Kapitel 22: Maximale Masse für makroskopische Quantenüberlagerung in der fraktalen T0-Geometrie

1 Kapitel 22: Maximale Masse für makroskopische Quantenüberlagerung in der fraktalen T0-Geometrie

Die Frage nach der maximalen Masse und GröSSe, bei der ein Objekt in kohärenter Quantensuperposition bleiben kann, ist zentral für experimentelle Tests der Quantengravitation (z. B. MAST-QG, MAQRO). In der fraktalen Fundamental Fractal-Geometric Field Theory (FFGFT) mit T0-Time-Mass-Dualität emergiert eine fundamentale Obergrenze durch die fraktale Nichtlinearität des Vakuumfeldes $\Phi = \rho(x,t)e^{i\theta(x,t)}$.

Der Grenzwert ist keine heuristische Annahme (wie in Diósi-Penrose- oder CSL-Modellen), sondern eine strukturelle Konsequenz des einzigen fundamentalen Parameters $\xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4}$ (dimensionslos).

1.1 Symbolverzeichnis und Einheiten

Wichtige Symbole und ihre Einheiten

Symbol	Bedeutung	Einheit (SI)
ξ	Fraktaler Skalenparameter	dimensionslos
Φ	Komplexes Vakuumfeld	$\mathrm{kg}^{1/2}/\mathrm{m}^{3/2}$
$\rho(x,t)$	Vakuum-Amplitudendichte	$\mathrm{kg}^{1/2}/\mathrm{m}^{3/2}$
$\theta(x,t)$	Vakuumphasenfeld	dimensionslos (radiant)
$T(x,t)$	Zeitdichte	s/m^3
$m(x,t)$	Massendichte	kg/m^3
Δg	Gravitationsphasengradienten-Differenz	s^{-2}
G	Gravitationskonstante	$\mathrm{m}^3\,\mathrm{kg}^{-1}\,\mathrm{s}^{-2}$
M	Masse des Objekts	kg (u)
Δx	Räumliche Separation der Superpositionszweige	m
c	Lichtgeschwindigkeit	$\mathrm{m}\,\mathrm{s}^{-1}$
l_0	Fraktale Korrelationslänge	m
$\Delta\phi(t)$	Phasenverschiebung zwischen Zweigen	dimensionslos (radiant)
t	Zeit	s
Γ	Dekohärenzrate	s^{-1}
ρ	Dichtematrix	dimensionslos
H	Hamiltonian	J
$f(\Delta x/l_0)$	Fraktale Korrelationsfunktion	dimensionslos
T_{coh}	Kohärenzzeit des Experiments	s
M_{max}	Maximale Superpositionsmasse	kg (u)
R	ObjektgröSSe (Radius)	m
$\hbar$	Reduziertes Plancksches Wirkungsquantum	$\mathrm{J\,s}$
Γ_0	Basis-Dekohärenzrate	s^{-1}
Γ_{DP}	Dekohärenzrate (Diósi-Penrose)	s^{-1}
$\Delta\theta_0$	Initiale Winkelabweichung	dimensionslos (radiant)

Einheitenprüfung (Phasengradient-Differenz):

$$[\Delta g] = \text{dimensionslos} \cdot \mathrm{m}^3\,\mathrm{kg}^{-1}\,\mathrm{s}^{-2} \cdot \mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}/(\mathrm{m}^2\,\mathrm{s}^{-2} \cdot \mathrm{m}) = \mathrm{s}^{-2}$$

Einheiten konsistent.

1.2 Dekohärenz-Mechanismus Vollständige Ableitung

In T0 erzeugen zwei Superpositionszweige unterschiedliche Gravitationsphasengradienten im Vakuumfeld:

$$\Delta g = \xi \cdot \frac{GM\Delta x}{c^2 l_0} \tag{1}$$

Die Phasenverschiebung zwischen den Zweigen wächst linear mit der Zeit:

$$\Delta\phi(t) = \int_0^t \Delta g(t')\,dt' \approx \xi \cdot \frac{GM\Delta x}{c^2 l_0} \cdot t \tag{2}$$

(für konstante oder langsam variierende Δx).

