

國際單位制手冊第 9 版 (2019)

# 國際單位制 (SI)

中文版

工業技術研究院 量測技術發展中心



# Le Système international d'unités (SI)

中文版

---

## 國際單位制(SI)

編譯小組：彭國勝、饒瑞榮、陳兩興

工業技術研究院 量測技術發展中心

### Copyright statement

The SI Brochure is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

### 版權聲明

本 SI 手冊是依據知識共享署名 4.0 國際許可 (Creative Commons Attribution 4.0 International License, <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) 之條款提供分享。使用者只要註明原始作者、原始資料、以及知識共享許可的連結，並指出是否進行了更改，即可在任何媒介以任何形式使用、複製、發行本手冊。

---

國際度量衡局

**Bureau International  
des Poids et Mesures**

國際單位制

**The International  
System of Units  
(SI)**

第 9 版 2019

---

## 國際度量衡局和米制公約

國際度量衡局(International Bureau of Weights and Measures, BIPM)係由 17 個國家在 1875 年 5 月 20 日於巴黎舉行的最後一次米制會議間，簽署米制公約時設立的。該公約曾於 1921 年修正過。

國際度量衡局總部位於巴黎附近由法國政府提供其使用的 Pavillon de Breteuil (Saint-Cloud 公園)，為約 43 520 平方公尺的場地；其維護費由「米制公約」的成員國共同資助。

國際度量衡局的任務是確保全球量測的一致性；其目標為：

- 代表全球量測社群，期能最大化其認同度與影響力，
- 成為成員國之間科技合作的中心，以共同分擔成本為基礎提供國際量測比對的能力，
- 成為全球量測系統的協調者，確保其提供可比較和國際公認的量測結果。

國際度量衡局是在國際度量衡委員會(International Committee for Weights and Measures, CIPM)的監督下運作，該委員會隸屬於國際度量衡大會(General Conference on Weights and Measures, CGPM)，須向國際度量衡大會報告國際度量衡局所完成的工作。

來自所有會員國的代表出席通常每四年舉行一次的大會。這些會議的使命是：

- 為確保新米制形式國際單位制(The International System of Units, SI)的推廣和改進，進行必要的討論與籌備。
- 確認新基本計量的測定結果和具有國際性影響的各種科學決議；
- 就國際度量衡局的財務、組織和發展進行重要決議。

國際度量衡委員會有來自不同國家的十八名成員，目前每年舉行會議。該委員會的秘書處向成員國的政府提交關於國際度量衡局行政業務和財務狀況的年度報告。國際度量衡委員會的主要任務是確保量測單位的全球一致性。為實現這一目標，該委員會可直接採取行動或向國際度量衡大會提出建議。

至 2019 年 5 月 20 日，共有 59 個國家成為本公約的成員國：阿根廷、澳大利亞、奧地利、比利時、巴西、保加利亞、加拿大、智利、中國、哥倫比亞、克羅埃西亞、捷克共和國、丹麥、埃及、芬蘭、法國、德國、希臘、匈牙利、印度、印度尼西亞、伊朗(伊斯蘭共和國)、伊拉克、愛爾蘭、以色列、意大利、日本、哈薩克斯坦、肯亞、韓國(共和國)、立陶宛、馬來西亞、墨西哥、蒙特內哥羅、荷蘭、紐西蘭、挪威、巴基斯坦、波蘭、葡萄牙、羅馬尼亞、俄羅斯聯邦、沙烏地阿拉伯、塞爾維亞、新加坡、斯洛伐克、斯洛維尼亞、南非、西班牙、瑞典、瑞士、泰國、突尼西亞、土耳其、烏克蘭、阿拉伯聯合酋長國、英國、美利堅合眾國和烏拉圭。

另有 42 個國家和經濟體是可參加度量衡大會的仲成員國：阿爾巴尼亞、亞塞拜然、孟加拉、白俄羅斯、玻利維亞、波士尼亞與赫塞哥維納、波札那、加勒比海共同體、中華台北、哥斯達黎加、古巴、厄瓜多爾、愛沙尼亞、衣索比亞、喬治亞、迦納、香港(中國)、牙買加、科威特、拉脫維亞、盧森堡、馬爾他、模里西斯、摩爾多瓦(共和國)、蒙古、納米比亞、北馬其頓、阿曼、巴拿馬、巴拉圭、秘魯、菲律賓、卡達、塞席爾、斯里蘭卡、蘇丹、敘利亞阿拉伯共和國、坦尚尼亞(聯合共和國)、越南、尚比亞和辛巴威。

國際度量衡局的活動一開始僅限於長度和質量的量測，以及與這些量有關的計量研究。後來已擴展到電學(1927年)、光量與輻射(1937年)、游離輻射(1960年)、時間標度(1988年)和化學(2000年)等量測標準。為此，建於1876年至1878年的初期實驗室於1929年進行了擴建；其後也陸續於1963年至1964年為游離輻射實驗室、1984年及1988年分別為雷射作業、圖書館和辦公室等建造了新的建築。在2001年，則完成一座作為研習工作坊、辦公室和會議室的新大樓。

大約有45名物理學家和技術人員在國際度量衡局實驗室工作。他們主要進行計量研究、單位實現的國際比對和標準的校正等工作。對於當年度進行中的工作細節，則記載在局長的年度報告中。

由於託付國際度量衡局的工作範圍擴增，在1927年國際度量衡委員會設立了數個稱為諮詢委員會(Consultative Committee, CC)的機構，其職能是對國際度量衡委員會提供有關其所提交研究和諮詢的相關資訊。這些諮詢委員會可以組成臨時或常設的工作小組來研究特定題目，負責協調各自領域所開展的國際工作，並向國際度量衡委員會提出他們對單位的相關建議。

諮詢委員會有共同的規定(Document CIPM-D-01, *Rules of procedure for the Consultative Committees (CCs) created by the CIPM, CC working groups and CC workshops*)。他們不定期地開會。每個諮詢委員會的主席由國際度量衡委員會指定之，通常是國際度量衡委員會的成員。諮詢委員會的成員是由國際度量衡委員會同意的計量實驗室和專門研究機構所挑選派出的代表。此外，還有由國際度量衡委員會任命的個人成員和國際度量衡局的代表(Document CIPM-D-01, *Rules of procedure for the Consultative Committees (CCs) created by the CIPM, CC working groups and CC workshops*)。目前有下列之10個諮詢委員會：

1. 電磁諮詢委員會(Consultative Committee for Electricity and Magnetism, CCEM)，係於1997年對成立於1927年的電諮詢委員會(Consultative Committee for Electricity, CCE)所給予的新名稱；
2. 光量與輻射諮詢委員會(Consultative Committee for Photometry and Radiometry, CCPR)，係於1971年對成立於1933年(1930年至1933年間，由CCE處理光量的事務)的光量諮詢委員會(Consultative Committee for Photometry, CCP)所給予的新名稱；
3. 熱學諮詢委員會(Consultative Committee for Thermometry, CCT)成立於1937年；
4. 長度諮詢委員會(Consultative Committee for Length, CCL)，係於1997年對成立於1952年的公尺定義諮詢委員會(Consultative Committee for the Definition of the Metre, CCDM)所給予的新名稱；
5. 時間和頻率諮詢委員會(Consultative Committee for Time and Frequency, CCTF)，係於1997年對成立於1956年的秒定義諮詢委員會(Consultative Committee for the Definition of the Second, CCDS)所給予的新名稱；
6. 游離輻射諮詢委員會(Consultative Committee for Ionizing Radiation, CCRI)，係於1997年對成立於1958年的游離輻射標準諮詢委員會(Consultative Committee for the Standards of Ionizing Radiation, CCEMRI)所給予的新名稱。(1969年，該委員會設立了四個部門：第一部門(X射線和 $\gamma$ 射線、電子)，第二部門(放射性核素的量測)，第三部門(中子量測)，第四部門( $\alpha$ 能量標準)；1975年第四部門解散，由第二部門負責其活動範疇)；
7. 單位諮詢委員會(CCU)成立於1964年，該委員會取代了1954年由國際度量衡委員會設立的單位制委員會(Commission for the System of Units)；

8. 質量與相關量諮詢委員會(The Consultative Committee for Mass and Related Quantities, CCM)成立於 1980 年；
9. 物量諮詢委員會：化學和生物學計量(Consultative Committee for Amount of Substance, CCQM)成立於 1993 年；
10. 聲量、超音波和振動諮詢委員會(Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound and Vibration, CCAUV) 成立於 1999 年。

國際度量衡大會和國際度量衡委員會的會議記錄由國際度量衡局在以下方式中公佈：

- 國際度量衡大會報告(*Report of the meeting of the General Conference on Weights and Measures*)；
- 國際度量衡委員會會議記錄(*Report of the meeting of the International Committee for Weights and Measures*)。

國際度量衡委員會在 2003 年決定不再印製諮詢委員會的會議記錄，而是以其原始的會議內容呈現在國際度量衡局網站上。

國際度量衡局還出版以計量為主題的手冊，並以“國際單位制(SI)”為標題，定期更新此手冊，其中收集了有關單位的全部決定和建議。

國際度量衡局的作品和紀要(*Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures* (自 1881 至 1966 年期間出版 22 卷))和國際度量衡局作品集(*Recueil de Travaux du Bureau International des Poids et Mesures* (自 1966 年至 1988 年期間出版 11 卷))的收藏，已由國際度量衡委員會決定終止。

國際度量衡局的科學工作均發表在公開的科學文獻中。

自 1965 年以來，在國際度量衡委員會支持下出版的國際期刊 *Metrologia*，出版了有關科學計量、量測方法改良與標準和單位相關工作的論文，以及隸屬米制公約之各機構的活動、決定事項和建議等報告。

## 國際單位制

## 目錄

<b>第 9 版序言</b>	<b>6</b>
<b>1. 導論</b>	<b>9</b>
1.1 SI 與定義常數	9
1.2 使用定義常數定義 SI 的動機	9
1.3 SI 的落實	9
<b>2. 國際單位制</b>	<b>11</b>
2.1 定義量的單位	11
2.2 SI 的定義	11
2.2.1 7 個定義常數的性質	12
2.3 SI 單位的定義	13
2.3.1 SI 基本單位	14
2.3.2 SI 單位的實際實現	19
2.3.3 量的量綱	20
2.3.4 導出單位	21
2.3.5 描述生物和生理影響之量的單位	25
2.3.6 在廣義相對論框架內的 SI 單位	25
<b>3. SI 單位的十進制倍數和分數</b>	<b>27</b>
<b>4. 被接受可與 SI 單位併用之非 SI 單位</b>	<b>29</b>
<b>5. 單位符號和名稱的書寫以及量值的表示</b>	<b>31</b>
5.1 單位符號及名稱的用法	31
5.2 單位符號	31
5.3 單位名稱	32
5.4 表示量值的規則和樣式慣用法	32
5.4.1 量值和數值以及量的計算	32
5.4.2 量符號和單位符號	33
5.4.3 量值的格式	33
5.4.4 數值的格式及小數點	34
5.4.5 量值之量測不確定度的表示	34
5.4.6 量符號、量值及數的乘除	34
5.4.7 純數字量值的說明	35
5.4.8 平面角、立體角和相角	35

附錄 1.	國際度量衡大會和國際度量衡委員會的決議	36
附錄 2.	一些重要單位的定義實現	84
附錄 3.	光化學和光生物量的單位	85
附錄 4.	國際單位制及其基本單位的發展歷史記錄	86
	第 1 部分 SI 單位實現的歷史發展	86
	第 2 部分 國際單位制的歷史發展	88
	第 3 部分 基本單位的歷史觀點	90
	字首語及縮寫字	95
	索引	97

## 第 9 版序言

國際單位制(SI)已被全世界用以作為首選的單位制，於 1960 年在國際度量衡大會(CGPM，法語：Conférence Générale des Poids et Mesures，英語：General Conference on Weights and Measures)第 11 屆會議上通過決議後建立，係科學、技術、工業和貿易上的基本通用語言。

本手冊由國際度量衡局(BIPM，法語：Bureau International des Poids et Mesures，英語：International Bureau of Weights and Measures)出版，旨在宣傳和解釋 SI。它列出了 CGPM 最重要的決議和國際度量衡委員會(CIPM，法語：Comité International des Poids et Mesures，英語：International Committee for Weights and Measures)的決定，這些涉及米制的決議和決定都可以回溯到 1889 年的 CGPM 第 1 屆會議。

SI 一直是一個實用和動態的單位制，它已經發展到利用最新的科學和技術。特別是近 50 年來，原子物理學和量子計量學方面的巨大進步，使得秒和公尺的定義，以及電單位之實際表示能夠利用原子和量子現象來達到各個單位的準確度，這些單位僅受我們技術能力的限制，而不受定義本身的限制。科學的進步以及量測技術的發展促使 SI 的改變，這些改變已在本手冊的前幾版中得到了推廣和解釋。

第 9 版 SI 手冊是在 CGPM 第 26 屆會議通過一系列影響深遠的變革之後編寫的。

會議上引介一種新的觀點來闡明一般單位的定義，特別是藉由固定七個「定義常數」的數值來闡明七個基本單位的定義。其中包括普朗克常數和光速等自然基本常數，因此其定義是基於並代表我們對物理定律的理解。這是第一次提供了一套完整的定義，而沒有涉及任何人工製品的標準、材料特性或量測描述。這些改變使所有單位的實現最終僅受到自然的量子結構和我們的技術能力所限制，而不受定義本身的限制。任何與定義常數相關的正確物理方程式都可用於單位的實現，從而產生創新的機會。隨著技術的進步，到處都可進行單位的實現且變得更加準確。因此，這種重新定義標誌著往前邁出歷史性的重要一步。這些改變於 2018 年 11 月由 CGPM 同意，且自 2019 年 5 月 20 日起生效，因為這一天是世界計量日，即 1875 年米制公約簽署的日子。由於這些改變對於未來的影響是深遠的，因此已特別留意確保這些定義在實施變更時與現行定義的一致性。

我們提請注意一個事實，即自 1960 年成立以來，國際單位制一直被簡稱為“SI”。該原則已在本手冊的前八版中得到保留，並在 CGPM 第 26 屆會議上的決議 1 中得到採納，該決議還確認本手冊的標題僅為“國際單位制”。這種對 SI 的參考一致性，反映出 CGPM 和 CIPM 在進行每一次的 SI 單位改變時，都努力確保以 SI 單位表示之量測值的連續性。

本手冊的正文係為提供 SI 的完整描述以及一些歷史背景而編寫的。其附有四個附錄：

附錄 1：依年代順序轉載了自 1889 年以來 CGPM 和 CIPM 所頒布有關於量測單位和國際單位制的所有決定(決議、建議和宣告)。

附錄 2：僅提供電子版(www.bim.org)。其概述七個基本單位和其他重要單位於各領域的實際實現。此附錄將定期更新，以反映實現這些單位之實驗技術的進步。

附錄 3：僅提供電子版(www.bim.org)。其討論光化學和光生物量的單位。

附錄 4：提供有關 SI 發展歷史的一些說明。

最後，我們向負責起草本手冊的國際度量衡委員會(CIPM)和單位諮詢委員會(CCU)的成員表示感謝。CCU 和 CIPM 也都批准了本文的最終版。

2019 年 3 月

國際度量衡委員會主席 B. Inglis

單位諮詢委員會主席 J. Ullrich

國際度量衡局局長 M.J.T. Milton



B. Inglis

國際度量衡委員會主  
席



J. Ullrich

單位諮詢委員會主席



M.J.T. Milton

國際度量衡局局長

#### 關於文字的說明

根據 1997 年 CIPM 的決定和其後的 2003 年 CGPM 第 22 屆會議的決定：“小數點應為行上的點或行上的逗號”。根據此一決定，並依照英、法兩種語言的慣用法，在此版本中，於英文文本中是採用行上的點為小數點，於法文文本中則採用逗號為小數點。但這並不意味可將小數點轉換為其他語言。而在英語系國家的語言中會出現的微小拼寫變化(例如 “metre” 和 “meter”，“litre ” 和 “liter” )，此處所提供的英文文本乃是遵循 ISO/IEC 80000 系列中的“數量和單位”。儘管如此，本手冊中所用的 SI 單位符號在所有語言中都是相同的。

CGPM 和 CIPM 的正式會議紀錄是以法文為文本。本手冊雖以英文文本提供，但在需要權威引證或對正文的解釋存在疑問時，仍應援用法文文本。

# 1 導論

## 1.1 SI 與定義常數

這本手冊介紹國際單位制(International System of Units)的定義和使用資訊，即眾所皆知的 SI(依法文 *Système international d'unités* 的簡稱)，手冊係由國際度量衡大會(General Conference on Weights and Measures, CGPM)負責制定。1960 年第 11 屆國際度量衡大會正式確定並建立了 SI，而後並持續地進行修改，以因應使用者的需求和科技的進步。2018 年由第 26 屆國際度量衡大會制定完成的第 9 版 SI 手冊，是最新也是自 SI 建立以來最重大的修訂版。米制公約(Metre Convention)及其機構，包含國際度量衡大會、國際度量衡委員會(Comité International des Poids et Mesures, CIPM)、國際度量衡局(Bureau International des Poids et Mesures, BIPM)和諮詢委員會(Consultative Committees)在第 5 頁「國際度量衡局和米制公約」中均有所記述。

SI 為應用於生活各方面的一致性單位制，包括國際貿易、製造、防衛、健康與安全、環境保護、以及鞏固上述領域的基礎科學。而構成 SI 基礎的量制以及相關的方程式，係以目前對自然現象的描述為本，且廣為所有科學家、技術人員和工程師所熟悉。

SI 單位的定義係建立在一組共七個定義常數上。完整的單位制可以從這些以 SI 單位所表示之定義常數的定值導出。這七個定義常數為整個單位制定義之最基本的特性。經考量這七個 SI 基本單位先前的定義以及科學的進展後，乃選定了最適合的特定常數來定義它們。

由 CIPM 各諮詢委員會所提出的各種實驗方法可被用於各項定義的實現。這些對實現方法的描述也被稱為“*mises en pratique, MeP*”。由於實現方法可能會因新實驗的研發而被修正，因此，有關實現定義的建議並不包含在本手冊裡，但是可以從國際度量衡局的網站得到。

## 1.2 使用定義常數定義 SI 的動機

歷來 SI 單位都是以一組基本單位來表示(目前為七個單位)，而所有其他的單位都是由這組基本單位的冪乘積所構成，這些單位被稱為導出單位。

基本單位曾以各種不同的類型定義：人工製品之特性如以國際公斤(千克)原器(International Prototype of the Kilogram, IPK)的質量定義單位公斤、以水三相點的特定物理狀態定義單位克耳文、以理想化的實驗定義單位安培和燭光、以自然常數的光速定義單位公尺(米)。

為了能實際運用在各種不同的應用上，這些單位不僅必須被定義，而且也應該能在物理上實現，以能廣為傳遞。在以一個人工製品來定義某一單位時，其定義和實現是同等的一這是進步之古文明所追求的路徑。雖然這是簡單而明確的，但人工製品會涉及遺失、損壞或改變的風險。而其他類型的單位定義則越來越抽象和理想化。在此，SI單位的實現在概念上是與它的定義分開的，原則上這些單位可以獨立地在任何地方和任何時候予以實現。此外，也可隨著科技的發展，引進既新且優的實現方法，而不需要重新定義單位。這些優點致使國際度量衡大會決定在定義基本單位時，採取藉由定義常數的輔助去定義所有的單位。最明顯的例子是公尺(metre)的定義，其定義歷史由最初的人工製品歷經原子基準躍遷、乃至最終以光速的固定數值定義之。

基本單位的選擇向來不是獨一無二，而是自歷史上發展起來，漸漸為 SI 使用者所熟悉。關於基本單位和導出單位的描述，仍維持在 SI 的現今定義中，但由於採用定義常數的結果，已被重新修訂。

### 1.3 SI 的落實

由國際度量衡大會所確定的 SI 單位定義，代表了可追溯至 SI 之量測的最高參考位準。

為了讓量測皆可追溯到 SI，世界各地的計量機構建立了定義的實際實現。各技術領域的諮詢委員會也提供了一個架構來確立定義實現的等同性，以調和世界各地的追溯性。

如果利益相關者需要，標準組織可對量和單位及其應用規則作進一步細節的指定。但一旦涉及到 SI 單位，這些標準就必須參考國際度量衡大會的定義。許多相關的規範內容已列入諸如由國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO)和國際電工委員會(International Electrotechnical Commission, IEC) 制訂的標準(ISO/IEC 80000 系列等國際標準)中。

有些國家已藉由國家立法，制定了對單位使用的法規，應用於一般用途或如商業、衛生、公共安全和教育等特定領域。幾乎所有的國家的法規都是以 SI 為本。國際法定計量組織(International Organization of Legal Metrology, OIML) 則負責調和這些法規的技術規範，使其達國際一致性。

## 2 國際單位制

### 2.1 定義量的單位

一個量的值通常是以一個數和一個單位的乘積表示。此單位是用來呈現某量的一種特定例子，用以作為參考，而數則是該量值與該單位的比例。對於一個特定的量，可以使用不同的單位來表示。例如粒子速度  $v$  的值可以表示為  $v = 25 \text{ m/s}$  或  $v = 90 \text{ km/h}$ ，其中公尺每秒(m/s)與公里每時(km/h)為用於同量值速度的不同單位。

例如，真空中的光速是自然常數，用  $c$  表示，其SI單位的值由關係式  $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$  給出，其中數值為 299 792 458，單位為 m/s。

在陳述量測結果之前，充分地說明被呈現的量是很重要的。這通常並不困難，例如在說明特定鋼棒的長度時。但是，如果要更準確且需詳述附加參數(如溫度)時，就可能變得比較複雜。

在公佈某一個量的量測結果時，必須包含受量測的**估計值**以及與該值相關的**不確定度**，且兩者應以相同的單位表示。

### 2.2 SI 的定義

像任何量一樣，一個基本常數的值可以一個數與一個單位的乘積表示。

以下的定義指定了每個常數在以其相對應的 SI 單位表示時，各個常數的確切數值。在明定了這些常數的確切數值後，其相對應單位的定義就變得更為明確。因為這些常數已被假定為不變的，其**數值**和**單位**的乘積必須等於該常數的**值**。

SI 單位 7 個常數的選擇，在於使 SI 中的任一單位都可以用一個定義常數本身或是數個定義常數的乘積或商來表示。

國際單位制(SI)是一套單位制，其中

- 銨-333 原子於未擾動基態的超精細躍遷頻率  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$  為  $9\,192\,631\,770 \text{ Hz}$ ，
- 光在真空中的速度  $c$  為  $299\,792\,458 \text{ m/s}$ ，
- 普朗克常數  $h$  為  $6.626\,070\,15 \times 10^{-34} \text{ J s}$ ，
- 基本電荷  $e$  為  $1.602\,176\,634 \times 10^{-19} \text{ C}$ ，
- 波茲曼常數  $k$  為  $1.380\,649 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ，
- 亞佛加厥常數  $N_{\text{A}}$  為  $6.022\,140\,76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ，
- 頻率  $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$  之單色輻射光的發光效能  $K_{\text{cd}}$  為  $683 \text{ lm/W}$ 。

根據  $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$ 、 $\text{J} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$ 、 $\text{C} = \text{A s}$ 、 $\text{lm} = \text{cd m}^2 \text{m}^{-2} = \text{cd sr}$  和  $\text{W} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3}$  等關係式，其中的單位赫茲、焦耳、庫侖、流明和瓦特及其單位符號 Hz、J、C、lm 和 W，分別與單位秒、公尺、公斤、安培、克耳文、莫耳和燭光及其單位符號 s、m、kg、A、K、mol 和 cd 相關。

這 7 個定義常數的數值沒有不確定度。

表 1 SI 的 7 個定義常數與其所定義的 7 個相應單位

定義常數	符號	數值	單位
銨超精細躍遷頻率	$\Delta\nu_{Cs}$	9 192 631 770	Hz
光在真空中的速度	$c$	299 792 458	$m\ s^{-1}$
普朗克常數	$h$	$6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$	J s
基本電荷	$e$	$1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$	C
波茲曼常數	$k$	$1.380\ 649 \times 10^{-23}$	$J\ K^{-1}$
亞佛加厥常數	$N_A$	$6.022\ 140\ 76 \times 10^{23}$	$mol^{-1}$
發光效能	$K_{cd}$	683	$lm\ W^{-1}$

國際單位制的基本特色在於當有任何改變需要時，將盡可能地保持改變前後的連續性。只要在科學的進步和知識允許範圍內，定義常數的數值會選擇與先前的定義相容。

### 2.2.1 7 個定義常數的性質

定義常數的性質範圍包含從自然界的基本常數到技術常數。

使用常數來定義單位，可將定義本身與該定義的實際實現分開討論。如此即可隨著定義實現技術的發展，開發出完全不同或更出色的實際實現，而不需要再對定義作任何改變。

涉及特殊應用的技術常數如頻率為  $540 \times 10^{12}$  赫茲的單色輻射發光效能  $K_{cd}$ ，原則上是可以任意選擇的，例如可將已約定的生理或其他加權因子包含在其中。相較之下，源於自然的基本常數就無此彈性，因為它們是透過物理方程式與其他常數相關聯的。這組七個定義常數之所以被選擇，係因其可提供最基本又穩定的通用參考基準，同時可用最小的不確定度來予以實際實現。在訂定其技術約定和規格時，同時也考慮到了其歷史的發展。

普朗克常數  $h$  和光在真空中的速度  $c$  兩者均被適當地描述為基本參數。它們分別用以決定量子效應和時空特性，而且在所有的標度和環境中，兩者對所有粒子和場都有均等的影響。

基本電荷  $e$  藉由精細結構常數  $\alpha = e^2/(2c\epsilon_0 h)$  對應至電磁力的耦合強度，其中  $\epsilon_0$  是真空介電常數或電常數。一些理論預測  $\alpha$  會隨時間而變化。不過在實驗中， $\alpha$  最大可能變化的極限值非常低，因此可以排除對可預見之實際量測的任何影響。

波茲曼常數  $k$  為對應於溫度(單位：克耳文)和能量(單位：焦耳)之間的比例常數，其數值是從溫標舊有的規格而來的。系統的溫度與熱能有比例關係，但不必然與系統的內能相關。在統計物理學上，波茲曼常數將熵  $S$  和量子力學可及態的數  $\Omega$  連結起來，表示為  $S = k \ln \Omega$ 。

銻頻率  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$  (銻-133 原子非擾動基態的超精細躍遷頻率)具有原子參數的特性。雖然它可能會受到環境如電磁場的影響，但這種潛層躍遷既穩定又易於理解，在實際的考量下，以其作為參考躍遷是一個不錯的選擇。對於原子參數如銻頻率  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$  的選定，並非使用如  $h$ 、 $c$ 、 $e$  或  $k$  的方法將其定義和實際實現分離，而是直接指定為參考基準。

亞佛加厥常數  $N_{\text{A}}$  為對應於物量(單位：莫耳)與實體數量(單位：1)之間的比例常數。因此，它具有與波茲曼常數  $k$  相似之比例常數特性。

頻率為  $540 \times 10^{12}$  赫茲的單色輻射發光效能  $K_{\text{cd}}$  是一個技術常數，其確切的數值關係則依刺激人眼的輻射功率(單位：瓦特)之純物理特性與標準觀察者在頻率  $540 \times 10^{12}$  赫茲下的光譜響應引起之光生物響應的光通量(單位：流明)而定。

## 2.3 SI 單位的定義

在採用 2018 年所通過的定義之前，國際單位制(SI)就已經是由七個基本單位來定義，而導出單位則是由這些基本單位的冪乘積所構成。兩者的區別就在於基本單位是由七個固定數值的定義常數來定義的，而導出單位則否。原則上這種區別是不需要的，因為所有單位，無論是基本單位或是導出單位，都可以直接由定義常數構成。儘管如此，基本單位和導出單位的概念仍予以維持，其原因除了其應用性以及悠久歷史之外，同時也關注到 ISO/IEC 80000 系列標準所指定的基本量和導出量必須對應於此處定義的 SI 基本單位和導出單位。

### 2.3.1 SI 基本單位

SI 基本單位如表 2 所列。

表 2 SI 基本單位

基本量		SI 基本單位	
名稱	符號	名稱	符號
時間	$t$	秒	s
長度	$l, x, r,$ 等	公尺	m
質量	$m$	公斤	kg
電流	$I, i$	安培	A
熱力學溫度	$T$	克耳文	K
物量	$n$	莫耳	mol
光強度	$I_v$	燭光	cd

量的符號通常為拉丁或希臘字母中的單個字母，並建議以斜體字體印刷。單位的符號則強制以直立字型(羅馬字型)書寫印刷，請參閱第5章。

SI 基本單位的定義是由數個數值固定的定義常數開始推導的，藉由適當地使用這些定義常數中的一個或多個常數，可以推導出每一個基本單位的定義如下：

#### 秒

秒，符號為 s，係時間的 SI 單位。是以鈹頻率(鈹-133 原子於穩定基態的超精細躍遷頻率)  $\Delta\nu_{Cs}$  的固定數值 9 192 631 770 定義之， $\Delta\nu_{Cs}$  的單位為赫茲(Hz)，相當於秒<sup>-1</sup>(s<sup>-1</sup>)。

這定義意含  $\Delta\nu_{Cs} = 9\,192\,631\,770$  Hz 的確切關係。反轉這關係可給出一個由定義常數  $\Delta\nu_{Cs}$  對單位秒的表達式：

$$1 \text{ Hz} = \frac{\Delta\nu_{Cs}}{9\,192\,631\,770} \quad \text{或} \quad 1 \text{ s} = \frac{9\,192\,631\,770}{\Delta\nu_{Cs}}$$

依此定義，1 秒即為：鈹-133 原子於非擾動基態之兩個超精細能階間躍遷時，所對應 9 192 631 770 個輻射週期的持續時間。

定義中所提到的非擾動原子是為了清楚表明 SI 秒的定義是基於一個孤立的鈹原子，它不受任何外部場如環境黑體輻射的干擾。

以此定義的秒，正是廣義相對論所指原時(proper time)的單位。為能提供一個協調時(coordinated time)的標度，在不同位置之各個不同原級時鐘的信號必須予以合併分析，並為相對論鈹頻率偏移進行修正(見 2.3.6 節)。

基於選定之原子、離子或分子的譜線，國際度量衡委員會已採用各個秒的另一種表示法。雖然這些已定譜線的非擾動頻率，其相對不確定度都不小於以鈹-133 超精細的躍遷頻率所實現的秒定義，但有些卻也能非常穩定地再現。

## 公尺(米)

公尺，符號為  $m$ ，係長度的 SI 單位。是以光在真空中的速度  $c$  之固定數值 299 792 458 定義之， $c$  的單位為公尺每秒( $m s^{-1}$ )，而秒則是由鉅頻率  $\Delta\nu_{Cs}$  所定義。

這定義意含  $c = 299\,792\,458\ m s^{-1}$  的確切關係。反轉這關係可給出一個由定義常數  $c$  和  $\Delta\nu_{Cs}$  對單位公尺的精確表達式：

$$1\ m = \left( \frac{c}{299\,792\,458} \right) s = \frac{9\,192\,631\,770}{299\,792\,458} \frac{c}{\Delta\nu_{Cs}} \approx 30.663\,319 \frac{c}{\Delta\nu_{Cs}}$$

依此定義，1 公尺即為：光在真空中於 299 792 458 分之 1 秒時間間隔內所行經之長度。

## 公斤(千克)

公斤，符號為  $kg$ ，係質量的 SI 單位。是以普朗克常數  $h$  的固定數值  $6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$  定義之， $h$  的單位為焦耳秒( $J s$ )，即等於  $kg\ m^2\ s^{-1}$ ，其中公尺和秒係由  $c$  和  $\Delta\nu_{Cs}$  所定義。

這定義含  $h = 6.626\,070\,15 \times 10^{-34}\ kg\ m^2\ s^{-1}$  的確切關係。反轉這關係可給出一個由  $h$ 、 $\Delta\nu_{Cs}$  和  $c$  等定義常數對單位公斤的精確表達式：

$$1\ kg = \left( \frac{h}{6.626\,070\,15 \times 10^{-34}} \right) m^{-2} s$$

這相當於

$$1\ kg = \frac{(299\,792\,458)^2}{(6.626\,070\,15 \times 10^{-34})(9\,192\,631\,770)} \frac{h \Delta\nu_{Cs}}{c^2} \approx 1.475\,5214 \times 10^{40} \frac{h \Delta\nu_{Cs}}{c^2}$$

