

天文学入门
宇宙演化

G. B. 菲尔德
〔英〕G. L. 邦舒尔 合著
C. 波纳佩鲁马

科学出版社

宇宙演化

——天文学入门

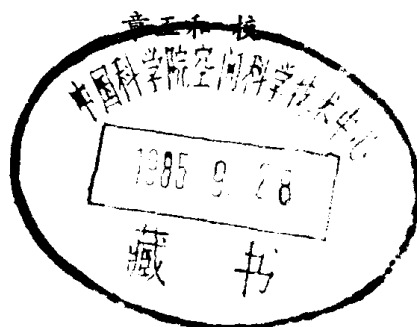
G. B. 菲尔德

[美] G. L. 弗舒尔合著

C. 波纳佩鲁马

欧阳珽 王 华 赵南生 译

章玉和 校



科学出版社

1985

003611

内 容 简 介

本书较全面地介绍了目前世界上对宇宙、恒星、太阳系、地球以及生命(包括人类)起源和演化问题的主要观点,也介绍了与地外智能社会通讯联系及飞碟等问题,并对宇宙的未来作了初步预测。为了更好地理解演化问题,书中简要地介绍了一些必备的基础知识,在每章的后面以小辞典的形式为一些专业术语作了解释。

本书内容深入浅出,图文并茂,并附有一些彩色插图,适于中等以上文化水平的读者阅读,同时对非天文专业人员学习有关宇宙演化的问题也是一本有益的参考书。

G. B. Field G. L. Verschuur and C. Ponnampерuma

COSMIC EVOLUTION

An Introduction to Astronomy

H. M. C. Boston 1978

宇 宙 演 化

——天文学入门

G. B. 菲尔德

[美] G. L. 弗舒尔 合著

C. 波纳佩鲁马

欧阳珽 王 华 赵南生 译

章玉和 校

责任编辑 黎昌颖 彭 英

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1985年4月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1985年4月第一次印刷 印张: 16 1/8 插页: 4

印数: 0001—5,500 字数: 362,000

统一书号: 13031·2853

本社书号: 3800·13—5

定价: 3.50元

序 言

为什么我在这里？我是怎样到这里的？生命的意义是什么？生物与非生物之间有什么关系？世界是从哪里来的？它是有限的还是无限的？

这样一些问题经常在许多人的脑海中盘旋。随着时代的推移，思想家们从他们自己所在的特殊文化与历史时代的观点作了不同的回答。

“为什么我在这里？”这样的问题对个人来说是相当重要的。他（或她）发现，所寻求的答案已由各种宗教、伦理和哲学的体系给了出来。但是由于科学只限于研究能用实验解答的问题。对上面这些问题一般保持缄默；科学家还不能真正地设计出完全有关的实验。

“我如何到这里？”这样的问题是一个不同性质的问题。肯定地说回答是明显的。你是由你的双亲结合而产生的。更深一层说，回答是不很清楚的。当有人问“为什么我的行为方式与我的双亲不同？”时这就牵涉到实验遗传学的科学了。若进一步追寻原因，就必须考察物种起源甚至生命的起源。这些是进化生物学领域的科学问题。

对于牵涉到我们周围世界的问题也能作出科学的回答。科学方法对了解物质和能量的行为是怎样的（物理学），地球是怎样构成的以及它是如何演变的（地质学），以及太阳、月亮、行星和恒星的性质是什么（天文学）等等问题的回答都是非常成功的。但所有这些成功均局限于它只适用于已被充分研究过的现象这个意义上。我们可以想象出诸如地球起源或

类星体爆发之类近代科学领域之外的现象，因为它们在时间或空间上如此之遥远以至很难得到有关它们的资料。但这些现象总有一天会弄明白的。

直到二十世纪四十年代，天文学——宇宙空间中各天体的科学——似乎与前面提出的这些问题完全无关。但当了解到使地球上的生命得以存在的太阳能是核能时，也就领悟到核能也是恒星的能源。因为在太阳和恒星中可利用的核能是有限的。所以它必具有有限的年龄。因而估计恒星的年龄成为可能：太阳年龄是 47 亿年，其它大多数恒星不及太阳年龄的三倍。天文学家开始谈论恒星的诞生和衰亡，他们辨认不同的星族，讨论着典型恒星生存的不同时期。这样的术语使人回想起生物学。如同生物学那样，天文学已成为一门演化科学：我们今天所看见的现象是很久以前发生的演化过程的结果。

