

# 固态、液态、超离子态…… 宇宙天体的“内心”到底什么样？

◎ 实习生 兰霞 陈芳芸  
本报记者 何星辉

地球是目前人类在宇宙中的唯一家园，我们对它足够了解吗？未必。我国科学家最新的研究成果表明，地球内核并非传统认知的固态，而是由固态铁和流动的轻元素组成的超离子态。

日前，中国科学院地球化学研究所地球

内部物质高温高压重点实验室研究员李和平、何宇与中国科学院外籍院士、北京高压科学研究中心毛河光等人组成的研究团队在《自然》刊发的论文颠覆了人们对地球核心的已有认知。

超离子态是地球和行星科学研究中的新物态，因其特殊的性质引起了广泛关注。当人类探索的足迹不断迈向宇宙深处，我们不禁会问：超离子态会广泛存在于宇宙天体内部吗？这个发现对于我们研究地球和宇宙有什么意义？



实际上，与对其他天体核心的了解相比，我们对地球核心的认知还是很多的，地震学仍然是认识地核的主要手段，当然我们也可以通过高温高压的实验和计算模拟，对某些天体核心性质进行研究，但这个研究难度就大多了。

## 何宇

中国科学院地球化学研究所地球内部物质高温高压重点实验室研究员

## 揭开地心的神秘面纱

波涛汹涌的大海、耀眼的电闪雷鸣、摄人心魄的岩浆崩裂、巨大的蘑菇林……在法国作家凡尔纳笔下的《地心游记》中，地球内部是一个丰富多彩的奇幻世界。事实上，科学研究表明，地球内核并不是凡尔纳所想象的空心结构。

地球的年龄大概46亿岁。科学技术的进步，使人类能够上天、入海，然而“入地”却仍然是困难重重。几千年来，没有任何人类的设备能够钻透地壳。受限于观测数据的匮乏，人们对于地球内核结构和性质的认知非常有限。

地震学的发展使得人们可以利用地震波获得地球内部的信息。1936年，科学家通过观测分析地震纵波穿过地核时形成的影区，首次发现了地球内核的存在，人们根据纵波和横波数据的分析，确立了地球液态外核和固态内核的基本认知。

当然，如果没有亲眼看到，我们无法确切地知道地球内核究竟是什么。不幸的是，向地球

## 宇宙天体内核之谜待解

茫茫宇宙，存在着大量的天体。一般来说，天体之间由于相互吸引和相互绕转的关系，可以被分为不同层级的天体系统，其中包含地球的天体系统从小到大分别是地月系统、太阳系、银河系、总星系和宇宙。

目前人类对于地月系统、太阳系和银河系了解相对多一些，而对于总星系和宇宙的了解则相对较少。那么不同类型的宇宙天体，其内核会是什么状态的？会和地球一样是超离子态吗？对此，何宇解释，目前人类能直接探测的行星核心有限，已知的行星核心状态主要是

深处发射探测器是不可能的。这就是为什么此次研究人员在他们的最新研究中专注于计算机模拟。

何宇说，地球内核的密度比纯铁要低，因而人们推测地球内核中存在某些轻元素。对于这些潜在的超离子态铁合金，前人做了大量的研究，但重元素与轻元素是以什么状态共存的还是个谜。为此，研究团队利用基于量子力学的分子动力学模拟，在地球核心的温度和压力下进行了计算模拟，表明地球内核并非传统认知的固态，而是由固态铁和流动的轻元素组成的超离子态。

所谓的超离子态，介于固态和液态之间，在超离子态物质中一部分离子如液体一般快速运动，而另一部分离子如“骨架”一般固定。最新研究成果吸引了相关研究领域专家的关注，大家普遍认为这是非常重要的创新认识，对认知地球内核结构、乃至研究整个宇宙的天体内核结构非常重要。

液态和固态，有些天体甚至还不一定有内核；至于超离子态核心则更稀少，因为它要满足温度、压力以及组成物质等条件才能形成。

不久前，南京大学物理学院教授孙建等人预言，巨行星内部存在超离子态硅—氧—氢化合物。

长期以来，关于天王星和海王星等巨行星们内部物质存在很多争议，目前有冰巨星和岩石巨星两类行星模型。冰巨星模型可以解释天王星和海王星的磁场，而磁场与行星内核紧密相关，但这种模型不能解释所有对它们的观测

