

STAŁE FIZYCZNE

The Fundamental Physical Constants

Abstract: The 1998 updated fundamental physical constants are reprinted and described.

1. Wstęp

Współczesne wartości podstawowych stałych fizycznych zostały wyrównane metodą najmniejszych kwadratów przez P.J. Mohra i B.N. Taylora [1, 2] w Narodowym Instytucie Nauki i Techniki, NIST, w Gaithersburgu, stanie Maryland 20899-8401, USA. Tabele wyrównanych stałych są od 1998 r. udostępnione w "portable document format" w Internecie pod adresem: <http://physics.nist.gov/constants>. Copyright *American Institute of Physics and American Chemical Society*. Omówienie uzyskanych do 31 grudnia 1998 r. danych pomiarowych, najważniejszych wyników koniecznych rachunków elektrodynamiki kwantowej, oraz metod oceny danych i ich standardowych niepewności zostało opublikowane drukiem w 1999 r. [1] i w 2000 r. [2, 3]

2. Stałe fizyczne wyrównane w 1998 r.

Nowy zestaw wyrównanych stałych jest przede wszystkim wynikiem udoskonalonych pomiarów. Szczególna dokładność uzyskana została w pomiarach częstości, zamiast długości fal, przejść optycznych w atomie wodoru wyznaczających stałą Rydberga R_∞ . Grupa Optyki kwantowej w Instytucie Maxa Plancka (MPQ) w Garching [4], oraz grupa w Laboratorium Kastlera-Brossela w Ecole Normale Supérieure i w Uniwersytecie Piotra i Marii Curie wraz z Laboratoire Primaire du Temps et des Fréquences (LPTF), Bureau National de Métrologie-Observatoire, w Paryżu [5, 6] dokonały pomiarów dwufotonowej spektroskopii w promieniach atomowych wodoru H i deuteru D. Szczegóły tych skomplikowanych pomiarów wymagają opisów zawartych w cytowanej literaturze [1, 2].

Tabele wyrównanych w 1998 r. stałych podają dane dla elektronu, mionu, taonu, protonu, neutronu, deuteronu, helionu t.j. jądra atomu helu ^3He , i cząstki alfa. Pomiary w pułapce Penninga [2, 7, 8, 9] zmniejszyły o rząd wielkości niepewności standardowe wartości względnych mas atomowych cząstek trwałych, oraz poprawiły dokładność wyznaczenia anomalii a_e momentu magnetycznego elektronu [2, 8, 9]. Niepewność standardowa stałej struktury subtelnej α została zmniejszona o czynnik 12,2 w porównaniu z danymi wyrównania z 1986 r. Nowe pomiary w NIST [2, 10] zmniejszyły niepewność standardową stałej Plancka h o czynnik 7,7. Pomiary prędkości dźwięku w argonie w kulistym rezonatorze [2, 11] zredukowały niepewność standardową wartości molowej stałej gazowej R o czynnik 4,8. Wartości stałych wyrównane w procedurze najmniejszych kwadratów są skorelowane. Podane standardowe niepewności stałych są dodatnimi pierwiastkami kwadratowymi diagonalnych elementów macierzy kowariancji wyrównanych stałych. Macierze wariancji, kowariancji i współczynników korelacji tych wyrównanych stałych są dostępne w Internecie pod podanym adresem NIST. Względne niepewności standardowe wyrównanych stałych są obecnie przeważnie rzędu 10^{-8} , tak, że nie wyraża się ich w "parts per million, ppm", jak w poprzednio publikowanych wyrównaniach [12, 13, 14, 15, 16, 17]. W podanej literaturze wyrównania stałych [1, 2] cytowane są wyniki rachunków elektrodynamiki kwantowej anomalii momentu magnetycznego elektronu i mionu [18, 19, 20, 21, 22], oraz poprawek do poziomów energii w atomie wodoru [18, 23, 24, 25, 26], uwarunkowanych m.in. przez relatywistyczne uwzględnienie odrzutu i polaryzację jądra [27]. Cytowane są także wyniki rachunków nadsubtelnego rozszczepienia stanu podstawowego w atomie mionium (μ^+e^-) [20, 25, 28], którego pomiar [29] pozwala niezależnie wyznaczyć wartość stałej struktury subtelnej α . Wiele ważnych stałych podstawowych zależy właśnie od stałej struktury subtelnej α , stałej Plancka h , stałej Rydberga R_∞ , i względnej atomowej masy elektronu $A_r(e)$, a stałych fizykochemicznych także od molowej stałej gazowej R .

Obecnie przedrukowujemy w tłumaczeniu na język polski Tabele wyrównanych w 1998 r. wartości stałych. Tabele w publikacjach [1, 2, 3] zawierają stałe elektromagnetyczne, stałe atomowe, wybrane jądrowe, oraz stałe fizykochemiczne. Osobne Tabele przedstawiają wartości stałych przyjęte w umowach międzynarodowych oraz wzorce długości fal wyznaczone w pomiarach ugięcia promieni X. Dalej przytoczone Tabele podają ważne praktycznie współczynniki przeliczenia równoważników energii często używanych w fizyce i chemii oraz nazwy jednostek SI. Krytyczne omówienie układu nowych wyrównanych stałych fizycznych opublikowane jest w *Physics Today Buyers Guide* [3]. Tam też podane są [30] tabele najważniejszych jednostek fizycznych, "SI units", zalecanych przez *Système International d'Unités*. Wartości podstawowych stałych fizycznych wyrównane w 1998 r. są zalecane do użytku przez CODATA, Committee on Data for Science and Technology of the International Council for Science. Aktualne wartości parametrów cząstek elementarnych publikuje co dwa lata grupa specjalistów, Particle Data Group, w "*Review of particle properties*" [16, 17, 31].

Tabela 1. Podstawowe stałe fizyczne — często używane.

Zalecane przez CODATA [1, 2, 3] wartości podstawowych stałych fizyki i chemii oparte na wyrównaniu 1998 r. W nawiasach po wartości podano odchylenie standardowe ostatnich cyfr.

