

生命是什么？

〔奥〕埃尔温·薛定谔著

上海人民出版社

生命是什么？

活细胞的物理学观

〔奥〕埃尔温·薛定谔著

上海外国自然科学哲学著作编译组译

上海人民出版社

ERWIN SCHRÖDINGER

WHAT IS LIFE?

The Physical Aspect of the
Living Cell

CAMBRIDGE

AT THE UNIVERSITY PRESS 1948

本书根据剑桥大学出版社 1948 年版译出

生命是什么？

活细胞的物理学观

[奥]埃尔温·薛定谔著

上海外国自然科学哲学著作编译组译

上海人民出版社出版

(上海绍兴路 5 号)

新华书店上海发行所发行 上海市印刷六厂印刷

开本 850×1156 1/32 印张 3.5 字数 68,000

1973 年 12 月第 1 版 1973 年 12 月第 1 次印刷

印数 1-40,000

统一书号: 13171·54 定价: 0.29 元

内部发行

出版说明

埃尔温·薛定谔(Erwin Schrödinger, 1887—1961)是奥地利著名理论物理学家,波动力学理论的创始人。这本书是薛定谔 1943 年 2 月在爱尔兰都柏林三一学院作的讲演稿,1944 年整理出版。在本书中,薛定谔用热力学和量子力学理论来解释生命的本质,引进“非周期性晶体”、“负熵”、“密码”传递、“量子跃迁”式的突变等概念,来说明有机体的物质结构、生命活动的维持和延续、生物的遗传和变异等问题,开拓了研究生命现象的某些新的途径。这对于促进一些物理学家注意生物科学领域中提出的课题,推动生物学家运用物理学和化学的成就来探索生命活动的本质,加强学科间的相互渗透,起了一定的作用。薛定谔在书中所提出的一些设想,特别是遗传物质是一种有机分子、遗传性状以“密码”形式通过染色体而传递等设想,后来得到了很大的发展。五十年代初克里克和华生在薛定谔的影响下分析了遗传的主要物质去氧核糖核酸(DNA)的有关资料,提出了 DNA 的“双螺旋结构模型”,标志着对生命物质的研究进入了分子水平。因此,这本书在西方科学界负有盛名,影响很大。

生命究竟是什么?这是自然科学长期探索的问题。在这个问题上,反映了薛定谔某些形而上学和唯心论的

观点。例如，把生命的整体活动“还原”为细胞内染色体上“基因”的活动，“还原”为构成“基因”的有机分子的活动，最后“还原”为构成分子的原子的活动。结果，生命有机体成了一个纯粹的原子集合系统，人不过是“按照自然界的定律在控制着‘原子运动’的人”；自然界的一切规律，包括生命活动规律，归根到底都是统计物理学定律。这个观点对不对，就值得进一步研究。再如，他又把“基因”从生物体中孤立出来，使它凌驾于生物体之上，成为“永恒不变”的、支配生命活动的“法典和行政权力的统一”。这也值得进一步研究。为此，我们将此书译出，供关心这方面问题的读者参考。

本书由傅季重、赵寿元、胡寄南等同志译、校。

上海外国自然科学哲学著作编译组

1973年11月

目 录

序言	1
第一章 古典物理学家对这个主题的探讨	3
1. 研究的一般性质和目的	3
2. 统计物理学。结构上的根本差别	4
3. 素朴物理学家对这个主题的探讨	6
4. 为什么原子是如此之小?	7
5. 有机体的活动需要精确的物理学定律	9
6. 物理学定律是以原子统计学为根据的,因而 只是近似的	11
7. 它们的精确性是以大量原子的介入为基础的。 第一个例子(顺磁性)	11
8. 第二个例子(布朗运动,扩散)	13
9. 第三个例子(测量准确性的限度)	17
10. $\sqrt{n}$ 律	18
第二章 遗传机制	20
11. 古典物理学家的设想决不是无关紧要的, 而且是错误的	20
12. 遗传的密码正本(染色体)	21
13. 身体通过细胞分裂(有丝分裂)而生长	23
14. 在有丝分裂中每个染色体是被复制的	24
15. 减数分裂和受精(配子配合)	25

