

度增加质量可以达到更大的增益.比较理想的估计表明.在 60—100kJ 激光能量驱动下,实现等密度模型的点火是可能的.总之,快点火内爆的优越性使设计变得相对容易.快点火方式的困难在于点火.迄今,可行性问题尚没有解决,所需点火激光能量也还没有确切的估计.所涉及的超强激光相互作用的很多问题有待深入研究,特别是在快点火实际的情况及时空尺度下研究点火激光在预压缩形成的等离子体中传播、侵蚀,多种不稳定性的激发、成丝,稠密等离子体中的打洞, MeV 级超热电子和相应的亿高斯的慢变超强磁场产生及作用,等等.此外,超热电子的传播、加热、点火等问题,目前的研究更显得少些.其他点火手段,如粒子束也非常值得深入研究.

参 考 文 献

- [1] Lindl J. Phys. Plasmas, 1995, 2:3933
 [2] Soures J M *et al.* Phys. Plasmas, 1996, 3:2108
 [3] Tabak M *et al.* Phys. Plasma, 1994, 1:1626
 [4] Meyer ter Vehn J. Nuclear Fusion, 1982, 22:561
 [5] Kidder R E. Nuclear Fusion, 1976, 16:405
 [6] Caruso A, Pais V A. Nucl. Fusion, 1996, 36:745
 [7] Atzeni S. Phys. Plasmas, 1999, 6:3316
 [8] Fuchs J *et al.* Phys. Rev. Lett., 1988, 80:1658
 [9] Borghesi M *et al.* Phys. Rev. Lett., 1997, 78:879
 [10] Young D E, Bolton P R. Phys. Rev. Lett., 1996, 77:4556
 [11] Decker C D *et al.* Phys. Plasmas, 1996, 3:2047
 [12] Askaryan G A *et al.* Comments Plasma Phys. Controlled Fusion, 1995, 17:35
 [13] Shvets G, Wurtele J S. Phys. Rev. Lett., 1994, 73:3540
 [14] Ting A *et al.* Phys. Plasmas, 1997, 4:1889
 [15] Pukhov A *et al.* Phys. Plasmas, 1999, 6:2847
 [16] Pukhov A *et al.* Phys. Plasmas, 1998, 5:1880
 [17] Pukhov A, Meyer ter Vehn J. Phys. Rev. Lett., 1996, 76:3975
 [18] Zepf M *et al.* Phys. Plasmas, 1996, 3:3242
 [19] 曹莉华,常铁强,常文蔚等.强激光与粒子束, 1998, 10:433
 [CAO Li Hua, CHANG Tie-Qiang, CHENG Wen-Wei *et al.* High Power Laser and Particle Beams, 1998, 10:433(in Chinese)]
 [20] Malka G, Miquel J L. Phys. Rev. Lett., 1996, 77:75
 [21] Sprangle S, Esarey E, Krall J *et al.* Phys. Rev. Lett., 1992, 69:2200

基本物理化学常数的 CODATA 最新推荐值*

刘瑞珉¹⁾ 张钟华²⁾

(中国计量科学研究院 北京 100013)

沈乃澂³⁾

(中国科学院物理研究所计量测试高技术联合实验室 北京 100080)

摘 要 文章给出了由国际科学技术数据委员会(简称 CODATA)推荐的基本物理化学常数及转换因子的 1998 自洽组的数值,供国际上普遍使用.新推荐值的标准不确定度,与 1986 年推荐值的相应不确定度比较,在多数情况下,前者约为后者的 1/5 至 1/12,而在某些情况下,则为其 1/160.然而,几乎在所有情况下,1998 年数值与 1986 年相应值之差的绝对值均小于 1986 年数值的标准不确定度的两倍.

关键词 CODATA,基本常数,转换因子,标准不确定度

NEW CODATA RECOMMENDED VALUES OF THE FUNDAMENTAL PHYSICAL AND CHEMICAL CONSTANTS

LIU Rui-Min¹⁾ ZHANG Zhong-Hua²⁾

(National Institute of Metrology, Beijing 100013)

SHEN Nai-Cheng³⁾

(Joint Laboratory of Advanced Technology in Measurements, Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract We present the self-consistent set of values of the basic constants and conversion factors in physics and

* 2000-06-12 收到初稿, 2000-06-30 修回

- 1) 中国计量科学研究院研究员, 1994—1999 年代表我国参加了 CODATA 基本物理常数任务组的工作, 是该任务组的 13 名委员之一
 2) 中国工程院院士, 中国计量科学研究院研究员, 从 2000 年起接替刘瑞珉代表我国参加该任务组的工作
 3) CODATA 中国委员会基本常数任务组组长

chemistry recommended in 1998 by the Committee on Data for Science and Technology (CODATA) for international use. The standard uncertainties of the new recommended values are in most cases about 1/5 to 1/12 and in some cases 1/160 times the standard uncertainties of the corresponding 1986 values. Moreover, in almost all cases the absolute values of the differences between the 1998 values and the corresponding 1986 values are less than twice the standard uncertainties of the 1986 values.

Key words CODATA, fundamental constants, conversion factors, standard uncertainties

CODATA 建立于 1966 年,是国际科学技术数据委员会的简称,它的任务是寻求改进科学技术的重要数据的品质、可靠性和处理方法,包括管理及理解和推广应用.1969 年成立了 CODATA 基本常数任务组,其目的是定期提供基本物理化学常数和转换因子的国际推荐值的自治组.

1973 年,发表了 CODATA 推荐的第一次基本常数数据^[1];1986 年,发表了第二次推荐数据^[2].本文所介绍的最近发表的第三次 CODATA 推荐值,在发表数据的同时,还附有 1998 年常数平差的详细描述.

CODATA 基本物理常数任务组自 1994 年起就开始准备进行这次平差工作,并要求各国以目前所能达到的最先进手段来测定有关的基本物理常数.根据科学研究和实验结果的新发展,经过 6 年的数据收集、分析和综合平差工作以及多次任务组会议的讨论和反复修改,由该任务组现任主席 Peter J. Mohr 博士及前任主席 Barry N. Taylor 博士执笔起草了“1998 基本物理化学常数 CODATA 推荐值”.

