

彰化縣 114 學年度國民中小學學生獨立研究作品徵選

作品說明書（封面）

作品編號：（由承辦單位編列）

組別：

☒ 國小組

☐ 數學類

☒ 自然、科技類

☐ 國中組

☐ 人文社會類

作品名稱：「骨找位珠角」---

探討鋼珠不同角度撞擊與骨牌倒下之關聯性



◎封面切勿出現校名、作者、校長及指導者姓名，違者不予收件。

第一階段 研究訓練階段

壹、近二年學校獨立研究課程之規劃

學期 \ 年級	五年級	六年級
上學期	獨立研究	獨立研究
下學期	獨立研究	獨立研究

教學內容：

- 一、培養基本研究能力，學習研究方法與應用。
- 二、文章重點節錄與歸納分析。
- 三、相關文書處理軟體的學習與操作。
- 四、成果發表分享與觀摩學習。
- 五、參考歷年獨立研究得獎作品並評析討論。
- 六、尋找有興趣的主題進行討論，並著手擬訂計畫。
- 七、蒐集閱讀資料，思考分析彙整素材。
- 八、研究報告的撰寫與檢討反思。

貳、學校如何提供該生獨立研究訓練

- 一、分年級階段規劃獨立研究基礎能力課程，依照學生興趣引導探索相關問題，針對有興趣的內容討論其成為獨立研究主題的可行性。
- 二、在不斷地討論中修正溝通表達，培養該生積極主動的學習態度，注重思辨能力及邏輯性，進而找到最佳解而非最速解。
- 三、提供獨立研究相關訊息。

第二階段 獨立研究階段

一、 研究動機

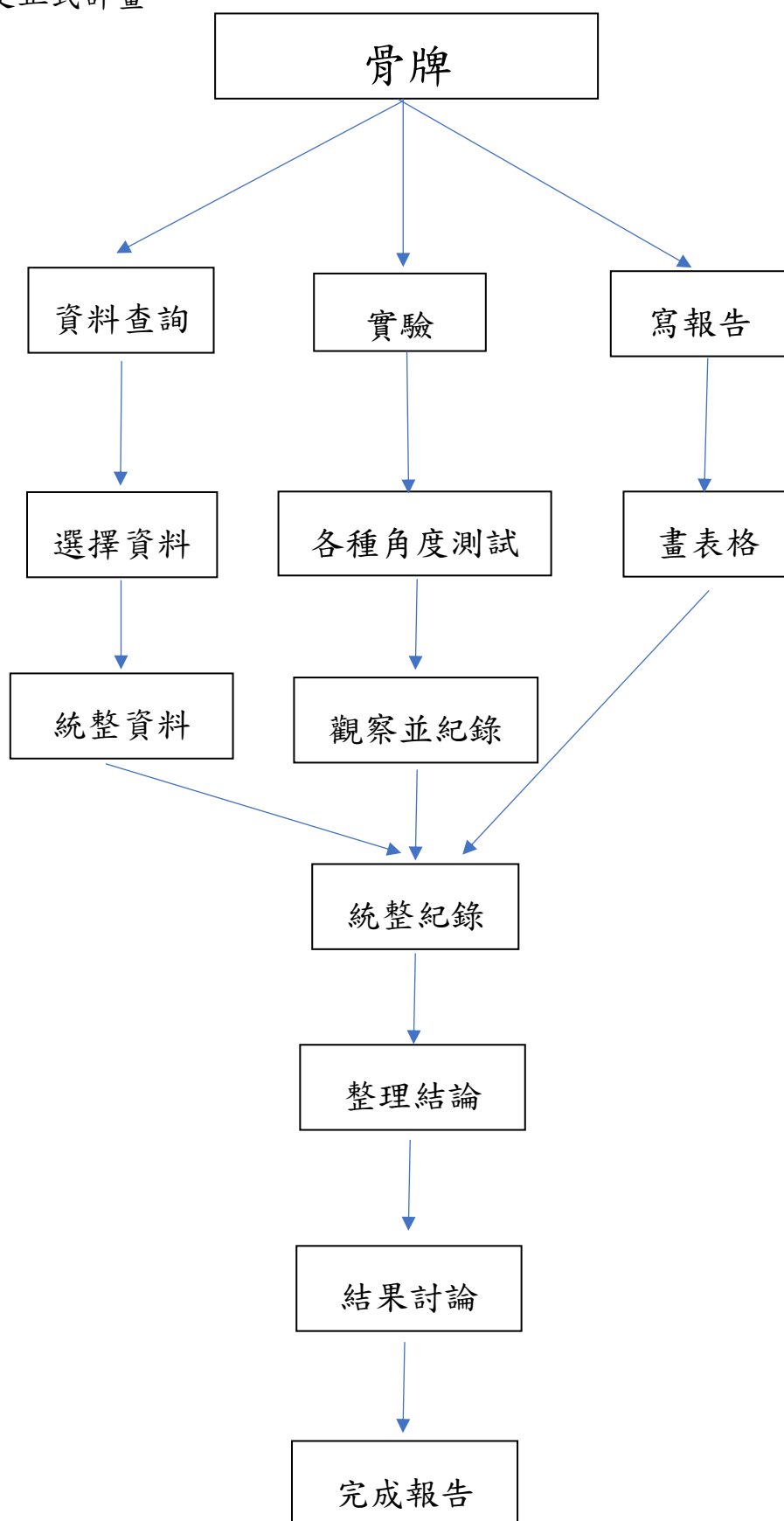
有一天在看電視時，發現電視上有一個關於骨牌的節目，它讓我們對骨牌有了初步的認識和些微的興趣。之後又在網站上看到一個骨牌表演，作者花了幾乎一個星期的時間製作，他用了好幾千片骨牌設置許多機關，其中一個便是用鋼珠撞骨牌，看起來很有趣，並有了更多想法。某天放學後，我央求媽媽幫我買一盒骨牌，有時閒時就會拿出來玩，原本想在中年級時做關於骨牌的研究，但查了一些文獻都看不太懂，最後才決定在高年級時開始這個研究。

