

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

最佳團隊合作獎

080103

東引卡蹠骨牌風景

學校名稱：連江縣立東引國民小學

作者： 小六 梁鎮堃 小六 陳玟馨 小六 林若臻 小六 陳昱帆	指導老師： 陳家鵠
---	--------------

關鍵詞：重力位能、力矩、能量傳遞

摘要

在這個研究中，我們想瞭解重力及骨牌間距對骨牌倒下速度的影響。為了減少變因，做坡度變化時統一使用相同木板放置骨牌。在做了間格、上下坡、錯位、改變轉彎半徑實驗後，我們由實驗得出的結論來完成數個東引的骨牌圖案。

壹、研究動機

碧海藍天，鷗飛日落。我們在東引這座美麗的小島上看到許多美麗的風景。有燕秀潮音、東引燈塔、烈女義坑、鱷魚島等等，黑尾鷗、石斑及豐富的沿海生態，更是吸引了無數遊人來此一遊。我們想要藉由骨牌來表現東引風光。會選擇骨牌是因為在我們看了TDC台灣骨牌創作學院拍攝的骨牌打撞球影片後，覺得連鎖反應是個很有趣的現象，比如骨牌、下坡滾雪球等等。不管是破壞平衡帶來的變化，還是像骨牌一樣將能量傳遞下去，都需要很多的時間及耐心來做先前準備。因此我們想要詳細研究骨牌在不同變因下的表現，最終能排出多個代表東引的圖案。

貳、研究目的

- 一、探討不同骨牌間距對骨牌倒下速度的影響。
- 二、探討不同坡度對骨牌倒下速度的影響。
- 三、探討轉彎時轉彎半徑對骨牌倒下速度的影響。
- 四、探討錯位對骨牌倒下速度的影響。
- 伍、用研究成果排出東引的特色圖形，並可以同時倒完。

參、研究設備及器材

木板	骨牌（木製、塑膠製）
尺	捲尺
磚塊	磅秤
相機	碼錶

肆、研究過程或方法

一、：量測骨牌重量及長寬高

由於每一塊骨牌很輕，我們一次量大量骨牌以得到平均重量。

（一）研究器材：磅秤、骨牌、尺、空籃

（二）研究方法：

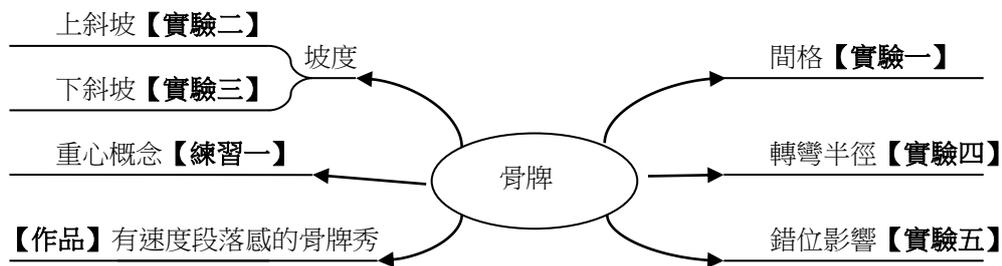
- 1、將空籃放置於磅秤上，得到籃重。
- 2、把157片骨牌放入空籃並觀看磅秤讀值。
- 3、以尺量測骨牌的長寬高。

