

El Sistema Internacional d'Unitats (SI)

Aquesta és la traducció de la vuitena edició d'*El Sistema Internacional d'Unitats (SI)*, document produït pel Comitè Consultiu de les Unitats del Comitè Internacional de Pesos i Mesures i publicat per l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures l'any 2006.

Drets d'autor

Aquest document ha estat elaborat en obtenir el permís de l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures la qual reté tots els drets d'autor protegits internacionalment. L'Oficina Internacional de Pesos i Mesures no accepta cap responsabilitat en relació a la pertinència, exactitud, completesa o qualitat de la informació i materials presentats en una traducció. L'únic text oficial és el text francès del document original produït per l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures.



A fi de donar a conèixer millor els seus treballs, el Comitè Internacional de Pesos i Mesures publica versions en anglès dels seus opuscles. El lector ha de saber, però, que el text oficial és sempre el que està redactat en francès. Aquest és el que té autoritat quan és necessària una referència o quan hi ha algun dubte en la interpretació.

S'han publicat traduccions totals o parcials d'aquest opuscle (o d'edicions anteriors) en diverses llengües com ara l'alemany, anglès, búlgar, castellà, coreà, japonès, portuguès, romanès, txec i xinès. L'Organització Internacional de Normalització i nombrosos països han publicat també guies per a la utilització de les unitats del Sistema Internacional.

L'Oficina Internacional de Pesos i Mesures i la Convenció del Metre

L'Oficina Internacional de Pesos i Mesures va ser creada per la Convenció del Metre signada a París el 20 de maig de 1875 per disset estats, en el curs de la darrera sessió de la Conferència Diplomàtica del Metre. Aquesta convenció va ser modificada el 1921.

L'Oficina Internacional de Pesos i Mesures té la seu a París, en l'espai de 43 520 m² del Pavelló Breteuil (Parc de Saint-Cloud) posat a la seva disposició pel govern francès. Del seu suport econòmic se'n fan càrrec de forma conjunta els estats membres de la Convenció del Metre.

L'Oficina Internacional de Pesos i Mesures té com a missió assegurar la unificació mundial de les mesures. Per tant, s'encarrega de:

- establir els patrons fonamentals i les escales per a la mesura de les principals magnituds físiques i conservar els prototips internacionals.
- comparar els patrons nacionals i internacionals.
- coordinar els procediments de mesura corresponents.
- efectuar i coordinar les mesures de les constants físiques fonamentals que intervenen en les activitats esmentades.

L'Oficina Internacional de Pesos i Mesures treballa sota la supervisió exclusiva del Comitè Internacional de Pesos i Mesures, el qual està sota l'autoritat de la Conferència General de Pesos i Mesures, a qui es presenta l'informe dels treballs acomplerts per l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures.

La Conferència General de Pesos i Mesures agrupa els delegats de tots els estats membres de la Convenció del Metre i es reuneix actualment cada quatre anys amb la següent finalitat:

- discutir i endegar les accions necessàries per assegurar la promoció i perfeccionament del Sistema Internacional d'Unitats (SI), forma moderna del sistema mètric.
- sancionar els resultats de les noves mesures fonamentals i adoptar les diverses resolucions científiques d'àmbit internacional.
- adoptar totes les decisions importants en relació a la dotació, organització i desenvolupament de l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures.

El Comitè Internacional de Pesos i Mesures està format per divuit membres d'estats diferents. Es reuneix actualment cada any. Els membres d'aquest Comitè Internacional de Pesos i Mesures remetent als governs dels estats membres de la Convenció del Metre un informe anual sobre la situació administrativa i financera de l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures. La principal missió del Comitè Internacional de Pesos i Mesures és assegurar la unificació mundial de les unitats de mesura, tant directament com presentant propostes a la Conferència General de Pesos i Mesures.

Les activitats de l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures estaven limitades originalment a les mesures de la longitud i la massa i als estudis metrològics relacionats amb aquestes magnituds però les activitats s'han ampliat i inclouen els patrons de mesura elèctrics (1927), fotomètrics i radiomètrics (1937), de les radiacions ionitzants (1960), les escales de temps (1988) i a la química (2000). Amb aquesta finalitat, es van ampliar el 1929 els primers laboratoris construïts de 1876 a 1878. Durant el 1963 i 1964 es van construir nous edificis per als laboratoris de la secció de radiacions ionitzants, el 1984 per al treball sobre

El 31 de desembre de 2005, cinquanta-un estats eren membres d'aquesta convenció: Sud-àfrica, Alemanya, Argentina, Austràlia, Àustria, Bèlgica, Brasil, Bulgària, Camerun, Canadà, Xile, Xina, Corea del Sud, Corea del Nord, Dinamarca, República Dominicana, Egipte, Espanya, Estats Units, Finlàndia, França, Grècia, Hongria, Índia, Indonèsia, Iran, Irlanda, Israel, Itàlia, Japó, Malàisia, Mèxic, Noruega, Nova Zelanda, Pakistan, Països Baixos, Polònia, Portugal, Romania, Regne Unit, Rússia, Sèrbia i Montenegro, Singapur, Eslovàquia, Suècia, Suïssa, República Txeca, Tailàndia, Turquia, Uruguai, Veneçuela.

Associats a la Conferència General de Pesos i Mesures hi ha vint estats i entitats econòmiques: Bielorrússia, Comunitat del Carib (CARICOM), Costa Rica, Croàcia, Cuba, Equador, Estònia, Hong Kong (Xina), Jamaica, Kazakhstan, Kenya, Letònia, Lituània, Malta, Panamà, Filipines, Eslovènia, Taiwan, Ucraïna, Vietnam.

làser, el 1988 per a la biblioteca i les oficines, i el 2001 es va inaugurar un edifici per al taller, les oficines i les sales de reunions.

Al voltant de quaranta-cinc físics i tècnics treballen als laboratoris de l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures. Hi fan sobre tot recerques metroològiques, comparacions internacionals de les materialitzacions d'unitats i verificacions de patrons. Aquests treballs són objecte d'un informe anual detallat que es publica amb el nom d'Informe del director sobre l'activitat i la gestió de l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures.

Davant l'amplitud de les tasques encarregades a l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures, el 1927, el Comitè Internacional de Pesos i Mesures va establir, amb el nom de comitès consultius, els òrgans destinats a informar sobre les qüestions que els hi són sotmeses a examen. Aquests comitès consultius, els quals poden crear grups de treball temporals o permanents per a l'estudi de temes concrets, són els encarregats de coordinar els treballs internacionals realitzats en els seus camps respectius i proposar al Comitè Internacional de Pesos i Mesures les recomanacions relacionades amb les unitats.

Els comitès consultius tenen un reglament comú (PV 1963;31:97) i es reuneixen a intervals irregulars. El president de cada comitè consultiu és designat pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures i és habitualment un membre del Comitè Internacional de Pesos i Mesures. Els comitès consultius tenen com a membres laboratoris de metrologia i instituts especialitzats, la llista dels quals és establerta pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures, i que envien els seus delegats. També s'hi inclouen membres nominalment designats pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures i un representant de l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures (Criteris per ser membre dels comitès consultius, PV 1996;64:6). Hi ha actualment deu comitès:

1. El Comitè Consultiu de l'Electricitat i el Magnetisme, denominació nova assignada el 1997 al Comitè Consultiu de l'Electricitat creat el 1927.
2. El Comitè Consultiu de la Fotometria i la Radiometria, denominació nova assignada el 1971 al Comitè Consultiu de la Fotometria creat el 1933 (de 1930 a 1933 el Comitè Consultiu de l'Electricitat es va ocupar de les qüestions de la fotometria).
3. El Comitè Consultiu de la Termometria creat el 1937.
4. El Comitè Consultiu de les Longituds, denominació nova assignada el 1997 al Comitè Consultiu per a la Definició del Metre creat el 1952.
5. El Comitè Consultiu del Temps i les Freqüències, denominació nova assignada el 1997 al Comitè Consultiu per a la Definició del Segon creat el 1956.
6. El Comitè Consultiu de les Radiacions Ionitzants, denominació nova assignada el 1997 al Comitè Consultiu per als Patrons de Mesura de les Radiacions Ionitzants creat el 1958. El 1969, aquest comitè consultiu va instaurar quatre seccions, la Secció I (raigs x i γ , electrons), Secció II (mesura de radionúclids), Secció III (mesures neutròniques) i Secció IV (patrons d'energia α). Aquesta darrera secció va ser dissolta el 1975, sent assignat el seu camp d'activitat a la secció II.
7. El Comitè Consultiu de les Unitats, creat el 1964 (aquest comitè consultiu a substituït la Comissió del Sistema d'Unitats instaurada pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures el 1954).
8. El Comitè Consultiu per a la Massa i les Magnituds Relacionades creat el 1980.
9. El Comitè Consultiu per a la Quantitat de Substància — Metrologia en Química, creat el 1993.
10. El Comitè Consultiu de l'Acústica, els Ultrasons i les Vibracions creat el 1999.

Els treballs de la Conferència general de Pesos i Mesures i del Comitè Internacional de Pesos i Mesures són publicats sota els auspicis de l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures en les col·leccions següents:

- *Comptes rendus des séances de la Conférence générale des poids et mesures.*
- *Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesures.*

El 2003, el Comitè Internacional de Pesos i Mesures va decidir que els informes de les sessions dels comitès consultius no s'imprimirien sinó que es posarien en el web de l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures en la seva llengua original.

L'Oficina Internacional de Pesos i Mesures també publica monografies al voltant de temes metrològics determinats i, amb el títol *El Sistema Internacional d'Unitats (SI)*, un opuscle actualitzat periòdicament que agrupa totes les decisions i recomanacions relacionades amb les unitats.

La col·lecció *Travaux et mémoires du Bureau international des poids et mesures* (vint-i-dos toms publicats de 1881 a 1966) ha estat aturada per decisió del Comitè Internacional de Pesos i Mesures, així com també el *Recueil de travaux du Bureau international des poids et mesures* (onze volums publicats de 1966 a 1988).

Els treballs de l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures són objecte de publicacions en les revistes científiques. Se'n troba una llista cada any al *Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures*.

Des del 1965, la revista internacional *Metrologia*, editada sota els auspicis del Comitè Internacional de Pesos i Mesures, publica articles sobre metrologia científica, la millora dels mètodes de mesura, els treballs sobre els patrons i les unitats, així com informes relacionats amb les activitats, les decisions i les recomanacions dels òrgans de la Convenció del Metre.

El Sistema Internacional d'Unitats	Índex
L'Oficina Internacional de Pesos i Mesures i la Convenció del Metre	2
Prefaci a la vuitena edició	7
Prefaci a la traducció catalana	9
1. Introducció	10
1.1 Magnituds i unitats	10
1.2 El Sistema Internacional d'Unitats (SI) i el sistema de magnituds corresponents	11
1.3 Dimensió de les magnituds	12
1.4 Unitats coherents, unitats derivades amb noms especials i prefixos del Sistema Internacional	13
1.5 Les unitats del Sistema Internacional en el marc de la relativitat general	14
1.6 Les unitats de les magnituds que descriuen efectes biològics	14
1.7 Legislació sobre les unitats	15
1.8 Nota històrica	15
2. Les unitats del Sistema Internacional	18
2.1 Les unitats de base	18
2.1.1 Definicions	18
2.1.1.1 Unitat de longitud (metre)	18
2.1.1.2 Unitat de massa (kilogram)	19
2.1.1.3 Unitat de temps (segon)	19
2.1.1.4 Unitat de corrent elèctric (ampere)	20
2.1.1.5 Unitat de temperatura termodinàmica (kelvin)	20
2.1.1.6 Unitat de quantitat de substància (mol)	21
2.1.1.7 Unitat d'intensitat lluminosa (candela)	22
2.1.2 Símbols de les set unitats de base	23
2.2 Unitats derivades	23
2.2.1 Unitats derivades expressades a partir de les unitats de base	23
2.2.2 Unitats amb noms i símbols especials; unitats que incorporen noms i símbols especials	24
2.2.3 Unitats de les magnituds adimensionals, o també anomenades de dimensió u	27
3. Múltiples i submúltiples decimals de les unitats del Sistema Internacional	29
3.1 Prefixos del Sistema Internacional	29
3.2 El kilogram	30
4. Unitats que no pertanyen al Sistema Internacional	31
4.1 Unitats que no pertanyen al Sistema Internacional l'ús de les quals s'accepta conjuntament i unitats fonamentades en les constants fonamentals	31
4.2 Altres unitats que no pertanyen al Sistema Internacional l'ús de les quals no es recomana	37

5. Regles d'escriptura dels noms i símbols de les unitats i expressió dels valors de les magnituds	39
5.1 Símbols de les unitats	39
5.2 Noms de les unitats	39
5.3 Regles i convencions estilístiques per expressar els valors de les magnituds	40
5.3.1 Valor i valor numèric d'una magnitud; utilització del càlcul de magnituds	40
5.3.2 Símbols de les magnituds i de les unitats	41
5.3.3 Escriptura del valor d'una magnitud	41
5.3.4 Escriptura dels nombres i separador decimal	42
5.3.5 Expressió de la incertesa de mesura associada al valor d'una magnitud	42
5.3.6 Multiplicació o divisió dels símbols de les magnituds, els valors de les magnituds i els nombres	43
5.3.7 Valor de les magnituds adimensionals, o magnituds de dimensió u	43
Annex 1. Decisions de la Conferència General de Pesos i Mesures i del Comitè Internacional de Pesos i Mesures	45
Annex 2. Realització pràctica de les definicions de les principals unitats	85
Annex 3. Unitats per a la mesura de les magnituds fotoquímiques i fotobiològiques	86
Llista d'acrònims	88
Índex	90

Prefaci a la vuitena edició

Tenim el plaer de presentar la vuitena edició d'aquesta publicació, habitualment coneguda com l'Opuscle del Sistema Internacional d'Unitats, que defineix i presenta el Sistema Internacional d'Unitats, l'SI. Aquest opuscle es publica en paper i també està disponible en format electrònic al lloc web de l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures a l'adreça www.bipm.org/fr/si/si_brochure/.

Des del 1975, l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures ha publicat set edicions d'aquest document. El seu objectiu principal és definir i promoure el Sistema Internacional d'Unitats, que és arreu del món l'eina d'elecció en el camp de la ciència i la tecnologia, des de la seva adopció el 1948 per la Conferència General de Pesos i Mesures.

El Sistema Internacional d'Unitats és, sens dubte, un sistema en evolució, que reflecteix actualment les millors pràctiques en relació a les mesures. Aquesta vuitena edició conté doncs canvis en relació a l'edició precedent. Com anteriorment, proporciona les definicions de totes les unitats de base, així com les Resolucions i Recomanacions de la Conferència General de Pesos i Mesures i del Comitè Internacional de Pesos i Mesures en relació al Sistema Internacional d'Unitats. Les referències oficials d'aquestes decisions es troben en els volums successius dels *Comptes rendus des séances de la Conférence générale des poids et mesures* i els *Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesures*. Un gran nombre en són publicades també a *Metrologia*. Per simplificar la utilització del Sistema Internacional, el text aporta explicacions en relació a aquestes decisions i el primer capítol presenta una introducció general sobre la implantació dels sistemes d'unitats i del Sistema Internacional en particular. Les definicions i les materialitzacions de totes les unitats també són examinades en el context de la relativitat general. Per primera vegada, aquest opuscle inclou també una discussió breu sobre les unitats associades a les magnituds biològiques.

L'annex 1 reproduïx per ordre cronològic totes les decisions (Resolucions, Recomanacions, declaracions) promulgades des del 1889 per la Conferència General de Pesos i Mesures i el Comitè Internacional de Pesos i Mesures sobre les unitats de mesura i el Sistema Internacional d'Unitats.

L'annex 2 existeix tan sol en format electrònic i es pot consultar a l'adreça www.bipm.org/fr/si/si_brochure/appendix2/. Es referma la materialització pràctica de certes unitats importants d'acord amb les definicions donades en el text principal. Això és útil als laboratoris de metrologia per materialitzar les unitats físiques i calibrar els patrons materials i els instruments de mesura amb la qualitat més alta. Aquest annex serà actualitzat regularment per reflectir els progressos dels mètodes experimentals utilitzats per materialitzar les unitats.

L'annex 3 presenta les unitats utilitzades per a la mesura dels efectes actínic en els materials biològics.

El Comitè Consultiu de les Unitats del Comitè Internacional de Pesos i Mesures és el responsable de la preparació d'aquest document. Ambdós han aprovat el text final. Aquesta vuitena edició és una revisió de la setena edició de 1998. Té en compte les decisions de la Conferència General de Pesos i Mesures i del Comitè Internacional de Pesos i Mesures des de la setena edició.

Des de fa més de trenta-cinc anys, aquest document és emprat com obra de referència en nombrosos països, organitzacions i associacions científiques. A fi de fer accessible el seu contingut a un major nombre d'interessats, el Comitè Internacional de Pesos i Mesures va decidir el 1985 publicar una versió en anglès del text de la cinquena edició. Les edicions posteriors han conservat aquesta presentació bilingüe. Per a la primera edició en anglès, l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures es va esforçar en presentar una traducció fiable del text original en estreta col·laboració amb el Laboratori Nacional de Física (Teddington, Regne Unit) i amb l'Institut Nacional d'Estàndards i Tecnologia (Gaithersburg, Estats

Units) el qual s'anomenava llavors Oficina Nacional d'Estàndards. En l'edició present les versions francesa i anglesa han estat preparades pel Comitè Consultiu de les Unitats en col·laboració estreta amb l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures.

La vint-i-dosena Conferència General de Pesos i Mesures va decidir el 2003 acatar la decisió presa pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures el 1997: "El símbol de separació decimal podrà ser tant el punt com la coma". D'acord amb aquesta decisió i seguint l'ús en les dues llengües, s'utilitza el punt com separador decimal en anglès i la coma en francès. Aquesta pràctica no té cap implicació pel que fa la traducció del separador decimal en altres llengües. El text publicat aquí segueix la norma ISO 31, *Magnituds i unitats*.

Cal però que el lector tingui en compte que el text oficial és el redactat en francès. És el text francès el que té autoritat si fos necessària una referència o es presentés algun dubte en la interpretació.

Març de 2006.



F. Göbel

President del Comitè
Internacional de Pesos i
Mesures



I.M. Mills

President del Comitè
Consultiu de les Unitats



A.J. Wallard

Director de l'Oficina
Internacional de Pesos i
Mesures

Prefaci a la traducció catalana

L'Oficina General de Pesos i Mesures va tenir per bé concedir el permís a l'Associació Catalana de Ciències de Laboratori Clínic per traduir l'opuscle del Sistema Internacional d'Unitats. Aquest text presenta les definicions de les diferents unitats i l'ús dels símbols i els prefixos. També tracta les regles d'escriptura dels noms i símbols, la qual cosa és especialment important pels especialistes del nostre àmbit i àmbits propers. L'annex 1 fa un revisió històrica del desenvolupament del Sistema Internacional d'Unitats.

La traducció ha estat realitzada per Joan Nicolau i Costa, el qual es fa responsable dels possibles malentesos o omissions. Es publica amb el vistiplau de l'Associació Catalana de Ciències de Laboratori Clínic en el seu web i la citació recomanada és:

Oficina Internacional de Pesos i Mesures. El Sistema Internacional d'Unitats (SI). 8a edició. <www.acclc.cat> (Accés: any-mes-dia).

1. Introducció

1.1 Magnituds i unitats

El valor d'una magnitud s'expressa habitualment en forma del producte d'un nombre per una unitat. La unitat no és més que un exemple particular de la magnitud en qüestió, utilitzada com a referència. El nombre és la relació entre el valor de la magnitud en qüestió i la unitat. Per una magnitud particular, hom pot emprar nombroses unitats diferents. Per exemple, la velocitat v d'una partícula pot expressar-se en la forma $v = 25 \text{ m/s} = 90 \text{ km/h}$, sent el metre per segon i el quilòmetre per hora unitats alternatives per expressar el mateix valor de la magnitud velocitat. Malgrat això, degut a que és important disposar d'un conjunt d'unitats ben definides, reconegudes universalment i fàcils d'utilitzar per al gran nombre de mesures que es fan en la nostra societat, les unitats escollides cal que siguin accessibles, constants en el temps i l'espai, i fàcils de realitzar amb gran exactitud.

A fi d'establir un sistema d'unitats, com el Sistema Internacional d'Unitats, és necessari en primer lloc establir un sistema de magnituds i una sèrie d'equacions que defineixen les relacions entre aquestes magnituds. Això és necessari perquè les equacions que relacionen les magnituds entre si determinen les equacions que relacionen les unitats, tal com es descriu al llarg d'aquest document. També és convencionent escollir les definicions d'un nombre restringit d'unitats que s'anomenen *unitats de base*, i definir a continuació les unitats de les altres magnituds, anomenades *unitats derivades*, com productes de potències de les unitats de base. De manera similar, les magnituds corresponents són descrites com *magnituds de base* i *magnituds derivades*, i les equacions que produeixen les magnituds derivades en funció de les magnituds de base són emprades per expressar les unitats derivades en funció de les unitats de base (vegeu l'apartat 1.4 més endavant). És lògic doncs que l'elecció de les magnituds i les equacions relacionant les magnituds precedeixi a la de les unitats.

Des del punt de vista científic, la divisió entre magnituds de base i magnituds derivades és un convenció. No és fonamental per a la comprensió de la física subjacent. Malgrat tot, pel que fa referència a les unitats, és important que la definició de cada unitat de base sigui feta amb una molta cura, a fi de satisfer les exigències esmentades en el primer paràgraf, o sigui assegurar el fonament de tot el sistema d'unitats. La definició de les unitats derivades en funció de les unitats de base prové de les equacions que defineixen les magnituds derivades en funció de les magnituds de base. Així, l'establiment d'un sistema d'unitats, que constitueix el tema d'aquest opuscle, està totalment lligat amb les equacions algebriques que relacionen les magnituds corresponents.

El nombre de magnituds derivades importants per la ciència i la tecnologia no té límit. Quan es desenvolupen nous camps científics, els investigadors introdueixen noves magnituds a fi de representar les propietats de l'àmbit determinat, i aquestes noves magnituds engendren noves equacions a fi de relacionar-les amb les magnituds properes i les magnituds de base. Així les unitats derivades per ser utilitzades amb aquestes noves magnituds poden definir-se com el producte de potències d'unitats de base definides anteriorment.

Els termes magnitud i unitat es defineixen en el Vocabulari internacional de metrologia – Conceptes fonamentals i generals i termes associats (VIM).

La magnitud velocitat, v , pot expressar-se en funció de les magnituds distància recorreguda, x , i durada del recorregut, t , mitjançant l'equació

$$v = dx/dt$$

En la majoria dels sistemes de magnituds i d'unitats, la distància x i el temps t es consideren com magnituds de base per a les quals es pot escollir com unitats de base el metre (símbol m) i el segon (símbol s). La velocitat v es considera així com una magnitud derivada que té com a unitat el metre per segon (símbol m/s).

Per exemple, en electroquímica, la mobilitat elèctrica d'un ió, u , es defineix com el quocient entre la seva velocitat v i la intensitat del camp elèctric E , és a dir, $u = v/E$. La unitat de mobilitat elèctrica ve donada doncs per $(\text{m/s})/(\text{V/m}) = \text{m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, i pot relacionar-se fàcilment amb les unitats de base escollides (V és el símbol del volt, unitat derivada del Sistema Internacional).

1.2 El Sistema Internacional d'Unitats (SI) i el sistema de magnituds corresponents

Aquest opuscle té com objectiu presentar tota la informació necessària relacionada amb la definició i la utilització del Sistema Internacional d'Unitats, universalment conegut per la seva abreviatura SI. El Sistema Internacional d'Unitats va ser establert i definit per la Conferència General de Pesos i Mesures (vegeu la nota històrica més endavant a la secció 1.8)*.

El nom Sistema Internacional d'Unitats i l'abreviatura SI van ser establerts el 1960 per l'onzena Conferència General de Pesos i Mesures.

El sistema de magnituds que utilitza el Sistema Internacional, incloent les equacions que relacionen les magnituds entre si, pertany de fet a magnituds i equacions de la física, ben conegudes per tots els científics, tècnics i enginyers. Les magnituds es detallen en tots els manuals i en nombroses publicacions de referència, però qualsevol de les llistes no és més que una selecció de les magnituds i equacions existents, les quals són il·limitades en nombre. Moltes magnituds, els seus noms i símbols recomanats i les equacions que relacionen les unes amb les altres, són esmentades en les normes internacionals ISO 31 i CEI 60027 produïdes pel Comitè tècnic 12 de l'Organització Internacional de Normalització, l'ISO/TC 12, i pel Comitè tècnic 25 de la Comissió Electrotècnica Internacional, CEI/TC 25. Les normes ISO 31 i CEI 60027 estan en curs de revisió per part d'aquestes dues organitzacions de normalització que treballen en conjunt. La norma revisada constituirà la norma ISO/CEI 80000, *Magnituds i unitats*, on es proposa que el conjunt de magnituds i equacions utilitzades amb el Sistema Internacional sigui designat amb el nom de Sistema Internacional de magnituds.

L'equació newtoniana d'inèrcia relacionant la força F amb la massa m i l'acceleració a d'una partícula, $F = ma$, i l'equació que reflecteix l'energia cinètica T d'una partícula en moviment a la velocitat v , $T = mv^2/2$, són dos exemples d'equacions de magnituds emprades en el Sistema Internacional.

Les magnituds de base emprades en el Sistema Internacional són la longitud, la massa, el temps, el corrent elèctric, la temperatura termodinàmica, la quantitat de substància i la intensitat lluminosa. Les magnituds de base són, per convenció, considerades independents. Les unitats de base corresponents del Sistema Internacional, escollides per la Conferència General de Pesos i Mesures, són el metre, el kilogram, el segon, l'ampere, el kelvin, el mol i la candela. La secció 2.1.1 del capítol següent aporta les definicions d'aquestes unitats de base. Les unitats derivades del Sistema Internacional es formen com productes de potències de les unitats de base, segons les relacions algebriques que defineixen les magnituds derivades corresponents en funció de les magnituds de base (vegeu l'apartat 1.4 més endavant).

En alguna ocasió, es pot escollir entre diverses relacions entre les magnituds. Un exemple particularment important sorgeix en definir les magnituds electromagnètiques. Les equacions electromagnètiques racionalitzades de quatre magnituds, utilitzades amb el Sistema Internacional, es basen en la longitud, la massa, el temps i el corrent elèctric. En aquestes equacions, la constant elèctrica ϵ_0 (la permitivitat del buit) i la constant magnètica μ_0 (la permeabilitat del buit) tenen dimensions i valors tals que l'equació $\epsilon_0\mu_0 = 1/c_0^2$, on c_0 és la velocitat de la llum en el buit. La llei de Coulomb descriu la força electrostàtica entre dues partícules de càrregues q_1 i q_2 a una distància r en la forma**:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

i l'equació de la força magnètica entre dos elements de fils elèctrics primers recorreguts per corrents elèctrics, $i_1 dl_1$ i $i_2 dl_2$, s'expressa de la forma següent:

* Les abreviatures emprades en aquest opuscle i el seu significat figuren a la pàgina 88.

** Els vectors s'expressen mitjançant símbols en negreta.

$$d^2F = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i_1 d\mathbf{l}_1 \times (i_2 d\mathbf{l}_2 \times \mathbf{r})}{r^3}$$

on d^2F és la diferencial segona de la força F . Aquestes equacions, en les quals es basa el Sistema Internacional, són diferents a les utilitzades en els sistemes CGS-UES (electrostàtic), CGS-UEM (electromagnètic) i CGS de Gauss, on ϵ_0 i μ_0 són magnituds adimensionals, escollides amb valor igual a u i on els factors de racionalització 4π són omesos.

1.3 Dimensió de les magnituds

Per convenció, les magnituds físiques s'organitzen segons un sistema de dimensions. Es considera que cadascuna de les set magnituds de base del Sistema Internacional té la seva pròpia dimensió, representada simbòlicament per una sola lletra majúscula en font romana. Els símbols emprats per les magnituds de base i per indicar llur dimensió són els següents:

Magnituds de base i dimensions emprades en l'SI

Magnitud de base	Símbol de la magnitud	Símbol de la dimensió	
longitud	$l, x, r, \text{etc.}$	L	Els símbols de les magnituds s'escriuen sempre en lletra cursiva mentre que els símbols de les dimensions s'escriuen en majúscules en lletra romana.
massa	m	M	
temps, durada	t	T	
corrent elèctric	I, i	I	
temperatura termodinàmica	T	Θ	
quantitat de substància	n	N	
intensitat lluminosa	I_v	J	

Per algunes magnituds, és possible utilitzar diferents símbols, tal com s'indica en la longitud o el corrent elèctric.

Totes les altres magnituds són magnituds derivades que poden expressar-se en funció de les magnituds de base mitjançant equacions de la física. Les dimensions de les magnituds derivades s'escriuen en forma de productes de potències de les dimensions de les magnituds de base per mitjà d'equacions que relacionen les magnituds derivades amb les de base. En general la dimensió d'una magnitud Q s'escriu en forma d'un producte dimensional:

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

on els exponents $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \zeta, \eta$ que són en general nombres petits enters, positius, negatius o nuls, s'anomenen exponents dimensionals. La informació subministrada per la dimensió d'una magnitud derivada sobre la relació entre aquesta magnitud i les magnituds de base és la mateixa que la continguda en la unitat del Sistema Internacional per la magnitud derivada, obtinguda a la seva vegada com producte de potències de les unitats de base del Sistema Internacional.

Algunes magnituds derivades Q són definides per una equació tal que tots els exponents dimensionals continguts en l'expressió de la dimensió de Q són iguals a zero. Això és cert, en particular, per una magnitud definida com el quocient entre dues magnituds del mateix tipus. Aquestes magnituds s'anomenen adimensionals o de dimensió u. La unitat derivada coherent d'aquestes magnituds és sempre el nombre u, 1, perquè és el quocient entre les unitats de dues magnituds del mateix tipus, i per tant idèntiques.

També existeixen magnituds que no poden ser descrites mitjançant les set magnituds de base del Sistema Internacional, però el valor de les quals es mesura per recompte. Per

Cal fer esment que el símbols de les magnituds són recomanacions. En canvi, els símbols indicats per les unitats en aquest opuscle, així com també l'estil i la forma, són els que cal utilitzar obligatòriament (vegeu el capítol 5).

Els símbols de les dimensions i els exponents es tracten segons les regles habituals de l'àlgebra. Per exemple, la dimensió per la superfície s'escriu L^2 , la dimensió per la velocitat LT^{-1} , la dimensió per la força LMT^{-2} i la dimensió per l'energia L^2MT^{-2} .

Per exemple, l'índex de refracció d'un mitjà es defineix com el quocient entre la velocitat de la llum en el buit i en el mitjà. És el quocient entre dues magnituds del mateix tipus. És doncs

exemple, el nombre de molècules, la degeneració en mecànica quàntica (el nombre d'estats independents que tenen la mateixa energia) i la funció de partició en termodinàmica estàtica (el nombre d'estats tèrmics accessibles). Aquestes magnituds es consideren habitualment com adimensionals, o de dimensió u, i tenen per unitat el nombre u, 1.

una magnitud adimensional.

D'altres exemples de magnituds adimensionals són: l'angle pla, la fracció de massa, la permitivitat relativa, la permeabilitat relativa i la magror d'una cavitat de Perot-Fabry.

