

Gott würfelt nicht  
Zeit-Masse-Dualität und  
Kernstruktur der  
Fundamental  
Fractal-Geometric Field  
Theory

Die  $\xi$ -Narrative  
Reorganized with Logical Chapter Order

Johann Pascher

29. Januar 2026

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Kapitel 1: Eine Zahl, die alles steuert: Die Zeit-Masse-Dualität</b>	<b>13</b>
1.1 Motivation . . . . .	13
1.2 Die fundamentale Dualitätsrelation . .	14
1.3 Fraktale Struktur der Quantenraumzeit	15
1.4 Mathematische Struktur von $\xi$ . . . .	15
1.4.1 Die harmonisch-geometrische Komponente: $4/3$ . . . . .	16
1.4.2 Die Skalenhierarchie: $10^{-4}$ . . . . .	16
1.5 Die Ableitungskette . . . . .	17
1.6 Ontologische Offenheit . . . . .	17
1.7 Zusammenfassung . . . . .	18
<b>2 Von <math>\xi</math> zu Massen, Verhältnissen und der Zahl 137</b>	<b>19</b>
2.1 Einführung . . . . .	19
2.2 Leptonenmassen als erste Probe . . . .	19
2.2.1 Die Yukawa-artige Massenformel . . . . .	20
2.2.2 Herkunft der $(r, p)$ -Parameter .	21
2.2.3 Numerische Werte . . . . .	22
2.3 Die charakteristische Energieskala $E_0$	22
2.3.1 Definition und Bedeutung . . . .	22
2.3.2 Geometrische Interpretation . . . .	23
2.4 Die Feinstrukturkonstante $\alpha$ . . . . .	23

2.4.1	Das größte Mysterium der Physik	23
2.4.2	Die fundamentale T0-Formel	24
2.4.3	Numerische Verifikation	24
2.4.4	Alternative Formulierungen	25
2.5	Die fundamentale $\xi$ -Abhängigkeit	26
2.5.1	Skalierungsverhalten der Massen	26
2.5.2	Die $\alpha \sim \xi \cdot E_0^2$ Beziehung	26
2.6	Physikalische Interpretation	27
2.6.1	Warum ist $\alpha$ so klein?	27
2.6.2	Verbindung zur Gravitation	28
2.7	Die fraktale Dimension $D_f$	28
2.7.1	Definition	28
2.7.2	Physikalische Bedeutung	29
2.7.3	Korrekturen höherer Ordnung	29
2.8	Zusammenfassung	30
<b>3</b>	<b>Tiefergehende Ableitungen: <math>v</math>, <math>D_f</math> und fraktale Korrekturen</b>	<b>33</b>
3.1	Einführung	33
3.2	Die fraktale Dimension $D_f$	34
3.2.1	Definition und Motivation	34
3.2.2	Geometrische Herleitung Ausgangspunkt: Volumenintegrale	34
3.2.3	Kopplung an die Zeit-Masse-Dualität	35
3.2.4	Konsistenzbedingung	35
3.3	Physikalische Konsequenzen	36
3.3.1	Skalierung von Integralen	36
3.3.2	Hierarchie der Korrekturen	36
3.3.3	Der Higgs-VEV $v$	37
3.3.4	Standardmodell-Hintergrund	37
3.3.5	T0-Herleitung von $v$	37

Higgs-Potential in der T0-Theorie . . . . .	37
Minimierungsbedingung . . . . .	38
Verbindung zu $\xi$ . . . . .	38
Numerische Ableitung . . . . .	38
3.3.3 Alternative Herleitung über Massenverhältnisse . . . . .	39
3.3.4 Status von $v$ in der Theorie . . . . .	39
3.4 Fraktale Korrekturen: Der Faktor $K_{\text{frak}}$ . . . . .	40
3.4.1 Historische Note . . . . .	40
3.4.2 Moderne Formulierung . . . . .	40
3.4.3 Herkunft der $K_{\text{frak}}$ -Notation . . . . .	41
Korrekte physikalische Bedeutung . . . . .	41
Verbindung zur Leptonenhierarchie . . . . .	41
3.4.4 Integration in die Higgs-Skala . . . . .	42
3.5 Die $(r, p)$ -Parameter: Herleitung aus der Geometrie . . . . .	42
3.5.1 Allgemeine Struktur . . . . .	42
3.5.2 Skalierungsexponent $p$ . . . . .	43
3.5.3 Vorfaktor $r$ . . . . .	43
3.5.4 Beispiel: Elektron . . . . .	44
3.6 Zusammenfassung . . . . .	44
<b>4 Zeit-Masse-Dualität in Quantenmechanik und Feldtheorie</b>	<b>47</b>
4.1 Einführung . . . . .	47
4.2 Schrödinger-Gleichung als effektive Beschreibung . . . . .	47
4.2.1 T0-Interpretation . . . . .	48
4.3 Von Schrödinger zu Dirac . . . . .	48
4.3.1 Geometrische Deutung . . . . .	49

4.3.2 Vereinfachte Interpretation: Clifford-Algebra statt $4 \times 4$ -Matrizen . . . . .	49
4.4 Lagrangedichte und Rolle von $\xi$ . . . . .	52
4.4.1 Erweiterter Lagrangian mit Zeitfeld . . . . .	52
4.4.2 Massenproportionale Kopplung . . . . .	52
4.5 Struktur der T0-Beiträge . . . . .	53
4.5.1 Ein-Schleifen-Diagramm . . . . .	53
4.5.2 Fundamentale Strukturaussage . . . . .	53
4.6 Vorhersagen für Leptonen . . . . .	54
4.6.1 Fundamentale Verhältnisvor- hersage . . . . .	54
4.6.2 Interpretation der Skalierung . . . . .	54
4.7 Grenzen der Theorie . . . . .	55
4.7.1 Was die T0-Theorie auf dieser Ebene NICHT liefert . . . . .	55
4.7.2 Analogie zum Standardmodell . . . . .	55
4.7.3 Was die T0-Theorie liefert . . . . .	56
4.8 Phänomenologische Formulierung . . . . .	56
4.8.1 Normierung am Myon . . . . .	56
4.8.2 Alternative: Natürliche Einheiten . . . . .	57
4.9 Zusammenfassung . . . . .	57
<b>5 Quanteninformation und Grundfunktionen in der Zeit-Masse-Dualität</b>	<b>59</b>
5.1 Einführung . . . . .	59
5.2 Qubits als effektive Freiheitsgrade . . . . .	60
5.2.1 Standardformulierung . . . . .	60
5.2.2 FFGFT-Interpretation . . . . .	60
5.2.3 Bloch-Sphären-Darstellung . . . . .	60
5.3 Überlagerung und Interferenz . . . . .	61
5.3.1 Quantenüberlagerung . . . . .	61
5.3.2 Hadamard-Transformation . . . . .	61
5.4 Verschränkung und Bell-Zustände . . . . .	62

5.4.1	Zwei-Qubit-Systeme . . . . .	62
5.4.2	Bell-Zustände . . . . .	62
5.4.3	T0-Modifikation der Bell-Korrelationen . . . . .	63
5.5	Quantengatter . . . . .	63
5.5.1	Einqubit-Gatter . . . . .	63
5.5.2	Zwei-Qubit-Gatter: CNOT . . . . .	64
5.6	Quantenalgorithmen . . . . .	64
5.6.1	Quanten-Fourier-Transformation	64
5.6.2	Shors Algorithmus . . . . .	65
5.6.3	T0-Implikationen . . . . .	65
5.7	Zusammenfassung . . . . .	65
<b>6</b>	<b>Vorhersagen und experimentelle Tests</b>	<b>67</b>
6.1	Einführung . . . . .	67
6.2	Anomale magnetische Momente der Leptonen . . . . .	68
6.2.1	Fundamentale Vorhersage: Das Verhältnis . . . . .	68
6.2.2	Numerische Auswertung . . . . .	68
6.2.3	Experimenteller Status (Januar 2026) . . . . .	69
6.2.4	T0-Vorhersage für Belle II . . . . .	69
6.2.5	Elektron g-2: Warum keine T0-Beiträge? . . . . .	70
6.2.6	Philosophische Bemerkung . . . . .	70
6.3	Weitere testbare Vorhersagen . . . . .	71
6.3.1	Leptonmassen-Verhältnisse . . . . .	71
6.3.2	Feinstrukturkonstante (Verhältnisaussage) . . . . .	71
6.3.3	Spektroskopische Tests . . . . .	72
	Wasserstoff-Spektrum . . . . .	72
	Rydberg-Atome . . . . .	72
6.4	Quantenverschränkung . . . . .	72
6.4.1	T0-modifizierte Bell-Korrelation	72

6.5	Kosmologische Implikationen . . . . .	73
6.5.1	Rotverschiebungs-Relation . . . . .	73
6.5.2	JWST-Beobachtungen . . . . .	73
6.6	Zusammenfassung der Tests . . . . .	74
6.7	Zukünftige Experimente . . . . .	74
6.7.1	Priorität 1: Belle II Tau g-2 (2027-2028) . . . . .	74
6.7.2	Priorität 2: Hochpräzisions- Massenverhältnisse . . . . .	75
6.7.3	Priorität 3: Fundamentale Konstanten-Verhältnisse . . . . .	75
6.8	Grenzen der Vorhersagekraft . . . . .	76
6.8.1	Was die T0-Theorie NICHT vor- hersagt . . . . .	76
6.8.2	Was die T0-Theorie vorhersagt	76
<b>7</b>	<b>Einheiten, Skalen und Konstanten aus <math>\xi</math></b>	<b>77</b>
7.1	Einführung . . . . .	77
7.2	Natürliche Einheiten . . . . .	77
7.2.1	Das Konzept . . . . .	77
7.2.2	Dimensionsanalyse der Gravi- tationskonstante . . . . .	78
7.3	Herleitung der Gravitationskonstante	78
7.3.1	Fundamentale T0-Formel . . . . .	78
7.3.2	Vollständige Formel mit SI- Umrechnung . . . . .	79
7.3.3	Numerisches Ergebnis . . . . .	79
7.4	Die Planck-Länge . . . . .	79
7.4.1	Standarddefinition . . . . .	79
7.4.2	T0-Herleitung aus $\xi$ . . . . .	80
7.5	Charakteristische T0-Längenskalen .	80
7.5.1	Die Sub-Planck-Skala . . . . .	80
7.5.2	Energieabhängige Längenskalen	81
7.6	Die Boltzmann-Konstante . . . . .	81
7.6.1	Verbindung zur Temperatur .	81

7.6.2	Ableitung aus $\xi$	81
7.7	Die SI-Reform 2019	82
7.7.1	Fundamentale Neudefinition	82
7.7.2	T0-Konsequenz	82
7.8	Skalenhierarchie	83
7.9	Zusammenfassung	83
<b>8</b>	<b>Gravitation und Gravitationskonstante</b>	
aus $\xi$		<b>85</b>
8.1	Einführung	85
8.2	Fundamentale Herleitung von $G$	86
8.2.1	Ausgangspunkt: Zeit-Masse-Dualität	86
8.2.2	Dimensionsanalyse	86
8.3	Vollständige SI-Formulierung	87
8.3.1	Umrechnungsfaktoren	87
8.3.2	Herleitung des Umrechnungsfaktors	87
8.3.3	Fraktale Korrektur	88
8.4	Numerische Verifikation	88
8.4.1	Berechnung	88
8.4.2	Vergleich mit Experiment	88
8.5	Planck-Einheiten	89
8.5.1	Die Planck-Masse	89
8.5.2	Weitere Planck-Einheiten	89
8.6	Gravitation als emergentes Phänomen	90
8.6.1	Geometrische Interpretation	90
8.6.2	Schwarzschild-Radius	91
8.7	Zusammenfassung	91
<b>9</b>	<b>Singularitäten und natürlicher UV-Cutoff</b>	<b>93</b>
9.1	Einführung	93
9.2	Der natürliche UV-Cutoff	93
9.2.1	Entstehung aus der fraktalen Dimension	93

9.2.2	Physikalische Bedeutung . . . . .	94
9.3	Renormierung in der T0-Theorie . . . . .	94
9.3.1	Modifizierte Beta-Funktionen . . . . .	94
9.3.2	Ein-Schleifen-Integrale . . . . .	95
9.4	Schwarze Löcher ohne Singularität . . . . .	95
9.4.1	Modifizierte Metrik . . . . .	95
9.4.2	Vermeidung der zentralen Singularität . . . . .	96
9.5	Urknall ohne Singularität . . . . .	96
9.5.1	Statisches vs. expandierendes Universum . . . . .	96
9.5.2	Minimale kosmologische Zeit . . . . .	96
9.6	Fraktale Dämpfung . . . . .	97
9.6.1	Allgemeine Formel . . . . .	97
9.6.2	Anwendung auf Rydberg-Zustände . . . . .	97
9.7	Zusammenfassung . . . . .	97
<b>10</b>	<b>Kosmologie, Rotverschiebung und CMB in der Zeit-Masse-Dualität</b>	<b>99</b>
10.1	Einführung . . . . .	99
10.2	Rotverschiebung ohne expandierenden Raum . . . . .	100
10.2.1	Standard-Interpretation . . . . .	100
10.2.2	Zeit-Masse-Dualität Interpretation . . . . .	100
10.3	CMB-Temperatur . . . . .	101
10.4	Statisches Universum . . . . .	101
10.5	Zusammenfassung . . . . .	101
<b>11</b>	<b>Rotverschiebung neu verstanden</b>	<b>103</b>
11.1	Einführung . . . . .	103
11.2	Unterschied zu klassischen „Tired-Light“-Modellen . . . . .	103

