

## 實驗二：循環鐘擺 (Looping Pendulum)

### 一、題目：

用繩子連接兩個負載在水平桿上，一個重負載和一個輕負載，通過拉下輕的負載來抬起重負載。釋放輕負載並且它會掃過桿子，保持重負載不會掉到地上。研究這種現象。

### 二、材料：

棉繩粗、細 300cmx1、釣魚線粗 (8 號)、細 (3 號)300cm 各 1 條、L 型支架 x1、金屬墊片 100、100CC 塑膠量杯帶把手 x1、330CC 空瓶 x2、C 型夾 \*1。

### ( 循環鐘擺 ) 材料清單

名品	圖片	數量	規格	名品	圖片	數量	規格
棉繩		各 1 條	粗棉繩：長度 300cm 細棉繩：長度 300cm	塑膠量杯帶把手		1 只	容量：100cc
釣魚線		各 1 條	8 號：長度 300cm 3 號：長度 300cm	空瓶		2 只	容量：300cc
L 型支架		1 個		C 型夾		1 個	
金屬墊片		100 個		超級小刀		1 支	
束帶		15 條		網袋		1 個	
1 號夾鏈袋		10 個					

### 三、實作示範影片與操作說明：



<https://youtu.be/h2UmGShOwbQ>



<https://youtu.be/ZyhHidThQR8>

## 循環鐘擺 - 操作說明：



### a. 網袋操作說明：



用繩子連接兩個負載在水平桿上，一個重負載和一個輕負載，通過拉下輕的負載來抬起重負載。釋放輕負載並且它會掃過桿子，保持重負載不會掉到地上。研究這種現象。

## 四、物理原理：

功與能、摩擦力、向心力、力矩平衡

## 五、探究問題指引：

### (1) 觀察當輕物放掉時運動的軌跡為何？可能造成的原因？

提示：當輕物釋放後同時受重力、繩子給的向心力、重物的拉力及繩子與桿子間的摩擦力，會造成輕物產生改變擺長的圓周運動，重物受到重力、輕物透過繩子給的拉力與繩子與桿子間的摩擦力等力作用，但因重物所產生重力大於其他合力時，重物的重力決定運動方向，因此重物產生向下運動。在某些條件下，輕物端的合力所產生的力矩與重物端的力矩達到平衡時，重物將會停止下降，而輕物會因慣性及向心力增加，產生纏繞桿子的圓周運動，且輕物的運動速率會隨半徑變小越來越快。

### (2) 請選擇一物理量作為輕物形成纏繞拉重物的量測指標？

提示：當重物停止下降時，可觀察重物下降高度，輕物的擺角或是輕物產繞時所產生的週期變化皆可作為應變變因。

(3) 請觀察輕重物的運動狀態研判可能的變因為何？

提示：操作變因包含輕重物的質量比、擺長比、釋放輕物的擺角、桿子的表面性質或繩子的差異等皆可作為操作變因。

(4) 探討輕、重質量比在那一條件下最容易形成纏繞拉注重物？

(5) 探討輕、重物擺長比，在一條件下最容易形成纏繞拉注重物？

(6) 探討比較輕物在那一角度釋放最容易形成纏繞拉注重物？

(7) 探討可形成循環鐘擺的條件範圍為何？

(8) 請比較循環鐘擺與單擺所產生的週期有何異同？

(9) 利用以上檢測分析實驗觀測的現象可能造成輕物可拉注重物的原因？

## 實驗三：漏斗和球 (Funnel and Ball)

### 一、題目：

當空氣流經一個漏斗時氣流可以使一個質量輕的球（如乒乓球）懸浮在空中，亦有可能透過吹氣反而吸住輕球。解釋並研究此現象相關參數。

### 二、材料：

乒乓球 x5、寶麗龍球 5cm 直徑 x5、強力吹氣機 x1、美式圖釘 x2、3CC 針筒、注射針 x2、電工膠帶 x1、強力黏土 1/4 條、多孔畫圖直尺 x1、剪刀 1 把、粗吸管 10 支、三種不同尺寸漏斗各 1。

