

物理所复杂环境中扩散的普适标度律研究获进展----中国科学院

2019-05-27 来源：物理研究所

【字体：大 中 小】

语音播报

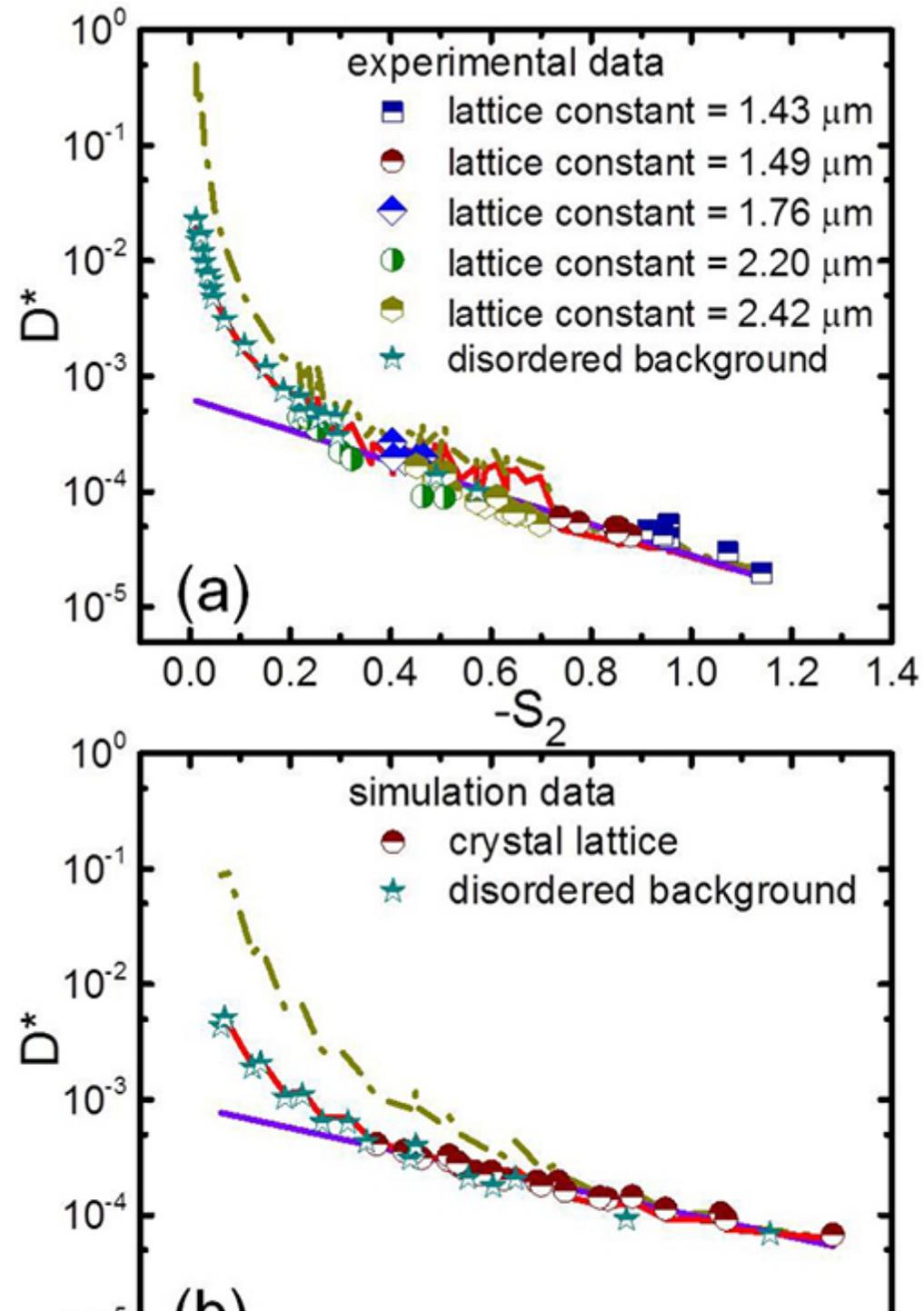
扩散是一个普遍存在于物理、化学、生物以及材料领域的基础物理过程。最简单的扩散过程，如微粒在液体中的布朗运动，能够准确地用Stokes-Einstein关系进行定量的预测。然而，在实际情况下，扩散往往发生在具有复杂结构和相互作用的介质中。例如：半导体材料中的掺杂原子的扩散，胶体粒子在分子聚合物中的运动，以及生物大分子在细胞内的运输等。在这些情况下，扩散受到环境动态结构的影响，特别是当扩散粒子和介质的特征尺寸相近的情况下，连续介质的简化模型也不再适用了。同样的原子在不同的环境中扩散系数会有几个数量级的差异。因此，定量预测复杂介质中的扩散动力学，特别是寻找具有普适性的标度关系就成了研究者长期以来追求的目标。

