

教具名稱	摩擦力測定教具																																	
主要實驗活動目標	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用生活常用物品來製作斜面，測量最大靜摩擦力與動摩擦係數。 2. 探討摩擦力大小與可變斜面角度之關係。 3. 探討摩擦力與速度之關係。 4. 以觀察和接觸感受摩擦力的特徵、性質。 5. 結合 arduino 與超音波感測器來觀測距離與時間的關係。 																																	
器材	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th data-bbox="520 810 1002 882">物品名稱</th> <th data-bbox="1008 810 1482 882">數量</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="520 891 1002 954">Arduino 開發版</td> <td data-bbox="1008 891 1482 954">1 片</td> </tr> <tr> <td data-bbox="520 963 1002 1025">麵包版</td> <td data-bbox="1008 963 1482 1025">1 片</td> </tr> <tr> <td data-bbox="520 1034 1002 1097">超音波感測器</td> <td data-bbox="1008 1034 1482 1097">1 個</td> </tr> <tr> <td data-bbox="520 1106 1002 1169">杜邦線</td> <td data-bbox="1008 1106 1482 1169">若干</td> </tr> <tr> <td data-bbox="520 1178 1002 1240">砂紙</td> <td data-bbox="1008 1178 1482 1240">3 組</td> </tr> <tr> <td data-bbox="520 1249 1002 1312">量角器</td> <td data-bbox="1008 1249 1482 1312">1 個</td> </tr> <tr> <td data-bbox="520 1321 1002 1384">釣魚線</td> <td data-bbox="1008 1321 1482 1384">1 捲</td> </tr> <tr> <td data-bbox="520 1393 1002 1456">捲線器</td> <td data-bbox="1008 1393 1482 1456">1 個</td> </tr> <tr> <td data-bbox="520 1464 1002 1527">螺絲螺帽組</td> <td data-bbox="1008 1464 1482 1527">1 組</td> </tr> <tr> <td data-bbox="520 1536 1002 1599">角鋼</td> <td data-bbox="1008 1536 1482 1599">若干</td> </tr> <tr> <td data-bbox="520 1608 1002 1671">置物木板</td> <td data-bbox="1008 1608 1482 1671">1 組</td> </tr> <tr> <td data-bbox="520 1680 1002 1742">絞鍊</td> <td data-bbox="1008 1680 1482 1742">1 個</td> </tr> <tr> <td data-bbox="520 1751 1002 1814">壓克力版</td> <td data-bbox="1008 1751 1482 1814">4 片</td> </tr> <tr> <td data-bbox="520 1823 1002 1886">魔鬼氈</td> <td data-bbox="1008 1823 1482 1886">2 捲</td> </tr> <tr> <td data-bbox="520 1895 1002 1957">3D 列印件</td> <td data-bbox="1008 1895 1482 1957">若干</td> </tr> </tbody> </table>		物品名稱	數量	Arduino 開發版	1 片	麵包版	1 片	超音波感測器	1 個	杜邦線	若干	砂紙	3 組	量角器	1 個	釣魚線	1 捲	捲線器	1 個	螺絲螺帽組	1 組	角鋼	若干	置物木板	1 組	絞鍊	1 個	壓克力版	4 片	魔鬼氈	2 捲	3D 列印件	若干
物品名稱	數量																																	
Arduino 開發版	1 片																																	
麵包版	1 片																																	
超音波感測器	1 個																																	
杜邦線	若干																																	
砂紙	3 組																																	
量角器	1 個																																	
釣魚線	1 捲																																	
捲線器	1 個																																	
螺絲螺帽組	1 組																																	
角鋼	若干																																	
置物木板	1 組																																	
絞鍊	1 個																																	
壓克力版	4 片																																	
魔鬼氈	2 捲																																	
3D 列印件	若干																																	

