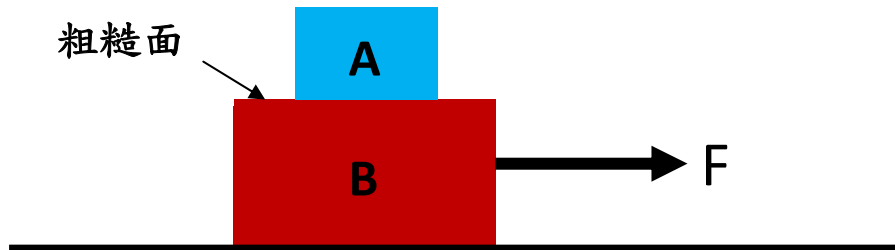
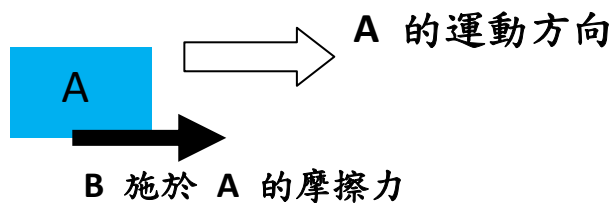


# 一些例子似乎不符合「摩擦力必與運動方向相反 (friction opposes motion)」

例(1)：下圖，方塊 B 受力 F 作用。

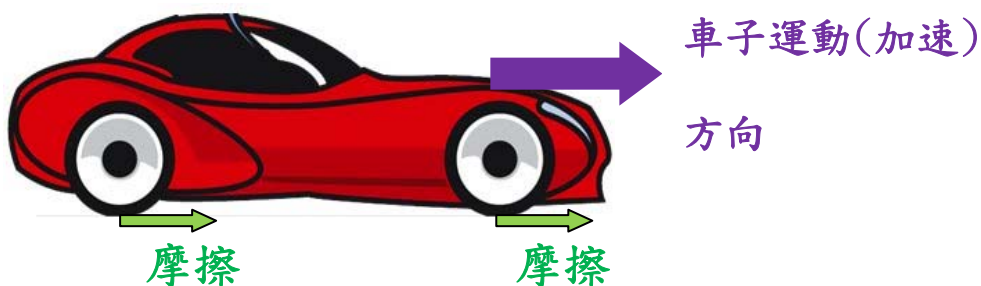


方塊 A 放在 B 之上，並一起向右加速。A 與 B 之間沒有滑動 (slide)。A 之能一起加速，因受到 B 的摩擦力：



似乎不是「摩擦力與運動方向相反」。

例(2)：車子向前加速。地面施於車輪的摩擦力也是向前。



似乎，這也不是「摩擦力與運動方向相反」。

「摩擦力必與運動方向相反」是對的，但要對其中「運動」一詞有正確的理解。

➤ 那「運動」不是指已納入摩擦的影響後而出現的運動。

➤ 那「運動」是指：

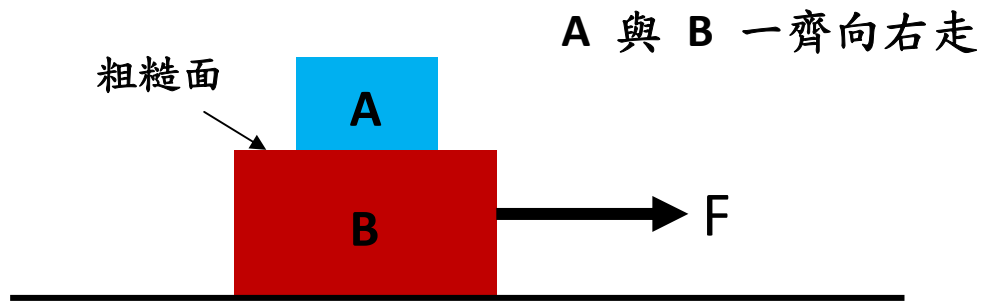
(i) 摩擦介入前(最少是這時刻)、

(ii) 相對那給出摩擦的粗糙面的運動。

一則譬喻：

在某某城市，政府推出了一項非常不為市民接受的措施。市民齊反對。最後政府因應反對意見而修改了措施，最後市民是否接受這新方案，不知道。無論如何，把「市民反對措施」這句話中的「措施」說是還未納入反對意見的原方案，當必沒錯。

