

計量與國際單位制

陳 卓 李精益 編撰

民國八十九年四月

自從人類進入農業文明時期之後，由於丈量土地、交易穀物及進行其他貿易活動，自然而然地發展出計量，亦就是用數字來表示各種東西的多少；其中最重要的計量莫過於長度和重量。計量學的英文名詞 metrology 的字根源自希臘文測量之意。

隨著文明的進步，人們的生活形態逐漸豐富，無論是營造居所、製造武器及工具、農業生產、航海貿易等活動中，對自然現象的瞭解有日益加深的需要，因此對各種自然現象以數量化的要求乃應運而生。以致於過去只需要定性瞭解的事情，如冷熱的感覺、聲音的響亮與否、光線的明暗等等，都逐漸發展出測量的方法。在本文中，我們先介紹量度的基本概念，及**國際單位制 (SI)** 的來由，再個別說明各基本單位的內涵及其規定，然後再介紹導出單位、併用單位、倍數及分數名稱，以及使用國際單位制所應注意之事項。希望讀者在研讀本文之後對計量及國際單位制有個整體及正確的認識。



新莽嘉量 現存於故宮博物院，是最早為史書中記載之官製度量衡器，器上銘文即有「同律度量衡」字眼。同律度量衡的意義就是使度量衡的觀念、器具和實施方法因「律」而得到劃一。

量度的基本概念

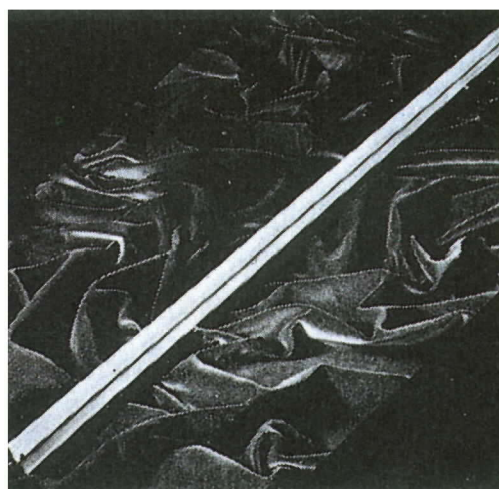
我們把物理現象中可以用數字表示的屬性稱為**物理量**，如長度、體積、時間、質量、溫度、電流等皆是。我們應注意，能將某種物理現象（或屬性）定量化，就表示我們對這種現象已經有了相當程度的瞭解。例如溫度本來只是一種冷熱的感覺，後來發現許多物質有熱脹冷縮的現象，其中又以氣體較顯著，經許多科學家的研究才制定出溫度的標準來。電的現象在開始時，亦只是發現某些不同的物質，如羊毛和琥珀，在互相摩擦後會吸引木屑和稻草而已。經過許多人的研究後，漸漸知道如何把「電」儲蓄起來，後來又發現有兩種不同的電，即現在所謂正電荷和負電荷，而且有「同性相斥，異性相吸」的現象，再後來法國科學家庫侖利用一種稱為「扭秤」的儀器把帶電物體之間相互吸引或排斥的力測出來，才算真正把如何測定「電量」的方法找出來。英國著名科學家克耳文勛爵曾有一句名言：「如果你對於所談論的事物確實有數量方面的資料時，你才算對它有所理解；假使你無法用數量來形容它，那麼你對它的認識還是含糊而不充分。」

從事數量化的觀測不能單憑人的官感，即視覺、聽覺、觸覺等，而經常需要工具，亦即是**儀器**。這些儀器有的很簡單，如一支直尺或一支水銀溫度計；亦有很複雜的，如研究原子核內部結構的粒子加速器。無論簡單或複雜，實驗者都是藉它們來探測物理現象，並**量度**（亦稱為**測量**）他們所希望測定的物理量。這些儀器的共同特性即是它們經過一定的操作程序後，便能提供數量化的資料，稱之為**數據**。在物理學中，一個物理量需要有一套明確的辦法來測量它，才算有具體的定義。這樣的定義稱為**操作型定義**。

每一種物理量要用數值表示時，必定先要制定一種**標準**，並選定一種**單位**。標準及單位的制定，是為了溝通人與人之間對於物理現象的認識。一種標準的制定，通常是根據人們對於所要測定的物理量的認識與瞭解，並且要考慮這標準是否容易複製，或測量的過程是否容易操作等實際問題。每當人們對所要測定的物理量有新的認識，或在量度的技術方面有顯著的進步時，人們便可以對這個物理量制訂新的標準或單位。例如，電和磁的單位本來是不相干的，但後來因發現電流可以產生磁場，所以有關磁性現象的各種單位就都可以用電量的單位及其他長度、時間、質量等單位的組合來表示。又譬如長度的單位本來和時間的單位是互相獨立的，但在 1983 年第十七屆國際權度大會後，1 公尺被改定義為光在 299,792,458 分之一秒內在真空中所行走的長度，亦即是長度變成由時間來作為它的量度標準了，這是一個歷史性的發展。



戰國楚木衡和銅環權



鉑銥合金米尺原器

由於各種物理量的標準的制定是人為的，因此需要經過一個社會或團體的公認，才會為人們普遍採用。世界性的量度標準起源於歐洲工業革命之後：法國科學院首先在 1791 年決定用地球的大小來制定長度單位，定義一米(meter，即公尺) 為沿子午線由北極經巴黎至赤道之長度的一千萬分之一，並按此規格鑄造一白金米尺作為標準原器。當時並制定重量的單位為「公斤」，一公斤的定義是：在密度最大時一公升 (1000 立方公分) 水的重量。在 1875 年，一次有十七個國家參與的國際權度會議上，決定在法國舍弗爾 (Sévres) 地方設立國際權度局 (Bureau International des Poids et Mesures，縮寫為 BIPM，亦稱為國際標準局)。國際標準制之基礎於是奠定。自 1889 年始，每隔數年即召開一次國際權度大會 (Conference Generale des Poids et Mesures) 商討有關修訂國際認可標準的事項。

