

## 實驗一 力之分解與合成與摩擦係數實驗

### 目的：

利用力桌儀器，驗證交於一點之許多力的平衡狀態，以驗證力之合成與分解定律。

### 方法：

以數條細線各繫不等重的砝碼並連接在力桌中心圈上。移動其中某細線，當多力平衡時，則此細線所繫的重量大小和角度方向恰為其他各力之合。

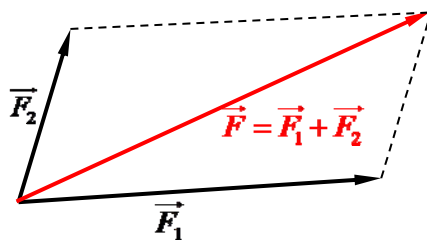
### 原理：

根據作用於一點多力平衡的條件，當多力平衡時，其中任一力必與其餘力的合力大小相等，方向相反。故此力稱為其餘各力之平衡力，同時所有的力並可依序圍成封閉的多邊形。

### 解析解

#### 一、平行四邊形法

假設有二力  $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$  同時作用在一點上，如圖一所示，並以此二力為邊作成一平行四邊形，從二力之相交點至對角作對角線，則此對角線為其合力。



圖一 平行四邊形法

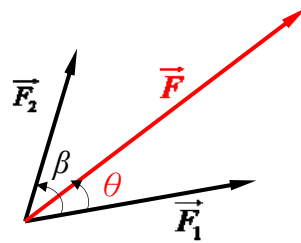
## 二、三角形法

設有二力  $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$  同時作用在一點上，如圖二所示。其夾角為  $\beta$ ，則由三角關係可知其合力  $\vec{F}$  為

$$F = (F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \beta)^{1/2} \quad (1.1)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{F_2 \sin \beta}{F_1 + F_2 \cos \beta} \quad (1.2)$$

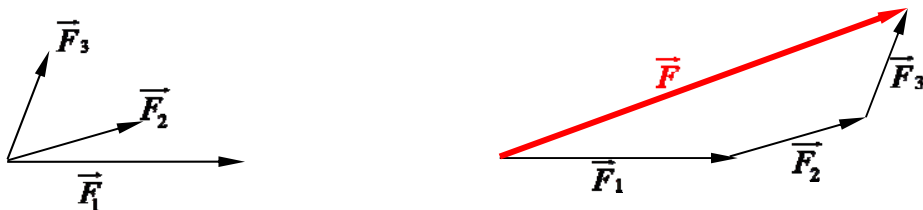
其中  $F$ 、 $F_1$  及  $F_2$  表  $\vec{F}$ 、 $\vec{F}_1$  及  $\vec{F}_2$  力之大小， $\theta$  表  $\vec{F}$  與  $\vec{F}_1$  之夾角。



圖二 三角形法

## 三、多邊形法

假設有數力，同時作用於一點上，如圖三所示。可依向量合成的原理，依箭頭箭尾順序相連，則由最初起點至最後一力的終點所作之直線，代表此數力所組成的合力之大小與方向。



圖三 多邊形法

四、解析法

假設有三力  $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 、 $\vec{F}_3$ ，其作用點均在座標原點， $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  分別為三力與 x 軸的夾角，則其合力  $F$  為

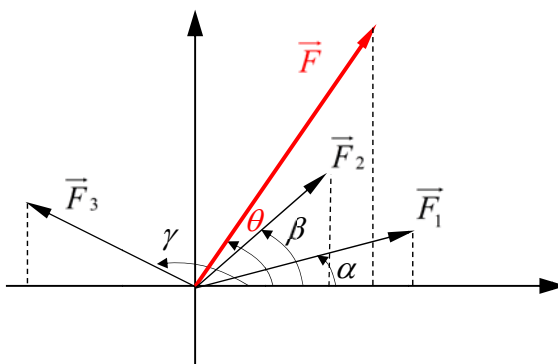
$$F \cos \theta = F_1 \cos \alpha + F_2 \cos \beta + F_3 \cos \gamma \quad (1.3)$$

$$F \sin \theta = F_1 \sin \alpha + F_2 \sin \beta + F_3 \sin \gamma \quad (1.4)$$

$$F = \left[ (F \cos \theta)^2 + (F \sin \theta)^2 \right]^{1/2} \quad (1.5)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{F_1 \sin \alpha + F_2 \sin \beta + F_3 \sin \gamma}{F_1 \cos \alpha + F_2 \cos \beta + F_3 \cos \gamma} \quad (1.6)$$

