科學圖書大庫

大學物理學(上)

譯者　吳劍秋

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會
監修人　徐銘信　發行人　王洪鎧

科學圖書大庫

中華民國六十八年八月二十日初版

大學物理學(上)

基本定價　6.00

譯者　吳劍秋　台灣大學物理碩士

(67)局版臺業字第1810號

出版者　財團法人 臺北市徐氏基金會　臺北市郵政信箱53-2號　電話 7813686 7815250號
發行者　財團法人 臺北市徐氏基金會　郵政劃撥賬戶第15795號
承印者　大原彩色印製企業有限公司　北市西園路2段396巷19號　電話：3611986

譯　　序

本書是F.W. Sears，M. W. Zemansky，與H.D. Young 三位教授所著的 " University Physics "，1976 年所印行之第五版。該書自 1949 年（第一版）發行以來，廣受歡迎，世界各大專院校競相採用爲課本，在國內之情形亦屬如是。

本書是爲大學理工科系同時在修習微積分的同學而寫的；內容豐富，深入淺出。全書分爲上下兩冊，上冊包括力學、熱學與聲學，下冊包括電磁學、光學與原子物理學，共計四十六章，習題達一千四百五十餘道之多！

筆者承徐氏基金會之命迻譯此書，措詞用句，力求簡潔流暢，惟以才疏學淺，疏誤之處，在所難免，尚祈讀者匡正是幸。同時，並向黃振麟教授的指點深致謝意。

吳劍秋　謹識
民國六十八年五月

目　　錄

第七章 功與能

第八章 衝量與動量

第九章 轉 動

第十章 彈性學

第十一章 諧運動

第十九章 熱力學的定律

第二十章 物質的分子性質

第二十一章 行進波

第二十二章 振動性

第二十三章 聲學現象

第一章　向量之合成與分解

1-1　力學中的基本不可定義量

物理學被稱之爲量度或測量的科學。英國的克爾文爵士（Lord Kelvin，1824～1907）曾講過這樣的話："我常說，當你對所述及的事物能夠量度，且能以數字表達出來，則你對它已有所知曉；倘若你不能以數字將其表出，那麽你的知識就顯得貧乏而不充分了；充其量，此或可視之爲知識之開端，但就你的思想而言，則尙未踏上科學的台階。"

對於一個物理量的定義，必須提供一套能以其它物理量計算此量的法則；同時，那些其它的物理量還必須是可以被測量的。例如，當我們將"動量"定義爲"質量"與"速度"的乘積時，則對於動量之計算法則，便已經被包括在此一定義之中，剩下的就是如何去測量質量與速度了。我們知道，速度是用長度與時間兩者來定義的，但對於長度與時間的本身，則再也無法找到一些更簡單更基本的物理量去定義它。故而，我們說，長度與時間是兩個在力學中無法下定義的物理量。事實上，我們都知道，力學中的任何物理量，均可以只用那三個無法下定義的物理量（即最基本的三個）將其表出，除了上述二者之外，第三者可以選取"質量"或"力"都行！我們將選用質量作爲力學中第三個無法下定義的物理量。

在幾何學裡面，基本上無法下定義的量是"點"，數學家只要求習者，在他自己的腦海中所建立有關點的圖案，能夠和幾何學對於點所敍述的概念相符合便可，並不非要你把它想像成一個什麽樣子的東西。在物理學中，物理量並不會像"點"那樣的抽象難懂，全世界的物理學家在會議桌上，曾共同協訂出對於那些無法下定義的物理量之量度法則，而這些量度法則，就用來作爲它們的定義，這種方式的定義，又稱之爲"操作型定義"（Operational definition）。

1-2　標準與單位

一個國際性的度量衡委員會，曾制訂了一套有關力學中那些無法下定義的物理量之量度法則。該委員會的主要任務之一，便是對每一個這樣無法下定義的物理量，決定一個標準。作爲一個標準，它可能是一個實物，其某些主要的特性必須耐久不變。故而在1889年，就曾採用一根用鉑-銥合金製造的米尺棒，作爲長度的標準，這是因爲此一合金的化學結構與組織非常的穩定。然而，它在收藏與使用上亦有其不便之處，因爲作爲世界標準而言，各國