Wielkość	Symbol	Wartość	Jednostka	Względna niepewność standardowa
Prędkość światła w próżni	c, c_0	299 792 458	m s^{-1}	(dokładnie)
Stała magnetyczna	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$ $= 12,566\,370\,614\dots \times 10^{-7}$	N A^{-2} N A^{-2}	(dokładnie)
Stała elektryczna $1/\mu_0 c^2$	ϵ_0	$8,854\,187\,817\dots \times 10^{-12}$	F m^{-1}	(dokładnie)
Stała grawitacji Newtona	G	$6,673(10) \times 10^{-11}$	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$	$1,5 \times 10^{-3}$
Stała Plancka	h	$6,626\,068\,76(52) \times 10^{-34}$	J s	$7,8 \times 10^{-8}$
$h/2\pi$	\hbar	$1,054\,571\,596(82) \times 10^{-34}$	J s	$7,8 \times 10^{-8}$
Ładunek elementarny	e	$1,602\,176\,462(63) \times 10^{-19}$	C	$3,9 \times 10^{-8}$
Kwant strumienia magnetycznego $h/2e$	Φ_0	$2,067\,833\,636(81) \times 10^{-15}$	Wb	$3,9 \times 10^{-8}$
Kwant przewodności $2e^2/h$	G_0	$7,748\,091\,696(28) \times 10^{-5}$	S	$3,7 \times 10^{-9}$
Masa elektronu	m_e	$9,109\,381\,88(72) \times 10^{-31}$	kg	$7,9 \times 10^{-8}$
Masa protonu	m_p	$1,672\,621\,58(13) \times 10^{-27}$	kg	$7,9 \times 10^{-8}$
Stosunek masy protonu do masy elektronu	m_p/m_e	1 836,152 6675(39)		$2,1 \times 10^{-9}$
Stała struktury subtelnej $e^2/4\pi\epsilon_0\hbar c$	α	$7,297\,352\,533(27) \times 10^{-3}$		$3,7 \times 10^{-9}$
odwrotność stałej struktury subtelnej	α^{-1}	137,035 999 76(50)		$3,7 \times 10^{-9}$
Stała Rydberga $\alpha^2 m_e c/2\hbar$	R_∞	10 973 731,568 549(83)	m^{-1}	$7,6 \times 10^{-12}$
Promień Bohra $\alpha/4\pi R_\infty$	a_0	$0,529\,177\,2083(19) \times 10^{-10}$	m	$3,7 \times 10^{-9}$
Energia Hartree $e^2/4\pi\epsilon_0 a_0 = 2R_\infty \hbar c$	E_h	$4,359\,743\,81(34) \times 10^{-18}$	J	$7,8 \times 10^{-8}$
w eV		27,211 3834(11)	eV	$3,9 \times 10^{-8}$
Stała Avogadra	N_A	$6,022\,141\,99(47) \times 10^{23}$	mol^{-1}	$7,9 \times 10^{-8}$
Stała Faradaya $N_A e$	F	96 485,3415(39)	C mol^{-1}	$4,0 \times 10^{-8}$
Molowa stała gazowa	R	8,314 472(15)	$\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$	$1,7 \times 10^{-6}$
Stała Boltzmanna R/N_A	k	$1,380\,6503(24) \times 10^{-23}$	J K^{-1}	$1,7 \times 10^{-6}$
Stała Stefana-Boltzmannna $(\pi^2/60)k^4/\hbar^3 c^2$	σ	$5,670\,400(40) \times 10^{-8}$	$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$	$7,0 \times 10^{-6}$
Jednostki pozaukładowe używane w układzie SI				
elektronowolt: $(e/C)\text{J}$	eV	$1,602\,176\,462(63) \times 10^{-19}$	J	$3,9 \times 10^{-8}$
atomowa jednostka masy $1 \text{ u} = m_{\text{u}} = \frac{1}{12} m(^{12}\text{C})$ $= 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}/N_A$	u	$1,660\,538\,73(13) \times 10^{-27}$	kg	$7,9 \times 10^{-8}$

Tabela 2. Podstawowe stałe fizyczne.

Zalecane przez CODATA [1, 2, 3] wartości podstawowych stałych fizyki i chemii oparte na wyrównaniu 1998 r.

W nawiasach po wartości podano odchylenie standardowe ostatnich cyfr.

Wielkość	Symbol	Wartość	Jednostka	Względna niepewność standardowa
UNIWERSALNE				
Prędkość światła w próżni	c, c_0	299 792 458	m s^{-1}	(dokładnie)
Stała magnetyczna	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$ $= 12,566\,370\,614\dots \times 10^{-7}$	N A^{-2}	(dokładnie)
Stała elektryczna $1/\mu_0 c^2$	ϵ_0	$8,854\,187\,817\dots \times 10^{-12}$	F m^{-1}	(dokładnie)
Impedancja próżni $\sqrt{\mu_0/\epsilon_0} = \mu_0 c$	Z_0	376,730 313 461...	Ω	(dokładnie)
Stała grawitacji Newtona	G $G/\hbar c$	$6,673(10) \times 10^{-11}$ $6,707(10) \times 10^{-39}$	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$ $(\text{GeV}/c^2)^{-2}$	$1,5 \times 10^{-3}$ $1,5 \times 10^{-3}$
Stała Plancka	h	$6,626\,068\,76(52) \times 10^{-34}$	J s	$7,8 \times 10^{-8}$
w eV s		$4,135\,667\,27(16) \times 10^{-15}$	eV s	$3,9 \times 10^{-8}$
$h/2\pi$	\hbar	$1,054\,571\,596(82) \times 10^{-34}$	J s	$7,8 \times 10^{-8}$
w eV s		$6,582\,118\,89(26) \times 10^{-16}$	eV s	$3,9 \times 10^{-8}$
Masa Plancka $(\hbar c/G)^{1/2}$	m_{P}	$2,1767(16) \times 10^{-8}$	kg	$7,5 \times 10^{-4}$
długość Plancka $\hbar/m_{\text{P}}c = (\hbar G/c^3)^{1/2}$	l_{P}	$1,6160(12) \times 10^{-35}$	m	$7,5 \times 10^{-4}$
czas Plancka $l_{\text{P}}/c = (\hbar G/c^5)^{1/2}$	t_{P}	$5,3906(40) \times 10^{-44}$	s	$7,5 \times 10^{-4}$
ELEKTROMAGNETYCZNE				
Ladunek elementarny	e	$1,602\,176\,462(63) \times 10^{-19}$	C	$3,9 \times 10^{-8}$
	e/h	$2,417\,989\,491(95) \times 10^{14}$	A J^{-1}	$3,9 \times 10^{-8}$
Kwant strumienia magnetycznego $h/2e$	Φ_0	$2,067\,833\,636(81) \times 10^{-15}$	Wb	$3,9 \times 10^{-8}$
Kwant przewodności $2e^2/h$	G_0	$7,748\,091\,696(28) \times 10^{-5}$	S	$3,7 \times 10^{-9}$
odwrotność kwantu przewodności	G_0^{-1}	12 906,403 786(47)	Ω	$3,7 \times 10^{-9}$
Stała Josephsona ^a $2e/h$	K_{J}	$483\,597,898(19) \times 10^9$	Hz V^{-1}	$3,9 \times 10^{-8}$
Stała von Klitzinga ^b $h/e^2 = \mu_0 c/2\alpha$	R_{K}	25 812,807 572(95)	Ω	$3,7 \times 10^{-9}$
Magneton Bohra $e\hbar/2m_e$	μ_{B}	$927,400\,899(37) \times 10^{-26}$	J T^{-1}	$4,0 \times 10^{-8}$
w eV T ⁻¹		$5,788\,381\,749(43) \times 10^{-5}$	eV T^{-1}	$7,3 \times 10^{-9}$
	μ_{B}/h	$13,996\,246\,24(56) \times 10^9$	Hz T^{-1}	$4,0 \times 10^{-8}$
	μ_{B}/hc	46,686 4521(19)	$\text{m}^{-1} \text{T}^{-1}$	$4,0 \times 10^{-8}$
	μ_{B}/k	0,671 7131(12)	K T^{-1}	$1,7 \times 10^{-6}$
Magneton jądrowy $e\hbar/2m_{\text{p}}$	μ_{N}	$5,050\,783\,17(20) \times 10^{-27}$	J T^{-1}	$4,0 \times 10^{-8}$
w eV T ⁻¹		$3,152\,451\,238(24) \times 10^{-8}$	eV T^{-1}	$7,6 \times 10^{-9}$
	μ_{N}/h	7,622 593 96(31)	MHz T^{-1}	$4,0 \times 10^{-8}$
	μ_{N}/hc	$2,542\,623\,66(10) \times 10^{-2}$	$\text{m}^{-1} \text{T}^{-1}$	$4,0 \times 10^{-8}$
	μ_{N}/k	$3,658\,2638(64) \times 10^{-4}$	K T^{-1}	$1,7 \times 10^{-6}$
STAŁE ATOMOWE I JADROWE				
Ogólne				
Stała struktury subtelnej $e^2/4\pi\epsilon_0\hbar c$	α	$7,297\,352\,533(27) \times 10^{-3}$		$3,7 \times 10^{-9}$
odwrotność stałej struktury subtelnej	α^{-1}	137,035 999 76(50)		$3,7 \times 10^{-9}$
Stała Rydberga $\alpha^2 m_e c/2\hbar$	R_{∞}	10 973 731,568 549(83)	m^{-1}	$7,6 \times 10^{-12}$
	$R_{\infty} c$	$3,289\,841\,960\,368(25) \times 10^{15}$	Hz	$7,6 \times 10^{-12}$
	$R_{\infty} hc$	$2,179\,871\,90(17) \times 10^{-18}$	J	$7,8 \times 10^{-8}$
$R_{\infty} hc$ w eV		13,605 691 72(53)	eV	$3,9 \times 10^{-8}$
Promień Bohra $\alpha/4\pi R_{\infty} = 4\pi\epsilon_0\hbar^2/m_e e^2$	a_0	$0,529\,177\,2083(19) \times 10^{-10}$	m	$3,7 \times 10^{-9}$

