

# Le Système international d'unités (SI) The International System of Units

Bureau  
international  
des poids  
et mesures



Supplément 2014 :  
mise à jour de la 8<sup>e</sup> édition  
de la Brochure sur le SI (2006)

Supplement 2014:  
updates to the 8th edition (2006)  
of the SI Brochure

---



# Le Système international d'unités

Supplément 2014 :  
Mise à jour de la 8<sup>e</sup> édition de la Brochure sur le SI (2006)

## Préambule

Ce document donne la liste des modifications les plus significatives à apporter à la 8<sup>e</sup> édition de la Brochure sur le SI parue en 2006. Elles ont été identifiées par le Comité consultatif des unités (CCU) lors de ses 19<sup>e</sup>, 20<sup>e</sup> et 21<sup>e</sup> réunions et approuvées par le Comité international des poids et mesures (CIPM) lors de sa 103<sup>e</sup> session en mars 2014. L'intention n'est pas de revoir de manière détaillée le texte complet de la Brochure mais de mettre à jour les points les plus importants afin de les harmoniser avec les recommandations les plus récentes, ainsi que d'actualiser les références aux documents et normes qui y sont cités. Ainsi, ce Supplément contient la nouvelle définition de l'unité astronomique de longueur, adoptée en 2012 par la XXVIII<sup>e</sup> Assemblée générale de l'Union astronomique internationale (UAI).

## MODIFICATION DE L'ORDRE DES UNITÉS DE BASE DANS L'EXPRESSION DES UNITÉS DÉRIVÉES

Cette modification fait suite à la [Décision CIPM/103-17](#) prise par le CIPM lors de la première partie de sa 103<sup>e</sup> session en mars 2014 (voir aussi les pages 16 et 17 du [Rapport de la 21<sup>e</sup> réunion du CCU](#), 2013).

page 21

### 2.1.1 Définitions

À la quatrième ligne du troisième paragraphe, l'expression de l'ohm, symbole  $\Omega$ , en fonction des unités de base doit être écrite de la manière suivante :

$$\Omega = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3} \text{A}^{-2}$$

**Tableau 3. Unités SI dérivées cohérentes ayant des noms spéciaux et des symboles particuliers**

Le Tableau 3 doit être modifié comme suit :

Grandeur dérivée	Unité SI dérivée cohérente <sup>(a)</sup>			
	Nom	Symbole	Expression utilisant d'autres unités SI	Expression en unités SI de base
angle plan	radian <sup>(b)</sup>	rad	1 <sup>(b)</sup>	m/m
angle solide	stéradian <sup>(b)</sup>	sr <sup>(c)</sup>	1 <sup>(b)</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
fréquence	hertz <sup>(d)</sup>	Hz		s <sup>-1</sup>
force	newton	N		kg m s <sup>-2</sup>
pression, contrainte	pascal	Pa	N/m <sup>2</sup>	kg m <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup>
énergie, travail, quantité de chaleur	joule	J	N m	kg m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
puissance, flux énergétique	watt	W	J/s	kg m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup>
charge électrique, quantité d'électricité	coulomb	C		A s
différence de potentiel électrique force électromotrice	volt	V	W/A	kg m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
capacité électrique	farad	F	C/V	kg <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>
résistance électrique	ohm	Ω	V/A	kg m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup> A <sup>-2</sup>
conductance électrique	siemens	S	A/V	kg <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> s <sup>3</sup> A <sup>2</sup>
flux d'induction magnétique	weber	Wb	V s	kg m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
induction magnétique	tesla	T	Wb/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
inductance	henry	H	Wb/A	kg m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
température Celsius	degré Celsius <sup>(e)</sup>	°C		K
flux lumineux	lumen	lm	cd sr <sup>(c)</sup>	cd sr
éclairage lumineux	lux	lx	lm/m <sup>2</sup>	cd sr m <sup>-2</sup>
activité d'un radionucléide <sup>(f)</sup>	becquerel <sup>(d)</sup>	Bq		s <sup>-1</sup>
dose absorbée, énergie massique (communiquée), kerma	gray	Gy	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
équivalent de dose, équivalent de dose ambiant, équivalent de dose directionnel, équivalent de dose individuel,	sievert <sup>(g)</sup>	Sv	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
activité catalytique	katal	kat		mol s <sup>-1</sup>

(a) Les préfixes SI peuvent être utilisés avec n'importe quel nom spécial et symbole particulier, mais dans ce cas l'unité qui en résulte n'est plus une unité cohérente.

(b) Le radian et le stéradian sont des noms spéciaux pour le nombre un, qui peuvent être utilisés pour donner des informations sur la grandeur concernée. En pratique, les symboles rad et sr sont utilisés lorsque c'est utile, et le symbole pour l'unité dérivée « un » n'est généralement pas mentionné lorsque l'on donne les valeurs des grandeurs sans dimension.

(c) En photométrie, on maintient généralement le nom et le symbole du stéradian, sr, dans l'expression des unités.

