

# 基本物理常数的 1986 年国际推荐值

沈 乃 澂

(国际科技数据委员会中国委员会基本常数工作组)

基本物理常数是指自然界中的一些普适常数,它们不会受时间、地点和环境条件的影响而发生变化。基本物理常数的数值可以通过不同的方法进行测量。有些常数值是通过直接测量获得的,有些则是通过间接测量得出的。在几十个基本常数或其组合量之间,有许多公式把它们联结在一起。为了使不同方法获得的各个常数数值构成一个内部自洽的体系,即具有总体一致性,伯奇(R. T. Birge)于1929年首先创立了基本物理常数的最小二乘法平差的方法。几十年来的实践表明,这种方法是行之有效的,在国际科技数据委员会(简称CODATA)成立后,它所属的基本常数任务组于1973年进行一次新的基本常数平差,得出了一组基本常数的国际推荐值。由于基本常数精密测量工作不断取得进展,许多常数出现新的更准确的数值,因此大约每隔十余年将进行一次新的平差。最近的一次平差是在1986年完成的,并由此获得了一组全新的基本常数国际推荐值。它是由美国标准局的泰勒(B. N. Taylor)和美国洛克威尔国际科学中心的科恩(E. R. Cohen)负责编纂而成的,并以CODATA基本常数任务组工作报告的形式在1986年7月召开的纪念CODATA成立二十周年会议上发表。

在过去的十几年内,基本常数领域有许多实验和理论的研究成果。红外和可见光的频率测量达到了相当高的水平,促使用光在给定的时间间隔内的行程来重新定义长度计量单位米;原子晶格间距与光学波长建立了直接的联系,它是由于测定阿伏伽德罗常数而获得的结果;电子反常磁距的量子电动力学的数值计算及其实验测定的精度都有很大提高。在许多研

究成果中,最激动人心的是联邦德国科学家冯·克利青首先观测到电导的量子化霍耳效应,从而可以确定电阻的原子标准,并可得到精细结构常数的直接宏观测量值,为此,冯·克利青获得1985年诺贝尔奖金物理学奖。

在常数平差中输入数据可分为两类:第一类称为辅助常数,它的不确定度很小,以致可认为是精确的;第二类包含不够精密的随机输入数据。后者是接受平差的量,从中选出几个未知量,把它称为“平差常数”。根据这些量并通过若干个观测方程,进行最小二乘法平差计算。在1973年平差中,辅助常数选用不确定度小于 $5 \times 10^{-7}$ 的量。在1986年平差中,辅助常数的不确定度已小于 $2 \times 10^{-8}$ ,它们是由光速 $c$ ,  $2e/h$ 和 $m_p/m_e$ 等15个常数或组合量构成的。平差中有38个随机输入数据,分为12种类型,用5个随机变量来表示。

新平差的精度远优于1973年平差时的精度,大多数数值的不确定度减小一个量级左右,其中最重要的变化是电压值的修正。在1973年平差时,国际计量局保存的电压 $V_{BI69}$ 与其国际单位制(SI)定义的差值为 $+0.2 \pm 2.6 \mu\text{V}$ (相应于 $2e/h = 483593.9\text{GHz/V}$ ),而在这次平差中修正到 $-7.60 \pm 0.31 \mu\text{V}$ (相应于 $2e/h = 483597.67\text{GHz/V}$ )。

基本物理常数与计量单位的定义关系非常密切。国际单位制是基于七个概念上彼此独立的量,其他计量单位均由此导出。除了质量单位之外,其他基本单位的定义均建立在物理现象的基础上。为了用“绝对”意义来标定这些标准,必须考虑在物理学不同分支的测量的总体一致性。这次得到的基本常数中,包括了欧姆

