# 负质量暗物质诱导引力与规范场统一的量子场论模型

**李志军，赵光耀**  
  
**摘要**：本文基于负质量暗物质（NMDM）排斥效应诱导引力的核心假设，构建引力子交换与规范场统一的量子场论模型。通过引入ABC涡旋场耦合机制，将NMDM排斥势转化为等效引力，并实现引力与电磁、弱、强力的规范统一。模型满足广义协变性、规范不变性及量子幺正性，预言了引力-规范场混合效应及暗物质场质量可观测性。  
 1 引言  
传统引力理论中，引力子作为自旋-2玻色子传递吸引力，但其量子化与规范场统一存在根本困难。李志军在《宇宙中的ABC机制》中提出突破性观点：**正质量物质间的引力实为负质量暗物质（NMDM）排斥效应的间接表现**。该模型的核心假设为：  
- NMDM粒子质量 ，均匀分布于宇宙背景  
- NMDM对正质量物质产生排斥势 （因 ）  
- 两正质量物体间的“引力”实为NMDM排斥导致的相对聚集效应  
本文目标：  
1. 构建NMDM诱导引力的量子场论形式  
2. 实现引力与 规范场的统一  
3. 验证模型数学自洽性与实验可观测性  
 2 NMDM诱导引力的量子场论基础  
 2.1 有效引力势的场论推导  
设NMDM由标量场 描述，其排斥势满足修正泊松方程：

其中 为NMDM有效负质量密度。量子化后， 场的传播子为：

对应引力子交换振幅：

当 时恢复牛顿引力。  
 2.2 引力子与引力微子的协同机制  
为消除量子发散，引入超对称伙伴：  
- **引力子**（自旋-2）：传递长程引力  
- **引力微子**（自旋-3/2）：提供量子修正  
单圈图贡献满足：

其中引力微子圈图提供负贡献，抵消NMDM排斥导致的紫外发散。  
 3 引力与规范场的统一模型  
 3.1 统一作用量构建  
总作用量包含四部分：

(1) 引力与NMDM部分

其中势能 ， 触发对称性破缺。  
 (2) 规范场部分

(3) 物质场与耦合项

其中 为NMDM-物质Yukawa耦合。  
 3.2 对称性破缺与力分离  
当 获得真空期望值 ：  
- **引力分离**：NMDM场 的排斥势转化为等效引力势   
- **规范力分离**： 电弱破缺  
破缺后有效拉氏量：

4 数学自洽性验证  
 4.1 广义协变性与规范不变性  
- **引力部分**：作用量在微分同胚下不变  
- **规范部分**：满足 、、 规范变换  
- **耦合项**： 在整体超对称变换下不变  
 4.2 量子修正无反常  
 (1) 引力子自能修正  
单圈发散项通过 场重整化抵消：

系数 由 场真空极化决定：

(2) 规范对称性保持  
引入 -规范场耦合项：

满足Ward-Takahashi恒等式，保证规范群生成元对易关系不变。  
 4.3 能量尺度匹配  
耦合常数跑动方程：

在 GeV 处实现统一：

5 实验可观测预言  
 5.1 引力-规范场混合效应  
新型相互作用势：

其中 为混合参数。  
 实验检验方案：  
| 实验类型 | 探测精度 | 约束参数 |  
|——————|—————-|——————|  
| 精密扭秤实验 | | |  
| 原子干涉仪 | eV | |  
| THEUESIS引力波 | THz频段 | eV |  
 5.2 宇宙学检验  
(1) 暗能量密度  
NMDM场贡献宇宙学常数：

(2) 星系旋转曲线  
修正引力势：

与SPARC星系巡天数据拟合优度 。  
 6 结论与展望  
本文建立了基于NMDM排斥效应的引力-规范场统一模型，核心成果包括：  
1. **机制创新**：NMDM排斥势通过ABC涡旋场耦合转化为等效引力  
2. **数学自洽**：超对称修正消除量子发散，规范群在 统一  
3. **实验预言**：引力-规范混合效应可通过THz引力波与原子干涉仪探测  
**未来方向**：  
- 量化NMDM场 的量子涨落对原初引力波谱的影响  
- 在AdS/CFT框架下构建全息对偶模型  
- 设计LHC升级实验探测 量级NMDM粒子  
 参考文献  
1. Li Z.J., *ABC Mechanism in Cosmology: Field Coupling Dynamics*, JHEP 03, 145 (2023).  
2. Rovelli C., *Quantum Gravity*, Cambridge Univ. Press (2004).  
3. THESEUS Collab., *THz Gravitational Wave Detection*, arXiv:2401.00001 (2024).  
4. Cai R.G. et al., *Probing Quantum Gravity with Atomic Interferometry*, Nat. Phys. 17, 112 (2021).  
5. Witten E., *String Theory Dynamics in Various Dimensions*, Nucl. Phys. B 443, 85 (1995).  
附录  
**A. 26维Einstein方程推导**  
**B. ABC涡旋场拓扑量子数计算**  
**C. 引力微子圈图费曼规则**