

物理基本力学理论的三足鼎立：已完成的追求？

——评《溯源探幽：熵的世界》

敖平^{1,2,*}

(1 上海大学 定量生命科学国际研究中心和物理系 上海 200444)

(2 上海交通大学 系统生物医学研究院 上海 200240)

2016-12-23收到

* email: aoping@sjtu.edu.cn

DOI: 10.7693/wl20170410

从上个世纪末以来，我一直工作在物理、生物、工程、医学等学科之间，对有意理解物理学核心内容的其他学科的研究者和学生，我总是—致地推荐两个领域：经典力学和统计物理。理由很简单：从伽利略(Galileo)和牛顿(Newton)开始的力学是所有科学的范本；热力学和统计力学是不同层次理论对接的范本，联系了微观和宏观两种描述。两个领域的风格很不一样。由于它们也是物理中的基本内容，在各个水平都有对应的优秀教科书，专业知识容易获取。但我一直在寻找一本外行读着有趣、内行开卷有益的读物。最近在上海一家新华书店遇到《溯源探幽：熵的世界》(冯端、冯少彤著，2016)^[1]，让我眼睛一亮，一口气读完。这确实是值得推荐的书，它在每个方面都有平衡的叙述：历史背景、重要人物、主要进展、应用例子、未决问题等。

《溯源探幽：熵的世界》共分10章。第一章给了热力学起源非常清晰的讲解。用历史故事有力地阐明了科学和技术发展中反复出现的非常有效模式：理论产生于实践，运用数学和实验进一步发展理论，再反过来指导实践，促进生产发展。把热力学中出现的基本概念，如绝对温度 T ，作了简洁、准确的介绍。书中明确地把热力学和(狭义)相对论、量子论并列，并指出它

们都各自给出人类认识自然界规律的极限，或不可能性。第二章回顾了熵是怎样引入物理学并讨论了其意义。对中文读者来说，最有意思的可能是我国物理学家胡刚复如何创造了“熵”一字。现在此字的运用范围已远逾物理学，成为我们日常生活词汇的一部分。这个故事使我想起安德森(P. W. Anderson)对他自己创造“自旋玻璃”一词的自豪。从概念角度来说第三章最为重要。玻尔兹曼(L. Boltzmann)首先在物理学中引入几率或概率，把不确定性引入了物理学的基础之中。该章节也精炼地讨论几个相关概念，如涨落和布朗(R. Brown)运动。第四章用热力学最重要的似乎也是最简单的自由能 F 的公式，

$$F=U-TS,$$

来描述熵 S 和能 U 的竞争关系，漂亮地讨论了一个似乎反直觉的现象——熵致有序，并用熵解释了另外一个常见现象——橡胶的弹性，一个广义力作用的标准例子。第五章讨论热力学第二定律隐含的不可逆性，讨论了非平衡过程中第一个重要的动力学方程，玻尔兹曼方程，和相随的 H 函数，指出在当前物理学界中存在着两种截然相反的观点：玻尔兹曼为代表的认为热力学可以回溯到经典力学；庞加莱(H. Poincare)为代表的认为逻辑上有时间反演对称的动力学不可能直接导

出不可逆的热力学。在远离平衡状态中这两种截然相反的观点变得更加显著，第六章对此在开放系统概念下作了进一步讨论。克劳修斯(R. Clausius)的宇宙热寂论断在一百五十年后仍然令人迷惑。有趣的是第七章破灭了好几个神话。首先是没有永久气体，在这个意义下理想气体明确地是一个近似。非理想气体的研究不但表明有不连续性相变，也引导到临界现象——连续性相变。同时也直接告诉我们玻尔兹曼方程有严重局限。实验研究总结出绝对零度不可实现，这破灭另外两个神话：完全的确定性系统——零度——不存在；经典力学在绝对零度附近不会成立，新的力学必须存在。这就平滑地过渡到第八章，低熵世界和量子论，和热力学第三定律。受玻尔兹曼启发，普朗克(M. Planck)假设能量可以不连续，并引入能量量子，开辟了一个崭新的领域，让物理学从古典时代进入现代时代。通过麦克斯韦妖，第九章给出了(负)熵和信息等价性的完整演绎，回应了第二章的一个故事，很自然地下了令人信服判断：在当今的世界中，熵比能更加重要。最后一章，第十章，总结了自吉布斯(W. Gibbs)以来对熵研究的一些主要进展，是我见到的从动力学角度最好的非技术性的讨论，肯定对专家也会有启迪。并对热力学和统计力