### ( 漏斗和球 ) 材料清單

名品	圖片	數量	規格	名品	圖片	數量	規格
乒乓球		5 只		雙面膠		1 卷	
保麗龍球		5 個	直徑：5cm	強力黏土		1 支	1/4 條
強力吹氣機		1 台		多孔畫圖直尺		1 支	
美式圖釘		2 只		剪刀		1 把	
刻度打氣筒、球針		2 只	3cc、24G	量角器		1 只	
電工膠帶		1 只		4 種不同規格漏斗圖形紙		各 1	

### 三、實作示範影片與操作說明：



[https://youtu.be/jV657cE\\_4n4](https://youtu.be/jV657cE_4n4)

## 漏斗和球 - 操作說明：



透過吹氣進入漏斗可以拾取輕球（例如乒乓球）。  
解釋並研究此現象相關參數。

### 四、物理原理：

伯努力定理、康達效應、摩擦力、力平衡

### 五、探究問題指引：

#### (1) 觀察輕球在離吹氣口不同的位置釋放時會產生那些運動？

提示：當輕球放置的位置較遠端時，輕球會被氣體向外推開，當氣流產生的推力與輕物的重力平衡時，且因流經輕球表面氣體流速較快，四周的空氣及會給予向內擠壓的力量，使輕球不會離開氣流區，因此輕球會產生懸浮狀態。

#### (2) 觀察不同質量的球在相同氣流條件下有何異同？

提示：在固定的氣流條件下，輕球質量越重達到合力平衡懸浮的高度越低。

#### (3) 探究何種條件可讓多個輕球同時漂浮空中？

提示：在固定的氣流條件下，必須改變輕球的質量讓每個輕球產生不同懸浮的高度，但每個輕球間必須有足夠的間隔距離，當輕球質量太接近時，氣體流經輕球後的擾流就會導致下一顆輕球無法平均受力而離開。

#### (4) 探究吹氣時為何輕球會被吸住漏斗口而不會吹開？

提示：但當距離較靠近漏斗口時，流經輕球與漏斗接合處的氣流速度較四周的氣流快，因此四周的空氣對輕球產生推力，輕球反而會被吸住而不會不推開，輕球會在漏斗內產生旋轉的運動。

#### (5) 探討吹氣漏斗錐狀角度對於輕球漂浮飛行有何影響？

#### (6) 探討吹氣漏斗錐狀角度對吸住輕球的能力有何差異？

#### (7) 利用以上檢測分析實驗觀測的現象解釋造成漂浮與吸住輕球的原因？

## 實驗四：馬格努斯飛行器 (Magnus glider)

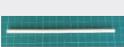
### 一、題目：

將兩個輕紙杯的底部粘在一起製成滑翔機。繞著中心纏繞鬆緊帶並握住剩下的另一端。在拿著滑翔機的同時，拉長鬆緊帶，然後鬆開滑翔機。請研究它的運動。

### 二、材料：

大、中、小紙杯各 6 個、保麗龍球直徑 10cm、5cm 各 1 個、棉線 50cm 條、透明膠帶 1 捲、電工膠帶 1 捲、橡皮筋 40 條、竹筷 10 支、美工刀 1 支、剪刀 1 把、手機或攝影機 (自備)、筆電 (Tracker)。

### (馬格努斯滑翔機) 材料清單

名品	圖片	數量	規格	名品	圖片	數量	規格
360cc 紙杯		6 個	上端杯口外徑：9.5cm 總高度：8.4cm 杯底外徑：6cm	50cm 棉繩		2 條	線徑 2mm 長度 50cm
270cc 紙杯		6 個	上端杯口外徑：7.7cm 總高度：8.8cm 杯底外徑：5.3cm	透明膠帶		1 捲	寬度 1.8cm
170cc 紙杯		6 個	上端杯口外徑：7.1cm 總高度：6cm 杯底外徑：5.3cm	電工膠帶		1 捲	寬度 1.8cm
10cm 保麗龍球		1 個	直徑：10cm 10cm 保麗龍球	橡皮筋		40 條	外徑約 5cm
5cm 保麗龍球		1 個	直徑：5cm 5cm 保麗龍球	木圓棒		5 支	圓徑 5mm 長度 15cm