地球上所发现的化学元素，如氢、碳、氧及氮等，产生于过去发生的天文过程中。现在这些元素以恒星和星系的形式分布于整个宇宙空间。因此，类似地球的行星很可以存在于银河系的任何部分，甚至可以存在于其它星系中。由此事实以及恒星能量普遍存在的事实，生物学家得出这样的结论：与地球上生物类似的生物，按道理说是可以在许多这样的行星上起源的。因为其中有些生物可能有智力，“我们不是唯一的”思想已成为科学讨论的内容。

从科学所涉及的专门部门——物理学、天文学、地质学、生物学——回顾起来，看到一个巨大的综合起来的梗概，这里天文学中的天体行星，甚至生命都是宇宙演化的自然结果。我们称这种综合为宇宙演化。本书试图叙述现今不同领域的科学家所理解的宇宙演化，而偏重于从天文方面加以陈述。

本书试图作为大学教师讲授天文知识的课本。因为详细

地了解天文现象需要许多物理和数学知识，我们尝试着保持定性的讨论，所以不需作超出中学数学知识以外的任何准备。需要一些数学的部分都归纳到附录中。

本书的目的是讲授宇宙演化的当代知识，它的内容从原始大爆炸的浑沌时期讲到现在出现了有智慧的生物时期。我们也叙述了资料的来源以及它是怎样获得的。读者将会发现，有许多在其它概论性的书中所涉及的课题未被涉及，因为本书并不求包罗万象。书中只包含为理解宇宙演化的必要课题在内。

作者曾尝试按时间顺序编排此书，从宇宙起源开始到智能生物出现结束。或许有一天由于天文领域内知识水平的提高，这样一本书是可以被接受的，但我们感到在目前按这样一个顺序写，将需要过多的脚注来解释宇宙空间中不太熟悉的现象。因此，我们采取了一个折衷方案。首先，讲天文学上的宇宙，从第一章的地球开始到第八章的整个宇宙结束，它是从地球上的观察者的观点描写的。在第九章中，我们阐明了空间和时间的性质作为了解整个宇宙演化的引论。然后我们扼要地叙述宇宙的历史，从第十章中的宇宙本身讲起，写到第十三章中的地球起源。第十章至第十三章是建立在第一章至第九章的基础上的，在这些章里不断地涉及到前面几章中所提到的现象。第十四章中我们开始考虑宇宙中的生命。

译者的话

广大读者对宇宙演化问题十分关心，迫切希望了解国际上研究这方面问题的主要概况和潮流。因此我们翻译了此书。

本书原著几乎介绍了演化所涉及的所有主要领域，内容极为广泛。所介绍的资料中有许多是最近新取得的成果。由于科学发展迅速，近年来又取得了一批比较重要的新成就，因此有必要在此补充一些新的资料：

(1) 根据飞船旅行者 1 号及 2 号的探测，1979 年发现了木卫十四，1980 年发现了木卫十五及十六。木卫十六被命名为 1979 J，其直径约为 40 公里，沿木星云顶 56,000 公里处的轨道运行，周期为 7 时 4 分 30 秒。旅行者 2 号又于 1981 年发现了土卫十七。

(2) 使用一种最新的观测技术(局限衍射象)测定的冥王星直径在 3000—3600 公里之间。又根据其它有关资料算出冥王星的质量为月球质量的 $1/6$ ，所以其密度在 0.8 克/厘米^3 至 0.5 克/厘米^3 之间。冥王星表面的平均反射率较其它行星高，表明它的表面被一层甲烷冰霜所覆盖。

(3) 海盗 1 号轨道飞行器在飞到离火卫一 300 公里以内的地方直接观测表明，火卫一是一个 27×70 公里大小的椭球体，密度为 $2.0 \pm 0.6 \text{ 克/厘米}^3$ 。有迹象表现它与 1 和 2 型碳质球粒陨石类似，所以可能是被火星俘获的小行星。

