

立足物理思想方法 解决各类实际问题

陈征¹ 张玉峰² 郑永和³ 魏红祥^{4,†}

(1 北京交通大学物理科学与工程学院 北京 100044)

(2 北京教育科学研究院 北京 100036)

(3 北京师范大学科学教育研究院 北京 100875)

(4 中国科学院物理研究所 北京 100190)

2022-12-04收到

† email: hxwei@iphy.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20221207

“物理思想进课堂”专栏已开设两年，来自高校、科研院所、中学、科技馆等不同工作岗位的物理工作者通过二十余篇文章对物理学目的、原则、范式、结构、方法等问题，以及它们在力、热、声、光、电磁等学科分支中的运用进行了许多讨论。这些讨论虽然聚焦于物理问题，但物理思想本身的作用域并不仅限于物理学本身。

1 物理思想的作用域非止物理

一方面物理学作为自然科学的基础学科和带头学科，为其他自然科学和工程技术领域提供了基础的范式、方法、概念、理论等，因此物理学的思想方法，在其他学科中也发挥了巨大的作用^[1]；另一方面，物理学作为研究自然界基本性质、基本规律的学问，它带来的知识、理论以及背后的思想方法也会深刻影响人们对世界的看法，通过参与人的世界观构建来影响人生观和价值观，在个人成长和社会发展中扮演重要角色，因此物理学的思想和方法也常被引入人文社会学科的研究和实践当中。从托马斯·杨用词频统计法破解罗塞塔石碑上古文字的秘密^[2]，到奥古斯特·孔德创立“社会物理学”^[3]，试图以物理学范式研究社会问题，物理思想在各类实际问题中发挥广泛作用的案例比比皆是。

事实上实证主义哲学家孔德认

为人类社会既然是自然界的一部分，那么人的社会秩序应该是自然秩序的延伸，因此探索人类社会规律的学问也应该是探索自然秩序学问的直接延续。在他1830年的《实证哲学教程》中，社会物理学是与天文、物理、化学、生物并列的一门基础学科，具体包括社会静力学和社会动力学两部分。由于1835年比利时统计学家兰伯特·凯特莱出版的《论人及其特性的发展：社会物理学》中建立了“社会统计学”概念，为了避免混淆，孔德在1836年将他的“社会物理学”改为了“社会学”，社会学正是由此诞生。可以说社会学就是将物理思想方法作用于人与社会的直接结果。

2 薛定谔精彩的“思想迁移”

1943年，量子力学的奠基人之一薛定谔在都柏林的圣三一学院做了一个系列演讲，在演讲中他把物理学的基本概念、观点和方法带入对生命现象的审视之中，引发了DNA分子的发现。更重要的是他把物理思想迁移到生命科学当中，将生命科学从表面现象的研究带入了对微观机理的理解层次，让生命科学进入了分子生物学的新阶段^[4]。我们不妨看看薛定谔是如何进行这次精彩的“思想迁移”的。

薛定谔首先沿着“化繁为简”的基本思路对复杂的生命现象进行简化抽象，只保留其中最基本、最

核心的要素——物质是由原子组成。生命与非生命体在物质性这一最基本特征方面没有区别，那么两者也应该都由原子组成，并遵循相同的基本物理规律。当时已经得到充分实验证据支撑的统计物理学揭示了新的世界图景——一切物理规律都是统计规律，物质宏观上遵循的规律实际上是组成它们的微观粒子随机运动所遵循的统计规律的近似结果，参与的微观粒子数越少，涨落现象就越显著。当时最新的生命科学实验发现承载遗传信息的染色体上一道道横纹——基因仅有几百埃见方的尺寸，而这个长度仅仅相当于一百多个原子直径，也就是说一个基因仅能容纳百万量级的分子。如果这百万个原子仅是简单堆积而成，那么统计中的定律告诉我们，原子们各自随机运动导致其宏观性质将出现约1‰的涨落，而这个量级的涨落对于生命而言实在误差太大了，无法保证性状被稳定保持和遗传。

不是原子的简单堆积，那应该是什么样子呢？类比——这种先找到相同的基本特征，建立看似不同事物之间的相似关系，进而利用与已知事物的相似性探究未知事物奥秘的思想方法派上了用场。

