5 — GRANDEZAS E UNIDADES SI

Introdução

Apresentam-se neste capítulo, de forma sistemática, as *principais* grandezas físicas[(1)] agrupadas pelos domínios tradicionais de aplicação[(2)], de acordo com a seguinte metodologia:

a) *Relativamente às informações sobre as grandezas*

Cada grandeza é acompanhada do correspondente *símbolo internacional*[(3)], de uma definição sumária e da sua dimensão[(4)]. Esta definição *sumária* é dada apenas para a identificação da grandeza em causa[(5)] e não é, em muitos casos, uma definição de carácter geral. As equações de definição assinaladas por (**) na coluna «definição sumária», referem-se aos casos mais simples[(6)].
A indicação (sem distinção especial) de dois ou mais símbolos para a mesma grandeza significa que poderá utilizar-se, indiferentemente, qualquer deles [(7)].
Os símbolos entre parêntesis são símbolos de reserva, em geral utilizados quando, no mesmo contexto, aparecerem símbolos idênticos para grandezas diferentes.

(1) Grandezas físicas utilizadas no âmbito definido na introdução, pág. 17. Os símbolos referentes a outras grandezas, utilizadas no âmbito de domínios mais especializados, podem obter-se nas referências bibliográficas [22], [27] e [29].

(2) Optámos por apresentar as grandezas em seis grupos principais englobando por vezes, no mesmo grupo, grandezas de mais de um ramo da Física.

(3) V. 2.1.1.c.

(4) Na coluna «dimensão» apresentam-se as dimensões de base pela ordem referida na secção 3.1., i.e., L, M, T, I, Θ, N e J (cf. ISO 31/0). Os factores L^0, M^0, etc., iguais a 1, não foram referidos explicitamente.

(5) Na coluna «definição sumária» só se recorreu à notação vectorial quando necessária a caracterização da grandeza em causa.

(6) Movimento rectilíneo e uniforme, movimento rectilíneo e uniformemente acelerado, etc., nas grandezas de cinemática. Força constante, colinearidade de vectores (no produto escalar); perpendicularidade de vectores (no produto vectorial); campos uniformes, corrente estacionária, etc., nas grandezas de dinâmica e/ou nas grandezas de electricidade e magnetismo.
Fontes uniformes, incidência (ou emissão) segundo a normal às superfícies, fluxo constante, etc., nas grandezas relativas à luz e radiações electromagnéticas.

(7) São igualmente admissíveis, como símbolo de uma grandeza, as várias formas de escrita (em itálico) que uma mesma letra possa ter (*exemplos:* θ e ϑ; ϕ e φ; g e g).

Os símbolos, no caso das grandezas vectoriais, podem ser representados utilizando caracteres itálicos **negros**[1] (*ex.: **F**, **a***), ou utilizando caracteres itálicos normais encimados por uma seta (*ex.:* $\vec{F}$, $\vec{a}$). Ponderando vários aspectos, optámos pela segunda representação. A seta ($\rightarrow$) não faz, contudo, parte integrante do símbolo, só devendo empregar-se quando se pretenda evidenciar o carácter vectorial da grandeza em questão.
Determinadas grandezas, como por exemplo a frequência, não podem circunscrever-se a um domínio particular de aplicação; para evitar repetições, aparecem uma só vez no quadro em que a sua inclusão seja mais adequada.
Deve notar-se que a cada grandeza corresponde uma única unidade SI, ainda que o nome desta possa ser expresso sob diferentes formas (cf. cap. 6). A mesma unidade SI pode, contudo, corresponder a várias grandezas diferentes.
Foram indicadas algumas constantes, nos vários quadros, para facilitar o acesso imediato aos correspondentes símbolos e para relacionar essas constantes com outras grandezas. Deve, contudo, ficar claro que, rigorosamente, não é correcto afirmar que essas constantes pertencem ao SI. Os valores mais recentes das constantes fundamentais referem-se na secção 9.1.

b) *Relativamente às unidades*

Indica-se, para cada grandeza, o nome da correspondente unidade SI[2] seguido do símbolo internacional apropriado. Em muitos casos indica-se também uma designação, sob outra forma, da mesma unidade, para facilitar a sua identificação.

Exemplos: N , i.e., $\mathrm{kg{\cdot}m{\cdot}s^{-2}}$
Ω , i.e., $\mathrm{V{\cdot}A^{-1}}$

(1) Notação preferencial (cf. ref. bibliog. [29], [32] e [37]. A segunda notação (*ex.:* $\vec{F}$) emprega-se no caso de não se dispor de caracteres itálicos **negros**. Neste livro, embora dispondo de tais caracteres, optámos, por razões didácticas, pela segunda notação.
(2) Para esclarecer quaisquer confusões que possam existir, deve referir-se que nem a CGPM, nem qualquer outra organização internacional, recomendou *que só possam* empregar-se *as* unidades SI, em sentido restrito (cf. 4.1.). Seria pouco prático *restringir*, dessa forma, o uso de unidades, por muito vantajoso que isso possa ser na realização de cálculos. Os múltiplos e submúltiplos *das* unidades SI, obtidos por meio dos prefixos SI (como por exemplo o centímetro) pertencem ao Sistema Internacional de Unidades (cf. 4.1.). Há, portanto, liberdade, *dentro do SI*, para utilizar em cada caso o múltiplo, ou o submúltiplo, mais cómodo, obtido por meio daqueles prefixos.

Indica-se também, em muitos casos, uma definição *sumária* da unidade. Algumas unidades derivadas receberam nomes especiais (cf. cap. 6).
A adopção de nomes especiais é da competência da CGPM e *só devem ser utilizados os nomes especiais adoptados como tal*[1].
Desde 1979 (16.ª CGPM) passou a limitar-se a adopção de novos nomes especiais para as unidades SI[2], considerando-se que a proliferação de nomes especiais é nociva à simplicidade do Sistema Internacional de Unidades.

Optou-se, deliberadamente, pelo uso de expoentes negativos, para representar o quociente de unidades e ao ponto (·) para representar o seu produto. No entanto pode-se recorrer igualmente, sempre que se queira, ao uso da barra (/) ou qualquer outra das notações referidas no parágrafo 2.2.3.

As unidades referidas pelo inverso de outras (m^{-1}, K^{-1}, H^{-1}, etc.) indicam-se, *não havendo nome especial*[3], pelo nome «1 por metro»[4], «1 por kelvin», etc.. Pode também dizer-se «metro à potência menos um»[5], etc.; muitas vezes também se diz «inverso do metro», etc.

(1) Alguns nomes, correntemente utilizados para exprimir certas unidades, não deverão ser utilizados (no âmbito do SI) por não corresponderem a nomes de unidades SI. *Exemplos:*
a dioptria, correntemente utilizada como unidade de potência focal (v. pág. 129, nota (7)).
o nit, correntemente utilizado como unidade de luminância luminosa (v. pág. 131, nota (6)).
o lenz, correntemente utilizado como unidade de campo magnético $\vec{H}$ (v. pág. 121, nota (6)).
(2) Ultimamente a CGPM só tem adoptado nomes especiais em casos de *extrema necessidade.*
(3) As unidades derivadas (não adimensionais) com nome especial referem-se nas páginas 151, 152 e 153.
(4) Cf. 13.ª CGPM (1967-1968), Resolução 6.
(5) Cf. BIPM, [2], pág. 12.

5.1. Grandezas e unidades de espaço, tempo e mecânica[1]. Definições

GRANDEZA			
nome	*símbolo*	*definição sumária*	*dimensão*[2]
comprimento	l, L	grandeza de base	L
largura	b		L
altura	h		L
profundidade	h		L
espessura	d, δ		L
raio, distância radial	r		L
diâmetro	d, D	$d = 2r$	L
elongação	x		L
vector de posição, raio vector	$\vec{r}$		L
deslocamento	$\Delta\vec{r}$		L
comprimento curvilíneo[3]	s		L
elemento de percurso	$\mathrm{d}s$		L
área, superfície	A, S	$A = \int l \mathrm{d}b$; $A = l_1 l_2$ **	L^2
volume[4]	V	$V = \int A \mathrm{d}h$; $V = l_1 l_2 l_3$ **	L^3
ângulo plano	$\alpha, \beta, \gamma, \theta, \phi$	$\phi = \frac{l}{r}$	1
ângulo sólido	Ω, ω	$\Omega = \frac{S}{r^2}$	1
tempo	t	grandeza de base	T
interv. de tempo, duração[5]	t		
tempo de relaxação	τ	(6)	
período	T	intervalo de tempo durante o qual um fenómeno periódico efectua um ciclo	T

(1) Englobam-se também, neste quadro, as grandezas associadas aos fenómenos periódicos.

(2) Anteriormente chamada equação de dimensões ou equação dimensional (v. 3.1). O número 1, nesta coluna, indica que a grandeza em causa é adimensional (cf. 3.1).

(3) Também chamado *distância (medida) sobre a trajectória (distance along path)*; cf. *Royal Society* [37]. Como comprimento (ou como distância) que é, trata-se de uma grandeza positiva. V. pág. 86, nota (2).

(4) O símbolo $\mathrm{d}\tau$ emprega-se por vezes para representar um elemento de volume.

(5) O símbolo Δt emprega-se por vezes para representar um intervalo de tempo característico.

UNIDADE SI		
nome	*símbolo; obs*	*definição sumária*
metro	m	a definição do metro, de acordo com a CPGM, encontra-se na secção 1.5.
metro	m	
metro	m	
metro	m	
metro	m	
metro	m	
metro	m	
metro	m	
metro	m	
metro	m	
metro	m	
metro	m	
metro quadrado	m^2	área de um quadrado de lado igual a 1 metro
metro cúbico	m^3	volume de um cubo de aresta igual a 1 metro
radiano(7)	rad i.e., $m \cdot m^{-1}$	O **radiano** é o ângulo plano compreendido entre dois raios que, na circunferência de um círculto, intersectam um arco de comprimento igual ao raio desse círculo (11.ª CGPM — 1960 — Resolução 12.)
esterradiano	sr i.e., $m^2 \cdot m^{-2}$	O **esterradiano** é o ângulo sólido que, tendo o vértice no centro de uma esfera, intersecta na superfície desta uma área igual à de um quadrado tendo por lado o raio da esfera (11.ª CGPM — 1960 — Resolução 12.)
segundo	s	a definição do segundo, de acordo com a CGPM, encontra-se na secção 1.5.
segundo	s	
segundo	s	
segundo	s	

➡➡

(6) O tempo de relaxação é o tempo ao fim do qual uma grandeza, que decresce exponencialmente, se reduz a $1/e$ do seu valor inicial. Se a grandeza G é uma função do tempo dada por $G(t) = A + B \exp(-t/\tau)$, dá-se também a τ o nome de *constante de tempo.*

(7) Admite-se, também, em conjunto com as unidades SI (cf. 7.1.1.), o uso do grau (°). Recomenda-se, contudo, que o grau seja *preferencialmente* subdividido de forma decimal. Consequentemente, é *preferível* escrever, por exemplo, 15,27° em vez de 15° 16′ 12″.

Grandezas e unidades de espaço, tempo e mecânica (continuação)

GRANDEZA			
nome	*símbolo*	*definição sumária*	*dimensão*
frequência	f, ν	$f = \frac{1}{T}$	T^{-1}
frequência angular, pulsação	ω	$\omega = 2\pi f$	T^{-1}
frequência de rotação	n	número de rotações por segundo	T^{-1}
deslocamento angular	$\Delta\theta$, $\Delta\alpha$		1
fase fase inicial	φ φ_0		1
comprimento de onda	λ	$\lambda = \nu T$ distância, na direcção de propagação de uma onda periódica, entre dois pontos sucessivos que, no mesmo instante, se encontram em fase.	L
número de onda (número de ondas)	σ, $\bar{\nu}$ (1)	$\sigma = \frac{1}{\lambda}$ número de ondas por unidade de comprimento	L^{-1}
velocidade (2)	$\vec{u}$, $\vec{v}$, $\vec{w}$	$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$; $v = \frac{ds}{dt}$; ** $v = \frac{\Delta r}{\Delta t}$	LT^{-1}
valor da velocidade de propagação das ondas electromagnéticas no vazio (celeridade da luz no vazio)	c, c_0 (3)		
relação v/c	β	$\beta = \frac{v}{c}$	1

(1) O símbolo σ é utilizado em mecânica. Para as ondas electromagnéticas emprega-se o símbolo $\bar{\nu}$.
As grandezas vectoriais correspondentes ao número de onda e ao número de onda angular ($k = 2\pi\sigma$) são, respectivamente, denominadas vector de onda $\vec{\sigma}$, e vector de propagação, $\vec{k}$.

(2) A *celeridade* não deve ser confundida com a velocidade. Na língua inglesa utilizam-se, respectivamente, os nomes *speed* e *velocity*. A celeridade média indica o quociente do *espaço* percorrido (s) pelo tempo; a velocidade média indica o quociente do *deslocamento* efectuado ($\Delta\vec{r}$) pelo tempo. O módulo da velocidade instantânea é igual ao valor da celeridade instantânea.
A função $s(t)$ nunca é decrescente, pelo que $\frac{ds}{dt}$ é *sempre* positiva, ou nula.

(3) O símbolo c é também recomendado para representar o valor da velocidade de propagação do som.

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
hertz[4]	Hz i.e., s^{-1}	frequência de um fenómeno periódico cujo período é de 1 segundo
radiano por segundo	$rad{\cdot}s^{-1}$	
1 por segundo[5]	s^{-1}	
radiano	rad	
radiano	rad	
metro	m	
1 por metro	m^{-1}	número de ondas de um fenómeno periódico cujo comprimento de onda é de 1 metro
metro por segundo	$m{\cdot}s^{-1}$	velocidade de um móvel que, com movimento rectilíneo uniforme, se *desloca* de 1 metro em cada segundo

➧➧

(4) O nome especial «hertz» deve empregar-se *apenas* em ligação com fenómenos periódicos e em mais nenhum outro contexto. Não é um *sinónimo geral* do inverso do segundo (s^{-1}); se assim fosse convencionado poderíamos, cair em situações tais como, por exemplo, exprimir a unidade SI de velocidade ($m{\cdot}s^{-1}$) como «metro hertz» (m·Hz). A prática corrente promoverá o desaparecimento gradual da unidade *fora do SI* «ciclo por segundo» (c.p.s. ou $c{\cdot}s^{-1}$).

(5) Usualmente, por comodidade de linguagem, diz-se «uma rotação por segundo».

Grandezas e unidades de espaço, tempo e mecânica (continuação)

GRANDEZA			
nome	*símbolo*	*definição sumária*	*dimensão*
aceleração	$\vec{a}$	$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$; ** $a = \frac{\Delta v}{t}$	LT^{-2}
aceleração da gravidade[(1)]	$\vec{g}$		
idem, *valor normal*	g_n		
velocidade angular	ω	$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\theta}}{dt}$; ** $\omega = \frac{\Delta\theta}{t}$	T^{-1}
aceleração angular	α	$\vec{\alpha} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$; ** $\alpha = \frac{\Delta\omega}{t}$	T^{-2}
massa	m	grandeza de base	M
massa linear	ϱ_l	$\varrho_l = \frac{m}{l}$ razão da massa pelo comprimento	$L^{-1}M$
massa superficial	ϱ_A, ϱ_S	$\varrho_S = \frac{m}{S}$	$L^{-2}M$
massa volúmica[(2)] (anteriormente chamada massa específica)	ϱ	$\varrho = \frac{m}{V}$	$L^{-3}M$

(1) Esta designação utiliza-se, obviamente, por razões de comodidade. Mais correctamente deveria dizer-se *aceleração da queda livre*. As designações correspondentes em francês e em inglês são, respectivamente, *accélération de la pesanteur* e *acceleration of free fall*. Esta aceleração não se deve *apenas* ao campo gravítico. V. pág. 90, nota (4).

