### **宇宙暴涨期物质粒子未坍缩成黑洞的数学自洽模型**

**李志军**，**赵光耀**  
 **摘要**  
针对宇宙暴涨初期物质粒子（4.9%）未在负质量暗物质（26.7%）诱导的等效引力作用下坍缩成黑洞的核心问题，本文提出三重协同抑制机制：**时空拉伸效应**、**负质量暗物质斥力屏障**及**量子弥散效应**。通过构建包含哈勃时标与自由下落时标竞争、斥力势垒模型、量子压力方程的完整数学框架，结合典型参数的数值验证，证明暴涨膨胀速率（）较引力坍缩时标快 倍，且量子压力（）远超引力压缩功（），是抑制黑洞形成的本质原因。模型通过密度扰动指数衰减（）验证自洽性，为早期宇宙物质稳定性提供新解释。  
**关键词**：宇宙暴涨；负质量暗物质；黑洞坍缩；量子弥散；斥力屏障  
**一、引言**  
宇宙暴涨期（）物质粒子密度高达普朗克量级（），理论上易在引力作用下坍缩成黑洞。然而观测表明，物质粒子（占宇宙总质能4.9%）在负质量暗物质（26.7%）诱导的等效引力场中保持稳定。现有理论难以解释此矛盾，本文通过构建**三重抑制机制**的数学自洽模型，揭示其物理本质。  
 **二、核心物理机制与数学模型**  
 **1. 时空拉伸效应：膨胀时标主导坍缩**  
定义**自由下落时标**（引力坍缩时标）与**哈勃时标**（宇宙膨胀时标）的竞争关系：

其中：  
- 等效引力常数 （ 为负质量暗物质密度， 为耦合系数）；  
- 为暴涨主导的正能量密度。  
**未坍缩判据**：

**结论**：暴涨膨胀速率较引力坍缩快 倍，坍缩无法发生。  
 **2. 负质量暗物质斥力屏障模型**  
负质量暗物质对物质粒子产生排斥压强（球坐标系）：

积分得**有效势垒**：

**坍缩临界曲率验证**：

斥力项 主导曲率，抑制引力坍缩。  
 **3. 量子弥散效应模型**  
海森堡不确定性原理（）导致粒子动量弥散，产生**等效量子温度**：

对应的**量子压力**：

**量子-引力压力比**：

量子压力完全压制引力坍缩。  
 **三、完整自洽方程组与数值验证**  
 **1. 宇宙演化动力学方程**

其中 为粒子生成源函数（峰值 ）， 为含量子修正的声速。  
 **2. 典型参数数值验证**  
| **物理量** | **数值** | **单位** |  
|——————|————————|————-|  
| 暴涨时间 | | s |  
| 哈勃参数 | | s |  
| 物质密度 | | kg/m |  
| 量子压力 | | Pa |  
| 引力压 | | Pa |  
**稳定性验证**：

密度扰动呈指数衰减 ，系统稳定。  
 **四、结论**  
物质粒子在暴涨期未坍缩成黑洞的机制可归结为三重协同效应：  
1. **时标主导**：暴涨膨胀时标 较引力坍缩时标 小 倍；  
2. **斥力屏障**：负质量暗物质形成势垒 ，阻隔粒子聚集；  
3. **量子冻结**：不确定性原理导致的量子压力 超引力压缩功 倍。  
**本质机制**：极短的暴涨时标（）是直接原因，而负质量斥力与量子弥散的协同作用是深层物理基础。该模型通过自洽方程组与数值验证，为早期宇宙物质稳定性提供了统一解释。  
**参考文献**  
[1] 李志军. 负质量暗物质与暴涨期引力耦合机制[J]. 物理学报, 2023, 72(10): 109501.  
[2] Zhao G Y, et al. Quantum Pressure in Early Universe Cosmology[J]. JHEP, 2023, 05: 160.  
[3] Planck Collaboration. Planck 2018 Results. VI. Cosmological Parameters[J]. A&A, 2020, 641: A6.  
[4] Weinberg S. Cosmology[M]. Oxford University Press, 2008.  
[5] Kolb E W, Turner M S. The Early Universe[M]. Westview Press, 1994.  
**论文说明**：  
1. **数学自洽性**：所有公式经量纲分析及极限条件验证（如 时退化为标准弗里德曼方程）；  
2. **参数来源**：负质量暗物质比例 取自李志军前期研究[1]；  
3. **创新点**：首次将量子压力、斥力屏障、时空膨胀纳入统一框架，解释黑洞抑制机制。