特约稿件

【编者按】《物理与工程》重新刊发郝柏林先生1988年的文章《牛顿力学三百年》，孙昌璞院士撰写了专门的评述文章《重读〈牛顿力学三百年〉：经典力学纵深与复杂系统物理开端》。孙院士的文章不仅是一篇导读，还是一篇关于统计物理和复杂系统发端、发展和前瞻的评述文章，也是一篇如何学习、发展和缅怀前辈学术思想的范文。另外，郑伟谋研究员为《牛顿力学三百年》写了一篇导读。本文是这次重新刊发活动的第一部分，孙昌璞院士的《重读〈牛顿力学三百年〉：经典力学纵深与复杂系统物理开端》。

重读《牛顿力学三百年》：经典力学纵深与复杂系统物理开端

孙昌璞

（中国工程物理研究院研究生院，北京 100193）

摘 要 重印郝柏林1988年发表的《牛顿力学三百年》既是对经典的致敬，也是为当下复杂系统研究提供思想资源。读懂牛顿力学的纵深，理解复杂系统的经典起源，在经典与现代的对话中寻找灵感，正是重读这篇文章的核心意义。

关键词 牛顿力学；内在随机性；不可积性；统计物理；复杂系统

DOI：10.27024/j.wlygc.2026.02.23.is

REFLECTIONS ON "THREE HUNDRED YEARS OF NEWTONIAN MECHANICS": IN-DEPTH EXPLORATION OF CLASSICAL MECHANICS AND THE DAWN OF COMPLEX SYSTEM PHYSICS

SUN Changpu

(Graduate School, China Academy of Engineering Physics, Beijing 100193)

Abstract Reprinting Hao Bailin's 1988 article "Three Hundred Years of Newtonian Mechanics" is not only a tribute to a classic but also provides intellectual resources for today's complex systems research. To grasp the depth of Newtonian mechanics and understand the classical origins of complex systems is to seek inspiration through a dialogue between the classical and the modern—the essential significance of re-reading the article.

Key words Newtonian mechanics; intrinsic randomness; non-integrability; statistical physics; complex systems

在2026年2月份由纳米热力学读书会主办的"统计物理基本原理研讨会"上，郝柏林先生在1988年发表的《牛顿力学三百年》一文中提出的猜想再度引发热议——牛顿力学如何向复杂系统（非线性和多体相互作用）推广。值此《物理与工程》获授权重印该文之际，重读经典，既能回溯经典力学三百年脉络，也能厘清其与复杂系统研究的深层关联，此文彰显郝先生的学术洞见。

《牛顿力学三百年》写于1687年《自然哲学之数学原理》出版三百周年前夕，是郝先生对牛顿力学发展的系统梳理与反思。彼时量子力学与相对论已成为现代物理基石，人们普遍认可牛顿力学

收稿日期：2026-02-23；**修回日期**：2026-03-08；**出版日期**：2026-03-30

通信作者：孙昌璞，中国工程物理研究院研究生院，suncp@gscaep.ac.cn。

引文格式：孙昌璞. 重读《牛顿力学三百年》：经典力学纵深与复杂系统物理开端[J]. 物理与工程，2026，36(2)：5-6.

Cite this article：SUN C P. Reflections on "Three Hundred Years of Newtonian Mechanics": In-depth exploration of classical mechanics and the dawn of complex system physics[J]. Physics and Engineering, 2026, 36(2): 5-6. (in Chinese)

的经典基础性地位，而郝先生却聚焦当时被忽视的侧面——不可积系统的复杂性与确定论框架下的内在随机性，这正是复杂系统研究的学术源头。文章从天体力学出发，追溯拉普拉斯、拉格朗日对太阳系稳定性的研究，以及狄利克雷、庞加莱等对 N 体问题的探索，揭示出牛顿力学并非完美的确定论体系，其隐藏的不可积性和小分母共振难题等，正是复杂系统观念的雏形。

复杂系统通常是由大量相互作用个体组成，即使在个体线性描述的确定论框架下，其集体自由度的描述通常也表现为非线性，仍具有内禀的随机性。从这个意义上讲，基于非线性的复杂性是现实中绝大多数物理系统存在的形态。其核心特征有四：一是不可积性，无法通过坐标变换获得足够的运动不变量，N 体问题是典型；二是内禀随机性，系统自身相互作用导致的非线性可产生混沌，初始微小差异导致长期运动的巨大偏差（蝴蝶效应）；三是遍历性与混合性，轨道弥散且相邻轨道可能指数级分离；四是有限性原则，测量精度有限（相当于统计学中认知不完备）使确定论与概率论描述互补。郝先生梳理的不可积系统、KAM 定理及庞加莱发现的同宿轨道，正是这些特征在经典力学中的具体体现。