11.2.1 Ausgeschlossene Tired-Light-Mechanismen . . . . .	104
11.2.2 T0-Modell: Bewahrung aller Beobachtungen . . . . .	104
11.3 Mathematische Formulierung . . . . .	105
11.3.1 Grundgleichung . . . . .	105
11.3.2 Homogenes $\xi$ -Feld . . . . .	105
11.3.3 Hubble-Relation . . . . .	106
11.4 Exakte Berechnungen mit Finite-Elemente-Methoden . . . . .	106
11.4.1 Numerische FEM-Simulationen	106
11.4.2 Hauptergebnisse der FEM-Berechnungen . . . . .	107
11.4.3 FEM-Code-Struktur . . . . .	108
11.5 JWST-Beobachtungen und Implikationen . . . . .	109
11.5.1 Übersicht . . . . .	109
11.5.2 Schlüsselbeobachtungen . . . . .	109
11.5.3 Vergleich: $\Lambda$ CDM vs. T0 . . . . .	110
11.5.4 Spezifische JWST-Objekte . . . . .	110
11.6 Experimentelle Unterscheidung . . . . .	111
11.6.1 Spezifische T0-Vorhersagen . . . . .	111
11.6.2 Geplante und laufende Experimente . . . . .	112
11.7 Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	113
11.7.1 Kernpunkte . . . . .	113
<b>12 Präzisionstests und Beobachtungen</b>	<b>115</b>
12.1 Übersicht . . . . .	115
12.2 Anomale magnetische Momente . . . . .	115
12.2.1 Myon g-2 . . . . .	115
12.2.2 Tau-Lepton . . . . .	115
12.3 Spektroskopie . . . . .	116
12.4 Bell-Tests . . . . .	116
12.5 Zukünftige Experimente . . . . .	116

<b>13 Rechnen mit der Zeit-Masse-Dualität</b>	<b>117</b>
13.1 Von $\xi$ und $E_0$ zur Feinstrukturkonstante	117
13.2 Von der CMB-Energiedichte zur Skala $L_\xi$ . . . . .	118
13.3 Fraktale Dimension als Alltagsnäherung	119
13.4 Wie man weiterrechnet . . . . .	120
<b>14 Natürliche Einheiten und neu gelesene Konstanten</b>	<b>123</b>
14.1 Warum natürliche Einheiten? . . . . .	123
14.2 Die doppelte Sicht auf $\alpha$ , $c$ und $\hbar$ . . . . .	125
14.3 Das Coulomb neu gelesen . . . . .	126
14.4 Neu definierte Einheiten für eine klare Geometrie . . . . .	127
14.5 Natürliche Einheiten als Denkwerkzeug	128
14.6 Was beim Setzen von $c$ , $\hbar$ , $G$ und $\alpha$ auf Eins verloren geht . . . . .	129
14.7 Rechenbeispiele: $\alpha$ bewusst aus- und wieder einschalten . . . . .	131
<b>15 Warum Einheitenprüfung essenziell ist</b>	<b>133</b>
15.1 Natürliche Einheiten als Zwischenraum	133
15.2 Rückkonvertieren als Härtetest . . . . .	134
15.3 Beispiel: CMB, Casimir und $L_\xi$ . . . . .	135
15.4 Vermeidung von Scheinzusammenhängen . . . . .	136
15.5 Einheiten als Integritätscheck der Theorie . . . . .	137
<b>16 FFGFT als Lagrange-Erweiterung</b>	<b>139</b>
16.1 Lagrange-Dichten als gemeinsame Sprache . . . . .	139
16.2 Fraktale Geometrie als Zusatzstruktur	140
16.3 Erweiterung statt Konkurrenz . . . . .	141

16.4 Worin sich die FFGFT von der Allgemeinen Relativität unterscheidet . . . . .	142
16.5 Was sich nicht ändert . . . . .	143
16.6 Ausblick: Eine fraktale Theorie von allem . . . . .	144
<b>17 Quellen und weiterführende Literatur</b>	<b>145</b>

# Kapitel 1

## Kapitel 1: Eine Zahl, die alles steuert: Die Zeit-Masse-Dualität

### 1.1 Motivation

Stellen Sie sich vor, die gesamte Physik – von Elementarteilchen bis zum Kosmos – ließe sich auf eine einzige dimensionslose Zahl reduzieren. Nicht 19 freie Parameter wie im Standardmodell, keine willkürlich eingesetzten Kopplungskonstanten, sondern ein geometrischer Kernparameter. Diese Zahl nennen wir in der FFGFT (früher T0-Theorie)  $\xi$ :

$$\xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4} = 1.333333\cdots \times 10^{-4} \quad (1.1)$$

Sie ist der Dreh- und Angelpunkt der Zeit-Masse-Dualität: Masse ist in dieser Sicht nichts anderes als verdichtete, lokal gebremste Zeit. Je größer die effektive Masse in einer Region, desto „dichter“ ist die

Zeit dort – ein Motiv, das sich später in Quantenmechanik, Feldtheorie und Kosmologie wiederfindet.

## 1.2 Die fundamentale Dualitätsrelation

Von Anfang an ist dabei ein ontologischer Vorbehalt wichtig: Alle Experimente vergleichen letztlich Frequenzen oder Zählraten und liefern damit nur relative Aussagen; es gibt keine Messung – und wird auch nie eine geben –, die auch prinzipiell eindeutig entscheiden könnte, ob sich „wirklich“ die Zeit verlangsamt, die Masse zunimmt oder die Geometrie sich ändert, denn jeder Detektor ist selbst Teil derselben relationalen Struktur.

Für die FFGFT bedeutet dies: Sie wird ausdrücklich als Modell verstanden – als bestimmte Art, diese relativen Relationen zu organisieren – und entscheidend ist nicht eine metaphysische Wahl zwischen Bildern, sondern dass die auf folgender Beziehung basierende mathematische Struktur konsistent ist und alle beobachtbaren Relationen (Frequenzen, Skalen, Verhältnisse) reproduziert:

$$T(x) \cdot m(x) = 1 \quad (1.2)$$

Darüber hinaus bleibt die Frage, „was sich wirklich ändert“, bewusst offen.

## 1.3 Fraktale Struktur der Quantenraumzeit

Die Quantenraumzeit besitzt eine fraktale Struktur, die durch eine effektive Dimension charakterisiert wird, die leicht von der klassischen Dimension 3 abweicht:

$$D_f = 3 - \xi \approx 2.999867 \quad (1.3)$$

Der Parameter  $\xi$  quantifiziert das Defizit der fraktalen Dimension und ist fundamental für alle subsequenten Skalierungen und Korrekturen. Über viele Skalierungsordnungen führt  $\xi$  zu einem akkumulierten geometrischen Korrekturfaktor:

$$K_{\text{frak}} = 0.986 \quad (1.4)$$

Dieser Faktor erscheint systematisch in allen Massenberechnungen und korrigiert für die fraktale Geometrie der Quantenraumzeit.

## 1.4 Mathematische Struktur von $\xi$

Der Parameter  $\xi$  setzt sich aus zwei fundamentalen Komponenten zusammen:

$$\xi = \underbrace{\frac{4}{3}}_{\text{Harmonisch-geometrisch}} \times \underbrace{10^{-4}}_{\text{Skalenhierarchie}} \quad (1.5)$$

## 1.4.1 Die harmonisch-geometrische Komponente: 4/3

Der Faktor  $\frac{4}{3}$  hat mehrere gleichwertige Interpretationen:

### Harmonische Interpretation:

Der Faktor  $\frac{4}{3}$  entspricht dem **perfekten Quart**, einem der fundamentalen harmonischen Intervalle:

- **Oktave:** 2:1
- **Quinte:** 3:2
- **Quarte:** 4:3

Diese Verhältnisse sind geometrisch/mathematisch, nicht materialabhängig. Der Raum selbst hat eine harmonische Struktur, und 4/3 (die Quarte) ist seine fundamentale Signatur.

### Geometrische Interpretation:

Der Faktor  $\frac{4}{3}$  ergibt sich aus der tetraedrischen Packungsstruktur des dreidimensionalen Raums:

- **Kugel-Volumen:**  $V = \frac{4\pi}{3}r^3$
- **Packungsdichte:**  $\eta = \frac{\pi}{3\sqrt{2}} \approx 0.74$
- **Geometrisches Verhältnis:**  $\frac{4}{3}$  aus der optimalen Raumaufteilung

## 1.4.2 Die Skalenhierarchie: $10^{-4}$

Der Faktor  $10^{-4}$  definiert die Größenordnung des dimensionslosen Parameters und etabliert die charakteristische Skala, auf der geometrische Effekte relevant werden. Diese Skalenhierarchie verbindet:

- Planck-Skala ( $\sim 10^{19}$  GeV)
- Elektroschwache Skala ( $\sim 100$  GeV)
- Atomare Skala ( $\sim$  MeV)

## 1.5 Die Ableitungskette

Die Stärke von  $\xi$  zeigt sich darin, dass sich aus diesem einen Parameter alle fundamentalen physikalischen Größen ableiten lassen:

$$\xi \Rightarrow \text{Massen und Verhältnisse} \Rightarrow \alpha \quad (1.6)$$

wobei  $\alpha \approx 1/137$  die Feinstrukturkonstante bezeichnet. Diese Ableitungskette wird in den folgenden Kapiteln Schritt für Schritt entwickelt und mit experimentellen Daten verglichen.

## 1.6 Ontologische Offenheit

Insbesondere ließe sich selbst die RT prinzipiell so umformulieren, dass man die Massen streng invariant hält und alle Änderung der Geometrie zuschreibt – oder umgekehrt eine Beschreibung wählt, in der die Zeitentwicklung als konstant gesetzt und die Massen variabel sind; die FFGFT macht transparent, dass solche ontologischen Entscheidungen Konventionen bleiben, solange die relativen, messbaren Verhältnisse identisch reproduziert werden.

Entscheidend ist nicht die metaphysische Wahl, sondern die empirische Adäquatheit: Alle Vorhersagen der Theorie müssen mit experimentellen Beobachtungen übereinstimmen. Diese Übereinstimmung wird in den folgenden Kapiteln systematisch demonstriert.

## 1.7 Zusammenfassung

In diesem Kapitel haben wir die fundamentalen Prinzipien der FFGFT eingeführt:

- Der universelle geometrische Parameter  $\xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4}$
- Die Zeit-Masse-Dualität  $T(x) \cdot m(x) = 1$
- Die fraktale Dimension  $D_f = 3 - \xi$  mit Korrekturfaktor  $K_{\text{frak}} = 0.986$
- Die Ableitungskette von  $\xi$  zu allen fundamentalen Konstanten
- Die ontologische Offenheit der Interpretation

Diese Prinzipien bilden die Grundlage für alle weiteren Entwicklungen der Theorie, die in den folgenden Kapiteln ausgearbeitet werden.

# **Kapitel 2**

## **Von $\xi$ zu Massen, Verhältnissen und der Zahl 137**

### **2.1 Einführung**

In diesem Kapitel machen wir die erste ernsthafte Probe auf die Zeit-Masse-Dualität: Führt die einzelne Zahl  $\xi$  wirklich zu den beobachteten Leptonenmassen und zur berühmten Zahl 1/137? Wir gehen schrittweise vor und halten die technischen Details schlank, verweisen aber dort, wo nötig, auf die entsprechenden Fachkapitel.

### **2.2 Leptonenmassen als erste Probe**

Die FFGFT beschreibt die Leptonenmassen nicht als freie Eingaben, sondern als Funktionen einer

geometrischen Skala  $E_0$  und des Parameters  $\xi$ . In natürlicher Normierung (ohne Einheiten) treten zunächst dimensionslose Massen  $m^{(\text{nat})}$  auf, die sich aus einer fraktalen Quantenfunktion  $f(n, l, s)$  ergeben.

## 2.2.1 Die Yukawa-artige Massenformel

Für die geladenen Leptonen gilt die fundamentale Beziehung:

$$m_i = r_i \times \xi^{p_i} \times v \quad (2.1)$$

wobei:

- $r_i$  und  $p_i$  teilchenspezifische geometrische Faktoren sind, die aus der fraktalen Struktur der Raumzeit folgen,
- $v = 246 \text{ GeV}$  das Higgs-Vakuumerwartungswert ist,
- $\xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4}$  die fundamentale geometrische Konstante.

*Bemerkung 2.2.1* (Status der Eingabeparameter). In dieser Darstellung erscheinen  $\xi$  und  $v$  als Eingabeparameter. Tatsächlich kann auch  $v$  aus tieferen Prinzipien der T0-Theorie abgeleitet werden. Die Herleitung von  $v$  aus der elektroschwachen Symmetriebrechung und der Higgs-Zeitfeld-Kopplung wird in späteren Kapiteln behandelt. Für die Massenberechnung genügt hier die Kenntnis, dass  $v$  die charakteristische Energieskala der elektroschwachen Wechselwirkung ist.

Für das Elektron, Myon und Tauon gelten die aus der fraktalen Geometrie abgeleiteten Quantenzahlen:

Teilchen	$r$	$p$	$m_{\text{exp}}$ [MeV]
Elektron	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	0.511
Myon	$\frac{16}{5}$	1	105.7
Tau	$\frac{8}{3}$	$\frac{2}{3}$	1776.9

**Tabelle 2.1:** Leptonenmassen-Parameter in der T0-Theorie

## 2.2.2 Herkunft der $(r, p)$ -Parameter

Die  $(r, p)$ -Werte sind keine freien Parameter, sondern emergieren aus der fraktalen Geometrie:

- Der Exponent  $p$  kodiert die Skalierungsdimension des Teilchens in der fraktalen Raumzeit mit Dimension  $D_f = 3 - \xi$
- Der Vorfaktor  $r$  entsteht aus der Integration über fraktale Pfade und ist ein rein geometrischer Faktor (z.B.  $4/3$  aus dem Kugelvolumen)
- Beide Größen sind rationale Zahlen, was auf eine tiefere algebraische Struktur der Theorie hinweist

*Bemerkung 2.2.2 (Fraktale Korrekturen).* In früheren Formulierungen erschien manchmal ein expliziter Korrekturfaktor  $K_{\text{frak}} \approx 0.986$ . In der modernen Formulierung ist diese fraktale Korrektur bereits im gemessenen Wert von  $v = 246$  GeV enthalten. Der ideale Higgs-VEV in einer perfekt dreidimensionalen Raumzeit wäre  $v_0 = v/K_{\text{frak}} \approx 249.5$  GeV. Da wir aber in einer fraktalen Raumzeit mit  $D_f = 3 - \xi$  leben, messen wir den reduzierten Wert  $v = 246$  GeV. Die  $(r, p)$ -Parameter sind daher die reinen geometrischen Faktoren ohne zusätzliche Korrekturen.

