

分析化学 简明手册

张寒琦 铁元 王大宁

邹明强 陈超

An abstract geometric pattern in green and white, featuring a central cluster of dots that radiates into various curved and straight lines, creating a sense of depth and movement.

吉林大学出版社

分析化学简明手册

张寒琦 铁 元 王大宁
邹明强 陈 超



吉林大学出版社

分析化学简明手册

张寒琦 铁 元 王大宁 邹明强

责任编辑、责任校对:陈 铮	封面设计:漱 尘
吉林大学出版社出版	吉林大学出版社发行
(长春市东中华路 37 号)	吉林大学印刷厂印刷
开本:850×1168 毫米 1/32	1996 年 8 月第 1 版
印张:11.625	1996 年 8 月第 1 次印刷
字数:435 千字	印数:1-6100 册

ISBN 7-5601-1946-8/O · 212 定价:17.00 元

序

分析化学是一门实用性很强的学科,很多分析化学家都要花很多时间从事实际的分析测试工作。据统计,美国每年用于产品质量控制分析的费用高达500亿美元以上,每天要进行大约2.5亿次分析,这些分析测试控制了全美国2/3产品的质量^①。因此,美国分析化学家也是化学各分支学科中人数最多的一支队伍(占整个化学家队伍的21%)^②。

要作好实际的分析测试工作,就离不开对所分析样品的基本性质,对所用分析方法的基本技术和参数,对所用试剂、材料和化学反应的性质,对基本常数和法定计量单位,对有关国家标准分析方法等等的了解和掌握。张寒琦同志等编写的这本《分析化学简明手册》正是在这些最重要的方面给读者提供了一些有用的知识。对于广大分析化学工作者(无论是从事惯常分析的工作者或从事研究的工作者)来说,这无疑都是极其宝贵和有用的。手头有这样一本参考书,可以免除到处查找有关数据和资料的麻烦,提高工作效率。因此本人乐于为本书作序,并慎重向读者推荐,相信读者一定能从中得到一些有益的帮助。

金钦汉

一九九六年七月四日

① 高鸿主编,分析化学前沿,1991,科学出版社,北京
② American Chemical Society, C & CE News, 9, July, 41(1990)

目 录

第一章 基本常数和法定计量单位	(1)
1.1 元素的原子量	(1)
1.2 计量单位	(4)
1.3 物理量的换算	(8)
1.4 物理常数	(9)
第二章 试剂	(11)
2.1 化学试剂规格	(11)
2.2 常用的酸碱试剂	(11)
2.3 常用的有机溶剂	(12)
2.4 干燥剂	(12)
2.5 基准物质	(14)
2.6 指示剂	(15)
2.7 有机试剂	(26)
第三章 仪器和材料	(46)
3.1 玻璃量器	(46)
3.2 砂芯漏斗	(48)
3.3 玻璃仪器的洗涤	(49)
3.4 玻璃量器的校准	(50)
3.5 法码	(51)
3.6 滤纸	(52)
3.7 容器材料	(52)
3.8 离子交换树脂	(53)
第四章 无机化合物的性质	(56)
4.1 无机物的熔点和沸点	(56)

4.2	无机物在水中的溶解度	(63)
4.3	气体在水中的溶解度	(70)
第五章 溶液		(71)
5.1	缓冲溶液	(71)
5.2	标准贮备液	(75)
第六章 平衡常数		(80)
6.1	离子活度系数的计算	(80)
6.2	无机酸碱的离解常数	(82)
6.3	有机酸碱的离解常数	(84)
6.4	配合物的稳定常数	(89)
6.5	难溶化合物的溶度积	(152)
6.6	金属氢氧化物沉淀的 pH 值	(165)
第七章 分光光度分析法		(166)
7.1	电磁波谱	(166)
7.2	可见区颜色与波长的关系	(166)
7.3	连续光源	(167)
7.4	光学材料	(167)
7.5	检测系统	(168)
7.6	溶剂	(168)
7.7	标准铬酸钾溶液	(170)
第八章 电化学分析法		(171)
8.1	标准电极电位	(171)
8.2	极谱半波电位	(188)
8.3	电导	(196)
第九章 原子光谱分析法		(202)
9.1	原子发射光谱法	(202)
9.2	原子吸收光谱法	(218)
9.3	原子荧光光谱法	(220)
9.4	离解能	(223)
9.5	电离能和配分函数	(228)