表 1 1986 年基本物理常数国际推荐值一览表

量	符 号	数 值	单 位	不确定度 (ppm)
<b>普 通 常 数</b>				
<b>一般常数</b>				
光速	$c$	299 792 458	$\text{ms}^{-1}$	(精确)
真空导磁率	$\mu_0$	$4\pi \times 10^{-7}$	$\text{NA}^{-2}$	(精确)
真空介电常数, $1/\mu_0 c^2$	$\epsilon_0$	12.566 370 614...	$10^{-12} \text{F m}^{-1}$	(精确)
牛顿引力常数	$G$	8.854 187 817...	$01^{-12} \text{F m}^{-1}$	(精确)
普朗克常数	$h$	6.626 59(85)	$10^{-34} \text{J s}$	128
以电子伏为单位, $h/\{e\}$		4.135 669 2(12)	$10^{-15} \text{J s}$	0.60
$\hbar/2\pi$	$\hbar$	6.626 075 5(40)	$10^{-34} \text{J s}$	0.60
以电子伏为单位, $\hbar/\{e\}$		4.135 669 2(12)	$10^{-15} \text{J s}$	0.60
普朗克质量, $(hc/G)^{1/2}$	$m_P$	1.054 572 66(63)	$10^{-16} \text{J s}$	0.60
普朗克长度, $h/m_P c$	$l_P$	2.176 71(14)	$10^{-8} \text{kg}$	64
普朗克时间 $l_P/c$	$t_P$	1.616 05(10)	$10^{-32} \text{m}$	64
		5.390 56(34)	$10^{-44} \text{s}$	64
<b>电 磁 常 数</b>				
基本电荷	$e$	1.602 177 33(49)	$10^{-19} \text{C}$	0.30
	$e/h$	2.417 988 36(72)	$10^{14} \text{A J}^{-1}$	0.30
磁通量子, $h/2e$	$\Phi$	2.067 834 61(61)	$10^{-15} \text{Wb}$	0.30
	$2e/h$	4.835 976 7(14)	$10^{14} \text{Hz V}^{-1}$	0.30
量子化霍尔电导, $2\alpha/\mu_0 c$	$e^2/h$	3.874 046 13(17)	$10^{-5} \text{A V}^{-1}$	0.045
玻尔磁子, $e\hbar/2m_e$	$\mu_B$	9.274 015 4(31)	$10^{-24} \text{J T}^{-1}$	0.34
以电子伏为单位, $\mu_B/\{e\}$		5.788 382 63(52)	$10^{-5} \text{eV T}^{-1}$	0.089
以赫为单位, $\mu_B/h$		1.399 624 18(42)	$10^{10} \text{Hz T}^{-1}$	0.30
以波数为单位, $\mu_B/hc$		46.686 437(14)	$\text{m}^{-1} \text{T}^{-1}$	0.30
以开尔文为单位, $\mu_B/k$		0.671 709 9(57)	$\text{K T}^{-1}$	8.4
核磁子, $e\hbar/2m_p$	$\mu_N$	5.050 786 6(17)	$10^{-27} \text{J T}^{-1}$	0.34
以电子伏为单位, $\mu_N/\{e\}$		3.152 451 66(28)	$10^{-5} \text{eV T}^{-1}$	0.089
以赫为单位, $\mu_N/h$		7.622 591 4(23)	$\text{MHz T}^{-1}$	0.30
以波数为单位, $\mu_N/hc$		2.542 622 81(77)	$10^{-2} \text{m}^{-1} \text{T}^{-1}$	0.30
以开尔文为单位, $\mu_N/k$		3.658 246(31)	$10^{-4} \text{K T}^{-1}$	8.4
<b>原 子 常 数</b>				
精细结构常数	$\alpha$	7.297 353 08(33)	$10^{-3}$	0.045
	$\alpha^{-1}$	137.035 989 5(61)		0.045
里德伯常数	$R_\infty$	10 973 731.534(13)	$\text{m}^{-1}$	0.0012
	$R_\infty c$	3.289 841 949 9(39)	$10^{15} \text{Hz}$	0.0012
	$R_\infty hc$	2.179 874 1(13)	$10^{-18} \text{J}$	0.60
以 eV 为单位, $R_\infty hc/\{e\}$		13.605 698 1(40)	$\text{eV}$	0.30
玻尔半径, $a_0/4\pi R_\infty$	$a_0$	0.529 177 249(24)	$10^{-10} \text{m}$	0.045
哈特里能量, $e^2/4\pi\epsilon_0 a_0$	$E_h$	4.359 748 2(26)	$\text{aJ}$	0.60
——, 以 eV 为单位, $E_h/\{e\}$		27.211 396 1(81)	$\text{eV}$	0.30
环流量子	$h/2m_e$	3.636 948 07(33)	$10^{-4} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$	0.089
	$h/m_e$	7.273 896 14(65)	$10^{-4} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$	0.089
<b>电 子</b>				
电子质量	$m_e$	0.910 938 97(54)	$10^{-30} \text{kg}$	0.59
		5.485 799 03(25)	$10^{-4} \text{u}$	0.045
以电子伏为单位, $m_e c^2/\{e\}$		0.510 999 06(15)	$\text{MeV}$	0.30
电子- $\mu$ 子质量比	$m_e/m_\mu$	4.836 332 18(71)	$10^{-3}$	0.15
电子-质子质量比	$m_e/m_p$	5.446 170 13(11)	$10^{-4}$	0.020
电子-氘核质量比	$m_e/m_d$	2.724 437 074(57)	$10^{-4}$	0.021