16. 单倍体个体	26
17. 减数分裂的显著关系	28
18. 交换。特性的定位	29
19. 基因的最大体积	31
20. 很少的数量	32
21. 不变性	33
第三章 突变	35
22. “跃迁式”的突变——自然选择的工作基地	35
23. 它们生育一模一样的后代,即它们是完全地 遗传下来了	37
24. 定位。隐性和显性	38
25. 介绍一些术语	40
26. 近亲繁殖的有害效应	41
27. 一般的和历史的陈述	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。突变是个单一事件	46
31. 第二法则。事件的局限性	47
第四章 量子力学的证据	50
32. 古典物理学无法解释的不变性	50
33. 可以用量子论来解释	51
34. 量子论——不连续状态——量子跃迁	52
35. 分子	54
36. 分子的稳定性有赖于温度	54
37. 数学的插曲	56
38. 第一个修正	57
39. 第二个修正	58
第五章 对德尔勃留克模型的讨论和检验	61

40. 遗传物质的一般图景	61
41. 图景的独特性	62
42. 一些传统的错误概念	63
43. 物质的不同的“态”	64
44. 真正重要的区别	65
45. 非周期性的固体	66
46. 压缩在微型密码里的内容的多样性	66
47. 与事实作比较,稳定性的程度;突变的 不连续性	68
48. 自然选择的基因的稳定性	69
49. 突变体的稳定性有时是较低的	70
50. 温度对不稳定基因的影响小于对稳定基因的 影响	70
51. X射线是如何产生突变的	71
52. X射线的效率并不取决于自发的突变可能性	72
53. 回复突变	72
第六章 有序,无序和熵	74
54. 从模型得出的一个值得注意的一般结论	74
55. 秩序基础上的有序	75
56. 生命物质避免了趋向平衡的衰退	76
57. 以“负熵”为生	77
58. 熵是什么?	79
59. 熵的统计学意义	79
60. 从环境中引出“有序”以维持组织	80
第七章 生命是以物理学定律为基础的吗?	83
61. 在有机体中可以指望有新的定律	83
62. 生物学状况的评述	84
63. 物理学状况的综述	85

64. 明显的对比	86
65. 产生有序两种方式	87
66. 新原理并不违背物理学	88
67. 钟的运动	90
68. 钟表装置毕竟是统计学的	91
69. 能斯脱定理	92
70. 摆钟实际上是在零度	92
71. 钟表装置与有机体之间的关系	93
跋：决定论与自由意志	94

序 言

一般都认为，一位科学家总是对某些学科具有深邃渊博的第一手知识的，因而他是不会就他不太通晓的论题去著书立说的。这就是所谓的位高则任重。可是，为了目前写这本书，如果我有什么科学家的高位的话，那我恳请放弃它，并且从而免去随之而来的重任。我的理由是：

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。最高学府这个名称使我们想起了从古到今多少世纪以来，只有普遍性才是唯一地享有盛誉的。可是，最近一百多年来，知识的各种各样的分支在广度和深度上的展开，却使我们陷入了一种奇异的困境。我们清楚地感到，要想把所有已知的知识综合成为一个统一体，我们现在还只是刚刚开始获得可靠的资料；可是，另一方面，一个人想要充分掌握比一个狭小的专门领域再多一点的知识，也已经是几乎不可能的了。

除非我们中间有些人敢于去着手综合这些事实和理论，即使它们有的是第二手的和不完备的知识，而且还要敢于承担使我们成为蠢人的风险，除此之外，我看不到再有摆脱这种困境的其他办法了（否则，我们的真正目的将永远达不到）。

这就是我的意见。

语言的障碍是不容忽视的。一个人的祖国语言就象一件剪裁得十分合身的外衣，可是当它不能立刻穿用而不得不另找一件来代替时，他是决不会感到很舒服的。我要感谢英克斯特博士（都柏林三一学院）、帕德里格·布朗博士（梅鲁恩圣帕特里克学院）；最后，但不是不重要的，我还要感谢 S. C. 罗伯茨先生。他们费了很大的劲使新衣服适合我的身材，但由于我有时不肯放弃自己“独创”的式样，甚至还给他们增添了更多的麻烦。经过我的朋友们的努力，如果还残留一些“独创”式样的痕迹的话，那责任在我而不在他们。