第十章 样品分析	(230)
10.1 环境样品中元素的浓度	(230)
10.2 水样保存	(240)
10.3 样品分解	(242)
10.4 国家标准分析方法	(248)
附录	(333)
一、痕量分析方法测定痕量元素能力的比较	(333)
二、希腊字母	(343)
三、数学用表	(344)
四、有关分析化学的杂志	(352)
主要参考文献	(362)

第一章 基本常数和法定计量单位

1.1 元素的原子量

元素的原子量(以 $^{12}\text{C}=12$ 为基准,仅保留五位数)列于表 1-1。对于一些放射性元素,仅列出一种常见同位数的原子量。市售含锂材料中 Li 原子量范围为 6.94 至 6.99。原子量后面圆括号中的数是末位数的不确定度,而未标明者其不确定度为 1。

表 1-1 国际原子量表(1993)

符号	名称	原子序数	电子组态	原子量	英文名
^{227}Ac	锕	89	$[\text{Rn}]6d7s^2$	227.03	Actinium
Ag	银	47	$[\text{Kr}]4d^{10}5s$	107.87	Silver
Al	铝	13	$[\text{Ne}]3s^23p$	26.982	Aluminium
^{241}Am	镅	95	$[\text{Rn}]5f^77s^2$	241.06	Americium
Ar	氩	18	$[\text{Ne}]3s^23p^6$	39.94	Argon
As	砷	33	$[\text{Ar}]3d^{10}4s^24p^3$	74.922	Arsenic
^{210}At	砹	85	$[\text{Xe}]4f^{14}5d^{10}6s^26p^5$	209.99	Astatine
Au	金	79	$[\text{Xe}]4f^{14}5d^{10}6s$	196.97	Gold
B	硼	5	$[\text{He}]2s^22p$	10.811(5)	Boron
Ba	钡	56	$[\text{Xe}]6s^2$	137.33	Barium
Be	铍	4	$[\text{He}]2s^2$	9.0122	Beryllium
Bi	铋	83	$[\text{Xe}]4f^{14}5d^{10}6s^26p^3$	208.98	Bismuth
^{249}Bk	锫	97	$[\text{Rn}]5f^96d7s^2$	249.08	Berkelium
Br	溴	35	$[\text{Ar}]3d^{10}4s^24p^5$	79.904	Bromine
C	碳	6	$[\text{He}]2s^22p^2$	12.011	Carbon
Ca	钙	20	$[\text{Ar}]4s^2$	40.078(4)	Calcium
Cd	镉	48	$[\text{Kr}]4d^{10}5s^2$	112.41	Cadmium
Ce	铈	58	$[\text{Xe}]4f^5d6s^2$	140.12	Cerium
^{252}Cf	锔	98	$[\text{Rn}]5f^{10}7s^2$	252.08	Californium
Cl	氯	17	$[\text{Ne}]3s^23p^5$	35.453	Chlorine
^{244}Cm	锔	96	$[\text{Rn}]5f^76d7s^2$	244.06	Curium
Co	钴	27	$[\text{Ar}]3d^74s^2$	58.933	Cobalt
Cr	铬	24	$[\text{Ar}]3d^54s$	51.996	Chromium
Cs	铯	55	$[\text{Xe}]6s$	132.91	Cesium

