

科学之旅·宇宙之门

从物理学的角度探知宇宙·用生动的故事讲述宇宙之美

宇宙之美

物理学新探索

巩晓阳 著

**BEAUTY
OF
THE
UNIVERSE**

NEW EXPLORATION IN PHYSICS



中国工信出版集团

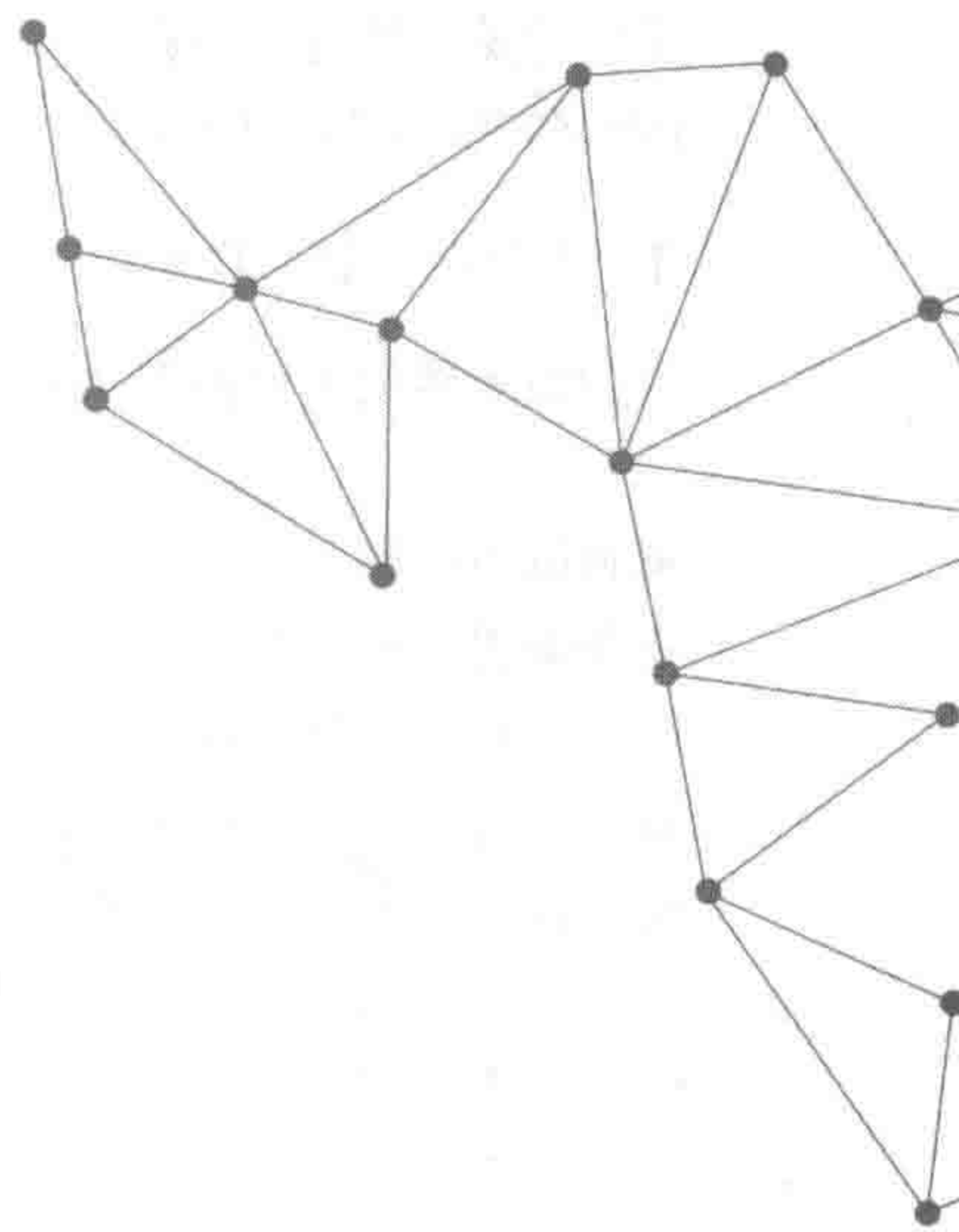


电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

宇宙之美

物理学新探索

巩晓阳 著



電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 • BEIJING

内 容 简 介

据调查,欧美等发达国家对宇宙学的认识和科普非常广泛,甚至小学生都能对宇宙有基本的认知。近几年,随着我国航空航天事业的飞速发展,年轻人更需要了解宇宙科学,并培养对宇宙的兴趣。只有大批青年人对宇宙充满好奇和兴趣,并投身于它的研究中,我们的科技才能进步。本书内容分为三大部分:地外生命、黑洞、虫洞。本书建立在物理学理论上,用通俗的语言介绍深奥的道理,包含牛顿力学在宇宙探索中的成就、宇宙的起源、恒星的演化、广义相对论的理论、虫洞研究的理论与困难等内容,旨在把物理学研究宇宙方面的新成果和前沿知识一一呈现给读者。

本书是一本科普读物,可作为大学公选课教材,也适合对物理学和宇宙学感兴趣的读者阅读,尤其是具备一定物理学知识的学生、教师和科研人员。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

宇宙之美:物理学新探索/巩晓阳著. —北京:电子工业出版社, 2018.5
ISBN 978-7-121-33884-7

I. ①字… II. ①巩… III. ①物理学—普及读物 IV. ①O4-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 055802 号

策划编辑:戴晨辰

责任编辑:戴晨辰 文字编辑:刘 瑀

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编:100036

