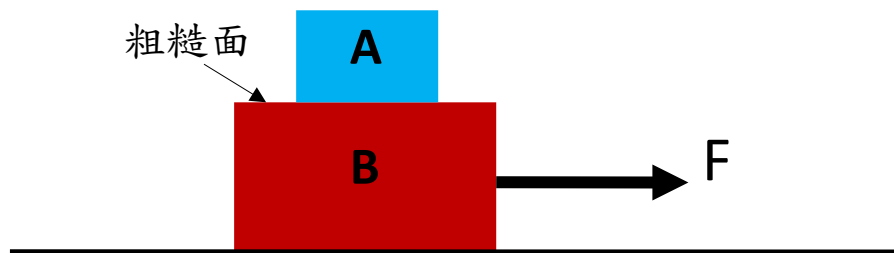


一些例子似乎不符合

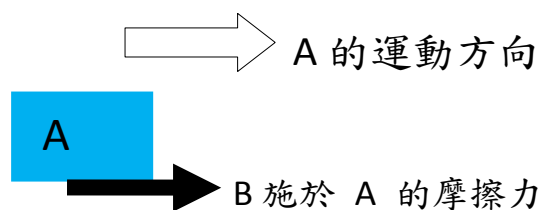
「摩擦力相反運動 (friction opposes motion)」

如果不是 "friction opposes motion"，難道是 "friction assists motion" 或 "friction produces motion"？是的，有時候的確如此。

例(1)：下圖，方塊 B 受力 F 作用。

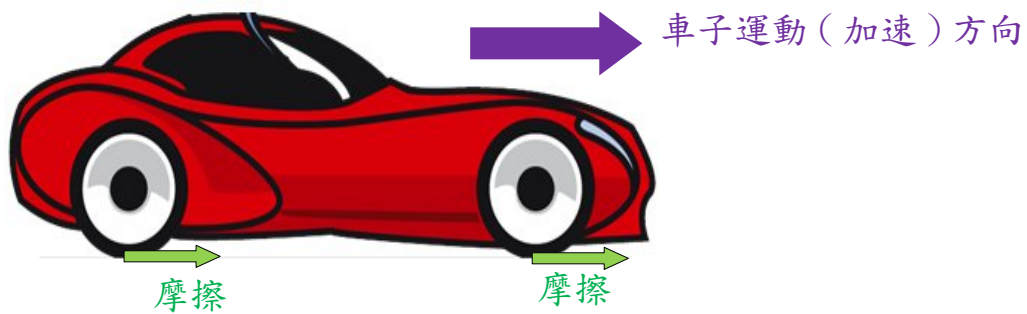


方塊 A 放在 B 之上，並一起向右**加速**。A 與 B 之間沒有滑動 (sliding)。A 之能一起加速，因受到 B 的摩擦力：



似乎**不是**「摩擦力相反運動」。

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「摩擦力相反運動」。



很多時候「摩擦力相反運動」，但也有不少例子「摩擦力幫助或製造運動」。如果要求「摩擦力相反運動」是一句「放諸四海皆準」的概念，這也可以，不過要把「摩擦力相反運動」中的「運動」作出一些不同的理解。

「摩擦力必相反運動」中的「運動」

➤ 不是指已納入摩擦的影響後而出現的運動，而

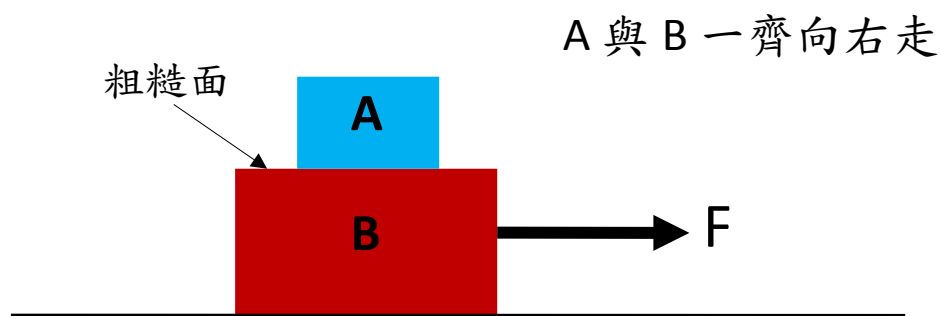
➤ 是指：

(i) 摩擦介入前（即是把接觸面變為平滑）、

(ii) 相對那給出摩擦的粗糙面

的運動。

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」的不會是純粹由它自己製造的運動。

「摩擦力相反運動」中的「運動」是指摩擦介入前(即是把接觸面變為平滑) 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 受不到任何力作用，所以只能以摩擦「熄掉」前的最後速度繼續勻速運動。B 可以加速，但 A 不能，所以 B 看見 A 墮後。即是說相對那給出摩擦的粗糙面(B 的頂部)，A 是向左移動。當恢復變回有摩擦，摩擦就應該「相反這個向左運動」，所以摩擦的方向是向右。

