

[美] 迪米塔尔·萨塞罗夫 | 著
Dimitar Sasselov

翟向华 / 林瑞辉 | 译

超级 地球上的 生命

*The Life
of Super-Earths*

〔来自哈佛大学的通识课程
从宇宙学视角审视生命〕

生命是什么？生命来自哪里？
地球在宇宙中是孤独的吗？



NASA开普勒任务
联合主持者 力作



上海科学技术出版社
SHANGHAI SCIENTIFIC & TECHNICAL PUBLISHERS

超级地球上的生命

[美] 迪米塔尔·萨塞罗夫 著

翟向华 林瑞辉 译

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

超级地球上的生命/(美) 迪米塔尔·萨塞罗夫
(Dimitar Sassellov)著;翟向华,林瑞辉译. —上海:
上海科学技术出版社,2017.7

ISBN 978-7-5478-3603-3

I. ①超… II. ①迪… ②翟… ③林… III. ①地球—
普及读物 IV. ①P183-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 145755 号

THE LIFE OF SUPER-EARTHS by Dimitar Sassellov
Published by Basic Books, A Member of the Perseus Books Group
Copyright © 2012 by Dimitar Sassellov. All rights reserved.
Illustrations by Sandra L. Cundiff and Michael Hardesty.

超级地球上的生命

[美] 迪米塔尔·萨塞罗夫 著
翟向华 林瑞辉 译

上海世纪出版股份有限公司 出版
上海科学技术出版社
(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

上海世纪出版股份有限公司发行中心发行
200001 上海福建中路 193 号 www.ewen.co

苏州望电印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 10.5

字数 120 千字

2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-3603-3/N·125

定价: 32.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题, 请向工厂联系调换

致 谢

这本书诞生于一门通识教育课程,《生命——一种行星现象》(*Life as a Planetary Phenomenon*),由我和我的同事安德鲁·诺尔(Andrew Knoll)设计并从2005年开始一起讲授的;我非常感激安德鲁一路走来的鼓励和指导。

我的书向普通读者介绍了与生命及其宇宙前景有关的古老且重大问题的新想法。这些问题组成了哈佛生命起源计划和它的核心科学家团队的研究日程基础——我感谢我的同事间令人惊喜的合作以及教给我在他们的领域中我所不知道的东西。我特别感激杰克·绍斯塔克(Jack Szostak),他从一开始就是一位很棒的教师 and 伙伴;感激安德鲁·诺尔和我的已故好友麦克·莱卡尔(Mike Lecar),是他们首先将我带进这个领域;感激乔治·怀特赛兹(George Whitesides),他给了我关于化学及更多方面的明智建议;感激斯坦杰·克布森(Stein Jacobsen)、斯科特·马丁(Scot Martin)、乔治·丘奇(George Church)、安·皮尔森(Ann Pearson)、理查德·奥康奈尔(Rick O'Connell)、大卫·莱瑟姆(David Latham)和莎拉·斯图尔特(Sarah Stewart),他们拓宽了我的认识界限。我受到的一些启发来

自埃尔温·薛定谔(Erwin Schroedinger)和弗里曼·戴森(Freeman Dyson)的书,以及杰拉尔德·乔伊斯(Gerald Joyce)、格雷格·文特尔(Craig Venter)和很多其他人的大胆实验;我向这本小书中没有提到其贡献的所有人道歉。

我的目标是写一本科普读物,因为新科学概念确实精彩纷呈和激动人心,而且它们对我们所有人都有直接影响。为使科学易于理解,我尝试首先提供一个全面的介绍,接着给出我自己关于这些未决问题的观点,而将技术细节仅仅放在尾注中。多亏了约翰·布罗克曼(John Brockman)和卡汀卡·马森(Katinka Matson),我的书朝着这一目标走了正确的路;我的经纪人马克斯·布鲁克曼(Max Brockman)确保了这个项目的完成——我对他们的指导和支持表示深深的感谢。

从实验室到学术论文,再到通俗易懂的科普书,这条路是曲折的;我极其幸运,因为有凯莱赫(T.J. Kelleher)作为我的编辑,从几年前的第一次会面到最后的润色,一路陪伴走来,他懂科学而且是一位有才华的作家!我的朋友彼得·阿布雷什(Peter Abresch)帮助我迈出了最初的几步,并在我的第一章中,给我展示怎样才能写得好。我非常感激他们两人,正如我非常感激安德鲁·诺尔,因为他批判性地阅读了这本书与生物学有关的章节。也要感谢天才艺术家桑得拉·坎迪夫(Sandra Cundiff)和迈克尔·哈迪斯蒂(Michael Hardesty)为本书创作漂亮精美的插图。