都得照此仿造一個，每到一定時期之後，還得將那些複製品與最原先的那個世界標準加以比較，檢查是否有所變化與不符 。在1960年10月14日，度量衡委員會改採氪-86原子所發射橙紅色光波的波長來制訂長度的標準。在複製方面來說，這麽一種標準遠比前者來得便利與精確。

質量的標準則是一個鉑・銥合金的圓柱體，其大小我們稱之爲一千克，存放在巴黎附近的Sèvres國際度量衡局。

至於時間的標準，在1960年以前，係就一年之中，取太陽每相鄰兩次經過我們頭頂的時間間隔，加以計算其總平均值，所得之結果稱爲平均太陽日。自1960年至1967年期間，則改用一種稱爲1900回歸年（Tropical year 1900）的標準，此即太陽自天空中的某一確定點，稱之爲春分點（Vernal equinox）者，在出發後於1900年返回至此點的這段時間。在1967年10月，又改採銫-133 原子在輻射過程中，其內部某兩條超精細能階間的躍遷週期來制訂時間的標準。

表 1-1　標準與單位（1969）

	標　　準	測量裝置	單　　位
長　度	Kr^{86} 橙紅色光波波長	光學干涉儀	1米＝1,650,763.73倍波長
質　量	鉑-銥合金圓柱體，1千克	等臂天平	1千克
時　間	Cs^{133} 原子內某兩能階間的躍遷週期	原　子　鐘	1秒＝9,192,631,770倍銫週期

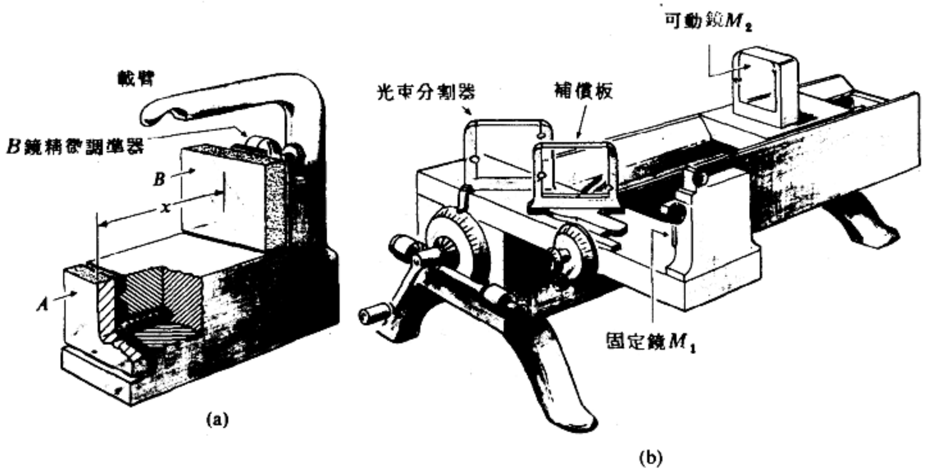

圖 1-1　利用光波波長來表達距離 x 的測量裝置；(a) 標準具；(b) 邁契遜干涉儀。

有關上述三種標準的資料摘錄在表 1-1 中。

某一標準選定之後，下一步驟乃是採用一套裝置與方法，將某一未知量與此標準加以比較之。例如，我們現在來看看圖 1-1 中的情形。圖 1-1 (a) 所示者爲一標準具，圖 1-1 (b) 是一邁契遜干涉儀 (Michelson interferometer)，我們的目的是，欲求出 (a) 圖中 A、B 兩鏡間的距離 x，究竟相當於多少倍氪-86 橙紅色光波的波長。首先，使干涉儀中那塊可動鏡 M_2 與標準具中的鏡 A 位置重合，然後，此一可動鏡將慢慢移動，直至其位置與鏡 B 重合時爲止；在此移動過程時，我們在望遠鏡中將可觀察到有橙黑相間的干涉條紋，陸續地通過望遠鏡中的十字線，並可計算其條數；根據光學原理，每通過一完全的干涉條紋，即表示鏡 M_2 剛好移動了半個波長。而一米的長度，在此種方式的定義下則爲：

