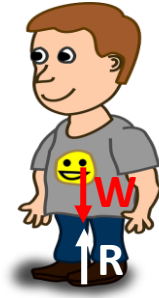


## 「重量」和「失重」感覺的由來

我們感覺自己有多重，其實我們感覺的是 W 還是 R？

我們站在地上時，身體受著兩個力作用。



其中一個力是我們的重量  $W$ （地心吸力）。另一個力是地面承托著我們，不讓我們下跌的法向反作用力  $R$ （或稱「法向力」、「正向力」）。

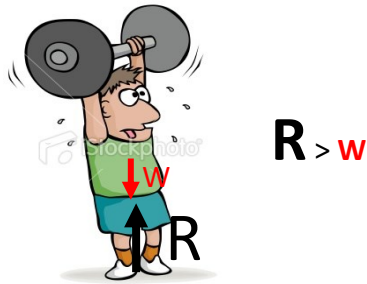
物理邏輯上， $W$  和  $R$  的量值(magnitude)沒必要相等。當上下方向沒有加速，淨力為零， $W$  和  $R$  的量值才相等。

問題：我們感覺自己有多重，究竟我們感覺的是  $W$  還是  $R$ ？

答案：是  $R$ 。我們不是感覺  $W$  而知自己有多重。不錯， $W$  是重量，但  $W$  的本質是我們不能去直接「感覺」它。簡單而言， $W$  有別於其他力，它是人自己感覺不到的！

以下的簡單生活經驗希望可以「說服」大家：

1.



當我們舉起重物，腿感覺辛苦了，「感覺的力」大了。但我們身體的重量  $W$  不曾改變，舉起的重物內沒有我們的神經細胞。若我們「感覺的力」是  $W$ ，那無論我們舉起多重的東西，我們依然只會感覺到相同的  $W$ 。那不合乎常理！

舉起重物，地板要承托較大的力， $R$  大了。我們「感覺的力」就是  $R$ ，不是  $W$ 。

2.



在「跳樓機」跌下的一剎那，乘客有失重的感覺。乘客的重量沒有改變，只是椅子施於他們的  $R$  減少了。

希望你已接受（至少知道）了這個概念：我們的「重量感覺」是來自 R，而不是 W。

就因為我們的「重量感覺」是來自 R，而不是 W。所以失去「重量感覺」的條件就是沒有了 R。

R 和 W 是兩個完全不同的力。在各情況下，R 和 W 的量值可以相等，也可以不相等。可以在沒有 W 之下有 R，也可以有 W 之下沒有 R。無論如何，我們要製造「失重」感覺，唯一的條件和方法就是令 R 消失。

我們不妨舉一些 W 和 R 存在和不存在的例子

	情景	W	R	感覺
1.	從高處跳下，著地時一剎那	存在	存在 ∴減速， $R>W$	較平常重
2.	「跳樓機」急墮（但不是自由落體）	存在	存在 ∴向下加速， $R<W$	較平常輕

3.	在以自由落體跌 下的飛機內 	存在	不存在	失重感覺
4.	在環繞地球的太 空船內	存在	不存在	失重感覺
5.	在遠離任何星球 的外太空的太空 船內	不存在	不存在	失重感覺
6.	在遠離任何星球 的外太空的太空 旋轉器內	不存在	存在 	有重量感 覺 (此謂「人 造重量」)