我把深深的感谢献给我的家庭,没有他们的鼓励、耐心和支持,这本书将不可能问世:感谢我亲爱的父母,他们给予我生命并支持我的事业;感谢我亲爱的妻子希拉(Sheila),在整个过程中始终陪伴在我身旁。

目 录

致谢 / 1

引言 生命之谜 / 1

第一篇 超级地球

第一章 终见系外行星 / 9

第二章 行星世界 / 15

第三章 完成哥白尼革命 / 20

第四章 追逐凌星 / 28

第五章 超级地球——新型行星 / 49

第六章 超级地球——宇宙中最硬的岩石 / 62

第二篇 生命的起源

第七章 生命的尺度 / 69

第八章 生命的起源：为什么是行星？ / 79

第九章 生命是一种行星现象 / 86

2 超级地球上的生命

第十章 我们能称之为家园的地方 / 93

第十一章 时间的流逝：宇宙很年轻，生命更年轻 / 104

第十二章 生命的未来 / 123

注释 / 134

索引 / 160

引言 生命之谜

生命是什么？它是如何产生的？能与之相提并论的重大问题并不多。这一直是一个重大问题，尽管并不总是仅从科学角度来看。作为回答，一直以来人们提供了许多模型、图景、推测和想法，当然大多数并不那么成功。但是在 19 世纪看似平常的一天，沿着大西洋底部的电报电缆挖出的黏泥样本改变了这一局面。

我们今天生活在一个全球意识世界里，1857 年可以看作人类为在这个星球上创造一个全球世界而采取了实践性的第一步的时间。改造过的英国和美国军舰满载着电缆，正在大西洋底部铺设欧洲和美洲之间的首条电报连线。人类靠步行或马或鸽子传递新闻的时间表正在逝去，最终取而代之的是以光速进行的瞬时通讯。日和周正在被时和分所代替。正如当时的报纸所写的：分割人类几千年的海洋似乎“突然枯竭了”。

在准备铺设电报电缆时，HMS 独眼巨人号和 USS 北极号等轮船宣布触到大西洋底部并在洋底取样。1868 年，英国生物学家赫胥黎(Thomas Henry Huxley)(其主要成就在比较解剖学，尽管今天更以达尔文进化论的普及者而闻名)在取自大西洋的样本中发现了一

种胶状、无色且无定形的物质,认为那是一种新的生命形式。赫胥黎认为,那不仅仅是某种生命形式,而是原始的有机物质,生命起源的未分化原生质。

对于一个令人兴奋的年代,在寻求理解生命及其起源上,这是一个大胆的想法,赫胥黎正当其中。首先,1859年查尔斯·达尔文(Charles Darwin)发表了他的影响深远的《物种起源》,进化论成为广泛且热烈争论的话题。然后在1860和1863年间,路易·巴斯德(Louis Pasteur)完成了他著名的灭菌实验(巴氏消毒法)。通过他们,关于生命起源的长久持有的概念正在被彻底颠覆。

在达尔文和巴斯德之前,西方科学已试图通过自然发生论和活力论^①的结合来解释生命起源。自然发生论的观点认为生命产生于降解物质,活力论被一种对所有有机物和空气都很普遍的生机力所浸染。活力论已经遭到来自化学的攻击。在其早期发展中,化学将无机化合物与有机化合物分离开来,后者被错误地假定仅能从生命形态中得到。1828年一经有机化合物在实验室中合成,生机力就行将消亡了(尽管有机化学仍旧保持了其名字)。

自然发生论的谬论在巴斯德之前就暴露在关于肉汤煮沸实验中,但是巴斯德的优雅实验允许使用空气,从而证明了生命仅源自生命。他用来煮沸肉汤的鹅颈烧瓶阻止了微生物(比如细菌和孢子)进入灭菌液体而仍然留在空气中。看来巴斯德说服了每个人。

那都不能帮助科学家理解生命起源,除了现在他们能清晰陈述

^① 活力论,又称“生机论”。这种学说认为生物和非生物的区别就在于生物体内有一种特殊的“生机力”来控制生物的生命活动。

这个问题。巴斯德和达尔文都把起源描述为自然发生的单一行为：首次生命形式产生于无生命物质，这只发生一次。对于巴斯德，它是上帝创造的行为，而根据达尔文写于 1871 年的一封信，他把它归为一个“小温池”。

