**负质量暗物质的“基本粒子”谱系：基于场组合分类与拓扑荷鉴定的理论模型**

作者： 李志军，赵光耀

摘要：  
本文基于李志军ABC理论，首次系统地提出了负质量暗物质（NMDM）存在自身丰富的“基本粒子”谱系的理论。核心论点为：正如正质量物质粒子（夸克、轻子）通过其与ABC场 (、、) 的特定耦合模式来定义，负质量暗物质粒子同样通过与ABC场符号相反的耦合分支形成其独特的粒子谱。我们证明，由于电荷宇称（CP）型对称性的存在，暗物质“粒子”谱与物质粒子谱存在对偶性，但所有质量符号为负。通过构建暗物质场的 分类模型，我们预言了三类基本的暗物质“味”粒子 (、、) 及其由负质量胶子 () 介导的强相互作用，从而形成暗物质“强子”（如暗重子 、暗介子 ）。该模型进一步预言了暗电磁相互作用（由负质量光子 介导）和暗弱相互作用，形成了一个与可见物质世界并行且近乎镜像的暗物质宇宙。本文给出了该暗物质粒子谱的质量矩阵、电荷算符和相互作用拉格朗日量的严格数学表述，并探讨了其宇宙学观测效应。

关键词： ABC理论；负质量暗物质；暗粒子谱系；对偶性；暗强相互作用；暗电磁相互作用；暗弱相互作用；宇宙学探针

1. **引言：暗物质世界的粒子物理**

现代宇宙学确定暗物质存在且占比26.8%，但其粒子物理本质仍是谜。李志军ABC理论指出，暗物质与普通物质的根本区别在于其耦合的希格斯场真空符号 ( vs )。这强烈暗示，暗物质并非单一粒子，而应拥有与可见物质世界类似的复杂粒子谱系，由一套暗物质版本的“基本粒子”构成。

1. **理论框架：暗物质粒子的场组合定义**

2.1 场组合的对偶性原理

物质世界的粒子由其在ABC场正真空分支 (、、) 的激发模式定义。根据对偶性原理，存在一个对应的暗物质世界，其粒子在负真空分支 (、、) 上有对应的激发。

对于一个物质粒子（如上夸克 ）：

其对应的暗物质伙伴粒子（命名为“暗上夸克” ）的场组合为：

其质量符号相反 ()，但其暗电荷 和暗色荷 遵循相似的群论规则。

2.2 暗相互作用规范群

物质世界的相互作用由规范群 描述。我们假设暗物质世界由一个对偶的规范群 支配：

其中 是暗色荷规范群， 是暗超荷规范群。

2.3 暗物质“味”粒子谱

我们预言存在三代暗费米子（暗夸克和暗轻子）：

| **粒子** | **暗电荷 ()** | **暗色荷** | **质量符号** |
| --- | --- | --- | --- |
| (暗上夸克) | +2/3 | 三重态 (红,绿,蓝) |  |
| (暗下夸克) | -1/3 | 三重态 (红,绿,蓝) |  |
| (暗奇异夸克) | -1/3 | 三重态 (红,绿,蓝) |  |
| (暗电子) | -1 | 单态 |  |
| (暗中微子) | 0 | 单态 |  |

它们的场组合通式为：

1. **暗相互作用动力学**

3.1 暗强相互作用与暗禁闭

暗夸克 () 携带暗色荷，通过交换暗胶子 发生暗强相互作用。其相互作用拉格朗日量为：

其中 是暗色荷规范协变导数， 是 的生成元。

与QCD类似，暗色荷也发生禁闭。暗夸克结合成暗强子：

* 暗重子： 由三个暗夸克组成，如 （暗物质的中性、稳定主要成分）。
* 暗介子： 由暗夸克和暗反夸克组成，如 。

3.2 暗电磁相互作用

携带暗电荷 的粒子通过交换暗光子 发生暗电磁相互作用。其拉格朗日量为：

由于所有暗粒子质量 ，其真空极化与物质世界相反，可能导致暗电磁耦合常数 的跑动行为与QED不同。

3.3 暗弱相互作用

我们进一步预言存在暗弱相互作用，由暗 、 玻色子介导，可能导致暗粒子的衰变，从而产生复杂的暗物质宇宙学演化历史。

1. **数学自洽模型构建**

4.1 质量生成与暗希格斯机制

暗粒子通过与暗希格斯场 （耦合于 真空）的Yukawa相互作用获得质量：

暗希格斯场获得真空期望值 后，产生负质量：

负质量的根源在于暗希格斯场耦合于 真空。

4.2 稳定性与对称性

最轻的暗强子（如 ）的稳定性由暗重子数守恒 保证。该对称性是 规范群的 accidental symmetry。

4.3 与物质世界的相互作用

暗物质与物质世界的唯一直接相互作用是引力。由于质量符号相反，该引力为排斥性。

此外，可能存在 和 之间的 kinetic mixing：

这种混合可能导致暗光子与光子有微小耦合，为实验探测提供可能。

1. **宇宙学与观测启示**

5.1 结构形成

负质量暗物质的排斥性引力会抑制小尺度结构的形成。这与观测到的缺少矮星系等问题相符。然而，当暗物质形成复合粒子（暗强子）后，其有效相互作用可能改变，从而在更大尺度上允许结构的形成。

5.2 湮灭与间接探测

暗夸克可能发生湮灭，如 。如果存在 kinetic mixing，暗强子湮灭最终可能产生标准模型粒子（如 、），成为间接探测的信号。

5.3 直接探测

由于排斥性引力，负质量暗物质不会在地球探测器内聚集。传统的基于核反冲的直接探测方法失效。需寻找新方法，如探测其排斥引力效应或通过 kinetic mixing 效应。

1. **结论与展望**

本文基于ABC理论，提出了一个负质量暗物质“基本粒子”谱系的完整理论模型：

1. 对偶性： 暗物质世界存在与物质世界对偶的粒子谱和相互作用（暗QCD、暗QED、暗弱作用）。
2. 复合性： 暗物质的主要成分是复合粒子（暗强子），其稳定性由暗重子数守恒保证。
3. 可探测性： 模型预言了独特的宇宙学效应和可能的间接探测信号。

**未来工作：**  
1. 计算暗强子的质量谱和相互作用截面。  
2. 研究暗物质湮灭的具体信号。  
3. 探索 kinetic mixing 的实验约束和探测前景。

此模型将暗物质研究从“单一粒子”范式推向“复杂暗 sector”范式，为下一代宇宙学观测和粒子实验提供了丰富的理论指导。

**参考文献**  
[1] Li, Z. J. (2023). The ABC Mechanism in the Universe.  
[2] Foot, R. (2004). Mirror matter-type dark matter. International Journal of Modern Physics D, 13(07), 2161–2192.  
[3] Ackerman, L., Buckley, M. R., Carroll, S. M., & Kamionkowski, M. (2009). Dark Matter and Dark Radiation. Physical Review D, 79(2), 023519.  
[4] Cline, J. M., Liu, Z., & Xue, W. (2012). Composite hidden sector dark matter. Physical Review D, 85(10), 101302.  
[5] Feng, J. L. (2010). Dark Matter Candidates from Particle Physics and Methods of Detection. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 48(1), 495–545.