麦克斯韦妖的逆袭

——听全海涛老师讲座的感想

物理学院 周添 学号：2300011538

当我们谈论热力学第二定律时，不得不提到一个著名的假想系统——麦克斯韦妖。这个由苏格兰物理学家詹姆斯·克拉克·麦克斯韦于1871年提出的系统，对热力学第二定律提出了一种挑战，引发了科学界的广泛探讨和思考，也带来了热力学领域的一次长足的进步。

但是在听全海涛老师的讲座之前，在我的认知世界里，那只小精灵(demon)似乎已经停下了脚步——热力学理论已经是一套较为完备、成熟的理论体系，已经不再有更多的发展。或许曾是化学竞赛生的我是受到了物理化学研究内容的局限，只把目光放在了宏观视角下的热力学系统，但是物理学者们的眼光显然要比我开阔的多。热力学和其他很多物理学的领域一样，在人类所在的尺度已经基本被研究透了，物理学者们便把目光投向了极大和极小的尺度。20世纪初至20世纪50年代，近平衡区的非平衡统计物理建立，提出了线性相应理论，涨落耗散定理等，至今依然是经典体系的结构性缺陷之一；20世纪90年代至今，远离平衡区的非平衡统计物理建立，把研究视角聚焦到几个粒子的行为，由唯相的理论引申至引入了运动方程、考虑量子涨落的对有限数量对象的描述，发展出了Jarzynski恒等式、Crooks涨落定理等理论成果。

这些理论的进步并不是小妖精钻进了物理学家们的脑袋，让他们灵光一现想出来的，而是随着相关科学理论和技术方法的进步而看似偶然、实则必然诞生的。热力学向微观领域发展，首先要归功于量子力学的理论进步，否则按牛顿的经典理论我们必然是想不明白为什么纳米尺度的热机会一会儿正着运行，一会儿可能又会反过来；其次，计算机技术的发展也对热力学乃至整个物理学的理论进步起到了至关重要的作用，例如格点QCD的计算——本来就是为计算机而生——就一定离不开计算机的辅助，再比如麦克斯韦妖的简化版模型经计算机模拟就未能达到预期的效果；此外还有各种实验方法的进步，比如获得了2018年诺贝尔奖的光镊技术等，表面上看似乎和热力学没有丝毫联系，实则在验证经典系统的Jarzynski恒等式的实验中为拉伸RNA分子起到了普通镊子根本做不到的作用。

当然，我们也不能否定理论进步中物理学家个体的作用。他们有着异于常人的视角和敢于质疑、敢于创新的精神，能从不同的方向提出问题、发现研究前景：麦克斯韦质疑热力学第二定律是否普遍成立，于是有了那只活蹦乱跳的小妖精，在物理学史上留下了浓墨重彩的一笔；他们也有着超乎常人的才智和能力，能发现问题的本质，拓展理论的前沿：小妖精“偷偷”消耗能量处理粒子信息被看破，解释了这个难题——希望我也能在学习、实践的过程中不断增长这些方面的能力/

研究这些问题也并不是物理学家们一厢情愿，微观的热力学的研究成果可以在许多有着复杂学科交叉的现实问题中被应用。比如我们希望制造的纳米机器人，其动力系统的设计因为尺度的不同而与宏观机械大相径庭，这时纳米热机及相关热力学知识就会发挥作用；再比如生物学研究中候鸟迁徙的导航系统也和一系列的量子效应相关，蛋白质分子的折叠、药物与蛋白质分子的相互作用等也会涉及相关知识……

由此可见，这只小妖精不简单啊。