地外生命

The Demon in the Machine

of information are
y of life

需要全本请访问 www.ertongbook.com

生命与新物理学

（Paul Davies）
[英] 保罗·戴维斯／著
王培／译

The Demon in the Machine

How hidden webs of information are solving the mystery of life

中信出版集团 | 北京

图书在版编目（CIP）数据

生命与新物理学/（英）保罗·戴维斯著；王培译
.--北京：中信出版社，2019.8
书名原文：The Demon in the Machine
ISBN 978-7-5217-0674-1

I.①生… II.①保… ②王… III.①生命起源－普及读物 ②生物物理学－普及读物 IV.①Q10-49 ②Q6-49

中国版本图书馆CIP数据核字（2019）第103215号

THE DEMON IN THE MACHINE by Paul Davies
Text Copyright © Paul Davies 2019
First published in Great Britain in the English Language by Penguin Books Ltd. 2019
Copies of this translated edition sold without a Penguin sticker on the cover are unauthorized and illegal
Published under licence from Penguin Books Ltd. Penguin(in English and Chinese) and the Penguin logo are trademarks of Penguin Books Ltd.
Simplified Chinese translation copyright © 2019 by CITIC Press Corporation
ALL RIGHTS RESERVED
本书仅限中国大陆地区发行销售
封底凡无企鹅防伪标识者均属未经授权之非法版本

生命与新物理学

著　　者：[英]保罗·戴维斯
译　　者：王培
出版发行：中信出版集团股份有限公司
（北京市朝阳区惠新东街甲4号富盛大厦2座　邮编　100029）
承 印 者：北京盛通印刷股份有限公司

开　　本：880mm×1230mm　1/32　　印　　张：9.25　　字　　数：186千字
版　　次：2019年8月第1版　　印　　次：2019年8月第1次印刷
京权图字：01-2019-2782　　广告经营许可证：京朝工商广字第8087号
书　　号：ISBN 978-7-5217-0674-1
定　　价：59.00元

版权所有·侵权必究
如有印刷、装订问题，本公司负责调换。
服务热线：400-600-8099
投稿邮箱：author@citicpub.com

人们一直很好奇……想要更清楚地知道，同样的物质何以能在物理和化学上呈现出有序、可复制和相对简单的属性；而一旦被拉入生物体的轨道，它又何以能用最令人惊讶的方式组织自身。一个人越是仔细观察生物体中这些物质的表现，就越是会对它们的行为产生深刻的印象。哪怕是最微不足道的生物细胞，也是一个充满了精妙和可变分子的不可思议的迷箱……

——麦克斯·德尔布吕克（Max Delbrück），《康涅狄格艺术与科学学院学报》（*Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*），38卷，第173—190页（1949年12月）

前言

已经有很多书探讨过生命能做什么了，但本书想要探讨生命是什么。是什么创造了生物？是什么使得生物能够做出如此令人惊讶的事情，而这些事情却是非生物做不了的？生物与非生物的区别来自哪里？哪怕一个低级的细菌也能完成如此美妙、如此神奇的事情，却没有任何一位工程师能够制造出与生物相媲美的东西。这些问题让我十分着迷。生命看上去就像一种魔法，它的秘密隐藏在令人费解的复杂性之中。过去几十年来，生物学取得的巨大进展只不过强化了这种神秘感。是什么让生物产生了神秘的魅力，既非凡又独特，完全不同于其他物理系统？所有这些独特性最早来自哪里？

我们可以提出很多类似的问题，它们也是非常重要的问题。在我的职业生涯中，我常常痴迷于这些问题。由于我不是一位生物学家，而是一位物理学家和宇宙学家，所以，在处理这些重要问题时，我将避开大多数技术细节，而主要关注基本原理。这就是我将在本书中做的事情。我会专注于真正重要的难题和概念，以试图回答那个非常热