1.4 Unitats coherents, unitats derivades amb noms especials i prefixos del Sistema Internacional

Les unitats derivades es defineixen com el producte de potències de les unitats de base. Quan el producte de les potències no inclou cap altre factor numèric més que l'u, les unitats derivades s'anomenen *unitats derivades coherents*. Les unitats de base i les unitats derivades coherents del Sistema Internacional formen un conjunt coherent, anomenat conjunt coherent de les unitats del Sistema Internacional. El mot coherent s'utilitza aquí en el següent sentit: quan hom utilitza les unitats coherents, les equacions que relacionen els valors numèrics de les magnituds tenen exactament la mateixa forma que les equacions que relacionen les magnituds pròpiament dites. Per tant, si s'utilitzen únicament unitats d'un conjunt coherent, no cal mai recórrer a factors de conversió entre les unitats.

L'expressió de la unitat coherent d'una magnitud derivada pot obtenir-se a partir del producte dimensional de la magnitud, substituint el símbol de cada dimensió pel símbol de la unitat de base corresponent.

Algunes unitats derivades del Sistema Internacional han rebut noms especials per simplificar la seva expressió (vegeu l'apartat 2.2.2). És important remarcar que cada magnitud física només té una sola unitat coherent del Sistema Internacional, encara que aquesta unitat pugui expressar-se de formes diferents mitjançant noms especials o símbols particulars. No és però cert el contrari; la mateixa unitat del Sistema Internacional pot, en determinats casos, ser utilitzada per expressar els valors de diverses magnituds diferents (vegeu la pàgina 26).

Per exemple, la combinació particular de les unitats de base $\text{m}^2 \text{kg s}^{-2}$ ha rebut el nom especial joule, símbol J, per a l'energia. Per definició $\text{J} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-2}$.

A més, la Conferència General de Pesos i Mesures ha adoptat un sèrie de prefixos per a la formació del múltiples i submúltiples decimals de les unitats coherents del Sistema Internacional (vegeu la llista dels noms dels prefixos i el seu símbol a l'apartat 3.1). Aquests prefixos són adients per expressar les valors de les magnituds molt més grans o molt més petits que la unitat coherent. Seguint la Recomanació 1 (de 1969) del Comitè Internacional de Pesos i Mesures (vegeu la pàgina 64), aquests prefixos s'anomenen *prefixos del Sistema Internacional* (Aquests prefixos també s'utilitzen de vegades amb unitats que no són del Sistema Internacional, tal com es descriu en el capítol 4 d'aquest opuscle). Tanmateix, quan un prefix s'utilitza amb una unitat del Sistema Internacional, la unitat derivada ja no és coherent, perquè el prefix introdueix un factor numèric diferent d'1 en l'expressió de la unitat derivada en relació a les unitats de base.

Per comoditat, la longitud d'un enllaç químic sol expressar-se habitualment en nanometres, nm, i no pas en metres, m; i la distància entre Londres i París s'expressa habitualment en kilòmetres, km, i no en metres, m.

Com excepció, el nom kilogram, la unitat de base per a la massa, té el prefix kilo per raons històriques. És considerat com una unitat de base del Sistema Internacional. Els múltiples i submúltiples del kilogram es formen afegint els noms dels prefixos al nom de la unitat "gram" i símbols dels prefixos al símbol de la unitat "g" (vegeu l'apartat 3.2). Així 10^{-6} kg s'escriu mil·ligram, mg, i no pas microkilogram, μkg .

El metre per segon, símbol m/s, és la unitat coherent del Sistema Internacional de la velocitat. El kilòmetre per segon, km/s, el centímetre per segon, cm/s, i el mil·límetre per segon, mm/s, són també unitats del Sistema Internacional però no són unitats coherents del Sistema Internacional.

El conjunt de les unitats del Sistema Internacional inclou les unitats coherents i els múltiples i submúltiples d'aquestes unitats formades per combinació amb els prefixos del Sistema Internacional. S'anomena conjunt complet de les unitats del Sistema Internacional, o simplement unitats SI, o unitats de l'SI. Cal remarcar però que els múltiples i submúltiples decimals de les unitats del Sistema Internacional no formen pas un conjunt coherent.

1.5 Les unitats del Sistema Internacional en el marc de la relativitat general

Les definicions de les unitats de base del Sistema Internacional ha estat adoptades en un context que no té en compte els efectes de la relativitat. Si aquests es tenen en consideració, és clar que les definicions s'apliquen només en un petit àmbit espacial on comparteixen el moviment amb els patrons que les realitzen. Les unitats de base del Sistema Internacional són doncs unitats pròpies que es realitzen en experiments locals on els efectes de la relativitat que cal tenir en compte són els de la relativitat especial. Les constants de la física són magnituds locals el valor de les quals s'expressa en unitats pròpies.

Les realitzacions físiques de la definició d'una unitat es comparen generalment a nivell local. Tanmateix, pels patrons de freqüència, és possible efectuar aquestes comparacions a distància mitjançant senyals electromagnètics. Per interpretar els resultats, és necessària la teoria de la relativitat general perquè prediu, entre d'altres, un desplaçament de freqüència entre els patrons del voltant de 1×10^{-16} en valor relatiu per metre d'altitud sobre la superfície de la Terra. Els efectes d'aquest ordre de magnitud no poden ser ignorats quan es comparen els millors patrons de freqüència.

La qüestió de les unitats pròpies es tracta en la Resolució A4 adoptada per la vint-i-unena Assemblea general de la Unió Astronòmica Internacional el 1991 i en l'informe del Grup de treball del Comitè Consultiu per a la Definició del Segon sobre l'aplicació de la relativitat general a la metrologia (*Metrologia* 1997;34:261-90).

1.6 Les unitats de les magnituds que descriuen efectes biològics

Les unitats de les magnituds que descriuen efectes biològics són sovint difícils de relacionar amb les unitats del Sistema Internacional perquè inclouen habitualment factors de ponderació que no es poden conèixer o definir amb precisió, i que poden dependre tant de l'energia com de la freqüència. Aquestes unitats no pertanyen al Sistema Internacional i es descriuen breument en aquesta secció.

Les radiacions òptiques són susceptibles de produir modificacions químiques en la matèria viva o morta. Aquesta propietat s'anomena *actinisme* i les radiacions capaces de provocar aquests canvis són conegudes amb el nom de *radiacions actíniques*. Els resultats de mesura d'algunes magnituds fotoquímiques o fotobiològiques poden expressar-se mitjançant unitats del Sistema Internacional. Aquesta qüestió es discuteix breument en l'annex 3 d'aquest opuscle.

El so causa petites fluctuacions de pressió en l'aire que s'afegeixen a la pressió atmosfèrica normal i que l'oïda humana percep. La sensibilitat de l'oïda depèn de la freqüència sonora i no és una funció simple de l'amplitud de les variacions de la pressió i la freqüència. Conseqüentment, les magnituds ponderades en funció de la freqüència s'utilitzen en acústica per proporcionar una representació aproximada de la manera com el so és percebut. Aquestes magnituds són emprades, per exemple, en els estudis sobre la protecció contra el dany auditiu. Els efectes de les ones acústiques ultrasonores són una font de preocupacions similars en el diagnòstic mèdic i en l'àmbit terapèutic.

Les radiacions ionitzants aporten energia en la matèria irradiada. La relació entre l'energia dipositada i la massa s'anomena *dosi absorbida*. Dosis elevades de radiacions ionitzants provoquen la mort cel·lular. Això s'utilitza en la radioteràpia i es fan servir les funcions de ponderació biològiques adients per comparar els efectes terapèutics dels diferents tractaments. Les dosis baixes no mortals poden causar dany en els organismes vius, induint per exemple un càncer. Així els reglaments relacionats amb la radioteràpia es fonamenten en les funcions adients de ponderació dels riscos en relació a les dosis baixes.

Existeix una classe d'unitats que serveixen per quantificar l'activitat biològica de determinades substàncies emprades per al diagnòstic mèdic i la radioteràpia que no es poden encara definir en funció de les unitats del Sistema Internacional. En efecte, el mecanisme de l'efecte biològic específic que proporciona l'eficàcia mèdica a aquestes substàncies no es coneix encara suficientment per poder ser quantificat en funció de

paràmetres físics i químics. Degut a la seva importància en la salut i la seguretat humanes, l'Organització Mundial de la Salut ha assumit la responsabilitat de definir les unitats internacionals OMS per l'activitat biològica d'aquestes substàncies.

1.7 Legislació sobre les unitats

Els estats estableixen, per la via legislativa, les regles relacionades amb la utilització de les unitats a nivell nacional, tant pel seu ús general com en àmbits particulars com el comerç, la salut, la seguretat pública o l'ensenyament. En la majoria dels països, la legislació es fonamenta en el Sistema Internacional d'Unitats.

L'Organització Internacional de Metrologia Legal, creada el 1955, s'ocupa de l'harmonització internacional d'aquesta legislació.

1.8 Nota històrica

Els paràgrafs precedents d'aquest capítol han introduït amb brevetat com s'estableix un sistema d'unitats, en particular el Sistema Internacional. Aquesta nota relata succintament l'evolució històrica del Sistema Internacional.

La novena Conferència General de Pesos i Mesures (1948, Resolució 6, CR, 64) va encarregar al Comitè Internacional de Pesos i Mesures:

- estudiar l'establiment d'una reglamentació completa de les unitats de mesura.
- endegar a tal efecte una enquesta oficial sobre l'opinió dels mitjans científics, tècnics i pedagògics de tots els països.
- fer recomanacions per l'establiment d'un sistema pràctic d'unitats de mesura susceptible de ser adoptat per tots els països signants de la Convenció del Metre.

Aquesta mateixa Conferència General de Pesos i Mesures va adoptar també la Resolució 7 (CR, 70) que estableix els principis generals per a l'escriptura dels símbols de les unitats i va aportar una llista d'algunes unitats coherents amb un nom especial.

La desena Conferència General de Pesos i Mesures (1954, Resolució 6, CR, 80) i la catorzena (1971, Resolució 3, CR, 78 i *Metrologia* 1972;8:36) van adoptar com unitats de base d'aquest sistema les unitats de les set magnituds següents: longitud, massa, temps, corrent elèctric, temperatura termodinàmica, quantitat de substància i intensitat lluminosa.

L'onzena Conferència General de Pesos i Mesures (1960, Resolució 12, CR, 87) va adoptar el nom Sistema Internacional d'Unitats, amb l'abreviatura SI, per aquest sistema pràctic d'unitats i va establir les regles pels prefixos, les unitats derivades, les unitats suplementàries (desaparegudes des de llavors) i altres indicacions, constituint així una reglamentació conjunta per les unitats de mesura. En les reunions següents, la Conferència General de Pesos i Mesures i el Comitè Internacional de Pesos i Mesures han afegit i modificat, segons les necessitats, l'estructura original del Sistema Internacional, a fi de tenir en compte els progressos científics i les necessitats dels usuaris.

Les principals etapes històriques que van conduir a aquestes decisions importants de la Conferència General de Pesos i Mesures es resumeixen a continuació.

- La creació del sistema mètric decimal durant la Revolució Francesa i el dipòsit consegüent, el 22 de juny de 1799, de dos patrons en platí representant el metre i el kilogram als Arxius de la República a París, poden considerar-se com la primera etapa que ha portat al Sistema Internacional d'Unitats actual.
- El 1832 Gauss va treballar activament en favor de l'aplicació del sistema mètric,

associat al “segon”, definit en astronomia com un sistema coherent d’unitats per a les ciències físiques. Gauss va ser el primer en realitzar mesures absolutes del camp magnètic terrestre utilitzant un sistema decimal fonamentat en les tres unitats mecàniques, el mil·límetre, el gram i el segon, per les magnituds respectives de longitud, massa i temps. A continuació Gauss i Weber han ampliat aquestes mesures per incloure altres fenòmens elèctrics.

- Els anys 1860, Maxwell i Thomson van desenvolupar aquestes mesures en els camps de l’electricitat i el magnetisme en el marc de l’Associació Britànica per l’Avenç de la Ciència. Van formular les regles de formació d’un sistema coherent d’unitats format per unitats de base i unitats derivades. El 1874, l’Associació Britànica per l’Avenç de la Ciència va introduir el sistema CGS, un sistema d’unitats tridimensional coherent fonamentat en les tres unitats mecàniques centímetre, gram i segon, que utilitzava els prefixos des de micro fins a mega per expressar els submúltiples i els múltiples decimals. És gràcies en part a aquest sistema que va tenir lloc posteriorment el desenvolupament experimental de les ciències físiques.
- L’aplicació coherent del sistema CGS als camps de l’electricitat i el magnetisme va portar a l’elecció d’unitats poc pràctiques. L’Associació Britànica per al Avenç de la Ciència i el Congrés Internacional de l’Electricitat, que va precedir a la Comissió Electrotècnica Internacional, van aprovar els anys 1880 un sistema mútuament coherent d’unitats pràctiques. Entre elles hi havia l’ohm per la resistència elèctrica, el volt per la força electromotriu i l’ampere pel corrent elèctric.
- Després de la signatura de la Convenció del Metre, el 20 de maig de 1875, quan es va crear l’Oficina Internacional de Pesos i Mesures i establir el Comitè Internacional de Pesos i Mesures i la Conferència General de Pesos i Mesures, es van fabricar els nous prototips internacionals del metre i el kilogram, aprovats el 1889 per la primera Conferència General de Pesos i Mesures. Juntament amb el segon astronòmic com unitat de temps, aquestes unitats van constituir un sistema d’unitats mecàniques tridimensional similar al sistema CGS però les unitats de base del qual eren el metre, el kilogram i el segon (sistema MKS).
- El 1901, Giorgi va demostrar que era possible combinar les unitats mecàniques del sistema metre-kilogram-segon amb el sistema pràctic d’unitats elèctriques per formar un sol sistema coherent quadridimensional afegint a les tres unitats de base una quarta unitat, de tipus elèctric, com ara l’ampere o l’ohm, i racionalitzant les equacions emprades en l’electromagnetisme. La proposta de Giorgi va obrir el camí a nous desenvolupaments.
- Després de la revisió de la Convenció del Metre per la sisena Conferència General de Pesos i Mesures el 1921, la qual va ampliar les atribucions i les responsabilitats de l’Oficina Internacional de Pesos i Mesures a altres àmbits de la física, i la creació per la setena Conferència General de Pesos i Mesures del Comitè Consultiu de l’Electricitat el 1927, la proposta de Giorgi va ser discutida en detall per la Comissió Electrotècnica Internacional, la Unió Internacional de Física Pura i Aplicada i altres organismes internacionals. Aquestes discussions van portar al Comitè Consultiu de l’Electricitat a la proposta, el 1939, de l’adopció d’un sistema quadridimensional fonamentat en el metre, el kilogram, el segon i l’ampere (sistema MKSA), una proposta que va ser aprovada pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures el 1946.
- Després d’una enquesta internacional efectuada per l’Oficina Internacional de Pesos i Mesures a partir de 1948, la desena Conferència General de Pesos i Mesures, el 1954, va aprovar la introducció de l’ampere, el kelvin i la candela com unitats de base pel corrent elèctric, la temperatura termodinàmica i la intensitat lluminosa respectivament. L’onzena Conferència General de Pesos i Mesures va anomenar, el 1960, aquest sistema el Sistema Internacional d’Unitats. En la catorzena Conferència General de Pesos i Mesures, el 1971, després de llargues discussions entre els físics i els químics per trobar una definició capaç de satisfer les dues comunitats, es va afegir al sistema el mol com unitat de base per la quantitat de substància, sent set el nombre total d’unitats

de base del Sistema Internacional tal com el coneixem actualment.

2 Les unitats del Sistema Internacional

2.1 Les unitats de base

Les definicions oficials de totes les unitats de base del Sistema Internacional són aprovades per la Conferència General de Pesos i Mesures. La primera de les definicions va ser aprovada el 1889 i la més recent ho ha estat el 1983. Aquestes definicions es modifiquen periòdicament a mesura que la ciència avança.

2.1.1 Definicions

Les definicions actuals de les unitats de base, cadascuna extreta del volum de *Comptes rendus* (CR) de la Conferència General de Pesos i Mesures que l'ha aprovada, apareix aquí en sangria i en caràcters en negreta. Les explicacions que no formen part de la definició, extrems dels *Comptes rendus des séances de la Conférence générale des poids et mesures* [les actes de la Conferència General de Pesos i Mesures] o dels *Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesure* [les transcripcions de les discussions orals del Comitè Internacional de Pesos i Mesures], figuren també en sangria però en caràcters sense negreta. El text principal aporta notes històriques i explicacions però no forma part de les definicions.

Cal fer la distinció entre la definició d'una unitat i la realització d'aquesta definició. La definició de cada unitat de base del Sistema Internacional ha estat redactada curosament perquè resulti única i porti un fonament teòric sòlid que permeti efectuar les mesures amb la màxima exactitud i reproductibilitat. La realització de la definició d'una unitat és el procediment mitjançant el qual la definició pot utilitzar-se per establir el valor i la incertesa associada d'una magnitud del mateix tipus que la unitat. Una descripció il·lustrant com les definicions de certes unitats importants són realitzades en la pràctica es troba en el lloc web de l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures, a l'adreça:

[<www.bipm.org/fr/si/si_brochure/appendix2/>](http://www.bipm.org/fr/si/si_brochure/appendix2/)

Les unitats derivades coherents del Sistema Internacional es defineixen de manera única i exclusivament en funció de les unitats de base del Sistema Internacional. Per exemple, la unitat derivada coherent del Sistema Internacional de la resistència, l'ohm, símbol Ω , es defineix de manera única amb la relació $\Omega = \text{m}^2 \text{kg s}^{-3} \text{A}^{-2}$, que resulta de la definició de la magnitud resistència. Malgrat això, és possible utilitzar qualsevol mètode d'acord amb les lleis de la física per realitzar qualsevol de les unitats del Sistema Internacional. En la pràctica, la unitat ohm pot realitzar-se amb una gran exactitud mitjançant l'efecte Hall quàntic i el valor de la constant de von Klitzing recomanat pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures (vegeu la pàgina 74 i 78 a l'annex 1).

Finalment cal reconèixer que malgrat que les set magnituds de base (la longitud, la massa, el temps, el corrent elèctric, la temperatura termodinàmica, la quantitat de substància i la intensitat lluminosa) es consideren independents per convenció, les unitats de base (el metre, el kilogram, el segon, l'ampere, el kelvin, el mol i la candela) no ho són. Així, la definició del metre inclou el segon, la definició de l'ampere incorpora el metre, el kilogram i el segon. La definició de mol inclou el kilogram i la definició de candela, el metre, el kilogram i el segon.

2.1.1.1 Unitat de longitud (metre)

La definició del metre fonamentada en el prototip internacional de platí irídic, en vigor des de 1889 va ser substituïda en l'onzena Conferència General de Pesos i Mesures (1960) per una definició basada en la longitud d'ona d'una radiació de criptó 86, a fi de millorar

l'exactitud de la realització de la definició. Aquesta realització s'efectuava mitjançant un interferòmetre i un microscopi mòbil per mesurar la variació dels trajectes òptics per recompte de franges. La dissetena Conferència General de Pesos i Mesures (1983, Resolució 1, CR, 97 i *Metrologia* 1984;20:25) va substituir, el 1983, aquesta definició per la definició actual:

El metre és la longitud del trajecte recorregut en el buit per la llum en un temps de 1/299 792 458 segons.

Com a conseqüència, la velocitat de la llum en el buit és igual a 299 792 458 metres per segon exactament, $c_0 = 299\,792\,458$ m/s.

El símbol c_0 (o de vegades simplement c) és el símbol convencional per la velocitat de la llum en el buit.

El prototip internacional del metre original, que va ser aprovat per la primera Conferència General de Pesos i Mesures el 1889 (CR, 34-38) es conserva a l'Oficina General de Pesos i Mesures en les condicions establertes aquell mateix any.

2.1.1.2 Unitat de massa (kilogram)

El prototip internacional del kilogram, un objecte fabricat especialment en platí irídic, es conserva a l'Oficina General de Pesos i Mesures en les condicions establertes per la primera Conferència General de Pesos i Mesures el 1889 (CR, 34-38) quan es va aprovar aquest prototip i declarar:

Aquest prototip serà considerat d'ara en endavant com la unitat de massa.

La tercera Conferència General de Pesos i Mesures (1901, CR, 70) en una declaració que tendia a eliminar l'ambigüitat que existia en l'ús habitual del terme "pes" va confirmar que:

El kilogram és la unitat de massa i és igual a la massa del prototip internacional del kilogram.

La declaració completa figura a la pàgina 50.

Com a conseqüència, la massa del prototip internacional del kilogram és sempre igual a un kilogram exactament, $m(K) = 1$ kg. Malgrat tot, degut a l'acumulació inevitable de partícules en les superfícies, el prototip internacional està sotmès a una contaminació reversible superficial del voltant d'1 µg de massa per any. Per aquesta raó, el Comitè Internacional de Pesos i Mesures ha declarat que, fins a no tenir una informació més àmplia, la massa de referència del prototip internacional és aquella immediatament després de la neteja i rentat segons un mètode específic (PV 1989;57:15-6 i PV 1990;58:10-2). La massa de referència així definida és utilitzada per calibrar els patrons nacionals en platí irídic (*Metrologia* 1994;31:317-36).

El símbol $m(K)$ és emprat per designar la massa del prototip internacional del kilogram, K .

2.1.1.3 Unitat de temps (segon)

El segon, la unitat de temps, va ser definit originalment com la fracció 1/86 400 del dia solar mig. La definició exacta del "dia solar mig" es deixava als astrònoms. Malgrat això, les observacions han demostrat que aquesta definició no era satisfactòria degut a les rotacions irregulars de la Terra. Per aconseguir més precisió en la definició de la unitat de temps, l'onzena Conferència General de Pesos i Mesures (1960, Resolució 9, CR, 86) va aprovar una definició, aportada per la Unió Astronòmica Internacional, que es basava en l'any tròpic 1900. No obstant, les investigacions experimentals havien ja demostrat que un patró atòmic de temps, basat en una transició entre dos nivells d'energia d'un àtom o una molècula, podia realitzar-se i reproduir-se amb una exactitud molt més gran. Considerant que era indispensable per a la ciència i la tecnologia una definició d'una precisió molt alta de la unitat de temps del Sistema Internacional, la tretzena Conferència General de Pesos i

Mesures (1967/68, Resolució 1, CR, 103 i *Metrologia* 1968;4:43) va substituir la definició del segon per la següent:

El segon és la durada de 9 192 631 770 períodes de la radiació corresponent a la transició entre dos nivells hiperfins de l'estat fonamental de l'àtom de cesi 133.

En conseqüència, la freqüència de la transició hiperfina de l'estat fonamental de l'àtom de cesi és igual a 9 192 631 770 hertz exactament, $\nu(\text{hfs Cs}) = 9\,192\,631\,770 \text{ Hz}$.

El símbol $\nu(\text{hfs Cs})$ és utilitzat per designar la freqüència de la transició hiperfina de l'àtom de cesi en l'estat fonamental.

En la sessió de 1997, el Comitè Internacional de Pesos i Mesures va confirmar que:

Aquesta definició es refereix a un àtom de cesi en repòs, a una temperatura de 0 K.

Aquesta nota té com a objecte precisar que la definició del segon del Sistema Internacional es basa en un àtom de cesi no pertorbat per les radiacions del cos negre, és a dir, en un entorn mantingut a una temperatura termodinàmica de 0 K. Les freqüències de tots els patrons primaris de freqüència han de corregir-se a fi de tenir en compte el desplaçament degut a la radiació ambiental, tal com va precisar el Comitè Consultiu del Temps i les Freqüències el 1999.

2.1.1.4 Unitat de corrent elèctric (ampere)

Les unitats elèctriques, dites "internacionals", de corrent i resistència van ser introduïdes pel Congrés Internacional de l'Electricitat, celebrat a Xicago el 1893, i les definicions d'ampere "internacional" i ohm "internacional" van ser confirmades per la Conferència internacional de Londres el 1908.

Encara que ja s'havia manifestat una opinió unànime a favor de substituir aquestes unitats "internacionals" per les anomenades unitats "absolutes" durant l'octava Conferència General de Pesos i Mesures del 1933, la decisió oficial de suprimir les unitats "internacionals" es va prendre a la novena Conferència General de Pesos i Mesures el 1948, on es va adoptar l'ampere com a unitat de corrent elèctric d'acord amb la següent definició proposada pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures (1946, Resolució 2; PV 1946;20:129-37):

L'ampere és la intensitat d'un corrent constant que, mantingut en dos conductors paral·lels, rectilinis, de longitud infinita, de secció circular negligible i col·locats a una distància d'un metre l'un de l'altre, en el buit, produiria entre aquests conductors una força igual a 2×10^{-7} newtons per metre de longitud.

Com a conseqüència, la constant magnètica, també coneguda amb el nom de permeabilitat del buit, és exactament igual a $4\pi \times 10^{-7}$ henrys per metre, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$.

L'expressió "unitat MKS de força" que figura en el text original de 1946 a estat substituïda aquí per "newton", nom adoptat per aquesta unitat per la novena Conferència General de Pesos i Mesures (1948, Resolució 7; CR, 70).

2.1.1.5 Unitat de temperatura termodinàmica (kelvin)

La definició de la unitat de la temperatura termodinàmica va ser establerta en la desena Conferència General de Pesos i Mesures (1954, Resolució 3; CR, 79) que va escollir el punt triple de l'aigua com punt fix fonamental, assignant-li la temperatura de 273,16 K per definició. La tretzena Conferència General de Pesos i Mesures (1967/68, Resolució 3; CR, 104 i *Metrologia* 1968;4:43) va adoptar el nom "kelvin", símbol K, en lloc de "grau

Kelvin”, símbol °K, i va definir la unitat de la temperatura termodinàmica de la forma següent (1967/68, Resolució 4; CR, 104 i *Metrologia* 1968;4:43):

El kelvin, la unitat de temperatura termodinàmica, és la fracció 1/273,16 de la temperatura termodinàmica del punt triple de l'aigua.

Se'n dedueix que la temperatura termodinàmica del punt triple de l'aigua és igual a 273,16 kelvins exactament, $T_{\text{tpw}} = 273,16 \text{ K}$.

El símbol T_{tpw} s'utilitza per designar la temperatura termodinàmica del punt triple de l'aigua.

En la seva sessió de 2005, el Comitè Internacional de Pesos i Mesures va afirmar que:

Aquesta definició es refereix a l'aigua d'una composició isotòpica definida per les següents relacions de quantitat de substància: 0,000 155 76 mols de ^2H per mol de ^1H , 0,000 379 9 mols de ^{17}O per mol de ^{16}O i 0,002 005 2 mols de ^{18}O per mol de ^{16}O .

Degut a la manera com es definien habitualment les escales de temperatura, es va seguir expressant la temperatura termodinàmica, símbol T , en funció de la seva diferència en relació a la temperatura de referència $T_0 = 273,15 \text{ K}$, el punt de congelació de l'aigua. Aquesta diferència de temperatura s'anomena temperatura Celsius, símbol t , i es defineix mitjançant l'equació entre magnituds:

$$t = T - T_0$$

La unitat de temperatura Celsius és el grau Celsius, símbol °C, igual a la unitat kelvin per definició. Una diferència o un interval de temperatura pot expressar-se tan en kelvins com en graus Celsius (tretzena Conferència General de Pesos i Mesures, 1967/68, Resolució 3, esmentada anteriorment), sent el mateix el valor numèric de la diferència de temperatures. Malgrat això, el valor numèric de la temperatura Celsius expressat en graus Celsius està lligat al valor numèric de la temperatura termodinàmica expressada en kelvins per la relació següent:

$$t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273,15$$

El kelvin i el grau Celsius són també les unitats de l'escala internacional de la temperatura de 1990 (EIT-90) adoptada pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures el 1989 en la seva Recomanació 5 (CI-1989; PV 1989;57:26 i *Metrologia* 1990;27:13).

2.1.1.6 Unitat de quantitat de substància (mol)

Després del descobriment de les lleis fonamentals de la química, hom va emprar, per especificar les quantitats de diversos elements i compostos químics, les unitats anomenades per exemple “àtom-gram” i “molècula-gram”. Aquestes unitats estaven relacionades directament amb els “pesos atòmics” i els “pesos moleculars” que eren en realitat masses relatives. Els “pesos atòmics” es van referir a l'inici al pes atòmic de l'element químic oxigen, per convenció igual a 16. Però, quan els físics van separar els isòtops amb l'espectròmetre de masses i assignaren el valor 16 a un dels isòtops de l'oxigen, els químics van assignar el mateix valor a la mescla (de composició lleugerament variable) d'isòtops 16, 17 i 18 que constitueixen l'element oxigen natural. Un acord entre la Unió Internacional de Física Pura i Aplicada i la Unió Internacional de Química Pura i Aplicada va posar fi a aquesta dualitat el 1959/60. D'ençà, els físics i els químics han convingut en atribuir el valor 12, exactament, al “pes atòmic” de l'isòtop 12 del carboni (carboni 12, ^{12}C), o més correctament a la massa atòmica relativa $A_r(^{12}\text{C})$. L'escala unificada obtinguda així, proporciona els valors de les masses atòmiques i moleculars relatives, també conegudes amb el nom de pesos atòmics i moleculars respectivament.

La magnitud emprada pels químics per especificar la quantitat d'elements o de compostos químics s'anomena actualment quantitat de substància. La quantitat de substància es defineix com proporcional al nombre d'entitats elementals d'una mostra, sent la constant

El símbol recomanat per a la massa atòmica relativa (pes atòmic) és $A_r(X)$, sent necessari

de proporcionalitat una constant universal idèntica per a totes les mostres. La unitat de quantitat de substància s'anomena el mol, símbol mol, i es defineix fixant la massa de carboni 12 que constitueix un mol d'àtoms de carboni 12. Per acord internacional aquesta massa ha estat fixada en 0,012 kg, és a dir 12 g.

precisar l'entitat atòmica X, i el símbol recomanat per a la massa molecular relativa (pes molecular) és $M_r(X)$, on cal precisar l'entitat molecular X.

Seguint les propostes de la Unió Internacional de Física Pura i Aplicada, de la Unió Internacional de Química Pura i Aplicada i de l'Organització Internacional de Normalització, el Comitè Internacional de Pesos i Mesures va proporcionar el 1967, i ratificar el 1969, una definició del mol que va ser adoptada per la catorzena Conferència General de Pesos i Mesures (1971, Resolució 3, CR, 78 i *Metrologia* 1972;8:36):

- 1. El mol és la quantitat de substància d'un sistema que conté igual nombre d'entitats elementals com àtoms hi ha en 0,012 kilograms de carboni 12; el seu símbol és "mol".**
- 2. Quan s'utilitza el mol, cal especificar les entitats elementals, que poden ser àtoms, molècules, ions, electrons, i altres partícules o grups especificats d'aquestes partícules.**

La massa molar d'un àtom o d'una molècula X es designa per $M(X)$ o M_x i és la massa d'un mol de X.

Així doncs, la massa molar del carboni 12 és igual a 0,012 kilograms per mol exactament, $M(^{12}\text{C}) = 12 \text{ g/mol}$.

El 1980, el Comitè Internacional de Pesos i Mesures va aprovar l'informe del Comitè Consultiu de les Unitats (1980) que precisava:

Quan s'esmenta la definició del mol, convé també adjuntar aquesta observació.

Aquesta definició es refereix a àtoms de carboni 12 no lligats, en repòs i en el seu estat fonamental.

