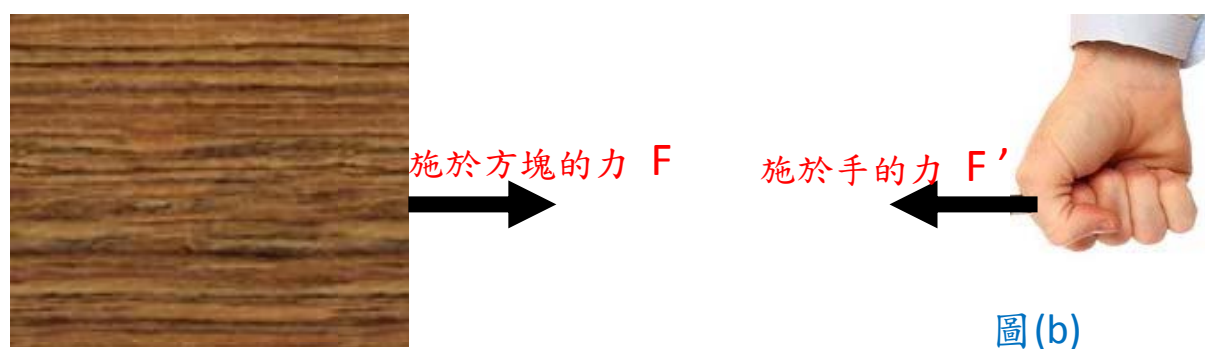


如何判斷作用力—反作用力對 (action-reaction pair)

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。



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。

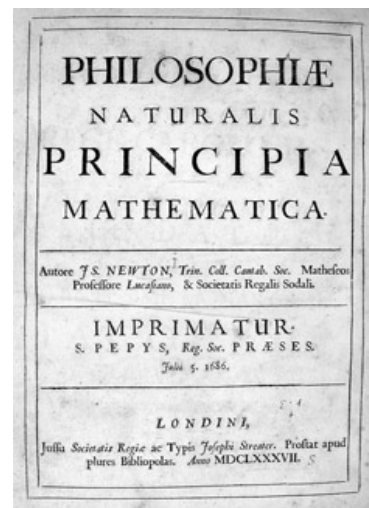
牛頓第三定律標準內容

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

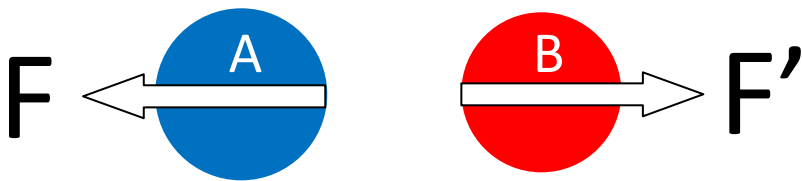
To every action there is always opposed
an equal reaction: or, the mutual actions
of two bodies upon each other are always
equal, and directed to contrary par



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

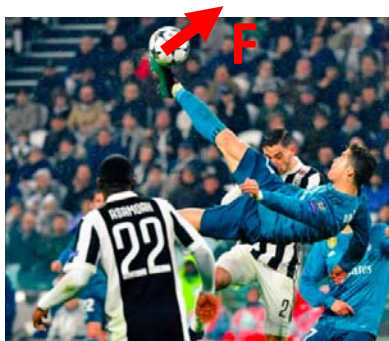


任何力皆可以用句子“x 施於 y 的力” (force exerted by x on y) 來描述。這個描述就清楚說出施力者是 x 和受力者是 y。

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)



足球被踢走，**F** 是 _____ 施於 _____ 的力。

(b)



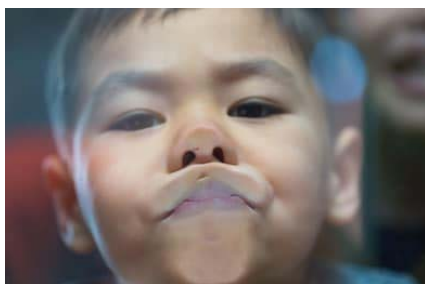
運動員起跑， F 是 _____ 施於
_____ 的力。

(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)



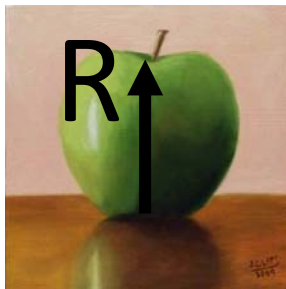
大力拍掌，左手有痛楚感覺，這是源於拍掌時 _____ 施於 _____ 的力。

(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) 鞋施於足球的力
- (b) 起跑器施於鞋底的力
- (c) 黃車施於紅車的力
- (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。

上例 (a)-(g) 的各反作用力：

	作用力	反作用力
(a)	<u>鞋</u> 施於 <u>足球</u> 的力	<u>足球</u> 施於 <u>鞋</u> 的力
(b)	<u>起跑器</u> 施於 <u>鞋底</u> 的力	<u>鞋底</u> 施於 <u>起跑器</u> 的力
(c)	<u>黃車</u> 施於 <u>紅車</u> 的力	<u>紅車</u> 施於 <u>黃車</u> 的力
(d)	<u>玻璃</u> 施於 <u>臉</u> 的力	<u>臉</u> 施於 <u>玻璃</u> 的力
(e)	<u>右手</u> 施於 <u>左手</u> 的力	<u>左手</u> 施於 <u>右手</u> 的力
(f)	<u>地球</u> 施於 <u>書本</u> 的力	<u>書本</u> 施於 <u>地球</u> 的力
(g)	<u>檯面</u> 施於 <u>蘋果</u> 的力	<u>蘋果</u> 施於 <u>檯面</u> 的力

