

Z3 对称下的跷跷板门户与超重暗物质

为了解开暗物质之谜以及中微子质量和问题，研究对跷跷板模型进行了一个简单扩展，在跷跷板机制中引入右手中微子，将暗区与中微子物理联系起来，不仅能够解释观测到的微小中微子质量问题，还能通过轻子生成过程解释宇宙的重子不对称性，构建“跷跷板通道”的暗物质模型。然而，在离散的 Z_2 对称模型中，当暗标量 ϕ 粒子的质量小于右手中微子 N 时，即质量排序为 $m_N > m_\phi$ ，暗标量 ϕ 会因为衰变宽度受到混合角及多体相空间的抑制而表现出长寿命，在大爆炸核合成时期后的衰变会破坏轻元素丰度的宇宙学图景，因此这种情况在 Z_2 模型中会被大爆炸合成观测所排除。

为了规避这一严峻挑战，我们将暗对称性扩展至 Z_3 对称性，暗区包含在 Z_3 对称变换下的暗标量 ϕ 和暗狄拉克费米子 χ ，其中 χ 作为最轻的暗粒子，是稳定的暗物质。如此情况下，除了与右手中微子通道的相互作用 $y_N \phi \chi N$ 外， Z_3 对称性还允许引入一个新的汤川耦合相互作用 $y_\chi \phi \chi^c \chi$ ，使 ϕ 获得了一个全新的衰变通道： $\phi \rightarrow \chi \chi$ 。这样即使耦合常数 y_χ 非常微弱，该衰变道的存在也足以确保暗标量 ϕ 的寿命远短于大爆炸核合成的时间尺度（约1秒）。因此，原本在 Z_2 对称模型中被严格排除的质量排序 $m_N > m_\phi$ ，在 Z_3 对称模型中变得似乎可行，为暗标量提供了一幅无需精细调节就能符合宇宙学观测的物理图像。

对于这个模型的唯一研究进一步聚焦于超重暗物质粒子 χ 的产生机制，其质量尺度高达 10^{10} GeV的等级，与通过轻子生成所要求的重右手中微子能标（通常高于 10^9 GeV）自然契合。暗物质 χ 的丰度主要通过“冻结”机制产生，具体依赖于暗区粒子与右手中微子之间的质量排序。存在两种典型情形：A型， $m_\phi > m_N$ ，暗物质 χ 主要通过散射 $\phi \chi \rightarrow h$ 过程产生，效率由中微子汤川耦合 y_N 与再加热温度 T_{RH} 控制。B型， $m_N > m_\phi$ ，暗物质 χ 主要来自右手中微子的衰变过程 $N \rightarrow \phi \chi$ ，所需要的汤川耦合 y_N 取决于质量比 m_N/m_ϕ 。在 Z_3 对称模型中，由于 $\phi \rightarrow \chi \chi$ 衰变道的存在，暗标量的转化效率更高，因此产生的暗物质遗迹丰度通常高于 Z_2 对称模型。通过对玻尔兹曼方程的详细求解，可以在参数空间中确定能满足观测的暗物质丰度区域。同时，再加热温度 T_{RH} 是一个非常关键的参数，它直接决定了产生正确遗迹丰度所需要的汤川耦合 y_N 的强度；而新引入的耦合 y_χ 虽然对解决大爆炸核合成问题至关重要，但对 y_N 的影响相对较小。总之， Z_3 对称的跷跷板通道模型为连接中微子质量、重子不对称性和超重暗物质这三大宇宙学谜题提供了一个能经受住宇宙学观测检验的理论框架。

Primary author: 杨, 彩霞 (济南大学)

Presenter: 杨, 彩霞 (济南大学)

Session Classification: Poster Session