

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

030114

重力波速---不同重力下的波速探討

學校名稱：臺北縣立蘆洲國民中學

作者： 國二 廖維暘 國二 黃柏瑋 國二 陳筱文 國二 陳建盛	指導老師： 商仲凱 郭春華
---	-----------------------------

關鍵詞：重力、水波、骨牌

摘要

在國中自然第三冊第三章有關於波的傳遞速度的介紹，由內容得知：在地表的重力作用之下波的傳遞速度和介質本身的特性有關，因此我們思考一個問題：如果把骨牌與水波移到月球上，而月球上的重力只有地球的六分之一，波的傳遞速度會如何改變？因此開始這一次的研究。首先得到：在地表重力作用之下，骨牌間距越短能量傳遞的速度越慢，而水波越深能量傳遞速度越快。接著我們設計一部可以改變加速度的滑軌裝置，將骨牌及水波置於此裝置上，當改變不同的加速度時，我們可以得到：加速度越小，骨牌與水波的能量傳遞速度都會減少，而水波的振幅會變大。

壹、研究動機

在一個偶然的機會下，我們在電視上看到一則關於太空人在月球上漫步的新聞報導，得知月球上的重力只有地球的六分之一，這使我們想要知道骨牌以及水波在月球上的能量傳播速率是否會和地球上一樣？於是我們組裝一部三公尺高的軌道，準備要『改變加速度大小』以探討在不同重力作用之下的能量傳遞速率會如何改變。

貳、研究目的

- 一、在地表重力作用下，改變骨牌間距和水波的深淺，以觀測能量傳遞速率的變因。
- 二、設計可以調整不同加速度的軌道裝置。
- 三、利用軌道裝置改變加速度的大小，以探討在不同重力之下，骨牌與水波的能量傳遞速率。

參、研究設備及器材

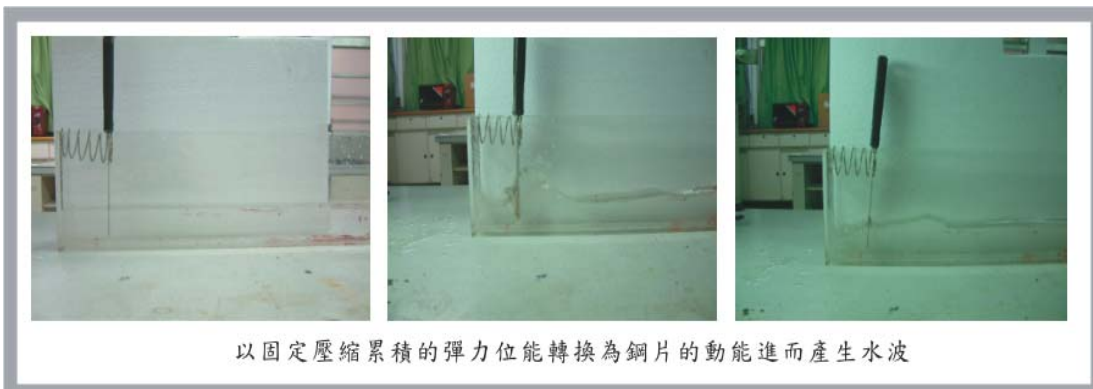
光電計時器、直尺、捲尺、碼錶、海報紙、泡棉膠、透明壓克力水槽數個、3 公尺直立軌道與滑塊、1 公斤鐵塊數個、DV 攝影機、數位相機、小型網路攝影機、標準骨牌、角鋼數支、定滑輪、防震海棉墊、彈簧、黏土、筆記型電腦、廣告顏料。

肆、研究過程與方法

研究一：在地表重力作用之下，改變骨牌的間距及水波的深淺，以觀測能量傳遞速率的變因。

(一) 作功裝置：

1. 在骨牌實驗中，我們利用單擺裝置對骨牌作功，讓擺至最低點的擺錘撞擊骨牌，因此只要調整擺角的大小即可控制作功的大小。
2. 起波器的製作：為使每次產生的水波有固定的能量傳遞，我們找到彈力適中的彈簧架設於水波槽一端，以固定壓縮累積的彈力位能轉換為鋼片的動能進而產生水波，如下圖九所示：

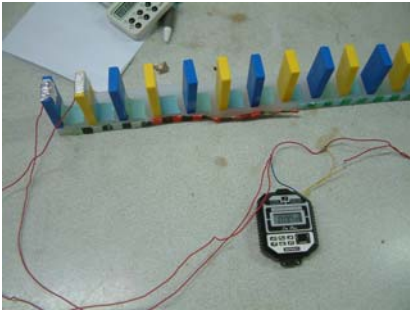


圖九

以固定壓縮累積的彈力位能轉換為鋼片的動能進而產生水波

(二) 實驗步驟：

- 1.實驗裝置如圖一，將骨牌分別以間距 0.5 公分、1 公分、1.5 公分、2 公分、2.5 公分、3 公分排列整齊，調整擺角為 10 度，讓擺錘自由擺動至最低點時撞擊骨牌，用碼錶測出能量傳遞的時間及算出能量傳遞的速率，結果如表一。
- 2.實驗裝置如圖二，製作長度為 60cm 的透明壓克力水槽，方便觀察水波速的傳遞。
- 3.將水深分別以 0.5 公分、1 公分、1.5 公分、2 公分、2.5 公分、3 公分，以起波器產生波動，並以碼錶測出傳遞時間，即可算出能量傳遞的速率。結果如表二。
- 4.以碼錶紀錄不同水深與水波速的關係，因水波速頗快，故以水波在水槽內來回行進一次的距離與時間的相除值為波速。



