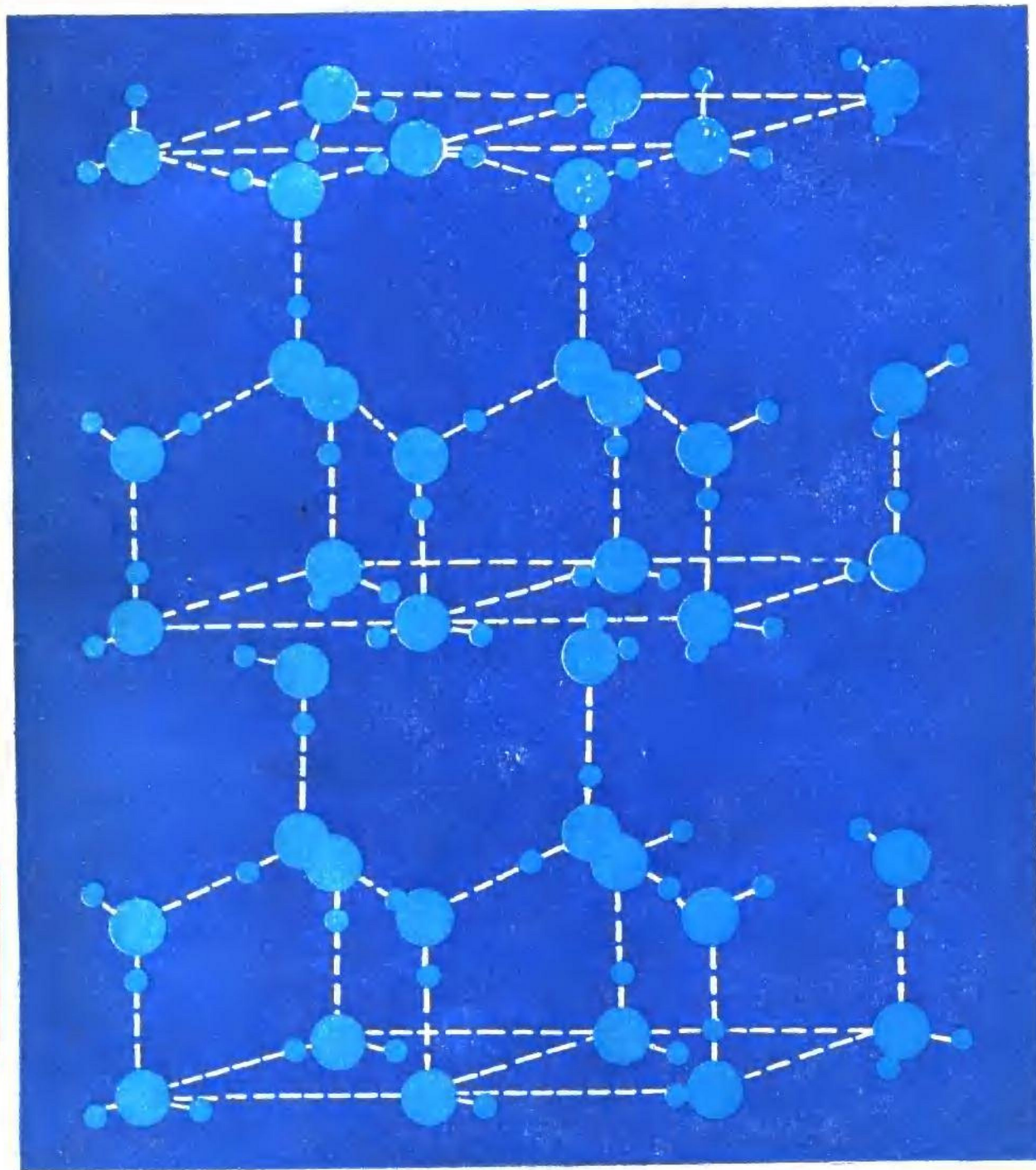


曹庭礼 主编
杨宏孝 王致勇
陈 灏 田荷珍
王素馨 白桂蓉
编

基础化学

上册

中央广播电视大学出版社



基 础 化 学

· 上 册

曹庭礼 主 编

杨宏孝 王致勇 田荷珍
陈 灏 王素馨 白桂蓉 编

中央广播电视大学出版社

基础化学

上册

曹庭礼 主编

杨宏孝 王致勇 田荷珍 编
陈 灏 王素馨 白桂蓉

中央广播电视大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民邮电出版社 印刷厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 18.5 插页 1 千字 443