【分析一】

根據幾次討論後，我們歸納出幾個會影響骨牌倒下速度的因素，並設計出概念圖（圖二）。



圖一 決定每塊骨牌重量

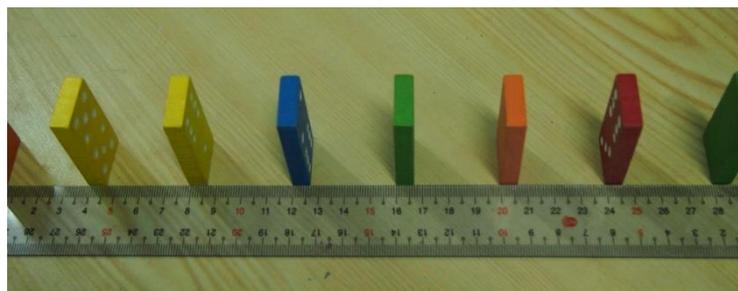


圖二 骨牌實驗概念圖

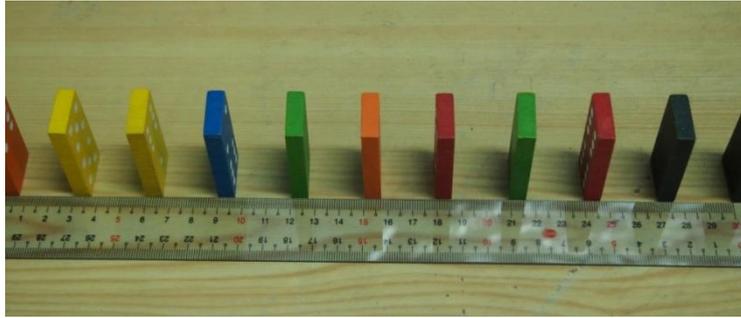
【實驗一】：探討不同骨牌間距對骨牌倒下速度的影響

實驗方法：

- 1、用尺排出相同間格的骨牌列，在平地木板上排30個木骨牌。
- 2、用相機錄下木骨牌倒下過程，在電腦上播放並用碼錶計時。



圖二 平地木骨牌間隔33mm



圖三 平地木骨牌間隔23mm

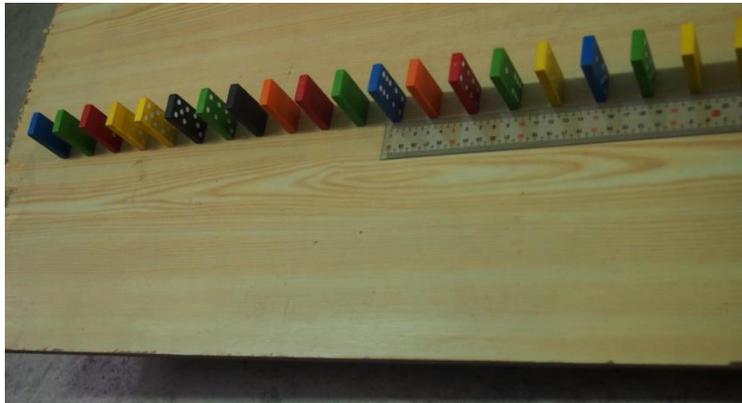


圖四 平地木骨牌間隔13mm

【實驗二】：探討斜坡波度對骨牌上坡速度的影響

實驗方法：

- 1、用磚塊墊高木板，量其角度約為5.5度。
- 2、做不同間隔的實驗，從低處推倒骨牌，再用相機錄下過程。



圖五 斜坡木骨牌間隔23mm

【實驗三】：探討不同斜坡波度對骨牌下坡速度的影響

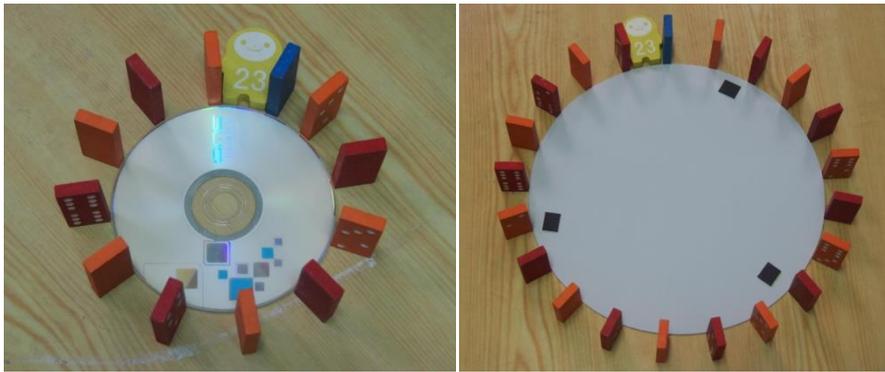
實驗方法：

- 1、用磚塊墊高木板，量其角度約為5.5度。
- 2、做不同間隔的實驗，從高處推倒骨牌，再用相機錄下過程。

【實驗四】：探討轉彎半徑對骨牌速度的影響

實驗方法：

- 1、用CD片及白色圓板排列木骨牌成一圈，並開始傾倒骨牌。
- 2、用相機錄下骨牌倒下過程，在電腦上播放並用碼錶計時。

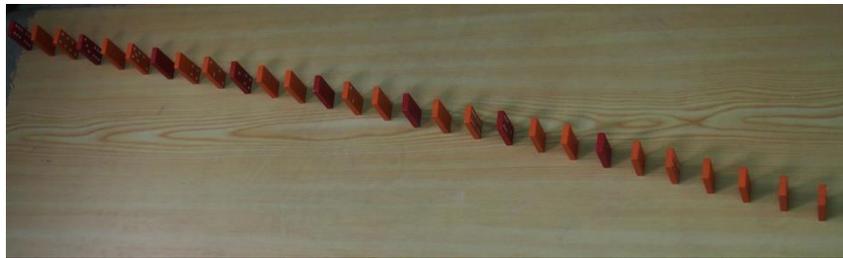


圖六 轉彎半徑60、121mm

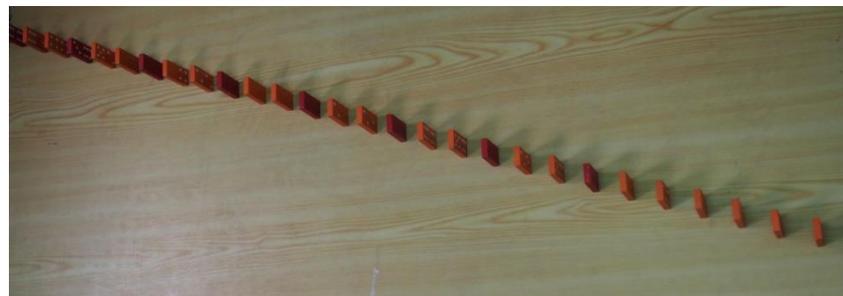
【實驗五】：探討錯位對骨牌速度的影響

實驗方法：

- 1、用尺在平地木板上排出不同錯位距離的木骨牌列。
