

# 靜力平衡實驗

目的：

利用基礎力學實驗組觀察在同一平面上，數個共點力或數個力矩達到平衡的現象，以瞭解合力與合力矩皆為零的靜力平衡特性。

原理：

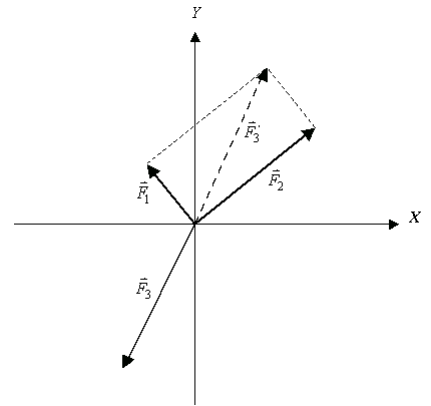
## (A) 力的平衡

當作用於一點的諸力達至平衡時，諸力之合力將為零(即  $\sum \vec{F}_i = 0$ )，換言之，其中任一力必與其餘諸力之合力大小相等，方向相反。

求合力的方法可分為幾何作圖法與解析法兩種：

(1) 幾何作圖法：

考慮如圖(1)所示的  $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 、 $\vec{F}_3$  三力平衡的狀態，則我們可定義單位長度為力的單位，並在紙上先繪出  $\vec{F}_1$  及  $\vec{F}_2$ ，再對其作平行四邊形(如虛線所示)，求出  $\vec{F}_3'$ ，此  $\vec{F}_3'$  即為  $\vec{F}_1$  及  $\vec{F}_2$  之合力。其大小與  $\vec{F}_3$  相等，方向相反。



圖(1)

(2) 解析法：

先讀出力的大小  $F_i$  與角度  $\theta_i$ ，其中  $\theta_i$  表  $F_i$  與 +x 軸的夾角，然後，再以解析法將力分解成平行 x 軸與 y 軸的兩分量，如下所示：

$$F_{ix} = F_i \cos \theta_i \quad \text{-----} \quad \text{x 軸分量}$$

$$F_{iy} = F_i \sin \theta_i \quad \text{-----} \quad \text{y 軸分量}$$

若平面座標上有 n 個共點力，即可得到 n 個 x 軸與 y 軸的分量，並分別將其累加起來，如下所示：

$$F_x = \sum_i^n F_{ix} = \sum_i^n F_i \cos \theta_i$$

$$F_y = \sum_i^n F_{iy} = \sum_i^n F_i \sin \theta_i$$

而合力 ( $\vec{F}$ ) 大小即為：

$$|\vec{F}_t| = (F_x^2 + F_y^2)^{1/2} \quad , \quad \text{方向為} \quad \theta = \tan^{-1} \frac{F_y}{F_x}$$

因此，合力亦可利用解析法以代數運算方式加以求出。

### (B) 力矩平衡：

力矩的定義如下：

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

其中  $\vec{\tau}$  表力矩、 $\vec{F}$  表作用力、 $\vec{r}$  為剛體轉軸與作用力垂直的距離(亦稱力臂)，至於力矩的方向則垂直於  $\vec{F}$  與  $\vec{r}$  構成的平面，可由右手定則加以判定，但亦可根據剛體的旋轉方向來定義力矩方向，即促使剛體作逆時針旋轉的力矩為正值，而順時針方向則為負值。

當一剛體處於靜力平衡狀態時，必須滿足以下三個條件：

- (1) 合力為零，即  $\sum \vec{F}_i = 0$ 。
- (2) 合力矩為零，即  $\sum \vec{\tau}_i = \sum \vec{r}_i \times \vec{F}_i = 0$ 。
- (3) 線動量為零，即  $\vec{p} = 0$ ，亦即  $\vec{v} = 0$ 。

本實驗考慮力矩轉盤上的三個作用力所產生的力矩，當其達到靜力平衡時，即不轉動也沒有線運動(即  $\vec{v} = 0$ )，進而驗證合力矩為零的力矩平衡現象。

### 注意事項：

- (1) 實驗白板須擺穩，而各項實驗器具係以磁鐵吸附於白板上，連接繩線請自行至講桌取用，實驗結束後，繩線需拆解丟入實驗室後方垃圾桶，請勿亂丟。
- (2) 從白板摘取或移動實驗器具時，請由器具底部動作，否則，極易造成實驗器具之損壞。
- (3) 彈簧秤使用前請注意是否歸零？若未歸零，則請調整頂端螺絲。另外，彈簧秤的量測單位有伸長量(mm)、牛頓(N)、克重(gr)等三種單位，實驗觀測須注意刻度單位。
- (4) 定滑輪的轉輪大小並不相同，請注意裝置圖(2)的定滑輪擺放位置。
- (5) 為了確定是否維持平衡？可稍微拉動砝碼架讓其偏離平衡位置，然後，等再次靜止平衡後，判斷可否回到原來的平衡位置。若可以，則代表已大略平衡。
- (6) 三個力矩架插入力矩轉盤的位置盡量以不互相碰觸為原則。