Wielkość	Symbol	Wartość	Jednostka	Względna niepewność standardowa
Energia Hartree $e^2/4\pi\epsilon_0 a_0 = 2R_\infty hc$ $=\alpha^2 m_e c^2$ w eV	E_h	$4,359\,743\,81(34) \times 10^{-18}$ $27,211\,3834(11)$	J eV	$7,8 \times 10^{-8}$ $3,9 \times 10^{-8}$
Kwant cyrkulacji	$h/2m_e$ h/m_e	$3,636\,947\,516(27) \times 10^{-4}$ $7,273\,895\,032(53) \times 10^{-4}$	$m^2\,s^{-1}$ $m^2\,s^{-1}$	$7,3 \times 10^{-9}$ $7,3 \times 10^{-9}$
Elektrosłabe				
Stała sprzężenia Fermiego ^c Kąt mieszania oddziaływań słabych ^d θ_W $\sin^2 \theta_W = s_W^2 \equiv 1 - (m_W/m_Z)^2$	$G_F/(\hbar c)^3$ $\sin^2 \theta_W$	$1,166\,39(1) \times 10^{-5}$ $0,2224(19)$	GeV^{-2}	$8,6 \times 10^{-6}$ $8,7 \times 10^{-3}$
Elektron, e^-				
Masa elektronu w u, $m_e = A_r(e)u$ (względna masa atomowa elektronu $\times u$) równoważnik energii w MeV	m_e $m_e c^2$	$9,109\,381\,88(72) \times 10^{-31}$ $5,485\,799\,110(12) \times 10^{-4}$ $8,187\,104\,14(64) \times 10^{-14}$ $0,510\,998\,902(21)$	kg u J MeV	$7,9 \times 10^{-8}$ $2,1 \times 10^{-9}$ $7,9 \times 10^{-8}$ $4,0 \times 10^{-8}$
Stosunek masy elektronu do masy mionu do masy taonu do masy protonu do masy neutronu do masy deuteronu do masy cząstki alfa	m_e/m_μ m_e/m_τ m_e/m_p m_e/m_n m_e/m_d m_e/m_α	$4,836\,332\,10(15) \times 10^{-3}$ $2,875\,55(47) \times 10^{-4}$ $5,446\,170\,232(12) \times 10^{-4}$ $5,438\,673\,462(12) \times 10^{-4}$ $2,724\,437\,1170(58) \times 10^{-4}$ $1,370\,933\,5611(29) \times 10^{-4}$		$3,0 \times 10^{-8}$ $1,6 \times 10^{-4}$ $2,1 \times 10^{-9}$ $2,2 \times 10^{-9}$ $2,1 \times 10^{-9}$ $2,1 \times 10^{-9}$
Stosunek ładunku do masy elektronu Długość fali Comptona $h/m_e c$ $\lambda_C/2\pi = \alpha a_0 = \alpha^2/4\pi R_\infty$	$-e/m_e$ λ_C λ_C	$-1,758\,820\,174(71) \times 10^{11}$ $2,426\,310\,215(18) \times 10^{-12}$ $386,159\,2642(28) \times 10^{-15}$	C kg^{-1} m m	$4,0 \times 10^{-8}$ $7,3 \times 10^{-9}$ $7,3 \times 10^{-9}$
Klasyczny promień elektronu $\alpha^2 a_0$ Przekrój czynny Thomsona $(8\pi/3)r_e^2$	r_e σ_e	$2,817\,940\,285(31) \times 10^{-15}$ $0,665\,245\,854(15) \times 10^{-28}$	m m^2	$1,1 \times 10^{-8}$ $2,2 \times 10^{-8}$
Moment magnetyczny elektronu stosunek do magnetonu Bohra stosunek do magnetonu jądrowego	μ_e μ_e/μ_B μ_e/μ_N	$-928,476\,362(37) \times 10^{-26}$ $-1,001\,159\,652\,1869(41)$ $-1\,838,281\,9660(39)$	J T^{-1}	$4,0 \times 10^{-8}$ $4,1 \times 10^{-12}$ $2,1 \times 10^{-9}$
Anomalia momentu magnetycznego elektronu $ \mu_e /\mu_B - 1$ Czynnik g elektronu $-2(1 + a_e)$	a_e g_e	$1,159\,652\,1869(41) \times 10^{-3}$ $-2,002\,319\,304\,3737(82)$		$3,5 \times 10^{-9}$ $4,1 \times 10^{-12}$
Stosunek momentu magnetycznego elektronu do momentu magnetycznego ujemnego mionu do momentu magnetycznego protonu do momentu magnetycznego ekranowanego protonu (H_2O , w kuli, 25°C) do momentu magnetycznego neutronu do momentu magnetycznego deuteronu do momentu magnetycznego ekranowanego helionu (gaz, w kuli, 25°C)	μ_e/μ_μ μ_e/μ_p μ_e/μ'_p μ_e/μ_n μ_e/μ_d μ_e/μ'_h	$206,766\,9720(63)$ $-658,210\,6875(66)$ $-658,227\,5954(71)$ $960,920\,50(23)$ $-2\,143,923\,498(23)$ $864,058\,255(10)$		$3,0 \times 10^{-8}$ $1,0 \times 10^{-8}$ $1,1 \times 10^{-8}$ $2,4 \times 10^{-7}$ $1,1 \times 10^{-8}$ $1,2 \times 10^{-8}$
Współczynnik giromagnetyczny elektronu $2 \mu_e /\hbar$	γ_e $\gamma_e/2\pi$	$1,760\,859\,794(71) \times 10^{11}$ $28\,024,9540(11)$	$\text{s}^{-1}\,\text{T}^{-1}$ MHz T^{-1}	$4,0 \times 10^{-8}$ $4,0 \times 10^{-8}$
Mion, μ^-				
Masa mionu w u, $m_\mu = A_r(\mu)u$ (względna masa atomowa mionu $\times u$)	m_μ	$1,883\,531\,09(16) \times 10^{-28}$ $0,113\,428\,9168(34)$	kg u	$8,4 \times 10^{-8}$ $3,0 \times 10^{-8}$

