

## 2006 年基本物理常数国际推荐值

卢森铠<sup>1 †</sup> 郭奕玲<sup>2</sup> 沈慧君<sup>2</sup>

(1 广西河池学院物理与电子工程系 广西河池 546300)

(2 清华大学物理系 北京 100084)

**摘要** 文章给出了国际科学技术数据委员会(简称 CODATA)向全世界推荐的一组 2006 年基本物理常数及转换因子自洽数值. 这组数据代替了先前推荐的 2002 CODATA 基本物理常数组. 从上一次平差的截止日期 2002 年 12 月 31 日到这一次平差的截止日期 2006 年 12 月 31 日, 尽管只过了 4 年的时间, 实验和理论上的一系列进展使我们对这些常数的知识有了显著改善.

**关键词** 国际科学技术数据委员会(CODATA), 基本常数, 转换因子, 标准不确定度

### CODATA recommended values of the fundamental physics constants – 2006

LU Sen-Kai<sup>1 †</sup> GUO Yi-Ling<sup>2</sup> SHEN Hui-Jun<sup>2</sup>

(1 Department of Physics and electronic engineering, College of Hechi, Guangxi Hechi 546300, China)

(2 Department of Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract** This paper gives the 2006 self-consistent set of values of the fundamental physical constants and conversion factors recommended by the Committee on Data for Science and Technology (CODATA) for international use. This set replaces the previously recommended 2002 CODATA set. Although only four years have elapsed between the 31 December 2002 and 31 December 2006 closing dates of the two adjustments, a number of advances in experiment and theory have led to significant improvements in our knowledge of the values of the constants.

**Keywords** CODATA, fundamental constants, conversion factors, standard uncertainties

由国际科学技术数据委员会(简称 CODATA)基本物理常数任务组三位成员: 任务组主席、美国国家标准技术研究院(NIST)物理实验室数据中心主任 P. J. Mohr 博士、前任主席 B. N. Taylor 博士和 NIST 电子电工实验室量子电学计量部主任 D. B. Newell 撰写的“基本物理常数”一文, 在 2007 年 7 月 Physics Today 杂志上发表<sup>[1]</sup>, 向世界公布了一组最新的、自洽的物理常数和转换因子国际推荐值.

CODATA 自 1973 年第一次公布物理常数<sup>[2]</sup>以来, 这是第五次推荐基本物理常数值, 其平差所采用的数据来源截止日期为 2006 年 12 月 31 日, 因此被

称为 2006 年 CODATA 推荐值. 1986 CODATA 推荐值是第二次<sup>[3,4]</sup>, 截止日期为 1986 年 12 月 31 日; 1998 年 CODATA 推荐值是第三次<sup>[5,6]</sup>, 截止日期为 1998 年 12 月 31 日, 2002 年 CODATA 推荐值是第四次<sup>[7]</sup>, 截止日期为 2002 年 12 月 31 日. 前三次公布的推荐值相隔十余年, 而后两次的时隔只有四年, 这反映了科学技术的迅速发展. CODATA 基本物理常数推荐值越来越精确、可靠和丰富, 形成越来越完善的自洽体系, 是物理学、化学和计量学等许多科学

2007-11-29 收到

† 通讯联系人. Email: lusk3616@163.com

技术领域经常使用的基本数据,具有重要的科学意义和实用价值。

2006年基本物理常数推荐值与2002年的相比,虽然只有四年的时间间隔,却包括了一系列实验和理论的新进展,从而导致我们对常数值的知识又有了显著改善。其中有:

(1)法国奥赛(Orsay)原子质量数据中心2003年发布了原子质量评估;

(2)在圆柱形彭宁阱中,对单个电子进行测量所得电子磁矩反常 $a_e$ 取得了相当好的结果,其实验值的相对标准不确定度 $u_r = 6.5 \times 10^{-10}$ [8];

(3) $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ 和 $^4\text{He}$ 的相对原子质量取得了更好的测量结果;

(4)对氢-氘(HD)分子中氘和质子以及氢-氦(HT)分子中氘和质子的核磁共振频率测量进行了改进;

(5)用动圈瓦特天平测量 $K_J^2 R_K = 4/h$ 得到的数值结果精确度很高,其中 $K_J = 2e/h$ 和 $R_K = h/e^2$ 分别表示表征约瑟夫森效应和量子霍尔效应的约瑟夫森常数与冯·克利青常数, $e$ 表示基本电荷, $h$ 表示普朗克常数。

(6)从测量铷-87原子吸收或发射了一个光子时的反冲速度得到了比值 $h/m(^{87}\text{Rb})$ ,这一结果提供了独立于量子电动力学理论的相对不确定度为 $6.6 \times 10^{-9}$ 的精细结构常数 $\alpha$ 值;

(7)从X射线光学干涉仪(XROI)得到了 $d_{220}$ 值, $d_{220}$ 指的是高纯度的、接近完全晶体化的硅单晶{220}晶格间距;

(8)对反质子氢跃迁频率的测量,提供了电子相对原子质量 $A_r(e)$ 的数值;

(9)改进了氢原子和氘原子能级理论公式;

(10)改进了 $a_e$ 理论公式。

这些新信息导致了許多基本常数的数值和不确定度发生了重要变化。下面列举几个亮点:

(1)电子磁矩反常 $a_e$ 理论公式中八阶系数 $A_1^{(8)}$ 的不确定度从0.038降到0.0035,导致 $a_e$ (理论)的 $u_r$ 值从 $9.9 \times 10^{-10}$ 下降到 $2.4 \times 10^{-10}$ 。这一改进加上 $a_e$ 的新实验值,导致精细结构常数 $\alpha$ 新推荐值的 $u_r = 6.8 \times 10^{-10}$ ,比2002年值的不确定度小了5倍。这一不确定度的减小,反过来又导致了与 $\alpha$ 联系紧密的其他常数,例如玻尔半径 $a_0$ 和康普顿波长 $\lambda_c$ ,都以一定的比例减小了不确定度。

(2)对HD进行的新NMR测量导致氘核-电子和氘核-质子磁矩比 $\mu_d/\mu_e$ 和 $\mu_d/\mu_p$ 的不确定度减小。再有,改善了的对 $^3\text{H}$ 相对原子质量的测量和对HT的新NMR测量,导致了第一次在CODATA推荐值中列出了与氘核有关的量,其中包括氘核-电子和氘核-质子磁矩比 $\mu_d/\mu_e$ 和 $\mu_d/\mu_p$ 。

(3)澄清了2002年平差中不同硅晶 $d_{220}$ 的X射线光学干涉仪测定出现的问题。通过适当的数据分析,处理了与其他常数的不协调。

(4)得到了高纯度、接近理想晶体的硅的摩尔体积 $V_m(\text{Si})$ 的可靠结果。也通过适当的数据分析处理了与其他常数的不协调。

CODATA基本常数任务组详尽的2006 CODATA推荐值报告将于近期发表在Rev. Mod. Phys. (《现代物理评论》)杂志上。该任务组还宣布,四年后会以同样方式按时进行新一轮基本物理常数平差。

本文将2006年CODATA推荐值按简表(见表1)和全表(见表2)列出。简表中列出了20个基本常数和2个采用非国际单位制的转换因子,这是最常用的一些数值。全表中列出了200余个基本常数及其组合量和有关的转换因子,其中包括一些量的国际采用值和2006年CODATA推荐的能量当量值。CODATA希望各国尽快使用这组新的推荐值,而不再使用2002年的推荐值。