我們先看例 1。



我們看見「A 與 B 一齊向右走」是 A 受了由 B 給予的摩擦後而出現的結果，即是 A 現在的運動是由摩擦造成，摩擦要「反」的不會是百份百由它自己製造的運動！

「摩擦力必與運動方向相反」中的「運動」是指摩擦介入前(最少是這時刻)之下物體出現的運動。

想像在某時刻把 A 與 B 之間的摩擦「熄掉」。若然這樣，A 受不到淨力作用，所以只能以之前的最後速度繼續勻速運動。B 可以加速，但 A 不能。所以相對那給出摩擦的粗糙面，A 墮後，即是它向左移動。

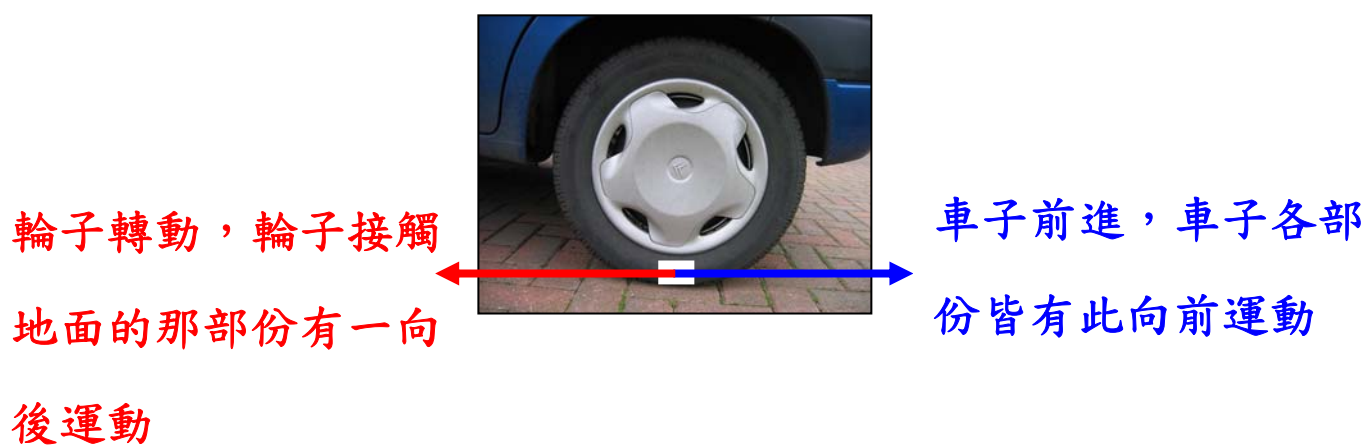
當恢復變回有摩擦，摩擦就應該「相反這個向左運動」，即是摩擦的方向是向右。

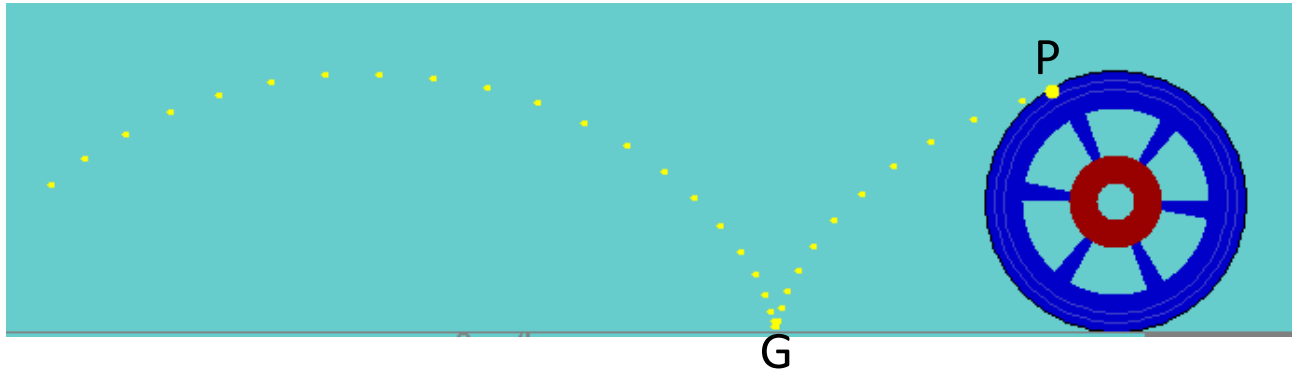
我們再看例 2，有關車子的加速問題。



當車子開動，車輪就會同時存在兩個運動：其一是整部車的向前運動，另一個是輪子自己本身的轉動。

隨輪子轉動，輪子周界各點輪流與地面接觸。在正常情況，輪子與地面接觸，接觸點是瞬時靜止，因為上述的兩個運動在那處剛好抵消。這即是車輪沒有發生滑動 (roll without sliding)。