目前在國際間推行的度量衡標準稱為國際單位制 (Système International d'Unités，簡稱 **SI**，中文簡稱公制，英文名稱為 International System of Units)，它是在 1960 年的國際權度大會中決定採用並推行的。在這套單位制中，將物理的單位分為(1)基本單位，(2)導出單位。基本單位共有七種，它們是長度、時間、質量、溫度、電流、物量 (amount of substance)、光強度。其英文名稱與符號見下表。

物理量	基本單位名稱	符號
長 度	公尺 (meter)	m
時 間	秒 (second)	s
質 量	公斤 (kilogram)	kg
溫 度	克耳文 (kelvin)	K
電 流	安培 (ampere)	A
物 量	莫耳 (mole)	mol
光強度	燭光 (candela)	cd

其他單位如速度、加速度、力、功（能量）、電量、電壓、電阻...等等皆為導出單位，不在此一一列舉。所謂導出單位是指可以用基本單位的因次（dimension）組成的單位。例如力的單位是牛頓（newton，用 N 表示）

$$1\text{N}=1\text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

上面這等式即表示力的因次是（質量×長度）／（時間）²，如用 F 表示力，M 表示質量，L 表示長度，T 表示時間，亦可寫為

$$[F] = [M] [L] [T]^{-2}$$

在物理學中的任何公式，等式兩邊的因次一定要相等。

我們應注意，每一種儀器所能提供的數據都有它的範圍和精密度的限制。例如，一支水銀溫度計可以用來測量人的體溫，但卻無法用以測量煉鋼爐中鋼液的溫度；一架實驗室中的天平秤可以拿來測出一顆米的質量，但顯然不能用來秤一隻象；一支最小刻度為 1 毫米（1mm，亦即 0.1 公分）的直尺，無法精密地測出一根頭髮的粗細。在此我們可以對精密性（precision）的意義作一說明：一架天平秤如果用來測量同一物體的質量很多次，而每次測出來結果（即所得之數據）的差異很小，則它的精密性便很高。廣義地說，一部儀器對相同事物作重複測量，而其結果差異很小，便是精密性高。

在量度方面另一個重要的觀念就是儀器的準確性。每一件儀器的刻度一定要經過校準的手續，才能確定其刻度的可靠性。未經校準的儀器雖然可能精密度很高，卻未必具有準確性。被用來校準其他儀器的標準儀器，必須是一部準確性和精密性均更高的儀器。目前世界各國都設有各級度量衡標準機構，負責鑑定商業、工業及科學實驗用的各種儀器的準確度。我國主管度量衡業務的機構是經濟部標準檢驗局。

數據處理

當我們把量度一種物理量的結果用數據表示時，除了必須寫出它的單位外，還有兩點需要注意：（1）有效數字的位數，（2）數量級的標示。以下我們將這兩點作一說明。

（1）有效數字：譬如用一支經過校準而最細刻度為 1 毫米（即 0.1 公分）的直尺來量一疊紙的厚度，而把結果寫成 2.53 公分，它的意思便是這疊紙的厚度在 2.5 公分到 2.6 公分之間約 3/10 處。這前面二位數字 2.5 是靠得住的，第三位數字“3”是由估計得來的，它可能是 2 或 4，甚至於可能是 1 或 5。我們把

2.53 這樣一個數據 (即讀數) 稱為一個三位有效數字的數據。如果我們把測厚度的儀器換成一種比較精密的儀器 (如螺旋測微儀) , 測量出來的厚度也許便可表示為 2.532 , 這是一個四位有效數字的數據 , 它表示前面三位數字都是可靠的 , 最後一位是由估計產生的 , 以此類推。當我們寫下光速 $c=299,792,458 \text{ m/s}$ 時 , 就表示現在的科學家已經能把光速測定至誤差小於一億分之一。在表示量度的結果時 , 有效位數的多寡即可表明這種量度的精密性 : 位數越多 , 便越精密。

(2) 數量級 : 同一個數據如用不同的單位表示時 , 它的數字表達便會不一樣。例如地球的平均半徑可表示為 0.637 萬公里 , 這是一個只有三位有效數字的數據 , 它的單位是萬公里。如果我們把地球的平均半徑寫成 6,370,000 公尺 , 這後面增加四個零並不能增加有效數字的位數 , 反而是累贅 , 且容易引起誤解 , 以為這是一個有七位有效數字的數據 , 所以如果要用公尺作單位 , 我們通常把地球的平均半徑表示為 $R_E=6.37 \times 10^6$ 公尺 , 用此表示法 , 前面的 6.37 代表三位有效數字 , 後面的 10^6 即代表它的數量級。同一個物理量的數量級的大小可以視單位而定 ; 但如果我們把任何物理量的單位一概用公制中基本單位的組合表示 , 則它的數量級便有一定。