表1 2006年CODATA基本物理常数推荐值简表

量	符号	数值	单位	相对标准不确定度 $u_r$
真空中光速	$c$	299 792 4584	$\text{m s}^{-1}$	(精确)
磁常数	$\mu_0$	$4\pi \times 10^{-7}$	$\text{N A}^{-2}$	(精确)
		$= 12.566 370 614 \dots \times 10^{-7}$	$\text{N A}^{-2}$	(精确)
电常数 $1/\mu_0 c^2$	$\epsilon_0$	$8.854 187 817 \dots \times 10^{-12}$	$\text{F m}^{-1}$	(精确)
牛顿引力常数	$G$	$6.674 28(67) \times 10^{-11}$	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$	$1.0 \times 10^{-4}$
普朗克常数	$h$	$6.626 068 96(33) \times 10^{-34}$	J s	$5.0 \times 10^{-8}$
$h/2\pi$	$\hbar$	$1.054 571 628(53) \times 10^{-34}$	J s	$5.0 \times 10^{-8}$
基本电荷	$e$	$1.602 176 487(40) \times 10^{-19}$	C	$2.5 \times 10^{-8}$
磁通量子 $h/2e$	$\phi_0$	$2.067 833 667(52) \times 10^{-15}$	Wb	$2.5 \times 10^{-8}$
电导量子 $2e^2/h$	$G_0$	$7.748 091 7004(53) \times 10^{-5}$	S	$6.8 \times 10^{-10}$

量	符号	数值	单位	相对标准不确定度 $u_r$
电子质量	$m_e$	$9.109\ 382\ 15(45) \times 10^{-31}$	kg	$5.0 \times 10^{-8}$
质子质量	$m_p$	$1.672\ 621\ 637(83) \times 10^{-27}$	kg	$5.0 \times 10^{-8}$
质子 - 电子质量比	$m_p/m_e$	1836.152 672 47( 80 )		$4.3 \times 10^{-10}$
精细结构常数	$\alpha$	$7.297\ 352\ 537(60) \times 10^{-3}$		$6.8 \times 10^{-10}$
精细结构常数倒数	$\alpha^{-1}$	137.035 999 679( 94 )		$6.8 \times 10^{-10}$
里德伯常数 $\alpha^2 m_e c/2h$	$R_\infty$	10 973 731.568 527( 73 )	$\text{m}^{-1}$	$6.6 \times 10^{-12}$
阿伏伽德罗常数	$N_A$	$6.022\ 141\ 79(30) \times 10^{23}$	$\text{mol}^{-1}$	$5.0 \times 10^{-8}$
法拉第常数 $N_A e$	$F$	96 485.3399( 24 )	$\text{C mol}^{-1}$	$2.5 \times 10^{-8}$
摩尔气体常数	$R$	8.314 472( 15 )	$\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$	$1.7 \times 10^{-6}$
玻尔兹曼常数 $R/N_A$	$k$	$1.380\ 6504(24) \times 10^{-23}$	$\text{J K}^{-1}$	$1.7 \times 10^{-6}$
斯特藩 - 玻尔兹曼常数 ( $\pi^2/60$ ) $k^4/h^3 c^2$	$\sigma$	$5.670\ 400(40) \times 10^{-8}$	$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$	$7.0 \times 10^{-6}$
电子伏 ( $e/C$ ) $J$	eV	$1.602\ 176\ 487(40) \times 10^{-19}$	J	$2.5 \times 10^{-8}$
(统一的)原子质量单位 $1u = m_u = \frac{1}{12}m(^{12}\text{C})$ $= 10^{-3} \text{kg mol}^{-1}/N_A$	$u$	$1.660\ 538\ 782(83) \times 10^{-27}$	kg	$5.0 \times 10^{-8}$

表2 2006年CODATA基本物理常数推荐值全表

量	符号	数值	单位	相对标准不确定度 $u_r$
真空中光速	$c, c_0$	299 792 458	$\text{m s}^{-1}$	(精确)
磁常数	$\mu_0$	$4\pi \times 10^{-7}$ $= 12.566\ 370\ 614 \dots \times 10^{-7}$	$\text{N A}^{-2}$ $\text{N A}^{-2}$	(精确)
电常数 $1/\mu_0 c^2$	$\epsilon_0$	$8.854\ 187\ 817 \dots \times 10^{-12}$	$\text{F m}^{-1}$	(精确)
真空中特征阻抗 $\sqrt{\mu_0/\epsilon_0} = \mu_0 c$	$Z_0$	376.730 313 461 . . .	$\Omega$	(精确)
牛顿引力常数	$G$	$6.674\ 28(67) \times 10^{-11}$	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$	$1.0 \times 10^{-4}$
普朗克常数	$G/hc$	$6.708\ 81(67) \times 10^{-39}$	$(\text{GeV}/c^2)^{-2}$	$1.0 \times 10^{-4}$
以 eV s 为单位	$h$	$6.626\ 068\ 96(33) \times 10^{-34}$	J s	$5.0 \times 10^{-8}$
$h/2\pi$	$\hbar$	$4.135\ 667\ 33(10) \times 10^{-15}$	eV s	$2.5 \times 10^{-8}$
以 eV s 为单位		$1.054\ 571\ 628(53) \times 10^{-34}$	J s	$5.0 \times 10^{-8}$
$hc$ (以 MeV fm 为单位)		$6.582\ 118\ 99(16) \times 10^{-16}$	eV s	$2.5 \times 10^{-8}$
普朗克质量 $(hc/G)^{1/2}$	$m_p$	197.326 9631( 49 )	MeV fm	$2.5 \times 10^{-8}$
能量当量 (以 GeV 为单位)	$m_p c^2$	$2.176\ 44(11) \times 10^{-8}$	kg	$5.0 \times 10^{-5}$
普朗克温度 $(hc^5/G)^{1/2}/k$	$T_p$	$1.220\ 892(61) \times 10^{19}$	GeV	$5.0 \times 10^{-5}$
普朗克长度 $\hbar/m_p c = (\hbar G/c^3)^{1/2}$	$l_p$	$1.416\ 785(71) \times 10^{32}$	K	$5.0 \times 10^{-5}$
普朗克时间 $l_p/c = (\hbar G/c^5)^{1/2}$	$t_p$	$1.616\ 252(81) \times 10^{-35}$	m	$5.0 \times 10^{-5}$
		$5.391\ 24(27) \times 10^{-44}$	s	$5.0 \times 10^{-5}$
基本电荷	$e$	$1.602\ 176\ 487(40) \times 10^{-19}$	C	$2.5 \times 10^{-8}$
磁通量子 $h/2e$	$e/h$	$2.417\ 989\ 454(60) \times 10^{14}$	$\text{A J}^{-1}$	$2.5 \times 10^{-8}$
电导量子 $2e^2/h$	$\Phi_0$	$2.067\ 833\ 667(52) \times 10^{-15}$	Wb	$2.5 \times 10^{-8}$
电导量子的倒数	$G_0$	$7.748\ 091\ 7004(53) \times 10^{-5}$	S	$6.8 \times 10^{-10}$
约瑟夫森常数 <sup>a)</sup> $2e/h$	$G_0^{-1}$	12 906.403 7787( 88 )	$\Omega$	$6.8 \times 10^{-10}$
冯·克利青常数 <sup>b)</sup> $h/e^2 = \mu_0 c/2a$	$K_J$	$483\ 597.891(12) \times 10^9$	$\text{Hz V}^{-1}$	$2.5 \times 10^{-8}$
玻尔磁子 $e\hbar/2m_e$	$R_K$	25 812.807 557( 18 )	$\Omega$	$6.8 \times 10^{-10}$
以 $\text{eV T}^{-1}$ 为单位	$\mu_B$	$927.400\ 915(23) \times 10^{-26}$	$\text{J T}^{-1}$	$2.5 \times 10^{-8}$
		$5.788\ 381\ 7555(79) \times 10^{-5}$	$\text{eV T}^{-1}$	$1.4 \times 10^{-9}$
	$\mu_B/h$	$13.996\ 246\ 04(35) \times 10^9$	$\text{Hz T}^{-1}$	$2.5 \times 10^{-8}$
	$\mu_B/hc$	46.686 4515( 12 )	$\text{m}^{-1} \text{T}^{-1}$	$2.5 \times 10^{-8}$
	$\mu_B/k$	0.671 7131( 12 )	$\text{K T}^{-1}$	$1.7 \times 10^{-6}$
核磁子 $e\hbar/2m_p$	$\mu_N$	$5.050\ 783\ 24(13) \times 10^{-27}$	$\text{J T}^{-1}$	$2.5 \times 10^{-8}$
以 $\text{eV T}^{-1}$ 为单位		$3.152\ 451\ 2326(45) \times 10^{-8}$	$\text{eV T}^{-1}$	$1.4 \times 10^{-9}$
	$\mu_N/h$	7.622 593 84( 19 )	$\text{MHz T}^{-1}$	$2.5 \times 10^{-8}$
	$\mu_N/hc$	$2.542\ 623\ 616(64) \times 10^{-2}$	$\text{m}^{-1} \text{T}^{-1}$	$2.5 \times 10^{-8}$
	$\mu_N/k$	$3.658\ 2637(64) \times 10^{-4}$	$\text{K T}^{-1}$	$1.7 \times 10^{-6}$