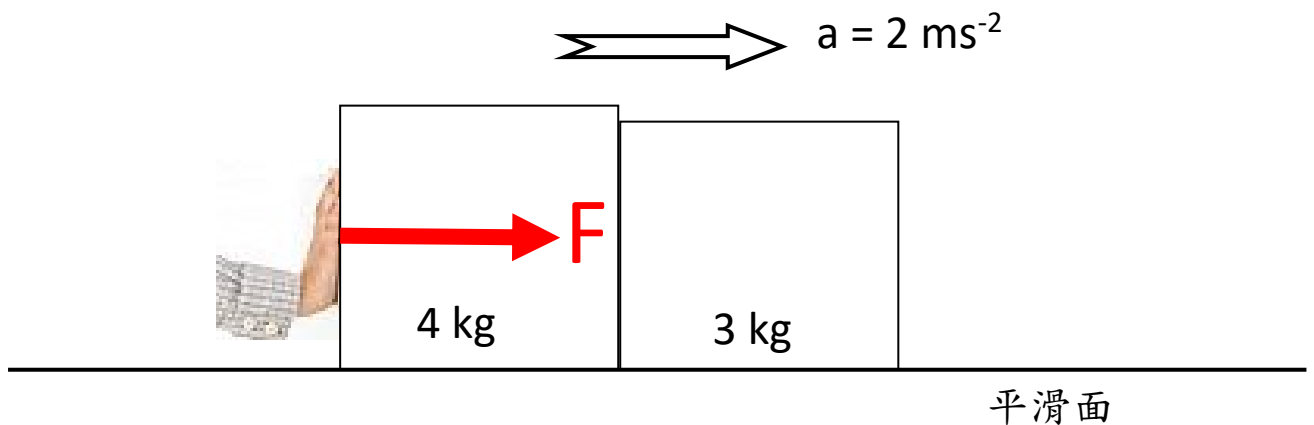
R 和 W 本質上有何分別？為甚麼重量感覺來自 R？

當失去承托力 R，就算仍然存在地心吸力 W，也一樣出現「失重」感覺和相關現象，同學對此始終十分迷惘。我們如何把事情再說得明白一些？

我們先討論以下兩個不同情況：

### 情況 A

在一個平滑無摩擦的水平面上放著兩方塊，如圖所示。方塊被推向前。



問：若兩木塊一齊向前加速  $a = 2 \text{ ms}^{-2}$ ，問推力  $F$  為多大？

答： $F = (M + m)a = (4 + 3)2 = 14 \text{ N}$ 。

問：在兩個方塊接觸的「縫隙」，存在壓強嗎？

答：存在。前面的 3 kg 也需力加速。設 4 kg 推向 3 kg 的力為

$R$ ， $R = 3 \times 2 = 6 \text{ N}$ 。將 6 N 除以接觸面的大小就是壓強。

即是推方塊的手給予的 14 N，其中 8 N 留給 4 kg 方塊