续表 1

量	符 号	数 值	单 位	不 确 定 度 (ppm)
电子- $\alpha$ 粒子质量比	$m_\alpha/m_e$	1.370 933 543(27)	$10^{-4}$	0.020
电子荷质比	$-e/m_e$	-1.758 819 62(53)	$10^{11}\text{C/kg}$	0.30
电子摩尔质量	$M(e)$	5.485 799 03(25)	$10^{-7}\text{kg/mol}$	0.045
康普顿波长,	$\lambda_C$	2.426 310 58(22)	$10^{-12}\text{m}$	0.089
$\lambda_C/2\pi$		3.861 593 23(35)	$10^{-13}\text{m}$	0.089
电子半径	$r_e$	2.817 940 92(38)	$10^{-13}\text{m}$	0.13
汤姆逊截面, $(8\pi/3)r_e^2$	$\sigma$	0.665 246 16(18)	$10^{-28}\text{m}^2$	0.27
电子磁矩	$\mu_e$	9.284 770 1(31)	$10^{-24}\text{J T}^{-1}$	0.34
以玻尔磁子为单位	$\mu_e/\mu_B$	1.001 159 653 193(10)		0.000010
以核磁子为单位	$\mu_e/\mu_N$	1 838.282 000(37)		0.020
电子磁矩反常, $\mu_e/\mu_B - 1$	$a_e$	1.159 653 193(10)		0.0086
电子 $g$ 因子, $2(1 + a_e)$	$g_e$	2.002 319 304 386(20)		0.000010
电子- $\mu$ 子磁矩比	$\mu_\mu/\mu_e$	206.766 967(30)		0.15
电子-质子磁矩比	$\mu_e/\mu_p$	658.210 688 0(66)		0.010
<b><math>\mu</math> 子</b>				
$\mu$ 子质量	$m_\mu$	1.883 532 7(11)	$10^{-28}\text{kg}$	0.61
		0.113 428 913(17)	u	0.15
以电子伏为单位, $m_\mu c^2/\{e\}$		105.658 389(34)	MeV	0.32
$\mu$ 子-电子质量比	$m_\mu/m_e$	206.768 262(30)		0.15
$\mu$ 子摩尔质量	$M(\mu)$	1.134 289 13(17)	$10^{-4}\text{kg/mol}$	0.15
$\mu$ 子磁矩	$\mu_\mu$	4.490 451 4(15)	$10^{-26}\text{J T}^{-1}$	0.33
以玻尔磁子为单位,	$\mu_\mu/\mu_B$	4.841 970 97(71)	$10^{-3}$	0.15
以核磁子为单位,	$\mu_\mu/\mu_N$	8.890 598 1(13)		0.15
$\mu$ 子磁矩反常, $\mu_\mu/(e\hbar/2m_\mu) - 1$	$a_\mu$	0.001 165 923(84)		7.2
$\mu$ 子 $g$ 因子, $2(1 + a_\mu)$	$g_\mu$	2.002 331 846(17)		0.085
$\mu$ 子-质子磁矩比	$\mu_\mu/\mu_p$	3.183 345 47(47)		0.15
<b>质子</b>				
质子质量	$m_p$	1.672 623 1(10)	$10^{-27}\text{kg}$	0.59
		1.007 276 470(12)	u	0.012
以电子伏为单位, $m_p c^2/\{e\}$		938.272 31(28)	MeV	0.30
质子-电子质量比	$m_p/m_e$	1 836.152 701(37)		0.020
质子- $\mu$ 子质量比	$m_p/m_\mu$	8.880 244 4(13)		0.15
质子荷质比	$e/m_p$	957 883 09(29)	C/kg	0.30
质子摩尔质量	$M(p)$	1.007 276 470(12)	$10^{-3}\text{kg/mol}$	0.012
质子康普顿波长,	$\lambda_{C,p}$	1.321 410 02(12)	$10^{-14}\text{m}$	0.089
$\lambda_{C,p}/2\pi$		2.103 089 37(19)	$10^{-16}\text{m}$	0.089
质子磁矩	$\mu_p$	1.410 607 61(47)	$10^{-26}\text{J T}^{-1}$	0.34
以玻尔磁子为单位	$\mu_p/\mu_B$	1.521 032 202(15)	$10^{-3}$	0.010
以核磁子为单位	$\mu_p/\mu_N$	2.792 847 386(36)		0.013
纯水中球面样品(25°C)的质子抗磁 屏蔽修正	$\sigma$	25.689(15)	$10^{-6}$	
屏蔽的质子磁矩 ( $\text{H}_2\text{O}$ 球, 25°C)	$\mu'_p$	1.410 573 14(47)	$10^{-26}\text{J T}^{-1}$	0.34
以玻尔磁子为单位	$\mu'_p/\mu_B$	1.520 993 129(17)	$10^{-3}$	0.011
以核磁子为单位	$\mu'_p/\mu_N$	2.792 847 386(63)		0.022
质子旋磁比	$\gamma_p$	267 522 128(81)	$\text{s}^{-1}\text{T}^{-1}$	0.30
	$\gamma_p/2\pi$	42.577 469(13)	$\text{MHz T}^{-1}$	0.30
未修正的 ( $\text{H}_2\text{O}$ 球, 25°C)	$\gamma'_p$	267 515 255(81)	$\text{s}^{-1}\text{T}^{-1}$	0.30
	$\gamma'_p/2\pi$	42.576 375(13)	$\text{MHz T}^{-1}$	0.30