1 米 = 1,650,763.73 倍氪-86 橙紅色光波的波長。

米制單位系統，通常是在科學與工業技術方面用得較多，某些有關的長度單位爲 (以米作爲基本單位表出)：

1 埃 (angstrom unit) = 1 Å = 10^{-10} 米 (光譜學家所採用)，

1 毫微米 = 10^{-9} 米 (光學儀器設計者所採用)

1 微米 = 10^{-6} 米 (生物學中常採用)

1 毫米 = 10^{-3} 米

1 厘米 = 10^{-2} 米 (最常用者)

1 千米 = 10^{3} 米 (歐洲人常用的一個距離單位)

上述各單位在數式運算的書寫時，我們全部採用其原文字母中的第一個字母來作爲簡寫的代表符號，例如：

1 厘米 = 1 cm　餘類推

由於十進位制度的使用便利，我們在表 1-2 中列出了各種十進位"量"的大小表示法，及其所用的代表符號。故而，

1 千米 = 10^{3} 米 = 1 km

1 千克 = 10^{3} 克 = 1 kg

1 千瓦 = 10^{3} 瓦 = 1 kW

宜熟記表 1-2 中所載各項，俾我們在有所需要時，將可隨時獲得。

表 1-2　十進位制"量"的各項表示法

方次 (10 爲底)	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^{-2}	10^{3}	10^{6}	10^{9}	10^{12}
字首 (英文)	pico-	nano-	micro-	milli-	centi-	kilo-	mega-	giga-	tera-
(中文)	微微	毫微	微	毫	厘	千	兆	千兆	兆兆
代數符號	p	n	μ	m	c	k	M	G	T

在日常生活及工程方面，包括美國及大英國協在內的地區，其所採用的長度單位如下：

1 吋＝41,929.399 倍氪原子光波的波長或 2.54 厘米

1 呎＝12 吋

1 碼＝3 呎

1 哩＝5280 呎

把一標準仟克等分下去，所用的是一種稱之爲等臂天平的裝置，我們將在第五章中討論它。常用的質量單位爲：

1 微克＝10^{-9} kg

1 毫克＝10^{-6} kg

1　克＝10^{-3} kg

1 磅之質量＝0.45359237 kg

用於制訂時間標準的是一架銫原子鐘，那是一部複雜而昂貴的大型實驗室儀器。它具有異常高的準確性，其精確度可以達到一千億（10^{11}）分之一，甚或更佳。全世界所通用的時間單位是秒，並被訂爲

1 秒＝9,192,631,770 倍銫的週期

其它的時間單位還包括有：

1 毫微秒＝10^{-9} 秒

1 微秒＝10^{-6} 秒

1 毫秒＝10^{-3} 秒

1 分鐘＝60 秒

1 小時＝3,600 秒

1　日＝86,400 秒

1-3　物理量所採用的符號

我們將採用慣常的協定：以一個代數符號，例如 F，p 或 v，同時來代表一個物理量的數值與單位。例如，F 是一個物理量，它代表 10 牛頓的力；p 代表 15 牛頓米$^{-2}$ 的壓力，v 代表 15 米秒$^{-1}$ 的速度。

當我們寫下

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

之後，其中 x 如果是以米爲計算單位，那麼 $v_0 t$ 與 $\frac{1}{2} a t^2$ 這兩項的單位也必須是米。又若 t 的單位是用秒，則 v_0 與 a 的單位必須分別爲米秒$^{-1}$ 及米秒$^{-2}$。（因子 ½ 乃一純數字，不具任何單位。）v_0 的單位米秒$^{-1}$，亦可寫成米/秒，但負指數的書寫形式常來得更爲方便，故而本書全部都是採用此種形式來表達的。

舉一數字例題，在前方程式中，設 $v_0 = 10$ 米秒$^{-1}$，$a = 4$ 米秒$^{-2}$，$t = 10$ 秒，則

得

$$x=(10\text{米秒}^{-1})\cdot(10\text{秒})+\frac{1}{2}\cdot(4\text{米秒}^{-2})\cdot(10\text{秒})^2$$