续表

符号	名称	原子序数	电子组态	原子量	英文名
Cu	铜	29	[Ar]3d ¹⁰ 4s	63.546(3)	Copper
Dy	镝	66	[Xe]4f ¹⁰ 6s ²	162.50(3)	Dysprosium
Er	铒	68	[Xe]4f ¹² 6s ²	167.26(3)	Erbium
²⁵² Es	镱	99	[Rn]5f ¹¹ 7s ²	252.08	Einsteinium
Eu	铕	63	[Xe]4f ⁷ 6s ²	151.96	Europium
F	氟	9	[He]2s ² 2p ⁵	18.998	Fluorine
Fe	铁	26	[Ar]3d ⁶ 4s ²	55.845(2)	Iron
²⁵⁷ Fm	镭	100	[Rn]5f ¹² 7s ²	257.10	Fermium
²²³ Fr	钫	87	[Rn]7s	223.02	Francium
Ga	镓	31	[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p	69.723	Gallium
Gd	钆	64	[Xe]4f ⁷ 5d ⁶ 6s ²	157.25(3)	Gadolinium
Ge	锗	32	[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ²	72.61(2)	Germanium
H	氢	1	1s	1.0079	Hydrogen
He	氦	2	1s ²	4.0026	Helium
Hf	铪	72	[Xe]4f ¹⁴ 5d ² 6s ²	178.49(2)	Hafnium
Hg	汞	80	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²	200.59(2)	Mercury
Ho	铈	67	[Xe]4f ¹¹ 6s ²	164.93	Holmium
I	碘	53	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁵	126.90	Iodine
In	铟	49	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p	114.82	Indium
Ir	铱	77	[Xe]4f ¹⁴ 5d ⁷ 6s ²	192.22	Iridium
K	钾	19	[Ar]4s	39.098	Potassium
Kr	氪	36	[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶	83.80	Krypton
La	镧	57	[Xe]5d ⁶ 6s ²	138.91	Lanthanum
Li	锂	3	1s ² 2s	6.941(2)	Lithium
²⁶² Lr	铼	103	[Rn]5f ¹⁴ 6d ⁷ 7s ²	262.11	Lawrencium
Lu	镥	71	[Xe]4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ²	174.97	Lutetium
²⁵⁸ Md	钔	101	[Rn]5f ¹³ 7s ²	258.10	Mendelevium
Mg	镁	12	[Ne]3s ²	24.305	Magnesium
Mn	锰	25	[Ar]3d ⁵ 4s ²	54.938	Manganese
Mo	钼	42	[Kr]4d ⁵ 5s	95.94	Molybdenum
N	氮	7	1s ² 2s ² 2p ³	14.007	Nitrogen
Na	钠	11	[Ne]3s	22.990	Sodium
Nb	铌	41	[Kr]4d ⁴ 5s	92.906	Niobium
Nd	钕	60	[Xe]4f ⁴ 6s ²	144.24(3)	Neodymium
Ne	氖	10	1s ² 2s ² 2p ⁶	20.180	Neon
Ni	镍	28	[Ar]3d ⁸ 4s ²	58.693	Nickel
²⁵⁹ No	镎	102	[Rn]5f ¹⁴ 7s ²	259.10	Nobelium

续表

符号	名称	原子序数	电子组态	原子量	英文名
²³⁷ Np	镎	93	[Rn]5f ⁴ 6d7s ²	237.05	Neptunium
O	氧	8	1s ² 2s ² 2p ⁴	15.999	Oxygen
Os	铱	76	[Xe]4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ²	190.23(3)	Osmium
P	磷	15	[Ne]3s ² 3p ³	30.974	Phosphorus
Pa	镤	91	[Rn]5f ² 6d7s ²	231.04	Protactinium
Pb	铅	82	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²	207.2	Lead
Pd	钯	46	[Kr]4d ¹⁰	106.42	Palladium
¹⁴⁷ Pm	钷	61	[Xe]4f ⁶ 6s ²	146.92	Promethium
²¹⁰ Po	钋	84	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁴	209.98	Polonium
Pr	镨	59	[Xe]4f ³ 6s ²	140.91	Praseodymium
Pt	铂	78	[Xe]4f ¹⁴ 5d ⁹ 6s	195.08(3)	Platinum
²³⁹ Pu	钚	94	[Rn]5f ⁶ 7s ²	239.05	Plutonium
²²⁶ Ra	镭	88	[Rn]7s ²	226.03	Radium
Rb	铷	37	[Kr]5s	85.468	Rubidium
Re	铼	75	[Xe]5f ¹⁴ 5d ⁵ 6s ²	186.21	Rhenium
Rh	铑	45	[Kr]4d ⁸ 5s	102.91	Rhodium
²²² Rn	氡	86	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶	222.02	Radon
Ru	钌	44	[Kr]4d ⁷ 5s	101.07(2)	Ruthenium
S	硫	16	[Ne]3s ² 3p ⁴	32.066(6)	Sulfur
Sb	锑	51	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ³	121.76	Antimony
Sc	钪	21	[Ar]3d4s ²	44.956	Scandium
Se	硒	34	[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴	78.96(3)	Selenium
Si	硅	14	[Ne]3s ² 3p ²	28.086	Silicon
Sm	钐	62	[Xe]4f ⁶ 6s ²	150.36(3)	Samarium
Sn	锡	50	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ²	118.71	Tin
Sr	锶	38	[Kr]5s ²	87.62	Strontium
Ta	钽	73	[Xe]4f ¹⁴ 5d ³ 6s ²	180.95	Tantalum
Tb	铽	65	[Xe]4f ⁹ 6s ²	158.93	Terbium
⁹⁹ Tc	锝	43	[Kr]4d ⁵ 5s ²	98.906	Technetium
Te	碲	52	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴	127.60(3)	Tellurium
Th	钍	90	[Rn]6d ² 7s ²	232.04	Thorium
Ti	钛	22	[Ar]3d ² 4s ²	47.867	Titanium
Tl	铊	81	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p	204.38	Thallium
Tm	铥	69	[Xe]4f ¹³ 6s ²	168.93	Thulium
U	铀	92	[Rn]5f ³ 6d7s ²	238.03	Uranium
V	钒	23	[Ar]3d ³ 4s ²	50.942	Vanadium
W	钨	74	[Xe]4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ²	183.84	Tungsten