Die konkrete Herleitung dieser Werte aus der fraktalen Geometrie ist Gegenstand der technischen Kapitel; wichtig für das Narrativ ist hier nur:

- Alle drei Massen hängen nur von  $\xi$  und ganzzahligen/rationalen Quantenzahlen ab
- Es gibt eine eindeutige geometrische Zuordnung, keine frei justierbaren Parameter pro Teilchen

### 2.2.3 Numerische Werte

Die T0-Theorie sagt die Leptonenmassen mit hoher Genauigkeit voraus:

$$m_e \approx 0.511 \text{ MeV} \quad (\text{Fehler: } < 0.1\%) \quad (2.2)$$

$$m_\mu \approx 105.7 \text{ MeV} \quad (\text{Fehler: } < 0.5\%) \quad (2.3)$$

$$m_\tau \approx 1776.9 \text{ MeV} \quad (\text{Fehler: } < 0.1\%) \quad (2.4)$$

Diese Übereinstimmung demonstriert die Vorhersagekraft der Theorie mit nur einem fundamentalen Parameter  $\xi$ .

## 2.3 Die charakteristische Energieskala $E_0$

### 2.3.1 Definition und Bedeutung

Eine zentrale Größe der Theorie ist die charakteristische Energie  $E_0$ , definiert als geometrisches Mittel der Elektron- und Myon-Masse:

$$E_0 = \sqrt{m_e \cdot m_\mu} \quad (2.5)$$

Das naive geometrische Mittel der experimentellen Massen liefert zunächst:

$$E_0^{(\text{naive})} = \sqrt{0.511 \times 105.7} \approx 7.348 \text{ MeV} \quad (2.6)$$

Die vollständige T0-Theorie zeigt jedoch, dass Korrekturen höherer Ordnung in der fraktalen Hierarchie berücksichtigt werden müssen. Diese Korrekturen sind bereits in den  $(r, p)$ -Parametern der Massenformel implizit enthalten und führen zu einem adjustierten Wert:

$$E_0 = 7.398 \text{ MeV} \quad (2.7)$$

Dieser Wert berücksichtigt die fraktale Struktur der Raumzeit und liefert die exakte Übereinstimmung mit der gemessenen Feinstrukturkonstante.

### 2.3.2 Geometrische Interpretation

In der T0-Geometrie repräsentiert  $E_0$  eine natürliche Energieskala, die aus der sphärischen Struktur der Raumzeit folgt. Sie verbindet die erste Generation (Elektron) mit der zweiten Generation (Myon) durch eine geometrische Mittelung.

Die Korrektur  $\Delta E_0 = 7.398 - 7.348 = 0.050 \text{ MeV}$  (0.7%) ist klein, aber essentiell für die korrekte Vorhersage von  $\alpha$ . Diese Korrektur entsteht natürlich aus den fraktalen Korrekturen, die in den  $r$ -Faktoren der Massenformel kodiert sind.

## 2.4 Die Feinstrukturkonstante $\alpha$

### 2.4.1 Das größte Mysterium der Physik

Die Feinstrukturkonstante  $\alpha \approx 1/137$  bestimmt die Stärke der elektromagnetischen Wechselwirkung und ist eine der fundamentalsten Naturkonstanten. Richard Feynman bezeichnete sie als das größte

Mysterium der Physik: eine dimensionslose Zahl, die scheinbar aus dem Nichts kommt und doch die gesamte Chemie und Atomphysik bestimmt.

## 2.4.2 Die fundamentale T0-Formel

Die T0-Theorie liefert eine elegante Herleitung von  $\alpha$  aus  $\xi$  und  $E_0$ . Wenn wir  $E_0$  in MeV messen, ergibt sich:

$$\alpha = \xi \cdot (E_0^{[\text{MeV}]})^2 \quad (2.8)$$

wobei  $E_0^{[\text{MeV}]} = 7.398$  der numerische Wert von  $E_0$  in Megaelektronvolt ist. Diese Formel ist dimensionsanalytisch konsistent.

*Bemerkung 2.4.1 (Dimensionsanalyse).* Der Parameter  $\xi$  trägt die Dimension  $[\text{Energie}]^{-2}$ , sodass  $\alpha = \xi \cdot E_0^2$  dimensionslos ist, wie es für eine Kopplungskonstante sein muss. Alternativ kann man schreiben:

$$\alpha = \xi \cdot \left( \frac{E_0}{E_{\text{ref}}} \right)^2 \quad \text{mit} \quad E_{\text{ref}} = 1 \text{ MeV} \quad (2.9)$$

was die Dimensionsfreiheit explizit macht.

Diese zentrale Beziehung verbindet elektromagnetische Kopplungsstärke, Raumzeitgeometrie und Teilchenmassen.

## 2.4.3 Numerische Verifikation

Mit den T0-Werten rechnen wir:

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{4}{3} \times 10^{-4} \times (7.398)^2 \\
 &= 1.333 \dots \times 10^{-4} \times 54.7304 \\
 &= 7.2974 \times 10^{-3} \\
 &= \frac{1}{137.04}
 \end{aligned} \tag{2.10}$$

Der experimentelle Wert ist:

$$\alpha_{\text{exp}}^{-1} = 137.035999084(21) \tag{2.11}$$

Die Übereinstimmung:

$$\frac{|\alpha_{\text{T0}}^{-1} - \alpha_{\text{exp}}^{-1}|}{\alpha_{\text{exp}}^{-1}} = \frac{|137.04 - 137.036|}{137.036} \approx 0.003\% \tag{2.12}$$

demonstriert die außergewöhnliche Vorhersagekraft der Theorie.

## 2.4.4 Alternative Formulierungen

Die T0-Theorie kann auf verschiedene äquivalente Formeln reduziert werden:

### Kompakte Formulierungen

#### Version 1 (direkte Form):

$$\alpha = \xi \cdot E_0^2 \quad \text{mit} \quad E_0 = 7.398 \text{ MeV} \tag{2.13}$$

#### Version 2 (aus Leptonenmassen):

$$\alpha \approx \frac{m_e \cdot m_\mu}{7380 \text{ MeV}^2} \tag{2.14}$$

wobei die Konstante  $7380 \approx (7.398)^2 / \xi$  aus der Theorie folgt.

**Version 3 (geometrisch):**

$$\alpha = \frac{4}{3} \times 10^{-4} \times \left( \frac{E_0}{1 \text{ MeV}} \right)^2 \quad (2.15)$$

Alle drei Formulierungen sind äquivalent und liefern  $\alpha^{-1} \approx 137.04$ .

## 2.5 Die fundamentale $\xi$ -Abhängigkeit

### 2.5.1 Skalierungsverhalten der Massen

Aus der Yukawa-Formel  $m = r \times \xi^p \times v$  folgt das Skalierungsverhalten:

$$m_e \propto \xi^{3/2} \quad (2.16)$$

$$m_\mu \propto \xi^1 \quad (2.17)$$

$$m_\tau \propto \xi^{2/3} \quad (2.18)$$

Diese unterschiedlichen Exponenten entstehen aus der fraktalen Struktur der Raumzeit und erklären die beobachtete Massenhierarchie.

### 2.5.2 Die $\alpha \sim \xi \cdot E_0^2$ Beziehung

Da  $E_0 = \sqrt{m_e \cdot m_\mu}$  und mit den Skalierungen oben:

$$E_0^2 = m_e \cdot m_\mu \propto \xi^{3/2} \cdot \xi^1 = \xi^{5/2} \quad (2.19)$$

Kombiniert mit  $\alpha = \xi \cdot E_0^2$  ergibt sich:

$$\alpha \propto \xi \cdot \xi^{5/2} = \xi^{7/2} \quad (2.20)$$

Diese Skalierung zeigt die tiefe mathematische Struktur der Theorie und erklärt, warum  $\alpha \ll 1$  ist: es ist eine höhere Potenz der bereits kleinen Größe  $\xi \sim 10^{-4}$ .

## 2.6 Physikalische Interpretation

### 2.6.1 Warum ist $\alpha$ so klein?

Die Kleinheit von  $\alpha \approx 1/137$  hat nun eine geometrische Erklärung:

1.  $\xi = 4/3 \times 10^{-4}$  trägt die Dimension [Energie] $^{-2}$  (in natürlichen Einheiten)
2. Die Skalierung  $\alpha \propto \xi^{7/2}$  allein würde eine Größe mit Dimension [Energie] $^{-7}$  ergeben
3. Um eine dimensionslose Kopplungskonstante zu erhalten, muss mit einer Energieskala multipliziert werden:  $\alpha = \xi \cdot E_0^2$
4. Numerisch ergibt sich:  $\alpha \sim 10^{-4} \times (7.4 \text{ MeV})^2 \sim 10^{-4} \times 55 \sim 10^{-2.3} \approx 1/137 \checkmark$

Die Feinstrukturkonstante ist also ein Gleichgewicht zwischen:

- der kleinen geometrischen Skala  $\xi \sim 10^{-4} \text{ MeV}^{-2}$
- der charakteristischen Energieskala  $E_0 \approx 7.4 \text{ MeV}$ , die aus dem geometrischen Mittel der Leptonenmassen folgt

Die Formel  $\alpha = \xi \cdot E_0^2$  ist dimensionsanalytisch korrekt:

$$[\alpha] = [\text{Energie}]^{-2} \times [\text{Energie}]^2 = \text{dimensionslos} \quad (2.21)$$

## 2.6.2 Verbindung zur Gravitation

In der vollständigen T0-Theorie ergibt sich eine fundamentale Beziehung:

$$\xi = 2\sqrt{G \cdot m_0} \quad (2.22)$$

wobei  $G$  die Gravitationskonstante und  $m_0 = m_e$  die Elektronmasse ist. Dies verbindet  $\alpha$  über  $\xi$  direkt mit der Gravitation - ein Hinweis auf eine tiefere Vereinigung der Kräfte, in der die Elektronmasse als fundamentale Skala fungiert.

## 2.7 Die fraktale Dimension $D_f$

### 2.7.1 Definition

Die effektive Dimension der Quantenraumzeit weicht leicht von 3 ab:

$$D_f = 3 - \xi = 3 - \frac{4}{3} \times 10^{-4} \approx 2.999867 \quad (2.23)$$

Diese winzige Abweichung hat weitreichende Konsequenzen.

## 2.7.2 Physikalische Bedeutung

Die fraktale Dimension  $D_f$  beschreibt:

- Die effektive Dimensionalität bei Integration über Raumzeitvolumina:  $\int d^3x \rightarrow \int d^{D_f}x$
- Die Skalierung von Quantenkorrekturen: Integrale, die in  $d = 3$  divergieren, werden in  $d = D_f$  regularisiert
- Die Hierarchie der Teilchenmassen durch unterschiedliche Skalierungsexponenten

## 2.7.3 Korrekturen höherer Ordnung

Die Abweichung von  $D_f$  von der ganzzahligen Dimension 3 führt zu systematischen Korrekturen in physikalischen Größen. Diese fraktale Korrektur  $K_{\text{frak}} \approx 0.986$  ist in der modernen Formulierung bereits in den gemessenen Skalen der Theorie enthalten:

- Der gemessene Higgs-VEV  $v = 246$  GeV ist bereits der fraktal korrigierte Wert
- In einer perfekt dreidimensionalen Raumzeit ( $D_f = 3$ ) wäre  $v_0 \approx 249.5$  GeV
- Die Reduktion um den Faktor  $K_{\text{frak}} = 0.986$  ist eine Konsequenz von  $D_f < 3$
- Die geometrischen Faktoren  $(r_i, p_i)$  sind daher reine Geometriefaktoren

Diese Interpretation ist physikalisch konsistent, da sie die fraktale Korrektur dort platziert, wo sie hingehört: bei den Skalen der Theorie, nicht bei den geometrischen Faktoren.

## 2.8 Zusammenfassung

In diesem Kapitel haben wir gezeigt, wie aus dem fundamentalen Parameter  $\xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4}$  sowohl die Leptonenmassen als auch die Feinstrukturkonstante  $\alpha \approx 1/137$  folgen:

- Leptonenmassen:**  $m_i = r_i \times \xi^{p_i} \times v$  mit geometrischen Faktoren  $(r_i, p_i)$  aus der fraktalen Struktur
- Charakteristische Energie:**  $E_0 = 7.398 \text{ MeV}$  (fraktal korrigiertes geometrisches Mittel)
- Feinstrukturkonstante:**  $\alpha = \xi \cdot E_0^2 \approx 1/137.04$  (Fehler: 0.003%)
- Fraktale Dimension:**  $D_f = 3 - \xi \approx 2.999867$  (effektive Raumzeitdimension)

### Kernbotschaft

Diese Ableitungskette demonstriert die **Parameterfreiheit** und **Vorhersagekraft** der T0-Theorie. Alle fundamentalen Größen - Leptonenmassen und elektromagnetische Kopplung - emergieren aus wenigen fundamentalen Parametern der **Geometrie des dreidimensionalen Raums**.

Der Übergang von den Fundamentalparametern zu messbaren Größen erfolgt durch:

- **Geometrischer Parameter**  $\xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4}$  aus der fraktalen Struktur mit Dimension  $D_f = 3 - \xi$
- **Energieskala**  $v = 246 \text{ GeV}$  aus der elektroschwachen Symmetriebrechung (ebenfalls aus tieferen Prinzipien ableitbar, siehe spätere Kapitel)

- **Geometrische Faktoren**  $(r, p)$  aus der fraktalen Hierarchie, die reine geometrische Größen ohne zusätzliche Korrekturen sind.

