

地球、地壳的形成与辩证发展

自然辩证法教学参考资料之二

刘 波

四川省自然辩证法研究会
成都地质学院自然辩证法教研室

一九八一年七月

目 录

第 一 章	从物质演化观与天地亲缘论看地球起源	
	——地球与太阳系行星成因的同源性.....	(1)
第一节	地球与天体、地学与天学的辩证关系.....	(1)
第二节	近代——现代主要的地球与太阳系起源假说概略评述.....	(2)
第三节	从现代星云假说看地球与太阳系行星成因的同源性.....	(8)
第四节	从化学元素的起源到原始地球的诞生.....	(10)
第 二 章	从物质层次观与地球演变论看地球多圈层同心式绕核结构.....	(15)
第一节	客观物质世界结构的无限层次性.....	(15)
第二节	地球多圈层同心式绕核结构的形成与演变历程.....	(18)
第三节	地球多圈层同心式绕核结构的现状及其矛盾运动.....	(26)
第 三 章	“一分为二”的地壳纵向结构与横向结构.....	(38)
第一节	地壳演变和地壳纵向结构的分化——硅镁壳与硅铝壳.....	(38)
第二节	海陆起源和地壳横向结构的分化——大陆壳与大洋壳.....	(43)
第三节	海陆的并存转化与壳型转化模式.....	(48)
第 四 章	地壳构造运动的波浪式与螺旋式发展规律.....	(54)
第一节	波动与旋动是自然界物质运动的普遍形式.....	(54)
第二节	地壳波动和旋动是地球、地壳演变前进性与曲折性的对立统一.....	(56)
第三节	地壳波动和旋动是地壳水平运动与垂直运动的辩证统一.....	(58)
第四节	地壳波动与旋动是地壳运动 and 地壳构造在时间与空间的辩证统一.....	(61)
第五节	结论——地壳波动、旋动是地壳构造运动形式与内容、现象与本质的综合表现.....	(67)
第 五 章	从内因与外因的辩证统一观探讨地球演变和地壳运动的连环复合成因.....	(70)
第一节	地质论坛众说纷纭的地壳运动假说分类.....	(70)
第二节	地球地壳演变主要内因的简略分析	
	——地球的内在矛盾.....	(73)
	一 地球的变速旋转.....	(73)

二	物质的质能迁移.....	(81)
三	元素的核能转化.....	(84)
四	地热的交替聚射.....	(92)
第三节 地球地壳演变的主要外因简析		
	——天体的牵制激化.....	(98)
一	太阳的辐射供热.....	(99)
二	日、月的潮汐牵引.....	(100)
三	陨石的累积冲击.....	(101)
四	宇宙线的高能反应.....	(101)
第四节 从内因与外因的辩证关系看地球发展和地壳运动.....		
一	地壳波动与构造形变.....	(104)
二	地震机制与火山成因.....	(104)
三	热冷交替与气候转化.....	(105)
	主要参考文献资料.....	(108—109)

第一章 从物质演化观与天地亲缘论 看地球起源—地球与太阳系 行星成因的同源性

第一节 地球与天体、地学与天学的辩证关系

通常所说的“四大起源”——即天体起源、地球起源、生命起源和人类起源问题，一直是近代——现代自然科学中最著名的、综合性的基本理论问题。这“四大起源”问题的深入探索和解决，具有重大的科学与哲学意义，必将进一步证明：“自然界是检验辩证法的试金石，而且我们必须说，现代自然科学为这种检验提供了极其丰富的、与日俱增的材料，并从而证明了，自然界的一切归根到底是辩证地而不是形而上学地发生的”（恩格斯：“反杜林论”第20页），将为丰富和发展辩证唯物主义的哲学宇宙观、自然观提供可靠的科学理论基础，为促进和推动现代自然科学的进步作出巨大贡献。

“四大起源”问题和天体史、地球史、生物史、人类史的研究密切相关，归根到底，更主要的是直接同天体史、地球史的探索血肉相联。这是因为，人们对客观物质世界结构和物质运动演变规律的认识，是从观察研究地球和天体为出发点的，又以不断深入认识、改造地球和天体为最终归宿；各门基础自然科学与技术科学都是在人们认识、改造地球与天体物质运动的生产斗争、科学实验过程中诞生和发展的，又各自以地球、天体上从宏观到微观的不同物质运动形式为其研究对象。从这种意义上说，天体与地球是客观物质世界的“两极”，天文科学与地球科学是综合性基础自然科学的“两极”。

但是，物极必反，两极相通。我们的地球仅仅是宇宙太空中一个极其微小的天体，是太阳系中的一颗普通行星，因而人类既居住在地球上，也生活在天体中。地球和天体对立统一于宇宙物质世界。地球既隶属于太阳系家族，又根源于同一原始太阳星云，这是行星地球与太阳系天体的统一性和同源性。行星地球与太阳系诸天体之间，皆因吸引力与排斥力的对立统一，既相互依存和相互联系，又相互制约和相互作用，反映了地球与天体矛盾的同一性和斗争性。地球起源乃是太阳系起源过程的一部份，共同属于无限时间与无穷空间的宇宙物质演化历程的组成环节和演化产物，这充分反映了天地间的亲缘关系和成因联系。因此，同其它自然科学相比，天学与地学这“两极”学科之间更具有密切的亲缘性。在探讨天体与地球起源及其物质运动规律时，“由地观天”，“由天看地”，彼此借鉴，相辅相成，古往今来的科学哲学家们一向如此；处于天文地质学和宇航技术大发展时期的当代自然科学家尤需如此。只有这样，才可能以辩证唯物论的宇宙观作指导全面考察地球起源与演化规律。

本章试图以科学的物质演化观和天地亲缘论为依据，初步归纳前人认识并探讨地球起源问题的研究途径。

第二节 近代——现代主要的地球与 太阳系起源假说概略评述

在人类认识史上，从古至今，人们围绕着地球和天体起因问题，唯物论与唯心论、辩证法与形而上学这两种对立的宇宙观，进行了长期、持续、激烈而尖锐的斗争。现在，我们姑且不论远古与古代人类文化蒙昧时期种种直观、思辨与神话、猜测性的原始的天地起源观，仅就近代至现代大约三百年来的人类科技史而言，两种对立的宇宙观和自然观之争仍愈演愈烈，作为宇宙观、自然观重要组成部份的天地起源观和演化观，呈现出假说峰起、众说纷纭的局面（从1755年康德微粒假说问世至20世纪70年代，各种太阳系起源与演化假说多达100个以上）。这些假说按其所属哲学思想体系和立论基本特征大体可分以下两类：

