

BIOLOGICAL PHYSICS

生物物理学:

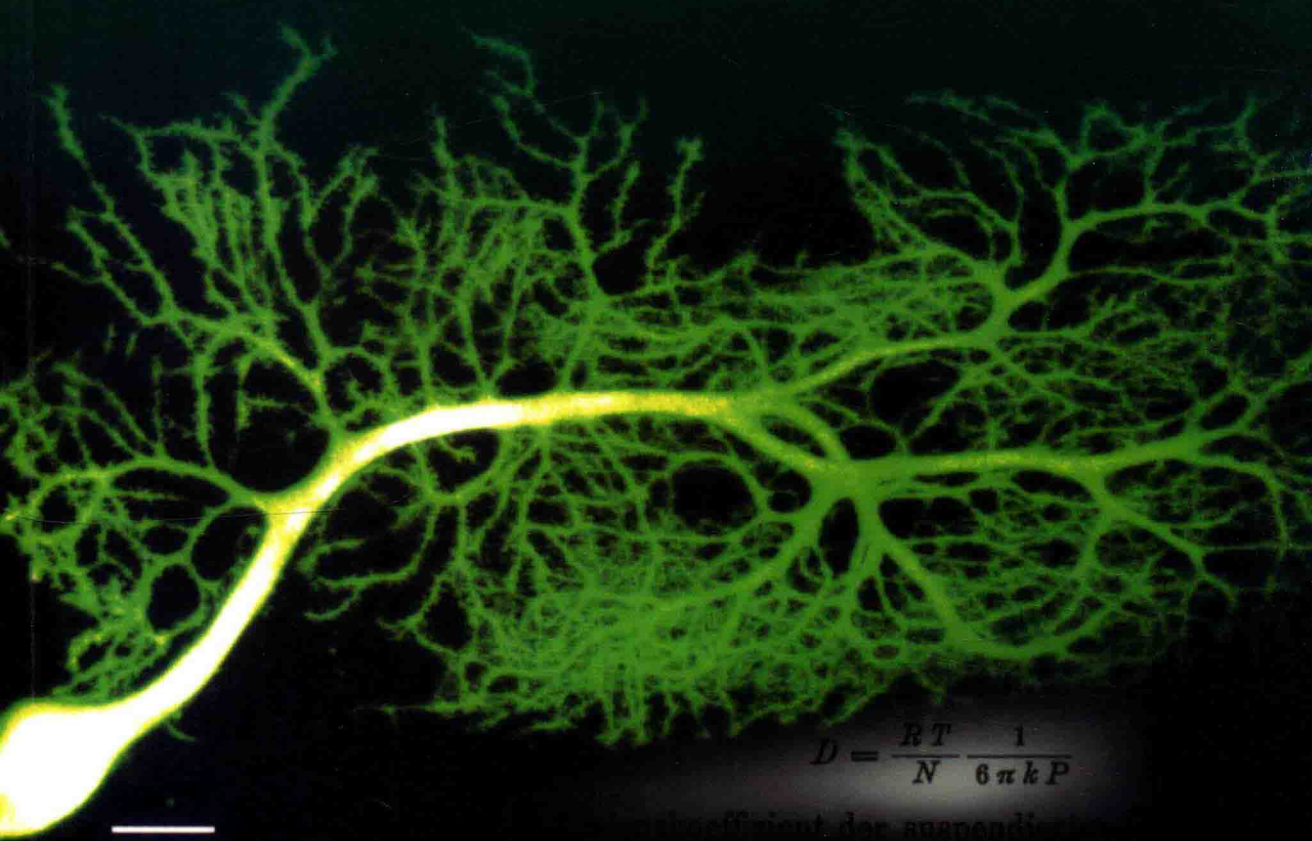
能量、信息、生命

Energy, Information, Life

WITH NEW ART BY DAVID GOODSSELL

[美] 菲利普·纳尔逊 / 著
黎明 戴陆如 等 / 译

(修订版)



