

投稿類別：自然科學

篇名：

擺來擺去~亂中有序

作者：

張簡嘉品。花蓮縣立自強國中。八年一班。

黃聿璿。花蓮縣立自強國中。八年三班。

指導老師：

郭千睿 老師

壹、簡介：

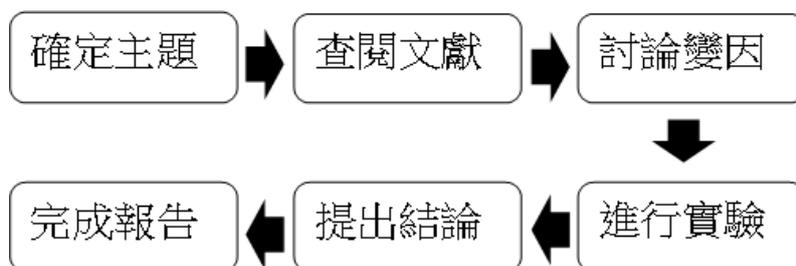
一、研究動機：

在課餘時間瀏覽網路時，我們看到了一部影片，影片裡有許多條細線的另一端掛著一顆鐵球的單擺組合而成一個蛇擺。我們看到操作的人手拿一支細長條狀的板子，以水平的方向靠近蛇擺，往前推動蛇擺後迅速將手收回，蛇擺就如同一條快速前進的蛇般扭動，出現行進波的形狀。一開始蛇擺呈現不規則擺動，呈現紊亂的狀態。但經過一段時間後，編號單數的球和雙數的球會分開兩邊，最後恢復原本像扭動的蛇的模樣。我們覺得非常的有趣，也覺得非常的療癒。於是我們開始對蛇擺產生好奇，就開始了這次的研究。

二、研究目的：

- 1.探討影響單擺週期的因素為何?
- 2.研究蛇擺的原理。
- 3.探討擺長規律性單擺組可否形成蛇擺?
- 4.探討擺長不規律性單擺組可否形成蛇擺?

三、研究流程：



四、研究問題：

- 1.確定主題：從老師提供的題目著手思考並確認研究主題。
- 2.查閱文獻：從網路和書籍中尋找資料，了解什麼是單擺和蛇擺。
- 3.討論變因：討論實驗中的相關變因。
- 4.設計實驗：設計擺長長度的規律性與否與蛇擺之間相關性。
- 5.進行實驗：著手進行不同擺長單擺組與與蛇擺的關係。
- 6.提出結論：探討單擺週期與蛇擺週期的關係。
- 7.完成報告：完成書面及口頭報告。

貳、正文：

一、實驗原理：

(一)單擺簡介

擺是一種儀器，可以用來展現各種力學的現象。十六世紀，義大利科學家伽利略（Galileo Galilei, 1564~1642）發現教堂天花板吊燈的擺動現象，於是利用自己的脈搏，測

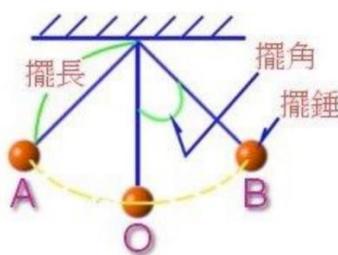
量教堂天花板吊燈的擺動週期，發現擺具有等時性的原理。擺的等時性原理是指不論擺動幅度（擺角小於 5°時）大些還是小些，完成一次擺動的時間是相同的。

單擺的英文為 Simple Pendulum，是一種掛在定點上，受到重力影響往復擺動的物體。單擺由一條不會伸縮的繩子(細繩的質量可以忽略)或竿子及一個錘組成，繩子的一端固定住，另一端掛錘(如圖一所示)。單擺的簡諧運動週期與擺錘質量、擺繩材質、擺角大小均無關，只與擺長有關。擺繩越長，就擺得越慢，週期也越大。凡具有規律性和重複性的現象，都可以用來測量時間。單擺具有等時性，單擺來回擺動一次所花的時間，稱為單擺週期。