「自己用」，餘下的 6 N 則透過接觸面來傳給前面的 3 kg

方塊「用」。

問：若一隻小毛蟲在加速前爬入這兩方塊接觸面的「縫隙」去，

牠會有甚麼「遭遇」？

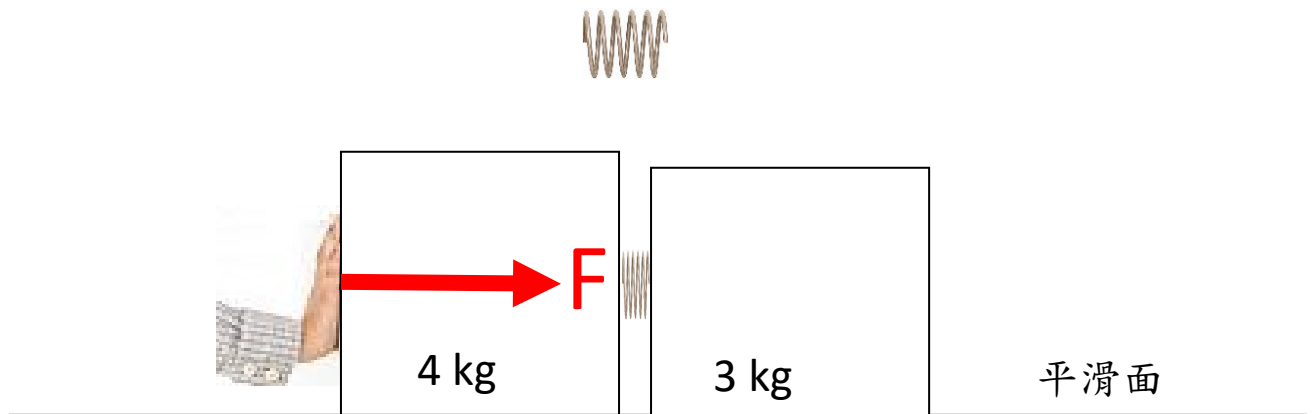


答：小毛蟲或許被壓扁了！

問：若把一個短彈簧 (spring) 放在這兩方塊接觸面的「縫隙」去，

彈簧的形狀會變得如何？

答：彈簧被壓縮了！



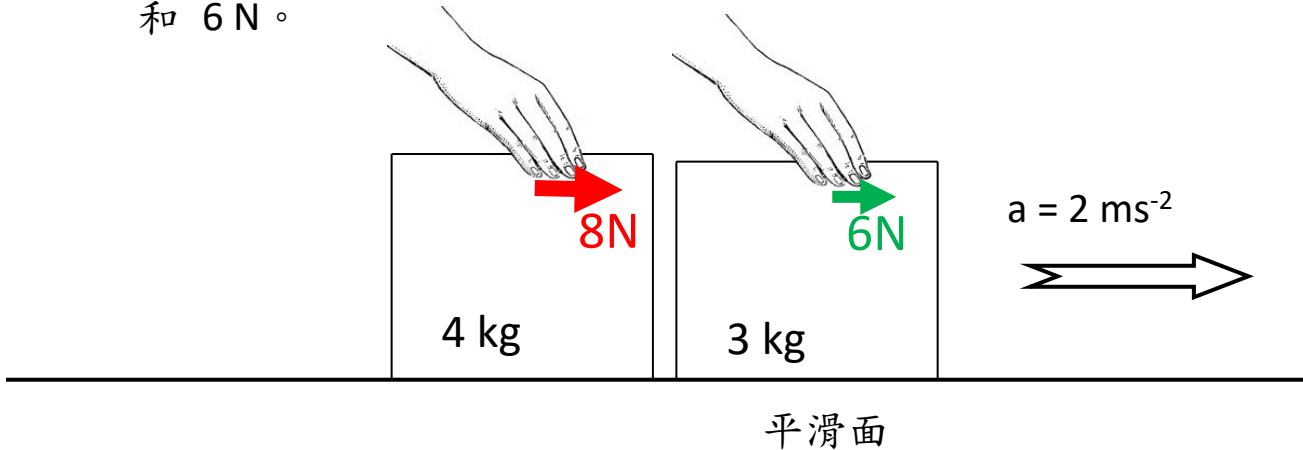
問：想像將我們身上的一條感覺神經放在「縫隙」去，我們會有

甚麼感覺？

答：相信是痛楚，至少是有被「擠壓」的感覺。

## 情況 B

現改用兩隻手來推這兩方塊。兩隻手施於方塊的力分別是 8 N 和 6 N。



每隻手給予方塊的力剛好是這方塊加速所需的力。

問：這時，在兩個方塊接觸的「縫隙」存在壓強嗎？

答：沒有。方塊加速相同，它們之間也不需要靠接觸面來傳遞力。