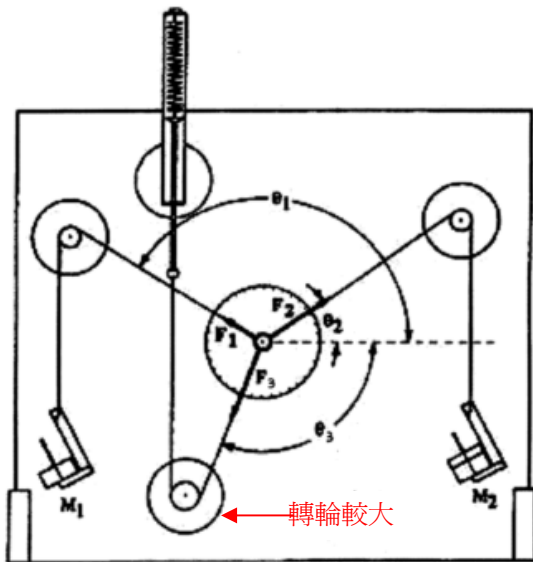
### 儀器：

實驗白板、彈簧秤、量角盤、力環(數個)、滑輪(數個)、力矩轉盤(剛體)、力矩架、量角器、砝碼架(數個)、砝碼(數個)以及繩線。

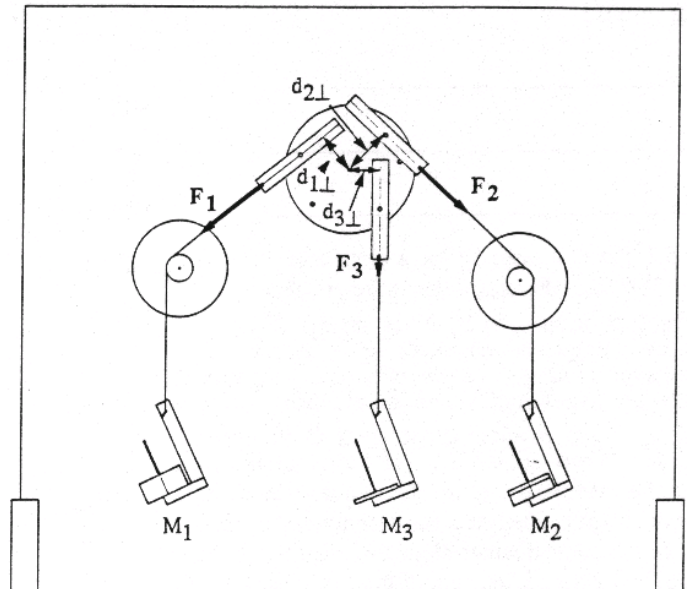
步驟：

(A)力的平衡：

- (1)裝置如圖(2)所示，其中量角盤的y軸方向可用鉛垂線加以定位。
- (2)利用電子天平量測 $M_1$ 及 $M_2$ ，其中 $M_1$ 、 $M_2$ 係包括砝碼與砝碼架的重量，並以公克重(gw)單位表示，填入表(1)的 $F_1$ 及 $F_2$ 。
- (3)讀出彈簧秤所量測的 $F_3$ ，但單位須注意以gw表示，同時，以量角盤量測圖(2)中 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$ ，分別將其填入表(1)。
- (4)利用解析法估算 $F_1$ 及 $F_2$ 的合力大小 $F_3'$ 與夾角 $\theta_3'$ ，並將其填入表(1)。
- (5)改變 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 的大小或方向，重覆此一實驗。



圖(2)



圖(3)

(B)力矩的平衡：

- (1)裝置如圖(3)，設法使圖中三力矩達至平衡。
- (2)利用電子天平量測 $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$ (須包括砝碼架)之重量，先以公斤重(kgw)單位表示，再將其轉換為牛頓單位(N)(即 $M \times 9.8$ )，然後填入表(2)中。
- (3)力矩轉盤上標示了許多以轉軸為圓心的同心圓，而每個同心圓的半徑大小以mm單位標記於上，只要找出力矩架黑線(相當於作用力方向)與力矩轉盤上哪個同心圓相切，根據同心圓的半徑即可獲得作用力之力臂 $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$ ，須注意先換成公尺(m)單位，再填入表(2)中。
- (4)計算各力矩 $\tau_1$ 、 $\tau_2$ 、 $\tau_3$ ，填入表(2)中，並考慮各力矩方向，求出合力矩，最後將數值填入表(2)中。

(5)利用量角器量測三力與水平方向的夾角，再由解析法(請參閱力平衡原理)直接估測三力之合力，將結果填入表(2)中。

記錄與問題：

次數	$F_1$ (gw)	$F_2$ (gw)	$F_3$ (gw)	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$F_3'$ (gw)	$\theta_3'$
NO.1								
NO.2								

表(1)

參數 代號	$\bar{F}$ (N)	$\bar{r}$ (m)	$\bar{\tau}$ (N·m)	合力矩	合力
1					
2					
3					

表(2)

- 1.估算表(1)中  $F_3'$  與  $F_3$  之間的百分誤差，同時請說明誤差原因。
- 2.根據表(1)的數據，取適當的線段長度，在方格紙上實際標示出  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  的大小及方向。並利用幾何法，針對  $F_1$  及  $F_2$  作平行四邊形求出合力  $F_3'$ ，並比較幾合法(由作圖得知)與解析法(參考表 1 的估算數據)的誤差。
- 3.步驟(A)的定滑輪的轉輪大小不同，若未依圖(2)進行裝置，則對於實驗結果可能會有何影響？
- 4.根據表(2)的數據，合力矩是否為零？若否，則請討論其中原因。
- 5.表(2)所估測的三力之合力應不為零，但為何力矩轉盤仍維持靜力平衡，請說明原因。
- 6.質量與重量的物理意義差異為何？能否舉例說明之。
- 7.請問電子天平實際所量測到的物理量應該是質量，還是重量？請說明原因。(選擇作答)

討論：

參考文獻：

1. PASCO, LEYBOLD, 群冠等儀器公司，實驗操作說明書，1990-1992。
2. 徐子民，普物實驗，中大理學院物理系編印，1987年10月。
3. 冉長壽，普物實驗，成大物理系編印，1990-91年。