### 三、實作示範影片與操作說明：



<https://youtu.be/05zF0sBwHe8>

# 馬格努斯滑翔機 - 操作說明：



2.同1步驟，  
將橡皮筋與棉線綁一起

1.用黑色膠帶將橡皮筋與木棒黏合

將兩個輕紙杯的底部粘在一起製成滑翔機。繞著中心纏繞鬆緊帶並握住剩下的另一端。在拿著滑翔機的同時，拉長鬆緊帶，然後鬆開滑翔機。請研究它的運動。

## 四、物理原理：

馬格努斯力、康達效應、摩擦力、浮力、轉動

## 五、探究問題指引：

**(1) 請觀察並比較保麗龍球與紙杯滑翔翼在無旋轉條件下拋射與有旋轉拋射的運動軌跡差異？並說明為什麼？**

提示：當物體在飛行過程中同時有伴隨旋轉時，會因物體快速旋轉時帶動表面空氣一起流動，當旋轉軸線方向與飛行的方向垂直時就會改變流經物體四周的空氣流速，當任何兩側的流速有差異時，速度快的那一側受力會比速度較慢的另一側受力小，因此物體運動軌跡就會偏向受力較小的那一側飛行，兩側受力的差異大小就是所謂的馬格努斯力。因此造成飛行物體轉動軸在飛行中定向及兩側有明顯流速差異，是觀察此現象的必要條件。對於球形的保麗龍球，因球面兩側流速差異減小，因此造成的馬格努斯力較小因此只會造成飛行軌跡產生偏向飛行，而紙杯因飛行轉動軸可以固定，因此兩側流速差異大，就會明顯的馬格努斯力而產生迴旋的飛行軌跡。

**(2) 請觀察並比較保麗龍球與紙杯滑翔翼在順時針與逆時針旋轉射出的運動軌跡差異？並說明為什麼？**

- (3) 請觀察並比較不同體積的保麗龍球與紙杯滑翔翼射出的運動軌跡差異？並說明為什麼？
- (4) 請觀察比較不同發射力量的保麗龍球與紙杯滑翔翼射出的運動軌跡差異？並說明為什麼？
- (5) 請觀察比較不同旋轉速度的保麗龍球與紙杯滑翔翼射出的運動軌跡差異？並說明為什麼？
- (6) 根據實驗觀察請您分別比較說明保麗龍球與紙杯滑翔翼對不同體積、發射力量、及旋轉速度之運動軌跡變化的關係？
- (7) 根據實驗數據請找出能控制飛行物體能準確降落目標區的參數，並找出可能的誤差來源為何？

## 實驗五：高斯砲 (Gaussian cannon)

### 一、題目：

數個一樣的鋼球吸在強磁的一側（如右上照片的右側），由磁鐵的另外一側以另一個鋼球向他們滾動最終球碰撞。右側一串鋼球最右側球會以驚人的高速度彈出。改變磁鐵與鋼球的位置、數量，探討這些因素對右側鋼球射出速度的影響，如何達到最佳效果（射出速度）。並請嘗試建立理論模型去解釋你的實驗結果。

### 二、材料：

電線壓條 16 條、鋼珠（直徑約 7~10mm）12 個、塑膠捲尺（長 1m~2m）1 捲、圓柱形強磁（直徑 10mm、厚 3mm）4 個、圓柱形強磁（直徑 10mm、厚 5mm）4 個、圓柱形強磁（直徑 10mm、厚 10mm）4 個、圓柱形強磁（直徑 12mm、厚 3mm）4 個、強力黏土 1 條、壓線釘（可與磁鐵吻合固定磁鐵用）20 支、長條木板 1.5cmx5cmx30cm 4 塊、螺絲 20 支、手機或攝影機（自備）、筆電（有 Tracker）。

### （高斯砲）材料清單

名品	圖片	數量	規格	名品	圖片	數量	規格
電線壓條		3 個	內徑：1.2cm 長度：30cm	捲尺		1 捲	長度：150cm
長條木板		3 塊	寬度：3.6cm 高度：1.6cm 長度：30cm	壓線釘		10 支	內徑：10mm
圓柱形強磁		各 2 顆	圓徑：1cm A：厚度：3mm B：厚度：5mm C：厚度：10mm	強力黏土		1 條	12.5 公克
鋼珠		各 20 個	A：圓徑：6mm B：圓徑：8mm C：圓徑：10mm				

