

CAMBRIDGE

启真·科学

[美]
弗里曼·戴森
著

林开亮 刘少敏
译

生命的起源

Origins of Life

ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

启真·科学

Origins
of
Life

起 生
源 命
的

[美]

弗里曼·戴森
著

林开亮 刘少敏
译

图书在版编目(CIP)数据

生命的起源/(美)弗里曼·戴森著;林开亮,刘少敏译. —杭州:浙江大学出版社,2017.4

书名原文:Origins of Life

ISBN 978-7-308-16560-0

I.①生… II.①弗… ②林… ③刘… III.①生命起源 IV.①Q10

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第004177号

生命的起源

[美] 弗里曼·戴森 著 林开亮 刘少敏 译

策划编辑 周 运

责任编辑 王志毅

装帧设计 罗 洪

出版发行 浙江大学出版社

(杭州天目山路148号 邮政编码310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

制 作 北京大观世纪文化传媒有限公司

印 刷 北京天宇万达印刷有限公司

开 本 635mm×965mm 1/16

印 张 11.5

字 数 125千

版 次 2017年4月第1版 2017年4月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-16560-0

定 价 39.00元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行中心联系方式: (0571) 88925591; <http://zjdxcbbs.tmall.com>

Origins of Life, 2nd Edition (ISBN-13: 978-0521626682),

by Freeman Dyson, first published by Cambridge University Press 1999.

All rights reserved.

This simplified Chinese edition for the People's Republic of China is published by arrangement with the Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.

© Cambridge University Press & Zhejiang University Press 2017

This book is in copyright. No reproduction of any part may take place without the written permission of Cambridge University Press and Zhejiang University Press.

This edition is for sale in the People's Republic of China (excluding Hong Kong SAR, Macau SAR and Taiwan Province) only.

此版本仅限在中华人民共和国境内（不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区）销售。

浙江省版权局著作权合同登记图字：11-2016-419 号

目 录

前言	1
----	---

第一章 杰出的前辈

薛定谔和冯·诺依曼	5
艾根和奥格尔	16
马古利斯	19
木村资生	24

第二章 实验和理论

化学	28
遗传学和古生物学	31
深热生物圈	37
理论	40
奥巴林	41
艾根	43

凯恩斯-史密斯	48
---------	----

第三章 玩具模型

新陈代谢的意义	54
玩具模型的详细说明	59
模型的结果	68

第四章 尚未解决的问题

生命为何如此复杂?	78
玩具模型提出的其他问题	87
更广泛的寓意	93

参考文献	101
------	-----

索引	107
----	-----

垃圾袋世界：戴森谈地球上	
--------------	--

生命的起源	119
-------	-----

戴森传奇	128
------	-----

前言

1785 年 1 月，布兰卡德 (Blanchard) 和杰弗里斯 (Jeffries) vii
进行第一次载人飞行实验，横渡英吉利海峡。1985 年，在这个重大事件二百周年之际，我碰巧在剑桥大学作塔纳讲座 (Tarnar Lecture)。就像一名勇敢无畏的热气球飞行员一样，作公开演讲的演讲者必须携带热空气和镇流器，以便控制飞行。当演讲内容太少时要补充热空气，而当内容太多时则要启动镇流器。在准备将这个公开演讲出版时，我把当时没有来得及讨论的内容补充了进来。非常感谢三一学院对我的热情款待，感谢听众们提出的各种犀利的问题和作出的有益评论。1998 年，在修订本书以再版时，我收到了来自第一版的读者所提出的诸多评论，受益良多。我深深感谢给我指正错误的每个人，感谢告诉我进化生物学最新进展的每个人。我要特别感谢凯恩斯·史密斯 (Cairns Smith) 教授，他阅读了新版本并提出了宝贵的意见。第一版是在塔纳讲座的讲稿的基础上稍作修改，编辑而成。第二版实质性地扩充了第一版的内容，而不仅仅是第一版的重印本。过去的三十年里发生了许多事情，这些都使我们对生命早期进化有了更进一步的认识。考