(4) T. 科瓦尔等发现本星系群的又一新成员 LGS 3。它的绝对星等为 -9.0 ，距离为 270 万光年，直径为 1,600 光年。

(5) 中微子：现在的实验表明，中微子分为电子中微子(ν_e)、 μ 子中微子(ν_μ)和 τ 子中微子(ν_τ)三种类型。它们都有相应的反中微子。1976年苏联物理学家崔奇柯夫测出中微子的静止质量 ≤ 35 电子伏特。(一个电子的静质量是511,000电子伏特)。此外瑞因斯发现三种类型中微子在传播过程中可以互相转化。这叫中微子振荡。理论上推断，这种中微子振荡现象只有在中微子有静质量时才会发生。根据测量知道 ν_e 和 ν_τ 间的质量约差1电子伏特。

在第三章的3节及附录D中谈到利用四氯乙烯测定太阳中微子的问题，谈到只测到按恒星演化理论所预计的1/3那么多的中微子。现在根据上述结果知道，由于太阳产生的只是电子中微子，而探测中微子的仪器也只是使用对电子中微子敏感的仪器，如果中微子有静止质量并在三种中微子类型间振荡的话，那么太阳产生的电子中微子在到达地球之前就有大部分转变成了其它中微子，已转变了的这部分自然不会被只对电子中微子敏感的仪器探测出来。因此，对中微子的上述新发现可能为解决太阳中微子问题带来希望。

在第八章的4节中谈到星系团的缺失质量问题，有人认为星系团缺失的质量可能是以中微子的形式存在，因而我们看不见。此外，中微子的质量还可能对宇宙演化有贡献，例如，理论上可使开宇宙变成闭宇宙。

(6) 最近的测量表明，宇宙背景辐射在整个天区约有千分之一的变化。最热的地方在狮子座方向，最冷在宝瓶座方向。温度随角度遵循余弦曲线的规律变化。与黑体辐射谱也有一定的差异，这差异在统计上是显著的。

宇宙演化问题十分复杂。由于未知因素很多，同一个现象往往有多种可能的解释，究竟那一种是对的一时尚难于作出定论，所以学派较多。由于篇幅所限，作者所介绍的只是目

前比较流行的观点。在宇宙论方面，作者介绍的是大爆炸宇宙观。我认为有必要在这里向读者介绍另一种宇宙观，即我们所实际观察到的等级式宇宙。为了说明这个问题，要从宇宙红移谈起。

我们知道大爆炸宇宙观的基础是用多普勒效应来解释宇宙红移。人们用多普勒效应解释星系内恒星光谱线的移动，已经取得了许多宝贵资料，并成功地确定了星系内存在较差自转。但在天文观察中却发现了另一些红移现象，若用运动的多普勒效应解释则存在许多困难，因此促使人们考虑到必然还有其它机制能产生红移，所观测到的现象有以下几种：

(1) 多普勒效应要求对同一个星系，其红移量 z 与光谱线的频率无关。因此观测每个星系中不同谱线的红移量 z ，比较它们是否一致，就是鉴别红移是否由多普勒效应产生的一种依据。如果一致就表示有可能是由多普勒效应产生的，如果不一致就肯定它至少不完全是由多普勒效应产生的。1949年威尔逊对 NGC 4151 的观测结果表明，虽然不同频率的红移量差别不大，但也超出了观测的误差范围。频率越高，红移量越小。因此至少可以认为宇宙红移不完全是由多普勒效应产生的。

(2) 从太阳中心到边缘各点所发生的同一条谱线在扣除了各种已知的运动效应以后，越靠近边缘的地方谱线的频率越低，在太阳半径 90% 左右的地方，红移量急剧增加。这意味着太阳上还有某种未知的因素在引起红移。

(3) 类星体的红移量一般都很大，如果把这都归因于多普勒效应，则由此算出的距离一般在 100 百万秒差距以上。即 10^9 — 10^{10} 光年。由此推算出它发出的总光能为银河系的 100 倍，射电能为银河系的 10 万倍。而由光变周期算出它的直径只有一光年左右，这意味着类星体的辐射密度非常高，而

产生这样高辐射密度的物理机制是一个没有解决的问题。因此有些天文学家认为类星体红移中有一部分红移可能不是由多普勒效应引起的,因而类星体离我们的距离可能要近得多。

(4) 星系、类星体相互之间都有成协的现象,即这些天体两两或更多地相距较近并有物理联系的现象。观测表明,有些成协的天体间红移值相差较大。有些类星体光谱中的吸收线与发射线的红移值互不相同,而且不同的吸收线有各不相同的红移值,称为多重红移。