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，不是我們的感覺會抵消！)。

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 (internal forces)」的日常例子：

1. 你座在車廂內可以推動這輛車嗎？

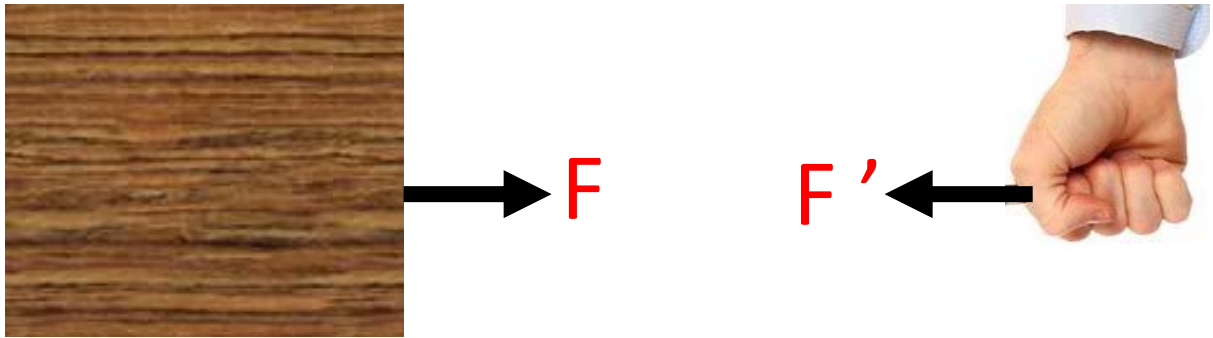
車不會被推動，因為作用力被反作用力抵消了。

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：

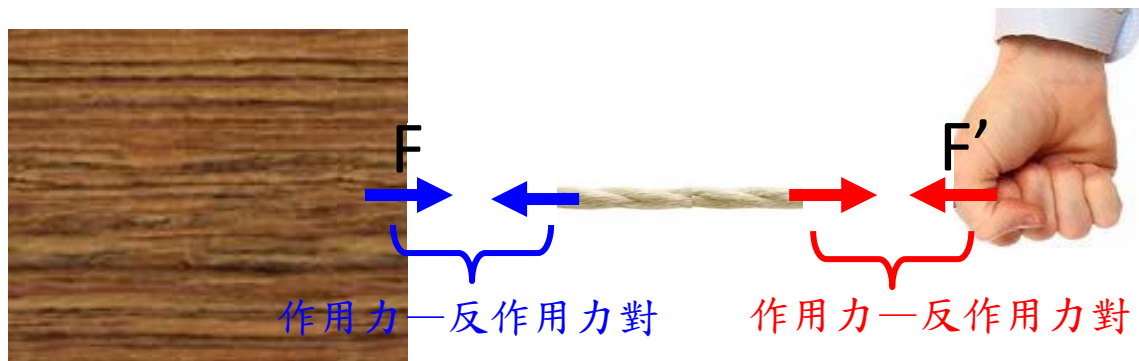


F 和 F' **不是** 作用力—反作用力對 (action-reaction pair)。原因是

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，是其他物理原因，而不是牛頓第三定律所要求的無條件相等。

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

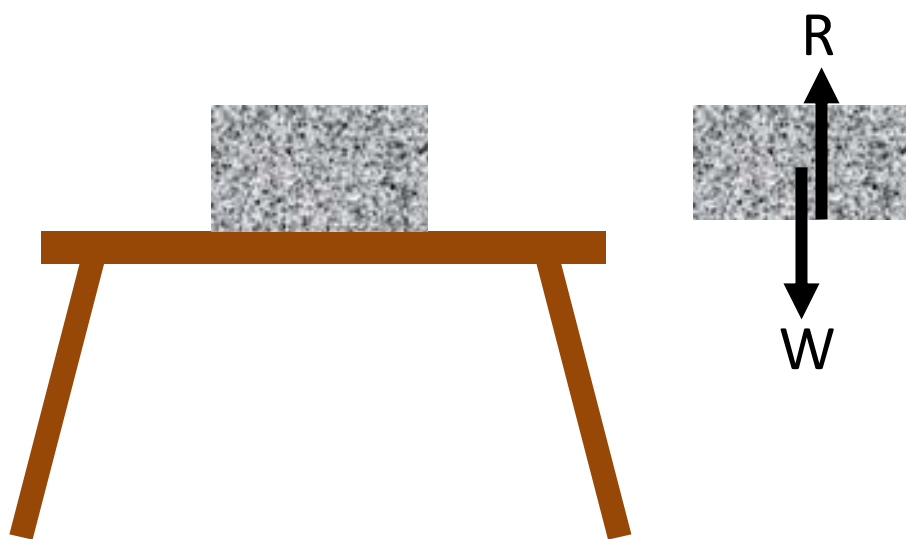
近年，筆者見到一些香港高中學生拿著的物理筆記中有這樣說明 action- reaction：

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，“acting on different bodies + equal magnitude + opposite direction” 就一定是 action & reaction 嗎？非也！
「大小相同、方向相反、作用於不同物體」是一個必要(necessary)條件，但不是一個充分(sufficient)條件。

「作用於不同物體」根本不是一個判斷作用力—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，你已經基本明白甚麼是作用力和反作用力了。

吳老師 (Chiu-king Ng)

電郵：feedbackWZ@phy.hk 其中 WZ 是 23 之後的質數



Online Physics Applets