

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

佳作

030113

一折不兩斷的義大利麵條

—探討不同條件下義大利麵條的斷裂情況

學校名稱：嘉義市立民生國民中學

作者： 國一 洪宛瑩 國一 呂閑筠	指導老師： 陳正雍 吳銘訓
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：義大利麵條、曲率、波

摘要

用手折義大利麵條，並不容易斷成兩段，反而常斷為三段以上。我們建立能控制變因的折麵條機構，模擬手折的情況，探討不同義大利麵條斷裂的情況。

發現砝碼的落下距離越大、兩施力點越近、施力點與支點越遠，麵條容易斷成兩段，當麵條越彎曲，越容易斷裂。圓形麵條越粗，容易斷裂較多段。而寬扁麵條的平均斷裂條數少於圓形麵條。

當麵條受力後，彎曲處會像波一樣傳遞。若是慢慢彎曲麵條，會使麵條在最脆弱處產生第一個斷裂點，接下來會因能量傳遞而在其他點繼續斷裂；若以一定速度彎曲，曲率半徑最小處傳遞後，會先轉動的施力點另一側發生第一次斷裂點；文獻與實驗都可發現斷裂的麵條會被拉直，產生曲率半徑較小的位置，而繼續斷裂成多斷。

壹、研究動機

有一次在化學教室打掃時，發現地上有幾根未煮熟的義大利麵，我們認為應該是學長姊做實驗留下來的，於是我們拿起地上的義大利麵，開始玩了起來……便發現，手在義大利麵兩端施力的時候，不見得每次都能斷成兩節，常常會斷成三節、四節，甚至五節。

事後，我們上網查到了別人折義大利麵的影片，他們用高速攝影機將義大利麵彈出去的軌跡錄下來，看完影片加上之前的經驗，因此，想知道到底是什麼因素讓義大利麵不只斷成兩段？

想選擇這個題材，是因為很好奇義大利麵為什麼不能斷成兩節，想去探討且了解事情的真相。經過幾次的測試，再與老師討論一番，我們覺得雖然是個生活上常見的事物，但是卻是一個很有趣的現象，於是決定了我們思索已久的科展題材。

貳、研究目的

- 一、如何製作出能控制變因的實驗機構。
- 二、探討不同種類的麵條與斷裂節數的關係。
- 三、探討施力點角速度與麵條斷裂節數的關係。

- 四、探討兩施力點的距離與麵條斷裂節數的關係。
- 五、探討施力點與支點的距離和麵條斷裂節數的關係。
- 六、探討不同的義大利麵條與斷裂節數的關係。
- 七、探討義大利麵條的斷裂模式。

參、研究設備及器材

義大利麵條、C 型鎖、光軌基座、馬達、收納箱、洋眼釘、水平儀、高速攝影機、游標尺、電鑽、塑料膨脹管、酒精燈、冰棒棍、長尺(1 公尺)、金屬棒、螺絲起子、砝碼、木條

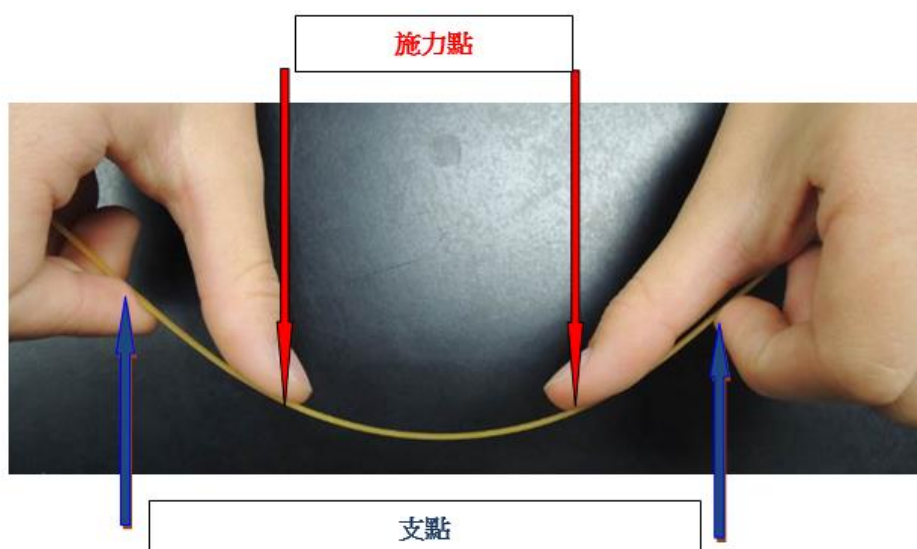
肆、研究過程、結果及討論

一、準備實驗：如何製作出能控制變因的實驗機構

對於這個有趣的現象(義大利麵條很難折成只有兩段)，雖然直接用手就可以看到此現象，但是，想要研究這個題目，必須要遵守一個實驗探討，只可以有一個操作變因的原則，直接用手折顯然不是好的科學方法，因此我們決定製作一個折麵條的機構，以方便探討實驗變因對結果的影響，以下是兩代折麵條機構的設計過程。

(一) 手折麵條

如圖一，這是利用手折麵條的情況，經過反覆先嘗試練習後，希望所設計出的折麵條機構符合手折的情況，但又能控制變因，分析折麵條時，雙手都各有一處施力點與支點，引此以下兩代折麵條機構都是利用此來設計。

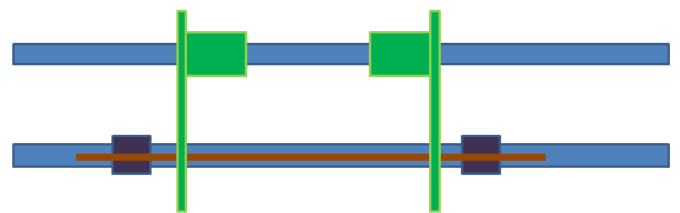
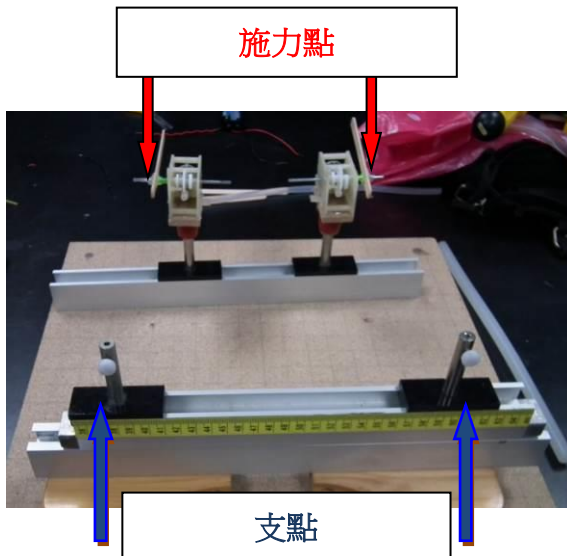


圖一 手折麵條示意圖

(二) 第一代的折麵條機構

1. 將光軌基座組合起來，並將義大利麵條放在上面。
2. 馬達組合起來後，將冰棒棍裝上，並放在第二條光軌基座上，如圖二。
3. 啟動馬達後，帶動木棒棍轉動，擊中麵條後，觀察麵條的斷裂情況。

結果：第一代機構因為馬達力量不夠，因此，雖然可以打到麵條，可是不容易將麵條折斷，就算加大電壓效果也不好，因此放棄此機構。



圖二 第一代折麵條機構及示意圖(俯視圖)

(三) 第二代的折麵條機構

因為第一代機構所產生的力道不夠，我們決定改變方式，使用砝碼所產生的重力來折麵條，這樣就可以放變隨時改變力量大小，而不會有折不斷的現象。

1. 把透明收納箱先標記好，每隔 2cm 畫一個點，再將十字起利用酒精燈加熱，在收納箱上面穿洞，如圖三。
2. 鋸兩段木條當成轉軸，並在中間鑽入洋眼釘，如圖四。
3. 其中一端用鐵鎚將金屬棒敲入其中，如圖五。
4. 木條另一邊則先用電鑽鑽洞，如圖六。
5. 將塑料膨脹管用鐵鎚打入木條中，避免木條轉動時有空轉發生，如圖七。



圖三 將收納箱標記並穿洞



圖四 木條中間鑽入洋眼釘



圖五 用鐵鎚將金屬棒敲入木條中

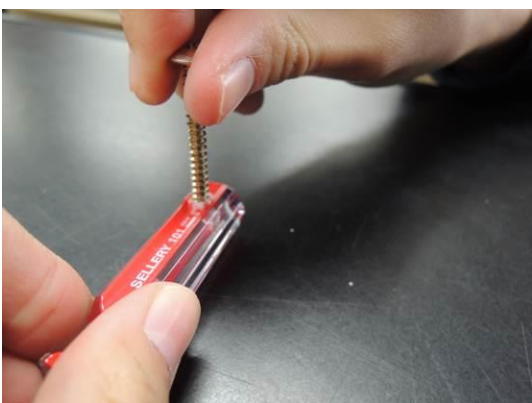


圖六 用電鑽鑽洞



圖七 將塑料膨脹管打入木條中

6. 將轉軸(木條與鐵條)穿過收納箱預先留好的孔洞中。
7. 把螺絲起子鑽上螺絲釘，並綁上線，如圖八。
8. 再將螺絲起子穿過收納箱，鑽入防滑墊片中。
9. 在收納箱的側邊挖出一個洞，以方便高速攝影機拍攝，如圖九。



圖八 螺絲起子鑽上螺絲釘



圖九 收納箱側邊挖洞

10. 綁在螺絲釘上的繩子另一端綁上 50 公克的砝碼。
11. 收納箱底部放上黑布。
12. 將水平儀固定在木條上，以方便砝碼落下時，可判斷是否同時啟動。
13. 當放在木條上的砝碼落下時，就可以啟動轉軸，而折斷麵條。