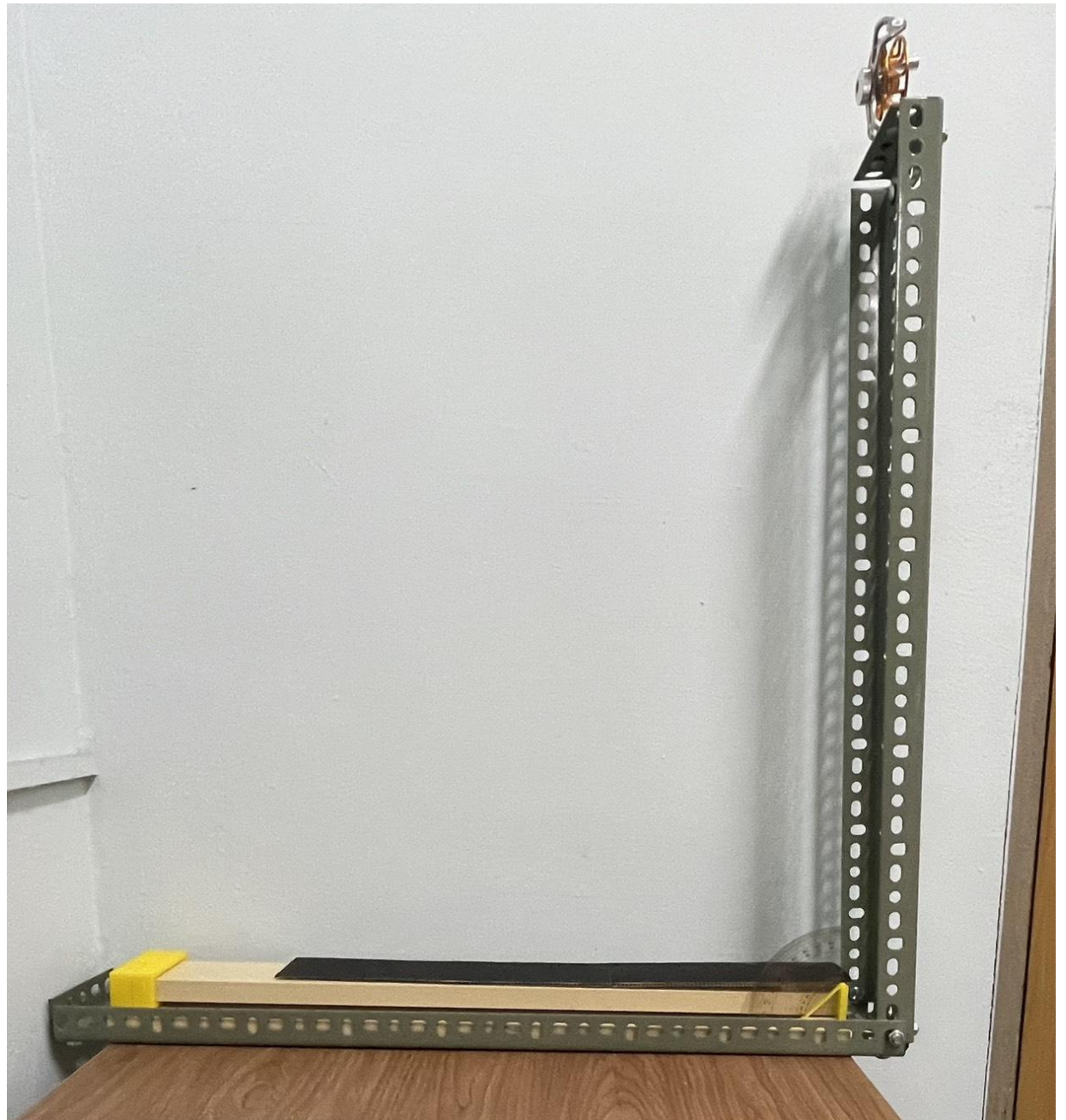
教具裝置組裝圖

教具介紹：

這個教具有可調角度的斜面，利用釣魚線與捲線器拉起一端即可改變傾斜度，再來探討摩擦力與角度、速度的關係。

當物體放在斜面上時，重力分解為垂直與平行分量，摩擦力抵抗平行分量使物體不滑動，而隨著斜面角度上升，平行分量增大，當超過最大靜摩擦力時物體開始滑動，透過比較不同材質斜面的臨界角度，可分析摩擦力大小與表面粗糙度的關係。而為了讀取數據方便，我們還結合了 arduino 與 LCD 顯示器。

(教具完成圖↓)