开 本:720×1 000 1/16 印张:12.75 字数:168.3 千字

版 次:2018 年 5 月第 1 版

印 次:2018 年 5 月第 1 次印刷

定 价:39.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: dcc@phei.com.cn。

前 言

PREFACE

美国物理学家、著名教育家、2017 年诺贝尔物理学奖获得者基普·索恩的导师约翰·惠勒曾说过：“要想了解一个新的领域，就去开一门这个领域的课程。”“要想了解一个新的领域，就写一本关于那个领域的书。”“大学里为什么要有学生，那是因为老师有不懂的东西，需要学生来帮助解答。”读到这几句话，我心里甚是感动，因为此书的成书过程基本上就是这样的。

我对地外生命课题关注得比较早。大约是在 1993 年，有幸聆听了北大著名物理学教授赵凯华先生的一次关于地外生命的讲座，从此便开始关注这方面的相关成就。

作为一名高校教师，兢兢业业地教书和做些相关方面的研究一直是我的日常，然而转折来自 2011 年对本学院相关专业（应用物理、材料物理）学生的一次调查。调查结果显示，学生最感兴趣的物理学前沿课题中，虫洞的名字赫然在榜，一下子让我这个从教 20 余年的教师很惭愧，因为当时虫洞对于我来说也仅仅停留在概念层面上。于是，我开始读书，记笔记，整理，理解……

当我终于开始觉得有把握用自己的思路来理解黑洞和虫洞的相关问题时，就开始准备教案和课件，并开设了全校公选课“物理学引领我们探索宇宙”。

课程进行得比较成功，每次选课的学生数量都是最多的，一名动物科学专业的学生曾在课后和我交谈说：“老师，我觉得大学里就应该开设像广义相对论这样高大上的课程。”我的回答是：“这话也对也不对，大学里为了拓宽思路、开阔眼界，开设一些前沿的课程是好的，但是没有经典物理、量子力学、狭义相对论等作为基础，学习广义相对论也仅仅是概念而已。如果基础课程打牢，你会发现，利用一定的知识，广义相对论的结论可以顺理成章地推导出来，那么它就不再高大上了。但是，高大上的理论还有吗？有，它在你的前方，指引着你继续探索研究，物理学也就继续向前迈进了！”