一、外因论、偶发性的唯心论天地起源假说

1. 这类假说的极端代表是乌索夫鼓吹的“神创”论邪说——三百多年前，爱尔兰一个大主教乌索夫曾公开宣称：“地球是在纪元前4004年10月23日一个星期日被上帝创造出来的”。这种“上帝创造地球”的说教比中国封建统治阶级宣扬的“盘古氏开天辟地”说（传说盘古王用18000年开辟大地）更有过之而不及，纯属宗教神学的欺人之谈，早已被科学真理无情地揭穿。

2. 各式各样的灾变论假说——以下各说可作典型代表

布丰的“灾变假说”，法国动物学家布丰是地球起源的“灾变假说”的鼻祖，首创于1745年。他认为地球和其它行星是由于一个巨大慧星从原始太阳上碰撞出几股炽热物质凝结而成；这在当时尚有反对上帝创世论迷信观念的积极意义，但他把地球起因归结于某种偶然作用，把事物内部必然规律描绘成意外灾难的结果，却是毫无根据的唯心论。后来查明慧星质量极其微小，根本不可能撞碎原始太阳，此说也随之被人抛弃。

钱伯林——摩尔顿“星子假说”：1901年由美国地质学家钱伯林(1843—1928)和天文学家摩尔顿(1872—1952)提出此说。他们认为：从前某一时候，有颗恒星接近太阳，引力作用掀起了巨大的太阳潮汐，在面向恒星和背对恒星的两点分别喷出两股气流，恒星便改变运动方向离开了；太阳喷出的这两股气流却弯转成螺旋臂，又逐渐汇合成圆盘形的气团。气团冷却，凝成液体，最后凝成小的固体粒子，称为“星子”。行星就是“星子”凝聚而成的。这一“星子假说”为后来的“潮汐假说”孕育了胚胎。

金斯的“潮汐假说”：英国天文学家和物理学家金斯(J.H. Jeans 1877—1946)于1916年提出了曾经盛极一时的“潮汐假说”。他认为：约20亿年前，有一颗质量比太阳大的外来恒星接近太阳，巨大的吸引力从太阳表面拉出一股高热气体流（他称为“瘤子”）。外来恒星离开后，这股气流被拉长成两头小、中间大的雪茄式气柱，后开始弯曲、冷却、碎裂，形成行星。气柱中粗部份生成木星、土星等较大行星，两端较细气柱生成水星、金星、地球、火星、天王星、海王星等较小行星。卫星也是同一原理生成

的。刚生成的行星和卫星还会吸积残存空间的尘埃质点而增大体积。行星和卫星初生时绕日运转的轨道原是椭圆形，在空间介质的阻力作用下，轨道逐渐接近圆形。这种阻力介质也是太阳起潮时迸出的细小飞沫冷却凝固而成的。

尽管金斯假说曾长时间在西方国家被奉为流行的权威理论，但金斯本人毕竟有自知之明。他公开宣称：“用唯心主义的语言能最容易地叙述——我并且以为容易解释——宇宙间的一切定律和秩序”。由此可见，“潮汐假说”实质上隶属唯心论是他自动戴帽的，不是人为强加的；金斯在哲学上属于“物理学的”唯心主义者。

各类“灾变假说”（包括“星子假说”和“潮汐假说”等等）的共同特点和根本问题是：1)都假定先有既存的原始太阳，然后抛出晚成的行星和卫星，未从根本上回答太阳的起因；2)都主张行星和卫星的外力偶然产生论——认为炽热的原始太阳在外来巨大星体（彗星或大恒星）的碰撞或吸引下，才抛出气流或团块冷凝而成旋转的行星和卫星。实际上，宇宙太空恒星相距极其遥远且各自有其运行轨道和规律（目前所知最近的恒星离我们也有4.3光年，即约40万亿公里），初步计算两颗恒星接近的几率约需 100_0 万亿年才有可能发生一次，要使两恒星碰撞或激发引潮将极其罕见；我们的太阳系年龄迄今仅约100亿年，很难设想是由碰撞或引潮而生，即使万一发生过引潮现象，也不可能吸出到冥王星那样的远距，而且吸出的热气尘应立即四散而不会凝聚成行星与卫星。在哲学的概念范畴里，必然性和偶然性是对立的统一，既然行星系统大量存在于恒星世界（仅太阳附近空间就发现有20多颗恒星带着行星系），说明必然性是其主要趋势，是矛盾的主导方面；若把行星系的产生完全归之于极其稀少的偶然性，自然会陷入反科学的主观唯心论泥坑。各种灾变论假说也是行星系起源的外因决定论，违反了内因是根据、外因是条件的内因决定论。因此，灾变类假说在哲学上是通向宗教神学的，无怪乎金斯假说一出现就立刻得到了梵蒂冈教皇的赞许。

3. 施密特的“俘获假说”或“陨石假说”——苏联数学院士和天文学家施密特（О.Ю.Шмидт 1891—1956）在其1946年出版的“地球起源新学说”一文中提出了“俘获假说”或叫“陨石假说”。他认为，大约60—70亿年前太阳在银河系中运转时，穿过了一团弥漫的暗星云（由稀薄而体积极大的气体和固体质点组成），太阳以引力作用而俘获并带走了一些气尘物质绕其旋转，气尘云便相互聚集，固体质点频繁碰撞，各方向轨道逐渐平均化而趋近同一扁平面，平面位置决定于原来尘埃运动方向，大部份与自转方向一致，少部份逆转。在旋转扁平体内，气尘物质质点在相互碰撞中一部份落入太阳，一些质点相互粘合形成较大凝块，密度大处的凝块越来越大，生成行星胎。行星胎在绕日运转中吸积周围残存的弥漫物质，进而增大形成行星和卫星。由于太阳辐射光压的作用，气体物质远离太阳，尘埃物质离太阳近，分别凝成类木行星和类地行星（由俘获说计算地球年龄为 $6-7 \times 10^9$ 年或 7.6×10^9 年）。