La definició del mol permet també determinar el valor de la constant universal que relaciona el nombre d'entitats a la quantitat de substància d'una mostra. Aquesta constant s'anomena constant d'Avogadro, símbol N_A o L . Si $N(X)$ designa el nombre d'entitats X d'una mostra determinada, i si $n(X)$ designa la quantitat de substància d'entitats X de la mateixa mostra, s'obté la relació:

$$n(X) = N(X)/N_A$$

Cal observar que atès que $N(X)$ no té dimensió, i que $n(X)$ s'expressa per la unitat internacional mol, la constant d'Avogadro té per unitat internacional el mol elevat a la potència menys u.

En el nom de quantitat de substància, els mots "de substància" podrien simplement substituir-se per altres mots precisant la substància per cada aplicació en particular. Així per exemple, es podria parlar de quantitat d'àcid clorhídric, ClH, o de quantitat de benzè, C_6H_6 . És important sempre precisar l'entitat (com ho emfatitza la segona frase de la definició del mol), preferentment indicant la fórmula química empírica del material en qüestió. Encara que el mot quantitat tingui una definició més general en els diccionaris, aquesta abreviació del nom complet "quantitat de substància" s'utilitza en ocasions per raons de brevetat. Això també s'aplica a les magnituds derivades com la "concentració de quantitat de substància", la qual pot simplement anomenar-se "concentració de quantitat". Malgrat això, en el camp de la química clínic, el nom "concentració de quantitat de substància" generalment s'abreua en "concentració de substància".

2.1.1.7 Unitat d'intensitat lluminosa (candela)

Les unitats d'intensitat lluminosa fonamentades en patrons de flama o filaments incandescents que s'utilitzaven en diversos països abans de 1948, van ser substituïts en primer lloc per la "candela nova" basada en la luminància de l'emissor de Plank (cos negre) a la temperatura de congelació del platí. Aquesta modificació havia estat preparada abans del 1937 per la Comissió Internacional de la Il·luminació i pel Comitè Internacional

de Pesos i Mesures. Aquest va prendre la decisió el 1946. Va ser ratificada el 1948 per la novena Conferència General de Pesos i Mesures que va adoptar per a aquesta unitat un nom internacional nou, la candela, símbol cd. El 1967, la tretzena Conferència General de Pesos i Mesures (Resolució 5, CR, 104 i *Metrologia* 1968;4:43-4) va aportar una modificació a la definició de 1948.

El 1979, degut a les dificultats experimentals per realitzar un emissor de Plank a temperatures elevades i a les noves possibilitats ofertes per la radiometria, és a dir, la mesura de la potència de la radiació òptica, la setzena Conferència General de Pesos i Mesures (1979, Resolució 3, CR, 10 i *Metrologia* 1980;16:56) va adoptar una nova definició de candela:

La candela és la intensitat lluminosa, en una determinada direcció, d'una font que emet una radiació monocromàtica de freqüència 540×10^{12} hertz i la intensitat radiant de la qual en l'esmentada direcció és 1/683 watt per estereoradiant.

Se'n dedueix que l'eficàcia lluminosa espectral d'una radiació monocromàtica de freqüència 540×10^{12} hertz és igual a 683 lumens per watt exactament, $K = 683 \text{ lm/W} = 683 \text{ cd sr/W}$.

2.1.2 Símbols de les set unitats de base

Les unitats de base del Sistema Internacional es recullen en la taula 1 que relaciona les magnituds de base amb els noms i símbols de les set unitats de base (desena Conferència General de Pesos i Mesures (1954, Resolució 6, CR, 80); onzena Conferència General de Pesos i Mesures (1960, Resolució 12, CR, 87); tretzena Conferència General de Pesos i Mesures (1967/68, Resolució 3, CR, 104 i *Metrologia* 1968;4:43); catorzena Conferència General de Pesos i Mesures (1971, Resolució 3, CR, 78 i *Metrologia* 1972;8:36)).

Taula 1. Unitats de base del Sistema Internacional

Magnitud de base		Unitat de base del Sistema Internacional		Els símbols indicats per les magnituds són generalment lletres soles de l'alfabet grec o llatí, en cursiva. Es tracta de recomanacions. La utilització dels símbols indicats per les unitats és obligatòria, vegeu el capítol 5.
Nom	Símbol	Nom	Símbol	
longitud	<i>l, x, r, etc.</i>	metre	m	
massa	<i>m</i>	kilogram	kg	
temps, durada	<i>t</i>	segon	s	
corrent elèctric	<i>I, i</i>	ampere	A	
temperatura termodinàmica	<i>T</i>	kelvin	K	
quantitat de substància	<i>n</i>	mol	mol	
intensitat lluminosa	<i>I_v</i>	candela	cd	

2.2 Unitats derivades

Les unitats derivades es formen a partir de productes de potències de les unitats de base. Les unitats derivades coherents són productes de potències de les unitats de base en els quals tan sols intervé el factor numèric u. Les unitats de base i les unitats derivades coherents del Sistema Internacional formen un conjunt coherent, denominat el conjunt d'unitats coherents del Sistema Internacional (vegeu l'apartat 1.4).

2.2.1 Unitats derivades expressades a partir de les unitats de base

El nombre de les magnituds emprades en el camp científic no té límit. No és possible doncs establir un llistat complet de les magnituds i les unitats derivades. La taula 2 presenta alguns d'exemples de magnituds derivades, amb les unitats derivades coherents corresponents expressades directament en funció de les unitats de base.

Taula 2. Exemples d'unitats derivades coherents del Sistema Internacional expressades a partir de les unitats de base

Magnitud derivada		Unitat coherent del Sistema Internacional	
Nom	Símbol	Nom	Símbol
superfície	A	metre quadrat	m^2
volum	V	metre cúbic	m^3
velocitat	v	metre per segon	m/s
acceleració	a	metre per segon quadrat	m/s^2
nombre d'ones	σ, \tilde{U}	metre a la potència menys u	m^{-1}
massa en volum	ρ	kilogram per metre cúbic	kg/m^3
massa en superfície	ρ_A	kilogram per metre quadrat	kg/m^2
volum específic	v	metre cúbic per kilogram	m^3/kg
densitat de corrent	j	ampere per metre quadrat	A/m^2
camp magnètic	H	ampere per metre	A/m
concentració de quantitat de substància ^(a) , concentració	c	mol per metre cúbic	mol/m^3
concentració màssica	ρ, γ	kilogram per metre cúbic	kg/m^3
luminància	L_v	candela per metre quadrat	cd/m^2
índex de refracció ^(b)	n	u	1
permeabilitat relativa ^(b)	μ_r	u	1

^(a) En el camp de la química clínica, aquesta magnitud també s'anomena concentració de substància.

^(b) Són magnituds adimensionals, o magnituds de dimensió u. El símbol "1" de la unitat (el nombre 1) no acostuma a esmentar-se quan s'indica el valor de les magnituds adimensionals.

2.2.2 Unitats amb noms i símbols especials; unitats que incorporen noms i símbols especials

Per conveniència, algunes unitats derivades coherents tenen un nom i símbol especial. Són una vintena i es recullen a la taula 3. Aquests noms i símbols especials poden utilitzar-se amb els noms i símbols d'altres unitats de base o derivades per expressar les unitats d'altres magnituds derivades. Es detallen alguns exemples a la taula 4. Els noms i símbols especials permeten expressar, de forma compacta, les combinacions d'unitats de base freqüentment emprades, però també serveixen per recordar al lector les magnituds en qüestió. Els prefixos del Sistema Internacional poden emprar-se amb qualsevol nom i símbol especial, però la unitat que en resulta no és una unitat coherent.

Cal destacar els quatre últims noms i símbols de la taula 3 perquè van ser específicament aprovats per la quinzena Conferència General de Pesos i Mesures (1975, Resolució 8 i 9, CR, 105 i *Metrologia* 1975;11:180), la setzena Conferència General de Pesos i Mesures (1979, Resolució 5, CR, 100 i *Metrologia* 1980;16:56) i la vint-i-unena Conferència General de Pesos i Mesures (1999, Resolució 12, CR, 145 i *Metrologia* 2000;37:95) per evitar errors en les mesures relacionades amb la salut humana.

En la última columna de les taules tres i quatre s'expressen les unitats del Sistema Internacional esmentades en funció de les unitats de base. En aquesta columna no es mostren explícitament els factors com ara m^0 , kg^0 , etc, considerats com igual a u.

Taula 3. Unitats derivades coherents del Sistema Internacional amb noms i símbols especials

Magnitud derivada	Unitat derivada coherent del Sistema Internacional ^(a)			
	Nom	Símbol	Expressió emprant altres unitats SI	Expressió en unitats SI de base
angle pla	radiant ^(b)	rad	I ^(b)	m/m
angle sòlid	estereoradiant ^(b)	sr ^(c)	I ^(b)	m ² /m ²
freqüència	hertz ^(d)	Hz		s ⁻¹
força	newton	N		m kg s ⁻²
pressió, esforç	pascal	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
energia, treball, calor	joule	J	N m	m ² kg s ⁻²
potència, flux radiant	watt	W	J/s	m ² kg s ⁻³
càrrega elèctrica, quantitat d'electricitat	coulomb	C		s A
diferència de potencial elèctric, força electromotriu	volt	V	W/A	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
capacitat elèctrica	farad	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
resistència elèctrica	ohm	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
conductància elèctrica	siemens	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
flux magnètic	weber	Wb	V s	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
densitat de flux magnètic	tesla	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
inductància	henry	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
temperatura Celsius	grau Celsius ^(e)	°C		K
flux lluminós	lumen	lm	cd sr ^(c)	cd
il·luminància	lux	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
activitat d'un radionúclid ^(f)	becquerel ^(d)	Bq		
dosi absorbida, energia massica (comunicada), kerma	gray	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
dosi equivalent ambiental, dosi equivalent direccional, dosi equivalent individual	sievert ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
activitat catalítica	katal	kat		s ⁻¹ mol

- (a) Els prefixos del Sistema Internacional poden utilitzar-se amb qualsevol nom i símbol especial però la unitat que en resulta no és una unitat coherent.
- (b) El radiat i l'estereoradiant són noms especials del nombre u que poden ser utilitzats per donar informació sobre la magnitud que afecten. En la pràctica, els símbols rad i sr s'utilitzen quan és adient, mentre que el símbol de la unitat derivada "u" no s'esmenta habitualment quan es donen valors de magnituds adimensionals.
- (c) En fotometria es manté habitualment el nom estereoradiant i el símbol, sr, en l'expressió de les unitats.
- (d) L'hertz només s'utilitza per als fenòmens periòdics i el becquerel pels processos estocàstics relacionats amb la mesura de l'activitat d'un radionúclid.
- (e) El grau Celsius és el nom especial del kelvin emprat per expressar les temperatures Celsius. El grau Celsius i el kelvin tenen el mateix tamany, per la qual cosa el valor numèric d'una diferència de temperatura o d'un interval de temperatura és idèntic quan s'expressa en graus Celsius o en kelvins.
- (f) L'activitat d'un radionúclid de vegades s'anomena de manera incorrecta radioactivitat.

(g) Vegeu la Recomanació 2 (CI-2002) del Comitè Internacional de Pesos i Mesures (pàgina 80) sobre la utilització del sievert (PV 2002;78:102).

Taula 4. Exemples d'unitats derivades coherents del Sistema Internacional els noms i símbols de les quals contenen unitats derivades coherents del Sistema Internacional amb noms i símbols especials

Magnitud derivada	Unitat derivada coherent del Sistema Internacional		
	Nom	Símbol	Expressió en unitats SI de base
viscositat dinàmica	pascal segon	Pa s	$m^{-1} kg s^{-1}$
moment d'una força	newton metre	N m	$m^2 kg s^{-2}$
tensió superficial	newton per metre	N/m	$kg s^{-2}$
velocitat angular	radiant per segon	rad/s	$m m^{-1} s^{-1} = s^{-1}$
acceleració angular	radiant per segon quadrat	rad/s ²	$m m^{-1} s^{-2} = s^{-2}$
densitat superficial de flux tèrmic, irradiància	watt per metre quadrat	W/m ²	$kg s^{-3}$
capacitat calorífica, entropia	joule per kelvin	J/K	$m^2 kg s^{-2} K^{-1}$
capacitat calorífica màssica, entropia màssica	joule per kilogram kelvin	J/(kg K)	$m^2 s^{-2} K^{-1}$
energia màssica	joule per kilogram	J/kg	$m^2 s^{-2}$
conductivitat tèrmica	watt per metre kelvin	W/(m K)	$m kg s^{-3} K^{-1}$
densitat d'energia	joule per metre cúbic	J/m ³	$m^{-1} kg s^{-2}$
camp elèctric	volt per metre	V/m	$m kg s^{-3} A^{-1}$
densitat de càrrega elèctrica	coulomb per metre cúbic	C/m ³	$m^{-3} s A$
densitat superficial de càrrega elèctrica	coulomb per metre quadrat	C/m ²	$m^{-2} s A$
densitat de flux elèctric, desplaçament elèctric	coulomb per metre quadrat	C/m ²	$m^{-2} s A$
permitivitat	farad per metre	F/m	$m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2$
permeabilitat	henry per metre	H/m	$m kg s^{-2} A^{-2}$
energia molar	joule per mol	J/mol	$m^2 kg s^{-2} mol^{-1}$
entropia molar, capacitat calorífica molar	joule per mol kelvin	J/(mol K)	$m^2 kg s^{-2} K^{-1} mol^{-1}$
exposició (raigs x i γ)	coulomb per kilogram	C/kg	$kg^{-1} s A$
taxa de dosi absorbida	gray per segon	Gy/s	$m^2 s^{-3}$
intensitat radiant	watt per estereoradiant	W/sr	$m^4 m^{-2} kg s^{-3} = m^2 kg s^{-3}$
radiància	watt per metre quadrat estereoradiant	W/(m ² sr)	$m^2 m^{-2} kg s^{-3} = kg s^{-3}$
concentració de l'activitat catalítica	katal per metre cúbic	kat/m ³	$m^{-3} s^{-1} mol$

Els valors de diverses magnituds diferents poden expressar-se mitjançant el mateix nom i símbol d'unitat del Sistema Internacional. Així el joule per kelvin és el nom de la unitat del Sistema Internacional per la magnitud capacitat calorífica i també per la magnitud entropia. Igualment, l'ampere és el nom de la unitat del Sistema Internacional per la magnitud de base corrent elèctric i per la magnitud derivada força magnetomotriu. Per tant, no és suficient, i això és important, indicar el nom de la unitat per especificar la magnitud mesurada. Aquesta regla s'aplica no solament als textos científics i tècnics sinó també, per exemple, als instruments de mesura (és a dir, han de portar no sols la indicació de la unitat sinó també de la magnitud mesurada).

Una unitat derivada pot sovint expressar-se de diverses formes mitjançant les unitats de base i les unitats derivades amb noms especials: el joule per exemple, pot escriure's newton per metre, o bé kilogram metre quadrat per segon quadrat. Aquesta llibertat algebàrica queda però limitada per consideracions físiques de sentit comú i, segons les

circumstàncies, determinades formes poden resultar més útils que d'altres.

En la pràctica, a fi de reduir el risc de confusió entre les magnituds diferents que tenen la mateixa dimensió, hom expressa la unitat emprant preferentment un nom especial o una combinació particular de noms d'unitats, tot recordant com es defineix la magnitud. Per exemple, la magnitud moment d'una força es pot considerar com el resultat del producte vectorial d'una força per una distància, la qual cosa suggereix emprar la unitat newton metre. També pot considerar-se com representant una energia per unitat d'angle, suggerint la utilització de la unitat joule per radiant. La unitat del Sistema Internacional de la freqüència s'anomena hertz (un cicle per segon), la unitat del Sistema Internacional de la velocitat angular és el radiant per segon i la unitat del Sistema Internacional d'activitat és el becquerel (un compte per segon). Encara que seria correcte escriure aquestes tres unitats com a segon a la potència menys u, l'ús de noms diferents serveix per subratllar la naturalesa diferent de les magnituds considerades. El fet d'utilitzar la unitat radiant per segon per expressar la velocitat angular, i l'hertz per a la freqüència, indica també que el valor numèric de la freqüència en hertz ha de ser multiplicat per 2π per obtenir el valor numèric de la velocitat angular corresponent en radians per segon.

En el camp de les radiacions ionitzants, la unitat del Sistema Internacional d'activitat és el becquerel en lloc del segon elevat a la potència menys u, i les unitats del Sistema Internacional de dosi absorbida i dosi equivalent, el gray i el sievert respectivament, s'utilitzen en lloc del joule per kilogram. Els noms especials becquerel, gray i sievert, s'han introduït especialment atenent els perills per a la salut humana que podrien causar els errors en cas de malentès de les unitats segon a la potència menys u i joule per kilogram en la identificació de les magnituds.

La Conferència General de Pesos i Mesures, reconeixent la importància de les unitats en l'àmbit de la salut, va adoptar un text especial pel sievert en la cinquena edició de l'opuscle del Sistema Internacional, Recomanació 1 (CI-1984), adoptada pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures (PV 1984;52:31 i *Metrologia* 1985;21:90), i Recomanació 2 (CI-2002), adoptada pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures (PV 2002;70:102); vegeu les pàgines 72 i 80 respectivament.

2.2.3 Unitats de les magnituds adimensionals, o també anomenades de dimensió u

Algunes magnituds es defineixen pel quocient de dues magnituds de la mateixa naturalesa i són per tant adimensionals o la seva dimensió pot expressar-se mitjançant el nombre u. La unitat coherent del Sistema Internacional de totes les magnituds adimensionals, o magnituds de dimensió u, és el nombre u, perquè aquesta unitat és el quocient entre dues unitats idèntiques del Sistema Internacional. El valor d'aquestes magnituds s'expressa per nombres i la unitat u no s'esmenta explícitament. Són exemples d'aquestes magnituds, l'índex de refracció, la permeabilitat relativa o el coeficient de fregament. Altres magnituds es defineixen com un producte complex i adimensional de magnituds habituals. Per exemple, entre els "nombres característics" es pot esmentar el nombre de Reynolds $Re = \rho v l / \eta$, on ρ és la massa en volum, η la viscositat dinàmica, v la velocitat i l la longitud. En tots aquests casos, la unitat pot considerar-se el nombre u, unitat derivada adimensional.

Una altra classe de magnituds adimensionals és la dels nombres que serveixen per indicar un recompte, com el nombre de molècules, la degeneració (nombre de nivells d'energia) o la funció de partició en termodinàmica estadística (nombre d'estats tèrmics accessibles). Totes aquestes magnituds de recomptes es consideren adimensionals, o de dimensió u, i tenen u com unitat del Sistema Internacional, fins i tot quan la unitat de les magnituds que

es compten no es pot descriure com una unitat derivada expressable en unitats de base del Sistema Internacional. Per a aquestes magnituds, la unitat u podria considerar-se com una unitat de base.

En alguns casos, tanmateix, s'assigna un nom especial a aquesta unitat, a fi de facilitar la identificació de la magnitud en qüestió. Aquests és el cas del radiant i de l'estereoradiant. La Conferència General de Pesos i Mesures ha atorgat un nom especial a la unitat derivada coherent u per expressar els valors de l'angle pla i de l'angle sòlid, respectivament, el radiant i l'estereoradiant, i en conseqüència figuren a la taula 3.

3 Múltiples i submúltiples decimals de les unitats del Sistema Internacional

3.1 Prefixos del Sistema Internacional

La onzena Conferència General de Pesos i Mesures (1960, Resolució 12; CR, 87) va adoptar una sèrie de noms de prefixos i símbols per formar els noms i símbols dels múltiples i submúltiples decimals de les unitats del Sistema Internacional de 10^{12} a 10^{-12} . Els prefixos per 10^{-15} i 10^{-18} van ser afegits per la dotzena Conferència General de Pesos i Mesures (1964, Resolució 8; CR, 94), els prefixos per 10^{15} i 10^{18} per la quinzena Conferència General de Pesos i Mesures (1975, Resolució 10; CR, 106 i *Metrologia* 1975;11:180-1) i els prefixos per 10^{21} , 10^{24} , 10^{-21} i 10^{-24} per la dinovena Conferència General de Pesos i Mesures (1991, Resolució 4; CR, 97 i *Metrologia* 1992;29:3). Els prefixos i símbols que han estat adoptats s'enumeren a la taula 5.

Els prefixos del Sistema Internacional representen estrictament potències de 10. No han de ser utilitzats per representar potències de 2 (per exemple, un kilobit representa 1000 bits i no 1024 bits). Els prefixos adoptats per la Comissió Electrotècnica Internacional per les potències binàries estan publicats en la norma internacional CEI 60027-2: 2005, tercera edició, *Símbols literals per utilitzar en electrotècnica – Part 2:*

Taula 5. Prefixos del Sistema Internacional

Factor	Nom	Símbol	Factor	Nom	Símbol
10^1	deca	da	10^{-1}	deci	d
10^2	hecto	h	10^{-2}	centi	c
10^3	kilo	k	10^{-3}	mili	m
10^6	mega	M	10^{-6}	micro	μ
10^9	giga	G	10^{-9}	nano	n
10^{12}	tera	T	10^{-12}	pico	p
10^{15}	peta	P	10^{-15}	femto	f
10^{18}	exa	E	10^{-18}	atto	a
10^{21}	zetta	Z	10^{-21}	zepto	z
10^{24}	yotta	Y	10^{-24}	yocto	y

Telecomunicacions i electrònica. Els noms i símbols dels prefixos corresponents a 2^{10} , 2^{20} , 2^{30} , 2^{40} , 2^{50} i 2^{60} són respectivament: kibi, Ki; mebi, Mi; gibi, Gi; tebi, Ti; pebi, Pi i exbi, Ei. Així per exemple, un kibibyte s'escriu 1 KiB = 210 B = 1024 B on B designa el byte. Malgrat que aquests prefixos no pertanyen al Sistema Internacional, han de ser emprats en l'àmbit de l'informàtica a fi d'evitar un ús incorrecte dels prefixos del Sistema Internacional.

Els símbols dels prefixos s'escriuen en caràcters romans (rectes), com els símbols de les unitats, sigui quin sigui el tipus de lletra de la resta del text. S'uneixen als símbols de les unitats sense deixar espai entre el símbol del prefix i el de la unitat. Amb l'excepció de da (deca), h (hecto) i k (kilo), tots els símbols dels prefixos dels múltiples s'escriuen en majúscules, i tots els símbols dels prefixos dels submúltiples en minúscules. Tots els noms dels prefixos s'escriuen en minúscules, excepte al començament d'una frase.

El grup format per un símbol de prefix i un símbol d'unitat constitueix un nou símbol d'unitat inseparable (formant un múltiple o submúltiple de la unitat en qüestió) que pot ser elevat a una potència positiva o negativa, i que pot combinar-se amb altres símbols d'unitats per formar símbols compostos d'unitats.

Exemples de la utilització dels prefixos:
 pm (picometre)
 mmol (mil·limol)
 G Ω (gigaohm)
 THz (terahertz)

Exemples:

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

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

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

$$5000 \mu\text{s}^{-1} = 5000 (\mu\text{s})^{-1} = 5000 (10^{-6} \text{ s})^{-1} = 5 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$$

Igualment, els noms dels prefixos no se separen dels noms de les unitats a les quals estan units. Així per exemple, mil·límetre, micropascal, i meganewton s'escriuen en una sola paraula.

Els símbols dels prefixos compostos, és a dir, els símbols dels prefixos formats per juxtaposició de dos o més símbols de prefixos no estan permesos. Aquesta regla s'aplica també als noms dels prefixos compostos.

nm (nanometre)
 però no
 m μ m (mil·limicrometre)

Els símbols dels prefixos no poden utilitzar-se sols o units al nombre 1, el símbol de la unitat u. Igualment, els noms dels prefixos no poden unir-se al nom de la unitat u, és a dir a

El nombre d'àtoms de plom en la mostra és igual a $N(\text{Pb}) = 5 \times 10^6$

la paraula u.

però no $N(\text{Pb}) = 5 \text{ M}$, on
M representaria el prefix
mega.

Els noms i símbols dels prefixos s'utilitzen amb algunes unitats fora del Sistema Internacional (vegeu el capítol 5), però no són mai utilitzats amb les unitats de temps, és a dir, minut, símbol min, hora, símbol h i dia, símbol d. Els astrònoms utilitzen el mil·lilegon d'arc (o de grau), símbol mas, i el microsegon d'arc, símbol μas , com unitats de mesura d'angles molt petits.

3.2 El kilogram

Entre les unitats de base del Sistema Internacional, la unitat de massa és l'única el nom de la qual, per raons històriques, té un prefix. Els noms i símbols dels múltiples i submúltiples decimals de la unitat de massa estan formats per la juxtaposició dels noms dels prefixos a la paraula gram i de símbols d'aquests prefixos al símbol de la unitat g (Conferència General de Pesos i Mesures 1967, Recomanació 2; PV 1967;35:29 i *Metrologia* 1968;4:45).

$10^{-4} \text{ kg} = 1 \text{ mg}$
però no
 $1 \mu\text{kg}$ (microkilogram)

4. Unitats que no pertanyen al Sistema Internacional

El Sistema Internacional d'Unitats, SI, és un sistema d'unitats, adoptat per la Conferència General de Pesos i Mesures, que inclou les unitats de referència aprovades a nivell internacional en funció de les quals es defineixen totes les altres unitats. Es recomana l'ús del Sistema Internacional en la ciència, la tecnologia, l'enginyeria i el comerç. Les unitats de base del Sistema Internacional i les unitats derivades coherents, incloent les que tenen un nom especial, tenen l'avantatge considerable de formar un conjunt coherent. En conseqüència, no és necessari efectuar conversions d'unitats quan es donen valors particulars a les magnituds en les equacions de les magnituds. Atès que el Sistema Internacional és l'únic sistema d'unitats reconegut a nivell mundial, té l'evident avantatge d'establir un llenguatge universal. Finalment, si tothom utilitza el mateix sistema, se simplifica l'ensenyament de la ciència i la tecnologia a les futures generacions.

Cal, no obstant, reconèixer que algunes unitats que no pertanyen al Sistema Internacional encara són emprades en les publicacions científiques, tècniques i comercials, i que encara ho seguiran sent durant molts anys. Algunes unitats que no pertanyen al Sistema Internacional són importants, des d'un punt de vista històric, en la literatura. Altres unitats que no pertanyen al Sistema Internacional, com les unitats de temps i d'angle, estan tan ancorades en la història i la cultura humana que seguiran sent utilitzades previsiblement en el futur. Per altre cantó, els científics han de tenir la llibertat d'utilitzar en ocasions les unitats fora del Sistema Internacional, si hi troben un avantatge concret pel seu treball. Un exemple és la utilització de les unitats CGS de Gauss per a la teoria de l'electromagnetisme aplicada a l'electrodinàmica quàntica i a la relativitat. És per això que és útil establir una llista de les unitats més importants que no pertanyen al Sistema Internacional com es fa en les taules que es detallen més endavant en aquest text. Malgrat tot, quan s'utilitzen aquestes unitats, cal comprendre que es perden els avantatges del Sistema Internacional.

La inclusió de les unitats que no pertanyen al Sistema Internacional en el present text no implica que el seu ús sigui recomanat. Per les raons invocades, és en general preferible l'ús de les unitats del Sistema Internacional. També és desitjable evitar la utilització conjunta de les unitats que no pertanyen al Sistema Internacional i les unitats que sí hi pertanyen. En particular, la combinació de les unitats que no pertanyen al Sistema Internacional i de les del Sistema Internacional per formar unitats compostes ha de restringir-se a casos concrets a fi de no comprometre els avantatges del Sistema Internacional. Finalment, és convencionent definir les unitats fora del Sistema Internacional que figuren en les taules 7, 8 i 9 en funció de les unitats del Sistema Internacional corresponents.

4.1 Unitats que no pertanyen al Sistema Internacional l'ús de les quals s'accepta conjuntament i unitats fonamentades en les constants fonamentals

El Comitè Internacional de Pesos i Mesures va revisar l'any 2004 la classificació de les unitats que no pertanyen al Sistema Internacional publicada en la setena edició de l'opuscle del Sistema Internacional d'Unitats. La taula 6 proporciona una llista de les unitats que no pertanyen al Sistema Internacional l'ús de les quals ha estat acceptat per la Conferència General de Pesos i Mesures perquè s'utilitzen àmpliament en la vida quotidiana. La seva utilització podria prolongar-se indefinidament i cadascuna d'aquestes unitats té una definició exacta en unitats del Sistema Internacional. Les taules 7, 8 i 9 inclouen les unitats utilitzades únicament en circumstàncies particulars. Les unitats de la taula 7 estan relacionades amb les constants fonamentals i el seu valor ha de ser determinat de manera experimental. Les taules 8 i 9 especifiquen les unitats que tenen un valor definit quan s'expressen en unitats del Sistema Internacional i que són emprades en circumstàncies particulars, a fi de satisfer les necessitats de l'àmbit comercial i legal o bé satisfer interessos científics concrets. És previsible que aquestes unitats seguiran utilitzant-se encara durant molts anys. Moltes d'aquestes unitats són també importants per a la interpretació d'antics texts científics. A continuació es mostren les taules 6, 7 8 i 9.

La taula 6 especifica les unitats tradicionals de temps i angle. Conté també l'hectàrea, el litre i la tona, que s'utilitzen habitualment a nivell mundial i es diferencien de les unitats coherents corresponents del Sistema Internacional per un factor igual a una potència entera de deu. Els prefixos del Sistema Internacional s'utilitzen amb diverses d'aquestes unitats però no amb les unitats de temps.

Taula 6. Unitats que no pertanyen al Sistema Internacional l'ús de les quals s'accepta en el Sistema Internacional

Magnitud	Nom de la unitat	Símbol de la unitat	Valor en unitats SI
temps	minut	min	1 min = 60 s
	hora ^(a)	h	1 h = 60 min = 3600 s
	dia	d	1 d = 24 h = 86 400 s
angle pla	grau ^(b, c)	°	1° = (π/180) rad
	minut	'	1' = (1/60)° = (π/10 800) rad
	segon ^(d)	''	1'' = (1/60)' = (π/648 000) rad
superfície	hectàrea ^(e)	ha	1 ha = 1 hm ² = 10 ⁴ m ²
volum	litre ^(f)	L, l	1 L = 1 l = 1 dm ³ = 10 ³ cm ³ = 10 ⁻³ m ³
massa	tona ^(g)	t	1 t = 10 ³ kg

- (a) El símbol d'aquesta unitat figura en la Resolució 7 de la novena Conferència General de Pesos i Mesures (1948, CR, 70).
- (b) La norma ISO 31 recomana que el grau sigui subdividit de forma decimal i no pas utilitzant el minut i el segon. Tanmateix, per a la navegació i la topografia, l'avantatge d'utilitzar el minut és degut a que un minut de latitud a la superfície de la Terra correspon (aproximadament) a una milla nàutica.
- (c) El gon, anomenat de vegades grau centesimal, és una altre unitat d'angle pla definida com igual a (π/200) rads. En conseqüència un angle recte correspon a 100 gons o 100 graus centesimals. El gon o grau centesimal pot ser útil en l'àmbit de la navegació perquè la distància entre el Pol i l'Equador en la superfície de la Terra és igual a uns 10 000 km. A la superfície terrestre 1 km subtendeix doncs un angle d'un centigon o d'un centigrau centesimal des del centre de la Terra. El gon i el grau centesimal són però molt poc utilitzats.
- (d) En astronomia, els angles petits es mesuren en segons d'arc (és a dir, segons d'angle pla), en mil·li, micro o picosegons d'arc (símbol as o bé '', mas, μas i pas respectivament). El segon d'arc o el segon de grau són altres noms del segon d'angle pla.
- (e) La unitat hectàrea i el seu símbol van ser adoptats pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures el 1879 (PV 1879:41). L'hectàrea s'utilitza en l'expressió de les superfícies agràries.
- (f) El litre i el seu símbol l (en minúscula) van ser adoptats pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures el 1879 (PV 1879:41). El símbol L (en majúscula) va ser adoptat per la setzena Conferència General de Pesos i Mesures (1979, Resolució 6, CR, 101 i *Metrologia* 1980;16:56-7) com alternativa per evitar el risc de confusió entre la lletra l i el nombre u, 1.
- (g) La tona i el seu símbol t van ser adoptats pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures el 1879 (PV 1879:41). En els països de parla anglesa, aquesta unitat s'anomena habitualment tona mètrica.

