

实验发现金属玻璃中类液原子

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/19785.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

根据原子运动状态的不同，物质通常可分为固、液、气三种状态。三态之间有明显区别，例如，液态的水和固态的冰，固液两相即使充分混合仍会存在清晰的边界。然而，一些最新的研究却挑战我们对物态的基本认识，即在极端条件或特殊体系中，单相的物质可以处于既是固态也是液态的奇异状态，也就是固体中存在部分可以像液体一样扩散的原子。例如，冰在高温高压下（如天王星、海王星等冰巨行星的内部）处于一种奇异的超离子态，氧原子固定在平衡位置附近振动，氢原子则可以像在液体中一样自由扩散。地球核心也可能处于超离子态，铁原子组成了固体的地核，碳氢氧等轻元素则可以在其中快速流动。科学家追求的更加安全高效的全固态锂电池的核心问题之一——使锂离子在固体中能够像在液体电解质中一样快速穿梭。因此，这种固体中包含液体的现象吸引着不同领域科学家越来越多的关注。

玻璃是特殊的固体材料，具有超强、超硬、堆积致密等典型的固体特性，以及如同液体一样无序的原子结构，是典型的复杂体系。玻璃材料在生活中随处可见，且人类使用玻璃已有上千年历史，而科学家却无法给出清晰的玻璃微观结构和动力学图像。尽管玻璃具有和液体类似的微观结构，但一般认为其内部原子均已失去像液体一样大范围运动的能力，故玻璃通常被称为冻结的液体。

近日，中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心极端条件物理重点实验室研究员白海洋联合中国人民大学教授李茂枝，带领物理所博士研究生常超、赵睿和博士后张华平等，运用动态力学实验、纳米压痕测试和分子动力学模拟等多种动力学研究手段，发现金属玻璃等紧密堆积的玻璃固体中存在继承了高温液体动力学行为的类液原子。这些类液体原子没有被冻结，在室温下可快速地扩散，有效粘度只有 10^7 帕秒，比金属玻璃在 T_g 的粘度低了至少6个数量级。这一发现突破了玻璃的传统微观图像，揭示了金属玻璃部分固体、部分液体的本质。

实验上，直接观测原子的运动颇为困难。该研究中，实验人员使用动力学激发的方式去探究玻璃内部的原子运动。当外加扰动的频率与内部原子运动的频率相当时，原子运动与外场发生共振吸收，从而在实验中能测量到特征的损耗峰。研究重点关注金属玻璃在低温下出现的损耗峰，即快弛豫峰（图1）。这一动力学模式比以往观察到的玻璃内对应原子大范围运动的 α 弛豫以及对应局域运动的 β 弛豫均要更快，即金属玻璃中存在超出传统认识的运动更快的原子。研究对大量不同体系动力学激活能的测量表明，快弛豫的激活能和高温液体动力学的激活能保持一致（图2）。研究对比不同弛豫过程的弛豫时间发现，高温液体的动力学和玻璃固体中的快弛豫满足相同的Arrhenius关系（图3），意味着在液体冷却过程中，高温液体的动力学模式没有被完全冻结，一些原子可延续高温液体的Arrhenius关系至玻璃固体中，导致玻璃固体室温下的超快滞弹性和低温下的快动力学耗散峰。进一步，研究使用分子动力学模拟详细表征了La-Al体系中类液原子的运

动特征和继承过程。研究发现，在室温下部分具有局部无序拓扑环境的Al原子会发生类似熔化的长程扩散行为，并呈现出链状运动的特征（图4）。这种链状运动在高温液体中已产生（图5），且随温度降低越来越显著，直至在玻璃固体中表现为低温下的快动力学模式，意味着类液原子的继承本质上是对链状运动模式的继承。

对于金属玻璃中类液原子的研究，加深了科学家对于玻璃本质的认识，即玻璃态其实是一种部分是固态、部分是液态的奇异状态。这种新的物理图像澄清了玻璃在低温下快弛豫模式的起源，并将有助于构建玻璃的动力学-性质关系。例如，这些类液原子会导致金属玻璃室温下明显的滞弹性行为，并很可能与金属玻璃的塑性变形密切相关。此外，金属玻璃中类液原子和结构无序的关联也对探索其他固体物质中的超快扩散带来启发，如超离子态的结构起源、固体电解质的离子迁移等。

8月15日，相关研究成果以Liquid-like atoms in dense-packed solid glasses为题，在线发表在Nature Materials

