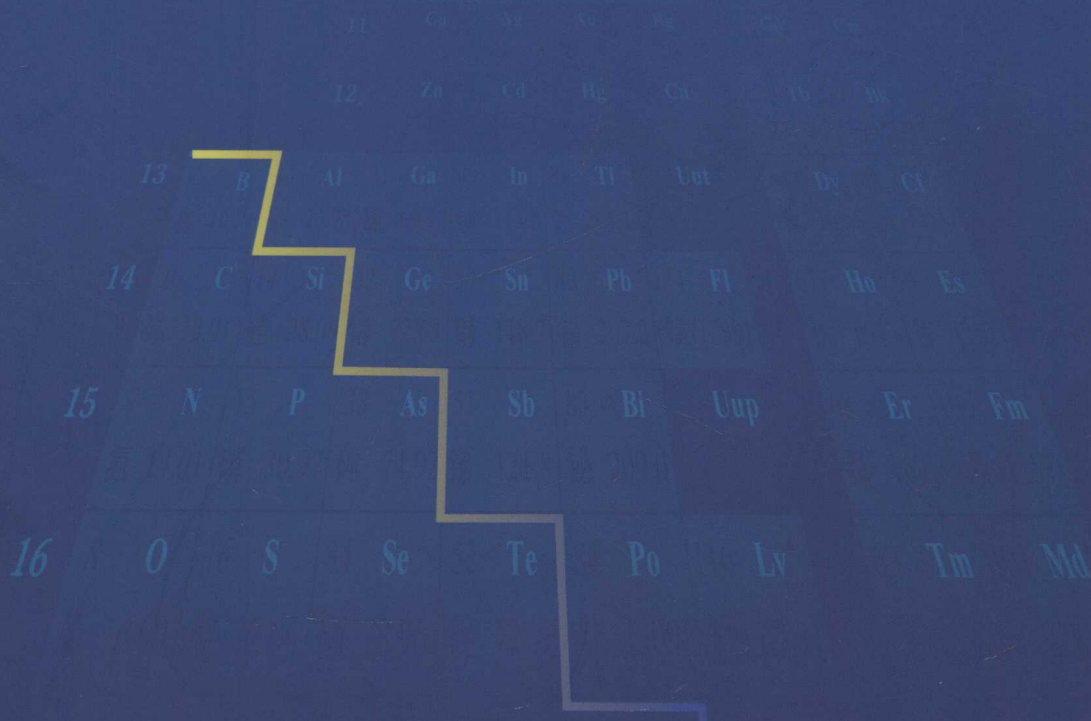


化学元素综论

CHEMICAL ELEMENTS SURVEY

周公度 叶宪曾 吴念祖 编著



11	Li	Na	K	Rb	Cs	Fr
12	Zn	Cd	Hg	Cu	Ag	Au
13	B	Al	Ga	In	Tl	Pb
14	C	Si	Ge	Sn	Pb	Fl
15	N	P	As	Sb	Bi	Uup
16	O	S	Se	Te	Po	Lv
17	F	Cl	Br	I	At	Uus
18	He	Ne	Ar	Kr	Xe	Rn



科学出版社

内 容 简 介

本书是化学元素基础知识手册型参考书,内容分三部分:第Ⅰ部分化学元素分论,对各个元素逐一地从历史、存在情况及制备、化学性质和结构、物理性质、主要同位素及核性质、生物学作用、特性和应用七个方面加以介绍、评注;第Ⅱ部分化学元素综合数据表,汇集新颖和较完整的数据;第Ⅲ部分化学元素周期表,从历史发展介绍各种各样、多姿多彩的周期表,阐述周期律的理论基础和元素性质的周期律,其中包括作者向读者推荐的一种较实用的元素周期表。

本书可供高等院校化学及相关专业师生、中学化学教师以及工农业、医学、药物学和国防等各方面科技人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

化学元素综论/周公度,叶宪曾,吴念祖编著. —北京:科学出版社,2012.9
ISBN 978-7-03-035615-4

I. ①化… II. ①周… ②叶… ③吴… III. ①化学元素-介绍 IV. ①O611

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 224929 号

责任编辑:陈雅娴 杨向萍 / 责任校对:宋玲玲

责任印制:闫 磊 / 封面设计:迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京天竺彩色印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 9 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2012 年 9 月第一次印刷 印张:30