除了上述红移现象外,还遇到其它一些困难。例如,如果认为宇宙红移是多普勒效应,那就需要承认宇宙物质在过去是聚集于一点的,对这样的宇宙模型除了哲学上的困难外,在这种极限情况下的物理性质也是未知的。

如果宇宙红移是非多普勒效应所致,在天文观测上有什么现象来证实呢?通过一些天文学家的努力,发现确实有些现象说明宇宙红移不是由多普勒效应引起的。例如,对球状星团稳定性的研究发现它稳定的年龄是 10^{18} 年,超过了按红移算出的宇宙年龄的 10^8 倍。发现哈勃公式的哈勃本人也不主张宇宙红移就一定是由多普勒效应产生的。1936 年他由热星等改正的统计关系得出有利于红移为非多普勒效应的结论。他写道:“观测可以适应于两种完全不同的宇宙模型,假定红移是非速度红移的一个显然的异议,迄今自然是没有形成一个满意的解释。此外,对自然界大尺度特征的认识,只是从现在要解释的这一类问题的资料中得到的。”确实,当时所知道的产生红移的物理机制只有多普勒效应和引力效应两种,由于引力红移量级太小,所以只剩下多普勒效应是唯一的可能机制。

现在我们已经认识到,光在传播过程中由于不断与运动着的介质相互作用能引起谱线红移,其具体机制是复杂多样

的。近年来我提出的一种机制是这样的^①：平面光中各种频率的波与介质中的粒子相互作用，由于各种线性和非线性效应，每一固定的频率能使介质中的每个粒子产生出含有许多其它频率的子波。由惠更斯原理知道，不同粒子产生的子波叠加后能形成具有新频率的平面波。新产生的频率叠加在原有频率上的结果，使光的频谱在传播过程中形成一种在频率域中传播的波，这是一种新型的波叫频域波。如果新产生的频率中，较原来的频率低的成分多于高的成分，则频域波向低频端传播，谱线为红移。反之向高频端传播，谱线为紫移。由实际经验知道，通常总是低频成份多于高频成份的，所以实际上常观测到红移。

现在已经知道，星际空间是充满介质的，星光必须通过介质才能到达地球，所以光谱线必定会红移，而且距离愈远红移量愈大，这与哈勃公式是一致的。因此我们可以认为宇宙红移主要是光通过星系际介质时的一种频域波，宇宙必然是比较稳定的，不是在膨胀。我们知道，对于一个系统来说，只有具有一定的角动量（旋转）才能维持一个比较稳定的结构。把复杂的宇宙想象为均匀各向同性则过于简单。事实上我们所看到的宇宙是有层次的，有行星、恒星、星团、星系、星系团和总星系等。因此宇宙是不均匀的。地球绕太阳转动，太阳绕银河系中心转动，这些都表现出空间是各向不同性的。物体之间除了可相对中心作径向的膨胀或收缩外，还可以有切向的运动。切向运动可使系统比较稳定，它周围的物质既不立即落入中心，也不立即脱离中心。因此围绕某中心的运动是物质复杂运动的必然结果。最近观察并证实了星系在绕星系团的中心转动。对银河系相对于散布在天空各方向上距

① 欧阳斑：“频域波”，《潜科学杂志》，1982年第3期第23页。

离在一亿光年以内的旋涡星系群的运动作了分析，得出的结论是银河系以每秒 450 公里的速度相对于该星系群运动。而该星系群又以每秒 800 公里的速度相对于以宇宙背景辐射所表征的经过平均后的星系际空间的介质（即所谓新以太）运动。我们知道，若将宇宙红移解释为多普勒效应，如果某个星系具有它独自的不符合哈勃公式的特殊运动速度的话，则经过一段时间后它就会逐渐赶上并参加到那些哈勃速度与它的特殊速度一致的星系中去。因而不能跟这些星系区分开来。由目前银河系的特殊速度以及哈勃公式，可以反推到过去银河系的特殊速度必近于光速。这个结论是不太可能的。另一种可能性是这特殊速度是银河系在所谓新以太这样大的空间范围内运转时的轨道速度，这样就没有过去会接近光速的问题了。这个观点似乎是比较容易接受的。如果这个解释成立，它就为大范围内存在旋转提供了证据。