圖一 骨牌裝置



圖二 水波槽裝置

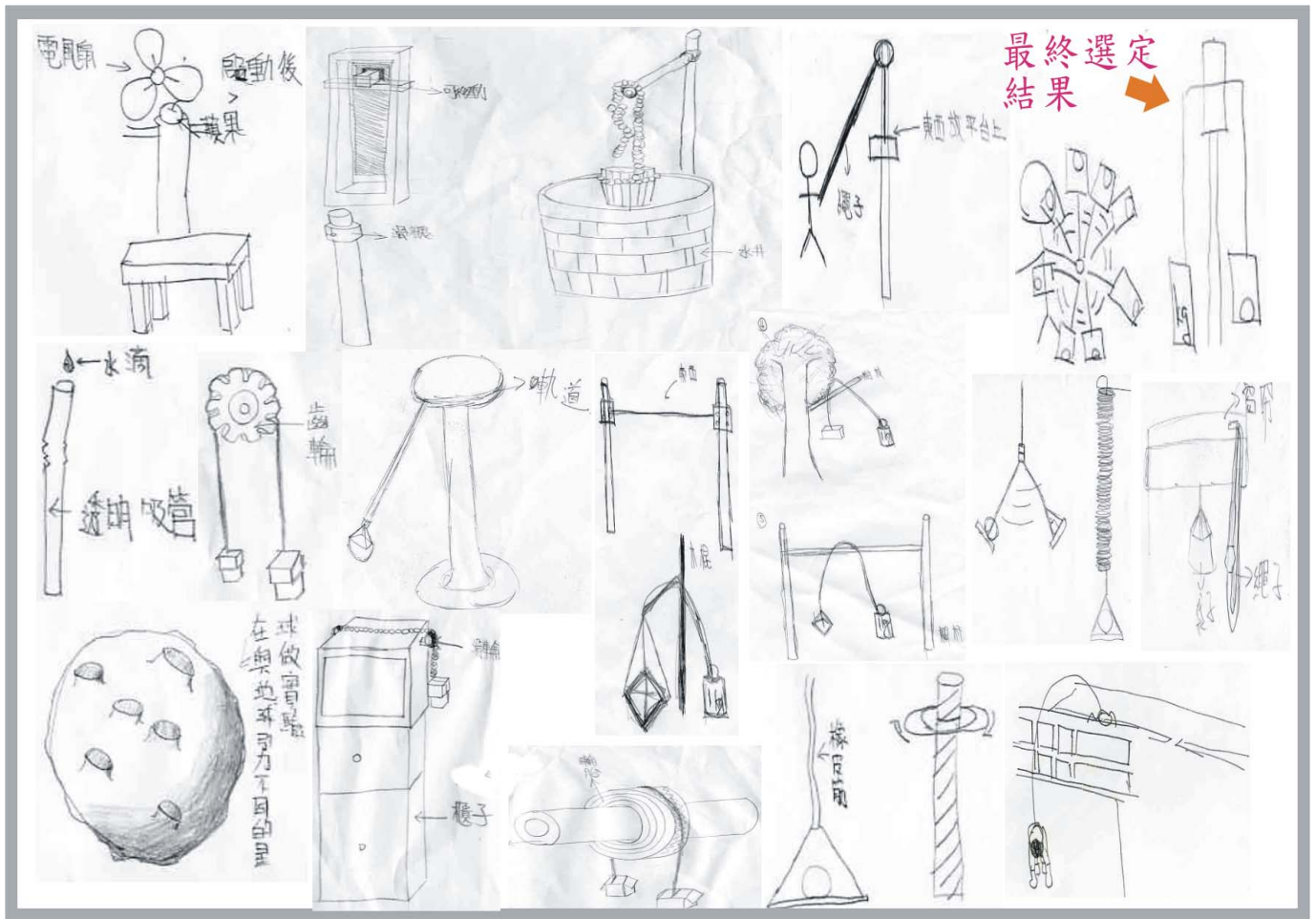
研究二、製作可以調整不同加速度的軌道裝置。

(一)說明：

- 1.原始構想：由搭乘電梯的體驗中，我們感覺身體所受重力會因電梯加速上升而變大，加速下降而變輕。因此若要改變所受重力的大小，須設計出一組可調整上下滑動加速度的裝置。經過小組幾天的創意激盪後，成果如下圖三所示：



設計方向：
可調整上下滑動加速度的裝置



圖三 小組創意激盪後的设计草稿

2.原理：

- (1)由牛頓第二運動定律 $F=ma$ 之改變合力的大小，即可改變加速度的大小，而加速度的大小可由公式 $s=1/2at^2$ 計算。
- (2)在加速度系統中的重力調整，當實驗平台的加速度 a 向上時，則此時假想重力為 $mg+ma$ ，而加速度 a 向下時，則此時假想重力為 $mg-ma$ 。
- 3.要有充裕的時間觀測，因此軌道的高度要夠高，要使加速度的改變更容易，因此摩擦阻力要盡量降低，而計時工具務必準確及即時。
- 4.在確定整體裝置前，我們在五金行買了鋼管與角鋼片進行組裝與測試，經歷了許多失敗的測試模型。如下圖四所示。



圖四 測試模型(滑塊於圖中仍然無法順利下滑)

(二)實驗步驟：

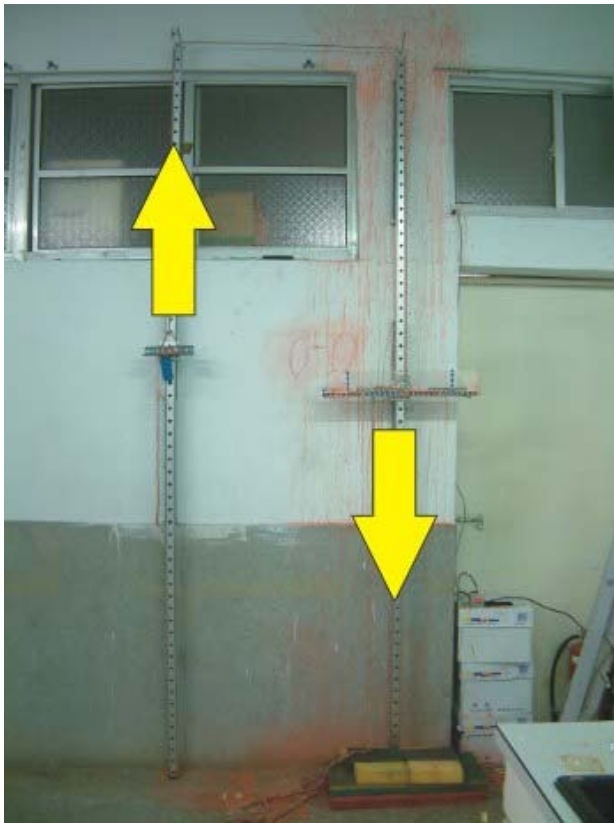
1. 將兩根高度為 3.0 公尺的滑軌固定在牆壁上，在滑軌的頂端固定兩個定滑輪，將兩組滑塊以童軍繩連結並跨過定滑輪，在右側的滑塊上固定長度為 60 公分的角鋼作為實驗平台，並於軌道下方墊上防震海棉塊。整體裝置如下頁圖六所示。
2. 調整滑塊下的鐵塊數目即可改變合力的大小，而加速度的大小也會改變，如下頁圖七所示。
3. 為精準測量滑行時的加速度，我們在網路上學習到使用『光電計時器』以量測加速度數值，時間測量可精準至 0.01 秒，並自行組裝將感光接頭架設於軌道旁。裝置如下圖五所示。