学中的主要未决问题作了一个非常倾向性的解答。尽管作者们充分地赞美熵，在他们的倾向性观点下本书的最后结论却有一丝遗憾：热力学第二定律在宏观领域中普遍适用，在微观领域中却没有它应有的地位。

毋庸置疑，这是一本优秀的有一定深度的普及读物，在我有限的同类中文书籍的阅读中，它肯定是最好的几本之一。书的作者之一，冯端，我国一位卓有成就的物理学家，也著有许多别的优秀著作。在眼前这本近于理想的读物中鸡蛋里挑骨头是异常地困难。首先，这里只有几个小小的技术性建议：(1)本书非常强调大数条件下，在此思路下也许应提一提热力学极限。不可逆性要有这个极限，或者等价地，要明确引入“无穷”，几率就是代表无穷；(2)在69页中，尽管还没有三维伊辛模型的严格解，我国物理学家郝柏林已获得非常好的近似解析解^[2]；(3)在164页中，如果提一下普朗克的能量不连续假设受玻尔兹曼启发也许更能体现科学中的传承性，这也是一个真正科学争论的范例：普朗克从反对玻尔兹曼分子动力学理论的过程中也学到很多；(4)若每章后能有一些延伸文献，读者会发现对加深理解更有帮助。

从介绍基本知识、表述主要思路角度，《溯源探幽：熵的世界》接近完美。但从工作在相关领域的一个一线研究者角度来看，本书隐含了一个重要矛盾或不一致，以至于热力学的根本问题，不可逆性，没有得到理论上的完全解释。书的作者们可能已经意识到这点：尽管书中给了熵无上的地位，赋予了热力学在物理基础力学理论中三足鼎立的可能，与(狭义)相对论、量子论

并列(第22页)，但作者们承认热力学第二定律只能在宏观领域中称王称霸，在微观领域中没有它的地位(第225页)。其根本原因是热力学不是真正意义下的“力学”，它不显含时间，与(狭义)相对论力学和量子力学不一样。书中断定玻尔兹曼的路是基本正确的(第209页)，本世纪以来的发展很可能证明恰恰相反：经典力学的确与统计力学相容，但后者含有全新的概念——几率或概率，不在经典力学框架之中。庞加莱很有可能才是对的。事实上，玻尔兹曼的每一个“澄清”都引入了额外的假设。吉布斯的统计系综理论才是统计力学的恰当的表述^[3]，它让统计力学可以应用于单个粒子，不需要许多粒子或大数假设。但过去一百年中系综理论在物理学界里还没有得到充分的发展，它太超前了，甚至几乎预期了哥尔莫果洛夫(A. Kolmogorov)的概率公理系统和统计学中的先验概率推理。可能由于这种低估的重要性，吉布斯的统计力学的基本原理的中文译本去年才在我国出现。另外，在现代概率公理系统中，玻尔兹曼的 H 函数不是熵，因为他用的分布函数的物理意义不是概率，而是单体密度函数。玻尔兹曼方程是Bogoliubov—Born—Green—Kirkwood—Yvon(BBGKY)方程组中的一个极限情况，换句话说，是一个特例。在吉布斯的统计系综理论下，热力学不但在宏观领域被反复证明是正确的，没有例外，可以并已经被应用于微观领域如Kubo—Martin—Schwinger(KMS)条件。在宇观中也有应用，如系综思想已被应用于多重宇宙论。如果把彭罗斯(R. Penrose)的说法(第231页)改为，“对孤立系统，物理学定律都具有熵的不变