量	符号	数值	单位	相对标准不确定度 $u_r$
原子常数与核常数				
一般常数				
精细结构常数 $e^2/4\pi\epsilon_0\hbar c$	$\alpha$	7.297 352 5376( 50 ) $\times 10^{-3}$		$6.8 \times 10^{-10}$
精细结构常数的倒数	$\alpha^{-1}$	137.035 999 679( 94 )		$6.8 \times 10^{-10}$
里德伯常数 $\alpha^2 m_e c/2h$	$R_\infty$	10 973 731.568 527( 73 )	$m^{-1}$	$6.6 \times 10^{-12}$
	$R_\infty c$	3.289 841 960 361( 22 ) $\times 10^{15}$	Hz	$6.6 \times 10^{-12}$
	$R_\infty hc$	2.179 871 97( 11 ) $\times 10^{-18}$	J	$5.0 \times 10^{-8}$
$R_\infty hc$ (以 eV 为单位)		13.605 691 93( 34 )	eV	$2.5 \times 10^{-8}$
玻尔半径 $\alpha/4\pi R_\infty = 4\pi\epsilon_0\hbar^2/m_e e^2$	$a_0$	0.529 177 208 59( 36 ) $\times 10^{-10}$	m	$6.8 \times 10^{-10}$
哈特里能量 $e^2/4\pi\epsilon_0 a_0 = 2R_\infty hc = \alpha^2 m_e c^2$	$E_h$	4.359 743 94( 22 ) $\times 10^{-18}$	J	$5.0 \times 10^{-8}$
以 eV 为单位		27.211 383 86( 68 )	eV	$2.5 \times 10^{-8}$
环流量子	$h/2m_e$	3.636 947 5199( 50 ) $\times 10^{-4}$	$m^2 s^{-1}$	$1.4 \times 10^{-9}$
	$h/m_e$	7.273 895 040( 10 ) $\times 10^{-4}$	$m^2 s^{-1}$	$1.4 \times 10^{-9}$
弱电常数				
费米耦合常数 <sup>c)</sup>	$G_F/(\hbar c)^3$	1.166 37( 1 ) $\times 10^{-5}$	$GeV^{-2}$	$8.6 \times 10^{-6}$
弱混合角 <sup>d)</sup> $\theta_w$ (在壳方案)				
$\sin^2 \theta_w = s^2 w \equiv 1 - (m_w/m_z)^2$	$\sin^2 \theta_w$	0.222 55( 56 )		$2.5 \times 10^{-3}$
电子 $e^-$				
电子质量	$m_e$	9.109 382 15( 45 ) $\times 10^{-31}$	kg	$5.0 \times 10^{-8}$
以 u 为单位, $m_e = A_e(e) u$ (电子相对原子质量乘以 u)		5.485 799 0943( 23 ) $\times 10^{-4}$	u	$4.2 \times 10^{-10}$
能量当量	$m_e c^2$	8.187 104 38( 41 ) $\times 10^{-14}$	J	$5.0 \times 10^{-8}$
以 MeV 为单位		0.510 998 910( 13 )	MeV	$2.5 \times 10^{-8}$
电子- $\mu$ 子质量比	$m_e/m_\mu$	4.836 331 71( 12 ) $\times 10^{-3}$		$2.5 \times 10^{-8}$
电子- $\tau$ 子质量比	$m_e/m_\tau$	2.875 64( 47 ) $\times 10^{-4}$		$1.6 \times 10^{-4}$
电子-质子质量比	$m_e/m_p$	5.446 170 2177( 24 ) $\times 10^{-4}$		$4.3 \times 10^{-10}$
电子-中子质量比	$m_e/m_n$	5.438 673 4459( 33 ) $\times 10^{-4}$		$6.0 \times 10^{-10}$
电子-氦核质量比	$m_e/m_d$	2.724 437 1093( 12 ) $\times 10^{-4}$		$4.3 \times 10^{-10}$
电子- $\alpha$ 粒子质量比	$m_e/m_\alpha$	1.370 933 555 70( 58 ) $\times 10^{-4}$		$4.2 \times 10^{-10}$
电子荷质比	$-e/m_e$	-1.758 820 150( 44 ) $\times 10^{11}$	$C kg^{-1}$	$2.5 \times 10^{-8}$
电子摩尔质量 $N_A m_e$	$M(e), M_e$	5.485 799 0943( 23 ) $\times 10^{-7}$	$kg mol^{-1}$	$4.2 \times 10^{-10}$
康普顿波长 $h/m_e c$	$\lambda_C$	2.426 310 2175( 33 ) $\times 10^{-12}$	m	$1.4 \times 10^{-9}$
$\lambda_C/2\pi = \alpha a_0 = \alpha^2/4\pi R_\infty$	$\tilde{\lambda}_C$	386.159 264 59( 53 ) $\times 10^{-15}$	m	$1.4 \times 10^{-9}$
经典电子半径 $\alpha^2 a_0$	$r_e$	2.817 940 2894( 58 ) $\times 10^{-15}$	m	$2.1 \times 10^{-9}$
汤姆森截面 $(8\pi/3) r_e^2$	$\sigma_e$	0.665 245 8558( 27 ) $\times 10^{-28}$	$m^2$	$4.1 \times 10^{-9}$
电子磁矩	$\mu_e$	-928.476 377( 23 ) $\times 10^{-26}$	$J T^{-1}$	$2.5 \times 10^{-8}$
与玻尔磁子之比	$\mu_e/\mu_B$	-1.001 159 652 181 11( 74 )		$7.4 \times 10^{-13}$
与核磁子之比	$\mu_e/\mu_N$	-1838.281 970 92( 80 )		$4.3 \times 10^{-10}$
电子磁矩反常 $ \mu_e /\mu_B - 1$	$a_e$	1.159 652 181 11( 74 ) $\times 10^{-3}$		$6.4 \times 10^{-10}$
电子 $g$ 因子 $-2(1+a_e)$	$g_e$	-2.002 319 304 3622( 15 )		$7.4 \times 10^{-13}$
电子- $\mu$ 子磁矩比	$\mu_e/\mu_\mu$	206.766 9877( 52 )		$2.5 \times 10^{-8}$
电子-质子磁矩比	$\mu_e/\mu_p$	-658.210 6848( 54 )		$8.1 \times 10^{-9}$
电子与屏蔽质子磁矩比 ( $H_2O$ 球, 25 °C)	$\mu_e/\mu'_p$	-658.227 5971( 72 )		$1.1 \times 10^{-8}$
电子-中子磁矩比	$\mu_e/\mu_n$	960.920 50( 23 )		$2.4 \times 10^{-7}$
电子-氦核磁矩比	$\mu_e/\mu_d$	-2143.923 498( 18 )		$8.4 \times 10^{-9}$
电子与屏蔽氦核磁矩比 (气体, 球, 25 °C)	$\mu_e/\mu'_h$	864.058 257( 10 )		$1.2 \times 10^{-8}$
电子旋磁比 $2 \mu_e /\hbar$	$Y_e$	1.760 859 770( 44 ) $\times 10^{11}$	$s^{-1} T^{-1}$	$2.5 \times 10^{-8}$
	$Y_e/2\pi$	28 024.953 64( 70 )	MHz $T^{-1}$	$2.5 \times 10^{-8}$
$\mu$ 子 $\mu^-$				
$\mu$ 子质量	$m_\mu$	1.883 531 30( 11 ) $\times 10^{-28}$	kg	$5.6 \times 10^{-8}$
以 u 为单位 $m_\mu = A_\mu(\mu) u$ ( $\mu$ 子相对原子质量乘以 u)		0.113 428 9256( 29 )	u	$2.5 \times 10^{-8}$
能量当量	$m_\mu c^2$	1.692 833 510( 95 ) $\times 10^{-11}$	J	$5.6 \times 10^{-8}$