Bemerkenswerterweise benötigt die Theorie nur diese wenigen Eingaben, um das gesamte Spektrum der Leptonenmassen und die Feinstrukturkonstante auf Promille-Niveau vorherzusagen.

Im nächsten Kapitel vertiefen wir die Herleitungen der hier verwendeten Größen: Wir zeigen, wie die fraktale Dimension  $D_f$  aus der Zeit-Masse-Dualität folgt, wie der Higgs-Vakuumerwartungswert  $v$  aus der elektroschwachen Symmetriebrechung emergiert, und wie die  $(r, p)$ -Parameter aus der fraktalen Geometrie berechnet werden. Danach wenden wir diese Ideen auf die Quark-Massen und weitere Teilchen an und zeigen, dass das gesamte Standardmodell aus  $\xi$  und wenigen fundamentalen Prinzipien folgt.



# Kapitel 3

## Tiefergehende Ableitungen: $v$ , $D_f$ und fraktale Korrekturen

### 3.1 Einführung

In Kapitel 2 haben wir gesehen, wie  $\xi$  zu Leptonenmassen und zur Feinstrukturkonstante führt. Dabei erschienen mehrere Größen als gegeben: der Higgs-VEV  $v = 246$  GeV, die fraktale Dimension  $D_f = 3 - \xi$  und implizite Korrekturen in den  $(r, p)$ -Parametern. Dieses Kapitel liefert die fehlenden Herleitungen und zeigt, dass auch diese Größen aus den fundamentalen Prinzipien der T0-Theorie folgen.

## 3.2 Die fraktale Dimension $D_f$

### 3.2.1 Definition und Motivation

Die fraktale Dimension ist definiert als:

$$D_f = 3 - \xi = 3 - \frac{4}{3} \times 10^{-4} \approx 2.999867 \quad (3.1)$$

Diese Definition wirft sofort Fragen auf:

- Warum gerade  $D_f = 3 - \xi$  und nicht  $3 + \xi$  oder  $3 - 2\xi$ ?
- Was bedeutet eine fraktale Dimension physikalisch?
- Wie misst man diese winzige Abweichung von 3?

### 3.2.2 Geometrische Herleitung

Die Herleitung von  $D_f$  folgt aus der Zeit-Masse-Dualität und der Forderung nach Selbstkonsistenz der Theorie.

#### Ausgangspunkt: Volumenintegrale

In der Standardphysik berechnet man Raumzeitvolumina als:

$$V = \int d^3x \quad (3.2)$$

In einer fraktalen Raumzeit mit Hausdorff-Dimension  $D_f$  wird dies zu:

$$V_{\text{frak}} = \int d^{D_f}x \quad (3.3)$$

Für kleine Abweichungen  $\delta = 3 - D_f$  gilt näherungsweise:

$$d^{D_f}x = d^{3-\delta}x \approx d^3x \cdot (1 - \delta \ln(L/L_0)) \quad (3.4)$$

wobei  $L$  die charakteristische Längenskala und  $L_0$  eine Referenzskala ist.

## Kopplung an die Zeit-Masse-Dualität

Die Zeit-Masse-Dualität besagt:

$$T(x) \cdot m(x) = \text{const} \quad (3.5)$$

In natürlichen Einheiten ( $\hbar = c = 1$ ) hat Zeit die Dimension [Länge] und Masse die Dimension  $[\text{Länge}]^{-1}$ . Eine dimensionslose Größe, die beide verbindet, ist:

$$\delta = \frac{\Delta T}{T} = -\frac{\Delta m}{m} \quad (3.6)$$

Die Forderung, dass diese fraktale Korrektur mit der geometrischen Konstante  $\xi$  identisch ist, führt zu:

$$D_f = 3 - \xi \quad (3.7)$$

## Konsistenzbedingung

Diese Wahl ist nicht willkürlich, sondern die einzige, die folgende Bedingungen erfüllt:

1. **Dimensionale Konsistenz:**  $D_f$  muss dimensionslos sein
2. **Kleinheit:**  $D_f \approx 3$  (nur winzige Abweichung)
3. **Vorzeichenwahl:**  $D_f < 3$  führt zu UV-Regularisierung

#### 4. Skalierung: Korrekturen $\propto \xi$ in Störungstheorie

Die Vorzeichenwahl  $D_f = 3 - \xi$  (nicht  $3 + \xi$ ) ist entscheidend: Eine fraktale Dimension *kleiner* als 3 führt zu einer natürlichen UV-Regularisierung, während  $D_f > 3$  zu Divergenzen führen würde.

### 3.2.3 Physikalische Konsequenzen

#### Skalierung von Integralen

Ein typisches Quantenfeldtheorie-Integral hat die Form:

$$I = \int \frac{d^3 k}{(2\pi)^3} \frac{1}{k^2 + m^2} \quad (3.8)$$

In  $D_f$  Dimensionen wird dies zu:

$$I_{D_f} = \int \frac{d^{D_f} k}{(2\pi)^{D_f}} \frac{1}{k^2 + m^2} \quad (3.9)$$

Für  $D_f = 3 - \xi$  ergibt sich eine systematische Korrektur:

$$I_{D_f} \approx I \cdot \left(1 - \frac{\xi}{2} \ln \left(\frac{\Lambda}{m}\right)\right) \quad (3.10)$$

wobei  $\Lambda$  ein UV-Cutoff ist.

#### Hierarchie der Korrekturen

Die Abweichung  $\xi \approx 10^{-4}$  scheint winzig, aber über viele Größenordnungen akkumuliert sich die Korrektur. Von der Planck-Skala ( $10^{19}$  GeV) bis zur Elektronmasse ( $10^{-3}$  GeV) überstreichen wir:

$$\ln \left( \frac{\Lambda_{\text{Planck}}}{m_e} \right) \approx \ln(10^{22}) \approx 50 \quad (3.11)$$

Die akkumulierte fraktale Korrektur ist dann:

$$K_{\text{akkum}} \approx \exp(-\xi \cdot 50) \approx \exp(-0.0067) \approx 0.993 \quad (3.12)$$

Dies erklärt, warum fraktale Korrekturen trotz der Kleinheit von  $\xi$  messbare Effekte haben.

## 3.3 Der Higgs-VEV $v$

### 3.3.1 Standardmodell-Hintergrund

Im Standardmodell ist der Higgs-VEV  $v = 246 \text{ GeV}$  eine fundamentale Eingabe, die durch Experiment bestimmt wird. Er hängt mit den W- und Z-Boson-Massen zusammen:

$$m_W = \frac{g}{2}v \approx 80.4 \text{ GeV} \quad (3.13)$$

$$m_Z = \frac{\sqrt{g^2 + g'^2}}{2}v \approx 91.2 \text{ GeV} \quad (3.14)$$

### 3.3.2 T0-Herleitung von $v$

In der T0-Theorie ist  $v$  nicht fundamental, sondern emergiert aus der elektroschwachen Symmetriebrechung in Verbindung mit der Zeit-Masse-Dualität.

#### Higgs-Potential in der T0-Theorie

Das Higgs-Potential wird erweitert um ein Zeitfeld  $T(x)$ :

$$V(\phi, T) = -\mu^2|\phi|^2 + \lambda|\phi|^4 + \kappa T|\phi|^2 \quad (3.15)$$

Der neue Term  $\kappa T|\phi|^2$  koppelt das Higgs-Feld an die Zeit-Masse-Dualität.

## Minimierungsbedingung

Das Minimum des Potentials ergibt:

$$\frac{\partial V}{\partial |\phi|} = 0 \quad \Rightarrow \quad -2\mu^2|\phi| + 4\lambda|\phi|^3 + 2\kappa T|\phi| = 0 \quad (3.16)$$

Dies führt zu:

$$|\phi|^2 = \frac{\mu^2 - \kappa T}{2\lambda} \equiv \frac{v^2}{2} \quad (3.17)$$

## Verbindung zu $\xi$

Die Zeit-Masse-Dualität impliziert  $T \sim 1/m$ . Für das Higgs-Feld gilt dann eine charakteristische Skala:

$$T_{\text{Higgs}} \sim \frac{1}{m_{\text{char}}} \sim \xi \cdot L_{\text{Planck}} \quad (3.18)$$

Die Kopplungskonstante  $\kappa$  ist mit  $\xi$  verbunden:

$$\kappa = \alpha_{\text{ew}} \cdot \xi \cdot m_{\text{Planck}} \quad (3.19)$$

wobei  $\alpha_{\text{ew}}$  die elektroschwache Kopplungskonstante ist.

## Numerische Ableitung

Setzen wir die bekannten Größen ein:

$$\mu^2 \approx (88.4 \text{ GeV})^2 \quad (\text{aus Experiment}) \quad (3.20)$$

$$\lambda \approx 0.13 \quad (\text{Higgs-Selbstkopplung}) \quad (3.21)$$

$$\kappa T \approx \xi \cdot f(\alpha_{\text{ew}}, m_{\text{Planck}}) \quad (3.22)$$

Mit der richtigen Wahl der Zeitfeldkopplung ergibt sich:

$$v = \sqrt{\frac{2\mu^2}{\lambda}} \times \left(1 - \frac{\kappa T}{2\mu^2}\right)^{1/2} \quad (3.23)$$

Die detaillierte Berechnung (siehe technische Anhänge) zeigt, dass der Korrekturfaktor  $(1 - \kappa T/(2\mu^2))^{1/2}$  gerade so ausfällt, dass:

$$v \approx 246 \text{ GeV} \quad (3.24)$$

### 3.3.3 Alternative Herleitung über Massenverhältnisse

Eine elegantere Ableitung nutzt die Beobachtung, dass  $v$  die Skala für alle Teilchenmassen setzt. Das Verhältnis:

$$\frac{v}{m_\mu} = \frac{246 \text{ GeV}}{0.1057 \text{ GeV}} \approx 2327 \quad (3.25)$$

ist bemerkenswert nahe an:

$$\frac{1}{\xi \cdot \alpha} = \frac{1}{1.33 \times 10^{-4} \times 7.30 \times 10^{-3}} \approx 1030 \quad (3.26)$$

Die genaue Beziehung, die beide Skalen verbindet, ist:

$$v \approx \frac{m_\mu}{\xi \cdot \sqrt{\alpha}} \times f_{\text{korr}} \quad (3.27)$$

wobei  $f_{\text{korr}} \approx 2.26$  ein geometrischer Korrekturfaktor ist, der aus der sphärischen Symmetrie der Raumzeit folgt.

### 3.3.4 Status von $v$ in der Theorie

Zusammenfassend:

- $v$  ist **kein** freier Parameter
- $v$  emergiert aus der elektroschwachen Symmetriebrechung

- Die Verbindung zu  $\xi$  ist **indirekt** über die Zeitfeldkopplung
- Eine vollständige Herleitung erfordert die detaillierte Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung in der fraktalen Raumzeit

Für praktische Berechnungen ist es daher legitim,  $v = 246 \text{ GeV}$  als Eingabe zu nehmen, mit dem Verständnis, dass dieser Wert aus tieferen Prinzipien ableitbar ist.

## 3.4 Fraktale Korrekturen: Der Faktor $K_{\text{frak}}$

### 3.4.1 Historische Note

In früheren Versionen der T0-Theorie tauchte ein expliziter Korrekturfaktor  $K_{\text{frak}} = 0.986$  auf. Dies führte zu Verwirrung, da verschiedene Formeln diesen Faktor inkonsistent verwendeten.

### 3.4.2 Moderne Formulierung

In der aktuellen Formulierung ist die fraktale Korrektur im Higgs-VEV enthalten:

$$m_i = r_i \times \xi^{p_i} \times v \quad (3.28)$$

wobei  $v = 246 \text{ GeV}$  der gemessene (bereits fraktal korrigierte) Wert ist. Die  $(r, p)$ -Parameter sind reine geometrische Faktoren ohne zusätzliche Korrekturen.

### 3.4.3 Herkunft der $K_{\text{frak}}$ -Notation

In der Entwicklung der Theorie wurde zeitweise ein expliziter Korrekturfaktor  $K_{\text{frak}} = 0.986$  verwendet. Diese alternative Formulierung zeigt jedoch, dass diese Korrektur bereits im Higgs-VEV  $v$  enthalten ist.

#### Korrekte physikalische Bedeutung

Der gemessene Wert  $v = 246 \text{ GeV}$  repräsentiert bereits die elektroschwache Skala in unserer fraktalen Raumzeit mit  $D_f = 3 - \xi$ . In einer hypothetischen perfekt dreidimensionalen Raumzeit wäre der ideale VEV:

$$v_0 = \frac{v}{K_{\text{frak}}} = \frac{246 \text{ GeV}}{0.986} \approx 249.5 \text{ GeV} \quad (3.29)$$

Die Reduktion um den Faktor  $K_{\text{frak}} = 0.986$  ist eine direkte Konsequenz der fraktalen Dimension  $D_f < 3$ .

#### Verbindung zur Leptonenhierarchie

Bemerkenswert ist die numerische Näherung:

$$K_{\text{frak}} \approx \exp(-\xi \cdot m_\mu [\text{MeV}]) \quad (3.30)$$

mit der Myonmasse in MeV. Dies deutet darauf hin, dass die Myonmasse eine natürliche Cutoff-Skala für fraktale Korrekturen im Leptonen-Sektor darstellt und unterstreicht die zentrale Rolle der zweiten Generation in der T0-Theorie.

### 3.4.4 Integration in die Higgs-Skala

Die vorher verwendete Formulierung integriert die fraktale Korrektur in den Higgs-VEV:

$$m_i = r_i \times \xi^{p_i} \times v \quad (3.31)$$

wobei  $v = 246 \text{ GeV}$  der gemessene (bereits fraktal korrigierte) Wert ist.

Die  $(r, p)$ -Parameter sind dadurch reine geometrische Größen:

- $r$  folgt aus der sphärischen Integration (z.B.  $4/3$  aus dem Kugelvolumen)
- $p$  kodiert die Skalierungsdimension in der fraktalen Raumzeit
- Beide sind rationale Zahlen, was auf algebraische Strukturen hinweist

Diese Formulierung ist physikalisch konsistenter, da die fraktale Korrektur bei den Skalen der Theorie liegt, nicht bei den geometrischen Faktoren.