1988 年 7 月第 1 版 1989 年 4 月第 1 次印刷

印数 1—31000

定价 3.95 元

ISBN 7-304-00343-X/O6·1

前 言

中央广播电视大学为了编出突出电大教学特点的化学教材,1983 年在北京召开了基础化学教学大纲讨论会,制定了教材编写大纲和编写计划。鉴于现行普通化学与无机化学教材中理论部分并无重大差别,会议决定求同存异,将两者合编为《基础化学》上册,无机和普通化学课程共同使用。另外,为无机化学课程的元素及化合物部分写了《基础化学》下册。

中央广播电视大学是以广播电视方式进行远距离教学的一所开放性大学。它目前以培养大专层次建设人才为主要任务。教学点分布全国各地,学生来源渠道多,学习条件各异,毕业后工作面很广;而化学又是许多工科专业必修的基础课。我们在编写本教材中充分注意到广播电视大学上述特点及本课程的性质和地位,对教材的适应性、基础性和现代化作了以下综合的考虑:

精选内容,控制深广度,力求使教材适合大专层次的教学实际。与目前本科大一化学相比,略去了一些次要内容,减少了某些理论的定量描述和繁杂的计算,强化了基本概念。我们对化学基本理论的方针是:削枝强干、保证基础,使教材具有现代化学的体系和知识水平。

适应目前科学日益相互渗透的形势,努力使教材成为对人类现代经济生活的开放系统。我们特别注意了联系化学有关的新学科、新材料和新技术。例如,在上册中编写了“化学与人类”一章,介绍食物、能源和环境化学等交叉学科的知识;在“高分子化合物”一章中,介绍现代有机高分子材料的同时,引入了新兴的无机高分子材料;在下册元素化学中,以[专题资料]的形式介绍了与课程内容有关的许多横向知识,以扩大视野、增长知识、激发兴趣、启迪读者开发意识。

努力增强教材的适应性,使教学具有一定灵活性并方便播出。为此,本书将教学内容拆分为若干相对独立的教学单元(章)。每单元编写相当于 4 学时播出的内容(个别章为 6 学时)。上册中关于热力学及其应用、“高分子化合物”、“简单的无机化合物”、“化学与人类”,下册的“元素的自然资源”、“无机合成化学”等均单独成章。教师可根据课程性质(普化、无机)、学生情况、教学时数和教学要求的不同,略去书中某些单元组织教学。

尽量有利于学生自学也是本书编写的指导思想之一。一方面我们适当降低了教材的起点,并注意科学内容的循序渐进、深入浅出;另一方面加强了教材的系统性及叙述的逻辑性,文字表达力求简明流畅易读易懂。为了增强自学效率,在每章之前写了学习本章的目的与要求,每节之后列有复习思考题,章末汇列出本章的关键词及基本概念,并附全章的练习题。

由于我们的业务水平所限,对远距离开放性大学的特点及教学规律认识不深,本教材从体系安排、选材以至某些具体业务方面都可能存在缺点及错误,欢迎读者指正。我们愿与同行们一道为建设具有中国特色和世界水平的开放式大学教材而努力奋斗。

参加《基础化学》上册编写的为曹庭礼(主编、北京理工大学)、杨宏孝(天津大学)、王致勇(清华大学)、田荷珍(北京师范大学)、陈灏、王素馨、白桂蓉(中央广播电视大学)。杨宏孝、王致勇负责原稿的修改和统稿工作。王春风试解了书中全部习题。参加《基础化学》下册编写的为曹庭礼

(主编)、王致勇、陈灏、杨宏孝。

参加《基础化学》上册审稿的有曹锡章(吉林大学)、严宣申(北京大学)、王曾隽(北京科技大学)、毛裕贤(北京化工学院)、郭建栋(北京广播电视大学)、张志生(黑龙江广播电视大学)、王欣(河北广播电视大学)。

