

# 從學生對牛頓第三定律的迷思概念探討教學上的一些問題

邱韻如

長庚大學 通識教育中心

yjchiu@mail.cgu.edu.tw

<http://memo.cgu.edu.tw/yun-ju/index.htm>

## 摘 要

從國小、國中、高一到高二的物理教材中，牛頓第三運動定律不僅重複出現，教的內容也都大同小異，本研究發現，學生在經過這樣螺旋式的反覆學習後，對牛頓第三運動定律仍然有很多迷思概念。本文提出診斷的方法，並對這些迷思概念的原因進行分析與討論，由此探討教學上的一些相關問題。本研究的對象是 905 位大一理工科新生，並面談幾位高中物理教師及理工科系高年級學生進行更深入的瞭解。本研究期望能發揮拋磚引玉之效，讓更多教師瞭解學生的迷思概念，將概念診斷的技巧及概念改變的教學策略靈活的運用在教學上，並能發展更多有效診斷學生迷思概念的試題與教學法。

關鍵字：反作用力、力平衡、力圖。

## 一、前言

牛頓三大運動定律在物理上有其不可磨滅的重要地位。從國小、國中、高一到高二的物理教材中，牛頓運動定律都會重複出現。以第三定律來說，在這樣螺旋式的課程設計中，教的內容都大同小異，學生大都能背誦出內容：『每個力都有其反作用力，二者大小相等、方向相反、作用在不同物體上』，有的可能還會加上一句：『所以不能互相抵銷』。是不是把這些話背起來，就能瞭解與掌握這個定律了呢？隨著年級的增加，學生對這個定律的瞭解與體會是否隨著增加？到了大一理工科系的普通物理課，是不是還應該再重複教一次？

學習力學問題通常是從畫『力圖』開始，找出力，並用箭頭的長短代表力的大小，是畫力圖的基本觀念。普通物理的課本將力圖稱之為 free body diagram，通常中譯為『自由物體圖』，從字意上是很難理解其意義的<sup>1</sup>。我在教授大一普通物理時，為了解釋 free body diagram，設計了一份概念試卷(圖 1)，在進入『力與運動』單元之前實施。這份問卷的目的是先讓學生將自己的想法表達出來後，再利用概念改變的教學策略，讓學生認清自己的迷思，藉此一方面讓學生重新認識牛頓第三運動定律，一方面是要從『化簡為繁』的過程中，引導學生體會 free body diagram 是怎樣『化繁為簡』的，由此讓學生明瞭力及力圖(free body diagram)的意義。在這個過程中，我發現學生對牛頓第三定律其實存在著很多迷思概念，本文除了提出診斷的方法之外，並整理提出學生想法的迷思所在，由此探討教與學上的一些相關問題。

<sup>1</sup> 因篇幅有限，本文不擬討論 free body diagram 的字意問題與教學過程，而直接稱之為『力圖』。

## 二、研究方法與對象

這份試卷共有六題，請學生在每一題的圖上畫出力及找出每一個力的反作用力。在發下試卷時，我先要學生說出牛頓第三運動定律的內容，並提醒學生要注意箭頭的長短，如果大小相等，就要畫一樣長，因為每個力都有反作用力，因此每一題找到的力的數目應該都是偶數。本文所統計的有效樣本共 905 位，包括工學院(電子系、機械系、電機系、化材系等)704 位及醫學院(中醫系、物治系、職治系) 202 位。測驗都是在新生入學的第二週左右進行，本文僅討論分析前二題，後四題的重點在於靜摩擦力和動摩擦力的分別以及力的分解問題，故不在本文中作討論。

為了進一步瞭解學生的概念，我另外挑選了一題選擇題(圖 2)，以面談的方式進行深入瞭解，對象是幾位高中老師及幾位理工科系高年級生和研究生。

## 三、結果與討論

### (一) 落在半空中的蘋果

學生都知道這顆蘋果受到重力的作用，但是這個重力的反作用力呢？雖然我強調每個力都有反作用力，還是有一些學生只畫出重力一個力；從表 1 中可以看到，有高達 41% 的大一新生指出重力的反作用力是空氣阻力，而且有些學生還很明顯的將二個力的長短畫得不一樣(如圖 3(a))。