- 2、用相機錄下骨牌倒下過程，在電腦上播放並用碼錶計時。



圖七 錯位距離15mm



圖八 錯位距離10mm



圖九 錯位距離5mm

【練習一】：重心的概念

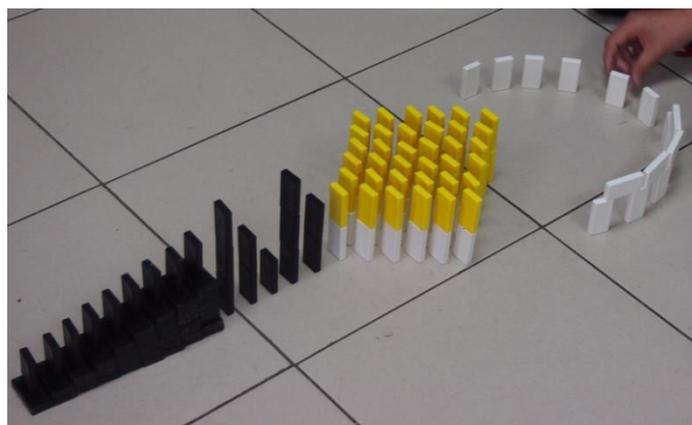
實驗方法：對於密度相同的物體，一條線上重心的位置就是：每個點的數值相加後的平均。立體物只要計算三個維度就可以知道重心的座標。而重心只要超過底面，該物體就會傾倒。因此我們為了排出想表

現的圖案，決定先練習找重心的手感。



圖十 重心練習：燈塔和花

重力能變化= mgh ，其中 m 是物體質量； g 是重力加速度； h 在此可看做重心垂直距離的變化。而骨牌倒下所形成的力矩為垂直於撞擊面的分力*從撞擊點到地面的距離。



圖十一 重心練習：骨牌陣

【作品一】：藉由骨牌研究排出倒下速度有次序感的東引圖案

實驗方法：構想排出東引燈塔、台馬輪、東引島、感恩亭等圖案。
先在木板上畫上圖案軌跡，再以錯位、轉彎等方式排列骨牌。

伍、研究結果

一、間隔及傾斜度影響的實驗結果：

表格一 30塊木骨牌全倒時間(s)

傾斜度 \ 間格(mm)	33	23	13
平地	2.13	1.37	1.11

表格二 上坡30塊木骨牌全倒時間(s)

傾斜度 \ 間格	33	23	13(mm)
平地	2.13	1.37	1.11
上坡 坡度5.5度	*2.29	1.46	1.21

*間格33mm時在斜坡上垂直排列時只能排28片

表格三 下坡30塊木骨牌全倒時間(s)

傾斜度 \ 間格	33	23	13(mm)
平地	2.13	1.37	1.11
下坡 坡度5.5度	*1.59	1.31	0.97

*間格33mm時在斜坡上垂直排列時只能排28片

二、轉彎半徑影響的實驗結果：

表格四 轉彎木骨牌全倒時間(s)

傾斜度 \ 轉彎半徑(mm)	121	60(12片；間格39mm)	60(13片；間格34mm)
平地	1.95	無法全倒	1.25 (s)