字数:694 000

定价:78.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

周期 族	1	2	3	4	5	6	7
1 (1A)	1 H 氢 1.008	3 Li 锂 6.941	11 Na 钠 22.99	19 K 钾 39.10	37 Rb 铷 85.47	55 Cs 铯 132.9	87 Fr 钫 [223]
	2 (2A)	4 Be 铍 9.012	12 Mg 镁 24.31	20 Ca 钙 40.08	38 Sr 锶 87.62	56 Ba 钡 137.3	88 Ra 镭 [226]
			3 (3B)	21 Sc 钪 44.96	39 Y 钇 88.91	57~71 La~Lu	89~103 Ac~Lr
			4 (4B)	22 Ti 钛 47.87	40 Zr 锆 91.22	72 Hf 铪 178.5	104 Rf [▲] 𬬻 [265]
			5 (5B)	23 V 钒 50.94	41 Nb 铌 92.91	73 Ta 钽 180.9	105 Db [▲] 𬬻 [268]
			6 (6B)	24 Cr 铬 52.00	42 Mo 钼 95.96	74 W 钨 183.8	106 Sg [▲] 𬬻 [271]
			7 (7B)	25 Mn 锰 54.94	43 Tc 锝 [98]	75 Re 铼 186.2	107 Bh [▲] 𬬻 [270]
			8 (8B)	26 Fe 铁 55.85	44 Ru 钌 101.1	76 Os 锇 190.2	108 Hs [▲] 𬬻 [277]
			9 (8B)	27 Co 钴 58.93	45 Rh 铑 102.9	77 Ir 铱 192.2	109 Mt [▲] 𬬻 [276]
			10 (8B)	28 Ni 镍 58.69	46 Pd 钯 106.4	78 Pt 铂 195.1	110 Ds [▲] 𬬻 [281]
			11 (1B)	29 Cu 铜 63.55	47 Ag 银 107.9	79 Au 金 197.0	111 Rg [▲] 𬬻 [282]
			12 (2B)	30 Zn 锌 65.38	48 Cd 镉 112.4	80 Hg 汞 200.6	112 Cn [▲] 𬬻 [285]
	13 (3A)	5 B 硼 10.81	13 Al 铝 26.98	31 Ga 镓 69.72	49 In 铟 114.8	81 Tl 铊 204.4	113 Uut [▲] — [284]
	14 (4A)	6 C 碳 12.01	14 Si 硅 28.09	32 Ge 锗 72.63	50 Sn 锡 118.7	82 Pb 铅 207.2	114 Fl [▲] (𬬻) [289]
	15 (5A)	7 N 氮 14.01	15 P 磷 30.97	33 As 砷 74.92	51 Sb 锑 121.8	83 Bi 铋 209.0	115 Uup [▲] — [288]
	16 (6A)	8 O 氧 16.00	16 S 硫 32.06	34 Se 硒 78.96	52 Te 碲 127.6	84 Po 钋 [209]	116 Lv [▲] (𬬻) [293]
	17 (7A)	9 F 氟 19.00	17 Cl 氯 35.45	35 Br 溴 79.90	53 I 碘 126.9	85 At 砹 [210]	117 Uus [▲] —
18 (8A)	2 He 氦 4.003	10 Ne 氖 20.18	18 Ar 氩 39.95	36 Kr 氪 83.80	54 Xe 氙 131.3	86 Rn 氡 [222]	118 Uuo [▲] — [294]

元素符号
原子序数 (▲为人造元素)

29 Cu
铜 63.55

元素名称 相对原子质量
(2009)
[半衰期最长同位素的质量数]

	铜系	铜系
	57 La 镧 138.9	89 Ac 锕 [227]
	58 Ce 铈 140.1	90 Th 钍 232.0
	59 Pr 镨 140.9	91 Pa 镤 231.0
	60 Nd 钕 144.2	92 U 铀 238.0
	61 Pm [▲] 钷 [145]	93 Np 镎 [237]
	62 Sm 钐 150.4	94 Pu 钷 [244]
	63 Eu 铕 152.0	95 Am [▲] 镅 [243]
	64 Gd 钆 157.3	96 Cm [▲] 镆 [247]
	65 Tb 铽 158.9	97 Bk [▲] 锫 [247]
	66 Dy 镝 162.5	98 Cf [▲] 锎 [251]
	67 Ho 铈 164.9	99 Es [▲] 镅 [252]
	68 Er 铈 167.3	100 Fm [▲] 镆 [257]
	69 Tm 铽 168.9	101 Md [▲] 钎 [258]
	70 Yb 镱 173.1	102 No [▲] 锘 [259]
	71 Lu 镥 175.0	103 Lr [▲] 𬬻 [262]