需要全本请访问 www.ertongbook.com

门的问题：生命是什么？我绝不是第一个提出这一问题的物理学家。距离伟大的量子物理学家埃尔温·薛定谔发表著名的系列演讲《生命是什么？》已经过去了三代人的时间，我将以此作为出发点。在这些演讲中，薛定谔提出了达尔文逃避的问题。然而，我认为我们现在正处于回答这个问题的临界点上，相关的答案将会引领一个全新的科学时代。

如果不引入全新的基本概念，物理学与生物学之间的巨大鸿沟——原子和分子领域与生物体领域之间的鸿沟——就将无法弥合。生物体有其目标和使命，这是几十亿年来进化的产物，而原子和分子只盲目遵从物理规律。但是，生物体必定是以某种方式从原子和分子中产生的。尽管科学界已经广泛接受“我们需要将生命重构为一种物理现象”这一观点，但事实证明，科学家还是常常低估了全面理解生命起源和生命本质的难度。

试图寻找非生命与生命之间存在的“缺失的连接”，并在单一理论框架下将两者连接起来的研究，已经产生了一个全新的跨界科学领域，它融合了生物学、物理学、计算机科学和数学。该领域不仅旨在对生命做出终极解释，还希望开启新的应用场景，为纳米技术带来变革，引导医学研究取得巨大进步。这一变革背后的统一概念就是信息。它不是指日常意义上的信息，而是一种类似于能量的抽象概念，能让物质形成生命。从字面上理解，信息流模式可以表现出它们自己的生命特征，比如在细胞间穿梭翻涌，在大脑中飞旋，在生态系统和社会中交互并呈现出它们自己的系统动力机制。正是在这种丰富而复杂的信息流动过程中，行为主体概念产生了，这一概念又与意识、自由意志和其他令人困惑的难题有关。生物系统正是通过将信息整合成

有序模式的方式，在分子领域的混沌中形成了生命的独特秩序。

科学家才刚开始将信息的力量理解为一种“因”，它能真正让世界变得不同。最近，结合了信息、能量、热和功的自然规律已经被应用于生物体，从DNA（脱氧核糖核酸）层面到分子机制，再到神经科学和社会组织，甚至延伸到行星尺度。从信息理论的视角看，生命产生的画面非常不同于传统的生物学解释，后者着重强调了解剖学和生理学的变化。

很多人帮助我整合了本书的内容。我在书中提出的很多观点都源自我的同事、美国亚利桑那州立大学科学基本概念超越中心副主任萨拉·沃克（Sara Walker）。在过去5年多的时间里，她对我的思想产生了巨大影响。萨拉与我一样，对围绕信息概念构建物理学和生物学的大统一理论抱有极大热忱。“生命是物理学的下一个重大前沿领域！”她宣称。我也与我们研究团队中的亚利桑那州立大学学生和博士后进行了讨论，并受益良多。此外，我还要特别感谢阿莉莎·亚当斯（Alyssa Adams）、金贤珠（Hyunju Kim）和科尔·马蒂斯（Cole Matthis）。在我的那些杰出的亚利桑那州立大学的同事中，雅典娜·阿克提皮斯（Athena Aktipis）、阿里尔·安巴尔（Ariel Anbar）、曼弗雷德·劳比奇勒（Manfred Laubichler）、斯图尔特·林赛（Stuart Lindsay）、迈克尔·林奇（Michael Lynch）、卡洛·梅利（Carlo Maley）、蒂莫西·纽曼（Timothea Newman，现就职于英国邓迪大学）和特德·帕夫利克（Ted Pavlic）为我提供了特别有用的帮助。此外，我十分感谢这些年来与我交流过的如下学者：美国密歇根州立大学的克里斯托夫·阿达米（Christoph Adami）、巴西里约热内卢联邦大学的格雷戈里·蔡廷（Gregory Chaitin）、美国加利福利亚大学戴维斯