新的基本物理常数推荐值与 1986 年的相比有三个特点:一个是具有更好的不确定度估计,一般约为 1986 年的 1/5 到 1/12,最突出的达到了 1/160,这反映了 13 年来科学技术的飞速发展;另一个是 1998 年数据对 1986 年的改变量,基本上是在 1986 年各数据的不确定度的 2 倍以内,这反映了基本物理常数的稳定性和可靠性;第三个是相同数据之间的一致性和不同数据之间的协调性较 1986 年的好,这是由于编制了一套完整的计算软件,当改变一个数据时,整套数据可以立即重新计算得到,从而使数据的取舍和协调工作可以更快和更科学地进行.从

整体上看,1998 年的数据有更多的有效位,比 1986 年的数据更科学、更准确、更可靠,代表了当今国际科学技术发展的最新水平,必将对目前和今后的科学研究和工程技术提供更有效的帮助.由于原文比较长,CODATA 基本常数任务组正在考虑编写并发表比较简短的报告.

中国计量科学研究院按照 CODATA 基本常数任务组和国际计量局(BIPM)的要求,于 1994 年组织进行了电阻和电流的绝对测量,并由此测定了质子回旋磁比 γ'_p 、约瑟夫森常数 K_J 和冯·克利青常数 R_K 的 SI 值,后根据基本常数任务组的要求,又提供了以 K_{J-90} 和 R_{K-90} 为基础的 γ'_p (强)和 γ'_p (弱)的数值.其中 γ'_p (强)和 γ'_p (弱)的数值及 R_K 的 SI 值已被该任务组在 1998 基本常数平差中采用^[5].

CODATA 发表三次推荐值的间隔均达 13 年之久.1986 年平差所采用的数据来源期限为 1986 年 1 月 1 日,这次推荐的 1998 年平差所采用的数据来源期限为 1998 年 12 月 31 日,直至 1999 年下半年才正式在《J. Phys. Chem. Ref. Data.》第 28 卷第 6 期刊登^[3,4].本文将推荐值分成简表(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 100 余个基本常数及其组合量和有关的转换因子,总数约为 1986 年推荐值数量的一倍.CODATA 希望各国尽快使用这组新的推荐值,而不再使用 1986 年的原先推荐值.这次《物理》尽快刊登简表和全表的目的,也是为了使广大读者,包括科技和教学工作者以及大学生和研究生均能采用这些最新的推荐值.

表1 CODATA 推荐的物理和化学基本常数 1998 年平差值简表

| 量 | 符号 | 数值 | 单位 | 相对标准不确定度 u_r |
|--|---------------|--|---|-----------------------|
| 真空中光速 | c, c_0 | 299 792 458 | m s^{-1} | 准确 |
| 磁常数 | μ_0 | $4\pi \times 10^{-7}$ $= 12.566\ 370\ 614 \dots \times 10^{-7}$ | NA^{-2} | 准确 |
| 电常数 $1/\mu_0 c^2$ | ϵ_0 | $8.854\ 187\ 817 \dots \times 10^{-12}$ | F m^{-1} | 准确 |
| 牛顿引力常数 | G | $6.673(10) \times 10^{-11}$ | $\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$ | 1.5×10^{-3} |
| 普朗克常数 | h | $6.626\ 068\ 76(52) \times 10^{-34}$ | J s | 7.8×10^{-8} |
| $h/2\pi$ | \hbar | $1.054\ 571\ 596(82) \times 10^{-34}$ | J s | 7.8×10^{-8} |
| 基本电荷 | e | $1.602\ 176\ 462(63) \times 10^{-19}$ | C | 3.9×10^{-8} |
| 磁通量子 $h/2e$ | Φ_0 | $2.067\ 833\ 636(81) \times 10^{-15}$ | Wb | 3.9×10^{-8} |
| 电导量子 $2e^2/h$ | G_0 | $7.748\ 091\ 696(28) \times 10^{-5}$ | S | 3.7×10^{-9} |
| 电子质量 | m_e | $9.109\ 381\ 88(72) \times 10^{-31}$ | kg | 7.9×10^{-8} |
| 质子质量 | m_p | $1.672\ 621\ 58(13) \times 10^{-27}$ | kg | 7.9×10^{-8} |
| 质子 - 电子质量比 | m_p/m_e | 1 836.152 667 5(39) | | 2.1×10^{-9} |
| 精细结构常数 | α | $7.297\ 352\ 533(27) \times 10^{-3}$ | | 3.7×10^{-9} |
| 精细结构常数倒数 | α^{-1} | 137.035 999 76(50) | | 3.7×10^{-9} |
| 里德伯常数 | R_∞ | 10 973 731 .568 549(83) | m^{-1} | 7.6×10^{-12} |
| 阿伏伽德罗常数 | N_A, L | $6.022\ 141\ 99(47)05 \times 10^{23}$ | mol^{-1} | 7.9×10^{-8} |
| 法拉第常数 $N_A e$ | F | 96 485 .341 5(39) | C mol^{-1} | 4.0×10^{-8} |
| 摩尔气体常数 | R | 8 .314 472(15) | $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ | 1.7×10^{-6} |
| 玻尔兹曼常数 R/N_A | k | $1.380\ 650\ 3(24) \times 10^{-23}$ | JK^{-1} | 1.7×10^{-6} |
| 斯特藩 - 玻尔兹曼常数 ($\pi^2/60) k^4/h^3 c^2$) | σ | $5.670\ 400(40) \times 10^{-8}$ | $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$ | 7.0×10^{-6} |
| 电子伏 $(e/C) \text{J}$ (统一的)原子质量单位 | eV | $1.602\ 176\ 462(63) \times 10^{-19}$ | J | 3.9×10^{-8} |
| $1 \text{u} = m_u = \frac{1}{12} m(^{12}\text{C})$ $= 10^{-3} \text{kg mol}^{-1}/N_A$ | u | $1.660\ 538\ 73(13) \times 10^{-27}$ | kg | 7.9×10^{-8} |