$$D = \frac{RT}{N} \frac{1}{6\pi kP}$$

Philip Nelson

上海科学技术出版社

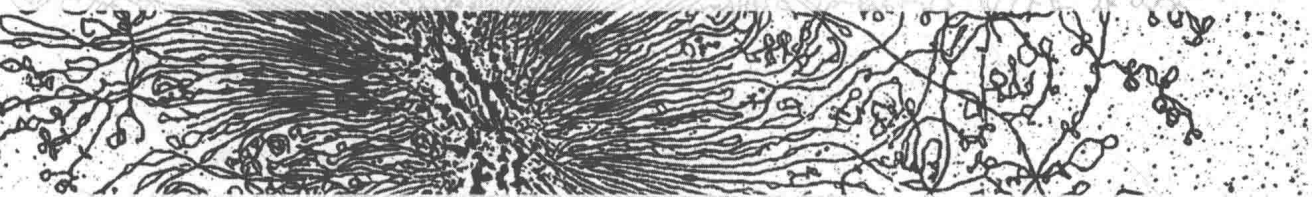
生物物理学：

能量、信息、生命

(修订版)

[美] 菲利普·纳尔逊/著

黎明 戴陆如 等/译



上海科学技术出版社

封面：通过双光子激光扫描显微镜观察到的鼠脑的浦肯野神经元。图中的比例尺表示 15 μm 。这一活体神经元被其他神经元形成的致密网络包围。微吸管从左下方向该神经元中注入一种荧光染料，使得仅有这个细胞可以显示。神经元树突分枝(上部)接收到超过 100 000 个来自突触的输入信号。树突上的微小可见突起是树突棘。该神经元(左下)将其输出信号传给其他神经元。右下方展示了爱因斯坦关于布朗运动的原始论文的一点细节。(本图蒙 K. Sboboda 惠赠。参见 Sboboda, *et. al.*, 1996。)

扉页：此图显示了通过渗透休克方法裂解(爆裂)细菌细胞后提取的 DNA 分子。细菌裂解前其基因组只占据图中心的小块区域，现在则从核心结构向外伸展出一系列环状物。本图高度约为 10 μm 。(电子显微镜照片由 Ruth Kavenoff 提供。)

First published in the United States

by

W. H. FREEMAN AND COMPANY, New York

Copyright © 2013 by W. H. FREEMAN AND COMPANY

All rights reserved.

图书在版编目(CIP)数据

生物物理学：能量、信息、生命/(美) 菲利普·
纳尔逊(Philip Nelson)著；黎明等译。—修订本。

—上海：上海科学技术出版社，2016. 10

ISBN 978 - 7 - 5478 - 3196 - 0

I. ①生… II. ①菲… ②黎… III. ①生物物理学
IV. ①Q6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 174058 号

生物物理学：能量、信息、生命

[美] 菲利普·纳尔逊/著

黎明 戴陆如 等/译

责任编辑 胡 炜 毛文涛 王桂华

修订版责任编辑 王 佳 满静赟

装帧设计 戚永昌

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 37.25 插页 2

字数 790 千字

2016 年 10 月第 1 版 2016 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5478 - 3196 - 0/Q · 42

定价：128.00 元



献给 S.M.戴维森博士，

1930 — 2002

中文版修订版序

非常高兴看到本书中文修订版即将呈现在读者面前。感谢欧阳钟灿教授以及黎明教授为此付出的努力,特别是黎明教授再次审阅并修订了全书。我还要感谢古德赛尔(David Goodsell),他为这一版本绘制了很多新的分子素描。此外,非常荣幸能再次与上海科学技术出版社合作。

自本书第一版问世的十多年来,单分子生物物理学在基础科学和工程应用方面的核心作用已经变得愈发显著。我希望读者能像书中的虚拟学生 Gilbert 和 Sullivan 那样,不断和身边同学或同事争论各种观点,并思考如何将之应用于实验。这样,你就能在理解本书内容的基础上逐渐提出你自己的想法。

菲利普·纳尔逊

2016 年于费城

中文版序

非常高兴这个中文版的《生物物理学》教材能与广大中国学生见面。在此，我要特别感谢欧阳钟灿教授大力促成此事。我个人对欧阳教授的学术成就仰慕已久。此次他责成研究小组在很短的时间内完成了认真细致的翻译工作，并且亲自督促了整个翻译进程，对此我深表谢意。

本书的英文版于两年前发行，书中论及的诸多课题至今仍是世界范围内生物物理学研究的热门话题。对今天的学生来说，这样一个飞速发展的领域的确提供了大量通向重大发现的机遇！我希望读者们能像书中的虚拟学生 Gilbert 和 Sullivan 那样，积极地与其他同学一起对书中阐述的概念展开讨论甚至辩论，并且有意识地尝试将这些概念应用于考察实验室中遇到的实际情形。有了这样的训练，你就不会仅仅停留在只理解书中的内容这样一个基本层次上。你会更加深入，并逐渐产生属于你自己的新想法。