关于太阳系的演化问题，观点也很多，现在还很难说哪种更可信。有兴趣的读者可参考戴文赛教授著的“太阳系演化学”（1979）。该书中对各种观点作了比较详尽的介绍。

由于我们的水平关系，翻译中难免有不妥之处，希望读者给予批评指正。特别要提出的是，第十五章是由赵南生同志译出的。书中有关生命起源部分的翻译工作得到黄芬同志的帮助，在全书的翻译过程中，王际和先生给予了许多指导和帮助，在此向他们致以衷心的感谢。

欧 阳 珽

目 录

序言

第一章 地 球…………… 1

1. 地球——我们居住的行星…………… 2
2. 地球概观…………… 3
3. 地球上的水…………… 8
4. 固体地球……………12
5. 大气……………14
6. 能量……………16
7. 地球的年龄……………19
8. 大陆漂移……………22
9. 时间方面——
地球上周期性
和演化性变化……………25

第二章 天文观测……………31

1. 来自空间的辐射……………32
2. 恒星的亮度……………35
3. 天文学家的工具
……………37
4. 观测光谱……………40
5. 星象宁静度……………44
6. 发射和吸收过程……………45

第三章 太 阳……………57

1. 太阳的性质……………58
2. 太阳活动性……………64
3. 太阳能源……………71
4. 太阳射电及X
射线……………74
5. 日地关系……………77

第四章 月 球……………82

1. 观察月球……………83
2. 撞击月球……………86
3. 无人宇宙飞船
获得的科学成
果……………89
4. 阿波罗载人登
月的科学成果……………91
5. 月球的内部……………95
6. 月球的起源和
演化……………97

第五章 行 星……………101

1. 行星的运动……………102
2. 日心太阳系……………105
3. 类地行星……………108
4. 大行星……………130
5. 太阳系的其它
成员……………137

第六章 恒 星……………149

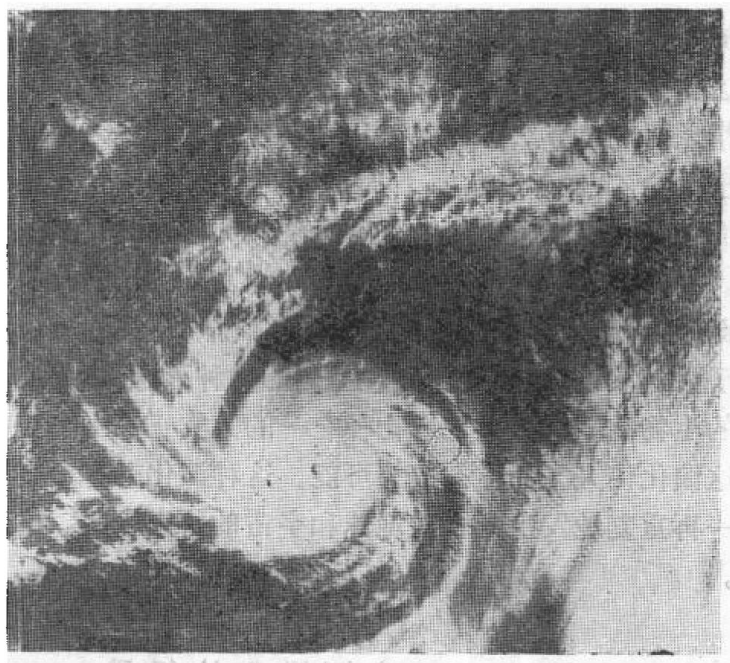
1. 观察恒星.....150	5. 非寻常星系.....231
2. 恒星的颜色.....152	6. 射电星系.....233
3. 星团和星协.....153	7. 类星体.....236
4. 赫罗图.....156	8. 哈勃定律.....238
5. 恒星光谱.....159	9. 星系际空间.....242
6. 测定恒星温度.....164	
7. 双星.....165	第九章 相对论和
8. 恒星的大小.....167	宇宙论248
9. 恒星的星族.....169	1. 宇宙模型——
10. 非一般类型的	牛顿的观点.....249
恒星172	2. 奥尔勃斯佯谬.....253
第七章 银河系187	3. 狭义相对论.....254
1. 恒星的分布.....188	4. 广义相对论.....257
2. 银河系的自转.....192	5. 宇宙学原理.....262
3. 银心.....194	6. 弯曲的时空.....263
4. 星际尘埃.....195	7. 宇宙的膨胀.....265
5. 星际氢.....197	
6. 银河系射电信	第十章 宇宙论——
标.....202	宇宙演化275
7. 其它星际原子.....202	1. 大爆炸模型.....276
8. 星际分子.....204	2. 早期的宇宙.....281
9. 星际颗粒的起	3. 大爆炸当中元
源.....208	素的形成.....284
第八章 星系和宇宙	4. 星系的形成.....287
.....214	5. 大爆炸的证据.....291
1. 星系的分类.....215	6. 宇宙是开的还
2. 本星系群.....220	是闭的?294
3. 本星系群以外	7. 稳恒态模型.....295
的红移.....223	
4. 附近的星系.....226	第十一章 恒星和
	星系的
	演化299