这一假说曾风靡于本世纪40—50年代，施密特也以持有辩证唯物主义宇宙观而自许，自吹“俘获说”是“自觉和彻底的唯物论”。但经仔细分析，却并非如此：1)“俘获”概念于20世纪初已由一西方学者引入天体起源中，施密特在40年代把它用来解释地球起源，虽建立了方程式，却未能经受住科学实践的检验。他认为占太阳系角动量99%的行星角动量是原来暗星云给的，而不是太阳给的，误以为这是“天衣无缝”的解释，但实际上当太阳角动量比暗星云物质角动量小得多时，根本不可能产生俘获作用。2)

“俘获说”把行星和地球的物质来源完全归之于俘获偶遇的外来暗星云物质，而与太阳物质无关；太阳在穿过暗星云以前，只是有公转而未自转的孤立星体，似乎周围没有物质存在。3)同样假定太阳在地球和行星产生以前早已既存太空，不但未回答太阳起因，也割裂了太阳与外围行星成因的物质相关性。因此，我们很难不把“俘获假说”归属于外因论、偶发性和被动论的形而上学天地起源观之列。

施密特本人就曾宣称：“仅仅用太阳系内力的发展来解释太阳系的形成，会得出反科学的结论”。这表明他是自觉的外因论者，因而颠倒了头足。恰恰相反，我们认为，只有“用太阳系内力的发展来解释太阳系的形成”，才会得出真正科学的结论。

二、内因论、转化论的唯物论天地起源假说

任何一个科学的天体和地球起源假说，都必须能正确地解释太阳系的以下基本特征：

①运行轨道特征——太阳系行星和卫星的轨道都大致位居在太阳的赤道面上，都是偏心率不大的椭圆，运行方向同自转方向大多一致沿反时针方向（只有金星逆行、天王星侧向自转）。

②两类行星特征的异同——类地行星与类木行星（包括卫星）在物理和化学性质上各自相似；但两者之间又有质的差别，前类密度大体积小，后类体积大密度小，按行星离太阳远近顺序观之，体积和质量是两头小中间大，木星最大，土星次之。

③质量与角动量分配的悬殊——角动量（又叫动量矩）是旋转体转动的能量（用公式 $C = \omega I = \omega mr^2$ 表示，即角动量 = 角速度 × 转动惯量 = 角速度 × 质量 × 转动半径²）。太阳占太阳系总质量的 99.85%，而其角动量只占太阳系总角动量的 0.6%，行星和卫星角动量占绝对优势。能否合理解答这一尖锐的矛盾现象，是各种科学的天体和地球起源假说成败的关键。

④天体和地球物质的统一性——我们已知天体和地球在化学成份、物质状态（如化学元素、原子、分子、物质三态）以及电磁现象、万有引力等方面是一致的，表明了天体与地球物质的统一性；所不同的在于物质含量比例（元素丰度）和主要表现形式上，这反映了不同天体物质的特殊性。

以下各种唯物论假说都在力图解释这些基本特征。

1. 康德的“微粒假说”

德国古典哲学家康德 (I. Kant, 1724—1804) 在其 1755 年出版的“自然通史和天体论”中提出了人类历史上第一个科学的、辩证的天体演化理论即“微粒假说”（过去曾称为康德“星云假说”）。他认为物质有其自身的运动规律，宇宙中普遍分布着由尘埃微粒和气体质点组成的原始“星云”状物质，这种体积很大、疏密不均的“原始星云”当初曾散布在整个太阳系所占据的空间，像古希腊学者所说的原子一样，星云质点间由于万有引力作用而相互吸引、密度较大部份的微粒吸收周围密度较小的物质，逐渐形成一个中心密实、周围稀疏并缓慢转动的庞大“星云体”，星云体中心又不断集结成大的团块，引力随之增大，促使聚集加快，形成巨大球体，即原始太阳。与此同时，环绕在原始太阳周围的稀疏微粒继续向引力中心竖直落下时，由于原始太阳质量增大，斥力也增大，微粒受斥力而发生偏转，其中有一个主导偏转方向便形成扁圆的旋转云状物，逐渐聚成小团块，并在引力和斥力下沿原始太阳赤道面绕日旋转，形成行星，行星周围的

微粒以同样过程形成卫星。太阳是在太阳系形成中聚集时由冷变热而开始发热发光的。行星中密度较大的受到较大引力，构成靠近太阳的类地行星；密度较小的受到斥力，构成远离太阳的类木行星。

康德微粒假说是最早打破形而上学枷锁的宇宙发展理论，它力图从行星系统本身的内在矛盾出发，解释它的起源和发展。因此，得到了恩格斯的高度评价，认为它“在这个僵化的自然观上打开第一个缺口”，科学地阐明了“地球和整个太阳系表现为某种在时间的进程中逐渐生成的东西”，“在康德的发现中包含着一切继续进步的起点，……如果立即沿着这个方向坚决地继续研究下去，那么自然科学现在就会进步得多”（“自然辩证法”1971年中译本第12页）。

为什么康德这个知名的唯心主义哲学家却能提出科学的、辩证的天体起源假说呢？这是因为他31岁提出微粒假说时，基本上是一个有着自发唯物主义倾向的自然科学研究者，是他用辩证观点综合、分析、概括了当时天文学和力学新成就而提出来的。但是，康德的哲学体系毕竟是二元论的，他力图调合唯物论和唯心论、科学和宗教、经验论和唯理论；康德青年时代的自然观，也存在着某些唯心主义和形而上学的弱点。他承认上帝的创造，认为宇宙万物之所以安排得如此和谐、完美和有规律，证明“有一个最高智慧的创造者存在”。他把形成地球、天体的原始物质的运动看成是从虚无飘渺中产生的，给“上帝”、“造物主”留下了地盘。我们只能拨开这些神学和唯心论的迷雾，才能看清康德微粒假说的唯物论和辩证思想的主流与本质。从科学观而言，微粒假说还带有它借以奠基的牛顿力学体系的某些形而上学性，严重弱点之一是未能解释太阳系角动量分布异常问题，而且原先不动的原始太阳会在引力和斥力作用下旋转起来也是不可能的。

2. 拉普拉斯的“星云假说”

康德微粒假说是匿名发表的，当时并未引人注目。半个世纪以后，法国天文学家和数学家拉普拉斯(P.S.de Laplace, 1749—1827)在1796年出版“宇宙体系解说”第1~2卷时，又提出了与康德观点类似的太阳系成因的“星云假说”，引起轰动并立刻得到广泛承认直至整个十九世纪。