菲利普·纳尔逊

2006 年于费城

致学生

本书面向那些愿意使用一点微积分知识的生命科学专业的学生，以及希望对细胞有所了解的物理学和工程学的学生。我深信，不久以后，这两方面的学生都会急需了解彼此领域的核心知识。

过去几年中我参加了很多会议和研讨班，与会者不仅有物理学家、生物学家、化学家和工程师，而且内科医生、数学家和企业家也在逐渐增多。人们聚在一起、相互学习，传统的学科差别与如此令人激动的事情相比，就显得无关紧要了。在本书中，我想与各位分享的正是他们的这种兴奋之情。

刚开始我很怀疑这样一个多元群体如何克服所谓的“巴别塔”综合征*。渐渐地，我意识到，尽管每个学科都有着实验和理论方面浩繁的知识细节，然而这些“河流”的源头都是一些易于处理的简单而普遍的原理，它们均来自同一个“泉眼”。只需具备这很少的几个原理，我们就有能力理解大量的前沿研究。本书要探讨的正是这些最普遍的原理，更专业的概念则留待将来。

另一方面，我也认识到本科教育使我到大学最后一年（甚至更晚）才能接触到大量基本概念，而目前很多教学计划仍然具有这样的特征：尚未获得全貌，人们就开始小心翼翼地建造复杂的数学大厦。我和同事们逐渐意识到这种方法实际上并不能满足学生的需要。很多本科生在第一年就开始做研究，他们需要及早知道概貌。另有很多学生为自己拟定了交叉学科的学习计划，可能从来就没有接触过我们所开设的专门的高等课程。在本书里，我希望向任何学过一年级物理和微积分（外加一点高中的化学和生物学）、又愿意扩大知识面的学生展示一个能够理解的图像。等你学会了这些知识，你就应该有能力阅读当前发表在美国《科学》（*Science*）周刊和英国《自然》（*Nature*）周刊上的研究工作。当然，你不可能知道每一细节，但你能得到一个概观。

刚开始教授这门课程的时候，我们吃惊地发现很多研究生也想来听课。这部分地反映出他们身上割裂式教育的痕迹：物理系学生需要学一些生物学知识并将其整合到已有的其他知识当中，生物系学生也是如此。让我们吃惊的是，这个课程在一年级到三年级所有级别的研究生当中都相当受欢迎，而三年级学生对细节

* 译注：巴别塔(Tower-of-Babel)，古巴比伦人建筑未成的通天塔。上帝因他们狂妄，责罚他们各操不同的语言，彼此不相了解，结果该塔始终无法完成。见《旧约·创世记》。

已经有更深的了解。因此，本书中标明“拓展”的部分针对这些在数学上训练有素的学生。

物理科学和生命科学

20 世纪初人们已经知道，从化学角度看，你我与一罐汤没有多大区别。不过，我们能完成汤无法完成的很多复杂甚至有趣的事。对于生物体如何利用食物创建秩序、如何做功乃至如何计算，那时的人们仅持有极少的正确观念，而这些观念都是来自当时技术领域的并不恰当的隐喻。

到 20 世纪中叶，人们才逐渐明白很多类似的疑问都可以通过研究大分子来回答。具有讽刺意味的是，在我们目前所处的 21 世纪开端，局势却逆转了，现在的问题是关于这些分子的信息过多了。我们淹没在信息中，急需一个工作框架将大量事实组织起来。

一些生命科学家视物理学为“还原论”而将其置于一旁，他们企图抽去那些使得青蛙不同于他物（如中子星）的所有细节。而另一些人相信，为寻求总体概貌，某种整合性的框架目前看来是必需的。因此，我相信，正是这股维持在发展的、历史的、复杂的科学以及普适的、非历史的、还原论的科学之间的张力，使得整个科学界的探索工作卓有成效，而且科学的未来一定属于那些对这两种思路都驾轻就熟的人。

抛开哲学不谈，过去 20 或 40 年里物理学技术领域发生的革命已成事实，这些技术使人们能深入细胞内部的纳米世界，通过物理手段对它们拉伸或拧转，并进行定量观测。最终，细胞生物学教科书中那些卡通图里隐含的诸多物理思想将经受精确的检验，或证实或证否。同时，自然界并不必需的某些机制甚至也会被证明具有广泛的技术应用价值。