Wielkość	Symbol	Wartość	Jednostka	Względna niepewność standardowa
równoważnik energii w MeV	$m_\mu c^2$	$1,692\,833\,32(14) \times 10^{-11}$ 105,658 3568(52)	J MeV	$8,4 \times 10^{-8}$ $4,9 \times 10^{-8}$
Stosunek masy mionu do masy elektronu	m_μ/m_e	206,768 2657(63)		$3,0 \times 10^{-8}$
do masy taonu	m_μ/m_τ	$5,945\,72(97) \times 10^{-2}$		$1,6 \times 10^{-4}$
do masy protonu	m_μ/m_p	0,112 609 5173(34)		$3,0 \times 10^{-8}$
do masy neutronu	m_μ/m_n	0,112 454 5079(34)		$3,0 \times 10^{-8}$
Comptona długość fali mionu $h/m_\mu c$	$\lambda_{C,\mu}$	$11,734\,441\,97(35) \times 10^{-15}$	m	$2,9 \times 10^{-8}$
$\lambda_{C,\mu}/2\pi$	$\lambda_{C,\mu}$	$1,867\,594\,444(55) \times 10^{-15}$	m	$2,9 \times 10^{-8}$
Moment magnetyczny mionu	μ_μ	$-4,490\,448\,13(22) \times 10^{-26}$	J T ⁻¹	$4,9 \times 10^{-8}$
stosunek do magnetonu Bohra	μ_μ/μ_B	$-4,841\,970\,85(15) \times 10^{-3}$		$3,0 \times 10^{-8}$
stosunek do magnetonu jądrowego	μ_μ/μ_N	-8,890 597 70(27)		$3,0 \times 10^{-8}$
Anomalia momentu magnetycznego mionu $ \mu_\mu /(e\hbar/2m_\mu) - 1$	a_μ	$1,165\,916\,02(64) \times 10^{-3}$		$5,5 \times 10^{-7}$
Czynnik g mionu $-2(1 + a_\mu)$	g_μ	-2,002 331 8320(13)		$6,4 \times 10^{-10}$
Stosunek momentu magnetycznego mionu do momentu magnetycznego protonu	μ_μ/μ_p	-3,183 345 39(10)		$3,2 \times 10^{-8}$
Taon, τ^-				
Masa taonu ^e	m_τ	$3,167\,88(52) \times 10^{-27}$	kg	$1,6 \times 10^{-4}$
w u, $m_\tau = A_r(\tau)u$				
(względna masa atomowa taonu $\times u$)		1,907 74(31)	u	$1,6 \times 10^{-4}$
równoważnik energii	$m_\tau c^2$	$2,847\,15(46) \times 10^{-10}$	J	$1,6 \times 10^{-4}$
w MeV		1 777,05(29)	MeV	$1,6 \times 10^{-4}$
Stosunek masy taonu do masy elektronu	m_τ/m_e	3 477,60(57)		$1,6 \times 10^{-4}$
do masy mionu	m_τ/m_μ	16,8188(27)		$1,6 \times 10^{-4}$
do masy protonu	m_τ/m_p	1,893 96(31)		$1,6 \times 10^{-4}$
do masy neutronu	m_τ/m_n	1,891 35(31)		$1,6 \times 10^{-4}$
Comptona długość fali taonu $h/m_\tau c$	$\lambda_{C,\tau}$	$0,697\,70(11) \times 10^{-15}$	m	$1,6 \times 10^{-4}$
$\lambda_{C,\tau}/2\pi$	$\lambda_{C,\tau}$	$0,111\,042(18) \times 10^{-15}$	m	$1,6 \times 10^{-4}$
Proton, p				
Masa protonu	m_p	$1,672\,621\,58(13) \times 10^{-27}$	kg	$7,9 \times 10^{-8}$
w u, $m_p = A_r(p)u$				
(względna masa atomowa protonu $\times u$)		1,007 276 466 88(13)	u	$1,3 \times 10^{-10}$
równoważnik energii	$m_p c^2$	$1,503\,277\,31(12) \times 10^{-10}$	J	$7,9 \times 10^{-8}$
w MeV		938,271 998(38)	MeV	$4,0 \times 10^{-8}$
Stosunek masy protonu do masy elektronu	m_p/m_e	1 836,152 6675(39)		$2,1 \times 10^{-9}$
do masy mionu	m_p/m_μ	8,880 244 08(27)		$3,0 \times 10^{-8}$
do masy taonu	m_p/m_τ	0,527 994(86)		$1,6 \times 10^{-4}$
do masy neutronu	m_p/m_n	0,998 623 478 55(58)		$5,8 \times 10^{-10}$
Stosunek ładunku do masy protonu	e/m_p	$9,578\,834\,08(38) \times 10^7$	C kg ⁻¹	$4,0 \times 10^{-8}$
Comptona długość fali protonu $h/m_p c$	$\lambda_{C,p}$	$1,321\,409\,847(10) \times 10^{-15}$	m	$7,6 \times 10^{-9}$
$\lambda_{C,p}/2\pi$	$\lambda_{C,p}$	$0,210\,308\,9089(16) \times 10^{-15}$	m	$7,6 \times 10^{-9}$
Moment magnetyczny protonu	μ_p	$1,410\,606\,633(58) \times 10^{-26}$	J T ⁻¹	$4,1 \times 10^{-8}$
stosunek do magnetonu Bohra	μ_p/μ_B	$1,521\,032\,203(15) \times 10^{-3}$		$1,0 \times 10^{-8}$
stosunek do magnetonu jądrowego	μ_p/μ_N	2,792 847 337(29)		$1,0 \times 10^{-8}$
Czynnik g protonu $2\mu_p/\mu_N$	g_p	5,585 694 675(57)		$1,0 \times 10^{-8}$
Stosunek momentu magnetycznego protonu do momentu magnetycznego neutronu	μ_p/μ_n	-1,459 898 05(34)		$2,4 \times 10^{-7}$

Wielkość	Symbol	Wartość	Jednostka	Względna niepewność standardowa
Moment magnetyczny protonu ekranowanego w wodzie (H ₂ O, w kuli, 25°C)	μ'_p	$1,410\,570\,399(59) \times 10^{-26}$	J T ⁻¹	$4,2 \times 10^{-8}$
stosunek do magnetonu Bohra	μ'_p/μ_B	$1,520\,993\,132(16) \times 10^{-3}$		$1,1 \times 10^{-8}$
stosunek do magnetonu jądrowego	μ'_p/μ_N	$2,792\,775\,597(31)$		$1,1 \times 10^{-8}$
Poprawka na ekranowanie magnetyczne protonu $1 - \mu'_p/\mu_p$ (H ₂ O, w kuli, 25°C)	σ'_p	$25,687(15) \times 10^{-6}$		$5,7 \times 10^{-4}$
Współczynnik giromagnetyczny protonu $2\mu_p/\hbar$	γ_p	$2,675\,222\,12(11) \times 10^8$	s ⁻¹ T ⁻¹	$4,1 \times 10^{-8}$
	$\gamma_p/2\pi$	$42,577\,4825(18)$	MHz T ⁻¹	$4,1 \times 10^{-8}$
Współczynnik giromagnetyczny ekranowanego protonu $2\mu'_p/\hbar$ (H ₂ O, w kuli, 25°C)	γ'_p	$2,675\,153\,41(11) \times 10^8$	s ⁻¹ T ⁻¹	$4,2 \times 10^{-8}$
	$\gamma'_p/2\pi$	$42,576\,3888(18)$	MHz T ⁻¹	$4,2 \times 10^{-8}$
Neutron, n				
Masa neutronu w u, $m_n = A_r(n)u$	m_n	$1,674\,927\,16(13) \times 10^{-27}$	kg	$7,9 \times 10^{-8}$
(względna masa atomowa neutronu × u)		$1,008\,664\,91578(55)$	u	$5,4 \times 10^{-10}$
równoważnik energii w MeV	$m_n c^2$	$1,505\,349\,46(12) \times 10^{-10}$	J	$7,9 \times 10^{-8}$
		$939,565\,330(38)$	MeV	$4,0 \times 10^{-8}$
Stosunek masy neutronu do masy elektronu	m_n/m_e	$1\,838,683\,6550(40)$		$2,2 \times 10^{-9}$
do masy mionu	m_n/m_μ	$8,892\,484\,78(27)$		$3,0 \times 10^{-8}$
do masy taonu	m_n/m_τ	$0,528\,722(86)$		$1,6 \times 10^{-4}$
do masy protonu	m_n/m_p	$1,001\,378\,418\,87(58)$		$5,8 \times 10^{-10}$
Comptona długość fali neutronu $h/m_n c$	$\lambda_{C,n}$	$1,319\,590\,898(10) \times 10^{-15}$	m	$7,6 \times 10^{-9}$
$\lambda_{C,n}/2\pi$	$\lambda_{C,n}$	$0,210\,019\,4142(16) \times 10^{-15}$	m	$7,6 \times 10^{-9}$
Moment magnetyczny neutronu	μ_n	$-0,966\,236\,40(23) \times 10^{-26}$	J T ⁻¹	$2,4 \times 10^{-7}$
stosunek do magnetonu Bohra	μ_n/μ_B	$-1,041\,875\,63(25) \times 10^{-3}$		$2,4 \times 10^{-7}$
stosunek do magnetonu jądrowego	μ_n/μ_N	$-1,913\,042\,72(45)$		$2,4 \times 10^{-7}$
Czynnik g neutronu $2\mu_n/\mu_N$	g_n	$-3,826\,085\,45(90)$		$2,4 \times 10^{-7}$
Stosunek momentu magnetycznego neutronu do momentu magnetycznego elektronu	μ_n/μ_e	$1,040\,668\,82(25) \times 10^{-3}$		$2,4 \times 10^{-7}$
do momentu magnetycznego protonu	μ_n/μ_p	$-0,684\,979\,34(16)$		$2,4 \times 10^{-7}$
do momentu magnetycznego ekranowanego protonu (H ₂ O, w kuli, 25°C)	μ_n/μ'_p	$-0,684\,996\,94(16)$		$2,4 \times 10^{-7}$
Współczynnik giromagnetyczny neutronu $2 \mu_n /\hbar$	γ_n	$1,832\,471\,88(44) \times 10^8$	s ⁻¹ T ⁻¹	$2,4 \times 10^{-7}$
	$\gamma_n/2\pi$	$29,164\,6958(70)$	MHz T ⁻¹	$2,4 \times 10^{-7}$
Deuteron, d				
Masa deuteronu w u, $m_d = A_r(d)u$	m_d	$3,343\,583\,09(26) \times 10^{-27}$	kg	$7,9 \times 10^{-8}$
(względna masa atomowa deuteronu × u)		$2,013\,553\,212\,71(35)$	u	$1,7 \times 10^{-10}$
równoważnik energii w MeV	$m_d c^2$	$3,005\,062\,62(24) \times 10^{-10}$	J	$7,9 \times 10^{-8}$
		$1\,875,612\,762(75)$	MeV	$4,0 \times 10^{-8}$
Stosunek masy deuteronu do masy elektronu	m_d/m_e	$3\,670,482\,9550(78)$		$2,1 \times 10^{-9}$
do masy protonu	m_d/m_p	$1,999\,007\,500\,83(41)$		$2,0 \times 10^{-10}$
Moment magnetyczny deuteronu	μ_d	$0,433\,073\,457(18) \times 10^{-26}$	J T ⁻¹	$4,2 \times 10^{-8}$
stosunek do magnetonu Bohra	μ_d/μ_B	$0,466\,975\,4556(50) \times 10^{-3}$		$1,1 \times 10^{-8}$