La taula 7 especifica les unitats el valor de les quals pot ser conegut en unitats del Sistema Internacional tan sols mitjançant mesures experimentals, amb una incertesa associada. Amb l'excepció de la unitat astronòmica, totes les unitats de la taula 7 estan relacionades amb constants fonamentals de la física. El Comitè Internacional de Pesos i Mesures ha acceptat l'ús amb el Sistema Internacional de les tres primeres unitats d'aquesta taula. Aquestes unitats fora del Sistema Internacional són l'electró-volt (símbol eV), el dalton (símbol Da) o la unitat atòmica de massa unificada (símbol u), i la unitat astronòmica (símbol ua). Les unitats de la taula 7 tenen un paper important en alguns àmbits especialitzats, on mitjançant aquestes unitats, els resultats de mesura i els càlculs s'expressen millor i més còmodament. Per l'electró-volt i el dalton, els valors depenen respectivament de la càrrega elèctrica elemental e i de la constant d'Avogadro N_A .

Hi ha nombroses unitats d'aquest tipus, perquè hi ha molts àmbits en els quals és més còmode expressar els resultats d'observacions experimentals o càlculs teòrics mitjançant constants fonamentals de la naturalesa. Els dos sistemes d'unitats més importants basats en constants fonamentals són el sistema d'unitats naturals utilitzat en l'àmbit de la física d'alta energia i de les partícules, i el sistema d'unitats atòmiques emprat en la física atòmica i en la química quàntica. En el sistema d'unitats natural, les magnituds de base en mecànica són la velocitat, l'acció i la massa, les unitats de base de les quals són, respectivament, la velocitat de la llum en el buit c_0 , la constant de Plank h dividida per 2π , anomenada constant de Plank reduïda amb el símbol \hbar , i la massa de l'electró m_e . En general aquestes unitats no han rebut un nom especial o un símbol particular, sinó que s'anomenen simplement unitat natural de velocitat, símbol c_0 , unitat natural d'acció, símbol \hbar , i unitat natural de massa, símbol m_e . En aquest sistema, el temps és una magnitud derivada i la unitat natural del temps és una unitat derivada igual a la combinació d'unitats de base $\hbar/m_e c_0^2$. Igualment, en el sistema d'unitats atòmiques, qualsevol conjunt de quatre de les cinc magnituds, càrrega, massa, acció, longitud i energia, es considera com un conjunt de magnituds de base. Les unitats de base són, respectivament, e per la càrrega elèctrica elemental, m_e per la massa de l'electró, \hbar per l'acció, a_0 (o bohr) pel radi de Bohr, i E_h (o hartree) per l'energia de Hartree. En aquest sistema el temps també és una unitat derivada i la unitat atòmica del temps és una unitat derivada, igual a \hbar/E_h . Cal tenir en compte que $a_0 = (\hbar/4\pi R_\infty)$, on a és la constant d'estructura fina i R_∞ és la constant de Rydberg, i que $E_h = e^2/(4\pi\epsilon_0 a_0) = 2R_\infty \hbar c_0 = a^2 m_e c_0^2$, on ϵ_0 és la constant elèctrica (la permitivitat en el buit); ϵ_0 té un valor exacte en el Sistema Internacional.

A títol informatiu, aquestes deu unitats naturals i atòmiques i el seu valor en unitats internacionals es mostren a la taula 7. Degut a que els sistemes de magnituds sobre els que es basen aquestes unitats difereixen de manera fonamental del Sistema Internacional, no acostumen a utilitzar-se amb aquest últim, i el Comitè Internacional de Pesos i Mesures no n'ha aprovat oficialment l'ús conjunt. Per a una bona comprensió, cal sempre expressar el resultat final d'una mesura o un càlcul expressat en unitats naturals o atòmiques també en la unitat del Sistema Internacional corresponent. Les unitats naturals i atòmiques s'utilitzen únicament en els àmbits particulars de la física de les partícules, la física atòmica i la química quàntica. Les incerteses estàndard de les últimes xifres significatives figuren entre parèntesi després de cada valor numèric.

Taula 7. Unitats que no pertanyen al Sistema Internacional el valor de les quals s'obté experimentalment

Magnitud	Nom de la unitat	Símbol de la unitat	Valor en unitats SI ^(a)
Unitats emprades amb l'SI			
energia	electró-volt ^(b)	eV	1 eV = 1,602 176 53 (14) x 10 ⁻¹⁹ J
massa	dalton, ^(c)	Da	1 Da = 1,660 538 86 (28) x 10 ⁻²⁷ kg
	unitat atòmica de massa unificada	u	1 u = Da
longitud	unitat astronòmica ^(d)	ua	1 ua = 1,495 978 706 91 (6) x 10 ¹¹ m
Unitats naturals			
velocitat	unitat natural de velocitat, (velocitat de la llum en el buit)	c_0	299 792 458 m/s (exactament)
acció	unitat natural d'acció (constant de Plank reduïda)	h	1,054 571 68 (18) x 10 ⁻³⁴ J s
massa	unitat natural de massa (massa de l'electró)	m_e	9,109 3826 (16) x 10 ⁻³¹ kg
temps	unitat natural de temps	$h/m_e c_0^2$	1,288 088 6677 (86) x 10 ⁻²¹ s
Unitats atòmiques			
càrrega	unitat atòmica de càrrega (càrrega elèctrica elemental)	e	1,602 176 53 (14) x 10 ⁻¹⁹ C
massa	unitat atòmica de massa (massa de l'electró)	m_e	9,109 3826 (16) x 10 ⁻³¹ kg
acció	unitat atòmica d'acció (constant de Plank reduïda)	h	1,054 571 68 (18) x 10 ⁻³⁴ J s
longitud	unitat atòmica de longitud bohr (radi de Bohr)	a_0	0,529 177 2108 (18) x 10 ⁻¹⁰ m
energia	unitat atòmica d'energia hartree (energia d'Hartree)	E_h	4,359 744 17 (75) x 10 ⁻¹⁸ J
temps	unitat atòmica de temps	h/E_h	2,418 884 326 505 (16) x 10 ⁻¹⁷ s

- a. Els valors en unitats del Sistema Internacional de totes les unitats d'aquesta taula, excepte la unitat astronòmica, provenen de la relació de valors de les constants fonamentals recomanats pel Comitè de Dades per a la Ciència i Tecnologia el 2002, publicada per Mohr PJ, Taylor BN. *Rev Mod Phys* 2005;77:1-107. La incertesa estàndard referida a les dues últimes xifres s'indica entre parèntesi (vegeu l'apartat 5.3.5).
- b. L'electró-volt és l'energia cinètica adquirida per un electró després de travessar una diferència de potencial d'1 V en el buit. L'electró-volt es combina sovint amb els prefixos del Sistema Internacional.
- c. El dalton (Da) i la unitat atòmica de massa unificada (u) són altres noms (i símbols) per a la mateixa unitat, igual a la meitat de la massa de l'àtom de ¹²C lliure, en repòs i en el seu estat fonamental. El dalton es combina sovint amb els prefixos del Sistema Internacional, per exemple per expressar la massa de molècules grans en kilodaltons, kDa, o megadaltons, MDa, i per expressar el valor de petites diferències de massa d'àtoms o molècules en nanodaltons, nDa, i fins i tot en picodaltons, pDa.

- d. La unitat astronòmica és aproximadament igual a la distància mitjana entre el Sol i la Terra. És el radi d'una òrbita newtoniana circular, no pertorbada, al voltant del Sol, d'una partícula de massa infinitesimal, que es desplaça a una velocitat mitjana de 0,017 202 098 95 radiants per dia (anomenada també constant de Gauss). El valor de la unitat astronòmica va ser establert en la Convenció del Servei Internacional de la Rotació de la Terra i Sistemes de Referència de 2003 (McCarthy DD, Petit G (dir). IERS Technical Note 32. Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie. Frankfurt am Main; 2004). El valor de la unitat astronòmica en metres procedeix de les efemèrides DE403 del Jet Propulsion Laboratory (Standish EM. Report of the IAU WGAS Sub-Group on Numerical Standards, Highlights of Astronomy. Appenxeller ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 1995).

Les taules 8 i 9 mostren les unitats fora del Sistema Internacional utilitzades per respondre a les necessitats específiques de certs grups, per raons diverses. Encara que sigui preferible emprar les unitats del Sistema Internacional pels motius invocats anteriorment, els autors que veuen un cert avantatge en la utilització d'aquestes unitats que no pertanyen al Sistema Internacional poden fer-ho si ho consideren adient pels seus propòsits. Degut a que les unitats del Sistema Internacional són el fonament a partir del qual es defineixen totes les altres unitats, els qui utilitzen les unitats de les taules 8 i 9 han d'esmentar sempre la seva definició en unitats del Sistema Internacional.

La taula 8 esmenta també les unitats de magnituds logarítmiques, el neper, el bel i el decibel. Són unitats adimensionals, d'una naturalesa diferent a altres unitats adimensionals, i alguns científics consideren que no s'haurien d'anomenar unitats. Serveixen per proporcionar informació sobre la naturalesa logarítmica del quocient de magnituds. El neper, Np, s'utilitza per expressar el valor dels logaritmes neperians (o naturals) de quocients de magnituds, $\ln = \log_e$. El bel i el decibel, B i dB, $1 \text{ dB} = (1/10) \text{ B}$, s'utilitzen per expressar el valor de logaritmes de base 10 de quocients entre magnituds, $\lg = \log_{10}$. En les notes g i h de la taula 10 es descriu la manera com s'interpreten aquestes unitats. No sol ser necessari assignar-les-hi un valor numèric. Tot i que l'ús de les unitats neper, bel i decibel amb el Sistema Internacional va ser acceptat pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures, no es considera que formin part del Sistema Internacional.

Els prefixos del Sistema Internacional són emprats amb dues d'aquestes unitats de la taula 8, a saber, amb el bar (per exemple, mil·libar, mbar) i el bel, en particular el decibel, dB. El decibel s'esmenta explícitament en la taula ja que el bel rarament s'utilitza sense aquest prefix.

Taula 8. Altres unitats que no pertanyen al Sistema Internacional

Magnitud	Nom de la unitat	Símbol de la unitat	Valor en unitats SI
pressió	bar ^(a)	bar	1 bar = 0,1 MPa = 100 kPa = 105 Pa
	mil·límetre de mercuri ^(b)	mmHg	1 mmHg = 133,322 Pa
longitud	àngstrom ^(c)	Å	1 Å = 0,1 nm = 100 pm = 10 ⁻¹⁰ m
distància	milla nàutica ^(d)	M	1 M = 1852 m
superfície	barn ^(e)	b	1 b = 100 fm ² = (10 ⁻¹²) = 10 ⁻²⁸ m ²
velocitat	nus ^(f)	kn	1 kn = (1852/3600) m/s
logaritme	neper ^(g, i)	Np	(vegeu la nota (j) en relació al valor
d'un quocient	bel ^(h, i)	B	numèric del neper, el bel i decibel)
	decibel ^(h, i)	dB	

- a. El bar i el seu símbol van ser inclosos en la Resolució 7 de la novena Conferència General de Pesos i Mesures (1948, CR, 70). Des de 1982 totes les dades termodinàmiques es refereixen a la pressió normal d'un bar. Abans de 1982, la pressió normal era l'atmosfera estàndard, igual a 1,013 25 bars, o 101 325 Pa.
 - b. El mil·límetre de mercuri és la unitat legal per a la mesura de la pressió sanguínia en alguns països.
 - c. L'àngstrom s'utilitza àmpliament en l'àmbit de la cristal·lografia de raigs x i la química estructural perquè tots els enllaços químics es troben en el ventall d'1 a 3 àngstroms. L'àngstrom però no ha estat aprovat pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures ni per la Conferència General de Pesos i Mesures.
 - d. La milla nàutica és una unitat utilitzada en la navegació marítima i aèria per expressar les distàncies. El valor va ser adoptat per convenció en la primera Conferència Hidrogràfica Internacional Extraordinària, celebrada a Mònaco el 1929, amb el nom de milla nàutica internacional. No hi ha un símbol acordat a nivell internacional però s'utilitzen els símbols M, NM, Nm i nmi. En la taula 8 tan sols s'esmenta el símbol M. Aquesta unitat es va establir inicialment, i encara se segueix utilitzant així, perquè una milla nàutica a la superfície de la Terra subtendeix aproximadament un minut d'angle des del centre de la Terra, cosa que resulta convencionent quan es mesuren la latitud i la longitud en graus i minuts d'angle.
 - e. El bar és una unitat de superfície utilitzada en física nuclear per caracteritzar seccions eficaces.
 - f. El nus es defineix com una milla nàutica per hora. No hi ha un símbol acordat a nivell internacional però s'usa habitualment el símbol kn.
 - g. La igualtat $L_A = n Np$ (on n és un nombre) s'ha d'interpretar amb el significat $\ln(A_2/A_1) = n$. El símbol A s'usa aquí per designar l'amplitud d'un senyal sinusoidal i L_A s'anomena el logaritme neperià d'un quocient d'amplituds, o diferència neperiana d'un nivell d'amplituds.
 - h. La igualtat $L_X = m \text{ dB} = (m/10) \text{ B}$ (on m és un nombre) s'ha d'interpretar amb el significat $\lg(X/X_0) = m/10$. Així quan $L_X = 1\text{B}$, $X/X_0 = 10$, i quan $L_X = 1\text{dB}$, $X/X_0 = 10^{1/10}$. Si X representa un senyal quadràtic mitjà o una magnitud de tipus potencial, L_X s'anomena nivell de potència respecte a X_0 .
 - i. Quan es fan servir aquestes unitats, és important indicar quina és la naturalesa de la magnitud en qüestió i el valor de referència utilitzat. Aquestes unitats no són unitats del Sistema Internacional, però el Comitè Internacional de Pesos i Mesures ha acceptat el seu ús amb Sistema Internacional.
 - j. No sol ser necessari precisar els valors numèrics del neper, del bel i del decibel (ni per tant la relació del bel i del decibel amb el neper). Això depèn de la forma en què es defineixen les magnituds logarítmiques.
-

La taula 9 és diferent de la taula 8 en què les unitats que s'hi esmenten estan relacionades amb les antigues unitats del sistema CGS (centímetre, gram, segon) incloent les unitats elèctriques CGS. En l'àmbit de la mecànica, el sistema d'unitats CGS es fonamentava en tres magnituds i les unitats de base corresponents: el centímetre, el gram i el segon. Les unitats elèctriques CGS es derivaven d'aquestes tres unitats de base solament, mitjançant equacions diferents de les utilitzades en el Sistema Internacional. Atès que això es podia fer de diferents formes, es van establir diversos sistemes: el sistema CGS-UES (electroestàtic), el sistema CGS-UEM (electromagnètic) i el sistema d'unitats CGS de Gauss. Sempre s'ha reconegut que el sistema CGS de Gauss en particular ofereix avantatges en alguns àmbits de la física, com l'electrodinàmica clàssica i relativista (novena Conferència General de Pesos i Mesures, 1948, Resolució 6). La taula 9 mostra les relacions entre les unitats CGS i el Sistema Internacional, així com la llista de les unitats CGS que han rebut un nom especial. Com en la taula 8, els prefixos del Sistema Internacional s'utilitzen amb diverses unitats (per exemple, mil·lidina, mdyn; mil·ligauss, mG, etc.)

Taula 9. Unitats que no pertanyen al Sistema Internacional associades als sistemes d'unitats CGS i CGS de Gauss

Magnitud	Nom de la unitat	Símbol de la unitat	Valor en unitats SI
energia	erg ^(a)	erg	1 erg = 10 ⁻⁷ J
força	dina ^(a)	dyn	1 dyn = 10 ⁻⁵ N
viscositat dinàmica	poise ^(a)	P	1 P = 1 dyn s cm ⁻² = 0,1 Pa s
viscositat cinemàtica	stokes	St	1 St = 1 cm ² s ⁻¹ = 10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
luminància	stilb ^(a)	sb	1 sb = 1 cd cm ⁻² = 10 ⁴ cd m ⁻²
il·luminància	phot	ph	1 ph = 1 cd sr cm ⁻² = 10 ⁴ lx
acceleració	gal ^(b)	Gal	1 Gal = 1 cm s ⁻² = 10 ⁻² m s ⁻²
flux magnètic	maxwell ^(c)	Mx	1 Mx = 1 G cm ² = 10 ⁻⁸ Wb
inducció magnètica	gauss ^(c)	G	1 G = 1 Mx/cm ² = 10 ⁻⁴ T
camp magnètic	oersted ^(c)	Oe	1 Oe $\stackrel{\Delta}{=} (10^3/4\pi)$ A m ⁻¹

- Aquesta unitat i el seu símbol s'inclouen en la Resolució 7 de la novena Conferència General de Pesos i Mesures (1948, CR, 70).
- El gal és la unitat emprada en la geodèsia i la geofísica per expressar l'acceleració deguda a la gravetat.
- c. Aquestes unitats formen part del sistema CGS tridimensional "electromagnètic" fonamentat en equacions de magnituds no racionalitzades. Cal tenir cura doncs quan es comparen amb les unitats corresponents del Sistema Internacional, les quals es fonamenten en equacions racionalitzades amb quatre dimensions i quatre magnituds en l'electromagnetisme. El flux magnètic Φ i la inducció magnètica B es defineixen mitjançant equacions similars en el sistema CGS i el Sistema Internacional, la qual cosa permet relacionar les unitats corresponents en la taula. Malgrat això, el camp magnètic no racionalitzat H (no racionalitzat) és igual a $4\pi \times H$ (racionalitzat). El símbol d'equivalència $\stackrel{\Delta}{=}$ s'utilitza per indicar que quan H (no racionalitzat) = 1 Oe, H (racionalitzat) = $(10^3/4\pi)$ A m⁻¹.

4.2 Altres unitats que no pertanyen al Sistema Internacional l'ús de les quals no es recomana

Existeixen nombroses unitats que no pertanyen al Sistema Internacional, massa nombroses per esmentar-les en aquest text, que presenten o bé un interès històric o bé que encara s'utilitzen en un àmbit especialitzat (com el barril de petroli) o en un país (com la polzada,

el peu o la iarda). El Comitè Internacional de Pesos i Mesures no veu cap raó per seguir utilitzant-les en els treballs científics i tècnics moderns. Tanmateix, és important conèixer la relació entre aquestes unitats i les unitats del Sistema Internacional corresponents, i això previsiblement seguirà sent veritat durant molts anys. El Comitè Internacional de Pesos i Mesures ha decidit reunir una llista dels factors de conversió d'unitats d'aquest tipus a unitats del Sistema Internacional. Aquesta llista es pot consultar en el lloc web de l'Oficina General de Pesos i Mesures a l'adreça:

<www.bipm.org/fr/si/si_brochure/chapter4/conversion_factors.html>

5 Regles d'escriptura dels noms i símbols de les unitats i expressió dels valors de les magnituds

Els principis generals que regeixen l'escriptura dels símbols de les unitats i el nombres van ser proposats inicialment per la novena Conferència General de Pesos i Mesures (1948, Resolució 7). Van ser adoptats posteriorment per l'Organització Internacional de Normalització, la Comissió Electrotècnica Internacional i altres organitzacions internacionals. Hi ha actualment un acord general en la manera d'expressar els símbols i els noms de les unitats, incloent els símbols i els noms dels prefixos, així com els símbols i els valors de les magnituds. El respecte a aquestes regles i les convencions d'estil, les més importants de les quals es tracten en aquest capítol, ajuda a la lectura dels articles científics i tècnics.

5.1 Símbols de les unitats

Els símbols de les unitats s'imprimeixen en caràcters romans (rectes), independentment del tipus de lletra utilitzat en el text adjacent. En general, s'escriuen en minúscules excepte si el nom de la unitat deriva d'un nom propi, cas en què la primera lletra del símbol és majúscula.

m, metre
s, segon
Pa, pascal
 Ω , ohm

El símbol del litre és una excepció a aquesta regla. La setena Conferència General de Pesos i Mesures (1979, Resolució 6) va aprovar la utilització de la lletra L en majúscula o l en minúscula com a símbol del litre, a fi d'evitar la confusió entre el nombre 1 (u) i la lletra l.

L o l, litre

Un prefix de múltiple o submúltiple, quan s'utilitza, forma part de la unitat i precedeix el símbol de la unitat, sense cap espai entre el símbol del prefix i el símbol de la unitat. Un prefix mai no s'utilitza sol i mai s'utilitzen prefixos compostos.

nm, però no nµm

Els símbols de les unitats són entitats matemàtiques i no abreviatures. Per tant, no van seguits d'un punt, excepte al final d'una frase. No s'utilitza el plural ni es poden barrejar símbols d'unitats amb noms d'unitats en la mateixa expressió, ja que els noms no són entitats matemàtiques.

75 cm de longitud,
però no 75 cm. de
longitud
l = 75 cm,
però no 75 cms

Per formar els productes i quocients dels símbols de les unitats, s'apliquen les regles habituals de multiplicació o de divisió algebriques. La multiplicació s'ha d'indicar mitjançant un espai o un punt central a mitja altura (\cdot), per evitar que certs prefixos s'interpretin erròniament com un símbol d'unitat. La divisió s'indica mitjançant una línia horitzontal, una barra obliqua (/) o exponents negatius. Quan es combinen diversos símbols d'unitats, cal tenir cura d'evitar qualsevol ambigüitat, per exemple, utilitzant claudàtors o parèntesis, o exponents negatius. En una expressió donada, sense parèntesi, no s'ha d'utilitzar més d'una barra obliqua, per evitar les ambigüitats.

coulomb per kilogram
però no coulomb per kg

N m o N · m,
per newton per metre
m/s o $\frac{m}{s}$ o m s⁻¹,
per metre per segon

No es permet fer servir abreviatures per als símbols i noms de les unitats, com seg (per segon), mm quad (per mm² o mil·límetre quadrat), cc (per cm³ o centímetre cúbic) o mps (per m/s o metre per segon). La utilització correcte dels símbols de les unitats del Sistema Internacional, i de les unitats en general, com s'ha esmentat en els capítols anteriors d'aquest opuscle, és obligatòria. D'aquesta forma s'eviten les ambigüitats i els malentesos respecte als valors de les magnituds.

ms, mil·lisegon
m s, metre segon
m kg/(s³ A),
o m kg s⁻³ A⁻¹
però no m kg/s³/A
i tampoc m kg/s³ A

5.2 Noms de les unitats

Els noms de les unitats s'imprimeixen en caràcters romans (rectes) i es consideren noms (substantius) comuns, Comencen amb minúscula (encara que el símbol de la unitat comenci amb una majúscula), llevat que es trobin situats al principi d'una frase o en un

unitat	símbol
joule	J
hertz	Hz

títol en majúscules. D'acord amb aquesta regla, l'escriptura correcta del nom de la unitat el símbol de la qual és °C és "grau Celsius" (la unitat grau comença per la lletra g en minúscula i l'atribut Celsius comença per una lletra majúscula perquè és un nom propi).

metre m
segon s
ampere A
watt w

Encara que els valors de les magnituds s'expressen generalment mitjançant nombres i símbols d'unitats, si per alguna raó, el nom de la unitat és més adient que el seu símbol, convé escriure el nom complet de la unitat.

2,6 m/s,
o 2,6 metres per segon

Quan el nom de la unitat es combina amb el prefix d'un múltiple o un submúltiple, no es deixa cap espai ni es col·loca cap guió entre el nom del prefix i el de la unitat. El conjunt format pel nom del prefix i el de la unitat constitueix una sola paraula (vegeu també l'apartat 3.1 del capítol 3).

mil·ligram,
però no mil·li-gram
kilopascal
però no kilo-pascal

Tanmateix quan el nom d'una unitat derivada es forma per multiplicació de noms d'unitats individuals, és convenient deixar un espai o utilitzar un guió per separar cadascun d'aquests noms.

pascal segon
o pascal-segon

Les denominacions del tipus "quadrat" o "cúbic" utilitzades amb els noms de les unitats elevades a les potències corresponents es col·loquen després del nom de la unitat.

metre per segon quadrat,
centímetre quadrat,
mil·límetre cúbic,
ampere per metre
quadrat,
kilogram per metre cúbic

5.3 Regles i convencions estilístiques per expressar els valors de les magnituds

5.3.1 Valor i valor numèric d'una magnitud; utilització del càlcul de magnituds

El valor d'una magnitud s'expressa com el producte d'un nombre per una unitat. El nombre que multiplica la unitat és el valor numèric de la magnitud expressada en aquesta unitat. El valor numèric d'una magnitud depèn de la unitat escollida. Així, el valor d'una magnitud particular és independent de l'elecció de la unitat, però el seu valor numèric és diferent segons les diferents unitats.

El valor de la velocitat d'un partícula $v = dx/dt$ pot indicar-se amb les expressions $v = 25 \text{ m/s} = 90 \text{ km/h}$, on 25 és el valor numèric de la velocitat expressada amb la unitat metre per segon i 90 l'expressada amb la unitat kilòmetre per hora

Els símbols de les magnituds estan formats generalment per una sola lletra en cursiva, però es pot especificar informació addicional mitjançant subíndex, superíndex o un parèntesi. Així C_m és el símbol recomanat per a la capacitat calorífica molar, $C_{m,p}$ per a la capacitat calorífica molar a pressió constant, i $C_{m,v}$ per a la capacitat calorífica molar a volum constant.

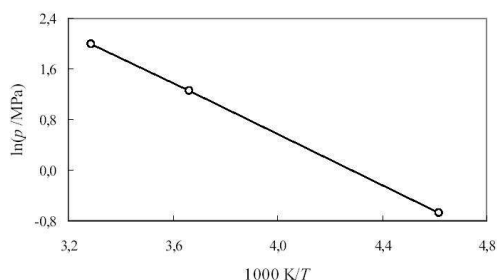
Els noms i símbols recomanats per a les magnituds figuren en nombroses publicacions, com la norma ISO 31 *Magnituds i unitats*, o *Símbols, unitats i nomenclatura en la física*, el "llibre vermell", de la Comissió de Símbols, Unitats, Nomenclatura, Masses Atòmiques i Constants Fonamentals de la Unió Internacional de Física Pura i Aplicada, o també *Magnituds, unitats i símbols en química física*, el "llibre verd", de la Unió Internacional de Química Pura i Aplicada. No obstant, els símbols de les magnituds només són recomanacions, mentre que és obligatori utilitzar els símbols correctes per les unitats. En determinades circumstàncies, els autors poden preferir fer servir un símbol no recomanat per una magnitud donada, per exemple per evitar una confusió resultant de l'ús del mateix símbol per a dues magnituds diferents. És necessari llavors precisar clarament el significat del símbol. El nom d'una magnitud, o el símbol emprat per expressar-la, no obliga però a escollir una unitat en particular.

Els símbols de les unitats es tracten com entitats matemàtiques. Quan s'expressa el valor d'una magnitud com a producte d'un valor numèric per una unitat, el valor numèric i la unitat es poden tractar d'acord amb les regles ordinàries de l'àlgebra. Aquest procediment

constitueix el càlcul de magnituds, o àlgebra de magnituds. Per exemple, l'equació $T = 293$ K també es pot escriure com a $T/K = 293$. Sovint pot resultar convenient escriure així el quocient d'una magnitud i una unitat a la capçalera d'una taula, a fi que les entrades de la taula siguin simplement nombres. Per exemple, una taula que expressa la pressió de vapor en funció de la temperatura, i el logaritme neperià de la pressió de vapor en funció de la temperatura elevat a la potència menys u podria tenir la forma següent:

T/K	$10^3 T/K$	p/MPa	$\ln(p/\text{MPa})$
216,55	4,6179	0,5180	-0,6578
273,15	3,6610	3,4853	1,2486
304,19	3,2874	7,3815	1,9990

Els eixos d'un gràfic poden també etiquetar-se d'aquesta manera, a fi que els intervals siguin purament numèrics, tal com es mostra en la figura següent:



Des del punt de vista algebèric podrien també utilitzar-se altres formes equivalents a $10^3 T/K$, com per exemple kK/T o $10^3 (T/K)^{-1}$.

5.3.2 Símbols de les magnituds i de les unitats

De la mateixa manera que el símbol d'una magnitud no implica l'elecció d'una unitat particular, el símbol de la unitat no s'ha d'utilitzar per proporcionar informació específica sobre la magnitud en qüestió i mai no ha de ser l'única font d'informació respecte de la magnitud. Les unitats no han de proporcionar informació addicional sobre la naturalesa de la magnitud; aquest tipus d'informació ha d'acompanyar el símbol de la magnitud i no el de la unitat.

Així:
 La diferència màxima de potencial elèctric s'expressa en la forma: $U_{\max} = 1000 \text{ V}$ però no $U = 1000 \text{ V}_{\max}$.
 La fracció massica del coure en una mostra de silici s'expressa en la forma: $w(\text{Cu}) = 1,3 \times 10^{-6}$ però no $1,3 \times 10^{-6} \text{ w/w}$.

5.3.3 Escriptura del valor d'una magnitud

El valor numèric precedeix sempre la unitat i es deixa un espai entre el nombre i la unitat. Així, el valor d'una magnitud és el producte d'un nombre per una unitat, considerant l'espai com a signe de multiplicació (igual que l'espai entre unitats). Les úniques excepcions a aquesta regla són els símbols d'unitat del grau, el minut i el segon d'angle pla, $^{\circ}$, $'$ i $''$, respectivament, amb els quals no es deixa cap espai entre el valor numèric i el símbol de la unitat.

$m = 12,3 \text{ g}$ on m és utilitzat com símbol de la magnitud massa, però $x = 30^{\circ} 22' 8''$ on x és utilitzat com símbol de la magnitud angle pla

Aquesta regla implica que el símbol °C per al grau Celsius ha d'anar precedit d'un espai per expressar el valor de la temperatura Celsius t . $t = 30,2\text{ °C}$
però no $t = 30,2\text{°C}$
ni $t = 30,2\text{° C}$

Fins i tot quan el valor d'una magnitud s'utilitza com adjectiu, convé deixar un espai entre el valor numèric i el símbol de la unitat. Quan s'escriu el nom de la unitat amb totes les lletres cal aplicar les regles gramaticals habituals. una resistència de 10 kΩ
una pel·lícula de 35 mil·límetres de longitud

En qualsevol expressió, només es pot utilitzar una unitat. Una excepció a aquesta regla és l'expressió dels valors de les magnituds temps i angle pla expressats mitjançant unitats fora del Sistema Internacional. Tanmateix, per a angles plans, és preferible generalment dividir el grau de forma decimal. Així, s'ha d'escriure 22,20° millor que 22° 12', excepte en àmbits com la navegació, la cartografia, l'astronomia, i per a la mesura d'angles molt petits. $l = 10,234\text{ m}$
però no
 $l = 10\text{ m } 23,4\text{ cm}$

5.3.4 Escripura dels nombres i separador decimal

El símbol utilitzat per separar la part entera d'un nombre de la seva part decimal s'anomena "separador decimal". D'acord amb la vint-i-dosena Conferència General de Pesos i Mesures (2003, Resolució 10), el símbol del separador decimal pot ser el punt o la coma a la mateixa línia d'escripura. El separador decimal escollit serà el d'ús habitual en el context.