为什么全是数学？

学习生命科学的学生或许会问，书中所有的数学公式都是必需的吗？本书所遵循的前提对此问题给出了最好的答案：为确保某个理论正确，必须由某个简单的模型做出定量预言，然后用实验对其作出检验。后面各章提供了达到此目标的诸多工具。最终，我希望你在面对一个不熟悉的问题时能够找出合适的工具并解决它。这当然不容易，尤其刚开始时。

确实，物理学家有时候会过分地使用数学分析。本书的观点与此不同，优美的数学公式通常只是我们理解自然的手段而不是终结。往往最简单的工具如量纲分析，就足以弄清某些事情。只有在你成为一个非常优秀的科学家后，你才有能力做出一些真正精细的数学计算，并且看到你的预言为实验所证实。其他的物理学和数学课程会提供相关背景知识使你达到这一步。

本书的特点

本书写作过程中我力图坚持一些原则。其中大多数非常乏味而且很技术化，不过有四点值得指出：

1. 我尽可能将书中的思想与日常生活中的现象联系起来。

2. 我会指明究竟在做什么。不仅给出各步骤的清单，我还会尽量阐明为什么要有这些步骤、如何猜测某个步骤会是有效的。这种阐释式(或发现式)的途径包含了比你所习惯的物理教科书更多的词汇。这样做的目的是帮助你度过艰难时期从而获得自主选择研究方案的能力。

3. 书中没有黑框。那种吓人的短语“可以证明”在正文里极少出现。几乎所有提及的数学结果都会实实在在地推导出来，或者指明要点以便能在家庭作业中完成推导。如果不能在这种水平的讨论中获得结果，通常我会略去整个推导过程。

4. 书中没有假数据。如果你在书中看到某个像曲线图一样的东西，那么它就是一幅曲线图，其中的数据都是真实的实验数据且附带了引用说明。曲线显示的是通常在正文(或家庭作业)中推导出的真实数学函数。类似曲线图的示意图会注明。事实上，每一幅图都带有很书卷气的小标签，以显示它的类别，提醒你究竟是真实数据，还是从真实数据重构出的，或仅是某位画家的素描。

真实数据一般不如假数据来得漂亮，但你需要这些真实的东西来拓展你的批判能力。首先，有些简单理论并不像仅从报告中听到并相信的那样好用；另一方面，有些理论对实验的拟合虽难以给人深刻印象，但确能支持很强的结论，你需要训练从数据中找出相关线索。

书中很多章节包含了名为“题外话”的小节，这部分内容不是本书的主题。其中一些是由领头的实验科学家撰写的与其实验相关的短文，另一些是历史或文化散文。本书另附两个附录，请立刻翻看一下，它们列出了书中所有物理量的符号、各种单位的定义以及大部分物理量的数值(其中一些在解题时很有用)。

为什么写一点历史？

这虽不是一本历史书，但你会发现文中讨论了大量“古老”的结果(不少人使用“古老”一词意指“在因特网出现之前”，但本书中采用的是更经典的含义即“在电视出现之前”)。安排这些老资料当然不是为了炫耀学识。本书会反复申明一个主题，即物理测量如何远在传统生化分析方法对分子器件做出精确鉴定之前，就揭示出其存在性及本质，书中关于历史的段落就记述了这种情况的一些例子。某些例子中，这个时间差竟会达到 20 年！

尽管今天我们已经拥有了分子生物学这个极其成熟的武器，像通过基因敲除观察表型改变这样的传统实验策略与直接“伸进去—取出来”的途径相比，不仅慢得多而且更难施行和阐释。事实上，过去的 20 年里，对具有生理机

能的细胞或其组分(小到单分子尺度)施加物理力并且测量其响应的精巧新工具迅速增多,为间接推测分子水平上发生的事情提供了空前的机遇。那些能整合生物化学和生物物理学两条途径的科学家们将会最先看到整个图景,而一旦你了解了这种整合在过去是如何进行的,你自己也就有机会加入到这个队伍中了。

如何学习本课题?