力在哪裡？

請畫出下列情況中的力，並指出這些力的反作用力。

<p>1.</p> <p>共找到 2 個力</p>	<p>2.</p> <p>共找到 2 個力</p>
<p>3.</p> <p>共找到 4 個力</p>	<p>4.</p> <p>共找到 4 個力</p>
<p>5.</p> <p>共找到 4 個力</p>	<p>6.</p> <p>共找到 6 個力</p>

### (單選題)

如圖所示，有人施力  $F$  於一放置在桌面上的木塊。設  $w$  代表木塊所受之地心引力， $N$  代表桌面作用於木塊之力。下列敘述何者正確？

- (A)  $F$  與  $w$  互為作用力與反作用力
- (B)  $F$  與  $N$  互為作用力與反作用力
- (C)  $w$  與  $N$  互為作用力與反作用力
- (D)  $F$ 、 $w$  與  $N$  三者同時互為作用力與反作用力
- (E)  $F$ 、 $w$  與  $N$  三者中沒有任何作用力與反作用力的關係。

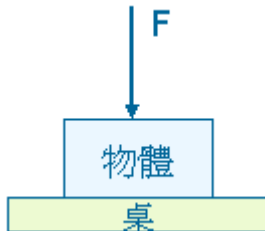


圖 1、找出力與其反作用力(已作答的一份試卷) 圖 2、作用力與反作用力的測驗題 (答案為 E)

會有那麼多的學生提到空氣阻力，是因為在做這個測試的前一節課才剛分析討論過物體在有空氣阻力的影響時落下的情況，因此學生都記得有空氣阻力，也應該都還沒忘記空氣阻力的大小是會隨速度而改變的。但是，學生在回答這一題時，雖然『大小相等、方向相反、作用在不同物體上』都背得琅琅上口，但此時卻『忘了』想到：空氣阻力和

重力符合『大小相等』嗎？空氣阻力和重力是作用在『不同』物體上嗎？甚至，有些學生似乎還『忘了』重力就是地球和蘋果之間的萬有引力(如圖 3(b)、圖 4(d))。

表 1：落在半空中的蘋果(第一題)

概念代號	概念	人數百分比
G1	只畫出重力一個力沒有畫其反作用力	6% (54/905)
GA	畫出重力與空氣阻力，認為重力的反作用力就是空氣阻力	41% (372/905)
GE	★畫出重力及其反作用力，認為重力的反作用力是蘋果吸地球的力(沒有畫空氣阻力)	19% (169/905)
Y	★畫出二組力互為作用及反作用力：重力及其反作用力(蘋果吸地球的力)，空氣阻力及其反作用力	23% (208/905)
其他	空白或不屬於以上分類	

蘋果的重力是地球吸蘋果的力，它的反作用力當然是蘋果吸地球的力。那麼，空氣阻力的反作用力是什麼力？空氣阻力是空氣作用在蘋果上的力，可說是空氣摩擦蘋果的力，所以它的反作用力就是蘋果摩擦空氣的力，姑且把它叫做『蘋果阻力』。這個力有什麼用呢？因為大概不會有人去關心蘋果下落時會對空氣造成什麼影響，所以沒人會提到這個力，但這並不表示它不存在。因此，在這一題的情況中，至少可以找到四個力：重力(地球吸蘋果的力)、重力的反作用力(蘋果吸地球的力)、空氣阻力及其反作用力(『蘋果阻力』)。本研究的樣本中，找到這四個力的大一新生只有約 23%，如圖 3(c)是正確的，但如圖 3(d)雖然大小畫得不一致，力的標示是也有點小錯誤，還是歸於此類。