(d) Le hertz est uniquement utilisé pour les phénomènes périodiques, et le becquerel pour les processus aléatoires liés à la mesure de l'activité d'un radionucléide.

(e) Le degré Celsius est le nom spécial du kelvin utilisé pour exprimer les températures Celsius. Le degré Celsius et le kelvin ont la même taille, ainsi la valeur numérique d'une différence de température ou d'un intervalle de température est identique quand elle est exprimée en degrés Celsius ou en kelvins.

(f) L'activité d'un radionucléide est parfois appelée de manière incorrecte radioactivité.

(g) Voir la Recommandation 2 (CI-2002) du CIPM (p. 79) sur l'utilisation du sievert (PV, 2002, 70, 102).

**Tableau 4. Exemples d'unités SI dérivées cohérentes dont le nom et le symbole comprennent des unités dérivées cohérentes ayant des noms spéciaux et des symboles particuliers**

Le Tableau 4 doit être modifié comme suit :

Grandeur dérivée	Unité SI dérivée cohérente		
	Nom	Symbole	Expression en unités SI de base
viscosité dynamique	pascal seconde	Pa s	$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$
moment d'une force	newton mètre	N m	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$
tension superficielle	newton par mètre	N/m	$\text{kg s}^{-2}$
vitesse angulaire	radian par seconde	rad/s	$\text{m m}^{-1} \text{s}^{-1} = \text{s}^{-1}$
accélération angulaire	radian par seconde carrée	rad/s <sup>2</sup>	$\text{m m}^{-1} \text{s}^{-2} = \text{s}^{-2}$
flux thermique surfacique, éclairage énergétique	watt par mètre carré	W/m <sup>2</sup>	$\text{kg s}^{-3}$
capacité thermique, entropie	joule par kelvin	J/K	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$
capacité thermique massique, entropie massique	joule par kilogramme kelvin	J/(kg K)	$\text{m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$
énergie massique	joule par kilogramme	J/kg	$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$
conductivité thermique	watt par mètre kelvin	W/(m K)	$\text{kg m s}^{-3} \text{K}^{-1}$
énergie volumique	joule par mètre cube	J/m <sup>3</sup>	$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$
champ électrique	volt par mètre	V/m	$\text{kg m s}^{-3} \text{A}^{-1}$
charge électrique volumique	coulomb par mètre cube	C/m <sup>3</sup>	$\text{A s m}^{-3}$
charge électrique surfacique	coulomb par mètre carré	C/m <sup>2</sup>	$\text{A s m}^{-2}$
induction électrique, déplacement électrique	coulomb par mètre carré	C/m <sup>2</sup>	$\text{A s m}^{-2}$
permittivité	farad par mètre	F/m	$\text{kg}^{-1} \text{m}^{-3} \text{s}^4 \text{A}^2$
perméabilité	henry par mètre	H/m	$\text{kg m s}^{-2} \text{A}^{-2}$
énergie molaire	joule par mole	J/mol	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{mol}^{-1}$
entropie molaire, capacité thermique molaire	joule par mole kelvin	J/(mol K)	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{mol}^{-1} \text{K}^{-1}$
exposition (rayons x et $\gamma$ )	coulomb par kilogramme	C/kg	$\text{A s kg}^{-1}$
débit de dose absorbée	gray par seconde	Gy/s	$\text{m}^2 \text{s}^{-3}$
intensité énergétique	watt par stéradian	W/sr	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-3} \text{sr}^{-1}$
luminance énergétique	watt par mètre carré stéradian	W/(m <sup>2</sup> sr)	$\text{kg s}^{-3} \text{sr}^{-1}$
concentration de l'activité catalytique	katal par mètre cube	kat/m <sup>3</sup>	$\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-3}$

## MODIFICATION DE LA DÉFINITION DE L'UNITÉ ASTRONOMIQUE DE LONGUEUR

Au moment de la publication de la 8<sup>e</sup> édition de la Brochure sur le SI, la valeur en unités SI de l'unité astronomique de longueur était déterminée expérimentalement. En conséquence, cette valeur, ainsi que son incertitude expérimentale, étaient portées au Tableau 7 de la Brochure sur le SI. En 2012, cette unité a été redéfinie par la XXVIII<sup>e</sup> Assemblée générale de l'Union astronomique internationale ([Résolution B2 de l'UAI, 2012](#)) comme étant un nombre exact de fois l'unité de base pour la longueur, le mètre. Il s'ensuit que l'unité astronomique de longueur ne doit plus figurer au Tableau 7 de la Brochure sur le SI, mais au Tableau 6.