上。研究工作得到国家自然科学基金、广东省自然科学基金、中科院战略性先导科技专项、国家重点研发计划、中国博士后科学基金的支持。

[论文链接](#)

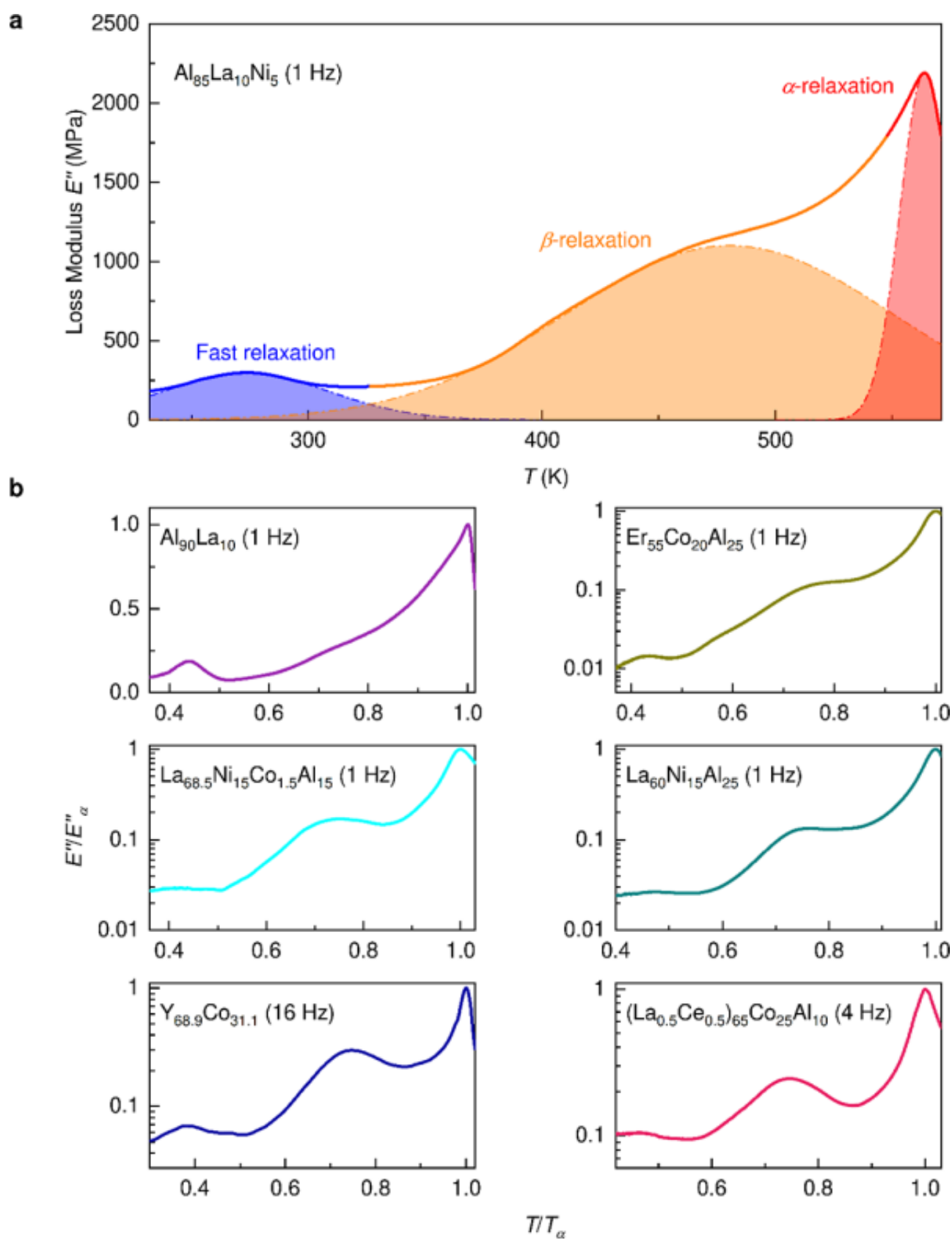


图1.动态力学谱检测到快弛豫过程