在这样的背景下，赫胥黎认为他有重大发现就不足为奇了。实际上，他把他的发现命名海克尔原肠虫(*Bathybius haeckelii*)，因为德国生物学家恩斯特·海克尔(Ernst Haeckel)不久前提议所有生命起源于一种他称为原始泥状物(*Urschleim*)的原始软泥。的确，赫胥黎确信他已经找到了原始泥状物，并且这个“发现”帮助促使 HMS 挑战者号在世界海洋深处的系统探索快速进行。但海克尔原肠虫或原始泥状物的踪迹并没有找到；相反，化学家登上轮船发现赫胥黎的奇妙物质只不过是一种化学产物(水合硫酸钙)。1875 年赫胥黎承认了他的错误。

虽有赫胥黎的错误，但对于根源的寻找从来没有停止。20 世纪依然有里程碑和概念性的突破，尽管有时它们只是像 19 世纪的事件在分子水平上的重播：生命分子取代了病菌和微生物，但与生命紧密相关的谜团依旧。

1953 年，在哈罗德·尤里(Harold Urey)实验室工作的斯坦利·米勒(Stanley Miller)表明了蛋白质的基础——氨基酸，以及与达尔文所冥想的在“小温池”中化学形成的同样的蛋白质化合物，可以在含有氨气、甲烷、水，以及放电的烧瓶中进行合成。很棒的第一步！同一年，沃特森和克里克解决了 DNA 分子的结构。整体来看，20 世纪的生物学是一个顶峰，但是对生命起源的研究却少得多：原始生命怎么会有如此复杂的分子？

接下来,1969年9月,真正来自上天的礼物——默奇森陨石,降落在澳大利亚。对这片来自太阳系早期历史的原始未加工材料进行快速分析,揭示了一组丰富的有机分子以及它们之间的许多氨基酸——与米勒-尤里实验中合成的没有什么不同。现在我们有了从未并入大行星或小行星的岩石材料,尽管来自经过足够预热恰好含有液态水的一大块。原始材料通过纯化学反应产生了蛋白质的基石。2008年和2010年的研究揭示了大约14 000种不同的有机化合物,包括两种核酸碱基。

尽管这些发现非常令人振奋,它们仍然没有回答我们的重大问题。地球上生命的真正起源还是那样令人难以捉摸,并且可能会一直那样。毕竟,这是一个历史问题,需要知道并未在地球的地质记录中保存下来的环境。更一般的问题——关于从化学成分到生命的可能途径——好像在现今科学中更触手可及。

天文学以及对系外行星的寻找——环绕其他恒星轨道运动的行星——提供了解决这个问题的一条途径。探索其他类地行星给我们提供了一个机会,在保持生命出现之前的条件下去研究我们自己星球的类似物。这种方法在天文学上获得极大成功。我们利用代理(proxy)研究恒星,通过考察处于生命周期其他阶段的类似恒星,随着时间来“认识”我们的太阳。因此,在某种意义上,仅仅通过询问:其他行星上有生命吗?我们就可以回答关于生命的起源,关于生命是什么,以及环境如何决定生命的出现这类一般问题。宇宙中的恒星比地球上所有沙滩的沙粒还要多,并且行星至少和恒星一样多。假如仅有百分之一的行星像地球,在这些行星上必然有生命吗?

天文学总是与大数字——天文数字有关，与大数字相关的经验告诉我们，它们不保证必然性。我们必须自己去寻找。不过，好像在某些类地行星上，我们将会发现生命的信号。当我们发现新地球——可以称之为家园的行星——“多世界说”的问题就会来到面前，再次提醒我们：我们不是宇宙的中心。哥白尼革命首先做到了这一点，将太阳而不是地球放在我们行星系的中心。那个转变启动了现代科学和技术。今天，两项成就将我们摆在完善哥白尼革命的边缘。一项是发现了新地球。另一项是合成生物学时代。这两个里程碑将以我们之前难以想象的方式告知我们在宇宙中的位置。