考虑到新的发现，我对我要讲的故事作了修改。然而，生命起源的根本之谜仍未解决，所以本书的中心主题保持不变。

塔纳讲座建立的初衷要求演讲者讨论“科学哲学与不同知识学科之间的关系或可期待的关系”。但我的演讲打算忽略这一要求。我更喜欢讨论具体的科学问题，而不是海阔天空地谈论哲学。

viii 因为我认为对生命起源进行一次新的尝试性批判的时机已经成熟，所以我选择生命起源作为演讲的主题。这个演讲的主要目的是激励实验。然而，生命起源的研究会涉及很多学科，并引发许多哲学问题。因此，我发现，尽管我本着务实和非哲学的出发点，但出乎意料的是，我与塔纳先生的初衷不谋而合。四个小时一直都在讨论生命起源，而不接触一些能够联系相距甚远的科学分支的想法，以及一些游荡于科学与哲学边界的其他想法，这是不可能的。

这个演讲面向普通大学生。我希望这本书的读者也能从中受益，但不期望大家通过这本书达到专家的水平。对于我本人，我也如此期望。我不会冒充生物学专家。我没有系统深入地读完这方面的科技文献。在我进行实验和观点的调查时，我也没有试图完整地调查一切，甚至无法保持绝对公平的态度。我在此向所有人，在世的和已逝的，提前道歉，他们的知识贡献都被我忽略了，尤其要对霍尔丹 (J. B. S. Haldane)、德斯蒙德·博纳尔 (Desmond Bernal)、西德尼·福克斯 (Sidney Fox)、海曼·哈特曼 (Hyman Hartman)、皮尔·路易西 (Pier Luisi)、朱利安·西斯科斯 (Julian Hiscox)、李·斯莫林 (Lee Smolin) 和斯图尔特·考夫曼 (Stuart Kauffman) 致歉。我还要向保罗·戴维斯 (Paul Davies) 道歉，他

的优秀著作 (Davies, 1998) 已经出版, 我错过了与戴维斯友好讨论的机会, 以讨论我们观点的一致与分歧之处。

我很感谢马丁·里斯 (Martin Rees) 和西德尼·布伦纳 (Sydney Brenner) 邀请我参加 1981 年 9 月在剑桥大学国王学院举行的名为“从物质到生命”的会议。生物学家、化学家、物理学家和数学家济济一堂, 讨论生命的起源, 三天时间内, 我获得了作为一位进化生物学家所受到的绝大部分教育。那次会议启发了我在本书中所表达的观点。我还要感谢三一学院的领导和朋友邀请我 1985 年去剑桥作塔纳讲座。

本书的前两章都是历史。第一章介绍对我思考生命起源这一问题贡献最大的六个人。第二章更详细地描述关于生命起源的主要理论及其实验背景的产生。第三章是最专业的章节, 描述了我本人对这门学科的贡献, 即一个数学模型, 试图以抽象的形式描述分子群中从混乱到有序的新陈代谢活动的演化过程。第四章描述了该模型留下的一些尚未解决的问题, 以及这个模型对生物进化后期的影响。在第四章的结尾, 为尊重塔纳先生, 我在哲学理念中加入了其他题外话。我对生命起源的理解方法强调多样性和容错性作为生命的显著特征。这种做法使我得出细胞生物现象和生态与文化演化现象之间的类比, 尽管这些推测类比的有效性对于我们理解细胞生物学并不重要。 ix

弗里曼·戴森

美国新泽西州普林斯顿高等研究院

1998 年 11 月

第一章 杰出的前辈

薛定谔和冯·诺依曼

1

1943年2月，在人类历史上一个黯淡的时刻（译者按：第二次世界大战期间），物理学家埃尔温·薛定谔（Erwin Schrödinger）在位于都柏林的三一学院向一群普通听众作了一系列的演讲。就像一千四百年前的圣·科伦巴时代（Saint Columba）那样，当时的爱尔兰远离侵略，是学者们的避难所和文化中心，那里是欧洲为数不多的、仍然可以安静地进行科学深思的乐土之一。薛定谔无比自豪地在该演讲的出版物里写道：“那一系列的演讲面向大约四百多名听众。”1944年剑桥大学出版社出版了一本名为《生命是什么？》的小开本书（Schrödinger, 1944）。那本书就是薛定谔演讲的出版物。

