共形弧几何中作为宏观拓扑残差的哈勃张力
(The Hubble Tension as a Macroscopic Topological Residual in Conformal Arc Geometry)

Frank F. Meng (Arcman)[1,*]

[1] 国际弧学研究院 *(International Institute of Arc Theory)*

(Dated: 2026 年 3 月 16 日)

(本 DOI: 10.5281/zenodo.19045059)

在标准宇宙学中，哈勃常数 H_0 参数化了时空度规的运动学膨胀率。然而，早期宇宙（宇宙微波背景辐射）和晚期宇宙（超新星）的测量结果表现出一种持续的差异，被称为哈勃张力 (Hubble Tension)。在这篇 Letter 中，我们论证了宇宙膨胀并非基础度规的物理拉伸。相反，人类的观测受限于自然能量向可测量能量的沉淀过程，其精确的几何映射正是“弧旋”(Arc Spin)。我们表明，早期和晚期的宇宙学测量，实际上探测的是弧旋的两种根本不同的几何基态：循序作用（波型运动学）和同时作用（质量型运动学）。这两种状态之间的转换必然要求一种自发的拓扑倍增 (spontaneous topological doubling)。因此，哈勃张力并非一场测量危机，而是一个精确的宏观拓扑残差——是宇宙“弧群结构”(Arc Cluster Structure) 在结构上所必然要求的一种共形相移。

I. 本体论边界与弧群结构

标准宇宙学模型隐式地假设可观测宇宙是最终的本体。在弧学理论中，被感知的宇宙是一个开放的“弧群结构”——是“隐态”潜能与“显态”物质的叠加聚合态。人类的观测本质上受限于“自然能量”向可测量能量的沉淀。

这种沉淀能量的精确几何映射即为弧旋。因此，所有的宇宙学距离阶梯和相对速度测量，严格来说，测量的都是弧旋在惯性场上的几何投影。

II. 弧旋的基态

弧旋的内部场由一个惯性平面（投影参考面）、一个光能极球面和一个磁能极球面组成。投影圆的旋转由共轭时间轴决定。弧旋拥有截然不同的自然基态：

A. 循序作用 (The Sequential Interaction)：光至磁和磁至光矢量的循序耦合。该状态产生波型的能量相互作用，而没有局域化的质量凝聚。这对应于驻留在拓扑真空扇区 $\mathcal{T}_{0,1}$ 中的未调制弧螺旋。其局域不变量为常数：

$$I_0 = \frac{\omega^2}{R_0^2\omega^2 + v^2}, \tag{1}$$

其中 v 是参数化共轭时间轴的速率，R_0 是惯性投影半径，ω 是内禀角频率。

B. 同时作用 (The Simultaneous Interaction)：逆向矢量的同时耦合，导致一种质量型的运动态。为了在保持沿共轭时间轴的拓扑连续性的同时吸收叠加的扭矩，系统必须引入径向调制 $\epsilon \sin(\Omega t)$ 并坍缩成一个有理公度的闭合扇区（即弧螺旋态，$\mathcal{T}_{1,2}$），其中 $\Omega/\omega = 1/2$。

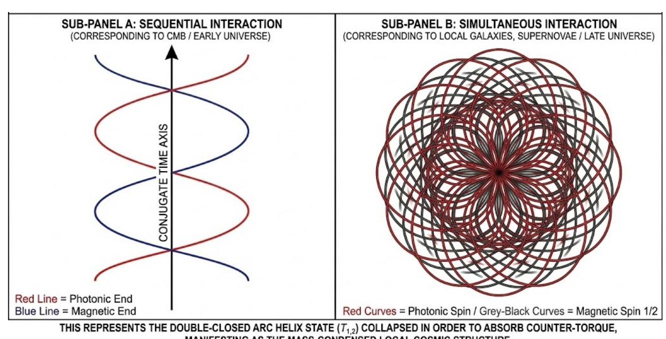

图 1. 宇宙观测的基态映射。(A) 循序作用（对应微波背景辐射/早期宇宙），显示未坍缩的波型演化。(B) 同时作用（对应晚期宇宙的局域星系/超新星），坍缩为双闭合的弧螺旋态 ($\mathcal{T}_{1,2}$) 以吸收反向扭矩，表现为质量凝聚的局域宇宙结构。