《基础化学》下册由曹锡章审稿。

本书在编写中得到中央广播电视大学领导以及王遵华、赵宇辉、温泽润、牛瑞珍、杨静英、刘宝廷等的关怀和支持,特致谢意。

曹庭礼

于北京理工大学

一九八八年七月

目 录

前言	1
绪言	1
§ 0-1 宇宙中的物质	1
§ 0-2 物质的变化	5
§ 0-3 化学在社会进步中的作用	6
§ 0-4 《基础化学》课程的性质、地位和作用	8
第一章 化学反应中的质量关系和能量关系	10
§ 1-1 物质的计量	10
1-1 我国的法定计量单位	10
1-2 摩尔及其在计量化学中的应用	12
1-3 气体的计量 气体的压力和体积	15
思考题	18
§ 1-2 化学反应中的质量关系	19
2-1 质量守恒定律	19
2-2 化学方程式	19
2-3 化学计量法	19
思考题	21
§ 1-3 化学反应中的能量关系	21
3-1 反应热与反应焓变	21
3-2 热化学方程式	22
3-3 生成热	22
3-4 化学反应热的计算	23
思考题	24
关键词与重要概念	25
练习题	25
第二章 化学反应速度和化学平衡	28
§ 2-1 化学反应速度与机理	28
1-1 化学反应速度	28
1-2 化学反应活化能	29
1-3 化学反应机理	31
思考题	32
§ 2-2 影响化学反应速度的因素	32
2-1 浓度对反应速度的影响	32
2-2 温度对反应速度的影响	33
2-3 催化剂对反应速度的影响	34
2-4 其它因素对反应速度的影响	35

2-5 反应速度的控制	36
思考题	37
§ 2-3 化学平衡与反应程度	37
3-1 化学平衡状态	37
3-2 化学平衡常数	38
3-3 转化率与反应程度	42
思考题	43
§ 2-4 影响化学平衡的因素	43
4-1 浓度对化学平衡的影响	43
4-2 压力对化学平衡的影响	45
4-3 温度对化学平衡的影响	46
4-4 催化剂与化学平衡的关系	47
4-5 平衡移动原理	47
4-6 反应速度与平衡理论的综合应用	47
思考题	48
关键词与重要概念	49
练习题	49
第三章 酸与碱	52
§ 3-1 酸与碱	52
1-1 酸、碱的通性	52
1-2 酸、碱的分类	53
思考题	54
§ 3-2 酸、碱电离平衡计算	54
2-1 水的电离	55
2-2 酸、碱的电离	56
2-3 弱酸、弱碱电离平衡计算	57
2-4 溶液的酸碱性 with pH 值	59
思考题	61
§ 3-3 缓冲溶液	61
3-1 同离子效应	62
3-2 缓冲溶液	63
思考题	65
§ 3-4 酸碱质子理论	65
4-1 酸碱定义和酸碱共轭关系	65
4-2 酸碱反应	67
思考题	67
关键词与重要概念	68
练习题	68
第四章 离子的化学	70
§ 4-1 溶液中的离子	70
1-1 完全电离理论	70

1-2 离子反应与离子方程式	71
思考题	72
§ 4-2 离子的水解反应	72
2-1 阴离子的水解作用	72
2-2 阳离子的水解作用	73
2-3 水解平衡与盐溶液 pH 值的计算	74
思考题	76
§ 4-3 离子的沉淀反应	76
3-1 沉淀反应与物质的溶解性	77
3-2 溶度积	77
3-3 溶度积规则	78
3-4 沉淀反应用于离子的分离与鉴定	79
思考题	81
※4-4 离子的缔合	81
思考题	82
关键词与重要概念	82
练习题	82
第五章 氧化与还原	84
§ 5-1 氧化与还原	84
1-1 氧化态与氧化数	84
1-2 氧化与还原 氧化还原电对	85
思考题	86
§ 5-2 电极电势与氧化还原	86
2-1 原电池	86
2-2 电极电势	88
2-3 浓度对电极电势的影响	89
2-4 氧化还原反应的方向	90
思考题	91
§ 5-3 氧化剂与还原剂	91
3-1 氧化剂或还原剂的相对强弱	91
3-2 常用的氧化剂和还原剂	92
3-3 金属单质的还原性 金属活动序	96
思考题	96
§ 5-4 金属的腐蚀与防腐	96
4-1 化学腐蚀和电化学腐蚀	97
4-2 电化学腐蚀的基本原理	97
4-3 金属腐蚀的防护方法	98
思考题	99
关键词与重要概念	100
练习题	100
第六章 化学反应的方向和限度	102

