

第一批恒星可能照亮了暗物质

(中国科学院理化技术研究所 戴 闻 编译自 Abraham Loeb, Julián B. Muñoz. *Physics*, July 2, 2018)

暗物质的性质是宇宙学中最长久的困惑之一。天文学家已经确定，暗物质是宇宙中物质的主要构成，但它们至今无法被辨认。最近，对“黑暗时代”之后宇宙黎明的观测，发现了一条可能的线索——涉及第一批恒星形成的时代。今年早些时候，研究人员报告了一个令人惊讶的强吸收信号，它来自被第一批恒星的光激活的气体。现在，一系列新的论文揭示，从这种意想不到的吸收中，可以推断出暗物质。例如，假设暗物质携带小电荷，使暗物质与普通物质产生弱相互作用，就可以解释这种吸收。

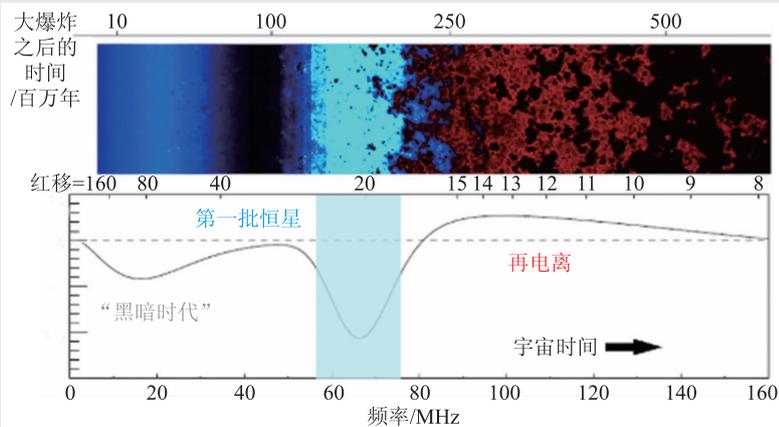
近一个世纪以来，科学家一直通过暗物质对可见物质和辐射的引

力效应，来研究暗物质。这些观察证实了暗物质是宇宙的主要组成之一。例如，测得的宇宙微波背景(CMB)之各向异性表明，暗物质的总质量大约是普通物质(重子)的5倍。但是，各向异性并不是CMB中可能包含宇宙物质信息的唯一方面。CMB光子携带着在旅途中与之相遇的氢气的印记，这旅程始于大爆炸发生后40万年。印迹信号是由于21 cm波长的CMB光子吸收，它对应于氢的超精细能级的电子跃迁。由于宇宙正在膨胀，上述吸收被红移至较长的波长，因此在特定波长上的观测，与过去的特定时间相对应。

在所谓的“黑暗时代”早期，

氢气的吸收是最小的，因为处于超精细能级的布居与CMB接近于热平衡。然而，在宇宙黎明之初，宇宙大爆炸之后大约一亿年，吸收量预计会急剧增加。此时，来自第一批恒星的紫外线辐射开始激发氢原子，导致超精细能级布居数以这样一种方式(即反映气体温度的方式)发生漂移。因此，某一特定时期的21 cm吸收强度，取决于相应的气体温度，更多的吸收发生在较冷的气体中。根据标准宇宙学模型，气体在宇宙黎明期间达到最低温度。此后，气体经过“再电离”，不再从CMB吸收21 cm的光子。然而，与暗物质的相互作用，可以冷却或加热来自宇宙黎明的氢原子，产生与图中的预期不同的光谱。

EDGES提供了与红移21 cm线对应的第一个天空平均光谱。数据显示，在波长为380 cm的情况下，在78 MHz的频率下，有一个吸收谷。这个谷的深度意味着，大约六分之一的CMB光子在这个频率附近被路途中间的氢吸收。这个深度比标准预测值大2倍。如果暗物质质量小于质子质量的10倍，就可以排除典型的暗物质候选物质类，即类似WIMP(弱相互作用大质量粒子)的暗物质。上述结果展示了宇宙黎明测量用于解决暗物质谜题的前景。即使是微弱的暗物质相互作用，通过移去或淀积能量来影响氢气，也可以对21 cm数据加以限制。21 cm限制是对粒子加速器数据的补充，粒子加速器更适合探测较强的暗物质相互作用。



作为宇宙黎明探测器的21 cm信号。上图，显示了氢气演化的模拟，水平轴是时间，垂直轴是二维天空的一维投影。颜色表示21 cm线的亮度，蓝色代表吸收，红色代表发射。下图，显示了对全天光谱的预期，吸收发生在虚线以下，发射发生在虚线上方。由于宇宙红移，每个频率映射到氢气演化的特定时间。在早期，在所谓的“黑暗时代”，吸收能力相对较弱。但是，当恒星开始发光，它们的辐射帮助激活了21 cm的吸收，导致了一个大的吸收谷(以蓝色垂直带为标志)。最近的EDGES观测(Experiment to Detect the Global Epoch of reionization Signal, 探测全球再电离信号时代的实验)表明，这一吸收谷比预期的要深。之后，来自恒星和黑洞的辐射导致气体电离，最终关闭了21 cm信号