

与生俱来还是意外之财? 这些恒星为何多点锂



李海宁

茫茫宇宙之中,似乎有极少数的小质量恒星不知道从什么神秘的地方得到了一些多余的锂元素,使自己成为了极其稀有但却

非常重要的一类恒星——锂超丰恒星。最近中日天文学家利用郭守敬望远镜(LA-MOST)和斯巴鲁望远镜(Subaru)合作发现了其中的十二颗。这些小质量的锂超丰恒星着实给理论学家出了个难题。

物以稀为贵的锂元素

宇宙中所有的锂,甚至于地球上最具开采潜力的、位于南非的锂矿中的锂,全部都来自于大爆炸的那一刻。倘若没有原初核合成产生的看似微量的锂,今天的我们甚至都用不上轻便高效的锂电池。

大爆炸之后的宇宙就像一锅滚烫的充满了各种微小粒子的浓汤,在其迅速膨胀和冷却的过程中仅用了三分钟就完成了元素合成的第一阶段:依次产生了氢原子、氦(氦)、氦核和极少量的锂。对于维持生命来说至关重要的碳氮氧等其他更重的元素,也就是天文学上所谓的“金属”元素都是在恒星内部经过随后的数十亿年时间逐步合成的。这也是大爆炸标准核合成理论的基本出发点。

由此可见,无论对于恒星物理或者标准宇宙学,锂都是一个非常重要但是难以测量的元素。尤其对于锂元素而言,并不存在真实的化学演化。因为宇宙中所有的锂,甚至于地球上最具开采潜力的、位于南非锂矿中的锂,全部都来自于大爆炸的那一刻。倘若没有原初核合成产生的看似微量的锂,今天的我们甚至都用不上轻便高

效的锂电池。

银河系中的第一代恒星就诞生在原初的“零金属”环境中,因此形成于宇宙早期的、年老的恒星通常都具有与宇宙原初相似的化学成分——只含有极少量的金属(贫金属)和极少量的锂。显而易见,贫金属星中探测到的锂与原初合成锂的过程息息相关。

上世纪八十年代,实测天体物理学家发现处于演化初期的贫金属星,由于大气表面较为稳定,其表层的锂含量基本是个常数。然而这个常数对应的锂丰度要比标准大爆炸理论给出的原初锂丰度低2.5倍。

考虑到原初锂丰度的测量精度,这似乎暗示着贫金属星的锂含量并不直接等同于原初值。也正因为这样,研究贫金属星的锂丰度是帮助我们理解这两者之间的差异以及早期恒星与星系对于宇宙中锂含量影响的关键。

不走寻常路的锂超丰红巨星

非常意外地,人们在观测中发现了少量不同寻常的贫金属红巨星,它们的大气表层具有超出正常含量的锂元素,实实在在地给天文学家出了个难题。

在温度超过250万开尔文的恒星内部,锂很容易通过进一步核反应被瓦解,从而无法在恒星内部留存下来。随着小质量恒星在演化轨道上不断前进,它们表面的锂含量通常还会继续降低。当它们演化到红巨星(太阳类型恒星的演化后期)阶段时,恒星内部缺乏锂的物质会通过对流与大气表面物发生混合,从而进一步稀释恒星表层的锂含量,使其降低一个量级以上。这是经典的小质量恒星结构与演化模型所描述的锂丰度演化过程,

对于银河系球状星团的系统性观测也得到了与之相符的结果。

非常意外地,人们在观测中发现了少量不同寻常的贫金属红巨星,它们的大气表层具有超出正常含量的锂元素,被称为“锂超丰”。然而在过去的几十年里,天文学家只成功地发现了十几颗这类锂超丰的小质量红巨星。虽然在这些贫金属红巨星中的锂超丰程度还不足以解释宇宙学上的锂丰度之谜,但却实实在在地给天文学家出了个难题。

小质量恒星演化模型一直被认为是天体物理领域相对比较成熟的理论,但是却并没有预料到半路杀出这些锂超丰的小质量红巨星。天文学家的直觉告诉他们,如果一颗小质量红巨星表面含有显著超出正常含量的锂元素,一种可能是它在演化初期就已经通过某种外部途径获得了如此大量的锂,另一种可能就是小质量恒星演化模型的某些理论需要调整一下了。