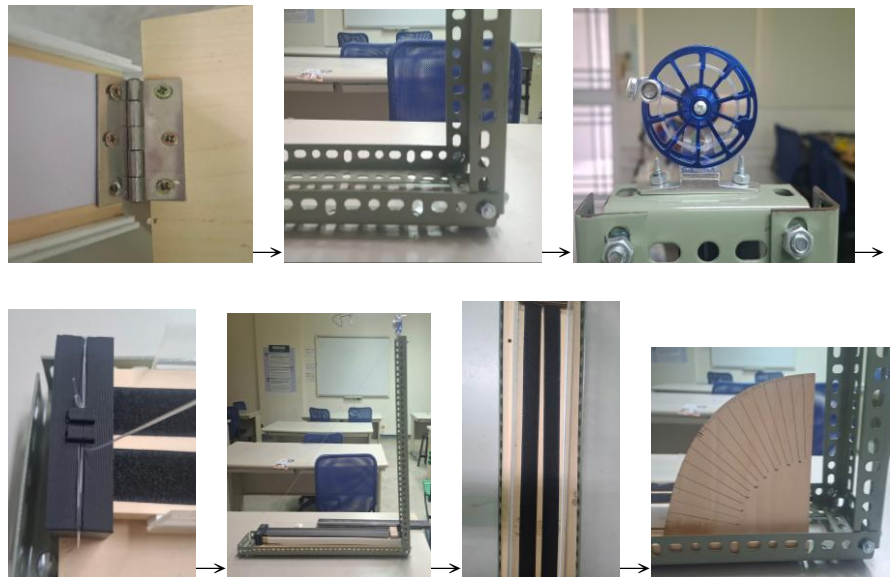
教具裝置製作程序

文字說明	步驟圖示
------	------

一、組裝可變動斜面

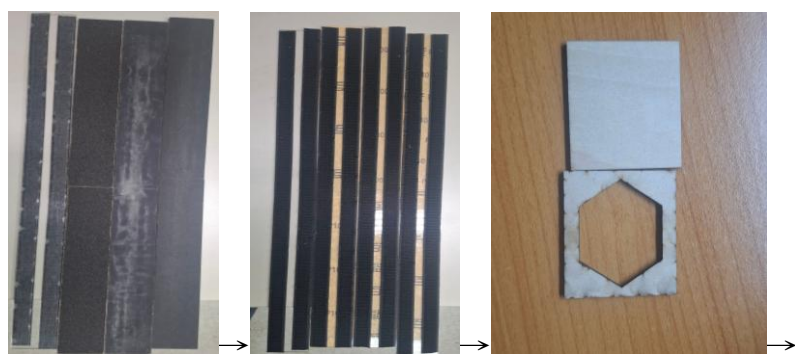
註:有使用 3D 列印與雷切機製作特定尺寸的物品

1. 將絞鍊鎖在兩片木材兩端
2. 組合角鋼成一個 L 型
3. 在角鋼頂端鎖上捲線器
4. 將各式 3D 列印件組合
5. 將釣魚線連接木材跟捲線器
6. 黏上魔鬼氈
7. 將木材組製作成量角器



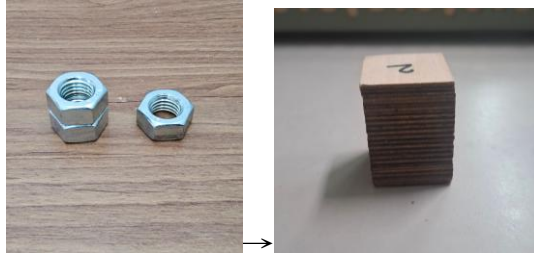
二、製作不同材質斜面與不同重量的物體

1. 將壓克力切成合適尺寸
2. 黏貼不同目數砂紙(100目、240目、1000目)
3. 在另一面黏上魔鬼氈
4. 使用雷切機製作不同形狀的小木板
5. 塞入不同數量的螺絲做