前 言

化学元素是同种原子(即有相同质子数的原子)的总称。原子通过化学键结合形成自然界的各种物质,从这个意义上看,化学元素是组成物质世界的基本要素。

随着近三个多世纪以来科学技术的发展,人们对化学元素的认识已取得巨大成果:分离制备出能预见到存在的全部 118 种元素的 117 种;深入原子的内部,了解原子的结构;测定原子的性质,根据元素的各种特性,生产制造出各种性能优良的材料,为人们的生活、生产和科学研究提供物质基础。

有关化学元素的知识已超越化学的领域,成为整个自然科学的重要基础内容,指导和促进科学的发展,为工农业生产、改善环境、提高人们的生活质量和健康水平提供科学依据。化学元素知识是文化教育的基础内容之一,各级各类学校的学生、教师,以及在工农业、医学、药理学、国防等各个部门工作的技术人员和专家都需要这方面的知识。有关化学元素的信息不断发展更新、浩若大海。

我们应科学出版社之约,编写这本手册型化学元素知识参考书,宗旨是为读者提供有关化学元素各方面的准确、可靠、新颖的数据,介绍每种元素的特性和应用,阐明元素之间的相互联系,引领读者进入各种元素丰富多彩的天地,了解各种元素和现实生活各个方面的联系,为在校师生、在职的技术人员和专家提供一本有助于深入了解化学元素的内涵,启发解决实际问题的途径,并提供相应素材的书。

本书分三部分,对化学元素进行综合地叙述和讨论:

第Ⅰ部分:化学元素分论。在这部分中对元素逐一地从七个方面进行介绍:历史、存在情况及制备、化学性质和结构、物理性质、主要同位素及核性质、生物学作用、特性和应用。后两个方面为探讨元素的内涵和相关知识提供了广阔的空间。

第Ⅱ部分:化学元素综合数据表。在这部分所列数据绝大部分录自近年出版的手册和文献。对元素单质的晶体比较完整地列出不同条件下的各种同素异构体的结构,并作图表示。

第Ⅲ部分:化学元素周期表。在这部分中系统介绍元素周期表的发展历史和各种各样、多姿多彩的元素周期表,使读者了解各种元素之间的相互联系,更全面地了解化学元素和预见各种元素的性质,启迪读者的思维。其中还有一种我们向读者推荐的较为实用的元素周期表,说明它的优点,希望得到读者的认同和推广应用。

鉴于化学元素知识对自然科学各学科具有基础性、广泛应用性和发展创新性的作用,我们努力地收集古今中外研究化学元素的史实和重要数据,精心编写,希望本书能成为一本具有一定理论基础和丰富数据资料的参考书。在编写过程中,我们努力为读者,特别是高等院校化学及相关专业师生和中学化学教师提供一些探索分析和思辨问题的内容,以提高科学素质。例一,从氩气的发现历史,了解先辈学者认真进行科学实验的精神,获得精确结果并且不放过千分之几差异,并将隐含发现生机的种子撒向社会,为另一学者创造机会发现稀有气体元素。例二,金刚石和硅的晶体结构相同,硅的相对原子质量(28)是碳(12)的两倍多,但硅的密度比金刚石低得多,以此引导读者探究其原因,并推测它们的物理性质。例三,人体每日需钾量不同来源的信息有不同的数值,应当怎样分析、对待。例四,2012 年 IUPAC 公布了 114 号和 116

号元素的英文名称和元素符号,本书推荐了它们的中文名称,等待全国科学技术名词审定委员会定名。读者可利用这个契机参加新元素中文名称命名活动。例五,评论本书推荐的一种元素周期表,了解它的优缺点,藉此更深入学习元素周期律。

本书的出版受益于我们拜读和参考引用的中外有关化学元素的文献,受益于我们长期工作生活的北京大学化学与分子工程学院师生们的鞭策、鼓励和帮助,如王颖霞教授帮助绘制部分晶体结构图,还受益于本书责任编辑陈雅娴和杨向萍认真细致的编辑工作,在此我们表示衷心的感谢。

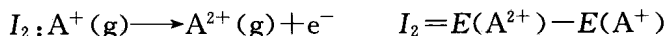
由于本书内容涉及面广、不同来源的数据有一定的差别,加之我们的水平有限,虽尽力地反复查对核实,仍难免有错误和不当之处,衷心希望读者给予指正。