于是理论学家开始提出各种不同的机制试图解释小质量恒星中多出来的这些锂。比

较流行的理论包括:红巨星阶段发生了外部混合,这种过程最可能发生在红巨星团簇的某个特定演化位置;吸积并吞含有大量锂元素的小天体或者行星;在双星系统中从极富含锂伴星中吸积转移过来的物质。这些理论能够一定程度解释光度较高(演化后期)的恒星中的锂超丰,但却始终没有一个成熟的模型来解释光度较低(演化初期)恒星中的锂超丰现象。这也使之成为小质量恒星演化理论的难题。而系统的研究锂超丰贫金属星则成为解决这一难题的最有利突破口。

中日联手的完美新发现

两个望远镜成功发现了十二颗锂含量异常超高的贫金属恒星。其中一颗恒星的表面锂丰度甚至高出同类恒星的100倍,妥妥地成为了目前已知的具有最高锂丰度的恒星,也成为了理论解释的最大难点。

由于贫金属星非常稀缺,例如在十万颗太阳邻域的恒星中才能找到一颗,已经观测到的锂超丰贫金属星更是凤毛麟角,也尚未有系统的观测研究来探究其起源。国家天文台天体丰度研究团队从2015年初开始利用LAMOST海量数据首次对这类特殊天体开展系统搜寻。通过与日本天文学家合作,他们利用LAMOST数据和Subaru望远镜成功发现了十二颗锂含量异常超高的贫金属恒星。这些贫金属星的质量大都在0.8个太阳质量左右,比此前发现的锂超丰恒星要更加年老。它们的发现有可能帮助天文学家解释小质量恒星中这些额外的锂从何而来,或者提示理论学家如何去修补多年来被人们广泛认可的小质量恒星演化原理。

尤其令人惊讶的是,在这十二颗恒星当中,有五颗还处在它们生命的初期,亚巨星阶段——即比通常的类太阳恒星稍晚,但尚未演化到红巨星的阶段。其中一颗恒星的表面锂丰度甚至高出同类恒星的100倍,妥妥地成为了目前已知的具有最高锂丰度的恒星,也成为了理论解释的最大难点。在现有恒星演化理论框架下,处在亚巨星阶段的恒星原则上无法产生显著的内部混合,而用来解释演化后期恒星锂超丰的增生机制也不大现实。因此很大可能它是通过与其他天体的作用获取了如此大量的锂。

有没有可能是它吞掉了某颗不幸的富锂小天体,比如岩质行星?首先,在如此低金属

丰度的恒星周围形成行星的难度是相当大的。其次,即使鬼使神差地形成了行星,如果要产生在这颗极端锂超丰恒星中观测到的锂含量,这颗行星的质量就需要超过太阳!形成如此大质量的岩质行星几乎是不可能完成的任务。

会不会是这颗恒星偷吃了某颗伴星的大量锂元素?如果真是这样,理应造成视向速度的变化或者其他元素含量的异常超丰。然而,多次光谱及测光观测的对比结果表明,它并没有留下任何蛛丝马迹。

近年,新星爆发被普遍认为是宇宙中锂元素的可靠来源之一。而且通过这种方式产生的锂超丰基本上不会造成其他可观测的元素丰度的变化。所以,小质量恒星从新星的喷射物中吸积物质从而得到大量的锂成为极其有趣的可能之一。无奈尚无关于这种机制的成熟模型,也只能暂时作为美丽的猜想罢了。

这个有趣的发现表明,这些小质量贫金属星通过某种方式在其生命早期获取了额外的锂,只是眼下我们还无法确定这些锂究竟从何而来。尽管这类锂超丰贫金属星非常稀少,但它们的起源将为小质量恒星的结构和演化理论提供全新的视角。而随着盖亚卫星观测数据等新数据的释放,我们能够更准确地限制这些恒星的演化阶段,揭示这些锂超丰贫金属星的前世今生。

(作者系中科院国家天文台副研究员)

