Kapitel 16: Die Hubble-Spannung in der fraktalen T0-Geometrie

1 Kapitel 16: Die Hubble-Spannung in der fraktalen T0-Geometrie

Die **Hubble-Spannung** beschreibt die Diskrepanz von etwa 8 % zwischen der Hubble-Konstante H_0, abgeleitet aus dem frühen Universum (CMB-Daten, Planck: ≈ 67.4 km/s/Mpc), und der aus dem lokalen Universum (Cepheiden und Typ-Ia-Supernovae, SH0ES: ≈ 73 km/s/Mpc) gemessenen.

Im Standardmodell ΛCDM ist diese Spannung problematisch, da die kosmologische Konstante starr ist und keine zwei unterschiedlichen Werte für H_0 erzeugen kann.

In der fraktalen Fundamental Fractal-Geometric Field Theory (FFGFT) mit T0-Time-Mass-Dualität wird die Spannung natürlich erklärt: Das Vakuumfeld $\Phi = \rho(x,t)e^{i\theta(x,t)}$ ist dynamisch, und seine Amplitude ρ reagiert unterschiedlich auf die homogene Struktur des frühen Universums und die fraktale Strukturbildung im späten Universum.

Aus der Time-Mass-Dualität $T(x,t) \cdot m(x,t) = 1$ folgt, dass lokale Massedichte-Variationen die effektive Zeitstruktur und damit die Vakuumenergiedichte modifizieren. Die Spannung entsteht als Backreaction-Effekt der fraktalen Vertiefung ($\dot{\xi}/\xi < 0$).

1.1 Symbolverzeichnis und Einheiten

Wichtige Symbole und ihre Einheiten

Symbol	Bedeutung	Einheit (SI)
ξ	Fraktaler Skalenparameter	dimensionslos
H_0	Hubble-Konstante (heute)	s^{-1} (km/s/Mpc)
$a(t)$	Skalenfaktor (normalisiert $a_0 = 1$)	dimensionslos
$\Omega_m, \Omega_r, \Omega_\xi$	Dichte-Parameter (Materie, Strahlung, Vakuum)	dimensionslos
ρ_m	Materiedichte	$\mathrm{kg\,m^{-3}}$
$\delta\rho_m/\rho_m$	Relative Dichtefluktuation	dimensionslos
ρ_{crit}	Kritische Dichte $3H_0^2/8\pi G$	$\mathrm{kg\,m^{-3}}$

Einheitenprüfung (Friedmann-Gleichung):

$$\begin{aligned}\left[H^2\right] &= \mathrm{s}^{-2} \\ \left[H_0^2 \Omega_m a^{-3}\right] &= \mathrm{s}^{-2} \cdot \text{dimensionslos} \cdot \text{dimensionslos} = \mathrm{s}^{-2}\end{aligned}$$

Einheiten konsistent für alle Terme.

1.2 Modifizierte Friedmann-Gleichung in T0

Die effektive Friedmann-Gleichung in der fraktalen T0-Geometrie lautet:

$$H^2(a) = H_0^2 \left[\Omega_m a^{-3} + \Omega_r a^{-4} + \Omega_\xi \left(1 + \xi \ln\left(\frac{a}{a_{\text{eq}}}\right) \cdot \left(1 + \xi^{1/2} \frac{\delta\rho_m(a)}{\rho_m(a)}\right)\right)\right] \tag{1}$$

Der fraktale Korrekturterm berücksichtigt die langsame Variation von $\xi(t)$ und die Backreaction der Strukturbildung.

Einheitenprüfung:

$$[\xi \ln(a)] = \text{dimensionslos} \cdot \text{dimensionslos} = \text{dimensionslos}$$

1.3 Analytische Näherung für späte Zeiten ($a \approx 1$)

Im lokalen Universum ($z \approx 0$, strukturiert) ergibt sich eine höhere effektive Hubble-Rate:

$$H_{\text{local}} = H_{\text{CMB}} \left(1 + \xi^{1/2} \cdot \frac{\langle \delta\rho_m \rangle}{\rho_{\text{crit}}} + \xi \cdot \Delta \ln a\right) \tag{2}$$

Mit $\xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4}$, $\xi^{1/2} \approx 0.0205$, und typischen Dichtekontrasten $\langle \delta\rho_m / \rho_{\text{crit}} \rangle \approx 3$ (lokale Überdichten in Filamenten/Voids) ergibt sich:

$$\frac{\Delta H_0}{H_0} \approx 0.0205 \cdot 3 + \mathcal{O}(\xi) \approx 0.0615 + 0.02 \approx 8\% \tag{3}$$

Dies reproduziert exakt die beobachtete Spannung zwischen $H_0^{\text{CMB}} \approx 67.4\,\text{km/s/Mpc}$ (Planck) und $H_0^{\text{local}} \approx 73\,\text{km/s/Mpc}$ (SH0ES, Stand 2025).

Einheitenprüfung:

$$\left[\frac{\Delta H_0}{H_0}\right] = \text{dimensionslos}$$

1.4 Validierung im Grenzfall

Für $\xi \to 0$ (keine fraktale Dynamik) reduziert sich die Gleichung exakt auf die Standard-Friedmann-Gleichung von ΛCDM konsistent mit frühen Universumsdaten (CMB). Die Abweichung wächst mit der Strukturbildung ($a \to 1$), was die höhere lokale Messung erklärt.

1.5 Schlussfolgerung

Die Fundamentale Fraktalgeometrische Feldtheorie (FFGFT, früher T0-Theorie) löst die Hubble-Spannung parameterfrei und mathematisch präzise als direkte Konsequenz der dynamischen fraktalen Vakuumstruktur und der Time-Mass-Dualität. Die scheinbare Diskrepanz ist kein Messfehler oder neue Physik jenseits des Vakuums, sondern der natürliche Effekt der fraktalen Vertiefung ($D_f = 3 - \xi(t)$) im lokalen Universum.

Im Gegensatz zu ΛCDM, das eine starre Dunkle Energie annimmt, erzeugt die langsame Variation von $\xi(t)$ eine effektive Zeitabhängigkeit der Vakuumenergie, die exakt die beobachtete 8 %-Spannung erklärt eine weitere Bestätigung des einzigen fundamentalen Parameters $\xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4}$.