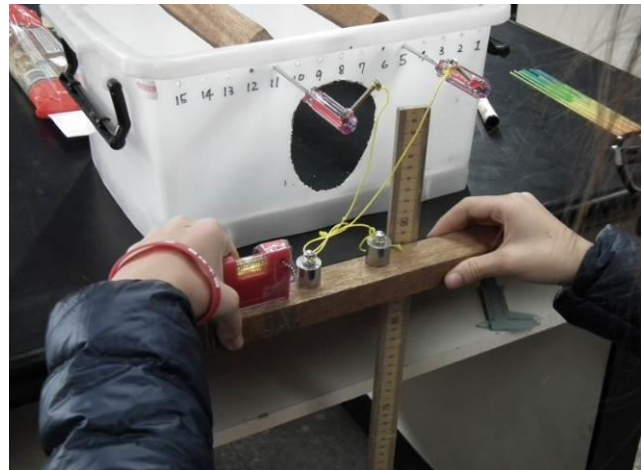
二、實驗一（探討不同種類的麵條與斷裂節數的關係）

（一）實驗過程：

1. 將義大利麵條放第二代機構的轉軸上，如圖十。
2. 將轉軸穿過編號 5 和編號 11 的孔洞中。
3. 把一公尺的長尺直立在地面上。
4. 將兩個 50 克的砝碼放在木條上（上有水平儀），雙手拿木條，如圖十一。
5. 放砝碼的木條對齊直立木尺 77 cm 的位置(砝碼無支撐落於木尺 67 cm 處)，使砝碼落下 10 cm。
6. 當將水平儀的氣泡對在中間，同時鬆開雙手使木條與砝碼自由落下(地上有紙箱防止水平儀直接掉落而破裂)。
7. 將斷裂的麵條黏在紙上，如圖十二。
8. 將麵條換成一般麵條，重複步驟 1~6，將結果紀錄於白紙上，如圖十三。



圖十義大利麵條放在轉軸上



圖十一 砝碼在木頭上維持相等高度

（二）結果：

如圖十二、圖十三所示，義大利麵條會裂成好幾段，一般麵條則均裂為兩段；此結果與用手折的效果相同，說明第二代的折麵條機構是可行的，並且發現義大利麵條容易斷成不只兩斷的現象。

因此，以下實驗設計就會從砝碼落落下的距離、兩施力點的距離、施力點與支點距離以及不同義大利麵條，來討論此有趣現象。



圖十二 義大利麵條斷裂情況



圖十三 一般麵條斷裂情況

三、實驗二（探討施力點角速度與麵條斷裂節數的關係）

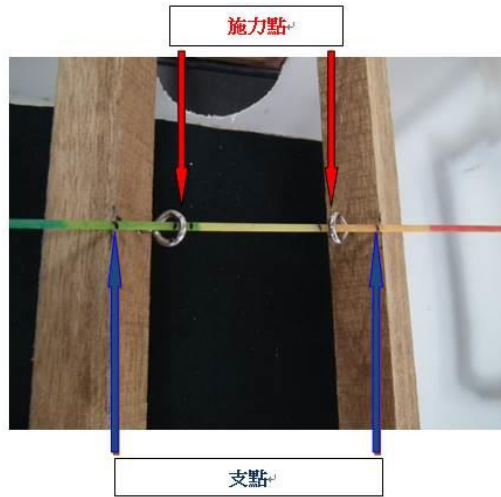
（一）砝碼落下距離與麵條斷裂節數的關係

1. 實驗步驟

- (1) 將麵條以 5 公分畫一個顏色，以方便判斷斷裂的情況，如圖十四。
- (2) 將麵條放在轉軸上，並且在施力點與支點標上記號，如圖十五。



圖十四 在麵條上塗顏色



圖十五 麵條上標示施力點及支點的位置

- (3) 將轉軸穿過編號 5 和編號 11 的孔洞，並使砝碼落下 5 cm(從 73 cm 處落到 68 公分處)。
- (4) 將兩個 50 克的砝碼放在木條上（上有水平儀），手拿木條，當將水平儀的氣泡對在中間，同時鬆開雙手使木條與砝碼自由落下。
- (5) 將斷裂的麵條依顏色區塊還原後，黏在紙上，如圖十六。



圖十六 黏麵條

- (6) 重複步驟 2~5，共將麵條利用此方式折斷 10 次，將結果記錄在白紙上，如圖十七。
- (7) 將附水平儀的木條對齊位置更動，使砝碼落下距離為 10 cm，並重複步驟 2~6，將結果記錄在白紙上，如圖十八。
- (8) 將附水平儀的木條對齊位置更動，使砝碼落下距離為 13 cm，並重複步驟 2~6，將結果記錄在白紙上，如圖十九。
- (9) 將附水平儀的木條對齊位置更動，使砝碼落下距離為 20 cm，並重複步驟 2~6，將結果記錄在白紙上，如圖二十。

2. 結果與討論：



圖十七 砝碼落下 5 cm，麵條的斷裂情況



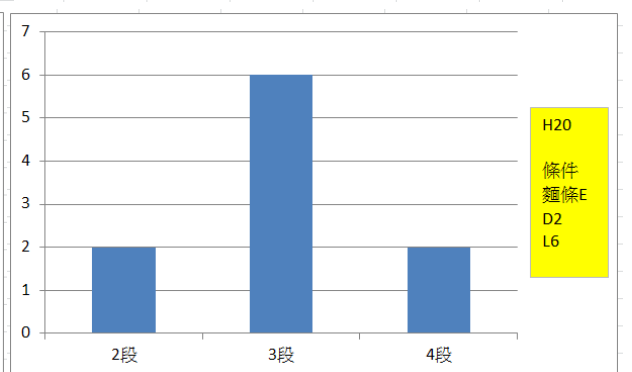
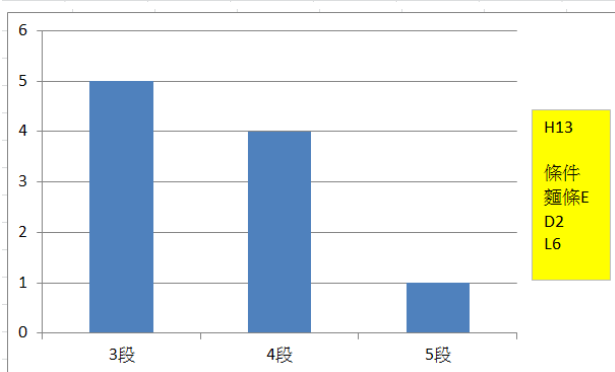
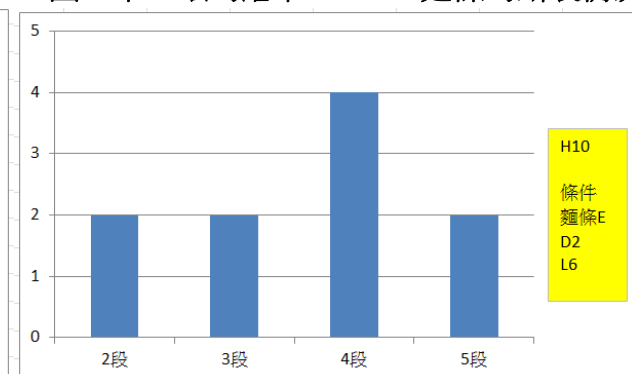
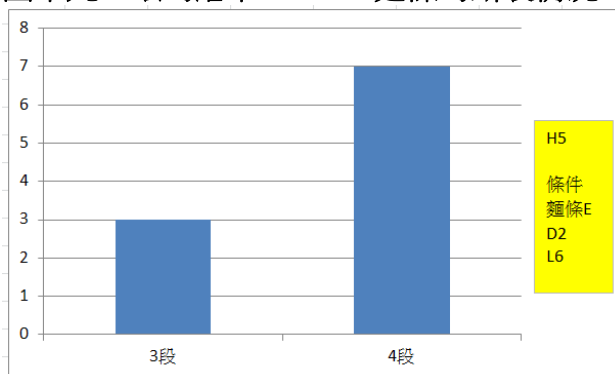
圖十八 砝碼落下 10 cm，麵條的斷裂情況



圖十九 砝碼落下 13 cm，麵條的斷裂情況



圖二十 砝碼落下 20 cm，麵條的斷裂情況



圖二十一 落下距離 5 cm(左上)、10 cm(右上)、13 cm(左下)、20 cm(右下)，麵條斷裂分布圖

表格一 不同落下距離 H ，麵條的斷裂情況

落下距離 H (cm)	10 次平均斷裂數 (條)	最多次的斷裂條數
5	3.7	4
10	3.6	4
13	3.6	3
20	3.0	3

- (1) 這個實驗，是利用砝碼落下的距離不同，模擬折麵條的速度。
- (2) 從結果發現，當砝碼落下 5cm、10 cm、13cm 時，麵條平均斷裂條數差異不大；砝碼落下距離為 20 cm，反而折斷的條數變少。
- (3) 當砝碼落下為 10 cm，麵條有機會斷為最多，因此後續實驗都固定使用落下距離為 10cm。
- (4) 推測折麵條速度在某特定條件可以機率折出最多斷，一旦速度太快，不容易出現斷多段的現象。
- (5) 當折的速度太快，麵條容易出現斷在施力點的情況，如圖二十二。砝碼落下 13cm 時出現 2 次，砝碼落下 20cm 時出現 8 次。出現這種情況，麵條斷裂的段數 2 段或 3 段，不容易出現斷多段的現象。



圖二十二 斷裂在施力點的情況(紫色圈圈的位置)($H=20\text{cm}$)