薛定谔的书不到一百页。这本小书受到人们的广泛阅读，指引了随后数十年里那些创造分子生物学科学的年轻人的想法。它言简意赅，从头至尾仅列出了五篇参考文献，使用了不到十个方程式。顺便说一句，整部书是一篇优美的英语散文。尽管薛定谔在年过半百时才从他的祖国奥地利被放逐到爱尔兰，但他的英语

写作比那些与他同时代的英美人优美得多。仅仅是各章的题词就展示了他的世界性背景：有三章的题记引自歌德（德文），三章的题记引自笛卡儿和斯宾诺莎（拉丁文），还有一章的题记引自乌纳穆诺（西

2 班牙文）。我引用他在前言里的开场白作为他写作风格的一个示例。

人们通常认为，科学家对某些学科应该掌握全面而深入的第一手知识，因此他不会就他并不精通的论题去著书立说。这就是所谓的位高则任重。可是为了目前这本书的写作，如果我有什么高位的话，我恳请放弃它，从而免去随之而来的重任。我的理由如下：

我们从祖先那里继承了对于统一的、包罗万象的知识的强烈渴望。最高学府所被赋予的那个名称（即 **university**）提醒我们，从古至今数千年以来，唯有普遍性才是最受称赞的方面。然而，近一百多年来，知识的各个分支在广度和深度上的拓展却使我们面临一种奇特的困境。我们清楚地感觉到，要把所有已知的东西融合成一个整体，我们仅仅是在最近才获得可靠的材料；但另一方面，一个人想要充分掌握比一个狭窄的专门领域更多的知识，已经变得几乎不可能了。

要想摆脱这种困境（以免永远无法实现我们真正的目标），我认为唯一的出路是：我们当中某些人敢于对这些事实与理论进行综合，即便只有一些不完备的二手知识；并且不怕当众出丑。我的辩解就到这里。^[1]

[1] 这里的中译文引自张卜天的译本《生命是什么？》，见书后参考文献[39]。——译者注

于我而言，虽然物理学家当众出洋相的风险可能有点儿大，但是物理学家为进军生物领域而做辩解将同时适用于薛定谔和我。

薛定谔的书具有开创性，并且影响深远，因为他知道怎样提出恰当的问题。细胞分裂时，被复制分子的物理结构是什么？如何理解分子的复制过程？每一代分子怎样保留自己的特性并且遗传给后代？它们如何成功控制细胞的新陈代谢？它们怎样在高等生物的结构和功能里创建可见的组织？虽然他本人没有回答这些问题，但他通过提问，引导了生物学在随后四十年的非凡成就和具有划时代意义的发现：双螺旋结构、遗传学的三联体密码、精确分析和大规模合成基因，并定量测量物种的进化趋异。 3

马克斯·佩鲁茨 (Max Perutz)，分子生物学的伟大先驱之一，自 1943 年起，就一直活跃在分子生物学领域。与我对薛定谔的书的高度评价不同，他对《生命是什么？》持尖锐异议 (Perutz, 1989)。佩鲁茨写道：“遗憾的是，通过对他的书及其他相关作品的仔细研究，我发现他的书中正确的部分不是原创的，而大多数原创的部分在他写这本书时都被认为是不正确的。”佩鲁茨的说法很有道理。薛定谔对于现有知识的观点是从他的朋友马克斯·德尔布吕克 (Max Delbrück) 处借来的，并且他对于自己所提问题而猜想出的答案大多是错误的。更为遗憾的是，薛定谔对化学一无所知。由于他处在爱尔兰孤立的环境下，因而对于德尔布吕克 1937 年移居美国之后在噬菌体遗传学新领域所做的研究知之甚少。但是，薛定谔从未声称他的观点是原创的。他的著作的重要性在于，他提出了诸多有意义的问题，而不在于他所猜测的答案是否正确。尽管佩鲁茨有异议，薛定谔的书仍因他提出的恰当问题而成为经典。