量	符号	数值	单位	相对标准不确定度 $u_r$
以 MeV 为单位		105.658 3668(38)	MeV	$3.6 \times 10^{-8}$
$\mu$ 子 - 电子质量比	$m_\mu/m_e$	206.768 2823(52)		$2.5 \times 10^{-8}$
$\mu$ 子 - $\tau$ 子质量比	$m_\mu/m_\tau$	$5.945\ 92(97) \times 10^{-2}$		$1.6 \times 10^{-4}$
$\mu$ 子 - 质子质量比	$m_\mu/m_p$	0.112 609 5261(29)		$2.5 \times 10^{-8}$
$\mu$ 子 - 中子质量比	$m_\mu/m_n$	0.112 454 5167(29)		$2.5 \times 10^{-8}$
$\mu$ 子摩尔质量 $N_A m_\mu$	$M(\mu), M_\mu$	$0.113\ 428\ 9256(29) \times 10^{-3}$	kg mol <sup>-1</sup>	$2.5 \times 10^{-8}$
$\mu$ 子康普顿波长 $h/m_\mu c$	$\lambda_{C,\mu}$	$11.734\ 441\ 04(30) \times 10^{-15}$	m	$2.5 \times 10^{-8}$
$\lambda_{C,\mu}/2\pi$	$\tilde{\lambda}_{C,\mu}$	$1.867\ 594\ 295(47) \times 10^{-15}$	m	$2.5 \times 10^{-8}$
$\mu$ 子磁矩	$\mu_\mu$	$-4.490\ 447\ 86(16) \times 10^{-26}$	J T <sup>-1</sup>	$3.6 \times 10^{-8}$
与玻尔磁子之比	$\mu_\mu/\mu_B$	$-4.841\ 970\ 49(12) \times 10^{-3}$		$2.5 \times 10^{-8}$
与核磁子之比	$\mu_\mu/\mu_N$	-8.890 597 05(23)		$2.5 \times 10^{-8}$
$\mu$ 子磁矩反常 $ \mu_\mu /(eh/2m_\mu) - 1$	$a_\mu$	$1.165\ 920\ 69(60) \times 10^{-3}$		$5.2 \times 10^{-7}$
$\mu$ 子 g 因子 $-2(1 + a_\mu)$	$g_\mu$	-2.002 331 8414(12)		$6.0 \times 10^{-10}$
$\mu$ 子 - 质子磁矩比	$\mu_\mu/\mu_p$	-3.183 345 137(85)		$2.7 \times 10^{-8}$
$\tau$ 子质量 <sup>e)</sup>	$m_\tau$	$\tau$ 子 $\pi^-$ $3.167\ 77(52) \times 10^{-27}$	kg	$1.6 \times 10^{-4}$
以 u 为单位 $m_\tau = A_r(\tau) u$ ( $\tau$ 子相对原子质量乘以 u)		1.907 68(31)	u	$1.6 \times 10^{-4}$
能量当量	$m_\tau c^2$	$2.847\ 05(46) \times 10^{-10}$	J	$1.6 \times 10^{-4}$
以 MeV 为单位		1776.99(29)	MeV	$1.6 \times 10^{-4}$
$\tau$ 子 - 电子质量比	$m_\tau/m_e$	3477.48(57)		$1.6 \times 10^{-4}$
$\tau$ 子 - $\mu$ 子质量比	$m_\tau/m_\mu$	16.8183(27)		$1.6 \times 10^{-4}$
$\tau$ 子 - 质子质量比	$m_\tau/m_p$	1.893 90(31)		$1.6 \times 10^{-4}$
$\tau$ 子 - 中子质量比	$m_\tau/m_n$	1.891 29(31)		$1.6 \times 10^{-4}$
$\tau$ 子摩尔质量 $N_A m_\tau$	$M(\tau), M_\tau$	$1.907\ 68(31) \times 10^{-3}$	kg mol <sup>-1</sup>	$1.6 \times 10^{-4}$
$\tau$ 子康普顿波长 $h/m_\tau c$	$\lambda_{C,\tau}$	$0.697\ 72(11) \times 10^{-15}$	m	$1.6 \times 10^{-4}$
$\lambda_{C,\tau}/2\pi$	$\tilde{\lambda}_{C,\tau}$	$0.111\ 046(18) \times 10^{-15}$	m	$1.6 \times 10^{-4}$
质子质量	$m_p$	质子 $p$ $1.672\ 621\ 637(83) \times 10^{-27}$	kg	$5.0 \times 10^{-8}$
以 u 为单位 $m_p = A_r(p) u$ (质子相对原子质量乘以 u)		1.007 276 466 77(10)	u	$1.0 \times 10^{-10}$
能量当量	$m_p c^2$	$1.503\ 277\ 359(75) \times 10^{-10}$	J	$5.0 \times 10^{-8}$
以 MeV 为单位		938.272 013(23)	MeV	$2.5 \times 10^{-8}$
质子 - 电子质量比	$m_p/m_e$	1836.152 672 47(80)		$4.3 \times 10^{10}$
质子 - $\mu$ 子质量比	$m_p/m_\mu$	8.880 243 39(23)		$2.5 \times 10^{-8}$
质子 - $\tau$ 子质量比	$m_p/m_\tau$	0.528 012(86)		$1.6 \times 10^{-4}$
质子 - 中子质量比	$m_p/m_n$	0.998 623 478 24(46)		$4.6 \times 10^{-10}$
质子荷质比	$e/m_p$	$9.578\ 833\ 92(24) \times 10^7$	C kg <sup>-1</sup>	$2.5 \times 10^{-8}$
质子摩尔质量 $N_A m_p$	$M(p), M_p$	$1.007\ 276\ 466\ 77(10) \times 10^{-3}$	kg mol <sup>-1</sup>	$1.0 \times 10^{-10}$
质子康普顿波长 $h/m_p c$	$\lambda_{C,p}$	$1.321\ 409\ 8446(19) \times 10^{-15}$	m	$1.4 \times 10^{-9}$
$\lambda_{C,p}/2\pi$	$\tilde{\lambda}_{C,p}$	$0.210\ 308\ 908\ 61(30) \times 10^{-15}$	m	$1.4 \times 10^{-9}$
质子有效电荷半径	$R_p$	$0.8768(69) \times 10^{-15}$	m	$7.8 \times 10^{-3}$
质子磁矩	$\mu_p$	$1.410\ 606\ 662(37) \times 10^{-26}$	J T <sup>-1</sup>	$2.6 \times 10^{-8}$
与玻尔磁子之比	$\mu_p/\mu_B$	$1.521\ 032\ 209(12) \times 10^{-3}$		$8.1 \times 10^{-9}$
与核磁子之比	$\mu_p/\mu_N$	2.792 847 356(23)		$8.2 \times 10^{-9}$
质子 g 因子 $2\mu_p/\mu_N$	$g_p$	5.585 694 713(46)		$8.2 \times 10^{-9}$
质子 - 中子磁矩比	$\mu_p/\mu_n$	-1.459 898 06(34)		$2.4 \times 10^{-7}$
屏蔽的质子磁矩 ( $H_2O$ , 球, 25 °C)	$\mu'_p$	$1.410\ 570\ 419(38) \times 10^{-26}$	J T <sup>-1</sup>	$2.7 \times 10^{-8}$
与玻尔磁子之比	$\mu'_p/\mu_B$	$1.520\ 993\ 128(17) \times 10^{-3}$		$1.1 \times 10^{-8}$
与核磁子之比	$\mu'_p/\mu_N$	2.792 775 598(30)		$1.1 \times 10^{-8}$
质子抗磁屏蔽修正 $1 - \mu'_p/\mu_p$ ( $H_2O$ , 球, 25 °C)	$\sigma'_p$	$25.694(14) \times 10^{-6}$		$5.3 \times 10^{-4}$
质子旋磁比 $2\mu_p/\hbar$	$Y_p$	$2.675\ 222\ 099(70) \times 10^8$	s <sup>-1</sup> T <sup>-1</sup>	$2.6 \times 10^{-8}$
	$Y'_p/2\pi$	42.577 4821(11)	MHz T <sup>-1</sup>	$2.6 \times 10^{-8}$
屏蔽的质子旋磁比 $2\mu'_p/\hbar$ ( $H_2O$ , 球, 25 °C)	$Y'_p$	$2.675\ 153\ 362(73) \times 10^8$	s <sup>-1</sup> T <sup>-1</sup>	$2.7 \times 10^{-8}$

