
新理论框架澄清高压冰物相争议

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/42610.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！

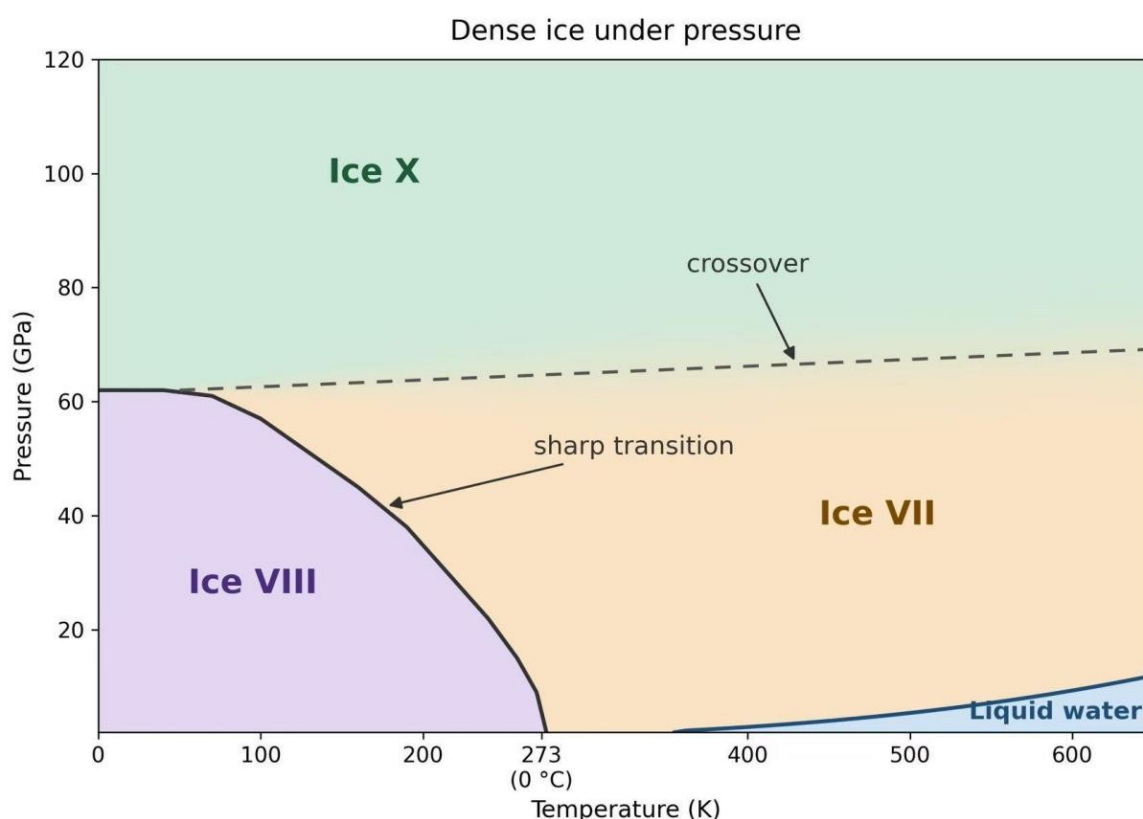
新理论框架澄清高压冰物相争议。近日，香港科技大学物理系及赛马会高等研究院教授渡边悠树团队联合东京大学教授求幸年及研究生渡边濑名，建立了一套可广泛适用于不同自旋磁性系统的通用理论框架，用以判断两种物质状态何时存在本质区别、何时实质上属于同一物相。相关成果发表于《物理评论X》（Physical Review X）。



渡边悠树教授（右）与求幸年教授（左）及其研究生渡边濑名（中）合影。研究团队供图，下同

物质不同相态之间是否存在清晰界线，通常取决于对称性。以液态水和水蒸气为例，二者一般被视为不同物质状态，但拥有相同的基本对称性，即分子没有偏好的位置或方向。因此，超过特定临界点后，液态水与水蒸气可连续互变，构成单一热力学相。冰则不同：冰中水分子排列成规则晶格并占据固定位置，打破了液体和气体保留的对称性。由于二者对称性不同，冰与液态水之间必须以真正的相界线分隔。

