

---

# 中国学者证实“临界冰核”真实存在

作者：writer 来源：爱科学

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/7744.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！*

中国学者证实“临界冰核”真实存在。

水是怎么变成冰的？近百年前，美国物理学家吉布斯基于简单假设，给出了临界冰核这一答案。然而，临界冰核的真实面目却始终没人见过。

12月19日凌晨，新一期《自然》杂志发表了中国科学院化学研究所、中国科学院大学及河北工业大学研究人员的成果。他们证实了水结冰过程中临界冰核的存在，并给出了临界冰核的尺寸和过冷温度的相互关系。

从简单问题出发

自然界的物质在特定条件下会自发从一个状态变成另一状态。例如，低温下的水会结成冰，这被科学家们称为相变。吉布斯等人提出相变的经典成核理论，预言相变需要经过成核过程。近年来，这一经典理论受到新实验证据的质疑。

比如，过冷水中可以偶然形成不同大小的冰核，当形成的核超过一个临界尺寸时，临界核形成，相变才开始自发发生。该论文通讯作者、中科院化学研究所研究员王健君解释。要证明吉布斯的预言，则必须找到临界冰核。

2010年，王健君锁定自己的研究领域。水是怎么变成冰的，这个听起来很简单的问题，其实蕴含了深奥的科学道理。他告诉《中国科学报》。

事实上，了解水结冰过程不仅满足了人们的好奇心，更是有用的知识——作为一个自然界的普遍现象，它不仅潜移默化地影响着地球上的气候、地质及生命，还在化学工业、低温生物学、材料科学等领域发挥着至关重要的作用。

还和冰淇淋的口感有关系，实验发现，冰淇淋口味要好，冰晶尺寸大概维持在头发丝的一半，大约40微米左右。王健君说。

来自自然界的启示

尽管冰晶普遍存在，但是在分子层面，人类依旧无法真实了解水分子以何种形态相互结合形成‘冰核’进而生长成大冰晶的过程。德国马克斯·普朗克高分子研究所（美因茨）所长Mischa Bonn指出，其中的核心问题在于，水分子如何形成‘冰核’的微观过程，即冰晶成核过程。

---

长期致力于水结冰过程研究的王健君发现，想通过直接观察逮住临界冰核并不是那么容易。

这个过程发生在一个随机的瞬间，尺寸又非常小，现有的仪器难以同时观察到时间、空间尺度这么小的一个随机事件。王健君表示，那么只能考虑间接的方法。

生存在中国北方寒冷地区的一种昆虫冬尺蠖给了他们启示。研究人员发现，能在低温下生存的冬尺蠖携带一种抗冻蛋白，能够抑制体内冰晶生长。而另一种作用相反的蛋白冰晶核蛋白却可以高效地促进冰核形成，目前已经被用来当作人工造雪剂。

研究人员发现，它们结构相似，唯一的不同就是尺寸。抗冻蛋白尺寸约在1~2纳米左右，冰晶核蛋白在几十个纳米级。王健君说。他们由此确定，尺寸是决定冰核能不能形成的重要因素。

### 小颗粒发挥大作用

在定性认识的基础上，定量关系的测定成为接下来的目标——多大尺寸、在什么温度下影响成核过程，成为研究团队探索的科学问题。

他们设计制备了系列尺寸和化学性质窄分布的氧化石墨烯材料，研究了不同尺寸氧化石墨烯对成核温度的影响。

观察中，研究人员发现，含有8纳米尺寸氧化石墨烯的水滴，在摄氏零下27.6度时结冰；含有11纳米氧化石墨烯的水滴，在摄氏零下17.6度就开始结冰。最终，他们从一系列的数据中获得定量关系，当成核温度和纳米氧化石墨烯尺寸的乘积等于200时，水结冰。

也就是说，纳米颗粒尺寸在促进冰成核能力方面的尺寸阈值现象是普遍的，与过冷温度成反比关系，而几乎不依赖于纳米颗粒的种类、表面化学性质等特征。

此外，研究人员还通过理论计算分析，发现冰成核自由能垒的突变来源于纳米片边界效应导致的临界冰核形状的变化。

实验可以理解为用尺寸确定的纳米颗粒作为尺子，去度量常规办法不能捕捉到的微小瞬时的临界冰核：持续降低温度可使冰核达到临界尺寸，当这个尺寸恰好与纳米颗粒的尺寸相当时，临界冰核容易形成，并导致宏观冰晶快速形成可被光学显微镜探测到。论文另一位通讯作者、中国科学院大学教授周昕解释道。

作为该领域的专家，Mischa Bonn对这项成果给予了高度评价：研究团队通过对实验材料表面进行纳米化的处理，发现‘冰核’临界尺寸的直径约为10纳米左右，这是水分子聚集形成冰晶结构，并快速形成大冰晶所需的最小临界尺寸。

这一成果大大加深了对水结冰这一重要相变现象的微观机制的理解，也在人为控冰应用方面提供了重要理论指引。（来源：中国科学报 甘晓 程维珈 李丹）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41586-019-1827-6>

作者：王健君等 来源：《自然》

---

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