上述單位之處理，正如同代數符號一般；第一項中的秒$^{-1}$與秒，及第二項中的秒$^{-2}$與秒^2，結果相互抵消了，故而

$$x=100\text{米}+200\text{米}=300\text{米}$$

在此，希望初學的同學們，當你們在做計算題時，每一物理量最好同時寫出它的大小及單位。本書所有的數字例題，都遵循此一方式。

1-4　力

力學是研究物體運動及其運動原因（力）的一門自然科學，它屬於物理學中之一支。我們在此先來研究一下“力”的意義，運動則留待第四章去討論。

當我們或推或拉一物體時，我們說這是人在對物體施力，但一無生命的物體亦可對另一物體施力。一根被拉伸的彈簧，對其兩繫結端均作用有力；被壓縮的空氣對裝載這些空氣的容器壁也施加有力；火車頭對其所拖運的列車廂施力。日常生活中，最爲我們所熟知的，莫過於地球對於地球上一切物體所施加的引力，物體所受到的地球引力，稱之爲該物體的重量。這種地球引力或稱之爲重力者（電力及磁力亦然），它可以毋需接觸，而穿越虛無一物的空間作用於一物體之上。物體間需要直接接觸，方能產生作用的力謂之接觸力；從原子尺度的觀點來看，接觸力主要是起因於物質中原子核與電子間的電力作用。

描述一力，我們須同時說明其方向與大小，所謂力的大小，乃是指用（力的）標準單位表示該力有“多大”或“多強”的意思。在第五章中，我們將可看到，力的單位是如何以質量、長度及時間各單位來訂定的。在米・仟克・秒單位爲（mks）中的單位是牛頓，簡寫作N。另一更爲熟悉的單位是磅，所謂一磅的力，即指1-2節中所提到的那個一標準磅質量的物體，所受到地球的引力之大小，而且必須指明是對地球表面上某一特定點而言者，這是因爲地球對一物體的引力，將隨物體在地球表面上的位置高度而略有變更。如果精確度不要求太高的話，則取緯度45°海平面上的位置便可。爲求利用力的單位去比較及量度某一未知力，則有賴於物體因受力而產生的某些可觀察的效應。這樣的效應，其一爲物體受力作用後，幾何形狀或大小將產生變化；另一則是物體將改變其運動狀態。上次兩種情形，均可以用來測量力。在本章中我們僅只討論前者，後者將於第五章中去討論它。

測量力最常使用的儀器爲彈簧秤，它主要是包括一線圈彈簧，一端固定，另一端附連有一指針，可在一標尺上移動，整條彈簧線圈裝於一保護匣內。當力作用於彈簧秤上時，則彈簧之長度隨着改變，並由標尺上得知其讀數。此秤可以校正如下：首先將一標準磅質量的物體，在海平面緯度45°地方懸掛於該秤上，刻記此時之位置爲一磅，然後利用此一刻度，複製任意多個標準磅質量，最後我們可以將這些複製品，逐一增加地懸掛至秤上去，依次而得到2磅，3磅等等的刻度。上述之程序，唯一假設的是當指針的位置相同時，則作用於秤

上之力亦相同，除外之外，並未對彈簧之彈性作其它之假定。經校正後的彈簧秤，可用於量度一未知力的大小；用類似的方法，亦可校正一條以牛頓爲單位的彈簧秤。

1-5　力的圖示法・向量

假設我們現在如圖 1-2 所示，用一繩拉之，或以一桿推之，使一箱在地板上滑動，此乃表示我們以力作用於箱而令其滑動。在此，我們所要討論的重點，並非是施加拉力或推力而使箱運動的物體本身，而是物體所施加於箱上的力。具體來說，設所施的拉力爲 10 牛頓，則僅只於圖上書寫出“10 牛頓”並不能完全描述此力，因它未表示出力的作用方向。我們可以寫做“10 牛頓，水平上方向右 30°”，或“10 牛頓，水平下方向右 45°”。而上面所述種種，如果我們採用一箭頭來代表力，則表達起來，更爲扼要。箭頭的長度，在選定的標尺下，可表出力的大小，而箭頭的方向即代表力的方向。圖 1-3 便是圖 1-2 的示力圖。（尚有其它力作用於箱上，但在圖中未曾表出。）