此定義定義了單位  $kg\ m^2\ s^{-1}$  (作用量和角動量的單位)。由此定義加上秒和公尺的定義，可導出以普朗克常數表示的質量單位定義。

原有的公斤定義為確切地將國際公斤原器  $m(K)$  的質量值定為 1 公斤，而普朗克常數  $h$  的值必須經由實驗來決定。經重新定義後，現在則是確切地固定  $h$  的值，而公斤原器的質量則必須經由實驗來確定。

在此定義中所選用普朗克常數的數值，係基於其被採納之時，國際原器  $m(K) = 1\ kg$  的質量值所具有的相對標準不確定度為  $2 \times 10^{-8}$ ，這是普朗克常數值在最佳評估條件下所得到的組合標準不確定度。

值得注意的是，根據現在的定義，原則上可以在質量標度上的任意點實現原級的質量標準。

**安培**

安培，符號為 A，係電流的 SI 單位。是以基本電荷  $e$  的固定數值  $1.602\,176\,634 \times 10^{-19}$  定義之， $e$  的單位為庫侖(C)，即等於 A s，其中秒係由  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$  所定義。

這定義含  $e = 1.602\,176\,634 \times 10^{-19}$  A s 的確切關係。反轉這關係可給出一個由定義常數  $e$  和  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$  對單位安培的精確表達式：

$$1 \text{ A} = \left( \frac{e}{1.602\,176\,634 \times 10^{-19}} \right) \text{ s}^{-1}$$

這相當於

$$1 \text{ A} = \left( \frac{1}{(9\,192\,631\,770)(1.602\,176\,634 \times 10^{-19})} \right) \Delta\nu_{\text{Cs}} e \approx 6.789\,687 \times 10^8 \Delta\nu_{\text{Cs}} e$$

依此定義，1 安培即為：對應於每秒流過  $1/(1.602\,176\,634 \times 10^{-19})$  個基本電荷的電流。

原有的安培定義是以載有電流的兩導體之間的力，同時將真空導磁率  $\mu_0$  (也稱為磁常數) 的值確切地定為  $4\pi \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1} = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$  為基礎，其中 H 和 N 分別表示一致導出單位的亨利和牛頓。新的安培定義則是固定  $e$  的值而不是  $\mu_0$ ，其結果是  $\mu_0$  的值必須經由實驗來決定。

隨之而來的是真空介電常數  $\epsilon_0$  (稱為電常數)、真空特性阻抗  $Z_0$  和真空導納  $Y_0$  將分別等於  $1/\mu_0 c^2$ 、 $\mu_0 c$  和  $1/\mu_0 c$ 。因此， $\epsilon_0$ 、 $Z_0$  和  $Y_0$  的值現在也必須由實驗來確定，並且受到與  $\mu_0$  相同的相對標準不確定度的影響，因為  $c$  是確切已知的。 $\epsilon_0$  和  $\mu_0$  的乘積  $\epsilon_0 \mu_0 = 1/c^2$ ，以及商  $Z_0/\mu_0 = c$  均保持其確切性。在採用新的安培定義後， $\mu_0$  等於  $4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ ，其相對標準不確定度為  $2.3 \times 10^{-10}$ 。

## 克耳文

克耳文，符號為 K，係熱力學溫度的 SI 單位。是以波茲曼常數  $k$  的固定數值  $1.380\ 649 \times 10^{-23}$  定義之， $k$  的單位為焦耳每克耳文 ( $\text{J K}^{-1}$ )，即等於  $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$ ，其中公斤、公尺和秒係分別由  $h$ ,  $c$  和  $\Delta \nu_{\text{Cs}}$  所定義。

這定義含  $k = 1.380\ 649 \times 10^{-23} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ K}^{-1}$  的確切關係。反轉這關係可給出一個由定義常數  $h$ ,  $c$  和  $\Delta \nu_{\text{Cs}}$  對單位克耳文的精確表達式：

$$1 \text{ K} = \left( \frac{1.380\ 649}{k} \right) \times 10^{-23} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$$

這相當於

$$1 \text{ K} = \left( \frac{1.380\ 649 \times 10^{-23}}{(6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34})(9\ 192\ 631\ 770)} \right) \frac{\Delta \nu_{\text{Cs}} h}{k} \approx 2.266\ 665\ 3 \frac{\Delta \nu_{\text{Cs}} h}{k}$$

依此定義，1 克耳文即為導致熱能  $kT$  變化  $1.380\ 649 \times 10^{-23}$  焦耳的熱力學溫度變化量。

原有的克耳文定義是確切地選定水三相點  $T_{\text{TPW}}$  為 273.16 K。由於新的克耳文定義是固定於  $k$  的數值而不是  $T_{\text{TPW}}$ ，因此現在  $T_{\text{TPW}}$  必須經由實驗來決定。採用新的定義後， $T_{\text{TPW}}$  等於 273.16 K，含相對標準不確定度  $3.7 \times 10^{-7}$ ，此不確定度係以重新定義前對  $k$  所進行的量測為依據

依照慣用的溫標定義方式，是採用與參考溫度  $T_0 = 273.15 \text{ K}$  (水凝固點) 的差值來表示熱力學溫度  $T$ ，目前仍保留這個慣例來表達。此一溫度差值稱為攝氏溫度  $t$ ，用如下之量值方程式定義之：

$$t = T - T_0$$

攝氏溫度的單位為攝氏度，符號為  $^{\circ}\text{C}$ 。根據定義，其量值大小等於單位克耳文。溫差或溫度間隔(interval)可以用克耳文或攝氏度表示，在任一情況下溫差的數值都相同。然而，以攝氏度表示攝氏溫度的數值與以克耳文表示熱力學溫度的數值之間的關係如下式：

$$t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273.15$$

(有關此處使用的符號的說明，請參閱 5.4.1)

克耳文和攝氏度兩者都是 1989 年國際度量衡委員會於其建議 5(CI1989, PV, 57, 115) 中所採用的 1990 年國際溫標(ITS-90)單位。請注意，ITS-90 定義了與相應熱力學溫度  $T$  和  $t$  接近的兩個量  $T_{90}$  和  $t_{90}$ 。

值得注意的是，根據現在的定義，原則上可以在溫標上的任意點實現原級的克耳文標準。

## 莫耳

莫耳，符號為 mol，係物量(物質的量的) SI 單位。1 莫耳含有  $6.022\ 140\ 76 \times 10^{23}$  個

**基本實體。**這個數為亞佛加厥常數的固定數值  $N_A$ ， $N_A$  的單位為  $\text{mol}^{-1}$ ，稱為亞佛加厥數。

**物量**，符號為  $n$ ，系統之物量是對指定基本實體數的量測。基本實體可以是原子、分子、離子、電子以及任何其它粒子或特定的粒子群。

這定義含  $N_A = 6.022\ 140\ 76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  的確切關係。反轉這關係可給出一個由定義常數  $N_A$  對單位莫耳的精確表達式：

$$1 \text{ mol} = \left( \frac{6.022\ 140\ 76 \times 10^{23}}{N_A} \right)$$

依此定義，1 莫耳即為含有  $6.022\ 140\ 76 \times 10^{23}$  個指定基本實體的系統之物量。

原有的莫耳定義為確切的將碳-12 的莫耳質量值  $M(^{12}\text{C})$  定為  $0.012 \text{ kg/mol}$ 。依目前的定義， $M(^{12}\text{C})$  不再是確切的定值，而是必須經由實驗來決定。依目前的莫耳定義所選定的  $N_A$  值，會使得  $M(^{12}\text{C})$  仍等於  $0.012 \text{ kg/mol}$ ，但含有  $4.5 \times 10^{-9}$  之相對標準不確定度。

任何原子(或分子) $X$  的莫耳質量  $M(X)$  仍可從其相對原子質量  $A_r(X)$  依下式獲得：

$$M(X) = A_r(X) [M(^{12}\text{C})/12] = A_r(X) M_u$$

而且，任何原子(或分子) $X$  的莫耳質量  $M(X)$  亦可依下式與基本實體  $m(X)$  質量相關聯：

$$M(X) = N_A m(X) = N_A A_r(X) m_u$$

在這些方程式中， $M_u$  是莫耳質量常數，等於  $M(^{12}\text{C})/12$ ； $m_u$  是統一的原子質量常數，等於  $m(^{12}\text{C})/12$ 。它們與亞佛加厥常數的關係如下式：

$$M_u = N_A m_u$$

在「物質的量」(amount of substance)這名稱中，「物質」(substance)一詞通常會以與特定應用相關的物質字眼替代，例如「氯化氫的量(amount of hydrogen chloride)， $\text{HCl}$ 」或「苯的量(amount of benzene)， $\text{C}_6\text{H}_6$ 」。對涉及的實體給出一個精確的定義是非常重要的(正如在莫耳的定義中所強調的)；這最好應經由指定相關材料的分子化學式來完成。儘管「量(amount)」一詞有更通用的字典定義，但為簡潔起見，可將全名「物質的量(amount of substance)」簡稱為「物量(amount)」。這也適用於如「物質的量濃度(amount-of-substance concentration)」之類的導出量，其可簡稱為「物量濃度(amount concentration)」。在臨床化學領域中，「物質的量濃度(amount-of-substance concentration)」通常簡稱為「物質濃度(substance concentration)」。

## 燭光

燭光，符號為 cd，係給定方向光強度之 SI 單位。是以頻率  $540 \times 10^{12}$  赫茲單色輻射光的發光效能  $K_{\text{cd}}$  之固定數值 683 定義之， $K_{\text{cd}}$  的單位為  $\text{lm W}^{-1}$ ，即等於  $\text{cd sr W}^{-1}$  或  $\text{cd sr kg}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^3$ 。其中公斤、公尺和秒分別由  $h, c$  和  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$  所定義。

這定義含對頻率  $\nu = 540 \times 10^{12}$  赫茲之單色輻射光  $K_{\text{cd}} = 683 \text{ cd sr kg}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^3$  的確切關係。反轉這關係則可給出一個由定義常數  $K_{\text{cd}}$ 、 $h$  和  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$  對單位燭光的精確表達式：

$$1 \text{ cd} = \left( \frac{K_{\text{cd}}}{683} \right) \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-3} \text{ sr}^{-1}$$

這相當於

$$\begin{aligned} 1 \text{ cd} &= \frac{1}{(6.626\,070\,15 \times 10^{-34})(9\,192\,631\,770)^2 \times 683} (\Delta\nu_{\text{Cs}})^2 h K_{\text{cd}} \\ &\approx 2.614\,830 \times 10^{10} (\Delta\nu_{\text{Cs}})^2 h K_{\text{cd}} \end{aligned}$$

依此定義，1 燭光即為頻率  $540 \times 10^{12}$  赫茲之單色輻射光，在給定方向發出之每立強輻射通量為 683 分之 1 瓦特之光強度。立強的定義如表 4 所示。

### 2.3.2 SI 單位的實際實現

使用物理方程式實現單位的最高階實驗方法稱為原級方法(primary methods)。原級方法的基本特徵為讓一個具有特定單位的受量測，僅藉由不含該單位的量進行量測。在現有的 SI 公式中，定義的基礎已不同於以往，因此可使用新的方法來落實 SI 單位的實際實現。

使用者現在可自由選擇任何方便的物理方程式，將定義常數和量測的量相聯結，而不是對每個定義都指定一個特定條件或物理狀態，致使為實現的準確度設定了基本限制。這是界定基本量測單位更通用的方法。它不受當今科學或技術的限制，未來也可能發展出不同的方法，以更高的準確度來實現單位。以此方式進行定義時，原則上對單位實現的準確度是沒有限制的。但秒的定義仍是例外，其中原本的銻微波躍遷必須保留，暫時作為定義的基礎。有關 SI 單位實現的更完整的解釋，請參閱附錄 2。

### 2.3.3 量的量綱

物理量可組織成量綱系統，所使用的系統依約定而決定。用於 SI 中的每一個基本量，都被視為具有自己的量綱。用於基本量的符號和表示它們量綱的符號如表 3 所示。

表 3 SI 中使用的基本量和量綱

基本量	量的典型符號	量綱的符號
時間	$T$	T
長度	$l, x, r$ , 等	L
質量	$M$	M
電流	$I, i$	I
熱力學溫度	$T$	Θ
物量	$N$	N
光強度	$I_v$	J

除數目以外，所有其他量均為導出量，可以依據物理方程式用基本量來表示。導出量的量綱是依導出量與基本量相關的方程式，以基本量量綱的冪乘積表示的。一般而言，任何量  $Q$  的量綱都是以量綱乘積的形式寫成的，

$$\dim Q = T^\alpha L^\beta M^\gamma I^\delta \Theta^\varepsilon N^\zeta J^\eta$$

其中指數  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ 、 $\varepsilon$ 、 $\zeta$  和  $\eta$  通常是小的整數，其可為正數、負數或零，被稱為量綱指數。

有些導出量  $Q$  在定義方程式中，其所有量綱的量綱指數都為零。特別對於任何以兩種相同量之比例為定義的量都是如此。例如，折射率是兩個速度的比，而相對介電常數是電介質與自由空間的介電常數之比。這些量僅僅是數字，其相關的單位是單位 1，符號為“1”，但很少明確地寫出來(見 5.4.7)。

還有一些量無法用 SI 的七個基本量來描述，但具有數目的性質。例如許多分子、許多細胞或生物分子實體(如特定核酸序列的複製)，或量子力學中的簡併度等。計數量也是具有單位為 1 的量。

單位 1 是任何單位制的中立元素—必然會自動呈現。沒有規定一定要正式提到它。因此，只要通過被適當驗證過的量測程序，即可建立其對 SI 的正式追溯。

在 SI 中，當平面角和立體角分別用「*徑*」和「*立徑*」表示時，實際上也以單位 1 的量進行處理(見 5.4.8 節)。符號“rad”和“sr”被明確地寫在適當的地方，係為了強調*徑*和*立徑*所考慮的量分別為平面角或立體角。例如，對於*立徑*，它強調輻射計量學和光度學中的輻射通量與光強度的單位間的區別。然而，在數學和所有科學領域中，使用  $\text{rad} = 1$  和  $\text{sr} = 1$  是一個長期以來的做法。由於歷史原因，「*徑*」和「*立徑*」被視為導出單位，如 2.3.4 節所述。

特別重要的為以單位 1(見 5.4.7 節)表示同類量的比例(如長度比或數量分數)或計數(如光子數或衰變)時，應明確說明之。

### 2.3.4 導出單位

導出單位被定義為基本單位的冪乘積。當該乘積的數字因子是 1 時，導出單位被稱為一致導出單位。SI 的基本單位和一致導出單位形成一致的集合，被定為一致 SI 單位的集合。這裡的“一致”一詞意味著量的數值之間的方程式與量之間的方程式是採用完全相同的形式。

SI 中有些一致導出單位被賦予特定名稱。表 4 列出了 22 個具有特定名稱的 SI 單位。這些單位與七個基本單位(表 2)共同構成了 SI 單位組的核心。所有其他的 SI 單位都是由這 29 個單位中的部分單位組合而成。

需要注意的是，七個基本單位和 22 個 SI 單位中的任何一個，都可直接由七個定義常數構成。事實上，七個定義常數的單位包括了基本單位和導出單位。

國際度量衡大會已採用一系列的前綴詞，形成一致 SI 單位的 10 進制倍數及分數(見第 3 章)。這些前綴詞便於表達比一致單位大得多或小得多的量值。可是，當前綴詞與 SI 單位一起使用時，由此產生的單位就不再一致，因為前綴詞引進一個不是 1 的數字因子。除了基本單位公斤外，前綴詞可與具有特定名稱的 29 個 SI 單位中的任何一個合併使用，這將在第 3 章中作進一步說明。

表 4 22 個特定名稱之 SI 導出單位和符號

導出量名稱	單位特定名稱	以 SI 基本單位表示 <sup>(a)</sup>	以其他 SI 單位表示
平面角	<i>徑</i> <sup>(b)</sup>	$\text{rad} = \text{m}/\text{m}$	
立體角	<i>立徑</i> <sup>(c)</sup>	$\text{sr} = \text{m}^2/\text{m}^2$	
頻率	赫茲 <sup>(d)</sup>	$\text{Hz} = \text{s}^{-1}$	
力	牛頓	$\text{N} = \text{kg m s}^{-2}$	
壓力、應力	帕斯卡	$\text{Pa} = \text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$	
能、功、熱量	焦耳	$\text{J} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$	N m
功率、輻射通量	瓦特	$\text{W} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3}$	J/s
電荷	庫倫	$\text{C} = \text{A s}$	

電位差 <sup>(e)</sup>	伏特	$V = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3} \text{A}^{-1}$	W/A
電容	法拉	$F = \text{kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^4 \text{A}^2$	C/V
電阻	歐姆	$\Omega = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3} \text{A}^{-2}$	V/A
電導	西門	$S = \text{kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^3 \text{A}^2$	A/V
磁通量	韋伯	$\text{Wb} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{A}^{-1}$	V s
磁通密度	特士拉	$T = \text{kg s}^{-2} \text{A}^{-1}$	Wb/m <sup>2</sup>
電感	亨利	$H = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{A}^{-2}$	Wb/A
攝氏溫度	攝氏度 <sup>(f)</sup>	$^{\circ}\text{C} = \text{K}$	
光通量	流明	$\text{lm} = \text{cd sr}^{(g)}$	cd sr
光照度	勒克斯	$\text{lx} = \text{cd sr m}^{-2}$	lm/m <sup>2</sup>
放射性核種活度 <sup>(d,h)</sup> (活度)	貝克	$\text{Bq} = \text{s}^{-1}$	
吸收劑量、克馬	戈雷	$\text{Gy} = \text{m}^2 \text{s}^{-2}$	J/kg
等效劑量	西弗 <sup>(i)</sup>	$\text{Sv} = \text{m}^2 \text{s}^{-2}$	J/kg
催化活性	卡塔爾	$\text{kat} = \text{mol s}^{-1}$	

(a) 本表中基本單位的符號順序與第8版不同，係因在CCU第21屆會議(2013年)決定恢復到第11屆國際度量衡大會(1960年)決議12中的原始順序，如牛頓寫為“kg m s<sup>-2</sup>”、焦耳為“kg m<sup>2</sup> s<sup>-2</sup>”、焦耳秒為“kg m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>”。其目的在反映出相應之量方程式的基本物理(雖然對於一些更複雜的導出單位，可能不容易達到此一目的)。

(b) 徑是平面角度的一致單位。1徑為圓周上一段與圓半徑等長之圓弧所對之角量。它也是相角的單位。對於週期性的現象，其相角在一個週期內增加2π徑。徑以前是SI的輔助單位，但此類別在1995年即被廢除。

(c) 立徑是立體角的一致單位。1立徑為圓球表面上與球體之半徑平方的面積相等之表面面積所對應之立體角量。像徑一樣，立徑亦曾是SI的輔助單位。

(d) 赫茲只能用於週期性現象，而貝克只能用於放射核種活性的隨機過程。

(e) 在許多國家，電位差也被稱為“電壓”，另在一些國家稱之為“電張力”或簡稱“張力”。

(f) 攝氏度用來表示攝氏溫度。當以攝氏度或克耳文表示時，溫度差或溫度間隔的數值是相同的。

(g) 在光度學中，立徑及其符號sr常用來表示單位。

(h) 放射性核種活度有時被錯誤地稱為放射性。

(i) 詳見國際度量衡委員會建議2關於西弗的使用(PV, 2002, 70, 205)。

7個基本單位和具有特殊名稱和符號的22個單位可以組合使用，以表示其他導出量的單位。由於量沒有限度，因此無法提供導出量和導出單位的完整列表。表5列出了一些導出量的例子，以及其相對應以基本單位表示的一致導出單位。此外，一些名稱和符號也包含導出單位的一致導出單位，也舉例列於表6中。完整的SI單位集合體包括一致性的單位集合體和使用SI前綴詞形成的倍數和分倍數。

表 5 用基本單位表示的 SI 一致導出單位之例

導出量	量的典型符號	用基本單位表示之 SI 導出單位
面積	$A$	$m^2$
體積	$V$	$m^3$
速率、速度	$v$	$m s^{-1}$
加速度	$a$	$m s^{-2}$
波數	$\sigma$	$m^{-1}$
密度、質量密度	$\rho$	$kg m^{-3}$
表面密度	$\rho_A$	$kg m^{-2}$
比容	$v$	$m^3 kg^{-1}$
電流密度	$j$	$A m^{-2}$
磁場強度	$H$	$A m^{-1}$
物量濃度	$c$	$mol m^{-3}$
質量濃度	$\rho, \gamma$	$kg m^{-3}$
亮度	$L_V$	$cd m^{-2}$

表 6 SI 一致導出單位之例，其名稱和符號含具特定名稱和符號的 SI 一致導出單位

導出量	一致導出單位的名稱	符號	以 SI 基本單位表示
動力黏度	帕斯卡秒	$Pa s$	$kg m^{-1} s^{-1}$
力矩	牛頓公尺	$N m$	$kg m^2 s^{-2}$
表面張力	牛頓每公尺	$N m^{-1}$	$kg s^{-2}$
角速度、角頻率	徑每秒	$rad s^{-1}$	$s^{-1}$
角加速度	徑每平方秒	$rad/s^2$	$s^{-2}$
熱通量密度、輻射照度	瓦特每平方公尺	$W/m^2$	$kg s^{-3}$
熱容量、熵	焦耳每克耳文	$J K^{-1}$	$kg m^2 s^{-2} K^{-1}$
比熱容、比熵	焦耳每公斤克耳文	$J K^{-1} kg^{-1}$	$m^2 s^{-2} K^{-1}$
比能	焦耳每公斤	$J kg^{-1}$	$m^2 s^{-2}$
導熱係數	瓦特每公尺克耳文	$W m^{-1} K^{-1}$	$kg m s^{-3} K^{-1}$
能量密度	焦耳每立方公尺	$J m^{-3}$	$kg m^{-1} s^{-2}$
電場強度	伏特每公尺	$V m^{-1}$	$kg m s^{-3} A^{-1}$
電荷密度	庫倫每立方公尺	$C m^{-3}$	$A s m^{-3}$
表面電荷密度	庫倫每平方公尺	$C m^{-2}$	$A s m^{-2}$
電通量密度、電位移	庫倫每平方公尺	$C m^{-2}$	$A s m^{-2}$
介電常數	法拉每公尺	$F m^{-1}$	$kg^{-1} m^{-3} s^4 A^2$
導磁率	亨利每公尺	$H m^{-1}$	$kg m s^{-2} A^{-2}$

莫耳能	焦耳每莫耳	$\text{J mol}^{-1}$	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{mol}^{-1}$
莫耳熵、莫耳熱容量	焦耳每莫耳克耳文	$\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{mol}^{-1} \text{K}^{-1}$
曝露( $\gamma$ 及 $\gamma$ 射線)	庫侖每公斤	$\text{C kg}^{-1}$	$\text{A s kg}^{-1}$
吸收劑量率	戈雷每秒	$\text{Gy s}^{-1}$	$\text{m}^2 \text{s}^{-3}$
輻射強度	瓦特每立徑	$\text{W sr}^{-1}$	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-3}$
輻射亮度	瓦特每平方公尺立徑	$\text{W sr}^{-1} \text{m}^{-2}$	$\text{kg s}^{-3}$
催化活性濃度	卡塔爾每立方公尺	$\text{kat m}^{-3}$	$\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-3}$

特別要強調的是，每個物理量只有一個一致性的 SI 單位，即使這個單位可以用某些特定名稱和符號以不同形式表達。

但反過來就未必如此，一般來說，幾個不同的量可以共用相同的 SI 單位。例如，對於熱容量和熵，它們的 SI 單位都是焦耳每克耳文(J/K)。同樣的，對於基本量電流和導出量磁動勢，其 SI 單位也都是以安培(A)表示。因此，要注意的是不能單獨用某一單位來指定某一量。這不僅適用於技術文件，也適用於量測儀器(即儀器顯示值需要同時顯示量測的單位和量別)。

在實務上，為了便於區分具有相同量綱的不同量，對於某些特定的量，應優先選用特定的單位名稱。依此選用時，人們可能會想起這個量被定義的過程。例如，力矩是位置向量和力向量的叉積，SI 單位為牛頓公尺。儘管力矩與能量(SI 單位為焦耳)具有相同的量綱，但焦耳從不用於表示力矩。

頻率的 SI 單位是赫茲，而角速度和角頻率的 SI 單位是徑每秒，放射性核種活度的 SI 單位是貝克；三者均含有每秒的計數之意。雖然形式上以秒的倒數( $\text{s}^{-1}$ )來表示這三個量的單位是正確無誤的，但採用不同的名稱來表達，則更可強調各量別的性质差異。其中尤其要留意頻率和角頻率的區分。因為根據定義，它們的數值相差一個  $2\pi$  的因子<sup>1</sup>。忽略這一事實可能會導致  $2\pi$  的誤差。同時要注意在某些國家，頻率值通常用“cycle/s”或“cps”為單位來表示，而不是用 SI 單位的“Hz”，儘管“cycle”和“cps”並非 SI 的單位。此外還要注意，雖然並不建議使用，但仍常見以“rad/s”表示頻率的單位。因此，建議對於“頻率”、“角頻率”和“角速度”等量別，仍應明確的以單位“Hz”或“rad/s”表示，而不是“ $\text{s}^{-1}$ ”。

在游離輻射領域，其 SI 單位應使用貝克(Bq)而不用秒的倒數( $\text{s}^{-1}$ )。對於吸收劑量和等效劑量，也分別以 SI 單位戈雷(Gy)和西弗(Sv)來表示，而不使用每公斤焦耳(J/kg)。尤其要特別留意貝克(Bq)、戈雷(Gy)和西弗(Sv)這三個特定名稱，因為如果錯用了秒的倒數( $\text{s}^{-1}$ )和公斤每焦耳(J/kg)等單位，可能會對人體健康造成危害。尤其是誤以為為秒的倒數和焦耳每公斤所表示的量，是與游離輻射無關的量。

國際電工委員會(The International Electrotechnical Commission, IEC) 已經引入乏(符號: var)作為無效功率單位的特殊名稱。就SI一致單位而言，乏(var)與伏安(VA)是一樣的。

<sup>1</sup> 詳細請參閱 ISO 80000-3

在分別表示溫度或溫差時必須特別小心。1 K 的溫差等於 1 °C 的溫差，但對絕對溫度而言，就必須考慮到 273.15 K 的差異。只有在表達溫差時，攝氏度單位才與克耳文(K)具有一致性。

### 2.3.5 描述生物和生理影響之量的單位

表 2 和表 4 中列出四個含有生理加權因子的 SI 單位，包括燭光(cd)、流明(lm)、勒克斯(lx)和西弗(Sv)。

流明(lm)和勒克斯(lx)是由基本單位燭光(cd)導出。像燭光(cd)一樣，它們帶有與人類視覺相關的資訊。燭光(cd)早在 1954 年就成為基本單位，表示光在日常生活中的重要性。更多關於光化學和光生物量的單位定義和慣用的資訊，詳見附錄 3。

游離輻射的能量會沈積在所照射的物質中，其所沈積的能量與該物質質量的比率稱為吸收劑量  $D$ 。根據國際度量衡委員會在 2002 年的決定，等效劑量  $H = QD$  是吸收劑量  $D$  和射質因數(quality factor)  $Q$  的乘積。射質因數  $Q$  與輻射的生物有效性相關，並取決於輻射的能量和類型。

有些單位包含有加權因子，用以描述生物效應的相關量別，但並不屬於 SI 單位。在此列舉以下兩個例子：

聲音引起空氣中的壓力波動，疊加在正常大氣壓力上，由人耳感知。耳朵的靈敏度取決於聲音的頻率，但它不是壓力變化或頻率的簡單函數。因此，頻率加權量被用在聲學中，作為接近於聲音的感知方法。它們用於諸如防止聽力損傷的量測上。超音波的影響在醫學診斷和治療中，亦有類似的關係。

有一類的單位是用來量化醫療診斷和治療中一些物質的生物活性，這些量別尚不能用 SI 單位來定義。其定義的缺乏是因為這些物質特定生物效應的機制還未被充分理解，以致仍無法用相關的物理化學參數來量化。但鑑於其對人類健康和安全性的重要性，乃由世界衛生組織(World Health Organization, WHO)負責為這些物質的生物活性界定 WHO 國際單位(International Units, IU)。

### 2.3.6 在廣義相對論的框架內的 SI 單位

單位的實際實現和比較過程需要一組涵蓋在理論記述架構內的方程式。在某些情況下，這些方程式包含了相對論效應。

對於頻率標準，可藉由電磁訊號在相離甚遠的各地方進行比較。為解釋此一結果，需要用到廣義相對論，因它預測地球表面高度每差 1 公尺，各標準頻率之間會產生大約有  $1 \times 10^{-16}$  的相對頻率偏移。在進行最佳化的頻率標準比較時，必須對此偏移所造成的效應進行修正。

當頻率標準的實際實現在局部區域中進行比較時，亦即在較小的時空域進行時，可以忽略廣義相對論描述的時空曲率所造成的影響。當其實現具有相同的時空坐標時(例如相同的運動和加速度或重力場)，則可完全忽略相對論的效應。

### 3 SI 單位的十進制倍數和分數

對於從  $10^{24}$  到  $10^{-24}$  的十進制倍數和分數，表 7 列出了這些倍數和分數等前綴詞的名稱和符號，以與 SI 單位一起使用。

前綴詞符號與單位符號一樣，均應以直立字型書寫，而與前後文章中所使用的字體無關，並且應加在單位符號之前，與符號之間不必保留空格。除了 da(十)，h(百)和 k(千)之外，所有倍數前綴詞符號都是大寫字母，所有分數前綴詞符號都是小寫字母。除了在英文句子的開頭外，所有前綴詞名稱都應以小寫字母書寫。

SI 前綴詞嚴格地指 10 的乘幂。它們不應用於指示 2 的乘幂(例如，1 千位元組代表 1000 位元而不是  $10^{24}$  位元)。要表示 2 的乘幂之前綴詞時，建議使用如下所示的名稱和符號：

kibi	Ki	$2^{10}$
mebi	Mi	$2^{20}$
gibi	Gi	$2^{30}$
tebi	Ti	$2^{40}$
pebi	Pi	$2^{50}$
exbi	Ei	$2^{60}$
zebi	Zi	$2^{70}$
yobi	Yi	$2^{80}$

表 7 SI 前綴詞

因子	名稱	代號	因子	名稱	代號
$10^1$	十 (deka)	da	$10^{-1}$	分 (deci)	d
$10^2$	百 (hecto)	h	$10^{-2}$	厘 (centi)	c
$10^3$	千 (kilo)	k	$10^{-3}$	毫 (milli)	m
$10^6$	百萬 (mega)	M	$10^{-6}$	微 (micro)	$\mu$
$10^9$	吉 (giga)	G	$10^{-9}$	奈 (nano)	n
$10^{12}$	兆 (tera)	T	$10^{-12}$	皮 (pico)	p
$10^{15}$	拍 (peta)	P	$10^{-15}$	飛 (femto)	f
$10^{18}$	艾 (exa)	E	$10^{-18}$	阿 (atto)	a
$10^{21}$	皆 (zetta)	Z	$10^{-21}$	介 (zepto)	z
$10^{24}$	佑 (yotta)	Y	$10^{-24}$	攸 (yocto)	y

由前綴詞符號與單位符號緊靠在一起，就組成了一個不可分離的新單位符號(形成原單位的十進制倍數或分數)，其亦可用 10 的正或負乘幂表示，並可與其他單位符號組合而成複合單位符號。

例如：pm (picometre), mmol (mllimole),  $G\Omega$  (gigaohm), THz (terahertz)

$$2.3 \text{ cm}^3 = 2.3 (\text{cm})^3 = 2.3 (10^{-2} \text{ m})^3 = 2.3 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ cm}^{-1} = 1 (\text{cm})^{-1} = 1 (10^{-2} \text{ m})^{-1} = 10^2 \text{ m}^{-1} = 100 \text{ m}^{-1}$$

同樣的，前綴詞與單位名稱是不可分離的，必須緊靠在一起。例如毫米(millimeter)、微帕斯卡(micropascal)以及百萬牛頓(meganewton)等都是一個單字。