Wielkość	Symbol	Wartość	Jednostka	Względna niepewność standardowa
stosunek do magnetonu jądrowego	μ_d/μ_N	0,857 438 2284(94)		$1,1 \times 10^{-8}$
Stosunek momentu magnetycznego deuteronu do momentu magnetycznego elektronu	μ_d/μ_e	$-4,664\ 345\ 537(50) \times 10^{-4}$		$1,1 \times 10^{-8}$
protonu	μ_d/μ_p	0,307 012 2083(45)		$1,5 \times 10^{-8}$
neutronu	μ_d/μ_n	-0,448 206 52(11)		$2,4 \times 10^{-7}$
Helion, h				
Masa helionu	m_h	$5,006\ 411\ 74(39) \times 10^{-27}$	kg	$7,9 \times 10^{-8}$
w u, $m_h = A_r(\text{h})u$				
(względna masa atomowa helionu \times u)		3,014 932 234 69(86)	u	$2,8 \times 10^{-10}$
równoważnik energii	$m_h c^2$	$4,499\ 538\ 48(35) \times 10^{-10}$	J	$7,9 \times 10^{-8}$
w MeV		2 808,391 32(11)	MeV	$4,0 \times 10^{-8}$
Stosunek masy helionu do masy elektronu	m_h/m_e	5 495,885 238(12)		$2,1 \times 10^{-9}$
do masy protonu	m_h/m_p	2,993 152 658 50(93)		$3,1 \times 10^{-10}$
Moment magnetyczny ekranowanego helionu (gaz, w kuli, 25°C)	μ'_h	$-1,074\ 552\ 967(45) \times 10^{-26}$	J T ⁻¹	$4,2 \times 10^{-8}$
stosunek do magnetonu Bohra	μ'_h/μ_B	$-1,158\ 671\ 474(14) \times 10^{-3}$		$1,2 \times 10^{-8}$
stosunek do magnetonu jądrowego	μ'_h/μ_N	-2,127 497 718(25)		$1,2 \times 10^{-8}$
Stosunek momentu magnetycznego ekranowanego helionu do momentu magnetycznego protonu (gaz, w kuli, 25°C)	μ'_h/μ_p	-0,761 766 563(12)		$1,5 \times 10^{-8}$
ekranowanego helionu do momentu magnetycznego ekranowanego protonu (gaz/H ₂ O, w kuli, 25°C)	μ'_h/μ'_p	-0,761 786 1313(33)		$4,3 \times 10^{-9}$
Współczynnik giromagnetyczny ekranowanego helionu $2 \mu'_h /\hbar$ (gaz, w kuli, 25°C)	γ'_h	$2,037\ 894\ 764(85) \times 10^8$	s ⁻¹ T ⁻¹	$4,2 \times 10^{-8}$
	$\gamma'_h/2\pi$	32,434 1025(14)	MHz T ⁻¹	$4,2 \times 10^{-8}$
Cząstka alfa, α				
Masa cząstki alfa	m_α	$6,644\ 655\ 98(52) \times 10^{-27}$	kg	$7,9 \times 10^{-8}$
w u, $m_\alpha = A_r(\alpha)u$				
(względna masa atomowa cząstki alfa \times u)		4,001 506 1747(10)	u	$2,5 \times 10^{-10}$
równoważnik energii	$m_\alpha c^2$	$5,971\ 918\ 97(47) \times 10^{-10}$	J	$7,9 \times 10^{-8}$
w MeV		3 727,379 04(15)	MeV	$4,0 \times 10^{-8}$
Stosunek masy cząstki alfa do masy elektronu	m_α/m_e	7 294,299 508(16)		$2,1 \times 10^{-9}$
do masy protonu	m_α/m_p	3,972 599 6846(11)		$2,8 \times 10^{-10}$
STAŁE FIZYKOCHEMICZNE				
Stała Avogadra	N_A	$6,022\ 141\ 99(47) \times 10^{23}$	mol ⁻¹	$7,9 \times 10^{-8}$
Atomowa jednostka masy				
$m_u = m(^{12}\text{C})/12 = 1\text{ u}$	m_u	$1,660\ 53873(13) \times 10^{-27}$	kg	$7,9 \times 10^{-8}$
$= 10^{-3}\text{ kg mol}^{-1}/N_A$				
równoważnik energii	$m_u c^2$	$1,492\ 417\ 78(12) \times 10^{-10}$	J	$7,9 \times 10^{-8}$
w MeV		931,494 013(37)	MeV	$4,0 \times 10^{-8}$
Stała Faradaya ^f $N_A e$	F	96 485,3415(39)	C mol ⁻¹	$4,0 \times 10^{-8}$