如果你原先在物理学方面的知识背景是本科一年级的物理或化学,那么本书将会带来与你迄今读过的教科书迥异的感觉。因为该课题进展迅速,我不希望让人觉得我是在对一个固定的、已经成熟的话题进行权威、不容置疑的论述,当然也不应该那样做。相反,我要让你为这个正在发展的领域而激动,因为你无须在大堆公式中披荆斩棘数十年就能靠个人努力作出新贡献。

如果你原先的背景是生命科学,可能已经习惯了那种灌输事实的写作风格。但是本书中很多断言和绝大多数公式都承接前文而来,你必须而且应该做出检验。实际上,你会注意到诸如“我们”、“我们的”、“让我们”等词汇贯穿全书。通常在科技论文的写作中,这些词仅仅是华而不实地表示“我”、“我的”、“看我的”。不过在本书中,它们的确意味着包括你我在内的团队。你要自己弄清哪些陈述含有新的信息,哪些仅仅是推论而应由你来推出。在有些特别重要的逻辑步骤上,我留给你一些问题并标记了“思考题”,其中绝大部分很短,使你能在往下阅读之前做完。你必须自己来完成这件事,它将使你掌握讨论新物理课题所需的技巧。

文中每介绍一个公式时,请花几秒钟看一看并想一下是否合理。如果 $x = yz/w$, 是否意味着随着 w 增长 x 会下降? 它们的单位之间有什么联系? 开始时我会带着你熟悉这些步骤,但以后你就要自动进行下去了。一旦发现我提到了某个不熟悉的数学想法,请立即咨询指导教师而不要一跳而过。另一个很有用的资源是 Shankar 的书*。

除了正文中的题目,每个章节的最后也会有一些习题。它们不像大学一年级物理课上的习题那么直白。通常,要想找到正确思考的出发点,你得有一些常识,一些目前你尚不具备的定性判断知识,甚至指导教师的建议。大多数学生刚开始对这种学习方式很不习惯——其实远不只是你!——但无论你将来做什么,最终它会成为你能学到的最有价值的技能之一。一旦拥有了敏锐的头脑并足以应对那些尚无定论的定量问题,你将能在这个高科技时代任意驰骋。

随着你深入阅读正文,习题会越来越难。因此请先完成前面的题目,哪怕它们很容易。

* 见书后所附的参考书目。



有些小节和习题旁边做了这个标记。这些内容只针对有一定基础的读者。当然,我这样说是想让你们有兴趣去阅读而不管指导教师是否指定了这部分内容。标有“拓展”的小节用到的数学会更深一点,它们与你正在学习或将要学习的其他物理课程有直接联系。同时,它们也是某些被引用文献的广告。本书的主要部分并不依赖这些小节,它自成一体。即使是适合阅读“拓展”部分的读者,在第一遍阅读本书时也应该先跳过这些小节。

很多学生发现本课程是个艰难的挑战。物理系学生不得不消化大量的生物学名词,而生物系学生不得不提高他们的数学水平。这的确不容易,但是值得努力,因为像这样的交叉研究领域最令人激动也最可能获得成果。我已经注意到,最快乐的学生正是那些能够跟其他背景的学生组成团队、一起工作、一起解题并相互传授知识的群体。你不妨试一下。

致指导教师

本版生物物理学包含了由 David Goodsell 重新绘制的多幅精美插图。这些图反映了结构生物学的最新进展。

几年前,我所在的系向本科生征询哪些课程他们需要但又不能从我们这里学到。其中的一个反馈是“生物物理课”。学生们不可能不注意到《纽约时报》(*The New York Times*)上那些激动人心的文章,以及《今日物理》(*Physics Today*)每一期的封面文章,等等。他们需要加入到这个研究潮流中。本书正是应此而生。

几乎同时,其他大学的很多朋友也开始了这个领域的研究,而且对教授相关课程极有兴趣,但是他们觉得现有的教材并不令人满意。有些的确算是鸿篇巨制,但内容太陈旧。没有一本书论及了分子马达、自组装、单分子操纵及成像(正是这两类技术使得生物物理领域发生了革命性变化)等领域里那些优美的、崭新的结果。我和朋友们也曾因为浩繁的文献以及我们自己在这个领域有限的钻研而感到沮丧。必须来一个整合!本书算是为回应这个需求所作的努力。

本书也为介绍纳米技术和软物质这些年轻学科的诸多概念提供了材料。这并不让人吃惊——正是细胞里的分子或超分子机器启发了很多纳米技术,而构成细胞的大分子和膜刺激了软物质科学的诸多发展。