### 三、實作示範影片與操作說明：



<https://youtu.be/v6PR5FLIGzw>

## 高斯砲 - 操作說明：



數個一樣的鋼球吸在強磁的一側 (如右上照片的右側) · 由磁鐵的另外一側以另一個鋼球向他們滾動最終球碰撞。右側一串鋼球最右側球會以驚人的高速度彈出。改變磁鐵與鋼球的位置、數量，探討這些因素對右側鋼球射出速度的影響，如何達到最佳效果 (射出速度)。並請嘗試建立理論模型去解釋你的實驗結果。

### 四、物理原理：

磁力、碰撞、能量轉換

### 五、探究問題指引：

#### (1) 請比較三種磁鐵，其厚度與磁力大小有何關係？

提示：相同磁鐵磁力大小隨厚度增加，可以透過手機測量驗證，或利用吸引相同鋼珠來判斷磁鐵的磁力大小與厚度的關係。

#### (2) 請觀察放入一顆鋼珠進入高斯砲軌道入口時，此鋼珠運動速度如何改變？並觀察經過第一個磁鐵及第二磁鐵後鋼珠速度又如何變化？

提示：當鋼珠放在能受到加速軌道上磁鐵吸引的距離釋放，鋼珠會受磁力作用產生滾動並滾向磁鐵的方向，隨距離的靠近鋼珠所受磁力會越強，因此鋼珠滾動的速度會越來越快，最後鋼珠會撞擊到磁鐵上並停止運動，撞擊的力量可藉由磁鐵傳至另一側的鋼珠，另一側的鋼珠受磁鐵的磁力作用而無法離開，因此又將此力傳至下一顆鋼珠，當給的力大於磁鐵的磁力時，此鋼珠就會被彈離開，受力離開的鋼珠會因此獲得能量，同時此鋼珠又受下一個磁鐵的磁力作用，因此合力更大，所以鋼珠運動的速度就會增快，相同作用機制下，鋼珠經過多次的能量轉換與磁力作用下，鋼珠運動速度就會越越快，如同砲彈一般具有高的速度。

- (3) 請觀察改變裝填鋼珠初速不同時，鋼珠離開發射區軌道的速度與能量有何差異？
- (4) 請觀察改變磁鐵厚度時，鋼珠離開發射區軌道的速度有何差異？並說明造成影響的因素為何？
- (5) 請觀察改變鋼珠尺寸時，鋼珠離開發射區軌道的速度有何差異？並說明造成影響的因素為何？
- (6) 請觀察改變磁鐵兩側鋼珠數目時，鋼珠離開發射區軌道的速度有何差異？並說明造成影響的因素為何？
- (7) 根據實驗觀察請您分別比較說明鋼珠發射的速度與磁鐵厚度、鋼珠大小、磁鐵個數之變化關係？

## 實驗六：磁鐵彈簧 (Magnetic spring)

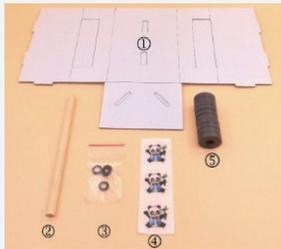
### 一、題目：

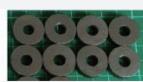
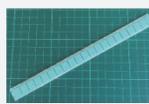
磁鐵彈簧將兩個中間有圓孔的磁鐵同名極相向 (如圖所示)，以一圓木棒穿過圓孔後鉛直豎立，上方磁鐵將受下方磁鐵排斥而呈現靜止懸浮狀態，此時，若對上方磁鐵施一鉛直方向外力使其偏離平衡點一段距離  $R$  (兩磁鐵未接觸) 然後放開，則上方磁鐵會像鉛直豎立的負重彈簧般產生上下震盪，如圖所示。由磁鐵與所需材料，裝置好實驗後，以各種不同的磁鐵組合使其震盪，探討磁鐵釋放後的震盪行為，並請嘗試建立理論模型去解釋這種現象。

### 二、材料：

直尺 1(30cm) 支、有直孔圓柱形強磁 10 個、光滑硬管 30cm(小於磁鐵內孔即可) 3 支、固定座 1 個、強力黏土 1 條、手機或攝影機 (自備)、筆電 (Tracker)。

### (磁鐵彈簧 1) 材料清單

名品	圖片	規格	數量
磁浮筆材料		1. 紙板 .....1 個 2. 木棒 .....1 根 3. O 型環 .....4 個 4. 貼紙 .....3 張 5. 磁鐵 .....10 個	1 包