長度及其單位

古代各文明社會為了丈量土地、規劃建築及製作器具都曾制訂長度的標準。例如古埃及在距今約四千九百年前的古孚法老王用黑色質堅的花崗石制定一個長度標準 , 稱為「邱比特 (Cubit)」, 它的長度相當於古孚法老手肘至手指尖端之距離。我國古代以黃鐘律管之長作為長度的標準 , 相傳是黃帝命伶倫所作。又如英國的長度單位一碼是根據英王亨利第一 (King Henry I) 自鼻尖至姆指間的距離而定 ; 一呎 (foot) 為 1/3 碼 , 約為英王一足之長。目前世界各國通行的長度單位公尺 (meter , 又稱為米) , 最早是由法國科學院在 1791 年制定 , 其原始定義為經過巴黎的子午線由北極至赤道之長度的一千萬分之一。在國際權度局成立後 , 曾鑄造一個「米原器」, 作為國際性的長度標準 , 世界各國逐漸採用以這存放在法國舍弗爾地方國際權度局內的米原器所定義的一公尺作為長度的標準單位。我國也加入這個行列 , 並稱一公尺為一米。

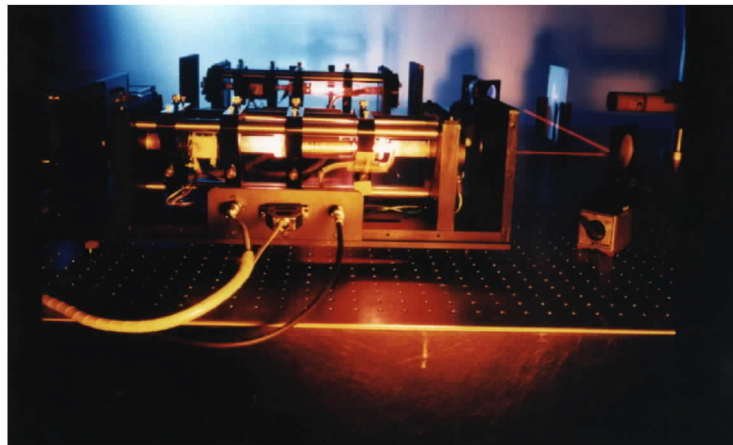
以米原器這樣的人為物品作為單位的定義有一些缺點。例如它不容易為各實驗室取用 ; 它的存放條件 (溫度、水平程度等等) 有特定的限制 ; 它有可能

因天災人禍而毀損；刻線的精密度已不敷日漸進步的科技應用上的需求等等。因此，1960 年第十一屆國際權度大會採行的國際單位制，儘量依據物質結構的特性及物理學基本定律來定義各基本單位，而將一米改定義為氪-86 (^{86}Kr) 原子由 $5d_5$ 能階躍遷至 $2p_{10}$ 能階所發出的橘紅色光在真空之波長的 1,650,763.73 倍。由於這種波長的準確度是 10^{-9} ，所以長度的準確度也可達到 10^{-9} 。

在原有的長度定義下，用各種方式測得的光速都是定值，而光速恆定亦是現代理論物理的重要柱石。為了將長度的準確度再加改進，1983 年的第十七屆國際權度大會，就把光速定義為一常數，將波長視為時間的導出量。於是將光速定為 299,792,458 公尺/ 秒，而 1 公尺就是光在 299,792,458 分之一秒內，於真空中所走過的長度。在測長度時，我們可以把光的頻率測出來，再由

$$\text{波長} = \text{光速} / \text{頻率}$$

求出波長；最後用干涉儀比較待測長度和波長，來求出該長度。



碘穩頻氬氙雷射

對於一公尺上下一兩個數量級的長度，可以用刻度經過校準的尺來測定。但是對於更大或更小的尺寸，就得使用一些間接的方法來度量和推算。先介紹一些長距離測量法的例子。機動車輛大多有里程表和速率表。合格的里程表就是一種校準過的尺，它把車輪轉動的圈數換算成長度，因而在車輛能通行而距離較長的兩點間，可用此法測距離；速率表加上一只錶，也能使我們測出距離。其他的長距離測定法，大多以光線的直線行進為基礎，再利用三角學和幾何學中的一些定理，推算出未知的長度。至於微小物體的測量，可以用螺旋測微儀、光學測微儀等來測定。更微小的長度可以用光槓桿及光波干涉的方法來測定。

時間及其單位

人的時間觀念主要來自對外界事務的觀察。人們經常需要判別事情發生的先後順序，並估計事務變化的快慢。人在他生活的環境裏不難察覺某些自然現象一再重複地出現。例如日出日落，四季變遷，以至於星象的變化。人們發現，如果用這些現象中某一個比較容易觀察者做基準，其他現象重複出現的次數相當有規則，例如兩次月圓之間大約有 29 次日出日落，由此發展出以重複的自然現象作為計時標準的觀念。我們把有規律地重複出現的現象稱為週期現象；每重複一次所需的時間稱為**週期**，週期的倒數稱為**頻率**，它即是單位時間內這種現象重複出現的次數。除了週期現象外，人們也發現某些事情從開始到結束，大致需要一定的時間。例如燃燒一枝線香或蠟燭所需時間，亦可用來作為計時的參考。更精密的是滴漏或沙漏，即將一定的水或細沙裝在一個下方有一小孔的容器內，讓水或沙子經過小孔漏出；全部漏出所需的時間便可用來計時。



西漢石刻日晷



西漢銅壺

在歷史上很長的一段時間裏，人們以一晝夜的時間作為計時的標準。其方法是用「日晷」，每當它的陰影指向正北方時就稱為正午，從某一個正午到下一個正午所隔的時間便是一天，它正式的名稱是一個**太陽日**。人們再用沙漏等其他輔助計時辦法將一天劃分為時辰、刻、分、秒等更小的時間單位。更長的時間則以月和年作單位，一月即是連接的兩次月圓所需的時間，一年則是連續兩次日晷陰影最短時所隔的時間。在人們累積了許多觀測經驗後，發現一天（即一個太陽日）的長短會隨季節變化。若取一年中太陽日的平均值為**平均太陽日**，則一年有 365.2422 個平均太陽日。有些天文學家喜歡用恆星的位置作為量度時間的標準，因而有**恆星日**的制定。一個恆星日是一顆選定的恆星連續兩次通