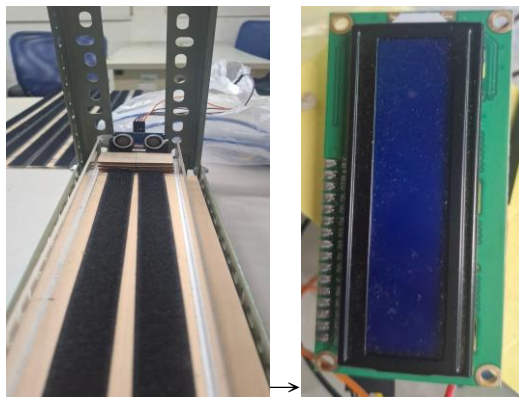
為不同重量
盒子的配
重。

6. 將木板用類似夾心餅乾的方式黏合起來。



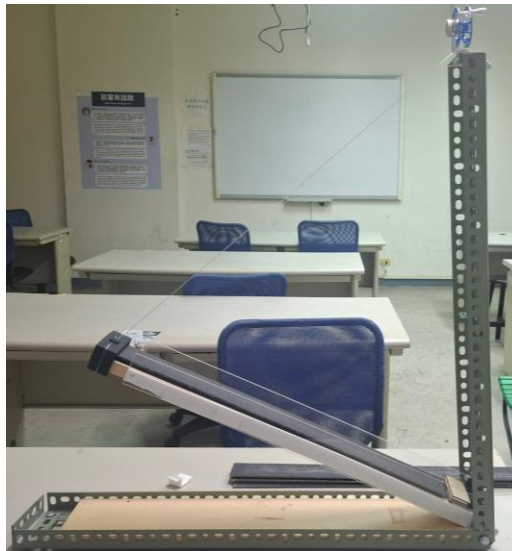
三、組裝 arduino

1. 將超聲波感測器裝在斜波尾端
2. 將感測器的腳位接於相對應接口
3. 加入 LCD 顯示器，顯示最後測量的結果



四、選擇斜面與滑動物體並測量兩者之間的滑動情況

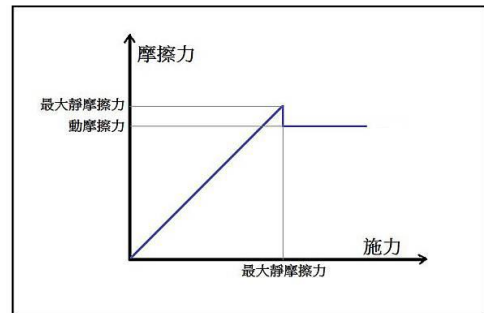
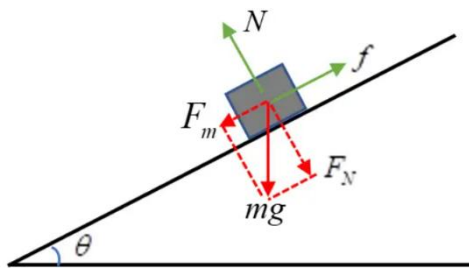
1. 使用不同粗糙程度的斜面並緩慢升起斜面，測量摩擦力與斜面角度的關係(主要探討靜摩擦力)
2. 使用不同粗糙程度的斜面並固定斜面角度，探討摩擦力與速度的關係(主要探討動



摩擦力)

實驗原理

當我們將一個物體放在斜面上時，重力會被分解為垂直於斜面與平行於斜面的分量，這時候，摩擦力的角色是抵抗物體沿斜面滑下的那個平行分量，在裝置中，斜面會緩慢上升，所以重力的水平斜面分量會隨斜面上升角度增大而增加，在物體所受重力水平斜面分量大於最大靜摩擦力後便會開始滑動，而我們就可以利用這種辦法來得知不同材質(粗糙度)的斜面的摩擦力大小。