身边的天文学

古人眼中的扫把星 空间物理学家的宝贝

李会超

在绚烂的夜空中,有时会看到拖着长尾巴的不速之客,这就是彗星。因为有些彗星的尾部看起来好像是一把倒挂着的扫把,在我国彗星也被形象地称为“扫把星”。它的出现在古代往往被视作不祥之兆。葡萄牙国王阿方索六世在1664年看见彗星时,因为对彗星的厌恶和恐惧,竟然掏出手枪向彗星射击。随着天文学的发展,人们对彗星的了解越来越深入。这种在太阳系中来往穿梭的天体,不但可能为生命的产生提供了最初的温床,还给空间物理学家们提供了研究太阳风和太阳磁场的天然探测器。



遥远的来客

除了一小部分轨道为抛物线或双曲线的彗星外,大部分彗星的轨道都是椭圆形。和其他天体一样,彗星也具有在轨道上往复运动的周期,但这个周期一般较长。我们熟知的哈雷彗星,其轨道周期在75年左右,一个人一生中鲜有机会目睹两次哈雷彗星。轨道周期短于200年的彗星,被称为短周期彗星。它们一般被认为来自于海王星轨道外、从约30天文单位(AU,1天文单位约为 1.5×10^8 公里)延伸到55AU的柯伊伯带。在那里,大量由冷冻的挥发成分,如甲烷、氨、水等物质组成的天体,被太阳的引力束缚在黄道平面上上下10度的范围内。

轨道周期长于200年的彗星,被称为长周期彗星。在上世纪中叶,荷兰天文学家奥尔特注意到,多数长周期彗星的轨道的远日点位于约20000AU处。和短周期彗星的轨道大部分处在黄道面附近不同,长周期彗星造访太阳附近时,可以来自各个方向。因此,奥尔特推论在距离太阳20000AU左右的距离上,应该有一个各向均匀分布的球形星云,长周期彗星的发源地就在那里。

生命的温床

上世纪中叶,美国天文学家普惠尔提出了著名的“脏雪球”模型,认为彗星的内核是由含冰的凝聚物构成的。随着对彗星观测的深入,天文学家们发现“脏雪球”的描述基本正确,但彗星内核的成分远不止冰,还有岩石和冻结的二氧化碳、一氧化碳、甲烷和氨等。此外,彗星内核还包含有各种各样的有机物,包括甲醇、甲醛、乙醇、乙醛等。蛋白质和DNA是构成生命的基本物质,这些具有复杂结构的大分子物质,实际是由氨基酸、腺嘌呤、鸟嘌呤等小分子物质构成的。1999年,NASA发射了“星尘号”探测器,飞往维尔特二号彗星。科学家们分析星尘号不远万里带回的约100万彗星及星际尘埃粒子样本后,惊奇地发现了一种重要的氨基酸——甘氨酸,从而为生命起源的研究提供了证据。

2014年10月和2015年8月,欧空局的罗塞塔号探测器两次在丘留莫夫-格拉西姆科彗星上发现了甘氨酸的痕迹。此外,还发现了甲胺和乙胺这两种有机分子。甲胺和乙胺是合成甘氨酸的前身物质,因此罗塞塔号的发现也给了科学家们研究彗星上甘氨酸形成过程的机会。由于在彗星上探测到的水在同位素构成比例上与地球上的水存在明显差异,罗塞塔号还证实地球上的水可能并不像一些科学家设想的那样,是由彗星带到地球上的。

如果彗星是孕育生命的温床,那么这些形成生命的初始物质又是怎样来到地球上的呢?NASA戈达德天体生物学分析实验室的科学家们通过对陨石的研究所给出了可能的答案。通过分析12块可能来自彗星的陨石,科学家们在其中发现了构成DNA的基本物质——腺嘌呤和鸟嘌呤。陨石坠落到地球后,难免受到地球上物质的污染,而科学家们发现陨石附近的土壤和冰中并没有与陨石上探明的嘌呤物质相似的物质。联系其他生物学上的证据,科学家们确认陨石中的生命物质的确来自太空。