这些求知的学生多可爱！为了这些热爱科学、热爱学习的学生，我不仅要讲好课，也萌生了把自己的理解条理化、通俗化，编写成书，并与对此方面感兴趣的读者共勉的心愿。

由于笔者水平有限，书中难免有错误之处，欢迎读者批评指正！

巩晓阳

于河南科技大学

目 录

CONTENTS

第一部分 地外生命	1
第一节 探索地外生命的方法与进程	4
一、射电监听	5
二、地球信使	12
第二节 生命存在的条件	19
第三节 太阳系内地外生命的探索	23
一、类地行星	26
二、类木行星	36
三、冥王星	47
四、小行星带	50
第四节 太阳系外地外生命的探索	53
一、对类太阳系系统的探测	53
二、对类地行星的探测	54

第五节 地外生命探索的畅想	57
一、费米悖论与绿岸公式	57
二、生命存在模式	58
三、探索地外生命的畅想	59
第二部分 黑洞	63
第一节 宇与宙	67
第二节 恒星演化，走向黑洞	72
一、赫罗图	72
二、恒星的能量	76
三、恒星演化过程	78
四、钱德拉塞卡与钱德拉塞卡极限	84
五、奥本海默和奥本海默极限	87
六、天狼星——白矮星的发现	90
七、中子星——预言与发现	92
八、恒星演化——走向黑洞	94
九、关心我们的太阳	96
第三节 广义相对论，走向黑洞	98
一、经典物理学的困难	98
二、迈克尔逊干涉仪	100
三、狭义相对论的成就与困难	104
四、广义相对性原理与马赫原理	110
五、引力质量与惯性质量	114
六、等效原理和局部惯性系	116

七、走向广义相对论·····	121
八、广义相对论的场方程·····	125
九、如何理解时空弯曲·····	126
十、广义相对论的实验验证·····	129
十一、从广义相对论走向黑洞·····	134
第四节 黑洞的性质及观测方法·····	138
一、黑洞的性质·····	138
二、黑洞的观测方法·····	139
三、黑洞的类型·····	143
第五节 结束语·····	145
第三部分 虫洞·····	149
第一节 从广义相对论到虫洞与白洞·····	150
一、爱因斯坦-罗森桥·····	150
二、白洞的预言·····	153
三、黑洞作为星际旅行通道的缺陷·····	155
第二节 从科幻小说到虫洞·····	156
第三节 物理学理论中的虫洞·····	160
一、虫洞名字的创造者——惠勒·····	160
二、索恩的虫洞研究·····	162
三、洛伦兹虫洞和欧几里得虫洞·····	164
四、理论计算出的虫洞解·····	165
五、负能物质·····	167
六、负能物质的理论与实验验证·····	170

第四节 构建虫洞	174
一、构建虫洞的物理学模型	174
二、薄层近似下奇异物质的数量	175
三、薄层近似下虫洞的应力分析	176
四、实现虫洞穿越的其他设想	181
五、构建虫洞面临的其他困难	183
第五节 由虫洞到时间机器	186
一、构筑时间机器	187
二、时间机器引起的悖论	189
三、解决悖论的方法	190
参考文献	194

第一部分

PART

1

地外生命



精讲视频

地球以外是否存在生命？地球是目前唯一已知有智慧生命和文明存在的星球，然而在太阳系之内，在银河系的千亿颗恒星周围，在银河系外的茫茫宇宙之中，难道就再也找不到其他生命乃至文明了吗？对这个问题无论给出肯定或否定的答案都会令人惊异！近几十年间，不断有各种不明飞行物（Unidentified Flying Object, UFO）出现的报道，如图 1-1 所示。20 世纪 40 年代，美国上空发现碟状飞行物，当时的报纸把它称为“飞碟”，这是人类对 UFO 兴趣的开端，后来人们着眼于世界各地的 UFO 报道，但至今尚未发现能让科学界普遍接受的证据。一些 UFO 照片经专家鉴定为骗局，有的则被认为是球状闪电或其他自然现象，95% 以上肯定不是“外星人”飞船！但始终有部分发现根据现存科学知识无法解释，所以我们有理由相信在偌大的宇宙中有其他文明，甚至是比人类更高级、更智慧的文明存在。随着物理学和现代科学技术的发展，人类对地外生命的探索也逐渐有了科学的依据和实质性的进展。