很多节的标题本来是想作为页边的摘要的，每一章的正文应该连贯地读下去。

关于借用的图版，我要感谢 C. D. 达林顿博士和《努力》杂志的出版者（帝国化学工业有限公司）。图版上原有的说明都仍保留着，虽然许多细节与本文是无关的。

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，不是死的默念，而是生的沉思。

——斯宾诺莎：《伦理学》，第四部分，

命题 67。

第一章 古典物理学家对这个主题的探讨

“我思故我在。”——笛卡儿

1. 研究的一般性质和目的

这本小册子是一位理论物理学家对大约四百名听众作的一次公开讲演。虽然一开始就指出这是一个难懂的题目，而且即使很少使用物理学家最吓人的数学演绎法这个武器，讲演也不可能是很通俗的，可是听众基本上没有减少。其所以如此，并不是由于这个主题简单得不必用数学就可以解释了，而是因为问题太复杂了，以致不能完全用数学来表达。使得讲演至少听上去是通俗化的另一个特点是，讲演者力图把介于生物学和物理学之间的基本概念向物理学家和生物学家讲清楚。

实际上涉及的论题是多方面的，但整个任务只是打算说明一个想法——对一个重大问题的一点小小的评论。为了不迷失我们的方向，预先很扼要地把计划勾画出来也许是有用的。

这个重大的和讨论得很多的问题是：

在一个生命有机体的空间范围内，在空间上和时间上发生的事件，如何用物理学和化学来解释？

这本小册子力求阐明和确立的初步答案可概括如下：

当前的物理学和化学在解释这些事件时明显的无能为力，决不能成为怀疑这些事件可以用物理学和化学来解释的理由。

2. 统计物理学。结构上的根本差别

如果说过去的碌碌无为只是意味着激起在未来获得成功的希望，那未免太轻描淡写了。它有着更为积极的意义，就是说，迄今为止，物理学和化学的这种无能为力已得到了充分的说明。

今天，由于生物学家，主要是遗传学家在最近三、四十年来的创造性工作，关于有机体的真实的物质结构及其功能的了解已经足以说明，并且是精确地说明现代的物理学和化学为什么还不能解释生命有机体内在空间上和时间上所发生的事件。

一个有机体的最要害部分的原子排列，以及这些排列的相互作用的方式，跟迄今被物理学家和化学家作为实验和理论研究对象的所有的原子排列是根本不同的。除了深信物理学和化学的定律始终是统计学的那些物理学家外，别的人会把我所说的这种根本差别看成是无足轻重的。^①这是因为认为生命有机体的要害部分的结构，跟物理学家或化学家在实验室里、在书桌边用体力或脑力所处理的任何一种物质迥然不同的说法，是同统计学

^① 这个说法可能显得太笼统了。这个问题要到本书末了的第 67、68 页才来讨论。

的观点有关的。^①因此,要把物理学家或化学家如此发现的定律和规则直接应用到一种系统的行为上去,而这个系统却又不表现出作为这些定律和规则的基础的结构,这几乎是难以想象的。

不能指望非物理学家能理解我刚才用那么抽象的词句所表达的“统计学结构”中的差别,更不必说去鉴别这些差别之间的关系了。为了叙述得更加有声有色,我先把后面要详细说明的内容提前讲一下,即一个活细胞的最重要的部分——染色体纤丝——可以恰当地称之为非周期性晶体。迄今为止,在物理学中我们碰到的只是周期性晶体。对于一位不高明的物理学家来说,周期性晶体已是十分有趣而复杂的东西了;它们构成了最有魅力和最复杂的一种物质结构,由于这些结构,无生命的自然界已经使得物理学家穷于应付了。可是,它们同非周期性晶体相比,还是相当简单而单调的。两者之间结构上的差别,就好比一张是一再重复出现同一种花纹的糊墙纸,另一幅则是巧夺天工的刺绣,比如说,一条拉斐尔^②花毡,它显示的并不是单调的重复,而是那位大师绘制的一幅精致的、有条理的、有意义的图案。

我把周期性晶体称为他所研究的最复杂的对象之一时,我说的他是指物理学家本身。其实,有机化学家在研

① F. G. 道南在两篇富有启发性的论文中强调了 this 观点。见《科学》(《Scientia》) 24 卷, 78 期, 10 页, 1918 年(《物理学化学能否描述生物学现象?》)《斯密斯学院 1929 年的报告》第 309 页(《生命的秘密》)。

② 拉斐尔(Raffaello Santi, 1483—1520)是文艺复兴时期的有名的意大利画家。——译者

究越来越复杂的分子时，已经十分接近于那种“非周期性晶体”了，依我看来，那正是生命的物质载体。因此，有机化学家对生命问题已作出了重大贡献，而物理学家却几乎毫无作为，也就不足为奇了。