三、錯位距離影響的實驗結果：

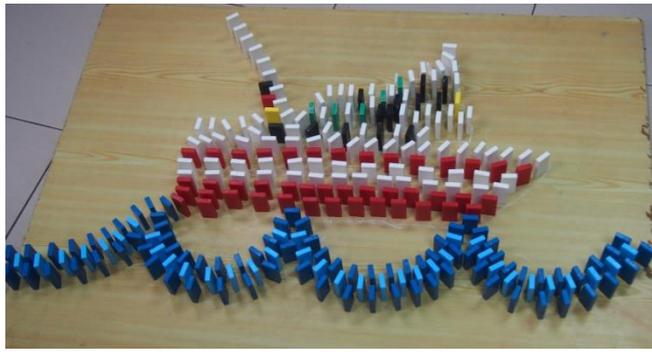
表格五 錯位木骨牌全倒時間

傾斜度 \ 錯位距離(mm)	5	10	15
平地	1.79	2.08	2.29(s)

四、以骨牌排出東引特色圖：



圖十二 東引燈塔：左至右各為木骨牌、塑膠骨牌



圖十三 台馬輪



圖十四 東引燈塔、台馬輪實照



圖十五 黑尾鷗



圖十六 感恩亭



圖十七 黑尾鷗與感恩亭實照



圖十八 有地形變化的東引島、實圖

陸、討論

一、木頭與塑膠骨牌比較：

木骨牌157個，每個的尺寸為7.0×21.6×44.1mm。由一公斤磅秤量其重量：空籃重179g；籃子和157個骨牌重921g。157個742g，平均一個骨牌重4.73g。

文僑塑膠骨牌每塊重13.205g（515g/39片），規格為9.0×27.0×54.0mm。相較之下先前使用的木骨牌（4.73g），可以用較多的重力位能換取骨牌前進的動能。

二、間格的影響：

我們可由表一估算木骨牌的平均速度：由於木骨牌寬為7mm，30片的長度公式為(7+間隔距離)*29+7。若是上下坡間隔33mm時，因為只能排28片，長度為(7+間隔距離)*27+7。由上可得間隔13、23、33mm的30片骨牌長為：587、877、1167mm。由此算平均速度得：分別為528.8、640.1、547.9mm/s。間格越大，撞擊下一片骨牌的位置偏低，則骨牌位能轉換而來的動能越大，有利於骨牌陣倒下的速度提升（平地的條件下）。

但是撞擊下一片骨牌的位置偏低同時也造成施力臂變短，骨牌撞擊造成的力矩變小，所以骨牌倒下速度反而變慢。由畢氏定理可求得間格33、23、13mm的骨牌，被上一片骨牌撞到的高度各為29.3、37.6、42.1mm（木骨牌高44.1mm），骨牌倒下後重心移動的垂直距離各別為： $(44.1-29.3)/2=7.4$ mm； $(44.1-37.6)/2=3.2$ mm； $(44.1-42.1)/2=1.0$ mm。間格23mm的骨牌倒下速度（640.1mm/s）比間格33mm的（547.9mm/s）還快。

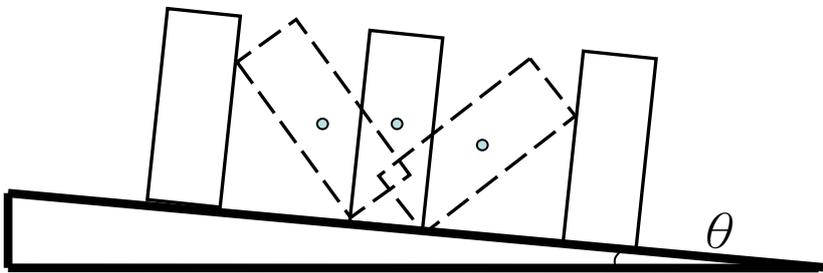
為了找出最快平均速度的間格條件。我們使用30片塑膠骨牌在桌面上做直線間隔實驗，間隔距離各為12、15、20、25、30mm時，量其倒下時

間各為：0.40、0.46、0.84、1.17、1.11s。塑膠骨牌寬9mm，骨牌長度公式為 $(9+\text{間隔距離})\times 29+9$ 。平均速度各為：1404.5、1410.0、1024.1、1093.4、1027.0mm/s。可以看出間隔25mm的平均速度（1093.4mm/s），比間隔20及30mm的都還快。這五組參數中，平均速度最快的是間隔15mm的骨牌陣。