表2 CODATA 推荐的物理和化学基本常数 1998 年平差值全表

| 量 | 符号 | 数值 | 单位 | 相对标准不确定度 m_r |
|---|--------------|---|---|----------------------|
| | | 普适常数 | | |
| 真空中光速 | c, c_0 | 299 792 458 | ms^{-1} | (精确) |
| 磁常数 | μ_0 | $4\pi \times 10^{-7} = 12.566\ 370\ 614 \dots \times 10^{-7}$ | NA^{-2} | (精确) |
| 电常数 | ϵ_0 | $8.854\ 187\ 817 \dots \times 10^{-12}$ | 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 | Ω | (精确) |
| 牛顿引力常数 | G | $6.673(10) \times 10^{-11}$ | $\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$ | 1.5×10^{-3} |
| 普朗克常数 | h | $6.626\ 068\ 76(52) \times 10^{-34}$ | J s | 7.8×10^{-8} |
| 以 eV s 为单位 | | $4.135\ 667\ 27(16) \times 10^{-15}$ | eV s | 3.9×10^{-8} |
| $h/2\pi$ | \hbar | $1.054\ 571\ 596(82) \times 10^{-34}$ | J s | 7.8×10^{-8} |
| 以 eV s 为单位 | | $6.582\ 118\ 89(26) \times 10^{-16}$ | eV s | 3.9×10^{-8} |
| 普朗克质量 $(\hbar c/G)^{1/2}$ | m_p | $2.1767(16) \times 10^{-8}$ | kg | 7.5×10^{-4} |
| 普朗克长度 $\hbar/m_p c = (\hbar G/c^3)^{1/2}$ | l_p | $1.6160(12) \times 10^{-35}$ | m | 7.5×10^{-4} |
| 普朗克时间 $l_p/c = (\hbar G/c^5)^{1/2}$ | t_p | $5.3906(40) \times 10^{-44}$ | s | 7.5×10^{-4} |
| | | 电磁常数 | | |
| 基本电荷 | e | $1.602\ 176\ 462(63) \times 10^{-19}$ | C | 3.9×10^{-8} |
| | e/h | $2.417\ 989\ 491(95) \times 10^{14}$ | AJ^{-1} | 3.9×10^{-8} |
| 磁通量子 $h/2e$ | Φ_0 | $2.067\ 833\ 636(81) \times 10^{-15}$ | Wb | 3.9×10^{-8} |
| 电导量子 $2e^2/h$ | G_0 | $7.748\ 091\ 696(28) \times 10^{-5}$ | S | 3.7×10^{-9} |
| 电导量子的倒数 | G_0^{-1} | 12 906.403 786(47) | Ω | 3.7×10^{-9} |
| 约瑟夫森常数 ²⁾ $2e/h$ | K_J | $483\ 597.898(19) \times 10^9$ | Hz V^{-1} | 3.9×10^{-8} |

(续表)