過一子午線所需的時間，它比一個平均太陽日短了 3 分 56 秒。

隨著科學和技術的進步，社會對於計時器精密度的要求越來越高。科學家們不斷地尋求新的穩定、方便，而精密度高的計時方法。石英非但美觀，且有廣泛用途。若把石英以一定的規格切割成薄片，並在兩面加上一電壓，則晶片將做維持一種固定頻率的振動，其頻率範圍在 $10^6 \sim 10^8$ 赫 (Hz) 之間，並且非常穩定，可以用來作為計時器，每天的誤差可以小至萬分之幾秒，是目前最通用的計時器。後來科學家們又發展出原子鐘，即利用原子或分子中電子組態發生躍遷時放出的電磁波來作為測定頻率的標準，亦即是計時的標準。在 1967 年召開的第十三屆國際權度大會重新定義一秒為：銨-133 (^{133}Cs) 元素之原子在基態的兩個超精細能階間作躍遷時所放出電磁波週期之 9,192,631,770 倍的時間。計時的精密度提高到 10^{-11} 以上。

質量及其單位

物體的質量是一種與它本質有關的量；一物體因為具有質量而表現出來的屬性至少有兩種：第一是慣性。第二是重力，即該物體和其他物體之間由於質量而產生相互吸引的力，亦稱為萬有引力；物體在地球表面的重量，即來自地球對它的吸引力。目前在物理學中通用的質量觀念，是在伽利略及牛頓等人研究物體的運動狀態和它所受之力的關係後，才建立起來的。在此之前，人們早已有重量和比重的觀念。以下先將重量和質量觀念之間的淵源作一說明。

測量一般物體（如一隻西瓜）之重量的方法是用彈簧秤；比較精密的測量則用等臂天平來秤。無論是彈簧秤或天平秤，都需要有法碼作為重量的標準，才能用來量度待測物體的重量：彈簧秤上的刻度需要經過已知重量的法碼校準，才知道是否準確。用天平秤測物體的重量，則是直接將物體的重量與法碼重量比較；其做法是將它們分別放在一架等臂天平秤秤臂兩端所懸的秤盤中，調整法碼的重量使兩邊平衡；平衡時即表示待測物體的重量和所用法碼重量的總和相等。

法國科學院在 1791 年所制定的重量單位是公斤 (kilogram)，一公斤是密度最大時一公升 (1000 立方公分) 水的重量，亦即是一大氣壓下，溫度為 4°C 時，一公升水的重量。後來重量的國際單位大致是依據這個標準制定的。

眾所周知，同一種質料的物體，如金塊或銅塊，如果體積增加一倍時，重量亦增加一倍，以此類推。因此知道某種物質單位體積的重量，便可由它的體

積推算出它的重量；比重的概念便由此產生：某種物質的比重，即是它的重量和同體積水的重量之比。水之所以被用來作為定義重量和比重的標準，是因為它取用方便，並且它的體積容易測量。

重量的來源是重力，同一物體在北極附近的重量比在赤道附近多出約千分之五；即使在地球上緯度相同的地方，也會因當地地形不同而有少許差異，由此可見，物體的重量並不完全是由它本身的物質結構來決定，而是隨它所在的環境而有所變化。但是，兩塊不同的物體，如果在台北秤，其重量相同，則搬到北京、甚至月球表面，它們的重量還是一樣。那麼使兩塊不同物體重量相等的原因是什麼？簡單的答案是：它們的質量相等。

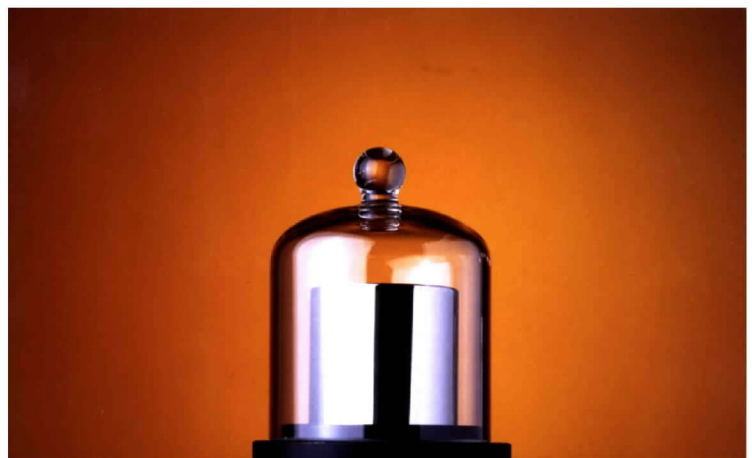
牛頓在他的著作中曾把物體的質量定義為

$$\text{質量} = \text{密度} \times \text{體積}$$

這樣的定義也許會被某些人認為毫無意義，因為在後來的物理學中，密度的定義便是質量除以體積。但事實上牛頓所給的定義是一個操作型定義，因為一個物體的體積是可以測量的；密度則是它的比重乘以水的密度，若將水的密度定義為某個量，用現在的單位來表示，水的密度是 1 克/ 立方公分，或 10^3 kg/m^3 ，則其他物質的密度便都定下來了，例如銅的比重是 8.96，所以銅的密度便是 $8.96 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，以此類推。