二、 擬定正式計畫、研究問題及工作進度表

(一)工作進度表

月份 項目	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
討論 主題	✓	✓				
擬定研 究問題		✓	✓			
蒐集 資料		✓	✓	✓		
進行 實驗			✓	✓	✓	
結果 分析				✓	✓	
撰寫 報告				✓	✓	✓

(二)擬定正式計畫



(三)研究問題

1. 力矩和骨牌倒下的關係？
2. 玻璃吸管傾斜角度和鋼珠落下力量有什麼關係？
3. 鋼珠落下力量和骨牌倒下速度有什麼關係？
4. 骨牌實驗如何與生活創意結合？

三、彙整相關文獻

(一)骨牌的歷史及名稱由來：

骨牌最早可追溯到中國的北宋宣和年間(約西元 1120 年)也因為其原料是動物的骨頭，因此被稱為「骨牌」。而那時傳統中國骨牌的玩法則源自骰子，由兩個骰子的點數組合而成，共有 32 張牌，並分為「文」和「武」兩類。隨後於西元 1849 年，一位義大利傳教士將中國的傳統骨牌帶回米蘭，並送給女兒小多米諾，而小多米諾發現了將骨牌豎立起來玩的新玩法，還發現這種遊戲能磨練人們的心性，她便讓性格急躁的男友阿倫德將 28 片骨牌，在一定時間內一片一片的擺好，如果失敗的話就一個禮拜不能跟她參加舞會，在經歷七七四十九天的磨練後，阿倫德的性格果真變得沉穩，這也促使傳教士製作了更多木製骨牌，希望能讓更多人體驗到這高貴的遊戲。骨牌隨後在歐洲傳播開來，同時也被人們視為高貴優雅的象徵。後來人們為了紀念傳教士多米諾，這種遊戲在歐洲就被命名為「多米諾骨牌」。