续表

符号	名称	原子序数	电子组态	原子量	英文名
Xe	氙	54	$[\text{Kr}]4d^{10}5s^25p^6$	131.29(2)	Xenon
Y	钇	39	$[\text{Kr}]4d5s^2$	88.906(2)	Yttrium
Yb	镱	70	$[\text{Xe}]4f^{14}6s^2$	173.04(3)	Ytterbium
Zn	锌	30	$[\text{Ar}]3d^{10}4s^2$	65.39	Zinc
Zr	锆	40	$[\text{Kr}]4d^25s^2$	91.224(2)	Zirconium

1.2 计量单位

中华人民共和国法定计量单位包括：

- (1) 国际单位制(SI)的基本单位(见表 1-2)；
- (2) 国际单位制的辅助单位(见表 1-3)；
- (3) 具有专门名称的 SI 导出单位(见表 1-4)；
- (4) 可与国际单位制单位并用的其他单位(见表 1-5)；
- (5) 由以上单位构成的组合形式的单位；
- (6) 由词头和以上单位所构成的十进倍数和分数单位(词头见表 1-6)。

表 1-2 国际单位制的基本单位

量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克,(公斤)	kg
时间	秒	s
电流	安[培]	A
热力学温度	开[尔文]	K
物质的量	摩[尔]	mol
发光强度	坎[德拉]	cd

表 1-3 国际单位制的辅助单位

量的名称	单位名称	单位符号
平面角	弧度	rad
立体角	球面度	sr

表 1-4 具有专门名称的 SI 导出单位

量的名称	SI 导出单位			
	名称	符号	其他表示式	
			用 SI 单位示例	用 SI 基本单位
频率	赫[兹]	Hz	—	s^{-1}
力,重力	牛[顿]	N	—	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
压力,压强,应力	帕[斯卡]	Pa	N/m^2	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
能[量],功,热量	焦[耳]	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
功率,辐[射能]通量	瓦[特]	W	J/s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
电荷[量]	库[仑]	C	—	$s \cdot A$
电压,电动势,电位,(电势)	伏[特]	V	W/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
电容	法[拉]	F	C/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
电阻	欧[姆]	Ω	V/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
电导	西[门子]	S	A/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
磁通[量]	韦[伯]	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
磁通[量]密度,磁感应强度	特[斯拉]	T	Wb/m^2	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
电感	亨[利]	H	Wb/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
摄氏温度	摄氏温度	$^{\circ}C$	—	K
光通量	流[明]	lm	—	$cd \cdot sr$
[光]照度	勒[克斯]	lx	lm/m^2	$m^{-2} \cdot cd \cdot sr$
[放射性]活度	贝可[勒尔]	Bq	—	s^{-1}
吸收剂量	戈[瑞]	Gy	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
剂量当量	希[沃特]	Sv	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$

