
物理所等量子固体中质量输运机理研究取得进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/3141.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！

物理所等量子固体中质量输运机理研究取得进展。“超固态(supersolid)”是指固体在维持周期性晶格的同时还存在超流现象。对于常规固体来说，这两种性质相互矛盾，但是在固体 4He 中却可能共存——这是由于氦原子作为最小的单原子分子具有极大的零点运动，相邻原子之间的波函数有非常大的交叠，形成宏观量子效应，从而可以承载超流。包括Andreev和Lifshitz、Leggett在内的众多著名理论物理学家都预测在 4He 中存在“超固态”。虽然2004年在谐振扭摆实验中得到的疑似“超固态”实验证据被证明是由弹性常数的反常畸变引起，但是 4He 中是否存在“超固态”依然是一个未解之谜，并入选Science杂志125周年遴选出的125个重大科学问题。

最近，加拿大阿尔伯塔大学John Beamish研究组在极低温下利用压电陶瓷器件在固体 4He 一端施加挤压应力，并测量另一端压力变化。研究人员发现测量端的压力缓慢线性上升，并最终达到饱和。压力上升意味着质量在应力作用下朝另一端流动。但与正常热激发产生的缺陷运动相反，该流动只在 0.6 K 以下产生，并且速率随着温度下降而增加，这是符合超流态的特征之一。进一步研究发现质量流动随着 3He 杂质浓度的增加而被逐渐抑制，这是符合超流态的特征之二。然而，这种质量流动是否具有相位相关性、无损耗性等其他超流典型特征还没有被验证，因此其超流特性还没有被最终确定。

3He 作为比 4He 更轻的同位素，零点运动更加明显。但是由于是费米子，固体 3He 不可能出现“超固态”。因此可以通过研究固体 3He 中质量流动来判断 4He 中是否存在“超流态”。中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心固态量子信息与计算实验室特聘研究员程智刚和加拿大阿尔伯塔大学教授John Beamish合作，利用压电陶瓷施加挤压应力的方法，测量 3He 中的质量流动行为。实验表明固体 3He 中存在应力作用下的质量流动。但是与 4He 相反的是，质量流动在接近熔点(0.7 K)的高温区最为明显，随着温度下降流动速率单调降低，至 30 mK 时已经下降了2000多倍。研究还发现，在 0.1 K 以上流动速率对温度的关系符合热激发过程，而在 0.1 K 以下速率偏离了热激发行为而趋于饱和，表明质量的量子输运行为占据主导。在 3He 中质量流动速率与温度的关系不符合超流特征。这一发现支持在 4He 中存在“超固态”的观点。研究人员进而通过与微米级通道中固体 3He 流动速率对比，发现位错线运动是大尺度固体 3He 中的质量流动的主要原因。这一机制不仅适用于高温热激发区，也适用于低温量子输运区。

该成果首次对比了量子统计对量子固体中质量输运行为的影响，提供了支持波色量子固体中超固态存在的证据，并且揭示了费米量子固体中位错线运动行为，加深了人们对固体氦量子效应的理解。该成果以Mass flow through solid 3He in the bcc phase为题发表于《物理评论快报》(Phys. Rev. Lett.121, 225304 (2018))。该工作得到科技部重点研发项目(2018YFA0305604)、基金委面上项目(11874403)、中科院百人计划、加拿大自然科学基金、松山湖材料实验室的资助。

