

高等学校教学用书

太阳系化学

柳志青 编著



浙江大学出版社

太 阳 系 化 学

柳志青 编著

浙江大学出版社

太 阳 系 化 学

柳志青 编著

责任编辑 平淳莲

• •

浙江大学出版社出版

浙江大学印刷厂印刷

浙江省新华书店发行

• •

开本 787×1092 1/32 印张 10.25 字数 249千字

1987年4月第1版 1987年4月第1次印刷

印数 1—2200

ISBN7-308-00007-9

P·001 定价: 1.70元

(统一书号: 13337·003)

内 容 简 介

本书系统地论述了化学元素在太阳系中的分布状态和规律,并提出了太阳系起源和演化的新理论。书中指出,星云盘在演化为尘层的过程中,在类地行星区,因尘粒沉降的速率不同,使液滴状铁镍物质比球粒陨石物质先到达星云盘赤道面,形成夹心尘层。夹心尘层进一步分裂为环状,造成橄榄石、辉石类质同象的不连续性。环状夹心尘层中的铁镍首先聚合成星子,并进一步聚合成液态行星核,然后吸积两侧的球粒陨石星子,组成固态的行星幔或卫星,并造成行星幔的横向不均匀性。巨行星大致也经历了类似过程。地月系的潮汐作用使月球表面熔融并分离出几十公里厚的斜长岩壳,但地球表面的球粒陨石物质仅发生热变质作用,没有形成地壳。由于41至39亿年前的大规模陨石轰击事件,含有大量水的陨石注入地表之下,为早太古宙酸性岩浆和绿岩的形成,也为地球水圈、大气圈的形成和花岗岩化的发生创造了条件。同时陨击事件还给地球带来大量有机物质,对地球上生命的起源和演化提供了物质基础。

本书可供从事天文、化学、地质、地震、生物、地理方面的科技人员,有关大专院校师生及中学教师参考。

目 录

1 宇宙概况	1
1.1 宇宙——空间 和 时间.....	1
1.2 星系	3
1.3 银河系.....	4
1.4 恒星 及其演化.....	5
1.5 太阳 和 太阳系.....	14
1.5.1 太阳.....	14
1.5.2 太阳系.....	18
1.5.3 行星的轨道根数和物理参数.....	19
1.5.4 卫星的轨道承物理参数	24
2 陨 石	27
2.1 概 述	27
2.2 陨石的类型.....	29
2.3 球粒陨石.....	38
2.3.1 顽火辉石球粒陨石 (E群).....	39
2.3.2 橄榄石-古铜辉石球粒陨石 (H群).....	46
2.3.3 橄榄石-紫苏辉石球粒陨石 (L群).....	51
2.3.4 橄榄石-易变辉石球粒陨石 (LL群).....	57
2.3.5 碳质球粒陨石 (C群).....	57
2.3.6 不同类型的球粒陨石中标准矿物含量、平均化学成分和 元素含量对比.....	66
2.4 无球粒陨石.....	72
2.5 铁陨石.....	78
2.6 铁-石陨石.....	86

2.6.1 橄榄陨铁.....	26
2.6.2 中陨铁.....	88
2.7 微陨石.....	89
2.8 陨冰.....	89
2.9 玻璃陨石.....	90
2.10 陨石的年龄.....	92
2.11 前人对陨石成因的某些认识.....	94
2.12 我们对陨石成因的一些看法.....	102
3 小行星和彗星	104
3.1 小行星.....	104
3.1.1 小行星的发现.....	104
3.1.2 小行星的大小、质量与表面成分.....	105
3.1.3 小行星的轨道特征.....	111
3.1.4 小行星与地球相撞.....	119
3.1.5 小行星的表面成分与轨道半径 a 的成因联系.....	126
3.2 彗星.....	129
3.2.1 彗星概况.....	129
3.2.2 彗星的结构、外形和成分.....	131
3.2.3 彗星的轨道.....	132
3.2.4 彗星模型.....	134
3.2.5 彗星起源.....	134
3.3 流星雨.....	135
3.4 小行星、彗星对地球生物的影响.....	138
3.5 哈雷彗星.....	139
4 行星和卫星	141
4.1 提丢斯-波得定则的发展.....	141
4.2 水星.....	142
4.3 金星.....	147