(2) Cf. ISO, IUPAC e *Royal Society*; não deve empregar-se o nome *massa específica* para esta grandeza, pois não se trata de um quociente por uma massa [v. 2.1.7. e pág. 43, nota (2)]. As designações *densidade absoluta* e *densidade*, por vezes utilizadas na língua portuguesa como sinónimos de massa volúmica, devem ser evitadas, devido à confusão e ambiguidade que podem originar. Na língua inglesa, o nome «*density*» designa a massa volúmica, pelo que não deve ser traduzido para «*densidade*», nos livros portugueses.

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
metro por segundo quadrado	$m \cdot s^{-2}$	aceleração de um móvel que, com movimento uniformemente variado, modifica a sua velocidade à taxa de 1 metro por segundo, em cada segundo.
radiano por segundo	$rad \cdot s^{-1}$	velocidade angular de um corpo que, animado de movimento de rotação uniforme, em torno de um eixo fixo, roda de 1 radiano em 1 segundo.
radiano por segundo quadrado	$rad \cdot s^{-2}$	aceleração angular de um corpo que, animado de movimento de rotação uniformemente variado, em torno de um eixo fixo, varia a sua velocidade angular à taxa de 1 radiano por segundo, em cada segundo.
quilograma (v. pág. 30, nota (3))	kg	a definição do quilograma, de acordo com a CGPM, encontra-se na secção 1.5.
quilograma por metro(3)	$kg \cdot m^{-1}$	massa linear de um corpo homogéneo de secção uniforme, de massa igual a 1 quilograma por cada metro de comprimento.
quilograma por metro quadrado	$kg \cdot m^{-2}$	massa superficial de um corpo homogéneo de espessura uniforme, de massa igual a 1 quilograma por cada metro quadrado de área.
quilograma por metro cúbico (4)	$kg \cdot m^{-3}$	massa volúmica de um corpo homogéneo, de massa igual a 1 quilograma por cada metro cúbico de volume.

➧➧

(3) Na indústria têxtil emprega-se o tex; 1 tex = 10^{-6} $kg \cdot m^{-1}$ = 1 $g \cdot km^{-1}$. Note-se, contudo, que o tex não é uma unidade SI, pois não consta da lista de unidades SI derivadas com nomes especiais (cf. 6.1.).

(4) Esta unidade conduz, no caso dos sólidos e dos líquidos, a valores numéricos muito grandes. Utiliza-se, por isso, o *grama por centímetro cúbico*, que não é *a* unidade SI para a grandeza em questão, sendo 1 $g \cdot cm^{-3}$ = 10^3 $kg \cdot m^{-3}$.
Para os gases é de uso corrente o *grama por decímetro cúbico*, sendo 1 $g \cdot dm^{-3}$ = 1 $kg \cdot m^{-3}$, embora também não se trate *da* unidade SI de massa volúmica. V. Apêndice VII.

GRANDEZA			
nome	*símbolo*	*definição sumária*	*dimensão*
volume mássico[1]	v	$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\varrho}$ razão do volume pela massa	L^3M^{-1}
densidade relativa (v. 5.1.1.)	d	$d = \frac{\varrho}{\varrho_0}$ razão da massa volúmica pela da substância-padrão.	1
massa reduzida	μ	$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$	M
força peso[3]	$\vec{F}$ $\vec{G}, \vec{W}, \vec{P}$	$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ [2]; ** $\vec{F} = m\vec{a}$ $\vec{P} = m\vec{g}$	LMT^{-2}
peso volúmico[4]	$\vec{\gamma}$	$\gamma = \frac{P}{V}$	$L^{-2}MT^{-2}$
momento de uma força momento de um binário	$\vec{M}$ $\vec{T}$	$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$	L^2MT^{-2}
impulso	$\vec{I}$ (v. 2.1.1.c.)	** $I = Ft$ [5]	LMT^{-1}

(1) Também chamado *volume específico* [(cf. 2.1.7 e pág. 43, nota (2)].

(2) Dado que $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt}$ a equação $\vec{F} = m\vec{a}$ só será válida se $\frac{dm}{dt} = 0$, i.e., se m for independente do tempo.

(3) A influência da pressão atmosférica é excluída do conceito de peso. Consequentemente o peso é *sempre entendido no vazio*. O peso de um corpo, *num dado sistema de referência*, é a força que, aplicada a esse corpo, lhe comunicaria uma aceleração igual à aceleração *local* em queda livre, nesse sistema de referência. O *peso normal* de um corpo é o produto da massa desse corpo, pela *aceleração normal da gravidade* (g_n = 9,806 65 $m \cdot s^{-2}$). Note-se que o peso é consequência não só da resultante das forças gravíticas, existentes no local onde o corpo se encontra, como também da força centrífuga *local* (cf. 3.ª CGPM, 1901). Em Portugal emprega-se frequentemente o símbolo $\vec{P}$.

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
metro cúbico por quilograma	$m^3 \cdot kg^{-1}$	volume mássico de um corpo homogéneo, de volume igual a 1 metro cúbico por cada quilograma de massa
quilograma	kg	
newton	N, i.e., $kg \cdot m \cdot s^{-2}$	força que comunica a um corpo, de massa igual a 1 quilograma, uma aceleração de 1 metro por segundo quadrado
newton por metro cúbico	$N \cdot m^{-3}$	peso volúmico de um corpo homogéneo, de peso igual a 1 newton por cada metro cúbico de volume
metro newton (6)	$m \cdot N$	momento produzido por uma força de 1 newton, actuando normalmente ao vector de posição do seu ponto de aplicação, quando o módulo deste é de 1 metro
newton segundo	$N \cdot s$	impulso produzido, por uma força constante de 1 newton, actuando durante 1 segundo

➧➧

(4) Esta grandeza era anteriormente denominada *peso específico*. Tal designação é *incorrecta,* pois não se trata de um quociente por uma massa (cf. 2.1.7). O símbolo indicado para o peso volúmico, γ, é recomendado pela CEI; a ISO e a IUPAC não referem esta grandeza. Utilizaram-se, anteriormente, os símbolos π e π_ν. Deve notar-se que o peso volúmico ***não é*** uma grandeza característica de uma substância.

(5) Refere-se aqui o caso em que a força é constante. De um modo geral $\vec{I} = \int \vec{F}(t)dt$.

(6) Cf. ISO 31/3. O BIPM e a CEI recomendam, contudo, que a unidade SI de momento de uma força seja denominada «newton metro» (N·m). Não se deve dar, a esta unidade, o nome «joule». V. 2.2.3 e a nota (4) da pág. 152.

Grandezas e unidades de espaço, tempo e mecânica (continuação)

GRANDEZA				
nome	*símbolo*	*definição sumária*		*dimensão*(2)
momento linear ou quantidade de movimento	$\vec{p}$	$\vec{p} = m\vec{v}$		LMT^{-1}
momento angular ou momento cinético (ou momento da quantidade de movimento)	$\vec{L}$	$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$; ** $L = mvr$ produto vectorial do vector de posição da partícula pela sua quantidade de movimento		L^2MT^{-1}
momento de inércia (1)	I, J	$I = \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2$ (2)	soma dos produtos das massas elementares pelos quadrados das suas distâncias ao eixo de rotação(2)	L^2M
impulso angular	$\vec{H}$	$\vec{H} = \vec{M}t$ **	produto do momento da força pelo tempo de actuação desta	L^2MT^{-1}
pressão	p	$p = \frac{F_n}{S}$	razão entre o módulo da componente normal da força e a área da superficie onde esta actua	$L^{-1}MT^{-2}$
coeficiente de atrito estático(3)	$\mu_s, (f_s)$	$\mu_s = \frac{F_a}{F_n}$	razão máxima entre o módulo da força de atrito e o módulo da força normal, para um corpo em repouso	
dilatação linear relativa	ϵ	$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$		1

(1) Define-se, também, o momento polar (quadrático) de uma área plana $I_p = \sum_{i=1}^{n} A_i r_i^2$ ou, duma forma geral, $I_p = \int r^2 dA$, cuja unidade SI é o metro elevado à quarta potência.

(2) No caso de uma distribuição contínua de massa seria $I = \int r^2 dm$; $I_z = \int (x^2 + y^2)\, dm$.

(3) O coeficiente de atrito dinâmico [símbolos: μ, (f)] define-se para um corpo que escorrega.

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
quilograma metro por segundo	$kg \cdot m \cdot s^{-1}$	momento linear de uma partícula, de massa igual a 1 quilograma, que se desloca à velocidade de 1 metro por segundo
quilograma metro quadrado por segundo	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$	momento angular de uma partícula, cuja quantidade de movimento é de 1 quilograma metro por segundo, deslocando-se normalmente ao seu vector de posição, quando o módulo deste é de 1 metro
quilograma metro quadrado	$kg \cdot m^2$	momento de inércia de uma partícula de massa igual a 1 quilograma, situada a 1 metro do eixo de rotação
metro newton segundo(3)	$m \cdot N \cdot s$ i.e., $kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$	impulso angular produzido por um momento constante de 1 metro newton, actuando durante um segundo
pascal	Pa i.e., $N \cdot m^{-2}$	pressão uniforme que, actuando sobre uma superfície plana de 1 metro quadrado, exerce perpendicularmente a essa superfície uma força (total) de 1 newton

➡➡

(3) Esta unidade, para evitar confusão, pode denominar-se «newton metro segundo», designação preferencial (BIPM); v. pág. 152, nota (3).

Grandezas e unidades de espaço, tempo e mecânica (continuação)

GRANDEZA				
nome	*símbolo*	*definição sumária*		*dimensão*
tensão (mecânica)	σ	$\sigma=\frac{F}{S}$	razão do módulo da força deformadora (normal), pela área da secção transversal submetida a esforço.	$L^{-1}MT^{-2}$
módulo de Young	E	$E=\frac{\sigma}{\epsilon}=\frac{F\,l_0}{S\,\Delta l}$	razão da tensão (mecânica) pela dilatação linear relativa	$L^{-1}MT^{-2}$
constante elástica, de uma mola	k, K (v. 2.1.1.c.)	$k=\frac{F}{\Delta l}$	razão do módulo da força deformadora, pelo alongamento produzido.	MT^{-2}
dilatação volúmica relativa	θ	$\theta = \frac{\Delta V}{V_0}$		1
trabalho	W, (A)	$W = \vec{F}\cdot\Delta\vec{r}$; ** $W = Fd$		L^2MT^{-2}
energia energia cinética (1) energia potencial	E, W E_k, T, K E_p, V, ϕ			L^2MT^{-2}
potência	P	$P = \frac{dW}{dt}$; ** $P = \frac{W}{t}$		L^2MT^{-3}
rendimento	η	$\eta = \frac{W_u}{W_m}$		1

(1) Em alguns livros portugueses utiliza-se o índice c, de «cinética», em lugar do índice k de «*kinetic*», escrevendo-se frequentemente o símbolo E_c.

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
pascal (2)	Pa	tensão produzida por uma força deformadora (normal) de 1 newton quando a área da secção transversal, submetida a esforço, é de 1 metro quadrado
pascal	Pa	módulo de Young de uma substância tal que a tensão de 1 pascal determinaria a duplicação do seu comprimento (3)
newton por metro	$N \cdot m^{-1}$	constante elástica de uma mola, tal que uma força de 1 newton produziria o alongamento de 1 metro (4)
joule	J i.e., $N \cdot m$	trabalho realizado por uma força de newton quando esta desloca o seu ponto de aplicação de 1 metro, na direcção da força
joule	J	energia que, por transformação integral produz o trabalho de 1 joule
watt	W i.e., $J \cdot s^{-1}$	potência que dá origem a uma produção de energia igual a 1 joule por segundo

(2) Emprega-se correntemente (para especificar a tensão de rotura dos materiais) o hectobar, hbar, unidade *fora do* SI; 1 hbar $= 10^7$ Pa $\approx$ 1 kgf/mm². O emprego desta unidade, em vez do pascal, resulta apenas de conveniência prática.

(3) Desde que, obviamente, o alongamento prosseguisse nas mesmas condições de elasticidade ($l_0/\Delta l = 1 \Rightarrow l = 2l_0$).

(4) Se o alongamento prosseguisse nas mesmas condições de elasticidade.

Grandezas e unidades de espaço, tempo e mecânica (continuação)

GRANDEZA				
nome	*símbolo*	*definição sumária*		*dimensão*(2)
campo gravítico	$\vec{\mathscr{g}}$, $\vec{g}$ (1)	$\vec{\mathscr{g}} = \frac{\vec{F}}{m}$		LT^{-2}
potencial gravítico	U, V	$U = \frac{W}{m}$. (2)		L^2T^{-2}
constante gravitacional constante universal de gravitação, ou constante de gravitação	G, (f)	$G = \frac{Fr^2}{m_1 m_2}$		$L^3M^{-1}T^{-2}$
caudal (em volume) ou vazão (3)	q_V	$q_V = \frac{V}{t}$	quociente do volume que atravessa uma superfície, pelo tempo	L^3T^{-1}
caudal (em massa) (também denominado caudal mássico)	q_m	$q_m = \frac{m}{t}$	quociente da massa, que atravessa uma superfície, pelo tempo	MT^{-1}
tensão superficial	γ , σ	$\gamma = \frac{F}{l}$	quociente da força que actua perpendicularmente, sobre um elemento de linha, pelo comprimento desse elemento de linha	MT^{-2}

(1) O símbolo $\vec{\mathscr{g}}$ é utilizado em livros de texto elementares; a *ISO* e a *Royal Society*, atendendo à identidade entre a massa inercial e a massa gravitacional (cf. princípio da equivalência) recomendam o símbolo $\vec{g}$, idêntico ao da aceleração da gravidade; o campo gravítico tem a mesma dimensão que a aceleração.

(2) O potencial gravítico, num ponto P, pode definir-se como o trabalho realizado, *pelas forças do campo*, no transporte da unidade de massa, de P para o infinito.
Pode também definir-se o potencial gravítico, num dado ponto P, como a energia potencial (gravítica) por unidade de massa colocada em P.

(3) Também chamado caudal volumétrico. Esta grandeza é, precisamente, o fluxo do vector velocidade.

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
newton por quilograma	$N \cdot kg^{-1}$	intensidade do campo gravítico num ponto, tal que actua uma força gravítica de 1 newton sobre um corpo com a massa de 1 quilograma, colocado nesse ponto
joule por quilograma	$J \cdot kg^{-1}$	potencial gravítico num ponto, tal que o trabalho realizado pelas forças do campo, no transporte da unidade de massa desse ponto para o infinito, é de 1 joule
newton metro quadrado por quilograma quadrado	$N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$	
metro cúbico por segundo	$m^3 \cdot s^{-1}$	caudal (em volume) originado pelo escoamento uniforme de 1 metro cúbico de um dado fluido, através da superfície considerada, em cada segundo
quilograma por segundo	$kg \cdot s^{-1}$	caudal (em massa) originado pelo escoamento uniforme de 1 quilograma de um dado fluido, através da superfície considerada, em cada segundo
newton por metro	$N \cdot m^{-1}$	tensão superficial de um líquido, tal que actua uma força de 1 newton, normalmente, sobre um segmento da sua superfície, com o comprimento de 1 metro

➧➧

Grandezas e unidades de espaço, tempo e mecânica (continuação)

GRANDEZA				
nome	*símbolo*	*definição sumária*		*dimensão*
viscosidade dinâmica	η , (μ)	$\eta = \frac{Fl}{Sv}$	F é a força tangencial, exercida entre dois elementos paralelos, de superfície S, pertencentes ao fluido, distanciados de l (entre si), quando a velocidade relativa entre esses elementos tem o valor v	$L^{-1}MT^{-1}$
viscosidade cinemática	ν	$\nu = \frac{\eta}{\varrho}$	quociente da viscosidade dinâmica pela massa volúmica	$L^{2}T^{-1}$

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
pascal segundo [1]	Pa·s i.e., $N \cdot s \cdot m^{-2}$	viscosidade dinâmica de um fluido homogéneo, no qual o movimento rectilíneo e uniforme de uma superfície plana de 1 metro quadrado dá origem a uma força retardadora de 1 newton, quando a velocidade relativa entre dois planos paralelos, separados por 1 metro de distância, é de 1 metro por segundo
metro quadrado por segundo [2]	$m^2 \cdot s^{-1}$	viscosidade cinemática de um fluido, de viscosidade dinâmica igual a 1 pascal segundo e massa volúmica igual a 1 quilograma por metro cúbico

(1) A unidade de medida, no âmbito do sistema CGS, para esta grandeza é o poise (símbolo P); 1 P = 0,1 Pa.s (*exactamente*).

(2) A unidade de medida, no âmbito do sistema CGS, para esta grandeza é o stokes (símbolo St); 1 St = 10^{-4} $m^2 \cdot s^{-1}$ (*exactamente*).

5.1.1. Massa volúmica[1] e densidade relativa

— *Massa volúmica*

Um quilograma de água pura, nas condições de máxima densidade, isto é:

à temperatura $t \approx 3{,}98\ °C$
à pressão normal $p_0 = 101\ 325$ Pa
isenta de ar

ocupa o volume de 1,000 028 dm^3 (cf. nota (2) ao quadro 8.3.). Consequentemente, a massa volúmica *máxima* da água é

$$\varrho_{\text{máx}}(H_2O) = \frac{1{,}000\ 000\ \text{kg}}{1{,}000\ 028\ \text{dm}^3} = 0{,}999\ 972\ \text{kg}\cdot\text{dm}^{-3} = 0{,}999\ 972\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3} \quad ,$$

e não, exactamente 1 g cm^{-3} como se supunha[2].
Assim, *rigorosamente,* a massa volúmica ϱ (expressa em $g\cdot cm^{-3}$, ou em $kg\cdot dm^{-3}$) e a densidade relativa *d*, de um sólido[3], ou de um líquido, *não se exprimem pelo mesmo valor numérico,* sendo:

$$\varrho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3} = \varrho/\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3} = 0{,}999\ 972\ d \qquad (\text{v. } 2.1.4.)$$

Exemplo: $\varrho(\text{Hg}) = 13{,}595\ 08\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, (PTN[4]) ; $d(\text{Hg}) = \dfrac{\varrho(\text{Hg})}{\varrho_{\text{máx}}(H_2O)} = 13{,}595\ 46.$

Consequentemente $\dfrac{\varrho(\text{Hg})}{d(\text{Hg})} = \dfrac{13{,}595\ 08}{13{,}595\ 46} = 0{,}999\ 972$

Os valores numéricos da tabela de massas volúmicas da água, v. pág. 40, passarão a corresponder a densidades relativas se forem divididos por 0,999 972 (ou multiplicados por 1,000 028). No entanto, e dada a grande aproximação entre aqueles valores numéricos e a unidade, pode admitir-se

$$\varrho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3} = \varrho/\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3} = d$$, em trabalhos que não requeiram grande rigor.

(1) Na língua inglesa o nome «*density*» designa a massa volúmica.
(2) Em 1901, cf. 3.ª CGPM (*Comptes rendus*, pág. 38), recomendou-se o emprego do «litro» como unidade de volume para medidas de alta precisão. Supunha-se que o litro era o volume ocupado pela massa de 1 quilograma de água pura, no seu máximo de densidade e sob a pressão atmosférica normal. A crescente precisão nas medidas de volume mostrou a desigualdade entre o litro e o decímetro cúbico (cf. 11.ª CGPM, 1960) e levou a 12.ª CGPM (1964) a revogar a definição do litro, de 1901. V. pág. 163, nota (2).
(3) V. notas sobre *densidade relativa.*
(4) As condições PTN (Pressão e Temperatura Normais) são, respectivamente $p_0 = 101\ 325$ Pa e $t = 0\ °C = 273$ K.

— *Densidade relativa*

A razão da massa volúmica, da substância em causa, pela da substância padrão deverá fazer-se em condições que devem ser especificadas para as duas substâncias.

Usualmente, quando o rigor do trabalho o justifica, emprega-se a simbologia

$$d^{t}_{t_0} \quad ,$$

onde t é a temperatura da substância em questão e t_0 é a temperatura da substância padrão (referência).

Exemplo: $d_4^{20}(H_20)$ indica a densidade relativa da água pura a 20 °C, t, tomando-se como padrão (referência) a água pura a 4 °C, t_0.

As substâncias tomadas como padrão (referência) são usualmente:

— a água pura, à pressão normal (p_0 = 101 325 Pa) e à temperatura que determina a sua máxima densidade ($t \approx$ 3,98 °C), no caso dos sólidos e dos líquidos;

— o ar, nas condições PTN, no caso dos gases

O mercúrio é também utilizado, em situações da prática corrente, como substância de referência, na indicação de *pressões*; originaram-se, assim, unidades de pressão, fora do SI (*ex*: mmHg), actualmente desaconselhadas; cf. 7.3. e 8.10.

Os valores rigorosos das massas volúmicas das substâncias de referência indicam-se no apêndice VII, referindo-se também os valores, aproximados, das massas volúmicas de substâncias vulgarmente utilizadas.

5.2. Grandezas e unidades de calor[1]

GRANDEZA			
nome	*símbolo*	*definição sumária*	*dimensão*[2]
quantidade de calor[3]	Q		L^2MT^{-2}
temperatura termodinâmica ou temperatura absoluta	T, θ	grandeza de base	Θ
temperatura Celsius	t, θ[4]	$t = T - 273{,}15\ K$	Θ
intervalo de temperatura (ou diferença de temperatura)	ΔT $\Delta\theta, \Delta t$		Θ
capacidade térmica (capacidade calorífica)[5]	C	$C = \dfrac{dQ}{dT}$; ** $C = \dfrac{\Delta Q}{\Delta T}$ (7)	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$
capacidade térmica mássica (capacidade calorífica específica)[5] anteriormente chamada calor específico	c	$c = \dfrac{dQ}{m dT} = \dfrac{C}{m}$ (7)	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$

(1) Algumas organizações internacionais designam estas grandezas como «grandezas de Termodinâmica». Preferimos, a exemplo da ISO, denominá-las «grandezas de calor».

(2) Anteriormente chamada equação de dimensões ou equação dimensional (v. 3.1). O número 1, nesta coluna, indica que a grandeza em causa é adimensional (cf. 3.1).

(3) A quantidade de calor transferida, numa mudança de fase (isotérmica) especificada, (fusão, vaporização, etc.) era anteriormente chamada «calor latente», com o símbolo L. Esse nome está actualmente ultrapassado, devendo exprimir-se, a grandeza em questão, pela variação da função termodinâmica apropriada. No caso, mais frequente, em que essa mudança de fase se processa em regime isobárico, deverá empregar-se o símbolo ΔH. *Exemplo:* variação de entalpia de fusão; cf. [22], [32].

(4) Se a temperatura Celsius e o tempo aparecerem no mesmo contexto deve reservar-se o símbolo t para o tempo.

(5) De acordo com as normas portuguesas, emprega-se, nos nomes destas grandezas, a palavra *térmica* e, quando se trate do quociente por uma massa, a palavra *mássica*. Idêntica terminologia se verifica nas versões francesas da ISO e da IUPAC (em caso de ambiguidade é sempre a terminologia francesa que predomina, cf. ISO e BIPM). No entanto aparecem, por vezes, textos onde se emprega a palavra *específica* em vez de *mássica* (cf. 2.1.7), e *calorífica* em vez de *térmica*.

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
joule[6]	J	
kelvin (v. pág. 30, nota[6])	K	a definição do kelvin, de acordo com a CGPM, encontra-se na secção 1.5
grau Celsius	°C	o grau Celsius é um nome especial da unidade kelvin, utilizado para enunciar os valores da temperatura Celsius (cf. ISO)
kelvin grau Celsius	K °C	as unidades de *intervalo* ou *diferença* de temperatura termodinâmica e Celsius são idênticas. Recomenda-se que tais *intervalos* ou *diferenças* sejam expressos em kelvins ou em graus Celsius (cf. CGPM)
joule por kelvin [7][8]	$J \cdot K^{-1}$	capacidade térmica de um corpo (ou de um sistema) que, recebendo sob a forma de calor 1 joule, eleva a sua temperatura de um kelvin
joule por quilograma kelvin [7][9]	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	capacidade térmica mássica de uma substância homogénea, tal que 1 quilograma dessa substância eleva a sua temperatura de 1 kelvin ao receber, sob a forma de calor, 1 joule

➔➔

(6) A caloria, unidade fora do SI (de uso desaconselhado, cf. BIPM e ISO), é por vezes utilizada para expressar quantidades de calor. Ver quadro 11.11. A CGPM recomendou, já em 1948 (9.ª CGPM, Resolução 3), que os resultados das experiências calorimétricas fossem, sempre que possível, expressos em joules.

(7) Nestes casos, atendendo a que se trata de *variações* de temperatura, é admissível substituir «kelvin» por «grau Celsius», nos nomes destas unidades e ΔT por Δt (ou $\Delta\theta$) nas correspondentes equações (cf. 13.ª CGPM). Ver também a nota (7), anexa ao quadro 1.5.

(8) Utiliza-se por vezes, *fora do* SI, a *caloria por grau Celsius*, $cal \cdot °C^{-1}$, unidade de uso *desaconselhado* (cf. BIPM e ISO); $1\ cal \cdot °C^{-1} = 4{,}1855\ J \cdot °C^{-1} = 4{,}1855\ J \cdot K^{-1}$.

(9) Utiliza-se por vezes, *fora do* SI, a *caloria por grama grau Celsius*, $cal \cdot g^{-1} \cdot °C^{-1}$, unidade de uso *desaconselhado* (cf. BIPM e ISO); $1\ cal \cdot g^{-1} \cdot °C^{-1} = 4{,}1855 \times 10^3\ J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1} = 4{,}1855 \times 10^3\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.

Grandezas e unidades de calor (continuação)

GRANDEZA			
nome	*símbolo*	*definição sumária*	*dimensão*(2)
capacidade térmica molar (capacidade calorífica molar)(1)	C_m	$C_m = \frac{C}{n}$ razão da capacidade térmica pela quantidade de matéria	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}N^{-1}$
capacidade térmica, a pressão constante(1)	C_p	$C_p = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_{p\,=\,\text{constante}^{(2)}}$ [v. nota (3) da pág. 109]	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$
capacidade térmica, a volume constante(1)	C_V	$C_V = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_{V\,=\,\text{constante}^{(2)}}$ [v. nota (2) da pág. 108]	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$
capacidade térmica mássica, a pressão constante(1)	c_p	$c_p = \frac{C_p}{m}$	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$
capacidade térmica mássica, a volume constante(1)	c_V	$c_V = \frac{C_V}{m}$	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$
relação $\frac{c_p}{c_v}$ (*) (anteriormente chamada índice adiabático)	γ, (κ)	$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$; $\frac{c_p}{c_v} = \frac{C_p}{C_v}$	1
coeficiente de dilatação linear	α_l	$\alpha_l = \frac{1}{l}\frac{dl}{dT}$; ** $\alpha_l = \frac{1}{l}\frac{\Delta l}{\Delta T}$ (2) aumento de comprimento por unidade de comprimento e por unidade de temperatura	Θ^{-1}
coeficiente de dilatação volúmica	α_V, γ	$\alpha_V = \frac{1}{V}\frac{dV}{dT}$; ** $\alpha_V = \frac{1}{V}\frac{\Delta V}{\Delta T}$ (2) aumento de volume por unidade de volume e por unidade de temperatura	Θ^{-1}

(1) Quando a temperatura de um sistema sofre um acréscimo dT em consequência da adição de uma pequena quantidade de calor (dQ), dQ/dT é a capacidade térmica desse sistema. V. pág. 103, nota (5).

(*) Também chamada «razão dos calores mássicos».

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
joule por kelvin mole (2)(3)	$J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$	capacidade térmica molar de uma substância homogénea, tal que uma mole dessa substância eleva a sua temperatura de um kelvin ao receber, sob a forma de calor, 1 joule
joule por kelvin (2)	$J \cdot K^{-1}$	
joule por kelvin (2)	$J \cdot K^{-1}$	
joule por quilograma kelvin (2)	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	
joule por quilograma kelvin (2)	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	
1 por-kelvin (2)	K^{-1}	
1 por kelvin (2)	K^{-1}	

(2) Nestes casos, atendendo a que se trata de *variações* de temperatura, é admissível substituir «kelvin» por «grau Celsius» nos nomes destas unidades e «ΔT» por «Δt» ou «$\Delta \theta$» nas correspondentes equações (cf. 13.ª CGPM). Ver também as notas anexas ao quadro 1.5.

(3) Utiliza-se por vezes, *fora do* SI, a *caloria por mole grau Celsius*, $cal \cdot mol^{-1} \cdot {}^{\circ}C^{-1}$, unidade de uso *desaconselhado* (cf. BIPM e ISO); $1\ cal \cdot mol^{-1} \cdot {}^{\circ}C^{-1} = 4,1855\ J \cdot mol^{-1} \cdot {}^{\circ}C^{-1} = 4,1855\ J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$.

Grandezas e unidades de calor (continuação)

GRANDEZA			
nome	*símbolo*	*definição sumária*	*dimensão*
coeficiente de dilatação (isobárico)	α	$\alpha = \left(\frac{1}{V}\frac{\partial V}{\partial T}\right)_{p=\text{constante}}$ (1)	Θ^{-1}
coeficiente relativo de pressão	α_p	$\alpha_p = \left(\frac{1}{p}\frac{\partial p}{\partial T}\right)_{V=\text{constante}}$ (1)	Θ^{-1}
coeficiente de pressão (isocórico)	β	$\beta = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_{V=\text{constante}}$ (1)	$L^{-1}MT^{-2}\Theta^{-1}$
coeficiente de compressibilidade	k	$k = \frac{1}{V}\frac{dV}{dp}$	$LM^{-1}T^{2}$
compressibilidade isotérmica	k, k_T	$k = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_{T=\text{constante}}$	$LM^{-}T^{-2}$
compressibilidade isentrópica	k_S	$k_S = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_{S=\text{constante}}$ (3)	$LM^{-1}T^{-2}$
coeficiente de Joule-Thomson	μ, μ_{JT}	$\mu = \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_{H=\text{constante}}$ (3)	$LM^{-1}T^{-2}\Theta$
coeficiente de temperatura	α	o coeficiente de temperatura não pode definir-se a menos que a grandeza a que se refere seja especificada (resistividade, comprimento, etc.) (2)	Θ^{-1}
constante (molar) dos gases ideais	R	$R = \frac{pV}{nT}$	$L^2MT^{-2}N^{-1}\Theta^{-1}$
constante de Boltzmann	k	$k = \frac{R}{N_A}$ razão da constante molar dos gases ideais pela constante de Avogadro	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$

(1) Nestes casos, atendendo a que se trata de *variações* de temperatura, é admissível substituir «kelvin» por «grau Celsius» nos nomes destas unidades e «ΔT» por «Δt» ou «$\Delta\theta$» nas correspondentes equações (cf. 13.ª CGPM). Ver também as notas anexas ao quadro 1.5.

(2) O coeficiente de temperatura, α, indica, de uma forma geral, a variação da grandeza em causa (previamente definida) por unidade dessa grandeza, quando ocorre uma *variação* unitária de temperatura, i.e., 1 grau Celsius *ou* 1 kelvin.

(3) Os símbolos S e H designam, respectivamente, a entropia e a entalpia. Cf. pág. 108.

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
1 por kelvin (1)	K^{-1}	
1 por kelvin (1)	K^{-1}	
pascal por kelvin(1)	$Pa \cdot K^{-1}$	
1 por pascal	Pa^{-1}	
1 por pascal	Pa^{-1}	
1 por pascal	Pa^{-1}	
kelvin por pascal	$K \cdot Pa^{-1}$	
1 por kelvin (1)	K^{-1}	
joule por kelvin mole	$J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$	
joule por kelvin	$J \cdot K^{-1}$	

Grandezas e unidades de calor (continuação)

GRANDEZA			
nome	*símbolo*	*definição sumária*	*dimensão*
energia interna(*)(1)	U, (E)	$dU = \mathrm{d}Q - \mathrm{d}W$ (2)	L^2MT^{-2}
energia interna molar	U_m	$U_m = \frac{U}{n}$ razão da energia interna pela quantidade de matéria	$L^2MT^{-2}N^{-1}$
entalpia (*)(1)	H	$H = U + pV$ (3)	L^2MT^{-2}
entalpia molar	H_m	$H_m = \frac{H}{n}$ razão da entalpia pela quantidade de matéria	$L^2MT^{-2}N^{-1}$
entropia (*)(1)	S	$\mathrm{d}S = \frac{\mathrm{d}Q}{T}$ (4)	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$
entropia molar	S_m	$S_m = \frac{S}{n}$	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}N^{-1}$
função de Gibbs (*)(1), energia de Gibbs ou entalpia livre (potencial de Gibbs)	G	$G = H - TS$	L^2MT^{-2}
energia de Gibbs molar	G_m	$G_m = \frac{G}{n}$	$L^2MT^{-2}N^{-1}$
função de Helmholtz (*)(1) energia de Helmholtz ou energia livre (potencial de Helmholtz)	A, F (5)	$A = U - TS$	L^2MT^{-2}
energia de Helmholtz molar	A_m	$A_m = \frac{A}{n}$	$L^2MT^{-2}N^{-1}$

(*) Função de estado.

(1) Define-se a correspondente grandeza mássica (também chamada específica) mediante o quociente desta grandeza pela massa. O símbolo a utilizar é a letra minúscula correspondente ao símbolo da grandeza [v. 2.1.7. e pág. 43, nota (2)].

(2) A variação da energia interna de um sistema, a volume constante, iguala a quantidade de calor que o sistema troca com o exterior. Consequentemente, na definição da capacidade térmica a volume constante, pág. 104, pode escrever-se $C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_{V=\text{constante}}$.

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
joule	J	
joule por mole	$J \cdot mol^{-1}$	
joule	J	
joule por mole	$J \cdot mol^{-1}$	
joule por kelvin	$J \cdot K^{-1}$	aumento da entropia de um sistema que recebe a quantidade de calor de 1 joule à temperatura termodinâmica constante de 1 kelvin, não havendo transformações irreversíveis nesse sistema
joule por kelvin mole	$J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$	
joule	J	
joule por mole	$J \cdot mol^{-1}$	
joule	J	
joule por mole	$J \cdot mol^{-1}$	

➧ ➧

(3) A variação da entalpia de um sistema, a pressão constante, iguala a quantidade de calor que o sistema troca com o exterior. Consequentemente, na definição da capacidade térmica a pressão constante, pág. 104, pode escrever-se $C_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_{p=\text{constante}}$.

(4) A entropia é uma função de estado cuja diferencial total (exacta), dS, é a razão que existe entre o calor dQ que o sistema troca com o exterior, numa transformacão reversível elementar, e a temperatura T a que o referido sistema se encontra.

(5) O símbolo F é recomendado pela IUPAP.

Grandezas e unidades de calor (continuação)

GRANDEZA			
nome	*símbolo*	*definição sumária*	*dimensão*
fluxo térmico	Φ, (q)	$\Phi = \frac{Q}{t}$ razão da quantidade de calor, que atravessa uma superfície, pelo tempo	L^2MT^{-3}
densidade de fluxo térmico	φ, (q)	$\varphi = \frac{\Phi}{S}$ razão do fluxo térmico pela área da superfície que este atravessa	MT^{-3}
resistência térmica(1)	R_T, R	$R_T = \frac{\Delta T}{Q/t} = \frac{\Delta T}{\Phi}$ (2)	$L^{-2}M^{-1}T^3\Theta$
condutância térmica(1)	C_T	$C_T = \frac{1}{R_T}$	$L^2MT^{-3}\Theta^{-1}$
condutividade térmica(1)	λ, (k)	$\lambda = \frac{\delta}{R_T S} = \frac{\delta Q}{\Delta T t S}$ (2) (δ = espessura)	$LMT^{-3}\Theta^{-1}$
difusividade térmica	a, (α, k)	$a = \frac{\lambda}{\varrho c_p}$ λ = condutividade térmica; ϱ = massa volúmica; c_p = capacidade térmica mássica, a pressão constante	L^2T^{-1}
resistividade térmica(1)	ϱ_T	$\varrho_T = \frac{1}{\lambda}$ inverso da condutividade térmica	$L^{-1}M^{-1}T^3\Theta$

(1) Estas grandezas apresentam, na sua definição, grande semelhança formal com as grandezas eléctricas correspondentes. A expressão que define a resistência térmica é até conhecida como *lei de Ohm do calor,* onde a resistência térmica é análoga da resistência eléctrica, a diferença de temperatura é análoga da diferença de potencial e o fluxo térmico é análogo da corrente eléctrica. Note-se que a chamada lei de Ohm do calor não é devida a Ohm, mas, pelo contrário, é consequência da lei de Fourier relativa à propagação do calor.

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
watt	W	fluxo térmico originado pela passagem de uma quantidade de calor igual a 1 joule, através de uma superfície, em 1 segundo
watt por metro quadrado	$W \cdot m^{-2}$	densidade de fluxo térmico originada pelo fluxo térmico de 1 watt que atravessa uma superfície de área igual a 1 metro quadrado
kelvin por watt(2)	$K \cdot W^{-1}$	resistência térmica de uma placa (constituída por uma determinada substância) tal que uma diferença de temperatura de 1 kelvin entre faces opostas determina (entre estas faces) o fluxo térmico de 1 watt
watt por kelvin(2)	$W \cdot K^{-1}$	condutância térmica de uma placa (constituída por uma determinada substância) que apresenta a resistência térmica de 1 kelvin por watt
watt por metro kelvin(2)	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	condutividade térmica de um corpo homogéneo no qual uma diferença de temperatura de 1 kelvin entre duas superfícies paralelas, de área igual a 1 metro quadrado, distanciadas de 1 metro entre si, origina entre essas superfícies um fluxo térmico de 1 watt
metro quadrado por segundo	$m^2 \cdot s^{-1}$	
metro kelvin por watt (2)	$m \cdot K \cdot W^{-1}$	resistividade térmica de um material cuja condutividade térmica é de 1 watt por metro kelvin.

(2) Nestes casos, por se tratar de *diferenças* de temperatura, é admissivel substituir «kelvin» por «grau Celsius» nos nomes destas unidades e «ΔT» por «$\Delta \theta$» ou «Δt» nas correspondentes expressões (cf. 13.ª CGPM). Ver também as notas anexas ao quadro 1.5. Assim, por exemplo, a resistência térmica pode ser, no SI, expressa na unidade «grau Celsius por watt» ($°C \cdot W^{-1}$) ou em «kelvin por watt» ($K \cdot W^{-1}$).

5.3. Grandezas e unidades de electricidade e magnetismo. Definições

GRANDEZA			
nome	*símbolo*(1)	*definição sumária*	*dimensão*(2)
corrente eléctrica(3) (intensidade de corrente eléctrica)	I	grandeza de base	I
carga eléctrica ou quantidade de electricidade(4)	Q , q	$Q = \int I(t)\mathrm{d}t$; ** $Q = It$	TI
carga elementar	e	carga do protão(5)	
carga mássica(6)	q	$q = \frac{Q}{m}$	$\mathrm{M^{-1}TI}$
carga linear	λ	$\lambda = \frac{Q}{S}$ razão da carga eléctrica pelo comprimento onde esta se encontra distribuída	$\mathrm{L^{-1}TI}$
carga superficial	σ	$\sigma = \frac{Q}{V}$ razão da carga eléctrica pela área da superfície onde esta carga se encontra distribuída	$\mathrm{L^{-2}TI}$
carga volúmica	ϱ	$\varrho = \frac{Q}{V}$ razão da carga eléctrica pelo volume onde esta se encontra distribuída	$\mathrm{L^{-3}TI}$
campo eléctrico (7)	$\vec{E}$	$E = \frac{F}{Q}$ razão da força, exercida pelo campo eléctrico sobre uma carga, por essa carga	$\mathrm{LMT^{-3}I^{-1}}$

(1) Os símbolos para valores especiais de grandezas periódicas encontram-se no parágrafo 2.1.2.

(2) Anteriormente chamada equação de dimensões ou equação dimensional (cf. 3.1). O número 1, nesta coluna, indica que a grandeza em causa é adimensional (cf. 3.1.).

(3) Em vez do nome «intensidade de corrente eléctrica», anteriormente utilizado, emprega-se actualmente o nome «corrente eléctrica» (cf. CGPM, ISO 31/5, IUPAP e CEI). A norma portuguesa NP-172 (1986) *ainda* continua, no entanto, a empregar o nome «intensidade de corrente eléctrica».

(4) Designação ainda empregue; cf. norma internacional ISO 31/5.

(5) O símbolo e, quando se pretende representar a *carga* elementar, indica sempre a carga do protão. A *carga* do electrão *deve representar-se* simbolicamente por $-e$, cf. ISO. Os símbolos referentes *às partículas* encontram-se no parágrafo 2.6.

(6) Também chamada, impropriamente, carga específica, conforme 2.1.7. V. pág. 43, nota (2).

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
ampere	A	a definição do ampere, de acordo com a CGPM, encontra-se na secção 1.5
coulomb(8)	C i.e., $A \cdot s$	carga eléctrica transportada, durante 1 segundo, por uma corrente eléctrica constante de 1 ampere, através da secção transversal de um condutor
coulomb por quilograma	$C \cdot kg^{-1}$	
coulomb por metro	$C \cdot m^{-1}$	carga linear de uma distribuição uniforme (em comprimento) tal que, em cada metro de comprimento se encontra distribuída a carga de 1 coulomb
coulomb por metro quadrado	$C \cdot m^{-2}$	carga superficial de uma distribuição uniforme (em superfície) tal que, em cada metro quadrado se encontra distribuída a carga de 1 coulomb
coulomb por metro cúbico	$C \cdot m^{-3}$	carga volúmica de uma distribuição uniforme (em volume) tal que, em cada metro cúbico se encontra distribuída a carga de 1 coulomb
volt por metro	$V \cdot m^{-1}$ i.e., $N \cdot C^{-1}$	intensidade de um campo eléctrico num ponto tal que, colocando nesse ponto a carga de 1 coulomb, esta fica submetida a uma força de 1 newton(9)

➔➔

(7) Está definido internacionalmente um *símbolo* para o fluxo da indução eléctrica $\vec{D}$ (ou deslocamento eléctrico), $\Psi = \int_S \vec{D} \cdot \vec{n}\, ds$, e um *símbolo para o fluxo da indução magnética* $\vec{B}$ (ou densidade de fluxo magnético), $\Phi = \int_S \vec{B} \cdot \vec{n}\, ds$; *não existe,* contudo, *qualquer símbolo* para o fluxo do campo eléctrico, $\int_S \vec{E} \cdot \vec{n}\, ds$, nem para o fluxo do campo magnético, $\int_S \vec{H} \cdot \vec{n}\, ds$ (como tivemos oportunidade de comprovar, mediante correspondência trocada com a CEI, bem como pelas recomendações da IUPAP, e da *Royal Society*; as normas internacionais ISO e as normas portuguesas também não incluem referências neste sentido).

(8) Emprega-se também, *fora do SI,* o ampere-hora, Ah, sendo 1 Ah = 3,6 kC.

(9) Definição equivalente: o volt por metro é a intensidade de um campo eléctrico uniforme tal que existe uma diferença de potencial de 1 volt entre dois pontos desse campo, situados à distância de 1 metro um do outro e na direcção desse campo.

Grandezas e unidades de electricidade e magnetismo (continuação)

GRANDEZA				
nome	*símbolo*	*definição sumária*		*dimensão*
potencial eléctrico	V, φ	$V = \frac{W}{Q}$	o potencial eléctrico define-se, mais rigorosamente, à custa do campo eléctrico, como sendo a grandeza escalar cujo gradiente, com o sinal trocado, é igual ao campo eléctrico	$L^2MT^{-3}I^{-1}$
diferença de potencial, ou tensão	U, V(1)	(2)		
força electromotriz	E	(3)		
força contraelectromotriz	E'		$(\vec{E} = -\vec{\text{grad}}\ V)$	
deslocamento eléctrico ou indução eléctrica	$\vec{D}$	div $\vec{D} = \varrho = \frac{Q}{V}$		$L^{-2}TI$
fluxo eléctrico ou fluxo de deslocamento	Ψ	$\Psi = \vec{D} \cdot \vec{S}$		TI
capacidade eléctrica	C	$C = \frac{Q}{U}$		$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$
permitividade	ϵ	$\epsilon = \frac{D}{E}$	razão do deslocamento eléctrico pelo campo eléctrico	$L^{-3}M^{-1}T^4I^2$
permitividade do vazio(4)	ϵ_0			
permitividade relativa	ϵ_r	$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$	razão da permitividade do meio pela do vazio	1
constante de coulomb	k	$k = \frac{1}{4\pi\epsilon} = \frac{F \cdot r^2}{\lvert Q_1 \cdot Q_2 \rvert}$		$L^3MT^{-4}I^{-2}$

(1) A CEI recomenda o símbolo U. O símbolo V, para a CEI, deve ser encarado como um *símbolo de reserva*.

(2) $V_A - V_B = \int_A^B E_s ds$.

(3) A força electromotriz *instantânea* representa-se pelo símbolo e, cf. 2.1.2. A abreviatura f.e.m. *não deve* ser utilizada em equações. A f.e.m. de uma fonte é o quociente da energia (fornecida pela fonte) pela carga eléctrica transportada através dessa fonte.

(4) A permitividade do vazio, ϵ_0, no caso limite de campos suficientemente fracos, identifica-se com a constante eléctrica $\epsilon_0 = 1/\mu_0 c^2$, cf. CEI, [9].

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
volt	V i.e., $J \cdot C^{-1}$	diferença de potencial entre dois pontos de um fio condutor percorrido por uma corrente eléctrica de 1 ampere, quando a potência dissipada (entre esses dois pontos do condutor) é de 1 watt.[5]
coulomb por metro quadrado	$C \cdot m^{-2}$	
coulomb	C	
farad	F i.e., $C \cdot V^{-1}$	capacidade de um condensador eléctrico entre as armaduras do qual aparece uma diferença de potencial de 1 volt, quando é carregado com a carga de 1 coulomb
farad por metro	$F \cdot m^{-1}$ i.e., $C^2 \cdot N^{-1} \cdot m^{-2}$	
newton metro quadrado por coulomb quadrado	$N \cdot m^2 \cdot C^{-2}$	

➧➧

(5) Pode estabelecer-se a seguinte definição equivalente: o volt é a diferença de potencial entre dois pontos de um campo eléctrico, tal que o trabalho realizado pelas forças do campo no transporte de uma carga unitária e positiva, entre esses dois pontos, é de 1 joule (o 2.º ponto está a um potencial mais baixo que o 1.º ponto). O volt pode também ser definido como a diferença de potencial entre dois pontos de um campo eléctrico tal que, para transportar de um ponto para outro (onde o potencial é *maior*) a carga (positiva) de um coulomb, é necessário realizar o trabalho de 1 joule.
O potencial eléctrico num ponto define-se como a *diferença* de potencial entre esse ponto e o infinito ($V_\infty = 0$).

Grandezas e unidades de electricidade e magnetismo (continuação)

GRANDEZA				
nome	*símbolo*	*definição sumária*		*dimensão*
susceptibilidade eléctrica	χ , χ_e	$\chi_e = \epsilon_r - 1$		1
polarização eléctrica	$\vec{P}$	$P = D - \epsilon_0 E$		$L^{-2}TI$
momento de dipolo eléctrico	$\vec{p}$, $\vec{p}_e$	$\vec{T} = \vec{p} \times \vec{E}$ $T = pE$ **	grandeza vectorial cujo produto vectorial pelo campo eléctrico é igual ao momento $\vec{T}$ do binário de forças que actua sobre o dipolo	LTI
densidade de corrente eléctrica	$\vec{J}$, $\vec{J}$ (1)	$J = \dfrac{I}{S}$	grandeza vectorial com a direcção e sentido do campo eléctrico $\vec{E}$. O módulo da densidade de corrente é dado pela razão da corrente eléctrica pela área da secção recta do condutor (*)	$L^{-2}I$
resistência (eléctrica)	R	$R = \dfrac{U}{I}$	razão da diferença de potencial pela corrente eléctrica, não havendo forças electromotrizes no condutor	$L^2MT^{-3}I^{-2}$
condutância	G	$G = \dfrac{1}{R}$	inverso da resistência	$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$
resistividade	ϱ	$\varrho = \dfrac{E}{J}$; $\varrho = \dfrac{RS}{l}$		$L^3MT^{-3}I^{-2}$

(1) A ISO propõe, além do símbolo $\vec{J}$, o símbolo de reserva $\vec{S}$.

(2) No âmbito da física molecular emprega-se correntemente o debye (símbolo D), unidade fora do SI, para expressar os momentos dipolares. 1D = 3,335 64 × 10^{-30} C·m..

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
coulomb por metro quadrado	$C \cdot m^{-2}$	
coulomb metro (2)	$C \cdot m$	momento de um dipolo eléctrico que, submetido a um campo eléctrico uniforme, de 1 volt por metro, normal ao comprimento do dipolo, é actuado por um binário cujo momento é de 1 metro newton
ampere por metro quadrado	$A \cdot m^{-2}$	densidade de corrente originada por uma corrente eléctrica de 1 ampere, percorrendo um condutor com 1 metro quadrado de secção recta
ohm	Ω i.e., $V \cdot A^{-1}$	resistência eléctrica que existe entre dois pontos de um condutor quando uma diferença de potencial de 1 volt, aplicada entre estes dois pontos, produz no condutor uma corrente de 1 ampere, não sendo o condutor sede de alguma força electromotriz
siemens (3)	S i.e., Ω^{-1}	condutância de um condutor cuja resistência é igual a 1 ohm
ohm metro	$\Omega \cdot m$	resistividade de uma substância electricamente isótropa tal que um condutor, constituído por essa substância, com 1 metro de comprimento e 1 metro quadrado de secção recta, apresenta a resistência de 1 ohm

(3) A unidade SI de condutância era, anteriormente, denominada mho.

(*) A densidade de corrente eléctrica é a grandeza vectorial cujo fluxo através de uma superfície é igual à corrente eléctrica que atravessa essa superfície.

Grandezas e unidades de electricidade e magnetismo (continuação)

GRANDEZA			
nome	*símbolo* (1)	*definição sumária*	*dimensão*
condutividade (2)	γ, σ	$\gamma = \frac{1}{\varrho}$ inverso da resistividade	$L^{-3}M^{-1}T^{3}I^{2}$
reactância	X	parte imaginária da impedância $X = L\omega - \frac{1}{C\omega}$ (*)	$L^{2}MT^{-3}I^{-2}$
reactância capacitiva	X_C	$X_C = \frac{1}{C\omega}$	
reactância indutiva	X_L	$X_L = L\omega$	
factor de qualidade	Q	$Q = \frac{\lvert X\rvert}{R}$	1
impedância	Z	quociente da representação complexa da tensão pela representação complexa da corrente $Z = R + jX$; o módulo da impedância, $\lvert Z\rvert$, é dado por $\lvert Z\rvert = \sqrt{R^2 + X^2} = \frac{U}{I}$;	$L^{2}MT^{-3}I^{-2}$
resistência	R	parte real da impedância	$L^{2}MT^{-3}I^{-2}$
admitância	Y	$Y = \frac{1}{Z}$; $Y = G + jB$	$L^{-2}M^{-1}T^{3}I^{2}$
condutância	G	parte real da admitância	$L^{-2}M^{-1}T^{3}I^{2}$
susceptância	B	parte imaginária da admitância	$L^{-3}M^{-1}T^{3}I^{2}$
potência	P	$P = UI$ produto da tensão U pela corrente I. (em corrente contínua)	$L^{2}MT^{-3}$
potência activa ou eficaz	P	$P = UI \cos\varphi$ (3)	$L^{2}MT^{-3}$
potência aparente	S, (P_s)	$S = UI$ (3)	$L^{2}MT^{-3}$
potência reactiva	Q, (P_q)	$Q = UI \sin\varphi$ (3)	$L^{2}MT^{-3}$

(1) Os símbolos para valores especiais de grandezas periódicas encontram-se no parágrafo 2.1.2.

(2) Em electroquímica utiliza-se o símbolo κ.

(3) Em corrente alternada. U e I são valores eficazes, cf. 2.1.2.; φ é o ângulo de fase entre a tensão e a corrente instantâneas.

(4) A unidade SI (em sentido estrito) é o watt, cf. ISO. Utiliza-se contudo, no âmbito da electrotecnia, o voltampere (símbolo VA), cf. ISO e CEI.

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
siemens por metro	$S \cdot m^{-1}$ i.e., $\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$	condutividade de uma substância cuja resistividade é de 1 ohm metro
ohm	Ω i.e., $V \cdot A^{-1}$	
ohm	Ω i.e., $V \cdot A^{-1}$	
siemens	S i.e., Ω^{-1}	
watt	W i.e., $J \cdot s^{-1}$	potência eléctrica desenvolvida sobre um condutor que, submetido a uma diferença de potencial constante de 1 volt, é percorrido por uma corrente de 1 ampere
watt		
watt(4)		
watt(5)		

(5) A unidade SI (no sentido estrito) é o watt, cf. ISO. Utiliza-se contudo, no âmbito da electrotecnia, o voltampere reactivo (símbolo var), cf. ISO e CEI.

(*) Para uma reactância indutiva e uma reactância capacitiva, associadas em série.

Grandezas e unidades de electricidade e magnetismo (continuação)

GRANDEZA			
nome	*símbolo*	*definição sumária*	*dimensão*
factor de potência	λ	$\lambda = \cos\varphi = \dfrac{P}{S}$	1
indução magnética (1) ou densidade de fluxo magnético	$\vec{B}$	$\vec{F} = I\Delta\vec{l} \times \vec{B}$; $\underset{**}{B} = \dfrac{F}{I\Delta l \sin\alpha}$	$MT^{-2}I^{-1}$
fluxo magnético ou fluxo de indução magnética	Φ	$\underset{**}{\Phi} = \vec{B}\cdot\vec{S}$; $\underset{**}{\Phi} = BS$	$L^2MT^{-2}I^{-1}$
campo magnético (4)	$\vec{H}$	(5)	$L^{-1}I$
número de espiras	N		1

(1) As designações acima indicadas, para esta grandeza, são as referidas pela ISO (norma internacional ISO 31/5), pela IUPAP, pela CEI, pela *Royal Society* e pela norma portuguesa NP-172, no âmbito do Sistema Internacional de Unidades a que Portugal aderiu (cf. 1.1).
No entanto, e dado que os *efeitos* do campo magnético são caracterizados pela indução magnética, vários autores denominam o *campo do vector indução magnética*, abreviadamente, como campo magnético.
Assim, quando se refere que um campo magnético é, por exemplo, de 0,05 tesla, pretende-se afirmar que se trata de um campo (magnético) cuja indução é de 0,05 tesla.

(2) O tesla pode também ser definido como a indução magnética, num campo magnético uniforme, tal que cada metro de um condutor rectilíneo, colocado perpendicularmente a essa indução, percorrido pela corrente eléctrica de 1 ampere, é actuado por uma força de 1 newton.

(3) A definição acima apresentada (CIPM, 1946, Resolução 2) baseia-se na equação de Neumann $e = -\mathrm{d}\Phi/\mathrm{d}t$, onde e é a força electromotriz induzida (valor instantâneo). Pode também definir-se o weber como o fluxo magnético que atraves-

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
tesla	T i.e., $Wb \cdot m^{-2}$	indução magnética uniforme que, distribuída normalmente por uma superfície de 1 metro quadrado, produz através dessa superfície um fluxo magnético total de 1 weber (2)
weber	Wb i.e., $V \cdot s$	fluxo magnético que, atravessando um circuito de uma só espira, produz nesse circuito uma força electromotriz de 1 volt quando, decrescendo uniformemente, se leva a zero em 1 segundo (3)
ampere por metro (6)	$A \cdot m^{-1}$	intensidade do campo magnético produzido no vazio ao longo de uma circunferência de perímetro igual a 1 metro, por uma corrente eléctrica com a intensidade de 1 ampere, mantida num condutor rectilíneo de comprimento infinito, de secção circular desprezável, passando pelo centro da circunferência referida, normalmente ao plano desta

➧➧

sa uma superfície plana com 1 metro quadrado de área, normal à direcção de um campo magnético uniforme e estacionário cuja indução é de 1 tesla.

(4) A designação aqui atribuída a esta grandeza é a indicada pelas organizações já referidas em (1). No entanto é, por vezes, denominada «excitação magnética». V. pág. 170, nota (1).

(5) O campo magnético $\vec{H}$ define-se, rigorosamente, pela equação rot $\vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$. Para uma só espira circular, de raio r, percorrida pela corrente I, será $H = I/2r$, no centro da espira.
Para um solenóide de N espiras, de comprimento l, percorrido pela corrente I, será $H = NI/l$ num ponto interior ao solenóide.

(6) Alguns autores atribuem a esta unidade o nome «lenz». Note-se, contudo, que tal denominação *não constitui* um nome especial aprovado pela CGPM (cf. pág. 83, alínea b) e parágrafo 6.1.1.).

Grandezas e unidades de electricidade e magnetismo (continuação)

GRANDEZA			
nome	*símbolo*	*definição sumária*	*dimensão*
indutância (própria) **(auto-indutância)**	L	$L = -\dfrac{e}{\mathrm{d}I/\mathrm{d}t}$; $L = \dfrac{\Phi}{I}$ **	$L^2MT^{-2}I^{-2}$
indutância mútua	M, L_{12}	$L_{12} = -\dfrac{e_1}{\mathrm{d}I_2/\mathrm{d}t}$; $L_{12} = \dfrac{\Phi_1}{I_2}$ **	
coeficiente de acoplamento	k	$k = \dfrac{L_{12}}{\sqrt{L_1 L_2}}$	1
permeabilidade **permeabilidade do vazio**(1)	μ μ_0	$\mu = \dfrac{B}{H}$	$LMT^{-2}I^{-2}$
permeabilidade relativa	μ_r	$\mu_r = \dfrac{\mu}{\mu_0}$	1
susceptibilidade magnética	K , χ_m	$\chi_m = \mu_r - 1$	1
força magnetomotriz	F , F_m (2)	$F_m = \oint H_s \mathrm{d}_s$ (3)	I
magnetização	$\vec{H}_i$, $\vec{M}$	$M = \dfrac{B}{\mu_0} - H$	$L^{-1}I$
polarização magnética(4)	$\vec{B}_i$, $\vec{J}$	$J = B - \mu_0 H$	$MT^{-2}I^{-1}$
momento magnético	$\vec{m}$	$\vec{T} = \vec{m} \times \vec{B}$ $T = mB$ ** — grandeza vectorial cujo produto vectorial pela indução magnética é igual ao momento $\vec{T}$ do binário de forças que actua sobre o íman (dipolo magnético)	L^2I

(1) A permeabilidade do vazio, μ_0, no caso limite de campos suficientemente fracos, identifica-se com a constante magnética $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H·m^{-1}, cf. CEI, [9].

(2) A CEI recomenda, como símbolo de reserva, o símbolo $\mathcal{F}$

(3) Para um solenóide de N espiras, percorrido pela corrente I, será $F_m = NI$.

(4) A CEI designa esta grandeza como «indução intrínseca».

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
henry	H i.e., $Wb \cdot A^{-1}$	indutância de um circuito fechado no qual se produz uma força electromotriz de 1 volt quando a corrente que o percorre varia uniformemente à taxa de 1 ampere por segundo
henry por metro	$H \cdot m^{-1}$ i.e., $Wb \cdot A^{-1} \cdot m^{-1}$	
ampere	A	
ampere por metro	$A \cdot m^{-1}$	
tesla	T i.e., $Wb \cdot m^{-2}$	
ampere metro quadrado	$A \cdot m^2$	momento magnético de um íman (dipolo magnético) que, submetido a um campo magnético uniforme de 1 volt por metro, normal ao comprimento do dipolo, é actuado por um binário cujo momento é de 1 metro newton

Grandezas e unidades de electricidade e magnetismo (conclusão)

GRANDEZA				
nome	*símbolo*	*definição sumária*		*dimensão*
relutância (relutância magnética)	R , R_m (1)	$R_m = \frac{F_m}{\Phi}$	quociente da força magnetomotriz pelo fluxo magnético	$L^{-2}M^{-1}T^{2}T^{2}$
permeância	Λ , (P)	$\Lambda = \frac{1}{R_m}$	inverso da relutância	$L^{2}MT^{-2}I^{-2}$
relutividade (resistividade magnética)	λ	$\lambda = \frac{1}{\mu}$	inverso da permeabilidade	$L^{-1}M^{-1}T^{2}I^{2}$
vector de Poynting	$\vec{S}$	$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$		MT^{-3}

(1) A CEI recomenda, como símbolo de reserva, o símbolo $\mathcal{R}$

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
1 por henry	H^{-1} i.e., $A \cdot Wb^{-1}$	relutância de um circuito magnético que, submetido a uma força magnetomotriz de 1 ampere, é atravessado por um fluxo magnético de 1 weber.
henry	H i.e., $Wb \cdot A^{-1}$	permeância de um circuito magnético cuja relutância é de 1 H^{-1}.
metro por henry	$m \cdot H^{-1}$	
watt por metro quadrado	$W \cdot m^{-2}$	

5.4. Grandezas e unidades relativas à luz e radiações electromagnéticas afins. Definições

Introdução

A fotometria tem por finalidade «medir a luz», i.e., medir o atributo indispensável às percepções e sensações que são próprias do sistema visual humano. Nestas condições é necessário que sejam consideradas, no estudo das grandezas fotométricas, as características puramente físicas do fenómeno energético que estimula o sistema visual, por um lado, e a sensibilidade espectral desse sistema, por outro. O sistema visual humano é, consequentemente, o principal instrumento de medida, em fotometria.

Se a radiação por suficientemente intensa e se o seu comprimento de onda, λ, estiver compreendido entre $\lambda_1 = 360$ nm e $\lambda_2 = 830$ nm[(1)] estimulará o órgão visual originando a sensação de «luz». Estes valores-limite do comprimento de onda, inferior (λ_1) e superior (λ_2), entre os quais a radiação electromagnética é *visível* (isto é, detectável pelo sistema visual humano), limitam uma parte do espectro electromagnético (v. apêndice I) denominado espectro visível; variam de observador para observador e, para o mesmo observador, variam com a intensidade do estímulo. Por esta razão outros autores apresentam diferentes valores para λ_1 e λ_2. Na maioria dos casos o valor apontado para λ_1 situa-se entre 360 e 400 nm, indicando-se para λ_2 um valor compreendido entre 740 e 800 nm.

Estes factos mostram a necessidade de se estabelecer, internacionalmente, um observador-padrão (observador de referência fotométrica CIE[(2)]), e condições-padrão para a intensidade do estímulo (luminância).

A sensibilidade visual *não é* constante em todo o espectro visível(*). Para condições de forte iluminação (visão fotópica[(3)]) a sensibilidade espectral é máxima para $\lambda_m = 555$ nm; em condições de fraca iluminação (visão escotópica[(3)]) esse máximo passa a verificar-se para $\lambda'_m = 507$ nm (CIE). Esta variação do valor do comprimento de onda, correspondente ao máximo de sensibilidade visual, com a intensidade do estímulo, constitui o *efeito Purkinje*. V. apêndice I.

---

(1) Valores apresentados pelo BIPM; cf. referência bibliográfica [3].

(2) *Commission Internationale de l'Éclairage.*

(3) A visão *fotópica* é a visão do observador sob condições de forte estímulo (luminância visual $L_V \geq 10$ cd.m^{-2}). Neste tipo de visão intervêm as células cónicas da retina, capazes de proporcionar a sensação de cor.
A visão *escotópica* é a visão do observador em condições de fraco estímulo ($L_V < 0,1$ cd.m^{-2}). Na visão *escotópica* intervêm as células cilíndricas da retina (bastonetes), que não permitem a sensação de cor. Entre estes dois limites de luminância a visão é denominada *mesópica*.

De acordo com o que acabámos de referir, a utilização da palavra *luminoso(a)* a seguir ao nome de uma grandeza indica que se está a considerar apenas a parte da radiação energética (correspondente) que é capaz de desencadear sensação visual.

A utilização da palavra *energético(a)*[4] a seguir ao nome de uma grandeza indica que estamos a considerar a *totalidade* da energia radiante (recebida ou emitida) *e não apenas as suas componentes visíveis.* Assim, o fluxo luminoso Φ_v (por exemplo), que será referido no quadro da página seguinte, difere do fluxo energético Φ_e por se considerarem *apenas* as componentes da radiação que são visíveis[5]. Os símbolos das grandezas *energéticas*, para evitar ambiguidade terão o índice inferior $_e$ e os das grandezas luminosas (i.e., *visíveis*) terão o índice inferior $_v$, sempre que usados no mesmo contexto.

Considerando a definição da candela (v. 1.5) deve notar-se que uma radiação monocromática de frequência $\nu = 540 \times 10^{12}$ Hz possui, no vazio (e, aproximadamente, no ar) o comprimento de onda $\lambda_0 \approx 555$ nm, isto é, o comprimento de onda correspondente à máxima sensibilidade do sistema visual humano, na visão fotópica.[*]

Dado que as grandezas energéticas abrangem a *totalidade* da energia radiante, e tendo em conta a definição das grandezas luminosas, não aparecerão referências à candela, ao lúmen ou ao lux nos nomes das correspondentes unidades[6].

(4) Em vez da palavra «energético(a)» utiliza-se, por vezes, a palavra *radiante* (*ex.:* energia radiante, intensidade radiante).

(5) $\Phi_e = \int_0^\infty \Phi_\lambda d\lambda$ e $\Phi_v = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_\lambda d\lambda$ onde Φ_λ é o fluxo radiante monocromático, emitido num comprimento de onda compreendido entre λ e $\lambda + d\lambda$; λ_1 e λ_2 têm o significado referido em [1] (v. texto).

(6) Não aparece também, consequentemente, a dimensão J da intensidade luminosa, nas dimensões das grandezas energéticas.

(*) V. pág. 193.

Grandezas e unidades relativas à luz e radiações electromagnéticas afins
(continuação)

GRANDEZA			
nome	*símbolo*	*definição sumária*	*dimensão*[1]
intensidade luminosa	I, I_v	grandeza de base	J
índice de refracção	n	$n = \frac{c}{v}$ razão entre o valor da velocidade de propagação da luz no vazio, c, e no meio considerado, v [2]	1
distância focal	f [3]	(v. fig. 5.4.-1.)	L
distância - objecto	p	distância do objecto à lente, no caso de uma lente delgada	L
distância - imagem	p'	distância da imagem à lente, no caso de uma lente delgada	L
potência focal, ou vergência	$\frac{1}{f'}$, V, P [4]	$V = \frac{n}{f'}$ razão entre o índice de refracção do meio óptico onde o sistema óptico se encontra e a sua distância focal-imagem, nesse meio.	L^{-1}
fluxo luminoso	Φ, Φ_v	** $\Phi_v = I_v \Omega$ [5] produto da intensidade luminosa pelo ângulo sólido, no caso em que a fonte luminosa é pontual e uniforme.	J
iluminação luminosa anteriormente chamada intensidade de iluminação.	E, E_v	$E_V = \frac{\Phi_v}{S}$ ** [6] fluxo luminoso recebido pela unidade de superfície colocada normalmente à luz incidente.	$L^{-2}J$

(1) Anteriormente chamada equação de dimensões ou equação dimensional. O número 1, nesta coluna, indica que a grandeza em causa é adimensional (cf. 3.1).

(2) O símbolo v designa a velocidade de fase. Nos meios dispersivos n depende da frequência da radiação, pois nestes meios v depende de f. O único meio óptico não dispersivo é o vácuo. A grandeza n define-se para um meio não absorvente e para uma frequência especificada. V. apêndice VIII.

(3) Para evitar confusão, entre símbolos, relativamente à distância focal-objecto e à distância focal-imagem representa-se esta última por f'. No caso da lente espessa, ou de de um sistema óptico, a distância focal mede-se desde o foco objecto (ou imagem) até ao correspondente plano principal-objecto (ou imagem), cf. fig. 5.4.-1.

(4) $1/f'$ é o símbolo recomendado pela ISO. V e P são símbolos *habitualmente* utilizados. O símbolo $1/f'$ não parece, contudo, uma escolha feliz.

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
candela	cd	a definição da candela, de acordo com a CGPM, encontra-se no quadro 1.5
metro	m	
metro	m	
metro	m	
1 por metro (7)	m^{-1}	potência focal de um sistema óptico cuja distância focal-imagem é de 1 metro, num meio óptico cujo índice de refracção é igual à unidade
lúmen (v. fig. 5.4.-2.)	lm i.e., cd·sr	fluxo luminoso emitido no interior de um ângulo sólido de 1 esterradiano, por uma fonte luminosa pontual e uniforme, de intensidade luminosa igual a 1 candela, quando colocada no vértice desse ângulo sólido
lux (v. fig. 5.4.-2.)	lx i.e., $lm \cdot m^{-2}$	iluminação luminosa de uma superfície que recebe o fluxo luminoso de 1 lúmen, uniformemente distribuído, por cada metro quadrado

➧➧

(5) Num ângulo sólido elementar $d\Omega$ seria $d\Phi = I_v d\Omega$.

(6) $\Phi_v = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_v dS$

(7) Esta unidade é frequentemente denominada «dioptria» (símbolo δ, ou D). Note-se que o nome «dioptria» *não é um nome especial* adoptado pela CGPM. Embora a dioptria seja uma unidade *legal* de uso corrente na indústria óptica (cf. Norma Portuguesa NP-77), *não é* uma unidade SI (v. 6.1.1.; cf. BIPM [2]; não se deve, consequentemente, empregar este nome *no âmbito do SI*. O nome «dioptria» foi adoptado, para a unidade prática de potência focal, pelo *Congresso Médico Internacional*, celebrado em Bruxelas, em 1875. V. pág. 83.

Grandezas e unidades relativas à luz e radiações electromagnéticas afins
(continuação)

GRANDEZA			
nome	*símbolo*	*definição sumária*	*dimensão*
luminância luminosa anteriormente chamada brilho	L , L_v	$L_v = \frac{I_v}{S \cos\theta}$ (1) razão entre a intensidade luminosa emitida, numa dada direcção, por um elemento de superfície emissora e a área aparente desse elemento de superfície, nessa direcção	$L^{-2}J$
quantidade de luz	Q , Q_v	$Q_v = \Phi_v t$ ** produto do fluxo luminoso pelo tempo (2)	TJ
exposição luminosa anteriormente chamada quantidade de iluminação	H	$H = E_v t$ ** produto da iluminação pelo tempo (3)	$L^{-2}TJ$
fluxo energético ou potência radiante	Φ, Φ_e, P	potência emitida, transportada ou recebida sob a forma de radiação ($\Phi_e = \int_0^\infty \Phi_\lambda d\lambda$)	L^2MT^{-3}
densidade de fluxo energético	φ	$\varphi = \frac{\Phi_e}{S}$	MT^{-3}
intensidade energética	I , I_e	$I_e = \frac{\Phi_e}{\Omega}$ (4) **	L^2MT^{-3}
iluminação energética	E , E_e	$E_e = \frac{\Phi_e}{S}$ (5) **	MT^{-3}

(1) $I_v = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_V \cos\theta \, dS$; θ é o ângulo entre a normal à superfície S e a direcção do feixe emitido (v. fig. 5.4.-3.).
(2) $Q_v = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_V dt$, se Φ_V não for constante durante todo o intervalo de tempo.
(3) $H = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_V dt$, se E_V não for constante durante todo o intervalo de tempo.
(4) $\Phi_e = \int I_e d\Omega$

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
candela por metro quadrado (6)	$cd \cdot m^{-2}$	luminância luminosa de uma fonte, extensa e uniforme, cuja intensidade luminosa é de 1 candela numa direcção em que a área aparente da sua superfície é de 1 metro quadrado (V. fig. 5.4.-3.)
lúmen segundo	$lm \cdot s$	quantidade de luz (visível) emitida durante 1 segundo por um feixe cujo fluxo luminoso, mantido constante, é de um lúmen
lux segundo	$lx \cdot s$	exposição luminosa recebida por uma superfície submetida a uma iluminação constante de 1 lux, durante 1 segundo
watt	W	
watt por metro quadrado	$W \cdot m^{-2}$	densidade de um fluxo energético uniforme e igual a 1 watt, através de uma superfície de área igual a 1 metro quadrado, perpendicularmente à direcção de propagação
watt por esterradiano	$W \cdot sr^{-1}$	intensidade energética de uma fonte pontual que emite uniformemente um fluxo energético de 1 watt num ângulo sólido de 1 esterradiano
watt por metro quadrado	$W \cdot m^{-2}$	

(5) $\Phi_e = \int E_e dS$.

(6) Esta unidade é, frequentemente, denominada «nit» (símbolo nt). Tal designação *não constitui*, no entanto, um nome especial aprovado pela CGPM, não devendo ser usada no âmbito do SI (cf. 6.1.1.).

Grandezas e unidades relativas à luz e radiações electromagnéticas afins (continuação)

GRANDEZA			
nome	*símbolo*	*definição sumária*	*dimensão*
luminância energética	L , L_e	$L_e = \dfrac{I_e}{S \cos\theta}$ (1) **	MT^{-3}
energia radiante	Q, W, (U, Q_e)	$Q = \Phi_e t$ (2)	L^2MT^{-2}
eficácia luminosa	K	$K = \dfrac{\Phi_v}{\Phi_e}$	$L^{-2}M^{-1}T^3J$
eficácia luminosa espectral	$K(\lambda)$	$K(\lambda) = \dfrac{\Phi_{v\lambda}}{\Phi_{e\lambda}}$	$L^{-2}M^{-1}T^3J$
eficácia luminosa espectral máxima	K_m		
eficácia luminosa relativa	V	$V = \dfrac{K}{K_m} = \dfrac{\Phi_v/\Phi_e}{K_m}$	1
eficácia luminosa espectral relativa	$V(\lambda)$	$V(\lambda) = \dfrac{K(\lambda)}{K_m}$	1
factor de absorção (3)	α (4)	$\alpha = \dfrac{\Phi_a}{\Phi_0}$; Φ_a — fluxo absorvido; Φ_0 — fluxo incidente	1
reflectância, factor de reflexão	ϱ (4)	$\varrho = \dfrac{\Phi_r}{\Phi_0}$; Φ_r — fluxo reflectido	1

(1) $I_e = \int L_e \cos\theta \, dS$.

(2) $Q = \int_0^t \Phi_e dt$, se Φ_e não for constante durante todo o intervalo de tempo.