在滿足偏角 $<10^\circ$ 的條件下，單擺的週期公式：

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

其中， L 是擺長固定點到擺錘重心的距離， g 為當地的重力加速度。而位在地球南極以及高緯度地區的單擺，其週期會比在赤道或低緯度處來得短。



圖一：單擺

擺最重要的特性是它只享以一種頻率，即通常所稱的固有頻率擺動。當受到外界的干擾而被刺激時，它相應的擺動規律則依賴於干擾振動頻率是否和原先它所希望的一致。這就是人們常說的共振效應。只要當外界的刺激和擺的固有頻率一致時，才可能將多餘的機械能傳給擺，道理就在於此。

(二)蛇擺簡介

蛇擺的英文為 Pendulum Wave，由數個單擺所組成，蛇行單擺的擺長是有規律性的變小，因此所有單擺的週期也會有規律性的變小。開始擺動後，會出現行進波的型態，行進波的波長會隨著時間的變化變得越來越短，漸漸進入紊亂的狀態，接著進入編號單數的球與雙數的球分成兩邊的過程，彷彿重複前半週期的狀態，但是會發現行進與前半週期的行進方向相反，最後會回到一開始的狀態。先設定一個蛇擺整體恢復的大週期 T ，然後假設讓最長的單擺在 T 時間內擺動 10 次，那麼次長單擺就在同樣時間內擺上 11 次，次次長的單擺擺動 12 次，以此類推，每個單擺各自的週期是 $T/(10+n)$ 。假設蛇擺一個週期為 T ，再假設最長的單擺擺動 N 次、次長的單擺擺動 $N+1$ 次、……、最短的單

擺擺動 $N+n$ 次所需的時間。所以蛇擺的各個單擺週期則可寫成 $\frac{\Gamma}{N+n}$ 。而設每個單擺的間

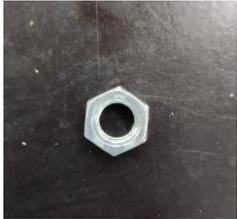
隔為 d ，最長的單擺到最短的單擺之間的距離為 $x=nd$ ，由 $\frac{\Gamma}{N+n}$ 等於 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 可得

$L(x) = g\left[\frac{\Gamma d}{2\pi(Nd+x)}\right]^2$ ，這就是蛇擺擺錘的連線。



圖二：蛇擺

二、實驗設備及器材：

		
<p>圖三：線</p>	<p>圖四：螺帽</p>	<p>圖五：羊眼釘</p>

三、研究內容

(一)影響單擺週期的因素：

影響單擺週期的變因有：擺長長度、擺錘質量、擺角。

A、改變擺長長度

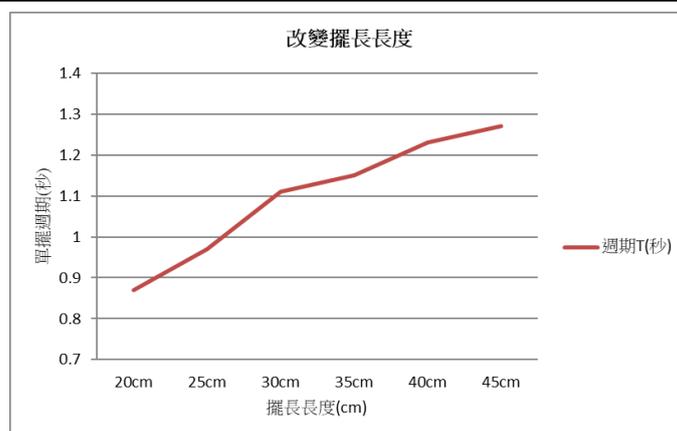


圖六：單擺實驗裝置

擺來擺去~亂中有序

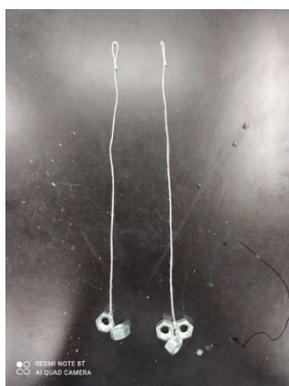
1. 擺錘質量固定(掛一個螺帽)，擺角固定為 10° 。
2. 改變擺長長度，選擇 20、25、30、35、40、45(cm)當作擺長長度。
3. 紀錄每個擺長擺動 10 次所需的時間。(重複 5 次實驗)