§ 6-1 反应自发性与反应焓变	102
1-1 自发反应与非自发反应	102
1-2 反应自发性与反应焓变	103
思考题	104
§ 6-2 反应自发性与反应熵变	104
2-1 自发过程与混乱度	104
2-2 混乱度与熵	105
2-3 反应自发性与反应熵变	105
思考题	106
§ 6-3 反应自发性与吉布斯自由能变化	106
3-1 自发过程与吉布斯自由能变化	106
3-2 恒温恒压反应自发性的判据	107
3-3 化学反应吉布斯自由能变化的计算	109
思考题	111
§ 6-4 可逆反应的方向和限度	112
4-1 可逆反应的方向	112
4-2 可逆反应的限度	114
思考题	114
关键词与重要概念	115
练习题	115
第七章 原子结构与化学周期性	117
§ 7-1 原子的组成	117
1-1 原子的组成	117
1-2 同位素与同量素	117
思考题	119
§ 7-2 原子结构理论的近代概念	119
2-1 电子的波粒二象性	119
2-2 几率与几率密度	120
2-3 原子轨道与电子云	120
2-4 原子轨道的能级	122
2-5 量子数	124
思考题	125
§ 7-3 原子中电子的分布	125
3-1 基态原子中电子分布原理	125
3-2 基态原子中电子的分布	126
3-3 简单基态离子的电子分布	130
思考题	131
§ 7-4 元素周期表与原子电子排布的周期性	131
4-1 周期与能级组	131
4-2 族与价层电子构型	132
4-3 元素的分区	133

4-4 元素周期表的应用	134
思考题	135
§ 7-5 原子性质变化的周期性	135
5-1 原子半径	135
5-2 电离能	138
5-3 电子亲合能	140
5-4 电负性	140
思考题	142
§ 7-6 元素性质变化的周期性	142
6-1 元素的金属性和非金属性	142
6-2 元素的氧化数	142
6-3 酸碱性	143
思考题	145
关键词与重要概念	145
练习题	145
第八章 化学键和分子间力	149
§ 8-1 化学键及其参数	149
1-1 化学键及其类型	149
1-2 键参数	150
思考题	153
§ 8-2 共价键与共价化合物	153
2-1 经典共价键理论	153
2-2 价键理论	154
2-3 共价键的特征	155
2-4 共价键的类型	157
2-5 杂化轨道理论与分子的几何构型	159
思考题	163
§ 8-3 离子键与离子化合物	164
3-1 离子的结构特征	164
3-2 离子键的特征	166
3-3 键型过渡	167
思考题	168
§ 8-4 分子间力与氢键	168
4-1 分子间力	168
4-2 氢键	169
思考题	170
关键词与重要概念	170
练习题	170
第九章 物质的聚集状态与分散系统	172
§ 9-1 物质的聚集状态	172
1-1 气体	172

1-2 液体	173
1-3 固体	174
※1-4 物质的其它状态	175
思考题	177
§ 9-2 晶体结构	177
2-1 晶格的概念	177
2-2 分子晶体	178
2-3 离子晶体	179
2-4 原子晶体	180
2-5 金属晶体	180
思考题	181
§ 9-3 物质的分散系统	181
思考题	182
§ 9-4 溶液的通性	183
思考题	186
关键词与重要概念	187
练习题	187
第十章 简单无机化合物	188
§ 10-1 氧化物	188
1-1 氧化物的组成与结构	188
1-2 氧化物的性质	189
1-3 氧化物的一些应用	192
思考题	193
§ 10-2 卤化物	193
2-1 卤化物的结构与物理性质	193
2-2 卤化物的化学性质	195
2-3 卤化物的制备	196
思考题	197
§ 10-3 氢化物	197
3-1 离子型氢化物	198
3-2 共价型氢化物	198
3-3 过渡型氢化物	199
思考题	199
§ 10-4 含氧酸盐	199
4-1 含氧酸盐的存在与物理性质	199
4-2 含氧酸盐的热稳定性	201
思考题	202
关键词与重要概念	203
练习题	203
第十一章 配位化合物	204
§ 11-1 配合物的基础知识	204