(二)骨牌效應：

多米諾骨牌效應又稱作骨牌效應，意思是由小事引發後續一系列的事件。每個多米諾骨牌的倒下都由它前面的多米諾骨牌引起，這種效應與骨牌的數量無關，因為連鎖反應中消耗的能量是多米諾骨牌的勢能；當第一張多米諾骨牌倒下時，倒下

轉化的能量大於使下一張多米諾骨牌倒下所需的能量，所以骨牌才會一片接著一片的倒下，並且可以推動比自己質量更大的骨牌。有人做過實驗，假設每張骨牌都比前一張大 50%，第一張有二英吋高，到第十八張就有比薩斜塔那麼高，第三十一片甚至堪比聖母峰，因此使用骨牌效應，能輕而易舉地將比骨牌巨大許多的物品推倒。

(三)骨牌倒下的原因：

骨牌倒下主要的因素是重心位移，只要骨牌站得穩，受撞擊使重心離開底面積，骨牌就會倒下。而當骨牌微微傾倒，重心不再在支點正上方，就會對支點產生一個倒下的力矩，而骨牌越來越傾斜時，重力與支點的水平距離越來越大，力矩也會變得越來越大，也就會更快倒下。

(四)有哪些因素對骨牌倒下速度產生影響：

有許多因素會影響第一片骨牌倒下的時間，其中包括了擊打骨牌角度、骨牌間距、撞擊力度大小以及鋼珠撞擊骨牌的位置。我們查到間隔距離和鋼珠的衝力會影響第一個骨牌倒下時間，間隔距離越小、衝力越大(珠子重量和軌道斜度大)，第一個骨牌倒下時間越少。骨牌之間的間距較大的，倒下速度相較於間距小的慢，這是因為當間距大時，前一個骨牌倒下並要打到下一個骨牌所需要的時間較長，且力臂較小，而使總時間比間距短的來得長。而當間距大約是骨牌高度一半時，因為撞擊高度高，骨牌本身得到的力矩較大，且前面骨牌轉動的角度也大，產生的推力較大。由上可知，有許多因素可以影響骨牌的速度，所以我們將控制變因：間隔距離、骨牌大小、相同的桌面(摩擦力)等固定，單獨改變斜度，將其做為操作變因。

(五)力矩的定義：

力矩就是指作用力促使物體產生轉、扭或彎等效應的效果。它是一個描述物體轉動難易程度的量，計算方式是「作用力乘以力臂」，就是支點到力的作用線的垂直距離。而力矩的大小就會決定物體轉動的力矩如何影響骨牌倒下：力矩是骨牌倒下的關鍵，當外加的力矩大於骨牌的重力產生的力矩時，骨牌就會開始轉動倒下。這個原理可以簡化為「 $\text{施力} \times \text{施力臂} > \text{抗力} \times \text{抗力臂}$ 」。在連鎖骨牌中，每塊倒下的骨牌都會將能量傳給下一塊，使後續骨牌有些許倒下的動力，因為它們轉動時的力矩會不斷疊加。（不過我們排列的骨牌數量較少只有五十片，所以力矩對骨牌的影響不會太明顯，詳情可見我們的研究結果之力矩對骨牌倒下的影響）

四、 資料分析

(一) 我們想了解鋼珠撞擊骨牌的角度對骨牌倒下速度有什麼影響，因此用以下材料搭建了實驗器材。

1. 材料選擇：

- (1) 大小木板：厚度 1.8cm，為了方便調整高度及角度，所以木板跟木板之間沒有固定。
- (2) 玻璃吸管：長度 15cm，我們使用它來投放鋼珠是因為玻璃吸管是透明的可以很好的觀察鋼珠落下的方向以及鋼珠落下的情況，非常適合。
- (3) 小鋼珠：直徑 8mm，小鋼珠具備足夠的質量且大小適中，所以我們當作撞擊骨牌的物品。
- (4) 木質骨牌：長 2cm 寬 0.7cm 高 4.4cm
為了確保實驗的準確性，我們選用接近骨牌最佳比例的骨牌進行實驗，還在第一片骨牌的三公分處用鉛筆畫了一條線，固定鋼珠打到的位置，還能避免鋼珠撞