擺長 (cm)	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均時間 (秒/10 次)	週期 (秒/次)	理論值 (秒)
20cm	8.66	8.70	8.67	8.76	8.67	8.69	0.87	0.89
25cm	9.83	9.39	9.58	10.00	9.85	9.73	0.97	1.00
30cm	11.23	11.23	11.00	11.13	11.13	11.14	1.11	1.09
35cm	11.79	11.37	11.47	11.45	11.42	11.50	1.15	1.19
40cm	12.36	12.31	12.39	12.26	12.24	12.31	1.23	1.27
45cm	12.71	13.03	12.99	12.71	12.54	12.80	1.28	1.34



圖七：改變擺長長度週期折線圖

B、改變擺錘質量



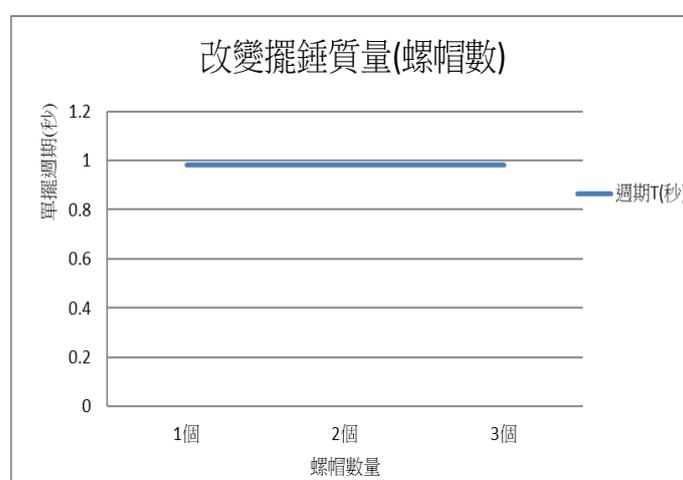
圖八：兩個與三個螺帽單擺

1. 擺長長度固定為 25cm，擺角固定為 10° 。
2. 改變擺錘質量，選擇掛 3 個螺帽(17.5)，掛 2 個螺帽(11.7 克)、掛 1 個螺帽(5.85 克)，當作擺錘質量。

3.紀錄每個擺錘擺動 10 次所需的時間。(重複 3 次實驗)

表二：改變擺錘質量(螺帽數量)

螺帽數	T1 (秒/10 次)	T2 (秒/10 次)	T3 (秒/10 次)	T4 (秒/10 次)	T5 (秒/10 次)	平均時間 (秒/10 次)	週期 (秒)	理論值 (秒)
1 個	9.86	9.64	9.82	9.89	9.82	9.81	0.98	1.00
2 個	9.75	9.88	9.92	9.59	9.94	9.82	0.98	1.00
3 個	9.97	9.82	9.79	9.74	9.79	9.82	0.98	1.00