4.4 地球	153
4.4.1 地球的内部结构	154
4.4.2 地球的组成	156
4.4.3 地球磁场	166
4.5 月球	176
4.5.1 月面	176
4.5.2 月球的主要岩石类型及化学成分	189
4.5.3 月球的内部结构	189
4.5.4 月球的成固	190
4.6 火星	193
4.7 木星	198
4.8 土星	207
4.9 天王星	213
4.10 海王星	215
4.11 冥王星	215
5 行星与卫星的形成及元素丰度分布机制	217
5.1 太阳系起源的主要学说	217
5.2 星云盘的密度、温度分布及物质分馏	219
5.3 夹心尘层的形成	234
5.4 陨石中橄榄石、辉石成分的间断及环状夹心尘层的形成	241
5.5 太阳系行星的质量分布和行星的形成	248
5.6 地球和类地行星起源的研究现状	252
5.7 星子、行星及卫星的形成	255
5.8 地幔物质的横向不均匀性	262
6 地球的原始地壳及花岗岩的形成	280
6.1 月亮的形成、演化及原始地壳的形成	280

6.2 地幔岩的结晶分异与部分熔融.....	286
6.3 花岗质陆核的形成与发展.....	295
6.4 小结	311
后记.....	312
参考文献.....	313

1 宇宙概况

1.1 宇宙——空间和时间

在天文学中，因空间巨大，常采用以下度量单位。

太阳半径： $R_{\odot} = 696\,000\text{km}$

天文单位(AU)：日地平均距离

$$1\text{AU} = 1.496 \times 10^8\text{km}$$

光年(l.y.)：光线在真空中一年走过的距离。

$$1\text{l.y.} = 9.4605 \times 10^{12}\text{km} = 63240\text{AU}$$

秒差距(pc)：天体的周年视差为 $1''$ ，其距离即为1秒差距。

$$1\text{pc} = 3.2616\text{l.y.} = 206\,265\text{AU}$$

宇宙中质量常用 $M_{\odot}$ 表示

$$1M_{\odot} = 1\text{个太阳的质量} = 1.989 \times 10^{30}\text{kg}$$

光度用 $L_{\odot}$ 表示

$$1L_{\odot} = 1\text{个太阳的光度} = 3.83 \times 10^{26}\text{J/s}$$

通常把我们至今观测到的宇宙范围称为总星系或我们的宇宙。随着观测技术的发展，总星系的范围在不断扩大。至今观测到最远的天体的距离为124亿光年，这也就是目前总星系的边界。

总星系边界距地球最远距离达 1.24×10^{10} 光年，就意味着总星系的年龄可能达 1.24×10^{10} 亿年。本世纪二十年代后期提出“膨胀宇宙的假说”，认为宇宙经历了物质密度从大到小，温度由高到低，如同“大爆炸”的过程。根据宇宙膨胀速度计

算, 宇宙 (总星系) 年龄为 $(1-2) \times 10^2$ 亿年, 据最老的球状星团演化计算为 $(1-1.6) \times 10^2$ 亿年, 据元素起源理论计算银河系的年龄为 $(1.1-1.8) \times 10^2$ 亿年, 从银河系形式距“大爆炸”约为 0.2×10^2 亿年, 因此推测宇宙年龄为 $(1.3-2) \times 10^2$ 亿年。

天体光谱中, 某一谱线相对于实验室光源的比较光谱中同一谱线向红端的位移, 称为红移。

红移 Z 的定义是:

$$Z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$$

式中, λ_0 是实验室的某一谱线波长; λ 是天体的同一谱线波长; Z 无量纲。因此, 若承认红移是多普勒退行速度效应, 就能得出观察到的宇宙作整体膨胀的结论。

除少数几个近星系外, 其它星系的光谱都会产生红移。红移量与速度的关系如下:

$$Z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$$

式中, c 为光速; v 为退行速度, 即恒星离开地球的速度。1929年哈勃发现星系的红移量与观测者的距离成正比, 即哈勃定律。

根据哈勃定律, 由红移量可推算出恒星离地球的距离:

$$v = HD$$

式中, v 为恒星退行速度 (由红移推算出); D 为距离; H 为哈勃常数。七十年代以来许多天文学家用不同方法测定了 H 值。1986年, 联邦德国汉堡大学的 U. 博尔格斯特和 S. 里夫斯达尔利用对双重类星体 QSO0957+561 A、B 的观测数据, 得到哈勃常数的新值, $H_0 = 75 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ 。