(二) 砝碼落下距離與施力點角速度的關係：

1. 實驗步驟

- (1) 將義大麵麵條放在機構上，使砝碼落下距離為 5 cm。
- (2) 利用高速攝影機拍攝，分析斷裂前十個影格的轉動角度，並計算出施力點的角速度。
- (3) 重複步驟(1)(2)，將落下距離更改為 10 cm、13 cm、20 cm，並將結果紀錄於表格二中。

2. 結果與討論

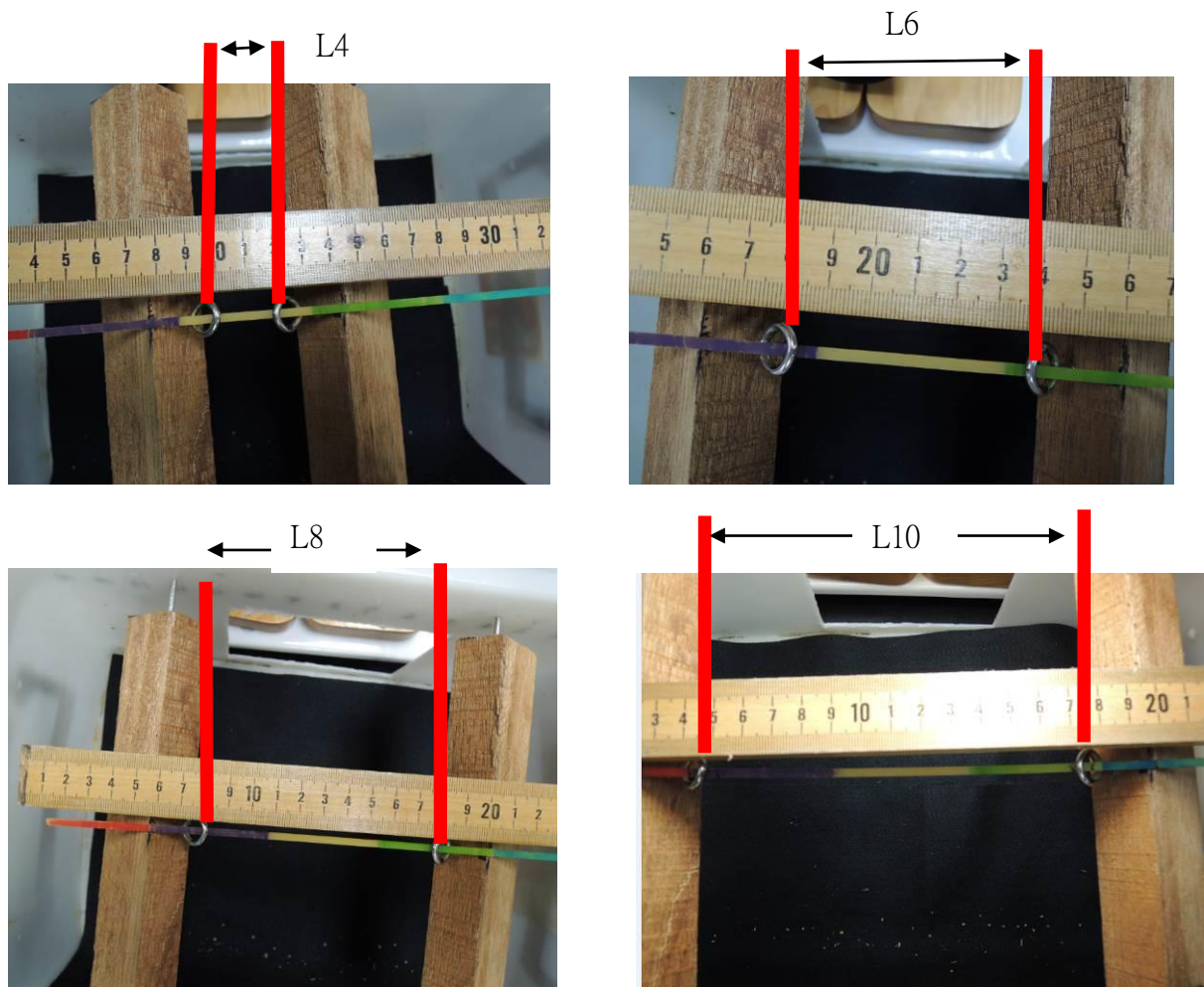
表格二 不同落下距離 H 與施力點速度的關係

落下距離 H (cm)	5	10	13	20
施力點角速度(度/ms)	1.42	1.85	2.36	2.42

四、實驗三 (探討兩施力點的距離與麵條斷裂節數的關係)

(一) 實驗過程：

1. 將麵條塗上顏色，並放在第二代的折麵條機構上。
2. 將轉軸穿過編號 6 和編號 10 的孔洞，量測麵條兩邊施力點的距離，紀錄為 L4。
3. 將兩個 50 克的砝碼調整至水平，使砝碼落下 10 cm，重複 10 次，並記錄如圖二十四。
4. 將轉軸穿過編號 5 和編號 11 的孔洞，紀錄麵條兩邊施力點的距離為 L6。
5. 重複步驟 3，記錄如圖二十五。
6. 將轉軸穿過編號 4 和編號 12 的孔洞，紀錄麵條兩邊施力點的距離為 L8。
7. 重複步驟 3，記錄如圖二十六。
8. 將轉軸穿過編號 3 和編號 13 的孔洞，紀錄麵條兩邊施力點的距離為 L10。
9. 重複步驟 3，記錄如圖二十七。



圖二十三 量測麵條兩邊施力點的距離 L4、L6、L8、L10

(二) 結果與討論：

表格三 轉軸在不同位置時，兩施力點的距離

	L4	L6	L8	L10
兩施力點的距離 (cm)	2.4	6.3	10.2	13.6



圖二十兩施力點距離 L4，麵條斷裂情況



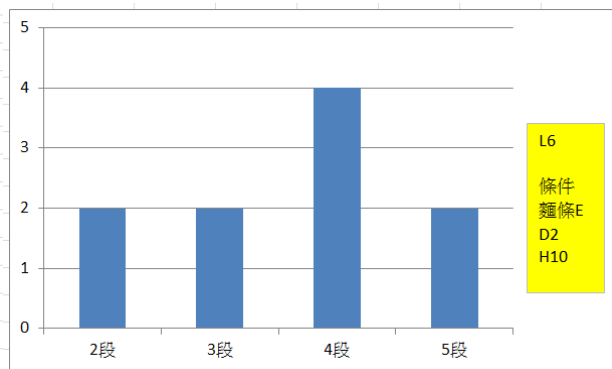
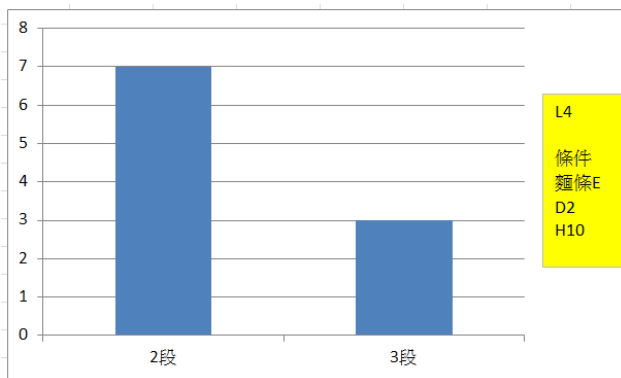
圖二十五 兩施力點距離 L6，麵條斷裂情況



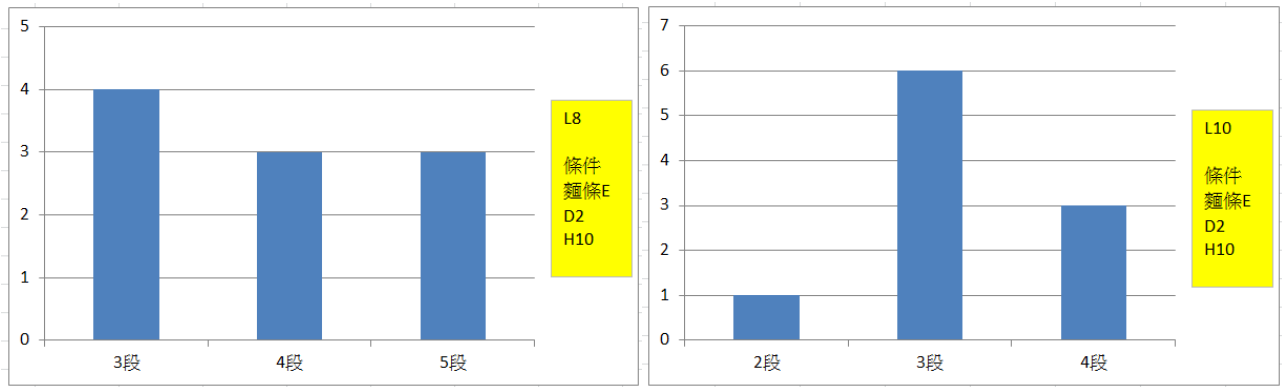
圖二十六 兩施力點距離 L8，麵條斷裂情況



圖二十七 兩施力點距離 L10，麵條斷裂情況



圖二十八 兩施力點距離 L4(左)、L6(右)，麵條斷裂情況分布圖



圖二十九 兩施力點距離 L8(左)、L10(右)，麵條斷裂情況分布圖

表格四 兩施力點距離不同，麵條的斷裂情況

代號	兩施力點距離 (cm)	10 次平均斷裂數 (條)	最多次的斷裂條數
L4	2.4	2.3	2
L6	6.3	3.6	4
L8	10.2	3.9	3
L10	13.6	3.2	3