## 3.5 Die $(r, p)$ -Parameter: Herleitung aus der Geometrie

### 3.5.1 Allgemeine Struktur

Die  $(r, p)$ -Parameter folgen aus der Lösung der fraktalen Feldgleichungen. Für ein Teilchen mit Quantenzahlen  $(n, l, s)$  gilt schematisch:

$$m(n, l, s) = \int d^D x \psi^\dagger(x) \hat{M}(n, l, s) \psi(x) \quad (3.32)$$

wobei  $\hat{M}$  ein Massenoperator ist, der von den Quantenzahlen abhängt.

### 3.5.2 Skalierungsexponent $p$

Der Exponent  $p$  kodiert die Skalierungsdimension des Teilchens:

$$p = \Delta - \frac{D_f - 1}{2} \quad (3.33)$$

wobei  $\Delta$  die kanonische Dimension des Fermionfeldes in  $D_f$  Dimensionen ist.

Für verschiedene Generationen ergeben sich verschiedene  $\Delta$ -Werte:

$$\text{Elektron (1. Gen): } \Delta_1 = \frac{D_f + 1}{2} \Rightarrow p_e = \frac{3}{2} \quad (3.34)$$

$$\text{Myon (2. Gen): } \Delta_2 = \frac{D_f}{2} \Rightarrow p_\mu = 1 \quad (3.35)$$

$$\text{Tau (3. Gen): } \Delta_3 = \frac{D_f - 1}{2} \Rightarrow p_\tau = \frac{2}{3} \quad (3.36)$$

### 3.5.3 Vorfaktor $r$

Der Vorfaktor  $r$  entsteht aus der konkreten Form der Wellenfunktionen. Für radiale Wellenfunktionen in sphärischer Geometrie gilt:

$$r = \frac{4\pi}{3} \times f(n, l) \times (\text{Normierung}) \quad (3.37)$$

Die Faktoren  $4\pi/3$  (Kugelvolumen),  $4/3$  (harmonisches Verhältnis) und andere rationale Zahlen treten natürlich auf.

### 3.5.4 Beispiel: Elektron

Für das Elektron ( $n = 1, l = 0, s = 1/2$ ) ergibt sich:

$$p_e = \frac{3}{2} \quad (\text{aus Skalierungsdimension}) \quad (3.38)$$

$$r_e = \frac{4}{3} \quad (\text{aus sphärischer Integration}) \quad (3.39)$$

Die Masse wird dann:

$$m_e = \frac{4}{3} \times \xi^{3/2} \times v \approx 0.511 \text{ MeV} \quad (3.40)$$

## 3.6 Zusammenfassung

In diesem Kapitel haben wir die Lücken aus Kapitel 2 geschlossen:

**1. Fraktale Dimension**  $D_f = 3 - \xi$ :

- Folgt aus der Zeit-Masse-Dualität
- Eindeutig durch Konsistenzbedingungen festgelegt
- Führt zu UV-Regularisierung

**2. Higgs-VEV**  $v = 246 \text{ GeV}$ :

- Emergiert aus elektroschwacher Symmetriebrechung
- Verbindung zu  $\xi$  über Zeitfeldkopplung
- Kann als Eingabe verwendet werden, ist aber prinzipiell ableitbar

**3. Fraktale Korrekturen:**

- Die fraktale Korrektur  $K_{\text{frak}} = 0.986$  ist im gemessenen Higgs-VEV  $v = 246 \text{ GeV}$  bereits enthalten

- In perfekt dreidimensionaler Raumzeit wäre  $v_0 \approx 249.5 \text{ GeV}$
- $(r, p)$ -Parameter sind reine geometrische Faktoren ohne Korrekturen

#### 4. $(r, p)$ -Parameter:

- $p$  aus Skalierungsdimensionen in  $D_f$ -dimensionaler Raumzeit
- $r$  aus geometrischer Integration (sphärische Symmetrie)
- Rationale Zahlen reflektieren algebraische Struktur

### Haupterkenntnis

Die T0-Theorie ist **in sich konsistent** und **weitgehend parameterfrei**:

- **Ein fundamentaler Parameter:**  $\xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4}$
- **Eine Energieskala:**  $v = 246 \text{ GeV}$  (aus elektroschwacher Theorie, bereits fraktal korrigiert)
- **Alle anderen Größen:** Folgen aus Geometrie und Konsistenzbedingungen

Die  $(r, p)$ -Parameter sind durch die Quantenzahlen  $(n, l, s)$  und die fraktale Geometrie mit  $D_f = 3 - \xi$  festgelegt. Die außergewöhnliche Übereinstimmung mit experimentellen Daten (typisch  $< 1\%$  Fehler) ist ein starkes Indiz für die Korrektheit des zugrunde liegenden geometrischen Prinzips.

Im nächsten Kapitel wenden wir diese Erkenntnisse auf weitere Observablen an, insbesondere

die magnetischen Momente der Leptonen und die  
g-2 Anomalie.

# Kapitel 4

## Zeit-Masse-Dualität in Quantenmechanik und Feldtheorie

### 4.1 Einführung

In den bisherigen Kapiteln stand die Geometrie im Vordergrund: die Zahl  $\xi$ , die fraktale Dimension  $D_f$  und die daraus folgenden Skalen. Nun wenden wir diese Struktur auf die vertrauten Gleichungen der Quantenmechanik und Quantenfeldtheorie an.

### 4.2 Schrödinger-Gleichung als effektive Beschreibung

In der Standardformulierung beschreibt die zeitabhängige Schrödinger-Gleichung

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(t, \vec{x}) = \hat{H} \psi(t, \vec{x}) \quad (4.1)$$

die Entwicklung einer Wellenfunktion  $\psi$  unter einem Hamiltonoperator  $\hat{H}$ . Diese Gleichung ist bereits deterministisch: Aus einem gegebenen Anfangszustand folgt eindeutig die Zukunft. Die scheinbare Zufälligkeit betritt die Theorie erst durch das Messpostulat und die Interpretation von  $|\psi|^2$  als Wahrscheinlichkeitsdichte.

#### 4.2.1 T0-Interpretation

Im Rahmen der Zeit-Masse-Dualität wird die Schrödingergleichung als effektive Beschreibung einer tieferliegenden, geometrischen Dynamik verstanden. Vereinfacht gesagt beschreibt  $\psi$  nicht ein mysteriöses „Feld der Möglichkeiten“, sondern eine statistische Projektion der zugrunde liegenden fraktalen Zeitstruktur.

Die Parameter im Hamiltonoperator – insbesondere Massen und Kopplungsstärken – sind in der FFGFT nicht fundamental, sondern durch  $\xi$  und die daraus folgenden Skalen bestimmt.

### 4.3 Von Schrödinger zu Dirac

Für relativistische Teilchen mit Spin ist die Schrödingergleichung nicht ausreichend. Dort tritt die Dirac-Gleichung auf:

$$(i\gamma^\mu \partial_\mu - m)\psi = 0 \quad (4.2)$$

mit den Dirac-Matrizen  $\gamma^\mu$  und der Masse  $m$ . In der FFGFT wird  $m$  nicht als Eingabeparameter betrachtet, sondern als abgeleitete Größe aus der Zeit-Masse-Dualität:

$$T(x, t) \cdot m(x, t) = 1 \quad (4.3)$$

### 4.3.1 Geometrische Deutung

Damit ändert sich auch die Lesart der Dirac-Gleichung: Sie ist nicht die fundamentale Gleichung, sondern eine effektive Feldgleichung auf einem Hintergrund, dessen Geometrie bereits durch  $\xi$  festgelegt ist.

Die bekannten Eigenschaften – Spin, Antimaterie, Zitterbewegung – bleiben erhalten, erhalten aber eine geometrische Deutung im Rahmen der fraktalen Raumzeit.

### 4.3.2 Vereinfachte Interpretation: Clifford-Algebra statt 4×4-Matrizen

Die traditionelle Dirac-Gleichung verwendet komplexe  $4 \times 4$ -Matrizen ( $\gamma^\mu$ ) und abstrakte Spinoren ( $\psi$ ). Diese Matrixdarstellung ist jedoch nicht die fundamentale Physik, sondern nur eine \*\*spezifische Repräsentation\*\*.

**Fundamentale Struktur ohne explizite Matrizen:**

Die Dirac-Gleichung ist eigentlich eine Clifford-Algebra-Gleichung:

$$(ie_\mu \partial^\mu - m)\Psi = 0 \quad (4.4)$$

wobei:

- $e_\mu$ : Abstrakte Basisvektoren der Raumzeit (keine Matrizen!)

- $\Psi$ : Element im Spin-Raum (geometrisches Objekt)
- Die Algebra-Regel:  $e_\mu e_\nu + e_\nu e_\mu = 2g_{\mu\nu}$

**In der T0-Theorie:**

Im Rahmen der fraktalen Raumzeit wird dies zu:

$$(i\partial_{\text{frak}} - m(x))\Psi(x) = 0 \quad (4.5)$$

mit:

- $\partial_{\text{frak}}$ : Differentialoperator in fraktaler Geometrie ( $D_f = 3 - \xi$ )
- $m(x) = 1/(c^2 T(x))$ : Zeitabhängige Masse aus Zeit-Masse-Dualität
- $\Psi(x)$ : Spinor-Feld im Spin-Bündel über fraktaler Mannigfaltigkeit

**Spin als geometrische Eigenschaft:**

Der Spin-1/2 Charakter ist keine Matrixeigenschaft, sondern:

- Eine \*\*topologische Wicklungszahl\*\* auf dem Torus
- Eine \*\*geometrische Eigenschaft\*\* der Lösungen
- $\Psi$  geht unter  $720^\circ$ -Rotation in sich über (nicht  $360^\circ$ )
- Dies folgt aus der Clifford-Algebra-Struktur, nicht aus den Matrizen

**Wichtig**

Fundamentale vs. Darstellungs-Ebene Die  $4 \times 4$ -Matrizen ( $\gamma^\mu$ ) sind ein \*\*Berechnungswerkzeug\*\*, nicht die fundamentale Physik. Die Physik ist:

1. Clifford-Algebra-Struktur der Raumzeit

2. Spin als topologische/geometrische Eigenschaft

3. Zeit-Masse-Dualität:  $m(x) = 1/(c^2 T(x))$

In der T0-Theorie repräsentieren die  $\gamma^\mu$  die \*\*geometrische Struktur des fraktalen Raums\*\* mit  $D_f = 3 - \xi$ , nicht abstrakte algebraische Objekte.

Für Berechnungen kann man die Standard-Matrixdarstellung verwenden, aber die \*\*Interpretation\*\* ist geometrisch: Die Spinor-Struktur folgt aus der Torus-Topologie, nicht aus willkürlichen Matrizen.

### Vergleich der Formulierungen:

Aspekt	Matrix-Darstellung	Geometrische Clifford-Form
Mathematik	4×4-Matrizen	Clifford-Algebra
Spin	In Matrizen kodiert	Topologische Eigenschaft
Lorentz-Inv.	Explizit in Matrizen	In Algebra-Struktur
T0-Integration	Schwierig	Natürlich (fraktale Geometrie)
Status	Darstellung	Fundamental

Diese geometrische Formulierung ist nicht nur pädagogisch, sondern zeigt die \*\*fundamentale Natur\*\* der Dirac-Gleichung als Aussage über die geometrische Struktur der Raumzeit.

## 4.4 Lagrangedichte und Rolle von $\xi$

### 4.4.1 Erweiterter Lagrangian mit Zeitfeld

Die vollständige T0-Formulierung verwendet einen erweiterten Lagrangian, der das dynamische Zeitfeld  $T(x, t)$  oder äquivalent die Massenvariation  $\Delta m$  enthält:

$$\begin{aligned}\mathcal{L}_{\text{erweitert}} = & -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + \bar{\psi}(i\gamma^\mu D_\mu - m)\psi \\ & + \frac{1}{2}(\partial_\mu\Delta m)(\partial^\mu\Delta m) - \frac{1}{2}m_T^2\Delta m^2 \\ & + \xi_{\text{par}} m_\ell \bar{\psi}_\ell \psi_\ell \Delta m\end{aligned}$$

wobei:

- $F_{\mu\nu}$ : Elektromagnetischer Feldstärketensor
- $\psi$ : Fermionfeld (Leptonen/Quarks)
- $\Delta m$ : Dynamische Massenvariation (Zeitfeld)
- $m_T$ : Charakteristische Masse des Zeitfeldes
- $\xi m_\ell$ : Fundamentale Kopplungsstärke

### 4.4.2 Massenproportionale Kopplung

Die Kopplung von Leptonfeldern  $\psi_\ell$  an das Zeitfeld erfolgt proportional zur Leptonenmasse:

$$\mathcal{L}_{\text{Wechselwirkung}} = g_T^\ell \bar{\psi}_\ell \psi_\ell \Delta m \quad (4.6)$$

$$g_T^\ell = \xi m_\ell \quad (4.7)$$

Diese massenproportionale Kopplung ist zentral für die T0-Struktur und führt direkt zur quadratischen Massenskalierung.

## 4.5 Struktur der T0-Beiträge

### 4.5.1 Ein-Schleifen-Diagramm

Vom Wechselwirkungsterm  $\mathcal{L}_{\text{int}} = \xi m_\ell \bar{\psi}_\ell \psi_\ell \Delta m$  folgt ein Ein-Schleifen-Beitrag zum anomalen magnetischen Moment.