其中  $F$ 、 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  表示各力之大小， $\theta$  為合力  $\vec{F}$  與 x 軸之夾角。

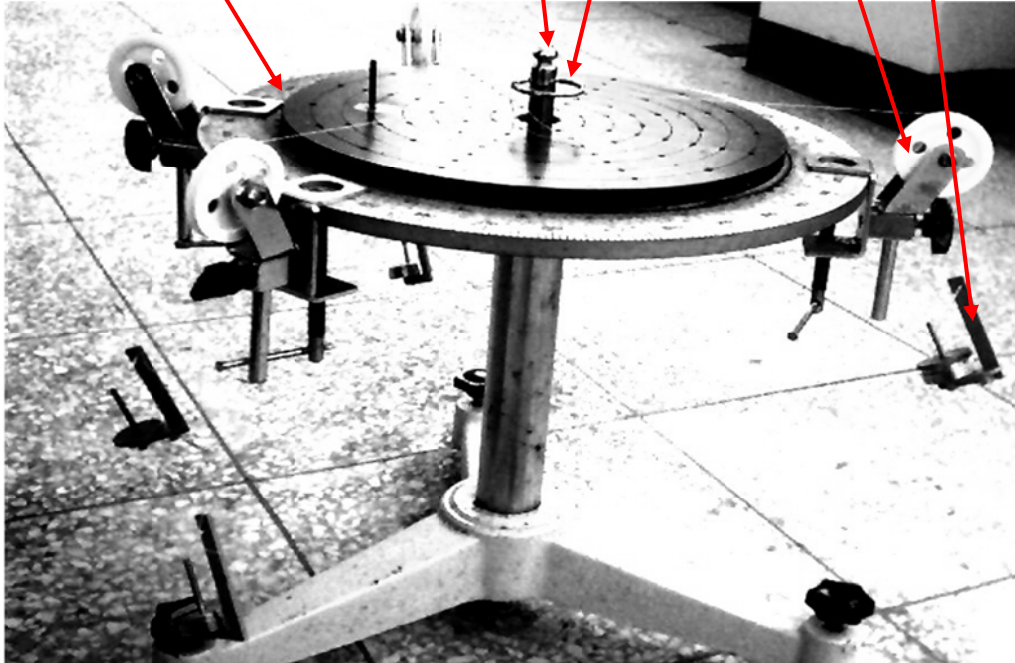


圖四 解析法



## 儀器

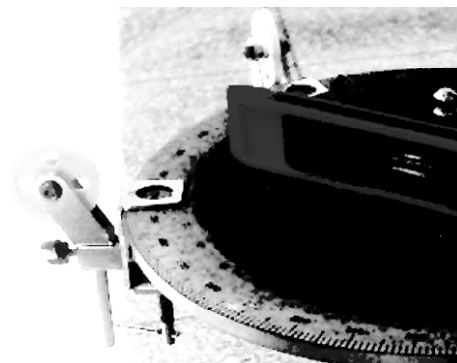
力桌 (刻度盤, 底座及支柱)、中心柱、中心圈、凹槽滑輪、鉤盤、槽碼、細線、量角器。