1. 這個實驗，是利用改變兩施力點的距離，模擬雙手的靠近程度。
2. 從結果發現，當兩施力點的距離為 2.4 cm，折的段數最少，反而容易折出兩段的現象。
3. 當兩施力點的距離為 6.3 cm 及 10.2cm，折出平均段數差不多，但兩施力點距離為 10.2cm 折出的段數都在 2 段以上，因此後續討論兩施力點距離都採用 10.2cm 進行討論。
4. 當兩施力點的距離為 13.6cm 時，麵條平均斷裂條數卻下降，也出現折出兩段的現象。
5. 推測折麵條時，若雙手距離太近或太遠，都可能有一折兩段的現象。
6. 兩施力點太近時(L4)，也容易出现斷在施力點上的情況，10 次共出現 5 次。
7. 兩施力點太遠時(L10)，會出現斷裂在施力點與支點間，或出現斷裂在支點後的情況，如圖三十。

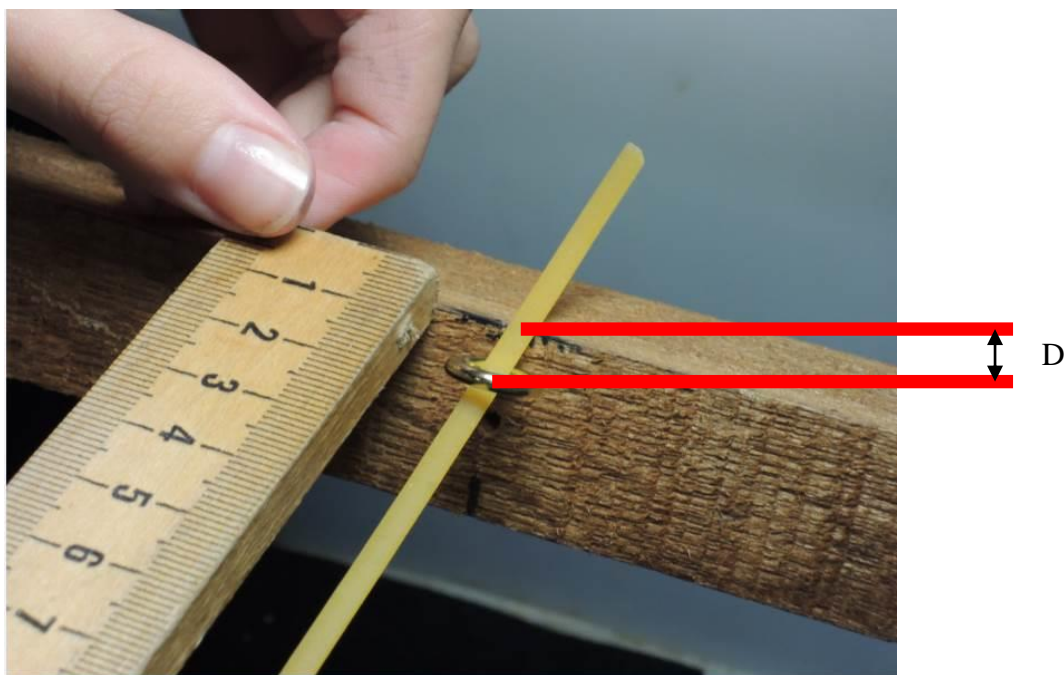


圖三十 斷裂在施力點的情況(紫色圈圈的位置)(L10)

五、實驗四 (探討施力點與支點的距離和麵條斷裂節數的關係)

(一) 實驗過程：

1. 將麵條塗上顏色，並放在第二代的折麵條機構上。
2. 將轉軸穿過編號 4 和編號 12 的孔洞。
3. 調整洋眼釘的位置，並記錄施力點到支點的距離為 D_1 。
4. 調整另一端的洋眼釘，使另一邊施力點到支點的距離仍為 D_1 。
5. 將兩個 50 克的砝碼放在附水平儀的木條上，調整至水平後使砝碼落下 10 cm。
6. 重複 10 次，並將斷裂的麵條黏在紙上，記錄如圖三十二。
7. 改變洋眼釘的位置，並記錄施力點到支點的距離為 D_2 。
8. 重複步驟 4~6，紀錄如圖三十三。
9. 再次改變洋眼釘的位置，並記錄施力點到支點的距離為 D_3 。
10. 重複步驟 4~6，紀錄如圖三十四。

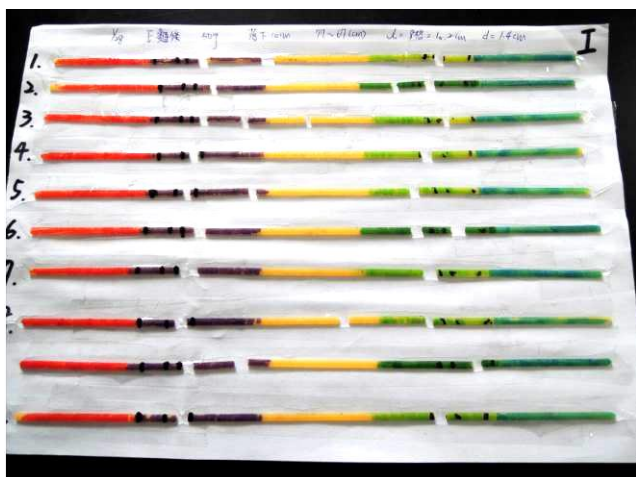


圖三十一 測量施力點到支點的距離

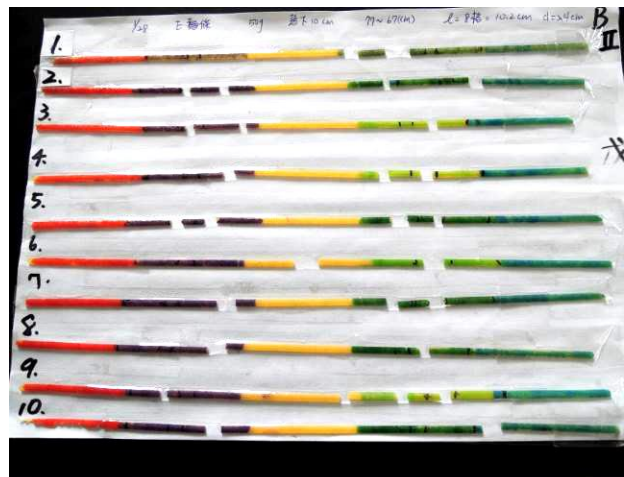
(二) 結果與討論：

表格五 轉軸在不同位置時，兩施力點的距離

	D1	D2	D3
兩施力點的距離 (cm)	1.4	2.4	3.6



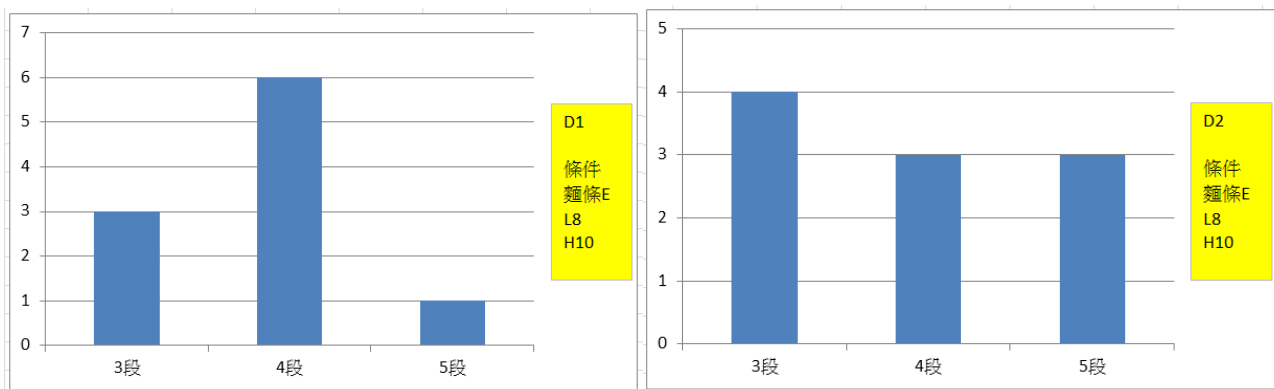
圖三十二 施力點與支點距離為 D1



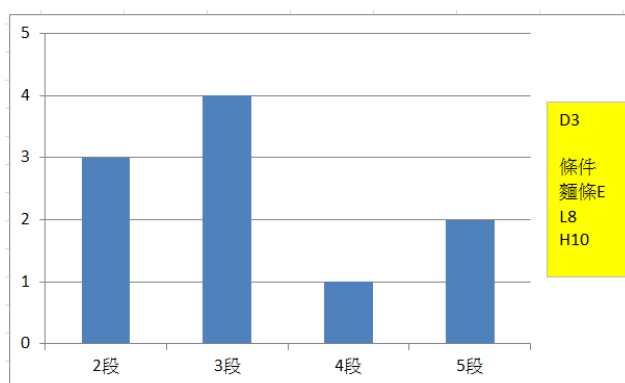
圖三十三 施力點與支點距離為 D2



圖三十四 施力點與支點距離為 D3



圖三十五 施力點與支點距離 D1(左)、D2(右)，麵條斷裂情況分布圖



圖三十六 施力點與支點距離 D3，麵條斷裂情況分布圖

表格六 不同施力點與支點距離，麵條的斷裂情況

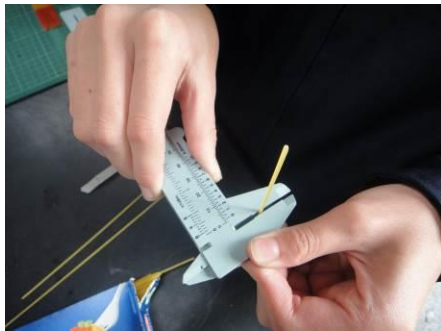
代號	施力點與支點距離 (cm)	10 次平均斷裂數 (條)	最多次的斷裂條數
D1	1.4	3.8	4
D2	2.4	3.9	3
D3	3.6	3.2	3