圖五 光電計時器與感光接頭



圖六 實驗整體裝置

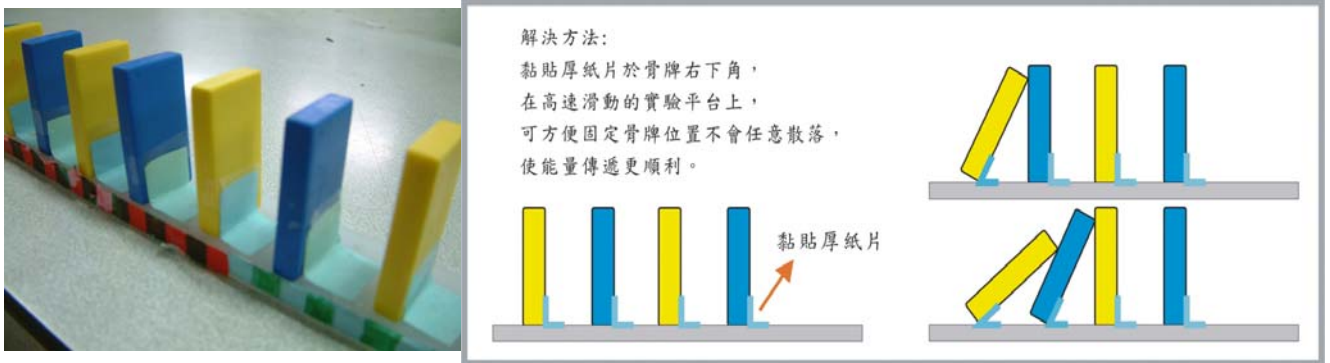


圖七
左右滑塊荷重不同即可造成不同加速度，以改變假想重力。

研究三、利用軌道裝置改變不同加速度，以觀測骨牌與水波的能量傳遞速率。

(一)說明：

- 1.骨牌平台的製作：爲了防止骨牌在高速滑行時會因震動而散落，我們將厚紙片折成 L 型黏貼固定在骨牌右下角，一方面固定骨牌位置不會任意滑動或散落，也限制了骨牌只能向右傾倒，讓傳遞速度更順利；並於基座上黏貼一公分色塊，方便攝影時觀察計算波速，如下圖八所示。



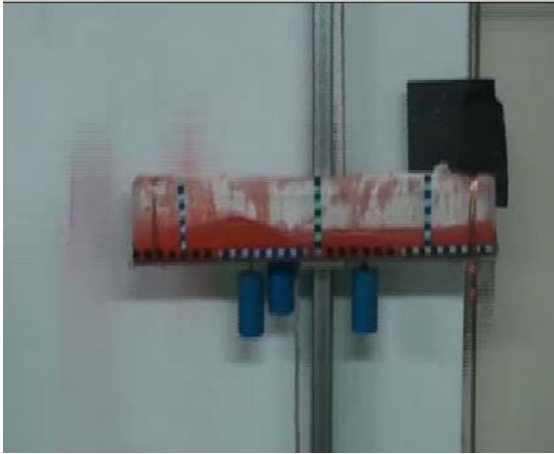
圖八 底處黏貼紙的骨牌

- 2.能量傳遞時間的測量：我們將小型網路攝影機架設在實驗平台前方，在實驗平台移動時以同步錄下骨牌或水波的能量傳遞情形，並以電腦慢速播放，可測出能量傳遞時間。
- 3.實驗平台加速度的測量：我們利用光電計時器可以測出實驗平台經過兩個感光接頭的時間，由 $S=1/2at^2$ 算出加速度的大小。

(二)實驗步驟：

1. 將骨牌放置於軌道平台，並結合不同重量組合以改變重力加速度來探討骨牌傳遞速度。
2. 爲求高速運動下的骨牌能有更精準的記錄，我們以 DV 攝影機同步捕捉骨牌傳遞速度。

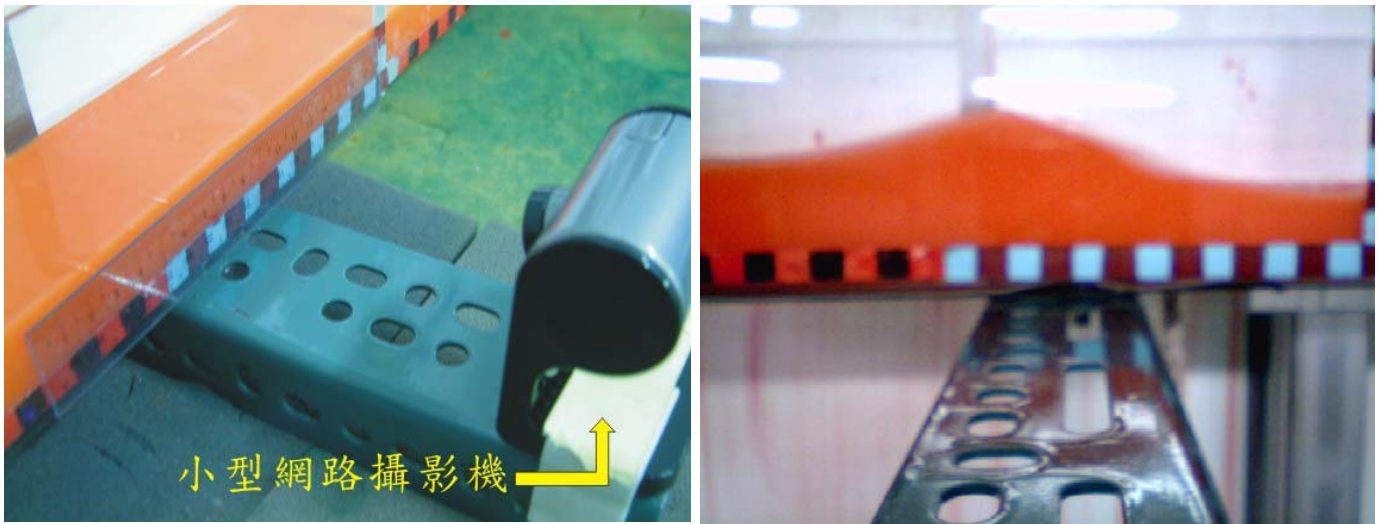
3. 由距離 $S = 1/2at^2$ 可算出骨牌落下的加速度。
4. 將壓克力透明水箱置於升降角鋼架上，計時與操作步驟如實驗五說明。
5. 為求清楚拍攝與紀錄水波速，將水以水性廣告顏料染為橘色，且貼上色差明顯，間隔為一公分的色塊，方便觀察水波前進距離。
6. 拍攝後我們發現以 DV 攝影機跟拍的方式可以捕捉到水波的進行，但是因為攝影距離過遠，若滑行速率太快會導致影像模糊，如下圖十所示。