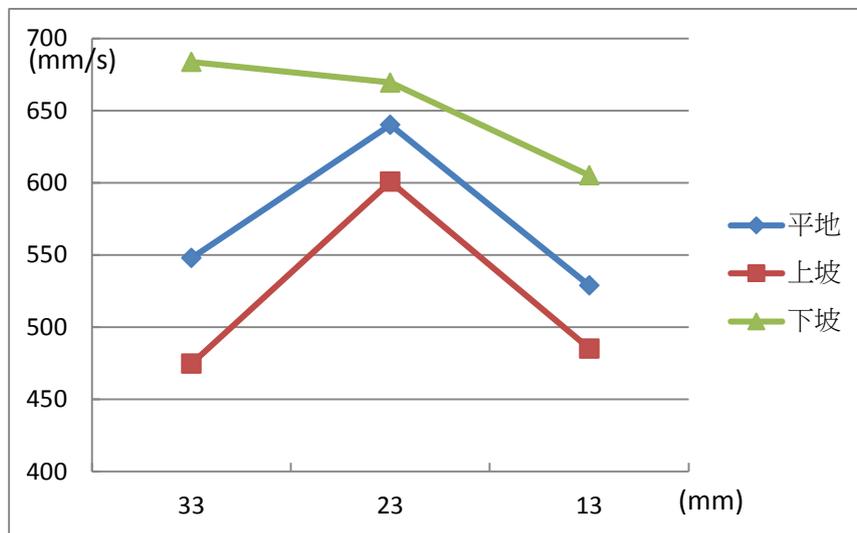
三、傾斜度的影響：

我們於架高木板上實驗。以磚塊架高後斜坡高10.55cm，長109.5cm，由反三角函數得斜坡角度約為5.5度。坡度造成的影響在於傾斜度會導致重力位能的轉換和平地不同，而在更陡的坡上，甚至可能造成骨牌滑動。我們只考慮骨牌轉動不滑動的情形，因此用緩坡做實驗。

骨牌上坡間格33mm的速度為474.7mm/s（坡度上間隔33mm時，最多只能排28片）；間格23mm和13mm的速度各為 $((23+7)\times 29+7)/2.29\text{s}=600.7$ 和 485.1 mm/s。由此看出上坡時平均速度以間格23mm時最快。



圖十九 斜坡上骨牌的重心變化圖



圖二十 木骨牌平均速度表

骨牌下坡間格33mm的速度為 $((33+7)\times 27+7)/1.59\text{s}=683.6$ mm/s；間格23mm和13mm的速度各為669.5mm/s和605.2mm/s。下坡時平均速度以間格33mm時最快。斜坡倒下後重心移動的垂直距離見表六。下坡間格33mm是我們實驗中有最快平均速度的條件，由此知此時的力矩比其他條件都大。

表格六 木骨牌倒下的平均速度表 (mm/s)

傾斜度 \ 間格	33	23	13(mm)
平地	547.9	640.1	528.8
上坡 坡度5.5度	474.7	600.1	485.1
下坡 坡度5.5度	683.6	669.5	605.2

表格七 骨牌重心垂直距離的變化(mm)

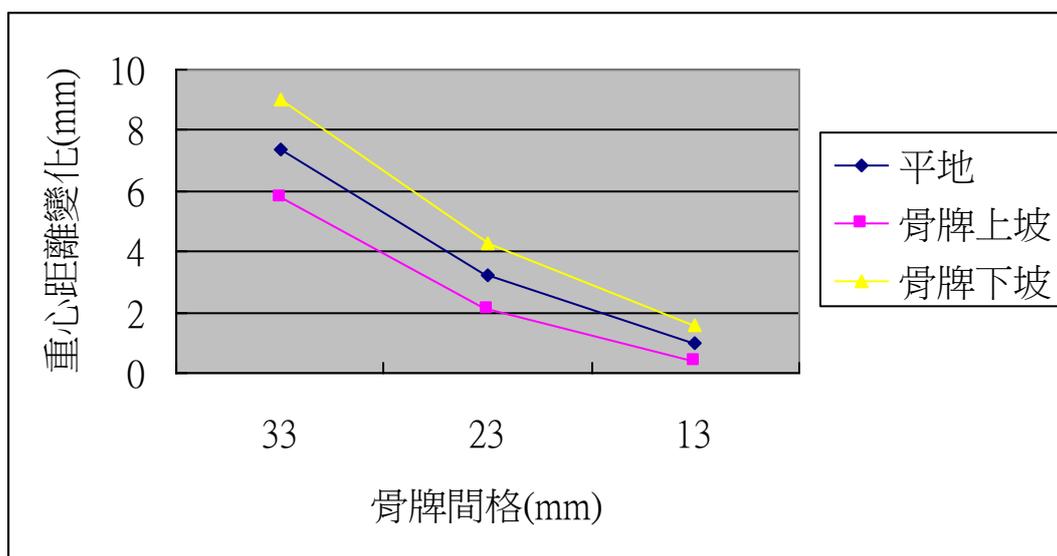
傾斜度 \ 間格	33	23	13(mm)
平地	7.4	3.2	1.0
上坡 坡度5.5度	5.8	2.1	0.4
下坡 坡度5.5度	9.0	4.3	1.6