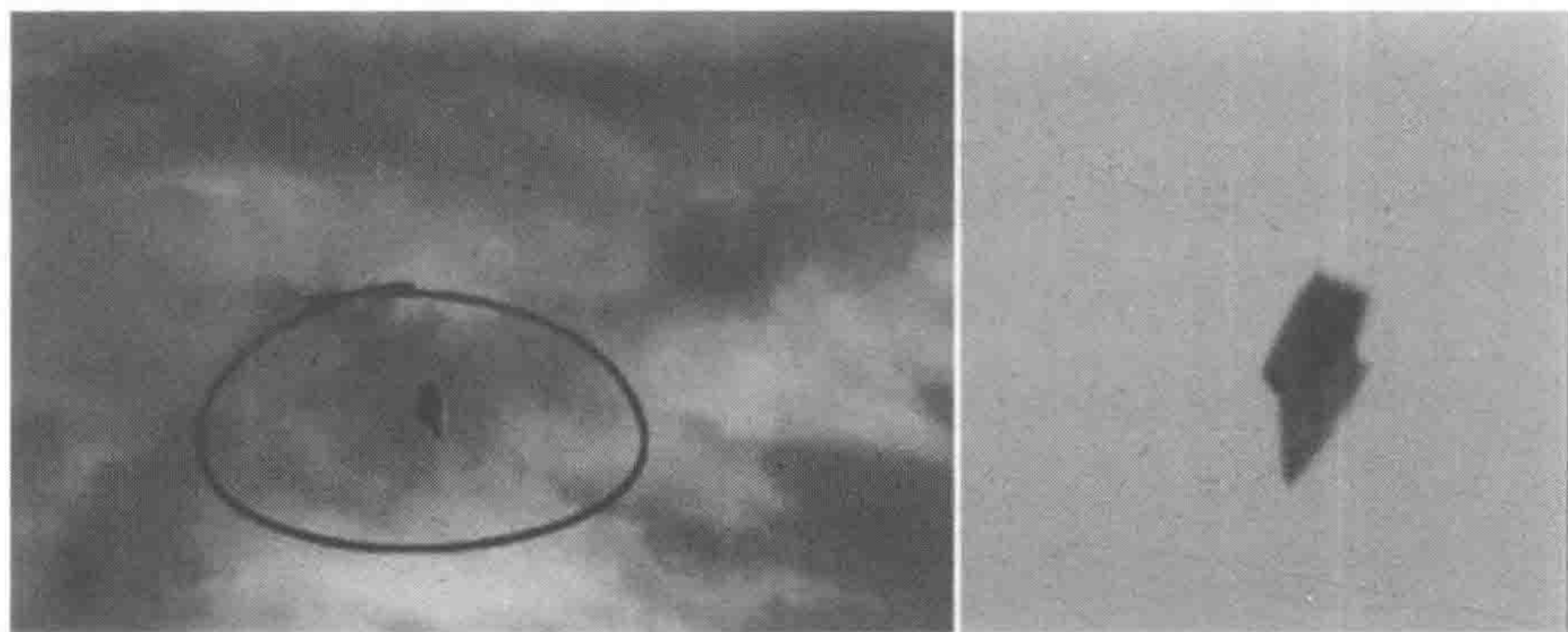


图 1-1 不明飞行物

本部分通过介绍探索地外生命的方法与进程、生命存在的条件、太阳系内外地外生命的探索和对地外生命探索的畅想几部分，从物理学的角度讲述人类探索地外生命的过程与进展。同时，尽管本章以地外生命命名，但主线是人类对地球以外生命的探索，也介绍了探索过程中的其他科学发现，包括太阳系和太阳系内各大行星及卫星的情况，旨在使读者能对宇宙探索（主要是太阳系内的探索）中的各个方面有相对全面的了解。