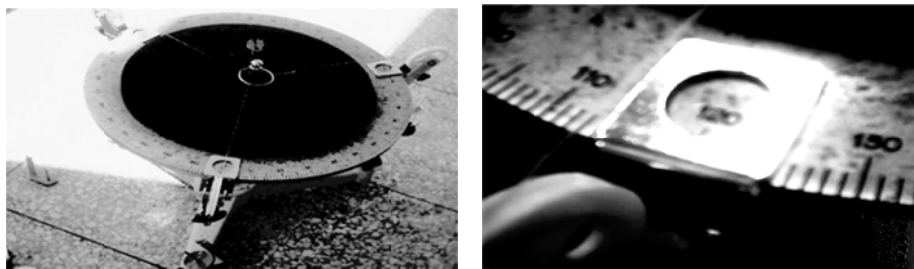
## 步驟

### 一、三力之平衡

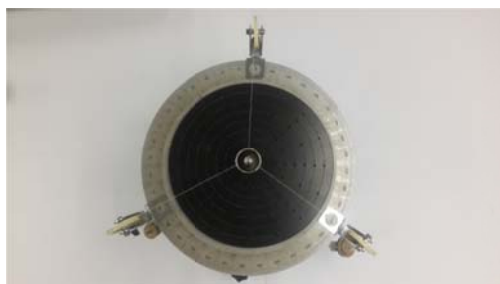
1. 調整桌腳之水平旋鈕, 使桌面水平, 並將中心柱插在力桌中心圓孔, 中心圈套在中心柱上。



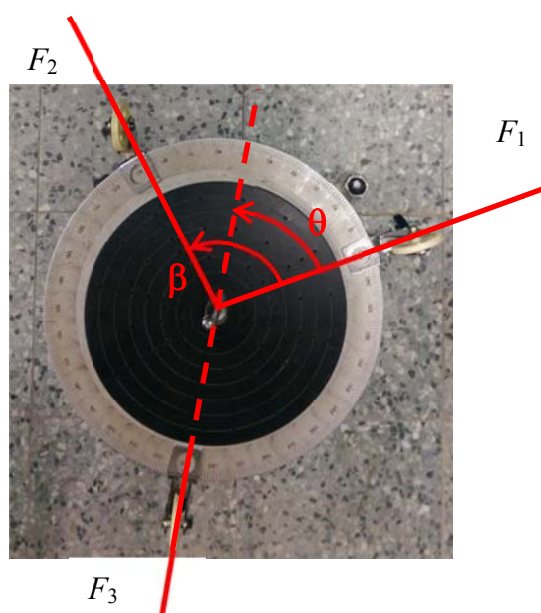
2. 於力桌邊緣上，任意固定三個滑輪，並使凹槽對準力桌刻度。



3. 把細線跨過凹槽滑輪，一端連結中心圈，一端繫上鈎盤。鈎盤上各置不等量的砝碼。
4. 讓兩滑輪固定不動（鈎盤+砝碼的力即為  $F_1, F_2$ ），調整第三滑輪的角度或增減其砝碼（即為平衡力  $F_3$ ），直至中心圈位於中心柱中心點為止。



5. 記錄三力之大小與方向。紀錄角度時，為了配合方程式(1.1)及(1.2)的計算，將  $F_1$  力的角度視為  $0$ ， $F_1$  與  $F_2$  之間的角度為  $\beta$ ， $F_1$  與  $F_3$  之間的角度扣除  $180$  為  $\theta$ 。

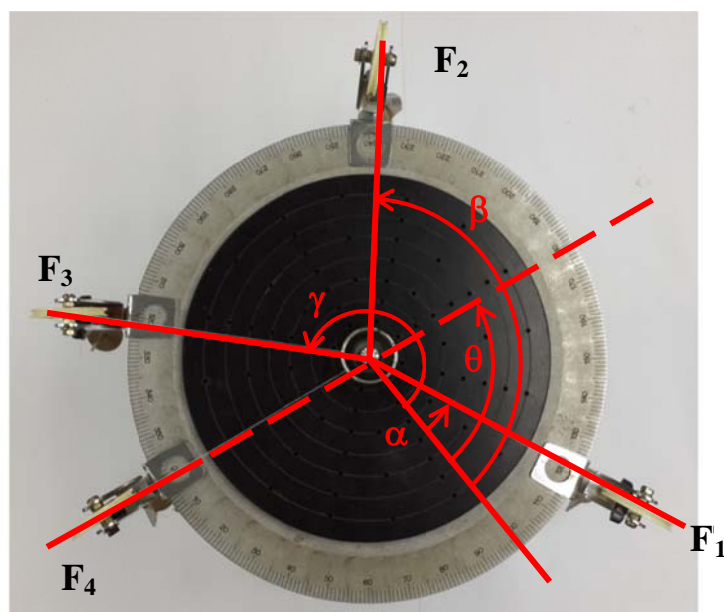


三力平衡結果

項目 次數		$F_1$	$F_2$	平衡力 $F_3$	
				實驗值	解析解
1	力之大小				
	力之方向				
2	力之大小				
	力之方向				
3	力之大小				
	力之方向				
4	力之大小				
	力之方向				
5	力之大小				
	力之方向				