3. 素朴物理学家对这个主题的探讨

如此简要地说明了我们研究的基本观点——或者不如说是最终的范围——以后，让我来描述一下研究的途径。

首先我打算阐明你可能称之为“一个素朴物理学家关于有机体的观点”，就是说，一位物理学家可能会想到的那些观点。这位物理学家在学习了物理学，特别是物理学的统计学基础以后，他开始思考有机体的活动和功能的方式时，不免要扪心自问：根据他所学到的知识，根据他的比较简明而低级的科学的观点，他能否对这个问题作出一些适当的贡献？

结果他是能够作出贡献的。下一步必须是他理论上的预见同生物学的事实作比较。于是，结果将说明他的观点大体上是通情达理的，但需要作一些修正。这样，我们将逐渐接近于正确的观点，或者谦虚点，将接近于我认为是正确的观点。

即使我在这一点上是正确的，我也不知道我的探索道路是否是一条真正的终南捷径。不过，这毕竟是我的道路。这位“素朴物理学家”就是我自己。除了我自己的这一条曲折的道路外，我找不到通往这个目标的更好的捷径。

4. 为什么原子是如此之小？

阐明“素朴物理学家的观点”的一个好方法是从这个可笑的、近乎是荒唐的问题开始的：为什么原子是如此之小？首先，它们确实是很小的。日常生活中碰到的每一小块物质都含有大量的原子。要使听众了解这个事实，曾经设想过许多例子，但没有比凯尔文勋爵^①所用的一个例子能给人以更深刻的印象：假定你能给一杯水中的分子都做上标记，再把这杯水倒进海洋，然后彻底地加以搅拌，使得有标记的分子均匀地分布在全世界的所有海洋中；如果你在任何地方从海洋中舀出一杯水来，你将发现这杯水中大约有一百个你标记过的分子。^②

原子的实际大小约在黄色光波长的 $\frac{1}{5000}$ 到 $\frac{1}{2000}$ 之间^③。这个比较是有意义的。因为波长粗略地指出了在显微镜下仍能辨认的最小粒子的大小。就拿这么小的粒子来说，它还含有几十亿个原子。

① 凯尔文 (Kelvin, William Thomson, 1824—1907)，英国物理学家。发现热力学第二定律，发明电报机。——译者

② 当然，你不会正好找到 100 个（即使是精确计算的结果）。你可能找到 88 个、95 个、107 个或 112 个，但也不会少于 50 个或多到 150 个。“偏差”或“上下”预期是 100 的平方根，即 10 个。统计学家是这样来表达的：你将找到 100 ± 10 个。这点暂时撇开不谈，后面还会提到的。它为统计学的 $\sqrt{n}$ 律提供了一个例子。

③ 根据目前的看法，一个原子是没有明确界限的，因而一个原子的“大小”并不是含义十分确切的概念。不过我们可以根据固体或液体内，原子的中心之间的距离来识别它（或者，你如果愿意的话，来置换它），当然，不是在气体状态，因为在常温常压下，气态中的这个距离几乎要大十倍。

那么,为什么原子是如此之小呢?

这个问题显然是一种遁辞。因为这个问题的目的并不是真正在于原子的大小。它关心的是有机体的大小,特别是我们的肉体本身的大小。当我们以日常的长度单位,比如码或公尺作为量度时,原子确实是很小的。在原子物理学中,人们通常用所谓埃(简写为 $\text{\AA}$),即一公尺的一百亿分之一,或以十进位小数计算则是 0.0000000001 公尺。原子的直径在 1 到 2 埃的范围内。日常单位(对它而言,原子是如此之小)同我们身体的大小是密切有关的。有一个故事说,码是起源于一个英国国王的幽默。他的大臣问他采用什么单位,他就把手臂向旁边一伸说:“取我胸部中央到手指尖的距离就行了。”不管它是真是假,这个故事对我们来说是有意义的。这个国王很自然地会指出一个可以同他自己的身体相比较的长度,他知道其他任何东西都将是很不方便的。不管物理学家怎样偏爱“埃”这个单位,但当他做一件新衣服时,他还是喜欢别人告诉他新衣需用六码半花呢,而不是六百五十亿埃的花呢。

这样也就确定了我们提出的问题的真正目的在于两种长度——我们身体的长度和原子的长度——的比例,而原子的长度具有独立存在的无可争辩的优越性,于是,应该这样提问题:同原子相比,我们的身体为什么一定要这么大?

我能够想象到,许多聪明的物理学和化学的学生会对下列事实引为憾事的,就是说,我们的每一个感觉器官,构成了我们身体上多少是有点重要的部分,因而(从