1. 這個實驗，是利用改變施力點和支點的距離，模擬折麵條時，大拇指與食指的距離。
2. 從結果發現，當施力點和支點的距離為 1.4 cm 和 2.4cm，折的平均段數差不多，分布情況也沒有明顯差異，只是距離為 2.4cm，比較容易斷成 5 段。
3. 當施力點和支點的距離為 3.6cm，折出平均段數下降，斷的情況有 2 段，也有 5 段。
4. 推測折麵條時，若大拇指與食指的距離太遠，折出的斷裂情況變化大。
5. 當施力點和支點的距離近(D1)，容易出現麵條斷在施力點；當施力點和支點的距離遠(D3)，容易出現麵條斷在施力點外的範圍。

六、實驗五（探討不同的義大利麵條與斷裂節數的關係）

（一）實驗過程：

1. 先選定五種不同的義大利麵麵條，編為麵條 A、麵條 B、麵條 C、麵條 D、麵條 E。
2. 用游標尺量每種麵條粗細，如圖三十七，並記錄於表格七。
3. 將麵條 A 塗上顏色，並放在第二代的折麵條機構上。
4. 將轉軸穿過編號 4 和編號 12 的孔洞。
5. 將兩個 50 克的砝碼，調整至水平後使砝碼落下 10 cm。
6. 重複步驟 5，將麵條折斷 10 次，並把斷裂的麵條固定在白紙上。
7. 將麵條依序換成麵條 B、麵條 C、麵條 D、麵條 E，並重複 5~6，紀錄如圖三十八。



圖三十七 用游標尺測量麵條粗細

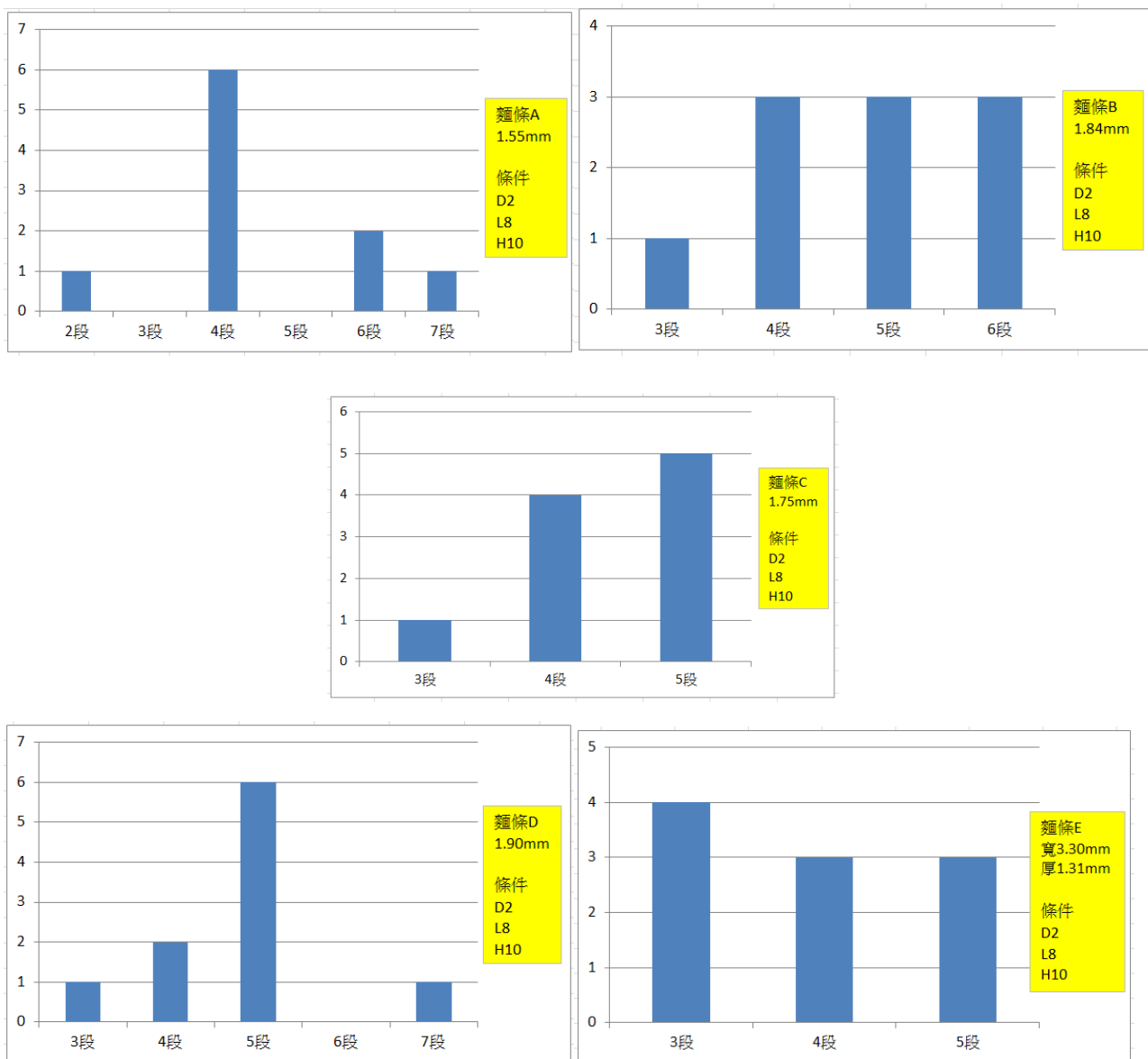
（二）結果與討論：

表格七 不同麵條的直徑

麵條種類 直徑 (mm)	麵條 A	麵條 B	麵條 C	麵條 D	麵條 E	
					寬	厚
第 1 次測量結果	1.55	1.80	1.70	1.90	3.30	1.30
第 2 次測量結果	1.50	1.85	1.75	1.95	3.20	1.30
第 3 次測量結果	1.50	1.80	1.80	1.95	3.35	1.30
第 4 次測量結果	1.60	1.85	1.75	1.85	3.35	1.30
第 5 次測量結果	1.60	1.90	1.80	1.90	3.30	1.30
第 6 次測量結果	1.55	1.85	1.70	1.85	3.30	1.30
第 7 次測量結果	1.55	1.85	1.70	1.90	3.30	1.30
第 8 次測量結果	1.60	1.85	1.75	1.85	3.30	1.35
第 9 次測量結果	1.45	1.85	1.80	1.90	3.30	1.30
第 10 次測量結果	1.55	1.80	1.75	1.95	3.30	1.35
10 次的平均結果	1.55	1.84	1.75	1.90	3.30	1.31



圖三十八 麵條 A(左上)、麵條 B(右上)、麵條 C(中圖)、麵條 D(左下)、麵條 E(右下) 的斷裂情況



圖三十九 麵條 A(左上)、麵條 B(右上)、麵條 C(中圖)、麵條 D(左下)、麵條 E(右下) 的斷裂分布圖

表格八 不同義大利麵條的斷裂情況

麵條	麵條直徑(mm)	10 次平均斷裂數 (條)	最多次的斷裂條數	剖面
A	1.55	4.5	4	圓形
B	1.84	4.8	4、5、6	圓形
C	1.75	4.4	5	圓形
D	1.90	4.8	5	3 麵條合成
E	寬 3.30、厚 1.31	3.9	3	寬版



圖四十 麵條 A~麵條 E 的剖面圖

1. 麵條 A、麵條 B、麵條 C 都是屬於圓柱狀的麵條，發現平均段數差不多。但直徑最粗的麵條 B，很容易斷成多段(4 段、5 段、6 段)，最細的麵條 A 段的斷裂情況差異很大，有斷 2 段，也有斷 7 段。
2. 麵條 D 為三根細麵條合成，斷裂情況差異很大，很容易斷為 5 段，和麵條 A 的情況有些相似，也會斷到 7 段。
3. 之前實驗均使用的麵條 E，斷裂的平均段數是最少的，但斷裂情況較一致。
4. 麵條 A、B、C 中，最細的麵條 A 斷裂在施力點上或施力點外的情況最多次，而較粗的麵條 B、C 則較少出現此情況。
5. 麵條 D 斷裂在施力點上或施力點外的情況 10 次內出現有 5 次。

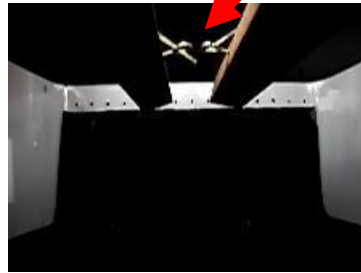
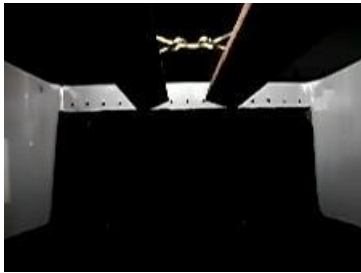
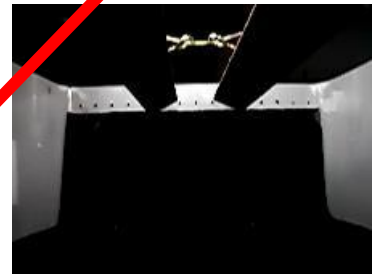
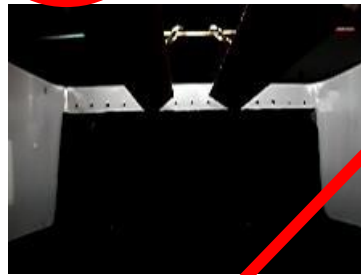
七、藉由高速攝影分析麵條斷裂與彎曲程度的關係