分校的詹姆斯·克拉奇菲尔德（James Crutchfield）、英国牛津大学的安德鲁·布里格斯（Andrew Briggs）、美国纽约大学的戴维·查尔默斯（David Chalmers）、英国格拉斯哥大学的李·克罗宁（Lee Cronin）、美国麻省理工学院的马克斯·泰格马克（Max Tegmark）、美国应用分子进化基金会的史蒂文·本纳（Steven Benner）、英国布里斯托大学的迈克尔·贝里（Michael Berry）、南非开普敦大学的乔治·埃利斯（George Ellis）、日本东京地球生命科学研究所和美国普林斯顿高等研究院的皮特·胡特（Piet Hut）、美国系统生物学研究所的斯图尔特·考夫曼（Stuart Kauffman）、澳大利亚国立大学的查尔斯·莱恩威弗（Charles Lineweaver，他开玩笑说不同意我说的和我写的几乎所有东西），还有美国国家航空航天局（NASA）埃姆斯研究中心的克里斯托弗·麦凯（Christopher McKay）。

在澳大利亚，阿德莱德大学的德里克·阿博特（Derek Abbott）为我阐明了生物物理学的几个方面；悉尼加文医学研究所主任、富有远见的约翰·马蒂克（John Mattick）告诉我，遗传学和微生物学中的很多问题都还没有定论。悉尼大学的保罗·格里菲思（Paul Griffiths）为我提供了关于进化论和表观遗传学本质的深刻洞见，同时悉尼大学的米哈伊尔·普罗科片科（Mikhail Prokopenko）和约瑟夫·利齐耶（Joseph Lizier）帮我形成了对网络理论的思考，并提供了一些批判性的反馈。英国萨里大学的约翰乔伊·麦克法登（Johnjoe McFadden）和吉姆·艾尔–哈利利（Jim Al-Khalili）、美国加利福尼亚大学伯克利分校的比吉塔·惠利（Birgitta Whaley）和科普作家菲利普·鲍尔（Philip Ball）为本书第5章提供了有价值的建议。美国韦恩州立大学的彼得·霍夫曼（Peter Hoffmann）善意地澄清了某些关于棘轮的细节问

题。美国威斯康星大学麦迪逊分校的朱利奥·托诺尼（Giulio Tononi）及其同事拉丽莎·阿尔巴塔基斯（Larissa Albantakis）和埃里克·赫尔（Erik Hoel，现在哥伦比亚大学工作），耐心地帮我梳理了我对集成信息理论的混乱想法。美国圣菲研究所也为我提供了启发，戴维·克拉考尔（David Krakauer）和戴维·沃尔珀特（David Wolpert）的博学令我钦佩。美国塔夫茨大学的迈克尔·莱文（Michael Levin）是一位非常棒的合作伙伴，也是我认识的最具开拓精神的生物学家。我还与计算机工程师、商业咨询师佩里·马歇尔（Perry Marshall）进行了热烈讨论，受益匪浅。

我对癌症研究的初步涉猎让我接触到一大批优秀又聪明的专家，他们帮助我理解了癌症和一般意义上的生命是怎么回事。在亚利桑那州立大学，我与金伯莉·伯西（Kimberly Bussey）和路易斯·西斯内罗斯（Luis Cisneros）就与癌症相关的项目展开紧密合作，并得到了加拿大西安大略大学的马克·文森特（Mark Vincent）和美国普林斯顿大学的罗伯特·奥斯汀（Robert Austin）的重要帮助。通过与位于墨尔本的彼得·麦卡勒姆癌症中心的戴维·古德（David Goode）和安娜·特里格斯（Anna Trigos）以及芝加哥大学的詹姆斯·夏皮罗（James Shapiro）交流，我对癌症遗传学的认知有了极大的进步。我还受到明娜·比斯尔（Mina Bissell）、布伦登·考文垂（Brendon Coventry）和西娅·特尔斯蒂（Thea Tlsty）的著作的影响。当然，其他很多人的著作也影响了我，在此无法一一列举。我还要感谢美国国家癌症研究所慷慨地给予了我5年的授权，让我能够获得大量癌症研究报告；感谢南特沃克斯公司（NantWorks）对我研究的持续支持。美国国家癌症研究所前副主任、现在我在亚利桑那州立大学的同事安娜·巴克（Anna