量	符号	数值	单位	相对标准不确定度 $u_r$
	$Y'_p/2\pi$	42.576 3881( 12 )	MHz T <sup>-1</sup>	$2.7 \times 10^{-8}$
中子质量	$m_n$	中子 $n$ 1.674 927 211( 84 ) $\times 10^{-27}$	kg	$5.0 \times 10^{-8}$
以 u 为单位 $m_n = A_n(\text{n}) u$ (中子相对原子质量乘以 u)		1.008 664 915 97( 43 )	u	$4.3 \times 10^{-10}$
能量当量	$m_n c^2$	1.505 349 505( 75 ) $\times 10^{-10}$	J	$5.0 \times 10^{-8}$
以 MeV 为单位		939.565 346( 23 )	MeV	$2.5 \times 10^{-8}$
中子 - 电子质量比	$m_n/m_e$	1838.683 6605( 11 )		$6.0 \times 10^{-10}$
中子 - $\mu$ 子质量比	$m_n/m_\mu$	8.892 484 09( 23 )		$2.5 \times 10^{-8}$
中子 - $\tau$ 子质量比	$m_n/m_\tau$	0.528 740( 86 )		$1.6 \times 10^{-4}$
中子 - 质子质量比	$m_n/m_p$	1.001 378 419 18( 46 )		$4.6 \times 10^{-10}$
中子摩尔质量 $N_A m_n$	$M(\text{n}), M_n$	1.008 664 915 97( 43 ) $\times 10^{-3}$	kg mol <sup>-1</sup>	$4.3 \times 10^{-10}$
中子康普顿波长 $h/m_n c$	$\lambda_{C,n}$	1.319 590 8951( 20 ) $\times 10^{-15}$	m	$1.5 \times 10^{-9}$
$\lambda_{C,n}/2\pi$	$\tilde{\lambda}_{C,n}$	0.210 019 413 82( 31 ) $\times 10^{-15}$	m	$1.5 \times 10^{-9}$
中子磁矩	$\mu_n$	-0.966 236 41( 23 ) $\times 10^{-26}$	J T <sup>-1</sup>	$2.4 \times 10^{-7}$
与玻尔磁子之比	$\mu_n/\mu_B$	-1.041 875 63( 25 ) $\times 10^{-3}$		$2.4 \times 10^{-7}$
与核磁子之比	$\mu_n/\mu_N$	-1.913 042 73( 45 )		$2.4 \times 10^{-7}$
中子 $g$ 因子 $2\mu_n/\mu_N$	$g_n$	-3.826 085 45( 90 )		$2.4 \times 10^{-7}$
中子 - 电子磁矩比	$\mu_n/\mu_e$	1.040 668 82( 25 ) $\times 10^{-3}$		$2.4 \times 10^{-7}$
中子 - 质子磁矩比	$\mu_n/\mu_p$	-0.684 979 34( 16 )		$2.4 \times 10^{-7}$
中子与屏蔽质子磁矩比 (H <sub>2</sub> O, 球, 25 °C)	$\mu_n/\mu'_p$	-0.684 996 94( 16 )		$2.4 \times 10^{-7}$
中子旋磁比 $2 \mu_n /\hbar$	$Y_n$	1.832 471 85( 43 ) $\times 10^8$	s <sup>-1</sup> T <sup>-1</sup>	$2.4 \times 10^{-7}$
	$Y_n/2\pi$	29.164 6954( 69 )	MHz T <sup>-1</sup>	$2.4 \times 10^{-7}$
氘核质量	$m_d$	氘核 $d$ 3.343 583 20( 17 ) $\times 10^{-27}$	kg	$5.0 \times 10^{-8}$
以 u 为单位 $m_d = A_d(\text{d}) u$ (氘核相对原子质量乘以 u)		2.013 553 212 724( 78 )	u	$3.9 \times 10^{-11}$
能量当量	$m_d c^2$	3.005 062 72( 15 ) $\times 10^{-10}$	J	$5.0 \times 10^{-8}$
以 MeV 为单位		1875.612 793( 47 )	MeV	$2.5 \times 10^{-8}$
氘核 - 电子质量比	$m_d/m_e$	3670.482 9654( 16 )		$4.3 \times 10^{-10}$
氘核 - 质子质量比	$m_d/m_p$	1.999 007 501 08( 22 )		$1.1 \times 10^{-10}$
氘核摩尔质量 $N_A m_d$	$M(\text{d}), M_d$	2.013 553 212 724( 78 ) $\times 10^{-3}$	kg mol <sup>-1</sup>	$3.9 \times 10^{-11}$
氘核有效电荷半径	$R_d$	2.1402( 28 ) $\times 10^{-15}$	m	$1.3 \times 10^{-3}$
氘核磁矩	$\mu_d$	0.433 073 465( 11 ) $\times 10^{-26}$	J T <sup>-1</sup>	$2.6 \times 10^{-8}$
与玻尔磁子之比	$\mu_d/\mu_B$	0.466 975 4556( 39 ) $\times 10^{-3}$		$8.4 \times 10^{-9}$
与核磁子之比	$\mu_d/\mu_N$	0.857 438 2308( 72 )		$8.4 \times 10^{-9}$
氘核 $g$ 因子 $\mu_d/\mu_N$	$g_d$	0.857 438 2308( 72 )		$8.4 \times 10^{-9}$
氘核 - 电子磁矩比	$\mu_d/\mu_e$	-4.664 345 537( 39 ) $\times 10^{-4}$		$8.4 \times 10^{-9}$
氘核 - 质子磁矩比	$\mu_d/\mu_p$	0.307 012 2070( 24 )		$7.7 \times 10^{-9}$
氘核 - 中子磁矩比	$\mu_d/\mu_n$	-0.448 206 52( 11 )		$2.4 \times 10^{-7}$
氚核质量	$m_t$	氚核 $t$ 5.007 355 88( 25 ) $\times 10^{-27}$	kg	$5.0 \times 10^{-8}$
以 u 为单位 $m_t = A_t(\text{t}) u$ (氚核相对原子质量乘以 u)		3.015 500 7134( 25 )	u	$8.3 \times 10^{-10}$
能量当量	$m_t c^2$	4.500 387 03( 22 ) $\times 10^{-10}$	J	$5.0 \times 10^{-8}$
以 MeV 为单位		2808.920 906( 70 )	MeV	$2.5 \times 10^{-8}$
氚核 - 电子质量比	$m_t/m_e$	5496.921 5269( 51 )		$9.3 \times 10^{-10}$
氚核 - 质子质量比	$m_t/m_p$	2.993 717 0309( 25 )		$8.4 \times 10^{-10}$
氚核摩尔质量 $N_A m_t$	$M(\text{t}), M_t$	3.015 500 7134( 25 ) $\times 10^{-3}$	kg mol <sup>-1</sup>	$8.3 \times 10^{-10}$
氚核磁矩	$\mu_t$	1.504 609 361( 42 ) $\times 10^{-26}$	J T <sup>-1</sup>	$2.8 \times 10^{-8}$
与玻尔磁子之比	$\mu_t/\mu_B$	1.622 393 657( 21 ) $\times 10^{-3}$		$1.3 \times 10^{-8}$
与核磁子之比	$\mu_t/\mu_N$	2.978 962 448( 38 )		$1.3 \times 10^{-8}$
氚核 $g$ 因子 $2\mu_t/\mu_N$	$g_t$	5.957 924 896( 76 )		$1.3 \times 10^{-8}$
氚核 - 电子磁矩比	$\mu_t/\mu_e$	-1.620 514 423( 21 ) $\times 10^{-3}$		$1.3 \times 10^{-8}$
氚核 - 质子磁矩比	$\mu_t/\mu_p$	1.066 639 908( 10 )		$9.8 \times 10^{-9}$