前綴詞符號不可複合使用，亦即不可同時使用兩個或多個前綴詞符號並列組合而成一個複合的前綴詞符號。此一規則也同樣適用在混合前綴詞名稱的表示。

前綴詞符號既不能單獨使用，也不能附加到單位為 1(unit one)的符號“1”之前。同樣，前綴詞名稱不能附加到單位為 1 的單位名稱之前。

基於歷史的原因，公斤是唯一在名稱和符號上包括前綴詞的一致 SI 單位。質量單位乃是將前綴詞名稱和符號分別加在單位名稱“gram”和單位符號“g”之前，以形成其十進制倍數和分數的名稱和符號。例如， $10^{-6}$  kg 被寫為毫克(milligram)及符號 mg，而不是微公斤(microkilogram)及符號  $\mu$ kg。

## 4 被接受可與 SI 單位併用之非 SI 單位

經由對所有其他單位的明確定義，SI 提供了國際公認的參考。一致化的 SI 單位具有其重要的優點，亦即在將物量的特定值代入到物量方程式時，不需要再進行不同單位的轉換。

儘管如此，一些非 SI 單位仍然被廣泛的使用，並且預期將繼續使用好多年。因此，國際度量衡委員會接受了一些可以與 SI 一起使用的非 SI 單位，並列在表 8 中。但要瞭解的是，如果使用這些單位，SI 的一些優點將會失去。SI 前綴詞可以與這些單位中的幾個一起使用，但是不能與其中非 SI 的時間單位一起使用。

表 8 被接受可與 SI 單位併用之非 SI 單位

量名	單位名稱	單位符號	於 SI 單位之值
時間	分	min	1 min = 60 s
	時	h	1 h = 60 min = 3600 s
	日	d	1 d = 24 h = 86 400 s
長度	天文單位 <sup>(a)</sup>	au	1 au = 149 597 870 700 m
平面角和相位角	度	°	1° = (π/180) rad
	分	'	1' = (1/60)° = (π/10 800) rad
	秒 <sup>(b)</sup>	"	1" = (1/60)' = (π/648 000) rad
面積	公頃 <sup>(c)</sup>	ha	1 ha = 1 hm <sup>2</sup> = 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
體積	公升 <sup>(d)</sup>	l, L	1 L = 1 l = 1 dm <sup>3</sup> = 10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
質量	噸 <sup>(e)</sup>	t	1 t = 10 <sup>3</sup> kg
	道爾頓 <sup>(f)</sup>	Da	1 Da = 1.660 538 86(28) × 10 <sup>-27</sup> kg
能量	電子伏特 <sup>(g)</sup>	eV	1 eV = 1.602 176 634 × 10 <sup>-19</sup> J
對數比率量	奈培 <sup>(h)</sup>	Np	見本文
	貝爾 <sup>(h)</sup>	B	
	分貝 <sup>(h)</sup>	dB	

伽(符號為Gal)是大地量測學和地球物理學中用於表示重力引起的加速度之非SI加速度單位。

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm s}^{-2} = 10^{-2} \text{ m s}^{-2}$$

(a) 根據國際天文學聯合會第二十八屆大會的決定(決議 B2, 2012 年)。

(b) 對於某些應用如天文學，小角度是以弧秒(即平面角度的秒數)量測，分別以“as”或“”表示，毫弧秒、微弧秒和皮弧秒，分別以 mas、μas 和 pas 表示，其中弧秒是平面角度的秒之另一種名稱。

(c) 單位公頃及其符號 ha，由國際度量衡委員會於 1879 年採用(PV, 1879, 41)。公頃用於表示土地面積。

(d) 公升和符號小寫 l，於 1879 年由國際度量衡委員會採用(PV, 1879, 41)。另一符號為大寫字母 L，係由第 16 屆國際度量衡大會(1979，決議 6；CR 101 和 *Metrologia*, 1980, 16, 56-57)採用，以避免與字母 l(el)和數字 1(one)混淆。

(e) 噸和它的符號 t，係由國際度量衡委員會於 1879 年採用(PV, 1879,41)。在某些英語國家，這個單位有時被稱為公噸(metric ton)。

- (f) 道爾頓(Da)和統一原子質量單位(u)是同一單位的不同名稱(和符號)，等於靜止且處於基態之自由碳-12 原子質量的 1/12。道爾頓的這個值是國際數據科技委員會(CODATA) 2014 調整推薦的值。它將在國際數據科技委員會(CODATA) 2018 年的調整中更新，以採納現今已為固定值的 2017 年普朗克常數  $h$ 。這將使 2014 年的不確定度降低一個數量級。
- (g) 電子伏特是電子在真空中通過 1 伏特的電位差所獲得的動能。電子伏特通常與 SI 前綴詞組合使用。
- (h) 在使用這些單位時，必須指定量的性質，並指明所使用的任何參考值。

---

表 8 還包括對數比率量的單位奈培、貝爾和分貝，它們用於傳達有關對數比率量性質的資訊。奈培(Np)用於表示量的值，其數值以使用奈培(或自然)對數為基礎， $\ln = \log_e$ 。貝爾(B)和分貝(dB)用於表示對數比量的值，其數值以十進制對數為基礎， $\lg = \log_{10}$ ，其中  $1 \text{ dB} = (1/10) \text{ B}$ 。當聲稱  $L_X = m \text{ dB} = (m/10) \text{ B}$  時( $m$  為一個數)，被視為  $m = 10 \lg(X/X_0)$ 。單位奈培、貝爾和分貝已被國際度量衡委員會所接受，可與 SI 單位併用，但不是 SI 單位。

還有許多非 SI 單位，它們或具有歷史意義，或仍用於特定領域(如油的體積單位：桶 barrel)，或用於特定國家(如英寸、英尺和碼)。國際度量衡委員會認為在現代科技中並沒有繼續使用這些單位的必要。然而，能夠聯想到這些單位與其相對應 SI 單位的關係，顯然也是一件重要的事情，而此情形仍將持續多年。

## 5 單位符號和名稱的書寫以及量值的表示

### 5.1 單位符號及名稱的用法

書寫單位符號和數的一般原則，最早是由第 9 屆國際度量衡大會(1948 年，決議 7)所規定的。隨後由 ISO、IEC 和其他國際機構詳細闡述了這些內容。因此，現在就如何書寫和使用單位符號和名稱(包括前綴詞符號和名稱以及量的符號)以及如何表達量值，已有一致的共識。遵守這些規則和慣用樣式(本章介紹了其中最重要的規則)有助於科學和技術論文的可讀性。

### 5.2 單位符號

無論單位符號周圍的字體為何，在列印單位符號時，一律採用直立字體。這些符號均以小寫字母列印，除非它們來自專有的名稱，在這種情況下，第一個字母是大寫字母。有一個例外是在第 16 屆國際度量衡大會(1979 年，決議 6)所允許的，即為避免數字 1(one)和公升的小寫字母 l(ℓ)之間可能的混淆，採納使用公升時，可以大寫字母 L 或小寫字母 ℓ 表示。

在使用倍數或分數前綴詞時，因其為單位的一部分，應將其置於單位符號之前且中間不能有分隔符號(如空格或連字號)。前綴詞不可獨立使用，也不可使用複合的前綴詞。

單位符號是數學實體而不是縮寫字。因此，除了在句子結尾之外，其後面不應有句號，並且不得在一個表達式中使用複數或單位符號和單位名稱的混合，因為單位名稱不是數學實體。

關於單位符號的乘積和商，適用一般代數的乘法或除法規則。乘法必須用空格或半高點(中央點)(·)表示，否則一些前綴詞可能被誤解為單位符號。除法由水平線，分數斜線(斜短線，/)或負指數表示。當多個單位符號組合時，為避免含糊不清，可使用括號或負指數。在沒有括號的情況下，不得在表達式中多次使用分數斜線。

不允許對單位符號或單位名稱使用縮寫，例如以 sec 替代 s 或 second；以 sq mm 替代 mm<sup>2</sup> 或 square millimeter；以 cc 替代 cm<sup>3</sup> 或 centimeter，或以 mps 替代 m/s 或 metre per second。對於 SI 單位以及本手冊前面章節中列出之一般單位的正確符號，其使用是強制性的。如此方可避免對量值的模糊和誤解。

## 5.3 單位名稱

單位名稱通常以直立字體列印，且它們被視為普通名詞。在英語中，除了在句子的開頭或如標題等須大寫的題材之外，單位的名稱均應以小寫字母開頭(即使該單位的符號以大寫字母開頭)。為符合此規則，符號 $^{\circ}\text{C}$ 的正確單位名稱應寫為攝氏度(degree Celsius)，其單位的度(degree)以小寫 d 開頭，而作為修飾語的攝氏(Celsius) 則應以大寫 C 開頭，因為它是一個固有的名稱。

雖然數值通常使用數的符號和單位符號表示，但如果由於某種原因，單位名稱比單位符號更合適，則單位名稱應全部拼寫出來。

當單位名稱與倍數或分數的前綴詞組合時，前綴詞名稱和單位名稱之間不加空格或連字號。前綴詞名稱和單位名稱的組合是一個單詞(參見第 3 章)。

當導出單位的名稱係由各個單位名稱並列而成時，則宜用空格或連字號來分隔各個單位名稱。

## 5.4 表示量值的規則和樣式慣用法

### 5.4.1 量值和數值以及量的計算

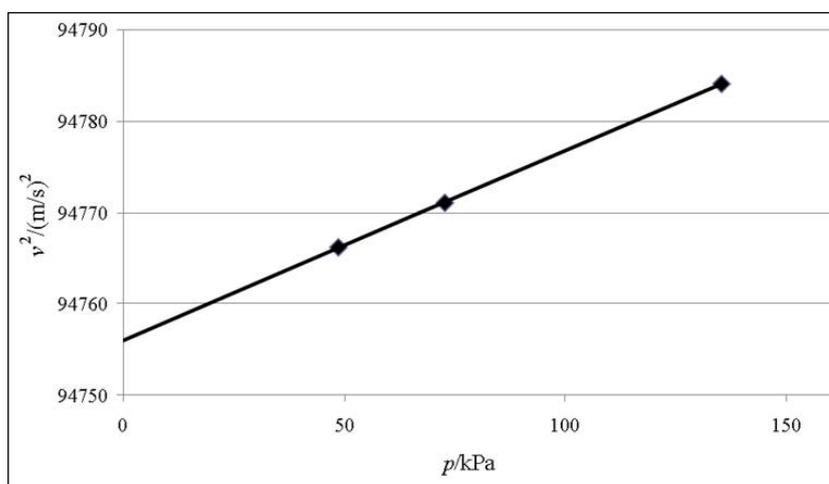
量的符號通常以單個字母的斜字體(*italic font*)表示，它們可以藉由下標或上標或括號中的更多資訊來作進一步的界定。例如， $C$  是熱容量的建議使用符號，而  $C_m$  則表示莫耳熱容量， $C_{m,p}$  為在恆定壓力下的莫耳熱容量， $C_{m,V}$  表示在恆定體積下的莫耳熱容量。

量的建議名稱和符號已在許多標準參考文獻中列出，例如 ISO/IEC 80000 系列—*量和單位(Quantities and units)*，國際純粹暨應用物理聯合會之符號、單位、命名法、原子質量和基本常數委員會(IUPAP/SUNAMCO)紅皮書—*物理學中的符號、單位和命名法(Symbols, Units and Nomenclature in Physics)*，以及國際純粹暨應用化學聯合會(IUPAC)綠皮書—*物理化學中的量、單位和符號(Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry)*。不過，量的符號仍只是建議性的(單位符號恰好相反，單位符號必須使用強制的形式)。在某些情況下，譬如為了避免因使用相同符號而產生兩種不同量的衝突，作者可能希望使用他們自己所選擇的符號代表量。在這種情況下，必須明確說明符號的含義。不過，無論是量的名稱或用於表示量的符號都不應該隱含任何特定單位的選用。

單位的符號應視為數學實體處理。以數值和單位的乘積表示量值時，數值和單位都可用普通的代數規則來處理。此過程被描述為使用量的演算或量的代數。例如，方程式  $p = 48 \text{ kPa}$  可以同樣寫為  $p/\text{kPa} = 48$ 。這種表示法常用於表格中，將數量和單位的商寫在表格的標題列，以使表格中的內容只有單純的數字。例如，速度平方與壓力的表格可以表示如下。

$p/\text{kPa}$	$v^2/(\text{m/s})^2$
48.73	94766
72.87	94771
135.42	94784

圖形的軸也可以用這種方式標記，使得刻度標示僅需用數字標記即可，如下圖所示。



## 5.4.2 量符號及單位符號

單位符號不可用於提供有關某一量的特定資訊，亦不應為該量資訊的唯一來源。單位不可被有關該量性質的其他資訊所限定；有關該量性質任何的額外資訊應附加在代表該量的符號上，而不是附加在單位符號上。

## 5.4.3 量值的格式

數值都是位於單位之前，並且都須使用一個空格將單位與數值分開。因此，量值是數值和單位的乘積。數值和單位之間空格被視為乘法符號(正如單位之間空格意味著乘法一樣)。此規則的唯一例外是在描述平面角的度(°)、分(')和秒(")等單位符號時，此時數值和單位符號之間不需要有空格。

此規則意味著當表示攝氏溫度  $t$  的值時，攝氏度的符號°C 前面需有一個空格。

即使是在將量值作為形容詞時，在數值和單位符號之間仍留有一個空格。只有當單位的名稱被拼寫出來時，普通的文法規則才適用。在英語中是以連字符號(hyphen)將數值與單位分開。

在表示量值時，僅能使用一個單位。但在使用非 SI 單位表示時間和平面角度的值時為例外。然而，除了在導航、製圖、天文以及微小角度量測等領域外，在表示平面角的角度(degree)時，建議以十進位的方式來表達較好，例如以 22.20° 表示，而非寫為 22°12'。

例如：  
最大電位差  $U_{\max} = 1000 \text{ V}$ ，不能寫為  $U = 1000 \text{ V}_{\max}$ 。  
矽樣品中銅的質量分數為  $w(\text{Cu}) = 1.3 \times 10^{-6}$ ，但不能寫為  $1.3 \times 10^{-6} \text{ w/w}$ 。

$m = 12.3 \text{ g}$ ，其中  $m$  為質量符號，但是  $\varphi = 30^{\circ}22'8''$ ，其中  $\varphi$  為平面角的符號。

$t = 30.2^{\circ}\text{C}$  但不能寫成  $t = 30.2^{\circ}\text{C}$  或  $t = 30.2^{\circ}\text{C}$

一個 10 kΩ 的電阻器  
一卷 35-millimeter 的膠卷

$l = 10.234 \text{ m}$  但不能寫成  $l = 10 \text{ m } 23.4 \text{ cm}$

#### 5.4.4 數值的格式及小數點

用於將數值的整數部分與小數部分分開的符號稱為小數點。根據第 22 屆國際度量衡大會(2003 年, 決議 10)的決定, 小數點可用與前後數字同行之點號(.)或逗號(,)表示, 所選的小數點可依語言習慣和上下文而定。

如果數值介於+1 和-1 之間, 則小數點前面應以零(0)開頭。

-0.234 不能寫成  
-.234

根據第 9 屆國際度量衡大會(1948 年, 決議 7)和第 22 屆國際度量衡大會(2003, 決議 10)的決議, 對於具有許多位數的數值, 可藉由空格將數值分成三個位數一組, 以便於閱讀。點號(.)或逗號(,)都不宜插入每組三個位數之間的小空格中。但是, 當小數點之前後只有 4 位數時, 通常不使用小空格來分隔單個位數。此一表示方式的採用與否端視使用場合而定, 在部分應用如工程製圖、財務報表或用於計算機讀取的資料等, 通常不以此方式表示。

43 279.168 29, 不能寫成  
43,279.168,29

3279.1683 或  
3 279.168 3

在同一表格中的同一欄內, 對於數字的表示不應使用不同的格式。

#### 5.4.5 量值之量測不確定度的表示

與量值評估相關的不確定度應依 JCGM 100:2008(GUM 1995, 有微小修正)“量測數據的評估—量測不確定度表示指南”進行評估。與量  $x$  相關的標準不確定度用  $u(x)$  表示。表示標準不確定度的合宜方式如下例:

$$m_n = 1.674\ 927\ 471(21) \times 10^{-27} \text{ kg}$$

其中  $m_n$  是量的符號(在此為中子的質量), 括號中的數為以估計值最後兩位數表示  $m_n$  的評估值之標準不確定度; 亦即,  $u(m_n) = 0.000\ 000\ 021 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 。如果使用擴充不確定度  $U(x)$  代替標準不確定度  $u(x)$ , 則必須說明涵蓋機率  $p$  和涵蓋因子  $k$ 。

#### 5.4.6 量符號、量值及數的乘除

在量符號進行乘、除運算時, 可以使用以下任何一種方式:

$$ab、a b、a \cdot b、a \times b、a/b、\frac{a}{b}、a b^{-1}$$

例如:  
 $F = ma$  表示力等於質量乘以加速度  
(53 m/s) × 10.2 s 或  
(53 m/s)(10.2 s)

當量值相乘時, 應使用乘法符號( $\times$ )或括號, 而不是半高點(置中點)。當數字相乘時, 只能使用乘號( $\times$ )。

25 × 60.5, 不可寫成  
25 · 60.5

當以分數斜線(/)表示量值相除時, 可用括號來避免含糊意義。

(20 m)/(5 s) = 4 m/s  
(a/b)/c, 不可寫成  
a/b/c

### 5.4.7 純數字量值的說明

正如第 2.3.3 節所述，單位為 1 的量值僅以數字表示。對於單位符號 1 或單位名稱 1 並未明確顯示。SI 前綴符號既不能附加到符號 1 也不能附加到名稱 1，因此以 10 的乘幂來表示特別大或小的值。

作為同類量的比(如長度比和物量分數)可以選擇以單位(m/m、mol/mol)表示，以幫助理解所要表達的量，且如果需要，可使用 SI 前綴詞 ( $\mu\text{m}/\text{m}$ 、 $\text{nmol}/\text{mol}$ )。與計數有關的量則沒有這個選項，它們只是數字。

國際公認的符號%(百分比)可以與 SI 一起使用。使用時，應有一空格分隔數字和符號%。使用符號%比用名稱“百分比(percent)”更佳。然而，在書面文本中，符號%通常有“每百分數(parts per hundred)”的含義。不宜使用“質量百分比(percentage by mass)”、“體積百分比(percentage by volume)”或“物量百分比(percentage by amount of substance)”等用語；有關量的附加資訊應該在量的描述和符號中說明。

術語“ppm”常用來表達  $10^{-6}$  的相對值或  $1/10^6$  或百萬分之一。這類似於將百分比作為百分之幾的含義。還有術語“十億分之一”和“兆分之一”及其各自的縮寫“ppb”和“ppt”，但它們的含義依不同語言而有所不同。因此，縮寫 ppb 和 ppt 應避免使用。

$n = 1.51$ ，不可寫成  
 $n = 1.51 \times 1$ ，  
其中  $n$  是折射率的量  
符號。

在英語系國家中，  
billion 雖普遍被用來  
當作  $10^9$ ，trillion 被當  
作  $10^{12}$ ，但仍有將  
billion 當作  $10^{12}$ ，  
trillion 被當作  $10^{18}$  的  
情形。而縮寫 ppt 有時  
也被視為千分之一，  
更增其混淆性。

### 5.4.8 平面角，立體角和相角

平面角和相位角的一致性 SI 單位是徑，單位符號為 rad，立體角的一致性 SI 單位是立徑，單位符號為 sr。

由同一點延伸出兩條直線間的平面角(以徑表示)，是由長度  $r$  的半徑向量從同一點掃出的圓弧長  $s$  除以該半徑向量的長度，即  $\theta = s/r$  rad。

相位角(常簡稱為相位)是任一複數的幅角(argument)。它是該複數在複數平面極座標上的半徑與正實軸之間所形成的角度。

因為 1 徑對應於平面角為  $s = r$ ，因此  $1 \text{ rad} = 1$ 。一個直角的度量確切等於  $\pi/2$  的數值。

有一個習用的單位是度( $^\circ$ )。徑和度數之間的轉換乃依循  $360^\circ = 2\pi \text{ rad}$  的關係。但須注意的是，以此符號 $^\circ$ 表示的度並不是 SI 單位。

立體角(以立徑表示)是半徑為  $r$  的球體面積  $A$  與該半徑平方的比， $\Omega = A/r^2 \text{ sr}$ 。因為 1 立徑對應於立體角為  $A = r^2$ ，因此  $1 \text{ sr} = 1$ 。

雖然單位 rad 和 sr 分別對應於兩個長度的比和兩個長度平方的比，但必須注意的是 rad 和 sr 僅可用於表示角度和立體角，不可用以表示一般長度或平方長度的比。

當 1960 年第 11 屆  
CGPM 採用 SI 時，設立  
了“輔助單位”類別  
以採納徑和立徑。幾  
十年後，CGPM 決議：  
(1) “將 SI 中的輔助單  
位徑和立徑當作無量  
綱的導出單位，其名  
稱和符號在需要時也  
可用以表示其他 SI 的  
導出單位”，(2) 消除  
單獨的輔助單位類別  
(1995 年第 20 屆 CGPM  
決議 8)。

## 附錄 1. 國際度量衡大會和國際度量衡委員會的決議

本附錄列出了 CGPM 和 CIPM 的決議，這些決議與 SI 單位的定義、作為 SI 一部分的前綴詞定義、以及單位符號和數字的表示法有直接的關聯。它並非 CGPM 和 CIPM 決議的完整列表。有關完整的列表內容，必須參考已出刊的各卷 CGPM 報告(*Comptes Rendus des Séances de la Conférence Générale des Poids et Mesures, CR*) 以及 CIPM 會議記錄(*Procès-Verbaux des Séances du Comité International des Poids et Mesures, PV*)。此外，最近的決議必須參考度量衡學(*Metrologia*)刊物。

由於 SI 不是不變的約定，而是隨著量測科學的發展而演變，因此有部分決議已被廢除或修改，也有部分決議經由補充而予以澄清。受此類變更而影響的決議以星號(\*)標識，並附以註釋說明其修訂結果。

每個決定(或其翻譯)的原文為區別於主文，以不同的字體(微軟正黑體)顯示。由 BIPM 添加星號和註釋，使主文更容易理解，但它們不是原文的一部分。

從 1889 年到 2018 年 CGPM 和 CIPM 的決定嚴謹地依時間順序列在本附錄中，以保持它們的連續性。但是為了便於查詢與特定主題相關的決定，以下列出了按主題排序且含有參考頁數的目錄，連結至和各主題的決定相關之特定會議上。

## 附錄 1 的目錄

<b>與建立 SI 有關的決議</b>		<b>頁碼</b>
第 9 屆 CGPM，1948 年：	決定建立 SI	45
第 10 屆 CGPM，1954 年：	決定最初 6 個基本單位	47
CIPM，1956 年：	決定名稱為“Système International d'Unités”	48
第 11 屆 CGPM，1960 年：	確認名稱和“SI”為其簡稱， 從兆(tera)到皮(pico)等前綴詞的命名， 建立輔助單位 徑(rad)和立徑(sr)， 列出一些導出單位	49
CIPM，1969 年：	關於基本、輔助、一致導出等單位和前 綴詞的使用之宣告	54
CIPM，2001 年：	建議用“SI units”或“units of the SI”即 SI 單位	64
第 23 屆 CGPM，2007 年：	可能重新定義國際單位制(SI)的某些基本單位	72
第 24 屆 CGPM，2011 年：	未來可能對國際單位制(SI)進行修訂	73
第 25 屆 CGPM，2014 年：	國際單位制(SI)的未來修訂	79
第 26 屆 CGPM，2018 年：	國際單位制(SI)的修訂(於 2019 年 5 月 20 日生效)	81
<b>與 SI 基本單位有關的決定</b>		
<b>長度</b>		
第 1 屆 CGPM，1889 年：	公尺原器的認可	42
第 7 屆 CGPM，1927 年：	公尺原器的定義和使用	43
第 10 屆 CGPM，1954 年：	採納公尺作為基本單位	47
第 11 屆 CGPM，1960 年：	用氦-86 輻射重新定義公尺	48
第 15 屆 CGPM，1975 年：	建議光速的值	56
第 17 屆 CGPM，1983 年：	使用光速重新定義公尺，公尺定義的實現	59
CIPM，2002 年：	規定實際實現公尺定義的規則	65
CIPM，2003 年：	修訂建議輻射清單	67
CIPM，2005 年：	修訂建議輻射清單	69
CIPM，2007 年：	修訂建議輻射清單	70
第 23 屆 CGPM，2007 年：	公尺定義實際實現的修訂和新光頻標準的發展	70
CIPM，2009 年：	更新標準頻率清單	73
第 24 屆 CGPM，2011 年：	未來可能對國際單位制(SI)進行修訂	73

		頁碼
第 24 屆 CGPM，2011 年：	公尺定義實際實現的修訂和新光頻標準的發展	77
CIPM，2013 年：	更新標準頻率清單	77
第 26 屆 CGPM，2018 年：	國際單位制(SI)的修訂(於 2019 年 5 月 20 日生效)	81
 <b>質量</b>		
第 1 屆 CGPM，1889 年：	公斤原器的認可	42
第 3 屆 CGPM，1901 年：	宣告質量與重量的區分以及標準重力加速度 $g_n$ 的約定值	43
第 10 屆 CGPM，1954 年：	採納公斤作為基本單位	47
CIPM，1967 年：	應用於克之前綴詞的宣告	52
第 21 屆 CGPM，1999 年：	未來對公斤的重新定義	63
第 23 屆 CGPM，2007 年：	可能重新定義國際單位制(SI)的某些基本單位	72
第 24 屆 CGPM，2011 年：	未來可能對國際單位制(SI)進行修訂	73
第 25 屆 CGPM，2014 年：	未來對國際單位制(SI)的修訂	79
第 26 屆 CGPM，2018 年：	國際單位制(SI)的修訂(於 2019 年 5 月 20 日生效)	81
 <b>時間</b>		
CIPM，1956 年：	將秒定義為 1900 年之回歸年的分數	47
第 10 屆 CGPM，1954 年：	採納秒作為基本單位	47
第 11 屆 CGPM，1960 年：	批准 1956 年 CIPM 對秒定義的決定	48
CIPM，1964 年：	宣告鉍-133 超精細躍遷為建議標準	51
第 12 屆 CGPM，1964 年：	授權 CIPM 研究原子和分子頻率標準	51
第 13 屆 CGPM，1967/68 年：	依據鉍躍遷定義秒	52
CCDS，1970 年：	定義國際原子時(TAI)	55
第 13 屆 CGPM，1971 年：	要求 CIPM 定義和建立國際原子時(TAI)	55
第 15 屆 CGPM，1975 年：	贊同使用協調世界時(UTC)	56
CIPM，2006 年：	秒的另一種表示法	69
第 23 屆 CGPM，2007 年：	關於公尺定義之實際實現的修訂和新光頻標準的發展	70
CIPM，2009 年：	更新標準頻率清單	73
2011 年第 24 屆 CGPM，：	未來可能對國際體系進行修訂單位，SI	73
2011 年第 24 屆 CGPM，：	公尺定義之實際實現的修訂和新光頻標的發展	77

	頁碼
CIPM, 2013 年 :	更新標準頻率清單 77
CIPM, 2015 年 :	更新標準頻率清單 80
第 26 屆 CGPM, 2018 年 :	國際單位制(SI)的修訂(於 2019 年 5 月 20 日生效) 81
 <b>電單位</b>	
CIPM, 1946 年 :	在公尺-公斤-秒(MKS)單位制中的一致電單位的定 44 義  (於 1948 年 1 月 1 日生效)
第 10 屆 CGPM, 1954 年 :	採納安培作為基本單位 47
第 14 屆 CGPM, 1971 年 :	採納西門作為電導的單位名稱, S 為單位符號 55
第 18 屆 CGPM, 1987 年 :	將對伏特和歐姆的陳述進行調整 60
CIPM, 1988 年 :	定義約瑟夫森常數的約定值(於 1990 年 1 月 1 日 61 生效)
CIPM, 1988 年 :	定義馮克立曾常數的約定值(於 1990 年 1 月 1 日 61 生效)
第 23 屆 CGPM, 2007 年 :	可能重新定義國際單位制(SI)的某些基本單位 72
第 24 屆 CGPM, 2011 年 :	未來可能對國際單位制(SI)進行修訂 73
第 25 屆 CGPM, 2014 年 :	未來對國際單位制(SI)的修訂 79
第 26 屆 CGPM, 2018 年 :	國際單位制(SI)的修訂(於 2019 年 5 月 20 日生效) 81
 <b>熱力學溫度</b>	
第 9 屆 CGPM, 1948 年 :	採納水的三相點作為熱力學參考點, 44 採納攝氏零度溫度比三相點低 0.01 度
CIPM, 1948 年 :	採納攝氏度為攝氏溫標 45
第 10 屆 CGPM, 1954 年 :	採納克氏度為基本單位 46
第 10 屆 CGPM, 1954 年 :	定義熱力學溫度使水三相點確切為 273.16 克氏度 47 定義標準大氣壓
第 13 屆 CGPM, 1967/68 :	決定克耳文的正式定義, 符號 K 53
CIPM, 1989 年 :	1990 年國際溫標, ITS-90 62
CIPM, 2005 年 :	於克耳文的定義中加註有關水同位素的組成成分 68
第 23 屆 CGPM, 2007 年 :	澄清熱力學溫度的單位克耳文的定義 71
第 23 屆 CGPM, 2007 年 :	可能重新定義國際單位制(SI)的某些基本單位 72
第 24 屆 CGPM, 2011 年 :	未來可能對國際單位制(SI)進行修訂 73

	頁碼
第 25 屆 CGPM，2014 年：	國際單位制(SI)的未來修訂 79
第 26 屆 CGPM，2018 年：	國際單位制(SI)的修訂(於 2019 年 5 月 20 日生效) 81
 <b>物量</b>	
第 14 屆 CGPM，1971 年：	莫耳的定義，符號 mol，為第七個基本單位，及其 使用規則 56
第 21 屆 CGPM，1999 年：	採納特殊名稱卡塔爾(katal)，符號 kat 64
第 23 屆 CGPM，2007 年：	可能重新定義國際單位制(SI)的某些基本單位 72
第 24 屆 CGPM，2011 年：	未來可能對國際單位制(SI)進行修訂 73
第 25 屆 CGPM，2014 年：	國際單位制(SI)的未來修訂 79
第 26 屆 CGPM，2018 年：	國際單位制(SI)的修訂(於 2019 年 5 月 20 日生效) 81
 <b>光強度</b>	
CIPM，1946 年：	光度單位的定義，新燭光和新流明(於 1948 年 1 月 1 日生效) 43
第 10 屆 CGPM，1954 年：	採納燭光為基本單位 47
第 13 屆 CGPM，1967/68：	依據黑體輻射器定義燭光，符號 cd 53
第 16 屆 CGPM，1979 年：	依據單色輻射重新定義燭光 57
第 24 屆 CGPM，2011 年：	未來可能對國際單位制(SI)進行修訂 73
第 26 屆 CGPM，2018 年：	國際單位制(SI)的修訂(於 2019 年 5 月 20 日生效) 81
 <b>與 SI 導出單位和輔助單位有關的決定</b>	
<b>SI 導出單位</b>	
第 12 屆 CGPM，1964 年：	接受繼續使用居里作為非 SI 單位 52
第 13 屆 CGPM，1967/68：	列出導出單位的一些例子 54
第 15 屆 CGPM，1975 年：	採納特殊名稱貝克(Bq)和戈雷(Gy) 56
第 16 屆 CGPM，1979 年：	採納特殊名稱西弗(Sv) 58
CIPM，1984 年：	決定澄清吸收劑量(SI 單位戈雷)和等效劑量(SI 單 位西弗)之間的關係 60
CIPM，2002 年：	修改吸收劑量和等效劑量之間的關係 72

**輔助單位**

CIPM, 1980 年：	決定解釋輔助單位為無量綱導出單位	58
第 20 屆 CGPM, 1995 年：	決定廢除輔助單位的類別，並確認 CIPM 的解釋，將其列為無量綱導出單位	63

**決定有關於術語和接受與 SI 一起使用的單位****SI 前綴**

第 12 屆 CGPM, 1964 年：	決定增加飛(femto)和阿(atto)到前綴詞中	52
第 15 屆 CGPM, 1975 年：	決定增加拍(peta)和艾(exa)到前綴詞中	57
第 19 屆 CGPM, 1991 年：	決定增加皆(zetta)、介(zepto)、佑(yotta)和攸(yocto)到前綴詞中	63

**單位符號和數字**

第 9 屆 CGPM, 1948 年：	決定單位符號的列印規則	46
---------------------	-------------	----

**單位名稱**

第 13 屆 CGPM, 1967/68：	將微米 micron 和新燭光 new candle 由可與 SI 併用的單位中移除	54
-----------------------	--	----

**小數點**

第 22 屆 CGPM, 2003 年：	決定允許使用點或逗號作為小數點	67
----------------------	-----------------	----

**接受與 SI 一起使用的單位，例如：公升**

第 3 屆 CGPM, 1901 年：	將公升定義為水 1 公斤的體積	42
第 11 屆 CGPM, 1960 年：	要求 CIPM 報告公升和立方分米之間的差異	50
CIPM, 1961 年：	建議體積以 SI 單位表示而不用公升	51
第 12 屆 CGPM, 1964 年：	廢除了公升的前一個定義，建議公升可為立方分米的特殊使用名稱	51
第 16 屆 CGPM, 1979 年：	決定以特例允許 l 和 L 皆可作為公升的符號	58

## 第 1 屆 CGPM，1889 年

### ■公尺和公斤的國際原型的承認 (CR, 34 - 38)\*

國際度量衡大會

#### 考量

- 從「國際度量衡委員會主席的報告」和「國際度量衡委員會主席的報告書」兩份報告表明，經由國際公尺委員會(Internatin Metre Commission)法國分會和 CIPM 的合作，國際和各國的公尺原器與公斤原器的基本量測已經完成，其準確性和可靠性均為現今科學要求下所容許的；
- 國際和各國的公尺原器與公斤原器由一個含有(10±0.01)%鈹的鈾合金所製成的；
- 國際公尺原器的長度與國際公斤原器的質量分別與存放在法國檔案局裡的公尺原器長度與公斤原器質量相等；
- 各國公尺原器和國際公尺原器之間的差異在 0.01 mm 之內，這些差異是依據氫氣溫度計的標度來測定的。由於氫氣的穩定性，只要確保條件一致，該差異即可不斷地再現；
- 各國公斤原器和國際公斤原器之間的差異在 1 mg 之內；
- 國際公尺原器與公斤原器和各國的公尺原器與公斤原器均滿足米制公約的要求。

#### 承認

A. 關於國際原器：

1. 由 CIPM 選定公尺原器。今後該原器將以其在冰的融解溫度下的長度代表長度的米制單位。
2. 由 CIPM 採納公斤原器。該原器今後將被視為質量的單位。
3. 採用氫溫度計百分標度，以建立各公尺原器的修正式

B. 關於國家原器：.....

## 第 3 屆 CGPM，1901 年

### ■關於公升的定義的宣告 (CR, 38-39) \*

.....

