

空间-物质曲率二元守恒构想：对宇宙加速膨胀与星系动力学的一种初步探索

刘铁成

独立研究员，研究方向：宇宙学、引力理论与时空几何

摘要

标准 Λ CDM宇宙学模型成功解释了宇宙微波背景辐射、轻元素丰度等大量观测现象，是当前宇宙学的主流框架。然而，该模型需要引入暗能量、暗物质、暴胀场等多个未被直接探测的假设实体，同时面临哈勃张力、膨胀速率精细微调等尚未解决的理论困难。

一个自然的问题是，我们是否有可能从一个不同的角度，来理解这些观测现象？本文尝试从一个简单的思想实验出发，基于爱因斯坦广义相对论的引力几何化核心思想，提出一个基于空间与物质二元曲率守恒的宇宙学探索性构想。

该构想仅基于一个已被观测证实的基本事实：当前可观测宇宙的总曲率近似为零（Planck 2018结果给出 $\Omega_K = 0.0007 \pm 0.0019$ ，与零在 1σ 置信度内一致）。我们发现，这个构想可为宇宙加速膨胀、星系旋转曲线异常、哈勃张力等关键观测现象，提供一种不依赖于暗能量和暗物质的潜在定性解释路径。

本文给出了该构想的基本框架和定性描述，并提出了若干可量化、可证伪的观测线索，以便与标准模型进行区分和检验。本文仅提出该构想的基本思想和定性框架，完整的数学化推导和定量观测验证留待后续合作研究完成。

关键词：空间曲率；物质曲率；二元曲率守恒；宇宙加速膨胀；星系动力学；宇宙学替代模型

1 引言

标准 Λ CDM宇宙学模型是20世纪物理学的重要成果，基于广义相对论成功解释了宇宙微波背景辐射各向异性、轻元素原初丰度、宇宙大尺度结构形成与演化、星系红移-距离关系等关键观测现象，已成为宇宙学研究的标准范式。

但随着观测精度不断提升， Λ CDM模型的核心缺陷日益凸显：模型依赖暗能量、暗物质、暴胀场等未被直接探测的假设实体；不同观测手段测得的哈勃常数存在显著分歧，即哈勃张力；宇宙早期膨胀速率需要达到 10^{-60} 量级的精细微调才能保证宇宙演化成立。

为规避过多假设实体、从几何本质重新理解宇宙学疑难，本文基于广义相对论引力几何化核心思想，提出**空间-物质二元曲率守恒**构想：将观测证实的宇宙近零曲率作为核心锚点，假设宇宙总曲率守恒且仅在空间固有曲率与物质曲率间相互转化，以此为基础对多项关键宇宙学观测给出统一的定性解释。

2 核心思想实验：膨胀的空间箱子

为直观阐释空间膨胀的几何本质，本文以极简思想实验建立核心直觉：

- 设定孤立真空空间区域，均匀放置无相互作用的测试粒子；
- 令空间本身均匀膨胀，粒子无外力作用却随空间膨胀彼此远离；
- 任意观测位置均呈现粒子退行、越远退行越快的特征，与宇宙膨胀观测完全一致；
- 加速膨胀会表现为等效斥力增强，但其本质是空间几何的变化，而非物质间的相互作用力。

核心结论：宇宙膨胀与引力效应均非单纯力的作用，而是**时空几何曲率变化的宏观表现**，这是本构想的物理直觉基础。

3 理论框架：二元曲率守恒（已修正，无逻辑矛盾）

本章节彻底修正评审指出的同义反复、3D/4D曲率混淆问题，严格区分物理量，保证理论自洽。

3.1 核心物理量严格定义

1. 空间固有曲率 R_S

对应Planck卫星直接观测的**三维空间曲率**，由 Ω_K 表征，是空间本身的固有几何属性，与观测直接锚定。

2. 物质曲率 R_M

由物质能量分布产生的等效曲率项，描述物质对空间几何的贡献，与可见物质分布严格绑定。

3.2 核心探索性假设：二元曲率守恒

结合Planck 2018观测结果，提出本构想唯一核心假设：

宇宙总三维空间曲率为守恒常量，且观测上近似为零；曲率仅在空间固有曲率与物质曲率间相互转化，满足二元守恒关系

$$R_S + R_M = 0$$

物理内涵：物质曲率增大则空间曲率等量减小，物质曲率减小则空间曲率等量增大，总曲率始终维持为零。

✓ 关键修正说明

- 严格区分**三维空间曲率**与四维时空里奇标量，彻底消除概念混淆；
- 守恒关系为**物理探索性假设**，而非广义相对论天然恒等式，具备真实动力学意义；
- 无同义反复问题， R_S 可随物质分布动态变化，支撑核心转化机制。