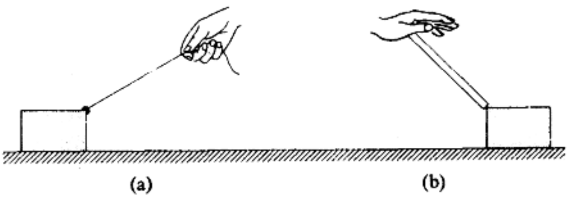

圖 1-2

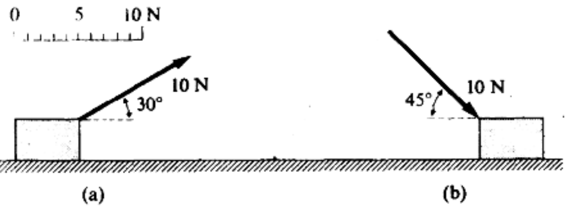

圖 1-3

力並非一個需要同時說明方向及大小的唯一之物理量。例如，速度便是另一個需要同時說明方向及大小的物理量，故我們只說一飛機之速度爲每小時 300 哩便是不完全的，另外還得知道其方向。至於體積的概念，則不會牽涉有方向問題。

像體積之類僅含大小的量，稱爲無向量。其它如力與速度，同時包含有大小及方向者，稱爲向量。任一向量可以一箭頭表示，該箭頭便稱爲一向量。（如須較確切敍述的話，則可稱之爲一力向量或一速度向量。）

某些向量，例如力即爲其中之一，若僅述其大小與方向二者，則猶不完全。因一力之效應，還和該力之作用線與作用點有關。（作用線爲一無限長之線，力向量即爲其中之一線段。）舉例來說，若某人沿着水平方向推一門，則施力在一定大小和方向的情形下，其效果還與作用線至鉸鏈間的垂直距離有關。若一物體是可以變形的，正如任何物體都會有某些程度的變形，則變形乃依據力的作用點而定。然而許多的眞實物體，在受力作用後變形甚微，故我們將假設所討論的一切物體，均爲完全剛體。作用於一剛體上的一已知力之作用點，可以傳遞至作用線上任何其它點而不變更該力之效應。故作用於一剛體上之力可視爲作用於其作用線上之任何處。

一向量在數學符號上，可用一粗體印刷的字母表示。同一字母的通常印刷體，則只代表其大小。故而力$\mathbf{F}$的大小以F表之。

1-6　向量的加法．一組力的合成

若兩向量具有相同的大小與方向，則謂之相等。在圖 1-4 中的三個向量$\mathbf{A}$，$\mathbf{B}$及$\mathbf{C}$，便是彼此相等的，我們可將其寫爲

$$\mathbf{A} = \mathbf{B} = \mathbf{C}$$

兩個相等的向量，並不要求具有相同的物理效應。例如我們曾經指出過的，具有相同大小與方向的兩個力，都可能有不同的作用點，故而對於一力的完全描述，除了大小及方向之外，還得把作用點包括在內。向量相等具有一特定的意義，故在本書中，我們用粗體印刷的"等"號，來提醒此一點。

兩向量的向量和定義如下。令圖 1-5 (a) 中的$\mathbf{A}$與$\mathbf{B}$爲已繪出的兩向量。則如 (b) 圖中所示，我們可在任何方便之處作出兩向量之和，$\mathbf{A}$的終端爲$\mathbf{B}$的始端，向量和$\mathbf{C}$便定義爲自$\mathbf{A}$之始點至$\mathbf{B}$之終點的向量。此一關係可表之爲：