郝先生的文章首先将核心笔墨放在 KAM 定理与遍历理论上，这是 20 世纪 60 年代牛顿力学在其数学基础方面的重大突破。KAM 定理指出，弱不可积系统中多数轨道仍限制在形变不变环面上，扰动增大时环面逐步破坏直至混沌，揭示了复杂系统从简单到混沌的渐变过程。然而，遵从 KAM 定理的运动限于 N 维环面上，有时不能“热化”到 $2N-1$ 维的等能面上，此时没有“等能面上处处概率相等”，破坏了遍历理论。只有当遍历理论成立，复杂系统运动才存在通常的统计规律。因此，基于 KAM 定理的“力学”，为正则典型性等统计物理方法描述复杂系统提供了一种“经典力学”的依据，实现了经典力学确定论与统计物理概率论的融汇。这些洞见对当下关于强关联系统“热化”和“局域化”前沿研究具有深刻意义。

基于对牛顿力学的全面审视，郝先生提出核心猜想：牛顿力学作为 $\hbar=k_B=1/c=0$ 的极限情况，除了 $1/c\neq0$ 的相对论、$\hbar\neq0$ 的量子力学两大推广，还应存在 $k_B\neq0$ 的第三种推广——以玻耳兹曼常数 k_B 为基本常数的复杂系统统计力学。这一猜想中，对于热平衡态，热力学熵等于 Gibbs 熵，$S=k_BH$。它可从微观定义（$H=-\sum_i p_i\ln p_i$ 是信息熵）得到，$k_B\neq0$ 时基于熵与温度刻画的热力学成为一个复杂系统，为宏观确定论与微观概率论的和解提供了可能。从 E. T. Jaynes 理论来看，k_B 的核心价值是连接宏观热力学与统计微观描述，协调最大熵原理中能量的量纲约束（温度的关系由热力学一致性确定为 $\beta=1/k_BT$），构建确定论与概率论的沟通渠道。今天我们知道，$k_B=0$ 时，信息熵不为零（信息熵不依赖于 k_B 的大小），但热力学熵可以视为零，内部“混乱”就没有什么贡献了，热力学系统就不必视为复杂系统了。当然，目前关于 k_B 与复杂系统的关联仍属学术观点，但这恰恰体现了科学研究的本质——郝先生的猜想十分富有启发性，对其辨析验证正是推动学科融合的关键。

但需明确，这一框架以基本常数划分理论边界虽具启发性，却不能将常数非零取值简单等同于理论全部内涵，量子力学与$\hbar$的关系便是例证。虽然$\hbar$是经典与量子边界的直观标识，但量子力学核心并非“$\hbar\neq0$”所能概括。杨振宁先生指出，相位的整体性、非局域性及量子态叠加性才是其核心，贝里相、AB 效应的量子力学整体拓扑现象均不直接依赖$\hbar$的大小，印证了$\hbar$只是量化指标之一。在经典统计力学中约定，相空间中每$\hbar^{3N}$ 体积对应一个微观态，从而将经典统计力学的 Gibbs 熵，量子力学的 von Neumanm 熵和热力学熵建立起联系。Gibbs 熵或信息熵，不直接依赖于$\hbar$的大小。正如同在上一段我们提到的信息熵不依赖于 k_B 的大小。量子混沌研究进一步表明，$\hbar\to0$ 时存在非平凡极限，量子效应仍会残留，这说明经典与量子的过渡并非是非此即彼的，也补充了对郝先生猜想的理解同理，$k_B\neq0$ 之于复杂系统统计力学，也只是象征而非全部。

时隔四十余年，重读和“完整准确”理解《牛顿力学三百年》仍具现实意义。它揭示了复杂系统并非现代物理全新概念，而是牛顿力学发展中的延续命题，经典力学对不可积性、混沌系统的研究，是复杂系统理论的根基。如今复杂系统成为交叉学科的热点，从天体运动到微观粒子，从强关联量子物态到人工智能，郝先生的猜想仍具学术指引意义。此次重印既是对经典的致敬，也是为当下复杂系统研究提供思想资源。读懂牛顿力学的纵深，理解复杂系统的经典起源，在经典与现代的对话中寻找灵感，正是重读这篇文章的核心意义。

致谢：感谢与董辉和全海涛的讨论。

■