那麼質量的意義究竟是什麼呢？我們可以望文生義地回答「質量就是物質的量」，這樣的解釋也許會被認為空洞，但它事實上有原子論作為其基礎。例如，大家都知道物質會熱脹冷縮，亦即溫度改變時它的體積會改變，但它的質量都沒變，從原子論的觀點來看，即是它所含的原子顆粒數沒變，或者即使因為昇華而有些微改變，但與總數相比太少而可以忽略。

目前國際公認（即國際權度大會認定）的質量標準是一個鉑銥合金所製造的圓柱形公斤原器，它的質量便定義為一公斤（kilogram，亦稱為千克），約等於在一大氣壓及 3.98°C 時一公升純水的質量。其他物體的質量都需要用天平秤或別的儀器，直接



我國質量的最高標準—鉑銥原級法碼
(現存於新竹度量衡國家標準實驗室)

或間接地和這公斤原器的質量比較，才能量度出來。這公斤原器有很多個複製

品，存放在世界各地的度量衡機構；一般測質量（或重量）用的法碼，便是以這公斤原器複製品為標準而鑄造的。如用一靈敏的天平秤來校準法碼的質量，則一個一公斤的法碼，便應該恰好與一個公斤原器複製品平衡；一個二公斤的法碼，便應該恰好與兩個一公斤法碼平衡；二個 $1/2$ 公斤的法碼，便應該恰好與一個一公斤法碼平衡，以此類推。

質量在百萬分之一到一公斤之間的物體大多可以用天平秤來量度它們的質量。對於非常微小的顆粒，如原子、分子、電子、基本粒子等，則可利用它們在電磁場中的運動特性，再配合已有的理論知識及其他技巧，來測出它們的質量。

溫度及其單位

表示冷熱的物理量稱為溫度，最原始的溫度計據記載是伽利略在西元十六世紀末設計製造的，其原理是利用熱脹冷縮的性質。伽利略先在一支頂端有球狀空泡的玻璃管中注入有色液體，使頂端的玻璃泡中殘留一些空氣。此時若外面變熱，則泡中的空氣就會膨脹，有色液體柱即會下降；若外面變冷，則泡中空氣收縮，有色液體柱便會上升。雖然伽利略曾在管側裝置標尺來顯示液體柱高度，但並未真正地制定溫度標準。

在伽利略之後，經過很多科學家的努力，再加上抽真空及玻璃儀器製作技術的進步，使溫度計的製造技術逐漸成熟，其測溫的主要原理還是利用氣體或液體的熱脹冷縮。常見溫度計的構造是：一支內徑很細的玻璃管，下端有一球狀容器，內盛著色酒精或水銀，管的上端抽成真空。當這溫度計下端受熱時，玻璃球中的水銀（或酒精）就膨脹，使液柱上升；在冷卻時，液體便會收縮，使柱面下降。若在玻璃管壁上均勻地刻出數字，即成為一具溫度計。

目前世界通用的實用溫度標準是瑞典天文學家攝爾修斯（A. Celsius）在西元 1742 年所提倡的，通常稱為攝氏溫標，用 $^{\circ}\text{C}$ 表示。這種溫度標準是把在一大氣壓下純水的冰點定義為 0°C ，而將水的沸點定義為 100°C 。介於這兩個定點之間的溫度則是假定測溫材料，即裝在溫度計中的液體如水銀、酒精等，會隨溫度之上升而均勻膨脹，亦就是在兩定點之間制訂均勻的刻度。

英國科學家波義耳在西元 1662 年獲得一個氣體（空氣）之體積與壓力的關係式，通常被稱為波義耳定律，它是：對於一定重量的氣體，它的壓力與體積的乘積為定值。若以 P 代表氣體壓力， V 表示體積，則波義耳定律可表示為

$$PV = \text{常數}$$

上式中的常數與氣體的重量及溫度有關。

在波義耳同一時代及其後，很多科學家對於氣體的特性做了很多研究，並陸續發現了二氧化碳、氫、氮、氧、氯等很多氣體。法國科學家查理在 1787 年做了一些氣體溫度和體積之關係的實驗，但並未發表。後來法國科學家蓋呂薩克繼續研究同一課題，他用了很多不同的氣體來做實驗，在 1802 年發表其成果，後人稱之為查理定律或查理-蓋呂薩克定律，其內容為：在壓力固定時，氣體的體積隨溫度上升而增加。若用數學公式表示，則為

$$V = C (t_c + 273)$$

上式中 V 為氣體體積， t_c 為攝氏溫度，而 C 則為一係數，它並非一常數，而是與氣體的重量及壓力有關；氣體重（質）量增加， C 即增加；氣體壓力增加，則此係數減小。

後來在十九世紀中葉，由於著名科學家克耳文（Lord Kelvin，本名 William Thomson, 1824-1907, Kelvin 為其爵位名）等人的提倡，把 $(t_c + 273)$ 稱為絕對溫度，用 T 表示，其單位的大小與攝氏度相同，改稱克耳文，其符號為 K。後來經過物性的研究得知水的三相點是一個溫度定點，目前國際單位制中溫度的正式名稱為熱力學溫度，其單位為克耳文，它的定義為：水在三相點之熱力學溫度之 273.15 分之 1。熱力學溫度 T 與攝氏溫度 t_c 之間的關係是：

$$T = t_c + 273.15$$

水三相點囊



電流及其單位

電磁現象很早就被發現了，但對它的系統研究是在歐洲文藝復興之後才逐漸展開的。法國物理學家庫侖在對靜止的點電荷之間的作用力的實驗基礎上，於 1785 年確立了著名的庫侖定律。這是電磁研究上的里程碑，也可說是電磁計量的重要開端。後來，法拉第電磁感應定律和馬克士威電磁場理論的建立，為電磁現象的研究和應用奠定了重要的基礎，電磁量度亦隨之而逐漸發展起來。