物體剛開始滑動的瞬間(最大靜摩擦力)： $mg\sin\theta = \mu_s mg\cos\theta$

整理得： $\mu_s = \tan\theta$

● 動摩擦係數 μ_k

滑動過程中(動摩擦力)： $mg\sin\theta - \mu_k mg\cos\theta = ma$

整理得： $\mu_k = \frac{g\sin\theta - a}{g\cos\theta}$

(1)最大靜摩擦力：

在這個裝置中，最大靜摩擦力即物體”剛好”滑動時的平行分量，而最大靜摩擦力公式為 $= f_s(max) = \mu_s \times N$

$$mg\sin\theta = \mu_s mg\cos\theta$$

(2)動摩擦力：

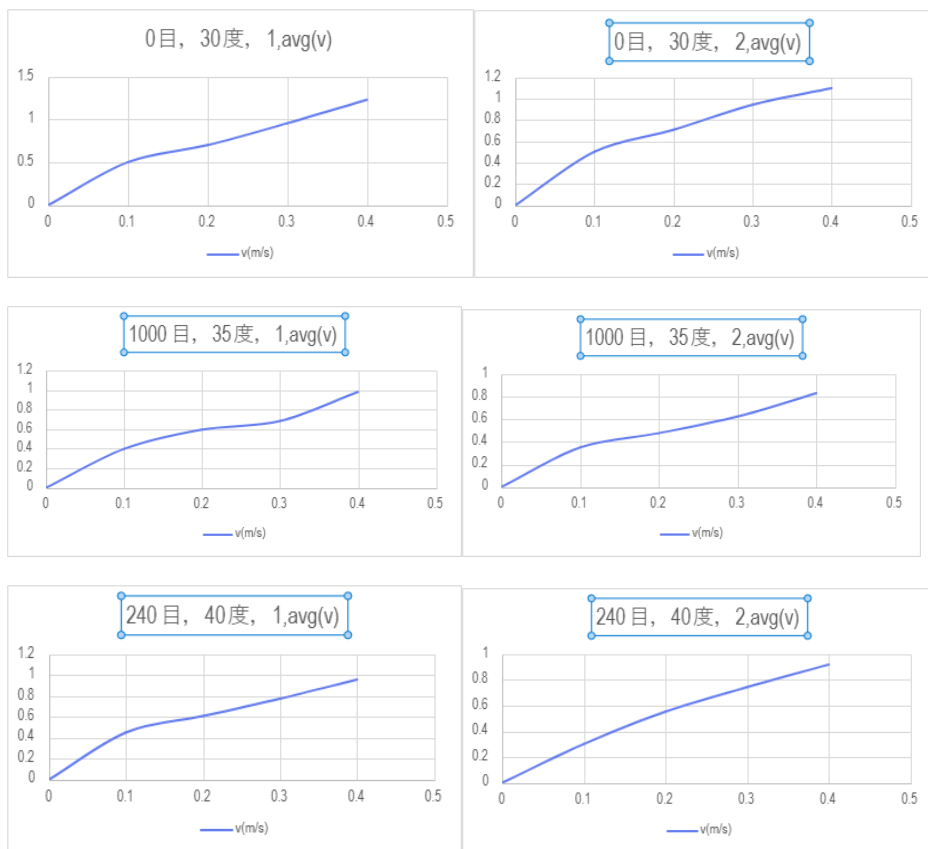
在這個裝置中，一旦物體克服最大靜摩擦力開始滑動後，摩擦力不再「變動調整」，而是變成一個固定大小，也就是動摩擦力，而動摩擦力公式為 $f_k =$

$$\mu_k \times N$$

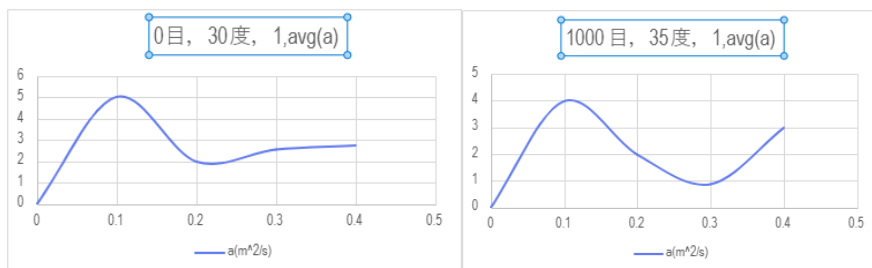
實驗數據紀錄

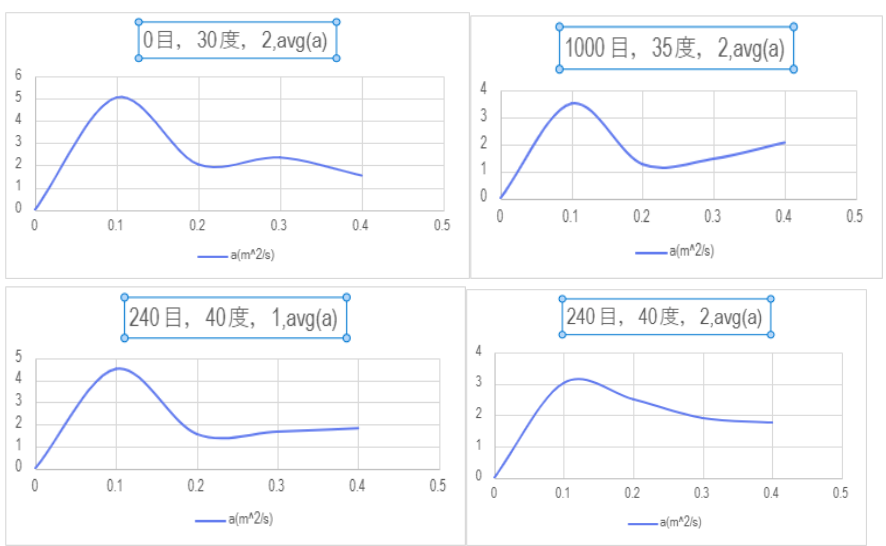
砂紙粗細	角度	質量(1) μ_k	μ_k 標準差	質量(2) μ_k	μ_k 標準差
0	30	0.215	0.0386	0.253	0.0389
100目	40	0.586	0.0201	X(物品滾落)	X(物品滾落)
240目	40	0.520	0.0262	0.532	0.0441
1000目	35	0.395	0.0425	0.442	0.0492