编 者

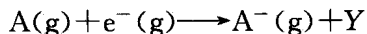
2012年6月于北京大学

符号说明

电离能(I):从气态的基态原子(或离子)中电离一个电子所需的最低能量。



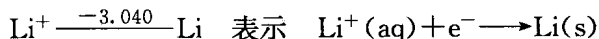
电子亲和能(Y):一个气相原子和一个电子结合放出的能量。



$Y > 0$ 为放热 $Y < 0$ 为吸热

电负性(χ): χ_P 为 Pauling 标度, χ_S 为光谱标度(或 Allen 标度)。

标准还原电位(φ°/V):氢标还原电极电位。举例如下:



金属锂放在 Li^+ 活度为 1 的水溶液中构成的电极和标准氢电极组成电池的电动势为 -3.040 V 。表明 $Li \longrightarrow Li^+$ 的倾向大。

氧化态:又称氧化数。计算一个原子在反应中电荷数目改变的一种简单表示。例如, $+1$ 表示该原子形式上失去一个电子,显 $+1$ 价。

原子(离子)半径(r):

r_{cov} :原子共价单键半径

r_{met} :金属原子半径

r_{vdw} :原子的范德华半径

$r_{M^+}(4)$:配位数为 4 时, M^+ 的离子半径

熔点(T_m):常压下,固相和液相平衡共存的温度,有时又称为凝固点。

沸点(T_b):常压下,液相和气相平衡共存的温度。沸点时液体的蒸气压达 100 kPa 。

熔化焓($\Delta H_{\text{熔化}}$):恒压下,固相变为液相时焓的改变量。

气化焓($\Delta H_{\text{气化}}$):恒压下,液相变为气相时焓的改变量。若指固相变为气相时焓的改变量,称升华焓。

临界温度(T_c):物质在高于该温度就不能以液体的形态存在的最低温度。

临界压力(p_c):临界温度时气体液化所需的最低压力。

三相点(T_{up}):气相、液相、固相三相或液相和两个固相能同时存在的温度和压力。

标准生成焓($\Delta_f H^\circ$):以最稳定单质的同素异构体作基准体,在 273.15 K 和 100 kPa 时, 1 mol 该元素的单质和基准体的焓的差。例如,碳元素以石墨作基准体,金刚石的 $\Delta_f H^\circ = 1.895\text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

标准生成吉布斯自由能($\Delta_f G^\circ$):以最稳定的同素异构体作基准体,在 273.15 K 和 100 kPa 时, 1 mol 该元素的单质和基准体的吉布斯自由能的差值。例如,碳元素以石墨作基准体,金刚石的 $\Delta_f G^\circ = 2.900\text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

标准摩尔熵(S_m°): 1 mol 单质在标准状态下的熵值。

标准摩尔等压热容($C_{p,m}^\circ$): 1 mol 单质在标准状态下升高温度 1°C 所需的能量。

密度:单位体积物质的质量。固态和液态常以 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 为单位;气态时常以 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (或

$\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$)为单位。在数值后标明温度。

摩尔体积:在指定条件下,1 mol 单质所占的体积,气体常以 1 mol 分子计。

热导率:又称热导系数,表征物质的热传导能力的大小。

电阻率:表征物质电阻大小的参数。它的倒数是电导率。

质量磁化率(χ_m):在外磁场中,物质的磁化强度 M 与磁场强度 H 的比值称磁化率 χ , $\chi = M/H$ 。质量磁化率 χ_m 指磁化率乘以物质的相对原子(或分子)质量,而除以该物质的密度值。抗磁性物质 $\chi_m < 0$,顺磁性物质和铁磁性物质等 $\chi_m > 0$ 。

线[膨]胀系数:在某温度区间,温度升高 1 $^{\circ}\text{C}$,单位长度的物质的平均伸长量。

X 射线质量吸收系数(μ_m 或 μ/ρ):X 射线透过物质被吸收减弱程度的一种量度, μ 为线性吸收系数, $\mu_m = \mu/\rho$ 。与 X 射线的波长、物质的透光的厚度和所含元素质量分数等有关,故用 μ/ρ (ρ 指物质的密度)。

原子光谱:(I)表示气态原子外层电子被激发到高能级,当向低能级跃迁时将能量以电磁辐射形式发射出来,产生线状的发射光谱,称为原子线;(II)表示气态一价离子外层电子被激发,产生线状的发射光谱,称为离子线。