| 量 | 符号 | 数值 | 单位 | 相对标准 不确定度 m_r |
|--|-------------------|---|-----------------|-----------------------|
| 冯·克利青常数 ^{b)} $h/e^2 = \mu_0 c/2\alpha$ | R_K | 25 812. 807 572(95) | Ω | 3.7×10^{-9} |
| 玻尔磁子 $e\hbar/2 m_e$ | μ_B | 927. 400 899(37) $\times 10^{-26}$ | $J T^{-1}$ | 4.0×10^{-8} |
| 以 $eV T^{-1}$ 为单位 | | 5. 788 381 749(43) $\times 10^{-5}$ | $eV T^{-1}$ | 7.3×10^{-9} |
| | μ_B/h | 13. 996 246 24(56) $\times 10^9$ | $Hz T^{-1}$ | 4.0×10^{-8} |
| | μ_B/hc | 46. 686 4521(19) | $m^{-1} T^{-1}$ | 4.0×10^{-8} |
| | μ_B/k | 0. 671 7131(12) | $K T^{-1}$ | 1.7×10^{-6} |
| 核磁子 $e\hbar/2 m_p$ | μ_N | 5. 050 783 17(20) $\times 10^{-27}$ | $J T^{-1}$ | 4.0×10^{-8} |
| 以 $eV T^{-1}$ 为单位 | | 3. 152 451 238(24) $\times 10^{-8}$ | $eV T^{-1}$ | 7.6×10^{-9} |
| | μ_N/h | 7. 622 593 96(31) | $MHz T^{-1}$ | 4.0×10^{-8} |
| | μ_N/hc | 2. 542 623 66(10) $\times 10^{-2}$ | $m^{-1} T^{-1}$ | 4.0×10^{-8} |
| | μ_N/k | 3. 658 2638(64) $\times 10^{-4}$ | KT^{-1} | 1.7×10^{-6} |
| | 原子常数 | | | |
| | 一般常数 | | | |
| 精细结构常数 $e^2/4\pi\epsilon_0\hbar c$ | α | 7. 297 352 533(27) $\times 10^{-3}$ | | 3.7×10^{-9} |
| 精细结构常数的倒数 | α^{-1} | 137. 035 999 76(50) | | 3.7×10^{-9} |
| 里德伯常数 $\alpha^2 m_e c/2h$ | R_∞ | 10 973 731. 568 549(83) | m^{-1} | 7.6×10^{-12} |
| | $R_\infty c$ | 3. 289 841 960 368(25) $\times 10^{15}$ | Hz | 7.6×10^{-12} |
| | $R_\infty hc$ | 2. 179 871 90(17) $\times 10^{-18}$ | J | 7.8×10^{-8} |
| $R_\infty hc$ 以 eV 为单位 | | 13. 605 691 72(53) | eV | 3.9×10^{-8} |
| 玻尔半径 $a/4\pi R_\infty = 4\pi\epsilon_0\hbar^2/m_e e^2$ | a_0 | 0. 529 177 2083(19) $\times 10^{-10}$ | m | 3.7×10^{-9} |
| 哈特里能量 $e^2/4\pi\epsilon_0 a_0 = 2 R_\infty hc$ $= \alpha^2 m_e c^2$ | E_h | 4. 359 743 81(34) $\times 10^{-18}$ | J | 7.8×10^{-8} |
| 以 eV 为单位 | | 27. 211 3834(11) | eV | 3.9×10^{-8} |
| 环流量子 | $h/2 m_e$ | 3. 636 947 516(27) $\times 10^{-4}$ | $m^2 s^{-1}$ | 7.3×10^{-9} |
| | h/m_e | 7. 273 895 032(53) $\times 10^{-4}$ | $m^2 s^{-1}$ | 7.3×10^{-9} |
| | 弱电常数 | | | |
| 费米耦合常数 ^{c)} | $G_F/(\hbar c)^3$ | 1. 166 39(1) $\times 10^{-5}$ | GeV^{-2} | 8.6×10^{-6} |
| 弱混合角 ^{d)} θ_W | | | | |
| $\sin^2 \theta_W = s_W^2 \equiv 1 - (m_W/m_Z)^2$ | $\sin^2 \theta_W$ | 0. 2224(19) | | 8.7×10^{-3} |
| | 电子, e^- | | | |
| 电子质量 | m_e | 9. 109 381 88(72) $\times 10^{-31}$ | kg | 7.9×10^{-8} |
| $m_e = A_r(e) u$ (以 u 为单位, 电子相对 原子质量乘以 u) | | 5. 485 799 110(12) $\times 10^{-4}$ | u | 2.1×10^{-9} |
| 能量当量 | $m_e c^2$ | 8. 187 104 14(64) $\times 10^{-14}$ | J | 7.9×10^{-8} |
| 以 MeV 为单位 | | 0. 510 998 902(21) | MeV | 4.0×10^{-8} |
| 电子 - μ 子质量比 | m_e/m_μ | 4. 836 332 10(15) $\times 10^{-3}$ | | 3.0×10^{-8} |
| 电子 - τ 子质量比 | m_e/m_τ | 2. 875 55(47) $\times 10^{-4}$ | | 1.6×10^{-4} |
| 电子 - 质子质量比 | m_e/m_p | 5. 446 170 232(12) $\times 10^{-4}$ | | 2.1×10^{-9} |
| 电子 - 中子质量比 | m_e/m_n | 5. 438 673(12) $\times 10^{-4}$ | | 2.2×10^{-9} |
| 电子 - 氘核质量比 | m_e/m_d | 2. 724 437 1170(58) $\times 10^{-4}$ | | 2.1×10^{-9} |
| 电子 - α 粒子质量比 | m_e/m_α | 1. 370 933 5611(29) $\times 10^{-4}$ | | 2.1×10^{-9} |
| 电子荷质比 | $-e/m_e$ | $-1. 758 820 174(71) \times 10^{11}$ | $C kg^{-1}$ | 4.0×10^{-8} |
| 电子摩尔质量 $N_A m_e$ | $M(e), M_e$ | 5. 485 799 110(12) $\times 10^{-7}$ | $kg mol^{-1}$ | 2.1×10^{-9} |
| 康普顿波长 $h/m_e c$ | λ_C | 2. 426 310 215(18) $\times 10^{-12}$ | m | 7.3×10^{-9} |
| $\lambda_C/2\pi = aa_0 = \alpha^2/4\pi R_\infty$ | λ_C | 386. 159 2642(28) $\times 10^{-15}$ | m | 7.3×10^{-9} |
| 经典电子半径 $\alpha^2 a_0$ | r_e | 2. 817 940 285(31) $\times 10^{-15}$ | m | 1.1×10^{-8} |
| 汤姆孙截面 $(8\pi/3)r_e^2$ | σ_e | 0. 665 245 854(15) $\times 10^{-28}$ | m^2 | 2.2×10^{-8} |
| 电子磁矩 | μ_e | $-928. 476 362(37) \times 10^{-26}$ | $J T^{-1}$ | 4.0×10^{-8} |
| 与玻尔磁子之比 | μ_e/μ_B | $-1. 001 159 652 1869(41)$ | | 4.1×10^{-12} |
| 与核磁子之比 | μ_e/μ_N | $-1 838. 281 9660(39)$ | | 2.1×10^{-9} |
| 电子磁矩反常 | | | | |
| $ a_e /\mu_B - 1$ | a_e | 1. 159 652 1869(41) $\times 10^{-3}$ | | 3.5×10^{-9} |
| 电子 g 因子 $-2(1 + a_e)$ | g_e | $-2. 002 319 304 3737(82)$ | | 4.1×10^{-12} |

(续表)