Si el nombre està comprès entre +1 i -1, el separador decimal va sempre precedit per un zero. $-0,234$
però no
 $-,234$

D'acord amb la novena Conferència General de Pesos i Mesures (1948, Resolució 7) i la vint-i-dosena Conferència General de Pesos i Mesures (2003, Resolució 10), els nombres amb moltes xifres es poden agrupar en conjunts de tres xifres separades per un espai, a fi de facilitar-ne la lectura. Aquests grups no se separen mai per punts ni per comes. Tanmateix, quan hi ha només quatre xifres abans o després del separador decimal, és freqüent no aïllar una xifra amb un espai. El costum d'agrupar així les xifres és una qüestió de preferència personal, i no sempre es segueix en certs àmbits especialitzats com el dibuix industrial, els documents financers i els escrits que han de ser llegits per ordinador. $43\ 279,168\ 29$
però no
 $43.279,168.29$
 $3279,1683$
 $3\ 279,168\ 3$

En els nombres d'una taula, el format no ha de variar en una mateixa columna.

5.3.5 Expressió de la incertesa de mesura associada al valor d'una magnitud

La incertesa associada al valor estimat d'una magnitud ha de ser avaluada i expressada d'acord amb la *Guia per a l'expressió de la incertesa de mesura* (Organització Internacional de Normalització, 1995). La incertesa estàndard, és a dir la desviació estàndard estimada (corresponent a un factor de cobertura $k = 1$), associada a una magnitud x es designa per $u(x)$. Una manera còmoda de representar la incertesa es mostra en l'exemple següent:

$$m_n = 1,674\ 927\ 28\ (29) \times 10^{-27}\text{ kg}$$

on m_n és el símbol de la magnitud (aquí la massa del neutró) i el nombre entre parèntesi el valor numèric de la incertesa estàndard referida a les dues últimes xifres del valor estimat de m_n , en aquest cas:

$$u(m_n) = 0,000\ 000\ 29 \times 10^{-27}\text{ kg}$$

Si hom utilitza un factor de cobertura k diferent d'1, cal precisar-lo.

5.3.6 Multiplicació o divisió dels símbols de les magnituds, els valors de les magnituds i els nombres

Per multiplicar o dividir els símbols de les magnituds, es pot utilitzar qualsevol de les formes següents: ab , $a b$, $a \cdot b$, $a \times b$, a/b , $\frac{a}{b}$, $a b^{-1}$.

Exemples:
 $F = ma$ per a una força igual a la massa per l'acceleració

Quan es multiplica el valor de les magnituds, convé utilitzar un signe de multiplicació, x, els parèntesis (o claudàtors), però no un punt col·locat a mitja alçada (centrat). Quan es multipliquen nombres, convé utilitzar únicament el signe de multiplicació x.

(53 m/s) x 10,2 s
o (53 m/s)(10,2 s)
25 x 60,5 però no
25 · 60,5

Quan es divideixen els valors de les magnituds per una barra obliqua, s'utilitzen els parèntesis per evitar qualsevol ambigüitat.

(20 m)/(5 s) = 4 m/s
(a/b)/c però no a/b/c

5.3.7 Valor de les magnituds adimensionals, o magnituds de dimensió u

Com s'ha explicat en la secció 2.2.3, la unitat del Sistema Internacional coherent de les magnituds adimensionals, o magnituds de dimensió u, és el nombre u, símbol 1. Els valors d'aquestes magnituds s'expressen simplement mitjançant nombres. El símbol d'unitat 1 o el nom d'unitat "u" no s'esmenta explícitament i no existeix un símbol particular ni un nom especial per a la unitat u, tret d'algunes excepcions que s'han indicat anteriorment. En al cas de la magnitud angle pla, la unitat té un nom especial i s'anomena radiant, símbol rad, i en el cas de l'angle sòlid, s'anomena estereoradiant, símbol sr. Pels logaritmes de les equacions de magnituds, s'utilitzen els noms especials neper, símbol Np, bel, símbol B, i decibel, símbol dB (vegeu l'apartat 4.1 i la taula 8).

$n = 1,51$
però no
 $n = 1,51 \times 1$
on n és el símbol de la magnitud índex de refracció.

Com que els símbols dels prefixos del Sistema Internacional no es poden unir al símbol 1 ni al nom d'unitat "u", per expressar els valors de magnituds adimensionals particularment grans o particularment petites s'utilitzen les potències de deu.

En les expressions matemàtiques, el símbol % (per cent), reconegut internacionalment, es pot utilitzar amb el Sistema Internacional per representar el nombre 0,01. Per tant, es pot fer servir per expressar els valors de magnituds adimensionals. Quan s'utilitza, convé deixar un espai entre el nombre i el símbol %. Quan s'expressen d'aquesta forma els valors de magnituds adimensionals, és preferible utilitzar el símbol % millor que l'expressió "per cent".

$x_B = 0,0025 = 0,25 \%$, on x_B és el símbol de la magnitud fracció de quantitat (fracció molar) de l'entitat B.
El mirall reflecteix el 95 % dels fotons incidents.

En un text, el símbol % significa en general "parts per cent".

No s'han d'utilitzar expressions com ara "percentatge de massa", "percentatge de volum", "percentatge de quantitat de substància". Les informacions sobre la magnitud en qüestió han de proporcionar-se mitjançant el nom i símbol de la magnitud.

$x = 3,6 \%$
però no
 $x = 3,6 \%$ (V/V)
on x és la fracció de volum

Quan s'expressen els valors de fraccions adimensionals (per exemple, fracció massica, fracció de volum, incertesa relativa, etc.), és de vegades útil utilitzar el quocient entre dues unitats del mateix tipus.

$x_B = 2,5 \times 10^{-3}$
= 2,5 mmol/mol

També s'utilitza el terme "ppm", que significa 10^{-6} en valor relatiu, o 1×10^{-6} o "parts per milió" o milionèsimes. Els termes "parts per bilió" i "parts per trilió" i les abreviatures respectives "ppb" i "ppt" també es fan servir però el seu significat varia segons la llengua,

$u_r(U) = 0,3 \mu V/V$
on $u_r(U)$ és la incertesa relativa de la tensió

per la qual cosa és preferible evitar-los (Encara que en els països de parla anglesa el terme “bilió” correspon a 10^9 , i el “triló” a 10^{12} , el terme “bilió” pot de vegades correspondre a 10^{12} i “triló” a 10^{18} . L’abreviatura ppt és també de vegades entesa com una part per miler (o mil·lèsima), la qual cosa augmenta la confusió).

mesurada *U*.

És important especificar quina és la magnitud adimensional de la qual es dóna el valor quan es fan servir els termes %, ppm, etc.

Annex 1. Decisions de la Conferència General de Pesos i Mesures i del Comitè Internacional de Pesos i Mesures

Aquest annex reuneix les decisions de la Conferència General de Pesos i Mesures i del Comitè Internacional de Pesos i Mesures relacionades directament amb les definicions de les unitats del Sistema Internacional, els prefixos a utilitzar, així com les convencions relatives a l'escriptura dels símbols de les unitats i els nombres. No es tracta d'una llista exhaustiva de les decisions de la Conferència General de Pesos i Mesures i del Comitè Internacional de Pesos i Mesures. Per consultar totes les decisions, cal remetre's als volums dels *Comptes rendus* de la Conferència General de Pesos i Mesures i els *Procès-verbaux* del Comitè Internacional de Pesos i Mesures, i també, per les decisions més recents, a *Metrologia*.

El Sistema Internacional no és estàtic, segueix els progressos de la metrologia, i algunes decisions han estat derogades o modificades. Altres s'han precisat mitjançant addicions. Les decisions que han estat objecte d'un canvi s'identifiquen mitjançant un asterisc (*) i remeten a una nota que remet a la decisió que fa oficial la decisió.

El text original de les decisions figura en una font diferent per distingir-lo del text principal. Els asteriscos i les notes han estat afegits per l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures per fer més comprensible el text. No formen part de les decisions pròpiament dites.

Les decisions de la Conferència General de Pesos i Mesures i del Comitè Internacional [de Pesos i Mesures](#) figuren en aquest annex per ordre cronològic, de 1889 a 2005, a fi de preservar la continuïtat. Tanmateix, per poder identificar fàcilment les decisions relatives a un àmbit particular, s'ha afegit un índex de continguts, per subjecte, indicant les reunions en les quals es van adoptar les decisions i especificant el número de la pàgina on es reproduïxen les publicacions originals.

Índex de l'annex 1

Decisions relatives a l'establiment de l'SI		Pàgina
9 ^a CGPM, 1948:	decisió d'establir l'SI	52
10 ^a CGPM, 1954:	decisió d'adoptar les sis primeres unitats de base	54
CIPM, 1956:	decisió d'adoptar el nom Sistema Internacional d'Unitats	55
11 ^e CGPM, 1960:	confirmació del nom i abreviació SI,	57
	noms dels prefixes tera a pico,	57
	establiment de les unitats suplementàries rad i sr,	58
	establiment de certes unitats derivades,	58
CIPM, 1969:	declaracions en relació a les unitats de base, suplementàries,	
	derivades i coherents, i la utilització dels prefixes	64
CIPM, 2001:	"unitats SI" i "unitats de l'SI"	78

Decisions relatives a les unitats de base de l'SI

Longitud

1 ^{er} CGPM, 1889:	sanció del Prototip del metre	49
7 ^a CGPM, 1927:	definició del metre pel prototip internacional	50
11 ^a CGPM, 1960:	redefinició del metre mitjançant la radiació de criptó 86	56
15 ^a CGPM, 1975:	valor recomanat de la velocitat de la llum	66
17 ^a CGPM, 1983:	redefinició del metre en funció de la velocitat de la llum,	70
	aplicació pràctica de la definició del metre	71
CIPM, 2002:	revisió de l'aplicació pràctica de la definició del metre	78
CIPM, 2003:	revisió de la llista de radiacions recomanades	81
CIPM, 2005:	revisió de la llista de radiacions recomanades	83

Massa

1 ^a CGPM, 1889:	sanció del Prototip del kilogram	49
3 ^a CGPM, 1901:	declaració relativa a la diferència entre massa i pes,	
	i valor convencional de g_n	50
CIPM, 1967:	declaració sobre els prefixes del gram	61
21 ^a CGPM, 1999:	redefinició eventual del kilogram	76

Temps

CIPM, 1956:	definició del segon com fracció de l'any tròpic 1900	55
11 ^a CGPM, 1960:	ratificació de la definició del segon donada pel CIPM el 1956	56
CIPM, 1964:	declaració que el patró a emprar és la transició hiperfina del cesi 133	59
12 ^a CGPM, 1964:	atorgament de poder al CIPM per a designar els patrons de freqüència atòmica i molecular a emprar	59
13 ^a CGPM, 1967/68:	definició del segon mitjançant la transició del celsi	61
CCDS, 1970:	definició del Temps atòmic internacional, TAI	65
14 ^a CGPM, 1971:	sol·licitud al CIPM per definir i establir el Temps atòmic internacional, TAI	65
13 ^a CGPM, 1975:	sanció del Temps universal coordinat, UTC	67

Unitats elèctriques		51
CIPM, 1946:	definició de les unitats mecàniques i elèctriques en l'SI	
14 ^a CGPM, 1971:	adopció del nom siemens, símbol S, per a la conductància elèctrica	65 72
18 ^a CGPM, 1987:	modificació prevista de les representacions del volt i de l'ohm	73
CIPM, 1988:	efecte Josephson	74
CIPM, 1988:	efecte Hall quàntic	
CIPM, 2000:	realització de l'ohm mitjançant el valor de la constant de von Klitzing	78

Temperatura termodinàmica

9 ^a CGPM, 1948:	adopció del punt triple de l'aigua com punt de referència per la temperatura termodinàmica, adopció del grau Celsius, i fixació del zero com sent la temperatura de referència inferior a 0,01 graus la del punt triple de l'aigua	52
CIPM, 1948:	adopció del nom grau Celsius per a l'escala de temperatura celsius	52
10 ^a CGPM, 1954:	definició de la temperatura termodinàmica del punt triple de l'aigua a 273,16 graus Kelvin exactament,	54
	definició de l'atmosfera estàndard	62
13 ^a CGPM, 1967/68:	definició oficial del kelvin, símbol K	74
CIPM, 1989:	escala internacional de temperatura de 1990, EIT-90	
CIPM, 2005:	nota afegida a la definició del kelvin a propòsit de la composició isotòpica de l'aigua	83

Quantitat de substància

14 ^a CGPM, 1971:	definició del mol, símbol mol, com la setena unitat de base, i regles d'utilització	66 77
21 ^a CGPM, 1999:	adopció del nom especial katal, símbol kat	

Intensitat lluminosa

		50
CIPM, 1946:	definició de les unitats fotomètriques, candela nova, i lumen nou	62
13 ^a CGPM, 1967/68:	definició de la candela, símbol cd, en funció del cos negre	68
16 ^a CGPM, 1979:	redefinició de la candela a partir d'una radiació monocromàtica	

Decisions relatives a les unitats SI i les unitats suplementàries

Unitats SI derivades

		60
12 ^a CGPM, 1964:	acceptació de l'utilització del curie com unitat fora de l'SI	63
13 ^a CGPM, 1967/68:	exemples d'unitats derivades	67
15 ^a CGPM, 1975:	adopció dels noms especials becquerel, Bq, i gray, Gy	69
16 ^a CGPM, 1979:	adopció del nom especial sievert, Sv	
CIPM, 1984:	aclariment de les relacions entre la dosi absorbida (unitat SI gray) i la dosi equivalent (unitat Si sievert)	72
CIPM, 2002:	modificació de les relacions entre la dosi absorbida i la dosi equivalent	80

Unitats suplementàries		70
CIPM, 1980:	interpretació de les unitats suplementàries com unitats derivades adimensionals	76
20 ^a CGPM, 1995:	supressió de la classe d'unitats suplementàries, i confirmació de la interpretació del CIPM que són unitats adimensionals	
Decisions relatives a la terminologia i aprovació de les unitats usades en l'SI		
Prefixes SI		60
		68
12 ^a CGPM, 1964:	decisió d'afegir femto i atto a la llista dels prefixes	75
15 ^a CGPM, 1975:	decisió d'afegir peta i exa a la llista dels prefixes	
19 ^a CGPM, 1991:	decisió d'afegir zetta, zepto, yotta i yocto a la llista dels prefixes	
Símbols d'unitats i nombres		53
9 ^a CGPM, 1948:	regles d'escriptura dels símbols de les unitats i els nombres	
Noms de les unitats		63
13 ^a CGPM: 1967/68	derogació de la utilització del micró i la candela nova com unitats en ús en l'SI	
Separador decimal		82
22 ^a CGPM, 2003:	autorització de l'ús del punt o la coma sobre la línia com a separador decimal	
Unitats emprades amb l'SI: un exemple, el litre		49
3 ^a CGPM, 1901:	definició del litre com el volum d'un kilogram d'aigua	58
11 ^a CGPM, 1960:	sol·licitud al CIPM d'estudiar la diferència entre el decímetre cúbic i el litre	59
CIPM, 1961:	recomanació d'expressar els volums en unitats SI i no en litres	60
12 ^a CGPM, 1964:	derogació de la definició anterior del litre i recomanació d'utilitzar el litre com a nom especial donat al decímetre cúbic	69
16 ^a CGPM, 1979:	decisió, a títol excepcional, d'autoritzar el dos símbols, L i l, per al litre	

Primera Conferència General de Pesos i Mesures, 1889

■ Sanció dels prototips internacionals del metre i del kilogram (CR, 34-38)*

* La definició del metre va ser derogada el 1960 per l'onzena Conferència General de Pesos i Mesures (Resolució 6, vegeu la pàgina 56).

La Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant

- el *Compte rendu* del President i l'informe del Comitè Internacional de Pesos i Mesures, on es demostra que, per la col·laboració de la Secció francesa de la Comissió Internacional del Metre i del Comitè Internacional de Pesos i Mesures, les determinacions metrològiques fonamentals dels prototips internacionals i nacionals del metre i del kilogram han estat realitzades en totes les condicions de garantia i precisió que comporta l'estat actual de la ciència;
- que els prototips internacionals i nacionals del metre i del kilogram estan formats d'un aliatge de platí amb un 10 per 100 d'iridi, amb una precisió de 0,0001;
- la igualtat en longitud del Metre internacional i la igualtat en massa del Kilogram internacional amb la longitud del Metre i la massa del Kilogram dipositats als Arxius de França;
- que les diferències dels Metres nacionals, en relació al Metre internacional, estan dins el límit de 0,01 mil·límetres i que aquestes diferències es basen en una escala termomètrica d'hidrogen que és possible reproduir sempre, a causa de l'estabilitat de l'hidrogen, si s'asseguren unes condicions idèntiques;
- que les diferències entre els Kilograms nacionals i el Kilogram internacional estan dins un límit màxim d'1 mil·ligram;

que el Metre i el Kilogram internacional i els Metres i els Kilograms nacionals compleixen les condicions exigides per la Convenció del Metre;

sanciona

A. En relació als prototips internacionals:

1. El Prototip del metre escollit pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures. Aquest prototip representarà d'ara en endavant, a la temperatura del gel fonent-se, la unitat mètrica de longitud.
2. El Prototip del kilogram, adoptat pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures. Aquest prototip serà considerat d'ara en endavant, la unitat de massa;
3. L'escala termomètrica centígrada d'hidrogen en referència a la qual s'han establert les equacions dels metres prototip.

B. En relació als prototips nacionals:

Tercera Conferència General de Pesos i Mesures, 1901

■ Declaració relativa a la definició del litre (CR, 38-39)*

* La definició va ser derogada el 1964 per la dotzena Conferència General de Pesos i Mesures (Resolució 6, vegeu la pàgina 60).

...

La Conferència declara:

1. La unitat de volum, per les determinacions d'alta precisió, és el volum ocupat per la massa d'1 kilogram d'aigua pura, al seu màxim de densitat i sota una pressió atmosfèrica normal; aquest volum es denomina "litre".
2. ...

■ **Declaració relativa a la unitat de massa i la definició del pes; valor convencional de g_n (CR, 70)**

Tenint en compte la decisió del Comitè Internacional de Pesos i Mesures del 15 d'octubre de 1887, per la qual es defineix el kilogram com unitat de massa;

Tenint en compte la decisió continguda en la fórmula de sanció dels prototips del sistema mètric, acceptada unànimement per la Conferència General de Pesos i Mesures en la seva reunió del 26 de setembre de 1889;

Considerant la necessitat d'acabar amb l'ambigüitat que encara existeix en l'ús corrent respecte al significat del terme pes, emprat de vegades en el sentit de massa i de vegades en el sentit d'esforç mecànic;

La Conferència declara:

1. El kilogram és la unitat de massa; és igual a la massa del prototip internacional del kilogram;
2. El terme pes designa una magnitud de la mateixa naturalesa que una força; el pes d'un cos és el producte de la massa d'aquest cos per l'acceleració de la gravetat; en concret, el pes normal d'un cos és el producte de la massa d'aquest cos per l'acceleració normal de la gravetat.
3. El nombre adoptat pel Servei Internacional de Pesos i Mesures per al valor de l'acceleració normal de la gravetat és $980,665 \text{ cm/s}^2$, valor ja sancionat per algunes legislacions.

Aquest valor de g_n és el valor convencional de referència pel càlcul de la unitat kilogram-força, actualment obsolet.

Setena Conferència General de Pesos i Mesures, 1927

■ **Definició del metre pel Prototip internacional (CR, 49)***

La unitat de longitud és el metre, definit per la distància, a 0° , entre els eixos dels dos traçats centrats gravats en la barra de platí irídic dipositada en l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures i declarada Prototip del metre per la Primera Conferència General de Pesos i Mesures, sent aquesta barra sotmesa a la pressió atmosfèrica normal i suportada per dos cilindres d'un centímetre de diàmetre al menys, situats simètricament en un mateix pla horitzontal i a la distància de 571 mm l'un de l'altre.

* La definició va ser derogada el 1960 per l'onzena Conferència General de Pesos i Mesures (Resolució 6, vegeu la pàgina 56).

Conferència General de Pesos i Mesures, 1946

■ **Definició de les unitats fotomètriques (PV 1946;20:119-22)***

Resolució

4. Les unitats fotomètriques poden definir-se de la forma següent:

Candela nova (unitat d'intensitat lluminosa): la magnitud de la candela nova és tal que la

* Les dues definicions incloses en aquesta resolució van ser ratificades per la novena Conferència General de Pesos i Mesures el 1948, que a més va aprovar el nom de candela donat a la "candela nova" (CR,

l'fluïdor del radiador integral a la temperatura de solidificació del platí sigui de 60 candel·les noves per centímetre quadrat.

Lumen nou (unitat de flux lluminós): el lumen nou és el flux lluminós emès en l'angle sòlid unitat (estereoradiant) per una font puntual uniforme que té una intensitat lluminosa d'1 candela nova.

5 ...

54). Pel lumen, el qualificatiu de nou va ser abandonat. La definició de la candela va ser modificada per la tretzena Conferència General de Pesos i Mesures el 1967 (Resolució 5, vegeu la pàgina 62).

■ Definicions de les unitats elèctriques (PV 1946;20:132-3)

Resolució 2

...

4. (A) Definicions de les unitats mecàniques utilitzades en les definicions de les unitats elèctriques:

Unitat de força: la unitat de força [en el sistema MKS (metre, kilogram, segon)] és la força que comunica a una massa d'1 kilogram l'acceleració d'1 metre per segon, cada segon.

Joule (unitat d'energia o de treball): el joule és el treball efectuat quan el punt d'aplicació d'1 unitat MKS de força [newton] es desplaça una distància d'1 metre en la direcció de la força.

Watt (unitat de potència): el watt és la potència que produeix una energia igual a 1 joule per segon.

(B) Definicions de les unitats elèctriques. El Comitè Internacional de Pesos i Mesures admet les propostes següents que defineixen la magnitud teòrica de les unitats elèctriques:

Ampere (unitat d'intensitat de corrent elèctric): l'ampere és la intensitat d'un corrent constant que, mantingut en dos conductors paral·lels, rectilinis, de longitud infinita, de secció circular negligible i col·locats a una distància d'un metre l'un de l'altre, en el buit, produiria entre aquests conductors una força igual a 2×10^{-7} newtons per metre de longitud.

Volt (unitat de diferència de potencial i força electromotriu): el volt és la diferència de potencial elèctric que existeix entre dos punts d'un fil conductor que transporta un corrent constant d'1 ampere, quan la potència dissipada entre aquests punts és igual a 1 watt.

Ohm (unitat de resistència elèctrica): l'ohm és la resistència elèctrica que existeix entre dos punts d'un conductor quan una diferència de potencial constant d'1 volt, aplicada entre aquests dos punts, produeix en el conductor, un corrent d'1 ampere, sense que hi hagi en el conductor cap força electromotriu.

Coulomb (unitat de quantitat d'electricitat): el coulomb és la quantitat d'electricitat transportada en 1 segon per un corrent d'1 ampere.

Farad (unitat de capacitat elèctrica): el farad és la capacitat d'un condensador elèctric entre les plaques del qual apareix una diferència de potencial elèctric d'1 volt, quan està carregat amb una quantitat d'electricitat d'1 coulomb.

Henry (unitat d'inductància elèctrica): El henry és la inductància elèctrica d'un circuit tancat en el qual es produeix una força electromotriu d'1 volt quan el corrent elèctric que recorre el circuit varia uniformement a raó d'1 ampere per segon.

Weber (unitat de flux magnètic); el weber és el flux magnètic que, travessant un circuit

Les definicions incloses en aquesta resolució van ser aprovades per la novena Conferència General de Pesos i Mesures el 1948 (CR, 49) que a més va adoptar el nom newton (Resolució 7) per a la unitat MKS de força.

d'un sola espira, produiria una força electromotriu d'1 volt, si es portés a zero en 1 segon a velocitat uniforme.

Novena Conferència General de Pesos i Mesures, 1948

■ Punt triple de l'aigua; escala termodinàmica a un sol punt fix; unitat de quantitat de calor (joule) (CR, 55 i 63)

Resolució 3

1. En l'estat actual de la tecnologia, el punt triple de l'aigua és capaç de proporcionar una referència termomètrica de molta més precisió que el punt de fusió del gel.

En conseqüència, el Comitè Consultiu (de la Termometria i la Calorimetria) estima que el zero de l'escala termodinàmica centesimal ha de ser definit com situat a una temperatura inferior en 0,0100 graus a la del punt triple de l'aigua pura.

2. El Comitè Consultiu (de la Termometria i la Calorimetria) admet el principi d'una escala termodinàmica absoluta amb un sol punt fix fonamental, proporcionat actualment pel punt triple de l'aigua pura, la temperatura absoluta de la qual serà fixada posteriorment.

La introducció d'aquesta nova escala no afecta l'ús de l'Escala internacional que segueix sent l'escala pràctica recomanada.

3. La unitat de quantitat de calor és el joule.

Nota: Es demana que els resultats d'experiments calorimètrics s'expressin dins el que és possible en joules. Si els experiments s'han realitzat mitjançant comparació amb un augment de la temperatura de l'aigua (i que, per una raó qualsevol, no es pot evitar l'ús de la calor), cal proporcionar tota la informació necessària per a la conversió en joules. El Comitè Internacional de Pesos i Mesures, assessorat pel Comitè Consultiu de la Termometria i la Calorimetria, ha de confeccionar una taula que presenti els valors més exactes que es puguin obtenir dels experiments realitzats sobre la calor específica, en joules per grau.

Una taula, d'acord amb aquesta sol·licitud, va ser aprovada i publicada pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures el 1950 (PV 1950;22:92).

■ Adopció del “grau Celsius” [Comitè Internacional de Pesos i Mesures, 1948 (PV 1948;21:88) i la novena Conferència General de Pesos i Mesures, 1948 (CR, 64)]

Entre els tres termes (grau centígrad, grau centesimal i grau Celsius) proposats per designar el grau de temperatura, el Comitè Internacional de Pesos i Mesures ha seleccionat el grau Celsius (PV 1948;21:88).

Aquest terme ha estat legalment adoptat per la novena Conferència General de Pesos i Mesures (CR, 64).

■ Proposta d'establiment d'un sistema pràctic d'unitats de mesura (CR, 64)

Resolució 6

La Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant

- que el Comitè Internacional de Pesos i Mesures ha rebut una sol·licitud de la Unió Internacional de Física a fi d'adoptar per a les relacions internacionals un sistema pràctic internacional d'unitats, recomanant el sistema MKS i una unitat elèctrica del sistema pràctic absolut, sense recomanar que el sistema CGS sigui abandonat pels físics;
- que el propi Comitè Internacional de Pesos i Mesures ha rebut del govern francès un requeriment similar, acompanyat d'un projecte destinat a servir de base de discussió per l'establiment d'una reglamentació completa en relació a les unitats de mesura;

encarrega al Comitè Internacional de Pesos i Mesures

- començar i portar a terme una enquesta oficial sobre l'opinió dels cercles científics, tècnics i pedagògics de tots els països (oferint com base el document francès);
- reunir i valorar les respostes;
- emetre les recomanacions en relació a l'establiment d'un sistema pràctic d'unitats de mesura, susceptible de ser adoptat per tots els països signants de la Convenció del Metre.

■ Escriptura dels símbols de les unitats i els nombres (CR, 70)

Resolució 7

Principis

Els símbols de les unitats s'escriuen en caràcters romans, en general en minúscules. No obstant, si els símbols es deriven de noms propis, s'utilitzen majúscules. Els símbols no van seguits d'un punt.

En quant als nombres, la coma (ús francès) o el punt (en anglès) s'utilitzen solament per separar la part entera dels nombres de la part decimal. Per facilitar la lectura, els nombres poden separar-se en grups de tres xifres. Aquests grups no se separen mai per comes ni punts.

La Conferència General de Pesos i Mesures va derogar algunes decisions relatives a les unitats i la terminologia, en concret aquelles relatives al micró, al grau absolut i al nom "grau", tretzena Conferència General de Pesos i Mesures, 1967/68 (Resolució 7 i 3, vegeu la pàgina 63 i 62, respectivament), i també el litre, setzena Conferència General de Pesos i Mesures, 1979 (Resolució 6, vegeu la pàgina 69).

Unitats	Símbols	Unitats	Símbols
• metre	m	ampere	A
• metre quadrat	m ²	volt	V
• metre cúbic	m ³	watt	W
• micró	μ	ohm	Ω
• litre	l	coulomb	C
• gram	g	farad	F
• tona	t	henry	H
segon	s	hertz	Hz
erg	erg	poise	P
dina	dyn	newton	N
grau Celsius	°C	• candela (candela nova)	cd
• grau absolut	°K	lux	lx
caloria	cal	lumen	lm
bar	bar	stilb	sb
hora	h		

Observacions

1. Els símbols les unitats dels quals van precedits d'un punt són aquells que ja havien estat adoptats per decisió del Comitè Internacional de Pesos i Mesures.
2. La unitat de volum estèreo, emprada en la mesura dels boscos, tindrà com a símbol "st" i no "s" com li havia assignat prèviament el Comitè Internacional de Pesos i Mesures.
3. Si no es tracta d'una temperatura, sinó d'un interval o d'una diferència de temperatura, cal escriure la paraula "grau" amb totes les lletres o abreviada.

Desena Conferència General de Pesos i Mesures, 1954

■ Definició de l'escala termodinàmica de la temperatura (CR, 79)*

Resolució 3

La desena Conferència General de Pesos i Mesures ha decidit de definir l'escala termodinàmica de la temperatura mitjançant el punt triple de l'aigua com a punt fix fonamental, atorgant-li la temperatura de 273,16 graus Kelvin exactament.

* La tretzena Conferència General de Pesos i Mesures el 1967/68 (Resolució 4, vegeu la pàgina 62) va definir explícitament el kelvin.

■ Definició de l'atmosfera estàndard (CR, 79)

Resolució 4

La desena Conferència General de Pesos i Mesures, constatant que la definició de l'atmosfera estàndard proporcionada per la novena Conferència General de Pesos i Mesures en la definició de l'escala internacional de la temperatura ha portat a pensar a alguns físics que la vàlida de aquesta definició de l'atmosfera estàndard era vàlida només per a les necessitats de la termometria de precisió,

declara que adopta, per a totes les aplicacions, la definició:

1 atmosfera estàndard = 1 013 250 dines per centímetre quadrat

és a dir, 101 325 newtons per metre quadrat.

■ Sistema pràctic d'unitats de mesura (CR, 80)*

Resolució 4

La desena Conferència General de Pesos i Mesures, d'acord amb la Resolució 6 de la novena Conferència General de Pesos i Mesures en relació a l'establiment d'un sistema pràctic d'unitats de mesura per a les relacions internacionals,

* El nom de la unitat de la temperatura termodinàmica va ser canviat a "kelvin" el 1967 per la tretzena Conferència General de Pesos i Mesures (Resolució 3, vegeu la pàgina 62).

decideix adoptar com unitats de base d'aquest sistema a establir, les unitats següents:

longitud	metre
massa	kilogram
temps	segon
intensitat de corrent elèctric	ampere
temperatura termodinàmica	grau Kelvin
intensitat lluminosa	candela

Comitè Internacional de Pesos i Mesures, 1956

■ Definició de la unitat de temps (segon) (PV 1956;25:77)*

* La definició va ser derogada el 1967 per la tretzena Conferència General de Pesos i Mesures (Resolució 1, vegeu la pàgina 61).

