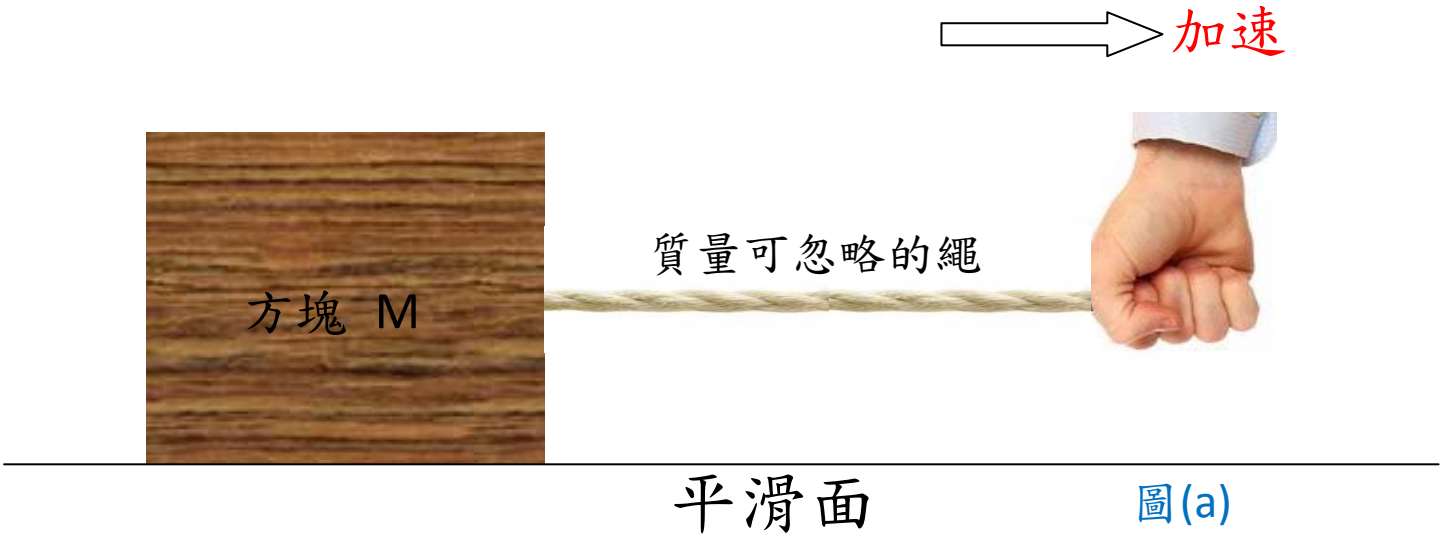
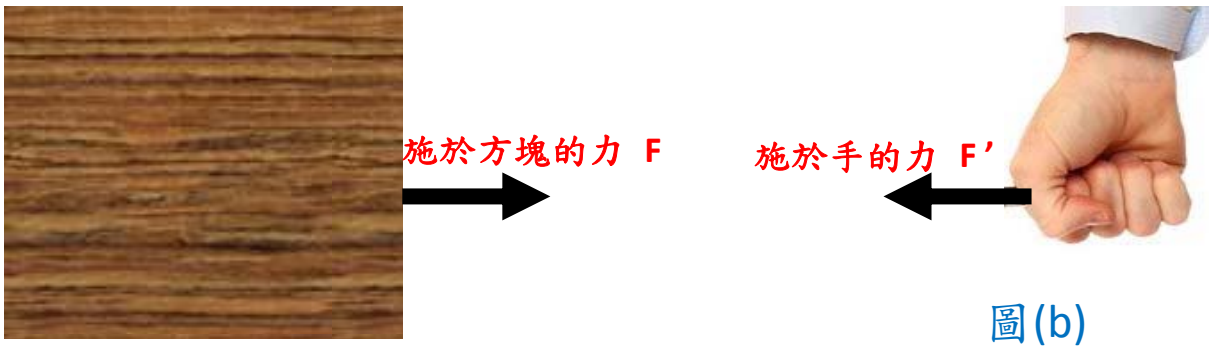
如何判斷作用力—反作用力對 (action-reaction pair)

從這個例子說起。

圖(a)，一人利用一條質量可忽略的繩來拖拉方塊。方塊向右加速。



圖(a)



圖(b)

在上圖(b) F 和 F’ 是

(1) 大小相同

(2) 方向相反

(3) 不是作用於同一物體。

(F 作用於方塊，F’ 作用於手)