量	符号	数值	单位	相对标准不确定度 $u_r$
氘核 - 中子磁矩比	$\mu_n/\mu_n$	-1.557 185 53(37)		$2.4 \times 10^{-7}$
氦核质量 <sup>1)</sup> 以 u 为单位 $m_h = A_r(\text{h}) u$ (氦核相对原子质量乘以 u)	$m_h$	氦核 h 5.006 411 92(25) $\times 10^{-27}$ 3.014 932 2473(26)	kg u	$5.0 \times 10^{-8}$ $8.6 \times 10^{-10}$
能量当量 以 MeV 为单位	$m_h c^2$	4.499 538 64(22) $\times 10^{-10}$ 2808.391 383(70)	J MeV	$5.0 \times 10^{-8}$ $2.5 \times 10^{-8}$
氦核 - 电子质量比	$m_h/m_e$	5495.885 2765(52)		$9.5 \times 10^{-10}$
氦核 - 质子质量比	$m_h/m_p$	2.993 152 6713(26)		$8.7 \times 10^{-10}$
氦核摩尔质量 $N_A m_h$	$M(\text{h}), M_h$	3.014 932 2473(26) $\times 10^{-3}$	kg mol <sup>-1</sup>	$8.6 \times 10^{-10}$
屏蔽氦核磁矩 (气体, 球, 25 °C)	$\mu'_h$	-1.074 552 982(30) $\times 10^{-26}$	J T <sup>-1</sup>	$2.8 \times 10^{-8}$
与玻尔磁子之比	$\mu'_h/\mu_B$	-1.158 671 471(14) $\times 10^{-3}$		$1.2 \times 10^{-8}$
与核磁子之比	$\mu'_h/\mu_N$	-2.127 497 718(25)		$1.2 \times 10^{-8}$
屏蔽氦核与质子磁矩比 (气体, 球, 25 °C)	$\mu'_h/\mu_p$	-0.761 766 558(11)		$1.4 \times 10^{-8}$
屏蔽氦核与屏蔽质子磁矩之比 (气体/H <sub>2</sub> O, 球, 25 °C)	$\mu'_h/\mu'_p$	-0.761 786 1313(33)		$4.3 \times 10^{-9}$
屏蔽氦核旋磁比 $2 \mu'_h /\hbar$ (气体, 球, 25 °C)	$Y'_h$	2.037 894 730(56) $\times 10^8$	s <sup>-1</sup> T <sup>-1</sup>	$2.8 \times 10^{-8}$
	$Y'_h/2\pi$	32.434 101 98(90)	MHz T <sup>-1</sup>	$2.8 \times 10^{-8}$
$\alpha$ 粒子质量	$m_\alpha$	$\alpha$ 粒子 $\alpha$ 6.644 656 20(33) $\times 10^{-27}$ 4.001 506 179 127(62)	kg u	$5.0 \times 10^{-8}$ $1.5 \times 10^{-11}$
能量当量 以 MeV 为单位	$m_\alpha c^2$	5.971 919 17(30) $\times 10^{-10}$ 3727.379 109(93)	J MeV	$5.0 \times 10^{-8}$ $2.5 \times 10^{-8}$
$\alpha$ 粒子与电子质量比	$m_\alpha/m_e$	7294.299 5365(31)		$4.2 \times 10^{-10}$
$\alpha$ 粒子与质子质量比	$m_\alpha/m_p$	3.972 599 689 51(41)		$1.0 \times 10^{-10}$
$\alpha$ 粒子摩尔质量 $N_A m_\alpha$	$M(\alpha), M_\alpha$	4.001 506 179 127(62) $\times 10^{-3}$	kg mol <sup>-1</sup>	$1.5 \times 10^{-11}$
阿伏伽德罗常数	$N_A L$	物理化学常数 6.022 141 79(30) $\times 10^{23}$	mol <sup>-1</sup>	$5.0 \times 10^{-8}$
原子质量常数 $m_u = \frac{1}{12} m(^{12}\text{C})$ $= 1 u = 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}/N_A$	$m_u$	1.660 538 782(83) $\times 10^{-27}$	kg	$5.0 \times 10^{-8}$
能量当量 以 MeV 为单位	$m_u c^2$	1.492 417 830(74) $\times 10^{-10}$ 931.494 028(23)	J MeV	$5.0 \times 10^{-8}$ $2.5 \times 10^{-8}$
法拉第常数 <sup>2)</sup> $N_A e$	$F$	96 485.3399(24)	C mol <sup>-1</sup>	$2.5 \times 10^{-8}$
摩尔普朗克常数	$N_A \hbar$	3.990 312 6821(57) $\times 10^{-10}$	J s mol <sup>-1</sup>	$1.4 \times 10^{-9}$
摩尔气体常数	$N_A h c$	0.119 626 564 72(17)	J m mol <sup>-1</sup>	$1.4 \times 10^{-9}$
玻尔兹曼常数 $R/N_A$ 以 eV K <sup>-1</sup> 为单位	$R$	8.314 472(15)	J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	$1.7 \times 10^{-6}$
	$k$	1.380 6504(24) $\times 10^{-23}$ 8.617 343(15) $\times 10^{-5}$	J K <sup>-1</sup> eV K <sup>-1</sup>	$1.7 \times 10^{-6}$ $1.7 \times 10^{-6}$
	$k/\hbar$	2.083 6644(36) $\times 10^{10}$	Hz K <sup>-1</sup>	$1.7 \times 10^{-6}$
	$k/hc$	69.503 56(12)	m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	$1.7 \times 10^{-6}$
理想气体的摩尔体积 $RT/p$ $T=273.15 \text{ K}, p=101.325 \text{ kPa}$	$V_m$	22.413 996(39) $\times 10^{-3}$	m <sup>3</sup> mol <sup>-1</sup>	$1.7 \times 10^{-6}$
洛施密特常数 $N_A/V_m$ $T=273.15 \text{ K}, p=100 \text{ kPa}$	$n_0$	2.686 7774(47) $\times 10^{25}$	m <sup>-3</sup>	$1.7 \times 10^{-6}$
萨库尔 - 蒂特罗德常数 (绝对熵常数) <sup>3)</sup> $\frac{5}{2} + \ln[(2\pi m_u k T_1/h^2)^{3/2} k T_1/p_0]$ $T_1=1 \text{ K}, p_0=100 \text{ kPa}$	$V_m$	22.710 981(40) $\times 10^{-3}$	m <sup>3</sup> mol <sup>-1</sup>	$1.7 \times 10^{-6}$
	$S_0/R$	-1.151 7047(44)		$3.8 \times 10^{-6}$