目前有關電磁現象的基本物理量是**電流**，其單位是**安培**，它的定義如下：兩條圓形無限長且截面積可忽略之極細導線，相距一公尺平行放置於真空中，通以同值恆定電流時，使每公尺之導線間產生 2×10^{-7} 牛頓作用力之電流，為一安培。原來電流單位安培曾用能在硝酸銀水溶液中以一定速率析出銀的電流來定義，稱為國際安培。由於它復現的精度差，無法滿足實際要求，人們在 1930 年代即開始尋求新的標準，由於第二次世界大戰的耽擱，終於在 1948 年由第九屆國際權度大會決議採用現行的安培定義。



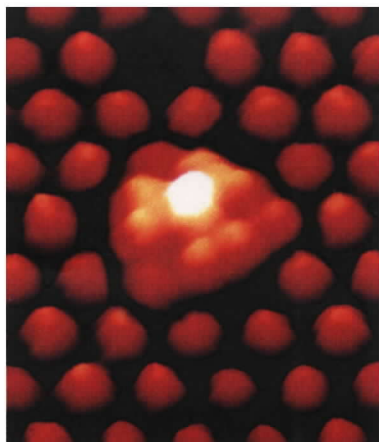
約瑟夫森（Josephson）電壓系統

物量及其單位

物量 (amount of substance) 的單位是**莫耳**，它的定義如下：一莫耳等於

物質系統中所含之基本顆粒數與碳-12 (^{12}C) 之質量為 0.012 公斤 (12 克) 時所含原子顆粒數相等時之物量。在使用莫耳時，對基本顆粒數應詳加記載粒子類別或粒子組合群，如原子、分子、離子、電子或其他粒子。

過去，在確定莫耳之前，一直用「克原子」、「克分子」等單位來表示化學元素或化合物的量。這些單位與原子量、分子量有著直接的聯繫。原子量最初是以氧的原子量為標準 (定為 16)。後來發現氧有三種同位素，物理學上只將其中之一定為 16；而化學上則將三種同位素 (^{16}O 、 ^{17}O 、 ^{18}O) 的混合物，即天然氧元素定為 16，於是便出現了兩種不同的原子量標準，也就形成了兩套不同的原子量，即物理原子量和化學原子量。為結束此一局面，國際純粹與應用物理聯合會 (IUPAP) 和國際純粹與應用化學聯合會 (IUPAC) 於 1960 年達成協議，同意將碳同位素 12 的值定為 12，以它為標準去定出相對原子質量的數值，並提議定義一個物量的單位「莫耳」。1971 年由第十四屆國際權度大會決議採用現行的莫耳定義。



Ga / Si 表面的 STM 照片
(王玉麟博士 提供)

光強度及其單位

光對於人類生存及發展至為重要。科學研究發現：人的眼、耳、鼻、舌、皮膚等感覺器官從外界接受的全部訊息中，有百分之七十以上來自光。人類對光的認識是由現象逐步深入到本質；光學計量也是伴隨此一認識過程而形成和發展的。

光度量及相關概念，是鮑吉爾於 1727 年首先提出的。1760 年朗伯 (J. H. Lambert) 創立了光度學，確立不同概念之間的關係，當時使用的是人造火燄光源，如蠟燭、油燈、氣燈等。1879 年愛迪生發明白熾燈，實現了有效的人工

照明，亦推動了光度學的進展。二十世紀初葉，光度學開始從目視法逐漸轉向物理（客觀）光度法，並於 1960 年代全面達成。

光強度的單位最初是由蠟燭（或其他火燄）來定義的，故有「燭光」之稱。後來逐漸採用黑體輻射原理對發光強度單位進行研究，並於 1948 年第九屆國際權度大會決定採用處於鉑凝固點溫度的黑體作為發光強度的基準，並定名為 candela，亦被稱為「新燭光」。由於此標準的復現精度較差，漸不敷使用，且輻射功率的計量已取得顯著進展，1979 年第十六屆國際權度大會決定採用現行的新定義：**光強度**（luminous intensity）的單位**燭光**（candela）是等於頻率 540×10^{12} 赫茲的光源發出之單色輻射，在一定方向上每立徑之輻射通量為 $1/683$ 瓦特之發光強度。



絕對輻射計

導出單位

除了七個基本單位之外的物理量都是**導出單位**，它們能夠以基本單位藉由乘、除等數學符號表達出來。有些導出單位的應用相當普遍，如用基本單位來表達則較為麻煩。例如力的單位是從 $F=ma$ 導出的，而 $a=v/t$ 、 $v=s/t$ ；若用基本單位來表示，力應表成 $m \cdot kg \cdot s^{-2}$ ，相當不便。因此，對於這類普遍使用的導出單位，都規定了專門名稱和符號。這些專門名稱和符號本身也可以配合基本單位和其他導出單位的專門名稱和符號，來表達其他物理量的單位。例如功率的單位 W（瓦特）表示成 J/s。

