

汉译世界学术名著丛书

生命是什么？

〔奥〕埃尔温·薛定谔 著



汉译世界学术名著丛书

生命是什么？

活细胞的物理观

〔奥〕埃尔温·薛定谔 著

张卜天 译



商务印书馆

2018年·北京

图书在版编目(CIP)数据

生命是什么:活细胞的物理观/(奥)埃尔温·薛定谔
著;张卜天译.—北京:商务印书馆,2018
(汉译世界学术名著丛书)
ISBN 978-7-100-16430-6

I. ①生… II. ①埃… ②张… III. ①生命科学—
研究 IV. ①Q1-0

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 166440 号

权利保留,侵权必究。

汉译世界学术名著丛书

生命是什么?

活细胞的物理观

[奥] 埃尔温·薛定谔 著

张卜天 译

商务印书馆出版

(北京王府井大街 36 号 邮政编码 100710)

商务印书馆发行

北京市艺辉印刷有限公司印刷

ISBN 978-7-100-16430-6

2018 年 10 月第 1 版

开本 850×1168 1/32

2018 年 10 月北京第 1 次印刷

印张 3½ 插页 1

定价:18.00 元

目 录

前言	罗杰·彭罗斯	1
序言		3
第一章 经典物理学家对这一主题的探讨		5
1. 研究的一般性质和目的		5
2. 统计物理学。结构上的根本差别		6
3. 素朴物理学家对这一主题的探讨		8
4. 为什么原子如此之小?		8
5. 有机体的运作需要精确的物理定律		11
6. 物理定律基于原子统计学,因而只是近似的		12
7. 它们的精确性基于大量原子的介入。 第一个例子(顺磁性)		13
8. 第二个例子(布朗运动,扩散)		15
9. 第三个例子(测量准确性的限度)		18
10. \sqrt{n} 律		19
第二章 遗传机制		21
11. 经典物理学家的绝非平凡的预期是错误的		21

12. 遗传密码本(染色体)	22
13. 身体通过细胞分裂(有丝分裂)而生长	24
14. 在有丝分裂中每一个染色体都被复制	25
15. 减数分裂和受精(配子配合)	26
16. 单倍体个体	27
17. 减数分裂的显著关联	28
18. 交换。特性的定位	29
19. 基因的最大尺寸	31
20. 小数目	33
21. 持久性	33
第三章 突变	35
22. “跳跃式”的突变——自然选择的工作场地	35
23. 它们繁育一模一样的后代,即它们被完全 遗传下来	37
24. 定位。隐性和显性	38
25. 介绍一些术语	41
26. 近亲繁殖的有害效应	42
27. 一般的和历史的评述	43
28. 突变作为一种罕有事件的必要性	44
29. X射线诱发的突变	45
30. 第一法则。突变是单一事件	46

31. 第二法则。事件的局域化	47
第四章 量子力学的证据	49
32. 经典物理学无法解释的持久性	49
33. 可以用量子论来解释	50
34. 量子论——不连续状态——量子跃迁	51
35. 分子	52
36. 分子的稳定性依赖于温度	53
37. 数学插曲	54
38. 第一项修正	55
39. 第二项修正	56
第五章 对德尔布吕克模型的讨论和检验	59
40. 对遗传物质的一般描述	59
41. 这种描述的独特性	60
42. 一些传统的错误观念	61
43. 物质的不同的“态”	62
44. 真正重要的区别	63
45. 非周期性固体	63
46. 压缩在微型密码中的丰富内容	64
47. 与事实作比较:稳定程度;突变的不连续性	65
48. 自然选择的基因的稳定性	67
49. 突变体有时较低的稳定性	67

