



精确测量原子核质量 从新角度揭示中子星性质



广袤的宇宙包罗万象,有极其灿烂绚丽的超新星爆发,能吞噬一切的黑洞,还有个头极小却“体重超标”的中子星……

自20世纪60年代科学家首次发现中子星以来,人们对这个密度惊人的神秘天体充满了好奇,通过多种手段进行了大量探索。而在一篇发表于《自然·物理》杂志上的论文中,科学家通过精确测量原子核的质量,从新的角度揭示了中子星的性质。

于兰州重离子加速器冷却储存环,利用国际首创的新型质谱术,精确测量了一批关键原子核的质量,研究了中子星表面的X射线暴,从新的角度约束了中子星的性质。

2011年,近代物理所原子核质量测量团队首次测量了短寿命原子核砷-65的质量,它是锆-64的质子俘获产物,为研究快速质子俘获过程中锆-64“等待点核”问题提供了关键数据。但要想彻底明确锆-64周围的核反应流,明确锆-64的双质子俘获产物硒-66及其他附近原子核的质量也非常重要。

然而,这些原子核的产额极低、寿命很短,测量难度大,多年来相关研究一直未能所有突破。历经十余年努力,原子核质量测量团队研发了新一代等时性质谱术,团队将其命名为“磁刚度识别的等时性质谱术”。新型质谱术具有高精度、单离子灵敏、高效率、短测量时间、无背景污染等优点,是目前国际上最先进的短寿命、低产额原子核质量测量方法之一。

利用新型质谱术,近代物理所联合多家单位精确测量了砷-64、砷-65、硒-66、硒-67、锆-63等原子核的质量,从而在实验上首次确定了与“等待点核”锆-64相关的所有核反应能,更是国际上首次对砷-64和硒-66的质量进行测量,其他原子核的质量精度均得到提高。

通过研究新的原子核质量结果对X射线暴和中子星性质的影响,研究团队发现新的结果使快速质子俘获过程发生了变化,X射线光度曲线峰值增加、尾部持续时间延长。对比目前天文观测数据最丰富的、代号为GS 1826-24的中子星X射线暴观测光度曲线,研究团队发现该中子星与地球之间的距离比此前预计的要更远(需增加6.5%)、中子星表面引力红移系数也需要降低4.8%。

中子星表面引力红移系数的变化意味着中子星密度比预想的要低一些。另外,锆-64等原子核的质量变化导致快速质子俘获过程反应产物丰度分布发生变化,意味着X射线暴后中子星外壳的温度会比通常认为的更高。

中子星的性质研究是一个重要的前沿课题,可通过天文观测、重离子碰撞等不同方式进行研究。在此次研究中,科研团队通过精确测量原子核的质量,结合理论计算得到中子星表面更精确的X射线暴光度曲线,和天文观测比较,从新的角度约束了中子星的质量和半径的关系。

(据《科技日报》颜满斌 颜鑫亮 周旭 王猛)

“大胖子”和“小不点”

中子星,可以说是一种极其“拧巴”的天体。它是一个“大胖子”,质量约为太阳质量的2倍;可同时它又是个“小不点”,直径只有20千米左右。除了黑洞和一些假设天体(如白洞、夸克星、奇异星等)外,中子星是目前已知的、最致密的天体。中子星每立方厘米的物质足足有几亿吨重。

中子星是怎么形成的?科学家认为,当恒星寿命结束时,经过引力坍缩,在其核心会形成残余物,而中子星就是残余物的一种。如果残余的质量超过一定极限,不足以支撑其形成中子星,它就会继续坍缩,形成黑洞。

一旦中子星形成,它就不再主动产生热量,并随着时间的推移而逐渐冷却。不过,中子星仍可能通过碰撞或吸积邻近天体的物质进一步演化。

中子星的表面还存在强大的磁场和猛烈的X射线。I型X射线暴发生在中子星与伴星(通常是一颗红巨星)组成的双星系统中,是目前已知的最频繁的天体热核爆发过程,也是太空望远镜所能观察到的最亮的天文现象之一。中子星强大的引力将伴星中富含氢和氦的燃料吸积到中子星的表面。当这些燃料的温度和密度达到一定程度时,热核反应会被点燃,在10至100秒时间内释放出大量能量,形成X射线暴。

从原子核到中子星

X射线在逃离中子星的过程中需要克服万有引力的影响,将一部分自身能量转换为重力势能。该过程会导致X射线的频率不断降低,在光谱中表现为颜色从蓝到红,被称为引力红移。引力红移效应的大小与中子星自身的致密

性条件息息相关。因此,X射线暴为研究中子星性质提供了重要窗口。

科学家主要通过测量每秒在单位面积上沉积的X射线能量,即X射线光度曲线,来观测X射线暴。然而,由于中子星存在引力红移效应,在地球上观测到中子星的X射线光度曲线和其表面的光度曲线存在差异。如果能准确得到X射线暴在中子星表面的光度曲线,并将其与地球天文观测数据进行比较,就可以得到中子星与地球的距离信息。此外,科学家还可以通过提取引力红移系数的大小,得到中子星致密性的相关信息。

而想要得到这些信息,能否准确模拟中子星表面的热核反应过程是研究的关键。快速质子俘获过程是驱动X射线暴的主要热核反应之一,这一过程涉及到一系列远离稳定线的短寿命缺中子原子核。其中,锆-64等原子核扮演着非常重要的角色,被科学家称为“等待点核”。

锆-64就像是核过程路径上的一个“十字路口”,是核反应进行到中等质量核区时遇到的一个重要的“拥堵路段”。锆-64附近的原子核质量,尤其是砷-65、硒-66的质量,对核反应的走向和能量释放具有重大的影响,并进一步决定了X射线暴灰烬中的元素丰度,以及光度曲线的形状和持续时间等。因此,精确测量锆-64附近原子核的质量,对于深入理解X射线暴和确定中子星的性质非常重要。

从实验室到宇宙星空

原子核的质量虽然极其轻微,却在中子星性质的研究中发挥着重要作用。中国科学院近代物理研究所原子核质量测量团队与合作者基

日本研究显示鹿在岛屿进化会变得晚熟长寿

与世隔绝的岛屿被视为生物进化的天然实验场。一项新研究显示,在日本一些小岛上进化的鹿会变得晚熟和长寿,与外部隔绝的时间越长,这种倾向就越明显。

日本东京大学等机构研究人员日前在学术期刊《地球科学前沿》上报告说,对在日本本土以及离岛等地现存及已灭绝的鹿的分析显示,相较于生活在日本列岛中最大的本州岛的鹿,在冲绳岛隔绝150万年的现已灭绝

的琉球鹿的性成熟期要迟5至10年或更多,隔绝时间相对较短的庆良间鹿和屋久鹿的性成熟期则推迟2至3年。此外,长时间隔绝在离岛的鹿很多都能活到老年期,显示出长寿倾向。

据介绍,在生物进化中,成熟早、一次性留下大量子代的物种寿命往往较短,比如老鼠;生长缓慢、需将数量不多的子代抚养长大的物种寿命往往较长,比如大象。本次研究显示,

隔绝于岛屿的鹿在向后一种方式进化。它们要留下后代需要更长时间,一旦因为人类影响或者外来捕食者入侵而造成个体数量减少,就很难恢复,这可能是一些岛屿上的鹿灭绝的重要原因。

公报说,了解鹿这种大型哺乳动物在岛屿上的进化特点,有助于分析其他一些岛屿物种的生态,评估现有物种的灭绝风险等。

(据新华社 钱铮)