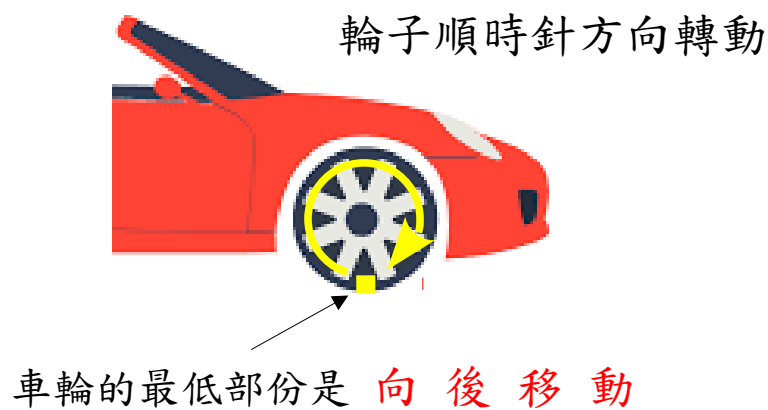


我們再看例 2，有關車子的加速問題。

想知道摩擦的方向，我們把路面變回平滑面，看看在摩擦出現前，輪子會出現怎樣的運動。

司機踩踏油門，車子內燃機令車輪飛快地轉。我們可以想像「路面完全平滑」，即是像把車「浮」在空中，完全觸及不到地面。車輪自己飛快地轉，但整部車不會向前移動。

這樣，我們可以看那時車輪與地面的接觸點的運動如何。



車輪的最低點（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。現在把摩擦關掉，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」。所以當路面變回粗糙時，

摩擦的方向就是向前。車子向前運動（加速），摩擦也是向前。

但有同學問，當車子勻速或減速時，摩擦的方向會是如何？

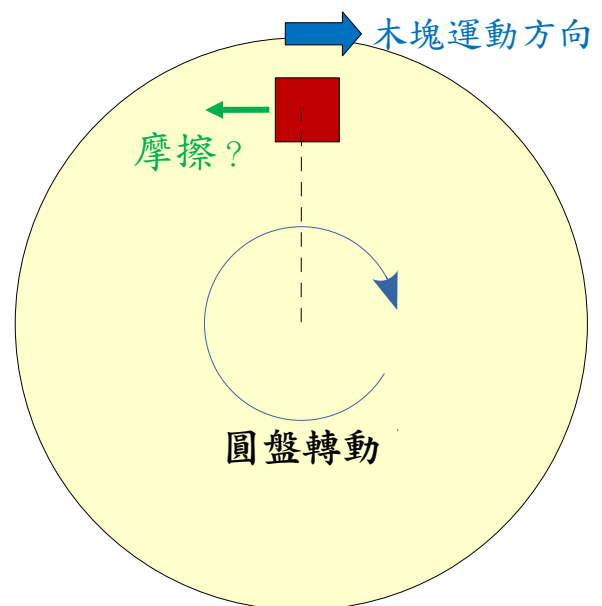
有關這等問題，請參看筆者的另一篇文章「汽車如何依賴摩擦作加速或減速？」<http://ngsir.netfirms.com/Q/ME/MQ18.pdf>