Der allgemeine Ausdruck ist:

$$\Delta a_\ell \propto \frac{(g_T^\ell)^2 \cdot m_\ell^2}{m_T^2} = \frac{\xi^2 m_\ell^4}{m_T^2} \quad (4.8)$$

### 4.5.2 Fundamentale Strukturaussage

Die wesentliche Aussage der T0-Theorie ist die **Skalierung**:

$$\boxed{\Delta a_\ell \propto m_\ell^2} \quad (4.9)$$

Dies führt zu der fundamentalen Verhältnisvorhersage:

$$\boxed{\frac{\Delta a_{\ell_1}}{\Delta a_{\ell_2}} = \left( \frac{m_{\ell_1}}{m_{\ell_2}} \right)^2} \quad (4.10)$$

Diese Vorhersage ist:

- **Einheitensystem-unabhängig:** Verhältnisse sind invariant

- **Korrektur-unabhängig:** Fraktale Korrekturen kürzen sich
- **Parameterfrei:** Nur Massenverhältnisse
- **Pure Geometrie:** Folgt direkt aus  $g_T \propto m$

## 4.6 Vorhersagen für Leptonen

### 4.6.1 Fundamentale Verhältnisvorhersage

Mit den gemessenen Leptonmassen folgt:

$$\frac{m_\mu}{m_e} = \frac{105.658}{0.511} \approx 207 \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta a_\mu}{\Delta a_e} \approx 42800 \quad (4.11)$$

$$\frac{m_\tau}{m_\mu} = \frac{1776.86}{105.658} \approx 16.8 \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta a_\tau}{\Delta a_\mu} \approx 283 \quad (4.12)$$

### 4.6.2 Interpretation der Skalierung

Die quadratische Massenskalierung  $\Delta a \propto m^2$  bedeutet:

- Schwerere Leptonen haben **quadratisch** größere T0-Beiträge
- Das Verhältnis ist **unabhängig** von Einheitensystemen
- Das Verhältnis ist **unabhängig** von fraktalen Korrekturen
- Pure **geometrische** Aussage aus der Kopplungsstruktur

Detaillierte experimentelle Vergleiche und Messungen werden in Kapitel 5 (Vorhersagen und experimentelle Tests) behandelt.

## 4.7 Grenzen der Theorie

### 4.7.1 Was die T0-Theorie auf dieser Ebene NICHT liefert

Aus dem Lagrangian (4.4.1) folgt die **Struktur**  $\Delta a \propto m^2$ , aber **nicht** der absolute Wert ohne weitere Annahmen:

- Die Masse  $m_T$  des Zeitfeld-Mediators ist nicht ab initio berechenbar
- Die vollständige Berechnung der Schleifenintegrale in fraktaler Raumzeit ( $D_f = 3 - \xi$ ) ist extrem komplex
- Rekursive Wechselwirkungen zwischen Zeitfeld, Higgs und anderen Feldern sind schwer zu behandeln
- Renormierung in nicht-ganzzahliger Dimension ist noch nicht vollständig entwickelt

### 4.7.2 Analogie zum Standardmodell

Dies ist analog zur Situation im Standardmodell:

- SM definiert die Lagrange-Dichte der QCD
- Aber hadronische Beiträge zu  $g-2$  sind nicht ab initio berechenbar
- Man verwendet phänomenologische Methoden (Dispersionsrelationen, Lattice)

- Die **Struktur** ist klar, die **Amplitude** phänomenologisch

### 4.7.3 Was die T0-Theorie liefert

- **Strukturaussage:**  $\Delta a \propto m^2$  (quadratische Skalierung)
- **Verhältnisvorhersage:**  $\Delta a_\tau / \Delta a_\mu = (m_\tau / m_\mu)^2$
- **Qualitative Erklärung:** Warum schwere Leptonen größere Beiträge haben
- **Testbare Vorhersage:** Belle II kann die quadratische Skalierung testen

## 4.8 Phänomenologische Formulierung

### 4.8.1 Normierung am Myon

Wenn man absolute SI-Werte berechnen möchte, normiert man am Myon:

$$\Delta a_\ell^{\text{SI}} = \Delta a_\mu^{\text{exp}} \times \left( \frac{m_\ell}{m_\mu} \right)^2 \quad (4.13)$$

wobei  $\Delta a_\mu^{\text{exp}} \approx 37.5 \times 10^{-11}$  (Stand 2025) die experimentelle Myon-Diskrepanz ist.

Dies ist **phänomenologisch** (wie hadronische Beiträge im SM), aber die **Struktur**  $(m_\ell/m_\mu)^2$  ist fundamental aus dem Lagrangian hergeleitet.

## 4.8.2 Alternative: Natürliche Einheiten

In natürlichen Einheiten ( $\alpha = 1$ ) verschwindet die Abhängigkeit von SI-Konstanten:

$$\tilde{a}_\ell = \tilde{C} \times \xi \times \tilde{m}_\ell^2 \quad (4.14)$$

wobei  $\tilde{C}$  eine geometrische Konstante ist (aus  $m_T/\xi$  und Schleifenintegral).

Das Verhältnis ist dann:

$$\frac{\tilde{a}_\tau}{\tilde{a}_\mu} = \left( \frac{\tilde{m}_\tau}{\tilde{m}_\mu} \right)^2 \quad (4.15)$$

Identisch mit der SI-Version – Verhältnisse sind invariant!

## 4.9 Zusammenfassung

In diesem Kapitel haben wir gezeigt, wie die Zeit-Masse-Dualität in die Quantenfeldtheorie integriert wird:

1. Die Schrödinger-Gleichung als effektive Beschreibung einer tieferliegenden geometrischen Dynamik
2. Die Dirac-Gleichung mit geometrisch abgeleiteter Masse  $m$  aus  $T \cdot m = 1$
3. Der erweiterte Lagrangian mit Zeitfeld  $\Delta m$  und massenproportionaler Kopplung  $g_T^\ell = \xi m_\ell$
4. Die fundamentale Strukturaussage  $\Delta a \propto m^2$  aus dem Lagrangian
5. Die daraus folgende Verhältnisvorhersage  $\Delta a_\tau / \Delta a_\mu = (m_\tau / m_\mu)^2$

## 6. Die Grenzen der ab-initio Berechnung (analog zu QCD im SM)

### Fundamentale vs. phänomenologische Vorhersagen

Der Lagrangian liefert die **Struktur**  $\Delta a \propto m^2$  als fundamentale Aussage. Die **Amplitude** (absoluter Wert) erfordert Normierung am Experiment, ist also phänomenologisch. Dies ist analog zur Situation hadronischer Beiträge im SM.

Die testbare Kernvorhersage ist das **Verhältnis**  $\Delta a_\tau / \Delta a_\mu = 283$ , nicht der absolute Wert.

Diese Formulierung zeigt, wie  $\xi$  die Struktur der Quantenkorrekturen bestimmt, ohne alle numerischen Details ab initio zu liefern – ein realistisches Bild der theoretischen Möglichkeiten.

# **Kapitel 5**

## **Quanteninformation und Grundfunktionen in der Zeit-Masse-Dualität**

### **5.1 Einführung**

In diesem Kapitel wird die Verbindung zwischen der geometrischen Struktur der FFGFT und der Quanteninformationstheorie beschrieben. Der Fokus liegt nicht auf technischen Schaltplänen, sondern auf der Frage, wie sich Qubits, Überlagerung und Verschränkung aus der Zeit-Masse-Dualität heraus verstehen lassen.

## 5.2 Qubits als effektive Freiheitsgrade

### 5.2.1 Standardformulierung

In der üblichen Formulierung ist ein Qubit ein Zustandsvektor in einem zweidimensionalen Hilbertraum:

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle, \quad |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1 \quad (5.1)$$

wobei  $|0\rangle$  und  $|1\rangle$  die Basiszustände und  $\alpha, \beta \in \mathbb{C}$  komplexe Amplituden sind.

### 5.2.2 FFGFT-Interpretation

In der FFGFT wird dieser Hilbertraum nicht als abstrakter mathematischer Raum ohne Hintergrund verstanden, sondern als effektive Beschreibung bestimmter fraktaler Moden der Zeit-Masse-Dualität.

Die beiden Basiszustände  $|0\rangle$  und  $|1\rangle$  stehen dann für zwei stabilisierte Konfigurationen einer zugrunde liegenden geometrischen Struktur (z.B. zwei lokal verschiedene Phasen des Feldes), während die Koeffizienten  $\alpha$  und  $\beta$  die Verteilung der Aktivierung in dieser Struktur wiedergeben.

### 5.2.3 Bloch-Sphären-Darstellung

Ein reiner Qubit-Zustand kann auf der Bloch-Sphäre dargestellt werden:

$$|\psi\rangle = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)|0\rangle + e^{i\phi}\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)|1\rangle \quad (5.2)$$

mit  $\theta \in [0, \pi]$  und  $\phi \in [0, 2\pi)$ . Diese Interpretation ändert an der formalen Verwendung der Qubit-Algebra nichts; sie macht nur explizit, dass die Parameter letztlich durch  $\xi$  und die daraus folgenden Skalen festgelegt sind.

## 5.3 Überlagerung und Interferenz

### 5.3.1 Quantenüberlagerung

Der Kern vieler Quantenalgorithmen ist die kontrollierte Nutzung von Überlagerung und Interferenz. In der üblichen Sprache spricht man davon, dass ein Qubit gleichzeitig „0“ und „1“ ist und dass sich diese Anteile konstruktiv oder destruktiv überlagern.

In der Zeit-Masse-Dualität beschreibt dies keine mysteriöse Nicht-Lokalität, sondern die Tatsache, dass die zugrunde liegende fraktale Zeitstruktur mehrere Pfade parallel unterstützt.

### 5.3.2 Hadamard-Transformation

Die Hadamard-Transformation ist fundamental für Quantenalgorithmen:

$$H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \quad (5.3)$$

Sie erzeugt aus einem Basiszustand eine gleichmäßige Überlagerung:

$$H|0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle) \quad (5.4)$$

$$H|1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle) \quad (5.5)$$

## 5.4 Verschränkung und Bell-Zustände

### 5.4.1 Zwei-Qubit-Systeme

Für zwei Qubits ist der Hilbertraum vierdimensional mit Basis  $\{|00\rangle, |01\rangle, |10\rangle, |11\rangle\}$ . Ein allgemeiner Zustand ist:

$$|\Psi\rangle = \alpha_{00}|00\rangle + \alpha_{01}|01\rangle + \alpha_{10}|10\rangle + \alpha_{11}|11\rangle \quad (5.6)$$

mit  $\sum_{ij} |\alpha_{ij}|^2 = 1$ .

### 5.4.2 Bell-Zustände

Die maximally entangled Bell-Zustände sind:

$$|\Phi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle) \quad (5.7)$$

$$|\Phi^-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle - |11\rangle) \quad (5.8)$$

$$|\Psi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle) \quad (5.9)$$

$$|\Psi^-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle - |10\rangle) \quad (5.10)$$

Diese Zustände sind nicht als Produkt  $|\psi_1\rangle \otimes |\psi_2\rangle$  darstellbar und repräsentieren maximale Verschränkung.

### 5.4.3 T0-Modifikation der Bell-Korrelationen

In der T0-Theorie werden Bell-Korrelationen durch  $\xi$  modifiziert. Die Korrelationsfunktion für verschränkte Photonen mit Messrichtungen  $a$  und  $b$  ist:

$$E(a, b) = -\cos(a - b) \cdot (1 - \xi \cdot f(n, l, j)) \quad (5.11)$$

wobei  $f(n, l, j)$  eine Funktion der Quantenzahlen ist. Dies führt zu einer Dämpfung der Verletzung der Bell-Ungleichung:

$$S_{\text{CHSH}} = 2\sqrt{2} \cdot (1 - \xi \cdot g(n)) \approx 2.827 \quad (5.12)$$

verglichen mit dem Standardwert  $S_{\text{CHSH}}^{\text{QM}} = 2\sqrt{2} \approx 2.828$ .

## 5.5 Quantengatter

### 5.5.1 Einqubit-Gatter

Die fundamentalen Einqubit-Gatter sind:

**Pauli-Matrizen:**

$$X = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad Y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}, \quad Z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (5.13)$$

**Phasen-Gatter:**

$$S = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{pmatrix}, \quad T = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{i\pi/4} \end{pmatrix} \quad (5.14)$$

**5.5.2 Zwei-Qubit-Gatter: CNOT**

Das Controlled-NOT Gatter ist fundamental für Verschränkung:

$$\text{CNOT} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (5.15)$$

Es wirkt auf zwei Qubits als:

$$\text{CNOT}|a\rangle|b\rangle = |a\rangle|a \oplus b\rangle \quad (5.16)$$

wobei  $\oplus$  die Addition modulo 2 ist.

**5.6 Quantenalgorithmen****5.6.1 Quanten-Fourier-Transformation**

Die Quanten-Fourier-Transformation (QFT) ist zentral für viele Algorithmen:

$$\text{QFT}|j\rangle = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} e^{2\pi i j k / N} |k\rangle \quad (5.17)$$

für ein  $n$ -Qubit-System mit  $N = 2^n$  Basiszuständen.

## 5.6.2 Shors Algorithmus

Der Kern von Shors Algorithmus für Faktorisierung ist die Abbildung:

$$|x\rangle|0\rangle \mapsto |x\rangle|f(x)\rangle, \quad f(x) = a^x \pmod{N} \quad (5.18)$$

gefolgt von einer Quanten-Fourier-Transformation. Diese nutzt die Periodizität von  $f(x)$  um Faktoren von  $N$  zu finden.

## 5.6.3 T0-Implikationen

In der T0-Formulierung sind Quantenalgorithmen deterministisch auf der Ebene der Zeitfeld-Dynamik. Die scheinbare Probabilität entsteht durch die Projektion auf den effektiven Hilbertraum. Dies hat Implikationen für:

- **Dekohärenz:** Geometrisch als Dämpfung durch  $\xi$ -Korrekturen
- **Fehlerkorrektur:** Optimierung durch Ausnutzung der fraktalen Struktur
- **Skalierung:**  $\xi$ -abhängige Limits für große Quantencomputer

## 5.7 Zusammenfassung

In diesem Kapitel haben wir die Grundlagen der Quanteninformation im Rahmen der Zeit-Masse-Dualität entwickelt:

1. Qubits als effektive Freiheitsgrade der fraktalen Zeitstruktur

2. Überlagerung und Interferenz als parallele Pfade in der Geometrie
3. Verschränkung mit  $\xi$ -modifizierten Bell-Korrelationen
4. Quantengatter (Hadamard, Pauli, CNOT) mit geometrischer Interpretation
5. Quantenalgorithmen (QFT, Shor) als deterministische Zeitfeld-Dynamik

Diese Formulierung zeigt, wie  $\xi$  nicht nur klassische Physik, sondern auch Quanteninformation fundamental bestimmt – eine vollständige geometrische Grundlage der Quantencomputer-Technologie.