**Tableau 6. Unités en dehors du SI dont l'usage est accepté avec le SI**

Le Tableau 6 doit être modifié comme suit :

Grandeur	Nom de l'unité	Symbole de l'unité	Valeur en unités SI
temps	minute	min	1 min = 60 s
	heure <sup>(a)</sup>	h	1 h = 60 min = 3600 s
angle plan	jour	d	1 d = 24 h = 86 400 s
	degré <sup>(b, c)</sup>	°	1° = (π/180) rad
	minute	'	1' = (1/60)° = (π/10 800) rad
	seconde <sup>(d)</sup>	"	1" = (1/60)' = (π/648 000) rad
superficie	hectare <sup>(e)</sup>	ha	1 ha = 1 hm <sup>2</sup> = 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
volume	litre <sup>(f)</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>
masse	tonne <sup>(g)</sup>	t	1 t = 10 <sup>3</sup> kg
longueur	unité	au	1 au = 149 597 870 700 m
	astronomique <sup>(h)</sup>		

(a) Le symbole de cette unité figure dans la Résolution 7 de la 9<sup>e</sup> CGPM (1948 ; CR, 70).

(b) La norme ISO 80000-3:2006 recommande que le degré soit subdivisé de manière décimale plutôt qu'en utilisant la minute et la seconde. Pour la navigation et la topographie, toutefois, l'avantage d'utiliser la minute tient au fait qu'une minute de latitude à la surface de la Terre correspond (approximativement) à un mille marin (défini au Tableau 8).

(c) Le gon, parfois appelé grade, est une autre unité d'angle plan définie comme étant égale à (π/200) rad. Un angle droit comporte donc 100 gons ou 100 grades. Le gon ou le grade peuvent être utiles dans le domaine de la navigation parce que la distance entre le pôle et l'Équateur à la surface de la Terre est égale environ à 10 000 km, 1 km à la surface de la Terre sous-tend donc un angle d'un centigon ou d'un centigrade au centre de la Terre. Le gon et le grade sont toutefois très rarement utilisés.

(d) En astronomie, les petits angles sont mesurés en seconde d'arc (c'est-à-dire en secondes d'angle plan), en milli-, micro- ou picosecondes d'arc (symbole as ou ", mas, μas et pas, respectivement). L'arcseconde ou la seconde de degré sont d'autres noms pour la seconde d'angle plan.

(e) L'unité hectare et son symbole ha furent adoptés par le Comité international en 1879 (PV, 1879, 41). L'hectare est utilisé pour exprimer des superficies agraires.

(f) Le litre et son symbole l (en minuscule) furent adoptés par le Comité international en 1879 (PV, 1879, 41). Le symbole L (en capitale) fut adopté par la 16<sup>e</sup> Conférence générale (1979, Résolution 6 ; CR, 101 et *Metrologia*, 1980, **16**, 56-57), comme alternative pour éviter le risque de confusion entre la lettre l et le chiffre un, 1. Le litre est un nom spécial pour dm<sup>3</sup>.

(g) La tonne et son symbole t furent adoptés par le Comité international en 1879 (PV, 1879, 41). Dans les pays de langue anglaise, cette unité est généralement désignée sous le nom « tonne métrique ».

(h) L'unité astronomique de longueur a été redéfinie par la XXVIII<sup>e</sup> Assemblée générale de l'Union astronomique internationale (Résolution B2 de l'UAI, 2012).

**Tableau 7. Unités en dehors du SI dont la valeur en unités SI (à l'exception de l'unité naturelle de vitesse) est obtenue expérimentalement**

Le Tableau 7 doit être modifié comme suit :

Grandeur	Nom de l'unité	Symbole de l'unité	Valeur en unités SI <sup>(a)</sup>
<b>Unités en usage avec le SI</b>			
énergie	électronvolt <sup>(b)</sup>	eV	1 eV = 1,602 176 565(35) × 10 <sup>-19</sup> J
masse	dalton <sup>(c)</sup>	Da	1 Da = 1,660 538 921(73) × 10 <sup>-27</sup> kg
	unité de masse atomique unifiée	u	1 u = 1 Da
<b>Unités naturelles</b>			
vitesse	unité naturelle de vitesse (vitesse de la lumière dans le vide)	<i>c</i> <sub>0</sub>	299 792 458 m/s (exactement)
action	unité naturelle d'action (constante de Planck réduite)	<i>ħ</i>	1,054 571 726(47) × 10 <sup>-34</sup> J s
masse	unité naturelle de masse (masse de l'électron)	<i>m</i> <sub>e</sub>	9,109 382 91(40) × 10 <sup>-31</sup> kg
temps	unité naturelle de temps	<i>ħ/m<sub>e</sub>c</i> <sub>0</sub> <sup>2</sup>	1,288 088 668 33(83) × 10 <sup>-21</sup> s
<b>Unités atomiques</b>			
charge	unité atomique de charge (charge électrique élémentaire)	<i>e</i>	1,602 176 565(35) × 10 <sup>-19</sup> C
masse	unité atomique de masse (masse de l'électron)	<i>m</i> <sub>e</sub>	9,109 382 91(40) × 10 <sup>-31</sup> kg
action	unité atomique d'action (constante de Planck réduite)	<i>ħ</i>	1,054 571 726(47) × 10 <sup>-34</sup> J s
longueur	unité atomique de longueur bohr (rayon de Bohr)	<i>a</i> <sub>0</sub>	0,529 177 210 92(17) × 10 <sup>-10</sup> m
énergie	unité atomique d'énergie, hartree (énergie de Hartree)	<i>E</i> <sub>h</sub>	4,359 744 34(19) × 10 <sup>-18</sup> J
temps	unité atomique de temps	<i>ħ/E</i> <sub>h</sub>	2,418 884 326 502(12) × 10 <sup>-17</sup> s