续表 1

名 称	符 号	数 值	单 位	不 确 定 度 (ppm)
<b>中 子</b>				
中子质量	$m_n$	1.674 928 6(10)	$10^{-27}\text{kg}$	0.59
		1.008 664 904(14)	u	0.014
以电子伏为单位, $m_n c^2/\{e\}$		939.565 63(28)	MeV	0.30
中子-电子质量比	$m_n/m_e$	1 838.683 662(40)		0.022
中子-质子质量比	$m_n/m_p$	1.001 378 404(6)		0.006
中子摩尔质量	$M(n)$	1.008 664 904(14)	$10^{-3}\text{kg/mol}$	0.014
中子康普顿波长	$\lambda_{n,c}$	1.319 591 10(12)	$10^{-15}\text{m}$	0.089
$\lambda_{n,c}/2\pi$		2.100 194 45(19)	$10^{-16}\text{m}$	0.089
中子磁矩	$\mu_n$	0.966 237 07(40)	$10^{-26}\text{J T}^{-1}$	0.41
以玻尔磁子为单位	$\mu_n/\mu_B$	1.041 875 63(25)	$10^{-3}$	0.24
以核磁子为单位	$\mu_n/\mu_N$	1.913 043 75(45)		0.24
中子-电子磁矩比	$\mu_n/\mu_e$	1.040 668 82(25)	$10^{-3}$	0.24
中子-质子磁矩比	$\mu_n/\mu_p$	-0.684 979 34(40)		0.24
<b>氘 核</b>				
氘核质量	$m_d$	3.343 586 0(20)	$10^{-27}\text{kg}$	0.59
		2.013 553 214(24)	u	0.012
以电子伏为单位, $m_d c^2/2\pi$		1 875.613 39(57)	MeV	0.30
氘核-电子质量比	$m_d/m_e$	3 670.483 014(82)		0.022
氘核-质子质量比	$m_d/m_p$	1.999 007 496(20)		0.010
氘核摩尔质量	$M(d)$	1.999 007 496(20)	$10^{-3}\text{kg/mol}$	0.010
氘核磁矩	$\mu_d$	0.433 073 75(40)	$10^{-26}\text{J T}^{-1}$	0.34
以玻尔磁子为单位	$\mu_d/\mu_B$	0.466 975 447 9(91)	$10^{-3}$	0.019
以核磁子为单位	$\mu_d/\mu_N$	0.857 438 230(24)		0.028
氘核-电子磁矩比	$\mu_d/\mu_e$	0.466 434 546 0(91)	$10^{-3}$	0.019
氘核-质子磁矩比	$\mu_d/\mu_p$	-0.307 012 203 5(15)		0.017
<b>物理化学常数</b>				
阿伏伽德罗常数	$N_A, L$	6.022 136 7(36)	$10^{23}\text{mol}^{-1}$	0.59
原子(统一)质量单位, 原子质量 常数 $1\text{u} = m_u = \frac{1}{12} m(^{12}\text{C})$	$m_u$	1.660 540 2(10)	$10^{-27}\text{kg}$	0.59
以电子伏为单位, $m_u c^2/\{e\}$		931.494 32(28)	MeV	0.30
法拉第常数	$F$	96 485.309(29)	$\text{C mol}^{-1}$	0.30
摩尔普朗克常数	$N_A h$	3.990 313 23(36)	$10^{-10}\text{J s mol}^{-1}$	0.089
	$N_A h c$	0.119 626 58(11)	$\text{J m mol}^{-1}$	0.089
气体常数	$R$	8.314 510(70)	$\text{J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$	8.4
玻耳兹曼常数, $R/N_A$	$k$	1.380 658(12)	$10^{-23}\text{J K}^{-1}$	8.4
以电子伏为单位	$k\{e\}$	8.617 384(72)	$10^{-5}\text{eV/K}$	8.5