核自旋(I):原子核自旋角动量的简称,是组成原子核的质子、中子的自旋角动量和轨道角动量的总和。

核磁矩(μ):由原子核内质子和中子的自旋磁矩和轨道磁矩组成,以核磁子 μ_N 为单位, $\mu_N = 5.051 \times 10^{-27} \text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$ 。

半衰期($T_{1/2}$):放射性核素在单一的衰变过程中,其放射性活度减少到原有值一半时所需的时间。

核磁共振(NMR):在磁场中核磁矩分裂为 $(2I+1)$ 个磁能级(I 为自旋量子数),当外加电磁波的频率和核磁能级间隔相当时,电磁波被吸收,发生核磁共振。

α 衰变:放射性核素自发地发射 α 粒子(${}^4_2\text{He}$)的衰变。

β 衰变:核内核子之间相互转化的过程。包括:

β^- 衰变:中子过剩的原子核自发发射一个 β^- 粒子(即电子),生成质子数加 1 的子核。

β^+ 衰变:中子不足的原子核自发发射一个 β^+ 粒子(即正电子),生成质量数不变而电荷数减 1 的子核。

电子俘获(EC):原子核俘获一个核外轨道电子而衰变,生成质量数不变而电荷数减 1 的子核。

γ 衰变:激发态原子核跃迁至低能态而以电磁波形式(γ 射线或 γ 光子)释放过剩能量的过程,生成质量数和电荷数均不变子核。 γ 衰变通常是 α 衰变或 β 衰变的伴生现象。

自发核裂变(SF):重原子核(质量数大于 90 的核)自发分裂成两个或两个以上中等质量碎片原子核的反应。

贝可勒尔(Becquerel):简称贝可,符号 Bq,放射性活度的 SI 单位,1 Bq 等于每秒衰变 1 次。历史上最早用 1 g ${}^{226}\text{Ra}$ 的活度为单位,称为居里(Ci),1 Ci = 3.7×10^{10} Bq。

克拉(carat,ct):宝石的质量单位,1 ct = 0.200 g。非法定计量单位,但在珠宝业仍广泛使用。

目 录

前言
符号说明

第 I 部分 化学元素分论

1	氢	3
2	氦	7
3	锂	10
4	铍	13
5	硼	16
6	碳	20
7	氮	26
8	氧	30
9	氟	34
10	氖	37
11	钠	39
12	镁	42
13	铝	45
14	硅	48
15	磷	52
16	硫	56
17	氯	61
18	氩	65
19	钾	68
20	钙	71
21	钪	74
22	钛	77
23	钒	80
24	铬	83
25	锰	86
26	铁	90
27	钴	95
28	镍	99
29	铜	102
30	锌	106
31	镓	109

32	锗	112
33	砷	115
34	硒	119
35	溴	122
36	氩	125
37	铷	127
38	锶	130
39	钇	133
40	锆	136
41	铌	139
42	钼	142
43	锝	145
44	钨	148
45	铈	151
46	钡	154
47	银	157
48	镉	160
49	铟	163
50	锡	166
51	锑	170
52	碲	173
53	碘	176
54	氙	179
55	铯	182
56	钡	185
57	镧	188
58	铈	195
59	镨	198
60	钕	201
61	铈	204
62	钐	207
63	铕	210
64	钆	213
65	铽	217
66	镱	220
67	铥	223
68	镱	226
69	铥	229
70	镱	231
71	镱	234

72	铨	237
73	钽	240
74	钨	243
75	铼	246
76	钨	249
77	铋	252
78	铂	255
79	金	258
80	汞	261
81	铊	264
82	铅	267
83	铋	270
84	钋	274
85	砷	277
86	氫	279
87	钷	282
88	镭	284
89	锶	287
90	钍	289
91	镤	292
92	铀	295
93~103	锕系超铀元素	299
104~118	超锕元素	308

第Ⅱ部分 化学元素综合数据表

表Ⅱ.1	元素的中英文名称	315
表Ⅱ.2	元素的主要外文名称	319
表Ⅱ.3	化学元素发现情况	323
表Ⅱ.4	元素名称的由来	328
表Ⅱ.5	元素的相对原子质量、同位素及其丰度	332
表Ⅱ.6	基态原子的电子组态和谱项	345
表Ⅱ.7	元素的电离能、电子亲和能和电负性	349
表Ⅱ.8	元素单质的熔点、沸点、熔化焓、气化焓、临界温度和临界压力	352
表Ⅱ.9	常压下固态元素的相转变	355
表Ⅱ.10	元素的物理性质	357
表Ⅱ.11	元素的热力学性质(298 K)	360
表Ⅱ.11.1	元素的标准熵、热容和气态原子生成焓	360
表Ⅱ.11.2	标准还原电极电位	364
表Ⅱ.12	化学键键能	366
表Ⅱ.12.1	同素双原子分子键解离能 $[D_{298}^{\circ}(\text{A}-\text{A})/(\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})]$	366