上圖由作者網頁上的 java 程式 <http://ngsir.netfirms.com/chinesehtm/Rotation.htm> 擷取。圖中車輪是由左至右，進行沒有滑動的滾動。黃點是車輪邊界上點 P 的軌跡。大家留意 P 與地面接觸時的點 G，那時 P 是從上而下、接觸地面後就從下而上離開了。開始時在那點接觸地面，就在那點離開。

為甚麼司機踩踏油門，車子會加速？

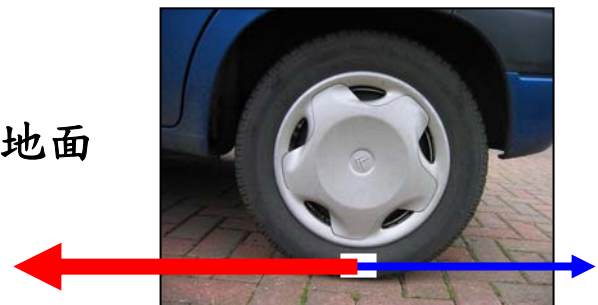
想知道那時摩擦的方向，我們把路面暫時變回(或想像成)「平滑面」，看看在摩擦介入前，輪子會出現怎樣的運動。

司機踩踏油門，車子內燃機令連接車輪的軸轉快。

車輪轉快了，即是右圖的紅色

向後運動加大了，即是車輪與地面

的接觸點出現向後運動。



「摩擦相反於運動」的「運動」是指摩擦介入前的運動。現在摩擦介入前，輪子壓在地面上的部份就是**向後滑**。

「摩擦要相反」的「運動」就是這個「**向後滑**」。所以摩擦的方向是向前。

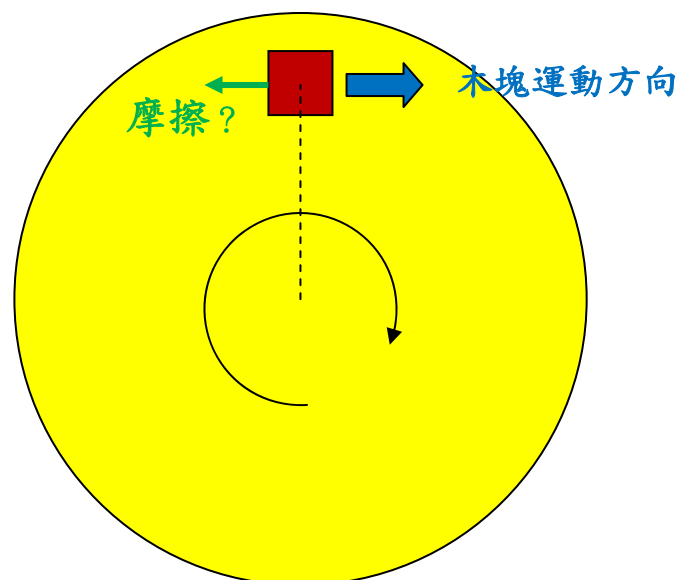
最後，車子也因這個向前的摩擦力向前加速了。

有關車子的加速和減速問題，筆者在另文曾作討論，請參看

<http://ngsir.netfirms.com/Q/ME/MQ18.pdf>

最後，我們討論另一個例子。

在一個以勻速轉動的粗糙  
水平圓盤上放上木塊。木塊  
能與圓盤一起旋轉。問木塊  
受的摩擦力的方向為何？  
如圖所示，木塊貼在圓盤表  
面並以順時針方向轉動。難  
道木塊受的摩擦是相反於  
這運動？