1. 恒星演化概要.....	300
2. 星际气体云—— 恒星诞生的地 方.....	302
3. 太阳的诞生.....	306
4. 主星序上的太 阳.....	309
5. 太阳将来的演 化.....	310
6. 其它主星序恒 星.....	313
7. 恒星的年龄.....	314
8. 晚期恒星演化 的原则.....	316
9. 恒星衰亡.....	318
10. 磁场和自转在 恒星形成上的 影响	323
11. 恒星演化小结	327
12. 银河系的形成 和第一代恒星	330
13. 以后各代恒星 的形成	332
14. 星系演化概观	335
第十二章 太阳系	
的起源	340
1. 太阳星云.....	341
2. 陨石的研究.....	242
3. 太阳星云的塌 缩.....	345

4. 太阳星云中的 对流.....	347
5. 早期的凝聚.....	349
6. 行星和太阳的 形成.....	351
7. 卫星和彗星的 形成.....	353
8. 与星际物质的 关系.....	355
9. 其它行星系的 含义.....	356
10. 与观测比较	357
第十三章 早期地球	
.....	361
1. 地球起源.....	362
2. 地球原初是熔 化的吗?	366
3. 大气的起源.....	368
4. 为什么是碳?	373
5. 原始地球上的 能源.....	375

第十四章 生命的	
起源和	
演化	
1. 问题.....	383
2. 从原子到人类.....	384
3. 生命的定义.....	386
4. 生命起源理论.....	388
5. 生命的分子基 础.....	393

6. 模拟实验.....	397	8. 独眼巨人计划.....	456
7. 小分子的合成.....	401	9. 偶然接收.....	457
8. 聚合物.....	402	10. 过去、目前和 未来的联系.....	458
9. 细胞的演化.....	405	第十六章 未 来.....	436
10. 化石记录	410	1. 宇宙的未来; 开模型.....	463
11. 人类的演化	420	2. 闭宇宙的未来.....	465
12. 自然选择	423	3. 振荡的宇宙.....	467
13. 从原子到空间 探测.....	424	4. 星系和恒星的 未来.....	468
第十五章 地外生 命	431	5. 太阳的未来.....	470
1. 地球生命和地 外生命概观.....	432	6. 宇宙中生命的 未来.....	471
2. 生命的顽强性.....	434	附 录.....	475
3. 地外生物化学.....	436	A. 视差	475
4. 太阳系中生命 研究的目标.....	437	B. 在天空中给天 体定位	477
5. 地外的智能生 命.....	446	C. 太阳的光度、 大小和质量	481
6. 银河系其它地 方存在生命的 可能性.....	448	D. 质子-质子链 和太阳中微子	483
7. 通讯方法.....	452	E. 测定恒星距离	486



第一章 地 球

宇宙演化课题是讲述宇宙是怎样朝愈来愈复杂的方向演化,终于局部地导致智能生物在地球上发展起来的一个局面。在我们的思想中地球仿佛是巨大的,因为它是我们的故乡。但是太阳系外遥远空间中可能还有无数载有生命的行星在围绕其它恒星运行。

本章中我们将地球作为一个天体来研究,它在绕太阳的周年轨道上运行并且被阳光照暖。只能用地震学方法大概地了解到由岩石和铁组成的地球的内部情况。已对薄薄的地球表层,包括海洋和大气作了极为广泛的勘察;由于来自太阳的