在實驗過程中，我們有利用高速攝影機拍攝麵條的折斷情況，現在以實驗三（探討兩施力點的距離與麵條斷裂節數的關係）來進行分析與討論。

註：為了使攝影畫面與麵條同方向，將麵條水平轉 180°。

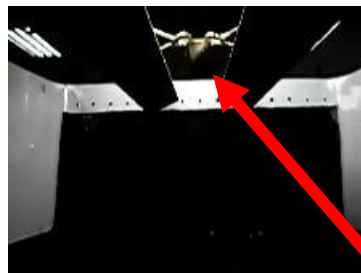
(一) 兩施力點距離 L4

1. 斷兩段的情況(L4 第 1 次)



中間彎曲程度大，直接斷在中間

2. 斷三段的情況(L4 第 6 次)



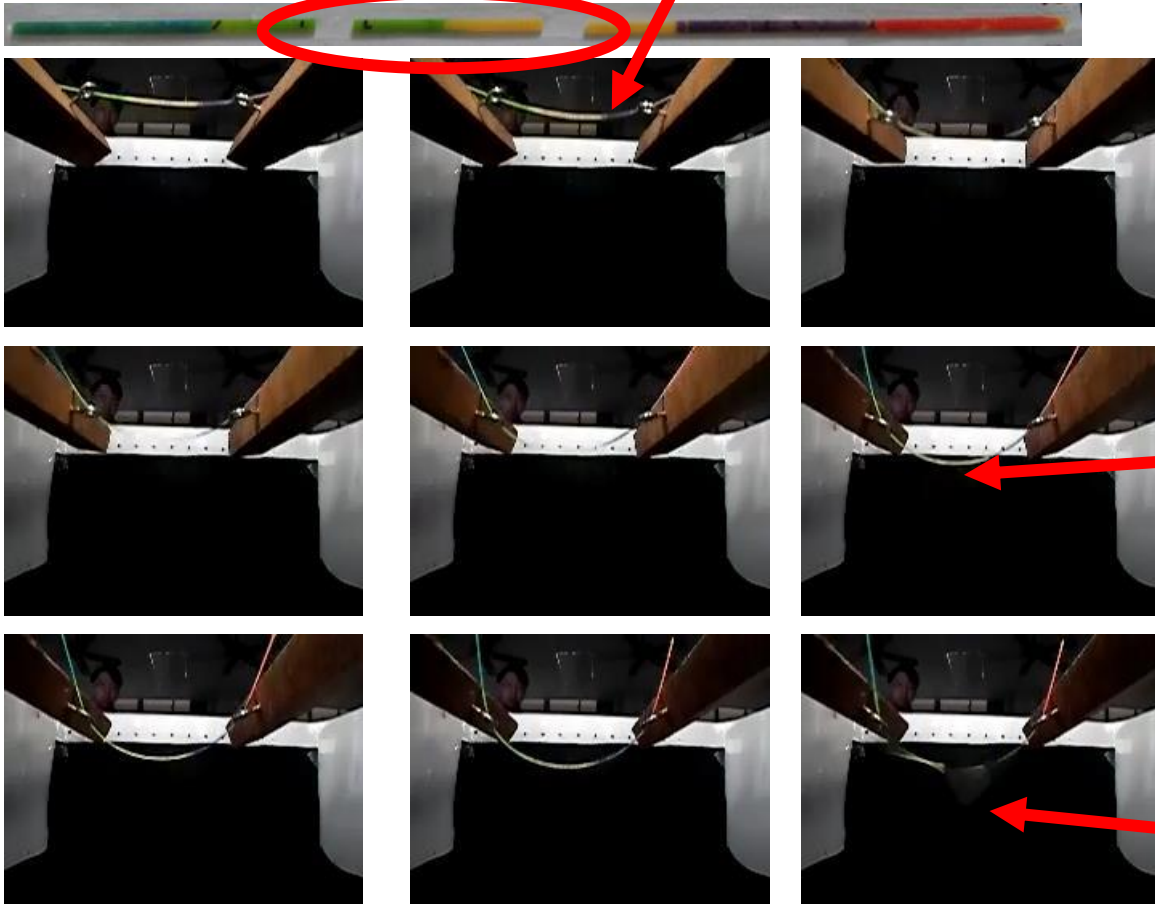
斷在中間，但中間部分繼續斷裂

L4 的情況，很容易直接斷裂在中央，所以斷裂的條數都不多。

(二) 兩施力點距離 L8

1. 斷三段的情況(L8 第 6 次)

畫面右邊先彎曲



變成畫面左邊彎曲

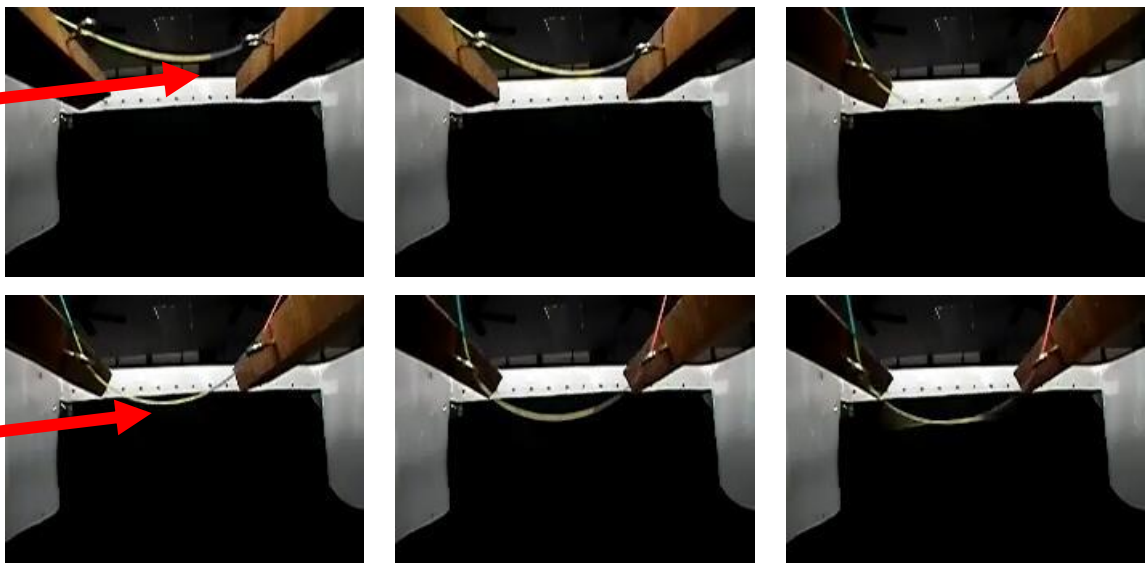
畫面左邊斷裂較多

2. 斷四段的情況(L8 第 4 次)