表 1-5 可与国际单位制单位并用的其他单位

量的名称	单位名称	单位符号	与 SI 单位的关系
时 间	分	min	$1\text{min} = 60\text{s}$
	[小]时	h	$1\text{h} = 60\text{min} = 3600\text{s}$
	天(日)	d	$1\text{d} = 24\text{h} = 86400\text{s}$
平面角	[角]秒	($''$)	$1'' = (\pi/648000)\text{rad}$ (π 为圆周率)
	[角]分	($'$)	$1' = 60'' = (\pi/10800)\text{rad}$
	度	($^{\circ}$)	$1^{\circ} = 60' = (\pi/180)\text{rad}$
旋转速度	转每分	r/min	$1\text{r/min} = (1/60)\text{s}^{-1}$
长 度	海 里	n mile	$1\text{n mile} = 1852\text{m}$ (只用于航程)

续表

量的名称	单位名称	单位符号	与 SI 单位的关系
速度	节	kn	$1kn = 1n \text{ mile/h} = (1852/3600) \text{ m/s}$ (只用于航行)
质量	吨	t	$1t = 10^3\text{kg}$
	原子质量单位	u	$1u \approx 1.6605655 \times 10^{-27}\text{kg}$
体积、容积	升	L(1)	$1L = 1\text{dm}^3 = 10^{-3}\text{m}^3$
能	电子伏	eV	$1\text{eV} \approx 1.6021892 \times 10^{19}\text{J}$
级差	分贝	dB	
线密度	特[克斯]	tex	$1\text{tex} = 10^{-6}\text{kg/m}$

表 1-6 用于构成十进倍数和分数单位的 SI 词头

所表示的因数	词头名称	词头符号
10^{18}	艾[可萨]	E
10^{15}	拍[它]	P
10^{12}	太[拉]	T
10^9	吉[咖]	G
10^6	兆	M
10^3	千	k
10^2	百	h
10^1	十	da
10^{-1}	分	d
10^{-2}	厘	c
10^{-3}	毫	m
10^{-6}	微	μ
10^{-9}	纳[诺]	n
10^{-12}	皮[可]	p
10^{-15}	飞[母托]	f
10^{-18}	阿[托]	a

表 1-2~1-6 注:

1. 周、月、年(年的符号为 a),为一般常用时间单位。
2. []内的字,是在不致混淆的情况下,可以省略的字。
3. ()内的字为前者的同义语。
4. 角度单位度分秒的符号不处于数字后时,用括弧。
5. 升的符号中,小写字母 l 为备用符号。
6. r 为“转”的符号。
7. 人民生活和贸易中,质量习惯称为重量。
8. 公里为千米的俗称,符号为 km。
9. 10^4 称为万, 10^8 称为亿, 10^{12} 称为万亿,这类数词的使用不受词头名称的影响,但不应与词头混淆。

习惯上使用,但应废除的单位,见表 1-7。

表 1-7 习惯使用而应废除的单位

量的名称	单位名称	单位符号	相当于法定单位的值
来源于 SI 导出单位者			
体积	stere	st	1st = 1m ³
[动力]粘度	伯肃叶	Pl	1Pl = 1Pa · s
磁场强度	楞次	lenz	1lenz = 1A/m
嫡	卡诺	Carnot	1Carnot = 1J/K
[光]亮度	尼特	nt	1nt = 1cd/m ²
屈光度	dioptré	δ	1δ = 1m ⁻¹
属于 cgs 制的单位			
力	达因	dyn	1dyn = 10 ⁻⁵ N
能	尔格	erg	1erg = 10 ⁻⁷ J
[动力]粘度	泊	P	1P = 1dyn · s/cm ² = 10 ⁻¹ Pa · s
运动粘度	斯托克斯	St	1St = 1cm ² /s = 10 ⁻⁴ m ² /s
磁通量密度,磁感应强度	高斯	Gs	1Gs ≅ 10 ⁻⁴ T
磁场强度	奥斯特	Oe	1Oe ≅ (1000/4π)A/m
磁通量	麦克斯韦	Mx	1Mx ≅ 10 ⁻⁸ Wb
[光]亮度	熙提	sb	1sb = 1cd/cm ² = 10 ⁴ cd/m ²
[光]照度	辐透	ph	1ph = 10 ⁴ lx
来源于 SI 单位的十进倍数和分数单位			
长度	micron	μ	1μ = 10 ⁻⁶ m = 1μm
	费密	fermi	1fermi = 10 ⁻¹⁵ m = 1fm
面积	公亩	a°	1a° = 10 ² m ²
	公顷	ha°	1ha° = 10 ⁴ m ²
	靶恩	b°	1b° = 10 ⁻²⁸ m ²
质量	—	γ	1γ = 10 ⁻⁹ kg
体积	—	λ	1λ = 10 ⁻⁹ m ³
加速度	伽	Gal°	1Gal° = 10 ⁻² m/s ²
压力	巴	bar	1bar = 10 ⁵ Pa
磁通量密度,磁感应强度	—	γ	1γ = 10 ⁻⁹ T
物质的量浓度	molar	M	1M = 1mol/L = 10 ³ mol/m ³
吸收剂量	拉德	rad, rd°	1rd = 10 ⁻² Gy
剂量当量	雷姆	rem°	1rem° = 10 ⁻² Sv