常見的導出單位如下表：

量之名稱	單位名稱	代號	單位之定義	SI 單位	SI 基本單位
面積	平方公尺				m^2
體積	立方公尺				m^3
頻率	赫	Hz	一赫等於每秒振動一週之頻率		s^{-1}
速度	公尺每秒				$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; m/s
加速度	公尺每秒每秒				$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; m/s^2
密度	公斤 每立方公尺		一公斤每立方公尺等於均勻物質於每立方公尺之體積中有一公斤質量之密度。		$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; kg/m^3
力	牛頓	N	一牛頓等於一公斤質量之物體產生一公尺每秒每秒之加速度時所承受之力。		$\text{m}\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$
壓力強度	帕斯卡	Pa	一帕斯卡等於每平方公尺面積均勻承受一牛頓之垂直力時之壓力(應力)。	N/m^2	$\text{m}^{-1}\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$
功、能 熱量	焦耳	J	一焦耳等於一牛頓之力作用於物體上，使作用點沿力之方向增加一公尺之位移時，其力與位移之乘積。	$\text{N}\cdot\text{m}$	$\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$
功率	瓦特	W	一瓦特等於每秒作功一焦耳之功率。	J/s	$\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-3}$
比熱	焦耳每公斤 每克耳文		比熱為改變物質每單位質量的每單位溫度，所需的熱量。	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
電荷量	庫侖	C	一庫侖等於每秒以一安培之恆定電流所傳送之電荷量。		$\text{s}\cdot\text{A}$
電位差	伏特	V	一伏特等於一安培之恆定電流通過某導線所消耗之功率為一瓦特時，該導線兩端間的電位差。	W/A	$\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-3}\cdot\text{A}^{-1}$
電阻	歐姆	Ω	一歐姆等於一安培之恆定電流通過某段導線，其兩端間之電位差為一伏特時，該段導線兩端間所具之電阻。	V/A	$\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-3}\cdot\text{A}^{-2}$
電容	法拉	F	一法拉等於電容器之充電量為一庫侖，其兩極間之電位差為一伏特時，該電容器之電容。	C/V	$\text{m}^{-2}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^4\cdot\text{A}^2$
電感	亨利	H	一亨利等於封閉電路上之電流以每秒一安培之變率變化所生之電動勢為一伏特時，該電路之電感。	Wb/A	$\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{A}^{-2}$
磁通量	韋伯	Wb	一韋伯等於一匝線圈其磁通量在一秒內均勻遞減至零而產生一伏特電動勢之磁通量。	$\text{V}\cdot\text{s}$	$\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{A}^{-1}$
磁通密度	特士拉	T	一特士拉等於一韋伯之磁通量均勻而垂直地通過一平方公尺面積之磁通密度。	Wb/m^2	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{A}^{-1}$
光通量	流明	lm	一流明等於一燭光之均勻點光源放射於一立徑之立體角範圍內之光通量。	$\text{cd}\cdot\text{sr}$	$\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{cd}$ =cd
光照度	勒克斯	lx	一勒克斯等於一流明之光通量垂直照射於一平方公尺面積之光照度。	lm/m^2	$\text{m}^2\cdot\text{m}^{-4}\cdot\text{cd}$ = $\text{m}^{-2}\cdot\text{cd}$

併用單位

除了 SI 單位外，為了滿足日常生活、商業、法律及專門領域的需求，以及配合慣例及歷史上的原因(如解釋舊科學文獻)等，我國選定了一些非 SI 單位，

稱為併用單位。

常見的併用單位如下表：

量之名稱	單位名稱	代號	單位之定義	說明
長度	公分	cm	1cm=0.01m	公分俗稱厘米
	公里	km	1km=1000m	
	哩		1 哩 = 1852m	哩 (俗稱海哩) , 用於航程之計量。
	埃	Å	1Å= 10^{-10} m= 10^{-4} μ m= 0.1 nm	埃 (ångström) , 用於電磁波波長、膜厚、物體表面粗糙度或有關結晶格子長度之計量。
質量	公克	g	1g=0.001kg	公克亦稱克
	公噸	t	1t=1000kg	
	原子質量單位	u	1u=1.6605402×10 ⁻²⁷ kg	一原子質量單位等於碳-12 一個原子質量的 1/12。
面積	公畝	a	1a=100 m ²	用於土地面積的計量
	公頃	ha	1ha=10000 m ²	用於土地面積的計量
體積	公升	l 或 L	1 公升 = 0.001 m ³	
	公秉	kl 或 k L	1 公秉 = 1 m ³	
時間	分	min	1min=60s	
	時	h	1h=60min	
	日	d	1d=24h	
力	公斤力	kgf	1kgf=9.80665N	用於工程之計量
壓力強度	巴	bar	1bar=10 ⁵ Pa=0.1MPa	
	標準大氣壓	atm	1atm=101,325Pa	
	毫公尺汞柱	mmHg	1 mmHg = (101,325/760) Pa	又稱托 (torr) , 用於血壓之計量
功 (能、 熱量)	瓦特-小時	W·h	1 W·h=3,600 J	瓦特-小時簡稱瓦-時。 1 kW·h = 1000 W·h (俗稱 1 度電)
	熱化學卡	cal	1cal=4.184J	
	電子伏特	eV	1eV=1.60217733×10 ⁻¹⁹ J	一電子伏特等於一個電子在真空中通過一伏特電位差所產生的動能。
酸鹼度	pH 值	pH	以莫耳每公升表示氫離子濃度值乘以活動度係數所得值之倒數的常用對數。	

音壓位準	分貝	dB	音壓位準 L_p 為將待測音壓的有效值 (P_e) 與參考音壓 (P_o) 的比值之常用對數的 20 倍, 即音壓位準 $L_p=20 \log(P_e/P_o)$ (dB); 在空氣中, P_o 之值規定為 $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ 。	
資 訊 量	位元	bit	電腦儲存資料時所使用的基本單位符號 0 或 1。	
	位元組	byte	1byte=8bit	