最後，我們討論另一個(較難)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。

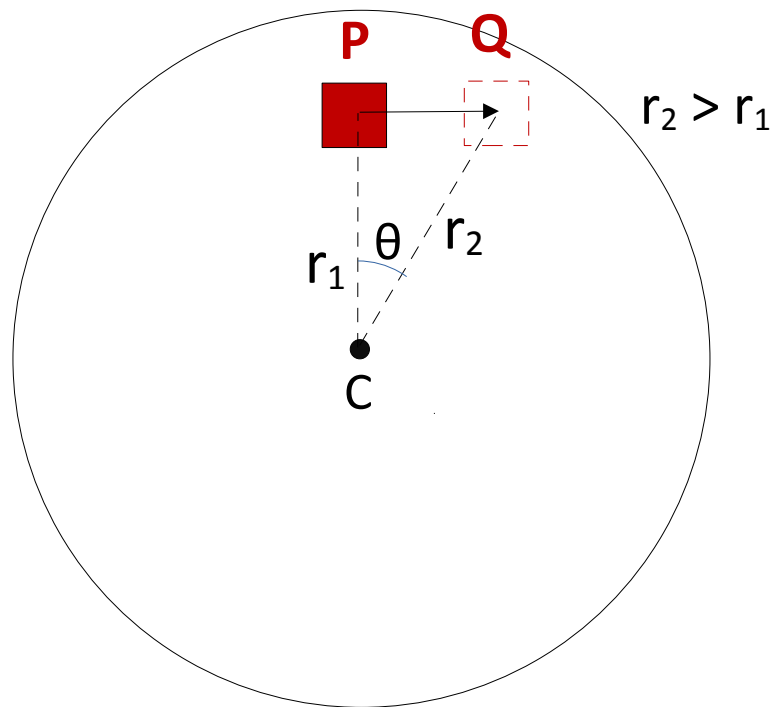
要準確知道摩擦力的方向。要做兩件事：

(1) 把接觸面變回平滑面

(2) 想像我們「坐」在那將會給出摩擦的粗糙面(圓盤)，

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，木塊會以直線行走至 Q。想像我們坐在那轉動的圓盤上，我們會看見甚麼？首先，我們不會看見盤子在轉動（正如車上乘客不會看見車在行走）；我們看見的是木塊沿半徑向外移動

(見上圖， $r_2 > r_1$)。即是說，如以圓盤望觀，木塊是向外走出去
(在這例，摩擦的方向不斷改變，所以我們要討論木塊在 P 這瞬間摩擦的方向。假設 P 之後一個非常短時間 δt ，在此期間木塊以勻速行走的距離 $s = v(\delta t)$ ，其中 $v = \omega r_1$ 是木塊在 P 的速度，其中 ω 是圓盤的角轉速。 $s = v(\delta t) = \omega r_1(\delta t) = r_1(\omega \delta t) = r_1 \theta$ ，其中 θ 是圓盤在 δt 時間內轉的弧角。只要是時間 δt 非常短，上圖 PQ 長度就是等於 $r_1 \theta$ 。換言之，當原先我們坐在圓盤上並視線是沿 CP 望着木塊在 P 點，在 δt 之後，我們的視線就自動變了沿 CQ 望着木塊在 Q 點。即是對我們而言，木塊純是沿半徑向外移動)。

所以「把接觸面變成平滑」時，想像我們「坐」在接觸面，看見木塊是「沿半徑向外走出去」。故此，當接觸面變回粗糙時，摩擦要相反的運動就是那「沿半徑向外走出去」。換言之，摩擦的方向是「沿半徑向入」，那即是木塊跟着圓盤旋轉時所需的「向心力」，這裏，摩擦就提供了這個向心力。



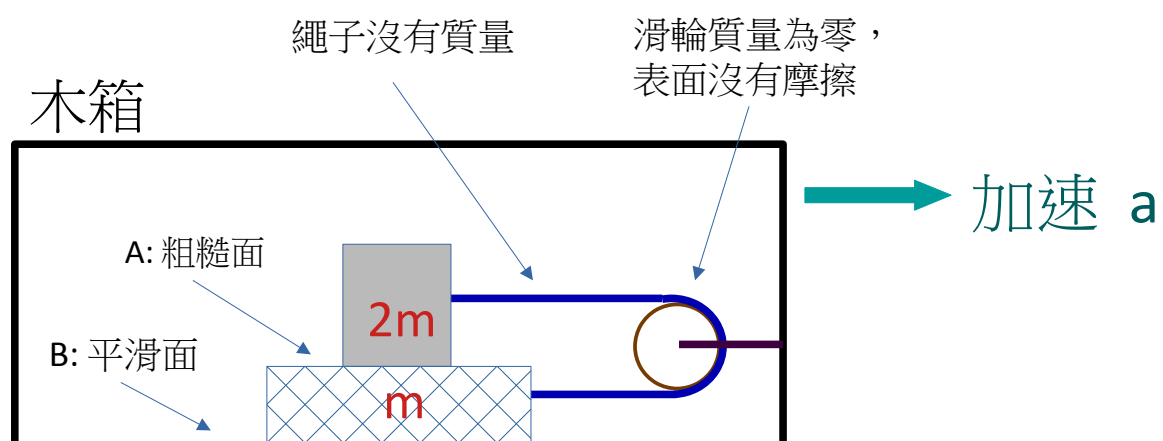
如果要求「摩擦力相反運動」是一句「放諸四海皆準」的概念，那麼應該這樣說

「**摩擦力必相反若摩擦消失時物體相對接觸面的運動**」。

一些書本寫「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。

以上兩種寫法意思沒有不同。

練習：



如圖所示，木箱水平加速，疊在一起的兩個方塊的質量分

別是 $2m$ 和 m 。因為摩擦的存在，兩方塊可相對木箱不動（即是相對地面木箱和方塊的加速相同）。

(a) 施於 $2m$ 的摩擦是甚麼方向？

(b) 繩子的張力和兩方塊之間的摩擦是多少？答案以 m 和 a 表示。

(c) 若把 A 變成平滑面和 B 變成粗糙面；其他情況不變。那時繩子的張力和方塊 m 與地面之間的摩擦是多少？



作者：吳老師 (Chiu-King Ng)

<https://ngsir.netfirms.com>

<http://phy.hk>

電郵：feedbackWZ@phy.hk 其中 WZ 是 23 之後的質數