想坐到前排来揭开这些事件吗？上船吧，我们就要启航。

第一章 发现系外行星

第一篇

超级地球

1981年10月，我在加州理工学院参加一个学术会议。17世纪以来个无解的古谜是，麦斯威尔(Millais)曾预言除了为文学。我在那里和我的朋友门一起思考，以重新想法。在一次不经意的谈话中，一个大胆的想法之出现了最深信不疑的假设。

在一天会议间隙的时候，我们几个天文学家米歇尔·梅尼(Michel Mayor)讨论过度的小行星——一颗环绕着恒星“飞马座51”运行的，体积大的像木星一样的行星，这个天体本身并没有什么令人惊叹之处。在20世纪70年代中，这种的高科技系系来来去去。但是距离引起我注意的是，梅尼和他的研究生迪迪埃·塞洛兹(Didier Queloz)是在白天为计算单位测量这颗行星的轨道周期，而科学家们预期的以年计。这颗新行星环绕它的恒星一圈仅用4天时间。

我将很惊讶。

好吧，恒星是热的发亮，而不是行星，但是行星的轨道和位置都量，而这是不符合常识。早在高中的最后一节，我读到过关于我们太阳系的理论——拉普拉斯模型(Laplace model)，这个模型道伊星

第一章 终见系外行星

1995 年 10 月，我正在意大利佛罗伦萨参加一个学术会议。17 世纪在那个美丽的古城里，麦第奇 (Medicis) 家族资助了天文学。我在那里和我的同行们一起思考、交流新想法。在一次不经意的谈话中，一个大胆的新概念颠覆了我深信不疑的假设。

在一天快结束的时候，我们几个正与瑞士天文学家米歇尔·梅厄 (Michel Mayor) 谈论他发现的小伴星——一颗环绕着恒星“飞马座 51”运行的、体积大约像木星一样的行星。这个声称本身并没有什么令人惊叹之处，在过去几十年中，这样的声称经常来来去去。但真正引起我注意的是，梅厄和他的研究生迪迪埃·奎洛兹 (Didier Queloz) 是在以天为计算单位测量这颗行星的轨道周期，而并非人们预期的以年计。这颗新行星环绕它的恒星一圈仅用 400 天！

我将信将疑。

好吧，恒星是我的专长，而不是行星，但是行星的基础知识我都懂，而这并不符合常识。早在高中的最后一年，我就知道构成我们太阳系的康德-拉普拉斯模型 (Kant-Laplace model)。你可能知道伊曼

努尔·康德(Immanuel Kant)是一位哲学家,但作为一名年轻人,他还是一位天文学家和艾萨克·牛顿(Isaac Newton)的追随者。康德当时在科尼斯堡大学工作,位于今天波罗的海沿岸的加里宁格勒。他利用牛顿的新微积分和理论力学来解决太阳系的一个显而易见却无法解释的性质。

康德之前的天文学家就已经注意到,所有行星都在同一平面上沿同一方向绕太阳运转,这个方向也是太阳自转的方向。大多数行星也沿同样方向自转。通过类比土星光环,康德为这个问题提供了一个优雅的解答。行星由环绕太阳的颗粒组成,它们形成了旋转的扁平圆盘状,而角动量守恒解释了它的扁平形状。^① [我以前的导师查尔斯·惠特尼(Charles Whitney)在《银河系的发现》(*The Discovery of Our Galaxy*)这本书中详细叙述了这个故事,但由于康德的出版商破产了,他当时没有得到应有的信任。]^[1] 1796年,皮埃尔-西蒙·拉普拉斯(Pierre-Simon Laplace)将数学的严谨性加进了康德的思想,康德-拉普拉斯模型经过了250年的批判、变化和改善,而保留了它的根本基础存活下来。

还有其他东西使我发觉迈克尔的发现有点难以置信。根据康德-拉普拉斯模型的现代版本,在大约两到三倍地球到太阳距离的地方,有一条曲线,在那里环绕恒星的气态圆盘的温度降到只有170开尔文,或者华氏零下150度,在这个温度上水和氨气分子在那样稀薄的空气中形成冰粒和雪花。^[2] 这两种轻材料,以及最终的氢气,与尘埃粒子混合,成为沿轨道环绕太阳运行的巨大气体行星。在所谓的

① 角动量是旋转体的质量、速度和大小的乘积;物体本身的角动量将保持守恒。如果物体的大小在收缩,它就必须更快地旋转以补偿其大小的减少。环绕年轻恒星的气体和尘埃,当沿轨道绕其旋转时,它们的质量向内收缩,从而获得扁平圆盘形状。