

科学家为寻找宇宙中第一代恒星的灰烬提供重要实验数据

大爆炸后4亿年,宇宙中诞生了第一代恒星.理论预言,在这些星体熔炉中,原子核反应将大爆炸产生的氢和氦熔合成更重的元素,最终第一代恒星以超新星爆发形式结束其生命,并将其生成的灰烬抛洒到太空.理论预言第一代恒星燃烧剩下的灰烬具有一种独特的元素丰度分布.其最突出的特点是,与太阳丰度相比较,原子序数为奇数的元素丰度远小于相邻的原子序数为偶数的元素丰度.

在万有引力的影响下,这些灰烬又形成下一代恒星,其中一部分小质量的恒星可能存活到现在,并将第一代恒星的灰烬保留下来.与考古学家类似,天文学家正在通过观察古老的小恒星的吸收光谱,试图从中寻找到理论预言的独特元素分布,从而还原宇宙演化的历史.因此,在宇宙中寻找具有这种独特元素丰度分布的恒星,对人们认识第一代恒星性质及第一代星系的形成有着至关重要的作用.

最近,日本和美国天文学家宣称,他们首次找到了一颗这种恒星,其观察到的元素丰度与理论预言相似.可是,由于星体模型及核物理方面存在大量不确定性以及观察到的实验数据存在的较大误差,还不能确切地肯定该恒星的确含有第一代恒星的灰烬.

在星体模型涉及到的众多原子核反应中, $^{12}\text{C}(^{12}\text{C},\text{n})^{23}\text{Mg}$ 反应几率对理论预言的两个奇数原子序数的元素(Na和Al)丰度起到关键作用.可是,在对应的星体反应能量区间,该反应几率很低,实验本底大,测量工作十分困难,以往的实验工作都局限在比星体反应能区高的能量进行.该反应在星体反应能量区间的反应几率只能通过理论外推的方法给出.此外,在已测能区,以往的理论预言与高能实验数据之间的差别高达4倍.因此,这种理论外推得到反应几率的可靠性值得怀疑.

最近,由中国科学院近代物理研究所唐晓东研究员与美国劳伦斯利物莫国家实验室Bucher博士共同领导的一支来自美国圣母大学、美国劳伦斯利物莫国家实验室、中国科学院近代物理研究所、澳大利亚莫纳什大学、上海交通大学、美国明尼苏达大学、中国原子能科学研究院、匈牙利科学院、瑞士巴塞尔大学和美国加州大学等10家单位

的核天体物理团队,利用实验室中的低能加速器,以及低本底碳靶和灵敏中子探测器,首次成功地在星体能区对该反应几率进行了测量,并利用 $^{12}\text{C}(^{12}\text{C},\text{p})^{23}\text{Na}$ 数据改进了外推模型.如图1所示,以前的实验测量(空心点)高于天体物理能区($2.6\text{ MeV} < E_{\text{cm}} < 3.7\text{ MeV}$).理论预言曲线与实验值的差别高达4倍,无法满足天体物理模型要求.本工作(黑点)不仅首次在天体物理能区直接测量 $^{12}\text{C}(^{12}\text{C},\text{n})^{23}\text{Mg}$ 反应截面,发现了 $E_{\text{cm}}=3.4\text{ MeV}$ 的新共振,而且发展了新的理论外推方法(实心点),大大地减小了系统误差.他们确定的 $^{12}\text{C}(^{12}\text{C},\text{n})^{23}\text{Mg}$ 反应率达到了天体物理学家要求的精度,可以用来更精确地预言第一代恒星灰烬中的元素丰度分布,为寻找第一代恒星的印记提供了坚实的基础.

研究成果于2015年6月25日在*Phys Rev Lett*以“First Direct Measurement of $^{12}\text{C}(^{12}\text{C},\text{n})^{23}\text{Mg}$ at Stellar Energies”为题发表,中国科学院近代物理研究所唐晓东研究员为通讯作者.

该工作由中国科学院百人计划、国家自然科学基金和美国自然科学基金等资助.

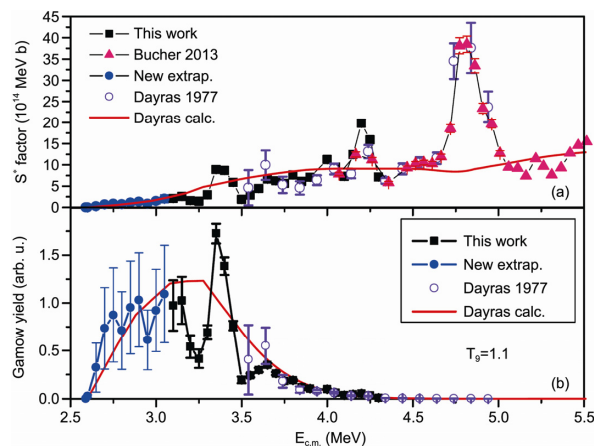


图1 (网络版彩色)(a)为 $^{12}\text{C}(^{12}\text{C},\text{n})^{23}\text{Mg}$ 天体物理S因子;(b) $^{12}\text{C}(^{12}\text{C},\text{n})^{23}\text{Mg}$ 在典型碳壳层燃烧温度(11亿度)时的伽莫夫产额.其大小显示重要天体能量区间(*Phys Rev Lett* 114, 251102 (2015))

(本刊讯)