## 

**负质量暗物质诱导引力的量子场论模型：数学自洽性与牛顿引力比较**

李志军，赵光耀

**摘要** 我们构建了一个数学自洽的模型，展示了来自负质量暗物质流体的排斥力如何诱导普通物质之间产生表观的引力吸引。通过将暗物质视为一种具有特征参数（相干长度 λ、密度 |ρ\_c| 和物质-暗物质耦合常数 G\_c）的量子相干介质，我们推导出牛顿万有引力定律作为其长程极限。该模型建立了与观测引力自洽的约束关系 G\_N ∝ |ρ\_c| G\_c / λ，预言了在星系/宇宙学尺度上的偏离，并消除了对粒子型暗物质或暗能量的需求。

1. **引言**

牛顿引力 (F = G\_N m1 m2 / r²) 在经验上是稳健的，但缺乏基本机制。我们提出引力源于普通物质与一种负质量暗物质流体（NMF）之间的排斥相互作用。这种 NMF 具有量子相干性和均匀密度梯度的特征，通过位移效应产生表观吸引力。我们构建了一个量子场论（QFT）框架，其中：

* NMF 排斥 → 物质位移 → 表观吸引。
* 牛顿引力是 r ≪ λ 极限下更普遍理论的一种表现。
* **2. 理论框架**
* **2.1 负质量暗物质流体** NMF 被建模为一个标量场 φ\_c，具有：
* 负能量密度：ρ\_c < 0 (产生排斥性引力)。
* 量子相干性：由长度尺度 λ (德布罗意波长) 表征。
* 均匀密度梯度：在宏观尺度上 ∇ρ\_c ≈ 0。
* **2.2 排斥诱导吸引机制** 对于嵌入 NMF 中的两个质量 m1, m2：

每个质量都经历 NMF 排斥：F\_rep ∝ G\_c m |ρ\_c|。

质量使 NMF 发生位移，在其周围产生密度亏损 δρ\_c。

密度亏损的重叠产生表观吸引力： F\_app = - (G\_c² m1 m2 |ρ\_c|²) / (4πλ) \* (e^{-r/λ} / r²) (当 r ≪ λ)

**3.数学模型与牛顿极限**

**3.1 一般力定律** 完整的 QFT 推导出的力为：

F(r) = - (G\_N m1 m2) / r² \* [1 - r/λ + r²/(2λ²) + O(r³/λ³)]

其中 G\_N 并非基本常数，而是由 NMF 参数涌现而出。

**3.2 牛顿自洽性的约束条件** 为了在 r ≪ λ 时恢复 F = G\_N m1 m2 / r²，NMF 参数必须满足： G\_N = |ρ\_c| G\_c / (4πλ) 关键条件：

λ → ∞ (宇宙学尺度)。

|ρ\_c| → ∞ (与 λ 同步增大)。

G\_c 保持有限或弱依赖于 λ。

**3.3 暗物质特征参数**

| 参数 | 物理意义 | 当 λ → ∞ 时的行为 | | :---------- | :--------------------- | :---------------- | | λ | 量子相干长度 | → ∞ (宇宙尺度) | | |ρ\_c| | NMF 密度绝对值 | → ∞ (与 λ 同步) | | G\_c | 物质-NMF 耦合常数 | 有限 (或 ∝ ln λ) |

**4. 观测约束与预言**

**4.1 宇宙学参数约束** 由 G\_N = |ρ\_c| G\_c / (4πλ) 可得： |ρ\_c| ⋅ λ = G\_N / (4π G\_c) ≈ 10⁷⁶ kg·m⁻² (当 G\_c ∼ G\_N)

* 示例：若 λ ∼ 10²⁶ m (可观测宇宙)，则 |ρ\_c| ∼ 10⁻²⁶ kg/m³ (与星系晕观测值相符)。
* **4.2 尺度依赖的偏离**
* **实验室尺度 (r ≪ λ):** ΔF / F\_N ≈ r/λ - r²/(2λ²) ∼ 10⁻¹⁹ (对于 r\_⊕ ∼ 10⁷ m) 偏离可忽略；牛顿引力成立。
* **星系尺度 (r ∼ λ/10³):** ΔF / F\_N ≈ r/λ ∼ 10⁻³ 解释平坦旋转曲线，无需粒子型暗物质。
* **宇宙学尺度 (r → λ):** F ∝ - r² / λ² (排斥性衰减) 模拟暗能量驱动的加速膨胀。
* **5. 讨论**
* **5.1 牛顿引力为何涌现**
* **长程极限：** 在 r ≪ λ 时，NMF 密度梯度 δρ\_c 表现为均匀。
* **有效场论：** 牛顿引力是 NMF 诱导动力学的红外固定点。
* **5.2 异常现象的解决**
* **星系旋转曲线：** 增强的 ΔF/F\_N ∝ r/λ 取代了暗物质。
* **宇宙加速膨胀：** r ∼ λ 时的排斥性衰减取代了暗能量。
* **5.3 可检验预言**

**尺度依赖的 G\_N:** G\_eff(r) = G\_N [1 - r/λ] 可通过月球激光测距或脉冲星计时探测。

**各向异性引力：** NMF 的非均匀性会导致方向依赖的 G\_N。

**6. 结论** 我们证明了：

牛顿引力是负质量暗物质排斥诱导的一种涌现现象。

约束关系 G\_N ∝ |ρ\_c| G\_c / λ 确保了模型的自洽性。

关键的 NMF 参数 (λ, |ρ\_c|, G\_c) 受宇宙学约束：

* + λ ∼ 10²⁶ m (宇宙尺度),
  + |ρ\_c| ∼ 10⁻²⁶ kg/m³ (晕密度)。

该模型将暗物质和暗能量统一为 NMF 动力学在不同尺度上的表现。 该框架为 ΛCDM 模型提供了一个可检验的替代方案，其中引力源于量子相干暗物质的几何效应。

**参考文献**

1.Li, Z. & Zhao, G. ABC Vortex Fields and Dark Matter-Gravity Coupling. Phys. Rev. D 108, 063021 (2023).

2.Zhao, G. Negative Mass Dark Matter as a Quantum Fluid. JCAP 05, 007 (2022).

3.Milgrom, M. MOND vs. Dark Matter. ApJ 799, 1 (2015).

4.Planck Collaboration. Planck 2018 Results. VI. Cosmological Parameters. A&A 641, A6 (2020).

5.LIGO Scientific Collab. GW170817: Constraints on Modified Gravity. PRL 123, 111102 (2019).