第一节 探索地外生命的方法与进程

地球以外是否存在生命？我们先从广泛的范围考虑，即不仅局限于太阳系。生命的问题可以有很多层次，生命可以是低级的、原始的，也可以是高级的、像人类一样智慧的生命，而智慧的生命创造了地外文明。

地球诞生于 46 亿年前，经过几百万年的演化，大气中的无机物相互结合，再与原始大海中的物质结合，形成了有机物；之后又经过数亿年，氨基酸相互结合形成了蛋白质，很多核苷酸结合在一起形成了多聚核苷酸（即有自我复制功能的 RNA）；又经过几亿年的进化过程，RNA 和蛋白质进行结合，出现了 DNA；距今 38 亿年前，厌氧性原核细胞诞生，蓝藻通过光合作用开始制造氧气，从而出现真核细胞；又经过 10 亿年的进化后，真核细胞成为真核生物，然后变成单细胞生物和多细胞生物，陆地生物出现。地球经过几亿年的演化，逐步形成一个生物圈，出现从低级到高级的智慧生命，然后有了人类五千年的文明历史。这种现象在偌大的宇宙中，是不是唯一的？我们都不相信这是唯一的，总觉得宇宙之大，在其他地方也有可能存在地外生命，甚至更高级、更发达的地外文明。地外生命在过去只能是一些猜想或传说，而各种传说不能作为科学的论断。但最近几十年来，科学技术的高度发展使人类可以对这个问题进行更深入的探索。

物理学的发展让我们对宇宙的起源越来越清晰，按“大爆炸理论”，宇宙起源于 137 亿年前高温高密的“原始火球”的爆炸，那么在 137 亿年的宇宙进化过程中，不同地方有不同的进化进程，地球 46 亿年的年龄只是小字辈，浩瀚宇宙、茫茫时间长河，其他地方有生命乃至智慧生命也在情理之中。

我们和地外文明的联系分为两个方面。最初可能是与假想的地外文明进行通信联系，即是否能收到一些地外文明向我们发射的信号，或我们也主动

地向想象中的地外文明发射一些信号。进一步就是航天技术的发展，使我们可以向宇宙发射一些探测器，但这些探测器只能在太阳系内进行比较详细的探测。1957年10月，苏联第一颗探测卫星的发射开辟了宇航时代。经过几十年的发展，我们对太阳系内其他的几个近邻都有了非常具体的了解。探测器登陆进行实地考察，直接拍摄照片、测量数据，这些内容被高度清晰地发送回来，使我们获得了很多具体的资料。根据这些资料，就能够立足于科学来讨论地外生命的问题。

一、射电监听

人类是从20世纪60年代开始与外界有一些联系的，最早可以追溯到1960年美国实施的“奥兹玛计划”（Project Ozma）。奥兹玛计划是康奈尔大学的天文学家法兰克·德雷克在美国国家无线电天文台使用位于西弗吉尼亚的绿堤电波望远镜所从事的早期搜寻地外文明的计划（SETI），计划的目的是通过无线电波搜寻邻近太阳系的生物标志信号，如图1-2所示。



