

2023 年【科學探究競賽—這樣教我就懂】

普高組 成果報告表單

題目名稱：磁力彈弓

一、摘要

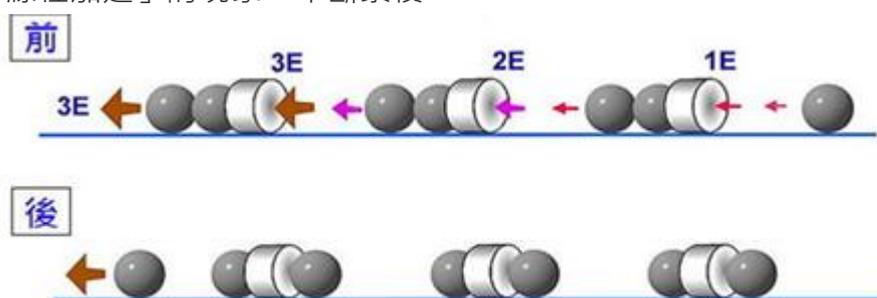
從牛頓擺到電影中高斯砲的威力啟發，讓我們想探索影響衝擊力的變因與條件，因此本實驗希望透過嘗試不同質量的碰撞組合與間距比例，還有碰撞組合數目的增加，探討增強高斯砲能量的最佳組合，希望可以應用在交通工具的延伸運用中還有重工業武器上。

二、探究題目與動機

曾經在一部日本的電影《嫌疑犯 X 的獻身》中看到湯川教授示範高斯槍的威力引發我們的興趣，於是就決定要做類似高斯槍的實驗，也和我們實驗的主題契合，對於我們來說是再適合不過的主題了，於是我們決定透過了解高斯槍的原理，實驗找出威力最大的實驗組合。

三、探究目的與假設

從動量守恆的原理來看，牛頓擺中五個質量相同的球體由吊繩固定，彼此緊密排列。當擺動最左側的球撞擊其它球時，最右側的球會被彈出，其他中間的四顆則保持不動。但倘若第一顆鋼珠只是鬆手釋放，並沒有推動它，是否可以利用強力磁鐵以能量守恆的科學定律來說，當鋼珠越接近磁鐵，吸引力越大，加速度也越大，磁力作功使動能愈來愈大，當鋼珠撞擊到磁鐵時，能量經由碰撞傳遞至另一端鋼珠上，碰撞後的鋼珠獲得能量，加速向前運動，達到「線性加速」的現象，不斷累積。



圖一：高斯砲動能累積示意圖。

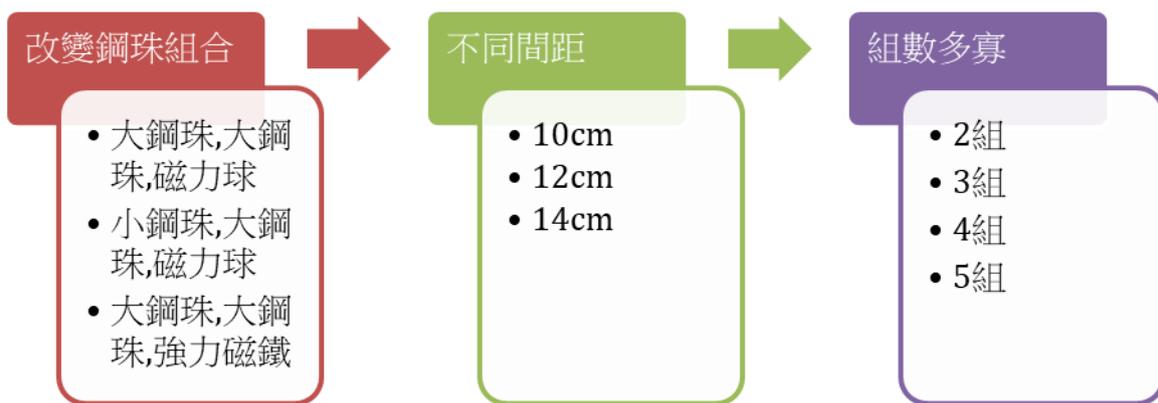
假設不考慮摩擦力等因素的話，若小鋼珠一開始為靜止，釋放後小鋼珠被強力磁鐵吸引而具有動能，當撞擊到第一個強力磁鐵時，假設動能為一個單位（ $1E$ ）。小鋼珠被強力磁鐵吸住而靜止，動能傳遞給另一邊第二個小鋼珠，此小鋼珠得到 $1E$ 的動能，而且被第二個強力磁鐵吸引而加速運動，在撞擊第二個磁力磁鐵時，動能增加一單位為 $2E$ 。相同過程一直傳遞到第三個強力磁鐵的最後一個小鋼珠時，動能已增加為 $3E$ 。所以理論上最後一個小鋼珠的動能為起始小鋼珠撞擊到強力磁鐵時動能的三倍，依此類推應會不斷增加中，因此