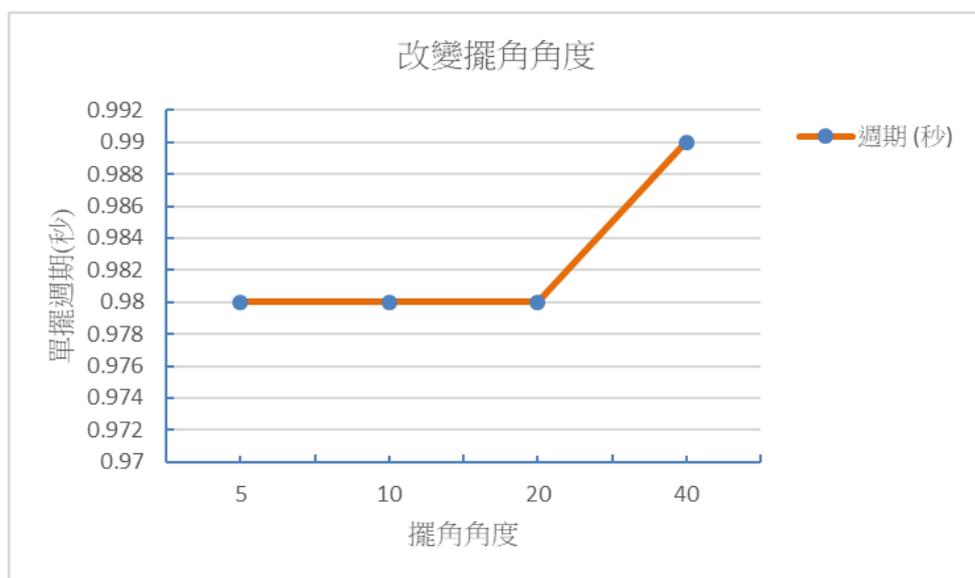
圖九：改變擺錘質量(螺帽數)折線圖

C、改變擺角角度

- 1.擺長長度固定為 25cm，擺錘質量固定(掛一個螺帽)。
- 2.改變擺角角度，選擇 5°、10°、20°、40° 當作擺角角度。
- 3.紀錄每個擺錘擺動 10 次所需的時間。(重複 5 次實驗)

表三：改變擺角角度

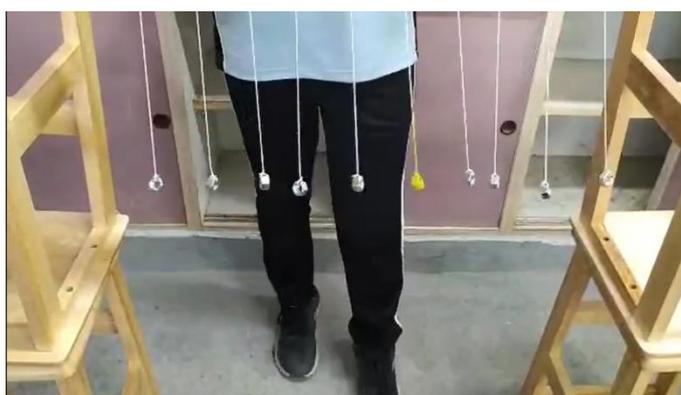
擺角角度	T1 (秒/10 次)	T2 (秒/10 次)	T3 (秒/10 次)	T4 (秒/10 次)	T5 (秒/10 次)	平均時間 (秒/10 次)	週期 (秒)	理論值 (秒)
5°	9.83	9.63	9.80	9.65	9.85	9.75	0.98	1.00
10°	9.83	9.59	9.58	10.00	9.85	9.77	0.98	1.00
20°	9.92	9.92	9.66	9.91	9.78	9.84	0.98	1.00
40°	9.88	9.98	9.96	9.90	9.96	9.94	0.99	1.00



圖十：改變擺角角度折線圖

(二)探討擺長規律性單擺組可否形成蛇擺

A、擺長長度一樣



圖十一：擺長相同的複數單擺

- 1.選擇 10 條擺長長度均為 25cm 的單擺組，進行擺動實驗。觀察是否有形成蛇擺?
- 2.紀錄每次擺動的週期，重複 3 次。

	T1 (秒/10 次)	T2 (秒/10 次)	T3 (秒/10 次)	平均時間 (秒/10 次)	週期 (秒)	理論值 (秒)
25cm	9.58	10.00	9.85	9.81	0.98	1.00
25cm	9.58	10.00	9.85	9.81	0.98	1.00
25cm	9.58	10.00	9.85	9.81	0.98	1.00
25cm	9.58	10.00	9.85	9.81	0.98	1.00
25cm	9.58	10.00	9.85	9.81	0.98	1.00
25cm	9.58	10.00	9.85	9.81	0.98	1.00

擺來擺去~亂中有序

25cm	9.58	10.00	9.85	9.81	0.98	1.00
25cm	9.58	10.00	9.85	9.81	0.98	1.00
25cm	9.58	10.00	9.85	9.81	0.98	1.00
25cm	9.58	10.00	9.85	9.81	0.98	1.00