续表

量的名称	单位名称	单位符号	相当于法定单位的值
其他单位			
质量	米制克拉	克拉	1 克拉 = 0.2g
力	千克力	kgf	1kgf = 9.8N
压力	标准大气压	atm	1atm = 101325Pa
	托	Torr	1Torr = 133.322Pa
	毫米汞柱	mmHg	1mmHg = 133.322Pa
	毫米水柱	mmH ₂ O	1mmH ₂ O = 9.806Pa
热量	卡	cal	1cal = 4.184J
功率	米制马力	马力	1 马力 = 735.499W
照射量	伦琴	R [*]	1R = 2.58 × 10 ⁻⁴ C/kg

注：单位符号后标有*号的单位，国际上尚暂用于某些特定领域，但也只是暂时的。

1.3 物理量的换算

压力及能量的换算分别列入表 1-8 和 1-9。

表 1-8 压力的换算

	N · m ⁻² (牛 · 米 ⁻²)	mmHg (毫米汞柱)	kg · cm ⁻² (千克 · 厘米 ⁻²)	atm (大气压)
N · m ⁻²	1	7.50062 × 10 ⁻³	1.01972 × 10 ⁻⁵	9.86923 × 10 ⁻⁶
mmHg	133.322	1	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³
kg · cm ⁻²	9.80665 × 10 ⁴	735.559	1	0.967841
atm	1.01325 × 10 ⁵	760	1.03323	1

表 1-9 能量的换算

	J (焦耳)	erg (尔格)	eV (电子伏特)	cal (卡)	cm ⁻¹ (波数)
J	1	10 ⁷	6.241461 × 10 ¹⁸	0.239006	5.03404 × 10 ²²
erg	10 ⁻⁷	1	6.241461 × 10 ¹¹	2.39006 × 10 ⁻⁸	5.03404 × 10 ¹⁵
eV	1.602189 × 10 ⁻¹⁹	1.602189 × 10 ⁻¹²	1	3.829326 × 10 ⁻²⁰	8.065479 × 10 ³
cal	4.184	4.184 × 10 ⁷	2.611425 × 10 ¹⁹	1	2.10624 × 10 ²³
cm ⁻¹	1.98648 × 10 ²³	1.98648 × 10 ⁻¹⁶	1.239852 × 10 ⁻⁴	4.74778 × 10 ⁻²⁴	1