(a) Les valeurs en unités SI de toutes les unités de ce tableau proviennent de la liste des valeurs des constantes fondamentales recommandées par CODATA en 2010, publiée par P.J. Mohr, B.N. Taylor et D.B. Newell, *Rev. Mod. Phys.*, 2012, **84**, 1527-1605. L'incertitude-type sur les deux derniers chiffres est donnée entre parenthèses (voir 5.3.5, p. 45, paragraphe mis à jour ci-dessous).

(b) L'électronvolt est l'énergie cinétique acquise par un électron après traversée d'une différence de potentiel de 1 V dans le vide. L'électronvolt est souvent combiné aux préfixes SI.

(c) Le dalton (Da) et l'unité de masse atomique unifiée (u) sont d'autres noms (et symboles) pour la même unité, égale à 1/12 de la masse de l'atome de <sup>12</sup>C libre, au repos et dans son état fondamental. Le dalton est souvent combiné à des préfixes SI, par exemple pour exprimer la masse de grosses molécules en kilodaltons, kDa, ou mégadaltons, MDa, et pour exprimer la valeur de petites différences de masse d'atomes ou de molécules en nanodaltons, nDa, voire picodaltons, pDa.

## MISE À JOUR DES RÉFÉRENCES DE NORMES ET DE GUIDES

page 14

**1.2 Le Système international d'unités (SI) et le système de grandeurs correspondant**

Suite à la mise à jour des normes ISO et CEI citées dans le second paragraphe, celui-ci doit être modifié comme suit :

Le système de grandeurs à utiliser avec le SI, y compris les équations reliant ces grandeurs entre elles, correspond en fait aux grandeurs et équations de la physique, bien connues de tous les scientifiques, techniciens et ingénieurs. Elles figurent dans tous les manuels et dans de nombreuses publications de référence, mais toute liste ne constitue qu'une sélection parmi les grandeurs et équations existantes, lesquelles sont en nombre illimité. Un grand nombre de grandeurs, leurs noms et symboles recommandés et les équations les reliant les unes aux autres, sont mentionnés dans la norme internationale 80000 de l'ISO et de la CEI, *Grandeurs et unités*, composée de 14 parties et produite par le Comité technique 12 de l'Organisation internationale de normalisation, l'ISO/TC 12, et par le Comité technique 25 de la Commission électrotechnique internationale, le CEI/TC 25. Dans la série 80000 de l'ISO et de la CEI, l'ensemble des grandeurs et équations utilisées avec le SI est désigné sous le nom de Système international de grandeurs.

page 42

**5.3.1 Valeur et valeur numérique d'une grandeur ; utilisation du calcul formel**

Suite à la mise à jour des normes ISO et CEI, le troisième paragraphe doit être modifié comme suit :

Les noms et symboles recommandés pour les grandeurs figurent dans de nombreux ouvrages de référence, comme la norme 80000 de l'ISO et de la CEI, *Grandeurs et unités*, le « livre rouge » de l'IUPAP SUNAMCO, *Symbols, Units, Nomenclature and Fundamental Constants in Physics*<sup>1</sup>, et le « livre vert » de l'IUPAC, *Grandeurs, unités et symboles de la chimie physique*. Toutefois, les symboles des grandeurs ne sont que recommandés, alors qu'il est obligatoire d'utiliser les symboles corrects des unités. Dans des circonstances particulières, les auteurs peuvent préférer utiliser le symbole de leur choix pour une grandeur donnée, par exemple pour éviter un conflit résultant de l'utilisation du même symbole pour deux grandeurs différentes. Il faut alors préciser clairement quelle est la signification du symbole. Le nom d'une grandeur, ou le symbole utilisé pour l'exprimer, n'oblige en aucun cas à choisir une unité en particulier.

---

<sup>1</sup> Le « livre rouge » de l'IUPAP SUNAMCO n'est pas traduit en français.

page 45

### 5.3.5 Expression de l'incertitude de mesure associée à la valeur d'une grandeur

Suite à la mise à jour du GUM et à l'utilisation dans ce Supplément des valeurs des constantes fondamentales recommandées par CODATA en 2010, le paragraphe 5.3.5 doit être modifié comme suit :