图 1-2 天文学家法兰克·德雷克和绿堤电波望远镜

实验采用了射电望远镜，射电望远镜实际上是一个大的天线，是主要接收天体射电波段辐射的望远镜，可以接收来自太空中的无线电信号。其接收的信号源包括肉眼可以看见的星星，或者是外太空的人造卫星，这些天体会发射不同波长的无线电信号。当时采用的射电望远镜直径为 26m，对准宇宙中的一个目标，查看在 3 个月内能否接收到信息。实验选择 21cm 的波段，为什么是 21cm 的波段呢？这来源于一个猜测：宇宙中氢（H）元素的含量最为丰富，占 $\frac{3}{4}$ （ $\frac{1}{4}$ 是氦，其他元素可能不到 1%），氢元素在无线波段的共振频率是 21cm 的波段，如果地外文明也能想到这一点，就会用这个波段来发射，我们正好接收。因此，国际上规定 21cm 的波段为天文学专用。之后我们多次对近距离恒星进行信号发射与监听，但没有收到任何回音。1974 年，美国在波多黎各的阿雷西博天文台，用当时世界上最大的射电望远镜，向武仙座球状星团 M13 发射无线电信号 3 分钟。该射电望远镜直径为 305m，方向性强，是一个抛物面，波段不太宽（太宽需要的能量大很多），不能转动，只能观测一个约 20° 角的带状区域。可是此星座离我们太远（2.4 万光年），即使真的有，也需 4.8 万年后才能收到回音。

射电天文学的蓬勃发展，促使人们用射电的方法寻找难以想象的地外文明。科学家们认为，如果地外生命试图与我们接触，在“他们”的信号中加入一些有意义的信息，那么该信号几乎可以肯定为脉冲信号。在宇宙中，存在很多电磁波，但是绝大多数自然界的电磁波是杂乱无章的，较有规律的脉冲可能是脉冲星或黑洞发出的，另一个可能性就是地外生命发出的。因为脉冲星发出的电磁波频率非常高，而理论上黑洞发出来的脉冲过于短促，人类暂时无法探测到。所以，一系列的脉冲可以很容易地被分辨出来，具有离散抵消机制的脉冲明显是人造信号（自然的离散通常造成高频先到）。如果能找到这样的脉冲信号，几乎就能肯定外星人正在试图接触我们。

射电天文设备包括单独的射电望远镜或组成阵列的射电望远镜、灵敏的

射电探测器、处理收到的信息资料的电子设备等。为了探索地外文明，也为了与地外智慧生命联络通信，应用射电望远镜是最佳的方法。因为这种方法比较廉价，大量的信息能够以最小的代价得以发送和接收，且这种方法最快速有效，使恒星间的“对话”成为可能。

1967 年，英国剑桥大学女研究生贝尔，用射电天线接收外来信号，得到了一个等间隔（1.337s）的脉冲信号，间隔非常均匀，贝尔和她的导师休伊什猜测，这么均匀的信号可能是宇宙中的外星人在发报，并将其称为小绿人（Little Green Man, LGM），如图 1-3 所示。很快人们便意识到并非如此，而是被称为脉冲星的天体在定期向我们发射无线电波，但为什么有如此均匀的间隔呢？