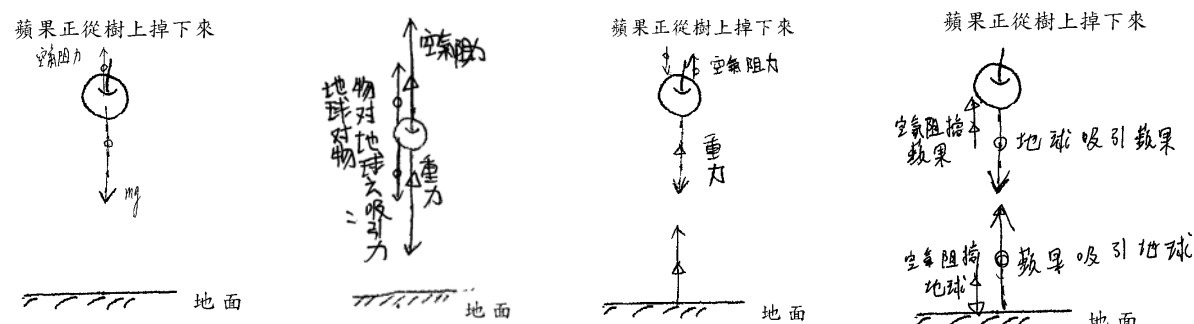


圖 3(a)、學生編號 95109 圖 3(b)、學生編號 94131 圖 3(c)、學生編號 95120 圖 3(d)、學生編號 95252

(二) 靜置在桌上的蘋果

從表 2 可以看到，有高達 52% 的大一新生都指出重力的反作用力是正向力，這是一個非常普遍的迷思概念。蘋果的重力就是地球吸引蘋果的萬有引力，因此其反作用力就是蘋果吸引地球的力，正向力是桌子頂蘋果的力，因此其反作用力是蘋果壓桌子的力，能指出這四個力的大一新生約只有 16%。

表 2：第二題靜置在桌上的蘋果

概念代號	概念	人數百分比
ATAE	★畫出二組力互為作用及反作用力：蘋果壓桌子←→桌子頂蘋果；地球吸蘋果←→蘋果吸地球	16% (143/905)
GN	畫出重力←→正向力，認為重力的反作用力為桌子的正向力。	52% (471/905)
GNZN	畫出重力及其反作用力；正向力及其反作用力(但沒註明反作用力是什麼力)	7% (64/905)
其他	空白或不屬於以上分類	

為什麼有這麼多學生會產生誤解，以為正向力和重力是一對(作用和反作用的關係)呢？物理課本上常見到重力和正向力同時作用在蘋果上的圖，它們『大小相等、方向相反』作用在蘋果上，因此蘋果所受的合力為零，所以保持靜止不動。類似這樣的圖常出現在課本敘述牛頓第三定律的附近，是不是課本沒寫清楚，造成誤解？我翻閱高二物理課本，包括現行的龍騰版和南一版以及更早以前國立編譯館所編的高中物理課本(民國 77 年版)，都強調正向力和重力彼此並不是作用力與反作用力的關係，並清楚的標示出正向力與其反作用力、重力與其反作用力四個力。學生的誤解可能來自於將互為平衡的二個力當作是作用力和反作用力的關係，而『忘了』考慮是不是作用在不同物體上。

從圖 4 的幾個例子可以看到，即使知道重力的反作用力不是正向力的學生，還是有其他的迷思概念。從圖上可以明顯看到，學生所畫的這二組力的箭頭長短並不相等。圖 4(a)沒有指出這二個反作用力是什麼力，其他三個圖則將每個力的名稱都標示出來。我在施測時，特別強調箭頭的長短代表力的大小，是這些學生在作圖時『忘了』這回事，還是根本認為它們的大小是不同的？

從這幾個圖中，我們還懷疑，有些學生對『重力』的定義似乎有點混淆。圖 4(c)中，重力<sub>地球</sub>和那  $mg$ <sub>物桌</sub> 大小相等嗎？是同一個力嗎？圖 4(d)的學生認為重力的反作用力是正向力，但他還畫了另一組力：『地球 to 物之引力』和『物 to 地球之引力』，這位學生會不會認為重力和『地球 to 物之引力』是不一樣的力？

這裡的重力指的是地球吸引蘋果的力，它和『蘋果壓桌子的力』是不是同一個力？這是一個好問題。這二個力大小相等、方向也相同，但受力者不同，前者的受力者是蘋果(施力者是地球)，後者則是桌子(施力者是蘋果)。