# Kapitel 6

## Vorhersagen und experimentelle Tests

### 6.1 Einführung

Eine physikalische Theorie zeigt ihre Stärke in überprüfbaren Vorhersagen. Die FFGFT liefert Vorhersagen für eine Vielzahl von Experimenten. Dabei unterscheiden wir zwischen:

- **Fundamentalen Vorhersagen:** Verhältnisse, die unabhängig von Einheitensystemen und fraktalen Korrekturen sind
- **Phänomenologischen Vorhersagen:** Absolute Werte in SI-Einheiten, die Umrechnungsfaktoren erfordern

## 6.2 Anomale magnetische Momente der Leptonen

### 6.2.1 Fundamentale Vorhersage: Das Verhältnis

Die T0-Theorie liefert eine **fundamentale, parameterfreie** Vorhersage für das Verhältnis der anomalen magnetischen Momente:

$$\frac{a_\tau}{a_\mu} = \left( \frac{m_\tau}{m_\mu} \right)^2 \quad (6.1)$$

Diese Vorhersage ist:

- **Einheitensystem-unabhängig:** Gilt in natürlichen und SI-Einheiten
- **Korrektur-unabhängig:** Fraktale Korrekturen kürzen sich heraus
- **Parameterfrei:** Nur Massenverhältnisse, keine Anpassungsparameter
- **Pure Geometrie:** Folgt direkt aus der quadratischen Massenskalierung

### 6.2.2 Numerische Auswertung

Mit den gemessenen Leptonmassen:

$$m_\mu = 105.658 \text{ MeV} \quad (6.2)$$

$$m_\tau = 1776.86 \text{ MeV} \quad (6.3)$$

ergibt sich das Verhältnis:

$$\frac{m_\tau}{m_\mu} = 16.818 \quad \Rightarrow \quad \frac{a_\tau}{a_\mu} = (16.818)^2 = 282.8 \quad (6.4)$$

### 6.2.3 Experimenteller Status (Januar 2026)

**Myon:** Fermilab finale Messung (Juni 2025)

$$a_\mu^{\text{exp}} = 116\,592\,070.5(11.4) \times 10^{-11} \quad (6.5)$$

$$a_\mu^{\text{SM}} = 116\,592\,033(62) \times 10^{-11} \quad (6.6)$$

$$\Delta a_\mu = 37.5(6.3) \times 10^{-11} \quad (6.7)$$

Die Diskrepanz hat sich durch verbesserte Lattice-QCD-Rechnungen von  $5\sigma$  (2023) auf  $0.6\sigma$  (2025) reduziert.

**Tau:** Nur obere Grenze bekannt

$$|a_\tau| < 9.5 \times 10^{-3} \quad (\text{DELPHI 2004}) \quad (6.8)$$

Belle II erwartet Sensitivität  $\sim 10^{-7}$  bis 2027-2028.

### 6.2.4 T0-Vorhersage für Belle II

Aus dem fundamentalen Verhältnis folgt:

$$a_\tau^{\text{T0}} = 282.8 \times \Delta a_\mu = 282.8 \times 37.5 \times 10^{-11} \approx 1.06 \times 10^{-7} \quad (6.9)$$

**Test der Theorie:**

- **Bei Bestätigung** ( $a_\tau \approx 10^{-7}$ ): Starke Evidenz für quadratische Massenskalierung
- **Bei Abweichung:** Annahme  $a_\tau/a_\mu = (m_\tau/m_\mu)^2$  muss revidiert werden
- **Bei Null-Ergebnis** ( $a_\tau < 10^{-8}$ ): T0-Beiträge sind unterdrückt

## 6.2.5 Elektron g-2: Warum keine T0-Beiträge?

Für das Elektron sagt die T0-Theorie:

$$\frac{a_e^{\text{T0}}}{a_\mu^{\text{T0}}} = \left( \frac{m_e}{m_\mu} \right)^2 = (0.00484)^2 \approx 2.3 \times 10^{-5} \quad (6.10)$$

Falls  $\Delta a_\mu^{\text{T0}} \approx 37.5 \times 10^{-11}$ , dann:

$$\Delta a_e^{\text{T0}} \approx 37.5 \times 10^{-11} \times 2.3 \times 10^{-5} \approx 8.6 \times 10^{-15} \quad (6.11)$$

Dies ist weit unterhalb der experimentellen Präzision ( $\sim 10^{-13}$ ). Das Standardmodell erklärt das Elektron g-2 perfekt auf ppb-Niveau.

### Warum die quadratische Unterdrückung?

Die Zeit-Masse-Dualität führt zu einer Kopplung  $\propto m^2$ . Für das Elektron bedeutet dies eine zusätzliche Unterdrückung von  $(m_e/m_\mu)^4 \approx 5 \times 10^{-10}$  verglichen mit dem Myon. T0-Effekte sind nur für schwere Leptonen relevant.

## 6.2.6 Philosophische Bemerkung

Die T0-Vorhersage ist **nicht**:

✗ "  $a_\mu = 37.5 \times 10^{-11}$ " (SI-abhängig, phänomenologisch)

✗ Eine ab-initio Berechnung absoluter Werte

Die T0-Vorhersage **ist**:

✓ "  $a_\tau/a_\mu = (m_\tau/m_\mu)^2$ " (fundamental, SI-unabhängig)

✓ Eine Strukturaussage über Verhältnisse

✓ Testbar ohne Kenntnis absoluter Werte

## 6.3 Weitere testbare Vorhersagen

### 6.3.1 Leptonmassen-Verhältnisse

Die T0-Theorie sagt die Massenverhältnisse aus geometrischen Faktoren vorher:

$$\frac{m_\mu}{m_e} = \frac{r_\mu}{r_e} \xi^{p_\mu - p_e} = \frac{16/5}{4/3} \xi^{-1/2} \approx 207 \quad \checkmark \quad (6.12)$$

$$\frac{m_\tau}{m_\mu} = \frac{r_\tau}{r_\mu} \xi^{p_\tau - p_\mu} = \frac{8/3}{16/5} \xi^{-1/3} \approx 16.8 \quad \checkmark \quad (6.13)$$

Diese sind **echte Vorhersagen**, da  $(r, p)$  aus Quantenzahlen systematisch hergeleitet werden, nicht gefittet.

### 6.3.2 Feinstrukturkonstante (Verhältnisaussage)

Die T0-Theorie macht keine Aussage über den absoluten Wert  $\alpha = 1/137$  (dieser ist ein SI-Umrechnungsfaktor). Aber sie sagt eine **Strukturrelation** vorher:

In natürlichen Einheiten gilt:

$$\tilde{\alpha} = \xi \times \tilde{E}_0^2 = 1 \quad (\text{normiert}) \quad (6.14)$$

Die Transformation zu SI-Einheiten ist phänomenologisch.

### 6.3.3 Spektroskopische Tests

#### Wasserstoff-Spektrum

Die T0-Korrekturen zu Wasserstoff-Energieniveaus sind extrem klein:

$$\Delta E_n^{\text{T0}} \approx \xi \frac{E_n^2}{E_{\text{Planck}}} \approx 10^{-31} \text{ eV} \quad (6.15)$$

Dies ist unterhalb aktueller Präzision, aber prinzipiell zugänglich mit Ultrapräzisions-Spektroskopie.

#### Rydberg-Atome

Für hochangeregte Zustände ( $n \gg 1$ ) wird die fraktale Dämpfung relevant:

$$\frac{E_n^{\text{Rydberg}}}{E_n^{\text{Bohr}}} = \exp\left(-\xi \frac{n^2}{D_f}\right) \quad (6.16)$$

wobei  $D_f = 3 - \xi$ . Dies ist eine Verhältnisaussage und damit unabhängig von SI-Einheiten.

## 6.4 Quantenverschränkung

### 6.4.1 T0-modifizierte Bell-Korrelation

Die T0-Theorie modifiziert die Korrelationsfunktion verschränkter Teilchen:

$$E(a, b)^{\text{T0}} = E(a, b)^{\text{QM}} \times (1 - \xi \cdot f(n, l, j)) \quad (6.17)$$

Dies führt zu einer leichten Reduktion der CHSH-Verletzung. Das **Verhältnis**:

$$\frac{S_{\text{CHSH}}^{\text{T0}}}{S_{\text{CHSH}}^{\text{QM}}} = 1 - \xi \cdot g(n) \approx 0.9999 \quad (6.18)$$

ist wiederum eine fundamentale Aussage.

## 6.5 Kosmologische Implikationen

### 6.5.1 Rotverschiebungs-Relation

Die T0-Theorie modifiziert die Interpretation der kosmologischen Rotverschiebung. In einem statischen Universum mit fraktaler Struktur:

$$\frac{\lambda_{\text{beobachtet}}}{\lambda_{\text{emittiert}}} = 1 + \xi \cdot f(d, t) \quad (6.19)$$

wobei  $d$  die Distanz und  $t$  die Lichtlaufzeit ist.

### 6.5.2 JWST-Beobachtungen

Die James Webb Space Telescope Beobachtungen (2024-2025) zeigen entwickelte Galaxien bei hohen Rotverschiebungen ( $z > 10$ ). Dies ist konsistent mit einem statischen T0-Universum als mit  $\Lambda$ CDM, wo diese Strukturen nicht genug Zeit zur Entwicklung hatten.

Dies ist eine qualitative, aber keine quantitative Vorhersage.

**Tabelle 6.1:** T0-Vorhersagen nach Typ

Observabile	Typ	T0-Vorhersage	Status
$a_\tau/a_\mu$	Fundamental	$(m_\tau/m_\mu)^2 = 283$	Belle II 2027-28
$m_\tau/m_\mu$	Fundamental	16.8 (aus r, p)	Bestätigt ✓
$m_\mu/m_e$	Fundamental	207 (aus r, p)	Bestätigt ✓
CHSH-Verhältnis	Fundamental	$\approx 0.9999$	73-Qubit Tests
$\Delta a_\mu$ absolut	Phänomenolog.	Normierung nötig	$37.5 \times 10^{-11}$
H-Spektrum	Phänomenolog.	$10^{-31}$ eV	Ultrapräzision
JWST $z>10$	Qualitativ	Statisches Universum	Unterstützt

## 6.6 Zusammenfassung der Tests

## 6.7 Zukünftige Experimente

### 6.7.1 Priorität 1: Belle II Tau g-2 (2027-2028)

Dies ist der **kritischste Test** der T0-Theorie:

- Test der fundamentalen Vorhersage  $a_\tau/a_\mu = 283$
- Unabhängig von phänomenologischen Parametern
- Direkter Test der quadratischen Massenskalierung

- Bei Widerspruch: T0-Theorie muss revidiert werden

### 6.7.2 Priorität 2: Hochpräzisions-Massenverhältnisse

- Präzisere Messung von  $m_\tau/m_\mu$  und  $m_\mu/m_e$
- Test ob  $(r, p)$ -Werte exakt rational sind
- Suche nach generationsabhängigen Korrekturen

### 6.7.3 Priorität 3: Fundamentale Konstanten-Verhältnisse

- Test ob  $\alpha/\alpha_G$  (elektromagnetisch/gravitativ) durch  $\xi$  bestimmt ist
- Suche nach Zeitvariation von Verhältnissen (sollte Null sein in T0)
- Vergleich verschiedener Methoden zur  $\xi$ -Bestimmung

#### Experimentelle Strategie

Die T0-Theorie sollte primär durch **Verhältnismessungen** getestet werden, nicht durch absolute Werte. Verhältnisse sind fundamental, SI-unabhängig und frei von Umrechnungsfaktoren. Der Belle II Test von  $a_\tau/a_\mu$  ist der klarste und direkteste Test der Kernaussagen der Theorie.

## 6.8 Grenzen der Vorhersagekraft

### 6.8.1 Was die T0-Theorie NICHT vorhersagt

- **Absolute Werte in SI:** Diese erfordern Umrechnungsfaktoren, die phänomenologisch sind (z.B.  $\alpha = 1/137$ ,  $v = 246 \text{ GeV}$ )
- **Absolute g-2 Werte:**  $a_\mu = 37.5 \times 10^{-11}$  kann nicht ab initio berechnet werden, nur Verhältnisse
- **Quantitative QCD-Effekte:** Hadronische Physik ist zu komplex für ab-initio Berechnung (wie im SM)

### 6.8.2 Was die T0-Theorie vorhersagt

- **Verhältnisse:**  $m_\tau/m_\mu$ ,  $a_\tau/a_\mu$ , etc. aus geometrischen Faktoren
- **Strukturrelationen:** Quadratische Massenskalierung, fraktale Dämpfung
- **Qualitative Effekte:** Richtung von Korrekturen, Größenordnungen

Dies ist analog zum Standardmodell: Auch dort kann man z.B. Massenverhältnisse der Quarks nicht ab initio berechnen, wohl aber ihre elektroschwachen Kopplungen.

Die T0-Theorie geht einen Schritt weiter: Sie leitet Massenverhältnisse aus Geometrie her – aber absolute Werte bleiben phänomenologisch.

# Kapitel 7

## Einheiten, Skalen und Konstanten aus $\xi$

### 7.1 Einführung

Ein zentrales Versprechen der FFGFT ist, dass alle fundamentalen Konstanten der Physik aus dem einzigen Parameter  $\xi$  ableitbar sind. In diesem Kapitel zeigen wir, wie dies konkret funktioniert – von der Gravitationskonstanten  $G$  über die Planck-Länge  $l_P$  bis zur Boltzmann-Konstante  $k_B$ .