1-1 配合物的发现简史	204
1-2 配合物的组成	205
1-3 简单配合物的命名	205
思考题	206
§ 11-2 配合物的结构	206
2-1 简史	206
2-2 配合物的价键理论	207
2-3 配位数规律	209
2-4 螯合物 金属有机化合物	210
思考题	211
§ 11-3 配合物在水溶液中的电离	212
3-1 配合物的电离	212
3-2 配合物形成对物质性质的影响	213
思考题	216
§ 11-4 配合物的应用	216
思考题	218
关键词与重要概念	218
练习题	218
第十二章 高分子化合物	220
§ 12-1 综述	220
1-1 高分子基本概念	220
1-2 单体及其聚合性能	221
1-3 高分子合成	223
1-4 高分子骨架结构	224
思考题	226
§ 12-2 高分子性质及分类	226
2-1 高分子基本性能	226
2-2 高分子分类	230
思考题	232
§ 12-3 高分子合成材料	232
3-1 合成树脂	233
3-2 工程塑料	235
3-3 合成纤维	236
3-4 合成橡胶	239
3-5 粘合剂	241
3-6 高分子合成材料展望	242
思考题	243
关键词与重要概念	243
练习题	244
第十三章 化学与人类	246
§ 13-1 食物与营养	246

1-1 人体的组成与食物成分	246
1-2 碳水化合物	247
1-3 脂肪	249
1-4 蛋白质	250
1-5 维生素与矿物质	251
思考题	252
§ 13-2 能源的现在与未来	252
2-1 能量与能源	252
2-2 能源的分类	253
2-3 能源的现在与未来	253
2-4 举世瞩目的清洁能源 氢能与太阳能	255
思考题	257
§ 13-3 环境污染与环境保护	257
3-1 环境的污染及其危害	258
3-2 大气的污染及其防治	259
3-3 水的污染及其净化	262
3-4 土壤的污染及其预控	263
3-5 环境监测与环境管理	264
思考题	265
关键词与重要概念	266
练习题	266
附录	267
附录 1 标准热力学数据 (298.15K)	267
附录 2 酸和碱的电离常数 (298.15K)	275
附录 3 溶度积常数 (298.15K)	275
附录 4 标准电极电势 (298.15K)	277
附录 5 配离子的累积稳定常数 (298.15K)	282
元素周期表	283

※ ※ ※

《基础化学》下册目录

第一章 化学元素的自然资源
第二章 非金属元素(一)
第三章 非金属元素(二)
第四章 主族金属元素
第五章 过渡金属元素(一)
第六章 过渡金属元素(二)
第七章 无机合成化学
附 录 实用化学知识

§ 0-1 宇宙中的物质

地球象一个煮得半熟的鸡蛋,分为地核、地幔和地壳三部分。地核相当于蛋黄,是以铁为主,由铁镍合金^②组成的液态球体,半径约为 3400 公里。地幔相当于蛋白,厚 2900 公里,由少数金属的硅酸盐所组成。地壳只有 30~40 公里厚,比鸡蛋壳在鸡蛋中所占厚度还薄。它基本上是由岩石所组成,包含了各种矿产和能源资源(煤、石油、天然气等),是人类赖以生存的基地。

