奇异矮星系: 暗物质迷失?

郭琦^{1,2}

1. 中国科学院大学天文与空间科学学院, 北京 100049;

2. 中国科学院国家天文台, 北京 100101

E-mail: guoqi@nao.cas.cn

Extraordinary dwarf galaxies: Missing dark matter?

Qi Guo^{1,2}¹ School of Astronomy and Space Science, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;² National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China

E-mail: guoqi@nao.cas.cn

doi: 10.1360/TB-2019-0896

宇宙的起源是什么? 其主要成分是什么? 宇宙是如何演化到今天丰富的结构的? 这都是现代宇宙学需要回答的问题。最近几十年时间里, 现代宇宙学取得了令人瞩目的成就, 奠定了标准宇宙学模型的基础。在标准宇宙学模型下, 宇宙主要由暗物质和暗能量组成, 我们熟悉的重子物质只占宇宙总比例的 4.7%^[1]。这一标准模型成功地解释了跨越宇宙学时标和尺度的众多观测现象, 包括红移 1000 左右的宇宙微波背景观测、星系的大尺度成团性、弱引力透镜测量的宇宙剪切, 以及由赖曼-阿尔法森林示踪的小尺度功率谱等。

标准宇宙学模型从星系尺度到宇宙学尺度都取得了巨大的成功, 然而, 在更小尺度上, 几朵可疑的“乌云”正在挑战其正确性, 这些“小尺度”的挑战正是由矮星系承担。其中, 最著名的几个包括: 卫星星系缺失问题——标准宇宙学模型预言的子结构数目比实际观测到的银河系周围的卫星星系多几个量级; 大而不倒问题——标准宇宙学模型预言了许多大的子结构, 但在实际观测中并没有发现; “core or cusp”问题——标准宇宙学模型预言的矮星系内部的密度轮廓比真实观测到的陡峭得多; 卫星星系的窄盘分布——标准宇宙学模型预言的卫星星系的分布更趋近于各向同性, 而不是像银河系的卫星星系一样分布在一个非常窄的盘上。一方面, 矮星系的势阱比较浅, 对各种天体物理过程很敏感。另一方面, 不同类型暗物质属性也改变势阱本身的结构, 从而影响其中的重子物质动力学。因此, 这些问题是由天体物理过程导致的还是暗物质本质影响的, 至今仍未有定论, 大部分需要更先进的望远镜取得更细致的观测结果, 以及我们对天体物理过程更准确的认知。

基于目前细致的矮星系动力学观测, 人们发现, 在矮

星系中, 几乎处处都是暗物质主导的。这从理论上也是比较容易理解的, 因为矮星系的势阱比较浅, 其束缚重子物质的能力比较弱, 背景再电离过程(高温气体)、恒星形成负反馈过程(气体吹出)等都很容易使得这些系统中的重子物质降低。这也与星系的恒星质量函数和标准模型下的暗物质质量函数的形态差异相自治。图 1 展示了银河系矮星系的典型质光比(动力学质量与光度的比)^[2], 其范围为 10~1000, 即恒星比例基本都小于 10%。由于这些系统中气体非常少(在密度环境的演化过程中被剥离和消耗), 其余基本都是暗物质组成。现代数值模拟中也发现了类似的质光比。然而, 2018 年, 耶鲁大学的天文学家 Peter van Dokkum 领衔的研究团队^[3]在 NGC1052 星系群发现一个奇怪的矮星系——NGC1052-DF2。通过测量周围球状星团的动力学, 他们计算的这个星系的总质量几乎等于其恒星质量——严重缺失暗物质! 这一发现在业内引起轩然大波。

图 1 银河系周围的矮卫星星系典型质光比^[2]

Figure 1 Mass-to-light ratios of dwarf satellite galaxies around the Milky Way^[2]

图2 (网络版彩色)中性氢半径内动力学质量与重子质量的关系(a)及中性氢半径内动力学质量与重子质量比值的分布(b)^[4]

Figure 2 (Color online) Dynamics mass vs. baryonic mass within HI radii (a) and the distribution of the dynamical mass-to-baryonic mass ratio (b)^[4]

由于矮星系的面亮度普遍很低,因此其细致的动力学测量一直都局限在非常临近的范围,基本都在本星系群内部,特别地,在银河系附近的矮星系,其动力学数据比较丰富.而测量银河系外星系系统通常需要在更远的距离,远离我们的本星系群,对望远镜的性能和时间要求非常高,因此这类统计性研究非常难以实现.我们^[4]通过结合斯隆光学巡天和阿雷西沃射电巡天的结果,筛选了324个高信噪比的矮星系样本.这些矮星系具有光学波段的测光数据,同时有中性氢的红移、流量和中性氢谱线速度轮廓.红移+测光可以得到恒星质量,红移+中性氢流量可以得到中性氢的质量,结合中性氢与氢的比分,就得到了该星系总的重子物质质量;中性氢的半径可以由中性氢的质量推出,因为二者有非常紧密的关系;结合谱线轮廓给出的旋转速度,可以计算中性氢半径内的总质量.注意,中性氢通常是非常延展的,其半径可以达到几万光年,对于典型的矮星系来说,这样大的半径内动力学都是由暗物质占绝对主导地位.图2展示了我们的结果,可以看到,有19个矮星

系的重子物质质量超过其暗物质质量,占据动力学的主导地位.

更令人兴奋的是,这批新发现的19个暗物质缺失的矮星系中,有14个处于孤立区域,即位于所有近邻星系群或者星系团的三倍位力半径之外.位力半径刻画了星系群或者星系团所在的暗物质晕的半径,而三倍位力半径之外的区域通常被认为不会受到这个星系团或星系群的影响.也就是说,不同于之前提到的NGC1052-DF2,这些新发现的反常矮星系,绝大多数都几乎不会受到星系群或星系团的潮汐作用的影响,之前解释NGC1052-DF2的形成机制在这里不适用.

那么,该如何解释这些矮星系中的暗物质缺失问题?是由其非常特殊的天体物理过程造成的?还是由于我们默认的标准冷暗物质模型是错误的?毕竟,模糊暗物质或者温暗物质的性质将更有利于这类矮星系的形成.对此,科学家们暂时还没有好的答案,期望未来的大望远镜观测能带来更多的线索.

推荐阅读文献

- 1 Planck Collaboration, Aghanim N, Akrami Y, et al. Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters. arXiv: 1807.06209
- 2 Martin N F, Ibata R A, Chapman S C, et al. A Keck/DEIMOS spectroscopic survey of faint Galactic satellites: Searching for the least massive dwarf galaxies. *Mon Not R Astron Soc*, 2007, 380: 281–300
- 3 van Dokkum P, Danieli S, Cohen Y, et al. A galaxy lacking dark matter. *Nature*, 2018, 555: 629–632
- 4 Guo Q, Hu H J, Zheng Z, et al. Further evidence for a population of dark-matter-deficient dwarf galaxies. *Nat Astron*, 2019, doi: 10.1038/s41550-019-0930-9