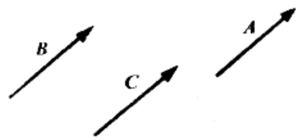

圖 1-4　三個在數學上相等的向量$\mathbf{A}$，$\mathbf{B}$及$\mathbf{C}$。

$$\mathbf{C} = \mathbf{A} + \mathbf{B}$$

顯然，向量的加法與通常數目字的加法不一樣；在本書中，粗體印刷的"加"號將被用於代表向量的加法。

在圖 1-5 (c) 中爲求兩向量和的另一圖解法，這時$\mathbf{A}$的始點爲$\mathbf{B}$的終點，所得之向量$\mathbf{C}$，在大小與方向上，與 (b) 中者相同，故此兩向量在數學上相等。所以，向量在相加時，其次序無關緊要，亦卽向量的加法，遵從一如代數加法中的交換律：

$$\mathbf{A} + \mathbf{B} = \mathbf{B} + \mathbf{A}$$

向量和$\mathbf{C}$的大小及方向，不但可以在一幅仔細繪製的圖中量度出來，同時也可以經由三角法計算而得。故此，若θ爲圖 1-5(b)中$\mathbf{A}$、$\mathbf{B}$兩向量間的夾角，則C的大小將由餘弦定律給出：

$$C^2 = A^2 + B^2 - 2AB\cos(180° - \theta)$$

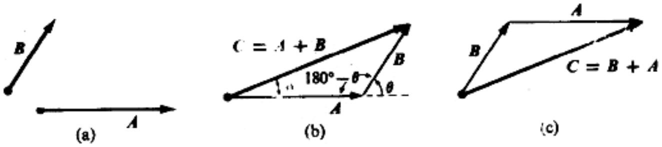

圖 1-5　向量$\mathbf{C}$爲$\mathbf{A}$，$\mathbf{B}$兩向量之向量和。
$\mathbf{C} = \mathbf{A} + \mathbf{B} = \mathbf{B} + \mathbf{A}$。

因對於任意角度 θ，$\cos(180°-\theta)=-\cos\theta$，所以上式亦可寫作

$$C^2=A^2+B^2+2AB\cos\theta$$

向量 $\boldsymbol{C}$ 與 $\boldsymbol{A}$ 間的夾角 α 可由正弦定律求之：

$$\frac{\sin\alpha}{B}=\frac{\sin(180°-\theta)}{C}=\frac{\sin\theta}{C}$$

有關求兩向量和的另一個方法如圖 1-6 所示，兩向量 $\boldsymbol{A}$ 與 $\boldsymbol{B}$ 都是由同一點畫出，其向量和 $\boldsymbol{C}$，便是由該兩向量作爲兩邊所構成的平行四邊形之對角線。

圖 1-7 說明當兩向量在相互平行（如圖 (a) 所示），或反向平行（如圖 (b) 所示）的特例下，向量和的求法。若二者相互平行，向量和 $\boldsymbol{C}$ 的大小等於兩向量 $\boldsymbol{A}$ 與 $\boldsymbol{B}$ 的大小之和。若二者反向平行，則向量和 $\boldsymbol{C}$ 的大小等於兩向量 $\boldsymbol{A}$ 與 $\boldsymbol{B}$ 的大小之差。

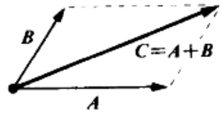

圖 1-6　求兩向量之向量和的平行四邊形法。

爲了說明與表示的清楚起見，在圖 1-7 中各向量的位量，畫圖時稍微上下移動了一點點，但實際上，它們是作用在同一幾何線上。

當我們求三個向量以上的向量和時，可先求出其中任意二者之和，再與第三個向量相加，並依此類推。上述程序，可由圖 1-8 說明之：圖 (a) 表四個向量 $\boldsymbol{A}$，$\boldsymbol{B}$，$\boldsymbol{C}$ 及 $\boldsymbol{D}$ 需要相加；圖 (b) 中，首先用三角形法，將 $\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$ 相加而得其向量和 $\boldsymbol{E}$，次用同一方法，將 $\boldsymbol{E}$、$\boldsymbol{C}$ 相加而得向量和 $\boldsymbol{F}$，最後，將 $\boldsymbol{F}$、$\boldsymbol{D}$ 相加而得向量和

$$\boldsymbol{G}=\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B}+\boldsymbol{C}+\boldsymbol{D}$$

顯然向量 $\boldsymbol{E}$ 與 $\boldsymbol{F}$ 可以不必在圖中畫出；我們祇要依次畫出各向量，前者之尾接着次者之頭，最後，聯接第一向量的始端至最末向量的終端，以完成此一多邊形，聯線所得者即爲向量和