1.2 星系

星系是由几十亿至几千亿颗恒星、气体和尘埃组成的天体系统，它的直径大小为1—200千秒差距。星系类似于银河系。哈勃(1926)根据星系的形态特征，将星系分为三大类：椭圆星系(E)、旋涡星系(S)和不规则星系(Irr)。其中旋涡星系又可分为两族：正常旋涡星系(以S或SA表示)和棒旋星系(以SB表示)，再细分为次型，如图1.1所示。图中S0和SB0为中介类型。各类星系的主要物理特征列于表1.1。

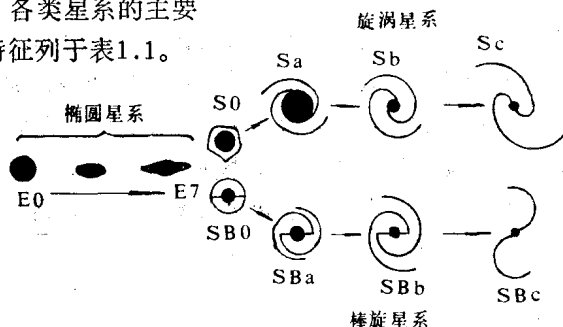


图1.1 星系的哈勃分类

表1.1 各类星系的主要物理特性

物理特性	椭圆星系	旋涡星系	不规则星系
质量 ($M_{\odot}$)	$10^6 - 10^{13}$	$10^9 - 10^{11}$	$10^8 - 10^{10}$
直径 (kpc)	1—150	6—15	2—9
光度 ($L_{\odot}$)	$10^8 - 10^{11}$	$10^8 - 10^{10}$	$10^7 - 2 \times 10^9$
目视绝对星等	-9—-23	-15—-21	-13—-18
恒星成分	老年恒星	老年和年轻恒星	老年和年轻恒星
复合光谱型	G-K	A-K	A-F
星际物质	几乎没有尘埃，有少量气体	气体和尘埃	有的气体尘埃很多，有的尘埃很少，甚至没有

现在多数天文学家认为，星系分类是不同初始条件的反映。密度较大的原云，角动量密度较小，因而恒星形成率高、自转速度较慢，最终形成星多气少的椭圆星系。反之，密度小而角动量密度大的原云，恒星形成率低，未形成恒星的气体多，在快速自转中变为扁盘形，从中产生旋臂，并不断产生新的恒星。

离银河系最近的星系是大、小麦哲伦云，它们分别距我们 1.7×10^5 光年和 2.0×10^5 光年。

本世纪六十年代发现了一种新型天体——类星体。从照片上看，类星体象恒星，但其光谱线有着巨大的红移。类星体是离我们极其遥远的银河系外天体，一般被认为是遥远的星系。

星系往往成双成团出现。例如银河系与大、小麦哲伦云组成星系团。星系团又组成更大的超星系团。至今观测到的星系总数已达 10^6 个，这一总和称为总星系。

1.3 银河系

银河系是一种Sb型的旋涡星系，它与其邻近的40个左右星系组成一个星系群，叫本星系群。银河系在本星系群中为第二大星系。银河系由约1400亿颗恒星和大量星际物质组成。它的外形如一副铙钹，直径约30千秒差距。

银河系的质量大部分集中于银盘。银盘直径为25千秒差距，中间厚四周薄，有四条旋臂，且作较差自转，如图1.2所示。旋臂由星族I的明亮早型恒星组成。银河系的中心区域称核球，它的半径约为2千秒差距，质量约占银河系质量的5%，主要由年老的恒星密集而成。核球的成分主要为星族II的天体，而核球的中心部分为银核。经红外探测表明，银核直径为1秒差距，它由约100万颗恒星组成，其质量相当于几百万个