	$\{e\}/k$	11 604.45(10)	$\text{K/eV}$	8.5
摩尔体积(理想气体) $T = 273.15\text{K}; p = 101325\text{Pa}$	$V_m$	22.414 10(19)	$\text{L/mol}$	8.4
洛希米脱数, $N_A/V_m$	$n_0$	2.686 773(23)	$10^{25}\text{m}^{-3}$	8.4
$T = 273.15\text{K}; p = 100\text{kPa}$	$V_m$	22.711 08(19)	$\text{L/mol}$	8.4
洛希米脱数, $N_A/V_m$	$n_0$	2.651 629(22)	$10^{25}\text{m}^{-3}$	8.4
斯忒藩-玻耳兹曼常数	$\sigma$	5.670 51(19)	$10^{-8}\text{W m}^{-2}\text{K}^{-4}$	34
第一辐射常数, $2\pi h c^2$	$c_1$	3.741 774 9(22)	$10^{-16}\text{W m}^2$	0.60
第二辐射常数, $hc/k$	$c_2$	0.014 387 69(12)	$\text{m K}$	8.4
维恩位移定律常数, $b = \lambda_{\text{max}} T = c_2/4.96511423\dots$	$b$	2.897 756(24)	$10^{-3}\text{m K}$	8.4

和伏特的标定因子, 硅晶格间距和精细结构常数等, 它们可用来确定普朗克常数和基本电荷等普适常数的最佳值。

约瑟夫森效应、量子霍尔电导和核磁共振, 使计量标准与基本物理常数建立了量子关系。

原则上, 这些测量奠定了用电量表示的 SI 单位定义的基础。

基本物理常数的最新国际推荐值见表 1。标准和保存单位及转换因子见表 2, 表 3。

表 2 标准和保存单位及转换因子

量	符号	数值	单位	不确定度 (ppm)
“保存”电单位				
BIPM 欧姆	$\Omega_{\text{BIPM}}$	1 - 1.563 ppm 0.999 998 437(50)	$\Omega$	0.050
漂移速率	$\left(\frac{d\Omega}{dt}\right)_{\text{BIPM}}$	-0.056 6(13)	$\mu\Omega/\text{yr}$	-
BIPM 伏特		1 - 7.59(30) ppm	V	0.30
$V_{76\text{BI}} = 483594\text{GHz}(h/2e)$	$V_{76\text{BI}}$	0.999 992 41(30)		
BIPM 安培	$A_{\text{BIPM}}$	1 - 6.03(30) ppm	A	0.30
$A_{\text{BIPM}} = V_{76\text{BI}}/\Omega_{\text{BIPM}}$		0.999 993 97(30)		
X 射线标准				
Cu x 单位: $\lambda(\text{CuK}\alpha_1) = 1537.400\text{xu}$	$\text{xu}(\text{Cu})$	1.002 077 89(70)	$10^{-13}\text{m}$	0.70
Mo x 单位: $\lambda(\text{MoK}\alpha_1) = 707.831\text{xu}$	$\text{xu}(\text{Mo})$	1.002 099 38(45)	$10^{-13}\text{m}$	0.45
$\text{\AA}^*$ : $\lambda(\text{W}\text{K}\alpha_1) = 0.209100\text{xu}$	$\text{\AA}^*$	1.000 014 81(92)	$10^{-10}\text{m}$	0.92
硅晶格间距(真空, 22.5°C) $d_{220} = a/\sqrt{8}$	$a$	0.543 101 96(11)	nm	0.21
	$d_{220}$	0.192 015 540(40)	nm	0.21
硅摩尔体积 $M(\text{硅})/\rho(\text{硅}) = 8m(\text{硅})/a^3$	$V_m$	12.058 817 9(89)	$10^{-6}\text{m}^3/\text{mol}$	0.74

