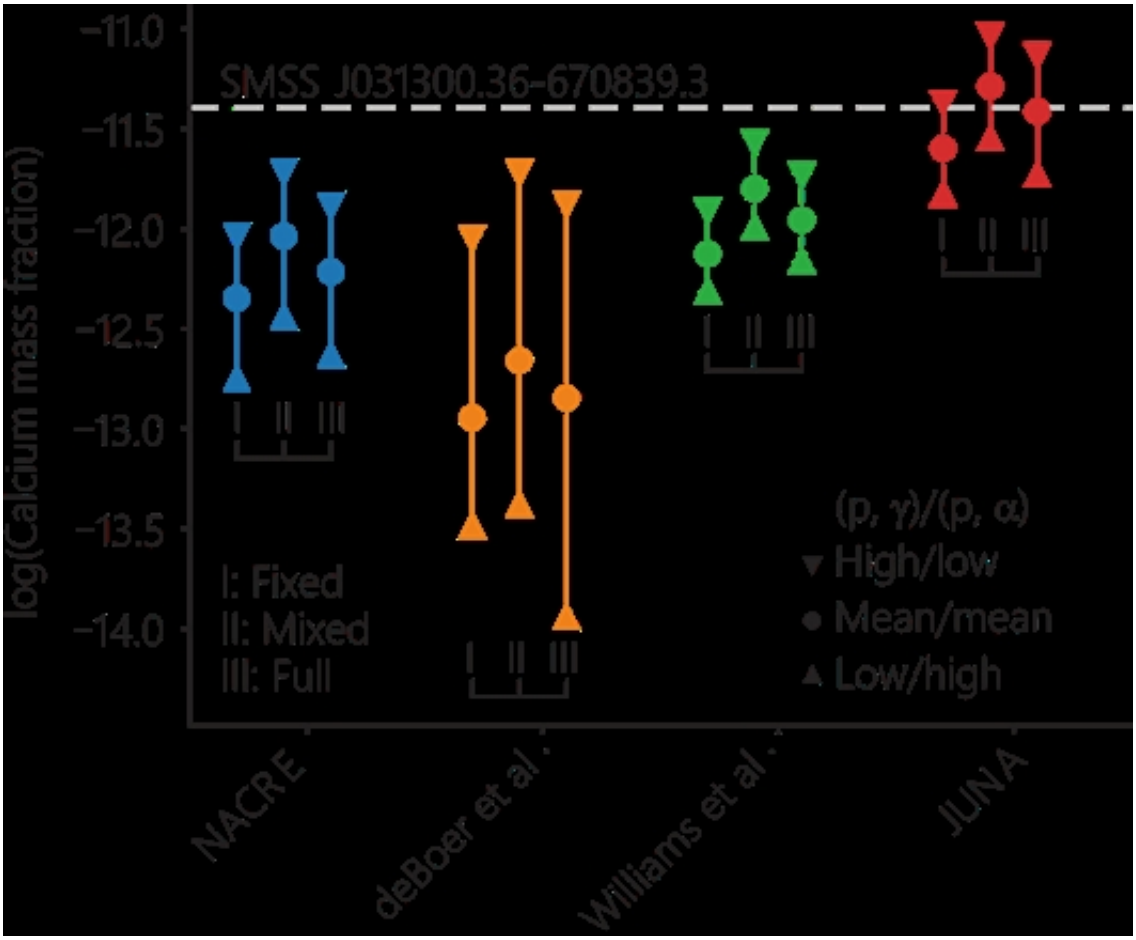
锦屏深地核天体物理实验揭示古老恒星钙丰度之谜

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/20621.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！

锦屏深地核天体物理实验揭示古老恒星钙丰度之谜。



第三星族恒星中钙的丰度(实心圆为计算值，虚线为观测值)。(课题组供图)

中国锦屏地下实验室(CJPL)，是目前世界上最深的地下实验室，垂直岩石覆盖达2400米，可将宇宙射线通量降到地面水平的千万分之一至亿分之一。在这里，北师大核科学与技术学院的科研团队，取得了一系列世界领先的原创性成果，实现了国际核天体物理直接测量的最大曝光量、最宽能量范围、最高灵敏度和最低本底环境。