#### 會議宣布

1. 對於高精度測定，體積單位是 1 公斤純水在最大密度和標準大氣壓下所佔的體積，這個體積被稱為“公升(litre)”。
2. ...

\*米的定義已在1960年由第11屆CGPM廢除(決議6，見48頁)。

\*此定義已在1964年由第12屆CGPM廢除(決議6，見51頁)。

■關於質量單位和重量定義的宣告； $g_n$ 的約定值 (CR, 70) \*

考慮到 1887 年 10 月 15 日 CIPM 的決定，根據該決定，公斤被定義為質量單位；

考慮到 1889 年 9 月 26 日 CGPM 中對公尺原器承認的一致決定；

考量必須結束日常使用中對重量一詞的含義仍存在的模糊性，其有時用於質量，有時用於機械力；

會議宣布

1. 公斤是質量單位，等於國際公斤原器的質量；\*
2. 「重量」一詞表示與「力」相同性質的量：身體的重量是身體的質量和重力加速度的乘積，而身體的標準重量是指身體的質量和重力引起之標準加速度的乘積；
3. 國際度量衡業務中所採納由重力引起的標準加速度值為  $980.665 \text{ cm/s}^2$ ，這值已在某些國家法律中規定了。\*\*

\*這個定義已在 2018 年由第 26 屆 CGPM 廢除(決議 1，見 81 頁)。

\*\*這個  $g_n$  的值是為了計算目前已過時的單位公斤力的約定參考值

第 7 屆 CGPM，1927 年

■以國際原器定義公尺 (CR, 49) \*

長度單位是公尺，由 BIPM 保存的鉑銻尺上標記的兩條中心線的軸線在  $0^\circ$  時的距離所定義。該鉑銻尺已由第 1 屆 CGPM 宣布為公尺原器，並保存在標準大氣壓力下，對稱地置放在同一水平面、相距 571 mm 的兩個直徑至少 1 cm 的圓柱體上。

\*這個定義已在 1960 年由第 11 屆 CGPM 廢除(決議 6，見 48 頁)。

CIPM，1946 年

■光度單位的定義 (PV, 20, 119-122) \*

決議

...

4. 光度單位可以定義如下：

新燭光(光強度單位)。— 新燭光的值為完整輻射體在白金凝固點的溫度下之明亮度為每平方公分 60 新燭光。

新流明(光通量單位)。— 新的流明是由具有光強度為 1 新燭光的均勻點光源在單位立體角(立徑)內所發射的光通量。

5. ...

\*這兩個定義包含在 1948 年第 9 屆 CGPM 批准的決議中，也核可了以「燭光(candela)」取代「新燭光」的名稱 (CR, 54)。至於流明，修飾詞「新」在後來被捨棄不用。

這個定義是在 1967 年第 13 屆 CGPM 修改(決議 5，見 53-54 頁)。

■電單位的定義(PV, 20, 132-133)

決議 2

...

4. (A) 加入電單位定義的力學單位的定義：

**力的單位**。— [在 MKS(公尺、公斤、秒)制中] 力的單位是給 1 公斤質量有 1 公尺每平方秒加速度的力。

**焦耳** (能量或功的單位)。— 焦耳是當 1 MKS 單位[牛頓]的力施加於某一點在力的方向上移動 1 公尺之距離時所作的功。

**瓦特** (功率的單位)。— 瓦特是在 1 秒鐘內產生 1 焦耳能量的功率。

(B)電單位的定義。CIPM 接受以下提議，這些提議定義了電單位的理論值：

**安培** (電流的單位)。— 安培是指若保持一恆定電流在真空中相隔 1 公尺的兩根無限長且圓截面可忽略的平行直導線內時，則在兩導線之間會產生每公尺長度  $2 \times 10^{-7}$  MKS 單位[牛頓]的力。\*

**伏特** (電位差和電動勢的單位)。— 伏特是在承載 1 安培恆定電流的導線上，當某兩點間消耗的功率等於 1 瓦特時，該兩點間的電位差。

**歐姆** (電阻的單位)。— 歐姆是在一導體內部不存在任何其他電動勢的情形下，在導體兩點之間施加 1 伏特恆定電位差使導體中產生 1 安培的電流時，該兩點之間的電阻。

**庫倫** (電量的單位)。— 庫倫是以 1 安培的電流在 1 秒內傳送的電量。

**法拉** (電容的單位)。— 法拉是當電容器以 1 庫倫的電量充電，其電極之間出現 1 伏特電位差時的電容。

**亨利** (電感的單位)。— 亨利是在閉合電路的電路中，當電流在以 1 安培每秒的比率均勻變化而產生 1 伏特電動勢時的電感。

**韋伯** (磁通量的單位)。— 韋伯是貫通在單一匝線圈電路中的磁通量在 1 秒內均勻遞減至零而產生 1 伏特電動勢時之磁通量。

\*這個定義含在 1948 年第 9 屆 CGPM 批准的決議(CR, 49)中，也採納了「牛頓(newton)」這名字為 MKS 制中力的單位(決議 7，見 162 頁)。

在 1954 年第 10 屆 CGPM(決議 6，見 163 頁)建立了實用的量測單位制讓國際使用。而該安培被指定為該單位制的基本單位。

\*安培的定義已在 2018 年由第 26 屆 CGPM 廢除(決議 1，見 81 頁)。

第 9 屆 CGPM，1948 年

■水三相點；具有單一定點的熱力學標度；熱量的單位(焦耳)(CR, 55 和 63)

決議 3

1. 利用現今的技術，水的三相點能夠提供測溫參考點的準確度高於從冰的熔點所獲得的。因此，測溫及測熱諮詢委員會(Comité Consultatif de Thermométrie et Calorimétrie, CCTC)認為必須將百分熱力學標度的零點定義為比水的三相點的溫度低 0.0100 度的溫度。
2. CCTC 接受具單一基本定點之絕對熱力學標度的原則，目前係由純水的三相點提供，絕對溫度將在以後確定。  
引進這種新標度不會對國際溫標的使用有任何的影響，因其仍為建議的實際標度。
3. 熱量的單位是焦耳。

\*克耳文的定義已在 2018 年由第 26 屆 CGPM 重新定義(決議 1，見 81 頁)。

備註：要求量熱實驗的結果盡可能以焦耳表示。如果該實驗是經由與水溫的升高進行比較(並且由於某些原因而無法避免使用卡路里單位)時，則必須提供可轉換為以焦耳表示的必要資訊。CCTC 建議 CIPM 應準備一份以焦耳每度為單位表示的表格，提供可由水的比熱實驗所獲得最精確的換算值。

為回應此一要求所完成的表格於 1950 年由 CIPM 批准與公佈(PV, 22, 92)。

■採納「攝氏度」[CIPM, 1948 年 (PV, 21, 88) 和第 9 屆 CGPM, 1948 年 (CR, 64)]

CIPM 從所提出用以表示溫度的三個名稱(「百分度」、「百進度」、「攝氏度」)中，選用「攝氏度」(PV, 21, 88)。

該名稱也被第 9 屆 CGPM(CR, 64)所採納。

■建立實用量測單位制的建議 (CR, 64)

### 決議 6

國際度量衡大會(CGPM)，

#### 考量

- 國際物理聯合會要求國際度量衡委員會(CIPM) 建立實用的國際單位制為國際上所使用；此單位制為國際物理聯合會建議用 MKS 制加上實用絕對單位制一個電單位組成；但也不建議物理學家放棄厘米-克-秒制(CGS system)；
- CGPM 本身亦收到法國政府的類似請求，並附有一份草案，作為建立完整量測單位規範的討論基礎；

#### 指示 CIPM

- 通過主動積極的官方調查，尋求所有國家的科學、技術和教育界的意見(實際提供以法國文件為基礎的資料給這些對象)；
- 收集和研究的回答；
- 為單一實用的量測單位制提出建議，適合所有遵守米制公約的國家所採用。

## ■單位符號和數字的書寫和列印 (CR, 70) \*

### 決議 7

#### 原則

單位符號通常以小寫的羅馬(直立)字體書寫；但是，如果符號來自專有的名稱，則使用大寫羅馬字體。這些符號後面不加句號。

在數字中，逗號(法語式)或點(英語式)僅用於將數字的整數部分與小數部分分開。數字可以每三個位數一組分隔表示，以便於閱讀；各組數字間的空格中不插入點或逗號。

單位	符號	單位	符號
• 公尺	m	安培	A
• 平方公尺	m <sup>2</sup>	伏特	V
• 立方公尺	m <sup>3</sup>	瓦特	W
• 微米	μ	歐姆	Ω
• 公升	l	庫侖	C
• 克	g	法拉	F
• 噸	t	亨利	H
秒	s	赫茲	Hz
爾格	erg	泊	P
達因	dyn	牛頓	N
攝氏度	°C	• 燭光(新燭光)	cd
• 絕對溫度	°K	勒克斯	lx
卡路里	cal	流明	lm
巴	bar	熙提	sb
時	h		

#### 備註：

1. 單位名稱前面有點的符號是 CIPM 決定已採用的符號。
2. 木柴的體積單位為斯脫(stere)，符號為"st"，而不是"s"，這是 CIPM 以前指定給它的。
3. 要指明溫度間隔或差值，而不是溫度，必須使用度(degree)全名或其縮寫“deg”。

## 第 10 屆 CGPM，1954 年

### ■熱力學溫標的定義 (CR, 79) \*

#### 決議 3

第 10 屆國際度量衡大會決定選擇水三相點作為基本定點來定義熱力學溫標，並確定其溫度為 273.16 克氏度。

\* CGPM 廢除了關於單位和術語的某些決定，特別是：微米、絕對溫度與術語「度」(degree) 和其縮寫“deg”，1967/68 年第 13 屆 CGPM(決議 7 和 3，分別見 54 和 53 頁)。另廢除了升，1979 年第 16 屆 CGPM(決議 6，見 58 頁)。

\*1967 年第 13 屆 CGPM 明確定義克耳文(決議 4，見 53 頁)。

\*克耳文的定義已在 2018 年由第 26 屆 CGPM 重新定義(決議 1，見 81 頁)。

■標準大氣的定義 (CR, 79)

決議 4

第 10 屆國際度量衡大會(CGPM)注意到第 9 屆 CGPM 在定義國際溫標時所給出的標準大氣定義，使得一些物理學家認為該標準大氣的定義僅適用於準確的測溫工作中。

聲明採用一般使用的定義為：

1 標準大氣= 1 013 250 達因每平方厘米，即 101 325 牛頓每平方公尺。

■實用的單位制 (CR, 80) \*

決議 6

依第 9 屆國際度量衡大會(CGPM)在決議 6 中所表達有關於建立實用的單位制以作為國際量測使用的期待，第 10 屆 CGPM

決定採用以下單位作為單位制的基本單位：

長度	公尺
質量	公斤
時間	秒
電流	安培
熱力學溫度	克氏度
光強度	燭光

\*單位名稱「克氏度」已在 1967 年由第 13 屆 CGPM 改為「克耳文」(決議 3，見 53 頁)。

CIPM，1956

■時間(秒)單位的定義 (PV, 25, 77) \*

決議 1

依第 10 屆國際度量衡大會決議 5 所賦予的權力，國際度量衡委員會

考量

1. 國際天文學聯合會第 9 屆大會(都柏林，1955 年)宣佈其贊成將秒與回歸年聯繫起來。
2. 依國際天文學聯合會第 8 屆大會的決定(羅馬，1952 年)，曆書時(ET)的秒為

$$\text{曆書時 1900 年 1 月 0 日 12 時的回歸年之} \frac{12\,960\,276\,813}{408\,986\,496} \times 10^{-9}$$

決定

「秒是曆書時 1900 年 1 月 0 日 12 時回歸年的 1/31 556 925.9747」

\*這個定義已在 1967 年由第 13 屆 CGPM 廢除(決議 1，見 52 頁)。

■國際單位制(PV, 25, 83)

**決議 3**

國際度量衡委員會，

**考量**

- 第 9 屆國際度量衡大會(CGPM)決議 6 中賦予它的任務，關於建立適合所有遵守米制公約國所採用的實際量測單位制，
- 收到 21 個國家回覆第 9 屆 CGPM 要求調查的文件，
- 第 10 屆 CGPM 決議 6 中要建立單位制的基本單位之決定

**建議**

1. 將「國際單位制」這名稱賦予以第 10 屆 CGPM 採用的基本單位的單位制，即：  
[隨後是載於 1960 年第 11 屆 CGPM 決議 12 的六個基本單位及其符號]。
2. 使用下表中列出的單位，但不排除以後可能增加的其他單位：  
[隨後是載於 1960 年第 11 屆 CGPM 決議 12 第 4 段的單位表]。

**第 11 屆 CGPM，1960 年**

■公尺的定義 (CR, 85) \*

**決議 6**

\*這個定義已在 1983 年由第 17 屆 CGPM 廢除(決議 1，見 59 頁)。

第 11 屆國際度量衡大會(CGPM)，

**考量**

- 國際原器未能以足夠的準確度定義出滿足目前計量需求的公尺定義，
- 因此，希望採用自然且不滅的標準，

**決定**

1. 公尺等於氬 86 原子的  $2p_{10}$  和  $5d_5$  能階間的躍遷所對應的輻射在真空中的波長之 1 650 763.73 倍的長度。
2. 廢除自 1889 年生效之以國際鉑-銻原器為準的公尺定義。
3. 由 1889 年第 1 屆 CGPM 承認的國際公尺原器以 1889 年規定的條件下保存在 BIPM。

■時間單位的定義(秒)(CR, 86) \*

**決議 9**

\*這個定義已在 1967 年由第 13 屆 CGPM 廢除(決議 1，見 52 頁)。

第 11 屆國際度量衡大會(CGPM)，

**考量**

- 第 10 屆 CGPM 授予國際度量衡委員會(CIPM)的權力，定義基本的時間單位，
- CIPM 在 1956 年做出的決定，

批准以下定義：

「秒是曆書時 1900 年 1 月 0 日 12 時回歸年的  $1/31\,556\,925.9747$  秒」

■國際單位制 (CR, 87) \*

決議 12

第 11 國際度量衡大會(CGPM)，

考量

- 第 10 屆 CGPM 決議 6 中，採納六個基本單位，在此基礎上建立供國際使用的實用量測單位制：

長度	公尺	m
質量	公斤	kg
時間	秒	s
電流	安培	A
熱力學溫度	克氏度	°K
光強度	燭光	cd

- 1956 年國際度量衡委員會(CIPM)通過的決議 3，
- CIPM 在 1958 年所採納關於單位制名稱的縮寫，以及形成單位的倍數和分數之前綴詞的建議，

決定

- 建立在上述六個基本單位的單位制被稱為「國際單位制」；
- 單位制名稱的國際縮寫是「SI」；
- 單位倍數和分數的名稱由以下的前綴詞形成：

倍率因子	前綴詞	符號	倍率因子	前綴詞	符號
1 000 000 000 000 = 10 <sup>12</sup>	兆	T	0.1 = 10 <sup>-1</sup>	分	d
1 000 000 000 = 10 <sup>9</sup>	吉	G	0.01 = 10 <sup>-2</sup>	厘	c
1 000 000 = 10 <sup>6</sup>	百萬	M	0.001 = 10 <sup>-3</sup>	毫	m
1 000 = 10 <sup>3</sup>	千	k	0.000 001 = 10 <sup>-6</sup>	微	μ
100 = 10 <sup>2</sup>	百	h	0.000 000 001 = 10 <sup>-9</sup>	奈	n
10 = 10 <sup>1</sup>	十	da	0.000 000 000 001 = 10 <sup>-12</sup>	皮	p

- 下面列出的單位在單位制中使用，不排除可能增加其他單位。

輔助單位

平面角	徑 <sup>(b)</sup>	rad
立體角	立徑 <sup>(c)</sup>	sr

\*CGPM後來廢除了某些決定，並擴展了前綴詞名單，請參閱下面的注釋。

1967 年第 13 屆 CGPM 修改了熱力學溫度單位的名稱和符號(決議 3，見 53 頁)。

第七個基單位「莫耳」在 1971 年第 14 屆 CGPM 中獲得採納(決議 3，見 56 頁)。

1964 年第 12 屆 CGPM(決議 8，見 52 頁)、1975 年第 15 屆 CGPM(決議 10，見 57 頁)和 1991 年第 19 屆 CGPM(決議 4 號，見 63 頁)採納更多的前綴

1995 年第 20 屆 CGPM 廢除了 SI 中的輔助單位(決議 8，見 63 頁)。這些現在被視為導出單位。

**導出單位**

面積	平方公尺	m <sup>2</sup>	
體積	立方公尺	m <sup>3</sup>	
頻率	赫茲 <sup>(d)</sup>	Hz	1/s
質量密度(密度)	公斤每立方公尺	kg/m <sup>3</sup>	
速率、速度	公尺每秒	m/s	
角速率	徑每秒	rad/s	
加速度	公尺每平方秒	m/s <sup>2</sup>	
角加速度	徑每平方秒	rad/s <sup>2</sup>	
力	牛頓	N	kg · m/s <sup>2</sup>
壓力(機械應力)	牛頓每平方公尺	N/m <sup>2</sup>	
運動黏度	平方公尺每秒	m <sup>2</sup> /s	
動力黏度	牛頓秒每平方公尺	N · s/m <sup>2</sup>	
能、功、熱量(quantity of heat)	焦耳	J	N · m
功率	瓦特	W	J/s
電量(側桿)	庫倫	C	A · s
電壓、電位差、電動勢	伏特	V	W/A
電場強度	伏特每公尺	V/m	
電阻	歐姆	Ω	V/A
電容	法拉	F	C/V
磁通量	韋伯	Wb	V s
電感	亨利	H	Wb/A
磁通密度	特士拉	T	Wb/m <sup>2</sup>
磁場強度	安培每公尺	A/m	
磁動勢	安培	A	
光通量	流明	lm	cd · sr
光亮度	燭光每平方公尺	cd/m <sup>2</sup>	
光照度	勒克斯	lx	lm/m <sup>2</sup>

1967年第13屆CGPM指出應添加到名單的其他單位。原則上，此導出單位名單是無限制的。(決議6，見54頁)

實際上現代是使用「熱量 (amount of heat)」而不是「熱量 (quantity of heat)」，因為「量(quantity)」一詞在計量學中有不同的含義。

實際上現代是使用「電量 (amount of electricity)」而不是「電量 (quantity of electricity)」(參照上一個備註)。

■ 立方分米和公升 (CR, 88)

**決議 13**

第 11 屆國際度量衡大會(CGPM)，

**考量**

- 立方分米和公升是不相等的，相差百萬分之 28，
- 涉及體積量測之物理量的測定越來越準確，因而增加了立方分米與升之間混淆的風險，

要求國際度量衡委員會會研究這個問題並提交結論至第 12 屆 CGPM。

## CIPM, 1961 年

- 立方分米和公升 (PV, 29, 34)

### 建議

國際度量衡委員會建議準確量測體積的結果應以國際單位制表示，而不是以公升。

## CIPM, 1964 年

- 原子和分子頻率標準 (PV, 32, 26)

### 宣言

國際度量衡委員會，

**授權**於第 12 屆國際度量衡大會決議 5，命名原子或分子頻率標準以暫時用於物理的時間量測，

**宣告**所使用的標準是鈹-133 原子於基態  $^2S_{1/2}$  之超精細能階  $F = 4, M = 0$  和  $F = 3, M = 0$  之間的躍遷，不受外部干擾，並該躍遷的頻率被賦值為 9 192 631 770 赫茲。

## 第 12 屆 CGPM, 1964 年

- 頻率的原子標準 (CR, 93)

### 決議 5

第 12 屆國際度量衡大會(CGPM)，

#### 考量

- 第 11 屆 CGPM 在其第 10 號決議中指出，為了精確計量，須採用原子或分子標準之時間間隔的迫切性，
- 儘管已經以鈹原子頻率標準獲得了結果，但由於正在進行的研究可能獲得新穎且有大幅度進展的成果，因此在國際單位制中，CGPM 認為採納基本單位秒的新定義的時機還未成熟，

但同時**考量**在物理學領域以原子或分子頻率標準進行時間測量之前，不希望再等待

**授權**國際度量衡委員會指定暫時使用的原子或分子頻率標準，

**要求**在該領域具有豐富知識的組織和實驗室展開與秒的新定義相關的工作。

- 公升 (CR, 93)

### 決議 6

第 12 屆國際度量衡大會(CGPM)，

**考量** 1960 年第 11 屆 CGPM 的決議 13 和 1961 年國際度量衡委員會通過的建議，

1. **廢除** 1901 年第 3 屆 CGPM 所給的公升定義，
2. **宣告**「公升」一詞可用作立方分米的特定名稱，
3. **建議**不應使用公升來作為高準確度的體積測量結果。

■ 居里 (CR, 94)\*

決議 7

第 12 屆國際度量衡大會(CGPM)，

考量到居里作為放射性核種活度的單位已經在許多國家使用了很長的時間，

承認在國際單位制(SI)中，這項活度的單位是秒的負 1 幕次( $s^{-1}$ )

接受在 SI 之外仍保留居里作為活度單位，其值為  $3.7 \times 10^{10} s^{-1}$ 。

這個單位的符號是 Ci。

1975 年第 15 屆 CGPM 採納「貝克(Becquerel)」符號(Bq)作為 SI 活度的單位(決議 8，見 56 頁)： $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ 。

■ SI 前綴詞飛(femto)和阿(atto) (CR, 94)\*

決議 8

第 12 屆國際度量衡大會(CGPM)

決定增加前綴詞清單，以形成單位的倍數和分數名稱，仍依第 11 屆 CGPM 採納的決議 12 第 3 段，增列以下兩個新前綴詞：

倍率因子	前綴詞	符號
$10^{-15}$	飛(femto)	f
$10^{-18}$	阿(atto)	a

1975 年第 15 屆 CGPM 添加了新的前綴詞(決議 10，見 57 頁)

CIPM，1967 年

■ 質量單位的十進制倍數和分數(PV, 35, 29 和 *Metrologia*, 1968, 4, 45)

建議 2

國際度量衡委員會，

考量到 1960 年第 11 屆國際度量衡大會(CGPM)決議 12 第 3 段關於十進制單位的倍數和分數名稱的規則，在應用於質量單位時，可能會以不同的方式解釋，

宣告第 11 屆 CGPM 決議 12 的規則以下列的方式應用於公斤：用前綴詞加在「克(gram)」來形成質量單位的十進制倍數和分數的名稱。

13 屆 CGPM，1967/68

■ SI 的單位時間(秒) (CR, 103 和 *Metrologia*, 1968, 4, 43)

決議 1

第 13 屆國際度量衡大會(CGPM)，

考量

- 1956 年國際度量衡委員會(CIPM) 於決議 1 所採納，並經 1960 年第 11 屆 CGPM 決議 9 批准，在 1964 年第 12 屆 CGPM 決議 5 所確認的秒定義，無法滿足當前的計量需求，
- 在 1964 年 CIPM 會議上，由 1964 年第 12 屆 CGPM 決議 5 授權，為滿足這些要求，建議採用銨原子頻率標準作為臨時使用，
- 此頻率標準已經過充分測試，確認其具足夠準確度可滿足當前對秒定義的要求，
- 現在已到可以用基於該標準的原子定義取代目前國際單位制所使用的時間單位定義的時候了。

## 決定

1. 秒為時間的 SI 單位，其定義如下：

「秒為鈹-133 原子於基態之兩個超精細能階間躍遷時所對應之幅射週期的 9 192 631 770 倍之持續時間」；

2. 1956 年 CIPM 通過的決議 1 和第 11 屆 CGPM 的決議 9 現在已被廢除。

### ■ 熱力學溫度的 SI 單位(克耳文) (CR, 104 和 *Metrologia*, 1968, 4, 43)\*

#### 決議 3

第 13 屆國際度量衡大會(CGPM)，

#### 考量

- 1948 年第 9 屆 CGPM 決議 7，1960 年第 11 屆 CGPM 決議 12 以及 1962 年國際度量衡委員會的決定 (PV, 30, 27) 中，對名稱「克式度(degree kelvin)」和「度(degree)」，符號“°K”和“deg”及其使用規則，
- 熱力學溫度單位和溫度區間單位是同一個單位，應該用單一名稱和單一符號表示之，

#### 決定

1. 熱力學溫度單位用名稱「克耳文」表示，其符號為“K”；\*\*
2. 同一名稱和同一符號亦用於溫度間隔的表示；
3. 溫度間隔也可以用攝氏度表示；
4. 本決議開頭段落中提到的有關熱力學溫度的單位名稱、符號及表示溫度間隔與溫度差異的單位名稱雖已廢除，但從這些決議所得出的用法暫時仍是被允許的。

### ■ 熱力學溫度的 SI 單位(克耳文) 的定義 (CR, 104 和 *Metrologia*, 1968, 4, 43)\*

#### 決議 4

第 13 屆國際度量衡大會(CGPM)，

考量到更明確地制定 1954 年第 10 屆 CGPM 決議 3 所載熱力學溫度的定義是有用的

決定將此定義表達如下：

「克耳文，熱力學溫度的單位，是水三相點的熱力學溫度之 1/273.16」。

### ■ 光強度的 SI 單位(燭光) (CR, 104 和 *Metrologia*, 1968, 4, 43-44)\*

#### 決議 5

第 13 屆國際度量衡大會(CGPM)，

- **考量** 1948 年第九屆 CGPM 所批准的光強度單位定義，並基於 1933 年第 8 屆 CGPM 授權並載於 1946 年國際度量衡委員會通過的「關於改變光度單位的決議」(PV, 20,119)，
- 這個定義雖確定了令人滿意的的光強度單位，但其措辭可能會受到批評，

在 1997 年的會議上，CIPM 確認這一定義是指在熱力學溫度為 0 K 基態下的鈹原子。2018 年第 26 屆 CGPM 修改了秒定義的措辭 (決議 1, 見 81 頁)。

\*在 1980 年的會議上，CIPM 批准了 CCU 第 7 次會議的報告，其中要求不再允許使用“°K”和“deg”這兩個符號。

\*\*見 CIPM 關於克耳文定義中水的同位素組成的建議 2 (CI-2005) 之 68 頁。

\*見 CIPM 關於 1990 年國際溫標的建議 5 (CI-1989) 之 62 頁。

\*2018 年第 26 屆 CGPM 重新定義了克耳文 (決議 1, 見 81 頁)。

\*1979 年第 16 屆 CGPM 廢除了這個定義 (決議 3, 見 57 頁)。

決定將燭光的定義表達如下：

「燭光是 1/600 000 平方公尺的黑體表面在 101 325 牛頓每平方公尺的壓力以及鉑凝固點的溫度下，於垂直表面方向上所發出的光強度。」

■ SI 導出單位(CR, 105 和 *Metrologia*, 1968, 4, 44)\*

#### 決議 6

第 13 屆國際度量衡大會(CGPM)，

考量在 1960 年第 11 屆 CGPM 決議 12 第 4 段的清單中增加一些導出單位是有用的，

決定增加：

波數	每公尺	$m^{-1}$
熵	焦耳每克耳文	J/K
比熱容	焦耳每公斤克耳文	J/(kg · K)
導熱係數	瓦特每公尺克耳文	W/(m · K)
輻射強度	瓦特每立徑	W/sr
活度(放射性源)	每秒	$s^{-1}$

■ 廢除早期對微米和新燭光的決定(CR, 105 和 *Metrologia*, 1968, 4, 44)

#### 決議 7

第 13 屆國際度量衡大會(CGPM)，

考量到大會隨後對國際單位的決定與 1948 年第 9 屆 CGPM 決議 7 的部分內容不符，

決定從第 9 屆會議決議 7 中刪除：

1. 單位名稱「微米」以及其符號“ $\mu$ ”，該符號現在已作為前綴詞之用；
2. 單位名稱「新燭光」。

\*1975 年第 15 屆 CGPM 給活度的單位一個特殊的名稱和符號(決議 8，見 56 頁)。

\*\*1995 年第 20 次 CGPM 決定廢除 SI 中的輔助單位類別(決議 8，見 63 頁)。

\*\*2001 年 CIPM 承認 CCU 為明確有關「SI units」和「units of SI」定義的提案，見 64 頁。

### CIPM, 1969

■ 國際單位制，1960 年第 11 屆 CGPM 決議 12 的適用規則 (PV, 37, 30 和 *Metrologia*, 1970, 6, 66)\*

#### 建議 1

國際度量衡委員會，

考量到 1960 年第 11 屆國際度量衡大會(CGPM)決議 12，關於國際單位制，引發了對其某方面的討論，

宣告

1. 由國際單位制的基本單位、輔助單位和導出單位所構成具一致性的集合，以「SI 單位」這個名稱表示；\*\*
2. 由 CGPM 所採納用以形成 SI 單位十進制倍數和分數的前綴詞，稱為「SI 前綴詞」；

並建議

3. SI 單位以及由 SI 前綴詞所代表的十進位倍數和分數的使用。

備註：在第 11 屆 CGPM 決議 12 中(以及本建議中)於 SI 單位中增加了所謂的「輔助單位」，但大會未能說明它們是基本單位還是導出單位。

## CCDS，1970 年(*In CIPM，1970*)

- TAI 的定義(PV38, 110-111 和 *Metrologia*, 1971, 7, 43)

### 建議 S 2

國際原子時間(TAI)是國際原子時間局(Bureau International de l'Heur, BIH)根據各機構依國際單位制之秒定義所設立原子鐘之指示值而建立的時間參考座標。

1980 年，TAI 的定義完成如下(CCDS 宣告，*BIPM Com. Cons. Déf. Seconde*, 1980, 9, S 15 and *Metrologia*, 1981, 17, 70)：

TAI 是以實現在旋轉大地水準面上的 SI 秒為其標度單位之地心參考坐標定義的坐標時間標度。

1991 年國際天文學聯合會在決議 A4 中進一步擴大了此一定義：為「TAI 是一個實現理想形地球時(Terrestrial Time, TT)之時間標度，其與地球時有 32.184 秒的固定偏移。TAI 本身與地心參考坐標系的時間坐標，即地心坐標時間(TCG)，有一固定的差率。(見國際天文學聯合會第 21 屆大會，*IAU Trans.*, 1991, vol. XXIB, Kluwer.)

