	4.25	-2.1	0.8	154	45.9	1.38	6.9	-2.07
20	18.8	2.47	-20.2	-0.98	65	28	4.85	-11	1.4	110	37.1	4.23	-1.9	0.78	155	46.1	1.38	7.1	-2.07
21	19	2.46	-20	-0.99	66	28.2	4.9	-10.8	1.45	111	37.3	4.15	-1.7	0.7	156	46.3	1.37	7.3	-2.08
22	19.2	2.48	-19.8	-0.97	67	28.4	4.95	-10.6	1.5	112	37.5	4.1	-1.5	0.65	157	46.5	1.37	7.5	-2.08
23	19.4	2.5	-19.6	-0.95	68	28.6	4.95	-10.4	1.5	113	37.7	4	-1.3	0.55	158	46.7	1.36	7.7	-2.09
24	19.6	2.4	-19.4	-1.05	69	28.8	5	-10.2	1.55	114	37.9	3.9	-1.1	0.45	159	46.9	1.36	7.9	-2.09
25	19.8	2.45	-19.2	-1	70	29	5.1	-10	1.65	115	38.1	3.85	-0.9	0.4	160	47.1	1.36	8.1	-2.09
26	20	2.5	-19	-0.95	71	29.2	5.1	-9.8	1.65	116	38.3	3.75	-0.7	0.3	161	47.3	1.38	8.3	-2.07
27	20.2	2.5	-18.8	-0.95	72	29.4	5.2	-9.6	1.75	117	38.5	3.75	-0.5	0.3	162	47.5	1.39	8.5	-2.06
28	20.4	2.6	-18.6	-0.85	73	29.6	5.2	-9.4	1.75	118	38.7	3.7	-0.3	0.25	163	47.7	1.5	8.7	-1.95
29	20.6	2.6	-18.4	-0.85	74	29.8	5.25	-9.2	1.8	119	38.9	3.55	-0.1	0.1	164	47.9	1.5	8.9	-1.95
30	20.8	2.56	-18.2	-0.89	75	30	5.28	-9	1.83	120	39.1	3.5	0.1	0.05	165	48.1	1.5	9.1	-1.95
31	21	2.6	-18	-0.85	76	30.2	5.3	-8.8	1.85	121	39.3	3.4	0.3	-0.05	166	48.3	1.6	9.3	-1.85
32	21.2	2.66	-17.8	-0.79	77	30.4	5.35	-8.6	1.9	122	39.5	3.3	0.5	-0.15	167	48.5	1.6	9.5	-1.85
33	21.4	2.7	-17.6	-0.75	78	30.5	5.36	-8.5	1.91	123	39.7	3.25	0.7	-0.2	168	48.7	1.68	9.7	-1.77
34	21.6	2.7	-17.4	-0.75	79	30.7	5.37	-8.3	1.92	124	39.9	3.2	0.9	-0.25	169	48.9	1.75	9.9	-1.7
35	21.8	2.8	-17.2	-0.65	80	31	5.38	-8	1.93	125	40.1	3.1	1.1	-0.35	170	49.1	1.75	10.1	-1.7
36	22	2.8	-17	-0.65	81	31.2	5.4	-7.8	1.95	126	40.3	3	1.3	-0.45	171	49.3	1.85	10.3	-1.6
37	22.2	2.9	-16.8	-0.55	82	31.5	5.45	-7.5	2	127	40.5	2.95	1.5	-0.5	172	49.5	1.85	10.5	-1.6
38	22.5	3	-16.5	-0.45	83	31.7	5.45	-7.3	2	128	40.7	2.9	1.7	-0.55	173	49.7	2	10.7	-1.45
39	22.8	3.1	-16.2	-0.35	84	31.9	5.48	-7.1	2.03	129	40.9	2.75	1.9	-0.7	174	50	2	11	-1.45
40	23	3.15	-16	-0.3	85	32	5.49	-7	2.04	130	41.1	2.7	2.1	-0.75	175	50.2	2.2	11.2	-1.25
41	23.2	3.15	-15.8	-0.3	86	32.2	5.49	-6.8	2.04	131	41.3	2.6	2.3	-0.85	176	50.4	2.3	11.4	-1.15
42	23.4	3.3	-15.6	-0.15	87	32.4	5.48	-6.6	2.03	132	41.5	2.5	2.5	-0.95	177	50.6	2.3	11.6	-1.15