拉普拉斯认为，原始太阳是炽热的球形星云，直径比现今太阳系直径大得多，缓慢自转，由于散热冷却，星云收缩，自转加速，致使赤道离心力增大，星云体变扁并绕最短轴自转，当离心力超过向心力时分离出一个气体环，随之冷却收缩，后来分离过程一再重演，相继分离出七个环（当时只知七颗行星）；最后，星云中心体形成太阳，各环在绕日运转中逐渐吸积物质而成地球和其它行星。热的行星以同样方式再分离出环而凝成卫星。现知土星和天王星保存的环带构造（人们称之为“拉普拉斯环”）就是证据。这个假说很自然地解释了太阳系的形成过程、主要特征和行星运动规律，按物质运动自身发展的观点应属科学的唯物论天地起源和演化观；而且拉普拉斯勇敢地完全抛弃了宗教外衣，比起康德来，他是更彻底的唯物主义者 and 战斗的无神论者，把太阳系的起源和发展都归之于物质内部的矛盾运动，因而博得了恩格斯的称赞：“拉普拉斯以一种至今还没有人超过的方式详细地证明了，一个太阳系如何从一个单独的气团中发展起来；以后的科学愈来愈证实了他的观点”（“自然辩证法”1971年中译本第17页）。

但是，拉普拉斯也有哲学上的局限性，在他看来，只要人的“智慧非常渊博”，整

个自然界就“了如指掌”，过份夸大了人的智能作用，这既是机械决定论观点，又是向主观唯心论滑动。他的“星云假说”在科学上也有局限性，仍未解决太阳系角动量分配异常问题；至于太阳自转速度，照目前的转速太慢，难以抛出环来；根据气体动力学计算，拉普拉斯所设想的高温稀薄的气体云，在自转离心力作用下分裂出的物质，不可能形成环状，更不可能凝聚成行星。

3. 霍伊尔的“新星云假说”

英国天文学家霍伊尔 (F. Hoyle, 1914—) 是一个善于自我修正错误、不断调整学术观点的学者。1944年他曾提出“新星假说”，认为太阳原是双星系的一颗子星，另一子星爆发成超新星，爆发后的残骸一部分由于反冲力而离开了，另一部份则留在太阳近旁，逐渐成为围绕太阳的圆盘状云，后来凝聚成行星和卫星。可能由于自感上述假说缺乏依据，遂于1960年改而提出、1972年又作修改的“新星云假说”，由主观臆想逐步自发地走上了唯物论和辩证法的轨道。

“新星云假说”认为，太阳和行星系统都是由同一星云形成的，太阳系最初为一团温度不高、转动不快的星云，其范围比现在太阳系大得多，在引力收缩过程中角速度不断加快，以致沿赤道突出而终于脱出一个旋转不快的圆盘，其质量只有太阳系的1%；中心体继续收缩而不再分裂，形成太阳。太阳的一部份角动量留在圆盘内。此时太阳内部开始核反应，发出电磁辐射，使圆盘内气体电离成等离子体，等离子体不能跨过磁场而随磁场转动产生磁致力矩，遂把太阳的角动量大量转移给圆盘；圆盘获得角动量而向外扩张，太阳继续收缩时因不断失去角动量，便不会加快角速度，因之转动缓慢。圆盘扩张时，轻物质（如氢、氦、氫）被太阳风推开而远离太阳，聚集成类木行星；较重的固体物质不被推走而保留下来聚集成类地行星。卫星形成过程大体相似，不同点在于：行星圆盘与太阳分离时，圆盘的电离度相当大，角动量才能以磁致力矩方式转移；而在卫星圆盘与行星分离时却没有这个条件，因此行星角动量不能转移给卫星，故行星自转速度比卫星快。

现代科学研究成果表明，旋转体角动量是可以通过带电粒子在磁场中运动的方式来转移的。霍伊尔用太阳内部热核反应和电磁辐射导致行星圆盘电离化，造成太阳以磁致力矩方式向行星体大量转移角动量的原理，比较令人信服地解释了太阳系质量分配与角动量分布异常的矛盾，这种用太阳系星云内部物质运动的矛盾和角动量在核聚变力、电磁力作用下转移来解答太阳系基本特征的观点，应该说是符合唯物论和辩证法的自然法则的。当然这个假说还是粗线条的，有待进一步探讨和深化。

如果说，“微粒假说”、“星云假说”和“新星云假说”的共同出发点都是太阳系是由“原始星云”发展而成的，那么他们对“原始星云”的具体概念、冷热状态和星云向星体的转化途径又有其质的差别。康德认为原始星云主要是冷的弥散的固体微粒，微粒物质因引力吸积、由冷变热而逐步形成太阳与行星的，该说实质上属于太阳系起源的微粒冷成说。拉普拉斯则认为原始星云主要是灼热的球形气体云，经散热冷缩，在自转离心力作用下分离出气体环，最终凝聚而成行星和卫星的，此说实质上属于太阳系起源的星云热成说。但是，这两个假说都各自有其难以克服的弱点。霍伊尔便改而主张原始星云是一团低温慢转的星云，因引力收缩、转速加快而分别脱出行星圆盘与卫星圆盘，乃至最终形成了太阳系；他强调热核反应使原始太阳由低温变高温，电磁辐射产生磁致

力矩，实现了角动量从太阳向行星的转移，因而克服了上述两说的致命弱点，不能不说是太阳系和地球成因理论的重大进步。

4. 我国学者戴文赛的新星云假说

南京大学天文系戴文赛教授和胡中为1978在“论太阳系的起源”一文中，提出了他们对太阳系起源问题的主要论点(见图1—1)。他们同意康德微粒说和拉普拉斯星云说的基本观点，即整个太阳系是由同一原始星云形成的，星云中心部份收缩形成太阳，外部形成星云盘，再形成行星与卫星。但他们认为：原始星云并不是纯微粒云，也不是纯高温气体云，而是二者皆有的气体尘埃云（其中尘埃占质量1%左右），尘埃云最初并不热，是靠自吸引收缩后才逐渐升温的。这个原始星云的形成，是远在47亿年前，一个质量比太阳大几千倍的星际云，收缩到密度为 10^{-15} 克/厘米³时，内部出现湍涡流，便碎裂成上千个小云，其中之一便是原始太阳星云。因它形成于湍涡流，故一开始就自转，角动量大至现今太阳系角动量的百倍以上。原始星云一面加快自转，一面自吸引收缩并逐渐变扁，乃至形成内薄外厚、连续的星云盘，其中心部分密度变大形成太阳并发出辐射。原始星云前期收缩很快，物质的引力势能转变为热能，温度升高，后期收缩变慢，因热辐射温度又降低。星云盘内缘温度高约2000K，外缘低约10K。它的初期化学组成大致与现今太阳外部化学元素组成相同。星云盘分“土物质”（Fe、Si、Mg及其氧化物）、“冰物质”（C、N、O及其氢化物）和“气物质”（H、He、Ne等）三类。固态土物质和凝聚态冰物质呈现为尘埃和小冰粒，是形成行星的主要原材料。