L'incertitude associée à la valeur estimée d'une grandeur doit être évaluée et exprimée en accord avec le Guide [JCGM 100:2008](#) (GUM 1995 avec des corrections mineures), *Évaluation des données de mesure - Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*. L'incertitude-type, c'est-à-dire l'écart-type estimé, associée à une grandeur  $x$  est désignée par  $u(x)$ . Un moyen commode de représenter l'incertitude est donné dans l'exemple suivant :

$$m_n = 1,674\,927\,351(74) \times 10^{-27} \text{ kg}$$

où  $m_n$  est le symbole de la grandeur (ici la masse du neutron) et le nombre entre parenthèses la valeur numérique de l'incertitude-type composée sur les deux derniers chiffres de la valeur estimée de  $m_n$ , dans le cas présent :

$$u(m_n) = 0,000\,000\,074 \times 10^{-27} \text{ kg.}$$

Si une incertitude étendue  $U(x)$  est utilisée au lieu de l'incertitude-type  $u(x)$ , alors le facteur d'élargissement  $k$  doit être précisé.

page 47

## Annexe 1. Décisions de la Conférence générale des poids et mesures et du Comité international des poids et mesures

Depuis la publication de la 8<sup>e</sup> édition de la Brochure sur le SI en 2006, la CGPM et le CIPM ont pris les décisions suivantes concernant les unités du SI :

- CIPM 2006, Recommandation 1, [Au sujet des représentations secondaires de la seconde](#) (page 123).
- CIPM 2007, Recommandation 1, [Révision de la liste des radiations recommandées pour la mise en pratique de la définition du mètre](#) (page 85).
- 23<sup>e</sup> CGPM 2007, Résolution 9, [Sur la révision de la mise en pratique de la définition du mètre et sur la mise au point de nouveaux étalons optiques de fréquence](#) (page 171).
- 23<sup>e</sup> CGPM 2007, Résolution 10, [Sur la clarification de la définition du kelvin, unité de température thermodynamique](#) (page 172).
- 23<sup>e</sup> CGPM 2007, Résolution 12, [Sur l'éventuelle redéfinition de certaines unités de base du Système international d'unités \(SI\)](#) (page 174).
- CIPM 2009, Recommandation 2, [Mise à jour de la liste des fréquences étalons](#) (page 105).
- 24<sup>e</sup> CGPM 2011, Résolution 1, [Sur l'éventuelle révision à venir du Système international d'unités, le SI](#) (page 212).

- 24<sup>e</sup> CGPM 2011, Résolution 8, [Sur la révision de la mise en pratique de la définition du mètre et sur la mise au point de nouveaux étalons optiques de fréquence](#) (page 227).
- CIPM 2013, Recommandation 1, [Mise à jour de la liste des fréquences étalons](#) (page 53).



# The International System of Units

Supplement 2014:  
Updates to the 8th edition (2006) of the SI Brochure

## Preamble

This document gives the list of the most significant changes to be made to the 8th edition of the SI Brochure that appeared in 2006. They are based on recommendations made by the Consultative Committee for Units (CCU) at its 19th, 20th and 21st meetings and approved by the International Committee for Weights and Measures (CIPM) at its 103rd meeting in March 2014. The intention is not to conduct a comprehensive review of the full text, but to update the most significant items in order to harmonize them with the most recent recommendations and to update references to other documents. It includes the new definition of the astronomical unit for length adopted in 2012 by the XXVIII General Assembly of the International Astronomical Union (IAU).

## MODIFICATION OF THE ORDER OF BASE UNITS IN THE EXPRESSION OF DERIVED UNITS

This follows [Decision CIPM/103-17](#) taken at Session I of the 103rd meeting of the CIPM in March 2014 (see also pages 16 and 17 of the [Report of the 21st meeting of the CCU, 2013](#)).

page 111

### 2.1.1 Definitions

In the 3rd line of the 3rd paragraph the expression of the ohm, symbol  $\Omega$ , should read:

$$\Omega = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3} \text{A}^{-2}$$

**Table 3. Coherent derived units in the SI with special names and symbols**

Table 3 should read:

Derived quantity	SI coherent derived unit <sup>(a)</sup>			
	Name	Symbol	Expressed in terms of other SI units	Expressed in terms of SI base units
plane angle	radian <sup>(b)</sup>	rad	1 <sup>(b)</sup>	m/m
solid angle	steradian <sup>(b)</sup>	sr <sup>(c)</sup>	1 <sup>(b)</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
frequency	hertz <sup>(d)</sup>	Hz		s <sup>-1</sup>
force	newton	N		kg m s <sup>-2</sup>
pressure, stress	pascal	Pa	N/m <sup>2</sup>	kg m <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup>
energy, work, amount of heat	joule	J	N m	kg m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
power, radiant flux	watt	W	J/s	kg m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup>
electric charge, amount of electricity	coulomb	C		A s
electric potential difference, electromotive force	volt	V	W/A	kg m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
capacitance	farad	F	C/V	kg <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>
electric resistance	ohm	Ω	V/A	kg m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup> A <sup>-2</sup>
electric conductance	siemens	S	A/V	kg <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> s <sup>3</sup> A <sup>2</sup>
magnetic flux	weber	Wb	V s	kg m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
magnetic flux density	tesla	T	Wb/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
inductance	henry	H	Wb/A	kg m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
Celsius temperature	degree Celsius <sup>(e)</sup>	°C		K
luminous flux	lumen	lm	cd sr <sup>(c)</sup>	cd sr
illuminance	lux	lx	lm/m <sup>2</sup>	cd sr m <sup>-2</sup>
activity referred to a radionuclide <sup>(f)</sup>	becquerel <sup>(d)</sup>	Bq		s <sup>-1</sup>
absorbed dose, specific energy (imparted), kerma	gray	Gy	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
dose equivalent, ambient dose equivalent, directional dose equivalent, personal dose equivalent	sievert <sup>(g)</sup>	Sv	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
catalytic activity	katal	kat		mol s <sup>-1</sup>

(a) The SI prefixes may be used with any of the special names and symbols, but when this is done the resulting unit will no longer be coherent.