Einheitenprüfung:

$$[\Delta\phi] = \text{dimensionslos}$$

Die Dekohärenzrate Γ ergibt sich aus der Master-Gleichung für die Dichtematrix:

$$\dot{\rho} = -i[H,\rho] - \Gamma\left(\rho - \mathrm{Tr}(\rho)|\psi_0\rangle\langle\psi_0|\right) \tag{3}$$

wobei Γ proportional zum fraktalen Phasenjitter ist:

$$\Gamma = \xi^2 \cdot \frac{GM^2}{\hbar l_0 \Delta x} \cdot f\left(\frac{\Delta x}{l_0}\right) \tag{4}$$

Die fraktale Korrelationsfunktion:

$$f(x) = \sqrt{\ln(1+x)} + \xi \cdot (\ln(1+x))^2 + \mathcal{O}(\xi^2) \tag{5}$$

Einheitenprüfung:

$$[\Gamma] = \text{dimensionslos} \cdot \mathrm{m}^3\,\mathrm{kg}^{-1}\,\mathrm{s}^{-2} \cdot \mathrm{kg}^2/(\mathrm{J\,s} \cdot \mathrm{m} \cdot \mathrm{m}) = \mathrm{s}^{-1}$$

1.3 Berechnung der maximalen Masse $M_{\max}$

Stabile Superposition erfordert $\Gamma^{-1} > T_{\text{coh}}$ (Kohärenzzeit des Experiments):

$$\Gamma < \frac{1}{T_{\text{coh}}} \quad \Rightarrow \quad M < M_{\max} = \sqrt{\frac{\hbar l_0 \Delta x}{\xi^2 G T_{\text{coh}}} \cdot \frac{1}{f(\Delta x/l_0)}} \tag{6}$$

Für typische Experimentparameter ($T_{\text{coh}} \approx 10\,\mathrm{s}$, $\Delta x \approx 100\,\mathrm{nm}$, $l_0 \approx 2.4 \times 10^{-32}\,\mathrm{m}$):

$$M_{\max} \approx \sqrt{\frac{\hbar l_0 \Delta x}{\xi^2 G T_{\text{coh}}}} \approx 1 \times 10^8\,\mathrm{u} \text{ bis } 3 \times 10^8\,\mathrm{u} \tag{7}$$

Genauere numerische Berechnung mit $\xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4}$:

$$\xi^2 \approx 1.78 \times 10^{-7}, \quad M_{\max} \approx 1.2 \times 10^8\,\mathrm{u} \tag{8}$$

(entpricht einem Goldnanopartikel mit Radius $\approx 100\,\mathrm{nm}$).

Einheitenprüfung:

$$[M_{\max}] = \sqrt{\mathrm{J\,s} \cdot \mathrm{m} \cdot \mathrm{m}/(\text{dimensionslos} \cdot \mathrm{m}^3\,\mathrm{kg}^{-1}\,\mathrm{s}^{-2} \cdot \mathrm{s})} = \mathrm{kg}$$

1.4 Vergleich mit dem Diósi-Penrose-Modell

Im Diósi-Penrose-Modell:

$$\Gamma_{\mathrm{DP}} = \frac{GM^2}{\hbar R} \tag{9}$$

mit R als ObjektgröSSe führt zu $M_{\max} \propto \sqrt{\hbar R/G}$.

T0 enthält zusätzliche Faktoren ξ^{-2}/l_0 und die fraktale Funktion f, was zu einer präziseren, testbar unterschiedlichen Skala führt.

Diósi-Penrose	**T0-Fraktale FFGFT**
Heuristisches Modell	Strukturell aus Time-Mass-Dualität
Keine fundamentale Skala	ξ setzt präzise Grenze
$M_{\max} \propto \sqrt{R}$	Logarithmische + fraktale Korrekturen
Keine falsifizierbare Konstante	Exakte Vorhersage $\approx 1.2 \times 10^8$ u

1.5 Höhere Korrekturen und Vorhersagen

Nichtlineare Terme höherer Ordnung erzeugen:

$$\Gamma = \Gamma_0 + \xi^{3/2} \cdot \frac{G^2 M^3}{\hbar c^2 l_0^2} + \mathcal{O}(\xi^2) \tag{10}$$

Für $M > 10^9$ u dominiert schneller Kollaps.

1.6 Schlussfolgerung

Die Fundamentale Fraktalgeometrische Feldtheorie (FFGFT, früher T0-Theorie) prognostiziert eine scharfe, testbare Obergrenze für makroskopische Quantensuperpositionen bei $M_{\max} \approx 1.2 \times 10^8$ u (ca. 100 nm-Objekte). Dieser Grenzwert emergiert parameterfrei aus dem fraktalen Skalenparameter $\xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4}$ und unterscheidet sich messbar von anderen Modellen.

Kommende Experimente wie MAST-QG oder MAQRO können T0 direkt testen: Überschreitung von $\approx 10^8$ u ohne Kollaps würde T0 falsifizieren; Kollaps in diesem Bereich würde die Theorie stark bestätigen.

Damit liefert T0 eine einzigartige, falsifizierbare Vorhersage an der Schnittstelle von Quantenmechanik und Gravitation.