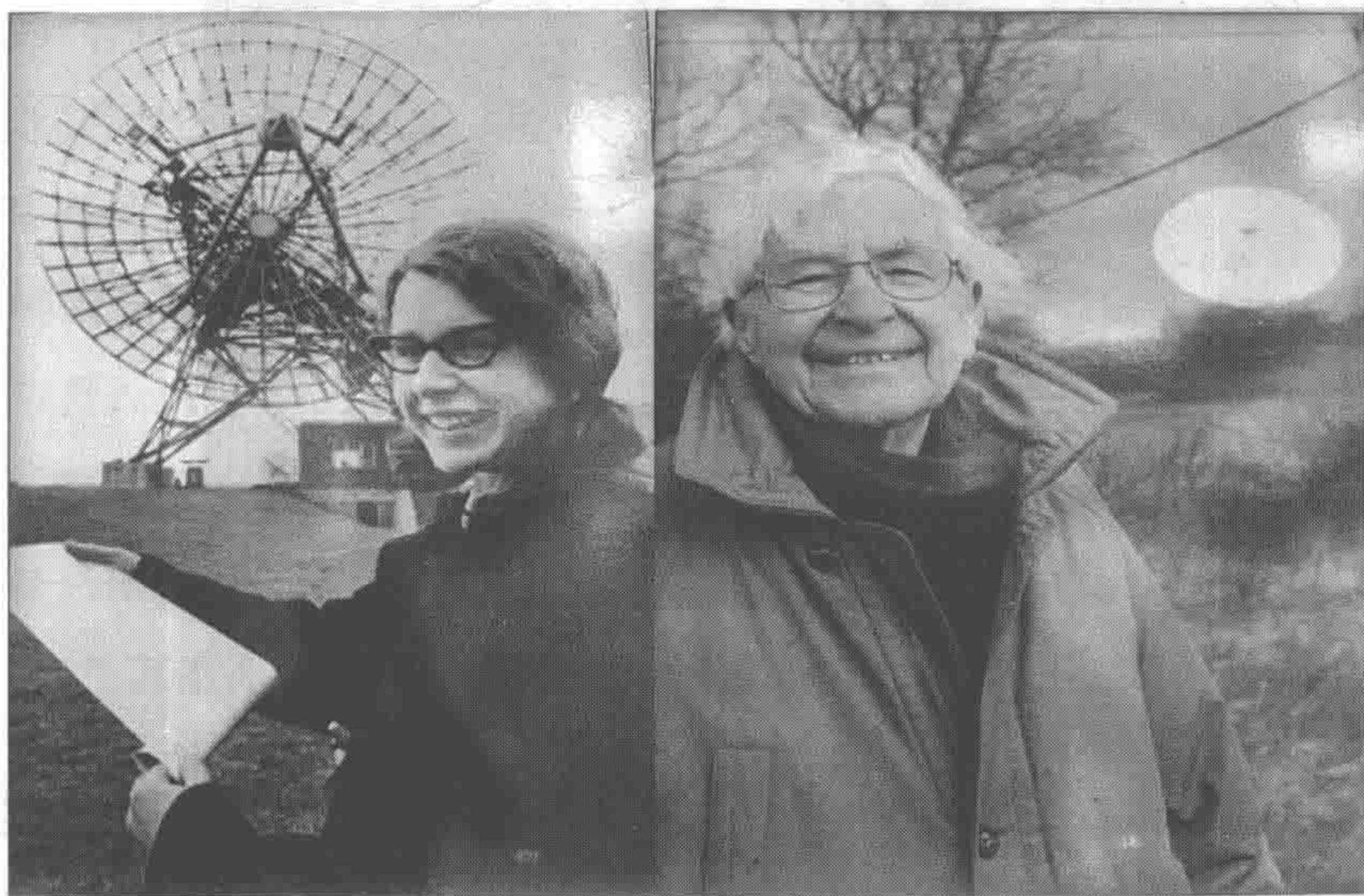


图 1-3 贝尔与休伊什

恒星和我们的地球一样，也在自转着，其自转轴和磁场方向不在一条直线上。每自转一周，它的磁场就在空间中画一个圆，扫过地球一次，转过去后就收不到了。我们设想在物理上只有星体的自转角动量守恒，转动惯量不

变，可以认为 1.337s 就是天体转动的周期。但有的星体基本上有太阳那么大，若 1s 左右自转一圈，它的角速度是多少？可能吗？

后来，人们又发现了许多脉冲星，比小绿人快得多，其中最著名的是蟹状星云，如图 1-4 所示。1731 年，一位英国人用望远镜在南方夜空的金牛星座上发现了一团云雾状的东西，外形像螃蟹，人们称它为“蟹状星云”（Crab Nebula）。蟹状星云的核心每秒转 30 次，周期为 0.033s。