我們希望探討真實的高斯砲碰撞中組合的數目對於碰撞力道的影響。

此外由於鋼珠+強力磁鐵的距離會影響磁力大小，還有鋼珠的大小組合對於能量轉換時的損耗應也有其影響，所以也針對鋼珠組合的距離與鋼珠數目的變化希望找出能讓高斯砲的威力增強的真正因素。

- 一、探討增加鋼珠組合的數目對於碰撞力的影響。
- 二、討論強力磁鐵與鋼珠距離對於碰撞力的影響。
- 三、討論鋼珠組合中鋼珠大小比例對於碰撞力的影響。

四、探究方法與驗證步驟

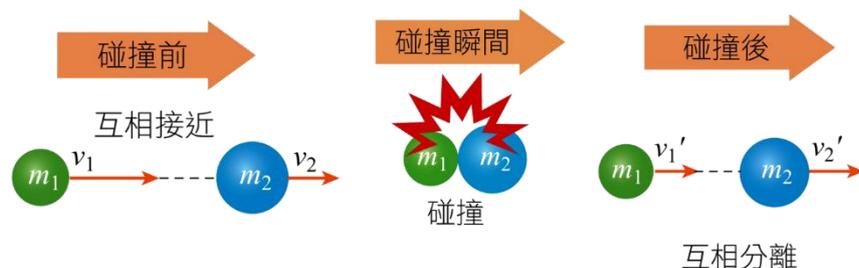


圖二：探究方法流程與步驟。

步驟一：探討不同鋼珠組合下碰撞力的影響。

(固定間距 10cm,並且 3 組的數目下,軌道為壓克力管中)

由於根據彈性碰撞公式中，質量之間的比例會影響碰撞後的速度，因此我們利用此三種不同的組合探討其影響的效果，碰撞後速度愈大，在相同摩擦係數下，速度愈快，最後能撞擊到紙杯的距離則愈遠，作為碰撞力效果的影響定量判斷。



$$\begin{cases} v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 + \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_2 \\ v_2' = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_2 + \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1 \end{cases}$$

圖三：彈性碰撞公式。

$$v^2 = v_0^2 - 2aS$$

碰撞後 v_0 愈大，則擊退紙杯距離 S 愈遠，由此判斷撞擊力大小 $F = \Delta P / \Delta t$ 的定量觀察。

表一：不同質量鋼珠組合實驗結果。

項目	實驗組合	擊退距離
①	磁力球  (大鋼珠,大鋼珠,磁力球)	21cm
②	磁力球  (小鋼珠,大鋼珠,磁力球)	5.5cm
③	磁力球  (大鋼珠,大鋼珠,強力磁鐵)	16cm

實驗一結果發現體積與質量相等的組合下(項目 1)效果最好，其次是兩大鋼珠與圓柱形強力磁鐵(項目 3)，推測是因為平面形狀造成碰撞能量的損耗比項目 1 大，效果最差的是項目 2，以小鋼珠撞到大鋼珠時，動能轉換效率最差(如上公式)。因此我們接下進一步以最好的組合(項目 1)進行後續的探討。