## 二、四力之平衡

1. 增加一滑輪後，固定三滑輪不動，重複以上步驟。
2. 記錄四力之大小與方向。紀錄角度時，為了配合方程式(1.3)至(1.6)的計算，刻度盤0度為基準，分別紀錄三力  $F_1$ 、 $F_2$  與  $F_3$  角度為  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ ， $F_4$  的角度為，以刻度盤0度為基準扣除180為  $\theta$ 。



四力平衡結果

項目 次數		$F_1$	$F_2$	$F_3$	平衡力( $F_4$ )	
					實驗值	解析解
1	力之大小					
	力之方向					
2	力之大小					
	力之方向					
3	力之大小					
	力之方向					
4	力之大小					
	力之方向					
5	力之大小					
	力之方向					

問題

1. 試計算其誤差，並分析其誤差來源。
2. 在實驗中，若力桌並未完全水平，其結果有何影響？



## 電動式摩擦係數實驗

### 目的：

測量兩物體接觸面積的靜摩擦係數。同一物體在不同材質的表面上，以相同接觸面積進行滑動時，觀察靜摩擦力與動摩擦力之連續變化情形，並比較不同材質最大靜摩擦力之大小。

### 原理：

對靜摩擦而言，如果物體沒有運動，則靜摩擦力等於拉力。拉力越大，靜摩擦力越大；但靜摩擦力有一定限度，當拉力大到使物體開始要運動時，此時的靜摩擦力達到最大值，稱為最大靜摩擦力(The maximum force of static friction)。運動開始後，作用於兩接觸面之定值摩擦力稱為動摩擦力(force of kinetic friction)，如圖 1。本實驗將物體置於水平面上，以馬達等速操作實驗可避免人為操作誤差，得到較精確之摩擦係數。

最大靜摩擦力和動摩擦力都和正壓力  $N$  ( Normal force 兩接觸面間彼此垂直作用的力 ) 成正比。即

$$f_s = \mu_s \times N \quad \text{及} \quad f_k = \mu_k \times N$$

$\mu_s$ ：靜摩擦係數

$\mu_k$ ：動摩擦係數

$N$ ：兩接觸面間彼此垂直作用的力

就一對已知的接觸面而言， $\mu_k$  恆小於  $\mu_s$ 。而兩者之大小由接觸面的性質決定之。

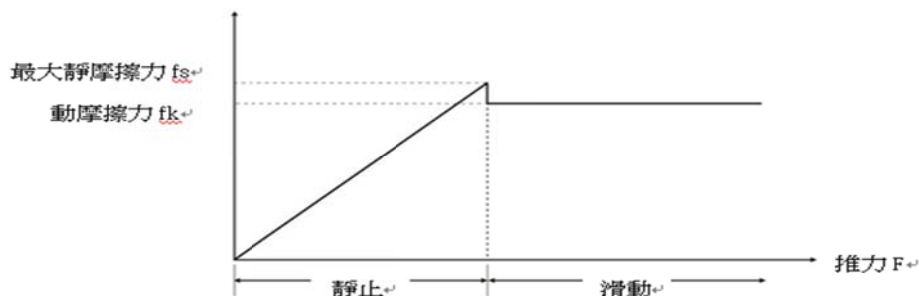


圖 1 物體從靜止到滑動所受摩擦力的變化情形

儀器：



編號	名稱	數量	編號	名稱	數量
1	實驗平台	1	2	彈簧秤 (1KG)	1
3	摩擦面板	4	4	動力傳輸裝置	1
5	摩擦載物盒 150g	1	6	電源器	1
7	實驗砝碼 (大 500g 小 250g)	4			