薛定谔不仅在他提出的问题上表现出非凡的智慧，就连他未提出的问题也反映出他缜密的思考。他没有提问任何有关生命起源的问题。他知道，1943年，人们已经对生命物质基础有了初步的了解。他也明白，初步了解生命起源的时机还不是那么成熟。在还没有理清生物过程中进行的基本化学反应之前，在生命起源之前的自然环境下，讨论自然发生学说的可能性毫无意义。他明智地将问题留给后人来解决。

半个世纪以后，现在是时候探讨薛定谔避而不谈的问题了。由于曼弗雷德·艾根 (Manfred Eigen)、莱斯利·奥格尔 (Leslie Orgel) 以及托马斯·切赫 (Thomas Cech) 的实验发现引导着我们的想法，如今我们希望对生命的起源能够提出恰当的问题。生命起源问题现在也已经能够由实验加以阐明，正如分子结构问题在 20 世纪 40 年代可以通过实验进行验证一样。因为薛定谔的想法以蒂莫菲耶夫-雷索夫斯基 (Timoféeff-Ressovsky) 的实验发现为基础，所以他就分子结构提出了恰当的问题。雷索夫斯基通过 X 射线照射果蝇，测量了不同辐射剂量和基因突变率之间的关系。德尔布吕克是雷索夫斯基的朋友，并与他一起发表了一篇描述和解释该实验的论文 (Timoféeff-Ressovsky et al., 1935)。这篇文章为薛定谔提出的问题提供了实验依据。1937 年，德尔布吕克来到美国后，继续从事分子结构相关问题的研究。德尔布吕克偶然发现噬菌体可以作为一种理想的生物学实验材料，是一种免除了各种无关紧要的复杂性的生物系统，并简化为一种几乎全裸的遗传组织。噬菌体之于生物学无异于氢原子之于物理学，地位非常重要。采用类似的方法，艾根成为 20 世纪 70 年代研究生命起源问题的

主要探索者，因为他用试管进行分子进化研究的时候，无意中使用了核糖核酸（RNA）这一理想的实验材料。艾根的 RNA 实验进一步深化了德尔布吕克的噬菌体实验：基因是完全裸露的，所以我们可以不受其他环境条件的干扰下研究其复制的情况。

在详细讨论艾根、奥格尔和切赫的实验之前，我想先阐述我对薛定谔的一些看法。虽然这样做有些冒险，但我必须大胆指出，薛定谔在讨论生命本质时遗漏了一个关键点。我觉得艾根在讨论生命起源时也没有抓住这一关键点。我要赶紧补充一句，尽管我不同意薛定谔和艾根的论点，但是我并不怀疑他们在生物学上的伟大贡献。我只是说，他们并没有提出全部的重要问题。

在薛定谔的书里，有四章详细讨论了生物复制现象，但有关新陈代谢，只有一章略略带过。薛定谔发现了精确复制和新陈代谢在物理学上的概念依据。复制是用分子结构在量子力学方面的稳定性来解释，而新陈代谢则被解释为活细胞遵循热力学定律，从其生存环境中提取出负熵的能力。毫无疑问，薛定谔显然对生物复制更有兴趣。原因有二：首先，他是量子力学的创造者之一，对他来说，运用熟悉的知识来解释生物学意义水到渠成；其次，他的想法建立在雷索夫斯基的实验基础上，但是他的想法与该试验都在同一个方向有失偏颇。该实验检测了 X 射线对生物复制的影响，并没有试图观察 X 射线对新陈代谢的影响。当德尔布吕克来到美国时，他也带着这种偏颇的想法。在德尔布吕克的新实验体系中，噬菌体是一种只有复制功能，自身并不进行新陈代谢的专性寄生生物。事实上，正是这种对基础、高度专业化生命形态的集中关注，使得德尔布吕克能够进行一系列探索生物复制物理基