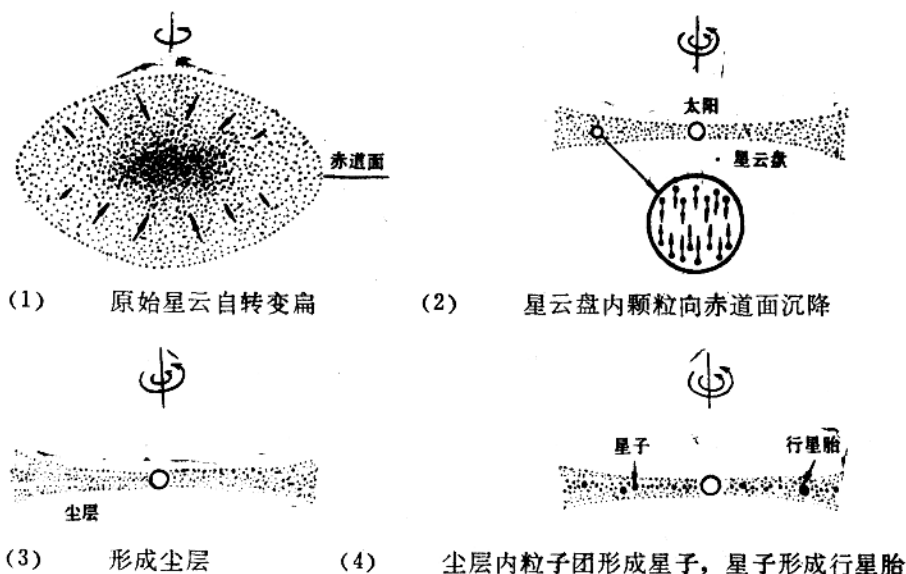


图1—1 戴文赛提出的太阳系起源的新星云假说示意图

星云盘内的固体微粒在集聚同时向盘的赤道面沉降，形成一个比盘薄得多的“尘层”，当“尘层”密度足够高时便出现引力不稳定性，于是瓦解为许多粒子团，粒子团收缩形成星子，星子再聚集成行星胎。分析和计算表明，固体微粒很小时，它们随气体分子作宏观运动，同时还作微观的布朗运动，相互碰撞，结合成为颗粒。作用在颗粒上

的力（主要有太阳引力、惯性离心力、气体压力和气体阻力），可分解为平行于赤道面的径向分力和垂直于赤道面的法向分力；力的平衡与相互制约，使颗粒向赤道面沉降约 $10^4\sim 10^6$ 年，便可在星云盘内形成薄薄的尘层。尘层内薄外厚（厚度为 $10^4\sim 10^8$ 厘米），密度内大外小，密度与离太阳距离的平方成反比。当尘层物质密度足够大时，因引力不稳定性，便裂解为许多粒子团，团内粒子间引力超过太阳对各粒子的引力，故粒子团能自吸收缩成为质量为 $10^{18}\sim 10^{20}$ 克的星子，星子靠引力吸积周围物质而增大，并在绕日公转的交叉轨道上碰撞结合成大星子，最大者成为行星胎；行星胎通过引力吸积作用最后成为行星。

行星形成后绕日公转具有共面性、近圆性、同向性三大特征，乃是尘层形成星子后绕日在近圆形轨道上作开普勒运动的必然结果。绕日作开普勒运动的许多星子冲击行星胎的总效果是使行星既公转又顺向自转；但是行星形成晚期若受大星子撞击，行星自转方向就可能改变（例如大星子从反向掠撞使金星变逆向自转，大星子从垂向掠撞使天王星、冥王星变侧向自转）。这种变向自转的起因已由定量计算证明。

关于太阳系角动量分布异常问题，他们大体同意沙兹曼机制，认为太阳在慢引力收缩阶段大量抛射带电粒子，这些物质虽只占原太阳质量的小部份，却能带走极大部份的角动量；但是他们不同意霍伊尔等人关于太阳电磁辐射把大量角动量转移给行星的磁耦合物理机制，而是认为星云盘物质有足够的角动量，形成的行星也具有足够的角动量，并不需要太阳转移给它们。当然，粘滞性和磁耦合对太阳角动量的损失也可能有些作用。

总之，戴文赛教授等人坚持实践观点，从天体观测新资料出发，着重天体间的普遍联系，认真分析吸引和排斥这对矛盾在太阳系形成过程中的发展和转化，分析必然性和偶然性的辩证关系，吸取了康德微粒说、拉普拉斯星云说和各种新星云说的优点，对太阳系起源、主要特征以及运动的规则性和不规则性作了较全面、系统的说明，为我国完整的、科学的太阳系起源演化理论作出了首次贡献，有待人们继续深入。

第三节 从现代星云假说看地球 与太阳系行星成因的同源性

从1755年康德微粒假说诞生至今，二百多年来，反映唯物论与唯心论、辩证法与形而上学两种对立宇宙观的各类地球和太阳系起源假说虽曾众多纷繁，但随着现代科学技术和天体观测实践的不断发展，那些违背地球和天体起源演化客观规律的种种神创论、灾变论假说和俘获假说已先后被人们扬弃或自然淘汰，康德微粒说和拉普拉斯星云说的科学宇宙观也随着实践而向前发展，产生出更加接近客观真理的各种新星云说。这充分证明：“许多理论的真理性的不完全性，经过实践的检验而纠正了它们的不完全性。许多理论是错误的，经过实践的检验而纠正其错误”（“毛泽东选集”一卷本第269页）。人们对地球和太阳系成因的不断探讨，正是反复通过科学实践的检验，逐步纠正其中的谬误或不完全性，使之更加接近真理和全面性，促进认识深化和科学理论的新飞跃。