1.4 物理常数

常用的物理常数如表 1-10 所示。

表 1-10 常用的物理常数

真空中光速	$c = 2.99792458(12) \times 10^8 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
真空磁导率	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H} \cdot \text{m}^{-1}$
真空中介电常数	$\epsilon_0 = (\mu_0 c^2)^{-1} = 8.85418782(7) \times 10^{-12} \text{F} \cdot \text{m}^{-1}$
精细结构常数($\mu_0 e^2 / 2h$)	$\alpha = 7.297351(6) \times 10^{-3}$
基本电荷	$e = 1.602189(5) \times 10^{-19} \text{C}$
普朗(Planck)常数	$h = 6.626176(36) \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$ $\hbar = h / 2\pi = 1.0544589(6) \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$
阿伏加德罗(Avogadro)常数	$N_A = 6.022045(31) \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$
原子质量单位	$u = 1.660566(9) \times 10^{-27} \text{kg}$
电子静止质量	$m_e = 9.10953(5) \times 10^{-31} \text{kg}$
质子静止质量	$m_p = 1.672649(9) \times 10^{-27} \text{kg}$
中子静止质量	$m_n = 1.674954(9) \times 10^{-27} \text{kg}$
电子电荷与质量之比	$e/m_e = 1.758805(5) \times 10^{11} \text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$
磁通量子($h/2e$)	$\Phi_0 = 2.067851(5) \times 10^{-15} \text{Wb}$
约瑟夫森(Josephson)频率与电压之比	$2e/h = 4.835939(13) \times 10^{14} \text{Hz} \cdot \text{V}^{-1}$
环流量子	$h/m_e = 7.27389(1) \times 10^{-4} \text{J} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1}$
法拉第(Faraday)常数($N_A e$)	$F = 9.648456(27) \times 10^4 \text{C} \cdot \text{mol}^{-1}$
里德伯(Rydberg)常数	$R_\infty = 1.09737318(8) \times 10^7 \text{m}^{-1}$
玻尔半径	$a_0 = \alpha / 4\pi R_\infty = 0.52917706(44) \times 10^{-10} \text{m}$
经典电子半径	$r_e = \alpha \lambda_c = \mu_0 e^2 / 4\pi m_e = 2.817938(7) \times 10^{-15} \text{m}$
汤姆(Thomson)截面	$\sigma_e = 8\pi r_e^2 / 3 = 6.652448(33) \times 10^{-28} \text{m}^2$
电子 g 因子	$g_e / 2 = \mu_e / \mu_B = 1.001159657(4)$
μ 介子 g 因子	$g_\mu / 2 = 1.00116616(31)$
玻尔(Bohr)磁子	$\mu_B = eh / 2m_e c = 9.274078(36) \times 10^{-24} \text{J} \cdot \text{T}^{-1}$
电子磁矩	$\mu_e = 9.284832(36) \times 10^{-24} \text{J} \cdot \text{T}^{-1}$
水中质子的回转磁比	$\gamma_p' = 2.675130(8) \times 10^8 \text{s}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$
抗磁修正后的水的 γ_p'	$\gamma_p = 3.675199(8) \times 10^8 \text{s}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$
质子磁矩	$\mu_p = 1.410617(5) \times 10^{-26} \text{J} \cdot \text{T}^{-1}$
以玻尔(Bohr)磁子为单位	$\mu_p / \mu_B = 1.521032209(16) \times 10^{-3}$
以核磁子为单位	$\mu_p / \mu_N = 2.7928456(11)$
电子磁矩与质子磁矩之比	$\mu_e / \mu_p = 6.58210688(7) \times 10^2$
μ 介子磁矩与质子磁矩之比	$\mu_\mu / \mu_p = 3.183340(7)$
核磁子	$\mu_N = eh / 2m_p c = 5.050824((20) \times 10^{-27} \text{J} \cdot \text{T}^{-1}$
μ 介子磁矩	$\mu_\mu = 4.490474(18) \times 10^{-26} \text{J} \cdot \text{T}^{-1}$
μ 介子静止质量	$m_\mu = 1.883566(11) \times 10^{-28} \text{kg}$
电子康普顿(Compton)波长	$\lambda_c = a^2 / 2R_\infty = 2.426309(4) \times 10^{-12} \text{m}$ $\lambda_c / 2\pi = a a_0 = 3.861591(6) \times 10^{-13} \text{m}$

续表

质子康普顿(Compton)波长	$\lambda_c, f = h/m_p c = 1.321410(2) \times 10^{-15} \cdot \text{m}$
中子康普顿(Compton)波长	$\lambda_c, n = h/m_n c = 1.319591(2) \times 10^{-15} \text{m}$
理想气体在标准状态下的摩尔体积	$V_m = RT_0/p_0 = 0.0224138(7) \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$
摩尔气体常数	$R = p_0 V_m / T_0 = 9.31441(26) \text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
玻尔兹曼(Boltzmann)常数	$k = R/N_A = 1.380662(44) \times 10^{-23} \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$
斯忒藩-玻尔兹曼(Stefan-Boltzmann)常数	$\sigma = (\pi^2/60) k^4 / \hbar^3 c^2 =$ $5.6703(7) \times 10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$
第一辐射常数	$c_1 = 2\pi h c^2 = 3.74183(2) \times 10^{-16} \text{W} \cdot \text{m}^2$
第二辐射常数	$c_2 = hc/k = 1.438786(45) \times 10^{-2} \text{m} \cdot \text{K}$
万有引力常数	$G = 6.672(4) \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$