問題：

F和 F’是否屬於作用力—反作用力對 (action-reaction pair)？

答案：

F 和 F’不是作用力—反作用力對。

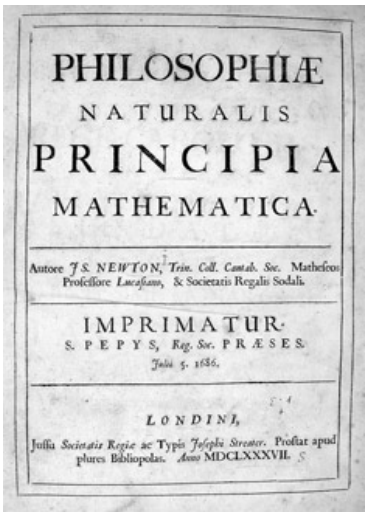
在 P. 13，我們會返回討論這例題。

首先，我們先探討/溫習牛頓第三定律

初中、甚至是小學書本已開始介紹牛頓第三定律(作用力—反作用力) 了。這定律寥寥十數字，看似簡單，但要真的明白不是那麼簡單。

牛頓第三定律標準內容

在 1687 出版的牛頓巨著 “ *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*” 中的 3rd law of motion 是這樣(英譯)的


PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

Autore J.S. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos Professore Lucasiano, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.
Julii 5. 1686.

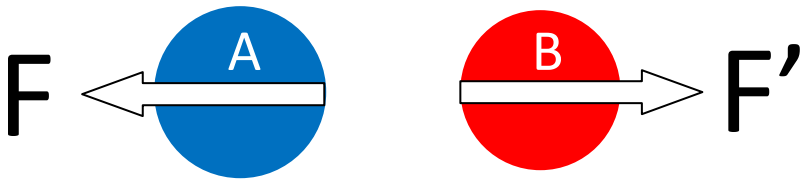
LONDINI,
Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat apud plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.

To every action there is always opposed an equal reaction: or, the mutual actions of two bodies upon each other are always equal, and directed to contrary par

現今，教科書的常見寫法是

當兩個物體互相作用時，彼此施加於對方的力，其大小相等、方向相反。

下圖，物體 A 和 B 發生相互作用，例如它們互相撞擊。



F 是 B 施於 A 的力

F’是 A 施於 B 的力

牛頓第三定律：F 和 F’ 是大小相同，方向相反。

施力者與受力者

力的出現，必有一個**施力者**和一個**受力者**。譬如你用拳頭打向牆壁。施力者是你的拳頭，受力者是牆壁。

我們這樣寫

拳頭施於牆壁的力

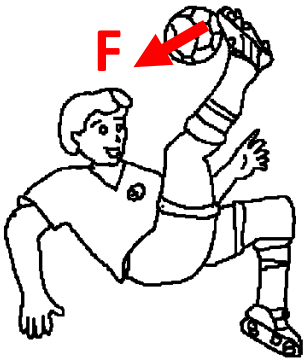
施力者　　受力者

任何力皆可以用句子“**x 施於 y 的力**”(**force exerted by x on y**) 來描述。這個描述就清楚說出施力者是 x 和受力者是 y。

練習：

把圖中的力的施力者和受力者填在“_____施於 _____ 的力”的句子內。

(a)



足球被踢，F 是 _____施於 _____的力。

(b)

運動員起跑，F 是 _____施於 _____的力。

(c)

兩車相撞，紅車受 F 作用，F 是 _____施於 _____ 的力。

(d)

臉壓向玻璃，令臉部肌肉扭曲的是 _____施於 _____ 的力。

(e)

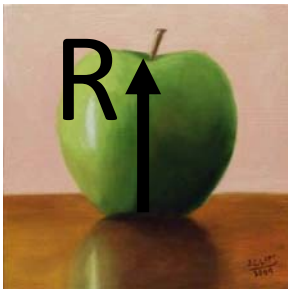
大力拍掌，左手有痛楚感覺，這是源於拍掌時 _____ 施於 _____的力。

(f)

書本的重量是 _____

施於 _____的力

(g)



蘋果不下跌，因為檯面托著它。R 是 _____施於 _____的力

答案：

(a) 腳施於足球的力

(b) 起跑器施於鞋底的力

(c) 藍車施於紅車的力

(d) 玻璃施於臉的力

(e) 右手施於左手的力

(f) 地球施於書本的力

(g) 檯面施於蘋果的力

辨認某力的反作用力

方法很簡單，那就是**把這個力的施力者和受力者互調轉**就是了！

譬如，“拳頭施於牆壁的力” 的反作用力就是 “牆壁施於拳頭的力” 。

牆壁爛了，那是“拳頭施於牆壁的力” 造成。

拳頭傷了，那是“牆壁施於拳頭的力” 造成。

牛頓第三定律就是說這兩個力必定大小相同、方向相反。

上頁 (a)-(g) 的各反作用力：

	作用力	反作用力
(a)	腳施於足球的力	足球施於腳的力
(b)	起跑器施於鞋底的力	鞋底施於起跑器的力
(c)	藍車施於紅車的力	紅車施於藍車的力
(d)	玻璃施於臉的力	臉施於玻璃的力