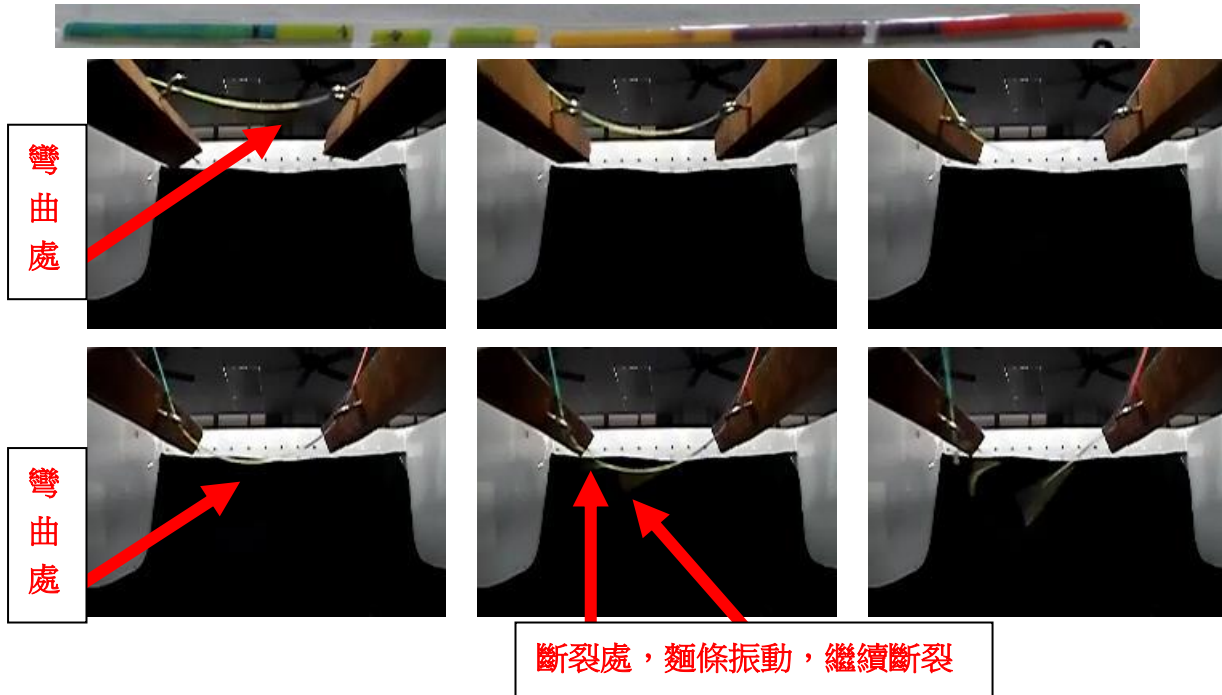


畫面右邊先彎曲

彎曲偏畫面左邊



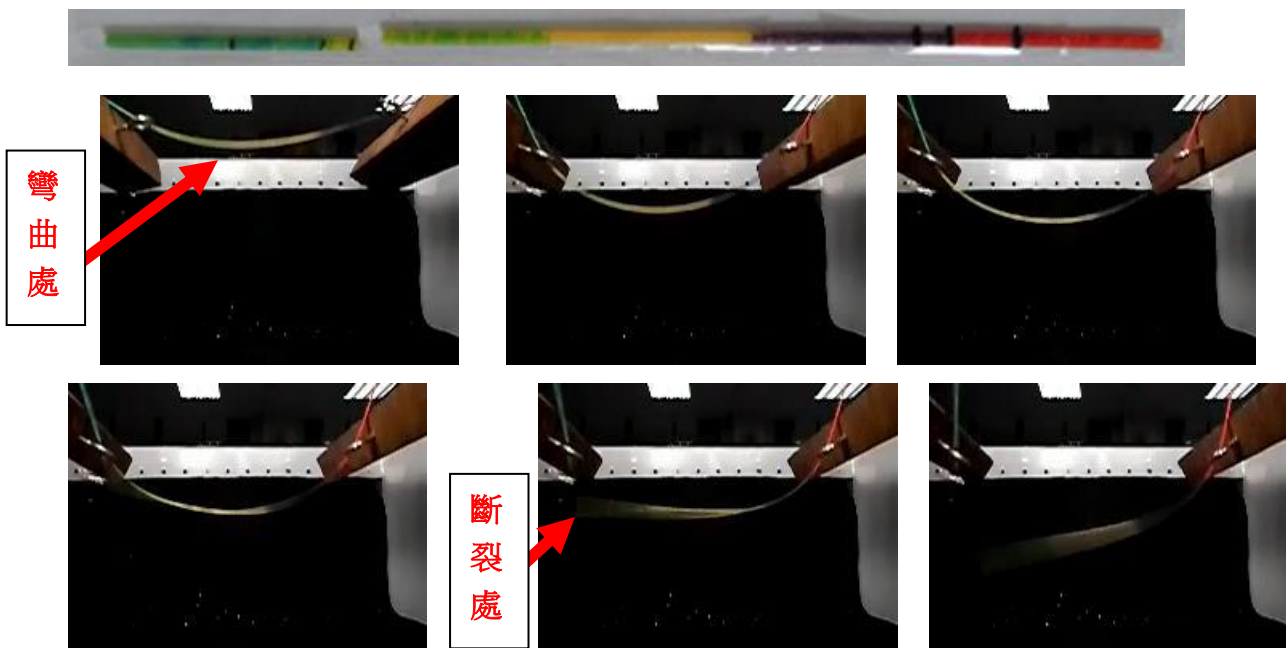
3. 斷五段的情況(L8 第 9 次)



麵條斷三段 (L4 第 1 次)、斷四段(L8 第 4 次)及斷五段(L8 第 9 次)的情況，可發現都是畫面右邊的麵條先被彎折，但是隨著麵條繼續被彎曲，彎曲的位置竟然傳到畫面左邊，導致左邊的彎曲程度較大，而使麵條呈現斷裂在左邊較多的情況。

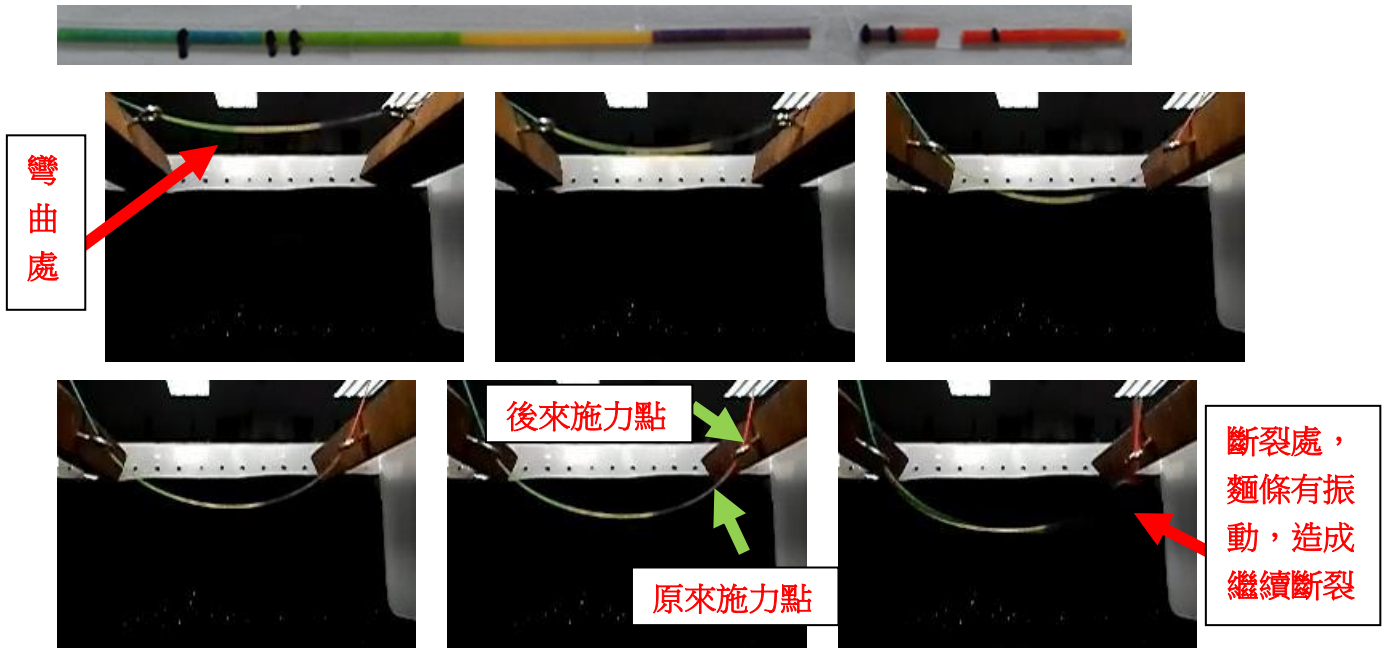
(三) 兩施力點距離 L10

1. 斷兩段的情況(L10 第 4 次)



由影片的截圖可觀察到，畫面左邊先彎曲，麵條中間的彎曲範圍很大，但彎曲程度並不大，反而是麵條兩側的彎曲程度較大，最後造成左側麵條斷裂。

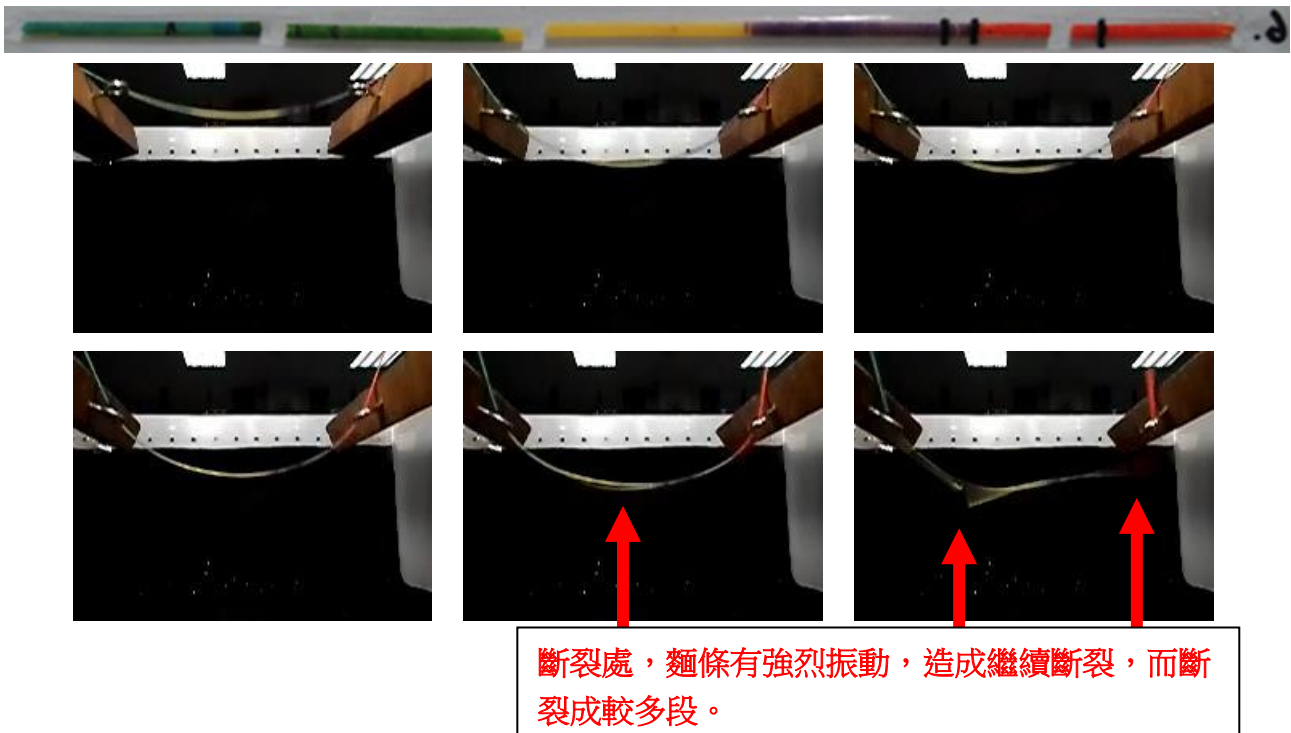
2. 斷三段的情況(L10 第 8 次)



如同兩施力點距離 L10 斷兩斷的情況，中央的彎曲程度不大，仍然是兩側的彎曲程度較大，最後造成麵條斷在右側，但斷裂處有強烈振動，造成麵條繼續斷裂。

我們觀察到，右側端的義大利麵條會被往中央拉扯，導致原本右側的施力點移動(如上圖所示)，使得最後的施力點上產生斷裂的情況。

3. 斷四段的情況(L10 第 6 次)