50. 温度对不稳定基因的影响小于对稳定基因的影响	68
51. X射线是如何产生突变的	68
52. X射线的效率并不依赖于自发突变性	69
53. 回复突变	70
第六章 有序、无序和熵	71
54. 从模型得出的一个值得注意的一般结论	71
55. 基于秩序的秩序	72
56. 生命物质避免了向平衡衰退	73
57. 以“负熵”为生	74
58. 熵是什么?	75
59. 熵的统计学意义	76
60. 从环境中吸取“秩序”来维持组织	77
第七章 生命以物理定律为基础吗?	80
61. 有机体可望有新的定律	80
62. 评述生物学状况	81
63. 综述物理学状况	81
64. 明显的对比	83
65. 产生有序两种方式	84
66. 新原理并不违反物理学	85
67. 时钟的运动	86
68. 钟表装置终究是统计学的	87

69. 能斯特定理	88
70. 摆钟实际上是在零度	89
71. 钟表装置与有机体之间的关系	89
后记:决定论与自由意志	91
译后记	96

前 言

20 世纪 50 年代初,我还是一个学数学的年轻学生。那时我读的书并不很多,但我的确读了埃尔温·薛定谔(Erwin Schrödinger)的一些著作,至少是读完了这本书。我一直觉得他的著作很能激发兴趣,其发现令人振奋,使我们对生活于其中的这个神秘世界有了某种全新的认识。在他的著作中,短篇经典《生命是什么?》无疑最具有这种品质。如今我意识到,这本书必定属于 20 世纪最有影响的科学著作之列。它是一位物理学家的有力尝试,试图理解真正的生命奥秘,他的深刻洞见已经在很大程度上改变了我们对世界组成的理解。这本书的交叉科学范围之广在当时是罕见的,但它的写作亲切、轻松而又谦逊,使得非专业人士和有志于成为科学家的年轻人也可以读懂。事实上,在生物学领域做出过重要贡献的许多科学家,比如霍尔丹(J. B. S. Haldane)和克里克(Francis Crick),都承认受到过这位极为原创和思想深刻的物理学家在书中提出的诸多观念的影响,尽管他们并不总是完全同意这些观念。

就像对人类思维产生过重大影响的许多著作一样,本书也提出了一些一旦理解、其真理性就几乎不言自明的观点;但这些观点仍然被许多本应有更深认识的人所忽视。我们不是经常听到“量

子效应与生物学研究没有多大关系”，或者“我们吃东西是为了获取能量”这样的说法吗？这表明，薛定谔的《生命是什么？》今天仍然与我们有关。它的确值得一读再读！

罗杰·彭罗斯
(Roger Penrose)

1991年8月9日

序 言

1

人们通常认为,科学家对某些学科拥有全面而深入的一手知识,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(*noblesse oblige*)。可是,为了目前这本书的写作,如果我有什麼高位的话,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、无所不包的知识的强烈渴望。被赋予最高学府的名称[即 *university*]^①使我们想到,从古至今数千年,只有普遍性才是最受称赞的方面。然而近一百多年来,知识的各种分支在广度和深度上的扩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,我们现在才刚刚开始获得可靠的材料;但另一方面,一个人要想充分掌握比一个狭小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和理论进行综合,即使只有不完备的二手知识——并且冒着干出傻事的危险。

① *university*,来自拉丁语 *universitas*,字面意思是“普遍的”。——译者

我的辩解就到这里。

语言的障碍是不容忽视的。一个人的母语就像一件合身的衣服，如果手头没有而不得不另找一件来代替，他不可能感到很舒服。我要感谢英克斯特(Inkster)博士(都柏林三一学院)、帕德里克·布朗(Padraig Browne)博士(梅努斯圣帕特里克学院)以及罗伯茨(S. C. Roberts)先生。他们费了很大气力使这件新衣服适合我的身材，而我有时不愿放弃自己“独创”的式样，以致给他们增添了更大的麻烦。倘若经过我这些朋友的努力，书中仍然留有一些“独创”样式的痕迹，那么责任在我而不在他们。