础的实验。因此找到一种无新陈代谢功能的生物来进行实验分离复制现象很有必要。与同时代的人相比，德尔布吕克对复制功能进行了更深入的研究，因为他并没有因新陈代谢问题而分心。薛定谔透过德尔布吕克的眼睛看到了生物世界。薛定谔认为，生命有机体的构成类似于噬菌体，这大大超过它与细菌或人类的相似度，这一点不足为奇。他的书中有一章专门写了生物的新陈代谢，看起来这是他后来为了顾及该书内容的完整性而补充的，但这不影响他讨论的主线。

薛定谔的观点，从生物复制的事实而导致的基因的量子力学结构，主线清晰，影响深远。这为分子生物学的后续发展起到了示范作用。至于被忽视的新陈代谢功能，无论是薛定谔本人，还是那些以他为模范的生物学家，似乎都没有被他的主要论点和讨论新陈代谢这两者之间的逻辑断点所困扰。经过半个世纪的进步，现在回顾他 1943 年的演讲，我们可能会觉得奇怪，为什么他没有提到该逻辑断点所引出的一些基本问题：生命究竟是一项功能还是两项？新陈代谢和复制之间是否存在一种逻辑联系？我们能想象出只有新陈代谢功能而不能复制的生命体，或者只有复制功能而不能进行新陈代谢的生命体吗？这些问题都没有得到回答，因为薛定谔和他的继承者们理所当然地认为，生命体的复制功能是首要的，新陈代谢则为次要。随着他们对于生物复制的了解渐趋完整，新陈代谢也就被打入冷宫而鲜有人问津。普通人对于分子生物学的认识是，生命与复制功能实际上密不可分，我们在中学也是这样教育学生的。在今天，人们讨论生命起源时，人们常常想当然地把生命的起源与复制功能的起源合二为一混为一谈，认

为两者是同一件事。艾根的观点就是这个潮流中的一个极端例子。因为艾根希望研究生命体的复制功能，再加上他对于代谢功能毫无兴趣，因此选择了不具有新陈代谢功能的 RNA 作为试验材料。艾根的生命起源理论实际上就是复制功能的起源理论。

在此，我需要指出复制与增殖之间的明显差异。我提出一个假设：假设最早的生物可以增殖，但是不能复制。这意味着什么？对一个细胞而言，所谓增殖，就是细胞分裂成两个大小差不多的子细胞；对一个分子而言，所谓复制，指的是产生一个和它完全相同的化学结构物。细胞可以增殖，但只有分子可以进行复制。现代的细胞增殖一定总伴随着分子的复制，但过去并非一直如此。

当我们讨论新陈代谢的时候，清楚地说明我们的观点也是相当重要的。我的一位美国朋友是专业的分子生物学家。他曾经告诉我，他从来没有想到有必要考虑新陈代谢是否可能发生在复制开始之前这个问题。对他来说，新陈代谢这个词就是由核酸的遗传组织指挥的化学过程。如果这个词有这个意思，那么根据定义，如果没有遗传组织的指挥，新陈代谢就不可能存在。他说，当他的一个德国同事说新陈代谢可能首先出现时，他惊呆了。他质问那个德国人，怎么能用这样一个不合逻辑的想法来开玩笑。对那个德国人来说，新陈代谢先于复制产生的观点没有什么不合逻辑的，因为新陈代谢在德语中是 *Stoffwechsel*，翻译成英语就是 “*stuffchange*” (物质变化)。这意味着，无论是否受到遗传组织的指挥，细胞内部都会发生化学反应。我的美国朋友告诉我，在美国学习分子生物学的大学生一直使用新陈代谢这个词来表示遗传指挥过程。这就是他们理所当然认为复制首先出现的原因之一。因此，我在本