B、擺長長度成規律性的單擺組

- 1.選擇 10 條擺長長度依序為 21、22、23……、30cm 的單擺組，進行擺動實驗。觀察是否有形成蛇擺？
- 2.紀錄每次擺動的週期，重複 3 次。

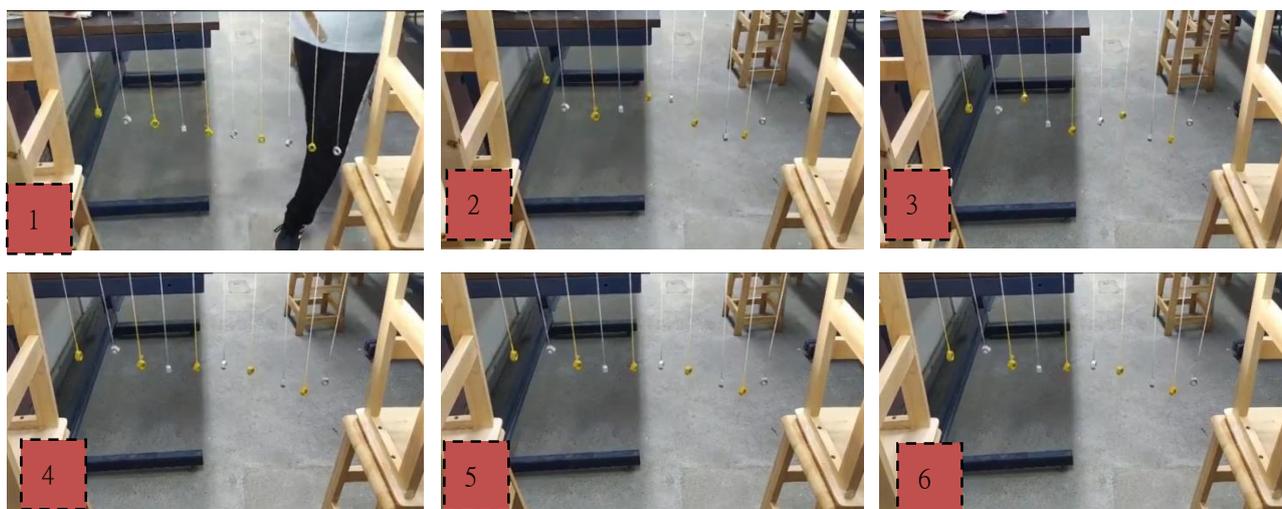


圖十二：擺長呈規律性的數個單擺

擺長	T1 (秒/10 次)	T2 (秒/10 次)	T3 (秒/10 次)	平均時間 (秒/10 次)	週期 (秒)	理論值 (秒)
21cm	9.38	9.32	9.28	9.33	0.93	0.92
22 cm	9.19	9.20	9.08	9.16	0.92	0.94

擺來擺去~亂中有序

23 cm	9.35	9.45	9.48	9.43	0.94	0.96
24 cm	9.73	9.66	9.49	9.63	0.96	0.98
25 cm	9.83	9.85	9.82	9.83	0.98	1.00
26 cm	9.98	9.99	9.92	9.96	1.00	1.02
27 cm	10.19	10.16	10.08	10.14	1.01	1.04
28 cm	10.36	10.50	10.66	10.51	1.05	1.06
29 cm	10.79	11.09	10.79	10.89	1.09	1.08
30 cm	11.23	11.13	11.00	11.12	1.11	1.10