名品	圖片	數量	規格	名品	圖片	數量	規格
木圓棒		1 支	圓徑：5mm 長度：15mm	直尺		1 支	長度：30cm
環型磁鐵		8 個		強力黏土		1 條	12.5 公克
光滑硬管		3 支	圓徑：5mm 長度：21cm				

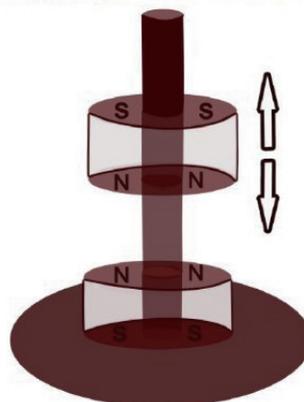
### 三、實作示範影片與操作說明：



<https://youtu.be/BHYSsqHsnDE>

## 磁鐵彈簧 - 操作說明：

磁浮筆：  
請參考說明書



將兩個中間有圓孔的磁鐵同名極相向 (如圖所示)，以一圓木棒穿過圓孔後鉛直豎立，上方磁鐵將受下方磁鐵排斥而呈現靜止懸浮狀態，此時，若對上方磁鐵施一鉛直方向外力使其偏離平衡點一段距離  $R$  (兩磁鐵未接觸) 然後放開，則上方磁鐵會像鉛直豎立的負重彈簧般產生上下震盪，如圖所示。由磁鐵與所需材料，裝置好實驗後，以各種不同的磁鐵組合使其震盪，探討磁鐵釋放後的震盪行為，並請嘗試建立理論模型去解釋這種現象。

### 四、物理原理：

磁力、力平衡、能量轉換

### 五、探究問題指引：

#### (1) 如何找出每一磁鐵的 N 並標示？

提示：可利用地磁或手機進行 N 極的判斷。

#### (2) 如何利用磁力讓磁鐵一點著地但傾斜不倒，試一試在一個平放磁鐵周邊最多可放置斜立的磁鐵數量？

提示：當桌面平放一磁鐵時，在周圍的另一磁鐵會受磁力作用，可能互相吸引也可能互相排斥，當磁鐵斜立時所產生的磁場方向與平放的磁場方向相反時即可產生排斥力，當此力、斜立磁鐵的重力及桌面摩擦力所產生的合力達平衡時，磁鐵即可以一個接觸桌面方式斜立不倒，若磁鐵條件一樣，可預期在相同距離下相同的傾斜角度，在不同角度也可斜立另一磁鐵。若斜立的磁鐵數量增加造成磁鐵間距離太靠近而互相影響時，協力磁鐵將會失去平衡而無法斜立。

#### (3) 施力輕壓其中一塊斜立磁鐵會發生何事？

提示：當數個磁鐵同時斜立在一個平放的磁鐵四周，此時所有磁鐵間皆透過磁力作用相互連接，所以當其中一個磁鐵受力時，就可以透磁鐵間的磁力傳遞到另磁鐵上，當其中斜立的磁鐵產生震盪上，可觀察到其餘斜立的震盪平率會是相同，但振幅則會因摩擦力損耗而漸漸變小。

(4) 當一塊水平放置的磁鐵上方另一塊垂直方向磁鐵由右到左通過時，兩磁鐵的作用力如何改變？

(5) 一塊水平放置在平面上磁鐵，兩側將另外兩塊磁鐵靠近觀察並記錄兩磁鐵前進路徑夾角改變時，原靜置的水平磁鐵將如何運動？

(6) 什麼條件會影響原靜置磁鐵運動的距離？

(7) 磁浮筆漂浮條件與那些物理量平衡有關？

(8) 請找出兩組磁鐵個數與磁力關係？

提示：當磁鐵串接時可發現磁力會增加，且重量也增加。

(9) 請利用磁鐵的磁力將吸管上的 8 個磁鐵作適當排列而能得到最高的推疊高度，並記錄每一磁鐵間距大小，觀察其特性並說明可能的理由為何？

提示：在相同磁鐵條件下，上下磁鐵間的距離會產生不同的間距，因為上方的磁鐵的重力透過磁力傳遞至下方的磁鐵，因此下方磁鐵將會因上方重力加成作用兩磁鐵間距會較小。

(10) 請根據實驗結果找出適當一的組合能讓吸管磁鐵產生如彈簧般的上下震盪情形並找出能產生震盪次數最多的條件為何？並說明其理由為何？

提示：磁鐵在固定高度釋放後因重力作用，往下自由落體，當靠近下方磁鐵上因兩組磁鐵因排斥產生反彈，反彈後又受重力影響又落下，落下又受磁力作用反彈，相同的作用機制作用下，使上方磁鐵產生上下震盪的運動如同彈簧，運動過程產生的摩擦力造成能量耗損，最後上方的磁鐵仍會停止下來。