太阳的质量。银河系最外处为银晕，银晕呈球形，半径达30千秒差距，它主要由晕星族组成。晕星族成员包括球状星团、贫金属星、亚矮星、周期大于0.4天的天琴座RR型变星和极高速星等。这些天体年龄都很老，大都存在了上百亿年；它们都围绕银心旋转，其轨道为扁椭圆形。极高速星的速度比太阳速度大300km/s。

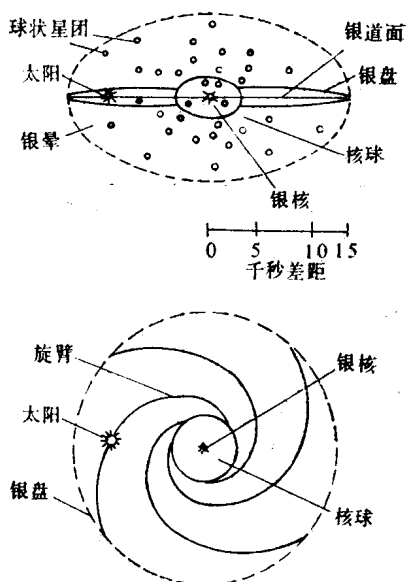


图1.2 银河系结构示意图(上)侧视(下)俯视

太阳位于银道面附近，离银心平均8.5千秒差距。太阳绕银心公转一周的时间称为一个银河年。各学派对银河年的估算结果都不同。一个银河年，帕雷纳洛(1952)认为等于2.12亿年，斯坦纳(1967)认为等于2.82亿年，威廉斯(1975)认为等于3亿年，国际天文联合会(1985,11)确定为2.37亿年。

1.4 恒星及其演化

恒星是多种多样的。它们在体积、质量、密度、年龄、光度上存在很大差别。恒星大小相差很大。例如HR237的半径达1800个太阳半径，这是一颗红巨星。矮星的半径很小，如天狼星伴星（白矮星）的半径仅0.0073个太阳半径，还有一颗叫

柯伊伯的白矮星，半径仅地球的七分之一。中子星的半径更小，只约有 10km；而有些黑洞的半径，理论上应更小（详见表1.2）。

表1.2 恒星的大小

(据Asimov)

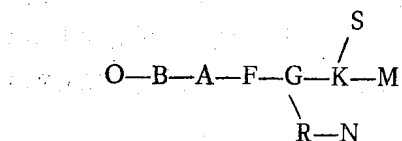
	恒 星	光 谱 型	实测半径($R_{\odot}$)	计算半径($R_{\odot}$)
超 巨 星	御夫座 ϵ B	K 5	2000	
	仙王座 ν UA	M 2	1200	
	鲸鱼座O	Mbe	400	400
	猎户座 α	M 2	300—400	320
	天蝎座 α	M 1	300	
	御夫座 ϵ A	F 5	200	
	飞马座 β	M 5	110	130
巨 星	金牛座 α	K 5	36	57
	天鹅座 ν 380, A	B 2	29	
	牧夫座 α	K 2	23	26
	御夫座 α	G 0		16
亚 巨 星	天鹅座 γ AB	O 9	5.9	
	英仙座 β A	B 2	3.1	
	御夫座 β A	A 0	2.8	
主 星 序 矮 星	小犬座 α A	F 5		1.7
	半人马座 α E	G 4		1.2
	太 阳	G 0	1.0	1.0
	大熊座WA	F 8	0.9	
	蛇夫座70A	K 1		0.9
	蛇夫座70B	K 5		0.7
	克吕格60A	M 4		0.5

续表1.2

	恒 星	光 谱 型	实测半径R(☉)	计算半径R(☉)
白 矮 星	天狼星B	A5		0.02
	波红座40B	A		0.02
	范玛伦2	G		0.006
	沃尔夫457	(α)		0.003

恒星的质量范围为0.05—120个太阳质量。实测到质量最大的恒星是HD 93250，其质量为120个太阳质量；最小者为罗丝614B，质量仅0.07个太阳质量。密度大的白矮星，其密度达 $(0.1-10) \times 10^8 \text{g/cm}^3$ ；中子星达 $1 \times 10^{15} \text{g/cm}^3$ ，而黑洞可高达 $1.8 \times 10^{17} \text{g/cm}^3$ 。光度大的恒星，如天蝎座ξ，其光度为太阳光度的 4.92×10^5 倍；而光度小的HD 180617的伴星VB₁₀的光度最弱，仅为太阳光度的1/2992000。