| 量 | 符号 | 数值 | 单位 | 相对标准 不确定度 m_r |
|--|---------------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|
| 电子 - μ 子磁矩比 | μ_e/μ_μ | 206.766 9720(63) | | 3.0×10^{-8} |
| 电子 - 质子磁矩比 | μ_e/μ_p | - 658.210 6875(66) | | 1.0×10^{-8} |
| 电子与屏蔽质子磁矩比 (H_2O ,球,25℃) | μ_e/μ_p | - 658.227 5954(71) | | 1.1×10^{-8} |
| 电子 - 中子磁矩比 | μ_e/μ_n | 960.920 50(23) | | 2.4×10^{-7} |
| 电子 - 氦核磁矩比 | μ_e/μ_α | - 2 143.923 498(23) | | 1.1×10^{-8} |
| 电子与屏蔽氦核 ⁽³⁾ 磁矩比 (气体,球,25℃) | μ_e/μ_α | 864.058 255(10) | | 1.2×10^{-8} |
| 电子旋磁比 $2 \mu_e /\hbar$ | γ_e | $1.760\ 859\ 794(71) \times 10^{11}$ | $s^{-1} T^{-1}$ | 4.0×10^{-8} |
| | $\gamma_e/2\pi$ | 28 024.9540(11) | MHz T^{-1} | 4.0×10^{-8} |
| μ 子质量 | m_μ | $1.883\ 531\ 09(16) \times 10^{-28}$ | kg | 8.4×10^{-8} |
| $m_\mu = A_r(\mu)u$ (以 u 为单位, μ 子相对 原子质量乘以 u) | | 0.113 428 9168(34) | u | 3.0×10^{-8} |
| 能量当量 | $m_\mu c^2$ | $1.692\ 833\ 32(14) \times 10^{-11}$ | J | 8.4×10^{-8} |
| 以 MeV 为单位 | | 105.658 3568(52) | MeV | 4.9×10^{-8} |
| μ 子 - 电子质量比 | m_μ/m_e | 206.768 2657(63) | | 3.0×10^{-8} |
| μ 子 - τ 子质量比 | m_μ/m_τ | $5.945\ 72(97) \times 10^{-2}$ | | 1.6×10^{-4} |
| μ 子 - 质子质量比 | m_μ/m_p | 0.112 609 5173(34) | | 3.0×10^{-8} |
| μ 子 - 中子质量比 | m_μ/m_n | 0.112 454 5079(34) | | 3.0×10^{-8} |
| μ 子摩尔质量 $N_A m_\mu$ | $M(\mu), M_\mu$ | $0.113\ 428\ 9168(34) \times 10^{-3}$ | kg mol^{-1} | 3.0×10^{-8} |
| μ 子康普顿波长 $\hbar/m_\mu c$ | $\lambda_{C,\mu}$ | $11.734\ 441\ 97(35) \times 10^{-15}$ | m | 2.9×10^{-8} |
| $\lambda_{C,\mu}/2\pi$ | $-\lambda_{C,\mu}$ | $1.867\ 594\ 444(55) \times 10^{-15}$ | m | 2.9×10^{-8} |
| μ 子磁矩 | μ_μ | - 4.490 448 13(22) $\times 10^{-26}$ | J T^{-1} | 4.9×10^{-8} |
| 与玻尔磁子之比 | μ_μ/μ_B | - 4.841 970 85(15) $\times 10^{-3}$ | | 3.0×10^{-8} |
| 与核磁子之比 | μ_μ/μ_N | - 8.890 597 70(27) | | 3.0×10^{-8} |
| μ 子反常磁矩 | | | | |
| $ \mu_\mu /(e\hbar/2m_\mu) - 1$ | a_μ | $1.165\ 916\ 02(64) \times 10^{-3}$ | | 5.5×10^{-7} |
| μ 子 g 因子 - $2(1 + a_\mu)$ | g_μ | - 2.002 331 8320(13) | | 6.4×10^{-10} |
| μ 子 - 质子磁矩比 | μ_μ/μ_p | - 3.183 345 39(10) | | 3.2×10^{-8} |
| τ 子质量 ⁽¹⁾ | m_τ | $3.167\ 88(52) \times 10^{-27}$ | kg | 1.6×10^{-4} |
| $m_\tau = A_r(\tau)u$ (以 u 为单位, τ 子相对 原子质量乘以 u) | | 1.907 74(31) | u | 1.6×10^{-4} |
| 能量当量 | $m_\tau c^2$ | $2.847\ 15(46) \times 10^{-10}$ | J | 1.6×10^{-4} |
| 以 MeV 为单位 | | 1 777.05(29) | MeV | 1.6×10^{-4} |
| τ 子 - 电子质量比 | m_τ/m_e | 3 477.60(57) | | 1.6×10^{-4} |
| τ 子 - μ 子质量比 | m_τ/m_μ | 16.8188(27) | | 1.6×10^{-4} |
| τ 子 - 质子质量比 | m_τ/m_p | 1.893 96(31) | | 1.6×10^{-4} |
| τ 子 - 中子质量比 | m_τ/m_n | 1.891 35(31) | | 1.6×10^{-4} |
| τ 子摩尔质量 $N_A m_\tau$ | $M(\tau), M_\tau$ | $1.907\ 74(31) \times 10^{-3}$ | kg mol^{-1} | 1.6×10^{-4} |
| τ 子康普顿波长 $\hbar/m_\tau c$ | $\lambda_{C,\tau}$ | $0.697\ 70(11) \times 10^{-15}$ | m | 1.6×10^{-4} |
| $\lambda_{C,\tau}/2\pi$ | $-\lambda_{C,\tau}$ | $0.111\ 042(18) \times 10^{-15}$ | m | 1.6×10^{-4} |
| 质子质量 | m_p | $1.672\ 621\ 58(13) \times 10^{-27}$ | kg | 7.9×10^{-8} |
| $m_p = A_r(p)u$ (质子相对原子质量乘 以 u) | | 1.007 276 466 88(13) | u | 1.3×10^{-10} |
| 能量当量 | $m_p c^2$ | $1.503\ 277\ 31(12) \times 10^{-10}$ | J | 7.9×10^{-8} |
| 以 MeV 为单位 | | 938.271 998(38) | MeV | 4.0×10^{-8} |
| 质子 - 电子质量比 | m_p/m_e | 1 836.152 6675(39) | | 2.1×10^{-9} |
| 质子 - μ 子质量比 | m_p/m_μ | 8.880 244 08(27) | | 3.0×10^{-8} |
| 质子 - τ 子质量比 | m_p/m_τ | 0.527 994(86) | | 1.6×10^{-4} |
| 质子 - 中子质量比 | m_p/m_n | 0.998 623 478 55(58) | | 5.8×10^{-10} |