Resolució 1

En virtut dels poders que li ha atorgat la desena Conferència General de Pesos i Mesures en la seva Resolució 5, el Comitè Internacional de Pesos i Mesures,

considerant

1. que la novena Assemblea general de la Unió Astronòmica Internacional (Dublín, 1955) ha emès un pronunciament favorable en el sentit de lligar el segon a l'any tròpic,
2. que, segons les decisions de la vuitena Assemblea general de la Unió Astronòmica Internacional (Roma, 1952), el segon de temps d'efemèrides (T.E.) és la fracció

$$\frac{12\,960\,276\,813}{408\,986\,496} \times 10^{-9} \text{ de l'any tròpic pel gener de 1900 de 0 hores a 12 hores de temps}$$

d'efemèrides.

decideix

El segon és la fracció $1/31\,556\,925,9747$ de l'any tròpic pel gener de 1900 de 0 a 12 hores de temps d'efemèrides.

■ El Sistema Internacional d'Unitats (PV 1956;25:83)

Resolució 3

El Comitè Internacional de Pesos i Mesures,

considerant

- la missió encarregada per la novena Conferència General de Pesos i Mesures en la seva Resolució 6 en relació a l'establiment d'un sistema pràctic d'unitats de mesura susceptible de ser adoptat per tots els països signataris de la Convenció de Metre,
- el conjunt de documents enviats pels vint-i-un països que han respost a l'enquesta requerida per la novena Conferència General de Pesos i Mesures,
- la Resolució 6 de la desena Conferència General de Pesos i Mesures que fixa les unitats de base del sistema a establir,

recomana

1. que sigui designat com "Sistema Internacional d'Unitats" el sistema fonamentat en les unitats de base adoptades per la desena Conferència General de Pesos i Mesures, les quals són:

[Segueix la llista de les sis unitats de base amb el seu símbol, reproduïda en la Resolució 12 de l'onzena Conferència General de Pesos i Mesures (1960)].

2. que siguin emprades les unitats d'aquest sistema especificades en la taula següent, sense perjudici d'altres unitats que es podrien afegir en un futur:

Onzena Conferència General de Pesos i Mesures, 1960

■ Definició del metre (CR, 85)*

Resolució 6

L'onzena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant

- que el Prototip internacional no defineix el metre amb una precisió suficient per les necessitats actuals de la metrologia,
- que és desitjable adoptar un patró natural i indestructible,

decideix

1. El metre és la longitud igual a 1 650 763,73 longituds d'ona en el buit de la radiació corresponent a la transició entre els nivells $2p_{10}$ i $5d_5$ de l'àtom de criptó 86.
2. La definició del metre en vigor des del 1889 fonamentada en el Prototip internacional en platí irídic queda derogada.
3. El Prototip internacional del metre sancionat per la primera Conferència General de Pesos i Mesures el 1889 serà conservat a l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures en les mateixes condicions que es van fixar el 1889.

* La definició va ser derogada el 1983 per la dissetena Conferència General de Pesos i Mesures (Resolució 1, vegeu la pàgina 70).

■ Definició de la unitat de temps (segon) (CR, 86)*

Resolució 9

L'onzena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant

- el poder atorgat per la desena Conferència General de Pesos i Mesures al Comitè Internacional de Pesos i Mesures a fi de prendre una decisió en relació a la definició de la unitat fonamental de temps,
- la decisió presa pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures en la seva sessió de 1956,

* La definició va ser derogada el 1967 per la tretzena Conferència General de Pesos i Mesures (Resolució 1, vegeu la pàgina 61).

ratifica la definició següent:

El segon és la fracció $1/31\ 556\ 925,9747$ de l'any tròpic pel gener de 1900 de 0 a 12 hores de temps d'efemèrides.

■ **Sistemat Internacional d'Unitats (CR, 87)***

Resolució 12

L'onzena Conferència General de Pesos i Mesures,

* La Conferència General de Pesos i Mesures va posteriorment derogar algunes decisions i va completar la llista dels prefixos del Sistema Internacional, vegeu les notes a continuació.

considerant

- la Resolució 6 de la desena Conferència General de Pesos i Mesures per la qual ha adoptat les sis unitats que serviran de base per establir un sistema pràctic de mesura per a les relacions internacionals:

longitud	metre	m
massa	kilogram	kg
temps	segon	s
intensitat de corrent elèctric	ampere	A
temperatura termodinàmica	grau kelvin	°K
intensitat lluminosa	candela	cd

- la Resolució 3 adoptada pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures el 1956,
- les recomanacions adoptades pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures el 1958 en relació a l'abreviació del nom d'aquest sistema i els prefixos per a la formació dels múltiples i submúltiples de les unitats.

El nom i símbol de la unitat de la temperatura termodinàmica va ser modificats per la tretzena Conferència General de Pesos i Mesures el 1967 (Resolució 3, vegeu la pàgina 62).

decideix

- el sistema fonamentat en les sis unitats de base anteriors es denomina "Sistema Internacional d'Unitats";
- l'abreviatura internacional del nom d'aquest sistema és SI;
- els noms dels múltiples i submúltiples de les unitats es formen mitjançant els prefixos següents:

Una setena unitat de base, el mol, va ser adoptada per la catorzena Conferència General de Pesos i Mesures el 1971 (Resolució 3, vegeu la pàgina 66).

Factor pel qual es multiplica la unitat	Prefix	Símbol	Factor pel qual es multiplica la unitat	Prefix	Símbol
$1\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{12}$	tera	T	$0,1 = 10^{-1}$	deci	d
$1\ 000\ 000\ 000 = 10^9$	giga	G	$0,01 = 10^{-2}$	centi	c
$1\ 000\ 000 = 10^6$	mega	M	$0,001 = 10^{-3}$	mili	m
$1\ 000 = 10^3$	kilo	k	$0,000\ 001 = 10^{-6}$	micro	μ
$100 = 10^2$	hecto	h	$0,000\ 000\ 001 = 10^{-9}$	nano	n
$10 = 10^1$	deca	da	$0,000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-12}$	pico	p

Altres prefixos van ser adoptats per la dotzena Conferència General de Pesos i Mesures el 1964 (Resolució 8, vegeu la pàgina 60), la quinzena Conferència General de Pesos i Mesures el 1975 (Resolució 10, vegeu la pàgina 68), i per la dinovena Conferència General de Pesos i Mesures el 1991 (Resolució 4, vegeu la pàgina 75).

- s'utilitzen en aquest sistema les següents unitats sense perjudici de les que es puguin

afegir més endavant

Unitats suplementàries

angle	radiant	rad
angle sòlid	estereoradiant	sr

Unitats derivades

superfície	metre quadrat	m ²	
volum	metre cúbic	m ³	
freqüència	hertz	Hz	1/s
massa en volum	kilogram per metre cúbic	kg/m ³	
velocitat	metre per segon	m/s	
velocitat angular	radiant per segon	rad/s	
acceleració	metre per segon quadrat	m/s ²	
acceleració angular	radiant per segon quadrat	rad/s ²	
força	newton	N	kg · m/s ²
pressió (tensió mecànica)	newton per metre quadrat	N/m ²	
viscositat cinemàtica	metre quadrat per segon	m ² /s	
viscositat dinàmica	newton-segon per metre quadrat	N · s/m ²	
treball, energia, quantitat de calor	joule	J	N · m
potència	watt	W	J/s
quantitat d'electricitat	coulomb	C	A · s
tensió elèctrica, diferència de potencial, força electromotriu	volt	V	W/A
intensitat de camp elèctric	volt per metre	V/m	
resistència elèctrica	ohm	Ω	V/A
capacitat elèctrica	farad	F	A · s/V
flux d'inducció magnètica	weber	Wb	V · s
inductància	henry	H	V · s/A
inducció magnètica	tesla	T	Wb/m ²
intensitat de camp magnètic	ampere per metre	A/m	
força magnetomotriu	ampere	A	
flux lluminós	lumen	lm	cd · sr
luminància	candela per metre quadrat	cd/m ²	
il·luminància	lux	lx	lm/m ²

La vintena Conferència General de Pesos i Mesures va derogar el 1995 la classe d'unitats suplementàries en el Sistema Internacional (Resolució 8, vegeu la pàgina 76). Aquestes unitats es consideren actualment com unitats derivades.

La tretzena Conferència General de Pesos i Mesures el 1967 (Resolució 6, vegeu la pàgina 63) va afegir altres unitats a aquesta llista d'unitats derivades que, en principi, no és limitant.

■ Decímetre cúbic i litre (CR, 88)

Resolució 13

L'onzena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant

- que el decímetre cúbic i el litre no són iguals i es diferencien en al voltant de 28 parts en 10⁶.
- que les determinacions de les magnituds físiques que impliquen mesures de volum tenen una precisió cada vegada major, fent més greu les conseqüències d'una possible confusió entre el decímetre cúbic i el litre.

demana al Comitè Internacional de Pesos i Mesures que estudiï aquest problema i presenti les seves conclusions a la dotzena Conferència General de Pesos i Mesures.

Comitè Internacional de Pesos i Mesures, 1961

- Decímetre cúbic i litre (PV 1961;29:34)

Recomanació

El Comitè Internacional de Pesos i Mesures recomana que els resultats de les mesures precises de volum siguin expressats en unitats del Sistema Internacional i no en litres.

Comitè Internacional de Pesos i Mesures, 1964

- Patrons de freqüència (PV 1964;32:26 i CR, 93)

Declaració

El Comitè Internacional de Pesos i Mesures,

habilitat per la Resolució 5 de la dotzena Conferència General de Pesos i Mesures per designar els patrons atòmics o moleculars de freqüència per al seu ús temporal per a les mesures físiques de temps,

declara que el patró a utilitzar és la transició entre nivells hiperfins $F=4, M=0$ i $F=3, M=0$ de l'estat fonamental $^2S_{1/2}$ de l'àtom de cesi 133 no pertorbat per camps exteriors i que el valor 9 192 631 770 hertz és assignada a la freqüència d'aquesta transició.

Dotzena Conferència General de Pesos i Mesures, 1964

- Patró atòmic de freqüència (CR, 93)

Resolució 5

La dotzena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant

que l'onzena Conferència General de Pesos i Mesures va constatar en la seva Resolució 10 la urgència per als objectius de la metrologia de precisió de definir un patró atòmic o molecular d'interval de temps,

que, malgrat que els resultats aconseguits en la utilització dels patrons atòmics de freqüència amb cesi, no ha arribat encara el moment que la Conferència General de Pesos i Mesures adopti una nova definició del segon, unitat de base del Sistema Internacional d'Unitats, degut als progressos nous i importants que poden produir-se al llarg dels estudis en curs,

considerant també que no es pot esperar més per fonamentar les mesures físiques de temps en patrons atòmics o moleculars de freqüència

habilita al Comitè Internacional de Pesos i Mesures a designar els patrons atòmics o moleculars de freqüència a utilitzar temporalment,

invita a les organitzacions i els laboratoris d'experts en aquest camp que prossegueixin els estudis útils per a una nova definició del segon

■ **Litre** (CR, 93)

Resolució 6

La dotzena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant la Resolució 13 adoptada per l'onzena Conferència General de Pesos i Mesures el 1960 i la Recomanació adoptada pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures a la sessió del 1961,

1. deroga la definició del litre donada el 1901 per la tercera Conferència General de Pesos i Mesures,
2. declara que la paraula “litre” pot ser utilitzada com un nom especial donat al decímetre cúbic,
3. recomana que el nom litre no sigui utilitzat per expressar els resultats de les mesures de volum d'alta precisió.

■ **Curie** (CR, 94)*

Resolució 7

La dotzena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant que fa temps que el curie és utilitzat en molts països com unitat per a l'activitat dels radionúclids,

reconeixent que el Sistema Internacional d'Unitats (SI), la unitat d'aquesta activitat és el segon elevat a la potència menys u (s^{-1})

admet que el curie se segueixi considerant, fora del Sistema Internacional, com unitat d'activitat, amb un valor de $3,7 \times 10^{10} s^{-1}$. El símbol d'aquesta unitat és Ci.

* El nom “bequerel” (Bq) va ser adoptat per la quinzena Conferència General de Pesos i Mesures el 1975 (Resolució 8, vegeu la pàgina 67 per a la unitat d'activitat dins del Sistema Internacional: $1 Ci = 3,7 \times 10^{10} Bq$).

■ **Prefixos Sistema Internacionalfemto i atto del Sistema Internacional** (CR, 94)*

Resolució 8

La dotzena Conferència General de Pesos i Mesures,

decideix afegir a la llista dels prefixos per a la formació dels noms dels múltiples i dels submúltiples de les unitats, tal com es va adoptar en l'onzena Conferència General de Pesos i Mesures, Resolució 12, paràgraf 3, els dos nous prefixos següents:

* Nous prefixos van ser afegits per la quinzena Conferència General de Pesos i Mesures el 1975 (Resolució 10, vegeu la pàgina 68).

Factor pel qual es multiplica la unitat	Prefix	Símbol
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a

Comitè Internacional de Pesos i Mesures, 1967

■ **Múltiples i submúltiples decimals de la unitat de massa** (PV 1967;35:29 i *Metrologia* 1968;4:45)

Recomanació 2

El Comitè Internacional de Pesos i Mesures,

considerant que la regla de formació dels noms dels múltiples i submúltiples decimals de les unitats del paràgraf 3 de la Resolució 12 de l'onzena Conferència General de Pesos i Mesures de 1960 pot prestar-se a malentesos en la seva aplicació a la unitat de massa,

declara que les disposicions de la Resolució 12 de l'onzena Conferència General de Pesos i Mesures s'apliquen en el cas del kilogram de la forma següent: els noms dels múltiples i submúltiples decimals de la unitat de massa es formen per addició dels prefixos al mot "gram".

Tretzena Conferència General de Pesos i Mesures, 1967/68

■ **Unitat Sistema Internacional de temps (segon) del Sistema Internacional** (CR, 103 i *Metrologia* 1968;4:43)

Resolució 1

La tretzena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant

- que la definició de segon adoptada pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures en la seva sessió de 1956 (Resolució 1) i ratificada per la Resolució 9 de l'onzena Conferència General de Pesos i Mesures (1960), i mantinguda per la Resolució 5 de la dotzena Conferència General de Pesos i Mesures (1964) no és suficient per les necessitats actuals de la metrologia,
- que en la sessió de 1964, el Comitè Internacional de Pesos i Mesures, habilitat per la Resolució 5 de la dotzena Conferència General de Pesos i Mesures (1964) a designat per respondre a aquestes necessitats un patró atòmic de freqüència de cesi per ser emprat temporalment,
- que aquest patró de freqüència està actualment suficientment provat i és prou precís per servir per a una definició del segon que respongui a les necessitats actuals,
- que ha arribat el moment de substituir la definició en vigor actualment de la unitat de temps del Sistema Internacional d'Unitats per una definició atòmica fonamentada en aquest patró

decideix

1. la unitat de temps del Sistema Internacional d'Unitats és el segon definit en els termes següents:

"El segon és la durada de 9 192 631 770 períodes de la radiació corresponent a la transició entre dos nivells hiperfins de l'estat fonamental de l'àtom de cesi 133".

En la sessió del 1997, el Comitè Internacional de Pesos i Mesures va confirmar que aquesta definició es refereix a un àtom de cesi en repòs, a una temperatura de 0 K.

2. La Resolució 1 adoptada pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures en la seva sessió de 1956 i la Resolució 9 de l'onzena Conferència General de Pesos i Mesures són derogades.

■ **Unitat Sistema Internacional de temperatura termodinàmica (kelvin) del Sistema Internacional (CR, 104 i *Metrologia* 1968;4:43)***

* En la sessió del 1980, el Comitè Internacional de Pesos i Mesures va aprovar l'informe de la setena sessió del Comitè Consultiu de les Unitats demanant que no s'admetés més l'ús dels símbols "°K" i "deg".

Resolució 3

La tretzena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant

- els noms "grau Kelvin" i "grau", els símbols "°K" i "deg" i les regles d'utilització especificades en la Resolució 7 de la novena Conferència General de Pesos i Mesures (1948), en la Resolució 12 de l'onzena Conferència General de Pesos i Mesures (1960) i la decisió presa pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures el 1962 (PV 1962;30:27),
- que la unitat de temperatura termodinàmica i la unitat d'interval de temperatura són una mateixa unitat que caldria designar per un nom i símbols únics,

decideix

1. la unitat de temperatura termodinàmica es designa amb el nom "kelvin" i el seu símbol és "K"; *
2. aquest mateix nom i mateix símbol s'utilitzen per expressar un interval de temperatura;
3. un interval de temperatura també pot expressar-se mitjançant graus Celsius;
4. es deroguen les decisions esmentades al primer considerant en relació al nom de la unitat de temperatura termodinàmica, el seu símbol i designació de la unitat per expressar un interval de temperatura o una diferència de temperatura, però les utilitzacions derivades d'aquestes decisions s'admeten durant un temps.

* Vegeu la Recomanació 2 (CI-2005) del Comitè Internacional de Pesos i Mesures en relació a la composició isotòpica de l'aigua per la definició del kelvin (pàgina 83).

■ **Definició de la unitat Sistema Internacional de temperatura termodinàmica (kelvin) del Sistema Internacional (CR, 104 i *Metrologia* 1968;4:43)***

* Vegeu la Recomanació 5 (CI-1989) del Comitè Internacional de Pesos i Mesures en relació a l'escala internacional de la temperatura de 1990 (pàgina 74).

Resolució 4

La tretzena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant que és útil formular de forma més explícita la definició de la unitat de temperatura termodinàmica continguda en la Resolució 3 de la desena Conferència General de Pesos i Mesures (1954),

decideix expressar aquesta definició de la forma següent:

"El kelvin, la unitat de temperatura termodinàmica, és la fracció 1/273,16 de la temperatura termodinàmica del punt triple de l'aigua".

■ **Unitat Sistema Internacional d'intensitat lluminosa (candela) del Sistema Internacional** (CR, 104 i *Metrologia* 1968;4:43-4)*

* La definició va ser derogada el 1979 per la setzena Conferència General de Pesos i Mesures (Resolució 3, vegeu la pàgina 68).

Resolució 5

La tretzena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant

- la definició de la unitat d'intensitat lluminosa ratificada per la novena Conferència general de Pesos i Mesures (1948) i continguda en la "Resolució en relació al canvi de les unitats fotomètriques" adoptada pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures el 1946 (PV 1946;20:119) gràcies als poders atorgats per la vuitena Conferència General de Pesos i Mesures (1933),
- que aquesta definició determina satisfactòriament la magnitud de la unitat d'intensitat lluminosa però es presta a crítiques en quant a la redacció,

decideix expressar la definició de la candela de la forma següent:

"La candela és la intensitat lluminosa, en direcció perpendicular, d'una superfície de 1/600 000 metres quadrats d'un cos negre a la temperatura de congelació del platí a una pressió de 101 325 newtons per metre quadrat".

■ **Unitats derivades del Sistema Internacional** (CR, 105 i *Metrologia* 1968;4:44)*

* La unitat d'activitat va rebre un nom i un símbol especials en la quinzena Conferència General de Pesos i Mesures el 1975 (Resolució 8, vegeu la pàgina 67).

Resolució 6

La tretzena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant que és útil afegir altres unitats derivades a la llista del paràgraf 4 de la Resolució 12 de l'onzena Conferència General de Pesos i Mesures (1960),

decideix afegir-hi:

nombre d'ones	1 per metre	m^{-1}
entropia	joule per kelvin	J/K
capacitat calorífica màssica	joule per kilogram kelvin	J/(kg · K)
conductivitat tèrmica	watt per metre kelvin	W/(m · K)
intensitat radiant	watt per estereoradiant	W/sr
activitat (d'una font radiactiva)	1 per segon	

■ **Derogació de decisions anteriors (el micró i la candela nova)** (CR, 105 i *Metrologia* 1968;4:44)

Resolució 7

La tretzena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant que les decisions preses amb posterioritat per la Conferència General de

Pesos i Mesures en relació al Sistema Internacional d'Unitats entren en contradicció amb algunes parts de la Resolució 7 de la novena Conferència General de Pesos i Mesures (1948),

decideix en conseqüència retirar de la Resolució 7 de la novena Conferència General de Pesos i Mesures:

1. el nom d'unitat "micró", i el símbol "μ" que es va atorgar a aquesta unitat i que ha esdevingut un prefix;
2. el nom d'unitat "candela nova".

Comitè Internacional de Pesos i Mesures, 1969

■ **El Sistema Internacional d'Unitats, regles d'aplicació de la Resolució 12 de l'onzena Conferència General de Pesos i Mesures (1960) (PV 1969;37:30 i Metrologia 1970;6:66)***

* La vintena Conferència General de Pesos i Mesures el 1995 (Resolució 8, vegeu la pàgina 76) va derogar la classe de les unitats suplementàries en el Sistema Internacional.

Recomanació 1

Comitè Internacional de Pesos i Mesures,

considerant que la Resolució 12 de l'onzena Conferència General de Pesos i Mesures (1960), pel que fa al Sistema Internacional d'Unitats, a provocat discussions en torn a determinats aspectes,

declara

1. les unitats de base, les unitats suplementàries i les unitats derivades del Sistema Internacional d'Unitats, que formen un conjunt coherent, són anomenades amb el nom de "unitats SI"; **
2. els prefixos adoptats per la Conferència General de Pesos i Mesures per a la formació dels múltiples i submúltiples decimals de les unitats SI s'anomenen "prefixes SI";

** El Comitè Internacional de Pesos i Mesures va aprovar el 2001 una proposta del Comitè Consultiu de les Unitats a fi d'aclarir la definició de les "unitats SI" i "unitats de l'SI", vegeu la pàgina 78.

i recomana

3. utilitzar les unitats del Sistema Internacional i els seus múltiples i submúltiples decimals els noms de les quals es formen mitjançant els prefixes del Sistema Internacional.

Nota: Es dona el nom "unitats suplementàries", que figuren en la Resolució 12 de l'onzena Conferència General de Pesos i Mesures (i en la recomanació present), a les unitats del Sistema Internacional per a les quals la Conferència General de Pesos i Mesures no decideix si es tracta d'unitats de base o derivades.

Comitè Consultiu per a la Definició del Segon, 1970 (*In Comitè Internacional de Pesos i Mesures, 1970*)

■ **Definició del temps atòmic internacional (TAI)** (PV 1970;38:110-1 i *Metrologia* 1971;7:43)

Recomanació S 2

El temps atòmic internacional és la coordenada de referència temporal establerta per l'Oficina Internacional de l'Hora sobre la base d'indicacions de rellotges atòmics funcionant en diverses localitzacions d'acord amb la definició del segon, unitat del Sistema Internacional d'Unitats.

El 1980, la definició del temps atòmic internacional va ser completada de la forma següent (declaració del Comitè Consultiu per a la Definició del Segon, *BIPM Com. cons. déf. seconde* 1980;9:S15 i *Metrologia* 1981;17:70):

El temps atòmic internacional és una escala coordinada de temps definida en un sistema de referència geocèntric amb el segon del Sistema Internacional d'Unitats realitzat sobre el geode en rotació com unitat d'escala.

La Unió Astronòmica Internacional va precisar aquesta definició en la Resolució A4 del 1991: "El temps astronòmic internacional és una escala de temps realitzada la forma ideal de la qual, si no es té en compte un retard constant de 32,184 s, és el temps terrestre (TT), el qual està lligat a la coordenada de temps del sistema de referència geocèntric, el temps coordinat geocèntric (TCG), per una relació constant" (vegeu els Procediments de l'Assemblea General de la Unió Astronòmica Internacional, IAU *Trans*, 1991, vol XXIB, Kluwer).

Catorzena Conferència General de Pesos i Mesures, 1971

■ **Pascal i siemens** (CR, 78)

La catorzena Conferència General de Pesos i Mesures ha adoptat els noms especials de "pascal" (símbol Pa) com unitat del Sistema Internacional newton per metre quadrat i "siemens" (símbol S) com unitat del Sistema Internacional de conductància elèctrica (ohm a la potència menys u).

■ **Temps atòmic internacional: funció del Comitè Internacional de Pesos i Mesures** (CR, 77-78 i *Metrologia* 1972;8:35)

Resolució 1

La catorzena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant

- que el segon, unitat de temps del Sistema Internacional d'Unitats, es defineix des del 1967 d'acord amb una freqüència atòmica natural, i no en funció de les escales de temps aportades pels moviments astronòmics,
- que la necessitat d'una escala de temps atòmic internacional (TAI) és una conseqüència de la definició atòmica del segon,
- que diverses organitzacions internacionals han assegurat i segueixen assegurant amb èxit l'establiment d'escales de temps fundades en moviments astronòmics, particularment gràcies als serveis permanents de l'Oficina Internacional de l'Hora,

- que l'Oficina Internacional de l'Hora a començat a establir una escala de temps atòmic les qualitats de la qual són reconegudes i que ha demostrat la seva utilitat,
- que els patrons atòmics de freqüència que serveixen per a la realització del segon han estat estudiats i han de seguir sent-ho pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures assistit per un comitè consultiu, i que l'interval unitat de l'escala del temps atòmic internacional ha de ser el segon realitzat d'acord amb la seva definició atòmica,
- que totes les organitzacions científiques internacionals competents i els laboratoris nacionals actius en aquest àmbit han expressat el desig que el Comitè Internacional de Pesos i Mesures i la Conferència General de Pesos i Mesures proporcionin una definició del temps atòmic internacional i contribueixin a l'establiment de l'escala de temps atòmic internacional,
- que la utilitat del temps atòmic internacional requereix una coordinació estreta amb les escales de temps fundades en els moviments astronòmics,

demana al Comitè Internacional de Pesos i Mesures

1. proporcionar una definició del temps atòmic internacional;
2. prendre totes les mesures necessàries, d'acord amb les organitzacions internacionals interessades, perquè s'utilitzin totes les competències científiques i els mitjans d'acció existents per a la realització de l'escala del temps atòmic internacional, i perquè siguin satisfets els requeriments dels usuaris del temps atòmic internacional.

La definició del temps atòmic internacional va ser donada pel Comitè Consultiu per a la Definició del Segon el 1970 (actualment anomenat Comitè Consultiu del Temps i les Freqüències), vegeu la pàgina 65.

■ **Unitat quantitat de substància del Sistema Internacional (mol)** (CR, 78 i *Metrologia* 1972;8:36)*

Resolució 3

La catorzena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant els avisos de la Unió Internacional de la Física Pura i Aplicada, de la Unió Internacional de Química Pura i Aplicada i la l'Organització Internacional de Normalització en relació a la necessitat de definir una unitat per la quantitat de substància,

decideix

1. El mol és la quantitat de substància d'un sistema que conté igual nombre d'entitats elementals com àtoms hi ha en 0,012 kilograms de carboni 12; el seu símbol és "mol".
2. Quan s'utilitza el mol, cal especificar les entitats elementals, que poden ser àtoms, molècules, ions, electrons, i altres partícules o grups especificats d'aquestes partícules.
3. El mol és una unitat de base del Sistema Internacional d'Unitats.

* En la sessió de 1980, el Comitè Internacional de Pesos i Mesures va aprovar l'informe de la setena sessió del Comitè Consultiu de les Unitats (1980) precisant que, en aquesta definició, s'enten que ohm es refereix a àtoms de carbó 12 no lligats, en repòs i en el seu estat fonamental.

Quinzena Conferència General de Pesos i Mesures, 1975

■ **Valor recomanat per la velocitat de la llum** (CR, 103 i *Metrologia* 1975;11:179-80)*

Resolució 2

La quinzena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant l'excel·lent acord entre els resultats de les mesures de longitud d'ona en les radiacions làser en una línia d'absorció molecular en la regió visible o infraroja, amb una incertesa estimada de $\pm 4 \times 10^{-9}$ que correspon a la indeterminació de la realització del metre,

La incertesa relativa correspon aquí a tres vegades la desviació estàndard estimada dels resultats considerats.

considerant també les mesures concordants de la freqüència de diverses d'aquestes radiacions,

recomana l'ús del valor que resulta per la velocitat de propagació de les ondes electromagnètiques en el buit $c = 299\,792\,458$ metres per segon.

■ Temps universal coordinat (UTC) (CR, 104 i *Metrologia* 1975;11:180)

Resolució 5

La quinzena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant que el sistema anomenat "Temps universal coordinat" (UTC) és àmpliament usat, que s'utilitza en la majoria de les emissions de ràdio de senyals horaris, que la seva difusió aporta a la vegada als usuaris, patrons de freqüència, el temps atòmic internacional i una aproximació del temps universal (o si es vol, del temps solar mig),

constata que el temps universal coordinat és la base del temps civil que és d'aplicació legal en la majoria dels països,

estima que aquest ús és perfectament recomanable.

■ Unitats del Sistema Internacional per a les radiacions ionitzants (becquerel i gray) (CR, 105 i *Metrologia* 1975;11:180)*

* En la sessió de 1976, el Comitè Internacional de Pesos i Mesures va aprovar l'informe de la cinquena sessió del Comitè Consultiu de les Unitats (1976) precisant que, d'acord amb l'advertència de la Comissió Internacional de les Unitats i Mesures de Radiació, el gray pot utilitzar-se també per expressar l'energia màssica comunicada, el kerma i l'índex de dosi absorbida.

Resolucions 8 i 9

La quinzena Conferència General de Pesos i Mesures,

amb motiu de la urgència, expressada per la Comissió Internacional de les Unitats i Mesures de Radiació, d'ampliar l'ús del Sistema Internacional d'Unitats a la investigació i les aplicacions en radiologia,

a causa de la necessitat de facilitar en tot el què sigui possible l'ús de les unitats als no especialistes

tenint en compte també la gravetat dels riscos d'errors en la terapèutica,

adopta el següent nom especial i la unitat del Sistema Internacional per a l'activitat:

el **becquerel**, símbol Bq, igual al segon a la potència menys u (Resolució 8),

adopta el següent nom especial i la unitat del Sistema Internacional per a les radiacions ionitzants:

el **gray**, símbol Gy, igual al joule per kilogram (Resolució 9).

Nota: El gray és la unitat del Sistema Internacional de dosi absorbida. En el camp de les

radiacions ionitzants, el gray pot utilitzar-se amb altres magnituds físiques que s'expressen també en joules per kilogram; el Comitè Consultiu de les Unitats és l'encarregat d'estudiar aquesta qüestió en col·laboració amb les organitzacions internacionals competents.

■ **Prefixos Sistema Internacionalpeta i exa del Sistema Internacional (CR, 106 i *Metrologia* 1975;11:180-1)***

* Es van afegir nous prefixos el 1991 en la dinovena Conferència General de Pesos i Mesures (Resolució 4, vegeu la pàgina 75).