(11) 請根據實驗找出能產生震盪次數最多的條件後，觀察每一次振盪的振幅，上面磁鐵組往下掉落與受磁力向上彈起，其運動速率如何改變？並說明其理由為何？

(12) 請根據實驗觀察請您判斷磁鐵彈簧應出於您一種運動？是否如一般彈簧受力振盪所產生的簡諧振盪嗎？還是僅是一種週期運動？請說明其理由為何？

## 探究題目與題目分析 (4%)

(1) 探究題目 (請自行填入):

---

---

---

---

(2) 分析題目訊息 (2%)

---

---

---

---

---

---

(3) 訂定探究議題 (2%)

---

---

---

---

---

---

---

---















## 實驗結果與分析 (40%)

- (7) 能以適當方式呈現數據 (10%)
- (8) 能以適當方式分析數據 (10%)
- (9) 依據數據歸納實驗結果 (10%)
- (10) 實驗結果符合科學理論 (10%)

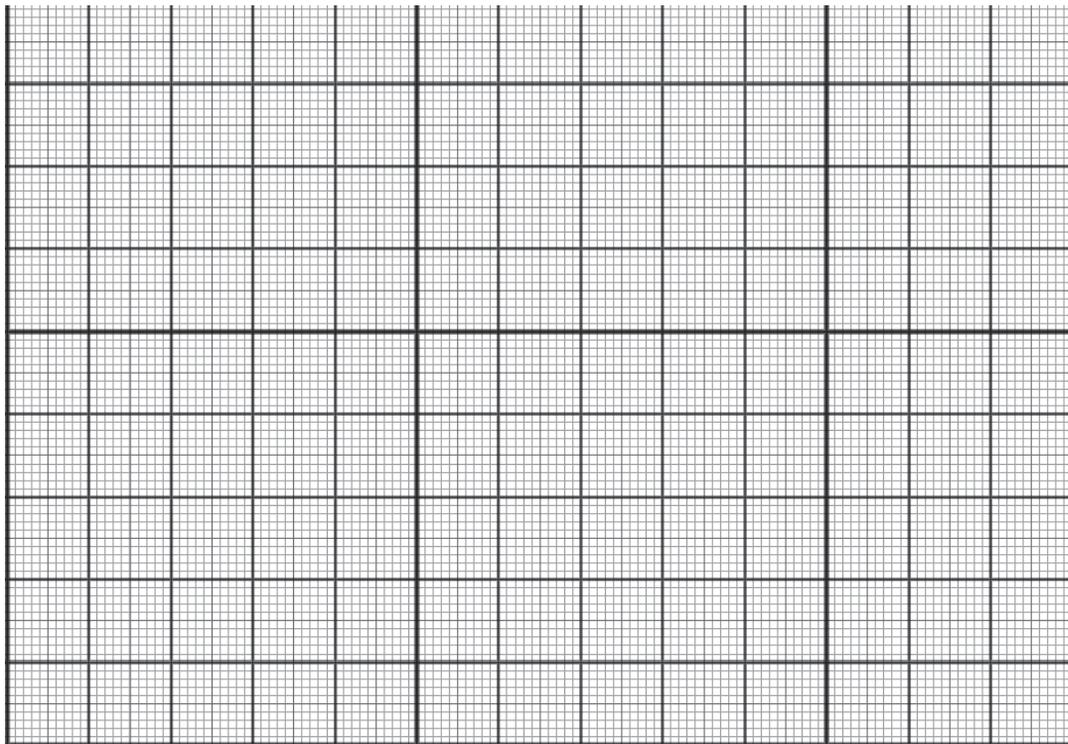
---

---

---

---

---



---

---

---

---