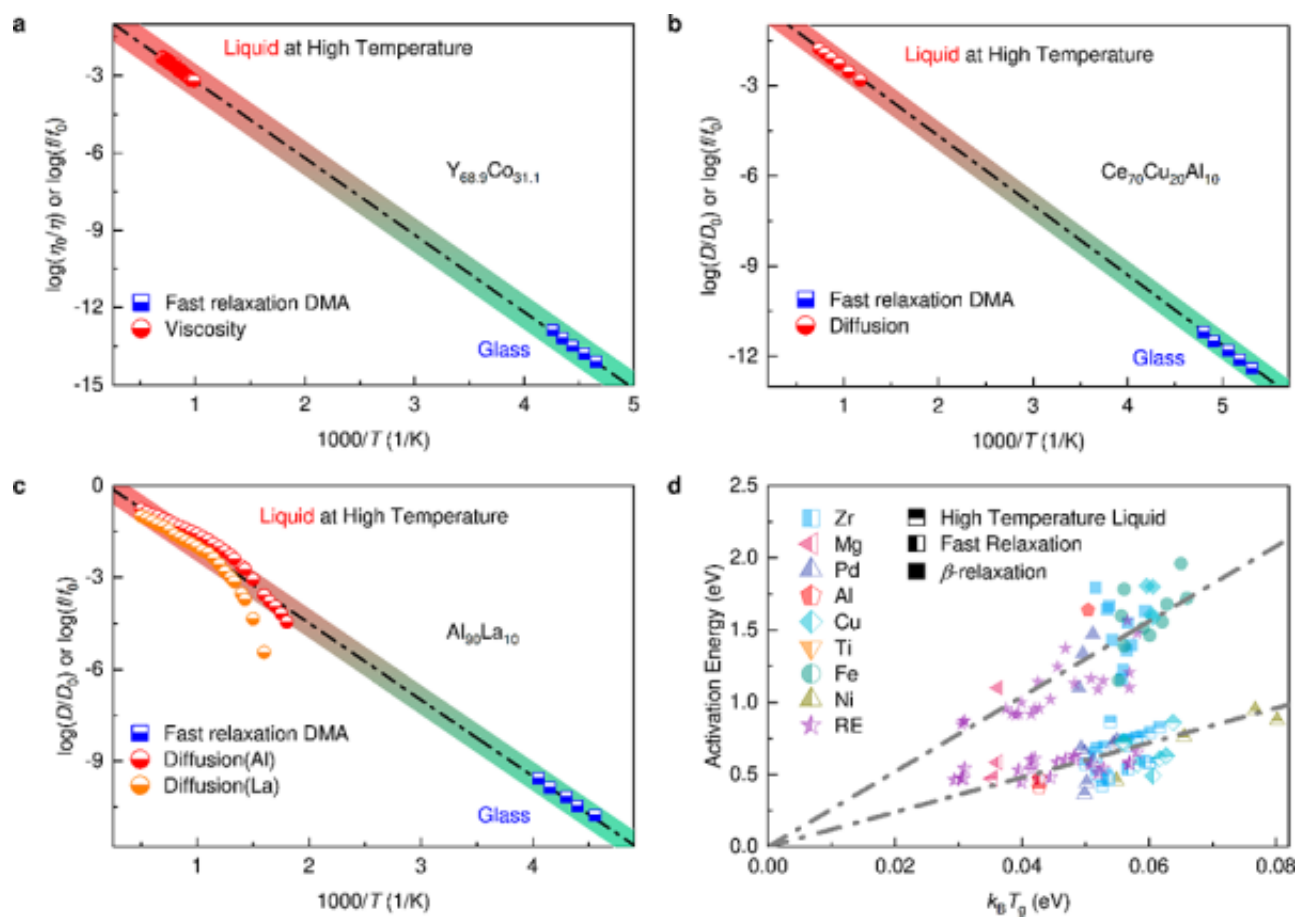


图2.快弛豫和高温液体的激活能的关联

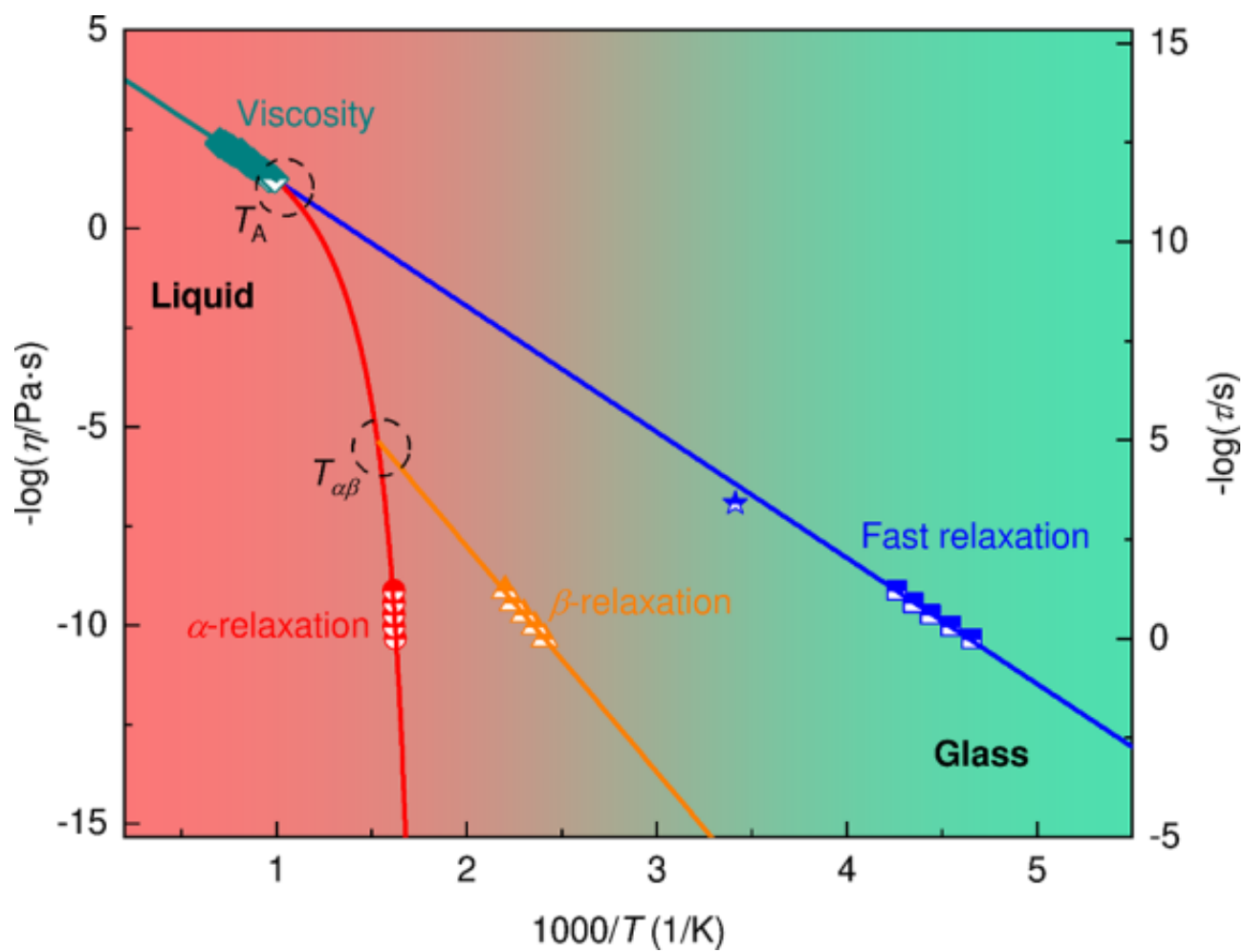


图3. $Y_{68.9}Co_{31.1}$ 金属玻璃的弛豫地图