表 3 能量转换因子

	J	kg	m <sup>-1</sup>	Hz	K	eV	u	Eh
1J =	1.0	0.111 265 01 × 10 <sup>-16</sup>	0.503 411 25 × 10 <sup>23</sup>	1.509 188 97 × 10 <sup>33</sup>	0.724 292 44 × 10 <sup>24</sup>	0.624 150 64 × 10 <sup>19</sup>	0.670 053 08 × 10 <sup>16</sup>	0.229 371 04 × 10 <sup>18</sup>
1kg =	8.987 551 79 × 10 <sup>16</sup>	1.0	4.524 434 70 × 10 <sup>41</sup>	13.563 914 01 × 10 <sup>49</sup>	6.509 615 79 × 10 <sup>33</sup>	5.609 586 16 × 10 <sup>28</sup>	6.022 136 71 × 10 <sup>26</sup>	2.061 484 14 × 10 <sup>24</sup>
1m <sup>-1</sup> =	1.986 447 45 × 10 <sup>-22</sup>	0.221 022 09 × 10 <sup>-41</sup>	1.0	2.997 924 38 × 10 <sup>6</sup>	1.438 768 87 × 10 <sup>5</sup>	1.239 842 44 × 10 <sup>-4</sup>	1.331 025 22 × 10 <sup>-15</sup>	0.455 633 53 × 10 <sup>-4</sup>
1Hz =	0.662 607 55 × 10 <sup>-33</sup>	0.073 725 03 × 10 <sup>-49</sup>	0.533 564 10 × 10 <sup>-1</sup>	1.0	0.479 921 64 × 10 <sup>-1</sup>	0.413 566 92 × 10 <sup>-14</sup>	0.443 982 22 × 10 <sup>-25</sup>	0.151 982 99 × 10 <sup>-18</sup>
1K =	1.380 657 80 × 10 <sup>-23</sup>	0.153 618 90 × 10 <sup>-42</sup>	0.695 038 67 × 10 <sup>-1</sup>	2.083 673 51 × 10 <sup>7</sup>	1.0	0.861 738 44 × 10 <sup>-7</sup>	0.925 114 00 × 10 <sup>-16</sup>	0.316 682 92 × 10 <sup>-4</sup>
1eV =	1.602 177 33 × 10 <sup>-19</sup>	0.17 8 26 6 27 × 10 <sup>-35</sup>	0.806 554 10 × 10 <sup>6</sup>	2.417 988 36 × 10 <sup>14</sup>	1.160 444 93 × 10 <sup>7</sup>	1.0	1.073 543 85 × 10 <sup>-9</sup>	0.367 493 09 × 10 <sup>-1</sup>
1u =	1.492 419 09 × 10 <sup>-10</sup>	0.166 054 02 × 10 <sup>-26</sup>	0.751 300 56 × 10 <sup>12</sup>	2.252 342 42 × 10 <sup>23</sup>	1.080 947 86 × 10 <sup>16</sup>	0.931 494 32 × 10 <sup>9</sup>	1.0	0.342 317 73 × 10 <sup>8</sup>
1Eh =	4.359 748 21 × 10 <sup>-18</sup>	0.485 087 41 × 10 <sup>-34</sup>	2.194 746 31 × 10 <sup>7</sup>	6.579 683 90 × 10 <sup>15</sup>	3.157 732 66 × 10 <sup>8</sup>	2.721 139 61 × 10 <sup>1</sup>	2.921 262 69 × 10 <sup>-6</sup>	1.0