(b) The radian and steradian are special names for the number one that may be used to convey information about the quantity concerned. In practice the symbols rad and sr are used where appropriate, but the symbol for the derived unit one is generally omitted in specifying the values of dimensionless quantities.

(c) In photometry the name steradian and the symbol sr are usually retained in expressions for units.

(d) The hertz is used only for periodic phenomena, and the becquerel is used only for stochastic processes in activity referred to a radionuclide.

(e) The degree Celsius is the special name for the kelvin used to express Celsius temperatures. The degree Celsius and the kelvin are equal in size, so that the numerical value of a temperature difference or temperature interval is the same when expressed in either degrees Celsius or in kelvins.

(f) Activity referred to a radionuclide is sometimes incorrectly called radioactivity.

(g) See CIPM Recommendation 2 (CI-2002), p. 168, on the use of the sievert (PV, 2002, 70, 205).

**Table 4. Examples of SI coherent derived units whose names and symbols include SI coherent derived units with special names and symbols**

Table 4 should read:

Derived quantity	SI coherent derived unit		
	Name	Symbol	Expressed in terms of SI base units
dynamic viscosity	pascal second	Pa s	$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$
moment of force	newton metre	N m	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$
surface tension	newton per metre	N/m	$\text{kg s}^{-2}$
angular velocity	radian per second	rad/s	$\text{m m}^{-1} \text{s}^{-1} = \text{s}^{-1}$
angular acceleration	radian per second squared	rad/s <sup>2</sup>	$\text{m m}^{-1} \text{s}^{-2} = \text{s}^{-2}$
heat flux density, irradiance	watt per square metre	W/m <sup>2</sup>	$\text{kg s}^{-3}$
heat capacity, entropy	joule per kelvin	J/K	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$
specific heat capacity, specific entropy	joule per kilogram kelvin	J/(kg K)	$\text{m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$
specific energy	joule per kilogram	J/kg	$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$
thermal conductivity	watt per metre kelvin	W/(m K)	$\text{kg m s}^{-3} \text{K}^{-1}$
energy density	joule per cubic metre	J/m <sup>3</sup>	$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$
electric field strength	volt per metre	V/m	$\text{kg m s}^{-3} \text{A}^{-1}$
electric charge density	coulomb per cubic metre	C/m <sup>3</sup>	$\text{A s m}^{-3}$
surface charge density	coulomb per square metre	C/m <sup>2</sup>	$\text{A s m}^{-2}$
electric flux density, electric displacement	coulomb per square metre	C/m <sup>2</sup>	$\text{A s m}^{-2}$
permittivity	farad per metre	F/m	$\text{kg}^{-1} \text{m}^{-3} \text{s}^4 \text{A}^2$
permeability	henry per metre	H/m	$\text{kg m s}^{-2} \text{A}^{-2}$
molar energy	joule per mole	J/mol	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{mol}^{-1}$
molar entropy, molar heat capacity	joule per mole kelvin	J/(mol K)	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{mol}^{-1} \text{K}^{-1}$
exposure (x- and $\gamma$ -rays)	coulomb per kilogram	C/kg	$\text{A s kg}^{-1}$
absorbed dose rate	gray per second	Gy/s	$\text{m}^2 \text{s}^{-3}$
radiant intensity	watt per steradian	W/sr	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-3} \text{sr}^{-1}$
radiance	watt per square metre steradian	W/(sr m <sup>2</sup> )	$\text{kg s}^{-3} \text{sr}^{-1}$
catalytic activity concentration	katal per cubic metre	kat/m <sup>3</sup>	$\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-3}$

## MODIFICATION OF THE DEFINITION OF THE ASTRONOMICAL UNIT OF LENGTH

At the time of the publication of the 8th SI Brochure, the value in SI units of the astronomical unit of length was determined experimentally. In consequence it was listed in Table 7 of the SI Brochure together with its uncertainty. In 2012, it was redefined by the XXVIII General Assembly of the International Astronomical Union ([IAU Resolution B2, 2012](#)) as an exact number of metres, the base unit for length. It follows that the astronomical unit of length should no longer be listed in Table 7 of the SI Brochure, but in Table 6.