根据日益为人们公认的前述现代星云假说的太阳系起源演化理论，我们至少可以得

出以下简要的结论：

一、地球起源是太阳系起源过程的一部份。包括太阳、地球和其它行星、卫星的整个太阳系是由同一个原始星云（气体和尘埃）物质形成的——这就是地球和太阳系行星成因的同源性与共生性。根据测定，太阳、地球和其它行星的放射性元素的相对含量（丰度）基本一致，这就证明整个太阳系是由同一原始星云形成的。太阳则是银河系一千五百多亿颗恒星之一，通过对银河系和其它恒星的观测也提供了有力的旁证，天体观测事实已证实了恒星由庞大的星际云通过自吸引收缩形成的现代恒星起源与演化理论，在银河系不仅观测到许多温度和密度都很低的由气体和尘埃混合组成的巨大星际云，而且观测到很多从星云到星体的过渡性天体（球状体、分子云、致密电离氢云等），并已发现不少恒星周围有气体尘埃盘，表明那里可能正处于形成行星系的过程中。因此，通过类比和推理，不难肯定前述太阳系起源的新星云假说的相对正确性；地球和天体的物质统一性乃是对地球和太阳系行星成因的同源性与共生性的逻辑论证。

二、地球和太阳系天体形成的近似同时性而非等时性。

有人推算我们的太阳系年龄至今已达 100 亿年，可惜尚缺乏可靠论据。地球和天体中放射性元素是确定地球与天体年龄的“计时器”，应用测定放射性元素半衰期的方法，一般认定地球同位素年龄在 45—47 亿年左右，由此估算太阳系年龄也是 50 亿年左右，可见地球、太阳及其它行星大体同时在同一过程中生成的推论是可信的，其中太阳可能相对早于行星的形成。苏联学者施密特计算得出地球形成过程用了 70 亿年的漫长时间，然而他却根本忽略了最重要的引力吸积，因此他的计算数据不可轻信。后来，魏札克和霍伊尔等人考虑了引力吸积，得出地球和行星形成时间只需要 1 亿年左右。近年来，人们认识到星云盘里的尘埃会沉降到赤道面邻近，使密度增加，从而大大加快地球和行星的形成过程，但不同人得出的行星形成时间很不一样（从几十万年到几千万年不等）。人们公认，由于星云盘外部物质密度比内部小，故靠近太阳的内圈行星的形成快于外圈行星——有的学者认为，最内圈的水星最先形成（约需几十万年），地球形成约需 100 多万年；外圈的海王星形成则需几千万年，最外圈的冥王星必定最后形成。我们可以把太阳系行星从内向外先后生成的现象概括为太阳系星体形成的非等时性和循序性规律。

三、地球史研究和天体史研究的密切相关性。

地球和太阳系行星成因的同源性与共生性，决定了地球是太阳系家族的重要成员。只有充分了解地球从天文发展阶段到地质发展阶段的演化全过程，才能真正认清地球物质结构和地球地壳运动的本质，从而进一步弄清地球矿产资源的形成、富集和分布规律。地球的早期发展史和地球形成方式有直接联系，地球大气、海陆的形成和地壳构造运动都是地球演化的组成环节。研究地球的化学组成、地球物理场特征、地球热历史、地球自转的起源和变化，都需同太阳系起源和演化的研究加以联系和类比。地表气候演变和冰川期出现的周期性，至少部份地来自于天文原因。月球与行星内部结构的研究可以为地球内部结构研究提供宝贵资料和借鉴。以上这些同人类生产、生活直接相关的重大地球科学问题，不可不借助天文科学和天文地质学等方面的新成果综合地加以解决。

总之，地球和天体是物质世界对立的统一体；地球、天体各种物质结构与物质运动的普遍联系和相互作用，构成了自然界辩证的运动、发展和变化，乃是一切自然现象的

总根源。地球、天体的起源和演化，确凿无疑地证明了“自然界是检验辩证法的试金石”（恩格斯“反杜林论”）。

第四节 从化学元素的起源到原始地球的诞生

地球和天体（包括太阳、行星、卫星、陨石和星云）的所有物质形态（固体、液体与气体），归根到底是由物质世界的一个重要层次化学元素——原子构成的。化学元素的起源和演化，是地球和一切天体起源和演化的基础，它同样有其从低级到高级的演变过程。

迄今为止，人类在地球和天体上已发现 105 种化学元素（其中，1 号氢 H →92 号铀 U 是在自然界相对稳定的天然元素；93 号镎 Np →105 号镅 Am 为较不稳定的人造元素即超铀元素）。1966 年前后，核物理学家根据迈尔斯的原子核“壳层模型”，提出了元素“稳定岛”假说，认为在已知的 105 种元素之外，自然界还可能新发现稳定的“超重元素”（通常指原子序数 $Z>108$ 的元素）。就是说，当原子核内的核子填满某一封闭壳层时，原子核就特别稳定（壳层封闭时的质子数和中子数就是“幻数”，已知幻数有 2、8、20、28、50、82、126；双重幻数的核作为稳定核而广布于自然界中）。稳定的超重核在元素周期表上占有一定区间（推测为 $Z=110\sim126$ 或 $108\sim128$ ），左右都为较不稳定的元素所围绕，宛如在不稳定核的“海洋”中突出的超重核“稳定岛”。这些核类的自发裂变半寿期和 α 衰变半衰期（ $T_{1/2}$ ）可能长达 $10^8\sim10^{18}$ 年甚至几十亿年。推测超重元素在天然矿物、岩石和水中就能留存至今，地球以外的超重元素（ $T_{1/2}>10^8$ 年的）都可以通过宇宙线、陨石和宇宙尘携带到地球上，因而有可能在地球内外发现它们。