理论研究很早就提出了一个粒子扩散系数与介质结构熵 S_2 之间的指数标度关系，并在众多的计算机模拟研究中得到了证实。同时，这一模型也存在一些争议，例如在低浓度条件下，一些计算机模拟的结果发现扩散系数与结构熵 S_2 明显偏离这一简单的指数关系。在实验上，关于扩散动力学与介质结构之间的研究非常少，特别是对已有标度关系的普适性目前在实验上还无法得到判定。这主要是由于在原子系统中，同时观测扩散粒子的运动和介质的结构熵比较困难。在这一方面，胶体体系有独特的优势，利用光学显微方法，能够实现胶体粒子和扩散介质的同时测量，是检验和探索新的复杂介质中扩散规律的理想平台。

最近，中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心软物质重点实验室SM8组博士生宁鲁慧和博士后刘鹏在研究员陈科和副研究员杨明成的指导下，利用光学显微实验和计算机模拟，系统地研究了在准二维胶体系统中示踪荧光粒子在复杂结构背景中的扩散动力学。他们利用带电胶体粒子组成不同的背景结构，包括有序的晶体背景和无序的液体背景（图1），并观察荧光小球在背景中的扩散。通过测量荧光粒子的长时间扩散系数和系统的两体结构熵 S_2 ，他们发现在无量纲化之后，不同系统中的粒子扩散系数唯一地依赖于体系的结构熵，从而第一次在实验上证实了扩散动力学与介质结构之间存在普适的标度关系（图2a）。然而，已有的理论模型均不能定量拟合实验测得的普适曲线（图2中紫色实线和黄色点线），其中指数标度模型在高结构熵区域严重偏离了实验结果。为了解决这一问题，他们从扩散的微观机制出发，同时考虑了胶体溶液中溶剂分子的影响，提出了一个新的扩散系数与系统结构熵之间的标度关系。新的标度律能够在三个数量级的变化范围内定量地预测胶体粒子在不同环境中的扩散系数。这一标度关系的普适性通过计算机模拟在更大范围内的介质背景中得到了验证（图2b）。这一发现为预测和调控复杂环境中的扩散现象提供了一个有力的工具，并为探索在非平衡态条件下如玻璃化转变和活性体系中的扩散过程提出了一条新的思路。相关结果最近发表在《物理评论快报》上（*Physical Review Letters*, 122, 178002 (2019)）。

该项工作获得国家自然科学基金委（批准号11874397, 11674365, 11474327, 11774393）、科技部“973”项目（2015CB85680）的资助。

图1. 示踪荧光粒子在不同晶格背景和无序背景中扩散的显微图片。



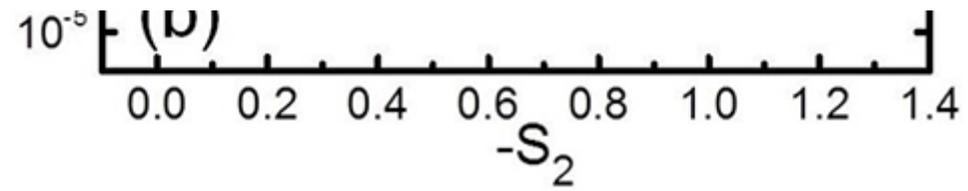


图2. 示踪荧光粒子的无量纲扩散系数 D^* 与两体结构熵 S_2 之间的普适关系。a) 实验数据与理论拟合, b) 模拟数据与理论拟合。

更多分享