圖十三：擺長呈規律性的單擺組擺動過程

(三) 探討擺長不規律性單擺組可否形成蛇擺？

A、擺長長度不規律性單擺組

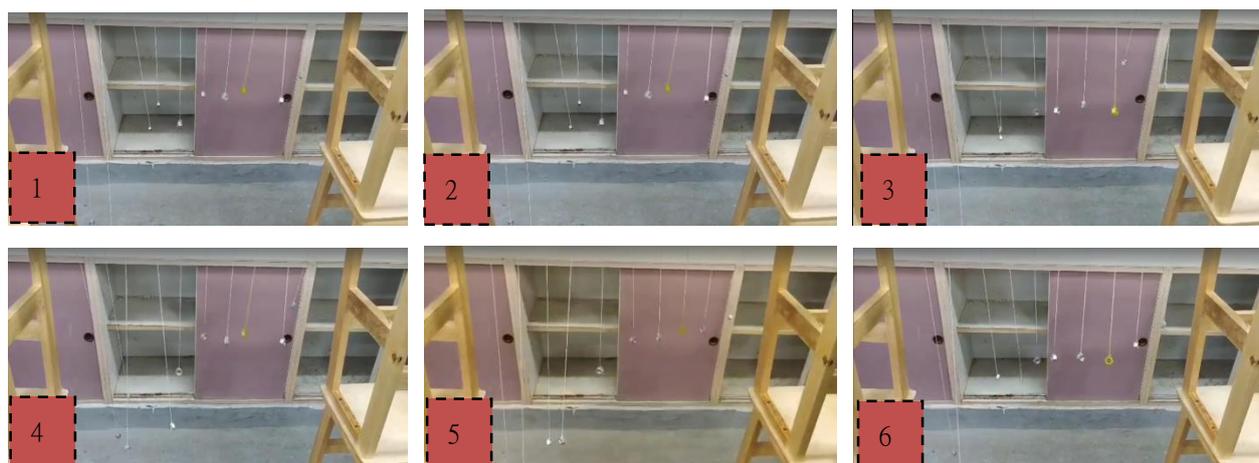
進行擺動實驗。觀察是否有形成蛇擺？

2.紀錄每次擺動的週期，重複3次。



圖十三：擺長呈不規律性的數個單擺組

擺長	T1 (秒/10 次)	T2 (秒/10 次)	T3 (秒/10 次)	平均時間 (秒/10 次)	週期 (秒)	理論值 (秒)
20cm	8.66	8.70	8.76	8.70	0.87	0.89
21 cm	9.38	9.32	9.28	9.33	0.93	0.92
22cm	9.19	9.20	9.18	9.19	0.92	0.94
24 cm	9.73	9.66	9.49	9.63	0.96	0.98
27 cm	10.19	10.16	10.08	10.14	1.04	1.04
29 cm	10.79	11.09	10.79	10.89	1.09	1.08
30 cm	11.23	11.13	11.00	11.12	1.11	1.10
35cm	11.79	11.37	11.47	11.50	1.15	1.19
40 cm	12.36	12.31	12.39	12.31	1.23	1.27
45 cm	12.71	13.03	12.99	12.80	1.28	1.35



圖十四：擺長呈不規律性的單擺組擺動過程

參、結論與討論：

一、結論

- 1.從實驗一得知，改變擺長長度，單擺週期也會改變。擺長越長，週期越大。同時我們利用公式計算單擺週期理論值，發現實驗值與理論值誤差沒有很大。
- 2.從實驗二，改變擺錘質量以螺帽當擺錘，發現螺帽數量增加，單擺週期仍然沒有變化，得知擺錘質量不影響單擺的週期。
- 3.從實驗三，改變擺錘擺動的角度，發現擺角角度改變時，單擺週期仍然沒有太大變化，得知擺錘擺動角度不影響單擺週期。

- 4.發現擺長呈規則性增加比擺長一樣形成蛇擺的現象比較明顯。
- 5.擺長長度成雜亂無規律性不容易看出有形成蛇擺的現象。

二、討論：

- 1.從製作單擺組，選擇什麼當作擺錘，查閱一些文獻及影片，覺得選擇螺帽較為方便，但是如何看出有蛇擺現象，我們決定塗上顏色，但是因為時間上的不足，因此只做一組有顏色改變的單擺組。之後會讓蛇擺現象可以清楚呈現，會將螺帽塗色。
- 2.時間上的不足，因此我們只針對會影響單擺週期的變因，進行數據分析。所的實驗結論與理論值計算的結果，誤差不大，因為我們選擇動力加速度值為 9.8m/t^2 。
- 3.三種不同擺長組合的單擺組，我們只從錄影所節錄的圖片，來說明有沒有會產生蛇擺的現象。至於利用蛇擺公式計算蛇擺週期是我們下一階段要進行的實驗部分。

肆、參考資料：

一、網路資料

1. cosci：

<https://cosci.tw/run/?name=ZTSa261473747827063>

2. 蛇形單擺 - NTCU-科學遊戲實驗室

<http://scigame.ntcu.edu.tw/power/power-014.html>

3.擺- 维基百科，自由的百科全書：

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%93%BA>

4.【觀念】單擺運動的等時性 | 自然 | 均一教育平台

<https://www.juniacademy.org/junyi-science/science-juni/middle-school-physics-chemistry/s4zss-/v/T65WCJvKCIk>

二、圖書期刊資料

1. 利用擺動系統研究失真與渾沌黃佳琪國立交通大學
2. 打草驚蛇，擺玩不厭李冠宏、許景勛、陳彥達
3. 單擺及其應用—蛇擺。鄭瀚。桃園市私立新興高中。一年 214 班。
4. 「擺」尺竿頭，更進一步。陳怡汝 洪珮婷 陳怡君。嘉義縣第五十二屆國民中小學科學展覽會。