圖十

由手持攝影機捕捉落下畫面，但距離過遠且滑行速度快，不易精準捕捉。

8. 經過討論，我們改以袖珍型的網路攝影機，接上長距離 USB 線，架在水波槽正前方同步跟拍，紀錄效果較為精準，如下圖十一所示。



圖十一 小型網路攝影機同步跟拍，紀錄效果較為精準。(右圖為拍攝畫面)

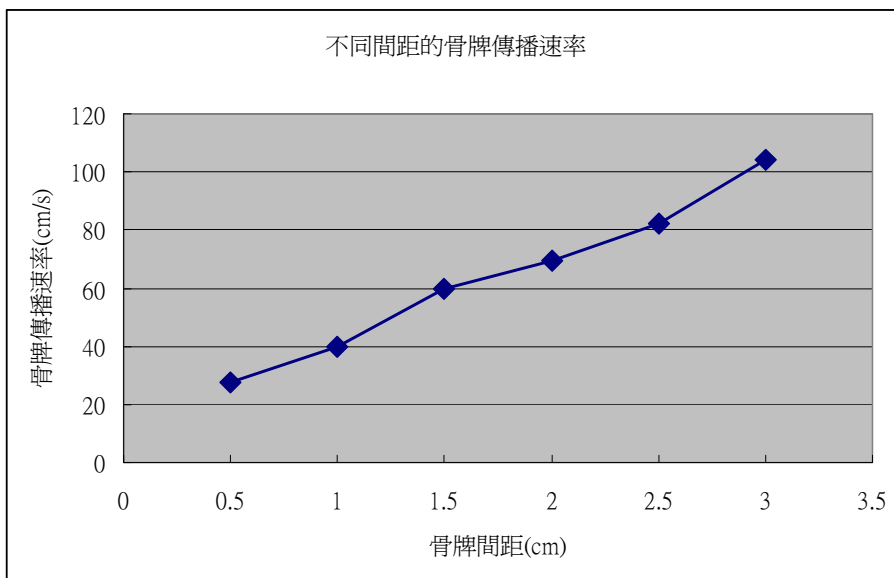
伍、研究結果

一、〈研究一〉的實驗結果：

(一)骨牌間距與傳遞速率的關係：

測量次序	1	2	3	4	5	平均速率 (cm/s)
骨牌間距(cm)	0.5cm (全長 17.5cm)					
時間(sec)	0.45	0.44	0.45	0.45	0.44	
速率(cm/s)	27.78	27.77	27.78	27.80	27.76	27.78
骨牌間距(cm)	1cm (全長 22.5cm)					
時間(sec)	0.56	0.58	0.56	0.56	0.57	
速率(cm/s)	40.18	38.79	40.18	40.18	39.47	39.76
骨牌間距(cm)	1.5cm (全長 26.5cm)					
時間(sec)	0.42	0.42	0.47	0.44	0.47	
速率(cm/s)	63.10	63.10	56.38	60.23	56.38	59.84
骨牌間距(cm)	2cm (全長 31.5cm)					
時間(sec)	0.45	0.44	0.45	0.46	0.45	
速率(cm/s)	70.00	71.59	70.00	68.48	70.00	69.21
骨牌間距(cm)	2.5cm (全長 37.5cm)					
時間(sec)	0.46	0.47	0.45	0.45	0.45	
速率(cm/s)	81.52	79.79	83.33	83.33	83.33	82.26
骨牌間距(cm)	3cm (全長 40cm)					
時間(sec)	0.38	0.39	0.39	0.39	0.37	
速率(cm/s)	105.26	102.56	102.56	102.56	108.11	104.21