43	23.6	3.38	-15.4	-0.07	88	32.6	5.4	-6.4	1.95	133	41.7	2.45	2.7	-1	178	50.9	2.4	11.9	-1.1
44	23.8	3.4	-15.2	-0.05	89	32.8	5.4	-6.2	1.95	134	41.9	2.35	2.9	-1.1					
45	24	3.49	-15	0.04	90	33	5.4	-6	1.95	135	42.1	2.3	3.1	-1.15					



(七) B 轉速比 1:2

編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸
1	18.4	3.85	17.6	0.35	44	26.9	3.1	9.1	-0.4	87	35.3	3.1	0.7	-0.4	130	43.8	4.7	-7.8	1.2
2	18.5	3.85	17.5	0.35	45	27.1	3.05	8.9	-0.45	88	35.5	3.2	0.5	-0.3	131	44	4.58	-8	1.08
3	18.7	4	17.3	0.5	46	27.3	2.95	8.7	-0.55	89	35.7	3.4	0.3	-0.1	132	44.2	4.5	-8.2	1
4	18.9	4	17.1	0.5	47	27.5	2.85	8.5	-0.65	90	35.9	3.6	0.1	0.1	133	44.4	4.4	-8.4	0.9
5	19.1	4.1	16.9	0.6	48	27.7	2.75	8.3	-0.75	91	36.1	3.7	-0.1	0.2	134	44.6	4.3	-8.6	0.8
6	19.3	4.25	16.7	0.75	49	27.9	2.54	8.1	-0.96	92	36.3	3.85	-0.3	0.35	135	44.8	4.2	-8.8	0.7
7	19.5	4.3	16.5	0.8	50	28.1	2.4	7.9	-1.1	93	36.5	4.05	-0.5	0.55	136	45	4.1	-9	0.6
8	19.7	4.4	16.3	0.9	51	28.3	2.3	7.7	-1.2	94	36.7	4.15	-0.7	0.65	137	45.2	4	-9.2	0.5
9	19.9	4.49	16.1	0.99	52	28.5	2.25	7.5	-1.25	95	36.9	4.3	-0.9	0.8	138	45.4	3.9	-9.4	0.4
10	20.1	4.5	15.9	1	53	28.7	2.1	7.3	-1.4	96	37.1	4.5	-1.1	1	139	45.6	3.8	-9.6	0.3
11	20.3	4.6	15.7	1.1	54	28.9	2	7.1	-1.5	97	37.3	4.65	-1.3	1.15	140	45.8	3.7	-9.8	0.2
12	20.5	4.6	15.5	1.1	55	29.1	1.95	6.9	-1.55	98	37.5	4.7	-1.5	1.2	141	46	3.65	-10	0.15
13	20.7	4.7	15.3	1.2	56	29.3	1.9	6.7	-1.6	99	37.7	4.85	-1.7	1.35	142	46.2	3.5	-10.2	0
14	20.9	4.7	15.1	1.2	57	29.5	1.8	6.5	-1.7	100	37.9	4.95	-1.9	1.45	143	46.4	3.4	-10.4	-0.1
15	21.1	4.75	14.9	1.25	58	29.7	1.65	6.3	-1.85	101	38.1	5	-2.1	1.5	144	46.6	3.3	-10.6	-0.2
16	21.3	4.75	14.7	1.25	59	29.9	1.6	6.1	-1.9	102	38.3	5.1	-2.3	1.6	145	46.8	3.25	-10.8	-0.25
17	21.5	4.78	14.5	1.28	60	30.1	1.5	5.9	-2	103	38.5	5.2	-2.5	1.7	146	47	3.15	-11	-0.35
18	21.7	4.78	14.3	1.28	61	30.3	1.45	5.7	-2.05	104	38.7	5.25	-2.7	1.75	147	47.2	3.1	-11.2	-0.4
19	21.9	4.79	14.1	1.29	62	30.5	1.35	5.5	-2.15	105	38.9	5.35	-2.9	1.85	148	47.4	2.95	-11.4	-0.55
20	22.1	4.8	13.9	1.3	63	30.7	1.35	5.3	-2.15	106	39.1	5.35	-3.1	1.85	149	47.6	2.95	-11.6	-0.55