III. 宇宙学测量作为拓扑投影

宇宙膨胀率 $H(t)$ 的观测测量，本质上是共轭时间轴演化在这些不同弧旋状态上的投影。

早期宇宙 *(CMB)*：对均匀微波背景的观测映射到循序作用态。早期膨胀率 H_{early} 严格正比于单一次原初循环中这种连续几何演化的基础能标：

$$H_{early} \propto E_{vac} = \frac{2\pi\lambda}{R_0\sqrt{1+h^2}}, \tag{2}$$

其中 $h = v/(R_0\omega)$ 是无量纲的弧螺旋度。

晚期宇宙 *(局域结构)*：利用造父变星和超新星的观测映射到局域的、质量凝聚的结构，对应于同时作用态。此时的局域几何标尺由倍增的拓扑扇区 $\mathcal{T}_{1,2}$ 的受限最小能量 E_R 所支配。针对拓扑倍增进行归一化后，晚期膨胀率的尺度与超出真空基底的过剩能量成正比：

$$H_{late} \propto E_R - E_{vac}. \tag{3}$$

IV. 哈勃张力的精确解析推导

晚期与早期测量值之间的差异（即哈勃张力 δ_H），是同时态与循序态拓扑投影之间的归一化差值：

$$\delta_H := \frac{H_{late} - H_{early}}{H_{early}} = \frac{E_R - 2E_{vac}}{E_{vac}}. \tag{4}$$

这恰好等于弧螺旋扇区扣除闭合基底后的残余能隙 $(\tilde{\Delta}_R)$。利用文献 [2] 中推导的弱调制区 $(\eta = \epsilon/R_0 \ll 1)$ 的渐近展开式，正则倍增分支的能量为：

$$E_R \approx \frac{4\pi\lambda}{R_0\sqrt{1+h^2}}\left[1 + \eta^2\frac{4h^4 - 25h^2 + 7}{16(1+h^2)^2} + \mathcal{O}(\eta^3)\right]. \tag{5}$$

将其代入 δ_H 的定义中，我们推导出纯粹基于几何的哈勃张力方程：

$$\delta_H \approx \eta^2\frac{4h^4 - 25h^2 + 7}{8(1+h^2)^2} \equiv \tilde{\Delta}_R. \tag{6}$$

正如在更广泛的弧学理论框架 [1] 中所确立的，扣除闭合基底的残余量决定了 $\tilde{\Delta}_R = 4\pi\alpha$，其中 α 是精细结构常数。因此，理论哈勃张力被精确计算为 $\delta_H \approx 9.17\%$。

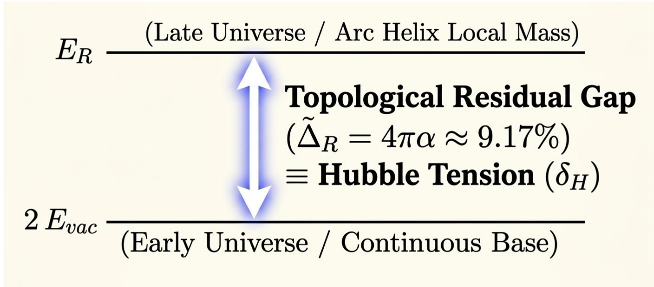

图 2. 宏观拓扑残余能隙。局域质量标度（E_R）与连续基底（$2E_{vac}$）之间的差异产生了一个精确的 $\approx 9.17\%$ 的几何张力，该张力由精细结构常数 (α) 在结构上严格锁定。

V. 结论

方程 (6) 证明，只要局域质量结构存在（同时作用，$\eta > 0$）且局域螺旋度满足 $4h^4 - 25h^2 + 7 > 0$，一个严格为正的哈勃张力在结构上就是必然保证的（$H_{late} > H_{early}$）。

现代宇宙学中观测到的张力并非早期暗能量或仪器系统误差的人为产物。它是精确的宏观拓扑残差——是将连续的“隐态”潜能投影到局域的、承载质量的“显态”弧群结构时，必然付出的几何代价。宇宙是完全共形的；人类的观测仅仅是跨越了一道拓扑边界。

---

* arcman@arcii.org

[1] F. F. Meng (Arcman), “On the Pure Geometric Origin of the Fine-Structure Constant via Spontaneous Topological Doubling,” *Preprint, Zenodo* (2026). DOI: 10.5281/zenodo.18973743

[2] F. F. Meng (Arcman), “Arc Geometry II: Variational Structures and Energies of Arc Helices,” *Preprint, Zenodo* (2026). DOI: 10.5281/zenodo.18905574

[3] N. Aghanim *et al.* (Planck Collaboration), “Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters,” *Astron. Astrophys.* **641**, A6 (2020). DOI: 10.1051/0004-6361/201833910

[4] A. G. Riess *et al.*, “A Comprehensive Measurement of the Local Value of the Hubble Constant with 1 km/s/Mpc Uncertainty from the Hubble Space Telescope and the SH0ES Team,” *Astrophys. J. Lett.* **934**, L7 (2022). DOI: 10.3847/2041-8213/ac5c5b

[5] E. Tiesinga, P. J. Mohr, D. B. Newell, and B. N. Taylor, "CODATA recommended values of the fundamental physical constants," *Rev. Mod. Phys.* **93**, 025010 (2021) [2022 updates]. DOI: 10.1103/RevModPhys.93.025010