北京师范大学教授何建军团队经过几年艰苦攻关，成功研制出目前耐辐照能力最强的氚注入靶，解决了卡脖子的关键技术问题，并在锦屏深地直接测量了天体关键核反应截面，揭示了古老恒星钙元素的丰度之谜。近日，相关成果刊发于《自然》杂志。

论文第一通讯作者何建军告诉《中国科学报》，锦屏深地所需的束流强度比之前地面实验所用的要强100倍左右，因此，之前利用传统方法制作的靶根本无法满足锦屏深地的实验需求，此次研制的注入靶解决了这一关键技术问题，为锦屏深地实验的成功奠定了坚实的基础并积累了宝贵的经验。

2014年，澳大利亚天文学家利用望远镜观测到了一颗宇宙中迄今最古老的红巨星，仅观测到锂、碳、镁和钙元素，但没有观测到铁元素，因此称其为极贫金属星(编号SMSS0313-6708)。它诞生于大爆炸后一亿年左右，由第一代星的超新星爆发形成的星云组成。然而，它的钙元素起源问题至今仍然是一个谜。

天体理论认为，这些钙元素可能来源于碳氮氧循环的突破反应。但是，氟辐射俘获质子的突破反应在天体物理感兴趣的能区尚无实验数据，导致当前恒星演化模型难以解释天文观测数据。对于第一代星典型温度(约为1亿摄氏度)环境下发生的热核反应，其有效伽莫夫能量远低于库仑势垒，反应截面极低。在地面实验室由于宇宙射线本底的干扰，人们一直无法对该反应进行伽莫夫能区的直接测量。

团队于2021年初，利用锦屏深地核天体物理装置(JUNA)提供的强流质子束成功将该氟俘获质子的突破反应从之前的240千电子伏特一直向下推进至186千电子伏特，触碰到了第一代星感兴趣的伽莫夫能区，并幸运地在225千电子伏特发现了一个新的共振。

在第一代星最感兴趣的一亿摄氏度温度附近，新共振的发现使得该突破反应的反应率比之前NACRE数据库中的推荐值大了5.4~7.4倍，并且将之前该温度附近的反应率不确定度从几个数量级缩小至50%左右，极大地降低了该反应率在天体网络计算中所引起的误差。

同时，与天体物理学家合作，研究了新反应率在第一代星中的影响，计算表明该反应从碳氮氧循环突破出去的概率比之前预想的要大7倍左右，解释了第三星族恒星SMSS0313-6708中观测到的钙丰度问题。

更具有深远意义的是，新的反应率数据强有力地支持了第一代星的弱超新星爆模型，排除了其他天体模型的可能性。另外，在一千万摄氏度的温度环境下，新反应率比之前推荐的要大200倍左右，因此对于低温环境下的恒星演化必将产生重要的影响，等待人们开展进一步的研究。毫无疑问，本工作将为詹姆斯·韦布望远镜(JWST)未来观测目标提供可靠的核物理输入量。

作为JUNA实验装置的首批成果之一，该突破反应实验的成功开展证明JUNA全面具备了进行深地核天体物理研究的能力。

《自然》审稿人认为，这是一个巨大的实验成功。这为未来的核天体物理学研究提供了新途径。这项研究结果会引起核天体物理学界的强烈兴趣，包括实验物理学、恒星建模以及观测等。这一结果毫无疑问值得发表。

2006年诺贝尔物理奖获得者、JWST的首席科学家约翰·马瑟来函祝贺说祝贺你们的新测量，我觉得它们相当重要。

据悉，JUNA实验装置由中国原子能科学研究院牵头，联合中科院近代物理研究所、北京师范大学、清华大学等科研单位于2020年底深地建成出束。

该工作得到了国家自然科学基金委重大项目和杰青项目等基金的资助。(来源：中国科学报崔雪芹)

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41586-022-05230-x

作者：何建军等 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转发