Wielkość	Symbol	Wartość	Jednostka	Względna niepewność standardowa
Molowa stała Plancka	$N_A h$	$3,990\,312\,689(30) \times 10^{-10}$	J s mol ⁻¹	$7,6 \times 10^{-9}$
	$N_A h c$	0,119 626 564 92(91)	J m mol ⁻¹	$7,6 \times 10^{-9}$
Molowa stała gazowa	R	8,314 472(15)	J mol ⁻¹ K ⁻¹	$1,7 \times 10^{-6}$
Stała Boltzmannna R/N_A	k	$1,380\,6503(24) \times 10^{-23}$	J K ⁻¹	$1,7 \times 10^{-6}$
w eV K ⁻¹		$8,617\,342(15) \times 10^{-5}$	eV K ⁻¹	$1,7 \times 10^{-6}$
	k/h	$2,083\,6644(36) \times 10^{10}$	Hz K ⁻¹	$1,7 \times 10^{-6}$
	k/hc	69,503 56(12)	m ⁻¹ K ⁻¹	$1,7 \times 10^{-6}$
Objętość mola gazu doskonałego RT/p				
$T = 273,15$ K, $p = 101,325$ kPa	V_m	$22,413\,996(39) \times 10^{-3}$	m ³ mol ⁻¹	$1,7 \times 10^{-6}$
Stała Loschmidta N_A/V_m	L, n_0	$2,686\,7775(47) \times 10^{25}$	m ⁻³	$1,7 \times 10^{-6}$
$T = 273,15$ K, $p = 100$ kPa	V_m	$22,710\,981(40) \times 10^{-3}$	m ³ mol ⁻¹	$1,7 \times 10^{-6}$
Stała Sackura-Tetrode entropii bezwzględnej [§]				
$\frac{5}{2} + \ln [(2\pi m_u k T_1 / h^2)^{3/2} k T_1 / p_0]$				
$T_1 = 1$ K, $p_0 = 100$ kPa	S_0/R	-1,151 7048(44)		$3,8 \times 10^{-6}$
$T_1 = 1$ K, $p_0 = 101,325$ kPa		-1,164 8678(44)		$3,7 \times 10^{-6}$
Stała Stefana-Boltzmannna				
$(\pi^2/60)k^4/\hbar^3 c^2$	σ	$5,670\,400(40) \times 10^{-8}$	W m ⁻² K ⁻⁴	$7,0 \times 10^{-6}$
Pierwsza stała promieniowania $2\pi h c^2$	c_1	$3,741\,771\,07(29) \times 10^{-16}$	W m ²	$7,8 \times 10^{-8}$
Stała dla spektralnej światłości $2hc^2$	c_{1L}	$1,191\,042\,722(93) \times 10^{-16}$	W m ² sr ⁻¹	$7,8 \times 10^{-8}$
Druga stała promieniowania hc/k	c_2	$1,438\,6652(25) \times 10^{-2}$	m K	$1,7 \times 10^{-6}$
Stała prawa przesunięć Wiena				
$b = \lambda_{\max} T = c_2/4,965\,114\,231 \dots$	b	$2,897\,7686(51) \times 10^{-3}$	m K	$1,7 \times 10^{-6}$

^a Uzgodniona międzynarodowo wartość dla realizacji reprezentacji wolta przy użyciu efektu Josephsona jest podana w Tabeli 3.

^b Uzgodniona międzynarodowo wartość dla realizacji reprezentacji oma przy użyciu kwantowego efektu Halla jest podana w Tabeli 3.

^{c,d,e} Wartości zalecane przez *Particle Data Group* [17].

^d Stosunek mas m_W/m_Z bozonów W i Z zalecany przez *Particle Data Group* [17].

^f W pomiarach coulometrycznych chemii, gdy natężenie prądu elektrycznego mierzone jest poprzez reprezentacje wolta i oma oparte na efekcie Josephsona i kwantowym efekcie Halla i uzgodnionych międzynarodowo umownych wartościach stałych Josephsona K_{J-90} i von Klitzinga R_{K-90} podanych w Tabeli 3, należy używać numerycznej wartości stałej Faradaya $F = 96\,485,3432(76)$ C mol⁻¹ [$7,9 \times 10^{-8}$].

[§] Entropia doskonałego jednoatomowego gazu o względnej masie atomowej A_r dana jest przez $S = S_0 + \frac{3}{2}R \ln A_r - R \ln(p/p_0) + \frac{5}{2}R \ln(T/\text{K})$.

Tabela 3. Uzgodnione międzynarodowo wartości stałych fizycznych.

Wielkość	Symbol	Wartość	Jednostka	Względna niepewność standardowa
Masa molowa ^{12}C	$M(^{12}\text{C})$	12×10^{-3}	kg mol^{-1}	(dokładnie)
Stała molowa masy ^a $M(^{12}\text{C})/12$	M_{u}	1×10^{-3}	kg mol^{-1}	(dokładnie)
Umowna wartość stałej Josephsona ^b	$K_{\text{J-90}}$	483 597,9	GHz V^{-1}	(dokładnie)
Umowna wartość stałej von Klitzinga ^c	$R_{\text{K-90}}$	25 812,807	Ω	(dokładnie)
Standardowa atmosfera	atm	101 325	Pa	(dokładnie)
Standardowe przyspieszenie grawitacji	g_{n}	9,806 65	m s^{-2}	(dokładnie)

^a Względna masa atomowa $A_{\text{r}}(\text{X})$ cząstki X o masie $m(\text{X})$ jest zdefiniowana przez $A_{\text{r}}(\text{X}) = m(\text{X})/m_{\text{u}}$, gdzie $m_{\text{u}} = m(^{12}\text{C})/12 = M_{\text{u}}/N_{\text{A}} = 1 \text{ u}$ jest atomową stałą masy, N_{A} stałą Avogadra, a u jest zunifikowaną atomową jednostką masy. Masa cząstki X jest $m(\text{X}) = A_{\text{r}}(\text{X})u$, a masa molowa cząstki X jest $M(\text{X}) = A_{\text{r}}(\text{X})M_{\text{u}}$.

^b Uzgodniona międzynarodowo wartość dla realizacji reprezentacji volta przy użyciu efektu Josephsona.

^c Uzgodniona międzynarodowo wartość dla realizacji reprezentacji oma przy użyciu kwantowego efektu Halla.

Tabela 4. Wielkości mierzone przy pomocy promieni X.

Zalecane przez CODATA [1, 2] wartości stałych fizycznych oparte na wyrównaniu 1998 r.

W nawiasach po wartości podano odchylenie standardowe ostatnich cyfr.

Wielkość	Symbol	Wartość	Jednostka	Względna niepewność standardowa
Wzorce długości fal promieni X				
(Cu $K\alpha_1$)/1537,400	$x_{\text{u}}(\text{Cu } K\alpha_1)$	$1,002\,077\,03(28) \times 10^{-13}$	m	$2,8 \times 10^{-7}$
(Mo $K\alpha_1$)/707,831	$x_{\text{u}}(\text{Mo } K\alpha_1)$	$1,002\,099\,59(53) \times 10^{-13}$	m	$5,3 \times 10^{-7}$
ångstrom star $\lambda(\text{W } K\alpha_1)/0,209\,0100$	\AA^*	$1,000\,015\,01(90) \times 10^{-10}$	m	$9,0 \times 10^{-7}$
Parametr sieci Si (w próżni, 22,5 °C)	a	$543,102\,088(16) \times 10^{-12}$	m	$2,9 \times 10^{-8}$
Odległość sieciowa {220} w Si	$a/\sqrt{8}$ d_{220}	$192,015\,5845(56) \times 10^{-12}$	m	$2,9 \times 10^{-8}$
Objętość molowa Si $M(\text{Si})/\rho(\text{Si})=N_{\text{A}}a^3/8$ (w próżni, 22,5 °C)	$V_{\text{m}}(\text{Si})$	$12,058\,8369(14) \times 10^{-6}$	$\text{m}^3 \text{ mol}^{-1}$	$1,2 \times 10^{-7}$

Tu jednostki $x_{\text{u}}(\text{Cu } K\alpha_1)$, $x_{\text{u}}(\text{Mo } K\alpha_1)$ oraz \AA^* są stałymi wyrównanymi.

Parametr sieci (długość krawędzi komórki jednostkowej) idealnego pojedynczego naturalnego kryształu Si wolnego od domieszek i zanieczyszczeń jest wyprowadzony z pomiarów na bardzo czystych i prawie doskonałych kryształach Si z poprawką na efekty zanieczyszczeń. Odległość sieciowa d_{220} w idealnym pojedynczym naturalnym kryształu Si jest stałą wyrównaną.

Tabela 5. Współczynniki przeliczenia równoważników energii.

Współczynniki wyprowadzone z relacji $E = mc^2 = hc/\lambda = h\nu = kT$ są oparte na wartościach stałych wyrównania CODATA 1998. $1 \text{ eV} = (e/C) \text{ J}$, $1 \text{ u} = m_{\text{u}} = \frac{1}{12} m(^{12}\text{C}) = 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}/N_{\text{A}}$, energia Hartree (hartree) $E_{\text{h}} = 2R_{\infty}hc = \alpha^2 m_e c^2$. Wielkości w jednej linii są równe. N.p. $1 \text{ eV} = 806\,554,477 \text{ m}^{-1} \times hc = 2,417\,989\,491 \times 10^{14} \text{ Hz} \times h$.