到桌面後彈起來。

- (5) 萬用黏土:由於它的可塑性極高、易拆卸、黏性又強且可重複使用，還可以幫助微調玻璃吸管傾斜角度，因此我們選用它來固定玻璃吸管。

2. 最初實驗構想:

(1) 方法 1

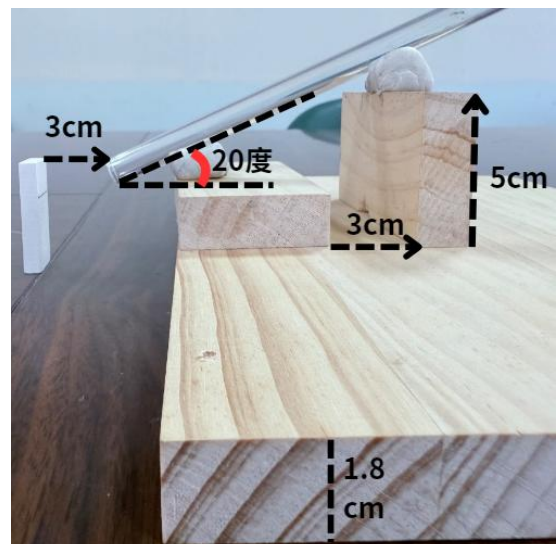
我們原本並沒有萬用黏土這個材料，我們是想用釣魚線固定玻璃吸管，並把兩片木板用 L 型鋼片固定，但玻璃吸管容易晃動，且容易滑落，會使實驗不準確，因此不使用這個方法。

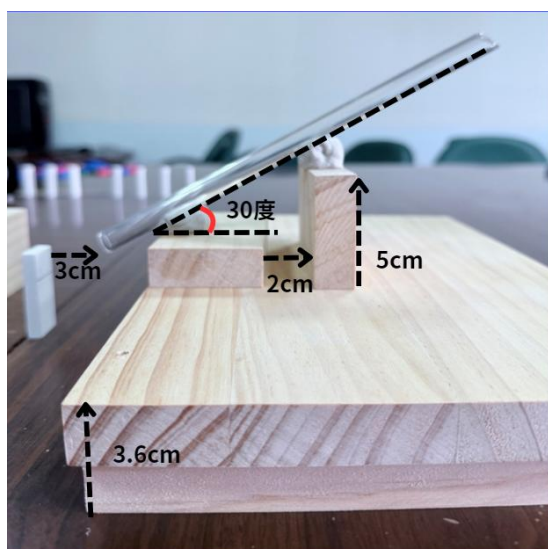
(2) 方法 2

當時也想了其他解決方法，像是透過凹槽設計卡住木板及玻璃吸管，為此還特別找了鋸刀和鑿刀，結果我們發現凹槽設計不但無法固定玻璃吸管，還容易使吸管滑落，一不小心玻璃吸管就可能破裂，而且我們沒有足夠的力量去切木板及挖凹槽，容易失敗，所以也不採用此方案。