(3) Esta grandeza não deve ser confundida com a *absorvância* (símbolo A), anteriormente chamada *densidade óptica* e definida como o logaritmo (de base 10) do inverso da transmitância.

(4) Escrevendo (λ) imediatamente a seguir aos símbolos destas grandezas obtêm-se os símbolos das correspondentes grandezas espectrais, i.e., relativas a um dado comprimento de onda:
$\alpha(\lambda) = \Phi_{a\lambda}/\Phi_{0\lambda}$, absorvância espectral; $\varrho(\lambda) = \Phi_{r\lambda}/\Phi_{0\lambda}$, reflectância espectral; $\tau(\lambda) = \Phi_{tr\lambda}/\Phi_{0\lambda}$, transmitância espectral.

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
watt por esterradiano metro quadrado	$W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$	luminância energética, numa direcção determinada, de uma fonte extensa de intensidade energética igual a 1 watt por esterradiano, por cada metro quadrado da sua área projectada sobre um plano perpendicular à direcção considerada
joule	J	
lúmen por watt	$lm \cdot W^{-1}$	eficácia luminosa de uma fonte que dissipa a potência de 1 watt por cada lúmen de fluxo emitido
lúmen por watt	$lm \cdot W^{-1}$	

➧➧

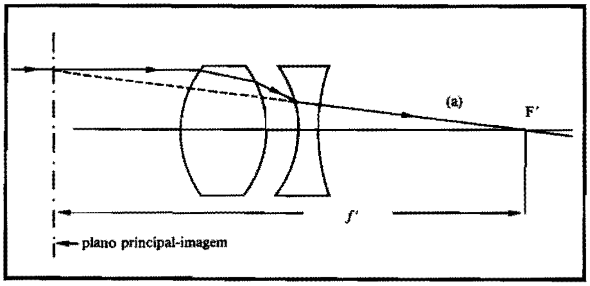
Grandezas e unidades relativas à luz e radiações electromagnéticas afins
(conclusão)

GRANDEZA			
nome	*símbolo*	*definição sumária*	*dimensão*
transmitância, factor de transmissão	τ (1)	$\tau = \frac{\Phi_{tr}}{\Phi_0}$; $\tau = \frac{I}{I_0}$ Φ_{tr} — fluxo transmitido	1
transmitância interna (transmitância do meio, desprezando a influência da fronteira ou do recipiente)	τ_i, T		1
absorvância (anteriormente chamada densidade óptica)	A	$A = \log \frac{I_0}{I} = \log \frac{1}{T}$	1
coeficiente de absorção linear	a, k	$a = \frac{A}{l}$	L^{-1}
absorvância neperiana	B	$B = \ln \frac{I_0}{I} = \ln \frac{1}{T}$	1
coeficiente de absorção neperiano	α	$\alpha = \frac{B}{l}$	L^{-}
ângulo de rotação óptica	α		1
constante de Planck	h	$h = \frac{E}{f}$	L^2MT^{-1}

(1) V. pág. 132, nota (4).

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
1 por metro (2)	m^{-1}	
1 por metro (2)	m^{-1}	
radiano		
joule segundo	J·s	

(2) V. pág. 83.



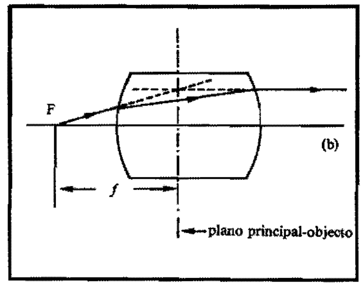


Fig. 5.4.-1. — Ilustração do conceito de distância focal, quando não se trata de uma lente delgada:
(a) Distância focal-imagem de um sistema óptico (f').
(b) Distância focal-objecto de uma lente espessa (f).

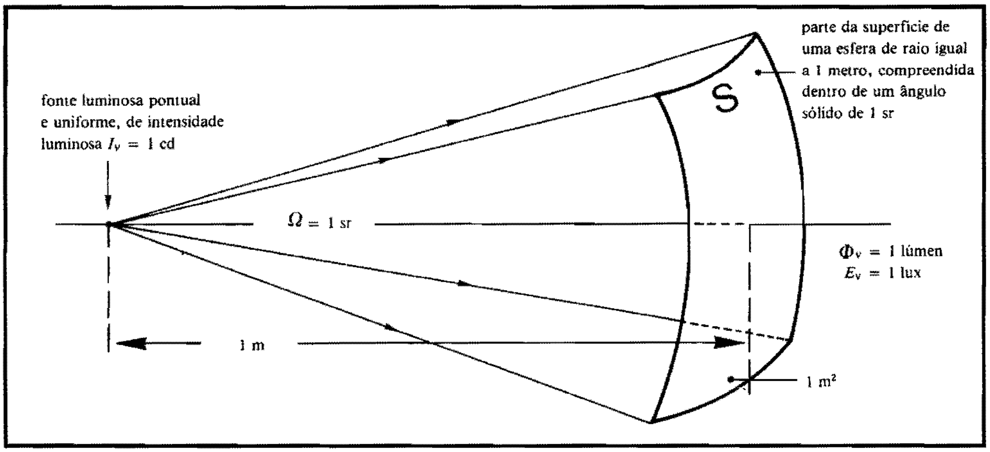


Fig. 5.4.-2. — Diagrama, sem escala, ilustrativo das unidades SI de *ângulo sólido*, *fluxo luminoso* e *iluminação luminosa*.

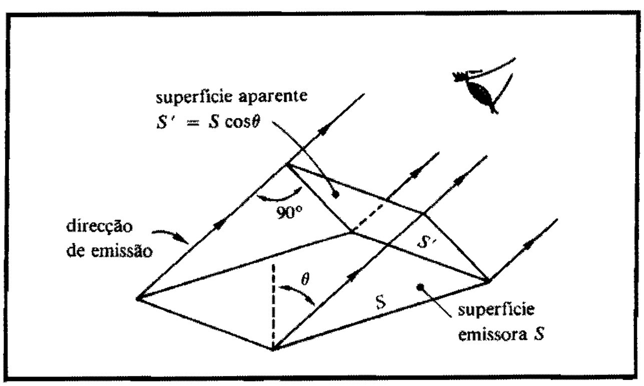


Fig. 5.4.-3. — Ilustração do conceito de superfície aparente $S' = S \cos\theta$, na definição da luminância luminosa.
Na luminância energética define-se a superfície aparente de modo idêntico, excepto no que se refere ao intervalo de valores do comprimento de onda (cf. introdução a 5.4.).

5.5. Grandezas e unidades relativas às reacções nucleares e às radiações ionizantes (*). Definições.

Introdução

Designam-se, genericamente, como radiações ionizantes as radiações electromagnéticas X e γ e as radiações corpusculares constituídas por partículas α e β, electrões protões, neutrões e outras partículas nucleares (cf. norma portuguesa NP-442).

As partículas atómicas (electrões, átomos e iões), as partículas nucleares e os fotões, sendo absorvidos pela matéria, podem provocar a ionização desta, desde que a sua energia seja suficientemente elevada. É esta capacidade, de provocar ionizações, que determina em geral os procedimentos laboratoriais de registo destas radiações e permite a determinação das suas características quantitativas.

Paralelamente às unidades energéticas, referidas na secção anterior, utilizam-se unidades específicas para as radiações ionizantes, tendo por base a capacidade, atrás referida, de produção de ionizações.

(*) Empregou-se, no estudo dos processos fotoquímicos, uma unidade denominada «einstein» (símbolo E), definida como a energia correspondente a 1 mole de fotões (de frequência especificada). $1\mathrm{E} = N_A hf$, onde N_A é a constante de Avogadro e hf é a energia do fotão. O einstein foi utilizado por comodidade, não sendo uma unidade SI. O nome «einstein» *não* é um nome aprovado pela CGPM como nome especial de unidade. É preferível, em vez de dizer «1 einstein», dizer «1 mole de fotões», cf. 5.6.1.

Grandezas e unidades relativas às reacções nucleares e às radiações ionizantes (continuação)

GRANDEZA			
nome	*símbolo*	*definição sumária*	*dimensão*
actividade (de uma fonte radioactiva)	A	$A = -\frac{dN}{dt}$	T^{-1}
actividade mássica [1] (de uma fonte radioactiva)	a	$a = \frac{A}{m}$	$M^{-1}T^{-1}$
constante de desintegração	λ	$\lambda = \frac{A}{N}$ (N – número de nuclídeos)	T^{-1}
período de semidesintegração (também chamado semi-vida)	$T_{½}$, $t_{½}$	$T_{½} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \tau \ln 2$ [2]	T
tempo de vida média ou vida média	τ	$\tau = \frac{1}{\lambda}$ [3]	T
dose de radiação absorvida (dose absorvida)	D	$D = \frac{E}{m}$ energia absorvida por unidade de massa [4]	L^2T^{-2}
dose de radiação equivalente absorvida	H	$H = QND$ [5]	L^2T^{-2}
dose de exposição à radiação X, ou γ	(v. 2.1.1.c)		$M^{-1}TI$

(1) Também chamada, impropriamente, actividade específica; cf. 2.1.7. V. pág. 43, nota (2).

(2) O período de semidesintegração, por vezes denominado apenas «período», é o intervalo de tempo ao fim do qual, por declínio radioactivo, se tem metade do número inicial, N_0, de nuclídeos, isto é, $N = N_0/2$, que, por substituição na lei do declínio radioactivo

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \text{, conduz a} \quad T_{½} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

(3) O tempo de vida média, também chamado «vida média», é o tempo ao fim do qual, por declíneo radioactivo, se tem $1/e$ do número inicial (N_0) de nuclídeos. Será então

$$\frac{N_0}{e} = N_0 e^{-\lambda\tau} \Leftrightarrow \frac{1}{e} = e^{-\lambda\tau} \quad \text{, que conduz a} \quad \tau = \frac{1}{\lambda}$$

τ e $T_{½}$ estão ligados pela relação simples $T_{½} = \tau \ln 2$, como facilmente se verifica.

(4) A energia aqui referida é a energia absorvida pela unidade de volume *como resultado da transformação da energia da radiação noutras formas de energia.*

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
becquerel (6) (desintegração por segundo)	Bq i.e., s^{-1}	actividade, de uma fonte radioactiva, na qual ocorre uma desintegração por segundo
becquerel por quilograma	$Bq \cdot kg^{-1}$	actividade mássica, de uma fonte radioactiva, cuja actividade é de 1 bequerel por cada quilograma
becquerel	Bq	
segundo		
segundo		
gray (7)(8) (joule por quilograma)	Gy i.e., $J \cdot kg^{-1}$	dose absorvida por um elemento de matéria, com a massa de 1 quilograma, ao qual é comunicada a energia de 1 joule, por radiações ionizantes cujo fluxo energético é constante.
sievert (7)(9) (joule por quilograma)	Sv i.e., $J \cdot kg^{-1}$	
coulomb por quilograma (10)	$C \cdot kg^{-1}$	exposição a uma radiação ionizante fotónica que pode produzir, num quilograma de ar, iões do mesmo sinal com a carga total de 1 coulomb, sendo constante o fluxo energético na massa de ar referida

(5) A dose de radiação *equivalente* mede o efeito biológico dessa dose. Q e N são factores *adimensionais*, definidos pela *International Commission on Radiological Protection.*

(6) O becquerel é um nome especial para a unidade SI de actividade de um radionuclídeo, cf. 15.ª CGPM, 1975. Utilizam-se também, fora do SI, duas outras unidades: o curie (símbolo Ci) sendo 1 Ci = $3{,}7 \times 10^{10}$ Bq e o rutherford (símbolo Rd) sendo 1 Rd = 10^{6}Bq (exactamente).

(7) Para evitar confusão entre a dose absorvida D e a dose *equivalente* absorvida H (também chamada equivalente de dose) tornou-se necessário empregar nomes especiais *diferentes* para as correspondentes unidades (cf. CIPM, 1984). V. pág. 153.

(8) O gray é um nome especial para a unidade SI de dose de radiação absorvida (15.ª CGPM, 1975). Utiliza-se também, fora do SI, o rad (símbolo rad), sendo 1 rad = 10^{-2} Gy (exactamente). Em caso de confusão com o símbolo do radiano pode adoptar-se rd para símbolo do rad (CIPM).

(9) O sievert é um nome especial para a unidade SI de dose de radiação equivalente absorvida (16.ª CGPM, 1979). Ainda se utiliza, fora do SI, o rem (símbolo rem), sendo 1 rem = 10^{-2} Sv (exactamente).

(10) Utiliza-se também, fora do SI, o röntgen (símbolo R), sendo 1 R = $2{,}58 \times 10^{-4}$ $C \cdot kg^{-1}$.

5.6. Grandezas e unidades moleculares e de química-física. Definições

GRANDEZA			
nome	*símbolo*	*definição sumária*	*dimensão*(1)
quantidade de matéria(2)	n, (ν)(3)	grandeza de base	N
volume molar	V_m	$V_m = \frac{V}{n}$ razão do volume pela quantidade de matéria	L^3N^{-1}
massa molar	M	$M = \frac{m}{n}$ razão da massa pela quantidade de matéria	MN^{-1}
constante unificada de massa atómica	m_u	1/12 da massa, em repouso, de um átomo neutro do nuclídeo ^{12}C, no estado fundamental	M
massa de um átomo	m_a	massa média de um dos átomos do elemento considerado, de acordo com a composição isotópica natural, salvo indicação em contrário	M
massa atómica relativa (anteriormente chamada peso atómico)	A_r	$A_r = \frac{m_e}{m_u}$ (4)	1
massa molecular relativa(5) (anteriormente chamada peso molecular)	M_r	$M_r = \frac{m}{m_u}$ m = massa média de uma molécula, especificada	1
número de moléculas, ou de outras entidades elementares, a especificar	N		1
livre percurso médio	l, λ	distância média, percorrida por uma molécula, entre duas colisões sucessivas	L

(1) Anteriormente chamada equação de dimensões ou equação dimensional. O número 1, nesta coluna, indica que a correspondente grandeza é adimensional (cf. 3.1).

(2) Também chamada, impropriamente, «quantidade de substância». Note-se que, de acordo com a norma portuguesa NP-172 (de 1986) e com as versões originais dos documentos da CGPM e da ISO, o nome atribuído a esta grandeza é «quantidade de matéria». V. 1.5., nota (8).

(3) O símbolo ν é um símbolo de reserva utilizável quando possa surgir confusão entre o símbolo n e um símbolo idêntico, de outra grandeza, empregue no mesmo contexto.

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
mole(6)	mol	a definição da mole, de acordo com a CGPM, encontra-se na secção 1.5
metro cúbico por mole	$m^3 \cdot mol^{-1}$	volume molar de uma substância tal que, em cada metro cúbico, existe 1 mole dessa substância
quilograma por mole	$kg \cdot mol^{-1}$	massa molar de uma substância tal que, em cada metro cúbico, existe 1 quilograma dessa substância
quilograma(7)	kg	
quilograma(7)	kg	
metro	m	

(4) A massa atómica relativa e o símbolo A_r referem-se, salvo indicação em contrário, à composição isotópica natural do elemento em causa.