**Table 6. Non-SI units accepted for use with the International System of Units**

Table 6 should read:

Quantity	Name of unit	Symbol for unit	Value in SI units
time	minute	min	1 min = 60 s
	hour <sup>(a)</sup>	h	1 h = 60 min = 3600 s
	day	d	1 d = 24 h = 86 400 s
plane angle	degree <sup>(b, c)</sup>	°	1° = ( $\pi/180$ ) rad
	minute	'	1' = (1/60)° = ( $\pi/10\,800$ ) rad
	second <sup>(d)</sup>	"	1" = (1/60)' = ( $\pi/648\,000$ ) rad
area	hectare <sup>(e)</sup>	ha	1 ha = 1 hm <sup>2</sup> = 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
volume	litre <sup>(f)</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>
mass	tonne <sup>(g)</sup>	t	1 t = 10 <sup>3</sup> kg
length	astronomical unit <sup>(h)</sup>	au	1 au = 149 597 870 700 m

(a) The symbol for this unit is included in Resolution 7 of the 9th CGPM (1948; CR, 70).

(b) ISO 80000-3:2006 recommends that the degree be divided decimally rather than using the minute and the second. For navigation and surveying, however, the minute has the advantage that one minute of latitude on the surface of the Earth corresponds (approximately) to one nautical mile (defined in Table 8).

(c) The gon (or grad, where grad is an alternative name for the gon) is an alternative unit of plane angle to the degree, defined as ( $\pi/200$ ) rad. Thus there are 100 gon in a right angle. The potential value of the gon in navigation is that because the distance from the pole to the equator of the Earth is approximately 10 000 km, 1 km on the surface of the Earth subtends an angle of one centigon at the centre of the Earth. However the gon is rarely used.

(d) For applications in astronomy, small angles are measured in arcseconds (i.e. seconds of plane angle), denoted by the symbol as or " ; also used are milliarcseconds, microarcseconds, and picoarcseconds, denoted by the symbols mas,  $\mu$ as, and pas, respectively, where arcsecond is an alternative name for second of plane angle.

(e) The unit hectare, and its symbol ha, were adopted by the CIPM in 1879 (PV, 1879, 41). The hectare is used to express land area.

(f) The litre, and the symbol lower-case l, were adopted by the CIPM in 1879 (PV, 1879, 41). The alternative symbol, capital L, was adopted by the 16th CGPM (1979, Resolution 6; CR, 101 and *Metrologia*, 1980, **16**, 56-57) in order to avoid the risk of confusion between the letter l (el) and the numeral 1 (one). The litre is a special name for dm<sup>3</sup>.

(g) The tonne, and its symbol t, were adopted by the CIPM in 1879 (PV, 1879, 41). In English speaking countries this unit is usually called "metric ton".

(h) The astronomical unit of length was redefined by the XXVIII General Assembly of the International Astronomical Union (Resolution B2, 2012).

**Table 7. Non-SI units whose values in SI units (the natural unit of speed excepted) must be determined experimentally**

Table 7 should read:

Quantity	Name of unit	Symbol for unit	Value in SI units <sup>(a)</sup>
<b>Units accepted for use with the SI</b>			
energy	electronvolt <sup>(b)</sup>	eV	1 eV = 1.602 176 565(35) × 10 <sup>-19</sup> J
mass	dalton <sup>(c)</sup>	Da	1 Da = 1.660 538 921(73) × 10 <sup>-27</sup> kg
	unified atomic mass unit	u	1 u = 1 Da
<b>Natural units (n.u.)</b>			
speed	n.u. of speed (speed of light in vacuum)	$c_0$	299 792 458 m/s (exact)
action	n.u. of action (reduced Planck constant)	$\hbar$	1.054 571 726(47) × 10 <sup>-34</sup> J s
mass	n.u. of mass (electron mass)	$m_e$	9.109 382 91(40) × 10 <sup>-31</sup> kg
time	n.u. of time	$\hbar/(m_e c_0^2)$	1.288 088 668 33(83) × 10 <sup>-21</sup> s
<b>Atomic units (a.u.)</b>			
charge	a.u. of charge (elementary charge)	$e$	1.602 176 565(35) × 10 <sup>-19</sup> C
mass	a.u. of mass (electron mass)	$m_e$	9.109 382 91(40) × 10 <sup>-31</sup> kg
action	a.u. of action (reduced Planck constant)	$\hbar$	1.054 571 726(47) × 10 <sup>-34</sup> J s
length	a.u. of length, bohr (Bohr radius)	$a_0$	0.529 177 210 92(17) × 10 <sup>-10</sup> m
energy	a.u. of energy, hartree (Hartree energy)	$E_h$	4.359 744 34(19) × 10 <sup>-18</sup> J
time	a.u. of time	$\hbar/E_h$	2.418 884 326 502(12) × 10 <sup>-17</sup> s

(a) The values in SI units of all units in this table are taken from the 2010 CODATA set of recommended values of the fundamental physical constants, P.J. Mohr, B.N. Taylor, and D. B. Newell, *Rev. Mod. Phys.*, 2012, **84**, 1527-1605. The standard uncertainty in the last two digits is given in parentheses (see 5.3.5, p. 133, updated below).