表一



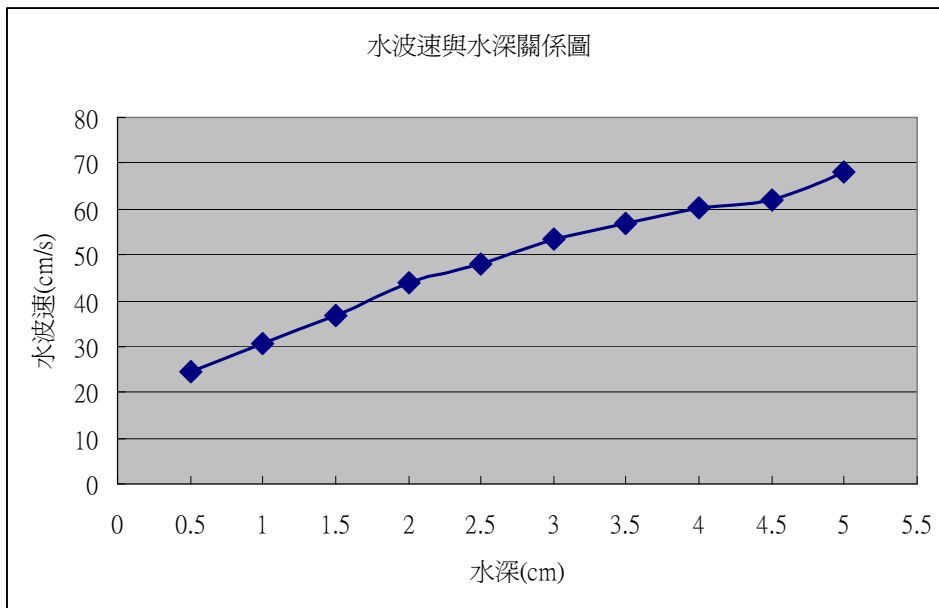
圖十二 不同間距的骨牌傳播速率

二、〈研究一〉的實驗結果：

水波速與水深的關係如下表二：

測量次序	1	2	3	4	5	平均速率(cm/s)
水面高度(cm)	0.5cm (全長 60cm)					
時間(sec)	2.45	2.46	2.44	2.45	2.46	
速率(cm/s)	24.49	24.39	24.59	24.49	24.39	24.47
水面高度(cm)	1cm (全長 60cm)					
時間(sec)	1.96	1.95	1.98	1.95	1.96	
速率(cm/s)	30.61	30.76	30.30	30.76	30.61	30.61
水面高度(cm)	1.5cm (全長 60cm)					
時間(sec)	1.64	1.62	1.65	1.64	1.62	
速率(cm/s)	36.59	37.04	36.36	36.59	37.04	36.72
水面高度(cm)	2cm (全長 60cm)					
時間(sec)	1.38	1.37	1.35	1.38	1.35	
速率(cm/s)	43.48	43.80	44.44	43.48	44.44	43.93
水面高度(cm)	2.5cm (全長 60cm)					
時間(sec)	1.26	1.25	1.26	1.23	1.25	
速率(cm/s)	47.62	48.00	47.62	48.78	48.00	48.00
水面高度(cm)	3cm (全長 60cm)					
時間(sec)	1.13	1.11	1.12	1.11	1.13	
速率(cm/s)	53.10	54.05	53.57	54.05	53.10	53.57
水面高度(cm)	3.5cm (全長 60cm)					
時間(sec)	1.06	1.05	1.06	1.04	1.05	
速率(cm/s)	56.60	57.14	56.60	56.69	57.14	56.83
水面高度(cm)	4cm (全長 60cm)					
時間(sec)	1.00	0.99	1.01	1.00	0.99	
速率(cm/s)	60.00	60.61	59.41	60.00	60.61	60.13
水面高度(cm)	4.5cm (全長 60cm)					
時間(sec)	0.96	0.97	0.95	0.98	0.97	
速率(cm/s)	62.50	61.86	63.16	61.22	61.86	62.12
水面高度(cm)	5cm (全長 60cm)					
時間(sec)	0.89	0.87	0.88	0.87	0.89	
速率(cm/s)	67.42	68.97	68.18	68.97	67.42	68.19

表二



圖十三 水波速與水深關係圖

三、<實驗三>的實驗結果：

(一)重力加速度的測量如下表三：

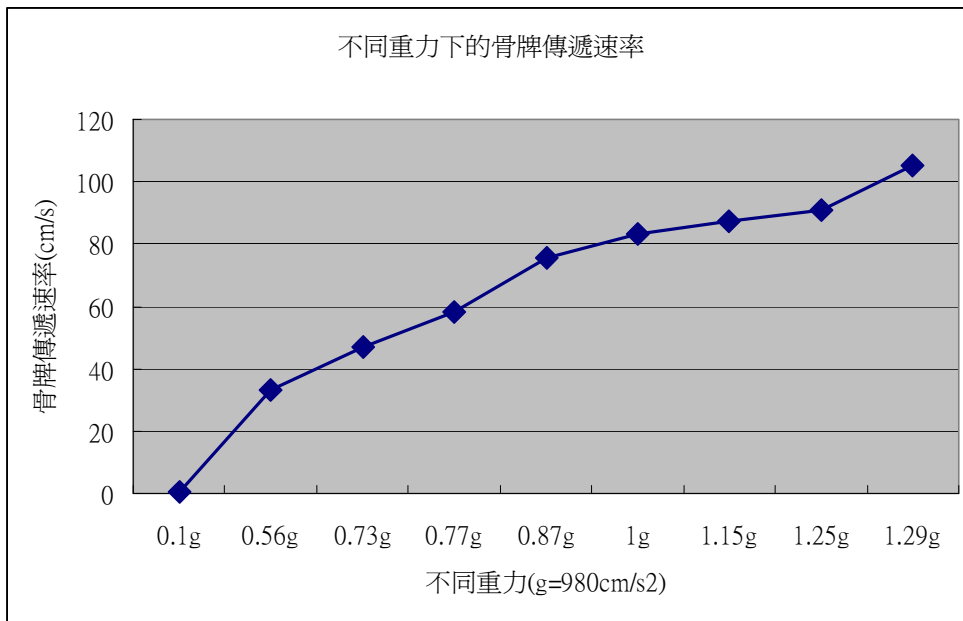
左滑塊荷重(kg)	右滑塊荷重(kg)	測量次序	1	2	3	4	5	6	平均時間(sec)	平均加速度(cm/s ²)
1	2	落下距離(cm)	260						2.03	126.12 (0.87g)
		落下時間(sec)	1.99	2.06	1.97	2.03	1.98	2.12		
1	3	落下距離(cm)	260						1.53	222.14 (0.77g)
		落下時間(sec)	1.53	1.51	1.48	1.52	1.59	1.52		
1	4	落下距離(cm)	260						1.39	269.14 (0.73g)
		落下時間(sec)	1.36	1.39	1.38	1.38	1.42	1.39		
0	2	落下距離(cm)	260						1.1	429.75 (0.56g)
		落下時間(sec)	1.11	1.09	1.09	1.11	1.1	1.09		
0	3	落下距離(cm)	260						0.77	877.05 (0.11g)
		落下時間(sec)	0.77	0.79	0.77	0.76	0.76	0.77		
3	0	上升距離(cm)	200						1.63	150.55 (1.15g)
		上升時間(sec)	1.63	1.63	1.63	1.64	1.63	1.62		
4	0	上升距離(cm)	200						1.27	248 (1.25g)
		上升時間(sec)	1.24	1.25	1.29	1.32	1.25	1.28		
5	0	上升距離(cm)	200						1.18	287.27 (1.29g)
		上升時間(sec)	1.18	1.15	1.19	1.18	1.21	1.19		