类比在物理学中的应用十分常见，本专栏也曾有文章专述类比思想，麦克斯韦就曾基于水流的图像抽象成的流体模型来类比电磁场，

从而建立起旋度、散度等物理量来描述场的概念和体系；薛定谔本人也是在德布罗意物质波假设的基础上，将核外电子轨道的量子化问题类比成驻波，进而以“量子力学是本征值问题”的思路建立起大名鼎鼎的薛定谔方程。那么在物理学中，由少量原子构成却能保持稳定情况有吗？有，那就是原子之间通过化学键组成的分子，再由分子通过氢键、卤键、范德瓦耳斯力等方式组成的分子晶体¹⁾。在量子力学规则约束下，原子在分子之内，分子在晶体之中均处于势阱之内，如无足够的外界能量注入，宏观上便在只有少量原子参与的情况下能保持长期的稳定性。当然涨落现象只是被抑制，并非被消除。由于温度变化、高能粒子电离等带来的影响，这种稳定性也会减弱甚至有一定概率遭到破坏，而这又和生命现象中的“突变”建立起联系。“遗传物质是个大分子”、“生命的物质基础是非周期晶体”这样深刻而有洞见的观点由此被提了出来，当这些内容被以 *What is Life* 为书名集结出版后，影响了一批学者。短短不到10年时间，詹姆斯·沃森、莫里斯·威尔金斯、弗朗西斯·克里克等人就做出了20世纪堪比相对论和量子力学的重大发现——DNA双螺旋结构，并将人类带入分子生物学的时代。

3 “熵”概念的延伸与统计物理的影响

“熵”概念向广泛领域的延伸是物理思想广泛深刻影响的又一个具体案例。1865年，克劳修斯在经典热力学的流体图像下建立了原始的“熵”概念，一个与物体热性质有关

的状态函数，在可逆循环过程中的守恒量²⁾。1877年，玻尔兹曼在粒子图像下将克劳修斯的熵概念与微观状态建立对应关系，提出宏观状态函数熵 S 与组成物质的微观粒子随机状态数 Ω (热力学概率) 之间存在如(1)式的关系，即玻尔兹曼熵公式，并指出熵的物理意义是微观状态有序度的体现。马克斯·普朗克在1900年左右给玻尔兹曼熵公式加上了系数 k (如(2)式， k 后来被称为玻尔兹曼常量，写作 k_B)，进而给予了玻尔兹曼熵一个确定的值。

$$S \propto \ln \Omega, \quad (1)$$

$$S = k \ln \Omega. \quad (2)$$

从此，熵作为统计物理中最为人知的概念之一产生了深远的影响。薛定谔1943的 *What is Life* 的后半部分就讨论了熵与生命有序现象的关系，提出了“负熵”的说法。1948年，数学家克劳德·香农借鉴玻尔兹曼熵的量化方法定义了信息熵(3式)，成为信息论的基础概念之一。

$$H = - \sum_{i=1}^k p_i \log_2(p_i). \quad (3)$$

我们常说物理学是“用量描述质”的学问，这种给抽象性质或概念给予量化指标的方法给其他学科也提供了巨大帮助。除了信息学，交通领域把参与交通行为的人、车等看成粒子，把道路看做流道，把各种相关因素作为输入和输出，用流体或是粒子统计的思想方法研究交通行为，形成了“交通物理学”。社会学的细分领域也纷纷将统计物理学的思想、理论和方法引入其中，如将参与社会行为的单元看作组成系统的粒子，把社会运行类比为粒子系统的演化，进而用统计物理学的方法来研究各类社会问题的

新的“社会物理学”；又如将金融市场的各种价格、指数等数据看做物理参量，引入统计物理、非线性理论、复杂系统理论等形成的“金融物理学”等等。

4 物理思想进课堂仍在路上

今天，物理思想方法的应用场景早已超越了物理学本身，不但应用在生命科学、环境科学、各类工程技术等领域，甚至已经被用来做交通规划，预测股票价格、房价走势等方面。对物理思想方法的学习和体会不仅能帮助我们高效地学习物理，深刻地理解物理，更重要的是让我们能够将物理思想方法“迁移”到学习、工作、生活中碰到的各个领域、各种类型的实际问题中去，进而能够在有限时间、有限资源的条件下去解决没有标准答案、没有现成范式、没有最优解法的实际问题。

“立足物理思想方法，解决各种实际问题”——这正是参与“物理思想进课堂”专栏撰稿的所有科技工作者和老师们希望带给各位读者的。专栏虽然即将告一段落，但“物理思想进课堂”的工作仍在路上，希望各位从事物理基础教育的同仁与我们一起努力，让物理基础教育真正从“授人以鱼”的知识传授走向“授人以渔”的思想方法启蒙，培养出更多满足新时代需求的高素质人才！

参考文献

- [1] 秦克诚. 大学物理, 2005, 24(1): 3
- [2] 冯志伟. 外语学刊, 2020, (1): 1
- [3] 牛文元. 科学与社会, 2011, 1(1): 45
- [4] 埃尔温·薛定谔. 生命是什么. 广州: 世界图书出版广东有限公司, 2016

1) 今天我们已经知道，化学键或是氢键、卤键、范德瓦耳斯力等均是量子效应的结果，均遵循量子力学规律。
2) 熵概念最早的思想源头来自萨迪·卡诺流体图像下的某种守恒量，卡诺是否将其视为“热质”，科学史学者有不同意见。