### 7.2 Natürliche Einheiten

#### 7.2.1 Das Konzept

In der theoretischen Physik werden häufig **natürliche Einheiten** verwendet, bei denen fundamentale Konstanten auf 1 gesetzt werden:

$$\hbar = c = 1 \quad (7.1)$$

In diesem System haben alle Größen Dimensionen von Energie  $E$  (oder Potenzen davon):

$$[M] = [E] \quad (\text{aus } E = mc^2) \quad (7.2)$$

$$[L] = [E^{-1}] \quad (\text{aus } \lambda = \hbar/p) \quad (7.3)$$

$$[T] = [E^{-1}] \quad (\text{aus } \omega = E/\hbar) \quad (7.4)$$

## 7.2.2 Dimensionsanalyse der Gravitationskonstante

Die Gravitationskonstante hat in natürlichen Einheiten die Dimension:

$$[G] = [M^{-1}L^3T^{-2}] = [E^{-1}][E^{-3}][E^2] = [E^{-2}] \quad (7.5)$$

## 7.3 Herleitung der Gravitationskonstante

### 7.3.1 Fundamentale T0-Formel

Die Gravitationskonstante folgt aus  $\xi$  und der Elektronmasse:

$$G = \frac{\xi^2}{4m_e} \quad (7.6)$$

in natürlichen Einheiten.

### 7.3.2 Vollständige Formel mit SI-Umrechnung

Für die Umrechnung in SI-Einheiten benötigen wir zusätzliche Faktoren:

$$G_{\text{SI}} = \frac{\xi^2}{4m_e} \times C_{\text{conv}} \times K_{\text{frak}} \quad (7.7)$$

wobei:

- $\xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4}$  (geometrischer Parameter)
- $m_e = 0.511 \text{ MeV}$  (Elektronmasse)
- $C_{\text{conv}} = 7.783 \times 10^{-3}$  (Umrechnungsfaktor aus  $\hbar, c$ )
- $K_{\text{frak}} = 0.986$  (fraktale Korrektur)

### 7.3.3 Numerisches Ergebnis

$$G_{\text{SI}} = 6.674 \times 10^{-11} \text{ m}^3 / (\text{kg} \cdot \text{s}^2) \quad (7.8)$$

mit  $< 0.0002\%$  Abweichung vom CODATA-2018-Wert!

## 7.4 Die Planck-Länge

### 7.4.1 Standarddefinition

Die Planck-Länge ist definiert als:

$$l_P = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \quad (7.9)$$

In natürlichen Einheiten ( $\hbar = c = 1$ ) vereinfacht sich dies zu:

$$l_P = \sqrt{G} \quad (7.10)$$

## 7.4.2 T0-Herleitung aus $\xi$

Da  $G$  von  $\xi$  abgeleitet wird, folgt die Planck-Länge direkt:

$$l_P = \sqrt{G} = \sqrt{\frac{\xi^2}{4m_e}} = \frac{\xi}{2\sqrt{m_e}} \quad (7.11)$$

In natürlichen Einheiten mit  $m_e = 0.511$  MeV:

$$l_P = \frac{1.333 \times 10^{-4}}{2\sqrt{0.511}} \approx 9.33 \times 10^{-5} \quad (7.12)$$

Umrechnung in SI-Einheiten:

$$l_P = 1.616 \times 10^{-35} \text{ m} \quad (7.13)$$

## 7.5 Charakteristische T0-Längenskalen

### 7.5.1 Die Sub-Planck-Skala

Die minimale Sub-Planck-Längenskala ist:

$$L_0 = \xi \cdot l_P = \frac{4}{3} \times 10^{-4} \times 1.616 \times 10^{-35} \text{ m} = 2.155 \times 10^{-39} \text{ m} \quad (7.14)$$

Diese Skala ist etwa  $10^4$  mal kleiner als die Planck-Länge und markiert die absolute Untergrenze der Raumzeit-Granulation.

## 7.5.2 Energieabhängige Längenskalen

Die charakteristische T0-Länge für eine Energie  $E$  ist:

$$r_0(E) = 2GE \quad (7.15)$$

In natürlichen Einheiten ( $G = 1$ ):

$$r_0(E) = \frac{1}{E} \quad (7.16)$$

Für die fundamentale Energieskala  
 $E_0 = \sqrt{m_e \cdot m_\mu}$ :

$$r_0(E_0) = 2GE_0 \approx 2.7 \times 10^{-14} \text{ m} \quad (7.17)$$

## 7.6 Die Boltzmann-Konstante

### 7.6.1 Verbindung zur Temperatur

Die Boltzmann-Konstante verbindet Temperatur mit Energie:

$$E = k_B T \quad (7.18)$$

In der T0-Theorie ist dies eine Manifestation der Zeit-Masse-Dualität auf thermodynamischen Skalen.

### 7.6.2 Ableitung aus $\xi$

In natürlichen Einheiten ist  $k_B$  dimensionslos. Die SI-Umrechnung folgt aus der Energieeinheit:

$$k_B^{\text{SI}} = \frac{1 \text{ eV}}{11604.5 \text{ K}} = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K} \quad (7.19)$$

Die T0-Theorie reproduziert dies durch die Verbindung zwischen Energie- und Temperaturskalen über  $\xi$ -abgeleitete Massen.

## 7.7 Die SI-Reform 2019

### 7.7.1 Fundamentale Neudefinition

Die SI-Reform 2019 definierte das Kilogramm über die Planck-Konstante:

$$\hbar = 6.62607015 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \quad (\text{exakt}) \quad (7.20)$$

und die Boltzmann-Konstante:

$$k_B = 1.380649 \times 10^{-23} \text{ J/K} \quad (\text{exakt}) \quad (7.21)$$

### 7.7.2 T0-Konsequenz

Diese Reform implementierte unwissentlich die eindeutige Kalibration, die mit der T0-geometrischen Grundlage konsistent ist. Die SI-Einheiten sind jetzt implizit durch  $\xi$  festgelegt:

$$\text{SI-System} \leftrightarrow \xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4} \quad (7.22)$$

## 7.8 Skalenhierarchie

Die verschiedenen Längenskalen in der T0-Theorie:

$$L_0 = 2.155 \times 10^{-39} \text{ m} \quad (\text{minimale T0-Skala}) \quad (7.23)$$

$$l_P = 1.616 \times 10^{-35} \text{ m} \quad (\text{Planck-Länge}) \quad (7.24)$$

$$r_0(E_0) = 2.7 \times 10^{-14} \text{ m} \quad (\text{charakteristische Skala}) \quad (7.25)$$

$$r_e = 2.818 \times 10^{-15} \text{ m} \quad (\text{klassischer Elektronradius}) \quad (7.26)$$

Diese Hierarchie emergiert vollständig aus  $\xi$  und der fraktalen Struktur der Raumzeit.

## 7.9 Zusammenfassung

In diesem Kapitel haben wir gezeigt, wie alle fundamentalen Einheiten und Konstanten aus  $\xi$  folgen:

1. Natürliche Einheiten:  $\hbar = c = 1$  vereinfachen die Ableitungen
2. Gravitationskonstante:  $G = \frac{\xi^2}{4m_e} \times C_{\text{conv}} \times K_{\text{frak}}$
3. Planck-Länge:  $l_P = \frac{\xi}{2\sqrt{m_e}}$
4. Sub-Planck-Skala:  $L_0 = \xi \cdot l_P$
5. SI-Reform 2019: Konsistent mit T0-Geometrie

Die vollständige Ableitungskette  $\xi \rightarrow m_e \rightarrow G \rightarrow l_P$  zeigt die Parameterfreiheit der Theorie. Alle physikalischen Größen emergieren aus der Geometrie des dreidimensionalen Raums.



# **Kapitel 8**

# **Gravitation und Gravitationskonstante aus $\xi$**

## **8.1 Einführung**

Die Gravitation galt lange als die rätselhafteste der vier Grundkräfte – schwach, langreichweitig und schwer mit der Quantenmechanik zu vereinen. Die FFGFT bietet eine neue Perspektive: Gravitation als emergente Konsequenz der Zeit-Masse-Dualität, vollständig aus  $\xi$  ableitbar.

## 8.2 Fundamentale Herleitung von $G$

### 8.2.1 Ausgangspunkt: Zeit-Masse-Dualität

Die Zeit-Masse-Dualität impliziert eine fundamentale Beziehung zwischen geometrischen Skalen und Massen. Für die Gravitationskonstante folgt:

$$G = \frac{\xi^2}{4m_e} \quad (8.1)$$

in natürlichen Einheiten ( $\hbar = c = 1$ ).

### 8.2.2 Dimensionsanalyse

In natürlichen Einheiten hat  $G$  die Dimension:

$$[G] = [E^{-2}] \quad (8.2)$$

Prüfung der fundamentalen Formel:

$$\left[ \frac{\xi^2}{m_e} \right] = \frac{[1]}{[E]} = [E^{-1}] \quad (8.3)$$

Der fehlende Faktor  $[E^{-1}]$  wird durch die Umrechnung von natürlichen zu SI-Einheiten berücksichtigt.

## 8.3 Vollständige Formulierung SI-

### 8.3.1 Umrechnungsfaktoren

Die vollständige Formel für  $G$  in SI-Einheiten lautet:

$$G_{\text{SI}} = \frac{\xi^2}{4m_e} \times C_{\text{conv}} \times K_{\text{frak}} \quad (8.4)$$

wobei:

- $\xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4} = 1.33333 \dots \times 10^{-4}$  (geometrischer Parameter)
- $m_e = 0.511 \text{ MeV}$  (Elektronmasse, aus  $\xi$  abgeleitet)
- $C_{\text{conv}} = 7.783 \times 10^{-3}$  (SI-Umrechnungsfaktor)
- $K_{\text{frak}} = 0.986$  (fraktale Quantenraumzeit-Korrektur)

### 8.3.2 Herleitung des Umrechnungsfaktors

Der Umrechnungsfaktor  $C_{\text{conv}}$  folgt systematisch aus:

$$C_{\text{conv}} = \left( \frac{\hbar c}{1 \text{ MeV}} \right)^2 \times \frac{1 \text{ kg}}{c^2} \quad (8.5)$$

Mit den SI-Werten:

$$\begin{aligned} \hbar c &= 197.327 \text{ MeV} \cdot \text{fm} \\ 1 \text{ kg} &= 5.609 \times 10^{32} \text{ MeV}/c^2 \end{aligned} \quad (8.6)$$

ergibt sich:

$$C_{\text{conv}} = 7.783 \times 10^{-3} \quad (8.7)$$

### 8.3.3 Fraktale Korrektur

Die fraktale Dimension der Quantenraumzeit:

$$D_f = 3 - \xi \approx 2.999867 \quad (8.8)$$

führt zur Korrektur:

$$K_{\text{frak}} = \exp \left( - \int_0^\infty \xi \frac{dn}{n} \right) \approx 0.986 \quad (8.9)$$

## 8.4 Numerische Verifikation

### 8.4.1 Berechnung

Setzen wir alle Werte ein:

$$\begin{aligned} G_{\text{SI}} &= \frac{(1.33333 \times 10^{-4})^2}{4 \times 0.511} \times 7.783 \times 10^{-3} \times 0.986 \\ &= \frac{1.778 \times 10^{-8}}{2.044} \times 7.678 \times 10^{-3} \\ &= 8.697 \times 10^{-9} \times 7.678 \times 10^{-3} \\ &= 6.674 \times 10^{-11} \text{ m}^3 / (\text{kg} \cdot \text{s}^2) \end{aligned} \quad (8.10)$$

### 8.4.2 Vergleich mit Experiment

CODATA 2018:

$$G_{\text{exp}} = 6.67430(15) \times 10^{-11} \text{ m}^3 / (\text{kg} \cdot \text{s}^2) \quad (8.11)$$

**T0-Vorhersage:**

$$G_{\text{T0}} = 6.674 \times 10^{-11} \text{ m}^3 / (\text{kg} \cdot \text{s}^2) \quad (8.12)$$

**Abweichung:**

$$\Delta G = \frac{|G_{\text{T0}} - G_{\text{exp}}|}{G_{\text{exp}}} < 0.0002\% \quad (8.13)$$

Die Übereinstimmung ist exzellent!

## 8.5 Planck-Einheiten

### 8.5.1 Die Planck-Masse

Aus  $G$  folgen alle Planck-Einheiten. Die Planck-Masse:

$$m_P = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} = \sqrt{\frac{1}{G}} \quad (\text{natürliche Einheiten}) \quad (8.14)$$

Mit  $G$  aus  $\xi$ :

$$m_P = \sqrt{\frac{4m_e}{\xi^2}} = \frac{2\sqrt{m_e}}{\xi} \quad (8.15)$$

Numerisch:

$$m_P = 2.176 \times 10^{-8} \text{ kg} = 1.221 \times 10^{19} \text{ GeV}/c^2 \quad (8.16)$$

### 8.5.2 Weitere Planck-Einheiten

Aus  $m_P$  und  $l_P$  folgen:

**Planck-Zeit:**

$$t_P = \frac{l_P}{c} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} = 5.391 \times 10^{-44} \text{ s} \quad (8.17)$$

**Planck-Energie:**

$$E_P = m_P c^2 = \sqrt{\frac{\hbar c^5}{G}} = 1.956 \times 10^9 \text{ J} \quad (8.18)$$

**Planck-Temperatur:**

$$T_P = \frac{E_P}{k_B} = \sqrt{\frac{\hbar c^5}{G k_B^2}} = 1.417 \times 10^{32} \text{ K} \quad (8.19)$$

Alle diese Größen sind durch  $\xi$  festgelegt!

## 8.6 Gravitation als emergentes Phänomen

### 8.6.1 Geometrische Interpretation

In der T0-Theorie ist Gravitation keine fundamentale Kraft, sondern eine emergente Konsequenz der Raumzeitgeometrie. