

Geometria

Elipsóide

Volume (V):

$$V = \frac{4}{3}\pi abc$$

onde a, b, c são os semi-eixos.

Volume (V), quando ($c > H_c \geq 0, H_b = 0$) ou ($H_c > 0, H_b > 0$):

$$V = \pi ab \left[c + h - \frac{1}{3c^2} (c^3 + h^3) \right]$$

onde a, b, c são os semi-eixos e $h = H_c - H_b$.

Leis e relações fundamentais de pressão, temperatura e humidade

A pressão atmosférica (p) é

$$p = p_a + e \quad (1)$$

onde

p_a pressão do ar seco

e pressão parcial do vapor de água (tensão real do vapor de água)

Para estimar a pressão atmosférica (p) a determinada altitude (A , em m):

$$p = p_0 \exp\left(-\frac{A}{8200}\right) \quad (2)$$

onde

p_0 pressão atmosférica normal [kPa] ($= 101.3$ kPa)

Tensão de saturação do vapor de água (e_s) sobre uma superfície plana de água líquida:

$$e_s = 0.6108 \exp\left[\frac{17.27(T - 273.16)}{T - 35.86}\right] \quad (3) \quad (e_s \text{ em kPa}, T \text{ em K})$$

Tensão de saturação do vapor de água (e_s) sobre uma superfície plana de gelo:

$$e_s = 0.6108 \exp\left[\frac{21.87(T - 273.16)}{T - 7.66}\right] \quad (4) \quad (e_s \text{ em kPa}, T \text{ em K})$$

-----Alternativa que dá ligeiramente melhores resultados!-----

Tensão de saturação do vapor de água (e_s):

$$e_s(T) = a \exp\left(\frac{bT}{T+c}\right) \quad (5)$$

onde T é a temperatura ($^{\circ}\text{C}$), e a , b e c são coeficientes empíricos. Para a gama de temperaturas usuais nos estudos biometeorológicos $a = 0.611 \text{ kPa}$, $b = 17.502$ and $c = 240.97 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Taxa de variação da tensão de saturação com a temperatura (Δ):

$$\Delta = \frac{4098 e_s}{(T - 35.86)^2} \quad (6) \quad (\Delta \text{ em kPa K}^{-1}, e_s \text{ em kPa}, T \text{ em K})$$

Humidade relativa(h):

$$h = e/e_s \quad (7) \quad [-]$$

Défice de saturação (D)

$$D = e_s - e \quad (8) \quad [\text{kPa}]$$

Humidade absoluta (χ):

$$\chi = \frac{m_v}{V} = \frac{M_w e}{RT} \quad (9)$$

onde

m_v	massa de vapor de água [kg m^{-3}]
V	volume de ar [m^3]
M_w	massa molar da água ($0,018 \text{ kg mol}^{-1}$)
R	constante dos gases ideais ($8.3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)
T	Temperatura absoluta [K]

que, agregando as constantes, temos

$$\chi = \frac{2165 e}{T} \quad (10) \quad (\chi \text{ em g m}^{-3}, e \text{ em kPa}, T \text{ em K})$$

Humidade específica (q):

$$q = \frac{m_v}{m_v + m_{as}} = \frac{\chi}{\rho} = \frac{\varepsilon e}{(p - e) + \varepsilon e} \approx \frac{\varepsilon e}{p} \quad (11) \quad [-]$$

Razão de mistura (r)

$$r = \frac{m_v}{m_{as}} = \frac{\varepsilon e}{(p - e)} \approx \frac{\varepsilon e}{p} \quad (12) \quad [-]$$

onde

m_v	massa de vapor de água
m_{as}	massa de ar seco
e	tensão real de vapor [Pa]
p	pressão atmosférica [Pa]
ε	M_w / M_{as} (= 0.622)
M_{as}	massa molar do ar seco ($0,0289 \text{ kg mol}^{-1}$)

Temperatura do ponto de orvalho (T_d) através da tensão do vapor (e) sobre a água

$$b = \frac{\ln(e/0.6108)}{17.27} \quad (13) \quad (T_d \text{ em C, } e \text{ em kPa})$$

$$T_d = 237.3 \left(\frac{b}{1-b} \right)$$

Quando se mede a temperatura do termómetro seco (T_a) e a temperatura do termómetro molhado (T_m) utilizando o psicrómetro, podemos calcular a humidade. Por exemplo, calcula-se tensão real do vapor (e) utilizando a seguinte forma da equação psicrométrica:

$$e = e_s(T_m) - \gamma(T_a - T_m) \quad (14) \quad [e \text{ em kPa}]$$

onde

$e_s(T_m)$ é a tensão de saturação à temperatura do termómetro molhado.

Temperatura virtual (T_v):

$$T_v = T / \{1 - (1 - \varepsilon)e / p\} \approx T(1 + (1 - \varepsilon)e / p) \quad (15) \quad [\text{K}]$$

com $\varepsilon = 0.622$, T em kelvins.

Temperatura equivalente (T_e):

$$T_e = T + \frac{e}{\gamma} \quad (16)$$

onde γ é a constante psicrométrica ($\approx 0.067 \text{ kPa K}^{-1}$).

A densidade do ar (= massa volúmica) (ρ):

$$\rho = \frac{m_v + m_{as}}{V} = \frac{e M_w + (p - e) M_{as}}{RT} \quad (17) \quad [\text{kg m}^{-3}]$$

onde

m_v	massa de vapor de água [kg]
m_{as}	massa de ar seco [kg]
V	volume do ar [m^3]
e	tensão real de vapor [Pa]
p	pressão atmosférica [Pa]
M_w	massa molar da água ($0,018 \text{ kg mol}^{-1}$)
M_{as}	massa molar do ar seco ($0,0289 \text{ kg mol}^{-1}$)

$$E_q = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\lambda_m = \frac{2897 \mu\text{m K}}{T}$$

$$B = \sigma T^4$$

$$\varphi = \varepsilon \sigma T^n$$

$$\varphi = \varepsilon B = \varepsilon \sigma T^4$$

$$E(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{hc}{k\lambda T}\right) - 1 \right]} = \frac{2\pi C_1}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]} \quad [\text{W m}^{-3}]$$

Geralmente expressa-se em $\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$.

$$S(\lambda) = \alpha(\lambda)S(\lambda) + \rho(\lambda)S(\lambda) + \tau(\lambda)S(\lambda)$$

$$\frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \alpha(\lambda)S(\lambda)d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda)d\lambda} + \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \rho(\lambda)S(\lambda)d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda)d\lambda} + \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau(\lambda)S(\lambda)d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda)d\lambda} = 1$$

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

III. Ambiente radiante na biosfera

$$t_o = 12 - LC - ET \quad [h]$$

onde t_o é a hora do meio dia solar, LC é a correção de longitude (+4 minutos ou +1/15 horas por cada grau que o local está a este do meridiano padrão, ou -1/15 h que o local está a oeste do meridiano padrão) e ET é a equação do tempo

$$ET = [-104.7 \sin x + 596.2 \sin 2x + 4.3 \sin 3x - 12.7 \sin 4x - 429.3 \cos x - 2.0 \cos 2x + 19.3 \cos 3x]/3600$$

$$\text{onde } x = (279.575 + 0.986 J)\pi/180.$$

A metade da duração do dia, em radianos, h_s , é

$$h_s = \arccos \left(\frac{\cos \psi - \sin \phi \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta} \right)$$

O ângulo zenital, ψ , é

$$\cos \psi = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos 0.2618(t - t_o)$$

onde ϕ é a latitude e δ é a declinação.

A declinação, δ , calcula-se em função do dia do ano, J :

$$\sin \delta = 0.39785 \sin[4.869 + 0.0172 J + 0.03345 \sin(6.224 + 0.0172 J)]$$

O azimute do sol a partir de sul no sentido retrógrado, Az, calcula-se de

$$Az = \arccos \frac{-(\sin \delta - \cos \psi \sin \phi)}{\cos \phi \sin \psi}$$

onde δ é a declinação, ψ é o ângulo zenital, e ϕ é a latitude.

O nascer do sol dá-se à hora

$$t_r = t_o - h_s$$

sendo h_s em horas.

A duração do dia é $2 \times h_s$, sendo h_s em horas.

A constante solar, S_{p0} , é cerca de 1370 W m^{-2} .

A radiação numa superfície horizontal colocada no topo da atmosfera, S_{b0} , é

$$S_{b0} = S_{p0} (\bar{d}/d)^2 \cos \psi \quad [\text{W m}^{-2}]$$

onde

$$(\bar{d}/d)^2 = 1 + 0.0334 \cos(0.01721 J - 0.0552)$$

sendo \bar{d} a distância média da Terra ao Sol e d a distância no dia do ano J .

A radiação durante o dia (24 horas) é

$$S_o = 117.5 (\bar{d}/d)^2 (h_s \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin h_s)/\pi \quad [\text{MJ m}^{-2}]$$

A radiação numa superfície perpendicular aos raios solares na superfície do globo, S_p , é

$$S_p = S_{p0} \tau^m$$

onde S_{p0} é a constante solar, τ é a transmitância da atmosfera e m é a massa ótica da atmosfera.

Num dia de céu limpo, a irradiância, $S_t(t)$, t horas depois do nascer do sol é

$$S_t(t) = S_{tm} \sin\left(\frac{\pi t}{N}\right)$$

onde S_{tm} é a irradiância máxima (em geral, ao meio dia solar verdadeiro) e N é o intervalo de tempo do sol acima do horizonte, expresso em horas.

A radiação solar total recebida num dia, S_t ,

$$S_t = \int_0^N S_t(t) dt \approx \frac{2N}{\pi} S_{tm}$$

$$R_n = S_n + L_n = (1 - \rho) S_t + \varepsilon (L_d - \sigma T^4)$$

$$L_u = \varepsilon_s \sigma T_s^4 + (1 - \varepsilon_s) L_d \approx \sigma T_a^4 \quad [\text{W m}^{-2}]$$

$$L_d = \varepsilon_a \sigma T_a^4 \quad [\text{W m}^{-2}]$$

$$\varepsilon_a = 1.06 - \frac{119}{\sigma T_a^4}$$

$$\varepsilon_{ac} = \varepsilon_a + \frac{1 - \varepsilon_a}{1 + 0.034 \exp(7.9T_i)}$$

$$R_n = \lambda E + C + G \quad [\text{W m}^{-2}]$$

$$T_t = S_t / S_0 = a + b \frac{n}{N}$$

$$F_d = S_d / S_t = a' + b' \frac{n}{N}$$

IV. Captura da radiação pelos objectos terrestres e seres vivos

Factores de forma

Esfera

$$\frac{A_h}{A} = \frac{\pi r^2}{4\pi r^2 \cos \psi} = 0.25 \sec \psi$$

$$\bar{S}_b = (0.25 \sec \psi) S_p = 0.25 S_p \quad [\text{W m}^{-2}]$$

Elipsóide

$$A_h = \pi b^2 \left(1 + \frac{a^2}{b^2 \cot^2 \psi}\right)^{0.5}$$

1) Achatado (En: Oblate) com $b > a$:

$$A = 2\pi b^2 \left[1 + \frac{a^2}{2b^2 \varepsilon_1} \ln \left(\frac{1+\varepsilon_1}{1-\varepsilon_1} \right) \right]$$

$$\text{com } \varepsilon_1 = \left(1 - \frac{a^2}{b^2} \right)^{0.5}$$

2) Alongado (En: Prolate) com $a > b$:

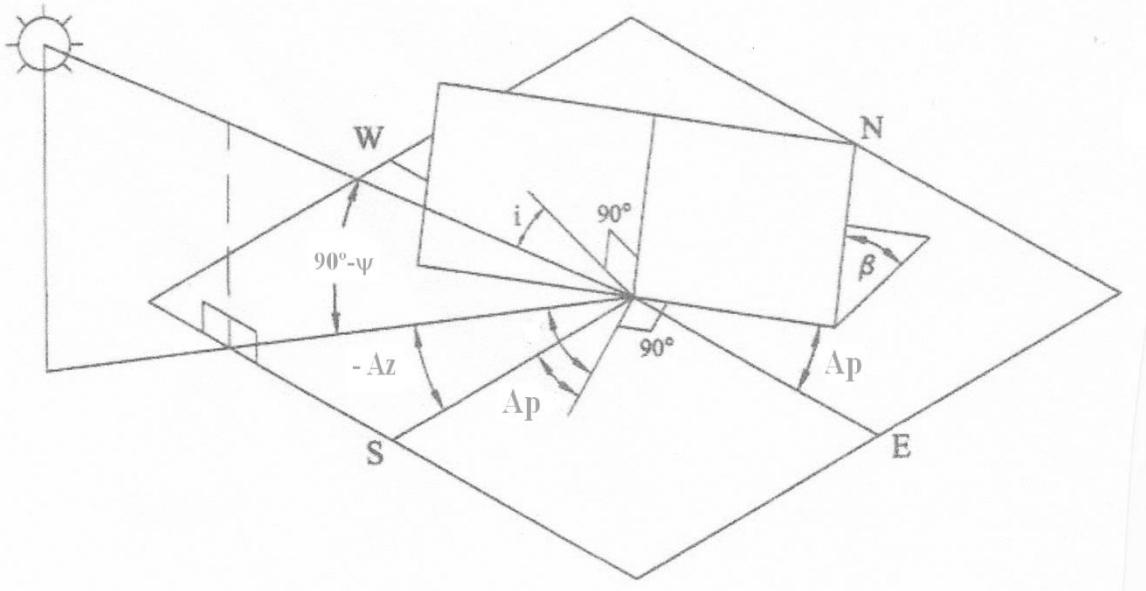
$$A = 2\pi b^2 \left[1 + \frac{a}{b\varepsilon_2} \arcsin \varepsilon_2 \right]$$

$$\text{com } \varepsilon_2 = \left(1 - \frac{b^2}{a^2} \right)^{0.5}$$

Superfície plana inclinada

$$\frac{A_h}{A} = |\cos \alpha - \sin \alpha \tan \psi \cos \theta|$$

No caso dos painéis solares, a radiação que chega a uma superfície inclinada (I_c) com ângulo de inclinação com o plano horizontal, β , e um ângulo azimutal do painel, Ap , com + para este a partir do sul, é composta por três componentes: 1) I_b , a radiação direta que é intercetada pelo painel; 2) I_d , a radiação difusa que é intercetada pelo painel; e 3) I_r , a radiação que sendo refletida no ambiente é intercetada pelo painel.



1. A irradiância direta no painel, I_b :

$$I_b = S_b \frac{\cos i}{\cos \psi}$$

onde S_b é a radiação solar direta (do inglês, *beam*), que por definição é medida numa superfície plana e horizontal, i é o ângulo de incidência da radiação no painel e ψ é o ângulo zenital.

Note-se que

$$\cos \psi = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos 0.2618(t - t_o),$$

onde ϕ é a latitude e δ é a declinação, e

$$\cos i = \sin \psi \cos(Ap - Az) \sin \beta + \cos \psi \cos \beta,$$

onde Ap é o azimute do painel (a partir de sul no sentido retrógrado) e Az é o azimute do sol.

O azimute do sol a partir de sul no sentido retrógrado, Az , é

$$Az = \arccos \frac{-(\sin \delta - \cos \psi \sin \phi)}{\cos \phi \sin \psi},$$

onde δ é a declinação, ψ é o ângulo zenital, e ϕ é a latitude.

2. A radiação difusa que é intercetada pelo painel, I_d :

$$I_d = S_d (1 + \cos \beta)/2$$

onde S_d é a radiação solar difusa, que por definição é medida numa superfície plana e horizontal.

3. A radiação que sendo refletida no ambiente que é intercetada pelo painel, I_r :

$$I_r = \rho S_t (1 - \cos \beta)/2$$

onde S_t é a radiação solar global, que por definição é medida numa superfície plana e horizontal, e ρ é o coeficiente de reflexão do ambiente (e.g., 0.20 para relva; 0.80 para a neve).

A separação da radiação solar direta da radiação solar difusa faz-se utilizando a fórmula seguinte (Spitters *et al.*, 1986):

$$S_d / S_t = 1 \quad \text{para} \quad S_t / S_0 < 0,07$$

$$S_d / S_t = 1 - 2,3(S_t / S_0 - 0,07)^2 \quad \text{para} \quad 0,07 \leq S_t / S_0 < 0,35$$

$$S_d / S_t = 1,33 - 1,46S_t / S_0 \quad \text{para} \quad 0,35 \leq S_t / S_0 < 0,75$$

$$S_d / S_t = 0,23 \quad \text{para} \quad S_t / S_0 \geq 0,75$$

Cilindros verticais

$$\frac{A_h}{A} = \frac{2rh \tan \psi + \pi r^2}{2\pi rh + 2\pi r^2} = \frac{\frac{2x \tan \psi}{\pi} + 1}{2x + 2}$$

com $x = h/r$.

Cilindros horizontais

$$\begin{aligned} \frac{A_h}{A} &= \frac{2rh \sec \psi (1 - \sin^2 \psi \cos^2 \theta)^{0.5} + \pi r^2 \tan \psi \cos \theta}{2\pi rh + 2\pi r^2} \\ &= \frac{\sec \psi \left[2\pi^{-1}x (1 - \sin^2 \psi \cos^2 \theta)^{0.5} + \sin \psi \cos \theta \right]}{2(x+1)} \end{aligned}$$

No caso especial em que $\theta = \pi/2$ temos

$$\frac{A_h}{A} = \frac{x \sec \psi}{\pi(x+1)}$$

e

$$\frac{A_p}{A} = \frac{x}{\pi(x+1)} .$$

Cone

$$\frac{A_h}{A} = \frac{(\pi - \theta_0) \cos \alpha + \sin \alpha \tan \psi \sin \theta_0}{\pi(1 + \cos \alpha)}$$

onde $\theta_0 = \arccos(\cot \psi \cot \alpha)$.

$$\tau = \exp(-KL)$$

$$K_{bk} = 2 \tan \psi / \pi$$

$$K_{bk} = \frac{1}{2 \cos \psi}$$

$$K_E = \frac{\sqrt{x^2 + \tan^2 \psi}}{x + 1.774 (x + 1.182)^{-0.733}}$$

$$\tau_{d(bk)} = 2 \int_0^{\pi/2} \tau_{bk}(\psi) \sin \psi \cos \psi d\psi$$

$$K = K_{bk} \sqrt{1 - \sigma} = K_{bk} \sqrt{\alpha}$$

$$\tau_d = 2 \int_0^{\pi/2} \tau(\psi) \sin \psi \cos \psi d\psi$$

$$S_t \tau_t = S_b \tau(\psi) + S_d \tau_d$$

$$\tau_t(\psi) = (1 - F_d) \tau(\psi) + F_d \tau_d$$

$$\rho_c = \rho_c^* - (\rho_c^* - \rho_s) \exp(-2k L)$$

$$\alpha_c = 1 - \tau_c - \rho_c + \rho_s \tau_c$$

$$\rho_c = \rho_c^* - (\rho_c^* - \rho_s) \tau_c^2$$

Balanço da radiação da ovelha:

$$R_n = (1 - \bar{\rho}_3)(1 + \rho_1) \bar{S}_t + \varepsilon_3 (\bar{L}_d + \bar{L}_e - \sigma T_3^4)$$

V. Transferência de momento, calor e massa

Quadro 1

Entidade transferida	Equação	Elementos da equação	Designação
Momento linear (quantidade de movimento)	$\tau = \mu \frac{du}{dz}$ - Eq. (3) -	τ = fluxo de momento ou tensão de cisalhamento ($N \cdot m^{-2}$) μ = coeficiente de viscosidade dinâmica ($N s m^{-2}$) $\frac{du}{dz}$ = gradiente de velocidade	Lei de Newton da viscosidade
Calor sensível	$H = -k \frac{dT}{dz}$ - Eq. (4) -	H = fluxo de calor sensível ($W m^{-2}$) k = coeficiente de condutividade térmica ($W m^{-1} K^{-1}$) $\frac{dT}{dz}$ = gradiente de temperatura	Lei de Fourier da transferência de calor
Massa	$F_j = -D_j \frac{d\rho_j}{dz}$ - Eq. (5) -	F_j = densidade do fluxo da substância j transferida ($g m^2 s^{-1}$) D_j = coeficiente de difusão molecular ($m^2 s^{-1}$) $\frac{d\rho_j}{dz}$ = gradiente de concentração da substância j	Lei de Fick da difusão

Quadro 2

Entidade transferida	Equação	Elementos da equação
Momento linear	$\tau = D_M \frac{d(\rho u)}{dz}$ - Eq. (6) -	τ = fluxo de momento ($N \cdot m^{-2}$) D_M = coeficiente de difusão do momento ou coeficiente de viscosidade cinemática ($L^2 T^{-1}$) ρ = densidade do fluido ($M L^{-3}$) $\frac{d(\rho u)}{dz}$ = gradiente de concentração de momento
Calor sensível	$H = -D_H \frac{d(\rho c_p T)}{dz}$ - Eq. (7) -	H = fluxo de calor sensível ($W m^{-2}$) D_H = coeficiente de difusão do calor sensível ($L^2 T^{-1}$) c_p = calor específico do ar ($H M^{-1} \theta^{-1}$) ¹ $\frac{d(\rho c_p T)}{dz}$ = gradiente de concentração do calor sensível
Massa	$F_j = -D_j \frac{d\rho_j}{dz}$ - Eq. (5) -	Ver Eq. 5

No caso do vapor de água e do dióxido de carbono, a Eq. 5 apresenta-se nas seguintes formas:

Vapor de água	$E = -D_V \frac{d\chi_V}{dz}$ - Eq. (8) -	E = densidade do fluxo de vapor de água ($g m^{-2} s^{-1}$) D_V = coeficiente de difusão molecular do vapor de água ($L^2 T^{-1}$)
Dióxido de carbono	$P = -D_C \frac{d\chi_C}{dz}$ - Eq. (9) -	P = densidade do fluxo de dióxido de carbono ($g m^{-2} s^{-1}$) D_C = coeficiente de difusão molecular do dióxido de carbono ($L^2 T^{-1}$)

¹ $H = M L^2 T^{-2}$ e θ = temperatura absoluta

Quadro 3

Entidade	Equação integrada	Elementos da equação
Momento linear	$\tau = \frac{\rho u_a}{r_M}$ - Eq. (10) -	u_a = velocidade da corrente livre r_M = resistência à transferência de momento junto à superfície de um corpo
Calor sensível	$H = \rho c_p \frac{T_s - T_a}{r_H}$ - Eq. (11) -	T_s, T_a = temperaturas junto à superfície e no ar r_H = resistência à transferência de calor sensível
Massa	$F_j = \frac{\rho_{s,j} - \rho_{a,j}}{r_j}$ - Eq. (12) -	$\rho_{s,j}, \rho_{a,j}$ = concentração da substância j junto à superfície e no ar r_j = resistência à transferência da substância j

Quando se trata, por exemplo, do vapor de água e do dióxido de carbono, a Eq. 12 toma as seguintes formas:

Vapor de água	$E = \frac{\chi_s - \chi_a}{r_V}$ - Eq. (13 A) -	χ_s, χ_a = concentração de vapor de água (= humidade absoluta) junto à superfície e no ar r_V = resistência à transferência de vapor de água
Dióxido de carbono (oxigénio, gás poluente, ou outro qualquer)	$P = \frac{\rho_{C,s} - \rho_{C,a}}{r_C}$ - Eq. (13 B) -	$\rho_{C,s}, \rho_{C,a}$ = concentração de dióxido de carbono junto à superfície e no ar r_C = resistência à transferência de dióxido de carbono

Quadro 4
Grupos adimensionais para a transferência de calor e massa

Nome	Equação	Símbolos	Explicação
Número de Reynolds (Re)	$Re = \frac{u d}{D_M}$	u = velocidade do fluido D_M = viscosidade cinemática d = dimensão característica (\varnothing de cilindros e esferas, comprimento de lâminas e cilindros, mas sempre no sentido do vento)	Razão entre as forças de inércia e as forças de viscosidade
Número de Grashof (Gr)	$Gr = \frac{\alpha g d^3 (T_s - T_a)}{D_M^2}$ $= 1,58 \times 10^8 d^3 (T_s - T_a)$	α = coeficiente de expansão térmica do fluido (1/273 para o ar) g = aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m s}^{-2}$) T_s = temperatura da superfície T_a = temperatura do fluido	Razão entre (uma força de impulsão \times uma força de inércia) e o quadrado de uma força de viscosidade
Número de Nusselt (Nu)	$Nu = \frac{d}{\delta} = \frac{H d}{\rho c_p D_H (T_s - T_a)}$	H = densidade do fluxo de calor sensível ρ = densidade do fluido c_p = calor específico do fluido D_H = difusibilidade térmica T_s = temperatura da superfície T_a = temperatura do fluido	Razão entre o fluxo de calor sensível (ou entalpia) verificado e o que resultaria da mesma diferença de temperatura aplicada a uma camada estacionária de fluido com uma espessura δ
Número de Sherwood (Sh)	$Sh = \frac{d}{\delta} = \frac{F_j d}{D_j (\rho_{j,s} - \rho_{j,a})}$	F_j = densidade do fluxo de massa da substância j D_j = Coeficiente de difusão molecular da substância j $\rho_{j,s}$ = Concentração da substância à superfície $\rho_{j,a}$ = Concentração da substância no fluido não perturbado pela superfície	Razão entre o fluxo de massa verificado e o que resultaria da mesma diferença de concentração aplicada a uma camada estacionária de fluido com uma espessura δ'
Número de Prandtl (Pr)	$Pr = \frac{D_M}{D_H}$		Razão entre a viscosidade cinemática e a difusibilidade térmica
Número de Lewis (Le)	$Le = \frac{D_H}{D_j}$		
Número de Schmidt (Sc)	$Sc = \frac{D_M}{D_j}$		Razão entre a viscosidade cinemática e a difusibilidade molecular

$$r_H = \frac{d}{\text{Nu } D_H} \quad [\text{s m}^{-1}]$$

$$r_j = \frac{d}{\text{Sh } D_j} \quad [\text{s m}^{-1}]$$

$$r_V = \text{Le}^{1-m} r_C$$

$$\frac{\text{Gr}}{\text{Re}^2}$$

VI. Desenvolvimento

$$1/D = a + bT_a \quad [\text{dia}^{-1}]$$

$$\tau_t = \int_0^t R[T(t)] dt$$

$$\tau_T = \sum_{i=1}^n (T_{a,i} - T_b) \Delta t$$

$$t = \int_0^{\tau_t} R^{-1}[T] d\tau_t$$

VII. Crescimento

$$W = \int \varepsilon i S_t dt \quad [\text{kg m}^{-2}]$$

$$W = \frac{K}{D} T$$

X. Perfis do vento e resistência aerodinâmica em superfícies extensas e uniformes

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z-d}{z_0} \quad [\text{m s}^{-1}] \quad \text{para } z \geq z_0 + d$$

onde

u_* velocidade de fricção [m s⁻¹]

z altura da medição do vento [m]

d altura de deslocamento do plano zero [m]

k constante de von Karman (0.41) [-]

z_0 coeficiente de rugosidade para o momento [m]

$$d = 0.65h$$

$$z_0 = 0.1h$$

$$\tau = K_M \frac{\partial \rho u}{\partial z} = \rho u_*^2 \quad [\text{Pa}]$$

$$C = -K_H \frac{\partial (\rho c_p T)}{\partial z}$$

$$E = -K_v \frac{\partial \chi}{\partial z}$$

$$P = -K_c \frac{\partial \chi_c}{\partial z}$$

$$C = -\rho c_p u_*^2 \frac{dT}{du}$$

$$E = -u_*^2 \frac{d\chi}{du}$$

$$P = -u_*^2 \frac{d\chi_c}{du}$$

$$r_{aM} = \frac{u(z)}{u_*^2} = \frac{\ln \frac{z-d}{z_0}}{ku_*} = \frac{\ln \left(\frac{z-d}{z_0} \right)^2}{k^2 u(z)} \quad [\text{s m}^{-1}]$$

XI. Equação de Penman-Monteith

$$E = \frac{\Delta(Rn - G) + \rho c_p D / r_{aH}}{\lambda \left[\Delta + \gamma \left(\frac{r_s + r_{aV}}{r_{aH}} \right) \right]}$$

XII. Evapotranspiração de referência

$$E = \frac{\Delta(Rn - G) + \rho c_p D / r_a}{\lambda \left[\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a} \right) \right]}$$

$$r_a = \frac{\ln\left(\frac{z_M - d}{z_{0M}}\right) \ln\left(\frac{z_h - d}{z_{0h}}\right)}{k^2 u_z}$$

onde

r_a	resistência aerodinâmica [s m ⁻¹]
z_M	altura da medição do vento [m]
z_h	altura da medição da humidade [m]
d	altura de deslocamento do plano zero [m]
z_{0M}	coeficiente de rugosidade para a transferência de vapor de água [m]
z_{0h}	coeficiente de rugosidade para a transferência de calor e vapor de água [m]
k	constante de von Karman (0.41) [-]
u_z	velocidade do vento [m s ⁻¹]

$$r_a = \frac{208}{u_2}$$

$$r_s = 70 \quad [\text{s m}^{-1}]$$

$$\frac{r_s}{r_a} = \frac{70}{\frac{208}{u_2}} = 0.34 u_2$$

$$\left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right) = 1 + 0.34 u_2$$

XIII. Aerogeradores

A expressão seguinte traduz a potência mecânica disponível no veio de uma turbina eólica:

$$P = 0.5 \rho_a C_p A_p V_a^3$$

onde

ρ_a – densidade do ar [kg/m³];

C_p – rendimento aerodinâmico;

A_p – secção de varrimento das pás da turbina (transversal ao eixo rotor) [m²];

V_a – velocidade do vento no centro do rotor da turbina [m/s]

Constantes

Constante	Nome da constante	Valor	Unidades	Observações
c	Vel. luz no vácuo	2.9979×10^8	m s ⁻¹	
h	Planck	6.6261×10^{-34}	J s	
k	Boltzmann	1.3805×10^{-23}	J K ⁻¹	
p_0	Pressão atmosférica normal	1.01325×10^5	Pa	
N	Avogadro	6.0221×10^{23}	mol ⁻¹	
R	Molar dos gases ideais	8.3145	J mol ⁻¹ K ⁻¹	
σ	Stefan-Boltzmann	5.6697×10^{-8}	W m ⁻² K ⁻⁴	
Propriedades do ar (tratadas como constante entre -5 e 45 °C)				
c_p	Calor específico	1.01	J g ⁻¹ K ⁻¹	
Pr	Número de Prandtl	0.70	-	ν / κ
Propriedades do vapor de água (tratadas como constante entre -5 e 45 °C)				
c_p	Calor específico	1.88	J g ⁻¹ K ⁻¹	
Le	Número de Lewis	0.89		κ / D_v

Sc	Número de Schmidt	0.63		v / D_v
Propriedades do CO₂ (tratadas como constante entre -5 e 45 °C)				
c_p	Calor específico	0.85	$J \text{ g}^{-1} \text{ K}^{-1}$	
Le	Número de Lewis	1.48		κ / D_c
Sc	Número de Schmidt	1.04		v / D_c

From: <http://physics.nist.gov/constants>

Quantity	Value	Uncertainty	Unit
alpha particle-electron mass ratio	7294.299 5365	0.000 0031	
alpha particle mass	6.644 656 20 e-27	0.000 000 33 e-27	kg
alpha particle mass energy equivalent	5.971 919 17 e-10	0.000 000 30 e-10	J
alpha particle mass energy equivalent in MeV	3727.379 109	0.000 093	MeV
alpha particle mass in u	4.001 506 179 127	0.000 000 000 062	u
alpha particle molar mass	4.001 506 179 127 e-3	0.000 000 000 062 e-3	kg mol^-1
alpha particle-proton mass ratio	3.972 599 689 51	0.000 000 000 41	
Angstrom star	1.000 014 98 e-10	0.000 000 90 e-10	m
atomic mass constant	1.660 538 782 e-27	0.000 000 083 e-27	kg
atomic mass constant energy equivalent	1.492 417 830 e-10	0.000 000 074 e-10	J
atomic mass constant energy equivalent in MeV	931.494 028	0.000 023	MeV
atomic mass unit-electron volt relationship	931.494 028 e6	0.000 023 e6	eV
atomic mass unit-hartree relationship	3.423 177 7149 e7	0.000 000 0049 e7	E_h
atomic mass unit-hertz relationship	2.252 342 7369 e23	0.000 000 0032 e23	Hz
atomic mass unit-inverse meter relationship	7.513 006 671 e14	0.000 000 011 e14	m^-1
atomic mass unit-joule relationship	1.492 417 830 e-10	0.000 000 074 e-10	J
atomic mass unit-kelvin relationship	1.080 9527 e13	0.000 0019 e13	K
atomic mass unit-kilogram relationship	1.660 538 782 e-27	0.000 000 083 e-27	kg
atomic unit of 1st hyperpolarizability	3.206 361 533 e-53	0.000 000 081 e-53	C^3 m^3 J^-2
atomic unit of 2nd hyperpolarizability	6.235 380 95 e-65	0.000 000 31 e-65	C^4 m^4 J^-3
atomic unit of action	1.054 571 628 e-34	0.000 000 053 e-34	J s
atomic unit of charge	1.602 176 487 e-19	0.000 000 040 e-19	C
atomic unit of charge density	1.081 202 300 e12	0.000 000 027 e12	C m^-3
atomic unit of current	6.623 617 63 e-3	0.000 000 17 e-3	A
atomic unit of electric dipole mom.	8.478 352 81 e-30	0.000 000 21 e-30	C m
atomic unit of electric field	5.142 206 32 e11	0.000 000 13 e11	V m^-1
atomic unit of electric field gradient	9.717 361 66 e21	0.000 000 24 e21	V m^-2
atomic unit of electric polarizability	1.648 777 2536 e-41	0.000 000 0034 e-41	C^2 m^2 J^-1
atomic unit of electric potential	27.211 383 86	0.000 000 68	V
atomic unit of electric quadrupole mom.	4.486 551 07 e-40	0.000 000 11 e-40	C m^2
atomic unit of energy	4.359 743 94 e-18	0.000 000 22 e-18	J
atomic unit of force	8.238 722 06 e-8	0.000 000 41 e-8	N
atomic unit of length	0.529 177 208 59 e-10	0.000 000 000 36 e-10	m
atomic unit of mag. dipole mom.	1.854 801 830 e-23	0.000 000 046 e-23	J T^-1
atomic unit of mag. flux density	2.350 517 382 e5	0.000 000 059 e5	T
atomic unit of magnetizability	7.891 036 433 e-29	0.000 000 027 e-29	J T^-2
atomic unit of mass	9.109 382 15 e-31	0.000 000 45 e-31	kg
atomic unit of momentum	1.992 851 565 e-24	0.000 000 099 e-24	kg m s^-1
atomic unit of permittivity	1.112 650 056... e-10 (exact)		F m^-1
atomic unit of time	2.418 884 326 505 e-17	0.000 000 000 016 e-17	s
atomic unit of velocity	2.187 691 2541 e6	0.000 000 0015 e6	m s^-1
Avogadro constant	6.022 141 79 e23	0.000 000 30 e23	mol^-1
Bohr magneton	927.400 915 e-26	0.000 023 e-26	J T^-1
Bohr magneton in eV/T	5.788 381 7555 e-5	0.000 000 0079 e-5	eV T^-1
Bohr magneton in Hz/T	13.996 246 04 e9	0.000 000 35 e9	Hz T^-1
Bohr magneton in inverse meters per tesla	46.686 4515	0.000 0012	m^-1 T^-1
Bohr magneton in K/T	0.671 7131	0.000 0012	K T^-1
Bohr radius	0.529 177 208 59 e-10	0.000 000 000 36 e-10	m
Boltzmann constant	1.380 6504 e-23	0.000 0024 e-23	J K^-1
Boltzmann constant in eV/K	8.617 343 e-5	0.000 015 e-5	eV K^-1
Boltzmann constant in Hz/K	2.083 6644 e10	0.000 0036 e10	Hz K^-1
Boltzmann constant in inverse meters per kelvin	69.503 56	0.000 12	m^-1 K^-1
characteristic impedance of vacuum	376.730 313 461... (exact)		ohm
classical electron radius	2.817 940 2894 e-15	0.000 000 0058 e-15	m
Compton wavelength	2.426 310 2175 e-12	0.000 000 0033 e-12	m
Compton wavelength over 2 pi	386.159 264 59 e-15	0.000 000 53 e-15	m
conductance quantum	7.748 091 7004 e-5	0.000 000 0053 e-5	S
conventional value of Josephson constant	483.597.9 e9	(exact)	Hz V^-1
conventional value of von Klitzing constant	25.812.807	(exact)	ohm
Cu x unit	1.002 076 99 e-13	0.000 000 28 e-13	m
deuteron-electron mag. mom. ratio	-4.664 345 537 e-4	0.000 000 039 e-4	
deuteron-electron mass ratio	3670.482 9654	0.000 0016	
deuteron g factor	0.857 438 2308	0.000 000 0072	
deuteron mag. mom.	0.433 073 465 e-26	0.000 000 011 e-26	J T^-1
deuteron mag. mom. to Bohr magneton ratio	0.466 975 4556 e-3	0.000 000 0039 e-3	
deuteron mag. mom. to nuclear magneton ratio	0.857 438 2308	0.000 000 0072	
deuteron mass	3.343 583 20 e-27	0.000 000 17 e-27	kg
deuteron mass energy equivalent	3.005 062 72 e-10	0.000 000 15 e-10	J
deuteron mass energy equivalent in MeV	1875.612 793	0.000 047	MeV
deuteron mass in u	2.013 553 212 724	0.000 000 000 078	u
deuteron molar mass	2.013 553 212 724 e-3	0.000 000 000 078 e-3	kg mol^-1
deuteron-neutron mag. mom. ratio	-0.448 206 52	0.000 000 11	
deuteron-proton mag. mom. ratio	0.307 012 2070	0.000 000 024	
deuteron-proton mass ratio	1.999 007 501 08	0.000 000 000 22	
deuteron rms charge radius	2.1402 e-15	0.0028 e-15	m
electric constant	8.854 187 817... e-12 (exact)		F m^-1
electron charge to mass quotient	-1.758 820 150 e11	0.000 000 044 e11	C kg^-1
electron-deuteron mag. mom. ratio	-2143.923 498	0.000 018	
electron-deuteron mass ratio	2.724 437 1093 e-4	0.000 000 0012 e-4	
electron g factor	-2.002 319 304 3622	0.000 000 000 0015	
electron gyromag. ratio	1.760 859 770 e11	0.000 000 044 e11	s^-1 T^-1
electron gyromag. ratio over 2 pi	28.024.953 64	0.000 70	MHz T^-1
electron mag. mom.	-928.476 377 e-26	0.000 023 e-26	J T^-1
electron mag. mom. anomaly	1.159 652 181 11 e-3	0.000 000 000 74 e-3	
electron mag. mom. to Bohr magneton ratio	-1.001 159 652 181 11	0.000 000 000 000 74	
electron mag. mom. to nuclear magneton ratio	-1838.281 970 92	0.000 000 80	
electron mass	9.109 382 15 e-31	0.000 000 45 e-31	kg
electron mass energy equivalent	8.187 104 38 e-14	0.000 000 41 e-14	J
electron mass energy equivalent in MeV	0.510 998 910	0.000 000 013	MeV
electron mass in u	5.485 799 0943 e-4	0.000 000 0023 e-4	u
electron molar mass	5.485 799 0943 e-7	0.000 000 0023 e-7	kg mol^-1
electron-muon mag. mom. ratio	206.766 9877	0.000 0052	
electron-muon mass ratio	4.836 331 71 e-3	0.000 000 12 e-3	
electron-neutron mag. mom. ratio	960.920 50	0.000 23	
electron-neutron mass ratio	5.438 673 4459 e-4	0.000 000 0033 e-4	
electron-proton mag. mom. ratio	-658.210 6848	0.000 0054	
electron-proton mass ratio	5.446 170 2177 e-4	0.000 000 0024 e-4	
electron-tau mass ratio	2.875 64 e-4	0.000 47 e-4	
electron to alpha particle mass ratio	1.370 933 555 70 e-4	0.000 000 000 58 e-4	
electron to shielded helion mag. mom. ratio	864.058 257	0.000 010	
electron to shielded proton mag. mom. ratio	-658.227 5971	0.000 0072	
electron volt	1.602 176 487 e-19	0.000 000 040 e-19	J

electron volt-atomic mass unit relationship	1.073 544 188 e-9	0.000 000 027 e-9	u
electron volt-hartree relationship	3.674 932 540 e-2	0.000 000 092 e-2	E_h
electron volt-hertz relationship	2.417 989 454 e14	0.000 000 060 e14	Hz
electron volt-inverse meter relationship	8.065 544 65 e5	0.000 000 20 e5	m^-1
electron volt-joule relationship	1.602 176 487 e-19	0.000 000 040 e-19	J
electron volt-kelvin relationship	1.160 4505 e4	0.000 0020 e4	K
electron volt-kilogram relationship	1.782 661 758 e-36	0.000 000 044 e-36	kg
elementary charge	1.602 176 487 e-19	0.000 000 040 e-19	C
elementary charge over h	2.417 989 454 e14	0.000 000 060 e14	A J^-1
Faraday constant	96 485.3399	0.0024	C mol^-1
Faraday constant for conventional electric current	96 485.3401	0.0048	C_90 mol^-1
Fermi coupling constant	1.166 37 e-5	0.000 01 e-5	GeV^-2
fine-structure constant	7.297 352 5376 e-3	0.000 000 0050 e-3	
first radiation constant	3.741 771 18 e-16	0.000 000 19 e-16	W m^2
first radiation constant for spectral radiance	1.191 042 759 e-16	0.000 000 059 e-16	W m^2 sr^-1
hartree-atomic mass unit relationship	2.921 262 2986 e-8	0.000 000 0042 e-8	u
hartree-electron volt relationship	27.211 383 86	0.000 000 68	eV
Hartree energy	4.359 743 94 e-18	0.000 000 22 e-18	J
Hartree energy in eV	27.211 383 86	0.000 000 68	eV
hartree-hertz relationship	6.579 683 920 722 e15	0.000 000 000 044 e15	Hz
hartree-inverse meter relationship	2.194 746 313 705 e7	0.000 000 000 015 e7	m^-1
hartree-joule relationship	4.359 743 94 e-18	0.000 000 22 e-18	J
hartree-kelvin relationship	3.157 7465 e5	0.000 0055 e5	K
hartree-kilogram relationship	4.850 869 34 e-35	0.000 000 24 e-35	kg
helion-electron mass ratio	5495.885 2765	0.000 0052	
helion mass	5.006 411 92 e-27	0.000 000 25 e-27	kg
helion mass energy equivalent	4.499 538 64 e-10	0.000 000 22 e-10	J
helion mass energy equivalent in MeV	2808.391 383	0.000 070	MeV
helion mass in u	3.014 932 2473	0.000 000 026	u
helion molar mass	3.014 932 2473 e-3	0.000 000 0026 e-3	kg mol^-1
helion-proton mass ratio	2.993 152 6713	0.000 000 0026	
hertz-atomic mass unit relationship	4.439 821 6294 e-24	0.000 000 0064 e-24	u
hertz-electron volt relationship	4.135 667 33 e-15	0.000 000 10 e-15	eV
hertz-hartree relationship	1.519 829 846 006 e-16	0.000 000 000 010 e-16	E_h
hertz-inverse meter relationship	3.335 640 951... e-9	(exact)	m^-1
hertz-joule relationship	6.626 068 96 e-34	0.000 000 33 e-34	J
hertz-kelvin relationship	4.799 2374 e-11	0.000 0084 e-11	K
hertz-kilogram relationship	7.372 496 00 e-51	0.000 000 37 e-51	kg
inverse fine-structure constant	137.035 999 679	0.000 000 094	
inverse meter-atomic mass unit relationship	1.331 025 0394 e-15	0.000 000 0019 e-15	u
inverse meter-electron volt relationship	1.239 841 875 e-6	0.000 000 031 e-6	eV
inverse meter-hartree relationship	4.556 335 252 760 e-8	0.000 000 000 030 e-8	E_h
inverse meter-hertz relationship	299 792 458	(exact)	Hz
inverse meter-joule relationship	1.986 445 501 e-25	0.000 000 099 e-25	J
inverse meter-kelvin relationship	1.438 7752 e-2	0.000 0025 e-2	K
inverse meter-kilogram relationship	2.210 218 70 e-42	0.000 000 11 e-42	kg
inverse of conductance quantum	12 906.403 7787	0.000 0088	ohm
Josephson constant	483 597.891 e9	0.012 e9	Hz V^-1
joule-atomic mass unit relationship	6.700 536 41 e9	0.000 000 33 e9	u
joule-electron volt relationship	6.241 509 65 e18	0.000 000 16 e18	eV
joule-hartree relationship	2.293 712 69 e17	0.000 000 11 e17	E_h
joule-hertz relationship	1.509 190 450 e33	0.000 000 075 e33	Hz
joule-inverse meter relationship	5.034 117 47 e24	0.000 000 25 e24	m^-1
joule-kelvin relationship	7.242 963 e22	0.000 013 e22	K
joule-kilogram relationship	1.112 650 056... e-17	(exact)	kg
kelvin-atomic mass unit relationship	9.251 098 e-14	0.000 016 e-14	u
kelvin-electron volt relationship	8.617 343 e-5	0.000 015 e-5	eV
kelvin-hartree relationship	3.166 8153 e-6	0.000 0055 e-6	E_h
kelvin-hertz relationship	2.083 6644 e10	0.000 0036 e10	Hz
kelvin-inverse meter relationship	69.503 56	0.000 12	m^-1
kelvin-joule relationship	1.380 6504 e-23	0.000 0024 e-23	J
kelvin-kilogram relationship	1.536 1807 e-40	0.000 0027 e-40	kg
kilogram-atomic mass unit relationship	6.022 141 79 e26	0.000 000 30 e26	u
kilogram-electron volt relationship	5.609 589 12 e35	0.000 000 14 e35	eV
kilogram-hartree relationship	2.061 486 16 e34	0.000 000 10 e34	E_h
kilogram-hertz relationship	1.356 392 733 e50	0.000 000 068 e50	Hz
kilogram-inverse meter relationship	4.524 439 15 e41	0.000 000 23 e41	m^-1
kilogram-joule relationship	8.987 551 787... e16	(exact)	J
kilogram-kelvin relationship	6.509 651 e39	0.000 011 e39	K
lattice parameter of silicon	543.102 064 e-12	0.000 014 e-12	m
Loschmidt constant (273.15 K, 101.325 kPa)	2.686 7774 e25	0.000 0047 e25	m^-3
mag. constant	12.566 370 614... e-7	(exact)	N A^-2
mag. flux quantum	2.067 833 667 e-15	0.000 000 052 e-15	Wb
molar gas constant	8.314 472	0.000 015	J mol^-1 K^-1
molar mass constant	1 e-3	(exact)	kg mol^-1
molar mass of carbon-12	12 e-3	(exact)	kg mol^-1
molar Planck constant	3.990 312 6821 e-10	0.000 000 0057 e-10	J s mol^-1
molar Planck constant times c	0.119 626 564 72	0.000 000 000 17	J m mol^-1
molar volume of ideal gas (273.15 K, 100 kPa)	22.710 981 e-3	0.000 040 e-3	m^3 mol^-1
molar volume of ideal gas (273.15 K, 101.325 kPa)	22.413 996 e-3	0.000 039 e-3	m^3 mol^-1
molar volume of silicon	12.058 8349 e-6	0.000 0011 e-6	m^3 mol^-1
Mo x unit	1.002 099 55 e-13	0.000 000 53 e-13	m
muon Compton wavelength	11.734 441 04 e-15	0.000 000 30 e-15	m
muon Compton wavelength over 2 pi	1.867 594 295 e-15	0.000 000 047 e-15	m
muon-electron mass ratio	206.768 2823	0.000 0052	
muon g factor	-2.002 331 8414	0.000 000 0012	
muon mag. mom.	-4.490 447 86 e-26	0.000 000 16 e-26	J T^-1
muon mag. mom. anomaly	1.165 920 69 e-3	0.000 000 60 e-3	
muon mag. mom. to Bohr magneton ratio	-4.841 970 49 e-3	0.000 000 12 e-3	
muon mag. mom. to nuclear magneton ratio	-8.890 597 05	0.000 000 23	
muon mass	1.883 531 30 e-28	0.000 000 11 e-28	kg
muon mass energy equivalent	1.692 833 510 e-11	0.000 000 095 e-11	J
muon mass energy equivalent in MeV	105.658 3668	0.000 0038	MeV
muon mass in u	0.113 428 9256	0.000 000 029	u
muon molar mass	0.113 428 9256 e-3	0.000 000 029 e-3	kg mol^-1
muon-neutron mass ratio	0.112 454 5167	0.000 000 029	
muon-proton mag. mom. ratio	-3.183 345 137	0.000 000 085	
muon-proton mass ratio	0.112 609 5261	0.000 000 029	
muon-tau mass ratio	5.945 92 e-2	0.000 97 e-2	
natural unit of action	1.054 571 628 e-34	0.000 000 053 e-34	J s
natural unit of action in eV s	6.582 118 99 e-16	0.000 000 16 e-16	eV s
natural unit of energy	8.187 104 38 e-14	0.000 000 41 e-14	J
natural unit of energy in MeV	0.510 998 910	0.000 000 013	MeV
natural unit of length	386.159 264 59 e-15	0.000 000 53 e-15	m
natural unit of mass	9.109 382 15 e-31	0.000 000 45 e-31	kg
natural unit of momentum	2.730 924 06 e-22	0.000 000 14 e-22	kg m s^-1
natural unit of momentum in MeV/c	0.510 998 910	0.000 000 013	MeV/c
natural unit of time	1.288 088 6570 e-21	0.000 000 0018 e-21	s
natural unit of velocity	299 792 458	(exact)	m s^-1
neutron Compton wavelength	1.319 590 8951 e-15	0.000 000 0020 e-15	m
neutron Compton wavelength over 2 pi	0.210 019 413 82 e-15	0.000 000 000 31 e-15	m