表三

(二)不同重力下的骨牌傳遞速率(骨牌間距固定為 2.5cm)如下表四：

加速度(g)	測量次序	1	2	3	4	5	平均 傳遞速率 (cm/s)
0.87g	距離 (cm)	30.0	39.5	36.5	35.5	35.0	
	時間(sec)	12/30	16/30	14/30	14/30	14/30	
	速率(cm/sec)	75.0	74.1	78.2	76.1	75.0	75.7
0.77g	距離 (cm)	32.0	30.5	33.5	33.0	34.0	
	時間(sec)	17/30	16/30	17/30	17/30	17/30	
	速率(cm/sec)	56.5	57.2	59.1	58.2	60.0	58.2
0.73g	距離 (cm)	22	24	23	23	28	
	時間(sec)	13/30	15/30	16/30	15/30	18/30	
	速率(cm/sec)	50.8	48.0	43.1	46.0	46.7	46.9
0.56g	距離 (cm)	25	23	21	19	22	
	時間(sec)	19/30	19/30	22/30	19/30	21/30	
	速率(cm/sec)	39.5	36.3	28.6	30.0	31.4	33.2
0.11g	距離 (cm)	0	0.5	0	0.5	0	
	時間(sec)	8/30	10/30	7/30	9/30	7/30	
	速率(cm/sec)	0	1.5	0	1.8	0	0.7
1g	平均速率	83.33					83.33
1.15g	距離 (cm)	37.5	38.0	36.0	37.0	38.0	
	時間(sec)	13/30	13/30	12/30	13/30	13/30	
	速率(cm/sec)	86.5	87.7	90.0	85.4	87.7	87.5
1.25g	距離 (cm)	25.5	24.0	24.0	23.5	24.5	
	時間(sec)	8/30	8/30	8/30	8/30	8/30	
	速率(cm/sec)	95.6	90.0	90.0	88.1	91.9	91.1
1.29g	距離 (cm)	13.0	14.5	14.0	14.5	14.0	
	時間(sec)	4/30	4/30	4/30	4/30	4/30	
	速率(cm/sec)	97.5	108.8	105.0	108.8	105.0	105.0

表四



圖十四 不同重力下的骨牌傳遞速率

四、<實驗三>的實驗結果：

(一)重力加速度的測量如下表五：

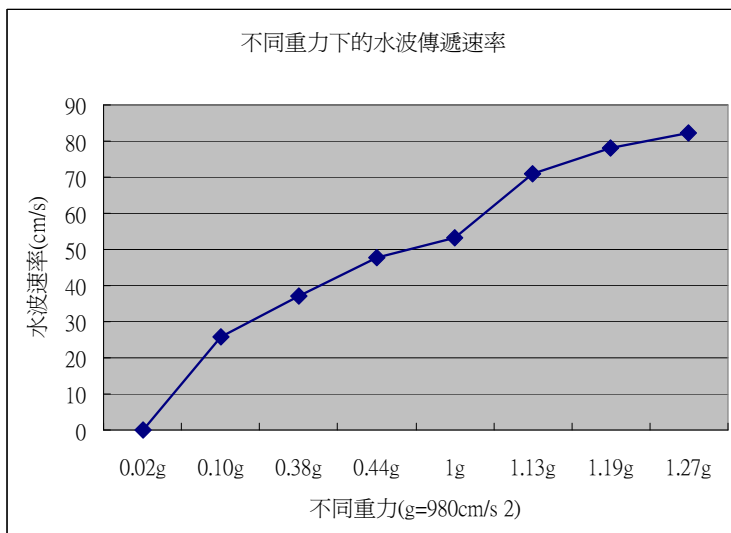
左滑塊荷重(kg)	右滑塊荷重(kg)	測量次序	1	2	3	4	5	平均時間 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)
0	2	落下距離(cm)	210					0.87	554.89 (0.44g)
		落下時間(sec)	0.87	0.89	0.85	0.87	0.89		
0	3	落下距離(cm)	210					0.69	882.17 (0.1g)
		落下時間(sec)	0.70	0.70	0.68	0.69	0.68		
1	3	落下距離(cm)	210					0.83	609.67 (0.38g)
		落下時間(sec)	0.80	0.84	0.84	0.82	0.84		
0	0	落下距離(cm)	210					0.66	964.19 (0.02g)
		落下時間(sec)	0.66	0.67	0.66	0.66	0.67		
4	0	上升距離(cm)	200					1.77	126.68 (1.13g)
		上升時間(sec)	1.77	1.76	1.77	1.77	1.76		
5	0	上升距離(cm)	200					1.45	190.25 (1.19g)
		上升時間(sec)	1.43	1.45	1.48	1.45	1.43		
6	0	上升距離(cm)	200					1.23	264.39 (1.27g)
		上升時間(sec)	1.23	1.24	1.23	1.23	1.24		

表五

(二)不同重力下，水波傳遞速率(水波深度固定為 3.0cm)如下表六：

加速度(g)	測量次序	1	2	3	4	5	平均傳遞速率 (cm/s)
0.02g	距離 (cm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	時間(sec)	13/30	12/30	13/30	11/30	13/30	
	速率(cm/sec)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.10g	距離 (cm)	5.0	6.0	5.2	6.0	5.0	
	時間(sec)	6/30	6/30	6/30	6/30	6/30	
	速率(cm/sec)	25.0	27.0	25.4	27.0	25.0	25.9
0.38g	距離 (cm)	13.2	12.6	11.8	12.2	12.0	
	時間(sec)	10/30	10/30	10/30	10/30	10/30	
	速率(cm/sec)	39.6	37.8	35.4	36.6	36.0	37.1
0.44g	距離 (cm)	17.8	18.0	17.2	17.8	18.0	
	時間(sec)	11/30	11/30	11/30	11/30	11/30	
	速率(cm/sec)	48.0	48.2	47.0	48.0	48.2	47.9
1g	平均速率 (cm/sec)	53.26					53.26
1.13g	距離 (cm)	42.2	41.2	40.1	42.2	41.2	
	時間(sec)	17/30	17/30	17/30	17/30	17/30	
	速率(cm/sec)	73.3	70.0	68.0	73.3	70.0	70.9
1.19g	距離 (cm)	10.0	15.2	10.8	15.5	16.2	
	時間(sec)	4/30	6/30	4/30	6/30	6/30	
	速率(cm/sec)	75.0	76.0	81.0	77.5	81	78.1
1.27g	距離 (cm)	13.0	14.2	13.6	16.2	14.2	
	時間(sec)	5/30	5/30	5/30	6/30	5/30	
	速率(cm/sec)	78.0	85.2	81.6	81.0	85.2	82.2