21	22.3	4.8	13.7	1.3	64	30.9	1.3	5.1	-2.2	107	39.3	5.45	-3.3	1.95	150	47.8	2.85	-11.8	-0.65
22	22.5	4.8	13.5	1.3	65	31.1	1.29	4.9	-2.21	108	39.5	5.5	-3.5	2	151	48	2.8	-12	-0.7
23	22.7	4.8	13.3	1.3	66	31.3	1.27	4.7	-2.23	109	39.7	5.5	-3.7	2	152	48.2	2.7	-12.2	-0.8
24	22.9	4.78	13.1	1.28	67	31.5	1.25	4.5	-2.25	110	39.9	5.51	-3.9	2.01	153	48.4	2.65	-12.4	-0.85
25	23.1	4.78	12.9	1.28	68	31.7	1.25	4.3	-2.25	111	40.1	5.6	-4.1	2.1	154	48.6	2.55	-12.6	-0.95
26	23.3	4.76	12.7	1.26	69	31.9	1.3	4.1	-2.2	112	40.2	5.6	-4.2	2.1	155	48.8	2.55	-12.8	-0.95
27	23.5	4.67	12.5	1.17	70	32.1	1.38	3.9	-2.12	113	40.4	5.61	-4.4	2.11	156	49	2.5	-13	-1
28	23.7	4.67	12.3	1.17	71	32.3	1.39	3.7	-2.11	114	40.6	5.62	-4.6	2.12	157	49.2	2.48	-13.2	-1.02
29	23.9	4.66	12.1	1.16	72	32.5	1.45	3.5	-2.05	115	40.8	5.55	-4.8	2.05	158	49.4	2.45	-13.4	-1.05
30	24.1	4.54	11.9	1.04	73	32.7	1.5	3.3	-2	116	41	5.55	-5	2.05	159	49.6	2.42	-13.6	-1.08
31	24.3	4.5	11.7	1	74	32.9	1.65	3.1	-1.85	117	41.2	5.45	-5.2	1.95	160	49.8	2.35	-13.8	-1.15
32	24.5	4.4	11.5	0.9	75	33.1	1.7	2.9	-1.8	118	41.4	5.45	-5.4	1.95	161	50	2.34	-14	-1.16
33	24.7	4.35	11.3	0.85	76	33.3	1.8	2.7	-1.7	119	41.6	5.44	-5.6	1.94	162	50.2	2.34	-14.2	-1.16
34	24.9	4.25	11.1	0.75	77	33.5	1.9	2.5	-1.6	120	41.9	5.35	-5.9	1.85	163	50.5	2.35	-14.5	-1.15
35	25.1	4.2	10.9	0.7	78	33.7	2.05	2.3	-1.45	121	42	5.35	-6	1.85	164	50.7	2.45	-14.7	-1.05
36	25.3	4	10.7	0.5	79	33.9	2.2	2.1	-1.3	122	42.2	5.25	-6.2	1.75	165	50.9	2.46	-14.9	-1.04
37	25.5	3.95	10.5	0.45	80	34.1	2.3	1.9	-1.2	123	42.4	5.25	-6.4	1.75	166	51	2.47	-15	-1.03
38	25.7	3.88	10.3	0.38	81	34.3	2.4	1.7	-1.1	124	42.6	5.15	-6.6	1.65	167	51.2	2.52	-15.2	-0.98
39	25.9	3.75	10.1	0.25	82	34.5	2.5	1.5	-1	125	42.8	5.1	-6.8	1.6	168	51.4	2.65	-15.4	-0.85
40	26.1	3.6	9.9	0.1	83	34.7	2.65	1.3	-0.85	126	43	5	-7	1.5	169	51.6	2.75	-15.6	-0.75
41	26.3	3.5	9.7	0	84	34.9	2.65	1.1	-0.85	127	43.2	4.95	-7.2	1.45	170	51.8	2.8	-15.8	-0.7
42	26.5	3.4	9.5	-0.1	85	35	2.9	1	-0.6	128	43.4	4.85	-7.4	1.35	171	52	3	-16	-0.5
43	26.7	3.25	9.3	-0.25	86	35.1	2.9	0.9	-0.6	129	43.6	4.8	-7.6	1.3	172	52.1	3.1	-16.1	-0.4



(八) B組轉速比 1:2.5