## 第 14 屆 CGPM，1971 年

- 帕斯卡和西門 (CR, 78)

第 14 屆國際度量衡大會採納特定名稱「帕斯卡」(符號 Pa)作為牛頓每平方公尺的 SI 單位、以及「西門」(符號 S)作為電導的 SI 單位(歐姆的倒數)。

- 國際原子時間，CIPM 的功能(CR, 77-78 and *Metrologia*, 1972, 8, 35)

### 決議 1

第 14 屆國際度量衡大會 (CGPM)，

#### 考量

- 自 1967 年以來，作為國際單位制時間單位的秒係依自然原子頻率定義，不再依天文運動所提供的時間標度，
- 國際原子時對一個以秒原子定義為基礎之時間標度的需求，
- 一些國際組織已經確保並仍成功地確保了這建立於天文運動的時間標度，特別感謝國際原子時間局(BIH)的長期服務，
- BIH 已開始建立一個品質公認和具實用性的原子時間標度，
- 已考量了實現秒的原子頻率標準必須繼續在諮詢委員會幫助下，仍由國際度量衡委員會(CIPM)審議，而國際原子時間標度的單位間隔必須是依據其原子定義所實現的秒，
- 所有具權威的國際科學組織和積極活動於這領域的國家實驗室對 CIPM 和 CGPM 應定義國際原子時及建立國際原子時標度所表達的希望，
- 國際原子時的實用性須與基於天文運動的時間標度密切協調，

#### 請求 CIPM

1. 給出國際原子時的定義，
2. 與有關國際組織達成協議，採取必要步驟，確保使用現有最佳的科學能力和現有設施，實現國際原子時間標度並滿足國際原子時間標度使用者的要求。

1970 年 CCDS(現為 CCTF)給出了 TAI 的定義，見 CCDS 報告第 22 頁。

- 物量的 SI 單位(莫耳)(CR, 78 和 *Metrologia*, 1972, 8, 36)\*

### 決議 3

第 14 屆國際度量大會(CGPM),

考量到國際純粹暨應用物理聯合會(International Union of Pure and Applied Physics, IUPAP)、國際純粹暨應用化學聯合會(International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC)和國際標準化組織對有關物量定義的需要之建議,

#### 決定

1. 莫耳為物質系統中所含基本實體數與質量為 0.012 公斤碳 12 所含原子數相等時之物量, 其符號為“mol”。\*\*
2. 當使用莫耳時, 基本實體應予以界定, 可以是原子、分子、離子、電子及其他粒子, 或這些粒子的特定組合。
3. 莫耳是國際單位制的基本單位。

\*在1980年CIPM的會議上, 批准了1980年CCU第7次會議的報告, 其中界定了在本定義中所指碳12的無束縛原子包含了靜止中的原子和處在基態的原子。

\*\*2018年 第26屆CGPM重新定義了莫耳(決議1, 見81頁)。

## 第 15 屆 CGPM, 1975 年

- 光速的建議值(CR, 103 和 *Metrologia*, 1975, 11, 179-180)

### 決議 2

第 15 屆國際度量衡大會(CGPM),

考量到在可見光或紅外區鎖定於分子吸收線上雷射輻射波長之量測, 其結果間有良好的的一致性, 不確定度估計為 $\pm 4 \times 10^{-9}$ , 已可對應公尺實現的不確定度,

同時考量其中幾種輻射頻率的量測一致性,

建議使用上述量測所得到的值  $c = 299\,792\,458$  m/s 來表示電磁波在真空中傳播的速度。

此處所給的相對不確定度為對應於所考量數據中的3個標準差。

- 協調世界時 (UTC)(CR, 104 和 *Metrologia*, 1975, 11, 180)

### 決議 5

第 15 屆國際度量衡大會(CGPM),

考量到稱為「協調世界時」(UTC)的系統已被廣泛使用, 它利用大量的無線電傳輸進行時間信號的廣播, 這種廣泛的擴散使用戶不僅可以獲得頻率標準, 還可以獲得國際原子時和近似於世界時的時間(或者稱為平均太陽時),

注意到這個協調世界時提供了民用時間的基礎, 其使用在大多數國家都是合法的

評估這種用法可得到強烈支持。

- 游離輻射的 SI 單位(貝克和戈雷)(CR, 105 和 *Metrologia*, 1975 年, 11, 180)\*

### 決議 8 和 9

第 15 屆國際度量衡大會(CGPM),

由於國際輻射單位和量測委員會(ICRU)表達對擴大國際單位制適用在輻射學研究和應用的迫切需求,

由於盡可能讓非專業人員能簡單地使用單位的需要, 同時考慮到治療工作中出錯的嚴重風險,

採納用以下特定名稱為活度的 SI 單位:

在1976年CIPM的會議上批准了1976年CCU第5次會議的報告, 其中規定根據ICRU的建議, 戈雷也可用於表達比能給與、克馬和吸收劑量指數。

**貝克**，符號 Bq，等於 1 秒的倒數(決議 8)，

採納以下特定名稱為游離輻射的 SI 單位：

**戈雷**，符號 Gy，等於 1 焦耳每公斤(決議 9)。

注意：戈雷是吸收劑量的 SI 單位。在游離輻射領域，戈雷可與其他物理量一起使用，也以焦耳每公斤表示：由單位諮詢委員會負責與有能力的國際組織合作研究此事。

■ SI 前綴詞拍(peta)和艾(exa)(CR, 106 和 *Metrologia*, 1975, 11, 180-181)\*

\*1991 年第 19 屆 CGPM 增加了新的前綴詞(決議 4，見 63 頁)。

### 決議 10

第 15 屆國際度量衡大會(CGPM)

決定增加用於倍數的 SI 前綴詞清單，仍依第 11 屆 CGPM 通過的決議 12 第 3 段增列以下兩個新前綴詞：

倍率因子	前綴詞	符號
$10^{15}$	拍(peta)	P
$10^{18}$	艾(exa)	E

## 第 16 屆 CGPM，1979 年

■ 光強度(燭光)的 SI 單位(CR, 100 和 *Metrologia*, 1980, 16, 56)

### 決議 3

2018 年第 26 屆 CGPM 修改了燭光定義的措辭(決議 1，見 81 頁)

第 16 屆國際度量衡大會(CGPM)，

#### 考量

- 儘管一些實驗室付出了顯著的努力，但依據目前黑體原級標準所得燭光實現的結果，其間仍存在著相當大的差異，
- 輻射量測技術正在迅速發展，其精密度已經相當於光度量測的精度，而且這些技術已經在國家實驗室使用，無需構建黑體即可實現燭光，
- 光度學的發光量和輻射量之間的關係，即頻率為  $540 \times 10^{12}$  赫茲的單色輻射分光發光效能為 683 流明每瓦的值，已於 1977 年為國際度量衡委員會所採用，
- 該值對於在明視覺的發光系統上已被認為有足夠的準確性，它意味著對暗視覺的發光系統的變化僅為 3% 左右，因此確保了令人滿意的連續性，
- 現在是該給燭光一個定義的時候了，以便能使燭光更易於實現，同時提升光度量測標準的精確度，並可使用於明視覺和暗視覺的光度量以及其間尚待定義的昏暗視覺之度量，

明視覺由眼睛視網膜上的錐體細胞檢測，對亮度敏感高( $L > \text{約 } 10 \text{ cd/m}^2$ )，用於日間視覺。

視網膜的桿狀細胞對低亮度( $L < \text{約 } 10^{-3} \text{ cd/m}^2$ )較敏感，用於夜間視覺。

介於高亮度與低亮度間的範圍中，需同時使用到錐體細胞和桿狀細胞，稱之為昏暗視覺。

#### 決定

1. 燭光為頻率  $540 \times 10^{12}$  赫茲之單色輻射光源，在給定方向發出之每立徑輻射通量為 683 分之 1 瓦特之光強度。
2. 廢除 1946 年 CIPM 基於 1933 年第 8 屆 CGPM 的授權而通過，並在 1948 年第 9 屆得到 CGPM 批准、而後於 1967 年修訂的燭光(當時稱為新蠟燭)定義。

■ 等效劑量的 SI 單位的特定名稱西弗(CR, 100 和 *Metrologia*, 1980, 16, 56)\*

決議 5

第 16 屆國際度量衡大會(CGPM)，

考量

- 將 SI 單位引入游離輻射領域的努力，
- 由於對輻射吸收劑量和等效劑量的混淆，可能使人們低估了輻射劑量對人類的風險，
- 必須盡可能避免特定名稱的擴增對國際單位制構成危害，但是當為保障人類健康時，即可打破此一規則，

採納特定名稱西弗，符號 Sv，為在輻射防護領域的等效劑量之 SI 單位。西弗等於焦耳每公斤。

■ 公升的符號 (CR, 101 和 *Metrologia*, 1980, 16, 56-57)

決議 6

第 16 屆國際度量衡大會(CGPM)，

承認 1948 年第 9 屆 CGPM 決議 7 中編寫單位符號所採納的一般原則，

考量到 1879 年國際度量衡委員會(CIPM)採納了公升單位的符號 l，並於 1948 年在同一決議中得到確認，

還要考量到為了避免字母 l 和數字 1 之間混淆的風險，有幾個國家採納符號 L 而不是 l 作為公升單位，

考量到公升雖然不包括在國際單位制中，但必須被承認可作為單位制的一般用途，

決定，作為例外，採用兩個符號 l 和 L 作為單位公升的符號，

進一步考量到將來應該只保留這兩個符號中的一個，

請 CIPM 關注這兩個符號的使用發展，並將有可能刪掉其中一個符號的意見提供給第 18 屆 CGPM。

\*1984 年，CIPM 決定在該決議附有解釋(建議 1，見 60 頁)。

1990 年 CIPM 認為現在為公升選一個符號還為時過早。

CIPM，1980

■ SI 輔助單位(徑和立徑)(PV, 48, 24 和 *Metrologia*, 1981, 17, 72)\*

建議 1

國際度量衡委員會(CIPM)，

考量到 ISO/TC 12 在 1978 年通過的決議 3 和 1980 年單位諮詢委員會第 7 屆會議通過的建議 U1，

考量

- 單位徑和立徑通常在被引入單位表達式時需要予以澄清，特別是在光度量測中，立徑在區分對應於不同量的單位方面，有著重要的作用，
- 在所使用的等式中，通常將平面角度表示為兩個長度的比率，將立體角表示為面積與長度平方之間的比率，因而這些量被視為無量綱之量，
- 在科學領域的形式研究上，顯示不存在任何既一致性同時又方便性的事，是以平面角度和立體角度這兩個量可以被視為基本量，

\*1995 年第 20 屆 CGPM 決定廢除 SI 輔助單位類別(決議 8，見 63 頁)。

## 也考量

- 1969 年 CIPM 對 1960 年第 11 屆國際度量衡大會決議 12 中導入之輔助單位類的解釋，允許將彈和立彈視為 SI 基本單位的特許，
- 這可能會損害僅以 7 個基本單位為基礎的 SI 單位制內部的一致性，

決定將國際單位制中的輔助單位類別解釋為無量綱導出單位這一類，對此國際度量衡大會允許它們在以 SI 導出單位表達，並自由決定使用或不使用。

## 第 17 屆 CGPM，1983 年

- 公尺的定義(CR, 97 和 *Metrologia*, 1984, 20, 25)

2018 年第 26 屆 CGPM 修改了米定義的措辭 (決議 1, 見 81 頁)。

### 決議 1

第 17 屆國際度量衡大會(CGPM)，

## 考量

- 目前的定義沒有足夠精確地實現公尺以滿足所有的要求，
- 在雷射穩定性方面取得的進展使所獲得的輻射比氪 86 燈發出的標準輻射更易於再現和方便使用，
- 在這些輻射頻率和波長量測方面取得的進展，因此確定光速的一致性，其準確性主要受限於目前公尺定義的實現，
- 從頻率量測和給定的光速值所測定的波長，具有優於與氪 86 燈標準輻射波長相比的再現性。
- 維持 1975 年第 15 屆 CGPM 決議 2 中建議的光速值( $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$ )不變，特別對天文學和大地量測學有所助益，
- 公尺的新定義已經設想了各種不同的形式，所有的形式都具備使光速有一確切等於建議值的效果，而且以目前公尺定義最佳實現的  $\pm 4 \times 10^{-9}$  相對不確定度而言，不致對長度單位帶來明顯的不連續性，
- 這些不同的形式，不論是光在指定時間間隔內所經過的路徑，或指量測頻率或指定頻率的輻射波長，一直是協議和深入討論的對象，並被認為是等同的，且已出現支持前者的共識，
- 公尺定義諮詢委員會(Comité Consultatif pour la Définition du Mètre, CCDM)現在可以為實際實現這樣一個定義提供指示，這些指示可包括使用目前作為標準的氪-86 的橙色輻射，並且可以在適當的時候進行擴展或修訂，

此處所給的相對不確定度為對應於所考量數據中的 3 個標準差。

## 決定

1. 公尺為光在真空於 299 792 458 分之 1 秒時間間隔內所行經之長度。
2. 廢除自 1960 年以來生效之基於氪 86 原子的  $2p_{10}$  和  $5d_5$  能階間的公尺定義。

- 關於公尺定義的實現(CR, 98 和 *Metrologia*, 1984, 20, 25-26)

### 決議 2

第 17 屆國際度量衡大會(CGPM)，

請國際度量衡委員會

- 為實際實現公尺的新定義擬定說明，
- 選擇可推薦為長度干涉量測波長標準的輻射，並擬定其使用說明，
- 展開研究以改進這些標準。

見 CIPM 關於米定義實際實現的建議 1(CI-2002)，見 65 頁。

## CIPM，1984

- 關於西弗 (PV, 52, 31 和 *Metrologia*, 1985, 21, 90)\*

### 建議 1

國際度量衡委員會，

考量到決議 5 的主題仍然有混淆存在，經 1979 年 16 屆國際度量衡大會批准，

決定在「國際單位制(SI)」手冊中介紹以下說明：

等效劑量  $H$  是游離輻射吸收劑量  $D$  和國際放射防護委員會規定的兩個無量綱因子  $Q$  (品質因子) 和  $N$  (任何其他增因子的乘積) 的乘積：

$$H = Q \cdot N \cdot D$$

因此，對於給定的輻射，以焦耳每公斤為單位的  $H$  之數值因取決於  $Q$  和  $N$  的值，可能不同於以焦耳/公斤為單位的  $D$ 。為了避免吸收劑量  $D$  與等效劑量  $H$  之間有任何混淆的風險，應該使用各自單位的特定名稱，也就是說，應該使用戈雷替代焦耳每公斤為吸收劑量  $D$  的單位，用西弗替代焦耳每公斤為等效劑量  $H$  的單位。

\* 2002 年 CIPM 決定改變 SI 手冊中對等效劑量的解釋(建議 2，見 66 頁)。

## 第 18 屆 CGPM，1987 年

- 即將對電壓和歐姆的表示進行調整(CR, 100 和 *Metrologia*, 1988, 25, 115)

### 決議 6

第 18 屆國際度量衡大會(CGPM)，

考量

- 從技術和經濟角度來看，全球一致性和長期穩定性的電單位表示法對科學、商業和工業都至為重要，
- 許多國家實驗室使用約瑟夫森效應並開始用量子霍爾效應分別維持伏特和歐姆的表示，因它們提供了長期穩定性的最佳保證，
- 基於維持各種物理量計量單位間一致化的重要性，這些表示法所採用的值必須盡可能與 SI 一致，
- 最近和當前的實驗結果，將可為此兩效應對應至其相關電量單位的係數，建立一個與 SI 完全相容的可接受值，

**懇請**對建立約瑟夫森效應之電壓/頻率的商和量子霍爾效應之電壓/電流的商等工作有結果的各實驗室，努力追求這些成果，並將這些成果即刻傳給國際度量衡委員會，**指示**國際度量衡委員會在認為可能時，即建議每個商的值，以及所有國家同時實施這些商的日期；這些值應至少提前一年公佈，並於 1990 年 1 月 1 日通過。

## CIPM，1988

- 通過約瑟夫森效應的電壓表示 (PV, 56, 44 和 *Metrologia*, 1989, 26, 69) \*

\*2018年第26屆CGPM廢除對 $K_J$ 之約定值的採用。(決議1，見81頁)。

### 建議 1

國際度量衡大會(CGPM)，

**執行**第 18 屆國際度量衡大會決議 6 的指示，關於即將調整之伏特和歐姆的表示，

#### 考量

- 對最近的量測結果進行詳細研究後，得出的結果是約瑟夫森常數  $K_J$  為 483 597.9 GHz/V，即頻率除以對應於約瑟夫森效應中量子階  $n=1$  的電位差之商，
- 約瑟夫森效應和  $K_J$  的值可用來建立電動勢的參考標準，該電動勢相對於伏特估計有  $4 \times 10^{-7}$  的不確定度(一個標準差)，且其再現性明顯更好，

#### 建議

- 確切地採納 483 597.9 GHz/V 作為約定值，用  $K_{J-90}$  表示約瑟夫森常數  $K_J$ ，
- 這個新值從 1990 年 1 月 1 日起(而不是之前)，用來替代目前正在使用的值，
- 所有基於約瑟夫森效應量測電動勢的實驗室於同一天開始採用這個新值，
- 從同一天起，所有其他實驗室調整其實驗室的參考標準之數值，以符合新採用的值，

**認為**在可預見的將來，此約瑟夫森常數的建議值不需要更改，

**提請實驗室注意**，新值比 1972 年電量諮詢委員會在 E-72 宣言中所給的值大 3.9 GHz/V，即大約  $8 \times 10^6$ 。

- 以量子霍爾效應表示歐姆(PV, 56, 45 和 5 和 *Metrologia*, 1989, 26, 70) \*

2000年第89次CIPM會議批准了第22次電磁諮詢委員會會議關於使用馮克立曾常數的宣言。

### 建議 2

國際度量衡大會(CGPM)，

**執行**第 18 屆國際度量衡大會決議 6 的指示，關於即將調整之伏特和歐姆的表示，

\*2018年第26屆CGPM廢除對 $R_K$ 之約定值的採用。(決議1，見81頁)。

**考量**

- 大多數現有實驗室的電阻參考標準隨時間而有顯著變化，
- 以量子霍爾效應為基礎的實驗室電阻參考標準將更為穩定且具有更佳的再現性，
- 對最近的量測結果進行詳細研究後，得出的結果是馮克立曾常數  $R_K$  為 25 812.807  $\Omega$ ，即電位差除以對應於量子霍爾效應中  $i=1$  平台的電流之商，
- 量子霍爾效應和  $R_K$  的值可用來建立電阻的參考標準，該電阻參考標準相對於歐姆估計有  $2 \times 10^{-7}$  的不確定度(一個標準差)，且其再現性明顯更好，

**建議**

- 確切地採納 25 812.807  $\Omega$  作為約定值，用  $R_{K-90}$  表示馮克立曾常數  $R_K$ ，
- 從 1990 年 1 月 1 日起(而不是之前)，所有根據量子霍爾效應進行電阻量測的實驗室都使用這個值，
- 從同一天開始，所有其他實驗室都得調整其實驗室的參考標準之數值，以符合  $R_{K-90}$ ，
- 在利用量子霍爾效應建立實驗室電阻參考標準時，各實驗室宜遵循由電量諮詢委員會起草、國際度量衡局所出版最新版本的「可靠量測量化霍爾電阻的技術指引」，

認為在可預見的將來，此馮克立曾常數的建議值不需要更改。

**CIPM, 1989**

- 1990 年的國際溫標(PV, 57, 115 和 *Metrologia*, 1990, 27, 13)

2018 年第 26 屆 CGPM 重新定義了克耳文(決議 1，見 81 頁)。

**建議 5**

國際度量衡委員會(CIPM)根據 1987 年第 18 屆國際度量衡決議 7 採納 1990 年國際溫標(ITS-90)以取代 1968 年國際實用溫標(IPTS-68)。

- 延伸較低溫度至 0.65 K，因此也取代 EPT-76，
- 與相應的熱力學溫度基本上更加一致，
- 在整個範圍內具有更高的連續性、精確度和再現性
- 在某些範圍內具有子範圍和替代定義，大大提高了其使用的方便性。

CIPM 還指出，為配合 ITS-90 的文本，將還有兩個文件「ITS-90 的輔助資訊」(*Supplementary Information for the ITS-90*) 和「近似 ITS-90 的技術」(*Techniques for Approximating the ITS-90*) 由 BIPM 發布並定期更新。

**CIPM 建議**

- 1990 年 1 月 1 日，ITS-90 開始生效
- 從同一天起，IPTS-68 和 EPT-76 將被廢除。

## 第 19 屆 CGPM，1991 年

- SI 前綴詞皆(zetta)、介(zepto)、佑(yotta)和攸(yocto) (CR, 185 和 *Metrologia*, 1992, 29, 3)

### 決議 4

第 19 屆國際度量衡大會(CGPM)

決定增加用於倍數的 SI 前綴詞清單，仍依第 11 屆 CGPM 採納的決議 12 第 3 段、第 12 屆 CGPM 決議 8 和第 15 屆 CGPM 決議 10，增列以下新前綴詞：

倍率因子	前綴詞	符號
$10^{21}$	皆(zetta)	Z
$10^{-21}$	介(zepto)	z
$10^{24}$	佑(yotta)	Y
$10^{-24}$	攸(yocto)	y

## 第 20 屆 CGPM，1995 年

- 廢止 SI 的輔助單位類別(CR, 223 和 *Metrologia*, 1996, 33, 83)

### 決議 8

第 20 屆國際度量衡大會(CGPM)，

#### 考量

- 1960 年第 11 屆國際度量衡大會決議 12，建立了國際單位制(SI)，區分三類 SI 單位：基本單位、導出單位和輔助單位，其中最後一類包括彈和立彈，
- 相對於基本單位和導出單位，輔助單位的狀態引起爭論，
- 1980 年國際度量衡委員會觀察到輔助單位的模糊狀態有損於 SI 內部的一致性，因而在其建議 1(CI-1980)中將 SI 中的輔助單位解釋為無量綱導出單位，

批准國際度量衡委員會在 1980 年作出的解釋，

#### 決定

- 解釋 SI 中的輔助單位，即彈和立彈，為無量綱導出單位，其名稱和符號可視需要使用(但也可不使用)在其他 SI 導出單位的表達式中，
- 因此，在 SI 中廢止輔助單位類別作為一個單獨的類別。

## 第 21 屆 CGPM，1999 年

- 公斤的定義(CR, 331 和 *Metrologia*, 2000, 37, 94)

### 決議 7

第 21 屆國際度量衡大會(CGPM)，

#### 考量

- 需要確保國際單位制(SI)的長期穩定，
- SI 基本單位中，以人工製品定義的質量單位，其長期穩定性受限於在本質上的不確定性，
- SI 中與公斤相關的其他三個基本單位，即安培、莫耳和燭光，其長期穩定性的不確定性，

- 已經在許多不同的實驗中獲得質量單位與基本或原子常數相關連的進展，
- 有多種令人滿意的方法可作這種連結，

**建議**國家實驗室繼續努力改進實驗以連結質量單位與基本或原子常數，以期將來重新定義公斤。

■ 表示催化活性的 SI 導出單位為莫耳每秒，其特定名稱為卡塔爾(CR, 334-335 和 *Metrologia*, 2000, 37, 95)

## 決議 12

第 21 屆國際度量衡大會(CGPM)，

### 考量

- SI 單位在醫學和生化領域的易於使用對人類健康和安全性的重要性，
- 一種稱為「單位」的非 SI 單位，符號為 U，等於  $1 \mu\text{mol}/\text{min}$ ，與國際單位制(SI)不一致，自 1964 年以來一直廣泛應用於醫學和生化中，用於表達催化活性，
- 由於 SI 一致導出單位”莫耳每秒”沒有特定的名稱，導致臨床的量測結果在各地有不同的表示單位，
- 國際醫學和臨床化學團體強烈建議在他們的領域使用 SI 單位，
- 國際臨床化學和檢驗醫學聯合會已經要求單位諮詢委員會，建議使用特定名稱卡塔爾(katal)，符號為 kat，作為 SI 單位”莫耳每秒”的單位名稱，
- 必須盡可能避免特定名稱的增擴對國際單位制構成危險，但在與人類健康和安全性有關的事項上可有例外(1975 年第 15 屆度量衡大會決議 8 和 9，1979 年第 16 屆度量衡大會決議 5)，

**注意**到名稱卡塔爾，符號 kat，SI 單位莫耳每秒用來表達催化活性已 30 年以上，

**決定**採納特定名稱卡塔爾，符號 kat，以 SI 單位莫耳每秒表示催化活性，特別是在醫學和生化領域，

並**建議**在使用卡塔爾時，受測量需由所參考的量測程序指定；量測程序必須明定指示反應。

## CIPM，2001 年

■ 「SI 單位(SI units)」和「SI 的單位(units of the SI)」(PV, 9, 120)

CIPM 於 2001 年批准了 CCU 關於「SI 單位(SI units)」和「SI 的單位(units of the SI)」的以下提案：

「我們建議將『SI 單位』和『SI 的單位』此二名稱視為均包括基本單位和一致導出單位，以及藉由這些單位與建議的倍數和分數前綴詞之組合而獲得的所有單位。我們建議當需要將含義限制僅為基本單位和一致導出單位時，應使用名稱『一致的 SI 單位』。

## CIPM, 2002 年

- 公尺定義之實際實現的修訂版(PV, 70, 194-204 和 *Metrologia*, 40, 103-133)

## 建議 1

國際度量衡委員會，

## 回顧

- 1983 年第 17 屆 CGPM 大會採納了新的公尺定義；
- 同年，CGPM 請求國際度量衡委員會(CIPM)
  - 制定對公尺之實際實現的說明，
  - 為長度干涉量測選擇可推薦作為波長標準的輻射，並制定使用說明，
  - 進行改進這些標準的研究，並在適當的時候延長或修改這些說明；
- 為回應此請求，CIPM 通過了建議 1(CI-1983)(公尺定義的實際實現)
  - 公尺應以下方法之一進行實現：
    - (a) 藉由量測在真空中平面電磁波通過某距離長度  $l$  的行進時間  $t$ ，並利用  $l = c_0 \cdot t$  關係式和光在真空中的速度  $c_0 = 299\,792\,458$  m/s 而得知長度  $l$  的值。
    - (b) 藉由量測某一波長為  $\lambda$  之平面電磁波於真空中的頻率  $f$  (Hz)，並利用關係式  $\lambda = c/f$  和光在真空中的速度  $c_0 = 299\,792\,458$  m/s，得知波長  $\lambda$  (m) 的值，
    - (c) 藉由下列中的一種輻射，其所規定在真空中的波長或頻率可與所示的不確定度一起使用，但須遵循給定的規範和公認為適當的方法；
  - 在所有情況下均須進行必要的修正，以顧及實際情況，例如真空中的繞射、重力或缺陷；
  - 在廣義相對論的背景下，公尺被認為是適當的長度單位。因此，其定義僅適用於足夠小的空間範圍，以至於可以忽略重力場不均勻性的影響(請注意，在地球表面，垂直方向上的這種效應約為  $10^{-16}$  公尺)。在這種情況下，要考慮的只是狹義相對論的影響。由於空間的影響，雖然以(b)和(c)所建議公尺的實現方法也可得出合適的公尺，但未必與(a)方法所得到的公尺相同。因此，應限制方法(a)須以足夠短的長度  $l$  來實現公尺定義，以使廣義相對論所預測的影響對於該公尺實現的不確定度可以被忽略不計。至於在什麼情況下會產生前面所說的不相等情形，請參閱時頻諮詢委員會(CCTF)工作組對廣義相對論在計量學中之應用研究報告，(廣義相對論在計量的應用)，*Metrologia*, 1997, 34, 261-290)；
- CIPM 已經為此目的建議了一系列的輻射種類；

回顧 1992 年和 1997 年，CIPM 修訂了該公尺定義的實際實現；

## 考量

- 科學和技術持續地要求提高公尺實現的準確性；
- 自 1997 年以來，在國家實驗室 BIPM 和其他地方的工作，已經確定了新的輻射及其實現方法，從而降低了不確定度；

- 與時間相關的活動越來越趨向光頻，所建議用以實際實現的輻射，其應用範圍也繼續擴大，已不只涵蓋尺寸計量和公尺的實現而已，還有高解析度光譜學、原子和分子物理學、基本常數和電信；
- 目前在建議的輻射清單中已增列了一些新的頻率值，這些頻率所產生的輻射因具備高穩定冷原子和離子標準的特性，故而降低了輻射的不確定度。最近也測量了幾種新的冷原子和離子物種的輻射頻率，其中一些以氣體室為基礎的光學頻率標準，其新的改進值的不確定度已大幅降低了，這些頻率的範圍包含了光通信所關注的波長區域；
- 新的飛秒光梳技術對於將高穩定性光頻標準的頻率與實現 SI 秒的頻率標準聯繫起來具有明顯的意義，這些技術代表了一種方便的量測技術，可為國際單位制(SI)提供可追溯性，而且光梳技術還可以提供頻率源和測量技術；

**認知**到光梳技術是及時且適當的，並建議進一步研究以充分瞭解這些技術的能力；

**歡迎**現在藉由與其他頻率鏈比較，對光梳技術進行驗證；

**敦促**國家計量機構(National Metrology Institutes, NMI)和其他實驗室將光梳技術推進到可達到的最高準確度，並尋求簡單性，以鼓勵廣泛應用；

### 建議

- CIPM 在 1997 年提出的建議輻射清單(建議 1(CI-1997))將以下面所列出的輻射清單\*取代，包括
- 更新了冷 Ca 原子，H 原子和被捕獲的 Sr<sup>+</sup>離子的頻率值，
- 新的冷離子物種的頻率值，包括捕獲的 Hg<sup>+</sup>離子、捕獲的 In<sup>+</sup>離子和捕獲的 Yb<sup>+</sup>離子，
- 更新 Rb 穩頻雷射、I2 穩頻 Nd：YAG 和 He-Ne 雷射、CH4 穩頻 He-Ne 雷射、以及 OsO4 於 10 μm 的 CO2 穩頻雷射的各個頻率值，
- 與光通信頻段相關的標準頻率值，包括 Rb 和 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 穩頻雷射。

\*建議輻射名單，建議 1(CI-2002)，列於 PV, 70, 197-204 和 *Metrologia*, 2003, 40, 104-115。

.....