太阳风的探针

上世纪中叶,天文学家路德维希·比尔曼注意到了彗星的另一个有趣现象。他发现,当彗星在太空中穿行时,会出现两个指向不同的尾巴。其中一个彗尾总指向背离太阳的方向。比尔曼推测,在太空中应该存在一些流动的物质,吹拂着彗星,形成了这个特别的彗尾。后来,天体物理学家尤金·帕克根据比尔曼的观测,提出著名的帕克太阳风模型,指出吹拂彗星尾巴的是由膨胀的太阳大气所形成的太阳风。由等离子体组成的太阳风,在接近太阳表面的日冕中被加速和加热后,裹挟着太阳磁场向行星际空间喷薄而去。由电离气体组成的气体彗尾正是在太阳风等离子体和磁场的共同作用下,才始终指向远离太阳的方向。而由尘埃颗粒形成的尘埃彗尾,则会因彗星的运动而被拖拽在彗星轨道的后方。

随着航天技术的发展,人们早已证实了太阳风的存在,并对日冕中的磁场结构和太阳风加热加速过程有所了解。然而,观测技术的限制使得科学家们难以确切地搞清楚紧贴太阳表面的低层日冕中的物理过程。2011年,两颗经过太阳附近的彗星再次给了空间物理学家们新的发现。2011年6月,C/2011 N3彗星在飞掠太阳附近时没有经受住太阳的炙烤,在太阳附近解体。美国的太阳动力学观测台(SDO)的遥感观测表明,彗星在被消融后,几分钟就被太阳大气加热到了5000度以上。彗星消融后的物质,很有可能随着太阳风被吹拂到行星际空间中。由于彗星的化学成分和太阳大气本身有着一些差别,彗星的物质可以充当“示踪粒子”。当这些示踪粒子在行星际空间中被探测到后,科学家们可以结合行星际空间探测和日冕遥感观测,对太阳风的加热过程作更深入的研究。

与C/2011 N3相比,C/2011 W3彗星则要幸运很多。2011年12月它飞掠太阳时,距太阳表面最近仅14万公里,但仍幸存了下来。目前,科学家可以通过磁场的塞曼效应,通过遥感观测推断出太阳表面的光球上的磁场分布情况。然而,对于太阳表面附近的日冕磁场,则没有很好的探测方式,只能通过模型计算得到。C/2011 W3气体彗尾在太阳附近的摆动,刚好给了研究者们测量日冕磁场的机会。

(作者系中科院空间科学中心博士生)

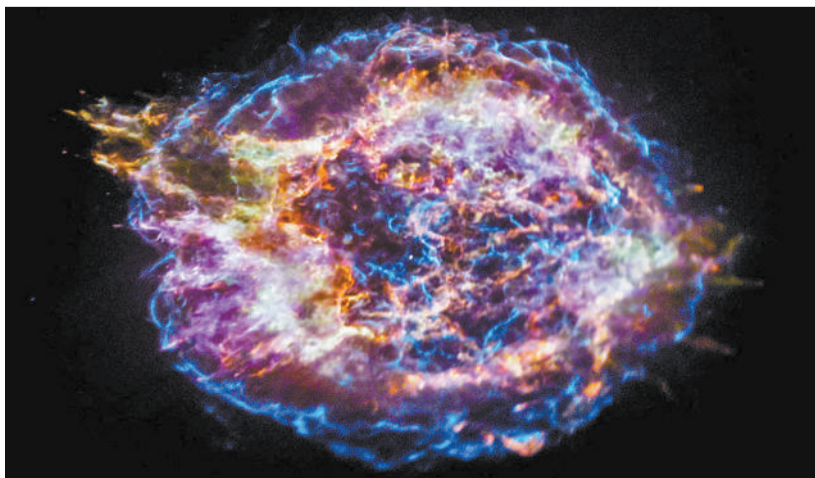
(本版图片除标注外来源于网络)

光谱志

星空中的烟花

春节假期,烟花漫天。在群星间也有一个烟花星系——星系NGC6946。它是一个距离地球2200万光年的漩涡星系。过去100年里,天文学家在这个星系中发现了至少10颗超新星爆发。这大概也是它昵称的由来:恒星生命终点的爆发,如同烟花,照亮了星系,也让人们领略到宇宙之美。左图为日本斯巴鲁望远镜拍摄的NGC6946。

仙后座A是约330年前的一场“宇宙烟花”——超新星爆发留下的残骸,是银河系中已知最年轻的超新星遗迹,也是除太阳外最强的射电源。右图为NASA钱德拉X射线卫星拍摄的仙后座A,不同颜色表示硅、铁、钙等不同元素。



扫一扫
欢迎关注
带你去看耿耿星河
微信公众号