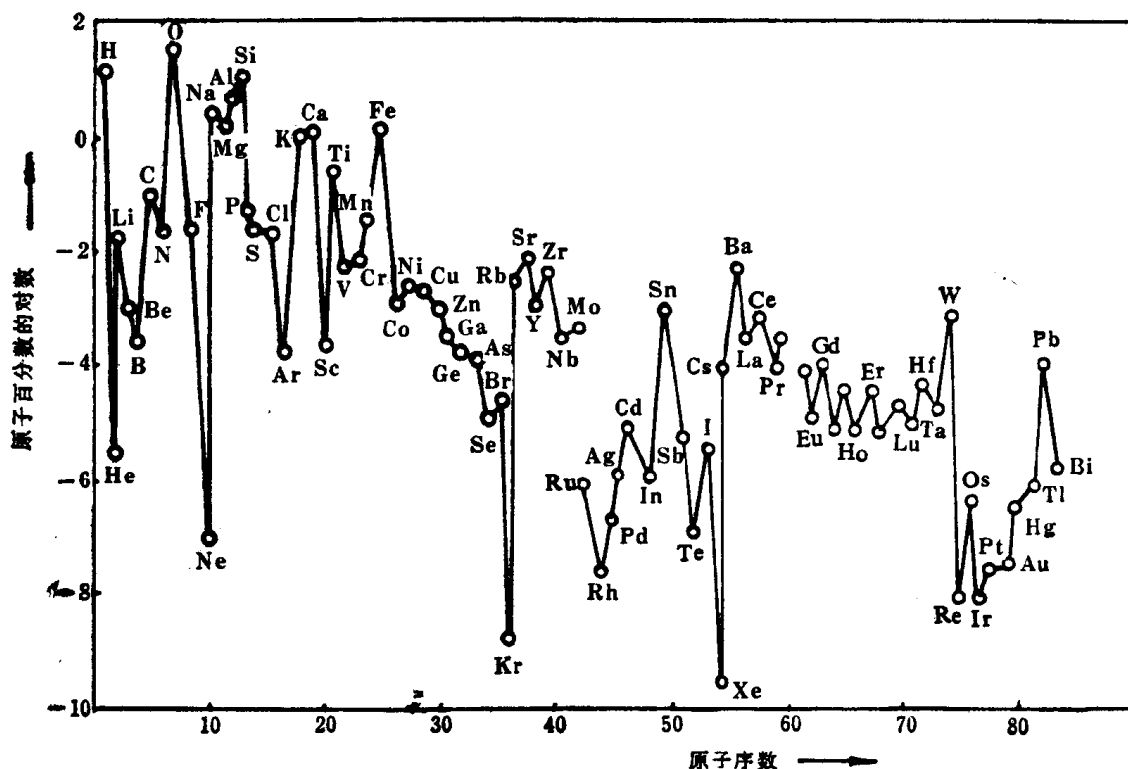


图 0-1 地壳中元素分布的原子百分数

② 有一种理论认为,地核是铁、镍、硅组成的合金。

地质学家已基本弄清了地壳中元素的存在情况。从氢到铀的 92 种元素中,除钨及钷外^①,地壳中约存有 90 种天然元素。元素在地壳中的含量称为元素丰度,一般以重量百分数或原子百分数表示。图 0-1 是地壳中元素丰度。

表 0-1 是分布最广的 10 种元素的原子百分数。

表 0-1 分布最广的十种元素

元 素	O	H	Si	Al	Na	Fe	Ca	Mg	K	Ti
原子百分数/%	52.32	16.95	16.07	5.53	1.95	1.50	1.48	1.39	1.08	0.22

上述 10 种元素的原子占地壳中原子总数的 99% 以上,可见在地壳中多数元素的含量是很少的。一般将元素分为普通元素和稀有元素两类。

在生物体中最常见的有 18 种元素:氧、碳、氢、氮、钙、磷、氯、碘、钠、钾、硫、铁、镁、锌、硅、锰、钴、钼,这些元素可称为生命元素。此外,在人体中还有其它一些微量元素:氟、铜、钒、铬、硒、镍、锡、铝、铷、锶、铍、镉、汞、铅、……。其中某些元素在人的生命活动中具有特殊功能,被称为必要微量元素,如氟、铜、钒、铬、硒、镍等;有些则对人的生理作用不利,被称为毒性微量元素,如铍、镉、汞、铅等;有些元素对人既无益也无害,如铷、锶等被称为惰性微量元素。迄今为止,已发现人体中含有 60 多种元素。有趣味的是,人体中的元素与海洋中元素含量有一定的相关性(即相对值的大小趋于一致);人体血液中元素含量也与地壳岩石有很好的相关性。这大概是人类在进化过程中作为化学元素的开放系统,长期与海水及陆地环境交换物质的结果。

在地壳中只有少数元素存在着它们的单质(游离态)。例如金、银和不活泼的铂系金属,某些地方也有天然铜和汞。非金属中,美国、日本、苏联、意大利有天然硫。此外,在大气中有游离氧、氮和稀有气体。地球年龄已达 46 亿年,上述元素长期能保持游离态,主要是因为在自然条件下它们极不活泼;个别元素,例如氧和氮则是由于在自然界存在着某种动态平衡(氧的循环和氮的循环)。地壳中多数元素以化合物形式存在。例如:碱金属常以卤化物,碱土金属常以碳酸盐,过渡金属常以氧化物等形式存在;介于金属和非金属之间的元素,例如锗、砷、锑等,一般以硫化物形式存在。此外,还有一些金属是以磷酸盐、硅酸盐和硼酸盐的形式存在。

太阳是离我们最近的恒星,质量是 2×10^{27} 吨,为地球的 33 万倍,是一个庞大炽热的气体星球(表面温度为 6000K,中心温度为 2×10^7 K)。根据光谱分析,在太阳表层的大气中含有 60 多种元素。表 0-2 是太阳大气主要元素的原子丰度。