(5) Este conceito não se limita às substâncias estritamente moleculares. *Exemplos:*
$M_r(H_2) = 2{,}0$; $M_r(H_2SO_4) = 98{,}1$; $M_r(NaCl) = 58{,}5$; $M_r(SiO_2) = 60{,}1$.

(6) V. secção 5.6.1., pág. 146.

(7) A unidade, *fora do SI,* que em alguns casos se utiliza é a «unidade de massa atómica unificada» (símbolo u), sendo $1u = 1{,}660\,540\,2 \times 10^{-27}$ kg. A notação u.m.a. é uma *abreviatura* e não um símbolo.

Grandezas e unidades moleculares e de química-física (continuação)

GRANDEZA				
nome	*símbolo*	*definição sumária*		*dimensão*(1)
constante de Avogadro	L, N_A	$N_A = \frac{N}{n}$	quociente do número de entidades elementares pela quantidade de matéria(1)	N^{-1}
constante de Faraday	F	$F = N_A e$	produto da constante de Avogadro pela carga elementar. (2)	TIN^{-1}
número de protões (número atómico)	Z			1
número de nucleões (número de massa)	A			1
número de neutrões	N	$N = A - Z$		1
coeficiente estequiométrico, de uma substância A	ν_A	(v. pág. 148, nota (6))		1
concentração (de quantidade de matéria) de um soluto A (anteriormente chamada molaridade)	c_A, [A]	$c_A = \frac{n_A}{V}$	quociente entre a quantidade (de matéria) do soluto A, n_A, e o volume V da solução (3)	NL^{-3}
concentração (em massa) de um soluto A (4)	ϱ_A	$\varrho_A = \frac{m_A}{V}$	quociente entre a massa do soluto A, m_A, e o volume V da solução	ML^{-3}

(1) Dado que a quantidade de matéria n é proporcional ao número N de entidades elementares, contidas num dado sistema, pode escrever-se $n = KN$, sendo K a constante de proporcionalidade. A constante de Avogadro é o inverso da constante K. Consequentemente $N_A = \frac{1}{K} = \frac{N}{n}$

A designação «número de Avogadro» é incorrecta, pois esta grandeza *não é* adimensional. O símbolo L, também utilizado para esta grandeza, é uma homenagem a Joseph Loschmidt (1821-1895), que, em 1866, determinou o valor de uma constante *semelhante* (número de moléculas por cm³ de um gás à pressão normal e a 0°C). Há quem conteste a designação «constante de Avogadro» pois não é possível atribuir a Avogadro a determinação desta constante, embora resulte da sua hipótese. $N_A = (6{,}022\,136\,7 \pm 0{,}000\,003\,6) \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$.

(2) A constante de Faraday é a razão entre a carga e a quantidade de matéria, para um protão. Consequentemente $F = e / n$ mas, como se viu na nota anterior, $n = N / N_A$ e, sendo $N = 1$, i.e., 1 protão, vem $n = 1/N_A$ e logo $F = N_A\, e$.
A palavra «faraday» *não deve* ser utilizada como nome de unidade.

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
1 por mole	mol^{-1}	
coulomb por mole	$C{\cdot}mol^{-1}$	
mole por metro cúbico	$mol{\cdot}m^{-3}$ (5)	concentração (em quantidade de matéria) de um soluto tal que existe uma mole deste por cada metro cúbico de solução
quilograma por metro cúbico	$kg{\cdot}m^{-3}$ (6)	concentração (em massa) de um soluto tal que existe uma mole deste por cada quilograma de solução

(3) Esta grandeza era anteriormente denominada «molaridade de um soluto A», nome que não deve ser utilizado.

(4) Por vezes chamada «concentração mássica de um soluto A».

(5) Por razões de comodidade utiliza-se também a $mol{\cdot}dm^{-3}$ (ou $mol{\cdot}L^{-1}$). O símbolo do litro é *l*, ou L, cf. 7.1.
Não se deve empregar o nome «molar» nem o símbolo «M», para esta unidade. Em particular o nome «molar», para indicar $mol{\cdot}dm^{-3}$, deve ser evitado pois a palavra «molar» significa *dividido pela quantidade de matéria,* cf. 2.1.7., o que pode gerar confusão.

(6) Por razões de comodidade utiliza-se também o $kg{\cdot}dm^{-3}$ (ou $kg{\cdot}L^{-1}$) e o $g{\cdot}dm^{-3}$ (ou $g{\cdot}L^{-1}$).

Grandezas e unidades moleculares e de química-física (continuação)

GRANDEZA				
nome	*símbolo*	*definição sumária*		*dimensão*
molalidade de um soluto A	b_A, m_A	$m_A = \frac{n_A}{m}$	**quociente entre a quantidade (de matéria) do soluto A, n_A, e a massa m do solvente**	NM^{-1}
fracção molar do constituinte A, numa mistura	x_A, y_A (1)	$x_A = \frac{n_A}{n}$	**quociente entre a quantidade (de matéria) do soluto A, n_A, e a quantidade (de matéria) da mistura**	1
fracção (em massa) do constituinte A, numa mistura	ω_A, w_A	$\omega_A = \frac{m_A}{m}$	**quociente entre a massa do constituinte A, m_A, e a massa total, m de mistura**	1
fracção (em volume) dum constituinte A, numa mistura	φ_A, ϕ_A	$\varphi_A = \frac{V_A}{V}$	quociente entre o volume do constituinte A, V_A, e o volume total V da mistura	1
concentração molecular dum constituinte A, numa mistura	C_A	$C_A = \frac{N_A}{V}$	quociente entre o número de moléculas do constituinte A, N_A, e volume total V da mistura	L^{-3}
grau de dissociação	α	$\alpha = \frac{N}{N_0}$	quociente entre o número N de moléculas ionizadas e o número N_0 de moléculas dissolvidas	1
pressão parcial do constituinte A, numa mistura gasosa	p_A	$p_A = y_A p$;	(y_A = fracção molar) (p = pressão total)	$L^{-1}MT^{-2}$
pressão osmótica	Π	excesso de pressão necessária para manter o equilíbrio osmótico entre uma solução e o solvente puro, separados por uma membrana permeável apenas ao solvente		$L^{-1}MT^{-2}$
constante de equilíbrio	K			(2)
actividade catalítica		$\frac{n}{t}$		$N\,T^{-1}$

(1) Utiliza-se, preferencialmente, o símbolo y_A para a fracção molar do constituinte A, na fase gasosa.

UNIDADE SI		
nome	*símbolo ; obs*	*definição sumária*
mole por quilograma	$mol \cdot kg^{-1}$	molalidade de uma solução que contém uma mole de soluto por cada quilograma de solvente (*)
1 por metro cúbico	m^{-3}	concentração molecular de um constituinte tal que existe uma molécula desse constituinte por cada metro cúbico da mistura
pascal	Pa i.e., $N \cdot m^{-2}$	
pascal	Pa	
(2)		
katal	kat; 1 kat = 1 $mol \cdot s^{-1}$	

(2) V. secção 5.6.2.

(*) A molalidade padrão, $m^{\ominus}$, é *usualmente* 1 $mol \cdot kg^{-1}$.

5.6.1. Utilização da mole

Definição:

A *mole* é a quantidade de matéria de um sistema contendo tantas entidades elementares quantos os átomos que existem em 0,012 kg de carbono 12.

Quando se utiliza a mole as entidades elementares devem ser especificadas e podem ser átomos, moléculas, iões, electrões, outras partículas ou agrupamentos especificados de tais partículas. (16.ª CGPM - 1971 - Resolução 3)

NOTA — Além das entidades elementares, expressamente referidas na definição da mole, incluem-se também[1] fotões, grupos de partículas (autónomas ou não) e misturas.

Exemplos de utilização da mole:

1 mol de átomos de lítio tem a massa de 6,939 g
1 mol de moléculas de azoto tem a massa de 28,013 g
1 mol de moléculas de HCl tem a massa de 36,461 g
1 mol de iões Al^{3+} tem a massa de 26,980 g
1 mol de protões tem a massa de 1,007 g e a carga de 96,487 kC
1 mol de NO_3^- tem a massa de 62,003 g
1 mol de NaCl tem a massa de 58,443 g
1 mol de fotões de frequência $f = 1{,}000 \times 10^{16}$ Hz tem a energia de 3,990 MJ
1 mol de ar, mistura que contém (aproximadamente) 0,7809 mol de N_2, 0,2095 mol de O_2, 0,0093 mol de Ar e 0,0003 mol de CO_2, tem a massa de $\approx 28{,}970$ g.

Tendo em conta a diversidade de situações em que é possível utilizar a mole, deixaram de ser empregues termos como:

átomo-grama e molécula-grama
equivalente e equivalente-grama
ião-grama e fórmula-grama

(1) Integradas na designação «outras partículas ou agrupamentos especificados de tais partículas».

Alguns exemplos ilustrando anteriores e actuais designações:

designação anterior (que não deve ser empregue)	*designação actual* (recomendada)
1 átomo-grama de Zn	1 mole de Zn
1 molécula-grama de H_2O	1 mole de H_2O
1 equivalente de H_2SO_4	1 mole de $\frac{1}{2}$ H_2SO_4
1 ião-grama de NO_3^-	1 mole de NO_3^-
1 fórmula-grama de NaCl	1 mole de NaCl
1 einstein	1 mole de fotões
1 faraday	1 mole de electrões

5.6.2. Constante de equilíbrio

Símbolos recomendados

constante de equilíbrio, em geral	K
constante de equilíbrio *normal* (ou *padrão*)	$K^{\ominus}$, K°
constante de equilíbrio, na base da molalidade	K_m
constante de equilíbrio, na base da concentração	K_c
constante de equilíbrio, na base da pressão	K_p
constante de acidez (const. de dissociação do ácido)	K_a
constante de basicidade (const. de dissociação da base)	K_b
produto de solubilidade	K_s
produto iónico da água	K_w

Unidades

O equilíbrio químico, no ensino secundário, é geralmente introduzido com base em considerações cinéticas, devido à impossibilidade de recorrer, a esse nível, às considerações termodinâmicas(1) adequadas.

A constante de equilíbrio *normal* (ou *padrão*), $K^{\ominus}$ (2), é adimensional, dependendo apenas da temperatura(3);

$$K^{\ominus} = \exp(-\Delta G^{\ominus}/RT)$$

(1) Veja-se, por exemplo:
- Ref. bibliog. [32], págs. 18, 98, 100 . . . 102.
- Abrantes, L.M.; Castro, C.N. — *O conceito de constante de equilíbrio químico — sua introdução*, Boletim da Sociedade Portuguesa de Química, Março de 1985, págs. 21, 22 e 23, Lisboa.
- Levine, I.N. — *Physical Chemistry*, 1st edition, Mc Graw-Hill, 1978. (Existe versão em espanhol, Editorial Calypso S.A.,México, 1981).
- Smith, J.M.; H.C. Van Ness — *Introduction to Chemical Engineering Termodynamics*, 3rd edition, Mc Graw-Hill, 1975.

(2) O índice superior ⊖ significa «padrão» ou «normal», cf. 2.5.5.

(3) Cf. ISO 31/8, pág. 12.

onde $\Delta G^{\ominus}$ é a variação da energia de Gibbs molar na reacção, quando todos os reagentes e produtos estão num estado padrão, T é a temperatura termodinâmica e R a constante dos gases molar.

Admite-se[1], contudo, *em condições de aproximação* tais como, por exemplo

— soluções muito diluídas, nas reacções em fase líquida
— gases ideais, nas reacções em fase gasosa

a atribuição de unidades às correspondentes constantes de equilíbrio. As constantes de equilíbrio *estequiométricas,* sendo definidas nas condições de aproximação já referidas, não são adimensionais[2]. Por exemplo, na equação genérica

$$aA + bB + cC + \ldots \rightleftharpoons xX + yY + zZ + \ldots$$ [3]

onde se fez, por comodidade, $\Sigma = (x + y + z + \ldots - a - b - c - \ldots)$, teríamos, no SI, as unidades referidas no quadro seguinte:

constante de equilíbrio (símbolo)	*unidade SI (símbolo)*
K_c [4]	$(\text{mol}\cdot\text{m}^{-3})^{\Sigma}$
K_p	Pa^{Σ}
K_m	$(\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1})^{\Sigma}$

As constantes de equilíbrio *estequiométricas* não serão, pois, adimensionais desde que $\Sigma \neq 0$, isto é, desde que $x + y + z + \cdots \neq a + b + c + \cdots$.

5.6.3. Misturas e soluções

A palavra *mistura* é utilizada para descrever uma fase gasosa, líquida ou sólida, contendo mais do que uma substância, quando as várias substâncias são consideradas do mesmo modo.

A palavra *solução* utiliza-se para descrever uma fase líquida ou sólida, contendo mais do que uma substância, onde (por comodidade) uma das substâncias, denominada *solvente* é considerada diferentemente das outras, chamadas *solutos.* Se a soma das fracções molares dos solutos é pequena, comparativamente com a unidade, diz-se que se trata de uma solução diluída.

(1) Cf. ref. bibliog. [27], pág. 15, e ref. bibliog. [32], pág. 18.
(2) Cf. ISO 31/8, pág. 12, e ref. bibliog. [32].
(3) Onde A, B, C,..., e X, Y, Z, ... representam as espécies químicas envolvidas; $a, b, c, \ldots$ e $x, y, z, \ldots$ são os coeficientes estequiométricos. Estes coeficientes são, por convenção, negativos para os reagentes e positivos para os produtos da reacção.
(4) Por exemplo $K_c = \Pi_B (c_B)^{\nu_B}$, onde B designa o termo genérico do produto, ν o coeficiente estequiométrico e c a concentração.

5.7. Grandezas e unidades relativas a propriedades e estados da matéria

Indicam-se seguidamente os símbolos e unidades SI para algumas grandezas relativas a propriedades e estados da matéria, que são de uso corrente no contexto dos objectivos deste livro.

GRANDEZA (1)				UNIDADE SI	
nome	*símbolo*	*definição sumária*	*dimensão*	*nome*	*símbolo*
energia de ionização	E_i, E_{ion}	energia de ligação de um electrão (a um átomo ou a uma molécula)	L^2MT^{-2}	joule (2)	J
potencial de ionização	V_i, V_{ion}	quociente da energia de ionização pela carga do electrão	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	volt	V
energia de dissociação	E_{dis}, D_0, D_{XY}	energia de ligação dos átomos de uma molécula diatómica	L^2MT^{-2}	joule	J
afinidade electrónica	E_a, E_{ea}	energia libertada na formação de um ião mononegativo	L^2MT^{-2}	joule	J
energia de rede	U		L^2MT^{-2}	joule	J

(1) Define-se, para cada uma destas grandezas, a correspondente grandeza molar, cf. 2.1.7.

(2) Emprega-se também, fora do SI, o electrão-volt (eV), definido na secção 7.1., quadro 7.1.2.. V. pág. 168.

5.8. Símbolos para os números quânticos

Os símbolos recomendados, para representar os números quânticos no domínio da física atómica e nuclear, são os seguintes:

número quântico (n. q.)	*símbolo*
número quântico principal	n, n_i
n.q. do momento angular orbital (número quântico secundário)	L, l_i
número quântico de spin	S, s_i
n.q. do momento angular total	J, j_i
número quântico magnético	M, m_i
número quântico de spin nuclear	I, J (I em física atómica; J em física nuclear)