数据，如行星大气中的气氛比例。岩石巨星模型则可以解释氦比例，并且其冰岩比例与柯伊伯带天体相近，更容易解释行星的起源问题，但是缺少导电物质来解释行星磁场。此外，天王星与海王星核幔边界的结构也是一个长期存在的问题。一般认为，天王星与海王星的幔主要由水、氨和甲烷组成，核心为石质，主要成分为二氧化硅。目前尚不清楚，二者在核幔交界

处是有清晰的边界还是渐变的过渡区。

孙建等人利用晶体结构搜索和第一性原理计算等方法预言了多种硅—氧—氢化合物，并发现其中的二氧化硅—水与二氧化硅—氢两种化合物的超离子态范围，正好符合天王星与海王星核幔边界附近的温度压强条件。研究表明，硅—氧—氢化合物的超离子相可能是天王星与海王星内部的重要组成部分。

## 人类研究天体核心的脚步从未停歇

“实际上，与对其他天体核心的了解相比，我们对地球核心的认知还是很多的，地震学仍然是认识地核的主要手段，当然我们也可以通过高温高压的实验和计算模拟，对某些天体核心性质进行研究，但这个研究难度就大多了。”何宇说，尽管难度很大，但人类没有停止过探索的脚步。

开普勒天文望远镜的观测数据表明，类地行星在宇宙中十分普遍。由于它们距离地球过于遥远，对它们进行研究难度非常大。金星虽然是人类探索的第一颗太阳系内行星，但由于金星登陆难度太大，科学家便转移了目标，转而探索火星。

事实上，火星的直径只有地球的一半，体积只有地球的15%，引力也只有地球的38%，而且火星已经处于太阳系宜居带的边缘。因此，研究火星有助于人类预测类地行星的成分和大气层。

何宇表示，美国国家航空航天局的“洞察

号”火星探测器收集到了经过火星内核的火星地震信号，这是人类首次探测到地外行星核。不过由于数据量不足，科学家还是不能确定，火星是否有固态的内核。

2018年，“洞察号”在火星表面成功着陆，并于2019年4月首次探测到火星地震。与地球上发生的地震相比，火星震动强度显得微不足道，但每次火星震动都能揭示火星内部构造，通过研究地震波如何穿过行星的不同层，科学家可以推断不同层的深度和组成。从某种意义上来说，火星震动相当于给火星拍摄了一张X光片，科学家可以通过研究火星地幔和地核之间的深边界反射的地震波，来测量火星地核的大小。

何宇表示，今年美国国家航空航天局将开启对灵神星的探索之旅，这个小行星非常特别，主要由铁镍合金组成，可能是早期行星的核心残骸，“这次探索将确定它是否是行星核心，这对于我们认知地球以及其他行星的核心十分重要。”

# “太空小屋”里曾做过这些有趣的实验

◎ 张伟

据悉，中国空间站第二次“太空授课”将于近期开课。每一次的“太空授课”，都少不了那些精彩的太空实验。

1894年，康斯坦丁·齐奥尔科夫斯基描绘了一个环绕地球轨道的“太空小屋”，它实际上就是一座空间站，可以进行天文观测，还可以进行植物栽培。

如今，空间站对大众来说已经不是个陌生的概念了。在空间站中，在太空微重力条件下，物质运动的规律发生了很多变化，出现了在地面无法观测到的一些奇特现象。

## 神奇的“冷焰”

在国际空间站有一个有趣的火焰熄灭实验——在不同的压力和气体环境中燃烧庚烷和甲醇液滴。在大量的液滴实验中，科学家观察到了令人意想不到的“冷焰”现象。在庚烷液滴

燃烧后，明明已经看不到火焰，是所谓的“熄灭”状态，但是液滴却在连续、快速、几乎稳定地蒸发，表现出与有可见火焰时相同的状态，科学家将这个现象定义为“冷焰”。

普通可见火焰的燃烧温度一般在1226.85摄氏度到1726.85摄氏度，“冷焰”则是在226.85摄氏度到526.85摄氏度相对较低的温度下燃烧。而且，二者的化学反应完全不同，普通的火焰会产生烟尘、二氧化碳和水，而“冷焰”会产生一氧化碳和甲醛。“冷焰”在地球上也存在，但它只是一闪而过，在空间站中“冷焰”则可以持续很长时间。“冷焰”的发现有助于提高燃油机的效率并减小污染排放，具有很大的应用潜力。