恒星的光谱型和绝对星等是恒星的重要特征。光谱型常数哈佛分类系统，用拉丁字母依次表示为



各种光谱型之间是逐渐过渡的。每一光谱型又分为十个次型，用在字母后面加上数字来表示。例如，O0，O1，…O9，B0，B1，…B9等。按恒星的光谱型顺序从左到右，与其相应的温度逐渐下降。O型星的温度达40000K，而M型星仅有3400K。S、R和N等型的光谱可能反映化学成分的差别。

古人按肉眼所见恒星明亮程度，将恒星的亮度分为一等，二等，…六等，比一等更亮的称为零等，再亮则为负一，负二等，…。星每差一等，亮度差为 $\sqrt[5]{100} = 2.512$ 倍，称视星

表1.3 恒星光谱型

光谱型	颜色	温度(K)	实例
O	蓝白	40000	猎户座L
B	蓝白	15000	大熊座 η
A	白	9500	天琴座 β
F	黄白	6600	仙后座 β
G	黄	5500	太阳、天龙座 β
K	橙	4400	金牛座 α
M	红	3400	猎户座 α
R, N	橙—红	<3000	双鱼座19
S	红		双子座R

等。恒星的亮度和它的距离有关，视星等并不能代表恒星的真实发光本领。为了判别恒星的真实光度，假设把所有恒星放到离地球10秒差距处加以比较，在这个距离处，恒星的视星等就称为绝对星等。用 m 表示视星等， M 表示绝对星等，则有如下公式：

$$M = m + 5 - 5 \lg r$$

式中 r 表示恒星与地球的距离。

本世纪初，丹麦天文学家赫茨普龙和美国天文学家罗素以恒星的光谱型（或恒星的表面温度）为横坐标，以恒星的绝对星等（或光度）为纵坐标构成了恒星的光度-光谱型图，现一般称为赫罗图，如图1.3，图1.4所示。

在赫罗图上，大部分恒星（占我们观察到恒星的99%以上）都分布在大致从左上角到右下角的对角线上，构成所谓的

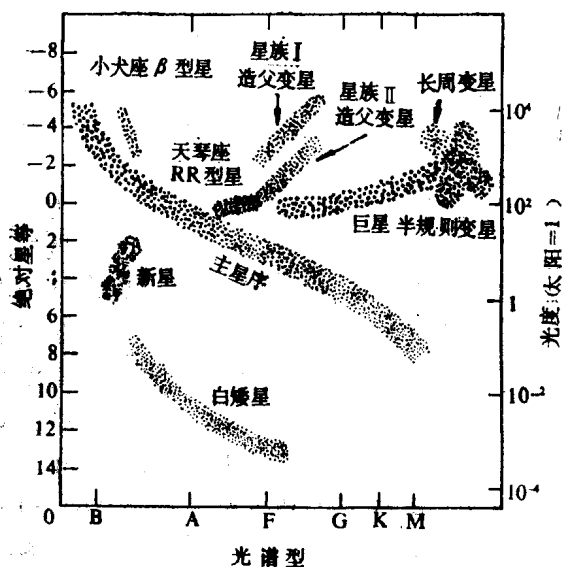


图1.3 各类不稳定星在赫罗图上相对于主序星和巨星的位置

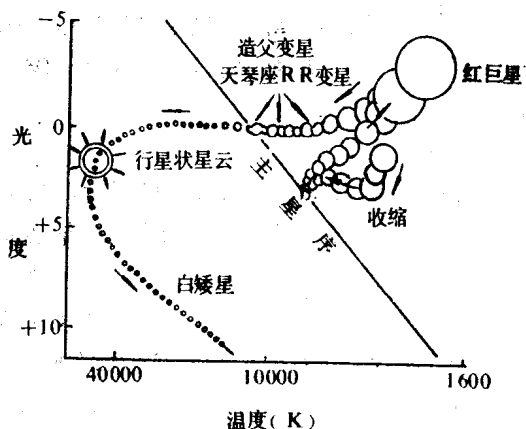


图1.4 恒星的一生——一个象太阳这样的恒星在赫罗图上的演化途径