量	符号	数值	单位	相对标准不确定度 $u_r$
$T_1 = 1 \text{ K}, p_0 = 101.325 \text{ kPa}$		-1.164 8677(44)		$3.8 \times 10^{-6}$
斯特藩-玻尔兹曼常数 ( $\pi^2/60$ ) $k^4/\hbar^3 c^2$	$\sigma$	$5.670 400(40) \times 10^{-8}$	$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$	$7.0 \times 10^{-6}$
第一辐射常数 $2\pi\hbar c^2$	$c_1$	$3.741 771 18(19) \times 10^{-16}$	$\text{W m}^2$	$5.0 \times 10^{-8}$
用于谱线辐射的第一辐射常数 $2hc^2$	$c_{1L}$	$1.191 042 759(59) \times 10^{-16}$	$\text{W m}^2 \text{sr}^{-1}$	$5.0 \times 10^{-8}$
第二辐射常数 $\hbar c/k$	$c_2$	$1.438 7752(25) \times 10^{-2}$	$\text{m K}$	$1.7 \times 10^{-6}$
维恩位移定律常数 $b = \lambda_{\text{max}} T = c_2/4.965 114 231 \dots$	$b$	$2.897 7685(51) \times 10^{-3}$	$\text{m K}$	$1.7 \times 10^{-6}$
$b' = \nu_{\text{max}}/T$ $= 2.821 439 372 \dots c/c_2$	$b'$	$5.878 933(10) \times 10^{10}$	$\text{Hz K}^{-1}$	$1.7 \times 10^{-6}$

- a) 参阅“采用值”表,可找到表示约瑟夫森效应复现伏特的国际采用值.
- b) 参阅“采用值”表,可找到表示量子霍尔效应复现欧姆的国际采用值.
- c) 由粒子数据组推荐的数值(Yao *et al.*, J. Phys. G, 2006 33 1)
- d) 根据粒子数据组推荐的 W 和 Z 玻色子的质量比  $m_W/m_Z$ (Yao *et al.*, J. Phys. G, 2006 33 1),他们推荐的  $\sin^2\theta_W$  的值为  $\sin^2\theta_W(M_Z) = 0.231 22(15)$ , 是基于 ( $\overline{\text{ms}}\chi$  modified minimal subtraction) 方案特殊处理得到的.
- e) 这个数值和所有含有  $m_\tau$  的其他数值,均根据由粒子数据组推荐的以 MeV 为单位的  $m_\tau c^2$  的值(Yao *et al.*, J. Phys. G, 2006 33 1),但其标准不确定度为 0.29 MeV,而不是所引的不确定度 -0.26 MeV, +0.29 MeV.
- f) 符号为 h 的氦核是  $^3\text{He}$  的原子核.
- g) 当相应电流是用基于约瑟夫森效应和量子霍尔效应的伏特和欧姆表示,以及国际上采用的约瑟夫森常数  $K_{J-90}$  和冯·克利青常数  $R_{K-90}$  由“采用值”表给出时,在库仑计化学测量中所用的  $F$  的数值是 96 485.3401(48) [ $5.0 \times 10^{-8}$ ].
- h) 相对原子量为  $A_r$  的单原子理想气体的熵为  $S = S_0 + \frac{3}{2}R\ln A_r - R\ln(p/p_0) + \frac{5}{2}R\ln(T/K)$ .

各种量的国际采用值

量	符号	数值	单位	相对标准不确定度 $u_r$
$^{12}\text{C}$ 的相对原子质量 <sup>a)</sup>	$A_r(^{12}\text{C})$	12		(精确)
摩尔质量常数	$M_u$	$1 \times 10^{-3}$	$\text{kg mol}^{-1}$	(精确)
$^{12}\text{C}$ 的摩尔质量	$M(^{12}\text{C})$	$12 \times 10^{-3}$	$\text{kg mol}^{-1}$	(精确)
约瑟夫森常数的普适值 <sup>b)</sup>	$K_{J-90}$	483 597.9	$\text{GHz V}^{-1}$	(精确)
冯·克利青常数的普适值 <sup>c)</sup>	$R_{K-90}$	25 812.807	$\Omega$	(精确)
标准大气压		101 325	$\text{Pa}$	(精确)

- a) 质量为  $A_r(X)$  的粒子 X 的相对原子量  $A_r(X)$  被定义为  $A_r(X) = m(X)/m_u$ , 这里  $m_u = m(^{12}\text{C})/12 = M_u/N_A = 1 \text{ u}$  是原子质量常数,  $M_u$  是摩尔质量常数,  $N_A$  是阿伏伽德罗常数,  $\mu$  是统一的原子质量单位. 因此, 粒子 X 的质量是  $m(X) = A_r(X) \text{ u}$ ; X 的摩尔质量是  $M(X) = A_r(X)M_u$ .
- b) 这是用约瑟夫森效应复现伏特的国际采用值.
- c) 这里是用量子霍尔效应复现欧姆的国际采用值.

2006 CODATA 推荐的能量当量值

相关单位

	J	kg	$\text{m}^{-1}$	Hz
1J	(1 J) = 1 J	$(1 \text{ J})/c^2 = 1.112 650 056 \dots \times 10^{-17} \text{ kg}$	$(1 \text{ J})/\hbar c = 5.034 117 47(25) \times 10^{24} \text{ m}^{-1}$	$(1 \text{ J})/\hbar = 1.509 190 450(75) \times 10^{33} \text{ Hz}$
1 kg	$(1 \text{ kg})c^2 = 8.987 551 787 \dots \times 10^{16} \text{ J}$	(1 kg) = 1 kg	$(1 \text{ kg})c/\hbar = 4.524 439 15(23) \times 10^{41} \text{ m}^{-1}$	$(1 \text{ kg})c^2/\hbar = 1.356 392 733(68) \times 10^{50} \text{ Hz}$
$1 \text{ m}^{-1}$	$(1 \text{ m}^{-1})\hbar c = 1.986 445 501(99) \times 10^{-25} \text{ J}$	$(1 \text{ m}^{-1})\hbar/c = 2.210 218 70(11) \times 10^{-42} \text{ kg}$	(1 $\text{m}^{-1}$ ) = 1 $\text{m}^{-1}$	$(1 \text{ m}^{-1})c = 299 792 458 \text{ Hz}$
1 Hz	$(1 \text{ Hz})\hbar = 6.626 068 96(33) \times 10^{-34} \text{ J}$	$(1 \text{ Hz})\hbar/c^2 = 7.372 496 00(37) \times 10^{-51} \text{ kg}$	$(1 \text{ Hz})/c = 3.335 640 951 \dots \times 10^{-9} \text{ m}^{-1}$	(1 Hz) = 1 Hz
1 K	$(1 \text{ K})k = 1.380 6504(24) \times 10^{-23} \text{ J}$	$(1 \text{ K})k/c^2 = 1.536 1807(27) \times 10^{-40} \text{ kg}$	$(1 \text{ K})k/\hbar c = 69.503 56(12) \text{ m}^{-1}$	$(1 \text{ K})k/\hbar = 2.083 6644(36) \times 10^{10} \text{ Hz}$