## “长肉”的机器人

通常我们以为的机器人，是由一堆金属组成的。2015年4月，搭载人造肌肉材料的猎鹰9号火箭从美国佛罗里达州升空进入国际空间站，目的是在国际空间站中测试这种材料的辐射耐能力，未来它将被安装在机器人身上，使其

能够在特殊环境中执行任务。这种人造肌肉是由电话性聚合物制成的材料，是一种新型智能高分子材料。在外加电场的作用下，当电荷反转时，它会随着电流收缩、扩张、弯曲、束紧或膨胀，能够模拟人类的肌肉运动。

人造肌肉除了能够模拟人类的肌肉运动外还具有非常好的抗辐射特点，所以这种材料被安装到机器人身上，可以使其更好地完成太空探索的任务，也可以在核电站故障后执行救援和维修维护任务。这种人造肌肉能够承受的辐射极限和火星上的辐射相当，是人类所能承受辐射的20倍。同样，人造肌肉在零下271摄氏度的条件下也不会发生改变，在远高于水的沸点的135摄氏度的环境下也能很好地工作。

基于人造肌肉各方面的优越性，研究人员将人造肌肉送往太空进行测试，检验其是否能够适应太空和外星球表面的恶劣环境。

## 精准的太空钟表

在天宫二号空间实验室中，科学家实现了

国际上最高精度的空间冷原子钟，日稳定度达 $7.2 \times 10^{-16}$ 秒，可以近似描述为3000万年误差小于1秒。在地面上，由于受到重力的作用，经激光冷却和俘获后的超冷原子团始终处于变速状态，宏观上只能做类似喷泉的运动或者是抛物线运动，这使得基于原子量子态精密测量的原子钟在时间和空间两个维度受到一定的限制。在空间微重力环境下，原子团可以做超慢速、匀速直线运动，基于对这种运动的精细测量可以获得较地面上更加精密的原子谱线信息，从而可以获得更高精度的原子钟信号。因此空间冷原子钟成为重要的高精度时间频率系统。

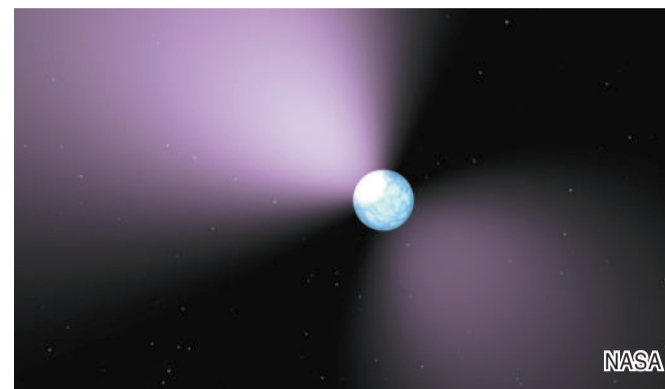
由于空间冷原子钟可以在太空中对其他卫星上的星载原子钟进行无干扰的时间信号传递和校准，避免了大气和电离层多变状态的影响，因此可以为全球卫星导航系统提供授时服务，具有更加精确和稳定的运行能力；同时，可以支持开展广义相对论验证、基本物理常数测量、地球重力位测量等重大科学研究与应用研究。

(据《中国国家天文》公众号)