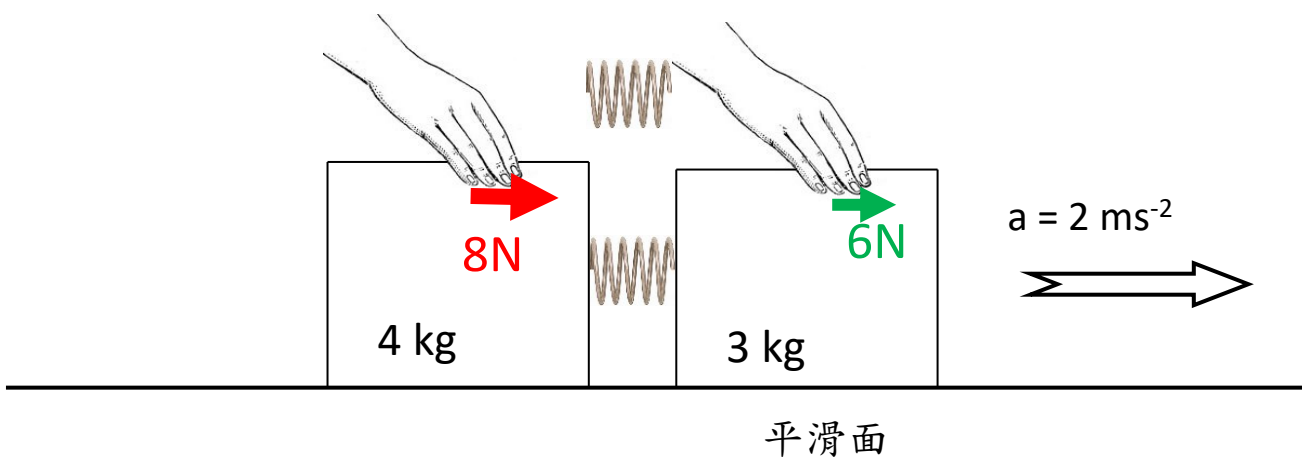
所以方塊之間沒有施予對方任何力。

問：若一隻小毛蟲在加速前爬入這兩方塊接觸面的「縫隙」，牠會有甚麼「遭遇」？

答：小毛蟲可以爬入「縫隙」，而「縫隙」的闊度也沒有因為方塊移動而減少（兩方塊的速度和位移總是相同）。小毛蟲不會有任何「不幸遭遇」。

問：若把一個短彈簧 (spring) 放在這兩方塊接觸面的「縫隙」去，彈簧的形狀會變得如何？

答：把彈簧放入時，「縫隙」的闊度與彈簧長度相同。當方塊加速，方塊之間沒有壓擠，「縫隙」的闊度也沒有改變。所以，彈簧的形狀沒有改變；既沒有壓縮，也沒有伸長。



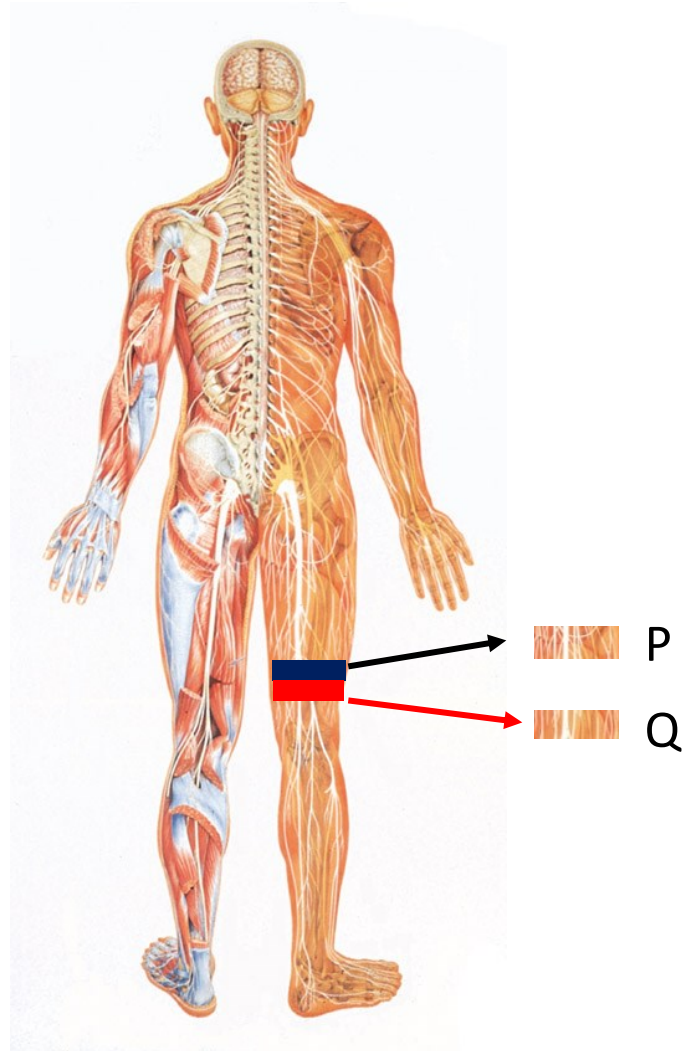
問：想像將我們身上的一條感覺神經放在「縫隙」去，我們會有甚麼感覺？

答：後面的方塊沒有壓著來推前面方塊。放進「縫隙」去的神經感覺不到任何「力」的存在。



我們回到失重的討論。

我們的身體滿佈觸覺神經。



想像大腿的其中兩截部份，P 和 Q(上圖)

現在上圖的人從高處自由下跌 (free falling) 。P 和 Q 兩部份之間的隙縫是像上面討論的「情況 A」或「情況 B」？ 兩者的分別是

情況 A：隙縫之間存在壓強。

情況 B：隙縫之間不存在壓強。

這是關鍵問題。

答案是像「情況 B」那樣。

因為身體各部份皆可從引力場獲得自由墮下加速所需要的力。需要多大的力，就從空間取到這個力，丁點也不差！

抓著身體各部份的「無形之手」就是引力場。身體的每一個細胞、每一個細胞內的每一粒原子、每一粒原子內的每一粒電子，質子和中子都受這「無形之手」抓著。若某部份的質量是  $m$ ，從這「無形之手」(引力場)取得的力(重量)就是向下的  $mg$ 。這個力正好就是這部份作  $g$  加速時所需要的力。

下跌時，P 和 Q 之間完全沒有擠壓。P 和 Q 之間的神經感覺不出甚麼力來。

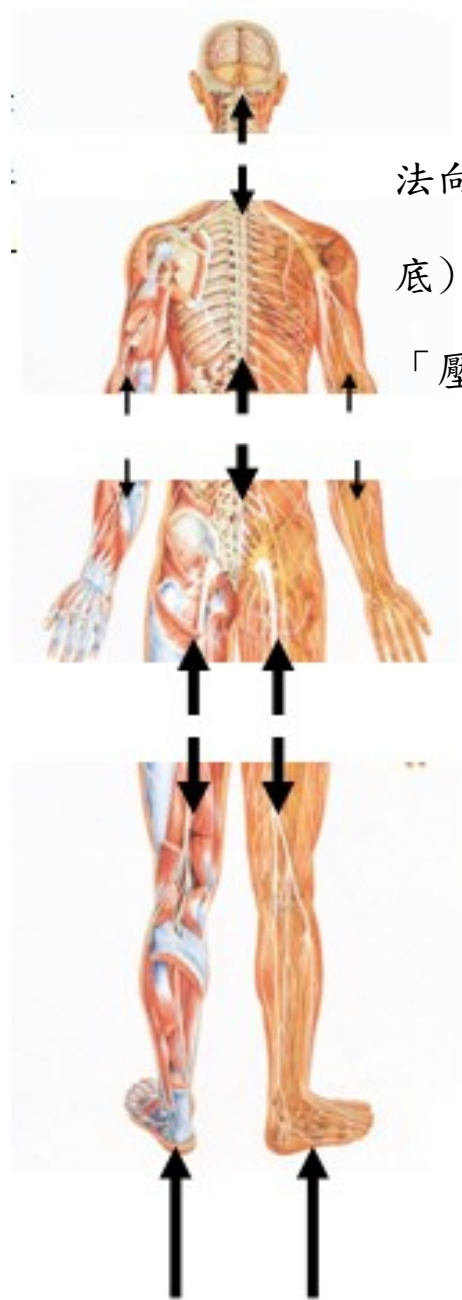
P、Q 如是，身體任何部份皆如是。

即是當人在自由跌下時，肌肉、關節、骨骼之間完全沒有擠壓；身體各部份之間互不施力。在這情況下，我們身體的觸覺神經是不會感覺到任何力。

平日，我們的確又可以感覺自己的重量。這是甚麼一回事？

平日，我們不會是自由落體 (free falling)。我們站在地上「踏實地」生活。就是地面施於我們的法向反作用力 (法向力、承托力、正向力、normal reaction force) 令我們感覺自己有多重。

法向反作用力和引力不同，它只是作用在我們的腳底或身體某一部分。這個力是由接觸點起始，然後傳遍身體各部份。如何傳遞呢？就是通過各部份的接觸、壓擠來把力傳遞（像以上討論的「情況 A」）。身體各部份的壓擠就令滿佈我們身體的神經網絡感覺到力的存在。



法向反作用力 R 由作用點（腳底）開始，經身體各部份的「壓擠」來傳遍全身。

法向反作用力 R

當人靜止站在地上。以因果次序來說「力」和「感覺」的出現：

(i) 人受地心吸力作用，所以人 **有** 了重量。但此時人還 **未** **感**  
**覺** 到自己的重量。

(ii) 人站在地上。受制於客觀環境，人不能跌下。地板施於腳底  $R$ ；這個  $R$  以肌肉、骨骼之間互相壓推的形式來傳遍全身，以使身體任何部份皆可靜止不動。身體任何 (大或小) 部份，從引力場得到的重量和從腳底傳上來的法向反作用力抵消。