表六



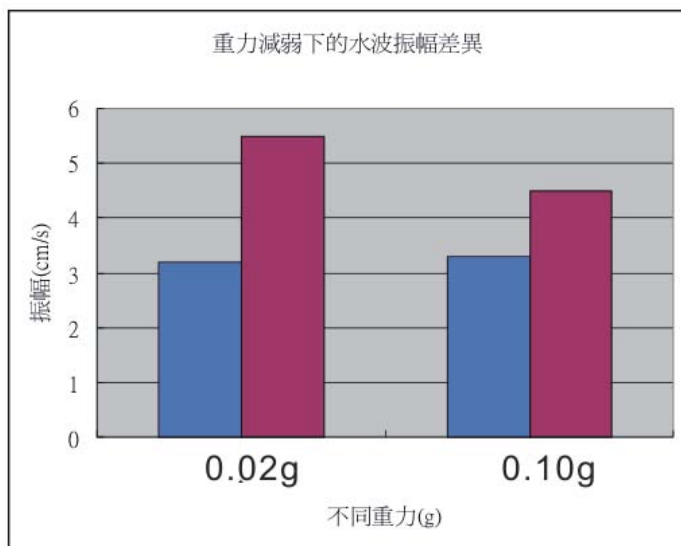
圖十五

不同重力下的水波傳遞速率

(三)重力減弱下(0.02g 與 0.01g 有明顯差異)，水波振幅的差異

加速度(g)	測量次序	1	2	3	4	5	平均振幅(cm)
0.02g	原始振幅	3.1	3.2	3.4	3.1	3.2	3.2
	最大振幅	5.1	5.4	5.4	6.2	5.5	5.5
0.10g	原始振幅	3.1	3.1	3.3	3.5	3.4	3.3
	最大振幅	4.5	4.2	4.4	4.5	4.7	4.5

表七



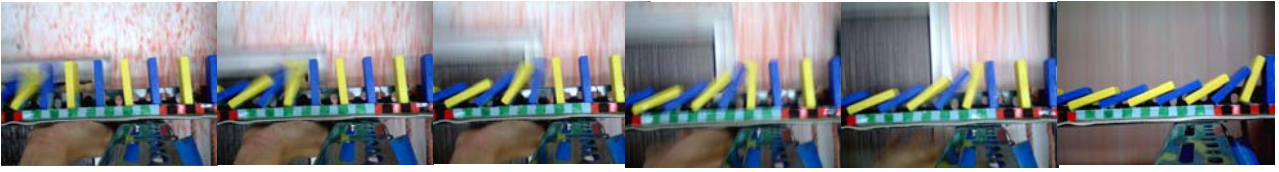
圖十六 重力減弱下的水波振幅差異

陸、實驗討論

- 一、若骨牌形狀與材質固定（標準尺寸：長 5*寬 3.5*厚 0.8cm），則傳遞速度與骨牌的排列間距有關，由圖十二可看出：間距愈大，骨牌傳遞速率愈快。我們推論為：波的介質若愈稀疏，傳遞速度愈快。
- 二、由圖十三可看出：水的深度愈深，波傳遞速率愈快。
- 三、以滑軌搭配滑塊來改變重力加速度使重力可方便改變。搭配光電計時器則可精準測量落下時間，所以規劃精準的測量器材實有助於我們研究重力因素，但因我們只以數個一公斤鐵塊改變兩邊重力不同，並無法精準操控平台上的重力大小，希望有機會可以找出解決方式。
- 四、由圖十四可看出：重力會影響骨牌的傳遞速度。

重力愈小，骨牌傳遞速率愈慢。重力愈大，骨牌傳遞速率愈快。

重力較大的骨牌傳遞速度：



重力較小的骨牌傳遞速度：



四、水波速的測定，除了以攝影機記錄之外，我們也構思了許多方式，例如由公式 $\text{波速} = \text{頻率} \times \text{波長}$ 也可求出波速，但是因為不同重力下的水波波長的改變難以觀測，我們仍在思考應如何觀測。

五、由圖十五可看出：重力會影響水波的傳遞速度。

重力愈小，水波傳遞速率愈慢。重力愈大，水波傳遞速率愈快。

重力較大的水波傳遞速度較快：



重力較小的水波傳遞速度較慢：



六、若下滑速度接近自由落體，則平台上接近『無重力』，此時骨牌與水波的行進速率幾乎『暫停』，我們推論為骨牌與水波的行進，都需要重力的作用。若重力消失，則波的前進則停止。

七、實驗中，我們由實際拍攝到的影片檔觀察到許多現象：

(08:16 表示為錄影畫面為 08 又 16/30 秒，錄影畫面為每秒 30 格影像)