## 亮点追踪

主持人：本报记者 陈曦

## 在脉冲星周围寻找行星



1992年，天文学家首次发现系外行星，他们发现了一对行星围绕距太阳约2300光年的脉冲星PSR B1257+12运行。两年后，他们发现了该系统中的第三颗行星。

近日，天文学家正试图通过搜索800颗已知脉冲星来寻找系外行星。脉冲星是一类快速旋转的中子星，它们高度磁化并从其两极发射电磁辐射束。当脉冲星旋转时，电磁辐射束在几毫秒的间隔内变得可见然后不可见，这种间隔非常精确，甚至比原子钟更准确。它们的精确间隔使它们成为寻找周围行星的理想选择——如果它们的间隔时间稍有变化，便意味着脉冲星正在来回移动，这就意味着可能有一颗或多颗行星在牵引它。这种方法被称为脉冲星计时。但在脉冲星周围寻找系外行星并不容易。脉冲星是一种极端天体，不时会发生偶发性灾难。而且，即便发现了脉冲星电磁辐射束的间隔具有不规则性，也不能确定就是由附近行星引起的，因为脉冲星周围的磁层也会导致这种情况发生。

研究人员经过最终分析认为，脉冲星附近似乎极少有行星。800颗样本中只有一颗脉冲星可能存在行星。这足以证明，PSR B1257+12是多么不同寻常。

相关研究结果发表于《英国皇家天文学会月刊》。

## 星系团热传导机制被揭开



星系团中的大多数物质是一种被称为等离子体的电离气体，被磁场贯穿并处于湍流状态。但这些电离气体比预期要热得多，这个问题一直困扰着天文学家。近日，一个国际研究团队揭开了星系团热传导的内部工作原理。

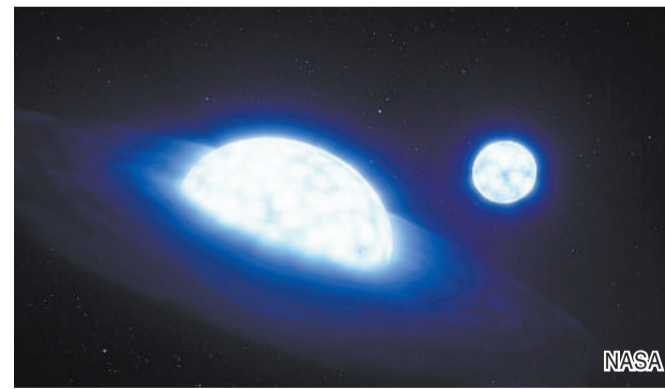
“能量是如何被星系团中心剧烈活动的星系注入到等离子体中，然后又如何扩散的，这些都是关于宇宙最大的组成部分的基本问题。”研究人员表示，与预期相比，这些等离子体的热传导被抑制了。

研究人员通过激光束蒸发塑料薄膜，产生湍流与磁化等离子体，来模拟星系团中的情况。

实验发现，等离子体中的电子彼此碰撞的频率足够低，以至于它们最终会沿着纠缠的磁场线移动。“这被认为正是星系团中发生的现象。正是这种现象导致了热传导受到抑制。”研究人员说。

相关研究成果发表在《科学·进展》上。

## 被误认成黑洞的“吸血鬼恒星”



2020年，一个由欧洲南方天文台(ESO)天文学家领导的研究团队，发现了距离地球最近的黑洞，它位于HR 6819系统中，距离地球仅1000光年。

但是最近，上述研究团队与来自比利时的团队联合研究发现，HR 6819内实际上并没有黑洞，它是一个“吸血鬼恒星”双星系统，处于罕见的短暂演化阶段。

此前，研究团队认为HR 6819是一个三星系统，一颗恒星以40天的公转周期绕黑洞运行，另一颗恒星在更远的轨道上运行。但来自比利时的研究团队认为，这是一个双星系统，而且其中一颗恒星从其伴星吸走了大部分物质，才使研究人员误以为观察到了黑洞，这种天体通常被称为“吸血鬼恒星”。

为了解开这一谜团，两个团队联合起来，利用欧洲南方天文台的甚大望远镜(VLT)和甚大望远镜干涉仪(VLTI)，获得了HR 6819的最新数据，结果证明了HR 6819是一个没有黑洞的双星系统。

研究人员表示，科学家在观测HR 6819时，其中一颗恒星刚刚吸了其伴星大气不久，导致其旋转得更快，才被误认为是黑洞。

不过，“失去”黑洞也并不是一件坏事。研究人员表示，因为这个阶段持续时间太短，非常罕见，这就为研究“吸血鬼恒星”是如何影响大质量恒星进化提供了宝贵的线索。

相关研究成果发表于《天文学与天体物理学》。