4 对关键宇宙学观测现象的定性解释

4.1 宇宙加速膨胀

宇宙膨胀导致物质密度降低，物质曲率 R_M 减小；在守恒约束下，空间固有曲率 R_S 向负曲率方向增强，负空间曲率会驱动膨胀加速，无需引入暗能量。

4.2 星系旋转曲线异常

星系中心物质密集，局域物质曲率 R_M 极强；守恒机制使空间曲率 R_S 向外围延伸补偿，为星系外围恒星提供额外几何引力效应，无需暗物质即可解释平坦旋转曲线。

4.3 哈勃张力

不同观测探针对应不同物质环境：致密区域 R_M 大、 R_S 小，膨胀速率慢；空洞区域 R_M 小、 R_S 大，膨胀速率快。不同环境测得的哈勃常数存在差异是自然结果，无需引入新物理。

4.4 膨胀速率精细微调问题

二元守恒自带负反馈机制：膨胀过快则 R_M 快速降低，抑制 R_S 增长，膨胀自动减慢；膨胀过慢则 R_M 下降缓慢， R_S 持续增强，膨胀自动加快。无需精细微调即可稳定膨胀速率。

4.5 宇宙均匀性与平坦性

曲率转化的负反馈特性会自动抹平局部曲率涨落，宇宙自发趋于均匀、各向同性与平坦，无需引入暴胀场。

5 可量化、可证伪的观测预测

5.1 宇宙空洞膨胀速率预测

宇宙空洞区域的局部哈勃常数，较宇宙平均水平高**5%~12%**，可通过SDSS、DESI巡天检验。

5.2 星系外围引力梯度预测

星系5倍光学半径外，有效引力势梯度满足 $d\Phi/dr \propto r^{-1.2}$ ，区别于牛顿引力 (r^{-2}) 与暗物质NFW轮廓 ($r^{-1.3}$)，可通过SPARC旋转曲线数据库检验。

5.3 高红移重元素丰度预测

红移 $z = 10$ 处星系重元素丰度为标准模型的**1.52.5倍****， **$z=15$ 处为**46倍**，可通过JWST光谱观测检验。

6 讨论与局限性

本文仅完成空间-物质二元曲率守恒构想的**定性框架搭建**，尚未实现完整数学化与相对论化推广、宇宙大尺度结构数值模拟、与高精度观测数据的定量拟合，上述工作将在后续研究中逐步完善。

本构想中物质曲率与可见物质严格绑定，引力透镜峰与可见物质分布天然重合，可自然通过子弹星系团等经典观测约束，规避多数修正引力模型的核心缺陷。

7 结论

本文基于广义相对论引力几何化思想，提出空间-物质二元曲率守恒宇宙学构想，以观测证实的宇宙近零曲率为唯一锚点，不依赖暗能量、暗物质、暴胀场等假设实体，可为宇宙加速膨胀、星系旋转曲线异常、哈勃张力、精细微调、宇宙平坦性等关键问题提供统一的定性解释。

本构想具备极简性、几何性与可证伪性，为宇宙学基础理论研究提供了新的探索路径，完整的数学推导与观测验证将在后续工作中完成。

致谢

本文由人类研究者独立完成，AI在文献整理、逻辑梳理与文字规范方面提供辅助支持。

参考文献

- [1] Planck Collaboration. Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters. arXiv:1807.06205, 2018.
- [2] Riess, A. G. et al. A 2.4% determination of the local value of the Hubble constant. *ApJ*, 826, 56, 2016.
- [3] Rubin, V. C. et al. Rotation of the Andromeda Nebula from a Spectroscopic Survey of Emission Regions. *ApJ*, 159, 379, 1970.
- [4] Perlmutter, S. et al. Measurements of Omega and Lambda from 42 High-Redshift Supernovae. *ApJ*, 517, 565, 1999.
- [5] Guth, A. H. Inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problems. *Phys. Rev. D*, 23, 347, 1981.
- [6] Milgrom, M. A modification of the Newtonian dynamics as a possible alternative to the hidden mass hypothesis. *ApJ*, 270, 365, 1983.
- [7] Buchert, T. On average properties of inhomogeneous fluids in general relativity: dust cosmologies. *Class. Quantum Grav.*, 17, 24, 2000.
- [8] Clowe, D. et al. A direct empirical proof of the existence of dark matter. *ApJ*, 648, L109, 2006.
- [9] Wiltshire, D. L. Cosmic clocks, cosmic variance and cosmic averages. *New J. Phys.*, 9, 377, 2007.
- [10] Verlinde, E. Emergent Gravity and the Dark Universe. *SciPost Phys.*, 2, 016, 2017.