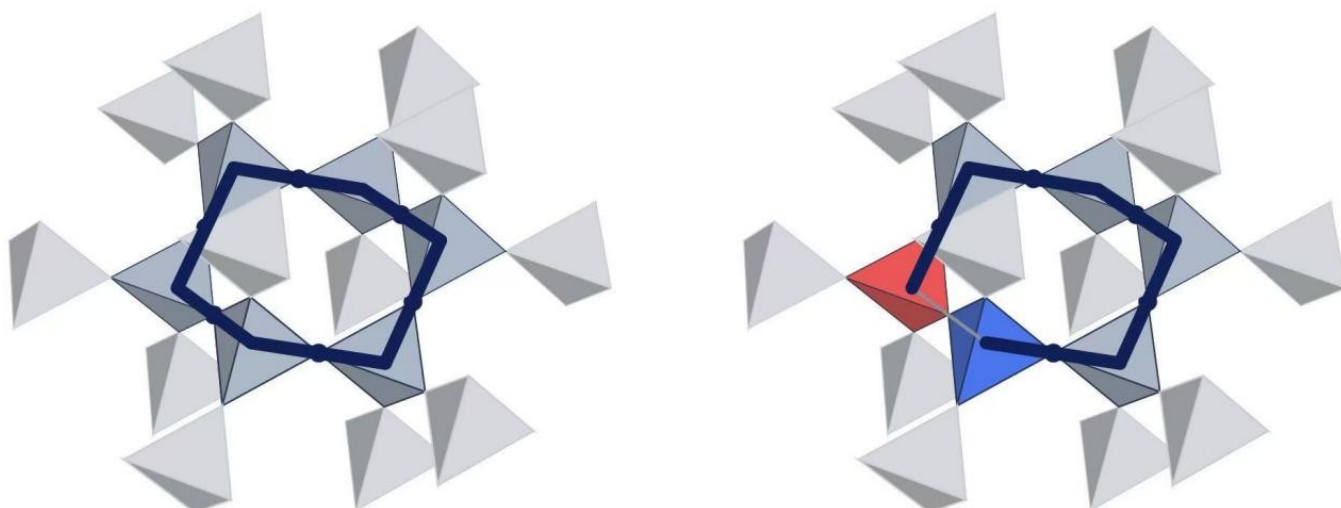
研究团队将该原理应用于高压冰，包括冰VII、冰VIII和冰X。这三种冰具有相同的氧原子骨架结构，但氢原子排列方式不同：冰VII中氢原子随机分布，冰VIII中氢原子有序排列，冰X中氢原子位于相邻氧原子正中间。尽管存在这些差异，若取时间平均，冰VII和冰X仍保留相同的基本晶体对称性。因此，二者究竟代表截然不同的物质相，还是同一物相的不同表现形态，科学家一直未能确定。



高压冰的示意相图。

为解答这一难题，研究团队从磁学角度重新诠释高压冰系统。氧原子之间化学键的中点构成烧绿石晶格，正是著名自旋冰磁体的核心结构；每个氢原子可占据的三个位置，恰好对应自旋-1磁矩的三种状态。团队早前发表于《物理评论B》的另一项研究证明，在排除冰VIII有序化的简化模型中，冰VII与冰X仅在绝对零度时出现真正相变；当温度高于绝对零度时，热激发缺陷会像磁单极子一样，屏蔽使两种状态分离的作用场，使原本明确的相变转变为平滑过渡。因此，冰VII与冰X本质上属于同一物相。相反，冰VIII因有序的氢原子排列打破了基本晶体对称性，仍与另外二者截然不同。

基于上述成果，研究团队在《物理评论X》进一步提出一套适用于任意自旋值的经典焦绿石自旋冰模型通用相分类框架。研究显示，使两种状态彼此分隔的关键，是一个贯穿晶体的弦状缺陷网络：只要这些弦状结构保持闭环，两种状态便维持本质不同。



焦绿石晶格上的缺陷弦，此晶格为相关磁性系统的基础结构。图左：在没有磁单极子的情况下，弦状缺陷形成封闭回路；图右：两个分别以红色和蓝色表示的热激发磁单极子将弦切断。

该框架还揭示了过去未能辨识的重要分野：自旋为整数的磁体，其行为本质上有别于自旋为半整数的磁体。当温度高于绝对零度时，热激发磁单极子会切断这些弦状结构；一旦弦被切断，两种状态的差异便会消失，因此几乎所有清晰相界都会转化为平滑过渡。唯一例外是自旋 $3/2$ 。在这类磁体中，两种不同类液态磁性状态之间的突变相变预计可在有限温度下维持，并在无需外加磁场的情况下终止于临界点，这一发现值得未来深入探索。

基于上述发现，团队建立了统一理论框架，有助于理解物质相如何产生、稳定存在及相互转化，未来有望应用于受控磁体、纳米磁体阵列以及被捕获冷原子系统。

论文共同通讯作者渡边悠树表示，这项成果不仅为物质相分类确立了通用理论框架，也解答了极端高压条件下水冰行为长期备受争议的科学问题。研究结果最终支持传统观点，即一般物质相态由对称性破缺分类，而非其他机制。当两种状态无法通过对称性区分时，它们之间便存在一条无需跨越相界的连续路径。若未来能发现超越该分类框架、且能在有限温度下稳定存在的拓扑相，将是一项极具意义的突破，这也是团队目前积极探索的方向。（来源：中国科学报朱汉斌）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1103/bkkq-q1v9>

作者：渡边悠树 来源：《物理评论X》

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