在畫力圖時，如果以蘋果為考慮的系統，就要畫出蘋果所受的外力，也就是正向力(桌子頂蘋果)和重力(地球吸引蘋果)，這二力互相平衡可以相消，不是作用力和反作用力的關係。同樣的，如果以桌子為考慮的系統，問桌子受到哪些力，那就要把『蘋果壓桌子的力』畫出來了。再進一步思考，桌子頂蘋果的力(正向力)和蘋果壓桌子的力，是作用力和反作用力的關係，這二力真的不能相消嗎？如果把『蘋果加桌子』當作一個系統，那麼，蘋果和桌子之間的正向力及其反作用力就變成了內力，其實就可以互相抵銷了。在力學問題上，系統的取決是很重要的，而這也是力學問題的一個癥結。因此，作用力與反作用力是不是真的不能互相抵銷，要看考慮的系統來決定，馬拉車問題就是一個有名的例子：馬認為不管牠用多大的力量拉車，車子一定會產生一個大小相等方向相反的反作用力拉牠，所以馬認為拉也是白拉。這是一個很好的觀念討論題。

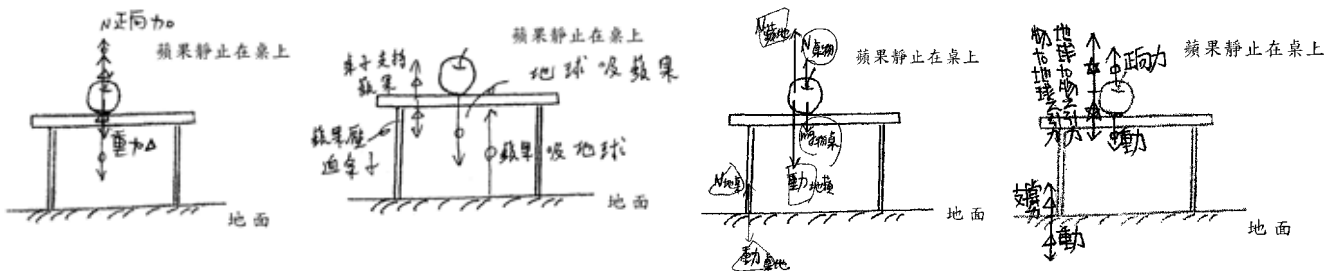


圖 4(a)、學生編號 94101    圖 4(b)、學生編號 95252    圖 4(c)、學生編號 95232    圖 4(d)、學生編號 94131

兩題一起統計，我們發現，在第一題中認為重力的反作用力是空氣阻力(GA)且第二題認為重力的反作用力是正向力(GN)的學生高達 31%(278/905)。二題都能正確指出反作

用力的學生只有 12% (110/905)(第一題=GE or Y 且第二題=ATAE)

### (三) 施力 F 於桌上的物體

我以一個常見的測驗題(圖 2)為例,隨機訪問了幾位高中物理老師,說法都很一致:

- 高中物理教師 A: 我覺得這是一個好問題, 預估答對率大概不會比 30% 高太多吧! 我的教法是要求寫出施力者與受力者, 再去找關係, 如果他們的英文主動式與被動式都搞不清楚, 想答對這題就只有猜對一途了。
- 高中物理教師 B: 我通常會要學生在力的旁邊下標桌地、地桌、桌書、書桌以表示誰對誰的作用力, 學生就容易分辨『桌地』跟『地桌』的才是互為作用力與反作用力。
- 高中物理教師 C: 其實這一題對高中物理老師來說看似簡單, 其實不然, 我問過大部分的學生都答錯(10 個大概 8 個答錯), 他們將反作用力與平衡力搞混了, 甚至作用力反作用力的概念不太懂, 在課堂上講解時我會先舉『人推牆壁』的例子和『甲乙兩人互推』的例子來說明作用力與反作用力的概念。『人推牆壁』的例子中人與牆壁是交互作用的, 人推牆壁同時牆壁也推人, 故人与牆壁為作用力與反作用力, 經過一番口舌後學生會比較容易理解這個概念。

這幾位教師都是採用『找出施力者與受力者』的策略來解決問題。我們不禁質疑, 難道學生找不出施力者與受力者嗎? 為此, 我面談了幾位理工科系的高年級生及研究生, 先幫他們複習牛頓第三定律的內容後, 請他們選出答案及說明理由:

- 學生 A: 答案是 D, 因為  $N=F+W$  的關係。師: 答案不對。學生 A: 那就是 E 囉? 師: 為什麼是 E? 請說出理由。學生 A: .....