倍數及分數名稱

上述介紹的 SI 單位, 在實際應用時往往會感到諸多不便; 例如以公斤來表示原子的質量則單位太大, 而以公斤來表示地球的質量則單位太小。因此制訂了一系列十進制的前綴詞 (prefix, 詞頭), 以構成十進制倍數及分數單位, 使得相應單位變大或變小, 以滿足實際需要。

目前已採用的 SI 前綴詞如下表:

因數	名稱	代號	中文	因數	名稱	代號	中文
10^1	deka	da	十	10^{-1}	deci	d	分
10^2	hecto	h	百	10^{-2}	centi	c	厘
10^3	kilo	k	千	10^{-3}	milli	m	毫
10^6	mega	M	百萬	10^{-6}	micro	μ	微
10^9	giga	G	吉	10^{-9}	nano	n	奈 (納)
10^{12}	tera	T	太	10^{-12}	pico	p	皮
10^{15}	peta	P	拍	10^{-15}	femto	f	飛
10^{18}	exa	E	艾	10^{-18}	atto	a	阿
10^{21}	zetta	Z	皆	10^{-21}	zepto	z	介
10^{24}	yotta	Y	佑	10^{-24}	yocto	y	攸

為配合中文使用習慣, 我國另接受下述前綴詞:

因數	中文	因數	中文
10^4	萬	10^{-4}	絲
10^8	億	10^{-5}	忽
10^{12}	兆		

使用實例：

- (1) $900 \text{ MHz} = 900 \times 10^6 \text{ Hz} = 9 \times 10^8 \text{ Hz}$
- (2) $178 \text{ GeV} = 178 \times 10^9 \text{ eV} = 1.78 \times 10^{11} \text{ eV}$
- (3) $1.8 \text{ PW} = 1.8 \times 10^{15} \text{ W}$
- (4) $453 \text{ nm} = 453 \times 10^{-9} \text{ m} = 4.53 \times 10^{-7} \text{ m}$
- (5) $2.8 \text{ pF} = 2.8 \times 10^{-12} \text{ F}$

使用 SI 單位制所應注意之事項

為避免混淆及方便交流，在 SI 單位制中，對於單位符號和數字如何書寫，亦作了如下的規範：

- (1) 代表變數或數值者，採用斜體 (italic) 字型。

例： $t = 3 \text{ s}$ 式中 t 表變數「時間」，用斜體； s 表時間單位「秒」，用羅馬字型。

- (2) 代表單位者，採用羅馬 (roman, 直立) 字型單位符號，一般為小寫，但如果單位名稱來自人名，則符號的頭一字母用大寫。拼出單位名稱時總是以小寫方式書寫，除非該名稱是一個句子的頭一個字，或者是「degree Celsius」(攝氏度)。

例： lm 表示光通量的單位「流明」； N 表示力的單位「牛頓」； W 表示功率的單位「瓦特」； A 表示電流的單位「安培」； V 表示電壓的單位「伏特」； Hz 表示頻率的單位「赫」

- (3) 單位符號複數不變。

例： $l = 50 \text{ cm}$ 而非 $l = 50 \text{ cms}$

- (4) 單位符號後頭不加句點，除非是句尾的正常標點。

例：“Its length is 75 cm .” 或 “Its length is 75 cm long .” 而非 “Its length is 75 cm. long .”

- (5) 物理常數以斜體表示，有些用大寫，有些用小寫。

例： N_A 表亞佛加厥常數 (A 表 Avogadro)； e 表電荷； h 表卜朗克 (Planck) 常數； G 表重力常數...等等。

- (6) 數學方程式以斜體表示。

例： $y = \sum x_i z_i$ ； $c^2 = a^2 + b^2$

- (7) 代表單位或 SI 前綴詞者，採用羅馬字型。前綴詞與符號間不須空格。

例： m 表 meter (公尺)； g 表 gram (公克)； L 表 liter (公升)
 cm 表 centimeter (公分)； μg 表 microgram (微克)； mL 表 milliliter (毫公升)

- (8) 特定的符號或不變的數學常數式，採用羅馬字型。上標、下標，亦採用羅馬字型。

例：(a) 化學元素符號： Kr 表氬 (krypton)； B 表硼 (boron)； C 表碳 (carbon)

(b) 數學常數、函數、運算子

e (自然對數的底)； $\exp x$ ； $\log_a x$ ； dx/dt ； $\sin x$

(c) 上標、下標

E_K 表動能 (kinetic energy)； x^n 表 x 的 n 次方

- (9) SI 單位符號的乘法符號以半高的圓點或空格表示。

SI 單位符號的除法符號以斜線 (/)、水平線或負指數乘方表示。

例：N·m 或 N m 表 N 與 m 的乘積。

m/s 或 $m \cdot s^{-1}$ 表 m 除以 s。應使用 m/s^2 或 $m \cdot s^{-2}$ ，不可用 m/s/s。

(10) 阿拉伯數字採用羅馬字型。阿拉伯數字的乘法符號以“×”來表示，不可以“·”表示。

例：正確的寫法為：25 × 60.6；不可寫成 25 · 60.6。

正確的寫法為：53 m/s × 10.2 s；不可寫成 53 m/s · 10.2 s。

(11) 前綴詞與符號合用時，將組合成一個不可分離的新符號。

例：2.3 cm³ = 2.3 (cm)³ = 2.3 (10⁻² m)³ = 2.3×10⁻⁶ m³。

5000 μs⁻¹ = 5000 (μs)⁻¹ = 5000 (10⁻⁶ s)⁻¹ = 5×10⁹ s⁻¹。