

合肥研究院等在超高压下氢氘混合物新相变行为研究中获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/9865.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！

近期，中国科学院合肥物质科学研究院固体物理研究所极端环境量子物质中心团队副研究员刘晓迪与北京高压科学中心、英国爱丁堡大学的研究人员合作，利用金刚石对顶砧高压技术研究了高压下氢氘混合物的物性，在氢氘混合物中发现了同位素效应引起的氢氘混合物新相变行为，相关研究成果以Counterintuitive effects of isotopic doping on the phase diagram of $H_2 - HD - D_2$ molecular alloy 为题发表在《美国国家科学院院刊》（PNAS）。刘晓迪为文章的第一作者和共同通讯作者。

氢的同位素氘（D），其与氢的质量比（为2）比周期表中其它元素都大，且氢和氘的零点能差别很大，因此存在强烈的同位素效应。氢分子

（ H_2

）是费米子，需要满足反对称的波函数。氘

分子（ D_2

）是波色子，需要满足对称的波函数；然而由于氢氘分子（HD）不是全同粒子，不受交换对称性限制，所以核自旋方向对能级排布没有影响。上述特征将会对氢、氘和氢氘的相图及性质有很大影响。氢和氘看似简单，却在高压下展示出极为复杂的相图，目前已经报道了氢的相I至相V五个高压固态相。其中，氢和氘的高压低温相相II由于其具有特殊的量子效应和同位素效应，呈现出不同的相图和行为。而氢氘混合物在高压低温下的相图尤其是相II还有待进一步探索。

研究团队在高压下快速获得了氢氘混合物（ $H_2 + D_2 + HD$ ），并利用自主搭建的高压低温原位物性测试系统，研究了氢氘混合物压力高至200 GPa温度低至10 K的超高压低温拉曼光谱，发现在氢氘混合物中氢、氘和氢氘呈现类似于分子固溶体的行为，同时发生相变。纯氢进入相II的压力为60 GPa，而纯氘进入相II的压力为20 GPa，由于氢氘混合物的质量处于氢和氘之间，通常会认为氢氘混合物进入相II的压力会处于纯氢和纯氘之间。然而有趣的是，团队发现氢氘混合物进入相II和相III的压力既高于氘也高于氢，这是由交换相互作用对高能态量子捕获引起的。HD分子不存在交换对称性，从而使HD分子处于能量稳定的基态。而纯氢分子、氘分子均受交换对称性的限制，使得有些分子被囚禁到了高的转动能量态，这种高的转动能量使得体系不稳定，因此会在较低的压力条件下发生相变到稳定的相。研究团队绘制了宽压力-温度范围的不同比例氢氘混合物的高压低温相图，发现混合物中相变压力随着氢的比例增加而增大。此工作对于理解氢、氘、氢氘混合物的相图、氢和氘的同位素效应和量子效应都具有重要作用。

该工作得到国家自然科学基金、中科院创新基金、挑战计划、合肥研究院院长基金等支持。

图1. 三种典型比例的氢氘混合物（氢和氘的比例分别为 $75:25 = 3:1$ ， $50:50 = 1:1$ 和 $40:60 = 2:3$ ）的高压低温相图，以及纯氢 H_2 （灰色虚线）和纯氘 D_2 （黑色点线）的高压低温相图。

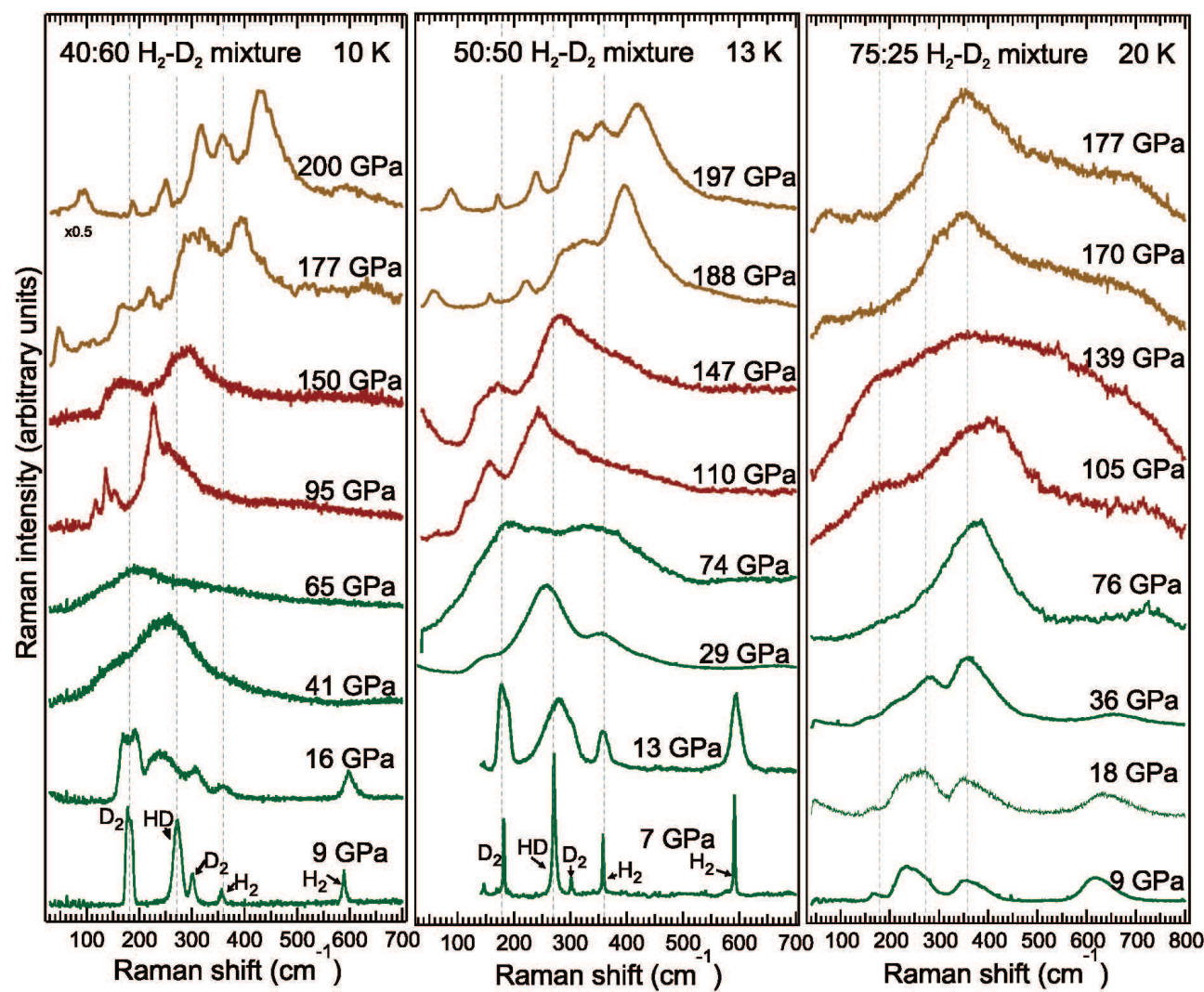


图2. 三种不同比例的氢氘混合物（氢和氘的比例分别为 $75:25 = 3:1$ ， $50:50 = 1:1$ 和 $40:60 = 2:3$ ）的高压低温拉曼光谱，温度在10-20 K之间，压力在0-200 GPa之间。

研究团队单位：合肥物质科学研究院

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