(续表)

| 量 | 符号 | 数值 | 单位 | 相对标准 不确定度 m_r |
|--|------------------|--|------------------|-----------------------|
| 质子荷质比 | e/m_p | $9.578\ 834\ 08(38) \times 10^7$ | $C\ kg^{-1}$ | 4.0×10^{-8} |
| 质子摩尔质量 $N_A m_p$ | $M(p), M_p$ | $1.007\ 276\ 466\ 88(13) \times 10^{-3}$ | $kg\ mol^{-1}$ | 1.3×10^{-10} |
| 质子康普顿波长 $h/m_p c$ | $\lambda_{C,p}$ | $1.321\ 409\ 847(10) \times 10^{-15}$ | m | 7.6×10^{-9} |
| $\lambda_{C,p}/2\pi$ | $-\lambda_{C,p}$ | $0.210\ 308\ 9089(16) \times 10^{-15}$ | m | 7.6×10^{-9} |
| 质子磁矩 | μ_p | $1.410\ 606\ 633(58) \times 10^{-26}$ | $J\ T^{-1}$ | 4.1×10^{-8} |
| 玻尔磁子 | μ_B/μ_B | $1.521\ 032\ 203(15) \times 10^{-3}$ | | 1.0×10^{-8} |
| 核磁子 | μ_p/μ_N | 2.792 847 337(29) | | 1.0×10^{-8} |
| 质子 g 因子 $2\mu_p/\mu_N$ | g_p | 5.585 694 675(57) | | 1.0×10^{-8} |
| 质子 - 中子磁矩比 | μ_p/μ_n | - 1.459 898 05(34) | | 2.4×10^{-7} |
| 屏蔽的质子磁矩 (H_2O , 球, 25 °C) | μ'_p | $1.410\ 570\ 399(59) \times 10^{-26}$ | $J\ T^{-1}$ | 4.2×10^{-8} |
| 与玻尔磁子之比 | μ'_p/μ_B | $1.520\ 993\ 132(16) \times 10^{-3}$ | | 1.1×10^{-8} |
| 与核磁子之比 | μ'_p/μ_N | 2.792 775 597(31) | | 1.1×10^{-8} |
| 质子抗磁屏蔽修正 $1 - \mu'_p/\mu_p$ (H_2O , 球, 25 °C) | σ'_p | $25.687(15) \times 10^{-6}$ | | 5.7×10^{-4} |
| 质子旋磁比 $2\mu_p/\hbar$ | γ_p | $2.675\ 222\ 12(11) \times 10^8$ | $s^{-1}\ T^{-1}$ | 4.1×10^{-8} |
| | $\gamma_p/2\pi$ | 42.577 4825(18) | $MHz\ T^{-1}$ | 4.1×10^{-8} |
| 屏蔽的质子旋磁比 $2\mu'_p/\hbar$ (H_2O , 球, 25 °C) | γ'_p | $2.675\ 153\ 41(11) \times 10^8$ | $s^{-1}\ T^{-1}$ | 4.2×10^{-8} |
| | $\gamma'_p/2\pi$ | 42.576 3888(18) | $MHz\ T^{-1}$ | 4.2×10^{-8} |
| 中子, n | | | | |
| 中子质量 | m_n | $1.674\ 927\ 16(13) \times 10^{-27}$ | kg | 7.9×10^{-8} |
| $m_n = A_r(n)u$ (中子相对原子质量乘以 u) | | 1.008 664 915 78(55) | u | 5.4×10^{-10} |
| 能量当量 | $m_n c^2$ | $1.505\ 349\ 46(12) \times 10^{-10}$ | J | 7.9×10^{-8} |
| 以 MeV 为单位 | | 939.565 330(38) | MeV | 4.0×10^{-8} |
| 中子 - 电子质量比 | m_n/m_e | 1 838.683 6550(40) | | 2.2×10^{-9} |
| 中子 - μ 子质量比 | m_n/m_μ | 8.892 484 78(27) | | 3.0×10^{-8} |
| 中子 - τ 子质量比 | m_n/m_τ | 0.528 722(86) | | 1.6×10^{-4} |
| 中子 - 质子质量比 | m_n/m_p | 1.001 378 418 87(58) | | 5.8×10^{-10} |
| 中子摩尔质量 $N_A m_n$ | $M(n), M_n$ | $1.008\ 664\ 915\ 78(55) \times 10^{-3}$ | $kg\ mol^{-1}$ | 5.4×10^{-10} |
| 中子康普顿波长 $h/m_n c$ | $\lambda_{C,n}$ | $1.319\ 590\ 898(10) \times 10^{-15}$ | m | 7.6×10^{-9} |
| $\lambda_{C,n}/2\pi$ | $-\lambda_{C,n}$ | $0.210\ 019\ 4142(16) \times 10^{-15}$ | m | 7.6×10^{-9} |
| 中子磁矩 | μ_n | $-0.966\ 236\ 40(23) \times 10^{-26}$ | $J\ T^{-1}$ | 2.4×10^{-7} |
| 与玻尔磁子之比 | μ_n/μ_B | $-1.041\ 875\ 63(25) \times 10^{-3}$ | | 2.4×10^{-7} |
| 与核磁子之比 | μ_n/μ_N | - 1.913 042 72(45) | | 2.4×10^{-7} |
| 中子 g 因子 $2\mu_n/\mu_N$ | g_n | - 3.826 085 45(90) | | 2.4×10^{-7} |
| 中子 - 电子磁矩比 | μ_n/μ_e | $1.040\ 668\ 82(25) \times 10^{-3}$ | | 2.4×10^{-7} |
| 中子 - 质子磁矩比 | μ_n/μ_p | - 0.684 979 34(16) | | 2.4×10^{-7} |
| 中子与屏蔽质子磁矩比 (H_2O , 球, 25 °C) | μ'_n/μ'_p | - 0.684 996 94(16) | | 2.4×10^{-7} |
| 中子旋磁比 $2 \mu_n /\hbar$ | γ_n | $1.832\ 471\ 88(44) \times 10^8$ | $s^{-1}\ T^{-1}$ | 2.4×10^{-7} |
| | $\gamma_n/2\pi$ | 29.164 6958(70) | $MHz\ T^{-1}$ | 2.4×10^{-7} |
| 氘核, d | | | | |
| 氘核质量 | m_d | $3.343\ 583\ 09(26) \times 10^{-27}$ | kg | 7.9×10^{-8} |
| $m_d = A_r(d)u$ (氘相对原子质量乘以 u) | | 2.013 553 212 71(35) | u | 1.7×10^{-10} |
| 能量当量 | $m_d c^2$ | $3.005\ 062\ 62(24) \times 10^{-10}$ | J | 7.9×10^{-8} |
| 以 MeV 为单位 | | 1 875.612 762(75) | MeV | 4.0×10^{-8} |
| 氘核 - 电子质量比 | m_d/m_e | 3 670.482 9550(78) | | 2.1×10^{-9} |
| 氘核 - 质子质量比 | m_d/m_p | 1.999 007 500 83(41) | | 2.0×10^{-10} |
| 氘核摩尔质量 $N_A m_d$ | $M(d), M_d$ | $2.013\ 553\ 212\ 71(35) \times 10^{-3}$ | $kg\ mol^{-1}$ | 1.7×10^{-10} |
| 氘核磁矩 | μ_d | $0.433\ 073\ 457(18) \times 10^{-26}$ | $J\ T^{-1}$ | 4.2×10^{-8} |
| 与玻尔磁子之比 | μ_d/μ_B | $0.466\ 975\ 4556(50) \times 10^{-3}$ | | 1.1×10^{-8} |
| 核磁子 | μ_d/μ_N | 0.857 438 2284(94) | | 1.1×10^{-8} |

(续表)

| 量 | 符号 | 数值 | 单位 | 相对标准 不确定度 m_r |
|---|-----------------------|--|-----------------------------------|-----------------------|
| 氘核 - 电子磁矩比 | μ_d/μ_e | $-4.664\,345\,537(50) \times 10^{-4}$ | | 1.1×10^{-8} |
| 氘核 - 质子磁矩比 | μ_d/μ_p | 0.307 012 2083(45) | | 1.5×10^{-8} |
| 氘核 - 中子磁矩比 | μ_d/μ_n | -0.448 206 52(11) | | 2.4×10^{-7} |
| 氦核, h | | | | |
| 氦核质量 ^{e)} | m_h | $5.006\,411\,74(39) \times 10^{-27}$ | kg | 7.9×10^{-8} |
| $m_h = A_r(\text{h})u$ (氦核相对原子质量乘以 u) | | 3.014 932 234 69(86) | u | 2.8×10^{-10} |
| 能量当量 | $m_h c^2$ | $4.499\,538\,48(35) \times 10^{-10}$ | J | 7.9×10^{-8} |
| 以 MeV 为单位 | | 2 808.391 32(11) | MeV | 4.0×10^{-8} |
| 氦核 - 电子质量比 | m_h/m_e | 5 495.885 238(12) | | 2.1×10^{-9} |
| 氦核 - 质子质量比 | m_h/m_p | 2.993 152 658 50(93) | | 3.1×10^{-10} |
| 氦核摩尔质量 $N_A m_h$ | $M(\text{h}), M_h$ | $3.014\,932\,234\,69(86) \times 10^{-3}$ | kg mol^{-1} | 2.8×10^{-10} |
| 屏蔽的氦核磁矩 | μ'_h | $-1.074\,552\,967(45) \times 10^{-26}$ | JT^{-1} | 4.2×10^{-8} |
| (气体, 球, 25 °C) | | | | |
| 与玻尔磁子之比 | μ'_h/μ_B | $-1.158\,671\,474(14) \times 10^{-3}$ | | 1.2×10^{-8} |
| 与核磁子之比 | μ'_h/μ_N | -2.127 497 718(25) | | 1.2×10^{-8} |
| 屏蔽氦核与质子磁矩比 | μ'_h/μ_p | -0.761 766 563(12) | | 1.5×10^{-8} |
| (气体, 球, 25 °C) | | | | |
| 屏蔽氦核与屏蔽质子磁矩比 | μ'_h/μ'_p | -0.761 786 1313(33) | | 4.3×10^{-9} |
| (气体/H ₂ O, 球, 25 °C) | | | | |
| 屏蔽氦核旋磁比 $2 \mu'_h /h$ | γ'_h | $2.037\,894\,764(85) \times 10^8$ | $\text{s}^{-1} \text{T}^{-1}$ | 4.2×10^{-8} |
| (气体, 球, 25 °C) | $\gamma'_h/2\pi$ | 32.434 1025(14) | MHz T^{-1} | 4.2×10^{-8} |
| α 粒子, α | | | | |
| α 粒子质量 | m_α | $6.644\,655\,98(52) \times 10^{-27}$ | kg | 7.9×10^{-8} |
| $m_\alpha = A_r(\alpha)u$ (以 u 为单位, α 粒子相 对原子质量乘以 u) | | 4.001 506 1747(10) | u | 2.5×10^{-10} |
| 能量当量 | $m_\alpha c^2$ | $5.971\,918\,97(47) \times 10^{-10}$ | J | 7.9×10^{-8} |
| 以 MeV 为单位 | | 3 727.379 04(15) | MeV | 4.0×10^{-8} |
| α 粒子与电子质量比 | m_α/m_e | 7 294.299 508(16) | | 2.1×10^{-9} |
| α 粒子与质子质量比 | m_α/m_p | 3.972 599 6846(11) | | 2.8×10^{-10} |
| α 粒子摩尔质量 $N_A m_\alpha$ | $M(\alpha), M_\alpha$ | $4.001\,506\,1747(10) \times 10^{-3}$ | kg mol^{-1} | 2.5×10^{-10} |
| 物理、化学常数 | | | | |
| 阿伏伽德罗常数 | N_A, L | $6.022\,141\,99(47) \times 10^{23}$ | mol^{-1} | 7.9×10^{-8} |
| 原子质量常数 | m_u | $1.660\,538\,73(13) \times 10^{-27}$ | kg | 7.9×10^{-8} |
| $m_u = \frac{1}{12} m(^{12}\text{C}) = 1u = 10^{-3} \text{kg mol}^{-1} / N_A$ | | | | |
| 能量当量 | $m_u c^2$ | $1.492\,417\,78(12) \times 10^{-10}$ | J | 7.9×10^{-8} |
| 以 MeV 为单位 | | 931.494 013(37) | MeV | 4.0×10^{-8} |
| 法拉第常数 ^{e)} $N_A e$ | F | 96 485.3415(39) | C mol^{-1} | 4.0×10^{-8} |
| 摩尔普朗克常数 | $N_A h$ | $3.990\,312\,689(30) \times 10^{-10}$ | J s mol^{-1} | 7.6×10^{-9} |
| | $N_A hc$ | 0.119 626 564 92(91) | J m mol^{-1} | 7.6×10^{-9} |
| 摩尔气体常数 | R | 8.314 472(15) | $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ | 1.7×10^{-6} |
| 玻尔兹曼常数 R/N_A | k | $1.380\,6503(24) \times 10^{-23}$ | JK^{-1} | 1.7×10^{-6} |
| 以 eV K^{-1} 为单位 | | $8.617\,342(15) \times 10^{-5}$ | eV K^{-1} | 1.7×10^{-6} |
| | k/h | $2.083\,6644(36) \times 10^{10}$ | Hz K^{-1} | 1.7×10^{-6} |
| | k/hc | 69.503 56(12) | $\text{m}^{-1} \text{K}^{-1}$ | 1.7×10^{-6} |
| 摩尔体积 (理想气体) RT/p | V_m | $22.413\,996(39) \times 10^{-3}$ | $\text{m}^3 \text{mol}^{-1}$ | 1.7×10^{-6} |
| $T = 273.15 \text{ K}, p = 101.325 \text{ kPa}$ | | | | |
| 洛施密特常数 N_A/V_m | n_0 | $2.686\,7775(47) \times 10^{25}$ | m^{-3} | 1.7×10^{-6} |
| $T = 273.15 \text{ K}, p = 100 \text{ kPa}$ | V_m | $22.710\,981(40) \times 10^{-3}$ | $\text{m}^3 \text{mol}^{-1}$ | 1.7×10^{-6} |