表 II.12.2 一些异核双原子分子键解离能 $[D_{298}^{\circ}(\text{A—B})/(\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})]$	367
表 II.12.3 若干化学键的平均键能(单位: $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 298 K)	369
表 II.13 单质的晶体结构	370
表 II.14 原子半径和化学键键长	383
表 II.14.1 原子半径	383
表 II.14.2 化学键键长	386
表 II.15 晶体中的离子半径	387
表 II.16 核素的核磁共振性质	393
表 II.17 常用放射性核素表	397
表 II.18 元素在地壳、海洋、地球和人体中的平均含量	402

第 III 部分 化学元素周期表

III.1 早期的元素周期表	407
III.2 宝塔式元素周期表	416
III.3 横向元素周期表	421
III.4 竖向元素周期表	426
III.5 多姿多彩的元素周期表	428
III.6 本书推荐的一种元素周期表	438
III.7 原子结构和元素周期表	440
III.7.1 基态原子的核外电子组态	440
III.7.2 原子轨道的含义和形态	443
III.7.3 元素周期表中元素的分区	446
III.7.4 相对论效应对元素性质的影响	449
III.8 元素性质的周期性	452
III.8.1 原子的电离能	452
III.8.2 电负性	453
III.8.3 元素的氧化态	455
III.8.4 原子间结合力的周期性	456
III.8.5 原子大小的周期性	459
III.8.6 元素性质之最	462
III.9 化学元素在地球中的分布和周期表	464
III.10 元素性质在周期表中的变化趋势	466
参考文献	468

第 I 部分

化学元素分论

1 氢	25 锰	49 铟	73 钽
2 氦	26 铁	50 锡	74 钨
3 锂	27 钴	51 铋	75 铼
4 铍	28 镍	52 碲	76 钨
5 硼	29 铜	53 碘	77 铀
6 碳	30 锌	54 氙	78 铂
7 氮	31 镓	55 铯	79 金
8 氧	32 锗	56 钡	80 汞
9 氟	33 砷	57 镧	81 铊
10 氛	34 硒	58 铈	82 铅
11 钠	35 溴	59 镨	83 铋
12 镁	36 氪	60 钕	84 钋
13 铝	37 铷	61 铈	85 砷
14 硅	38 锶	62 钐	86 氡
15 磷	39 钇	63 铈	87 钫
16 硫	40 锆	64 钬	88 镭
17 氯	41 铌	65 铥	89 锕
18 氩	42 钼	66 镱	90 钍
19 钾	43 锝	67 铪	91 镤
20 钙	44 钒	68 铪	92 铀
21 钪	45 铈	69 铥	93~103 锕系超铀元素
22 钛	46 钡	70 镱	104~118 超铀元素
23 钒	47 银	71 镱	
24 铬	48 镉	72 铪	

1 氢

H Hydrogen

第 1 周期, 第 1(1A) 族
非金属元素
 A_r 1.008

历史

早在 16 世纪有些科学家就注意到将铁放入稀硫酸中能产生一种可燃气体, 但未深入研究其成分, 也没有正式发表。1766 年卡文迪什(H. Cavendish, 英国)发表文章, 描述通过铁加盐酸产生可燃气体, 称它为“可燃空气”, 取名为 hydrogen。名称来自希腊文 hydro+genes(水+生成)。

存在情况及制备

宇宙中最丰富的元素。按原子数目计, 氢是其他元素总和的 100 倍; 按质量计, 占太阳系 88.6%, 占地球 15%。

地壳平均含量: $1.40 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 地壳丰度排序: 10

海水平均含量: $108 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$

成人人体平均含量: $100 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$

制备: 实验室可由电解水或金属锌和盐酸反应制得。

工业生产: 水蒸气通过红热焦炭 $\text{H}_2\text{O} + \text{C} \longrightarrow \text{CO} + \text{H}_2$

一氧化碳和水反应 $\text{H}_2\text{O} + \text{CO} \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$

甲烷和水热裂解 $\text{H}_2\text{O} + \text{CH}_4 \longrightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$