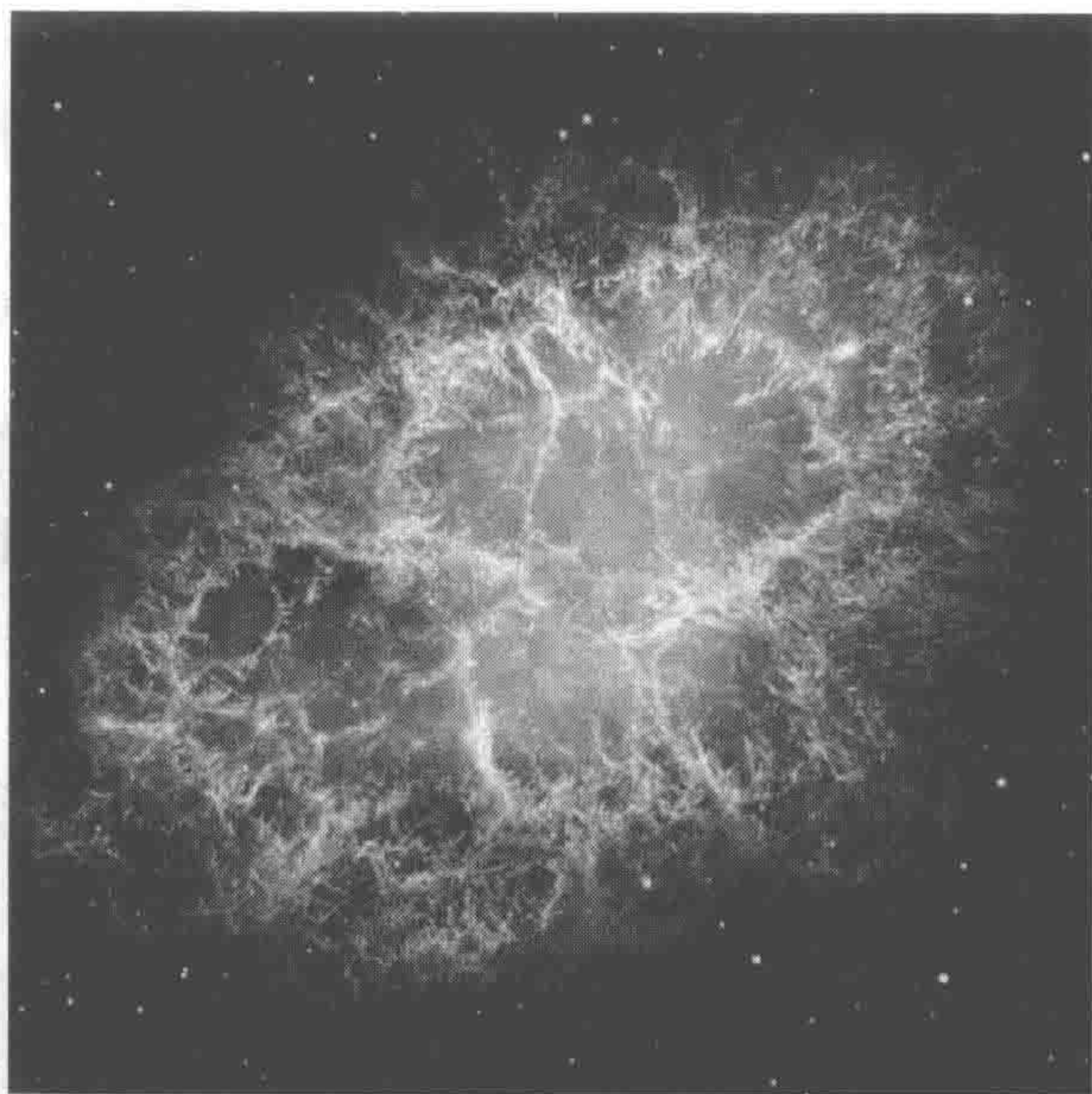


图 1-4 哈勃望远镜拍摄到的蟹状星云

按物理规律，星体转动时，其万有引力与惯性离心力相等，维持平衡。惯性离心力正比于转速的平方，转速越高，惯性离心力越大；万有引力与质量成正比，转速越高，其质量也越大，而同等体积下密度大，质量也大，因此要求脉冲星是致密的。20 世纪 60 年代认识的白矮星属于致密星体，密度为 10^6g/cm^3 ，比重为 $10^6 \sim 10^8 \text{g/cm}^3$ 。计算结果表明，蟹状星云如果具有太阳的质量，其转动不被散掉，要具有的最低密度为 10^{11}g/cm^3 。那么它又是 by 什么组成的呢？