3. 以下是四張玻璃吸管不同傾斜角度的實驗器材圖片

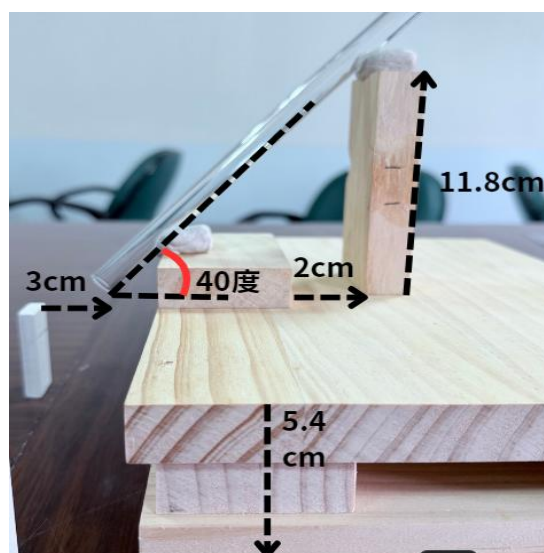
(1)當玻璃吸管傾斜角度為 20 度時



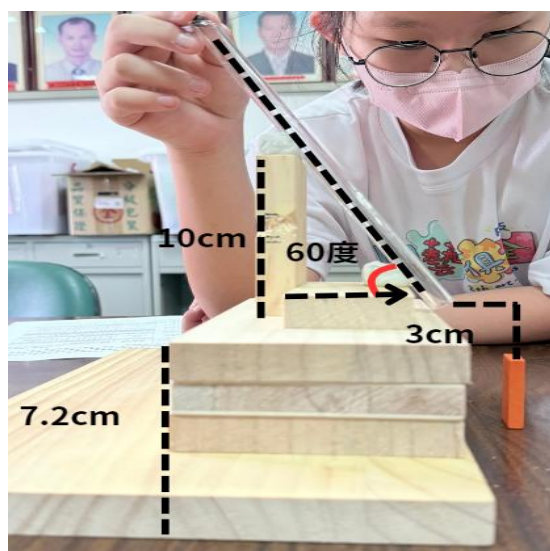


(2)當玻璃吸管傾斜角度為 30 度時

(3)當玻璃吸管傾斜角度為 40 度時



(4)當玻璃吸管傾斜角度為 60 度時



(二)下面這個表格是我們測試鋼珠從不同的吸管角度落下，讓五十張骨牌全部倒下所需的時間，每個角度總共實驗五次，數據結果如下。

次數 角度	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
20 度	3.87 秒	3.3 秒	3.18 秒	2.99 秒	3.21 秒	3.23 秒
30 度	3.28 秒	3.12 秒	3.01 秒	3.55 秒	2.94 秒	3.14 秒
40 度	3.04 秒	3.28 秒	2.86 秒	2.97 秒	2.69 秒	2.96 秒
60 度	2.88 秒	2.79 秒	3.46 秒	2.77 秒	2.67 秒	2.81 秒

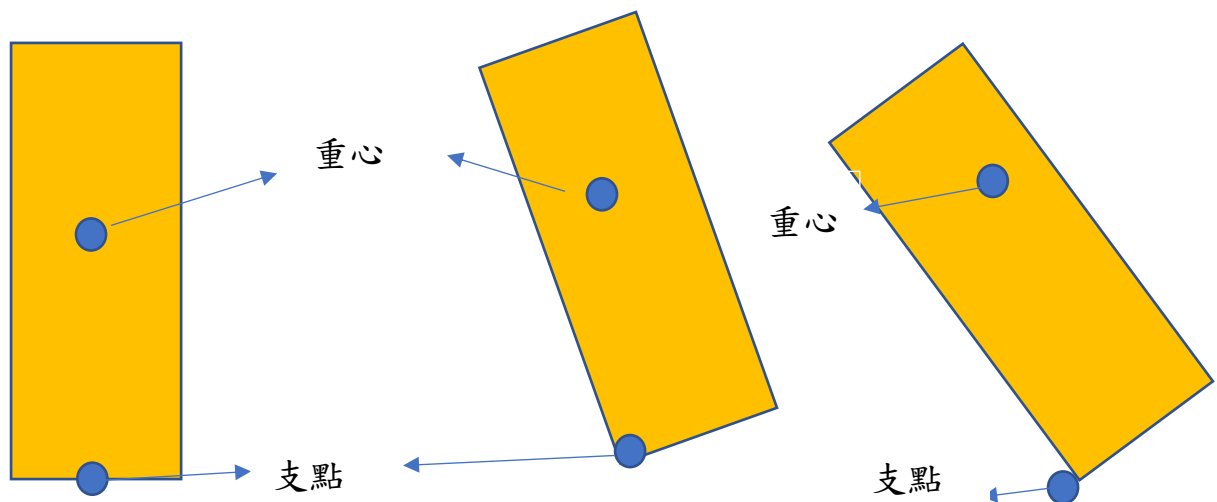
1. 為了避免誤差太大，我們在實驗後將記錄中速度最慢的與最快的秒數去除，原因是我們在紀錄時一定會有誤差，其中包括了人工誤差，我們有時候沒有及時得按下計時器，因此造成延遲；又或是手不夠靈活，將鋼珠卡在吸管口，沒有第一時間落入玻璃吸管中，其中還包括了機器誤差，為了取平均值，所以我們使用了許多不同的計時工具，有人使用手機、有人使用手錶，也會造成誤差。