太阳表面最丰富的元素是氢(86%),其次是氦(13%),其余的氧、碳、氮、硅、镁、硫、钠、铝、钙……等 60 多种元素还不到 1%。在那样高的温度下,元素不但已经气化,而且全部原子化和离子化了,所以太阳大气中的物质实际上是呈等离子态(参见 § 9-1)。太阳内部几乎全部是氢(确切地说是氢离子和电子的等离子体),在二千万度的高温下,氢可以产生核的聚变反应,转变为氦并放出大量的能。现代科学上认为,太阳辐射的光和热是由它内部的氢核聚变反应产生的。

20 多年前,人类已经直接踏上了月球。根据采集的月球岩石和尘土标本分析,其化学成分

^① 原子序数为 43 的钨(Tc)及 61 的钷(Pm)曾称为“遗失元素”,现已由人工合成。

表 0-2 太阳大气层中主要元素的原子丰度

(令 Si 原子数等于 10^6 所得的相对值)

原子序数	元 素	丰 度	原子序数	元 素	丰 度
1	H	3.2×10^{10}	13	Al	5×10^4
2	He	0.5×10^{10}	14	Si	1×10^6
6	C	1.66×10^7	16	S	6.3×10^5
7	N	3×10^8	19	K	1.6×10^3
8	O	2.9×10^7	20	Ca	4.5×10^4
11	Na	6.3×10^4	21	Sc	2×10
12	Mg	7.9×10^5	22	Ti	1.5×10^3

是硅、铝、钛、铁、镁、钾、钙等 66 种元素，与地球的岩石和土壤基本相似。但月球没有空气和水分，所以没有声音和气象变化，是个万籁俱寂的荒漠世界。

据研究，太阳系的其它行星的化学成分与地球基本一致，并不存在什么“天外元素”。但是，在这些星球上与月球一样，都没有生物存在的条件。

让我们走出太阳系去看看银河系的物质世界吧。银河就是我们在夜空里看到的天河，它由许多恒星点缀而成。外表象个铁饼，直径约为 10 亿光年^①，厚度是 $2000 \sim 2 \times 10^3$ 光年，其中约有 1400 亿颗恒星。好一个壮阔的大千世界！天文学的研究表明，恒星也是物质的，它们都象太

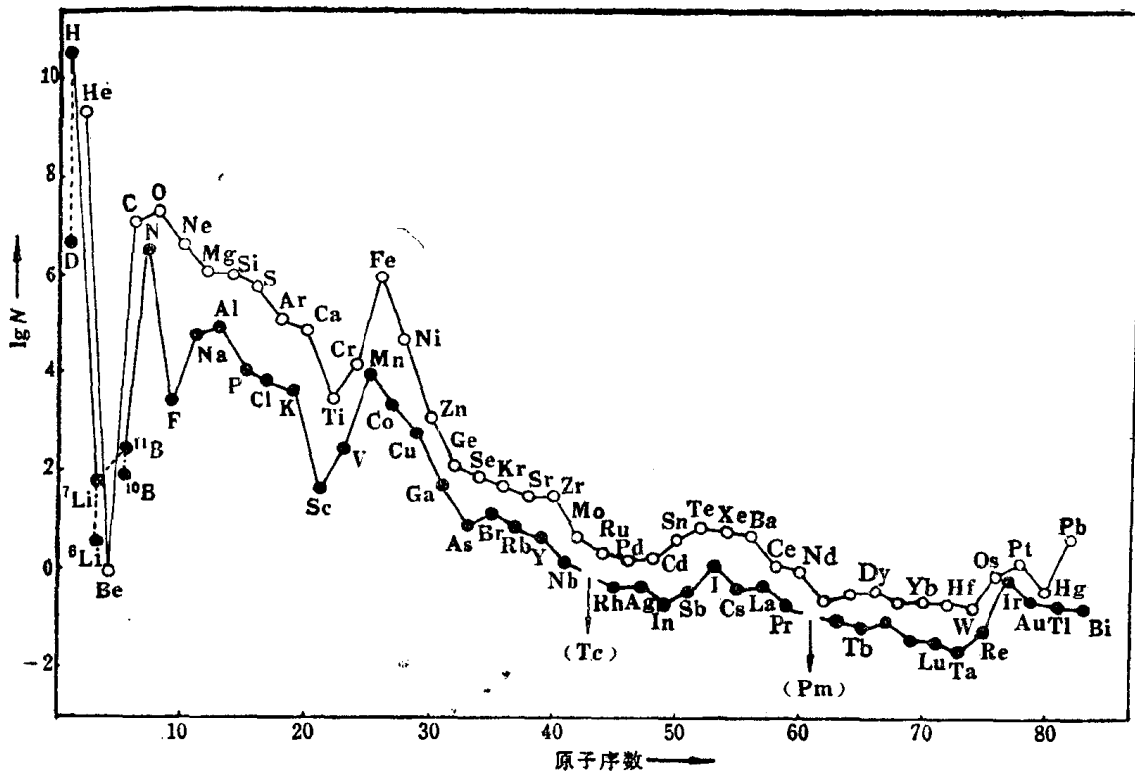


图 0-2 元素的宇宙丰度

(横坐标是原子序数，纵坐标是相对于 10^6 个硅原子不同元素的原子数目 N 的对数)