那么，自然界这众多的轻元素、重元素、超铀元素和超重元素是怎样形成的呢？

元素的地球丰度和宇宙丰度是研究地球和太阳系元素起源的重要依据。通过地球化学、宇宙化学和恒星天文学的研究，提出了许多元素起源假说。早在 1888 年，克鲁克斯（Crookes）就发表论文“元素的产生”，明确指出：“所谓元素或单质实际上都是复合物，所有元素都是由一种原始物质（他称为“氦”）逐步凝聚成的”。1919 年卢瑟福用人工核反应实验证明元素的原子可以通过核反应合成。1938 年贝特（Bethe）计算出氢氦热核聚变反应放出的结合能足以维持太阳延续发热发光达几十亿年。这些自然科学新成就为各种元素起源假说奠定了重要基础。后来人们在分析、研究地壳元素丰度（克拉克值，1889，1924，等等），同位素宇宙丰度（H. 尤里 Urey，1956……等等）的基本特点中发现：地球和天体中 1H 最多， 4He 次之，再次为 C、N、O……，在原子量 $A\approx 100$ 以前的元素按指数规律减少，在 $A>100$ 之后的元素减少倾向变小；原子数偏多的核比较少，……。元素和同位素在自然界的这些分布规律，既反映出原子核的更深层次的规律性，也与元素起源和演化史密切相关。通过解释上述分布规律性，出现了一系列元素起源假说——核反应热力学平衡过程假说（钱德赛卡，1942），“大爆炸”宇宙论的中子俘获假说（即 $\alpha\beta\gamma$ ——理论，1948），以及聚中子裂变假说（迈耶和蒂勒，1949）。这些假说的共同特点是力图用单一过程解决全部元素的成因，结果陷入片面性，顾此失彼，难以自圆其说。

布尔比吉（E.M. Burbidge）夫妇、佛罗（Fowler）和霍伊尔（Hoyle）在 1957 年

提出了元素在恒星中生成的假说（通常简称 B²FH 理论）。他们摒弃用单一过程一次形成全部元素的企图，主张与恒星不同演化阶段相对应的八个过程逐步由氢合成了各种不同的元素。这一假说已不断为近年来核物理学、天体物理学和宇宙化学的新成就补充修正，从而不断发展，较好地解释了元素演化和分布规律。

星际物质的主要组成是氢，原始恒星是由星际物质靠引力收缩而形成的，收缩时放出的引力势能可使原始恒星内部温度上升。当温度升至 7×10^8 K 以上时，氢核聚变热核反应开始进行；这时核反应辐射膨胀抵制了恒星引力收缩，使恒星由“幼年期”进入“壮年期”主序星阶段，以氢燃烧为星能来源，开始了元素演化的一系列过程：

1. 主序星阶段的氢燃烧——由四个氢核聚变成一个氦核，分为质子—质子(P—P)链（形成 $A=1-4$ 的轻核元素 He 和 Li、Be）及碳—氮(C—N)循环（形成 $A=4-24$, B、C、N、O 等轻核元素）这两个过程。在太阳内部，目前 P—P 链反应约占 96%，C—N 循环约占 4%；太阳已进行氢燃烧约 46 亿年，还可继续进行约 50 亿年。

2. “中年期”红巨星阶段的氦燃烧——碳和氧燃烧——硅燃烧。

氦燃烧 (3 α 反应)——主要进行三个 ^4He 合成一个 ^{12}C 的聚合热核反应 $3^4\text{He} \rightarrow ^{12}\text{C} + \gamma$ ； ^{12}C 继续与 ^4He 反应生成 ^{16}O ，即 $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 。

碳和氧燃烧 (α —过程)——生成 $A=4n$ (n 为整数) 的多种中等核（主要为 ^{28}Si ，次为 ^{24}Mg 、 ^{32}S 、 ^{36}Ar 、 ^{40}Ca 、 ^{44}Ca 、 ^{48}Ti 等）。

硅燃烧 (γ, e —过程)——恒星形成 Si 核后，收缩升温至 2×10^9 K 以上，开始硅燃烧，即光分解转位（光子能量可达 2×10^8 eV），使 Mg、Si、S 等核发生分解生成 α 粒子和质子，随即又与别的核结合而生成重核（如 ^{56}Ni ）。硅燃烧过程以核裂解加核结合的新机理可生成铁族元素的重核。

3. 亚巨星阶段的 e 过程——当恒星核心温度增高达 4×10^9 K 时，可在瞬间（几秒或几分钟）达到核的统计平衡状态（延续时间仅约 1 年），这种突变（飞跃式）重核反应可生成 $50 \leq A \leq 60$ 的重核元素（即丰度图上铁峰附近的元素 V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni 等）。

由于各种元素的核结合能在铁峰处已达最高点，故 e 过程生成铁的中心核后，核聚变反应从此停止，恒星便进入了风烛残年。

从上述诸过程可知：正是吸引和排斥、收缩和膨胀这一对矛盾的斗争促进了恒星演化过程的发展。恒星每个演化阶段的进一步升温过程是靠引力收缩完成的，热核聚变反应是以恒星的高质量和超高温为其根本条件的，因而不同质量的恒星演化过程是不同的，质量不同的恒星引力收缩能达到的极限温度就不同，故在恒星内部能引发的热核反应也必然不同（例如质量 < 0.08 太阳质量的星体，就不可能升温到引发热核反应）。现将理论计算结果表列如表 1—1。

自然界比 Ni 重的重核元素不是热核聚变反应生成的，而是轻核连续俘获中子产生的。这过程与 $\alpha\beta\gamma$ —理论相似。由于中子是电中性的，与重核作用时没有电斥力，只要有强的中子流，中子俘获成核反应就容易进行。中子俘获过程按其速度有慢过程与快过程之分。

4. 新星阶段的 S 过程（即慢中子捕获的慢过程）——特点是一个轻核俘获新的中子，经 β 衰变生成较重核以后再捕获新的中子。俘获中子的速度慢于 β 蜕变速度，延续

表 1-1

恒星质量与热核反应类型的对应关系

恒星质量 (太阳 = 1)	能发生的热核反应类型
0.08	不发生热核反应
0.3	H 燃烧 (氢核聚变)
0.7	H、He 燃烧
5.0	H、He、C 燃烧
30.0	全部聚变合成元素反应

时间可达 $10^2 \sim 10^6$ 年。

S—过程在红巨星阶段即已开始，而集中表现在新星阶段，主要生成中子数为50、82、126的幻数核，形成原子量 $A = 90、138、208$ 的峰（一系列重元素）。

5. 超新星爆发阶段的 γ 过程（即快中子捕获的快过程）——当恒星演化到“老年期”，最终将导致急剧的超新星爆炸（有史以来，已有7次记录，1940年美国天文学家兹威基计算，每个星系平均每千年有两颗超新星爆发），瞬间释放出超高能源，产生 10^{10}°K 的超高温，造成弥漫的星际云，使恒星蜕变成白矮星、中子星和脉冲星。同时，超新星爆发造成的特殊超高温和极高的中子流密度，创造了元素演变快过程的条件，其特点是快速连续俘获中子，生成的核还没来得及 β 蜕变就又俘获了新中子，直到生成失去俘获中子能力的极不稳定核为止。