我教他找出施力者與受力者的策略(教師 B 的說法)之後, 他就說他懂了, 但是當我要他找出 N、F 和 W 的反作用力, 他又開始迷惑。他還是沒有使用找每個力的施力者與受力者的策略, 他一直喃喃說  $N=F+W$ , 說不出為什麼選項 E 說三者之間沒有作用力與反作用力的關係。

- 學生 B: C? 師: Why? 學生 B: 我覺得好怪, 我怎麼認為是  $F+W=N$ ? 師:  $F+W=N$  沒錯啊! 學生 B: 可是沒有這個選項啊? 難道要選 E? 師: 沒錯, 知道為什麼嗎? 學生 B: 因為唯一有關係的就是  $F+N=W$ 。F 沒有相對應的, W 沒有相對應的, N 又是只有與  $F+W$  才相對應。所以彼此沒關係? 這樣說對嗎?

在力學問題中,  $N=W$  是一個很根深蒂固的概念, 學生 B 剛開始會選 C 可能就是根據這個直覺。他和學生 A 一樣, 在『 $N=F+W$ 』和『 $N=W$ 』二個概念中產生衝突, 他對答案 E 不是非常肯定, 在整個過程中, 他同樣沒有用到找施力者與受力者的策略, 而是從『大小相等方向相反』來找反作用力, 也就是他所謂的『對應』的意思, 他認為這三個力兩兩之間沒有『對應』的關係, 所以就選 E。

- 學生 C: 答案 D。師: Why? 學生 D: 因為 F 與 W 為同方向之力不可能為第三運動定律, 而 N 與 W 也不可能是第三定律, 所以 W、F 與 N 為作用力與反作用力關係。師: 你是說誰跟誰是作用力與反作用力的關係? 學生 D: W、F 這二個力是 N 的反作用力啊。

學生 C 從『大小相等方向相反』出發, 他將『W、F 與 N』解讀為認為是『W 和 F 的合力(或這二個力)』是 N 的反作用力。從這裡我們可以看到, 這些學生都習慣採用『大小相等方向相反』來找反作用力, 而不使用『找出施力者與受力者』的策略, 他們用力的平衡來找反作用力, 『忘記』第三定律還有『作用在不同物體上』這句話。

此外, 這幾個選項似乎沒有貼切的抓住學生心中的想法, 即使選對的學生也並不代表他們的想法正確。如果不是透過面談, 我們很難真正瞭解學生的想法, 這是選擇題常出現的問題。我們的中學生的學習模式是以大量的測驗題及反覆練習為主, 他們通常只要使用消去法或利用對第三定律的片面知識, 就可以速戰速決的選出答案來, 他們沒時間也沒習慣去做更深入的思考與質疑; 對老師來說, 也難以從選擇題中知道學生觀念的迷思在哪裡。試問, 學生在做這題時, 會去想 F 的反作用力是哪個力嗎? 他會去想到,

這裡的  $N$  比  $W$  還大嗎？他會不會從  $N$  比  $W$  的這個現象而更進一步瞭解正向力  $N$  的特性？（註：在此題的情況下，正向力  $N$  的大小會隨  $F$  的不同而不同！）

#### 四、進一步的討論

從上述的分析，我們看到，學生最容易犯的錯誤是混淆了反作用力的問題和平衡問題，片面的用『大小相等方向相反』的策略來解題，同時我們也看到不少學生連『箭頭的長短代表力的大小』這樣基本的概念都沒有，以及對『重力』的定義甚至還有許多歧異。學生會『忘記』注意箭頭長短，會『忘記』要作用在不同物體上，甚至『忘記』重力就是地球吸引蘋果的力等等，都不是因為記性不好，而是對相關的概念不清楚。除此之外，我們再來重新檢視一下這個定律及學生的迷思概念：