Resolució 10

La quinzena Conferència General de Pesos i Mesures,

decideix afegir a la llista dels prefixos del Sistema Internacional per a la formació dels noms dels múltiples i submúltiples de les unitats, adoptada en l'onzena Conferència General de Pesos i Mesures, Resolució 12, paràgraf 3, els dos prefixos següents:

Factor pel qual es multiplica la unitat	Prefix	Símbol
10^{15}	peta	P
10^{18}	exa	E

Setzena Conferència General de Pesos i Mesures, 1979

■ **Unitat Sistema Internacional d'intensitat lluminosa (candela) del Sistema Internacional (CR, 100 i *Metrologia* 1980;16:56)**

Resolució 3

La Setzena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant

- que, malgrat els esforços meritoris d'alguns laboratoris, encara existeixen diferències excessives entre els resultats de la realització de la candela mitjançant el patró primari actual basat en el cos negre,
- que les tècniques radiomètriques es desenvolupen ràpidament permetent precisions que són ja anàlogues a les de la fotometria i que aquestes tècniques són ja usuals en els laboratoris nacionals per realitzar la candela sense necessitat d'un cos negre.
- que la relació entre les magnituds lluminoses de la fotometria i les magnituds energètiques, a saber, el valor de 683 lumens per watt per l'eficàcia lluminosa espectral de la radiació monocromàtica de freqüència 540×10^{12} hertz, ha estat adoptada pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures el 1977,
- que aquest valor ha estat reconegut com suficientment exacte pel sistema de magnituds lluminoses fotòpiques, que comporta tan sols un canvi de l'ordre del 3 % pel sistema de magnituds lluminoses escotòpiques i que per consegüent assegura una continuïtat satisfactòria,
- que ha arribat el moment de donar a la candela una definició susceptible de millorar la facilitat de l'establiment dels patrons fotomètrics i llur precisió, i que s'apliqui a les magnituds fotòpiques i escotòpiques de la fotometria i a les magnituds a definir en l'àmbit mesòpic.

La visió fotòptica és detectada per la retina de l'ull per mitjà dels cons, sensibles a nivells alts de luminància (L superior del voltant de 10 cd m^{-2}), la qual cosa correspon a la visió diurna. La visió estòpica és detectada en la retina de l'ull gràcies als bastonets, sensibles a nivells baixos de luminància (L inferior del voltant de $10^{-3} \text{ cd m}^{-2}$), que corresponen a la visió nocturna. En els cas de luminàncies intermitjtes entre aquestes dues visions, funcionen a la vegada els cons i els bastonets, i és l'àmbit de la visió mesòpica.

decideix

1. La candela és la intensitat lluminosa, en una determinada direcció, d'una font que emet una radiació monocromàtica de freqüència 540×10^{12} hertz i la intensitat radiant de la qual en l'esmentada direcció és 1/683 watt per estereoradiant.
2. Es deroga la definició de la candela (anomenada a la seva època candela nova) decidida pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures el 1948 en virtut dels poders atorgats per la vuitena Conferència General de Pesos i Mesures el 1933, ratificada per la novena Conferència General de Pesos i Mesures i després modificada per la tretzena Conferència General de Pesos i Mesures

■ Nom especial per la unitat Sistema Internacional de dosi equivalent (sievert) del Sistema Internacional (CR, 100 i *Metrologia* 1980;16:56)*

* El Comitè Internacional de Pesos i Mesures va decidir el 1984 d'acompanyar aquesta resolució amb una explicació (Recomanació 1, vegeu la pàgina 72).

Resolució 5

La Setzena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant

- l'esforç fet per introduir les unitats del Sistema Internacional en el camp de les radiacions ionitzants,
- els riscos que poden patir els sers humans sotmesos a radiacions subestimades, riscos que podrien ser conseqüència de la confusió entre dosi absorbida i dosi equivalent,
- que la proliferació de noms especials presenta un perill pel Sistema Internacional d'Unitats i ha de ser evitada dins del que és possible, però que aquesta regla pot ser transgredida quan cal salvaguardar la salut humana,

adopta el nom especial de sievert, símbol Sv, per la unitat del Sistema Internacional de dosi equivalent en l'àmbit de la radioprotecció. El sievert és igual al joule per kilogram.

■ Símbols del litre (CR, 101 i *Metrologia* 1980;16:56-7)

Resolució 6

La Setzena Conferència General de Pesos i Mesures,

reconeixent els principis generals adoptats per a l'escriptura dels símbols de les unitats en la Resolució 7 de la novena Conferència General de Pesos i Mesures (1948),

considerant que el símbol l per la unitat litre va ser adoptat pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures el 1879 i confirmat en aquesta mateixa Resolució de 1948,

considerant també que, a fi d'evitar un risc de confusió entre la lletra l i la xifra 1, diversos països han adoptat el símbol L, en lloc de l per a la unitat litre,

considerant que el nom litre, encara que no estigui inclòs en el Sistema Internacional d'Unitats, ha de ser admès per l'ús general amb aquest sistema,

decideix, com excepció, adoptar els dos símbols l i L com símbols que es poden usar amb la unitat litre,

El Comitè Internacional de Pesos i Mesures va estimar el 1980 que era encara prematur escollir un símbol únic pel litre.

considerant par altra banda que en un futur caldria tan sols preservar un dels dos símbols,

invita al Comitè Internacional de Pesos i Mesures a observar l'evolució de l'ús dels dos símbols i a donar el seu parer a la divuitena Conferència General de Pesos i Mesures sobre la possibilitat de suprimir un dels dos.

Comitè Internacional de Pesos i Mesures, 1980

■ Unitats suplementàries del Sistema Internacional (radiant i estereoradiant) (PV 1980;48:24 i *Metrologia* 1981;17:72)*

* La classe d'unitats suplementàries en el Sistema Internacional va ser derogada el 1995 per decisió de la vintena Conferència General de Pesos i Mesures (Resolució 8, vegeu la pàgina 76).

Recomanació 1

El Comitè Internacional de Pesos i Mesures,

en consideració a la Resolució 3 adoptada per l'ISO/TC 12 el 1978 i la Recomanació U 1 (1980) adoptada pel Comitè Consultiu de les Unitats en la setena sessió,

considerant

- que les unitats radiant i estereoradiant s'utilitzen habitualment en expressions de les unitats a finalitats aclaridores, especialment en la fotometria on el estereoradiant té un paper important per distingir les unitats corresponents a diferents magnituds,
- que en les equacions utilitzades s'acostuma a expressar l'angle pla com el quocient entre dues longituds i l'angle sòlid com el quocient entre una àrea i el quadrat de la longitud, i que com a conseqüència aquestes magnituds són tractades com adimensionals,
- que del conjunt de reglamentacions emprades en el camp científic no n'existeix cap que sigui a la vegada coherent i convencionat, i en la qual les magnituds angle pla i angle sòlid siguin considerades com magnituds de base,

considerant també

- que la interpretació donada pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures el 1969 per la classe d'unitats suplementàries introduïda per la Resolució 12 de l'onzena Conferència General de Pesos i Mesures el 1960 deixa la llibertat de tractar el radiant i el estereoradiant com unitats de base en el Sistema Internacional,
- que tal possibilitat compromet la coherència interna del Sistema Internacional fonamentat solament en set unitats de base,

decideix interpretar la classe d'unitats suplementàries en el Sistema Internacional com una classe d'unitats derivades adimensionals per a les quals la Conferència General de Pesos i Mesures deixa llibertat en la seva utilització en les expressions de les unitats derivades del Sistema Internacional.

Dissetena Conferència General de Pesos i Mesures, 1983

■ Definició del metre (CR, 997 i *Metrologia* 1984;20:25)

Resolució 1

La dissetena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant

- que la definició actual no permet una realització del metre prou precisa per a totes les necessitats,
- que els progressos realitzats en l'estabilització dels làsers permeten obtenir radiacions més reproduïbles i més fàcils d'utilitzar que la radiació patró emesa per una font de criptó 86,
- que els progressos realitzats en la mesura de les freqüències i les longituds d'ona d'aquestes radiacions han portat a determinacions concordants de la velocitat de la llum l'exactitud de les quals està limitada principalment per la realització del metre en la seva definició actual,
- que els valors de les longituds d'ona determinades a partir de mesures de la freqüència i d'un valor determinat de la velocitat de la llum tenen una precisió superior a la que es pot obtenir per comparació amb la longitud d'ona de la radiació del patró del criptó 86,
- que té avantatges, especialment per l'astronomia i la geodèsia, el manteniment sense canvis del valor de la velocitat de la llum recomanada el 1975 per la quinzena Conferència General de Pesos i Mesures, en la Resolució 2 ($c = 299\,792\,458$ m/s)
- que s'ha estat considerant una nova definició del metre de diverses maneres que tenen totes per efecte donar a la velocitat de la llum un valor exacte, igual al valor recomanat, i que això no introdueix cap discontinuïtat apreciable de la unitat de longitud, tenint en compte una incertesa relativa de $\pm 4 \times 10^{-9}$ de les millors realitzacions del metre en la seva actual definició,
- que aquestes diverses formes, que fan referència al trajecte recorregut per la llum en un interval de temps especificat, o bé a la longitud d'ona d'una radiació de freqüència mesurada o especificada, han estat objecte de consultes i de profundes discussions, que s'ha reconegut la seva equivalència i que s'ha arribat a un consens en favor de la primera forma,
- que el Comitè Consultiu per a la Definició del Metre està actualment en disposició de donar instruccions per a la realització d'una tal definició, instruccions que podrien incloure l'ús de la radiació taronja del criptó 86 emprada fins ara com patró i que podrien completar-se o revisar-se més endavant,

El valor de la incertesa donada aquí correspon a tres vegades la desviació estàndard del valor en qüestió.

decideix

1. El metre és la longitud del trajecte recorregut en el buit per la llum en un temps de $1/299\,792\,458$ segons
2. Com a conseqüència, la definició del metre en vigor des del 1960, fonamentada en la transició entre els nivells $2p_{10}$ i $5d_5$ de l'àtom de criptó 86, és derogada.

■ **Sobre l'aplicació pràctica de la definició del metre** (CR, 98 i *Metrologia* 1984;20:25-6)

Vegeu la Recomanació 1 (CI-2002) del Comitè Internacional de Pesos i Mesures relativa a la revisió de l'aplicació pràctica de la definició del metre, pàgina 78.

Resolució 2

La dissetena Conferència General de Pesos i Mesures

invita al Comitè Internacional de Pesos i Mesures a

- redactar les instruccions per a l'aplicació pràctica de la nova definició del metre,
- escollir les radiacions que puguin ser recomanades com a patrons de longitud d'ona per a la mesura per interferometria de les longituds i establir les instruccions per al seu ús,
- continuar els estudis iniciats per millorar aquests patrons.

Comitè Internacional de Pesos i Mesures, 1984

■ A propòsit del sievert (PV 1984;52:31 i *Metrologia* 1985;21:90)*

* El Comitè Internacional de Pesos i Mesures va decidir el 2002 modificar les explicacions de la magnitud dosi equivalent en l'opuscle del Sistema Internacional d'Unitats (Recomanació 2 (CI-2002), vegeu la pàgina 80).

Recomanació 1

El Comitè Internacional de Pesos i Mesures,

considerant la confusió que segueix existint en relació a la Resolució 5, votada per la setzena Conferència General de Pesos i Mesures el 1979,

decideix introduir la següent explicació en l'opuscle "El Sistema Internacional d'Unitats (SI)":

La magnitud dosi equivalent H és el producte de la dosi absorbida D de radiacions ionitzants i de dos factors adimensionals, Q (factor de qualitat) i N (producte de tots els altres factors de multiplicació) prescrits per la Comissió Internacional de Protecció Radiològica:

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

Així, per una determinada radiació, el valor numèric de H en joules per kilogram pot ser diferent del valor numèric de D en joules per kilogram, perquè depèn del valor de Q i de N . Amb la finalitat d'evitar riscos de confusió entre la dosi absorbida i la dosi equivalent, cal utilitzar els noms especials per les unitats corresponents, és a dir, cal utilitzar el nom gray en lloc de joule per kilogram per a la unitat de dosi absorbida D i el nom sievert en lloc de joule per kilogram per a la unitat de dosi equivalent.

Divuitena Conferència General de Pesos i Mesures, 1987

■ Modificació prevista de les representacions del volt i de l'ohm (CR, 100 i *Metrologia* 1988;25:115)

Resolució 6

La Divuitena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant

- que la uniformitat mundial i la continuïtat a llarg termini de les representacions nacionals de les unitats elèctriques són d'una gran importància per a la ciència, el comerç i la indústria tant des del punt de vista tècnic com econòmic,
- que nombrosos laboratoris nacionals utilitzen l'efecte Josephson i comencen a utilitzar l'efecte Hall quàntic per conservar respectivament les representacions del volt i de l'ohm, doncs proporcionen les millors garanties d'estabilitat a llarg termini,
- que, degut a la importància de la coherència entre les unitats de mesura de diverses magnituds físiques, els valors atribuïts a aquestes representacions han d'estar d'acord

amb el Sistema Internacional tant com sigui possible,

- que el conjunt dels resultats dels experiments en curs o recentment finalitzats permetrà establir un valor acceptable, suficientment compatible amb el Sistema Internacional, per al coeficient que relaciona cadascun d'aquests efectes a la unitat elèctrica corresponent,

invita als laboratoris els treballs dels quals poden contribuir a establir el valor del quocient entre la tensió i la freqüència en l'efecte Josephson i entre la tensió i el corrent en l'efecte Hall quàntic, a prosseguir activament aquests treballs i a comunicar sense demores els seus resultats al Comitè Internacional de Pesos i Mesures, i

encarrega al Comitè Internacional de Pesos i Mesures de recomanar, quan ho jutgi oportú, un valor per cadascun d'aquests quocients i una data on es podran aplicar simultàniament en tots els països. Aquests valors haurien de ser anunciats com a mínim un any abans i podrien ser adoptats el primer de gener de 1990.

Comitè Internacional de Pesos i Mesures, 1988

■ **Representació del volt mitjançant l'efecte Josephson** (PV 1988;56:19 i *Metrologia* 1989;26:69)

Recomanació 1

El Comitè Internacional de Pesos i Mesures

actuant d'acord amb les instruccions donades en la Resolució 6 de la divuitena Conferència General de Pesos i Mesures en relació a la modificació prevista de les representacions del volt i de l'ohm,

considerant

- que un estudi aprofundit dels resultats de les determinacions les més recents ha portat a un valor de 483 597,9 GHz/V per la constant de Josephson, K_j , és a dir, pel quocient entre la freqüència i la tensió corresponent a l'esglaió $n = 1$ en l'efecte Josephson,
- que l'efecte Josephson, amb aquest valor de K_j , pot ser utilitzat per establir un patró de referència de la força electromotriu amb una incertesa (desviació estàndard) en relació al volt de 4×10^{-7} en valor relatiu sent la reproductibilitat clarament millor,

recomana

- que s'adopti, per convenció, per a la constant de Josephson, K_j , el valor $K_{j-90} = 483 597,9$ GHz/V exactament,
- que aquest nou valor sigui utilitzat a partir del primer de gener de 1990 i no abans, per substituir els valors usats actualment,
- que aquest nou valor sigui utilitzat a partir d'aquesta mateixa data per tots els laboratoris que fonamenten sobre l'efecte Josephson les mesures de la força electromotriu,
- que a partir d'aquesta mateixa data tots els altres laboratoris ajustin el valor dels seus patrons de referència per posar-los d'acord amb aquest nou valor,

estima que previsiblement no serà necessari cap altre canvi d'aquest valor recomanat de la constant de Josephson en un futur.

fa notar als laboratoris el fet que el nou valor és superior a 3,9 GHz/V, aproximadament 8×10^{-6} en valor relatiu, al valor donat el 1972 pel Comitè Consultiu de l'Electricitat en la seva Declaració E-72.

■ **Representació de l'ohm mitjançant l'efecte Hall quàntic** (PV 1988;56:20 i *Metrologia* 1989;26:70)

En la vuitanta-novena sessió del 2000, el Comitè Internacional de Pesos i Mesures va aprovar la declaració de la vint-i-dosena sessió del Comitè Consultiu de l'Electricitat i el magnetisme en relació al valor de la constant de von Klitzong, vegeu la pàgina 78.

Recomanació 2

El Comitè Internacional de Pesos i Mesures,

actuant d'acord amb les instruccions donades en la Resolució 6 de la divuitena Conferència General de Pesos i Mesures en relació a la modificació prevista de les representacions del volt i de l'ohm,

considerant

- que la majoria dels patrons actuals de referència de la resistència elèctrica presenten al llarg del temps variacions significatives,
- que un patró de referència de la resistència elèctrica fonamentat en l'efecte Hall quàntic seria estable i reproductible,
- que un estudi aprofundit dels resultats de les determinacions més recents porta a un valor de $25\,812,807 \, \Omega$ per la constant de von Klitzing, R_K , és a dir, pel quocient entre la tensió de Hall i el corrent corresponent a l'altiplà $i = 1$ en l'efecte Hall quàntic,
- que l'efecte Hall quàntic, amb aquest valor de R_K , pot ser utilitzat per establir un patró de referències de la resistència amb una incertesa (desviació estàndard) en relació a l'ohm de 2×10^{-7} en valor relatiu i amb una reproductibilitat molt millor,

recomana

- que s'adopti, per convenció, per a la constant de von Klitzing, R_K , el valor $R_{K-90} = 25\,812,807 \, \Omega$ exactament,
- que aquest valor sigui utilitzat a partir del primer de gener de 1990 i no abans, per tots els laboratoris que fonamenten en l'efecte Hall quàntic les seves mesures de la resistència elèctrica,
- que a partir d'aquesta mateixa data tots els laboratoris ajustin el valor dels seus patrons de referència per posar-lo d'acord amb R_{K-90} ,
- que, per establir un patró de referència de la resistència elèctrica fonamentat en l'efecte Hall quàntic, els laboratoris segueixin els consells per l'aplicació de la resistència de Hall quantificada elaborats pel Comitè Consultiu de l'Electricitat i publicats per l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures en la seva edició més recent,

i estima que previsiblement no serà necessari cap altre canvi d'aquest valor recomanat de la constant de von Klitzing en un futur.

Comitè Internacional de Pesos i Mesures, 1989

■ **L'escala internacional de la temperatura de 1990** (PV 1989;57:26 i *Metrologia* 1990;27:13)

Recomanació 5

El Comitè Internacional de Pesos i Mesures, d'acord amb la invitació de la divuitena Conferència General de Pesos i Mesures del 1987 (Resolució 7), ha adoptat l'escala internacional de la temperatura de 1990 (EIT-90) en substitució de l'Escala internacional pràctica de temperatura del 1968 (EIPT-68).

El Comitè Internacional de Pesos i Mesures **destaca** que, en comparació amb l'escala internacional pràctica de temperatura, l'escala internacional de la temperatura,

- abasta temperatures més baixes, fins a 0,65 K, i així substitueix també l'Escala provisional de temperatura de 1976 (EPT-76),
- està en millor acord amb les temperatures termodinàmiques corresponents,
- té una millor continuïtat, precisió i reproductibilitat en tota l'extensió,
- conté subgraus i proporciona, en certs rangs, definicions equivalents que faciliten el seu ús,

El Comitè Internacional de Pesos i Mesures **fa notar**, a més, que el text de l'escala internacional de la temperatura anirà acompanyada de dos documents, *Supplementary Information for the ITS-90* i *Techniques for Approximating the ITS-90*, que seran publicats per la Oficina Internacional de Pesos i Mesures i actualitzats periòdicament.

El Comitè Internacional de Pesos i Mesures **recomana**

- que l'escala internacional de la temperatura s'apliqui el primer de gener de 1990,
- que, a la mateixa data, l'Escala internacional pràctica de temperatura i l'Escala provisional de temperatura siguin derogades.

Dinovenena Conferència General de Pesos i Mesures, 1991

■ **Prefixos Sistema Internacionalzetta, zepto, yotta i yocto del Sistema Internacional** (CR, 97 i *Metrologia* 1992;29:3)

Resolució 4

La dinovenena Conferència General de Pesos i Mesures,

decideix afegir a la llista del prefixos del Sistema Internacional per a la formació dels noms dels múltiples i submúltiples de les unitats, adoptada per l'onzena Conferència General de Pesos i Mesures, paràgraf 3, la dotzena Conferència General de Pesos i Mesures, Resolució 8 i la quinzena Conferència General de Pesos i Mesures, Resolució 10, els prefixos següents:

Els noms zepto i zetta deriven de la xifra set (sèptima potència de 10^3) i la lletra "z" substitueix la lletra "s" per evitar duplicitats de l'ús de la lletra "s" com símbol. Els noms yocto i yotta deriven de octo, que recorda la xifra vuit (vuitena potència de 10^3). La lletra "y" s'afegeix per evitar l'ús de la lletra "o" com símbol per la possible confusió amb la xifra zero.

Factor pel qual es multiplica la unitat	Prefix	Símbol
10^{21}	zetta	Z
10^{-21}	zepto	z
10^{24}	yotta	Y
10^{-24}	yocto	y

La vintena Conferència General de Pesos i Mesures, 1995

■ Supressió de la classe d'unitats suplementàries del Sistema Internacional (CR, 121, 26 i *Metrologia* 1996;33:83)

Resolució 8

La vintena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant

- que l'onzena Conferència General de Pesos i Mesures, el 1960, en la Resolució 12 que establia el Sistema Internacional d'Unitats, va distingir tres classes d'unitats, les unitats de base, les derivades i les suplementàries, incloent aquesta darrera classe solament el radiant i l'estereoradiant,
- que s'han produït discussions sobre la situació de les unitats suplementàries en relació a les unitats de base i derivades,
- que el Comitè Internacional de Pesos i Mesures, el 1980, constatant que la situació ambigua de les unitats suplementàries compromet la coherència interna del Sistema Internacional, va interpretar en la seva Recomanació 1 (CI-1980) les unitats suplementàries en el Sistema Internacional com unitats adimensionals,

aprovant la interpretació donada pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures el 1980,

decideix

- interpretar les unitats suplementàries del Sistema Internacional, és a dir, el radiant i l'estereoradiant, com unitats derivades adimensionals, els noms i símbols de les quals podent utilitzar-se, segons les necessitats, encara que no forçosament, en les expressions d'altres unitats derivades del Sistema Internacional,
- i, com a conseqüència, suprimir la classe de les unitats suplementàries en tant que classe separada en el Sistema Internacional.

Vint-i-unena Conferència General de Pesos i Mesures, 1999

■ La definició del kilogram (CR, 141-142 i *Metrologia* 2000;37:94)

Resolució 7

La vint-i-unena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant

- la necessitat d'assegurar l'estabilitat a llarg termini del Sistema Internacional d'Unitats,
- la incertesa intrínseca relativa a la estabilitat a llarg termini del prototip que serveix per definir la unitat de massa, una de les unitats de base del Sistema Internacional d'Unitats,
- que aquesta incertesa repercuteix en l'estabilitat a llarg termini de les tres altres unitats de base del Sistema Internacional d'unitats, és a dir, l'ampere, el mol i la candela, la

definició de les quals depèn de la del kilogram,

- els progressos obtinguts en diferents experiments destinats a relacionar la unitat de massa a constants fonamentals o atòmiques,
- que és molt desitjable disposar de diversos mètodes per a aquesta relació,

recomana que els laboratoris nacionals segueixin els seus esforços per millorar els experiments que relacionen la unitat de massa a les constants fonamentals o atòmiques i que podrien en un futur servir de base a una nova definició del kilogram.

■ **Nom especial atorgat a la unitat del Sistema Internacional mol per segon, el katal, per expressar l'activitat catalítica** (CR, 1445 i *Metrologia* 2000;37:95)

Resolució 12

La vint-i-unena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant

- la importància per a la salut i humana i la seva seguretat que té el fet de facilitar un ús de les unitats del Sistema Internacional en l'àmbit de la medicina i la bioquímica,
- que una unitat fora del Sistema Internacional d'Unitats anomenada "unitat" i representada pel símbol U, igual a $1 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1}$, i que no és coherent amb el Sistema Internacional, és àmpliament utilitzada en medicina i bioquímica des del 1964 per expressar l'activitat catalítica,
- que en absència d'un nom especial per designar la unitat derivada coherent del Sistema Internacional que és el mol per segon ha portat a lliurar resultats de mesures clíniques en diferents unitats locals,
- que el ús de les unitats del Sistema Internacional d'unitats en medicina clínica és fortament recomanat per les organitzacions internacionals en aquest àmbit,
- que la Federació Internacional de Química Clínica i Medicina del Laboratori a demanat al Comitè Consultiu de les Unitats de recomanar el nom especial katal, símbol kat, per a la unitat del Sistema Internacional mol per segon,
- que, encara que la proliferació de noms especials representa un perill pel Sistema Internacional d'Unitats, hi ha excepcions per determinades àrees lligades a la salut humana i a la seguretat (quinzena Conferència General de Pesos i Mesures, 1975, Resolucions 8 i 9, setzena Conferència General de Pesos i Mesures, 1979, Resolució 5).

observant que el nom katal, símbol kat, s'utilitza per la unitat del Sistema Internacional mol per segon des de fa més de trenta anys, per expressar l'activitat catalítica,

decideix adoptar el nom especial katal, símbol kat, per a la unitat del Sistema Internacional mol per segon per expressar l'activitat catalítica, especialment en els camps de la medicina i la bioquímica,

i **recomana** que, quan s'utilitza el katal, el mesurand sigui especificat fent referència al procediment de mesura el procediment de mesura ha de fer esment del producte indicador de la reacció mesurada.

Comitè Internacional de Pesos i Mesures, 2000

- “Utilització del valor de la constant de von Klitzing per expressar el valor d’un patró de referència per la resistència en funció de l’efecte Hall quàntic” (PV 2000;68:34)

En la vuitanta-novena sessió celebrada l’any 2000, el Comitè Internacional de Pesos i Mesures a aprovat la declaració següent de la vint-i-dosena sessió del Comitè Consultiu de l’Electricitat i Magnetisme (CCEM, 22, 22):

“El Comitè Consultiu de l’Electricitat i Magnetisme, considerant la modificació recent dels valors de les constants fonamentals recomanada pel Comitè de Dades per a la Ciència i Tecnologia el 1998, estima que el valor de la constant de von Klitzing, R_{K-90} , pot ser utilitzat per expressar el valor d’un patró de referència per la resistència en funció de l’efecte Hall quàntic, amb una incertesa relativa de 1×10^{-7} en relació a l’ohm (desviació estàndard), incertesa dos vegades menor que la que havia estat admesa el 1988”.

Comitè Internacional de Pesos i Mesures, 2001

- “unitats SI” i “unitats de l’SI” (PV 2001;69:38-9)

El Comitè Internacional de Pesos i Mesures ha aprovat el 2001, la següent proposta del Comitè Consultiu de les Unitats en relació a “unitats SI” i “unitats de l’SI”:

“Suggerim que els termes “unitat SI” i “unitat de l’SI” facin tots dos referència a les unitats de base i les unitats coherents derivades, i també a totes les unitats obtingudes combinant-les amb els prefixos recomanats dels múltiples i submúltiples.

Suggerim que el terme “unitat coherent de l’SI” sigui emprat quan volem restringir el seu sentit a les unitats de base i a les unitats derivades coherents”.

Comitè Internacional de Pesos i Mesures, 2002

- Revisió de l’aplicació pràctica de la definició del metre (PV 2002;70:90-3 i *Metrologia*, 40:103-33)

Recomanació 1

El Comitè Internacional de Pesos i Mesures,

recordant

- que el 1983, la dissetena Conferència General de Pesos i Mesures va adoptar una nova definició del metre,
- que a la mateixa data, la Conferència General de Pesos i Mesures va invitar el Comitè Internacional de Pesos i Mesures:
 - a redactar les instruccions per a la realització pràctica de la nova definició del metre (l’aplicació pràctica),
 - a escollir les radiacions que poguessin ser recomanades com patrons de longitud d’ona per a la mesura per interferometria de les longituds i a redactar les instruccions d’ús,
 - a prosseguir els estudis iniciats per millorar aquests patrons i a completar o revisar conseqüentment les instruccions,

- que en resposta a aquesta invitació el Comitè Internacional de Pesos i Mesures va adoptar la Recomanació 1 (CI-1983) (aplicació pràctica de la definició del metre) que estableix
 - que el metre ha de ser realitzat per un dels mètodes següents:
 - a) mitjançant la longitud l del trajecte recorregut en el buit per una ona electromagnètica plana durant el interval t ; aquesta longitud és obtinguda a partir de la mesura de l'interval t , utilitzant la relació $l = c_0 \cdot t$ i el valor de la velocitat de la llum en el buit $c_0 = 299\,792\,458$ m/s.
 - b) mitjançant la longitud d'ona en el buit λ d'una ona electromagnètica plana de freqüència f ; aquesta longitud d'ona s'obté a partir de la mesura de la freqüència f utilitzant la relació $\lambda = c_0 / f$ i el valor de la velocitat de la llum en el buit $c_0 = 299\,792\,458$ m/s.
 - c) mitjançant una de les radiacions de la llista següent, radiacions per a les quals es pot utilitzar el valor donat de la longitud d'ona en el buit o de la freqüència, amb la incertesa indicada, sempre que es respectin les condicions especificades i el procediment adequat.
 - que, en tots els casos, s'apliquin les correccions necessàries per tenir en compte les condicions reals com ara la difracció, gravitació o la imperfecció del buit;
 - que, en el context de la relativitat general, el metre es consideri com una unitat de longitud pròpia. La seva definició s'aplica doncs solament en un àmbit espacial suficientment petit, en el qual els efectes de la no uniformitat del camp gravitatori poden ser ignorats (cal observar que a la superfície de la Terra, aquest efecte és al voltant de 1×10^{-16} per metre d'altitud en valor relatiu). En aquest cas, els únics efectes a tenir en compte són els de la relativitat especial. Els mètodes locals, esmentats en l'apartat b i c per realitzar el metre, proporcionen el metre propi, però no així necessàriament el mètode indicat a l'apartat a. El mètode indicat a l'apartat a hauria doncs d'aplicar-se a les longituds l suficientment curtes per a què els efectes previstos per la relativitat general siguin negligibles en relació a les incerteses de mesura. Quan no és el cas, cal referir-se a l'informe del Grup de treball del Comitè Consultiu del Temps i les Freqüències sobre l'aplicació de la relativitat general a la metrologia per a la interpretació de les mesures (Aplicació de la relativitat general a la metrologia, *Metrologia* 1997;34:261-90).
- que el Comitè Internacional de Pesos i Mesures va recomanar una llista de radiacions amb aquesta finalitat;

recordant també que el 1992 i el 1997 el Comitè Internacional de Pesos i Mesures va revisar l'aplicació pràctica de la definició del metre;

considerant

- que la ciència i la tècnica continuen exigint una major exactitud en la realització del metre;
- que des del 1997, els treballs efectuats en els laboratoris nacionals, a l'Oficina General de Pesos i Mesures i a altres laboratoris han permès identificar noves radiacions i mètodes per la seva realització que comporten menors incerteses;
- que cada cop més s'utilitzen freqüències òptiques per a les activitats relacionades amb el temps, i que es va ampliant l'àmbit d'aplicació de les radiacions recomanades en l'aplicació pràctica, no solament per a la metrologia dimensional i la realització del metre, sinó també per a la espectroscopia d'alta resolució, la física atòmica i

molecular, les constants fonamentals i les telecomunicacions;

- que es disposa actualment d'un quantitat de nous valors més exactes de la incertesa de les freqüències de les radiacions d'àtoms i ions refredats molt estables ja esmentats en la llista de les radiacions recomanades, que el valor de la freqüència de la radiació de diversos tipus d'àtoms i ions refredats ha estat també mesurat recentment, i s'han determinat nous valors millorats, presentant unes incerteses reduïdes de manera significativa, d'un cert nombre de patrons de freqüència òptica fonamentats en cèl·lules de gas, incloent el camp de les longituds d'ona de les telecomunicacions òptiques;
- que els nous mètodes de pintes de freqüències làser tenen un interès manifest per relacionar la freqüència dels patrons de freqüència òptica molt estables amb la dels patrons de freqüència emprats per a la realització del segon del Sistema Internacional d'Unitats, que aquests mètodes de mesura són un mitjà còmode per assegurar la traçabilitat al Sistema Internacional d'Unitats i poden aportar també tant fonts de freqüències com mètodes de mesura;

reconeix que els mètodes de pintes arriben a un moment oportú i són adients, i recomana de prosseguir la recerca per estudiar les seves possibilitats;

valora favorablement els assaigs de validació en curs dels mètodes de pintes efectuats en comparació amb els altres mètodes de cadenes de freqüències;

encoratja als laboratoris nacionals de metrologia i als altres laboratoris a prosseguir els estudis dels mètodes de pintes amb la major exactitud possible i a cercar la simplicitat per estendre la seva aplicació pràctica.

recomana

- que la llista de radiacions recomanades aportada pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures el 1997 (Recomanació 1 (CI-1997)) sigui substituïda per la llista de radiacions següent*, la qual inclou:
- els valors actualitzats de la freqüència del àtom de calci i d'hidrogen refredats i de l'ió confinat d'estronci,
- el valor de la freqüència de nous tipus de ions refredats, incloent l'ió confinat de mercuri, l'ió confinat d'indi i l'ió confinat d'iterbi.
- els valors actualitzats de la freqüència de làsers estabilitzats de rubidi, de làsers itri i alumini amb neodimi i de làsers de heli i neó estabilitzats de iode, de làsers de heli i neó estabilitzats de metà i làsers de diòxid de carbó estabilitzats de tetròxid d'osmi en 10 µm.
- els valors de la freqüència de patrons per les comunicacions òptiques, incloent els làsers estabilitzats de rubidi i acetilè.