(e)	右手施於左手的力	左手施於右手的力
(f)	地球施於書本的力	書本施於地球的力
(g)	檯面施於蘋果的力	蘋果施於檯面的力

(iii) 相關討論

1. 若你相信牛頓第三定律，你就相信物理世界就是「作用力與反作用力的大小相同、方向相反」。沒有解釋，因為這定律就是如此說(當然，你可以質疑牛頓第三定律的普遍性和適用性)。

2. 牛頓第三定律說的「作用力與反作用力的大小相同、方向相反」是**無條件**地，在**任何情況皆成立**。

無論物體是靜止，勻速或加速、「作用力與反作用力的大小相同、方向相反」。沒有解釋，因為這定律就是如此說。

3. 「A 施於 B 的力」 的反作用力是 「B 施於 A 的力」。前者是施於 B，後者是施於 A。這個即是此兩力作用於不同物體 (act on different bodies) 。

4. 因為 「作用於不同物體」，所以它們不能互相抵消？

若「A 施於 B 的力」和「B 施於 A 的力」的 A 和 B 屬於一個我們考慮的系統(system) 內，那作用力和它的反作用力就會在該系統內互相抵消。譬如你用手打自己臉頰一下。作用力在臉頰；反作用力在手，但這兩力都是作用於自己的身體！

- 若只考慮臉頰，那只須考慮作用力。

- 若只考慮打臉頰的手，那只須考慮它的反作用力。

- 但若考慮整個身體，那作用力和它的反作用力就必須一齊考慮，這時它們就互相抵消了(是指力的抵消，不是我們的感覺抵消！)。

作用力與反作用力可以互相抵消嗎？

當然可以！ 若當考慮的系統中包括了作用力和它的反作用力，它們就在該系統中互相抵消。這些力稱為這系統的內力 (internal forces)