就是這個 **法向反作用力  $R$  從腳底傳上來的過程中令我們感覺到力** 了。 $R$  有多大，我們就感覺有多大的力。

補充：

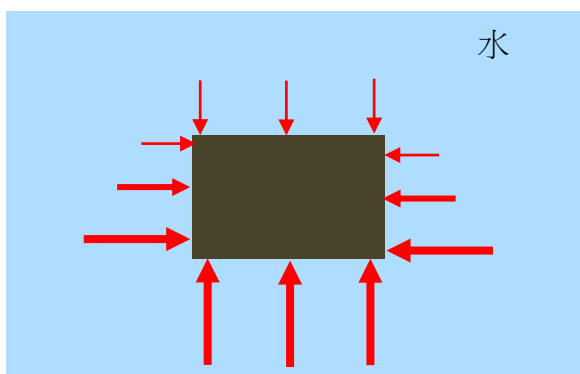
1. 法向反作用力  $R$  有多大，我們就感覺有多大的重量。此稱之為表觀重量 (apparent weight) 。

2. 所謂“g 耐力 (g-force tolerance)” ，即是人體可忍受多大的 R。若 R 太大，肌肉、關節、骨骼、神經之間的壓擠太大，會造成損傷。經訓練的人可忍受高達 20g 的力 (即是平時體重的 20 倍)。
3. 若把人吊起，那令人有重量的感覺不是來自法向反作用力 R，而是張力 T。張力也是從作用點開始而傳遞至全身。傳遞的方式是拉扯，而不是壓擠。
4. 太空人接受「失重」訓練，其中一個方法是把太空人放入一個大水池。這是利用水的浮力來取代 R，令太空人有較接近「失重」的感覺。



當物體浸入水中，物體受壓強 (pressure)作用。壓強有別於力，前者是標量(scalar)，而後者是向量(vector)。「壓強」變成「壓力」，是「壓力」必定垂直物體表面並且向內。所以浸入水中的物體受「力」向內「壓」著整個物體。大家知道，水越深，水的壓強越大。世間物體(薄如一張紙)皆有厚度，所

以當物體浸入水中，物體底部受到的壓強定比頂部受到的大。



左右的壓力可抵消，但上下的壓力不能抵消。上下壓力造成一向上的淨力施於物體，此力稱之為「浮力」。

人浸入水中，只是有近乎「失重」的感覺，但不是完全「失重」的感覺。浮力只作用於整個人的表面，不能作用於身體內每部份。這樣只是把原來作用腳底的承托力  $R$  分散於整個人表面。因此，身體內肌肉、骨骼、神經之間的壓擠會大大減少，但不是完全消失。

近日人們喜歡向人工智能問問題。筆者也湊個熱鬧，問問 Poe 的 gpt3.5 “Why do people submerged in water have the feeling of weightlessness?”

以下是它的回答。

When people are submerged in water, they often experience a sensation of weightlessness due to the buoyant force acting on their bodies. This feeling occurs because the human body is less dense than water, causing it to float.

The buoyant force is the upward force exerted by a fluid on an object immersed in it. It is equal to the weight of the fluid displaced by the object. When a person enters the water, their body displaces an amount of water equal to their weight. The upward force exerted by the water (buoyant force) counteracts the downward force of gravity, resulting in a net force of zero. This absence of a net force gives the sensation of weightlessness.

Additionally, the buoyant force also helps support the body, making it easier to move and float in water compared to on land. This reduced sensation of weight can give the impression of weightlessness.

It's important to note that the feeling of

這個答案完全不及格。最敗筆是第二段最後的一句 “This absence of a net force gives the sensation of weightlessness” ！

\* \* \* \* \*

吳老師 (Chiu-king Ng)

電郵：[feedbackWZ@phy.hk](mailto:feedbackWZ@phy.hk) 其中 WZ 是 23 之後的質數