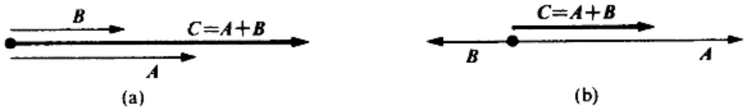

圖 1-7　兩個 (a) 平行，(b) 反向平行向量之向量和。

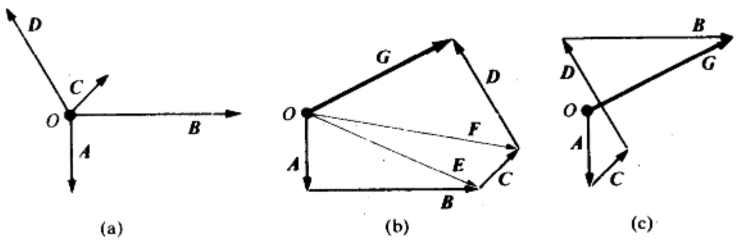

圖 1-8　向量相加的多邊形法。

G。各向量畫接之次序，並不影響其結果，此可從圖 (c) 中說明；讀者可以嘗試一下，其它可能的畫接方式。

現在來考慮下面的物理問題。在圖 1-9 中，向量 $\boldsymbol{F}_1$ 與 $\boldsymbol{F}_2$ 表示兩力，同時作用於一物體的同一 A 點上。是否在 A 點可以產生一單獨作用力，而得相同之效應？若果，則其大小與方向爲何？此一問題唯有根據實驗方能答覆；研究之結果說明了，兩力的向量和 $\boldsymbol{R}$，其在大小，方向與作用線所有各方面，正好與我們要找尋的單獨力等效。此一單獨作用力稱之爲原先各力之合力。由是，在兩個力向量之向量加法中所用的數學手續，適足相當於求同時作用於一點兩力之合力的物理運算。

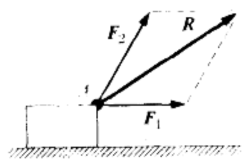

圖 1-9　一個力向量 $\boldsymbol{R}$，與兩個同時作用的力 $\boldsymbol{F}_1$ 及 $\boldsymbol{F}_2$ 之向量和，彼此相等而產生相同之效應。

$\boldsymbol{F}_1$ 與 $\boldsymbol{F}_2$ 的向量和，可仿圖 1-5 中所示的方法求得，你可在圖內任意方便處，採用頭尾銜接的方式畫出各向量；這樣所得之合向量，其大小及方向均與合力 $\boldsymbol{R}$ 一樣，但作用線却不一定相同。這是因爲 $\boldsymbol{R}$ 之作用線必通過 A 點。此即再次說明了，一個數學上的向量可作任意的位移（只要保持其原有之大小與方向），但作用於一剛體上的力，却僅祇能沿其作用線上移動而已。

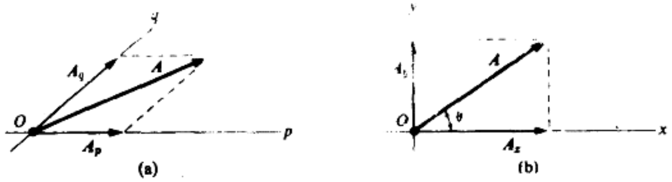

圖 1-10　(a) 向量 $\boldsymbol{A}_p$ 與 $\boldsymbol{A}_q$ 爲 $\boldsymbol{A}$ 沿方向 Op 與 Oq 的分量。(b) 向量 $\boldsymbol{A}_x$ 與 $\boldsymbol{A}_y$ 爲 $\boldsymbol{A}$ 沿 x- 與 y- 軸方向的直角分量。