V-t 圖



a-t 圖





實驗結果討論

一、結果

在 $a-T$ 圖中可以看出，滑動時，物體會先加速一小段，而之後速度趨於穩定，代表動摩擦力與重力分量達到平衡，整體過程符合靜摩擦係數大於動摩擦係數的理論預期。

- 靜摩擦係數 μ_s

物體剛開始滑動的瞬間(最大靜摩擦力)： $mg\sin\theta = \mu_s mg\cos\theta$

整理得： $\mu_s = \tan\theta$

- 動摩擦係數 μ_k

滑動過程中(動摩擦力)： $mg\sin\theta - \mu_k mg\cos\theta = ma$

整理得： $\mu_k = \frac{g\sin\theta - a}{g\cos\theta}$

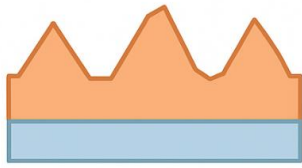
預期結果: 摩擦係數大小 100 目 > 240 目 > 1000 目

實際結果: 摩擦係數大小 100 目 > 1000 目 > 240 目

原因分析：為什麼 1000 目 μ_k 在 100 與 240 之間？

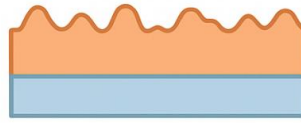
1. 黏附: 是阻礙兩個接觸表面之間滑動或滾動運動的力
2. 機械卡榫: 也稱為卡接、卡扣，是一種用於連接兩個或多個部件的機械結構，通過卡住或咬合的方式，實現部件之間的固定和定位

100 目砂紙



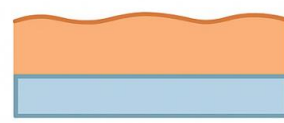
$\mu_k = \text{高}$

240 目砂紙



$\mu_k = \text{低}$

1000 目砂紙



$\mu_k = \text{中}$

二、誤差分析討論

1. 角度測量誤差

最大靜摩擦係數 μ_s 與動摩擦係數 μ_k 都需要角度來計算。如果角度測量不夠精準或讀取時有誤差，都會造成計算結果錯誤。

2. V-T 圖數據解析誤差

μ_s 與 μ_k 的計算需要 V-T 圖中的物體開始滑動時間點、滑動階段加速度的斜率。如果起滑瞬間難以精確定位、或速度曲線不夠平滑，判讀時間和斜率時都可能產生誤差，導致 μ_s 和 μ_k 的誤差。

3. 速度取樣頻率限制

V-T 圖的精確度取決於測速裝置的取樣頻率。若取樣頻率過低，速度曲線會呈現階梯狀或鋸齒狀，影響加速度計算的精準性；在 μ_k 的計算中， a 的微小偏差會被放大，直接影響動摩擦係數的數值。

4. 表面材質不均勻

砂紙表面可能存在局部凹凸、灰塵或磨損，導致摩擦力並非恆定值。當物體滑動到不同位置時，摩擦係數可能發生細微變化，造成 V-T 圖穩定段速度有小幅波動，而這個誤差在 A-T 圖中會被放大，進而使 μ_k 數值有誤差。

5. 外界干擾與儀器摩擦

實驗中除了重力與摩擦力外，還可能受到其他干擾，如滑軌或固定架之間的滑動，或是物體在斜面上的輕微晃動，這些都會讓實測的 μ_s 和 μ_k 產生誤差。