### ■ 等效劑量 (PV, 70, 205)

## 建議 2

國際度量衡委員會，

### 考量到

- 目前等效劑量的 SI 單位(西弗)定義包括國際輻射防護委員會 (International Commission on Radiological Protection, ICRP)規定的因數"N"(任何其他倍增因子的乘積)，以及
- 國際輻射防護委員會和國際輻射單位與度量委員會(International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU)決定刪除這個因子 N，因為它不再被認為是必要的，並且
- 目前 H 的 SI 定義因包含因子 N 而導致一些混淆，

**決定**將「國際單位制(SI)」手冊中的解釋修改如下：

等效劑量 H 是游離輻射吸收劑量 D 和由 ICRU 定義作為線性能量傳遞函數的無量綱因子 Q(品質因數)的乘積：

$$H = Q \cdot D$$

因此，對於給定的輻射，以焦耳每公斤為單位的  $H$  之數值可能不同於以焦耳每公斤為單位的  $D$  之數值，此乃取決於  $Q$  的值。

委員會還決定將解釋中的最後一句保留如下：

為了避免吸收劑量  $D$  和等效劑量  $H$  之間的混淆，應使用相對應單位的特定名稱，即應使用戈雷替代焦耳每公斤為吸收劑量  $D$  的單位，以西弗為等效劑量  $H$  的單位而不是焦耳每公斤。

## CIPM，2003 年

- 建議修訂輻射清單(PV, 71, 146 和 *Metrologia*, 2004, 41, 99-100)

### 建議 1

國際度量衡委員會，

考量到

- 已記錄在建議輻射清單中的一些高穩定性冷電子標準的輻射頻率值最近得到了改進；
- 已確定記錄在建議輻射清單中的光通信區域以紅外線氣體室為基礎的頻率標準的頻率值；
- 最近以飛秒光梳技術對輔助建議源清單中的某些碘氣體室標準進行了首次的頻率量測，從而大大降低了其不確定度；

提議修訂建議輻射清單，包括以下內容：

- 更新單捕獲  $^{88}\text{Sr}^+$  離子四極躍遷和單捕獲  $^{171}\text{Yb}^+$  八極躍遷的頻率值；
- 更新 1.54  $\mu\text{m}$  的  $\text{C}_2\text{H}_2$  穩頻標準的頻率值；
- 更新 543 nm 和 515 nm 的  $\text{I}_2$  穩頻標準的頻率值。

## 第 22 屆 CGPM，2003 年

- 小數點 (CR, 381 和 *Metrologia*, 2004, 41, 104)

### 決議 10

第 22 屆大會，

考量到

- 國際單位制(SI)的主要目的是讓量的值能夠在全世界以易於理解的方式表達，
- 量的值通常用數值乘以單位表示，
- 通常，量值表達式中的數包含多個位數，其中有整數部分和小數部分，
- 在 1948 年第 9 屆國際度量衡大會決議 7 中，宣告「在數值的表示上，逗號(法國慣例)或圓點(英國慣例)僅用於分開整數部分和小數部分」，
- 根據國際度量衡委員會於 1997 年第 86 屆會議作出的決定，國際度量衡局現在使用點(在底線上的點)作為所有英文版的出版物中的小數點，包括英文版 SI 手冊(關於 SI 最具權威的國際參考文獻)的文本，但仍保留逗號(在底線上)在其所有法語出版物中作為小數點。
- 可是，仍有一些國際機構在英文文件上使用底線上的逗號作為小數點，

- 此外，一些國際機構，包括一些國際標準組織，指定在所有語言中以底線上的逗號為小數點，
- 以底線上的逗號為小數點標記的規定在許多語言中，會與該語言習慣以底線上的點作為小數標記的用法相衝突，
- 有一些語言原本即用於多個國家中，無論是以底線上的點或底線上的逗號作為小數點乃取決於各國家，而在具有多個母語的國家，無論是以底線上的點或底線上的逗號作為小數點乃取決於各語言，

**宣告**小數點標記的符號應為底線上的點或底線上的逗號，

**重申**「為了便於閱讀，可以將數以三個位數一組；也不在各組間的空間中插入點或逗號」，如 1948 年第 9 屆 CGPM 的決議 7 所述。

## CIPM，2005 年

- 澄清克耳文的定義，即熱力學溫度單位(PV, 73, 235 和 *Metrologia*, 2006, 43, 177-178)\*

\*2018 年第 26 屆 CGPM 重新定義了克耳文 (決議 1，見 81 頁)。

### 建議 2

國際度量衡委員會(CIPM)，

#### 考量

- 熱力學溫度單位克耳文的定義為水三相點的熱力學溫度之  $1/273.16$ ，
- 水三相點的溫度取決於所用水樣本中氫和氧同位素的相對含量，
- 目前這種效應是水三相點在各種不同的實現之間所觀察到差異性的主要來源之一，

#### 決定

- 克耳文的定義是指特定同位素組成的水，
- 這個組成成分是：
  - 每莫耳  $^1\text{H}$  中有 0.000 155 76 莫耳的  $^2\text{H}$ ，
  - 每莫耳  $^{16}\text{O}$  有 0.000 379 9 莫耳的  $^{17}\text{O}$ ，和
  - 每莫耳  $^{16}\text{O}$  有 0.002 005 2 莫耳的  $^{18}\text{O}$ ，

這是國際純粹暨應用化學聯合會(International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC)在“Atomic Weights of the Elements: Review 2000”中的建議值，即國際原子能機構的參考物質—維也納標準平均海水(Vienna Standard Mean Ocean Water, VSMOW)的成分。

- 該成分在 SI 手冊中的克耳文定義附註中說明如下：

「此定義的水具有下列同位素組成比例：每莫耳  $^1\text{H}$  中有 0.000 155 76 莫耳的  $^2\text{H}$ ，每莫耳的  $^{16}\text{O}$  中有 0.000 379 9 莫耳的  $^{17}\text{O}$  和每莫耳的  $^{16}\text{O}$  中有 0.002 005 2 莫耳的  $^{18}\text{O}$ 」。

- 建議輻射清單的修訂(PV, 73, 236 和 *Metrologia*, 2006 年, 43, 178)

### 建議 3

國際度量衡委員會(CIPM),

考量到:

- 建議輻射清單中的一些高穩定性冷離子和冷原子標準的輻射頻率值最近已獲得了改進;
- 列於建議輻射清單中光通信區域以紅外線氣體室為基礎的頻率標準, 已確定了其改進後的頻率值;
- 已確定了列於輔助建議輻射源清單中某些碘氣體室標準經改進後的頻率值;
- 新冷原子、近紅外區域的原子和光通信區域的分子頻率, 已首次藉由飛秒光梳完成的頻率量測得以確定;

決定修訂建議輻射清單, 包括以下內容:

- 單捕獲  $^{88}\text{Sr}^+$  離子四極躍遷、單捕獲  $^{199}\text{Hg}^+$  離子四極躍遷和單捕獲  $^{171}\text{Yb}^+$  四極躍遷的更新頻率值;
- Ca 原子躍遷的頻率更新值;
- 1.54  $\mu\text{m}$  的  $\text{C}_2\text{H}_2$  穩定標準的頻率更新值;
- 515 nm 的  $\text{I}_2$  穩定標準的頻率更新值;
- 增加在 698 nm 的  $^{87}\text{Sr}$  原子躍遷;
- 增加在 760 nm 的  $^{87}\text{Rb}$  原子雙光子躍遷;
- 增加在 1.54 $\mu\text{m}$  的  $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$  ( $\nu_1 + \nu_3$ ) 波段、 $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$  ( $\nu_1 + \nu_3$ ) 波段和 ( $\nu_1 + \nu_3 + \nu_4 + \nu_5$ ) 波段。

### CIPM, 2006 年

- 關於秒的另一種表示法(PV, 74, 249 和 *Metrologia*, 2007, 44, 97)

### 建議 1

國際度量衡委員會(CIPM),

考量到

- 應該建立「包括用於公尺的實際實現和秒的另一種表示法等應用之標準頻率建議值」的通用清單,
- CCL/CCTF 聯合工作小組(Joint Working Group, JWG)在 2005 年 9 月於國際度量衡局會議上針對公尺定義的實際實現和秒的另一種表示法, 討論了可能成為秒的另一種表示法的候選清單,
- CCL/CCTF 聯合工作小組於 2006 年 9 月會議中審查並更新了 Hg 離子、Sr 離子、Yb 離子和 Sr 中性原子躍遷頻率,
- CCTF 在其建議書 CCTF 1(2004)中已經建議  $^{87}\text{Rb}$  的非擾動基態超精細量子躍遷頻率為秒的另一種表示法;

**建議**將以下躍遷頻率當作秒的另一種表示法, 並列入「包括用於公尺的實際實現和秒的另一種表示法等應用之標準頻率建議值」的新清單

- $^{87}\text{Rb}$  的非擾動基態超精細量子躍遷，頻率為  $f^{87}\text{Rb} = 6\,834\,682\,610.904\,324\text{ Hz}$ ，估計相對標準不確定度為  $3 \times 10^{-15}$ ，
- $^{88}\text{Sr}^+$  離子於  $5s\ ^2S_{1/2} - 4d\ ^2D_{5/2}$  的非擾動光學躍遷，頻率為  $f^{88}\text{Sr}^+ = 444\,779\,044\,095\,484\text{ Hz}$ ，相對不確定度為  $7 \times 10^{-15}$
- $^{199}\text{Hg}^+$  離子於  $5d^{10}\ 6s\ ^2S_{1/2} (F=0) - 5d^9\ 6s^2\ ^2D_{5/2} (F=2)$  的非擾動光學躍遷，頻率為  $f^{199}\text{Hg}^+ = 1\,064\,721\,609\,899\,145\text{ Hz}$ ，相對標準不確定為  $3 \times 10^{-15}$
- $^{171}\text{Yb}^+$  離子於  $6s\ ^2S_{1/2} (F=0) - 5d\ ^2D_{3/2} (F=2)$  的非擾動光學躍遷，頻率為  $f^{171}\text{Yb}^+ = 688\,358\,979\,309\,308\text{ Hz}$ ，相對標準不確定為  $9 \times 10^{-15}$
- $^{87}\text{Sr}$  中性原子於  $5s^2\ ^1S_0 - 5s\ 5p\ ^3P_0$  的非擾動光學躍遷，頻率為  $f^{87}\text{Sr} = 429\,228\,004\,229\,877\text{ Hz}$ ，相對標準不確定為  $1.5 \times 10^{-14}$

## CIPM，2007 年

- 建議輻射清單的修訂(PV, 75, 185)

### 建議 1

國際度量衡委員會，

考量到：

- 經由飛秒光梳頻率量測的確認，記錄在標準頻率清單中之光通信領域中分子的頻率值已經獲得改善；
- 光通信區域中的分子頻率已藉由飛秒光梳完成首次的頻率量測而得以確定；
- 近 532 nm 光頻標準的某些碘氣體室吸收頻率首次藉由飛秒光梳的頻率量測而得以確定

建議修訂標準頻率清單，以納入以下內容：

- 更新  $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$  在 1.54  $\mu\text{m}$  區段中( $\nu_1 + \nu_3$ )頻帶的頻率值列表；
- 增加  $^{12}\text{C}_2\text{HD}$  在 1.54  $\mu\text{m}$  區段中( $2\nu_1$ )頻帶的頻率值；
- 增加 P(142)37-0, R(121) 35-0 和 R(85)33-0 碘躍遷的超精細分量在 532 nm 的頻率值。

## 第 23 屆 CGPM，2007 年

- 關於公尺定義實際實現的修訂和新光頻標準的發展 (CR, 431)

### 決議 9

第 23 屆國際度量衡大會(CGPM)，

考量到：

- 光頻標準的性能有了快速而重要的改進，
- 飛秒光梳技術現在常用於相關之光輻射和微波輻射在單一儀器上，
- 國家計量機構正在研究短距離光頻標準的比對技術，
- 需要在國際層面上開發遠距比對技術，以能進行光頻標準的比較，

## 歡迎

- 長度諮詢委員會和時頻諮詢委員會聯合作小組審查以光頻表示秒的活動，
- 國際度量衡委員會在 2002 年、2003 年、2005 年、2006 年和 2007 年對公尺定義的實際實現和建議輻射清單的補充，
- 國際度量衡局(BIPM)對如何比較光頻標準的問題所提出的倡議，

## 建議：

- 各國國家計量機構投入資源來開發光頻標準及其比較，
- BIPM 致力於協調一個 NMIs 參與的國際計畫，旨在研究可用於比較光頻標準的技術。

## ■ 澄清克耳文的定義，即熱力學溫度單位(CR, 432)

### 決議 10

第 23 屆國際度量衡大會(CGPM)，

## 考量

- 克耳文為熱力學溫度單位，其定義為水三相點的熱力學溫度之  $1/273.16$ ，
- 三相點的溫度取決於所用水樣本中氫和氧同位素的相對含量，
- 目前這種效應是水三相點在各種不同的實現之間所觀察到差異性的主要來源之一，

注意到並歡迎國際度量衡委員會根據溫度量測諮詢委員會的建議於 2005 年 10 月的決定，即

- 克耳文的定義是指特定同位素組成的水，
- 這成分是：

每莫耳  $^1\text{H}$  中有 0.000 155 76 莫耳  $^2\text{H}$ ，

每莫耳  $^{16}\text{O}$  中有 0.000 379 9 莫耳的  $^{17}\text{O}$  和

每莫耳  $^{16}\text{O}$  中有 0.002 005 2 莫耳的  $^{18}\text{O}$

這是國際純粹暨應用化學聯合會(International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC)在“Atomic Weights of the Elements: Review 2000”中的建議值，即國際原子能機構的參考物質—維也納標準平均海水(Vienna Standard Mean Ocean Water, VSMOW)的成分。

- 該成分在 SI 手冊中的克耳文定義附註中說明如下：

「此定義的水具有下列同位素組成比例：每莫耳  $^1\text{H}$  中有 0.000 155 76 莫耳的  $^2\text{H}$ ，每莫耳  $^{16}\text{O}$  中有 0.000 379 9 莫耳的  $^{17}\text{O}$  和每莫耳  $^{16}\text{O}$  中有 0.002 005 2 莫耳的  $^{18}\text{O}$ 」。

2018 年第 26 屆 CGPM 重新定義了克耳文 (決議 1，見 81 頁)。

■ 關於國際單位制(SI)的某些基本單位可能重新定義(CR, 434)

2018年第26屆CGPM  
最終批准了SI的修訂  
(決議1, 見81頁)。

決議 12

第 23 屆國際度量衡大會(CGPM),

考量

- 多年來, 國家計量機構以及國際計量局(BIPM)為推動和改進國際單位制度做出巨大努力, 期盼 SI 基本單位可以根據自然的不變性(即基本物理常數)來定義,
- 在 SI 的七個基本單位中, 只有公斤仍然是根據實體的人工製品定義, 即國際公斤原器(1889 年第 1 屆 CGPM, 1901 年第 3 屆 CGPM), 同時安培、莫耳和燭光的定義取決於公斤,
- 1999 年第 21 屆國際度量衡大會決議 7 中建議「國家實驗室繼續努力改進實驗以連結質量單位與基本或原子常數, 以期將來重新定義公斤」,
- 近年來, 在聯結國際原器的質量與普朗克常數  $h$  或亞佛加厥常數  $N_A$  的實驗中獲得了許多進展,
- 測定若干相關基本常數值的行動, 包括重新確定波茲曼常數  $k_B$  的工作,
- 由於最近的進展, 對公斤、安培、克耳文和莫耳的重新定義有重大影響和潛在益處,
- 2005 年國際度量衡委員會在 10 月份會議上之建議 1(C1-2005), 以及諮詢委員會關於重新定義 SI 中一個或多個基本單位的各種建議。

注意

- SI 單位定義的任何變化必須受到自我一致性的約束,
- 基本單位的定義應該容易理解,
- 國際度量衡委員會和諮詢委員會的工作,
- 相關實驗的結果需要監測,
- 更廣泛徵求科學界和使用者社群意見和貢獻的重要性, 和
- 原則上批准國際度量衡委員會在 2005 年的決定, 準備公斤、安培、克耳文的新定義以及重新定義莫耳的可能性。

建議國家計量機構和國際度量衡局

- 進行相關實驗, 以便國際度量衡委員會能夠評估是否可能在 2011 年第 24 屆國際度量衡大會使用基本常數的固定值重新定義公斤、安培、克耳文和莫耳,
- 應與國際度量衡委員會及其諮詢委員會和適當的工作小組共同研究以基本常數的固定值實現任何新定義的實際方法, 並為每個定義做好實驗實現準備, 同時考量向使用者解釋新定義的最適方法,
- 啟動宣傳活動, 提醒使用社群重新定義的可能性, 並仔細討論和考慮這重新定義及其實際實現在技術面和法制面的影響,

並要求國際度量衡委員會向 2011 年第 24 屆國際度量衡大會報告這些問題, 並進行必要的準備工作, 以便在實驗結果令人滿意且可滿足使用者需求的情況下, 正式將關於改變公斤、安培、克耳文和莫耳定義的建議提交第 24 屆國際度量衡大會。

## CIPM, 2009 年

- 更新標準頻率的清單(PV, 77, 235)

## 建議 2

國際度量衡委員會(CIPM),

## 考量到

- 「包括用於公尺的實際實現和秒的另一種表示法等應用之標準頻率建議值」已經建立;
- CCL-CCTF 頻標準工作小組(FSWG)已經審查了幾個有希望的候選頻率可列入清單中;

## 建議

應在建議標準頻率清單中包含或更新以下躍遷頻率:

- $^{87}\text{Sr}$  中性原子於  $5s^2\ ^1\text{S}_0 - 5s\ 5p\ ^3\text{P}_0$  的非擾動光學躍遷於, 頻率為  $f = 429\ 228\ 004\ 229\ 873.7\ \text{Hz}$ , 相對標準不確定度為  $1.5 \times 10^{-15}$ (這個輻射已經得到 CIPM 的認可, 作為秒的另一種表示法);
- $^{88}\text{Sr}$  中性原子於  $5s^2\ ^1\text{S}_0 - 5s\ 5p\ ^3\text{P}_0$  的非擾動光學躍遷, 頻率為  $f = 429\ 228\ 066\ 418\ 012\ \text{Hz}$ , 相對標準不確定度為  $1.5 \times 10^{-14}$ ;
- $^{40}\text{Ca}^+$  離子於  $4s^2\ ^2\text{S}_{1/2} - 3d^2\ ^3\text{D}_{5/2}$  的非擾動光學躍遷, 頻率為  $f = 411\ 042\ 129\ 776\ 393\ \text{Hz}$ , 相對標準不確定度為  $4 \times 10^{-14}$ ;
- $^{171}\text{Yb}^+$  離子於  $^2\text{S}_{1/2} (F = 0) - ^2\text{F}_{7/2} (F = 3, m_F = 0)$  的非擾動光學躍遷, 頻率為  $f = 642\ 121\ 496\ 772\ 657\ \text{Hz}$ , 相對標準不確定度為  $6 \times 10^{-14}$ ;
- $^{171}\text{Yb}$  中性原子於  $6s^2\ ^1\text{S}_0 (F = 1/2) - 6s\ 6p\ ^3\text{P}_0 (F = 1/2)$  的非擾動光學躍遷, 頻率為  $f = 518\ 295\ 836\ 590\ 864\ \text{Hz}$ , 相對標準不確定度為  $1.6 \times 10^{-13}$ ;

## 第 24 屆 CGPM, 2011 年

- 關於國際單位制可能的未來修訂, SI(CR, 532)

## 決議 1

國際度量衡大會(CGPM)第 24 屆會議,

## 考量

- 國際上對於重新定義國際單位制(SI)部分單位的重要性、價值和潛在利益的共識,
- 國家計量機構以及國際度量衡局在過去幾十年中投入相當大的努力, 藉由擴展計量學的範疇來推動和改進國際單位制(SI), 以能根據自然的不變性(即基本物理常數或原子性質)來定義 SI 基本單位,
- 在這努力下, 一個成功的傑出例子是 SI 長度單位—公尺的現行定義(1983 年第 17 屆 CGPM 會議決議 1), 它將公尺與真空中光速  $c$  的確切值  $299\ 792\ 458\ \text{m/s}$  聯繫起來,
- 在 SI 的七個基本單位中, 只有公斤仍然是根據實體的人工製品定義, 即國際公斤原器(1889 年第 1 屆 CGPM 會議, 1901 年第 3 屆 CGPM), 而且安培、莫耳和燭光的定義取決於公斤,
- 雖然國際原器自 1889 年 CGPM 第 1 屆會議批准以來, 一直妥善的在科學和技

2018 年第 26 屆 CGPM 重新定義了克耳文(決議 1, 見 81 頁)。

術上發揮它的功能，但它有一些重大的局限性，其中最重要的一點就是它的質量與大自然的不變性沒有明確的聯結，以致於無法保證其長期的穩定性，

- CGPM 在其 1999 年第 21 屆會議上通過的決議 7，建議「國家實驗室繼續努力改進實驗以聯結質量單位與基本或原子常數，以期將來重新定義公斤」，
- 近年來，藉由包括瓦特天平和矽原子質量量測在內的方法，在將國際原器質量與普朗克常數  $h$  的聯結方面，獲得了許多的進展，
- 如果重新定義公斤以使其與  $h$  的確切值相聯結，且重新定義安培，使其與基本電荷  $e$  的確切值相聯結，則所有 SI 電單位的不確定度，將藉由約瑟夫森和量子霍爾效應與約瑟夫森和馮克立曾常數 ( $K_J$  和  $R_K$ ) 的 SI 值的直接或間接實現，而獲得明顯的降低。
- 克耳文目前是根據水的一種固有特性來定義，雖然它是自然界的不變量，但實際上仍取決於所採用水的純度和同位素組成，
- 可重新定義克耳文，使其與波茲曼常數  $k$  的確切值相聯結，
- 也可重新定義莫耳，使其與亞佛加厥常數  $N_A$  的確切值相聯結。如此，即使公斤在重新定義後與  $h$  的確切值相聯結，莫耳也不再依賴於公斤的定義，從而強調物量和質量的區別，
- 如果  $h$ 、 $e$ 、 $k$  和  $N_A$  具有以 SI 單位表示的確切值，則許多其他重要基本常數和能量轉換因子的值之不確定度將被消除或大大減少，
- 2007 年第 23 屆國際度量衡大會在會議上通過了決議 12，陳述了計量機構、國際度量衡局和國際度量衡委員會 (CIPM) 及其諮詢委員會 (CC) 應開展工作，使得以基本常數表示的公斤、安培、克耳文和莫耳等新定義可被採納，
- 雖然這項工作進展順利，但在 2007 年第 23 次國際度量衡大會上所通過第 12 號決議案中所提出的要求並未完全取得令人滿意的進展，因此國際度量衡委員會尚未準備提出最終的提案，
- 儘管如此，現在仍可先針對可能作出的建議提出明確和詳細的解釋，

**注意到**國際度量衡委員會打算對 SI 提出如下的修訂：

- 國際單位制 (SI) 是一套單位制，其中：
  - 銫-133 原子 Cs 於非擾動基態的超精細躍遷頻率  $\Delta\nu_{Cs}$  為 9 192 631 770 Hz，
  - 光在真空中的速度  $c$  是 299 792 458 m/s，
  - 普朗克常數  $h$  為  $6.626\ 06X \times 10^{-34}$  J s，
  - 基本電荷  $e$  為  $1.602\ 17X \times 10^{-19}$  C，
  - 波茲曼常數  $k$  為  $1.380\ 6X \times 10^{-23}$  J/K，
  - 亞佛加厥常數  $N_A$  為  $6.022\ 14X \times 10^{23}$  mol<sup>-1</sup>，
  - 頻率  $540 \times 10^{12}$  Hz 之單色輻射光的發光效能  $K_{cd}$  為 683 lm/W。

\*常數中顯示的 X 位數表示此位數在決議時仍為未知。

在此

- (i) 根據  $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$ 、 $\text{J} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-2}$ 、 $\text{C} = \text{A s}$ 、 $\text{lm} = \text{cd m}^2 \text{m}^{-2} = \text{cd sr}$  和  $\text{W} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-3}$  等關係式，其中的單位赫茲、焦耳、庫倫、流明和瓦特及其單位符號 Hz、J、C、lm 和 W，分別與單位秒、公尺、公斤、安培、克耳文、莫耳和燭光及其單位符號 s、m、kg、A、K、mol 和 cd 相關。

- (ii) 本決議草案中的符號  $X$  乃表示要添加到  $h$ 、 $e$ 、 $k$  和  $N_A$  等數值中的一個或多個附加數字，其值將採用國際數據科技委員會(CODATA)最新的調整值，

因此，SI 將繼續含有目前七個基本單位，特別是

- 公斤將繼續作為質量的單位，其大小將以固定普朗克常數的值確切等於  $6.626\ 06X \times 10^{-34}$  而定，普朗克常數的 SI 單位為  $\text{m}^2 \text{kg s}^{-1}$ ，即等於  $\text{J s}$ ，
- 安培將繼續作為電流的單位，其大小將以固定基本電荷的值確切等於  $1.602\ 17X \times 10^{-19}$  而定，基本電荷的 SI 單位為  $\text{s A}$ ，即等於  $\text{C}$ ，
- 克耳文將繼續作為熱力學溫度的單位，其大小將以固定波茲曼常數的值確切等於  $1.380\ 6X \times 10^{-23}$  而定，波茲曼常數的 SI 單位為  $\text{m}^2 \text{kg s}^{-2}\text{K}^{-1}$ ，即等於  $\text{JK}^{-1}$
- 莫耳將繼續作為指定基本實體的物量單位，基本實體可以是原子、分子、離子、電子及任何粒子或特定的粒子群，其大小將以固定亞佛加厥常數的值確切等於  $6.022\ 14X \times 10^{23}$  而定，亞佛加厥常數的 SI 單位為  $\text{mol}^{-1}$ 。

國際度量衡大會(CGPM)

進一步指出，因為

- 公斤、安培、克耳文和莫耳的新定義旨在成為外顯式常數類型，即藉由指定外顯式的公認基本常數之確切值，間接定義單位，
- 公尺的現有定義與真空中光速的確切值相關，這也是一個公認的基本常數，
- 秒的現有定義與鉍原子明確定義的屬性之確切值相關，該屬性也是自然的不變量，
- 雖然燭光的現有定義與基本常數無關，但可以將其視為與自然不變的確切值相關，
- 如果所有基本單位的措辭相似，就可使國際單位制更易於理解，

國際度量衡委員會也將提出建議

以完全等同的形式重新擬訂秒、公尺和燭光的現有定義，可能如下：

- 秒，符號為  $s$ ，係時間的單位。其大小是以處於  $0\text{K}$  溫度下、靜止狀態的鉍-133 原子，將其非擾動基態的超精細躍遷頻率以 SI 單位  $\text{s}^{-1}$  (即  $\text{Hz}$ ) 表示時，固定為  $9\ 192\ 631\ 770$  而設定之，
- 公尺，符號  $m$ ，係長度的單位；其大小是在將真空中的光速以 SI 單位  $\text{m s}^{-1}$  表示時，固定為  $299\ 792\ 458$  而設定之，
- 燭光，符號  $\text{cd}$ ，係給定方向光強度的單位；其大小是將頻率  $540 \times 10^{12}$  赫茲單色輻射光的發光效能的值以 SI 單位  $\text{cd sr W}^{-1}$  或  $\text{cd sr kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^3$  (即  $\text{lm W}^{-1}$ ) 表示時，固定為  $683$  而設定之，

如此，就可以看出所有七個基本單位的定義很自然的來自於上述的七個常數。

因此，在選擇實施 SI 修訂的日期方面：

- 自 1889 年以來根據國際公斤原器的質量(1889 年 CGPM 第 1 屆會議, 1901 年 CGPM 第 3 屆會議)所生效的公斤定義將被廢除，
- 根據國際度量衡委員會提出的定義(1946 年 CIPM 決議 2)自 1948 年生效以來的安培定義(1948 年 CGPM 第 9 屆會議)將予以廢除，
- 因國際度量衡大會要求使用約瑟夫森和量子霍爾效應建立伏特和歐姆的表示法(1987 年 CGPM 第 18 屆會議決議 6)，而由國際度量衡委員會所通過的約瑟夫森常數  $K_{J-90}$  和馮克立曾常數  $R_{K-90}$  的約定值(1988 年 CIPM 建議 1 和 2)將被廢除，
- 因原有定義(1954 年 CGPM 第 10 屆會議決議 3)不明確而自 1967/68 年生效的克耳文定義(1967/68 年 CGPM 第 13 屆會議決議 4)將被廢除，
- 於 1971 年所生效以碳 12 的莫耳質量具有確切值  $0.012 \text{ kg mol}^{-1}$  而定義的莫耳定義(1971 年 CGPM 第 14 屆會議決議 3)將被廢除，
- 分別於第 17 屆(1983 年 CGPM 決議 1)、第 13 屆(1967/68 年決議 1)和第 16 屆(1979 年決議 3)等會議所被採用之現行公尺、秒和燭光的定義將被廢除。

國際度量衡大會(CGPM)

**進一步指出**，在同一時期

- 國際公斤原器  $m(K)$  的質量將為 1 公斤，其相對不確定度將等於普朗克常數  $h$  建議值在重新定義前的相對不確定度，隨後其值將經由實驗而確定，
- 磁常數(真空的導磁率)  $\mu_0$  將為  $4\pi \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$ ，其相對不確定度將等於精細結構常數  $\alpha$  建議值的相對不確定度，隨後其值將經由實驗而確定，
- 水三相點  $T_{TPW}$  的熱力學溫度將為 273.16 K，其相對不確定度將等於重新定義前波茲曼常數  $k$  建議值的相對不確定度，隨後其值將經由實驗而確定，
- 碳-12  $M(^{12}\text{C})$  的莫耳質量為  $0.012 \text{ kg mol}^{-1}$ ，其相對不確定度將等於重新定義前莫耳普朗克常數  $N_A h$  建議值的相對不確定度，隨後其值將經由實驗而確定，

國際度量衡大會(CGPM)

**鼓勵**

- 國家計量機構、BIPM 和學術機構的研究人員繼續努力，向科學界，特別是國際 CODATA 公佈其工作成果，這些成果與常數  $e$ 、 $k$  和  $N_A$  的測定有關，以及
- BIPM 繼續致力於將其所維護原器的可追溯性與公斤國際原器相聯結，並開發一套參考標準，以便在重新定義後，促進質量單位的傳播，

**提請**

- CODATA 繼續根據現有可用的相關資訊，提供基本物理常數的調整值，並藉由其單位諮詢委員會向國際度量衡委員會公佈結果，因為這些 CODATA 值和不確定度將用於 SI 的修訂，

- CIPM 應於 CGPM 第 23 次會議第 12 號決議的建議得到落實後，盡快提出 SI 的修訂提案，尤其是對公斤、安培、克耳文和莫耳新定義的實際實現，
- CIPM 繼續致力於改進以基本常數定義 SI 基本單位的簡潔陳述，盡可能為一般使用者提供更易於理解的描述，同時符合科學的嚴謹性和清晰度，
- CIPM 及所屬各諮詢委員會、BIPM、OIML 和國家計量機構應加強宣傳活動，以提醒使用社群和公眾了解重新定義各個 SI 單位的用意，並鼓勵其考量此重新定義在實務上、技術上和立法面的影響，以能更廣泛的從科學界和使用社群徵求意見和貢獻。

■ 關於公尺的實際實現的修訂和新光頻標準的發展(CR, 546)

**決議 8**

國際度量衡大會(CGPM)在第 24 屆會議上，

**考量到**

- 光頻標準的性能有了快速而重要的改進，
- 國家計量機構正在研究短距離光頻標準的比對技術，
- 需要在國際層面上開發遠距比對技術，以能進行光頻標準的比較，

**歡迎**

- 長度諮詢委員會和時頻諮詢委員會聯合工作小組展開對用以表示秒之光頻頻率值的審查，
  - CIPM 在 2009 年於「應用於包括米的實際實現和秒的另一種表示法之標準頻率建議值」之通用清單所作的增加，
- 建立 CCTF 先進時頻轉移技術的發展協調工作小組，

**建議**

- 各國國家計量機構投入資源進行光頻標準的開發及其比對，
- BIPM 支持協調成立一個由各國國家計量機構參與的國際計畫，以研究可用於光頻標準比對的技術。

**CIPM, 2013 年**

■ 更新標準頻率的清單(PV, 81, 144)

**建議 1**

國際度量衡委員會(CIPM)，

**考量到**

- 「應用於包括米的實際實現和秒的另一種表示法之標準頻率建議值」的通用清單已經建立，
- CCL-CCTF 頻標準工作小組(FSWG)已經審查了幾個有希望的候選頻率可列入清單中；

建議對「應用於包括米的實際實現和秒的另一種表示法之標準頻率建議值」清單進行以下更新：

- 將以下躍遷頻率增加到清單中：
  - $^{199}\text{Hg}$  中性原子於  $6s^2\ ^1S_0 - 6s\ 6p\ ^3P_0$  的非擾動光學躍遷，頻率為 1 128 575 290 808 162 Hz，估計相對標準不確定度為  $1.7 \times 10^{-14}$ ；
- 在清單中更新以下躍遷頻率：
  - $^{40}\text{Ca}^+$  離子於  $4s\ ^2S_{1/2} - 3d\ ^2D_{5/2}$  的非擾動光學躍遷，頻率為 411 042 129 776 395 Hz，估計相對標準不確定度為  $1.5 \times 10^{-14}$ ；
  - $^1\text{H}$  中性原子於 1S - 2S 的非擾動光學躍遷，頻率為 1 233 030 706 593 518 Hz，估計相對標準不確定度為  $1.2 \times 10^{-14}$ ；