1-7　向量之分量

任兩向量之向量和等於一已知向量者，則稱那兩向量爲該一已知向量之分量。例如在圖 1-6 中，向量 $\boldsymbol{A}$ 與 $\boldsymbol{B}$ 即爲向量 $\boldsymbol{C}$ 的分量。顯然地，一已知向量有無限多組（對）的可能分量。然而，若限定了分量的方向，則求此向量之分量，或分解此向量爲分量的問題，僅只有唯一之解。故設於圖 1-10 (a) 中，我們繪出向量 $\boldsymbol{A}$，希望利用沿着 Op 及 Oq 方向的分量來表出它，即是說，將其分解爲沿着彼等方向的分量。由向量尖端之處，作兩條分別平行 Op 及 Oq 之虛線，而形成一平行四邊行。則由 0 點分別至兩虛線與 Op 及 Oq 之交點，所得之兩向量 $\boldsymbol{A}_p$ 與 $\boldsymbol{A}_q$，即爲所求之分量。這是因爲它們既在指定的方向上，且二者之向量和又恰好等於該已知向量。

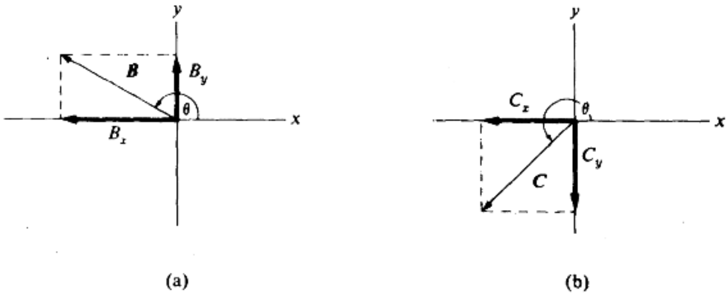

圖 1-11　一向量之分量，其數字可正可負。

當分量所被限定的兩方向相互垂直時，此特例非常重要。圖 1-10（b）中，兩線 O_x 與 O_y 便是一直角座標系的兩座標軸。這時由向量 $\boldsymbol{A}$ 的尖端分別作兩條與座標軸平行的虛線，所得之平行四邊形恰爲一矩形，而 $\boldsymbol{A}_x$ 與 $\boldsymbol{A}_y$ 便稱之爲向是 $\boldsymbol{A}$ 的直角分量。

一向量之直角分量的大小，很容易計算之。若 θ 爲向量 $\boldsymbol{A}$ 與 x-軸間之夾角，則

$$A_x = A\cos\theta,\qquad A_y = A\sin\theta,$$

這裡 A，A_x，及 A_y 分別爲那些有關向量的大小。

一向量之分量，其本身爲無向量，故其可能爲正，也可能爲負。在圖 1-11 中，分量 B_x 是負的，因其方向與正 x-軸相反，同時，一角度在第二象限中的餘弦值爲負；而 B_y 是正的，但是 C_x 與 C_y，兩者都是負的。

上述概念對物理問題的一個應用舉例，爲如圖 1-12 所示者，一力 $\boldsymbol{F}$ 作用於一物體的 O 點處，$\boldsymbol{F}$ 在沿 O_x 及 O_y 方向的直角分量分別爲 $\boldsymbol{F}_x$ 及 $\boldsymbol{F}_y$。我們發現，在圖 1-12（b）中同時作用之兩力 $\boldsymbol{F}_x$ 與 $\boldsymbol{F}_y$，在所有各方面，正好與原先作用力 $\boldsymbol{F}$ 的效應等效。任一作用力，均可以其作用於同一點的直角分量代替之。

舉一數字例子，令

$$F = 10\text{ 牛頓},\qquad \theta = 30^\circ$$

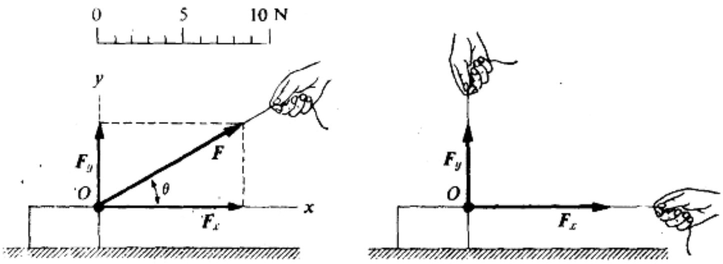

圖 1-12　斜力 $\boldsymbol{F}$ 可以其直角分量 $\boldsymbol{F}_x$ 與 $\boldsymbol{F}_y$ 代替。$F_x = F\cos\theta$，$F_y = F\sin\theta$。