本教材意图面向广泛的受众群。它的前身是我在一个大班上授课的内容,该班包括了来自物理学、生物学、生物化学、生物物理学、材料科学、化学、力学和生物工程学的学生。无论科学或工程系的课程将之用作主要的或是辅助的教材,我希望本书均能有所裨益。另外,我的学生们来自本科二年级到研究生三年级的各个年级,他们的研究经验悬殊。你可能并不想尝试面向如此多元化的学生群体授课,但是在宾夕法尼亚大学这是可行的。为照顾到所有人,课程内容分为两部分。研究生部分提供了更难、在数学上更为复杂的习题和试题。本书的结构也反映了这种划分,大量的“拓展”小节和习题覆盖了这些更加高级的材料。这些小节放到了各章末尾且以特殊符号标记,它们之间在很大程度上是无关的,所以你能像点菜一样随意指定学生阅读。我建议所有学生在第一遍阅读本书时都跳过这些小节。

学习本书核心内容的唯一前提是本科一年级的微积分和基于此的物理知识,

以及对高中化学、生物学的零星记忆。微积分的概念要熟练运用,但对计算技巧几乎不作要求,仅需会求解最简单的微分方程。更为重要的是,学生们要掌握一系列能力,能够熟练进行简短的计算和估计、辨明各种单位以及做出简单推导。“拓展”部分的内容和习题应该指定给高年级的物理专业学生以及研究生一年级的学生。由于这门为期一学期的课是为缺少研究经验的学生而设,你或许想跳过第9章和第10章(或第11章和第12章)中的一章或全部两章。对更有经验的学生,你可以快速掠过开篇章节,然后着力在高级内容上。

在讲授这门课程时,我另行指定了一本标准细胞生物学教材中的某些材料作为补充阅读。细胞生物学不可避免地包含了大量术语和插图,学生和老师们都必须花功夫学习它们。好在回报也是明确、及时的,它不仅使你能与众多领域里的专家们进行交流,而且对你弄清哪些物理问题与生物医学研究紧密联系也至关重要。

我特意花力气统一了书中的术语和符号。对横跨好几个学科的内容而言,这可是一件极为艰巨的任务。附录A将所有符号汇总在一起。附录B中包含了很多有用的数值,超过书中实际用到的。(你可能会发现这些数据有助于布置一些新的家庭作业和考试题目。)

关于如何使用本书开出一门完整课程,你可以在“指导教师指南”中找到更多细节。这份指南可以从W. H. 弗里曼图书公司得到。它包括了对书中所有习题和思考题的解答、建议使用的课堂演示,以及生成书中很多曲线的计算机代码。你可以使用这些代码创作一些需要使用计算机的习题,或者做课堂演示,等等。本书的勘误将会出现在以下网址: <http://www.whfreeman.com/biologicalphysics>。

本书为何没有触及你最喜欢的话题?

这或许也只是我所喜欢的话题之一。我不得不在书中恪守以下几条原则:

- 它是课本而不是百科全书。本书选材是我在总学时为42小时的典型学期当中企图覆盖的内容(即学生们确实要努力掌握的),外加20%的内容供自由选用。
- 要讲述一个完整的故事。
- 在近期的研究成果和重要的经典课题之间维持内容上的平衡。选取那些能与物理学、生物学、化学、工程学等学科保持最广泛联系的课题。
- 几乎不提及量子理论,因为学生们在这门课之后才会学到它。幸运的是,生物物理学中大量重要的知识(包括软物质整个领域)并不会用到很深的量子理论的思想。
- 将讨论限制于某些具体问题。正是在这些问题上,物理学的远见引出了可证伪的、定量的预言,并且相应实验数据也是可以获得的。每一章都会给出一些真实的实验数据。
- 所选问题应该是能阐明重大思想或者已被这些思想所阐明的。学生们需要这

些——这正是他们学习科学的原因。

当然，肯定有其他话题完全满足上述要求但是并没有包含在本书里。我期待着你能对新版添加哪些内容提出建议。

上述各条准则体现了我的决心，即要传达出物理学观念自身的优美和重要性。出于对这些基本观念的尊重，我不会像眼下时兴的实用主义那样，仅仅将它们当作有助于其他学科的工具箱。书中有几个明显与（当前）生物学不太相关的话题，它们追求的物理学超越了（当前）那种仅对生物现象做解释的物理学，这个安排也反映了我的信念。