- （一）作用力與反作用力的『對立性』：大多數學生都著眼於作用力與反作用力的『大小相等、方向相反』，片面的用這個『對立性』來解題。如前所述，這個性質和力平衡問題是一樣的，因此容易造成混淆。本文中已舉了很多相關的迷思概念。
- （二）作用力與反作用力的『交互性』：有作用力必有反作用力，二者同時產生，同時消失，分別作用在二個物體上，這就是『交互性』，本文中幾位物理老師在教學時所強調的『找出施力者和受力者』的策略就是著眼於這個定律是兩兩物體之間的交互性，前述有學生認為  $N$  的反作用力是  $W$  和  $F$  二個力，就是忽略這個性質。
- （三）作用力與反作用力的『同一性』：作用力與反作用力的性質是相同的：作用力是超距力，反作用力也是超距力；作用力是接觸力，反作用力也是接觸力；因此摩擦力的反作用力是摩擦力，萬有引力的反作用力也是萬有引力。這是非常基本的觀念，也許是因為太基本了，物理教科書幾乎從未提及<sup>2</sup>，很多老師也不知道學生會在這個概念上出問題。我在學生做完問卷之後的檢討時，一提出這個性質，學生都覺得非常有道理，而有恍然大悟的感覺。
- （四）某些情境中，反作用力常被忽略：通常課本或老師都會舉人推牆壁、二人穿溜冰鞋互推、火箭升空、水中划船等例子來說明反作用力。在其他常見的問題，如自由落體、靜置桌上的蘋果、斜面運動等等問題中，在討論正向力、摩擦力時，幾乎沒有聽過它們的反作用力。因此，在這些情境中，學生也似乎『忘了』有反作用力的存在？我在教完作用力與反作用力及力圖 (free body diagram) 的概念後，一定會特別舉二個例題讓學生能充分體會摩擦力的反作用力和正向力的反作用力不是沒有用處的，這些力會不會被畫在力圖上，端看所考慮的『受力者』（也就是所謂的『系統』）是什麼。

#### 五、結論與建議

在整個物理教學上，很多老師和學生都把時間及力氣放到繁瑣的計算上，相對於此，牛頓第三定律只是小小的甚至不起眼的一個概念。學生的問題不在於沒有能力去判斷每個力的施力者是誰、受力者是誰，他們缺乏的其實是對整個牛頓第三定律全面性的瞭解，甚至是畫力圖的基本概念。在中學的教學中，常是以大量的選擇題為主，在必須速戰速決寫出答案的訓練中，學生只要運用片面的概念就能用消去法選出答案。因此，

<sup>2</sup> 我是在閱讀繆克成所著的《論作用中的反作用—力學的故事》一書中得知此概念的。

從國中到高中，雖然以螺旋式的方式重複學習，但對此定律的學習深度卻沒有加深，學生的概念往往是片面的、膚淺的，而且其概念迷思還越來越加深。

就像本文所提的，教科書已清楚的陳述了重力的反作用力不是正向力的理由，但是還是有很多老師不知道會有那麼多學生會以為重力的反作用力是正向力。選擇題，往往看不出也測不出學生的真正想法，因此在教學上，應該多採開放式的問題，讓學生有機會表達出他的想法以及作較整體的思考，當他講出或寫出他的迷思概念時，老師才能根據學生的困難點及概念的盲點出發，製造認知衝突，才有可能打通學生的任督二脈，讓學生真切瞭解自己錯誤所在而打破迷思。

本文提出了許多學生學習牛頓第三定律時的迷思概念並作分析討論，期望能發揮拋磚引玉之效，讓更多教師能發展有效診斷學生迷思概念的試題及概念改變的教學策略。

#### 參考文獻：

1. 牛頓著，王克迪譯：自然哲學之數學原理，大塊文化，2005 年初版，ISBN 986-7600-97-5。
2. 邱韻如(2006)：大一普物教學的迷思之我見我思，發表於物理雙月刊，28 卷 3 期，2006 年 6 月。
3. 繆克成：論作用中的反作用—力學的故事，凡異出版社，1999 年初版，ISBN 957-694-286-1。