

超流氦中分子的长寿命振动

(中国科学院理化技术研究所 戴 闻 编译自 Katherine Wright. *Physics*, March 20, 2020)

将一个分子包裹在超流氦纳米液滴中，允许研究者清晰地测量该分子的振动。

分子悬浮于其中的溶剂会强烈影响分子的运动。但是，目前研究人员证明，位于超流氦纳米液滴中的分子受到溶剂的影响很小。研究人员用飞秒光脉冲分辨率测量了氦纳米液滴中铟二聚体(In_2)分子内的振动。这一方法可以用来研究与光捕获技术相关的分子，例如太阳能电池，由于溶剂效应而难以对其实施观察。

人们已经知道，一个分子的内部运动影响它如何与光相互作用。奥地利格拉茨工业大学的 Markus Koch 说，研究这一运动对于设计太阳能电池的技术人员来说非常重要。为了研究分子的振动，研究人员通常让分子悬浮在水、正己烷或甲醇中，用激光激发它。但使用这些流体有一个问题：液体分子可以与其中的分子强烈相互作用，从而改变原子的运动方式。Koch 和他的团队在新的研究中，用超流氦替换

传统溶剂，看是否能缓解这一问题。

研究团队首先展示了他们早期的工作，将单个铟原子放置在一滴超流氦中，用激光脉冲击中原子以观察其运动，并表征了当原子被激光激发时，原子周围形成的空隙形状以及稳定性的变化。Koch 说，这项表征工作是新研究的关键“先决条件”，因为它使研究人员能够区分该系统中的不同运动。

在 Koch 团队的新实验中，用铟二聚体 In_2 代替氦纳米液滴中的单个铟原子。为了包装液滴中的铟二聚体分子，他们在一个箱体内制造了铟蒸气，然后朝箱体中喷射超流氦液滴。平均一滴超流氦通过捡拾俘获两个铟原子，进而原子结合形成 In_2 。

为了研究这种二聚体的振动，研究人员使用飞秒激光光谱技术，即所谓的泵浦探针技术。首先，激光脉冲“泵浦”分子，激发分子并使其振动。几飞秒之后，另一个脉冲“探测”分子，导致它发射一个电子，其能量编码了关于分子振动的信息。该研究小组用这种脉冲反复轰击了超流氦雾滴云，并测量了发射的电子。

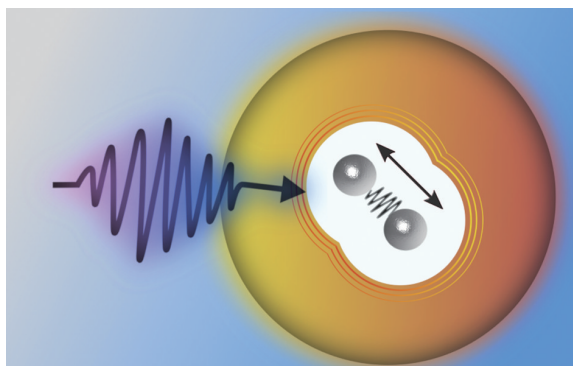
电子能量随时间振荡，这提供了分子振动的直接测量。这种振荡约 10 ps (10^{-12} s) 消失，但随后又以相

同频率，振幅逐步降到五分之一(在 145 ps 之后)再次出现。然后，它逐渐消失，在余下的实验中，每 145 ps 以同样的振幅再生。

Koch 说，振荡振幅的初始下降来自 In_2 分子与超流氦相互作用引起分子振动的同步相干性下降。到了 145 ps 时，即偏离之振荡短暂地重新同步时，许多液滴已经破裂并排出了它们的 In_2 分子。因此，由氦相互作用减少的振荡幅度在以后的复原中保持不变。频率在后期与第一个 10 ps 中观察到的相同，这一事实表明，与氦的相互作用是弱的——如果它是强的，频率就会改变。初始振荡的 10 ps 存活时间也表明相互作用强度较低，因为它比在其他溶剂中测得的时间长 10 至 100 倍。

丹麦奥胡斯大学原子物理学家 Marcel Mudrich 说，Koch 的团队并不是唯一使用超流氦液滴作为分子溶剂的团队，但他们是第一个展示使用这一系统有可能测量相干振动光谱的研究者。他说，实验观察到的长寿命的振动运动，很可能是分子周围形成间隙的结果，这实际上使分子与溶剂脱钩。德国弗赖堡大学的原子物理学家 Frank Stienkemeier 也这么认为。他指出，这项技术有助于对生物分子或光捕获分子的电子以及振动特性进行详细研究，这些分子还远远谈不上在基础意义上的根本理解。

更多内容详见：B. Thaler et al. *Phys. Rev. Lett.*, 2020, 124: 115301.



一个分子的舞蹈。研究人员通过将分子嵌入超流氦纳米液滴，来测量分子内的振动。分子周围形成一个间隙，使其与氦溶剂脱钩，否则可能会挤压该分子的自然运动。研究小组用 25 fs (10^{-15} s) 长的光脉冲探测了这个分子