申明

这是一本教材而不是专著。本书在陈述很多微妙话题时有意抛开了重要的细节。除了在标有“历史”的各节外，我也没有刻意要突出任何成果的历史优先权。之所以选用书中所描述的实验，原因很简单，它们符合某种教育观，并且看来都有特别直接的解释。在本书中，我有意识地避免了系统地引用自己的工作，而对其他原创工作的引用则很随意。书中不会特别申明哪些内容是原创的，虽然我有时忍不住这样做了。

本书内容真的属于物理学吗？

它是否应该在物理系教授？如果你提出这个问题，很可能你已经有自己的判断了。但是我打赌你的同事会问这个问题。本书力图显示，不仅很多分子生物学的创建者们有着物理学的背景，而且从历史来看，对生命的研究也曾回报给物理学以至至关重要的洞察。在物理教育方面也是这样。很多学生发现统计物理学的思想在生命科学中得到了最为鲜明的体现。实际上，有些学生在修过统计物理和物理化学后来学习这门课。他们告诉我，本课程为他们提供了一个新的、有益的途径把原本零散的知识拼合在一起。

更重要的是，我发现有一群学生对物理学充满兴趣但又常感到不知如何入手，因为系里不能提供物理学与那些激动人心的生命科学相联系的纽带。现在是时候教给他们所需要的了。

同时，生命科学的同事们常问我，“我们的学生需要那么多物理知识吗？”回答是，过去或许不需要但是将来肯定需要。你的同事们可能已经阅读过最近关于这个话题的两篇非常雄辩的文章（Alberts, 1998; Hopfield, 2002），以及 NRC 的全面报告（National Research Council, 2003）。本书力图展示，的确存在一条针对生物问题的定量的物理学途径，其应用面极广。它不只是为训练有素的科学家所掌握，它应该成为一种人人均可掌握的强大武器，而不限于物理专业的学生。我相信物理学近来的狭隘只是暂时的失常。只有重塑原本紧密的联系，双方才可能走向成功。

最后

我最大的幸运是在 Sam Treiman (1925—1999) 精彩的讲课中第一次明白了统计物理。Treiman 是一位优秀的科学家,也是这个优秀的物理系的精神领袖。至今,我仍不时地翻一翻以前在他的课堂上记下的笔记。字里行间,依稀音容如故。

致 谢

关于本书,我只是写了初稿,现在已很难记起它是什么样子了。此刻你拿在手上的版本已经过多人修正,其中包括很多学生。正如身体中的细胞不停更新,书中几乎每个句子都至少修改过一次,这部分归功于读者的帮助。我谨向他们致以诚挚的谢意。

全书由第 7、9 两章的内容扩充而成,这两章又是从我在科西嘉岛(Corsica) Institut d'Etudes Scientifiques in Cargèse 的讲座内容上发展起来的。非常感谢 Bertrand Fourcade 邀请我做这些讲座。

当然,几次报告的内容距成书还有相当一段距离。Ramamuri Shanker 和 Joseph Dan 竭力说服我为什么必须跨越这段距离。在整个过程中,Nily Dan 富有洞察力的建议涵盖了每一项写作策略,而且事实上也确立了本书的总体目标,这些都使我受益匪浅。如果没有 Gino Segre 和 Scott Weinstein 的持续支持和远见卓识,这条路恐怕会艰难得多。

在持续几个月的紧密合作中,Sarina Bromberg 无论在科学内容还是文字表述上都作了大量的改进,包括重排所有章节。Bromberg 博士生物化学的背景使她得以避免很多或大或小的失误。她还创作了书中最复杂的几幅图。

本书还直接归功于贡献第 6、11 两章的“题外话”的作者们,还有为本书撰写了很多习题答案的 Marko Radosavljević,以及提供或帮助找到那些引人入胜的插图的同事们,他们是: Howard Berg、Paul Biancaniello、Scott Brady、David Deamer、David Derosier、Tony Dinsmore、Dennis Discher、Ken Downing、Deborah Kuchnir Fygenon、David Goodsell、Julian Heath、John Heuser、Nobutaka Hirokawa、A. James Hudspeth、Sir Andrew Huxley、Miloslav Kalab、Trevor Lamb、Jan Liphardt、Berenike Maier、Elisha Moses、Steve Nielsen、Iwan Schaap、Christoph Schmidt、Cornelis Storm、Karel Svoboda 和 Jun Zhang。