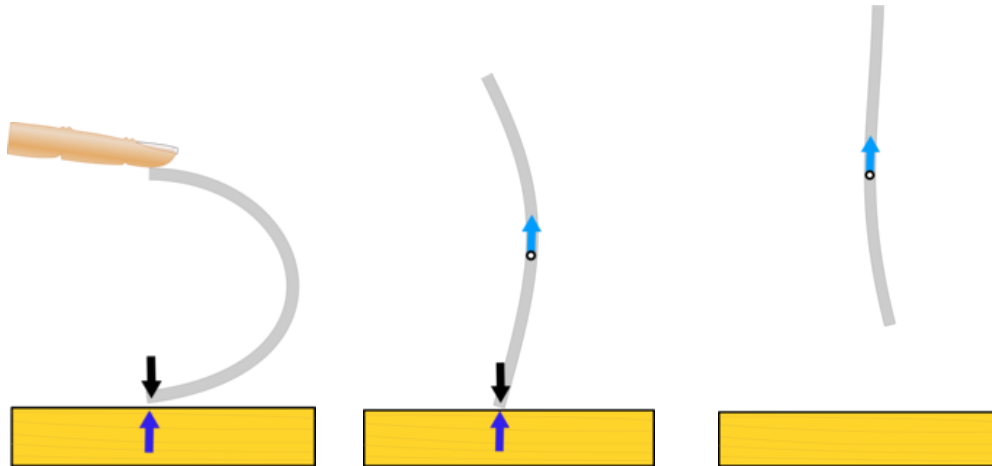


總結以上影片的觀察，感覺像是麵條受到擠壓的力量，而儲存能量，而義大利麵條本身又具有韌性，不容易輕易斷裂，一旦斷裂，似乎以波的型態將能量傳遞或釋放出來，而造成斷裂多段的現象。

八、理論探討與實驗的關聯性

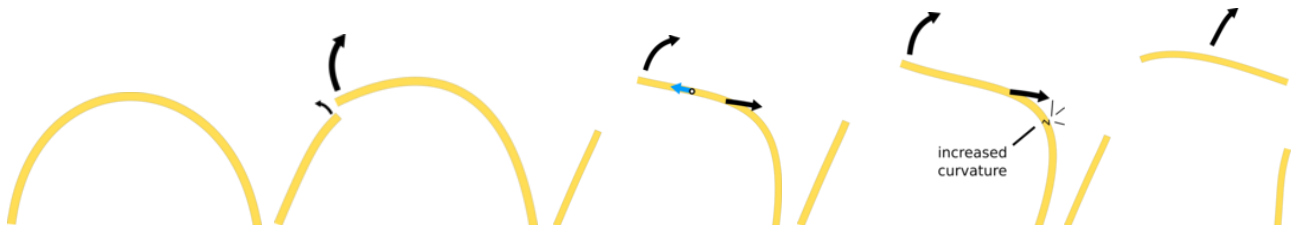
(一) 文獻探討

我們詢問老師後，找到幾篇文章及一些文獻，甚至費曼也曾經提出此問題，其中一篇(參考文獻五)指出，當一端為壓在底部，另一端用手指下壓，等到手指鬆開後，麵條會彈跳到上方，而將麵條拉直，如下圖四十一示。



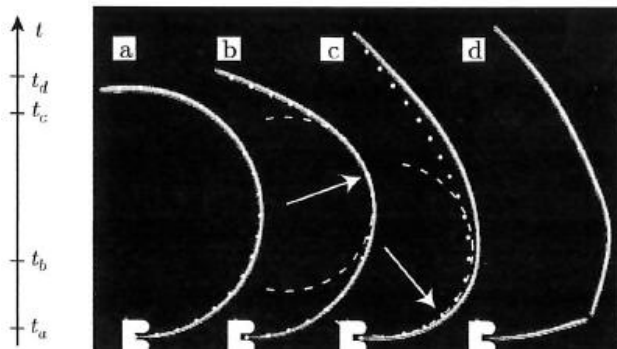
圖四十一 手鬆開後麵條被拉直而產生彎曲

圖四十二指出，當麵條若斷裂後，圖四十二的斷裂點就很像是圖四十一的手指鬆開處，會將麵條拉直，而使麵條的彎曲程度不同，曲率半徑最小的地方(也就是最彎的地方)就容易發生斷裂的情況。



圖四十二 產生第一個斷裂點後，造成其他部位彎曲的原因

參考文獻六指出，如圖四十二所示，一端固定，上方端慢慢下壓，之後突然鬆開，根據高速攝影機的觀察，隨時間經過由 t_a 到 t_d ，義大麵最彎曲的位置會移動，而導致最彎曲的地方會斷裂。



圖四十三 麵條彎曲位置的移動

(二) 文獻與實驗的關聯性

我們將分為兩部分探討，分為慢慢彎曲(如文獻五)及一定速度彎曲(如我們實驗所探討的情況及文獻六)的情況

1. 慢慢彎曲的情況

- (1) 當慢慢的彎曲義大利麵條，此時麵條每個點的曲率半徑都相同(彎曲程度都一致)，可是麵條結構不會完全一樣，因此第一次斷裂的位置應該會在麵條最脆弱處。
- (2) 第一次斷裂後，曲率半徑最小的位置會移動，使其他部位繼續產生斷裂。
- (3) 此時斷裂情況就像能量從震源傳出，波所產生的震動造成義大利麵條持續斷裂。

2. 一定速度彎曲的情況

- (1) 當用一定速度彎曲義大利麵條，因為慣性的緣故，麵條來不及均勻變形，能量就傳遞出去，因此麵條各部分的彎曲程度是不相同。
- (2) 本實驗因為有兩個施力點，因此兩邊都會造成麵條彎曲，曲率半徑最小處會由先施力的一端傳到另一側，導致另一側曲率半徑變小而斷裂，產生第一個斷裂點。
- (3) 第一個斷裂點幾乎都在先轉動的施力點另一側，因為先發生轉動的施力點將能量以波傳出，造成麵條彎曲而傳至另一側；後轉動的施力點也將能量傳到另一側，最後能量最大處反而比較靠近後轉動的施力點處，因此，才會觀察到先轉動的施力點彎曲位置轉移，而使第一個斷裂位置靠近後轉動的施力點附近。
- (4) 施力點處有時會有斷裂現象，是因為施力點不是自由的，麵條彎曲傳到施力點處，容易產生曲率半徑變小而斷裂，其他傳出去的能量，會使義大利麵條繼續產生斷裂。
- (5) 實驗三 H5、H10 及 H13 的情況，如同上述第(3)點而產生斷裂情況。
- (6) 實驗三 H20 的情況，我們猜測因施力速度太快，導致先轉動施力點直接造成麵條斷裂，而直接斷在施力點上。

伍、結論

- 一、 第二代折麵條機構能有效模擬用手折的情況。
- 二、 由實驗一可知義大利麵條較容易斷成兩段以上。
- 三、 由實驗二可知折的角速率太快(2.42 度/ms)，反而容易出現斷成兩段的現象。
- 四、 由實驗三可知兩施力點距離太近(L4=2.4cm)或太遠(L10=13.6 cm)，麵條斷的數量少；太近，麵條直接斷在中央處，太遠斷在兩側。
- 五、 由實驗四可知施力點與支點的距離太遠(D3=3.6 cm)，會出現斷兩段的現象。
- 六、 由實驗五可知圓形義大利麵條越粗(直徑=1.55 mm)，平均斷裂數越多；麵條 D 斷裂情況不穩定；寬扁麵條(麵條 E)平均斷裂數最少。
- 七、 由高速攝影可觀察到，彎曲程度越大的位置，越容易斷裂；斷裂後，麵條若有劇烈振動，會繼續斷裂成更多段；彎曲的位置會隨時間而傳遞。
- 八、 由文獻探討後，得知麵條斷裂後會被拉直，造成其他部位曲率半徑變小，而繼續斷裂。

陸、未來展望

- 一、 折麵條的數據若能繼續研究，並分析折斷麵條的長短，或許可以找出與波之間的關係。
- 二、 有報導指出義大利麵可解釋地震，若能加強其關聯性，能做更多討論及研究。

柒、參考文獻

- 一、 郭重吉等編著(民國 104 年)，自然與生活科技 2 上(P.70~P.78)，南一出版。
- 二、 郭重吉等編著(民國 104 年)，自然與生活科技 3 上(P.83~P.87，P.193)，南一出版。
- 三、 笑諾貝爾獎哈佛揭曉 另類引深思 科學也瘋狂(無日期)，2015/11/20，取自 http://tw.dufeed.com/article/content_114558.html
- 四、 折竹筷與義大利麵 清大發現地震新線索(2016/1/22)，2016/4/25，取自 <http://www.lihpao.com/?action-viewnews-itemid-122326>
- 五、 Snapping Spaghetti(2009/6/14)，2016.05.12，取自 <http://www.thenakedscientists.com/HTML/experiments/exp/snapping-spaghetti/>
- 六、 Basile Audoly and Sebastien Neukirch (2005)，Fragmentation of Rods by Cascading Cracks: Why Spaghetti Does Not Break in Half，PRL 95,095505.

【評語】 030113

1. 作品研究義大利麵條受力時，斷裂的各種可能性。作者以自製的簡單裝置，對麵條施不同作用力、不同的速度，觀察斷裂點數目、位置等關係，得到明確的實驗結果。此作品題目在國內未見過，實驗結果有豐富物理內容，值得嘉許。
2. 加強之處：此作品已見於國外學術期刊，此作品應強化國外作品未報導之項目。