

## 宇宙中暗物质分布的线索

(中国原子能科学研究院 周书华 编译自 Francesca Calore. *Physics*, March 9, 2020)

暗物质占宇宙物质的85%。天文学和宇宙学观测表明,暗物质影响着宇宙的演化,在星系的分布及宇宙大尺度结构中留下其印记。近来,意大利Turin大学的Ammazzalorso、斯坦福大学的Daniel及其同事探测到了一种信号,可用来揭示暗物质的性质。研究团队将暗能量巡天(DES)与费米大面积望远镜(LAT)的观测结果相比较,发现引力透镜位置与 $\gamma$ 射线位置之间重要的互关联。前者被认为跟踪暗物质,后者可能是暗物质自毁时发射的。虽然他们的数据表明,互关联主要来自另一类天体物理客体,但是部分来自暗物质的可能性依然存在。

宇宙物质的分布通常是通过引力透镜测量的。爱因斯坦预言的这种效应,是因远处的物体所发射的光线被物体与地球之间的物质的引力所弯曲而产生的。天文学家使用星系的引力透镜重建天文图,如DES所绘制的可见物质与暗物质的分布图。

科学家从这些图中知道存在暗物质,但不知道其存在形式。暗物质的一个主要候选者是某种至少重为几 $\text{GeV}/c^2$ 的新粒子。模型预言,暗物质粒子密度足够高时将产生 $\gamma$ 射线。 $\gamma$ 射线的发射来自两个夸克物质粒子的碰撞和相继的湮灭,可用现有的望远镜,如LAT进行观测。因此 $\gamma$ 射线信号可作为暗物质跟踪器。较明亮的信号指示这种暗物质浓度较高的空间区域。

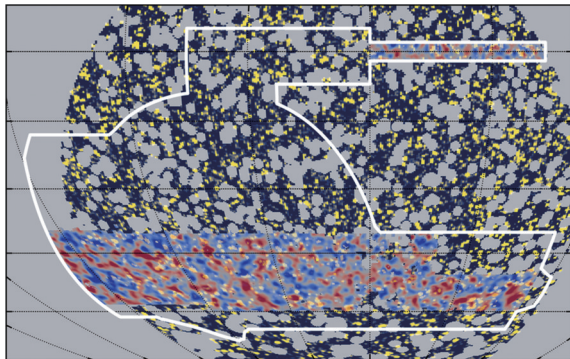
但暗物质并不是唯一可能的 $\gamma$ 射线源。 $\gamma$ 射线也可由更“一般”的天体物理客体产生,如由超新星爆

炸的残余物,或称为耀变体的非常活跃的超大质量黑洞所发射的喷注所产生。其中一些源或者足够强,或者距地球足够近,可以用LAT探测。但是大多数 $\gamma$ 射线源太弱,不能认定其单独的来源,而是成为宇宙 $\gamma$ 射线的一部分,这种 $\gamma$ 射线是将最强的源从 $\gamma$ 射线望远镜

的观测中扣除后得到的,叫做 $\gamma$ 射线本底。暗物质的 $\gamma$ 射线辐射可能存在于这种本底中。

Ammazzalorso等将DES图与未分辨的 $\gamma$ 射线本底进行互关联,在两组数据中寻找共有的部分。他们发现, $\gamma$ 射线信号在引力透镜显示含有较多物质的区域更强,而在含有较少物质区域较弱。研究团队在高能量 $\gamma$ 射线和小方向夹角( $<0.3^\circ$ )处探测到互关联,信噪比为5,满足作为新发现的要求。在较大的角度上也发现互关联的痕迹,但是统计显著性较低。

明亮的高能 $\gamma$ 射线与暗物质密度高的区域位置上的符合,可能意味着这两种信号有共同起源。但只是互关联还不足以将 $\gamma$ 射线归因于暗物质。因此,研究团队使用天体物理物质的 $\gamma$ 射线辐射模型来寻找测量到的信号与可能产生这种信号的物质之间最佳的匹配。他们的模拟表明,在小的方向夹角处,互关联主要来自耀变体。在大的方向夹角处, $\gamma$ 射线可能包括暗物质的额



研究人员发现了未分辨的宇宙 $\gamma$ 射线与引力透镜之间的关联。在LAT图中的黄色区域为明亮的 $\gamma$ 射线发射区,DES图中的红色部分对应于高密度质量区

外贡献,统计显著性为3个 $\sigma$ 。这一结果令人鼓舞,因为这是通过间接探测显示出暗物质存在的少数线索之一,并开启了探索暗物质粒子模型新的可能性。尽管如此,目前对于耀变体物理的理解并不完美,而且大部分互关联可能都来自耀变体。DES计划继续获取数据并进行新的分析,下一代的望远镜将提供更多更好的引力透镜数据。位于智利的Vera Rubin的天文台和美国亚利桑那州Kitt Peak天文台的空间与时间Legacy巡天(LSST)预期于2022年末开始运行,将绘制几个星系的历史演变图。正在欧洲空间局建造的欧几里得空间望远镜预计在2022年发射,将探测过去100亿年来宇宙的演化。未来的仪器以其对更深红移的覆盖和更好的角度分辨,使科学家能更好地了解宇宙 $\gamma$ 射线的来源,还可能揭示暗物质的性质。

更多内容详见: S. Ammazzalorso et al. *Phys. Rev. Lett.*, 2020, 124: 101102.