編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸	編號	原 x 軸	原 y 軸	調整後 x 軸	調整後 y 軸
1	16.8	2.8	16.2	0.09	47	25.8	2.2	7.2	-0.51	93	35	4.5	-2	1.79	139	44.2	0.98	-11.2	-1.73
2	17	2.9	16	0.19	48	26	2.1	7	-0.61	94	35.2	4.6	-2.2	1.89	140	44.4	0.99	-11.4	-1.72
3	17.2	3	15.8	0.29	49	26.2	1.9	6.8	-0.81	95	35.4	4.8	-2.4	2.09	141	44.6	1.1	-11.6	-1.61
4	17.4	3.1	15.6	0.39	50	26.4	1.75	6.6	-0.96	96	35.6	4.9	-2.6	2.19	142	44.8	1.2	-11.8	-1.51
5	17.6	3.2	15.4	0.49	51	26.6	1.6	6.4	-1.11	97	35.8	5	-2.8	2.29	143	45	1.2	-12	-1.51
6	17.8	3.3	15.2	0.59	52	26.8	1.45	6.2	-1.26	98	36	5.1	-3	2.39	144	45.2	1.35	-12.2	-1.36
7	18	3.48	15	0.77	53	27	1.4	6	-1.31	99	36.2	5.12	-3.2	2.41	145	45.4	1.48	-12.4	-1.23
8	18.2	3.6	14.8	0.89	54	27.2	1.28	5.8	-1.43	100	36.4	5.15	-3.4	2.44	146	45.6	1.6	-12.6	-1.11
9	18.4	3.7	14.6	0.99	55	27.4	1.15	5.6	-1.56	101	36.6	5.12	-3.6	2.41	147	45.8	1.65	-12.8	-1.06
10	18.6	3.85	14.4	1.14	56	27.6	1.05	5.4	-1.66	102	36.8	5	-3.8	2.29	148	46	1.74	-13	-0.97
11	18.8	3.9	14.2	1.19	57	27.8	1	5.2	-1.71	103	37	4.98	-4	2.27	149	46.2	1.85	-13.2	-0.86
12	19	4	14	1.29	58	28	0.9	5	-1.81	104	37.2	4.85	-4.2	2.14	150	46.4	1.98	-13.4	-0.73
13	19.2	4.15	13.8	1.44	59	28.2	0.85	4.8	-1.86	105	37.4	4.75	-4.4	2.04	151	46.6	2.1	-13.6	-0.61
14	19.4	4.25	13.6	1.54	60	28.4	0.75	4.6	-1.96	106	37.6	4.65	-4.6	1.94	152	46.8	2.15	-13.8	-0.56
15	19.6	4.25	13.4	1.54	61	28.6	0.65	4.4	-2.06	107	37.8	4.5	-4.8	1.79	153	47	2.3	-14	-0.41
16	19.8	4.35	13.2	1.64	62	28.8	0.6	4.2	-2.11	108	38	4.4	-5	1.69	154	47.2	2.45	-14.2	-0.26
17	20	4.45	13	1.74	63	29	0.55	4	-2.16	109	38.2	4.15	-5.2	1.44	155	47.4	2.55	-14.4	-0.16
18	20.2	4.46	12.8	1.75	64	29.2	0.54	3.8	-2.17	110	38.4	3.95	-5.4	1.24	156	47.6	2.7	-14.6	-0.01
19	20.4	4.47	12.6	1.76	65	29.4	0.49	3.6	-2.22	111	38.6	3.75	-5.6	1.04	157	47.8	2.8	-14.8	0.09
20	20.5	4.48	12.5	1.77	66	29.6	0.49	3.4	-2.22	112	38.8	3.65	-5.8	0.94	158	48	2.9	-15	0.19
21	20.6	4.5	12.4	1.79	67	29.8	0.51	3.2	-2.2	113	39	3.5	-6	0.79	159	48.2	3	-15.2	0.29
22	20.8	4.51	12.2	1.8	68	30	0.52	3	-2.19	114	39.2	3.4	-6.2	0.69	160	48.4	3.1	-15.4	0.39
23	21	4.52	12	1.81	69	30.2	0.55	2.8	-2.16	115	39.4	3.25	-6.4	0.54	161	48.6	3.2	-15.6	0.49