(b) The electronvolt is the kinetic energy acquired by an electron in passing through a potential difference of one volt in vacuum. The electronvolt is often combined with the SI prefixes.

(c) The dalton (Da) and the unified atomic mass unit (u) are alternative names (and symbols) for the same unit, equal to 1/12 times the mass of a free carbon 12 atom, at rest and in its ground state. The dalton is often combined with SI prefixes, for example to express the masses of large molecules in kilodaltons, kDa, or megadaltons, MDa, or to express the values of small mass differences of atoms or molecules in nanodaltons, nDa, or even picodaltons, pDa.

## UPDATE OF REFERENCES TO STANDARDS AND GUIDES

## page 104

**1.2 The International System of Units (SI) and the corresponding system of quantities**

Following updates to ISO and IEC standards, the 2nd paragraph should read:

The system of quantities, including the equations relating the quantities, to be used with the SI, is in fact just the quantities and equations of physics that are familiar to all scientists, technologists, and engineers. They are listed in many textbooks and in many references, but any such list can only be a selection of the possible quantities and equations, which is without limit. Many of the quantities, their recommended names and symbols, and the equations relating them, are listed in the International Standard 80000 of ISO and IEC, *Quantities and units*, composed of 14 parts and produced by Technical Committee 12 of the International Organization for Standardization, ISO/TC 12, and by Technical Committee 25 of the International Electrotechnical Commission, IEC/TC 25. In the ISO and IEC 80000 series the quantities and equations used with the SI are known as the International System of Quantities.

## page 131

**5.3.1 Value and numerical value of a quantity, and the use of quantity calculus**

Following updates to ISO and IEC standards, the 3rd paragraph should read:

Recommended names and symbols for quantities are listed in many standard references, such as the ISO and IEC 80000 series *Quantities and units*, the IUPAP SUNAMCO Red Book *Symbols, Units, Nomenclature and Fundamental Constants in Physics*, and the IUPAC Green Book *Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry*. However, symbols for quantities are recommendations (in contrast to symbols for units, for which the use of the correct form is mandatory). In particular circumstances authors may wish to use a symbol of their own choice for a quantity, for example in order to avoid a conflict arising from the use of the same symbol for two different quantities. In such cases, the meaning of the symbol must be clearly stated. However, neither the name of a quantity, nor the symbol used to denote it, should imply any particular choice of unit.

## page 133

**5.3.5 Expressing the measurement uncertainty in the value of a quantity**

Following updates to the GUM, and using the CODATA 2010 values, paragraph 5.3.5 should read:

The uncertainty that is associated with the estimated value of a quantity should be evaluated and expressed in accordance with the Guide [JCGM 100:2008](#) (GUM 1995 with minor corrections), *Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement*. The standard uncertainty (i.e. the estimated standard deviation) associated with a quantity  $x$  is denoted by  $u(x)$ . A convenient way to represent the uncertainty is given in the following example:

$$m_n = 1.674\,927\,351(74) \times 10^{-27} \text{ kg}$$

where  $m_n$  is the symbol for the quantity (in this case the mass of a neutron), and the number in parentheses is the numerical value of the combined standard uncertainty of the estimated value of  $m_n$  referred to the last two digits of the quoted value; in this case:

$$u(m_n) = 0.000\,000\,074 \times 10^{-27} \text{ kg.}$$

If an expanded uncertainty  $U(x)$  is used in place of the standard uncertainty  $u(x)$ , then the coverage factor  $k$  must be stated.

## page 137

**Appendix 1. Decisions of the General Conference on Weights and Measures (CGPM) and the International Committee for Weights and Measures (CIPM)**

Since the time of the publication of the 8th SI Brochure, the following decisions concerning SI units have been taken by the CGPM and the CIPM:

- CIPM 2006, Recommendation 1, [Concerning secondary representations of the second](#) (page 249).
- CIPM 2007, Recommendation 1, [Revision of the \*mise en pratique\* list of recommended radiations](#) (page 185).
- 23rd CGPM 2007, Resolution 9, [On the revision of the \*mise en pratique\* of the definition of the metre and the development of new optical frequency standards](#) (page 431).
- 23rd CGPM 2007, Resolution 10, [Clarification of the definition of the kelvin, unit of thermodynamic temperature](#) (page 432).
- 23rd CGPM 2007, Resolution 12, [On the possible redefinition of certain base units of the International System of Units \(SI\)](#) (page 434).
- CIPM 2009, Recommendation 2, [Updates to the list of standard frequencies](#) (page 235).
- 24th CGPM 2011, Resolution 1, [On the possible future revision of the International System of Units, the SI](#) (page 532).

- 24th CGPM 2011, Resolution 8, [On the revision of the \*mise en pratique\* of the metre and the development of new optical frequency standards](#) (page 546).
- CIPM 2013, Recommendation 1, [Updates to the list of standard frequencies](#) (page 144).

**Reproduction Service**  
30, Boulevard du Verd de Saint-Julien  
92190 Meudon

Achévé d'imprimer : juin 2014