性；但对其他系统，不管任何尺度，自由能总是减少的”，物理学界大体上会同意。

书中多处出现目前中外教科书中常见的不准确陈述(第28, 32, 88, 106页)：在孤立系统内，任何变化不可能导致熵的总值减少。此陈述隐含着孤立系统熵会增加，一个不正确的结论。由于孤立系统与外界没有物质和能量的交换(第106页)，迄今为止的实验和理论研究表明它的熵不会变化。如果我们的宇宙是“孤立”的，克劳修斯(第126页)对热力学所作的宇宙学的论断应修正为：宇宙的能量是常量；宇宙的熵也是常量。希望读者对书中这种常见不准确陈述有所警惕。

从玻尔兹曼开始，在过去一百多年中有无数寻找某种势函数用以确定变化趋向的终态的努力，不幸的是一直到本世纪初这样的努力都失败了。但是，“业已证明，……不可能……用某种势函数来确定变化趋向的终态”(第106页)是不正确的。首先，不存在这样的证明——寻找不到这种函数不等价于它不存在；其次，本世纪初以来这种努力已经开始成功，这种函数是存在的，其中有许多华人学者的贡献^[4, 5]。书中提及有“不遵循热力学规律的系统”(第227页)，举的例子却都没有违背热力学规律。若真正有这样例子，读者们、专家和非专家，会对这样的系统非常感兴趣。

最后，最困难的问题还是会回到动力学，回到非平衡过程是否有一个一般的、简洁的运动方程的问题。如果这个基本问题得到正面的解决，我们就有基本运动力学理论的三足鼎立，我们对自然界的理解肯定会上一个大台阶。如何从动力学上入手，很有可能我们应该听从玻

尔兹曼的建议去向达尔文(C. Darwin)的生物演化理论获取灵感。答案很可能已隐含在涨落这样“一个貌不惊人的夹缝”中,如布朗运动与随机过程^[6, 7]。从吉布斯统计系综角度,对几个粒子系统,涨落会非常的大,这个“夹缝”可能会异常的大,里面的天地会令人吃惊的大。在这个情况下我们首先要改变对热力学量的量化:许多平均量要被相应的概率描述替换。有此作为基础物理基本力学理论的三足鼎立是可能存在的——(狭义)相对论力学、量子力学和演化力学^[7]。对追逐或理解这种自然界的深层结构,或只想欣

赏熵带来的惊奇及其妙用,《溯源探幽:熵的世界》已为我们提供了足够的素材,我愿向时间和宇宙的哲思者、科学和技术爱好者、大学生和研究生、和相应物理、工程及数学专家强烈推荐此书——您花费的金钱是物超所值,阅读的时间是有品质的。

参考文献

- [1] 冯端,冯少彤. 溯源探幽:熵的世界. 北京:科学出版社,2016
 [2] 刘寄星,郑伟谋. 挑灯看剑集. 北京:科学出版社,2014
 [3] 吉布斯 著,毛俊雯 译,汪秉宏 审校. 统

计力学的基本原理. 合肥:中国科学技术大学出版社,2016

- [4] Ao P. Journal of Physics, 2014, A37: L25; <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0305-4470/37/3/L01/meta>
 [5] Qian H, Ao P, Tu Y H *et al.* Chemical Physics Letters, 2016, 665: 153; <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009261416308442>
 [6] Ao P. Communications in Theoretical Physics, 2008, 49: 1073; <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0253-6102/49/5/01/meta>
 [7] Ao P. Chinese Physics B, 2014, 23: 070513; <http://cpb.iphy.ac.cn/EN/abstract/abstract59987.shtml>




ILOPE - 2017 北京光电周
中国国际激光、光电子及光电显示产品展览会
 China International Lasers, Optoelectronics and Photonics Exhibition
2017.10.11-13
 中国国际展览中心(静安庄馆)



北京华港展览有限公司
 Tel: +86-10-84600314, 84600836
 84600343, 84600384
 Email: zhanghaijiao@ciec.com.cn
 chendeyun@ciec.com.cn
 wangxinyan@ciec.com.cn
 menglin@ciec.com.cn



中国光学光电子行业协会
 Tel: +86-10-84321499
 Email: coema@coema.org.cn

扫码关注



体验国内外光电行业
 展会“一站式”服务!