大质量的恒星演化到晚期形成铁核。当进一步收缩使核心温度增高到 $4 \times 10^8\text{K}$ 以上时，就会发生铁—氦转变反应 $^{56}\text{Fe} \rightarrow 13^4\text{He} + 4n - 124\text{Mev}$ 反应大量吸热，使恒星中心温度下降，核心处于爆缩状态，随之产生超新星爆发，所生大量中子促使 γ 过程进行（约 $0.1 \sim 1$ 秒就可俘获一个中子），从而生成U、Th……等重元素和中子过剩核，形成原子量 $A = 80、130、194$ 附近的峰。由于超新星光谱中发现了 ^{28}Cf ，于是有人认为超新星爆发时还会产生超铀元素和超重元素，即原子序数 $Z = 114$ ，原子量 $A = 298 \sim 300$ 的元素。

6. 形成质子过剩同位素的P—过程——一般认为 ^{112}Sn 、 ^{114}Sn 、 ^{113}In 等质子过剩核是通过 (p, r) 反应的质子俘获过程生成的。

7. 生成低丰度轻元素的x过程——现在认为 ^2D 、Li、Be、B等低丰度轻元素可能是宇宙线中的高能质子与星际气体中的C、N、O核碰撞生成的。

这就是恒星中元素起源的整个历程！它形成的全部延续时间约 2×10^9 年（或 10^9 年），重核形成的时间可看作元素形成阶段的结束时期。根据B²FH理论，放射性重元素是在恒星演化末期超新星爆发的一瞬间形成的，放射性元素生成后就立即开始蜕变。根据放射性同位素蜕变规律，我们不仅可以测算元素生成年龄，而且可以估算银河系、太阳系年龄，还可测算地球形成年龄和地壳物质年龄。

综合不同的测算方法可知：银河系的年龄约为 $100 \sim 200$ 亿年，太阳系中的元素生成年龄近于 $(5.4 \pm 0.4) \times 10^9$ 年（其中，铀U生成年龄约为 6.5×10^9 年），太阳系年龄约 $50 \sim 100$ 亿年；从元素形成到地球形成之间曾经历过 4×10^8 年的时间间隔，因此地球年龄下限为 $(5 - 5.5) \times 10^9$ 年，上限为 4.5×10^9 年，地壳物质年龄经统计在 $(3.1 - 4.3)$

$\times 10^9$ 年之间, 绝大部份测定数据为 3.5×10^9 年; 假设地球大气中的 Ar^{40} 全由 K^{40} 衰变而成, 则大气圈年龄经计算为 $(3.1 - 4.5) \times 10^9$ 年。

表 1—2 天体、元素与地球起源和演化时间的递进式序列表

II (II ₁ 、II ₂ 、II ₃) 地壳起源和演化阶段			地球形成、大气圈、水圈形成与原始物质分异及地壳发展	硅铝壳发展	II ₃
				地壳渐成	2.8×10^9 年 II ₂ 地壳物质年龄(统计、测定)
					3.5×10^9 年 II ₁ 地球年龄(依据陨石及地球物质放射性测定)
			地球形成		4.5×10^9 或 $(4.8 \pm 0.3) \times 10^9$ 年 太阳年龄(估算)
I 地球之宇宙演化阶段			元素合成至地球形成 (4×10^8 年)		
			太阳系形成		5×10^9 年 元素年龄(依据多种放射性同位素法)
					$(5.4 \pm 0.4) \times 10^9$ 年
					$(6 \pm 0.5) \times 10^9$ 年
银河系形成					100 亿年 = 10^{10} 年
银河系前宇宙演化阶段					200 亿年 = 2×10^{10} 年

假定我们的银河系初始状态和第一代恒星物质全部由氢元素组成, 随着星际弥漫物质集结成星云、中经“星胚”过渡期转化而生的恒星, 必然经历产生—发展—消亡的演化史, 同时伴以氢核聚变为氦、轻元素不断合成重元素的元素演化过程, 终因超新星爆发而结束第一代恒星生命, 但是前恒星破裂解体的弥漫星云物质又会因引力收缩开始形成第二代恒星, 并使银河系化学元素再由低级向高级发展。太阳上现有 69 种化学元素, 表明它不会是银河系的第一代恒星。根据目前银河系元素分布状况, 我们有理由认为太阳是第二代、甚至可能是第三、四代恒星。恒星的生死转化和世代更替, 并不是简单的物质循环, 而是螺旋式递进的辩证发展。这不仅表现在恒星的原始化学元素组成一代比一代复杂化, 更重要的是行星系的新发展。

我们的地球不但有铁镍核心，而且存在着从氢到铀乃至超铀的各种元素；地球模型与演化晚期的恒星模型十分相似。显然，地球和太阳一起只能由前一代（甚至几代）的恒星“残骸”中新生。地球不仅享用着现在太阳供应的辐射能，而且享用着前几代恒星遗留下来的“祖传遗产”。因此，地球乃是银河系物质演化高级阶段的产物。

化学元素在恒星中起源和演化是物质演化序列的无穷链条中的重要一环，从根本上为原始行星地球的诞生和发展奠定了物质基础。在地球本身的演化过程中，原始地球物质的熔融与分异、矿物与岩石的生成需要的能量同放射性元素的放射能积累密切相关。而这些重元素正是在上几代恒星中形成的，在重元素中储存了恒星的能量，并以放射能形式释放，正是这种能量的聚射和转化促进了地球的不断演化。

主要参考文献资料

1. 李四光：“天文、地质、古生物”（资料摘要），科学出版社1972年版。
2. 戴文赛：“天体的演化”，科学出版社1977年版。
3. 戴文赛、胡中为：“论太阳系的起源”、“自然杂志”1978年5月创刊号。
4. 余衡泰：“天体的来龙去脉”，上海人民出版社1974年版。
5. 郑文光：“康德星云说的哲学意义”，人民出版社1974年版。
6. 侯德封等：“核转变能与地球物质的演化”，科学出版社1974年版。
7. 郭正谊：“元素的起源和演化”，1978年全国自然辩证法夏季讲习会资料。
8. 成都地质学院普通地质教研室：“动力地质学原理”，地质出版社1978年版。
9. 中国科技大学天体物理组编：“西方宇宙理论评述”，科学出版社1978年版。