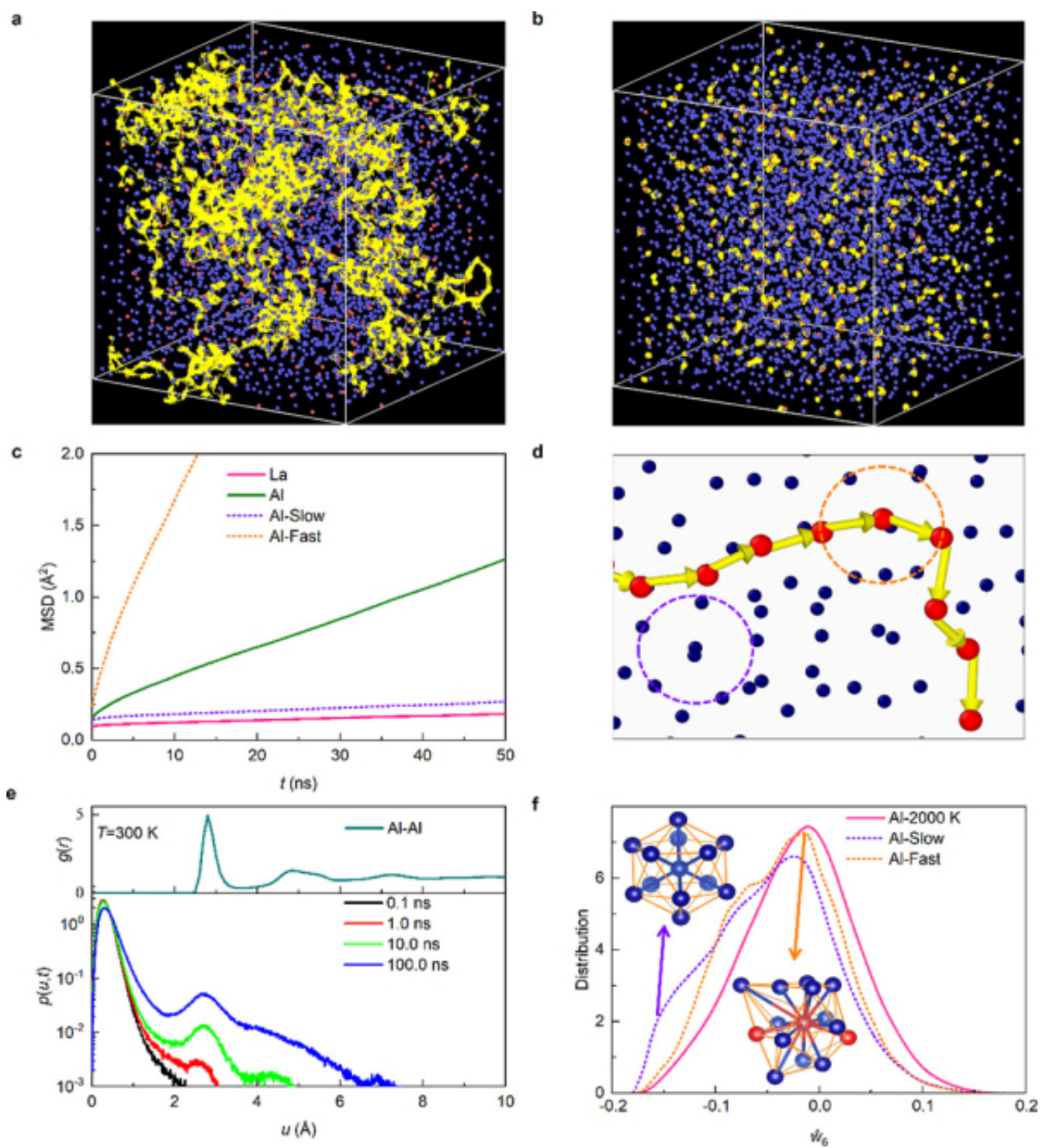


图4.300 K下 $\text{Al}_{90}\text{La}_{10}$ 金属玻璃中类液原子的识别和表征

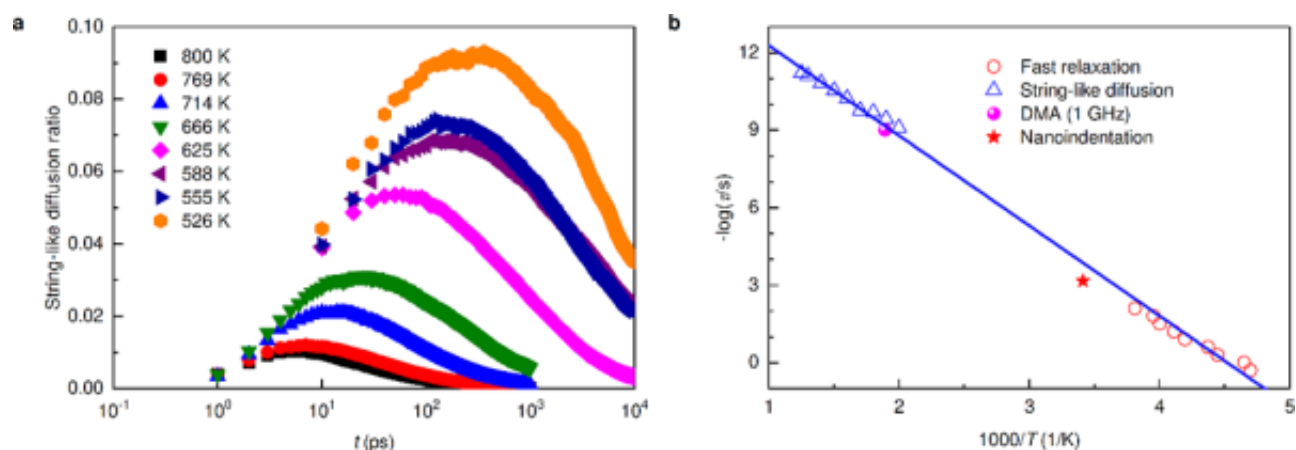


图5. $\text{Al}_{90}\text{La}_{10}$ 系统中链状扩散的继承过程

研究团队单位：物理研究所

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发