表格八 塑膠骨牌平地間隔實驗

骨牌間隔(mm)	12	15	20	25	30
實際距離(mm)	618	705	850	995	1140
全倒秒數(s)	0.44	0.5	0.83	0.91	1.11
平均速度(mm/s)	1404.5	1410.0	1024.1	1093.4	1027.0

三、轉彎半徑對骨牌影響：

平地放21片，轉彎半徑為121mm，各間格39mm，1.95s全倒。轉彎半徑60mm；間格39mm(12片)，倒四片即停，無法全倒。同樣轉彎半徑60mm；間格34mm(13片)，1.25s全倒。我們認為轉彎半徑固定時，骨牌間格越大越不易傾倒。



圖二一 不同條件下骨牌的重心變化

四、錯位距離對骨牌影響：

平地28片，間格都為33mm：錯位5、10、15mm時，各花1.79、2.08、2.29s全倒。我們推斷錯位距離不可太大，否則在排列圖案時可能會無法順利倒下。由實驗知道錯位距離越大，倒下時間越長。這表示撞擊點離重心越遠，所傳遞的動能越少。

五、以骨牌排出東引特色圖：

不論是排燈塔、東引島或黑尾鷗等圖案。常因為距離不夠、角度不對、力矩不夠而沒有一次全倒。也因為不小心碰到，而需要重新排。之後排更大的圖案時，應從最內圈排起，由內往外排，並將衣服紮緊以免無意間帶倒骨牌。最後能順利排出東引的骨牌圖案，我們歸功於先前幾週練習成果的累積，及使用塑膠骨牌的結果。

文僑塑膠骨牌每塊重13.205g（515g/39片），規格為9×27×54mm。相較之下先前使用的木頭骨牌平均一個骨牌重4.73g，規格為7×21.6×44.1mm。由於重量較重，重心較高，塑膠骨牌可轉化的動能較多。又塑膠骨牌有800片，比先前的木骨牌多，我們可以排得較密。

柒、結論

平地時間隔23mm的木骨牌倒下平均速度，比間隔33mm的還快。骨牌撞到下一片骨牌的撞擊點的高度影響到兩項因素：重力位能轉換成的撞擊力、抗力臂長短。我們發現在間格13mm時，不管是平地、上緩坡、下緩坡，平均速度都差不多，推測是因為角度造成的重心變化不大。但是間格33mm時，由於撞擊點低，坡度影響重心大，最終發現下坡時間格33mm的骨牌平均速度大於23mm的。

藉由骨牌排出各種代表東引的特色圖案後，我們發現每部分的撞擊角度、錯位距離都要考慮，否則會無法全倒。較容易完成的是東引燈塔這種圖案，因為需要用到大轉彎半徑的骨牌連接處較少，其他複雜的圖案就需要排的較密，以克服轉彎半徑大的不利（相同間格下較不易傾倒）。

捌、參考資料及其他

- 一、黃力維、黃耀仟（2003）。**極速骨牌-骨牌終端速度及連鎖反應機制之探討**。台灣2003年國際科學展覽會，工程學科第三名。
- 二、TDC台灣骨牌創作學院。**經典回顧－骨牌打撞球**。2009年10月，取自：[骨牌.tw/2013/10/31/經典回顧－骨牌打撞球/](http://bone牌.tw/2013/10/31/經典回顧－骨牌打撞球/)
- 三、馬祖國家公園風景管理處。取自：<http://www.matsu-nsa.gov.tw/User/Article.aspx?a=82&l=1>

【評語】 080103

口語表達能力佳，但實驗變因較無有效控制，也未將實驗結果應用在實際骨牌推倒中，稍嫌可惜。