许多节的标题本来是想作为页边摘要的，每一章的正文应当连贯地读下去。

E. 薛定谔

都柏林

1944年9月

自由的人绝少思虑到死；他的智慧不是对死的默念，而是对生的沉思。

——斯宾诺莎：《伦理学》，第四部分，命题 67

第一章 经典物理学家对 这一主题的探讨

我思故我在。

——笛卡儿

1. 研究的一般性质和目的

这本小书源于一位理论物理学家为大约 400 名听众所做的一次公众讲演。虽然我们从一开始就提醒说这个主题很难懂，而且即使几乎没有使用物理学家最让人畏惧的数学演绎这个武器，讲演也不可能很通俗，但听众基本上没有减少。之所以如此，并不是因为这个主题简单得不用数学就可以解释清楚，而是因为问题过于复杂，以致不能完全用数学来处理。讲演至少听起来还比较通俗，这是因为讲演者试图把盘桓于生物学和物理学之间的基本观念向生物学家讲清楚。

实际上，尽管涉及的论题多种多样，但整本书只是要表达一种想法——对一个重大问题的一点评论。为了不迷失方向，我们不妨先把计划很简要地概述一下。

这个讨论得很多的重大问题是：

在一个生命有机体的空间界限内发生的时空中的事件，如何用物理学和化学来解释？

4 这本小书力图阐述和确立的初步回答可以概括如下：

当前的物理学和化学显然无法解释这些事件，但我们并不能因此而怀疑这些事件可以用物理学和化学来解释。

2. 统计物理学。结构上的根本差别

如果它只是为了激起未来获得成功的希望，那么这样说也未免太平凡了。它有着更为积极的意义，那就是，迄今为止物理学和化学的这种无能为力已经得到了充分说明。

今天，由于生物学家、主要是遗传学家在最近三四十年里所做的创造性工作，我们对有机体的实际物质结构及其机能已经了解很多，这些知识足以说明并且是精确地说明，当前的物理学和化学为什么还不能解释生命有机体内部在时空中发生的事件。

一个有机体最具活性部分的原子的排列以及这些排列的相互作用，与迄今为止被物理学家和化学家当作实验和理论研究对象的所有那些原子排列都有根本的差别。然而，除了深信物理学和化学定律完全是统计学定律的那些物理学家之外，别人也许会认为我方才所说的那种根本差别是无足轻重的。^①这是因为，认为生命有机体活性部分的结构迥异于物理学家和化学家在实验室或书桌旁用

^① 这种说法可能显得有些过于笼统。对它的讨论要到本书的第 67 和 68 节。

体力或脑力处理的任何一块物质的结构，这与统计学的观点有关。^①要把如此发现的定律和规则直接应用于系统的行为，而该系统又不表现出那些定律和规则所基于的结构，这几乎是难以想象的。

我们甚至不能指望非物理学家能够理解我方才用非常抽象的术语所表述的“统计结构”上的差别，更不要说去理解这种差别的重大意义了。为使陈述更为生动有趣，我先把后面要详细说明的内容提前讲一下，即活细胞最重要的部分——染色体纤丝——可以被恰当地称为非周期性晶体。迄今为止，我们在物理学中只处理过周期性晶体。在一位谦卑的物理学家看来，周期性晶体已经非常有趣和复杂了；它们构成了最有吸引力和最复杂的物质结构之一，由于这些结构，无生命的自然已经使物理学家费尽心思了。然而与非周期性晶体相比，它是相当简单和乏味的。两者在结构上的差别就如同一张是反复出现同一种图案的普通壁纸，另一幅则是技艺精湛的刺绣，比如一条拉斐尔挂毯，它显示的绝非单调的重复，而是那位大师绘制的一幅精致的、有条理的、富含意义的图案。

在把周期性晶体称为他所研究的最复杂的对象之一时，我想到的是严格意义上的物理学家。事实上，有机化学在研究越来越复杂的分子时，已经十分接近那种“非周期性晶体”了，在我看来，那正是生命的物质载体。因此，有机化学家对生命问题已经做出

^① F. G. Donnan 在两篇颇具启发性的论文中强调了这种观点，见 *Scientia*, xxiv, no. 78 (1918), 10 (‘La science physico-chimique décrit-elle d’une façon adéquate les phénomènes biologiques?’); *Smithsonian Report for 1929*, p. 309 (‘The mystery of life’).