化学性质和结构

氢与卤素或氧混合, 经引燃或光照会猛烈反应, 生成卤化氢或水; 与活泼金属(如 Na, Ca)在高温下反应生成金属氢化物; 氢气与空气混合易爆炸。氢气具有还原性, 原子氢比分子氢还原性更强。催化加氢使不饱和碳氢化合物转化为饱和碳氢化合物。

基态电子组态: $1s^1$

基态光谱项符号: $^2S_{1/2}$

电离能(I)/($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$): 1311.7

电子亲和能(Y)/($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$): -72.8

电负性: χ_P 2.20

标准还原电位($\varphi^\ominus$)/V:

酸性溶液 $\text{H}_3\text{O}^+ \xrightarrow{0.00} \text{H}_2 \xrightarrow{-2.25} \text{H}^-$

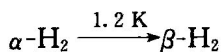
碱性溶液 $\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{-0.828} \text{H}_2 \xrightarrow{-2.25} \text{H}^-$

氧化态: -1 NaH, CaH₂0 H₂+1 H₂O, H₃O⁺, OH⁻, HCl, CH₄, NH₃

原子光谱主要谱线波长(nm)和类型(I 是原子线):

121.568(I)	486.133(I)	656.272(I)
656.285(I)	1875.10(I)	

晶体结构:

 $\alpha\text{-H}_2$ (<1.2 K): 立方晶系, 面心立方点阵, A1 型结构(图见 II. 13), $a=533.8\text{ pm}$ 。 $\beta\text{-H}_2$ (1.2~13.8 K): 六方晶系, 简单六方点阵, A3 型结构(图见 II. 13), $a=377.6\text{ pm}$,
 $c=616.2\text{ pm}$ 。在这两种晶体中, 分子不停地转动, 形成圆球形统计分布, 球形分子半径 $\alpha\text{-H}_2$: $r=188.7\text{ pm}$,
 $\beta\text{-H}_2$: $r=188.8\text{ pm}$ 。原子(离子)半径(r)/pm: $r_{\text{cov}} 31$ $r_{\text{vdw}} 110$ $r_{\text{H}^-} (6) 154$ 共价键长/pm[键能/(kJ·mol⁻¹)]:

H—H	74.14[435.99]	H—Cl	127.4[431]
D—D	74.14[447.3]	H—Br	140.8[366]
H—C	109[415]	H—I	160.9[299]
H—F	91.7[566]		

物理性质 (对 H₂ 分子)

临界温度/K: 33.21 临界压力/MPa: 1.297

气-固-液三相点/K: 14(7.2 kPa)

熔点/K: 14.175 沸点/K: 20.418

熔化焓 $\Delta H_{\text{熔化}}/(\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$: 0.117 气化焓 $\Delta H_{\text{气化}}/(\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$: 0.904

热力学性质(298.15 K, 100 kPa)

	$\Delta_f H^\ominus/(\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	$\Delta_f G^\ominus/(\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	$S^\ominus/(\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1})$	$C_p/(\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1})$
H ₂ (g)	0	0	130.684	28.824
H(g)	217.965	203.247	114.713	20.784

密度/(g·dm⁻³): 0.0899(H₂ 气体, 273 K)摩尔体积/(dm³·mol⁻¹): 22.42(H₂, 273 K)热导率/(W·m⁻¹·K⁻¹): 0.1682(273 K), 0.1815(300 K, 气态)质量磁化率(χ_m)/(m³·kg⁻¹): -2.50×10^{-8} (293 K)X 射线质量吸收系数(μ/ρ)/(cm²·g⁻¹): Cu K α 0.391

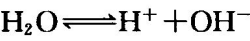
主要同位素及核性质

中文名称	氕(音“撇”或“piē”)	氘(音“刀”)	氚(音“川”)
英文名称	protium	deuterium	tritium
符号	${}^1_1\text{H}$ 或 H	${}^2_1\text{H}$ 或 D	${}^3_1\text{H}$ 或 T
相对原子质量	1.00782503207	2.0141017778	3.0160492777
天然丰度/%	99.9885	0.0115	$\sim 10^{-16}$
半衰期($T_{1/2}$)	稳定	稳定	12.262 a
衰变类型和能量/MeV	—	—	β^- , 0.01861
电离能/($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)	1311.7	1312.2	—
核自旋(I)	1/2	1	1/2
核磁矩(μ)/($\text{J} \cdot \text{T}^{-1}$)	2.792846	0.857438	2.978960
核四极矩/ m^2	—	0.002875×10^{-28}	—
磁旋比/($\text{T}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)	2.67510×10^8	4.1064×10^7	2.85335×10^8
NMR 频率/MHz (2.3488 T)	100.000	15.351	106.663