Jednostka odniesienia				
	J	kg	m^{-1}	Hz
1 J	$(1 \text{ J}) =$ 1 J	$(1 \text{ J})/c^2 =$ $1,112\,650\,056 \times 10^{-17} \text{ kg}$	$(1 \text{ J})/hc =$ $5,034\,117\,62(39) \times 10^{24} \text{ m}^{-1}$	$(1 \text{ J})/h =$ $1,509\,190\,50(12) \times 10^{33} \text{ Hz}$
1 kg	$(1 \text{ kg})c^2 =$ $8,987\,551\,787 \times 10^{16} \text{ J}$	$(1 \text{ kg}) =$ 1 kg	$(1 \text{ kg})c/h =$ $4,524\,439\,29(35) \times 10^{41} \text{ m}^{-1}$	$(1 \text{ kg})c^2/h =$ $1,356\,392\,77(11) \times 10^{50} \text{ Hz}$
1 m^{-1}	$(1 \text{ m}^{-1})hc =$ $1,986\,445\,44(16) \times 10^{-25} \text{ J}$	$(1 \text{ m}^{-1})h/c =$ $2,210\,218\,63(17) \times 10^{-42} \text{ kg}$	$(1 \text{ m}^{-1}) =$ 1 m^{-1}	$(1 \text{ m}^{-1})c =$ 299 792 458 Hz
1 Hz	$(1 \text{ Hz})h =$ $6,626\,068\,76(52) \times 10^{-34} \text{ J}$	$(1 \text{ Hz})h/c^2 =$ $7,372\,495\,78(58) \times 10^{-51} \text{ kg}$	$(1 \text{ Hz})/c =$ $3,335\,640\,952 \times 10^{-9} \text{ m}^{-1}$	$(1 \text{ Hz}) =$ 1 Hz
1 K	$(1 \text{ K})k =$ $1,380\,6503(24) \times 10^{-23} \text{ J}$	$(1 \text{ K})k/c^2 =$ $1,536\,1807(27) \times 10^{-40} \text{ kg}$	$(1 \text{ K})k/hc =$ $69,503\,56(12) \text{ m}^{-1}$	$(1 \text{ K})k/h =$ $2,083\,6644(36) \times 10^{10} \text{ Hz}$
1 eV	$(1 \text{ eV}) =$ $1,602\,176\,462(63) \times 10^{-19} \text{ J}$	$(1 \text{ eV})/c^2 =$ $1,782\,661\,731(70) \times 10^{-36} \text{ kg}$	$(1 \text{ eV})/hc =$ $8,065\,544\,77(32) \times 10^5 \text{ m}^{-1}$	$(1 \text{ eV})/h =$ $2,417\,989\,491(95) \times 10^{14} \text{ Hz}$
1 u	$(1 \text{ u})c^2 =$ $1,492\,417\,78(12) \times 10^{-10} \text{ J}$	$(1 \text{ u}) =$ $1,660\,538\,73(13) \times 10^{-27} \text{ kg}$	$(1 \text{ u})c/h =$ $7,513\,006\,658(57) \times 10^{14} \text{ m}^{-1}$	$(1 \text{ u})c^2/h =$ $2,252\,342\,733(17) \times 10^{23} \text{ Hz}$
$1 E_{\text{h}}$	$(1 E_{\text{h}}) =$ $4,359\,743\,81(34) \times 10^{-18} \text{ J}$	$(1 E_{\text{h}})/c^2 =$ $4,850\,869\,19(38) \times 10^{-35} \text{ kg}$	$(1 E_{\text{h}})/hc =$ $2,194\,746\,313\,710(17) \times 10^7 \text{ m}^{-1}$	$(1 E_{\text{h}})/h =$ $6,579\,683\,920\,735(50) \times 10^{15} \text{ Hz}$

Tabela 6. Współczynniki przeliczenia równoważników energii.

Współczynniki wyprowadzone z relacji $E = mc^2 = hc/\lambda = h\nu = kT$ są oparte na wartościach stałych wyrównania CODATA 1998. $1 \text{ eV} = (e/C) \text{ J}$, $1 \text{ u} = m_{\text{u}} = \frac{1}{12} m(^{12}\text{C}) = 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}/N_{\text{A}}$, energia Hartree (hartree) $E_{\text{h}} = 2R_{\infty}hc = \alpha^2 m_e c^2$. Wielkości w jednej linii są równe. N.p. $1 \text{ eV} = 11\,604,506 \text{ K} \times k = 3,674\,932\,60 \times 10^{-2} E_{\text{h}}$.

Jednostka odniesienia				
	K	eV	u	E_{h}
1 J	$(1 \text{ J})/k =$ $7,242\,964(13) \times 10^{22} \text{ K}$	$(1 \text{ J}) =$ $6,241\,509\,74(24) \times 10^{18} \text{ eV}$	$(1 \text{ J})/c^2 =$ $6,700\,536\,62(53) \times 10^9 \text{ u}$	$(1 \text{ J}) =$ $2,293\,712\,76(18) \times 10^{17} E_{\text{h}}$
1 kg	$(1 \text{ kg})c^2/k =$ $6,509\,651(11) \times 10^{39} \text{ K}$	$(1 \text{ kg})c^2 =$ $5,609\,589\,21(22) \times 10^{35} \text{ eV}$	$(1 \text{ kg}) =$ $6,022\,141\,99(47) \times 10^{26} \text{ u}$	$(1 \text{ kg})c^2 =$ $2,061\,486\,22(16) \times 10^{34} E_{\text{h}}$
1 m^{-1}	$(1 \text{ m}^{-1})hc/k =$ $1,438\,7752(25) \times 10^{-2} \text{ K}$	$(1 \text{ m}^{-1})hc =$ $1,239\,841\,857(49) \times 10^{-6} \text{ eV}$	$(1 \text{ m}^{-1})h/c =$ $1,331\,025\,042(10) \times 10^{-15} \text{ u}$	$(1 \text{ m}^{-1})hc =$ $4,556\,335\,252\,750(35) \times 10^{-8} E_{\text{h}}$
1 Hz	$(1 \text{ Hz})h/k =$ $4,799\,2374(84) \times 10^{-11} \text{ K}$	$(1 \text{ Hz})h =$ $4,135\,667\,27(16) \times 10^{-15} \text{ eV}$	$(1 \text{ Hz})h/c^2 =$ $4,439\,821\,637(34) \times 10^{-24} \text{ u}$	$(1 \text{ Hz})h =$ $1,519\,829\,846\,003(12) \times 10^{-16} E_{\text{h}}$
1 K	$(1 \text{ K}) =$ 1 K	$(1 \text{ K})k =$ $8,617\,342(15) \times 10^{-5} \text{ eV}$	$(1 \text{ K})k/c^2 =$ $9,251\,098(16) \times 10^{-14} \text{ u}$	$(1 \text{ K})k =$ $3,166\,8153(55) \times 10^{-6} E_{\text{h}}$
1 eV	$(1 \text{ eV})/k =$ $1,160\,4506(20) \times 10^4 \text{ K}$	$(1 \text{ eV}) =$ 1 eV	$(1 \text{ eV})c^2 =$ $1,073\,544\,206(43) \times 10^{-9} \text{ u}$	$(1 \text{ eV}) =$ $3,674\,932\,60(14) \times 10^{-2} E_{\text{h}}$
1 u	$(1 \text{ u})c^2/k =$ $1,080\,9528(19) \times 10^{13} \text{ K}$	$(1 \text{ u})c^2 =$ $931,494\,013(37) \times 10^6 \text{ eV}$	$(1 \text{ u}) =$ 1 u	$(1 \text{ u})c^2 =$ $3,423\,177\,709(26) \times 10^7 E_{\text{h}}$
$1 E_{\text{h}}$	$(1 E_{\text{h}})/k =$ $3,157\,7465(55) \times 10^5 \text{ K}$	$(1 E_{\text{h}}) =$ 27,211 3834(11)eV	$(1 E_{\text{h}})/c^2 =$ $2,921\,262\,304(22) \times 10^{-8} \text{ u}$	$(1 E_{\text{h}}) =$ $1 E_{\text{h}}$

Tabela 7. Jednostki podstawowe SI.