在众多读者中,我特别愿意提到 David Busch、Michael Farries、Rodrigo Guerra、Ming Li、Rob Phillips 以及 Tom Pologruto 等人所提供的重要帮助。为使本书臻于完美,他们满怀热情,不惜耗费大量宝贵时间。不仅帮助我发现了不少错误,而且还为本书的教学提出了许多建议。

诸多同事耐心解答了我无休止的提问,向我提供他们的实验数据,解释他们的研究工作,并且给了我很多有益的建议和批评。他们是 Ralph Amado、Charles

Asbury, Howard Berg, Steven Block, Robijn Bruinsma, Vincent Croquette, David Deamer, Dennis Discher, Vasco Fachada, David Fung, Susan Gilbert, Raymond Goldstein, Nick Gydosh, A. James Hudspeth, Wolfgang Junge, Randall Kamien, David Keller, Matthew Lang, Tom Lubensky, Marcelo Magnasco, John Marko, Simon Mochrie, Alan Perelson, Charles Peskin, Dan Rothman, Jeffery Saven, Mark Schnitzer, Udo Seifert, Cornelis Storm Kim Sharp, Edwin Taylor, Ignacio Tinoco, Koen Visscher, Donald Voet, Michelle Wang, Eric Week 和 John Weeks。

另一些同事审阅了一个或更多的章节,帮助发现了原稿的诸多不足,包括内容失实、排版差错、粗心不慎之处、意思含混之处乃至表述上疏漏之处。他们是 Clay Armstrong, John Broadhurst, Kevin Cahill, Russell Composto, M. Fevzi Daldal, Isard Dunietz, Bret Flanders, Jeff Gelles, Mark Goulian, Thomas Gruhn, David Hackney, Steve Hagen, Donald Jacobs, Ponzy Lu, Kristina Lynch, John Marko, Eugene Mele, Tom Moody, John Nagle, Lee Peachey, Scott Poethig, Tom Powers, Steven Quake, M. Thomas Record, John Nagle, Lee Peachey, Scott Poethig, Tom Powers, Steven Quake, M. Thomas Record, Jr., Sam Safran, Brian Salzberg, Mark Schnitzer, Paul Selvin, Peter Sterling, Steven Vogel, Roy Wood, Michael Wortis 和 Sally Zigmund。

本书已经过相当广泛的试用。这当然得感谢在教学中使用了本书草稿的同行们,还有那些长期遭受此书“折磨”的学生们。他们是 Anjum Ansari(伊利诺伊大学芝加哥分校)、Thomas Duke(剑桥大学)、Michael Fisher(马里兰大学)、Bret Flanders(俄克拉何马州立大学)、Erwin Frey(柏林自由大学哈恩—迈特纳研究所)、Steve Hagen(佛罗里达大学)、Gus Hart(北亚利桑那大学)、John Hegseth(新奥尔良大学)、Jané Kondev(布兰迪斯大学)、Serge Lemay(代尔夫特理工大学)、Bob Martinez(得克萨斯大学奥斯汀分校)、Carl Michal(英属哥伦比亚大学)、John Nagle(卡耐基—梅隆大学)、David Nelson(哈佛大学)、Rob Phillips(加州理工学院)、Tom Powers(布朗大学)、Daniel Reich(约翰霍普金斯大学)、Michael Schick(华盛顿大学)、Ulrich Schwarz(马普胶体与界面研究所)、Harvey Shepard(新罕布什尔大学)、Holger Stark(康斯坦茨大学)、Koen Visscher(亚利桑那大学)、Z. Jane Wang(康奈尔大学)、Shimon Weiss(加州大学伯克利分校)、Chris Wiggins(纽约大学)、Charles Wolgemuth(康涅狄格大学健康中心)和 Jun Zhang(库朗研究所)。特别感谢我在宾州大学的学生,尤其是 Cristian Dobre、Thomas Pologruto、Kathleen Vernovsky,以及我的助教 David Busch、Alper Corlu、Corey O'Hern、Marko Radosavljević的热情和合作精神。

本书的撰写离不开以下几个机构的支持。我要向宾州大学致以最深的谢意。宾州大学不仅是优秀科学永不谢幕的舞台,她还实实在在地为我 16 年的教学工作提供了大力支持。当然,本书还依赖于同事的帮助,以及两个系的系主任在过去的三年内免除我诸多杂务的远见卓识。此项目最初的关键阶段完成于热情好客的魏兹曼科学研究所(Weizmann Institute of Science),感谢 Elisha Moses 为