Barker）极富远见，她鼓励我进入癌症研究领域。

我还要感谢企鹅出版集团——我忠实的出版商，尤其要感谢汤姆·佩恩（Tom Penn）、克洛艾·柯伦斯（Chloe Currens）和萨拉·戴（Sarah Day），他们出色地编辑了本书英文版。

最后，我要感谢保利娜·戴维斯（Pauline Davies），她完整和仔细地阅读了本书三个版本的初稿，每次都会做出修改，并附上大量注释。过去一年中，我们每天都会在一起探讨本书的诸多细节。在她的帮助之下，本书内容有了很大改善。没有她对我写作计划的持续支持，没有她坚持不懈的“哄骗”，没有她敏锐的智识，本书的写作绝不会圆满完成。

保罗·戴维斯

悉尼和凤凰城，2017年12月

目录

CONTENTS

III 前言

001 第1章 生命是什么?

029 第2章 走近麦克斯韦妖

077 第3章 生命的逻辑

127 第4章 达尔文主义 2.0

169 第5章 鬼魅般的量子和生命

197 第6章 生命的起源

221 第7章 机器中的幽灵

251 结语

263 延伸阅读

269 注释

281 索引

需要全本请访问 www.ertongbook.com

1

第 1 章

生命是什么?

1943年2月，物理学家埃尔温·薛定谔在都柏林圣三一学院发表了题为《生命是什么？》的系列演讲。薛定谔蜚声全球，是获得过诺贝尔物理学奖的名人，也是量子力学这一有史以来最成功的科学理论的缔造者。在20世纪20年代的几年时间内，量子力学已经成功地解释了原子的结构、原子核的属性、放射性、亚原子粒子的行为、化学键、固体的热力学性质和电性质，以及恒星的稳定性。

薛定谔对量子力学的贡献始于他在1926年提出的一个新公式，该公式至今仍以他的名字命名，描述了电子和其他亚原子粒子是如何运动和互相作用的。接下来的大约10年是物理学的黄金时代，几乎在每一个前沿领域，物理学都取得了重大进展——从反物质和宇宙膨胀的发现到预测中微子和黑洞的存在——这在很大程度上都要归功于量子力学解释原子和亚原子世界的力量。但随着1939年第二次世界大战爆发，这一黄金时代戛然而止。很多科学家离开了纳粹统治下的欧洲，去往英国或美国，为盟军出力。薛定谔也加入了流亡队伍，在1938年纳粹占领奥地利后，他离开了自己的家乡。他决定在中立国爱尔兰安家，因为爱尔兰总统埃蒙·德·瓦莱拉（Éamon de Valera）也是

一位物理学家，并于1940年在都柏林创建了一所新的高等研究院。在瓦莱拉的亲自邀请下，薛定谔带着他的妻子和女佣来到爱尔兰，在那里待了16年。

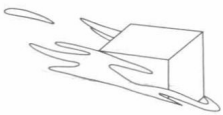
在20世纪40年代，生物学的发展远远落后于物理学。关于生命基本过程的细节仍是一个巨大的谜题，而且生命的性质似乎违背了物理学的一个基本定律——热力学第二定律。根据该定律，宇宙万物普遍倾向于衰败和无序。在都柏林的演讲中，薛定谔提出了这样一个问题："发生在生物体空间边界内的时空事件，如何用物理学和化学来解释？"换句话说，生物体令人困惑的属性最终能否被还原为原子物理学或者其他事物呢？薛定谔提出的这个问题非常重要，因为生命要从无序中产生有序，并符合热力学第二定律，就必定存在分子实体。该实体能够以某种方式为形成生物体而编码指令，同时其本身要足够复杂，以嵌入大量信息；此外，它还要足够稳定，以对抗热力学的降解效应。现在我们知道，这种分子实体就是DNA。