2. 我們發現吸管傾斜角度對骨牌影響最大的 40 度和 30 度，這是因為吸管傾斜角度越大時，鋼珠產生的衝力越大，所以撞擊第一個骨牌倒下的時間較快。然而不是沖擊力道越大就越好，撞擊力道越快(角度大、位置高)，骨牌倒下的總時間越短，然而力道太強骨牌容易位移，造成骨牌呈現不穩定的現象，並使實驗結果產生誤差。

五、 研究結果與討論

(一)力矩對骨牌倒下的關係：

當骨牌站立時，重心在中間並且處在支點的正上方，所以不會傾倒。然而當骨牌微微傾倒時，重心不再在支點的正上方，就會對支點產生一個倒下的力矩，而當骨牌越來越傾斜時，重力與支點的水平距離會越來越大，力矩也會變得越來越大，也就會使骨牌更快倒下。



(二)玻璃吸管傾斜角度和鋼珠落下力量的關係

由實驗及資料可知，吸管傾斜角度越大，鋼珠落下的力量越大；吸管傾斜角度越小，鋼珠落下的力量越小。會造成這種現象的原因是因為當傾斜角度越趨近於 90 度，地球施加的重力對鋼珠的影響就會變得越強，因此鋼珠落下的力量才會跟著吸管角度的增加而變強。

(三)鋼珠落下力量和骨牌倒下速度有什麼關係

鋼珠落下後得撞擊力道越大，骨牌倒下的速度會越快；反之鋼珠落下的撞擊力量越小，骨牌倒下的速度便會較慢。然而

鋼珠撞擊的力量及骨牌倒下速度的關係卻不成正比，雖然一開始骨牌的倒下速度確實有加快，但隨著倒下片數的增加，影響漸漸變得不明顯，這是因為其實鋼珠落下的力量只會影響到前幾片的骨牌，而不會影響到全部的骨牌。所以我們製作出下表，來表示鋼珠落下的力量及骨牌倒下速度有正相關，但並非是直接的倍數關係：

比較項目 \ 吸管傾斜	20 度	30 度	40 度	60 度
角度放大倍數	1 倍	1.5 倍	2 倍	3 倍
骨牌倒下速度	3.23 秒	3.14 秒	2.96 秒	2.81 秒

（四）創意與生活結合

在實驗初期，我們曾看到過一個時鐘達人將骨牌做成鬧鐘，讓我們大受震撼，因此也希望能利用骨牌製作一個有趣的鬧鐘，藉此讓骨牌能夠更加貼進我們的生活日常，實際運用在生活中。

相信大多數人都有縮在被窩裡賴床的情況，所以我們想到一個可以避免小孩子一直賴床的方法：我們將機關的開關設置在小孩的床旁邊，將一個有凹槽能夠調整斜度的平台固定在床頭櫃上，可依照時間的緊急程度和媽媽的怒氣值來調整角度，使平台上的鋼珠推動骨牌（骨牌體積逐漸變大），最後撞倒沙灘球，砸到小孩臉上，讓在被窩裡賴床不上課的小孩驚醒，也因為沙灘球重量輕，就算砸到小孩也不會造成傷害，算是兼具趣味與安全性的機關。