Wielkość	Nazwa	Symbol
Długość	metr	m
Masa	kilogram	kg
Czas	sekunda	s
Natężenie prądu elektrycznego	amper	A
Temperatura termodynamiczna	kelwin	K
Ilość materii	mol	mol
Światłość	kandela	cd
Jednostki uzupełniające używane w układzie SI		
Kąt płaski	radian	rad
Kąt bryłowy	steradian	sr

Tabela 8. Jednostki pochodne SI.

Wielkość	Nazwa	Symbol	Jednostka	Wymiar
Częstotliwość	herc	Hz		s^{-1}
Siła	niuton	N		$kg\ m/s^2$
Ciśnienie	paskal	Pa	N/m^2	$kg\ m^{-1}/s^2$
Energia, praca	dżul	J	$N\ m$	$kg\ m^2/s^2$
Moc	wat	W	J/s	$kg\ m^2/s^3$
Ładunek elektryczny	kulomb	C		$A\ s$
Napięcie elektryczne	wolt	V	$J/C, W/A$	$kg\ m^2\ s^{-3}\ A^{-1}$
Natężenie pola elektrycznego	wolt na metr		$V/m, N/C$	$kg\ m\ s^{-3}\ A^{-1}$
Pojemność elektryczna	farad	F	C/V	$kg^{-1}\ m^{-2}\ s^4\ A^2$
Opór elektryczny	om	Ω	V/A	$kg\ m^2\ s^{-3}\ A^{-2}$
Przewodność elektryczna	simens	S	$A/V, \Omega^{-1}$	$kg^{-1}\ m^{-2}\ s^3\ A^2$
Strumień magnetyczny	weber	Wb	$V\ s$	$kg\ m^2\ s^{-2}\ A^{-1}$
Indukcja magnetyczna	tesla	T	Wb/m^2	$kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
Natężenie pola magnetycznego	amper na metr			A/m
Indukcyjność magnetyczna	henr	H	Wb/A	$kg\ m^2\ s^{-2}\ A^{-2}$
Temperatura Celsiusa	stopień Celsiusa	$^{\circ}C$		K
Strumień świetlny	lumen	lm		cd sr
Natężenie oświetlenia	luks	lx	lm/m^2	$cd\ sr/m^2$
Aktywność źródła promieniotwórczego	bekerel	Bq		s^{-1}

3. Uwagi końcowe

W publikacjach [1, 2, 3] porównane są względne niepewności standardowe wyrównanych stałych 1998 r. i 1986 r. oraz podane są wartości stosunków niepewności. Zwrócona jest szczególna uwaga na konsystencję układu nowych wartości stałych. Wskazane są wynikające z nowych wyrównanych wartości stałych wnioski dla metrologii i fizyki. Wśród sugestii na temat przyszłych prac w metrologii podkreślona jest konieczność wykonania pomiarów, które umożliwiłyby znaczące zmniejszenie niepewności danych wejściowych dla wyznaczenia wielkości α , h i R grających szczególnie decydującą rolę w wyznaczaniu wartości wielu stałych fizyki i chemii.

Dr P.J. Mohr i B.N. Taylor przysłali nam publikację [1] ze zgodą na przedrukowanie Tablic. Zgodę dało także Amerykańskie Towarzystwo Fizyczne. Wyrażamy im podziękowanie.

Bibliografia

- [1] P.J. Mohr and B.N. Taylor, J. Phys. Chem. Ref. Data **28** (6), 1713 (1999).
- [2] P.J. Mohr and B.N. Taylor, Rev. Mod. Phys. **72** (2), 351 (2000).
- [3] P.J. Mohr and B.N. Taylor, Phys. Today **53** (8), BG6 (2000).
- [4] M. Weitz, A. Huber, B. de Beauvoir, F. Schmidt-Kaler, D. Leibfried, W. Vassen, C. Zimmermann, K. Pachucki, T.W. Hänsch, L. Julien, and F. Biraben, Phys. Rev. A **52** (4), 2664 (1995).
- [5] B. de Beauvoir, F. Nez, L. Julien, B. Cagnac, F. Biraben, D. Touahri, L. Hilico, O. Acef, A. Clairon, and J.J. Zondy, Phys. Rev. Lett. **78** (3), 440 (1997).
- [6] C. Schwob, L. Jozefowski, B. de Beauvoir, H. Hilico, F. Nez, L. Julien, F. Biraben, O. Acef, and A. Clairon, Phys. Rev. Lett. **82** (25), 4960 (1999).
- [7] D.L. Farnham, R.S. Van Dyck, Jr., and P.B. Schwinberg, Phys. Rev. Lett. **75** (20), 3598 (1995).
- [8] H.R. Dehmelt, R.S. Van Dyck, Jr., and F. Palmer, Proc. Natl. Acad. Sci. USA **89** (5), 1681 (1992).
- [9] H.R. Dehmelt, Proc. Natl. Acad. Sci. USA **91** (14), 6308 (1994).
- [10] E.R. Williams, R.L. Steiner, D.B. Newell, and P.T. Olsen, Phys. Rev. Lett. **81** (12), 2404 (1998).
- [11] M.R. Moldover, J.P.M. Trusler, T.J. Edwards, J.B. Mehl, and R.S. Davis, Phys. Rev. Lett. **60** (4), 249 (1988).
- [12] E.R. Cohen and B.N. Taylor, J. Phys. Chem. Ref. Data **2** (2), 663 (1973).
- [13] M. Suffczynski, Postpy Fiz. **27** (1), 35 (1976).
- [14] E.R. Cohen and B.N. Taylor, Rev. Mod. Phys. **59** (4), 1121 (1987).
- [15] E.R. Cohen and B.N. Taylor, Postpy Fiz. **40** (2), 129 (1989).
- [16] Particle Data Group, Phys. Rev. D **54** (1), 1 (1996).
- [17] C. Caso et al., Particle Data Group, Eur. Phys. J. C **3** (1-4), 1 (1998).
- [18] H. Grotch and R. Hegstrom, Phys. Rev. A **4** (1), 59 (1971).
- [19] T. Kinoshita, Phys. Rev. D **47** (11), 5013 (1993).
- [20] M.I. Eides, H. Grotch, and V.A. Shelyuto, Phys. Rev. D **58** (1), 013008 (1998).
- [21] V.W. Hughes and T. Kinoshita, Rev. Mod. Phys. **71** (2), S133 (1999).
- [22] A. Czarnecki and M. Skrzypek, Phys. Lett. B **449** (3-4), 354 (1999).
- [23] P.J. Mohr, Phys. Rev. A **46** (7), 4421 (1992).
- [24] K. Pachucki and H. Grotch, Phys. Rev. A **51** (3), 1854 (1995).
- [25] K. Pachucki, Phys. Rev. A **54** (3), 1994 (1996).
- [26] P. Sunnergren, H. Persson, S. Salomonson, S.M. Schneider, I. Lindgren, and G. Soff, Phys. Rev. A **58** (2), 1055 (1998).
- [27] J.L. Friar and G.L. Payne, Phys. Rev. C **56** (2), 619 (1997).

- [28] M. Nio and T. Kinoshita, Phys. Rev. D **55** (11), 7267 (1997).
- [29] W. Liu *et al.*, Phys. Rev. Lett. **82** (4), 711 (1999).
- [30] R.A. Nelson, Phys. Today **53** (8), BG15 (2000).
- [31] D.E. Groom et al., Particle Data Group, Eur. Phys. J. C **15** (1-4), 1 (2000).