随着薛定谔提出这些极为敏锐的洞见，以及他的系列演讲在第二年被结集出版，分子生物学领域出现爆发式发展。紧随其后的是，科学家阐明了DNA的结构，破解了遗传密码，并将进化论与遗传学整合起来。分子生物学取得了如此迅猛、如此广泛的成功，以至于大多数科学家都采纳了一种强还原论：生物体那些令人惊讶的性质最终似乎的确可以单靠原子和分子物理学来解释，而无须借助任何全新的理论。然而，薛定谔本人并不那么乐观，他写道，"……尽管就目前所知，生物体还没有摆脱'物理规律'，但它有可能涉及我们迄今尚未发现的'其他物理规律'……"[1]在这个问题上，不只有他一个人这样认为。尼尔斯·玻尔和沃纳·海森堡等量子力学的其他缔造者也觉得，

解释生物体的性质可能需要新的物理学来发挥作用。

强还原论至今仍流行于生物学领域。传统观念坚信，已知的物理学足以解释生命现象，即使大多数细节问题还未完全搞清楚。我不同意这种看法。与薛定谔一样，我认为生物体清楚表明了更深层次的新物理学原理的存在，并且我们正处于揭示和利用这些原理的临界点。今日与过往有何不同，为什么我们花了好几十年的时间才发现了生命的真正秘密？答案在于，这种新物理学并不涉及额外的力，比如“生命力”，而是发现了更微妙的东西，它能将物质与信息、整体与部分、简单性与复杂性交织起来。

这种东西就是本书要探讨的核心话题。



迷　箱　1

有魔力的生命

当被问到“生命是什么”的问题时，我们常会想到生命的诸多属性。生物体会自我繁殖；会通过进化探索无尽的新奇事物；会沿着无法预测的轨迹徜徉在可能的空间中，发明全新的系统和结构；会使用精密的算法制定生存策略；会从混沌中创造秩序；会对抗退化和衰变的宇宙潮汐；会呈现清晰的目标，并利用各种能量去实现这些目标；会形成令人难以想象的复杂网络；既合作又竞争……要想回答薛定谔的问题，我们必须欣然接受生命的所

有属性，将各个科学领域的知识点整合成一个统一的理论。将逻辑和数学的基础、自我指涉的悖论、计算理论、热引擎科学、纳米技术领域激增的研究成果、远离平衡态热力学的新兴领域和神秘的量子物理学整合起来，这绝对是一种智力探险。所有这些主题的统一特征就是信息，这既是一个常见又实用的概念，同时也是一个抽象的数学概念，建立在生物学和物理学的基础之上。

查尔斯·达尔文写过一段著名的文字："凝视树木交错的河岸，许多种类的植物覆盖其上，群鸟鸣于灌木丛中，各种昆虫飞来飞去，蚯蚓在潮湿的泥土里爬过，表明这些构造精巧的生命形式彼此不同，却又以复杂的方式相互依存，它们都是由在我们周围发生作用的法则创造出来的。"[2]然而，达尔文没有想到的是，串联起这种显而易见的物质复杂性（生命的"硬件"）的东西，竟然是更令人惊叹的信息复杂性（生命的"软件"）。后者对我们而言是隐性和不可见的，却为生物体的适应和创新提供了帮助。正是在信息领域，我们邂逅了生命的真正创造力。如今，科学家正在将硬件叙事和软件叙事融合成一种新的生命理论，该理论适用面甚广，涵盖从天体生物学到医学的诸多领域。

再见，生命力

从古至今，人们一直认为生物体拥有奇怪的能力，比如，自主运动、改变环境和繁衍生息。哲学家亚里士多德试图用一个概念来捕捉

需要全本请访问 www.ertongbook.com