① 一光年是以光速 ($3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) 飞驰一年的距离，约为 10 万亿公里。

阳一样,能发光放热。有的比太阳还大得多;多数与太阳相近,也有比太阳小的恒星。据推算,银河系的总质量约为 3×10^{38} 吨。我们生活的地球(60 万亿亿吨)在人们心目中是庞然大物,但在银河系中何啻沧海一粟。

这些恒星是由什么物质组成的呢?它们多数与太阳相似,其内部是氢在“燃烧”(氢的热核聚合反应),由此产生光和热。也有少数恒星内部是氦在“燃烧”和碳在“燃烧”。所以恒星虽是庞然大物,其元素成分一般都比较简单,主要是轻元素氢和氦,重元素比较少。许多恒星的表面温度高达 10^4K ,内部温度超过 10^8K 。所以在这些恒星的表层及内部不可能存在化合物和单质,只能是元素的等离子体及其它。经过长期的研究,人们对宇宙物质的元素组成,有了一些粗略的了解。图 0-2 是宇宙元素的丰度。虽然这些数值仍然只具有估量性质,但它是许多科学家长期努力的结果,从人类认识宇宙来说是一个很大的进步。

从图 0-2 中可以看出:

1. 整个宇宙可以说是氢和氦两种元素的世界,就原子或核素说,氢占 88.6%,氦占 11.3%,它们共占了原子总数的 99.9%,其余元素不足 0.1%。

氢和氦都能进行热核聚变反应,从这一点看,宇宙几乎全由高能物质所组成,是它们为普天之下带来光明和温暖。另一方面,根据元素创生理论,氢、氦是合成重元素的原料。尽管宇宙诞生并演化了 100 亿年,上述丰度表明,宇宙还很年轻。

2. 随着原子序数增大,元素丰度逐渐变小。这种趋势与地球上元素丰度的分布相似,即越重的元素,丰度越小。但图 0-2 中,在原子序数 $Z=23-28$ (包括 V、Cr、Mn、Fe、Co 及 Ni 六个元素)之间存在着明显的高峰,并在 Fe 处出现极大值。原因在于这六种元素的核子平均结合能最大。

3. 原子序数为偶数元素的丰度(图中用白圈表示)比相邻为奇数的元素丰度(图中用黑点表示)较大(Be 例外)。

在浩瀚的宇宙中,星体的大小比它们之间的距离小得不成比例。所以在宇宙中,存在着广袤的太空。太空并不是绝对透明和绝对真空的。研究表明,太空中还存在着分子、“尘埃”等星际介质。不过它们的密度非常小,大致每 1cm^3 中平均只有一个分子(目前技术上能达到的最高真空度是每 1cm^3 中含有 10^3 个分子),然而毕竟还不能把它视为绝对真空。

星际分子的发现,是六十年代天文学四大发现之一。现在已发现的星际分子达 50 多种(含自由基)。例如, H_2 、OH、CN、CO、 H_2O 、 H_2S 、HCN、 HCO^+ (甲酰基离子)、HCO(甲醛基)、CCH(乙炔基)、 NH_3 、 HCOOH 、 CH_3OH 、 CH_3CN 、 CH_3CHO 、 CH_3COOH 等。近年发现某些星云中还存在酒精分子,虽然其含量极微,但计算起来比人类有史以来酿造的酒还多。

星际分子如何演化而成,现实尚不清楚。太空中分子浓度极小,且温度在 100K 以下,分子活化及碰撞均不易,星际分子如何产生颇令人费解,特别是一些较复杂的有机分子。有机分子存在于银河系内,为科学上探索生命的起源提供了新的线索,也为人类在宇宙中找寻智慧生命又燃起了一线希望。

上面简要地介绍了宇宙中的物质,实际只谈了银河系的情况。现在,人们凭借更先进的射电