「內力」的日常例子：

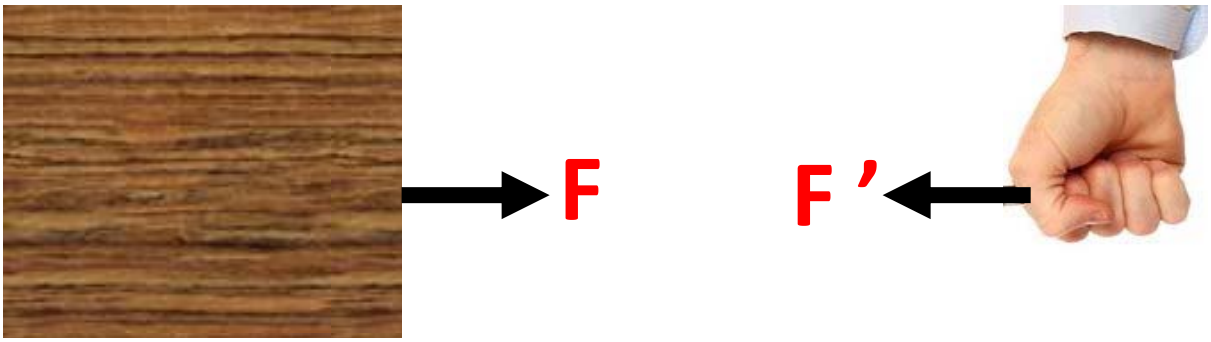
1. 你座在車廂內可以推動這輛車嗎？

   車不會被推動，因為作用力被反作用力抵消了。

2. 你座在凳上，你可以用手施力於凳，把自己抬高嗎？

   不可以，因為作用力被反作用力抵消了。

回到 P1. 問題：

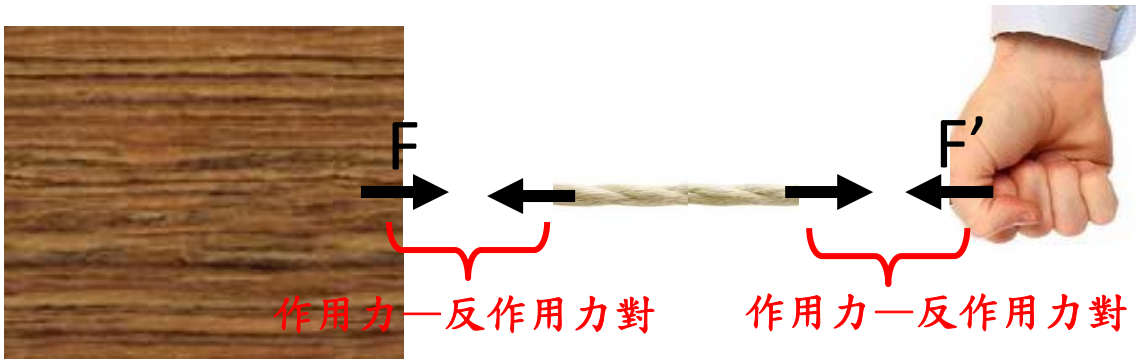


F 和 F’ 不是作用力—反作用力對 (action-reaction pair)。原因是

1. F 是繩的左端施於方塊的力，而 F’ 是繩的右端施於手的力。你看，這是不是施力者和受力者互調轉？

   F 是繩的左端施於方塊的力，所以其反作用力是方塊施於繩的左端的力。

   F’ 是繩的右端施於手的力，所以其反作用力是手施於繩的右端的力。



上圖，無疑 F 和 F’ 的大小值相等(因假設了繩子沒有質量)、方向相反；F 和 F’ 也是作用於不同物體。但它們**絕對不是**作用力與反作用力的關係！

2. 這裡，F 和 F’ 的大小值相等並不符合牛頓第三定律所述的無條件相等。

F 和 F’ 一般來說是不等的。之所以相等，只不過我們忽略了繩的質量。

∵ 繩的質量 = 0

∴ 無論繩是否加速，其淨力均為零 (F = ma)。

繩的淨力 = 0，

手施於繩的力 = 方塊施於繩的力 (大小值)

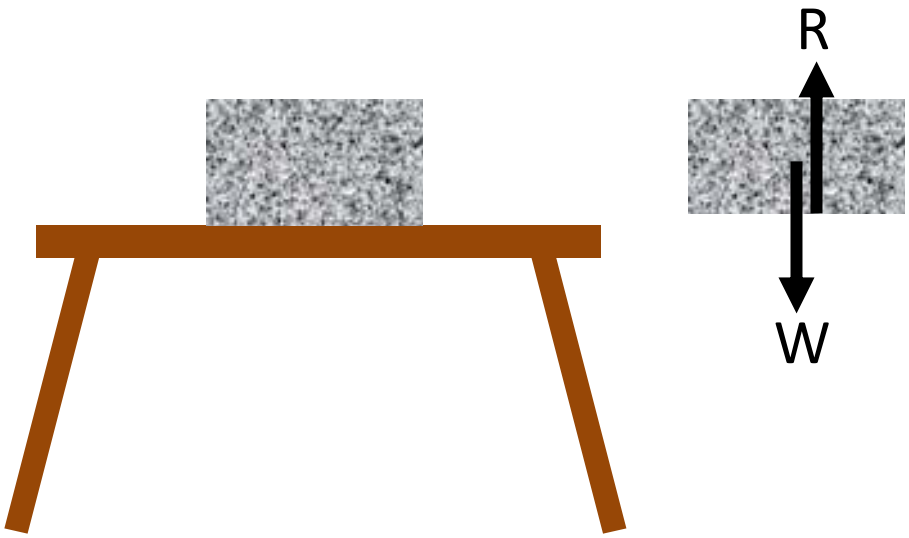
「作用於不同物體」也不一定是作用力與反作用力

近年，筆者見到一些香港高中學生拿著的物理筆記中有這樣說明 action- reaction：

> Action and reaction pair
>
> - Opposite direction, equal magnitude
> - Acting on different bodies

為甚麼有這句“acting on different bodies” ？

中學物理課本(必)討論的例：



放在檯上的方塊受兩力作用：W(方塊重量) 和 R (檯面施於方塊的力、 正向力、承托力、normal reaction force) 。 W 和 R 是「大小相同、方向相反」，但**它們是作用力—反作用力對 (action-reaction pair)** 嗎？

不是，它們不是作用力—反作用力對，因為它們都作用於方塊上 (acting on the same body)。

那 R 和 W 的反作用力分別在那裡？

R 是檯面施於方塊的力，那它的反作用力當然就是方塊施於檯面的力

W 是地球施於方塊的力，那它的反作用力當然就是方塊施於地球的力。

"Acting on the same body" 就一定不是 action & reaction； **反過來說，"Not acting on the same body" 就一定是 action & reaction 嗎？**

非也！

「大小相同、方向相反、作用於不同物體」是作用力—反作用力關係的必要條件，但不是充分條件 (a necessary, but not sufficient condition)。

「作用於不同物體」根本就不是判斷作用力—反作用力關係的方法。

最有效、最有用、最簡單的方法是找出這力的施力者。

「A 施於 B 的力」的反作用力就是「B 施於 A 的力」。

就是這麼簡單！

當你懂得這方法，你已經開始明白甚麼是作用力和反作用力了。

吳老師 (Chiu-king Ng)

OnlinePhysicsApplets