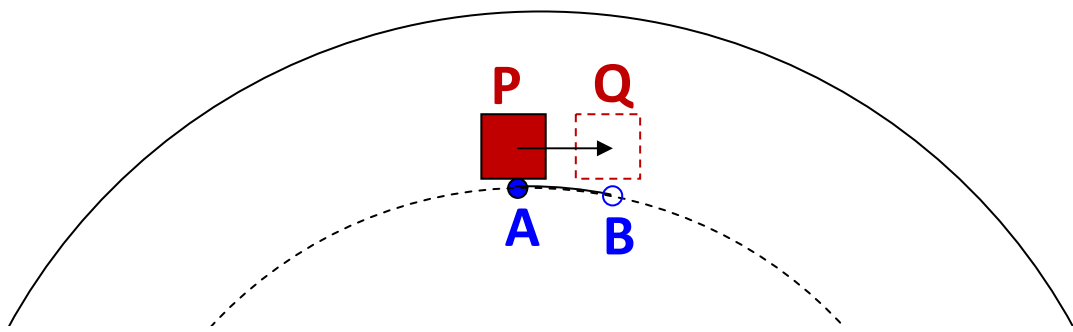


不是，「木塊貼在圓盤表面並以順時針方向轉動」是木塊受了圓盤的摩擦作用、受了摩擦的影響而出現的結果。這個運動也不是相對接觸面。

要知道摩擦力的方向。要做兩件事：

- ① 把接觸面變回平滑面
- ② 想像我們「坐」在接觸面，看那木塊會出現甚麼運動。

摩擦力的方向就是相反於 ② 看見的運動。



當木塊行至 P，若把接觸面的摩擦突然「熄掉」。因為慣性，木塊以直線經過很短時間後行走至 Q。圖中藍點 A 是圓盤上的一點。當木塊在位置 P 時，藍點貼近在其正下方。當木塊走至 Q，藍點也隨圓盤轉動而走至 B。明顯，木塊與藍點的垂直（嚴格說是徑向）距離增加了。即是說，如以藍點（圓盤）望去，木塊是向外走出去。所以「把接觸面變回平滑面，想像我們『坐』在接觸面，看那木塊會出現甚麼運動」的運動是「向出」。故此，木塊在位置 P 時受到的摩擦是「向入」，那個就即是指向中心的「向心力」。

不嫌累贅，但求清楚，「摩擦力相反於運動方向」應改為

「**摩擦力相反於若摩擦的影響不存在時物體相對接觸面的運動**」，

或

「**摩擦力相反於物體相對接觸面的運動趨勢方向**」。

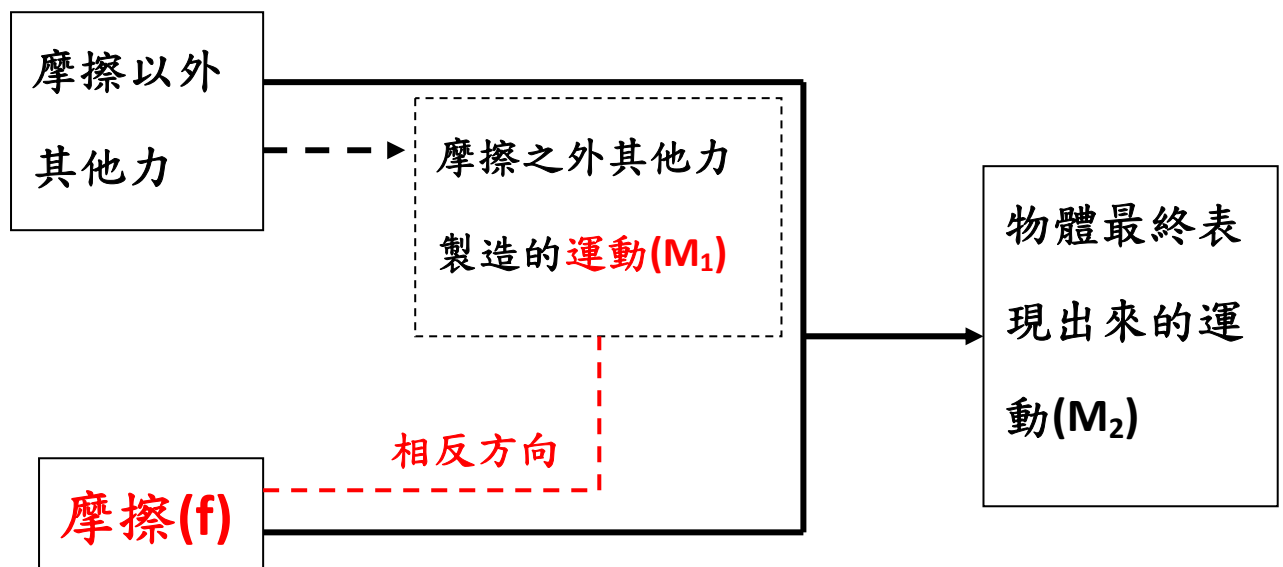
這個「**運動趨勢 (tendency of movement)**」亦即是若果沒有了摩擦或摩擦不足時物體會出現的運動。

以上說法適用靜摩擦(static friction) 和動摩擦 (kinetic friction) 。

- 若是靜摩擦，物體在接觸面沒有相對運動。引用上述概念能迅速辨認摩擦的方向。



- 若是動摩擦，物體在接觸面已有相對運動。只是說摩擦相反於這相對運動就可以。加上「若摩擦不存在…」是有點「多餘」，但也是沒錯的！



- $f$  必相反於  $M_1$
- $f$  不一定相反於  $M_2$ 。

**吳老師 (Chiu-king Ng)**

物理勿勿理 <http://ngsir.netfirms.com>