neutron-electron mag. mom. ratio	1.040 668 82 e-3	0.000 000 25 e-3	
neutron-electron mass ratio	1838.683 6605	0.000 0011	
neutron g factor	-3.826 085 45	0.000 000 90	
neutron gyromag. ratio	1.832 471 85 e8	0.000 000 43 e8	s^-1 T^-1
neutron gyromag. ratio over 2 pi	29.164 6954	0.000 0069	MHz T^-1
neutron mag. mom.	-0.966 236 41 e-26	0.000 000 23 e-26	J T^-1
neutron mag. mom. to Bohr magneton ratio	-1.041 875 63 e-3	0.000 000 25 e-3	
neutron mag. mom. to nuclear magneton ratio	-1.913 042 73	0.000 000 45	
neutron mass	1.674 927 211 e-27	0.000 000 084 e-27	kg
neutron mass energy equivalent	1.505 349 505 e-10	0.000 000 075 e-10	J
neutron mass energy equivalent in MeV	939.565 346	0.000 023	MeV
neutron mass in u	1.008 664 915 97	0.000 000 000 43	u
neutron molar mass	1.008 664 915 97 e-3	0.000 000 000 43 e-3	kg mol^-1
neutron-muon mass ratio	8.892 484 09	0.000 000 23	
neutron-proton mag. mom. ratio	-0.684 979 34	0.000 000 16	
neutron-proton mass ratio	1.001 378 419 18	0.000 000 000 46	
neutron-tau mass ratio	0.528 740	0.000 086	
neutron to shielded proton mag. mom. ratio	-0.684 996 94	0.000 000 16	
Newtonian constant of gravitation	6.674 28 e-11	0.000 67 e-11	m^3 kg^-1 s^-2
Newtonian constant of gravitation over h-bar c	6.708 81 e-39	0.000 67 e-39	(GeV/c^2)^-2
nuclear magneton	5.050 783 24 e-27	0.000 000 13 e-27	J T^-1
nuclear magneton in eV/T	3.152 451 2326 e-8	0.000 000 0045 e-8	eV T^-1
nuclear magneton in inverse meters per tesla	2.542 623 616 e-2	0.000 000 064 e-2	m^-1 T^-1
nuclear magneton in K/T	3.658 2637 e-4	0.000 0064 e-4	K T^-1
nuclear magneton in MHz/T	7.622 593 84	0.000 000 19	MHz T^-1
Planck constant	6.626 068 96 e-34	0.000 000 33 e-34	J s
Planck constant in eV s	4.135 667 33 e-15	0.000 000 10 e-15	eV s
Planck constant over 2 pi	1.054 571 628 e-34	0.000 000 053 e-34	J s
Planck constant over 2 pi in eV s	6.582 118 99 e-16	0.000 000 16 e-16	eV s
Planck constant over 2 pi times c in MeV fm	197.326 9631	0.000 0049	MeV fm
Planck length	1.616 252 e-35	0.000 081 e-35	m
Planck mass	2.176 44 e-8	0.000 11 e-8	kg
Planck mass energy equivalent in GeV	1.220 892 e19	0.000 061 e19	GeV
Planck temperature	1.416 785 e32	0.000 071 e32	K
Planck time	5.391 24 e-44	0.000 27 e-44	s
proton charge to mass quotient	9.578 833 92 e7	0.000 000 24 e7	C kg^-1
proton Compton wavelength	1.321 409 8446 e-15	0.000 000 0019 e-15	m
proton Compton wavelength over 2 pi	0.210 308 908 61 e-15	0.000 000 000 30 e-15	m
proton-electron mass ratio	1836.152 672 47	0.000 000 80	
proton g factor	5.585 694 713	0.000 000 046	
proton gyromag. ratio	2.675 222 099 e8	0.000 000 070 e8	s^-1 T^-1
proton gyromag. ratio over 2 pi	42.577 4821	0.000 0011	MHz T^-1
proton mag. mom.	1.410 606 662 e-26	0.000 000 037 e-26	J T^-1
proton mag. mom. to Bohr magneton ratio	1.521 032 209 e-3	0.000 000 012 e-3	
proton mag. mom. to nuclear magneton ratio	2.792 847 356	0.000 000 023	
proton mag. shielding correction	25.694 e-6	0.014 e-6	
proton mass	1.672 621 637 e-27	0.000 000 083 e-27	kg
proton mass energy equivalent	1.503 277 359 e-10	0.000 000 075 e-10	J
proton mass equivalent in MeV	938.272 013	0.000 023	MeV
proton mass in u	1.007 276 466 77	0.000 000 000 10	u
proton molar mass	1.007 276 466 77 e-3	0.000 000 000 10 e-3	kg mol^-1
proton-muon mass ratio	8.880 243 39	0.000 000 23	
proton-neutron mag. mom. ratio	-1.459 898 06	0.000 000 34	
proton-neutron mass ratio	0.998 623 478 24	0.000 000 000 46	
proton rms charge radius	0.8768 e-15	0.0069 e-15	m
proton-tau mass ratio	0.528 012	0.000 086	
quantum of circulation	3.636 947 5199 e-4	0.000 000 0050 e-4	m^2 s^-1
quantum of circulation times 2	7.273 895 040 e-4	0.000 000 010 e-4	m^2 s^-1
Rydberg constant	10.973 731.568 527	0.000 073	m^-1
Rydberg constant times c in Hz	3.289 841 960 361 e15	0.000 000 000 022 e15	Hz
Rydberg constant times hc in eV	13.605 691 93	0.000 000 34	eV
Rydberg constant times hc in J	2.179 871 97 e-18	0.000 000 11 e-18	J
Sackur-Tetrode constant (1 K, 100 kPa)	-1.151 7047	0.000 0044	
Sackur-Tetrode constant (1 K, 101.325 kPa)	-1.164 8677	0.000 0044	
second radiation constant	1.438 7752 e-2	0.000 0025 e-2	m K
shielded helion gyromag. ratio	2.037 894 730 e8	0.000 000 056 e8	s^-1 T^-1
shielded helion gyromag. ratio over 2 pi	32.434 101 98	0.000 000 90	MHz T^-1
shielded helion mag. mom.	-1.074 552 982 e-26	0.000 000 030 e-26	J T^-1
shielded helion mag. mom. to Bohr magneton ratio	-1.158 671 471 e-3	0.000 000 014 e-3	
shielded helion mag. mom. to nuclear magneton ratio	-2.127 497 718	0.000 000 025	
shielded helion to proton mag. mom. ratio	-0.761 766 558	0.000 000 011	
shielded helion to shielded proton mag. mom. ratio	-0.761 786 1313	0.000 000 0033	
shielded proton gyromag. ratio	2.675 153 362 e8	0.000 000 073 e8	s^-1 T^-1
shielded proton gyromag. ratio over 2 pi	42.576 3881	0.000 0012	MHz T^-1
shielded proton mag. mom.	1.410 570 419 e-26	0.000 000 038 e-26	J T^-1
shielded proton mag. mom. to Bohr magneton ratio	1.520 993 128 e-3	0.000 000 017 e-3	
shielded proton mag. mom. to nuclear magneton ratio	2.792 775 598	0.000 000 030	
speed of light in vacuum	299.792 458	(exact)	m s^-1
standard acceleration of gravity	9.806 65	(exact)	m s^-2
standard atmosphere	101 325	(exact)	Pa
Stefan-Boltzmann constant	5.670 400 e-8	0.000 040 e-8	W m^-2 K^-4
tau Compton wavelength	0.697 72 e-15	0.000 11 e-15	m
tau Compton wavelength over 2 pi	0.111 046 e-15	0.000 018 e-15	m
tau-electron mass ratio	3477.48	0.57	
tau mass	3.167 77 e-27	0.000 52 e-27	kg
tau mass energy equivalent	2.847 05 e-10	0.000 46 e-10	J
tau mass energy equivalent in MeV	1776.99	0.29	MeV
tau mass in u	1.907 68	0.000 31	u
tau molar mass	1.907 68 e-3	0.000 31 e-3	kg mol^-1
tau-muon mass ratio	16.8183	0.0027	
tau-neutron mass ratio	1.891 29	0.000 31	
tau-proton mass ratio	1.893 90	0.000 31	
Thomson cross section	0.665 245 8558 e-28	0.000 000 0027 e-28	m^2
triton-electron mag. mom. ratio	-1.620 514 423 e-3	0.000 000 021 e-3	
triton-electron mass ratio	5496.921 5269	0.000 0051	
triton g factor	5.957 924 896	0.000 000 076	
triton mag. mom.	1.504 609 361 e-26	0.000 000 042 e-26	J T^-1
triton mag. mom. to Bohr magneton ratio	1.622 393 657 e-3	0.000 000 021 e-3	
triton mag. mom. to nuclear magneton ratio	2.978 962 448	0.000 000 038	
triton mass	5.007 355 88 e-27	0.000 000 25 e-27	kg
triton mass energy equivalent	4.500 387 03 e-10	0.000 000 22 e-10	J
triton mass energy equivalent in MeV	2808.920 906	0.000 070	MeV
triton mass in u	3.015 500 7134	0.000 000 0025	u
triton molar mass	3.015 500 7134 e-3	0.000 000 0025 e-3	kg mol^-1
triton-neutron mag. mom. ratio	-1.557 185 53	0.000 000 37	
triton-proton mag. mom. ratio	1.066 639 908	0.000 000 010	
triton-proton mass ratio	2.993 717 0309	0.000 000 0025	
unified atomic mass unit	1.660 538 782 e-27	0.000 000 083 e-27	kg
von Klitzing constant	25.812.807 557	0.000 018	ohm
weak mixing angle	0.222 55	0.000 56	
Wien frequency displacement law constant	5.878 933 e10	0.000 010 e10	Hz K^-1

Wien wavelength displacement law constant 2.897 7685 e-3 0.000 0051 e-3 m K