了重大贡献，而物理学家则几乎无所作为，这不足为奇。

6 3. 素朴物理学家对这一主题的探讨

我已经非常简要地说明了我们的研究的一般想法，或者毋宁说是最终的范围，现在我来谈谈研究思路。

我打算首先提出或可称为“一个素朴物理学家对有机体的看法”，也就是这样一位物理学家可能想到的那些观点，他在学习了物理学特别是物理学的统计基础之后，开始思考有机体及其行为和运作方式。他认真地问自己：根据他之所学，根据其相对简单、清楚和谦卑的科学观点，他能否为这个问题做出一些适当的贡献？

事实证明，他是能够做出贡献的。接下来他便把理论预见与生物学事实作比较。结果将表明，他的观点大体上是合理的，但需要作一些修正。这样一来，我们将逐渐接近正确的观点，或者更谦虚地说，将逐渐接近我认为正确的观点。

即使我在这一点上是正确的，我也不知道我的道路是否最佳和最简单。不过，这毕竟是我的道路。这位“素朴物理学家”就是我自己。除了我自己的这条曲折道路以外，我找不到通往这个目标的更好或更清楚的路。

4. 为什么原子如此之小？

为了阐明“素朴物理学家的看法”，我们不妨从一个古怪的、近乎荒谬的问题开始讲起：为什么原子如此之小？首先，它们确实很

小。日常生活中碰到的每一小块物质都含有大量原子。为使听众理解这个事实,人们设计了许多例子,但给人印象最深的莫过于开尔文勋爵(Lord Kelvin)使用的一个例子:假定你能给一杯水中的分子做上标记,再把这杯水倒入海洋,然后彻底加以搅拌,使有标记的分子均匀地分布于七大洋;然后,如果你从海洋中任何地方舀出一杯水来,你将发现这杯中大约有 100 个你所标记的分子。^①

原子的实际尺寸^②约为黄光波长的 $1/5000$ 到 $1/2000$ 之间。这一比较是有意义的,因为此波长大致给出了在显微镜下仍能辨认的最小颗粒的大小。即使是这么小的颗粒也含有几十亿个原子。

那么,为什么原子如此之小呢?

显然,这个问题是一种回避,因为我们的实际目的并非原子的大小。我们关心的是有机体的大小,特别是我们自己身体的大小。当我们以日常的长度单位,比如码或米作为量度时,原子确实是很小的。在原子物理学中,人们通常使用所谓的埃(简称为 \AA),即 1 米的 10^{10} 分之一,或 0.000 000 000 1 米。原子的直径在 1\AA 到 2\AA 之间。这些日常单位(与它相比,原子非常之小)与我们身体

① 当然,你不会正好找到 100 个(即使是精确的计算结果)。你可能找到 88 个、95 个、107 个或 112 个,但几乎不会少到只有 50 个或多达 150 个。“偏差”或“涨落”的预期大约是 100 的平方根,即 10 个。统计学家这样来表达的:你将找到 100 ± 10 个。这一点我们暂时不谈,后面还会提到,它为统计学的 \sqrt{n} 律提供了一个例子。

② 根据目前的看法,原子是没有明确界限的,因此原子的“尺寸”并不是一个明确定义的概念。不过我们可以根据固体或液体内原子中心之间的距离来确认它(或者如果你愿意,来替换它)——当然,不是在气态,因为在常温常压下,气态中的这个距离几乎要大 10 倍。