(续表)

| 量 | 符号 | 数值 | 单位 | 相对标准 不确定度 m_τ |
|--|----------|--|---------------------------------|--|
| 萨库尔-蒂特罗德常数 (绝对熵常数) ^{h)} $\frac{5}{2} + \ln[(2\pi m_u k T_1 / h^2)^{3/2} k T_1 / p_0]$ $T_1 = 1 \text{ K}, p_0 = 100 \text{ kPa}$ $T_1 = 1 \text{ K}, p_0 = 101.325 \text{ kPa}$ | S_0/R | - 1.151 7048 (44) - 1.164 8678 (44) | | 3.8×10^{-6} 3.7×10^{-6} |
| 斯特藩-玻尔兹曼常数 $(\pi^2/60) k^4 / h^3 c^2$ | σ | $5.670 400(40) \times 10^{-8}$ | $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$ | 7.0×10^{-6} |
| 第一辐射常数 $2\pi hc^2$ | c_1 | $3.741 771 07(29) \times 10^{-16}$ | W m^2 | 7.8×10^{-8} |
| 用于谱线辐射的第一辐射常数 $2hc^2$ | c_{1L} | $1.191 042 722(93) \times 10^{-16}$ | $\text{W m}^2 \text{sr}^{-1}$ | 7.8×10^{-8} |
| 第二辐射常数 hc/k | c_2 | $1.438 7752(25) \times 10^{-2}$ | m K | 1.7×10^{-6} |
| 维恩位移定律常数 $b = \lambda_{\max} T = c_2/4.965 114 231 \dots$ | b | $2.897 7686(51) \times 10^{-3}$ | m K | 1.7×10^{-6} |

a) 用约瑟夫森效应复现伏特的表示,国际上采用的约定值

b) 用量子霍尔效应复现欧姆的表示,国际上采用的约定值

c) 由粒子数组推荐的数值[见 C. Caso *et al.*, *Eur. Phys. J.*, 1998, C3(1-4):1-794]

d) 根据粒子数组推荐的 w 和 z 玻色子的质量比 m_w/m_z [见本表注(c)条所列文献],他们推荐的 $\sin^2 \theta_w$ 的值为 $\sin^2 \theta_w(M_Z) = 0.231 24(24)$

e) 氦核符号 h 是 ^3He 原子的核

f) 这个数值与所有含有 m_τ 的其他数值,均根据由粒子数组推荐的以 MeV 为单位的 $m_e c^2$ 的值[见本表注(c)条所列文献],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 ,即 $+0.29 \text{ MeV}$

g) 当相应电流是用基于约瑟夫森效应和量子化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} 约定值时,在库仑计化学测量中所用的 F 的数值是 $96 485.3432(76)(7.9 \times 10^{-8})$

h) 相对原子量为 A_r 的理想单原子气体的熵为 $S = S_0 + \frac{3}{2} R \ln A_r - R \ln(p/p_0) + \frac{5}{2} R \ln(T/K)$

参 考 文 献

[1] Cohen E R, Taylor B N. *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 1973, 2:663
 [2] Cohen E R, Taylor B N. *CODATA Bull.*, 1986(63):1-32;
 Cohen E R, Taylor B N 著,沈乃澂编译.1986年基本物理常数的最小二乘法平差.北京:科学出版社,1986
 [3] Mohr P J, Taylor B N. *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 1999,28(6):1713

[4] Mohr P J, Taylor B N. *Rev. Mod. Phys.*, 2000,72(2):351

[5] 刘瑞珉.国际上基本物理常数平差的最新结果及我国电磁计量对其所作的贡献.见:全国计量测试学术大会论文集.北京:中国计量测试学会,1998,911-917

[LIU Rui Min. The results of the adjustment of fundamental physical constants and the contribution of Chinese electromagnetic measurement. In: Proceeding Conference of Measurement and Testing in China. Beijing: Chinese Society of Measurement, 1998,911-917(in Chinese)]