以下是我們製作的示意圖：



六、 評鑑與檢討

(一) 研究初期

剛開始我們鬥志滿滿想做魔方的獨立研究，但提出的研究問題有點不切實際無法延續，於是我們整個月的心血就直接白費了，先天不足要靠後天來補足，在時間壓力下，我們不斷的提出自己對實驗主題的想法，最終才以骨牌作為研究的主題。蒐集資料時，發現骨牌倒下的原因和力矩有相當關連，但我們在計算力矩時卻遇到難題，網路上找不到有證明過屬實的計算方法，人工智能提供出的計算方式又太過深奧，我們無法理解，所以我們選擇去瞭解力矩而不深究詳細計算內容。

（二）研究中期

我們在確定內容之後，便著手準備要進行的實驗，而實驗主要就是用鋼珠從吸管的不同角度滾落，並且觀察不同角度對骨牌速度的影響。然而在實驗中我們排好的骨牌卻不斷被冷氣、電風扇產生的風或者是我們的一個微小碰觸所推倒，在計時的時候不小心太快按或太慢按下碼錶，導致實驗結果不準確，這些讓我們經常因此對實驗失去耐心，不過在一次次的實驗中，我們逐漸抓到排骨牌的訣竅，也慢慢培養出耐心。而這也對我們製作獨立研究時帶來許多的幫助。

（三）研究後期

在即將完成報告的時候，我們面臨著最後一道關卡：研究對生活的創新以及結合。這道關卡說難也不難，可是說簡單也沒那麼簡單，因為骨牌在生活中已經有許多發想了，再加上我們希望我們的創新能夠與鋼珠和撞擊角度結合，我們絞盡腦汁好久都沒有想法，眼看交件日在即，我們卻停在原地這令我們非常緊張。但事情迎來了轉機，有一天同學遲到了他說是因為媽媽叫了他之後他又繼續賴床，我們突然想到，為什麼我們不用骨牌做出一個類似防賴床鬧鐘的東西呢？

於是我們著手發想，終於做出了用骨牌、斜坡、鋼珠和沙灘球做的用來叫醒會賴床的人的東西，他可以控制斜坡的角度，只要有人把鋼珠投放到斜坡上，鋼珠順著斜坡滑下來後就會撞到骨牌，骨牌再撞到沙灘球，最後沙灘球在掉下來砸到人，但沙灘球又不重，所以不會砸傷人。如果不是這位同學，我們可能也想不到這個點子，也讓我知道了，有時候遇到困難無法解決時，可以從生活中找到答案，就像伊隆·馬斯克，他從小熱愛遊戲（如《文明帝國》《太空侵略者》），他曾表示遊戲培養了他對系統思考、模擬與策略的興趣，影響了 SpaceX 與 Tesla 的思維方式。

七、 參考資料

1. <https://www.merit-times.com.tw/NewsPage.aspx?unid=846583>
2. <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%AA%A8%E7%89%8C>
3. <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/51/pdf/030101.pdf>
4. <https://cirn.moe.edu.tw/Upload/BENCHMARK/2196/A-04.pdf>
5. https://science.cyc.edu.tw/upfile/science102/work_files/12550189757833.pdf
6. <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%8A%9B%E7%9F%A9>
7. <https://www.junyiacademy.org/junyi-science/science-juni/middle-school-physics-chemistry/s4zz1-/v/MDRxYeYa0hRA>
8. <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/53/pdf/080105.pdf>
9. https://www.youtube.com/watch?v=N1jeQ_Pkk9I
10. <https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=83&sid=9183>
11. https://domino.net.tw/learning/?srsltid=AfmB0ooFtnXJEt rimLbE0NnI3CTKCivfNaMaywJHEqFiv_yrFqdgzRrJ
12. <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/47/pdf/080417.pdf>
13. <https://n.sfs.tw/content/index/13416>
14. <https://zh.wikipedia.org/zhtw/%E5%A4%9A%E7%B1%B3%E8%AB%BE%E9%AA%A8%E7%89%8C%E6%95%88%E6%87%89>
15. <https://domino.net.tw/fancy04/?srsltid=AfmB0ooArXQgU639P1K1YH6o2JiHoXy8tR5EKfqpVyQhm430qXPON8zA>
16. <https://blog.udn.com/200power/140920252>