24	21.2	4.51	11.8	1.8	70	30.4	0.65	2.6	-2.06	116	39.6	3.05	-6.6	0.34	162	48.8	3.35	-15.8	0.64
25	21.4	4.46	11.6	1.75	71	30.6	0.75	2.4	-1.96	117	39.8	2.95	-6.8	0.24	163	49	3.45	-16	0.74
26	21.6	4.45	11.4	1.74	72	30.8	0.85	2.2	-1.86	118	40	2.6	-7	-0.11	164	49.2	3.52	-16.2	0.81
27	21.8	4.4	11.2	1.69	73	31	0.95	2	-1.76	119	40.2	2.5	-7.2	-0.21	165	49.4	3.65	-16.4	0.94
28	22	4.3	11	1.59	74	31.2	1.01	1.8	-1.7	120	40.4	2.4	-7.4	-0.31	166	49.6	3.75	-16.6	1.04
29	22.2	4.25	10.8	1.54	75	31.4	1.15	1.6	-1.56	121	40.6	2.3	-7.6	-0.41	167	49.8	3.76	-16.8	1.05
30	22.4	4.15	10.6	1.44	76	31.6	1.3	1.4	-1.41	122	40.8	2.1	-7.8	-0.61	168	50	3.9	-17	1.19
31	22.6	4.12	10.4	1.41	77	31.8	1.4	1.2	-1.31	123	41	1.95	-8	-0.76	169	50.2	3.98	-17.2	1.27
32	22.8	3.95	10.2	1.24	78	32	1.6	1	-1.11	124	41.2	1.6	-8.2	-1.11	170	50.4	4	-17.4	1.29
33	23	3.85	10	1.14	79	32.2	1.7	0.8	-1.01	125	41.4	1.55	-8.4	-1.16	171	50.6	4.1	-17.6	1.39
34	23.2	3.75	9.8	1.04	80	32.4	1.9	0.6	-0.81	126	41.6	1.45	-8.6	-1.26	172	50.8	4.12	-17.8	1.41
35	23.4	3.65	9.6	0.94	81	32.6	2.1	0.4	-0.61	127	41.8	1.25	-8.8	-1.46	173	51	4.15	-18	1.44
36	23.6	3.5	9.4	0.79	82	32.8	2.3	0.2	-0.41	128	42	1.15	-9	-1.56	174	51.2	4.15	-18.2	1.44
37	23.8	3.4	9.2	0.69	83	33	2.5	0	-0.21	129	42.2	1	-9.2	-1.71	175	51.4	4.14	-18.4	1.43
38	24	3.3	9	0.59	84	33.2	2.7	-0.2	-0.01	130	42.4	0.9	-9.4	-1.81	176	51.6	4.13	-18.6	1.42
39	24.2	3.2	8.8	0.49	85	33.4	2.95	-0.4	0.24	131	42.6	0.8	-9.6	-1.91	177	51.8	4.09	-18.8	1.38
40	24.4	3.1	8.6	0.39	86	33.6	3.15	-0.6	0.44	132	42.8	0.8	-9.8	-1.91	178	52	4	-19	1.29
41	24.6	2.9	8.4	0.19	87	33.8	3.35	-0.8	0.64	133	43	0.75	-10	-1.96	179	52.2	3.9	-19.2	1.19
42	24.8	2.75	8.2	0.04	88	34	3.5	-1	0.79	134	43.2	0.75	-10.2	-1.96	180	52.4	3.8	-19.4	1.09
43	25	2.65	8	-0.06	89	34.2	3.75	-1.2	1.04	135	43.4	0.74	-10.4	-1.97	181	52.6	3.7	-19.6	0.99
44	25.2	2.55	7.8	-0.16	90	34.4	3.95	-1.4	1.24	136	43.6	0.75	-10.6	-1.96					
45	25.4	2.4	7.6	-0.31	91	34.6	4.1	-1.6	1.39	137	43.8	0.85	-10.8	-1.86					
46	25.6	2.3	7.4	-0.41	92	34.8	4.25	-1.8	1.54	138	44	0.83	-11	-1.88					



【評語】 030101

能根據現象，建立模型，題材相當清新可喜，惜分析較偏數學，未能賦予物理意義，適當修改將更佳。