* La llista de la radiacions recomanades, Recomanació 1 (CI-2002), figura a PV 2002;70:93-101 i a *Metrologia* 2003;40:104-15. Hi ha actualitzacions en el lloc web de l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures a l'adreça www.bipm.org/fr/publications/mep.html

■ **Dosi equivalent** (PV 2002;70:102)

Vegeu també J Radiol Prot 2005;25:97-100.

Recomanació 2

El Comitè Internacional de Pesos i Mesures,

considerant que

- la definició actual de la unitat del Sistema Internacional de dosi equivalent (sievert)

inclou un factor “ N ” (producte de tots els factors de multiplicació) prescrit per la Comissió Internacional de Protecció Radiològica,

- la Comissió Internacional de Protecció Radiològica i la Comissió Internacional de les Unitats i Mesures de Radiació han decidit suprimir aquest factor N que ja no es considera necessari,
- la definició actual de dosi equivalent H en el Sistema Internacional d’Unitats, que inclou el factor N , porta a confusió,

decideix modificar l’explicació donada en l’opuscle del Sistema Internacional d’Unitats de la forma següent:

La magnitud dosi equivalent H és el producte de la dosi absorbida D de radiacions ionitzants i del factor adimensional Q (factor de qualitat) prescrit per la Comissió Internacional de les Unitats i Mesures de Radiació, factor definit en funció de la transferència d’energia lineal:

$$H = Q \cdot D$$

Així, per una determinada radiació, el valor numèric de H en joules per kilogram pot ser diferent del valor numèric de D en joules per kilogram, perquè depèn del valor de Q .

El Comitè **decideix** doncs mantenir la darrera frase de l’explicació de la forma següent:

A fi d’evitar qualsevol risc de confusió entre la dosi absorbida D i la dosi equivalent H , cal utilitzar els noms especials per les unitats corresponents, és a dir, cal utilitzar el nom gray en lloc de joule per kilogram per la unitat de dosi absorbida D i el nom sievert en lloc de joule per kilogram per la unitat de dosi equivalent H .

Comitè Internacional de Pesos i Mesures, 2003

■ Revisió de la llista de les radiacions recomanades per a l’aplicació pràctica de la definició del metre (PV 2003;71:70 i *Metrologia* 2004;41:99-100)

Hi ha actualitzacions en el lloc web de l’Oficina Internacional de Pesos i Mesures a l’adreça <www.bipm.org/fr/publications/mep.html>

Recomanació 1

El Comitè Internacional de Pesos i Mesures,

considerant que

- que es disposa des de fa poc temps de valors millors de les freqüències de les radiacions de determinats patrons de ions refredats, ja publicats en la llista de radiacions recomanades,
- que s’han obtingut valors millors de les freqüències dels patrons de freqüència òptica en l’infraroig, basats en cèl·lules de gas, en l’àmbit de les comunicacions òptiques, valors que han estat ja publicats en la llista de les radiacions recomanades,
- que s’han efectuat recentment, i per primera vegada, mesures de la freqüència amb ajut de pintes de freqüències làser de certs patrons fonamentats en cèl·lules de iode, que figuren en la llista complementària de les radiacions recomanades, mesures que comporten una reducció considerable de la incertesa,

proposa que la llista de les radiacions recomanades sigui revisada a fi d’incloure:

- els valors actualitzats de les freqüències de la transició quadrupolar de l’ió confinat $^{88}\text{Sr}^+$ i de la transició octopolar de l’ió confinat $^{171}\text{Yb}^+$;

- el valor actualitzat de la freqüència del patró estabilitzat amb acetilè a 1,54 µm,
- els valors actualitzats de la freqüència de patrons estabilitzats amb iode a 543 nm i 515 nm.

Vint-i-dosena Conferència General de Pesos i Mesures, 2003

■ Símbol del separador decimal (CR, 169 i *Metrologia* 2004;41:104)

Resolució 10

La vint-i-dosena Conferència General de Pesos i Mesures,

considerant que

- un dels objectius principals del Sistema Internacional d'Unitats és permetre l'expressió del valor de les magnituds d'una manera fàcilment comprensible a tot el món,
- el valor d'una magnitud s'expressa habitualment per un nombre que multiplica una unitat,
- sovint el nombre utilitzat per expressar el valor d'una magnitud està format per diverses xifres, amb una part entera i una part decimal,
- la novena Conferència General de Pesos i Mesures, en la Resolució 7 de 1948, havia decidit que “en els nombres, la coma (ús francès) o el punt (ús anglès) s'utilitzen solament per separar la part entera dels nombres de la part decimal”,
- d'acord amb la decisió del Comitè Internacional de Pesos i Mesures en la seva vuitanta-sisena sessió (1997), l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures utilitza actualment el punt (sobre la línia) com separador decimal en totes les versions en anglès de les seves publicacions, incloent el text anglès de l'opuscle del Sistema Internacional d'Unitats (la referència internacional del Sistema Internacional d'Unitats), mentre segueix utilitzant la coma (sobre la línia) com separador decimal en les publicacions en francès,
- tanmateix, algunes organitzacions internacionals utilitzen la coma sobre la línia com separador decimal en els seus documents en anglès,
- a més, algunes organitzacions internacionals, incloent algunes de normalització, especifiquen que el separador decimal ha de ser la coma sobre la línia, en totes les llengües,
- la recomanació d'utilitzar la coma sobre la línia com separador decimal, en nombroses llengües entra en conflicte amb l'ús corrent, que consisteix en usar el punt sobre la línia,
- el fet d'utilitzar el punt sobre la línia o la coma com separador decimal no sempre està lligat a la llengua, doncs en certs països amb la mateixa llengua tenen usos diferents segons el país, mentre que altres països que són plurilingües utilitzen el punt o la coma segons la llengua.

declara que el símbol del separador decimal pot ser el punt sobre la llengua o la coma sobre la línia.

reafirma que “Per facilitar la lectura, els nombres poden separar-se en grups de tres xifres.

Aquests grups no se separen mai per punts ni comes”, com ho recomana la Resolució 7 de la novena Conferència General de Pesos i Mesures el 1948.

Comitè Internacional de Pesos i Mesures, 2005

■ Aclariment de la definició del kelvin, unitat de temperatura termodinàmica (PV 2005;73:94, i *Metrologia* 2006;43:177-8)

Recomanació 2

El Comitè Internacional de Pesos i Mesures,

considerant

- que el kelvin, la unitat de la temperatura termodinàmica, se defineix com la fracció $1/273,16$ de la temperatura termodinàmica del punt triple de l'aigua,
- que la temperatura termodinàmica del punt triple de l'aigua depèn de la proporció relativa dels isòtops d'hidrogen i d'oxigen presents en la mostra d'aigua utilitzada,
- que aquest efecte és actualment una de les fonts més importants de variabilitat observada en les diferents realitzacions del punt triple de l'aigua,

decideix

- que la definició del kelvin es refereix a una aigua de composició isotòpica específica,
- que aquesta composició isotòpica és la següent:

0,000 155 76 mols de ^2H per mol de ^1H ,
0,000 379 9 mols de ^{17}O per mol de ^{16}O , i
0,002 005 2 mols de ^{18}O per mol de ^{16}O .

sent aquesta composició la del material de referència de l'Agència internacional de l'energia atòmica “Patró de Viena de l'aigua mitja de l'oceà (VSMOW)”, recomanat per la Unió Internacional de Química Pura i Aplicada a “Pesos atòmics dels elements: revisió 2000”.

- que aquesta composició sigui definida en una anota adjunta a la definició del kelvin en l'opuscle del Sistema Internacional d'Unitats de la forma següent:

“Aquesta definició es refereix a l'aigua d'una composició isotòpica definida per les següents relacions de quantitat de substància: 0,000 155 76 mols de ^2H per mol de ^1H , 0,000 379 9 mols de ^{17}O per mol de ^{16}O i 0,002 005 2 mols de ^{18}O per mol de ^{16}O .”

■ Revisió de la llista de les radiacions recomanades per a l'aplicació pràctica de la definició del metre (PV 2005;73:94, i *Metrologia* 2006;43:176)

Recomanació 3

El Comitè Internacional de Pesos i Mesures,

considerant que

- es disposa de valors millors de les freqüències de les radiacions de determinats patrons de ions o àtoms refredats, ja publicats en la llista de radiacions recomanades,

- s'han obtingut valors millors de les freqüències dels patrons de freqüència òptica en l'infraroig, basats en cèl·lules de gas, en l'àmbit de les comunicacions òptiques, valors que han estat ja publicats en la llista de les radiacions recomanades,
- s'han obtingut valors millors de les freqüències de certs patrons fonamentats en cèl·lules de iode, valors que han estat ja publicats en la llista complementària de les fonts recomanades,
- s'han efectuat per primera vegada mesures de la freqüència de nous àtoms refredats, àtoms en la regió de l'infraroig proper, i de molècules en el camp de les telecomunicacions òptiques, amb ajuda de pintes de freqüències làser;

decideix que la llista de les radiacions recomanades sigui revisada a fi d'incloure:

- els valors actualitzats de les freqüències de les transicions quadripolars de l'ió confinat de $^{88}\text{Sr}^+$, de l'ió confinat de $^{199}\text{Hg}^+$ i l'ió confinat de $^{171}\text{Yb}^+$;
- el valor actualitzat de la freqüència de la transició de l'àtom de calci;
- el valor actualitzat de la freqüència del patró estabilitzat d'acetilè a 1,54 μm ;
- el valor actualitzat de la freqüència del patró estabilitzat d'iode a 515 nm;
- el valor actualitzat de la freqüència del patró estabilitzat d'iode a 515 nm;
- la freqüència de la transició de l'àtom de ^{87}Sr a 698 nm;
- les freqüències de les transicions de l'àtom de ^{87}Rb a 760 nm;
- les freqüències de les transicions de la banda ($\nu_1 + \nu_3$) de $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$, i les bandes ($\nu_1 + \nu_3$) i ($\nu_1 + \nu_3 + \nu_4 + \nu_5$) de $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$, a 1,54 μm .

Annex 2. Realització pràctica de les definicions de les principals unitats

L'annex 2 es publica únicament en format electrònic en el lloc web de la Conferència General de Pesos i Mesures. Està disponible a l'adreça: <[www.bipm.org/fr/si/si_brochure/appendix 2](http://www.bipm.org/fr/si/si_brochure/appendix_2)>

Annex 3. Unitats per a la mesura de les magnituds fotoquímiques i fotobiològiques

Les radiacions òptiques són susceptibles de produir modificacions químiques en la matèria viva o inert. Aquesta propietat s'anomena actinisme i les radiacions capaces de produir aquests canvis es coneixen amb el nom de radiacions actíniques. Les radiacions actíniques tenen la propietat fonamental que, a escala molecular, un fotó interactua amb una molècula i la altera o trenca en noves molècules més petites. Per tant, és possible definir magnituds fotoquímiques o fotobiològiques específiques en funció de l'efecte de la radiació òptica sobre els receptors químics o biològics corresponents.

En l'àmbit de la metrologia, l'única magnitud fotobiològica que ha estat formalment definida des del punt de vista de la seva mesura en el Sistema Internacional d'Unitats és la interacció de la llum amb l'ull humà en la visió. Una unitat de base del Sistema Internacional, la candela, ha estat definida per a aquesta important magnitud fotobiològica. Altres magnituds fotomètriques, amb les unitats derivades de la candela, també van ser igualment definides (com el lumen o el lux, vegeu la taula 3 del capítol 2).

Les definicions de les magnituds i unitats fotomètriques han estat publicades al Vocabulari internacional de la il·luminació, publicació de la Comissió Internacional de la Il·luminació 17.4 (1987), o al Vocabulari electrotècnic internacional, publicació de la Comissió Electrotècnica Internacional 50, capítol 845: Il·luminació.

1. Espectre d'acció actínica

Una radiació òptica pot caracteritzar-se per la seva distribució espectral de potència. Els mecanismes pels quals la radiació òptica és absorbida pel sistema químic o biològic són molt complexos, i estan sempre en funció de la longitud d'ona (o de la freqüència). No obstant això, per les aplicacions metrològiques, la complexitat dels mecanismes d'absorció pot ser ignorada i l'efecte actínic es caracteritza simplement per un espectre d'acció actínic que relaciona la resposta fotoquímica o fotobiològica amb la radiació incident. Aquest espectre d'acció actínic descriu l'eficàcia relativa d'una radiació òptica monocromàtica d'una longitud d'ona λ per produir una resposta actínica determinada. Es proporciona en valor relatiu, normalitzat a 1 pel màxim d'eficàcia. En general, els espectres d'acció actínica són definits i recomanats per les organitzacions científiques internacionals de normalització.

Per a la visió, dos espectres d'acció van ser definits per la Comissió Internacional de la Il·luminació i aprovats pel Comitè Internacional de Pesos i Mesures: $V(\lambda)$ per a la visió fotòptica i $V'(\lambda)$ per a la visió escotòptica. Aquests espectres d'acció són emprats en les mesures de les magnituds fotomètriques i formen part implícitament de la definició de la unitat del Sistema Internacional per la fotometria, la candela. La visió fotòptica és detectada en la retina de l'ull pels cons, sensibles a les luminàncies altes (L superior del voltant de 10 cd m^{-2}), que corresponen a la visió diürna. La visió escotòptica és detectada en la retina de l'ull pels bastonets, sensibles a luminàncies dèbils (L inferior del voltant de $10^{-3} \text{ cd m}^{-2}$), que corresponen a la visió nocturna. En el cas de luminàncies intermèdies, entre la visió fotòptica i la visió escotòptica, els cons i els bastonets funcionen simultàniament, i ohm està en el camp de la visió mesòptica.

Principis que regeixen la fotometria, Monografia de l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures del 1983, pàgina 32 i següents.

Dos espectres d'acció van ser definits igualment per la Comissió Internacional de la Il·luminació per a altres efectes actínics, tal com l'espectre d'acció de l'eritema (enrogiment de la pell) degut a la radiació ultraviolada. Aquests espectres no tenen però cap consideració particular en el Sistema Internacional d'Unitats.

2. Mesura de les magnituds fotoquímiques i fotobiològiques: unitats corresponents

Les magnituds i unitats fotomètriques usades actualment en el camp de la visió estan ben establertes i es venen utilitzant des de fa temps. Les següents regles no les afecten. En totes

les altres magnituds fotoquímiques o fotobiològiques, cal aplicar les regles següents per definir les unitats a utilitzar.

Una magnitud fotoquímica o fotobiològica es defineix en termes purament físics com una magnitud derivada de la magnitud radiomètrica corresponent, per l'avaluació de l'efecte de radiació segons la seva acció sobre un receptor selectiu. La sensibilitat espectral d'aquest receptor es defineix per l'espectre d'acció de l'efecte fotoquímic o fotobiològic considerat. La magnitud ve donada per la integral sobre la longitud d'ona de la distribució espectral de la magnitud radiomètrica considerada, ponderada per l'espectre d'acció actínica adient. L'ús d'una integral suposa implícitament una llei d'addició aritmètica de les magnituds actíniques. A la pràctica, aquesta llei no es compleix perfectament. L'espectre d'acció es dona en valor relatiu; és una magnitud adimensional la unitat de la qual és el nombre u. La magnitud radiomètrica corresponent té la seva pròpia unitat radiomètrica. Així, segons la regla d'obtenció de la unitat del Sistema Internacional d'una magnitud derivada, la unitat de la magnitud fotoquímica o fotobiològica és la de la magnitud radiomètrica corresponent. Quan es dona un resultat numèric, és indispensable especificar si es tracta d'una magnitud radiomètrica o d'una magnitud actínica perquè les unitats són les mateixes. Si per un efecte actínica existeixen diversos espectres d'acció, cal especificar clarament l'espectre d'acció utilitzat per a les mesures.

Aquesta manera de definir les unitats a utilitzar per les magnituds fotoquímiques i fotobiològiques a estat recomanat pel Comitè Consultiu de la Fotometria i Radiometria en la seva sessió del 1977.

Com exemple, la irradiància eritèmica efectiva E_{er} d'una font de radiacions ultraviolades s'obté ponderant la irradiància energètica espectral de la radiació a la longitud λ , amb l'eficàcia d'aquesta radiació per provocar un eritema a aquesta longitud d'ona, i estenent la suma al conjunt de totes les longituds d'ona presents en l'espectre de la font. Això pot expressar-se matemàticament de la forma següent:

$$E_{er} = \int E_{\lambda} s_{er}(\lambda) d\lambda$$

on E_{λ} és la irradiància energètica espectral, expressada en $W m^{-2} nm^{-1}$, a la longitud λ i $S_{er}(\lambda)$ l'espectre d'acció de l'eritema, normalitzat a 1, el seu valor màxim espectral. El resultat d'aquesta determinació proporciona la irradiància eritèmica, E_{er} , expressada en $W m^{-2}$ segons les regles del Sistema Internacional d'Unitats.

Llista d'acrònims utilitzats en el present volum*

1. Llista dels laboratoris, comissions i conferències

BAAS	Associació Britànica per l'Avenc de la Ciència
BIH	Oficina Internacional de l'Hora
BIPM	Oficina Internacional de Pesos i Mesures
CARICOM	Comunitat del Carib
CCAUV	Comitè Consultiu de l'Acústica, els Ultrasons i les Vibracions
CCDS*	Comitè Consultiu per a la Definició del Segon, vegeu CCFT
CCE*	Comitè Consultiu de l'Electricitat, vegeu CCEM
CCEM	(anteriorment anomenat CCE) Comitè Consultiu de l'Electricitat i el Magnetisme
CCL	Comitè Consultiu de les Longituds
CCM	Comitè Consultiu per A la Massa i les Magnituds Relacionades
CCPR	Comitè Consultiu de la Fotometria i la Radiometria
CCQM	Comitè Consultiu per a la Quantitat de Substància — Metrologia en Química
CCRI	Comitè Consultiu de les Radiacions Ionitzants
CCT	Comitè Consultiu de la Termometria
CCTF	(anteriorment anomenat CCDS) Comitè Consultiu del Temps i les Freqüències
CCU	Comitè Consultiu de les Unitats
CEI	Comissió Electrotècnica Internacional
CGPM	Conferència General de Pesos i Mesures
CIE	Comissió Internacional de la Il·luminació
CIPM	Comitè Internacional de Pesos i Mesures
CODATA	Comitè de Dades per a la Ciència i Tecnologia
CR	<i>Comptes rendus des séances de la Conférence générale des poids et mesures</i>
ICRP	Comissió Internacional de Protecció Radiològica
ICRU	Comissió Internacional de les Unitats i Mesures de Radiació
IERS	Servei Internacional de la Rotació de la Terra i Sistemes de Referència
ISO	Organització Internacional de Normalització
IUPAC	Unió Internacional de Química Pura i Aplicada
IUPAP	Unió Internacional de Física Pura i Aplicada
OIML	Organització Internacional de Metrologia Legal
OMS	Organització Mundial de la Salut
PV	<i>Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesures</i>
SUNAMCO	Comissió de Símbols, Unitats, Nomenclatura, Masses Atòmiques i Constants Fonamentals, IUPAP
UAI	Unió Astronòmica Internacional

* Els laboratoris o les organitzacions marcades amb un asterisc o bé ja no existeixen o bé figuren amb un altre acrònim.

2. Acrònims de termes científics

CGS	Sistema d'unitats coherent fonamentat en les tres unitats mecàniques centímetre, gram i segon
EIPT-68	Escala internacional pràctica de la temperatura de 1968
EIT-90	Escala internacional de la temperatura de 1990
EPT-76	Escala provisional de la temperatura de 1976
ITS-90*	Escala internacional de la temperatura de 1990 (vegeu EIT-90)
MKS	Sistema d'unitats fonamentat en les tres unitats mecàniques metre, kilogram i segon
MKSA	Sistema d'unitats quadridimensional fonamentat en el metre, el kilogram, el segon i l'ampere
SI	Sistema Internacional d'Unitats
TAI	Temps atòmic internacional
TCG	Temps coordinat geocèntric
TT	Temps terrestre
UTC	Temps universal coordinat
VSMOW	Patró de Viena de l'aigua mitja de l'oceà

Índex

Els nombres en negreta indiquen les pàgines on es troben les definicions de les unitats o dels termes.

A

absolutes, unitats, 20
absorbida, dosi, 14, 25-27, 67, 69, 72, 81
acceleració de la gravetat, valor convencional de (g_n), 50
actínica, radiació, 86
actinisme, 14, 86
activitat d'un radionúclid, 25
aigua, composició isotòpica, 21, 62, 83
ampere (A), 11, 16, 18, **20**, 23, 24, 26, 40, 51, 53, 54, 57, 58
Associació Britànica per l'Avenc de la Ciència, 16
astronòmica, unitat, 33-35
atmosfera estàndard, 36, **54**
atòmic, pes, 21
atòmica, física, 33, 79
atòmiques, unitats, 33, 34
àtom-gram, 21
Avogadro, constant, 22, 33

B

bar, 35, 36, 53
barn, 35
becquerel (Bq), 25, 27, **67**
bel (B), 35, 36, 43
biològiques, magnituds, 7
Bohr, radi de, bohr, 33, 34

C

caloria, 52, 53
calorífica, capacitat, 26, 40, 63
candela (cd), 11, 16, 18, 22, **23**, 54, 57, 62-64, 68, 69
 candela nova, 50, 53, 63
CEI 60027, norma, 11, 29
Celsius, temperatura, 21, 25, 40, 47
CGS, 16, 37, 53
CGS-UEM, 12, 37
CGS-ESU, 12
CGS-Gaussià, 12, 31, 37
cinemàtica, viscositat, (stokes), 37
clínica, química, 22, 24
coherents, unitats derivades, 12-16, 18, 23-28, 31, 32, 43, 64, 70, 77, 78
Comissió de Símbols, Unitats, Nomenclatura, Masses Atòmiques i Constants Fonamentals, llibre vermell, 40
Comitè de Dades per a la Ciència i Tecnologia, 34
Convenció del metre, 2, 4, 15, 16, 49, 53
Coulomb (C), 25, 26, 39, **51**, 53, 58
Coulomb, llei, 11
curie (Ci), 60

D

dalton (Da), 33, 34
de base, magnitud, **12**, 23
de base, unitats, 10-13, **18**
decibel (dB), 35, 36, 43
decimal, separador, 8, 42, 82
decimal, sistema mètric, 15
definicions de les unitats de base, **18-22**

derivades, unitats, 10-13, 15, 16, 18, 22, **23**, 24-26, 31, 58, 62-64, 70, 76, 78, 86
derivada, magnitud, 10-13, 24-26, 33, 87
desdoblament hiperfi del àtom de cesi, 20, 61
dia (d), 30
dina (dyn), 37, 53
dinàmica, viscositat (poise), 37, 53
dosi equivalent, vegeu sievert

E

elèctric, corrent, 11, 12, 15, 16, 18, 20, 23, 26, 51, 54, 57
elèctriques, unitats, 16, 20, 37, **51**, 72
electromagnètiques, magnituds, 11
electró, massa de, 33, 34
electróvolt (eV), 33, 34
elemental, càrrega, 33, 34
equacions electromagnètiques de quatre magnituds, 11
erg, 37, 53
escala internacional de la temperatura de 1990, 21, 54, 62, 74, 75
escala termodinàmica de la temperatura, 54
escotòpic, 86
escriptura del valor d'una magnitud, 41
establiment de l'SI, 52
estereoradiant (sr), 23, 25, 26, 28, 43, 51, 58, 63, 69, 70, 76

F

factors de racionalització, 12
farad (F), 25, 26, **51**, 53, 58
fotobiològiques, magnituds, 14, 86, 87
fotomètriques, unitats, **50**, 63, 86
fotòpica, visió, 86
fotoquímiques, magnituds, 14, 86, 87

G

gal (Gal), 37
gauss (G), 37
Gauss, 12, 16, 31, 35, 37
general, relativitat, 7, 14, 79
Giorgi, 16
gon (grau centesimal), 32
grau Celsius (°C), 21, 25, 40, 42, 47, 52, 53
gram, 16, 30, 37
gray (Gy), 25-27, **67**, 68, 72, 81
grups de xifres, 42, 53, 82

H

Hall, efecte (incloent efecte Hall quàntic), 18, 72-74, 78
Hartree, energia, haartree, 33, 34
hectàrea (ha), 32
henry (H), 20, 25, 26, **51**, 53, 58
hertz (Hz), 200, 23, 25, 27, 29, 39, 53, 58, 59, 69
històrica, nota, 15
hora (h), 32, 53

I

iarda, 37
intensitat lluminosa, 11, 12, 15, 16, 18, 22, **23**, 50, 51, 54, 57, 62, 63, 68, 69
ionitzant, radiació, 2, 3, 14, 27, 67-69, 72, 81
ISO 31, norma, 8, 11, 32, 40
ISO/IEC 80000, norma, 11
ISO/TC, 11, 70

J

Josephson, constant (K_j , K_{j-90}), 73

Josephson, efecte, 72, 73

juli (J)

K

katal (kat), 25, 26, 77

kelvin (K), 11, 16, 18, **20**, 21, 23, 25, 26, 54, 57, 62, 63, 83

kibibyte (kilobyte), 29

kilogram, 11, 13, 15, 16, 18, **19**, 23, 24, 26, 27, 30, 39, 40, 49-51, 54, 57, 58, 61, 63, 66-69, 72, 76, 77, 81

L

legislació sobre unitats, 15

litre, 32, 39, 49, 50, 53, 58-60, 69

logaritmes de quocients de magnituds, 35, 36

longitud, 2, 3, 11-13, 15, 16, 18, **19**, 23, 27, 33-36, 39, 46, 49-51, 54, 56, 57, 67, 70-72

lumen (lm), 23, 25, 53, 58, 68, 86 i lumen nou, 51

lux (lx), 25, 53, 58, 86

M

magnètica, constant, permeabilitat del buit, 11, 20

magnitud de base, 12, 23, 26

magnitud derivada, 10, 12, 13, 24-26, 33, 87

magnituds adimensionals, 12, 13, 24, 25, **27**, 43

magnituds, càlcul de, 40, 41

magnituds, símbols de, 12, 40, 41, 43

massa i pes, 50

massa, 11-16, 18, **19**, 21-24, 27, 30, 32-34, 37, 41-43, 49-51, 54, 57, 58, 61, 76, 77

maxwell (Mx), 37

Maxwell, 16

mesòpic, 68, 86

metre (m), 10, 11, 13, 14, 18, **19**, 20, 23, 24, 26, 27, 35, 39, 40, 50, 51, 54-58, 63, 65, 67, 70-72, 78, 79, 81, 83

microsegon d'arc (μ as), 30

mil·lisegon d'arc (mas), 30, 39

mil·límetre de mercuri, 35, 36

milla nàutica, 32, 35, 36

minut (min), 30, 32

MKS, sistema, 16, 20, 51, 53

MKSA, sistema, 16

mol (mol), 11, 17, 18, 21, **22**, 26, 66, 76, 77, 83

molècula-gram, 21

molecular, pes, 21

múltiples, prefixos, 29

N

naturals, unitats, 33, 34

nàutica, milla, 32, 35, 36

neper (Np), 35, 36, 43

newton (N), 20, 25-27, 39, 51, 53, 54, 58, 63, 65

O

obligatoris, símbols de les unitats, 40

oersted (Oe), 37

ohm (Ω), 16, 18, 20, 25, 29, 39, 51, 53, 58, 65, 66, 72-74, 78, 86

Organització Internacional de Metrologia Legal, 15

OIML, unitats internacionals, 15

P

pascal, 25, 26, 39, 40, 65
phot (ph), 37
peu, 37
poise, 37, 53
percentatge, 43
ppb, 43
ppm, 43, 44
ppt, 43, 44
pràctiques, unitats, 16
prefixos, 13, 29
prototip internacional del kilogram, 16, 19, 49, 50
prototip internacional del metre, 16, 19, 49, 50, 56
polzada, 37
punt triple de l'aigua, 20, 21, 47, 52, 54, 62, 83

Q

quantitat de substància, 11, 12, 15, 17, 18, 21, 22-24, 43, 66, 83

R

radiació, teràpia, 14
radiant (rad), 25-28, 35, 43, 58, 70, 76
realització d'una unitat, 18
recompte, magnituds de, 13, 27
reduïda, constant de Plank, 33, 34
relativitat general, 7, 14, 79

S

segon (s), 10, 11, 13, 14, 16, 19, **20**, 23, 24, 26, 27, 37, 39, 40, 51-61, 63, 65-67, 71, 77, 80
segon d'arc, 32
SI, prefixos, 29
siemens (S), 25, 65
sievert (Sv), 25, 27, 69, 72, 80, 81
símbols recomanats per a les magnituds, 12
símbols i noms especials d'unitats, 24
Sistema Internacional de magnituds, **11**
so, unitats de, 14
stilb (sb), 37, 53
stokes (St), 37
submúltiples, prefixos, 29
suplementàries, unitats, 15, 58, 64, 70, 76

T

TAI, temps atòmic internacional, 65-67
temperatura termodinàmica, 11, 12, 15, 16, 18, 20, 21, 23, 54, 57, 62, 83
tesla (T), 25, 58
Thomson, 16
temps (durada), 12, 23
temps atòmic internacional, 65-67
temps universal coordinat, 67
tona, 32, 53

U

incertesa, 18, 32, 34, 42, 43, 67, 71, 73, 74, 78-81
Unió Internacional de Química Pura i Aplicada, llibre verd, 40
unitat (SI), 18-28
unitat de base, 10-13, **18**
unitat derivada, 10-13, 15, 16, 18, 22, **23**, 24-26, 31, 58, 62-64, 70, 76, 78, 86
unitats de magnituds biològiques, 14
unitats del logaritme d'un quocient, 35, 36
unitats fora de l'SI, 31

unitats, noms, 39
unitats, símbols, 39
UTC, temps universal coordinat, 67

V

valor d'una magnitud, 10, 41, 42, 82
valor numèric d'una magnitud, 40
watt (w), 23, 25, 26, 40, 51, 53, 63, 68, 69
velocitat de la llum en el buit, 11, 12, 19, 33, 34, 79
viscositat cinemàtica (stokes), 37
viscositat dinàmica (poise), 37, 53
volt (V), 10, 16, 25, 26, 51-53, 58, 72-74
von Klitzing, constant de, 18, 74, 78

W

weber (Wb), 25, 51, 58
Weber, 16