注意：該頻率對應於 1S 和 2S 狀態之間能量差的一半；

- 在清單中更新以下躍遷頻率，並被認可作為秒的另一種表示法：
  - $^{171}\text{Yb}^+$  (八極) 離子於  $6s\ ^2S_{1/2} - 4f^{13}\ 6s^2\ ^2F_{7/2}$  的非擾動光學躍遷，頻率為 642 121 496 772 645.6 Hz，估計相對標準不確定度為  $1.3 \times 10^{-15}$ ；
  - $^{171}\text{Yb}$  中性原子於  $6s^2\ ^1S_0 - 6s\ 6p\ ^3P_0$  的非擾動光學躍遷，頻率為 518 295 836 590 865.0 Hz，估計相對標準不確定度為  $2.7 \times 10^{-15}$ ；
- 將以下躍遷頻率增加到清單中並作為秒的另一種表示法：
  - $^{27}\text{Al}^+$  離子於  $3s^2\ ^1S_0 - 3s\ 3p\ ^3P_0$  的非擾動光學躍遷，頻率為 1 121 015 393 207 857.3 Hz，估計相對標準不確定度為  $1.9 \times 10^{-15}$ ；
- 將以下躍遷頻率增加到清單中並作為秒的另一種表示法：
  - $^{199}\text{Hg}^+$  離子於  $5d\ ^{10}6s\ ^2S_{1/2} - 5d\ ^96s^2\ ^2D_{5/2}$  的非擾動光學躍遷，頻率為 1 064 721 609 899 145.3 Hz，估計相對標準不確定度為  $1.9 \times 10^{-15}$ ；
  - $^{171}\text{Yb}^+$  (四極) 離子於  $6s\ ^2S_{1/2} (F=0, mF=0) - 5d\ ^2D_{3/2} (F=2, mF=0)$  的非擾動光學躍遷，頻率為 688 358 979 309 307.1 Hz，估計相對標準不確定度為  $3 \times 10^{-15}$ ；
  - $^{88}\text{Sr}^+$  (四極) 離子於  $5s\ ^2S_{1/2} - 4d\ ^2D_{5/2}$  的非擾動光學躍遷，頻率為 444 779 044 095 485.3 Hz，估計相對標準不確定度為  $4.0 \times 10^{-15}$ ；
  - $^{87}\text{Sr}$  中性原子於  $5s^2\ ^1S_0 - 5s5p\ ^3P_0$  的非擾動光學躍遷，頻率為 429 228 004 229 873.4 Hz，估計相對標準不確定度為  $1 \times 10^{-15}$ ；
- 將以下躍遷頻率更新為秒的另一種表示法：
  - $^{87}\text{Rb}$  的非擾動基態超精細躍遷，頻率為 6 834 682 610.904 312 Hz，估計相對標準不確定度為  $1.3 \times 10^{-15}$ 。

注意：所估計的標準不確定度乃假設對應於 68 % 的信賴水準。但由於可用的數據量非常有限，事後看來，這可能並不準確。

## 第 25 屆 CGPM，2014 年

■ 未來對國際單位制(SI)的修訂 (CR, 416 和 *Metrologia*, 2015, 52, 155)

2018 年第 26 屆 CGPM 終於批准了 SI 的修訂 (決議 1，見 81 頁)

## 決議 1

國際度量衡大會(CGPM)第 25 屆會議

## 回顧

- 在 2011 年第 24 屆 CGPM 會議通過的決議 1 中，注意到國際度量衡委員會(CIPM)打算對 SI 提出修訂，將公斤、安培、克耳文和莫耳的定義分別與普朗克常數  $h$ 、基本電荷  $e$ 、波茲曼常數  $k$  和亞佛加厥常數  $N_A$  的確切數值聯繫起來，並修改 SI 的定義方式，包括對時間、長度、質量、電流、熱力學溫度、物量和發光強度等 SI 單位定義的措辭，使 SI 與這些參考常數的關聯性是明顯易懂的，
- 決議 1 中所總結關於此一修訂對科學、技術、工業和商業所將帶來的許多好處，尤其是將公斤與自然的不變量聯繫起來，而不是與人工製品的質量聯繫起來，從而確保其長期的穩定性，
- 1999 年第 21 屆 CGPM 會議通過的決議 7，鼓勵各國家計量機構(NMIs)展開相關工作，以能促成公斤的重新定義，
- 2007 年第 23 屆 CGPM 會議通過的決議 12，指出了國家計量機構、國際度量衡局、國際度量衡委員會與其諮詢委員應展開的相關工作，以能使所規劃的 SI 修訂能被國際度量衡大會所採納，

**考量**到在完成必要的工作方面取得了重大進展，包含

- 國際數據科技委員會(CODATA)對於相關數據的擷取與分析，以獲得決定  $h$ 、 $e$ 、 $k$  和  $N_A$  所需要的值，
- 由 BIPM 建立一系列有關質量的參考標準，以促進質量單位在 SI 修訂後的傳遞，
- 為公斤、安培、克耳文和莫耳的新定義準備實際實現，

**注意到** CCU、CIPM、BIPM、NMIs 和各諮詢委員會(CCs)的下一步工作應聚焦於

- 啟動宣傳活動，提醒使用社群以及公眾注意修訂 SI 的提議，
- 編寫第 9 版的 SI 手冊，以一種讓各類的讀者群都可理解而又不失其科學嚴謹性的方式介紹修訂後的 SI，

**儘管**取得了這些進展，但所獲得的數據似乎還不足以讓 CGPM 在其第 25 次會議上通過修訂後的 SI，

## 鼓勵

- NMIs、BIPM 和學術機構繼續努力以獲取與  $h$ 、 $e$ 、 $k$  和  $N_A$  的測定相關之數據及必要的不確定度，
- NMIs 繼續經由各諮詢委員會來討論和審查這些數據，
- CIPM 繼續制定計畫，藉由諮詢委員會和 CCU 為實現 2011 年 CGPM 第 24 次會議所通過的決議 1 鋪路，以及
- CIPM 及其諮詢委員會、NMIs、BIPM 以及如國際法定計量組織(OIML)等其他組織繼續努力完成必要的工作，以能提供令人滿意的數據量、不確定度和一致性，讓 CGPM 可在第 26 次會議上通過決議，以新修訂的 SI 取代目前的 SI。

## CIPM, 2015 年

## ■ 更新標準頻率的清單(PV, 83, 207)

## 建議 2

國際度量衡委員會(CIPM),

## 考量

- 「包括用於公尺的實際實現和秒的另一種表示法等應用之標準頻率建議值」已經建立；
- CCL-CCTF 頻標準工作小組(FSWG)已經審查了幾個有希望的候選頻率可列入清單中，

## 建議

以下躍遷頻率應在標準頻率的建議值清單中更新：

- $^{199}\text{Hg}$  中性原子於  $6s^2\ ^1S_0 - 6s\ 6p\ ^3P_0$  的非擾動光學躍遷，頻率  $f_{199\text{Hg}} = 1\ 128\ 575\ 290\ 808\ 154.8\ \text{Hz}$ ，估計相對標準不確定度為  $6 \times 10^{-16}$ ；
- $^{171}\text{Yb}^+$  (八極)離子於  $6s\ ^2S_{1/2} - 4f^{13}\ 6s^2\ ^2F_{7/2}$  的非擾動光學躍遷，頻率  $f_{171\text{Yb}^+}$  (octupole) =  $642\ 121\ 496\ 772\ 645.0\ \text{Hz}$ ，估計相對標準不確定度為  $6 \times 10^{-16}$  (這種輻射已被 CIPM 認可作為秒的另一種表示法)；
- $^{171}\text{Yb}^+$  (四極)離子於  $6s\ ^2S_{1/2} (F=0, mF=0) - 5d\ ^2D_{3/2} (F=2, mF=0)$  的非擾動光學躍遷，頻率  $f_{171\text{Yb}^+}$  (quadrupole) =  $688\ 358\ 979\ 309\ 308.3\ \text{Hz}$ ，估計相對標準不確定度為  $6 \times 10^{-16}$  (這種輻射已被 CIPM 認可作為秒的另一種表示法)；
- $^{88}\text{Sr}^+$  離子於  $5s\ ^2S_{1/2} - 4d\ ^2D_{5/2}$  的非擾動光學躍遷，頻率  $f_{88\text{Sr}^+} = 444\ 779\ 044\ 095\ 486.6\ \text{Hz}$ ，估計相對標準不確定度為  $1.6 \times 10^{-15}$  (這種輻射已被 CIPM 認可作為秒的另一種表示法)；
- $^{40}\text{Ca}^+$  離子於  $4s\ ^2S_{1/2} - 3d\ ^2D_{5/2}$  的非擾動光學躍遷，頻率  $f_{40\text{Ca}^+} = 411\ 042\ 129\ 776\ 398.4\ \text{Hz}$ ，估計相對標準不確定度為  $1.2 \times 10^{-14}$ ；
- $^1\text{H}$  中性原子於  $1S - 2S$  的非擾動光學躍遷，頻率  $f_{1\text{H}} = 1\ 233\ 030\ 706\ 593\ 514\ \text{Hz}$ ，估計相對標準不確定度為  $9 \times 10^{-15}$ ；

注意：該頻率對應於  $1S$  和  $2S$  狀態之間能量差的一半；

- $^{87}\text{Sr}$  中性原子於  $5s^2\ ^1S_0 - 5s\ 5p\ ^3P_0$  的非擾動光學躍遷，頻率  $f_{87\text{Sr}} = 429\ 228\ 004\ 229\ 873.2\ \text{Hz}$ ，估計相對標準不確定度為  $5 \times 10^{-16}$  (這種輻射已被 CIPM 認可作為秒的另一種表示法)；
- $^{171}\text{Yb}$  中性原子於  $6s^2\ ^1S_0 - 6s\ 6p\ ^3P_0$  的非擾動光學躍遷，頻率  $f_{171\text{Yb}} = 518\ 295\ 836\ 590\ 864.0\ \text{Hz}$ ，估計相對標準不確定度為  $2 \times 10^{-15}$  (這種輻射已被 CIPM 認可作為秒的另一種表示法)；
- $^{87}\text{Rb}$  的非擾動的基態超精細躍遷，頻率  $f_{87\text{Rb}} = 6\ 834\ 682\ 610.904\ 310\ \text{Hz}$ ，估計相對標準不確定度為  $7 \times 10^{-16}$  (這種輻射已被 CIPM 認可作為秒的另一種表示法)。

## 並同時建議

以下過渡頻率應包含在標準頻率的建議值清單中：

- $^{127}\text{I}_2$  吸收分子，飽和吸收  $a_1$  分量，R(36)32-0 躍遷。

$$\begin{aligned} \text{其值為} \quad f_{a1} &= 564\ 074\ 632.42\ \text{MHz} \\ \lambda_{a1} &= 531\ 476\ 582.65\ \text{fm} \end{aligned}$$

估計相對標準不確定度為  $1 \times 10^{-10}$ ，適用於倍頻二極體 DFB 雷射的輻射，用雷射外部的碘吸收室維持其穩定。

- $^{87}\text{Rb}$  吸收原子於  $5S_{1/2} - 5P_{3/2}$ ，在 780 nm(D2 躍遷)飽和吸收的 d 和 f 超精細分量間的交叉線

$$\text{其值為 } f_{d/f \text{ crossover}} = 384\,227\,981.9 \text{ MHz}$$

$$\lambda_{d/f \text{ crossover}} = 780\,246\,291.6 \text{ fm}$$

估計相對標準不確定度為  $5 \times 10^{-10}$ ，適用於頻率可調外腔二極體雷射的輻射，用雷射器外部的鉀吸收室穩定 d/f 交叉線。

注意：所估計的標準不確定度乃假設對應於 68 % 的信賴水準。但由於可用的數據量非常有限，事後看來，這可能並不準確。

## CIPM，2017 年

- 關於可能重新定義 SI 的進展(PV, 85, 101)

### 決定 10

國際度量衡委員會指出，現已達成所商訂的重新定義條件，並決定向度量衡大會第 26 次會議提交決議 A 草案，同時採取一切必要步驟，依計畫繼續進行公斤、安培、克耳文和莫耳的重新定義。

## 第 26 屆 CGPM，2018 年

- 關於國際單位制 SI 的修訂(CR, 印刷中和 *Metrologia*, 2019, 56, 022001)

### 決議 1

國際度量衡大會(CGPM)第 26 屆會議，

#### 考量

- 統一和便於全世界使用的國際單位制(SI)對國際貿易、高科技製造、人類健康和環境保護、全球氣候研究以及支撐所有這些基礎科學方面的基本要求，
- SI 單位必須長期穩定，內部自我一致，且其實際實現是基於目前最高層次的自然理論描述，
- 在 2011 年第 24 屆大會一致通過的第 1 號決議中，描述了滿足這些要求的 SI 修訂版本，其中詳細列出了以一組七個定義常數為基礎來定義 SI 的新方法。該方法來自於基礎物理常數和其他自然常數，從中推導出七個基本單位的定義，
- 在所修訂的 SI 通過之前，第 24 屆大會所訂定並經第 25 屆大會確認的條件現在都已達成了，

#### 決定

從 2019 年 5 月 20 日起，國際單位制(即 SI) 為包含如下內容的單位制度，

- 銻-133 原子於未擾動基態的超精細躍遷頻率  $\Delta\nu_{Cs}$  為 9 192 631 770 Hz，
- 光在真空中的速度  $c$  為 299 792 458 m/s，
- 普朗克常數  $h$  為  $6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$  J s，
- 基本電荷  $e$  為  $1.602\,176\,634 \times 10^{-19}$  C，

- 波茲曼常數  $k$  為  $1.380\,649 \times 10^{-23}$  J/K，
- 亞佛加厥常數  $N_A$  為  $6.022\,140\,76 \times 10^{23}$  mol<sup>-1</sup>，
- 頻率  $540 \times 10^{12}$  Hz 之單色輻射光的發光效能  $K_{cd}$  為 683 lm/W。

根據  $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$ 、 $\text{J} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$ 、 $\text{C} = \text{A s}$ 、 $\text{lm} = \text{cd m}^2 \text{m}^{-2} = \text{cd sr}$  和  $\text{W} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3}$  等關係式，其中的單位赫茲、焦耳、庫侖、流明和瓦特及其單位符號 Hz、J、C、lm 和 W，分別與單位秒、公尺、公斤、安培、克耳文、莫耳和燭光及其單位符號 s、m、kg、A、K、mol 和 cd 相關。

國際度量衡大會在作出這一決定時，注意到第 24 屆大會決議 1 中關於 SI 基本單位的影響，並在本決議的下列附錄中確認了這些影響的結果，這些附錄與決議本身俱有相同的效力。

國際度量衡大會邀請國際度量衡委員會製作新版的國際單位制 SI 手冊，並於手冊中對 SI 提出完整的描述。

### 附錄 1. 原有的基本單位定義：

根據上述採納的 SI 的新定義

- 廢除自 1967/68 年生效的秒定義(CGPM 第 13 屆會議，決議 1)，
- 廢除自 1983 年生效的公尺定義(CGPM 第 17 屆會議，決議 1)，
- 廢除自 1889 年生效、以國際公斤原器之質量為基準的公斤定義(1889 年 CGPM 第 1 屆會議，1901 年 CGPM 第 3 屆會議)，
- 廢除由國際度量衡委員會所提出定義(1946 年 CIPM 會議，決議 2)而於 1948 年生效的安培定義(CGPM 第 9 屆會議)，
- 廢除自 1967/68 年生效的克耳文定義(CGPM 第 13 屆會議，決議 4)，
- 廢除自 1971 年生效的莫耳定義(CGPM 第 14 屆會議，決議 3)，
- 廢除自 1979 年生效的燭光定義(CGPM 第 16 屆會議，決議 3)，
- 廢除原因國際度量衡大會要求使用約瑟夫森和量子霍爾效應建立伏特和歐姆的表示法(1987 年 CGPM 第 18 屆會議決議 6)，而由國際度量衡委員會所決定採用的約瑟夫森常數  $K_{J-90}$  和馮克立曾常數  $R_{K-90}$  的約定值(1988 年 CIPM 建議 1 和 2)，

### 附錄 2. 之前使用於舊定義之常數的狀態：

根據上述 SI 的新定義，以及定義常數值所依據的 2017 年 CODATA 特別調整的建議值，在通過本決議時

- 國際公斤原器  $m(K)$  的質量將等於 1 公斤，其相對標準不確定度等於普朗克常數  $h$  建議值在重新定義前的相對不確定度，即  $1.0 \times 10^{-8}$ ，隨後其值將經由實驗而確定，
- 磁常數(真空的導磁率) $\mu_0$  將等於  $4\pi \times 10^{-7}$  H m<sup>-1</sup>，其相對標準不確定度等於精細結構常數  $\alpha$  建議值在重新定義前的相對不確定度，即  $2.3 \times 10^{-10}$ ，隨後其值將經由實驗而確定，

- 水三相點  $T_{TPW}$  的熱力學溫度為 273.16 K，其相對標準不確定度約等於波茲曼常數  $k$  建議值在重新定義前的相對不確定度，即  $3.7 \times 10^{-7}$ ，隨後其值將經由實驗而確定，
- 碳-12  $M(^{12}\text{C})$  的莫耳質量為  $0.012 \text{ kg mol}^{-1}$ ，其相對標準不確定度等於莫耳普朗克常數  $N_A h$  建議值在重新定義前的相對不確定度，即  $4.5 \times 10^{-10}$ ，隨後其值將經由實驗而確定，

### 附錄 3. SI 的基本單位

從上述所採納依定義常數的固定值所定義的 SI 開始，藉由適當地使用這些定義常數中的一個或多個常數，可推導出七個基本單位中每一個基本單位的定義如下：

- 秒，符號為 s，係時間的 SI 單位。是以銨頻率(銨-133 原子於穩定基態的超精細躍遷頻率)  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$  的固定數值 9 192 631 770 定義之， $\Delta\nu_{\text{Cs}}$  的單位為赫茲，相當於  $\text{s}^{-1}$ 。
- 公尺，符號為 m，係長度的 SI 單位。是以光在真空中的速度  $c$  之固定數值 299 792 458 定義之， $c$  的單位為公尺每秒( $\text{m s}^{-1}$ )，而秒則是由銨頻率  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$  所定義。
- 公斤，符號為 kg，係質量的 SI 單位。是以普朗克常數  $h$  的固定數值  $6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$  定義之， $h$  的單位為焦耳秒(J s)，即等於  $\text{kg m}^2 \text{ s}^{-1}$ ，其中公尺和秒係由  $c$  和  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$  所定義。
- 安培，符號為 A，係電流的 SI 單位。是以基本電荷  $e$  的固定數值  $1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$  定義之， $e$  的單位為庫侖(C)，即等於 A s，其中秒係由  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$  所定義。
- 克耳文，符號為 K，係熱力學溫度的 SI 單位。是以波茲曼常數  $k$  的固定數值  $1.380\ 649 \times 10^{-23}$  定義之， $k$  的單位為焦耳每克耳文( $\text{J K}^{-1}$ )，即等於  $\text{kg m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ，其中公斤、公尺和秒係分別由  $h$ 、 $c$  和  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$  所定義。
- 莫耳，符號為 mol，係物量(物質的量)的 SI 單位。1 莫耳含有  $6.022\ 140\ 76 \times 10^{23}$  個基本實體。這個數為亞佛加厥常數的固定數值  $N_A$ ， $N_A$  的單位為  $\text{mol}^{-1}$ ，稱為亞佛加厥數。

物量，符號為  $n$ ，系統之物量是對指定基本實體數的量測。基本實體可以是原子、分子、離子、電子以及任何其它粒子或特定的粒子群。

- 燭光，符號為 cd，係給定方向光強度之 SI 單位。是以頻率  $540 \times 10^{12}$  赫茲單色輻射光的發光效能  $K_{\text{cd}}$  之固定數值 683 定義之， $K_{\text{cd}}$  的單位為  $\text{lm W}^{-1}$ ，即等於  $\text{cd sr W}^{-1}$  或  $\text{cd sr kg}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^3$ 。其中公斤、公尺和秒分別由  $h$ 、 $c$  和  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$  所定義。

## 附錄 2. 實際實現的一些定義重要單位

附錄 2 僅以電子形式發布，可在 BIPM 網站上獲取  
[www.bipm.org/en/publications/mises-en-pratique/](http://www.bipm.org/en/publications/mises-en-pratique/) 。

## 附錄 3. 光化學量和光生物量的單位

附錄 3 僅以電子形式發布，可在 BIPM 網站上獲取：

[www.bipm.org/en/measurement-units/rev-si/#communication](http://www.bipm.org/en/measurement-units/rev-si/#communication) 。

## 附錄 4. 國際單位制及其基本單位的發展歷史記錄

### 第 1 部分—SI 單位實現的歷史發展

用於實現單位並使用物理方程式的實驗方法被稱為原級方法。原級方法的主要特徵是它允許由特定單位表示的受量測，僅由不含本身單位的量和常數的定義下直接實現之。

傳統上，某一特定量的單位被認為是該量的特定範例，被選擇用來對一般量測提供適當大小的數值。在現代科學興起之前，單位必需根據實體的人工製品來定義，特別是公尺之於長度和公斤之於質量，或特定物的屬性，如地球旋轉之於秒。即使在 18 世紀末米制的起源時，人們亦意識到如長度單位的理想定義應基於自然界的普遍性質，例如單擺擺盪的秒數。這樣的定義將獨立於時間和地點，原則上可通用於全世界。當時，基於務實的考量乃採用了較為簡單的人工製品來定義公尺和公斤，而秒的定義則仍然與地球的旋轉相聯結。一直到 1960 年，才採用了第一個非實體物的定義，即以特定光輻射的波長來定義公尺。

自此，安培、克耳文、莫耳和燭光等單位的定義就不再採用實體的人工製品。例如安培是指產生給定電磁力所需的特定電流，克耳文是指水三相點的特定熱力學狀態，甚至秒的原子定義亦為鉀原子的特定躍遷。在致力於以非人工製品定義單位的轉型發展上，公斤一直是個顯著的障礙。一直到 1983 年的公尺定義才為真正具普遍性的單位定義打開了一扇明窗。

雖然沒有明說，但其實這個定義隱含了光速的固定數值。它是以傳統的方式表述，基本上表明了公尺是指特定時間內光所行經的距離。這樣的定義方式也反映在其他 SI 基本單位的定義上。它們都具有相同的形式，例如“安培是……的電流”和“克耳文是指定溫度的分數”。這種定義可以稱為外顯式單位定義(explicit unit definitions)。

儘管這些定義滿足了普遍性和平易性的要求，並且可有各種實現方法予以實現，但它們仍然將實際實現限制於直接或間接與定義中所指定的特定條件或狀態相關的實驗。因此，實現這些定義的準確性永遠不會比在定義中所規定的特定條件或狀態下所實現的結果有更好的準確性。

對現有的秒定義存在一個特別的問題，它是以銫原子的微波躍遷來定義的。但是，現在已可證實，與銫的定義頻率相比，不同原子或離子的光學躍遷頻率比它具有更高的再現性，且其差距可達數個數量級之多。

現今的 SI 定義係以一組定義常數為基礎，代替原先因指定特定條件或狀態而對實現準確性有基本限制的定義。新的定義讓我們可使用適當的物理方程式將想要量測的量與一般常數或特定的常數相聯結。這是定義基本量測單位更為通用的方法。這樣的定義不受當今科學或技術的限制，因為未來的科技發展可能推演出目前尚未知的方程式，而這些方程式也可能發展出不同的方法，讓單位的實現具有更高的準確度。以這種方式定義時，原則上對於可以實現單位的準確度是沒有限制的。不過，秒的定義仍是一個例外，其中銫的原始微波躍遷暫時仍然是定義的基礎。

外顯式單位定義和外顯式常數定義之間的差異可以用公尺的前兩種定義清楚地說明，其定義是取決於光速的固定數值，其次亦可用克耳文的前兩種定義加以說明。原本 1983 年的公尺定義為“公尺是光在真空中於 299 792 458 分之 1 秒時間間隔內所行經之長度”。新定義則簡單地說明公尺是採取藉由定義秒的常數(指定的銫頻率)和以  $\text{m s}^{-1}$  為單位的光速之固定數值來定義的。因此，我們可以使用任何物理方程式，例如前一個定義所示，以用於天文距離之特定距離的行經時間來定義公尺，或者，也可以使用將頻率、波長與光速相聯結的簡單方程式來定義它。之前以水三相點溫度的固定數值為基礎所定義的克耳文，最終仍需要在水的三相點處進行量測。而以波茲曼常數固定數值為基礎的新定義則更為通用，因為原則上任何包含  $k$  的熱力學方程式均可用於標定溫標上任何點的熱力學溫度。例如，我們可藉由量測黑體在溫度  $T$  下的總輻射出射度(等於  $(2\pi^5 k^4/15c^2 h^3)T^4$ ，其單位為  $\text{Wm}^{-2}$ )，直接決定  $T$  的值。

各單位中，公斤的定義經歷了最根本的變化，它可藉由任何能聯結質量、普朗克常數、光速和銫頻率的物理方程式來實現。

其中之一為描述機電平衡操作的方程式，之前稱該機電天平為瓦特天平，近來則改稱為基伯爾天平(Kibble balance)<sup>1</sup>。利用該裝置，可由質量  $m$ 、當地由重力引起的加速度  $g$  和速度  $v$  的量測來測得力學功率，並由電流和電壓的量測來測得電功率，其中電流和電壓分別用量子霍爾和約瑟夫森效應來量測。由此所得到的方程式是  $mgv = Ch$ ，其中  $C$  是包括量測頻率的校正常數， $h$  是普朗克常數。

另一種用於實現公斤的原級方法是通過測定矽晶球中的原子數並使用以下方程式：

$$m = \frac{8V 2R_{\infty} h m_{\text{Si}}}{a_0^3 c \alpha^2 m_e}$$

<sup>1</sup> 為了表彰布萊恩基伯爾(Bryan Kibble)發明了瓦特天平

上式中含有球體質量  $m$ 、體積  $V$  (約 1 kg)、晶格參數  $a_0$ 、芮得柏常數  $R_\infty$ 、精細結構常數  $\alpha$ 、矽原子質量(用於球體的三個同位素之平均值) $m_{\text{Si}}$  和電子質量  $m_e$ 。其中第一個分數對應於球體的原子數，第二個分數對應於電子質量，第三個分數對應於(同位素平均的)矽原子與電子質量的質量比。

另有一種以新定義進行質量量測的可能，但它是在微觀層面上，利用包括  $h/m$  的關係來量測原子反衝(atomic recoil)而得。

所有這些都清楚地表明了定義單位的新方法之普遍性。BIPM 網站上提供了有關基本單位和其他單位目前實現的詳細資訊。

## 第 2 部分—國際單位制的歷史發展

第 9 屆 CGPM(1948，決議 6；CR 64)指示 CIPM：

- 研究一套完整計量單位規則的建置；
- 經由官方調查為此目的找出所有國家之科學、技術和教育界普遍的意見；
- 針對建立一個實用的量測單位制，提出一個讓米制公約所有簽署國都能採納的建議。

相同的，CGPM 在決議 7(CR 70)中也提出了「單位符號書寫的一般原則」，並列出一些被賦予特殊名稱的一致導出單位。

第 10 屆 CGPM，(1954，決議 6；CR 80)為此實用單位制的六個基本量採用了如下的基本量：長度、質量、時間、電流、熱力學溫度和光強度，以及六個相應的基本單位：公尺、公斤、秒、安培、克耳文和燭光。經過物理學家和化學家間漫長的討論，第 14 屆 CGPM(1971，決議 3；CR 78 和 *Metrologia*, 1972, 8, 36)再增加作為第七個基本量的物量，其單位為莫耳。

第 11 屆 CGPM(1960，決議 12；CR 87)採用了縮寫為 SI 的法文 *Système international d'unités* 作為這個實用單位制的名稱，並為前綴詞、導出單位和之前的輔助單位 訂定規則，以及其他事項；由此為量測單位建立了一個全面性的規範。之後的 CGPM 和 CIPM 會議陸續增加並修改了 SI 的原始結構，主要係考量科學的進步和使用者不斷改變的需求。

促成這些重要決定的歷史事件可依序綜整如下。

- 法國大革命時期十進位米制的創建，以及隨後在 1799 年 6 月 22 日建置於巴黎共和國檔案局(Archives de la République)，用以代表公尺和公斤的純鉑標準器，可被視為促成現今國際單位制的第一步。

- 1832 年，高斯(Johann Carl Friedrich Gauss)積極推動米制的應用，倡議將米制與天文學中所定義的秒，作為物理科學中一致化的單位制。高斯是第一位根據三個力學單位毫米、克和秒的十進制系統對地球磁場進行絕對量測的科學家，其所對應的量分別為長度、質量和時間。在住後的幾年裡，高斯和韋伯(Wilhelm Eduard Weber)持續的將這樣的理念擴展到其他電學現象的量測上。
- 在馬克士威(James Clerk Maxwell)和湯姆森(William Thomson)的積極領導下，同時經由英國科學促進會(BAAS)的推展，電學和磁學領域的應用在 1860 年代得以進一步擴展。他們制定了包含基本單位和導出單位之一致單位制的要求。1874 年，BAAS 引入了厘米-克-秒制，這是一個以三個力學單位厘米、克和秒等三個量綱為基礎的一致單位制，同時使用了自微(micro)到百萬(mega)的前綴詞來表示十進制的分數和倍數。而後物理學逐漸發展為一門實驗科學，主要即奠基於此一單位制。
- 厘米-克-秒(CGS)單位制中各單位的大小，在實際應用於電磁領域量值的表示時並不方便。因此在 1880 年代，BAAS 和國際電工委員會(International Electrotechnical Commission, IEC)的前身國際電學大會(International Electrical Congress)批准了一套具相互一致性的實用單位。其中包括電阻的歐姆、電動勢的伏特和電流的安培。
- 各會員國在 1875 年 5 月 20 日簽署米制公約後，依該公約創建了 BIPM 以及設立 CGPM 和 CIPM，並開始著手建立公尺和公斤的新國際原器(international prototypes)。1889 年，第 1 屆 CGPM 批准了公尺和公斤的國際原器，這兩者與天文時間單位的秒一起構成了一個類似於 CGS 制的三量綱力學單位制，稱為公尺-公斤-秒單位制(MKS 單位制)，其基本單位為公尺、公斤和秒。
- 1901 年，喬吉(Giovanni Giorgi)將 MKS 制的力學單位與實際電單位結合起來，藉由在三個基本單位中增加如安培或歐姆等電氣性質的第四個單位，形成一個一致性的四量綱制，並以所謂的合理化形式重寫電磁學中出現的方程式。喬吉的提議為後續物理科學無數的新發展開啟了一條大道。
- 第六屆 CGPM(1921 年)修訂“米制公約”後，將 BIPM 的責任範圍擴展到物理學以外的其他領域為後續物理科學無數的新發展開啟了一條大道。隨後由第七屆 CGPM(1927 年)所成立的電量諮詢委員會(Consultative Committee for Electricity, CCE)、IEC、IUPAP 和其他國際組織對喬吉的提案進行徹底的討論。促使 CCE 於 1939 年提出採用以公尺、公斤、秒和安培為基礎的四量綱公尺-公斤-秒-安培單位制(MKSA 制)，此提案於 1946 年獲得 CIPM 承認。
- 經過 BIPM 在 1948 年所展開的國際性徵詢調查後，第 10 屆 CGPM(1954 年)進一步批准引入了克耳文和燭光，分別作為熱力學溫度和光強度的基本單位。第 11 屆 CGPM(1960)將此一單位制命名為國際單位制，縮寫為 SI。並為前綴詞、導出單位和之前的輔助單位、以及其他事項訂定規則。由此為量測單位建立了一個全面性的規範。