相关单位

	J	kg	m <sup>-1</sup>	Hz
1 eV	(1 eV) = 1.602 176 487(40) × 10 <sup>-19</sup> J	(1 eV)/c <sup>2</sup> = 1.782 661 758(44) × 10 <sup>-36</sup> kg	(1 eV)/hc = 8.065 544 65(20) × 10 <sup>5</sup> m <sup>-1</sup>	(1 eV)/h = 2.417 989 454(60) × 10 <sup>14</sup> Hz
1 u	(1 u)c <sup>2</sup> = 1.492 417 830(74) × 10 <sup>-10</sup> J	(1 u) = 1.660 538 782(83) × 10 <sup>-27</sup> kg	(1 u)c/h = 7.513 006 671(11) × 10 <sup>14</sup> m <sup>-1</sup>	(1 u)c <sup>2</sup> /h = 2.252 342 7369(32) × 10 <sup>23</sup> Hz
1 E <sub>h</sub>	(1 E <sub>h</sub> ) = 4.359 743 94(22) × 10 <sup>-18</sup> J	(1 E <sub>h</sub> )/c <sup>2</sup> = 4.850 869 34(24) × 10 <sup>-35</sup> kg	(1 E <sub>h</sub> )/hc = 2.194 746 313 705(15) × 10 <sup>7</sup> m <sup>-1</sup>	(1 E <sub>h</sub> )/h = 6.579 683 920 722(44) × 10 <sup>15</sup> Hz

从关系式  $E = mc^2 = hc/\lambda = h\nu = kT$  并根据常数值的 CODATA 2006 平差推出的一些能量当量:  $1 \text{ eV} = (e/C) \text{ J}$ ,  $1 \text{ u} = m_u = \frac{1}{12} m(^{12}\text{C}) = 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1} / N_A$ ,  $E_h = 2R_\infty hc = \alpha^2 m_e c^2$  是哈特里能量(Hardree energy).

2006 CODATA 推荐的能量当量值

相关单位

	K	eV	u	E <sub>h</sub>
1 J	(1 J)/k = 7.242 963(13) × 10 <sup>22</sup> K	(1 J) = 6.241 509 65(16) × 10 <sup>18</sup> eV	(1 J)/c <sup>2</sup> = 6.700 536 41(33) × 10 <sup>9</sup> u	(1 J) = 2.293 712 69(11) × 10 <sup>17</sup> E <sub>h</sub>
1 kg	(1 kg)c <sup>2</sup> /k = 6.509 651(11) × 10 <sup>39</sup> K	(1 kg)c <sup>2</sup> = 5.609 589 12(14) × 10 <sup>35</sup> eV	(1 kg) = 6.022 141 79(30) × 10 <sup>26</sup> u	(1 kg)c <sup>2</sup> = 2.061 486 16(10) × 10 <sup>34</sup> E <sub>h</sub>
1 m <sup>-1</sup>	(1 m <sup>-1</sup> )hc/k = 1.438 7752(25) × 10 <sup>-2</sup> K	(1 m <sup>-1</sup> )hc = 1.239 841 875(31) × 10 <sup>-6</sup> eV	(1 m <sup>-1</sup> )h/c = 1.331 025 0394(19) × 10 <sup>-15</sup> u	(1 m <sup>-1</sup> )hc = 4.556 335 252 760(30) × 10 <sup>-8</sup> E <sub>h</sub>
1 Hz	(1 Hz)h/k = 4.799 2374(84) × 10 <sup>-11</sup> K	(1 Hz)h = 4.135 667 33(10) × 10 <sup>-15</sup> eV	(1 Hz)h/c <sup>2</sup> = 4.439 821 6294(64) × 10 <sup>-24</sup> u	(1 Hz)h = 1.519 829 846 006(10) × 10 <sup>-16</sup> E <sub>h</sub>
1 K	(1 K) = 1 K	(1 K)k = 8.617 343(15) × 10 <sup>-5</sup> eV	(1 K)k/c <sup>2</sup> = 9.251 098(16) × 10 <sup>-14</sup> u	(1 K)k = 3.166 8153(55) × 10 <sup>-6</sup> E <sub>h</sub>
1 eV	(1 eV)/k = 1.160 4505(20) × 10 <sup>4</sup> K	(1 eV) = 1 eV	(1 eV)/c <sup>2</sup> = 1.073 544 188(27) × 10 <sup>-9</sup> u	(1 eV) = 3.674 932 540(92) × 10 <sup>-2</sup> E <sub>h</sub>
1 u	(1 u)c <sup>2</sup> /k = 1.080 9527(19) × 10 <sup>13</sup> K	(1 u)c <sup>2</sup> = 931.494 028(23) × 10 <sup>6</sup> eV	(1 u) = 1 u	(1 u)c <sup>2</sup> = 3.423 177 7149(49) × 10 <sup>7</sup> E <sub>h</sub>
1 E <sub>h</sub>	(1 E <sub>h</sub> )/k = 3.157 7465(55) × 10 <sup>5</sup> K	(1 E <sub>h</sub> ) = 27.211 383 86(68) eV	(1 E <sub>h</sub> )/c <sup>2</sup> = 2.921 262 2986(42) × 10 <sup>-8</sup> u	(1 E <sub>h</sub> ) = 1 E <sub>h</sub>

从关系式  $E = mc^2 = hc/\lambda = h\nu = kT$  并根据常数值的 CODATA 2006 平差推出的一些能量当量:  $1 \text{ eV} = (e/C) \text{ J}$ ,  $1 \text{ u} = m_u = \frac{1}{12} m(^{12}\text{C}) = 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1} / N_A$ ,  $E_h = 2R_\infty hc = \alpha^2 m_e c^2$  是哈特里能量.

参考文献

[ 1 ] Mohr P J , Taylor B N , Newell D B. Physics Today , 2007 , 60 ( 7 ) 52  
 [ 2 ] Cohen E R , Taylo B N. J. Phys. Chem. Ref. Data ,1973 2 663  
 [ 3 ] Cohen E R , Taylo B N. Rev. Mod. Phys. 1987 59 :121 沈乃澂 编译,1986 年基本物理常数国际推荐值,北京:科学出版社, 1987[ Cohen E R , Taylo B N. Shen Nai-Cheng( ed. and trans. ). 1986 International Recommended Value of Fundamental Physical Constants ,Beijing Science Press , 1987( in Chinese ) ]  
 [ 4 ] 郭奕玲. 物理,1989,18(3):129[ Guo Y L. Wuli( Physics ), 1989,18(3):129( in Chinese ) ]  
 [ 5 ] Mohr P J , Taylor B N. Rev. Mod. Phys. ,2000 ,72 :351 ;沈乃

澂编译,聂玉昕审校,基本物理常数 1998 年国际推荐值,北京:中国计量出版社,2004[ Mohr P J , Taylor B N. Shen N Ch( ed. and trans. ), Nie Y X( Check ). 1998 Intemational Recommened Value of Fundamental Physical Constants , Beijing : Chinese Metrology Press , 2004( in Chinese ) ]  
 [ 6 ] 刘瑞琨 张钟华 沈乃澂. 物理 2000 29 602[ Liu R M , Zhang Z H , Shen N C. Wuli( Physics ) 2000 29 602( in Chinese ) ]  
 [ 7 ] Mohr P J , Taylor B N. Rev. Mod. Phys. , 2005 , 77 :1 郭奕玲、沈慧君 物理学史( 第二版) 北京:清华大学出版社 2005 448 - 463[ Guo Y L , Shen H J. History of Physics( Second edition ). Beijing Tsinghua University Press 2005. 448 - 463( in Chinese ) ]  
 [ 8 ] Schwarzschild Bertram. Physics Today , 2006 59( 8 ) :15