热中子俘获截面/ m^2 :0.332

生物学作用

1. 氢是生物体中原子数目最多的元素。氢和氧结合形成水(H_2O),按质量计人体中水占60%以上,大部分构成人体的体液。水本身存在少量的解离:



室温下,水的离子积常数:

$$K_w = [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 1.00 \times 10^{-14}$$

水中 H^+ 的浓度常用 pH 表示,即

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$$

pH<7 为酸性,pH>7 为碱性。正常人体血液的 pH 为 7.4,呈弱碱性。

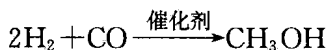
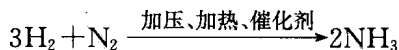
2. 氢和 O、C、N 等元素形成各种各样的有机物:脂肪、糖类、氨基酸、蛋白质和核酸等,它们构成生物体的各种器官,进行着生物生存和繁衍的生理作用。

3. 氢键 $\text{X}-\text{H} \cdots \text{Y}$ 是由两个电负性很强的元素如 O、N、F、Cl 等通过 H 原子形成的 3 中心 4 电子键,其中 $\text{X}-\text{H}$ 是极性键,X 带负电荷,H 带正电荷,H 和 Y 上的孤对电子产生强烈的吸引作用而形成。蛋白质分子内的氢键使它具有特定的构型,产生特定生理功能。脱氧核糖核酸(DNA)中的碱基配对是形成氢键的最佳条件所致,所以遗传因子的复制实质上是按最佳条件下形成特定的氢键的结果。

特性和应用

1. 氢气是最轻的气体,密度 $0.09 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,是空气密度 $1.29 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 $1/14$,历史上曾有人将其用于氢气球和载人飞艇。德国人于 1936 年建造了一架名为海登堡号的飞艇,其中充有 20 万立方米氢气。1937 年 5 月 3 日海登堡号从德国法兰克福起飞,5 月 6 日抵达美国新泽西州,因天气不佳,降落在停机坪后起火爆炸,32 人死亡,62 人幸免于难。实践证明氢气不适合用于飞艇。

2. 氢气是合成氨和甲醇等工业产品的主要原料,它基于下列反应:



3. 氢气是重要的还原剂,用于冶炼金属,例如:

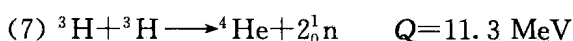
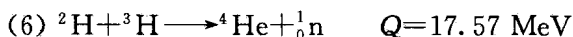
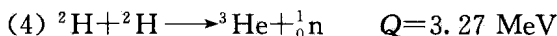
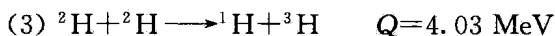


4. 氢气是绿色可再生能源,其燃烧产物是水,没有其他污染物。以摩尔为单位,氢气燃烧的化学方程式为



按质量计,氢气的燃烧热为 $1.2 \times 10^5 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$,是汽油的 3 倍。氢燃料电池的汽车已经开始应用。2010 年上海世界博览会园区中的百余辆交通车就是以氢燃料电池为动力,它实现了碳的零排放。

5. 氢核聚变能的利用。 ^1H 、 ^2H 、 ^3H 结合成较重的 He 元素时,会放出巨大的能量。氢弹和正研制的可控核聚变发电站就是依据下列氢核聚变反应:



1952 年 11 月 1 日,人类用原子弹成功地引爆由 ^2H 制成的氢弹,这是世界上第一颗氢弹,它的爆炸力相当于 1000 万吨 TNT 炸药。

1991 年欧洲共同体的核聚变能源共享实验机构实现了 $3 \times 10^8 \text{ }^\circ\text{C}$ 温度下,按式(6)的核聚变反应,用 6 份 ^2H 和 7 份 ^3H 的配比,产生 10^{18} 个 ^1_0n ,释放出 $1.7 \times 10^3 \text{ kW}$ 的能量,为实现可控核聚变电站迈出了重要一步。

6. 在已知的 3 千万种化合物中,含有氢原子的化合物数目占 90% 以上。在化合物中 ^1H 核所处的化学环境不同,核外电子分布略有差异,核感受到的有效磁场和外加磁场略有变化,即和外磁场产生共振吸收、频率改变,据此设计核磁共振仪器,测定化合物中 ^1H 的核磁共振谱(^1H NMR)。它已成为测定化合物分子结构的最重要的技术,也是医学上测定病变位置的重要方法。