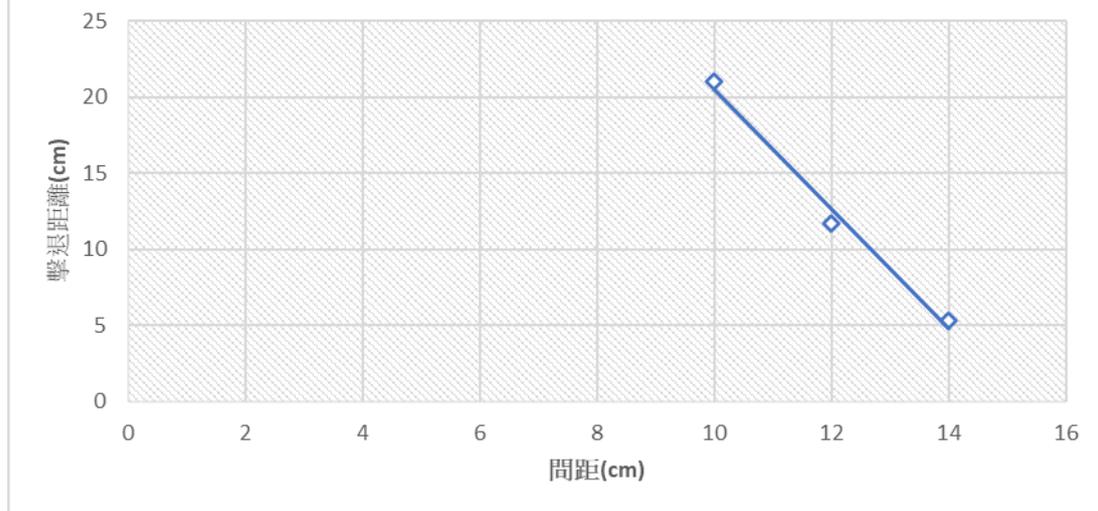
步驟二：探討不同間距對於碰撞力的影響。

(固定 3 組實驗組合(以體積相同的大鋼珠 2+磁力球 1 組合)軌道為壓克力管))

表二：不同間距對於碰撞力影響結果。

項目	間距	擊退距離
①	10cm	21cm
②	12cm	11.7cm
③	14cm	5.3cm

擊退距離V.S.鋼珠組合間距



圖四：鋼珠組合間距與擊退距離關係圖。

實驗二希望探討當間距愈小時，磁力愈大的情況下，碰撞力是否也會增加？但在距離不會使鋼珠移動的前提下，最近的距離為 10cm，結果發現距離愈近效果愈好，且間距與擊退距離呈現負相關。

步驟三：探討不同組合數目對於碰撞力的影響。

(實驗組合相同(大鋼珠,大鋼珠,磁力球),軌道為壓克力管且間距固定為 10cm)

表三：不同組合數目對於碰撞力影響結果。

項目	組數	擊退距離
①	2組	11.7cm
②	3組	21cm
③	4組	5.3cm
④	5組	15cm

結果發現組合數目在三組的時候，碰撞力效果最好，增加到四組時效果急速下降，但五組的時候效果則又上升，可能因為摩擦力的影響造成碰撞中能量的損耗也在增加，還有系統穩定性的影響，所以雖然組合數愈多，磁能造成動能的累積理論上也應該增加，但實際上有一個最佳狀態的比例。

五、結論與生活應用

1. 由實驗一可以得到兩個結論

(1)磁力效果大小：磁力球>扁平圓柱強力磁鐵(圓形較佳)

(2)使用大鋼珠產生的磁力>小鋼珠(質量相等的圓珠碰撞後,速度交換效率為最佳)

2. 實驗二中可知間距 10cm 產生的磁力最大，間距愈長產生的磁力愈小，組合間擺放距離越近，磁場越強，產生越大的能量與磁力加速度。

3. 從實驗三中可知，3 組實驗組合產生的磁力最大，而兩組的鋼珠組甚至效果比四組的效果還好，可見組數愈多雖依理想的理論來說能量應該愈大，但實際上有許多因素影響包含摩擦力與系統的穩定性的能量損耗等，造成組別多寡與磁力大小無正比關係。

因此倘若將高斯槍的原理可應用在軍事武器方面，可以成為不用巨量的火藥產生衝擊力的高效能的磁力彈弓，甚至交通工具也可以用此原理達到短時間內高速暴衝的奇效，應用在海上飛機快速起飛上，可以達到短距離彈飛的效果。

參考資料

1.高中選修物理 II 4-2 一維彈性碰撞

2. 物理演示實驗室推廣版高斯來福槍(Gauss Rifle/ Gauss Gun, compact version)

4-2<https://phy.tw/%E7%A7%91%E5%AD%B8%E5%AF%A6%E9%A9%97/item/205-item-title>

3. 國立台中教育大學 NTCU 科學遊戲實驗室(磁力砲彈)

<http://scigame.ntcu.edu.tw/electric/electric-032.html>