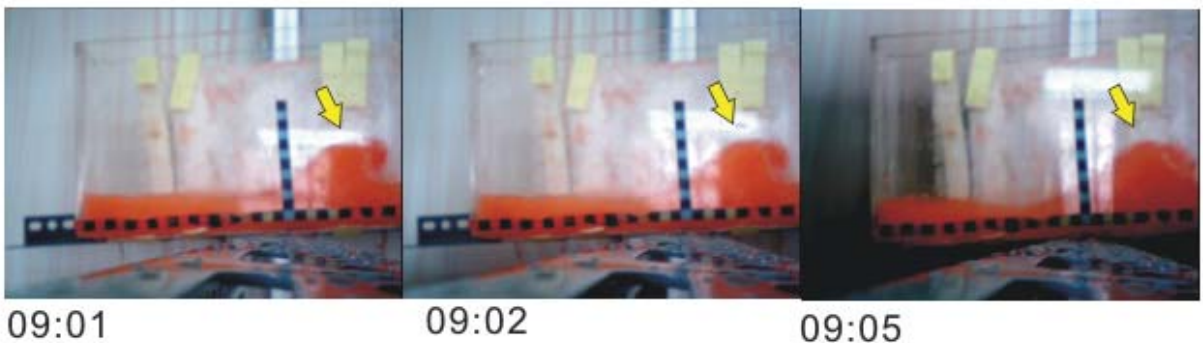
現象一：最接近『無重力』狀態(0.02g)的水波



接近無重力之下，向右傳遞的水波峰漸高。



水波波形逐漸升高，波形上方的水仍然以等速向右方移動，推論為向右的物質慣性所致。此時的水波與一般重力下的水波波形明顯不同。



上方水波仍以等速向右方移動，高度不變，下方逐漸聚合。



水波逐漸聚合成為一團大水波，此時著地。



現象二：微弱重力下(0.1g)的水波

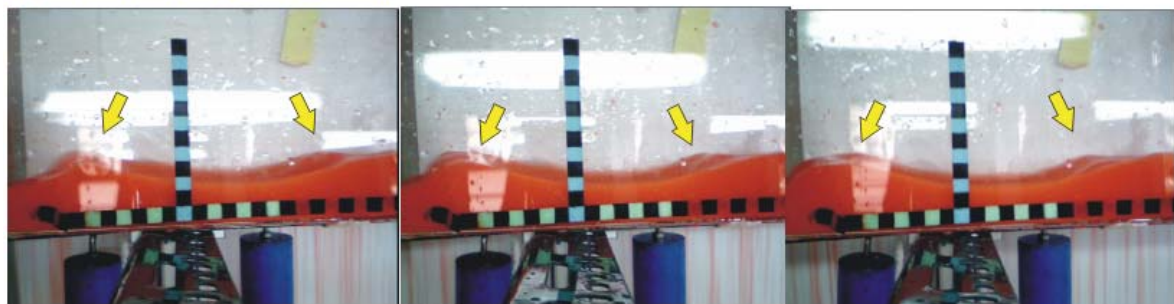


04:15

04:17

04:20

原本平滑的水波

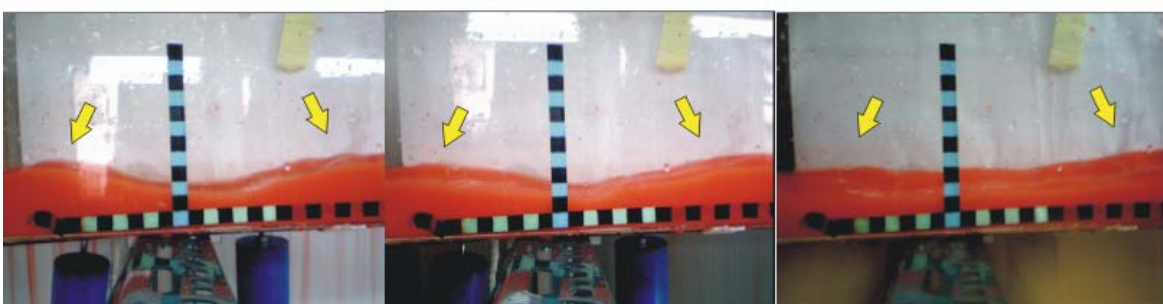


04:22

04:24

04:26

在接近無重力下，水波振幅漸大，原本平滑的水波表面出現數個水波峰突起。



05:00

05:03

05:07

水波振幅逐漸消退，最後著地。

1.觀察結果：

- (1)由現象一(0.02g)與現象二(0.1g)的共同點：在滑塊剛開始落下瞬間，水波振幅都會明顯急速增大，推測滑塊下滑時，水波所受重力減弱而導致振幅增大。
- (2)現象二的水波所受重力稍大，波形在重力減弱時有數個水波峰突起，但不像現象一明顯；且振幅增大後，消退程度也頗為明顯，推測仍為重力影響。現象一的水波振幅在整個下滑過程並無明顯消退。

八、重力減弱下，尤其是 0.02g 與 0.01g 的微弱重力之下，水波振幅有明顯的增大。由圖十六可知，重力愈弱，振幅增大程度愈高。

柒、結論：

- 一、間距愈大，骨牌傳遞速率愈快。我們推論為：波的介質若愈稀疏，傳遞速度愈快。
- 二、水的深度愈深，波傳遞速率愈快。
- 三、重力會影響骨牌的傳遞速度：重力愈小，骨牌傳遞速率愈慢。重力愈大，骨牌傳遞速率愈快。
- 四、重力會影響水波的傳遞速度：重力愈小，水波傳遞速率愈慢。重力愈大，水波傳遞速率愈快。
- 五、接近『無重力』的狀態下，骨牌與水波的行進，都接近停止。
- 六、重力減弱的狀態下，水波的振幅會增大。

捌、感想

經過這次科展後，我學習到許多課本上沒有的事情，了解到水波及骨牌傳播的速率會因重力、水的深淺、骨牌的間距.....等種種因素而改變它的傳播速度，使我受益良多。雖然在實驗中，有許多失敗及挫折，但我們學習愛迪生的精神，跌倒又爬起來，失敗又重新振作，這也讓我學習到失敗不氣餒的道理。在所有報告完成之後，不但有欣喜和成就，也促使我們找到了認真負責的做事態度。當然，我們也都更期待下一次科展的到來。

玖、參考資料

- 一、國中自然與生活科技第三冊 頁數：p50~57 出版年：97 年修訂。康軒文教事業出版
- 二、休伊特著 陳可崗譯 觀念物理二 天下文化出版
- 三、中華民國第 46 屆科展，高中物理科，被困住的水波？
- 四、台灣師大物理系 物理教學示範實驗教室 <http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/index.htm>

【評語】 030114

優點:

1. 以簡單有效的實驗設計，達成可在各種重力下之量測。
2. 團隊合作無間，每個人均樂在其中。
3. 初步發現在近無重力下波動似乎有停頓之現象。

缺點:

1. 單單驗證愛因斯坦之等效原理。
2. 未能對優點中之第3項更進一步探討。