- 在第 14 屆 CGPM(1971 年)中，採用了新的基本單位”莫耳”作為物量的單位，其符號為 mol。這是根據國際標準化組織所提出的一項提案而定的，該提案是由隸屬於 IUPAP 的符號、單位和命名委員會(Commission on Symbols, Units and Nomenclature, SUN Commission)所提議的，同時也獲得了國際純粹暨應用化學聯合會(IUPAC)的支持。這使得 SI 的基本單位數達到 7 個。
- 自此，在將 SI 單位聯結到真正不變量(例如物理學的基本常數和原子的特性)的發展上取得了相當大的進展。由於認識到 SI 單位與這些不變量相關聯的重要性，第 24 屆 CGPM(2011)採用了以七個常數為基礎作為 SI 新定義的參考原則。在第 24 屆 CGPM 時，依據當時的基本單位所進行用以決定這些常數值的實驗結果並不完全一致，但到了第 26 屆 CGPM(2018 年)時，已經實現了這一點並且在決議 1 中採用了 SI 的新定義。這是本手冊中所提出定義的基礎，它是定義 SI 最簡單和最基本的方法。
- SI 先前是以七個基本單位和以基本單位的冪乘積所定義的導出單位所構成。七個基本單位的選擇有其歷史的緣由，例如在過去 130 年中逐漸發展的米制及後來的 SI 單位制。雖然它們的選擇並不是獨一無二，但是它已建立多年並且已廣為熟悉，它不僅提供了 SI 的框架，而且還定義了導出單位。儘管 SI 單位現在將依據七個定義常數來定義，但它作為基本單位的角色仍將持續不變。因此，在本手冊中，仍然可以找到七個基本單位的定義，但此後將是以七個定義常數為基礎，包括：鈾超精細頻率  $\Delta\nu_{Cs}$ 、真空中光速  $c$ 、普朗克常數  $h$ 、基本電荷  $e$ 、波茲曼常數  $k$ 、亞佛加厥常數  $N_A$  和經定義之可見輻射的發光效能  $K_{cd}$ 。

七個基本單位的定義可以明確地與七個定義常數的數值相關。但是，七個定義常數和七個基本單位之間並沒有一對一的關係，因為許多基本單位需用到多個定義常數。

### 第 3 部分—基本單位的歷史觀點

#### 單位時間—秒

1960 年之前，時間的單位一秒被定義為平均太陽日的 1/86 400。而「平均太陽日」的確切定義則由天文學家訂定。然而，量測顯示出地球自轉的不規則性使得這個定義並無法令人滿意。為了更精密地定義時間單位，第 11 屆 CGPM(1960，決議 9；CR 86)採用國際天文學聯合會以其所觀測 1900 年的回歸年時間而給出的定義。然而，當時經由相關的實驗已經顯示，原子或分子兩個能階之間的躍遷，可以更準確地實現和再現原子時間標準。

考量到一個非常精密的時間單位定義對於科技來說是不可或缺的，因此第 13 屆 CGPM(1967-1968，決議 1；CR 103 和 *Metrologia*, 1968, 4, 43)乃參考鉍-133 原子中基態的超精細躍遷頻率選用了秒的新定義。在第 26 屆 CGPM(2018)的決議 1 中，將此一定義以更精確的措辭修訂之，而成為目前的定義，即鉍-133 原子於穩定基態超精細躍遷頻率 $\Delta\nu_{Cs}$ 的固定數值。

### 長度單位—公尺

1889 年的公尺定義即鉑銥國際原器的長度，於第 11 屆 CGPM(1960)大會被以氬 86 特定躍遷所對應的輻射波長為基礎的定義所取代。採用這項改變是為了可提高實現公尺定義的準確度，藉由裝有移動式顯微鏡的干涉儀來量測條紋計數時的光程差(optical path difference)來實現。之後，此一定義在 1983 年又於第 17 屆 CGPM(決議 1；CR 97 和 *Metrologia*, 1984, 20, 25)中以光在特定時間間隔內於真空中行經的距離為參考的定義取代之。如 2.2 所述，原始的國際公尺原器於 1889 年由第 1 屆 CGPM 承認(CR 34-38)後，至今仍然依 1889 年規定的條件下保存在 BIPM。為了清楚表達它對光速  $c$  的固定數值之相依性，在第 26 屆 CGPM(2018)的決議 1 中修訂了該定義的措辭。

### 單位質量—公斤

在 1889 年所定義的公斤僅僅是國際公斤原器的質量，為一種由鉑銥製成的人工製品。當時認可了該原器並宣布「此原器今後將被視為質量的單位」，此後它便一直依循第 1 屆 CGPM(1889，CR 34-38)所規定的條件保存在 BIPM。大約在同一時間，共製造了 40 個相似的原器，這些原器都經過機械加工和拋光，質量與國際原器近乎完全相同。在第 1 屆 CGPM(1889 年)經與國際原器進行校正後，這些「國家原型」大部分被個別分配給米制公約的成員國，少部分則留在 BIPM 中。在第 3 屆 CGPM(1901，CR 70)中，為了釐清「重量」一詞在日常使用上的模糊性，乃確立了「公斤」是質量的單位，它等於公斤國際原器的質量。這些宣告的完整版本載於上述 CGPM 會議記錄的第 70 頁。

在 1946 年對各國的國家原器進行第二次的驗證時，發現這些國家原器的質量平均值與國際原器的質量已有所不同。在 1989 年至 1991 年所進行的第三次驗證中更證實了這一點，其值與第 1 屆 CGPM，(1889 年)所認可原始原器組之中位數值相較，差異約為 25 微克。為了確保質量單位的長期穩定性，同時充分利用量子電量標準並對現代科學更具實用性，乃決定以基本常數的值為基礎進行公斤的重新定義。為達此一目的，在第 26 屆 CGPM(2018)的決議 1 中，選擇了普朗克常數  $h$  為公斤定義的基本常數。

### 電流單位—安培

1893 年在芝加哥舉行的國際電學大會上介紹了用於電流和電阻的電量單位，稱為「國際單位」。1908 年的倫敦國際研討會中則確認了「國際安培」和「國際歐姆」的定義。到第 8 屆 CGPM(1933 年)時，多數與會成員一致希望採用所謂的「絕對單位」取代「國際單位」。然而，由於部分實驗室尚未完成確認國際單位和絕對單位間之比率所需的實驗，因而 CGPM 授權 CIPM 在適當的時候決定這些比率和新絕對單位生效的日期。CIPM 於 1946 年(1946 年決議 2, PV, 20, 129-137)決定新單位將於 1948 年 1 月 1 日生效。1948 年 10 月，第 9 屆 CGPM 批准了 CIPM 做出的決定。由 CIPM 選擇的安培定義為以載有電流的平行導線之間的力為基準。此一定義同時也使真空導磁率  $\mu_0$  (也稱為磁常數) 的值為一固定數值。由於 1983 年採用了新的公尺定義，因此真空介電係數  $\epsilon_0$  (也稱為電常數) 的值也變為一個固定的值。

然而，在 1948 年所通過的安培定義已確認並不容易實現，以可實現的量子標準(基於約瑟夫森效應和量子霍爾效應)，藉由歐姆定律連結伏特及歐姆至普朗克常數  $h$  和基本電荷  $e$  的特定組合，成為幾乎全球採用的實際實現安培之作法(1987, 18 屆 CGPM 決議 6; CR 100)。因此，除了固定  $h$  的數值來重新定義公斤外，自然也可以固定  $e$  的數值來重新定義安培，使實際量子電量標準與 SI 完全一致。現有以基本電荷  $e$  的固定數值為基礎所定義的電流單位於第 26 屆 CGPM(2018)的決議 1 中得到採納。

### 熱力學溫度單位—克耳文

熱力學的溫度單位是於第 10 屆 CGPM(1954 決議 3; CR 79)中所定義的。其定義是選擇水三相點  $T_{TPW}$  作為基本固定點，並指定該點的溫度為 273.16 K，由此來定義克耳文。第 13 屆 CGPM(1967-1968, 決議 3; CR 104 和 *Metrologia*, 1968, 4, 43)採納了「克耳文(kelvin)」為熱力學溫度單位的名稱(符號 K)，以取代「克式溫度(degree kelvin)」及符號 °K。然而，實際上在實現此一定義時有相當高的難度，它需要使用由定義明確之同位素組成的純水，同時須開發新的測溫方法。因此，才導致採納以波茲曼常數  $k$  的固定數值為基礎的克耳文新定義。新的定義消除了前述的兩個限制因素。它在第 26 屆 CGPM(2018 年) 決議 1 中被獲採納。

### 物量單位－莫耳

在發現化學基本定律之後，曾使用名為「克原子」和「克分子」的單位以具體說明化學元素或化合物的量(amounts)。這些單位與「原子量」和「分子量」直接相關，也就是相對原子和分子量。起初所採用的「原子量」與氧的原子量有關，其值經協議後訂定為 16。儘管物理學家在以質譜儀分離出氧的同位素後，認為僅有其中一種氧同位數的分子量為 16。但化學家則仍舊將由三種氧同位素 16、17 和 18 組合而成的天然元素氧訂為相同的氧分子量 16 (儘管它們在自然界中的組成成分會有些微的差異)。一直到 1959-1960 年由國際純物理與應用物理聯合會(IUPAP)與國際純粹暨應用化學聯合會(IUPAC)達成協議後，才結束了這種兩套標準的現象。在此協議中，物理學家和化學家同意將質量數為 12 之碳同位素(碳 12,  $^{12}\text{C}$ )的原子量(或者應正確的稱之為相對原子質量,  $A_r$ )定為一確切的數值 12。由此獲致的一致性標準進一步定出了相對原子和分子質量，或分別稱為原子量和分子量。此一協議的內容不受莫耳重新定義的影響。

化學家用來說明化學元素或化合物所含的量稱為「物量」。物量(符號  $n$ )被定義為與樣本中特定的基本實體  $N$  的數目成一比例，該比例常數是一個通用的常數，對所有的實體均為相同。比例常數和亞佛加厥常數  $N_A$  互為倒數，因此  $n = N/N_A$ 。物量的單位稱為莫耳，符號為 mol。根據 IUPAP、IUPAC 和 ISO 的提議，CIPM 在 1967 年制定了莫耳的定義，並在 1969 年通過指定碳-12 的莫耳質量應恰好為 0.012 kg/mol 來確認此一定義。由此定義，實體  $X$  中任何純樣本  $S$  的物量  $n_S(X)$  皆可直接由樣本的質量  $m_S$  和實體  $X$  的莫耳質量  $M(X)$  確定，而莫耳質量則是由其相對原子質量  $A_r$ (原子或分子量)決定，如以下的關係式。過程中，並不需要確切的知道亞佛加厥常數。

$$n_S(X) = m_S/M(X), M(X) = A_r(X) \text{ g/mol}$$

可以看出，這種莫耳的定義取決於公斤的人工製品定義。

以此方式所定義亞佛加厥常數的數值等於 12 克碳-12 中的原子數目。然而，由於科技的進步，其數值已能精確的得知，以致於可以用更簡單且更為普遍的方式來定義莫耳，亦即藉由確切指定在 1 莫耳任何物質中的實體數目，來固定亞佛加厥常數的數值。如此一來，可使新的莫耳定義和亞佛加厥常數的值不再取決於公斤的定義。從而強調了「物量」和「質量」這兩個根本不相同的量之間的差別。現今以亞佛加厥常數  $N_A$  的固定數值為基礎的莫耳定義，是在第 26 屆 CGPM(2018)的決議 1 中得到採納。

### 光強度單位—燭光

各國原來以(蠟燭)火焰或白熾燈絲標準器為基準的光強度單位，在 1948 年改為以白金凝固點溫度下的普朗克輻射體(黑體)之光亮度為基準的「新燭光」所代替。這項修正是由國際照明委員會(International Commission on Illumination, CIE)和 CIPM 於 1937 年之前醞釀的，之後於 1946 年由 CIPM 定案並公布。然後在 1948 年由第 9 屆 CGPM 批准，並採用燭光為新的國際單位名稱，以 cd 為其符號。1954 年，第 10 屆 CGPM 確定了燭光為基本單位之一。在 1967 年第 13 屆 CGPM(決議 5; CR 104 和 *Metrologia*, 1968, 4, 43-44)中，對該定義又進行了一次修訂。

1979 年，由於在高溫下實現普朗克輻射體有其困難，且輻射量測技術的發展(即光輻射功率的量測)提供了新的可能性，因此在第 16 屆 CGPM(1979，決議 3; CR 100 和 *Metrologia*, 1980, 16, 56)中採納了另一個新的燭光定義。

現行的燭光定義為使用固定的數值來表示頻率為  $540 \times 10^{12}$  赫茲的單色輻射光之發光效能  $K_{cd}$ ，此一定義在第 26 屆 CGPM(2018)的決議 1 中得到採納。

## 用於本手冊之縮寫字清單

### 1. 實驗室、委員會和會議的縮寫字

BAAS	British Association for the Advancement of Science	英國科學促進會
BIPM	Bureau international des poids et mesures/International Bureau of Weights and Measures	國際度量衡局
CARICOM	Caribbean Community	加勒比社區
CCAUV	Comité consultatif de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations/ Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound and Vibration	聲量、超音波和振動諮詢委員會
CCDS	Comité consultatif pour la définition de la seconde/Consultative Committee for the Definition of the Second, see CCTF	秒定義諮詢委員會，見 CCTF
CCE	Comité consultatif d'électricité/Consultative Committee for Electricity, see CCEM	電量諮詢委員會，見 CCEM
CCEM	(formerly the CCE) Comité consultatif d'électricité et magnétisme/ Consultative Committee for Electricity and Magnetism	(前身為 CCE) 電磁諮詢委員會
CCL	Comité consultatif des longueurs/Consultative Committee for Length	長度諮詢委員會
CCM	Consultative Committee for Mass and Related Quantities	質量和相關量諮詢委員會
CCPR	Comité consultatif de photométrie et radiométrie/Consultative Committee for Photometry and Radiometry	光量與輻射諮詢委員會
CCQM	Comité consultatif pour la quantité de matière : métrologie en chimie et biologie/Consultative Committee for Amount of Substance: Metrology in Chemistry and Biology	物量諮詢委員會：化學和生物學計量
CCRI	Comité consultatif des rayonnements ionisants/ Consultative Committee for Ionizing Radiation	游離離輻射諮詢委員會
CCT	Comité consultatif de thermométrie/ Consultative Committee for Thermometry	熱學諮詢委員會
CCTF	(formerly the CCDS) Comité consultatif du temps et des fréquences/ Consultative Committee for Time and Frequency	(前身為 CCDS)時間和頻率諮詢委員會
CCU	Comité consultatif des unités/Consultative Committee for Units	單位諮詢委員會
CGPM	Conférence générale des poids et mesures/General Conference on Weights and Measures	國際度量衡大會
CIPM	Comité international des poids et mesures/International Committee for Weights and Measures	國際度量衡委員會
CODATA	Committee on Data for Science and Technology	國際數據科技委員會
CR	<i>Comptes Rendus</i> of the Conférence générale des poids et mesures, CGPM	國際度量衡大會的報告
IAU	International Astronomical Union	國際天文學聯合會
ICRP	International Commission on Radiological Protection	國際放射防護委員會
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements	國際輻射單位與度量委員會
IEC	International Electrotechnical Commission	國際電工委員會

IERS	International Earth Rotation and Reference Systems Service	國際地球轉動服務處
ISO	International Organization for Standardization	國際標準組織
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry	國際純粹暨應用化學聯合會
IUPAP	International Union of Pure and Applied Physics	國際純粹暨應用物理聯合會
OIML	Organisation internationale de métrologie légale/International Organization of Legal Metrology	國際法定計量組織
PV	<i>Procès-Verbaux</i> of the Comité international des poids et mesures, CIPM	國際度量衡委員會的會議記錄
SUNAMCO	Commission for Symbols, Units, Nomenclature, Atomic Masses and Fundamental Constants, IUPAP	符號、單位、命名法、原子質量和基本常數委員會，IUPAP
WHO	World Health Organization	世界衛生組織

## 2. 科學術語的縮寫字

CGS	Three-dimensional coherent system of units based on the three mechanical units centi meter, gram and second	基於三個力學單位厘米、克和秒之三維一貫單位制
EPT-76	Échelle provisoire de température de 1976/Provisional Low Temperature Scale of 1976	1976 年臨時低溫標度
GUM	Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure/Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement	量測不確定度表示方式指引
IPTS-68	International Practical Temperature Scale of 1968	1968 年國際實用溫標
ISQ	International System of Quantities	國際量制
ITS-90	International Temperature Scale of 1990	1990 年國際溫標
MKS	System of units based on the three mechanical units meter, kilogram, and second	基於三個力學單位公尺、公斤和秒之單位制
MKSA	Four-dimensional system of units based on the meter, kilogram, second, and the ampere	基於公尺、公斤、秒和安培的四維單位制
SI	Système international d'unités/International System of Units	國際單位制
TAI	Temps atomique international/International Atomic Time	國際原子時
TCG	Temps-coordonnée géocentrique/Geocentric Coordinated Time	地心坐標時
TT	Terrestrial Time	地球時
UTC	Coordinated Universal Time	協調世界時
VSMOW	Vienna Standard Mean Ocean Water	維也納標準平均海水

## 索引

## A

absolute units	絕對單位	45, 92
absorbed dose	吸收劑量	22, 24, 25, 40, 56, 57, 58, 60, 66-67
acceleration due to gravity, standard value of ( $g_n$ )	重力引起所加速度, $g_n$ 標準值	29, 38, 43, 87
activity referred to a radionuclide amount of substance	放射性核種活度 物量	22, 24, 52, 54, 56 13, 14, 17, 18, 20, 23, 25, 29, 35, 40, 56, 74, 75, 79, 83, 86, 88, 90, 93,
ampere (A)	安培 (A)	9, 11, 14, 16, 24, 39, 44, 46, 47-49, 50, 63, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 81, 82, 83, 86, 88, 89, 92
angle	角度	22, 23, 29, 33, 35, 58, 60
arcsecond	弧秒	29
astronomical unit	天文單位	29
atomic weight	原子量	93
Avogadro constant	亞佛加厥常數	11, 12, 13, 18, 72, 74, 75, 79, 82, 83, 90, 93
Avogadro number	亞佛加厥數	18, 83

## B

bar	巴	46
base quantity	基本量	13, 14, 19, 20, 24, 42, 58, 87, 88
base unit(s)	基本單位	6, 7, 9-10, 13-14, 21-23, 25, 37-40, 44, 47-49, 51, 54, 59, 63-64, 72-73, 75, 77, 81-83, 88-90, 94
becquerel (Bq)	貝克 (Bq)	22, 24, 40, 52, 56-57
bel (B)	貝爾 (B)	29-30
Boltzmann constant	波茲曼常數	11, 12, 13, 17, 72, 74, 75, 76, 79, 82, 83, 87, 90, 92
British Association for the Advancement of Science (BAAS)	英國科學促進會 (BAAS)	89

## C

caesium frequency	銫頻率	13, 14, 15, 83, 87
calorie	卡路里	45, 46
candela (cd);	燭光 (cd);	9, 11, 14, 19, 25, 40, 43, 46, 47, 49, 53, 54, 57, 63, 72, 73, 74, 75, 76, 82, 83, 86, 88, 89, 94
new candle	新燭光	40, 41, 43, 54, 94
carbon	碳	18, 30, 56, 76, 83, 93
Celsius temperature	攝氏溫度	17, 22, 33
CGS	厘米-克-秒	45, 89
clinical chemistry	臨床化學	18, 64
CODATA	國際數據科技委員會	30, 75, 76, 79, 82
coherent derived units	一致導出單位	16, 21-23, 64, 88
continuity	連續性	7, 12, 36, 57, 59, 62
Coordinated Universal Time (UTC)	協調世界時 (UTC)	38, 56
coulomb (C)	庫倫 (C)	11, 16, 21, 23-24, 44, 46, 50, 74, 82, 83
counting quantities	計數量	20
curie (Ci)	居里 (Ci)	40, 52

## D

dalton (Da)	道爾頓 (Da)	29-30
day (d)	日 (d)	29
decibel (dB)	分貝 (dB)	29, 30

decimal marker	小數點	8, 34, 41, 67- 68
decimal metric system	十進位米制	88
defining constants	定義常數	6, 9-13, 14-19, 21, 81-83, 87, 90
definitions of base units	基本單位的定義	14-19, 72, 75, 81, 83, 86, 90
degree Celsius (°C)	攝氏度(°C)	17, 22, 25, 32, 33, 39, 45, 46, 53
derived quantity	導出量	13, 18, 20, 21-24
derived unit(s)	導出單位	9, 10, 13, 16, 21-26, 32, 35, 37, 40, 41, 49, 50, 54, 59, 63, 64, 88, 89, 90
digits in groups of three, grouping digits	三個位數一組，分組位數	34, 46, 68
dimension (of a quantity)	量綱(量的)	20-21, 24, 35, 89
dimensionless quantities	無量綱之量	58
dose equivalent, see sievert	等效劑量，見西弗	
dynamic viscosity (poise)	動力黏度(泊)	23, 50
dyne (dyn)	達因 (dyn)	46, 47
<b>E</b>		
electric current	電流	14, 16, 20, 23, 24, 44, 47, 49, 61, 62, 75, 79, 83, 86, 87, 88, 89, 92
electrical units	電單位	6, 39, 44, 45, 60, 74, 89
electron mass	電子質量	88
electronvolt (eV)	電子伏特 (eV)	29, 30
elementary charge	基本電荷	11, 12, 16, 74, 75, 79, 82, 83, 90, 92
erg	爾格	46
establishment of the SI	建立 SI	37, 88-90
explicit constant definition	外顯式常數定義	75, 87
explicit unit definition	外顯式單位定義	86, 87
<b>F</b>		
farad (F)	法拉 (F)	22, 44, 46, 50
fine structure constant	精細結構常數	12, 76, 82, 88
foot	英尺	30
formatting the value of a quantity	量值的格式	33
fundamental constants (of physics)	基本常數(物理的)	6, 11, 12, 66, 72, 74, 75, 77, 81, 90, 91
<b>G</b>		
gal (Gal)	伽 (Gal)	29
Gauss	高斯	89
general relativity	廣義相對論	14, 25, 26, 65
Giorgi	喬吉	89
gram	克	28, 38, 46, 52, 89
gram-atom, gram-molecule	克原子，克分子	93
gray (Gy)	戈雷 (Gy)	22, 24, 56-57, 60, 67
<b>H</b>		
Hall effect (incl. quantum Hall effect)	霍爾效應(包括量子霍爾效應)	60, 61-62, 74, 76, 82, 87, 92
heat capacity	熱容量(包括比熱容)	23, 24, 32, 54,
hectare (ha)	公頃 (ha)	29
henry (H)	亨利 (H)	16, 22, 44, 46, 50
hertz (Hz)	赫茲 (Hz)	11, 13, 14, 19, 21, 22, 46, 50, 51, 57, 74, 82, 94
historical notes	歷史記錄	86-94
hour (h)	時 (h)	29, 46
hyperfine splitting of the caesium atom	銫原子的超精細躍遷	11, 12, 13, 14, 38, 74, 75, 81, 83, 91

## I

inch	英寸	30
International Atomic Time (TAI)	國際原子時 (TAI)	38, 55, 56
international prototype of the kilogram	國際公斤原器	9, 15, 38, 42, 43, 72, 73, 76, 82, 91
international prototype of the metre	國際公尺原器	37, 42, 48, 91
International System of Quantities (ISQ)	國際量制 (ISQ)	48
International System of Units (SI)	國際單位制 (SI)	1, 3-7, 9-10, 11-13, 37-40, 45, 48-56, 58-60, 63-64, 66-67, 72-75, 79, 80-82, 86, 88-89
International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)	1990 年國際溫標 (ITS-90)	17, 39, 53, 62
ionizing radiation	游離輻射	2, 24, 25, 56-57, 58, 60, 66
ISO/IEC 80000 series	ISO/IEC 80000 系列	8, 10, 13, 32
ISO/TC	ISO/TC 12	58
IUPAC	國際純粹暨應用化學聯合會；	32, 56, 68, 71, 90, 93;
Green Book,	綠皮書	32
IUPAP SUNAMCO;	國際純粹暨應用物理聯合會之符號、單位、命名法、原子質量和基本常數委員會；	32, 56, 89, 90, 93;
Red Book,	紅皮書	32

## J

Josephson constant ( $K_J$ , $K_{J-90}$ )	約瑟夫森常數( $K_J$ , $K_{J-90}$ )	39, 61, 76, 82
Josephson effect	約瑟夫森效應	60, 61, 87, 92
joule (J)	焦耳 (J)	11, 13, 15, 17, 21-24, 44, 45, 50, 54, 57, 58, 60, 67, 74, 82

## K

katal (kat)	卡塔爾 (kat)	22, 24, 40, 64
kelvin (K)	克耳文 (K)	9, 11, 13, 14, 17, 22-28, 39, 44, 46-47, 53, 54, 62, 71-77, 79, 81, 82, 83, 86, 87, 88, 89, 92
Kibble balance	基伯爾天平	74, 87
kibibyte (kilobyte)	千位元組	27
kilogram	公斤	9, 11, 14, 15, 21, 28, 42, 43, 44, 47, 49, 52, 63-64, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 81, 82, 83, 86, 87, 88, 89, 91
kinematic viscosity (stokes)	運動黏度(斯托克)	50

## L

legislation on units	單位法規	10
length	長度	2, 11, 14, 15, 20, 21, 29, 35, 37, 42-44, 47-49, 59-61, 71, 73, 75, 77, 79, 83, 86, 87, 88, 89, 91
litre (L or l)	公升 (L 或 l)	29, 31, 41, 42, 46, 50, 51, 58
logarithmic ratio quantities	對數比率量	29-30
lumen (lm)	流明(lm)；	11, 13, 22, 25, 43, 46, 50, 57, 74, 82;
new lumen,	新流明	40, 43
luminous efficacy	發光效能	11, 12, 13, 19, 57, 74, 75, 82, 83, 90, 94
luminous intensity	光強度	14, 19, 20, 21, 40, 43, 47, 49, 53, 54, 57, 75, 79, 83, 88, 89, 94
lux (lx)	勒克斯(lx)	22, 25, 46, 50

## M

magnetic constant, permeability of vacuum	磁常數，真空導磁率	16, 76, 82, 92
mandatory symbols for units	單位的強制符號	14, 31-32
mass	質量	9, 14, 15, 18, 20, 23, 25, 28, 29-35, 38, 42-44, 47, 49-52, 56, 63, 64, 72-76, 79, 82, 83, 86, 87, 88, 89, 91
mass and weight	質量和重量	43
Maxwell	馬克士威	89
mesopic	昏暗視覺	57
metre (m)	公尺 (m)	6, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 37, 43-83, 86, 87, 88, 89, 91
Metre Convention	米制公約	1-3, 6, 9, 42, 45, 48, 88, 89, 91
metric system	米制	1, 6, 43, 86, 89, 90
metric ton	公噸	29
microarcsecond ( $\mu\text{as}$ )	微弧秒 ( $\mu\text{as}$ )	29
milliarcsecond (mas)	毫弧秒 (mas)	29
minute (min)	分 (min)	29
MKS system	公尺-公斤-秒單位制	44, 45, 89
MKSA system	公尺-公斤-秒-安培單位制	89
molar mass	莫耳質量	18, 76, 83, 93
mole (mol)	莫耳 (mol)	11, 13, 14, 17, 18, 24, 32, 40, 49, 56, 63, 64, 68, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79, , 81, 82, 83, 86, 88, 90, 93
molecular weight	分子量	93
multiples (and submultiples) of the kilogram	公斤的倍數(和分數)	28, 52
multiples, prefixes for,	倍數，前綴詞，	21, 22, 27, 28, 30-32, 35-38, 49, 52, 54, 57, 63, 64, 88, 89, 90

## N

neper (Np)	奈培 (Np)	29, 30
newton (N)	牛頓 (N)	16, 21, 22, 23, 24, 27, 44, 46, 47, 50, 54, 55
non-SI units	非 SI 單位	29, 30, 33, 40, 64
nternational Units (IU) WHO	國際單位(IU)世界衛生組織	25
numerical value of a quantity	量值	32-33

## O

ohm ( $\Omega$ )	歐姆 ( $\Omega$ )	22, 39, 44, 46, 50, 55, 60, 61, 62, 76, 82, 89, 92
OIML	國際法定計量組織	10, 77, 79

## P

pascal (Pa)	帕斯卡 (Pa)	21, 23, 27, 55
percent	百分比	35
photobiological quantities	光生物量	25, 85
photometric quantities	光度量	57
photometric units	光度單位	40, 43, 53
photopic vision	明視覺	57
Planck constant	普朗克常數	6, 11, 12, 15, 30, 72, 74, 75, 76, 79, 81, 82, 83, 87, 90, 91, 92
poise (P)	泊 (P)	46
ppb	百萬分之一	35
ppm	十億分之一	35
ppt	兆分之一	35
practical units	實用單位	89

prefixes	前綴	21, 22, 27, 28, 30-32, 35-38, 49, 52, 54, 57, 63, 64, 88, 89, 90
<b>Q</b>		
quantity	量	11
quantity calculus	量的計算	32-33
quantity symbols	量的符號	14, 20-21, 32-34
quantum Hall effect	量子霍爾效應	60, 61, 62, 74, 76, 82, 87, 92
quantum standard	量子標準	92
<b>R</b>		
radian (rad)	徑 (rad)	19, 21-24, 35, 37, 43, 49, 50, 54, 57-59, 63
realization of a unit	單位的實現	6, 9-10, 12-13, 19, 25, 84, 86-88
recommended symbols for quantities	量的建議符號	14, 32
relativity	相對論	14, 25-26, 65
Rydberg constant	芮得柏常數	88
<b>S</b>		
scotopic	暗視覺	57
second (s)	秒 (s)	6, 11, 14-16, 19, 22-24, 29, 31, 33, 37, 44-59, 64, 66-67, 69-71, 73-78, 80, 83, 86, 87, 88, 89, 90-91
SI prefixes	SI 前綴詞	21-22, 27, 29, 31, 35, 41, 49, 88, 89
SI, see International System of Units (SI)	SI, 見國際單位制	
siemens (S)	西門 (S)	22, 39, 55
sievert (Sv)	西弗 (Sv)	22, 24, 25, 40, 58, 60, 66-67
silicon sphere	矽晶球	87
sound, units for	聲音, 單位	25
special names and symbols for units	單位的特殊名稱和符號	21-24, 40, 88
speed of light in vacuum	真空中光速	6, 9, 10, 11, 12, 15, 56, 59, 65, 73, 74, 75, 81, 83, 86, 87, 90, 91
standard atmosphere	標準大氣	47
steradian (sr)	立徑 (sr)	21-22, 35, 43, 49, 58, 59, 63
stilb (sb)	熙提 (sb)	46
submultiples, prefixes for	分數, 前綴	27-28, 49, 52, 54, 63
supplementary units	輔助單位	21, 22, 27, 28, 30-32, 35-38, 49, 52, 54, 57, 63, 64, 88, 89, 90
Système International d'Unités (SI), see International System of Units	Système International d'Unités (SI), 見國際單位制	
<b>T</b>		
TAI, see International Atomic Time	TAI, 見國際原子時間	
tesla (T)	特士拉 (T)	22, 50
thermodynamic temperature	熱力學溫度	14, 17, 20, 39, 87, 88, 89, 92
thermodynamic temperature scale	熱力學溫標	46
Thomson	湯姆森	89
time (duration)	時間(持續時間)	14, 20, 29, 38, 47, 52, 53, 62, 65, 66, 71, 75, 76, 79, 83, 88, 89, 90-91
tonne	噸	29, 46
triple point of water	水三相點	9, 17, 39, 44, 46, 53, 68, 71, 76, 83, 86, 87, 92
<b>U</b>		
uncertainty	不確定度	11, 12, 14-18, 30, 34, 56, 59, 61-67, 70, 73, 74, 76, 78-83
unit (SI)	單位(SI)	13-26
unit names	單位名稱	24, 27-35, 46-47, 53-54, 64, 94

unit symbols	單位符號	11-36
unit, base, see base unit(s)	單位, 基本, 見基本單位	
unit, derived, see derived unit(s)	單位, 導出, 見導出單位	
units for biological quantities	生物量單位	85
UTC, see Coordinated Universal Time	UTC, 見協調世界時	
<b>V</b>		
value of a quantity	量值	11, 17, 21, 32-35, 67
verification of the kilogram	公斤的驗證	91
volt (V)	伏特 (V)	22, 23, 29, 39, 40, 44, 46, 50, 60-61, 76, 82, 89, 92
von Klitzing constant ( $R_K$ 、 $R_{K-90}$ )	馮克立曾常數( $R_K$ 、 $R_{K-90}$ )	61, 62, 74, 76, 82
<b>W</b>		
water, isotopic composition	水, 同位素組成	53, 68, 71, 74, 92
watt (W)	瓦特 (W)	11, 21, 44, 46, 50, 74, 82
watt balance, see Kibble balance	瓦特天平, 見基伯爾天平	
Weber	韋伯	89
weber (Wb)	韋伯 (Wb)	22, 44, 50
WHO	世界衛生組織	25
<b>Y</b>		
yard	碼	30