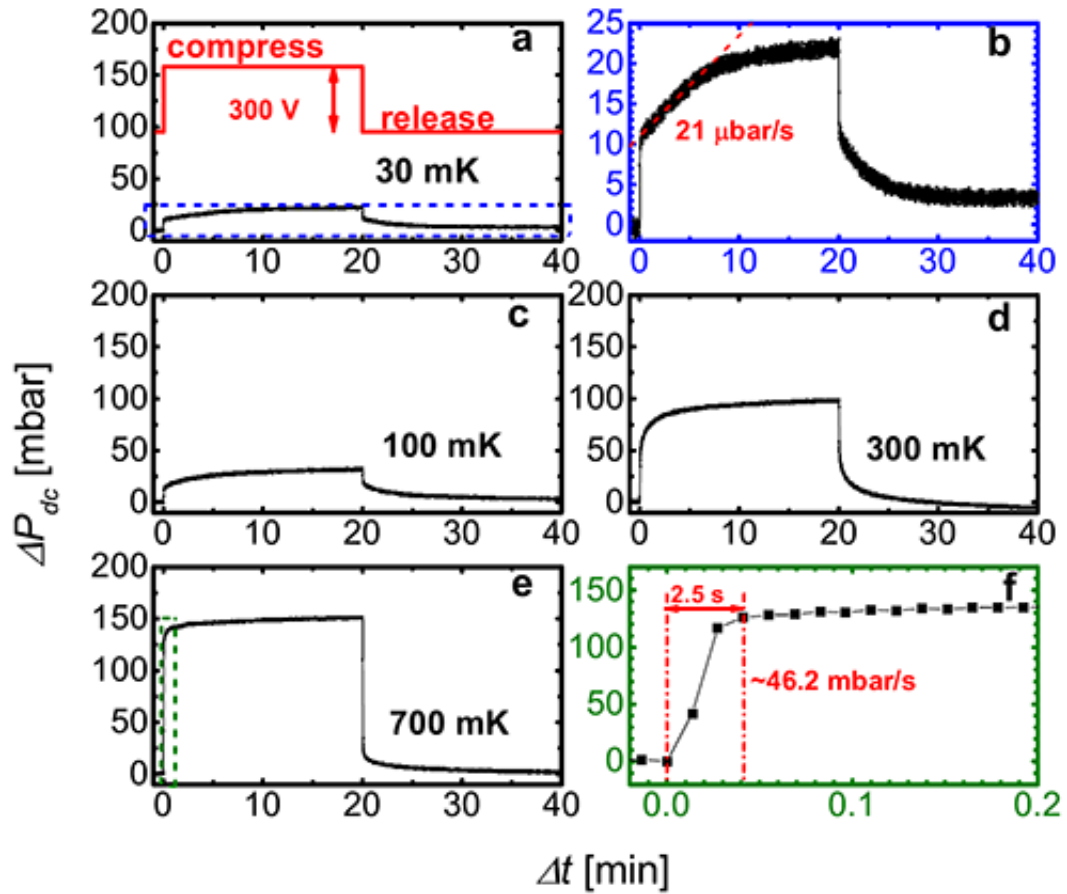


图1. 在不同温度下挤压应力导致的压强变化。(a) $T = 30$ mK; (c) $T = 100$ mK; (d) $T = 300$ mK; (e) $T = 700$ mK. (a)中红实线表示施加挤压的时间; (b)和(f)分别为(a)和(e)中虚线框的放大图。(b)中红虚线拟合压强随时间线性上升的行为, 得到上升速率为 $21 \mu\text{bar/s}$ 。(f)中由于压强在2.5秒内已经饱和, 因此估算上升速率为 46.2 mbar/s 。

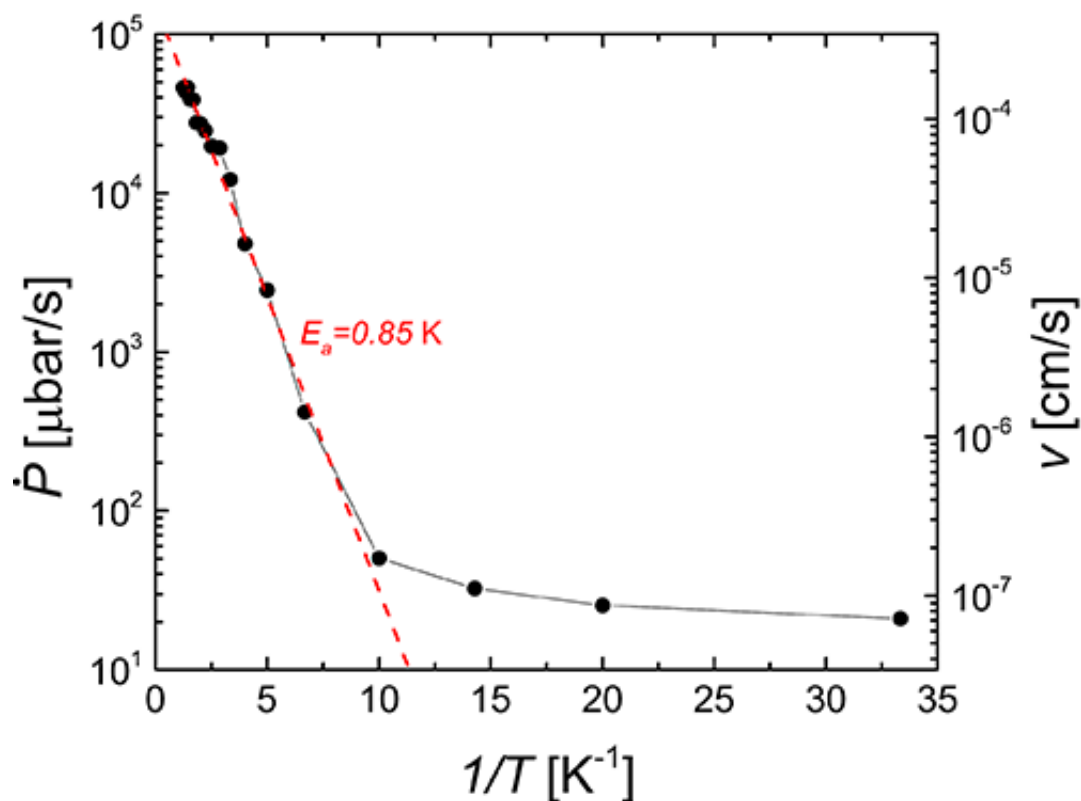


图2. 压强上升速率(即质量流动速率)随温度变化的Arrhenius图。在100 mK以上，流动速率满足热激发过程;在100 mK以下，流动速率趋于饱和，预示质量输运进入量子区域。

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](http://www.iikx.com)转发