**步驟：**

1. 將彈簧秤安裝於固定座，掛勾上繫上一細線(較無彈性為佳)，細線另一端繫在摩擦載物盒的掛勾上。
2. 將實驗平台接上電源並測試直流馬達是否能帶動輸送帶移動。



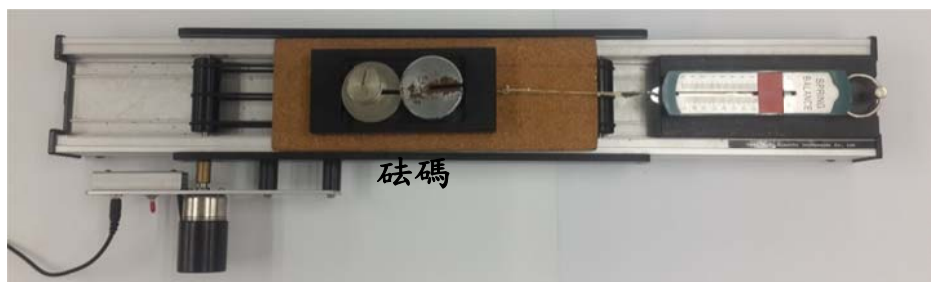
3. 將待測板置於輸送帶上，摩擦載物盒加上砝碼後放在待測板上方(先行測出載物盒加砝碼的總重量即為  $N$ )。稍作輕壓使得摩擦載物盒和木面待測板接觸面更加密合。



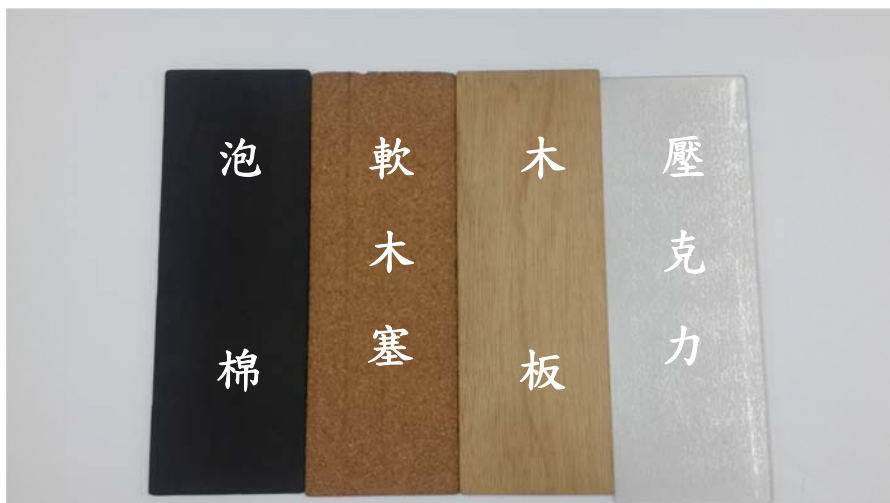
4. 打開馬達開關，輸送帶開始拉動待測板，彈簧秤將會被拉動並帶動指標板至最大靜摩擦力處，並觀看指標板右側的數值即為最大靜摩擦力。而彈簧指標最後停止地方的數值為動摩擦力的數值。



5. 更換摩擦載物盒之總重量(不同重量共做三次)，測出不同重量時的最大靜摩擦力，經公式計算後觀察是否為一固定常數，此常數即為此待測板與摩擦載物盒間的摩擦係數。



6. 更換不同待測板，重複步驟 3~5。



**注意事項：**

1. 做實驗前請先將摩擦面清理乾淨。
2. 摩擦載物盒和彈簧秤掛勾間的細繩不應太長。
3. 測量最大靜、動摩擦力時，若測出來之值和其他差太多時，則重做。
4. 啟動馬達前輕壓摩擦載物盒，使其和待測板更加密合，並將線拉至旋空，但不要拉緊，可使數據更加準確！

實驗數據及討論：

	秤盤及砝碼 重、正向力	最大靜摩 擦力	最大動 摩擦力	靜摩擦係數	動摩擦係數
木 板 面					
摩擦係數平均值					

	秤盤及砝碼 重、正向力	最大靜摩 擦力	最大動 摩擦力	靜摩擦係數	動摩擦係數
泡 棉 面					
摩擦係數平均值					

	秤盤及砝碼 重、正向力	最大靜摩 擦力	最大動 摩擦力	靜摩擦係數	動摩擦係數
壓 克 力 面					
摩擦係數平均值					

	秤盤及砝碼 重、正向力	最大靜摩 擦力	最大動 摩擦力	靜摩擦係數	動摩擦係數
軟 木 塞					
摩擦係數平均值					

**討論：**

1. 試說明為什麼最大靜摩擦係數大於動摩擦係數？
2. 摩擦係數大於 1 是否合理？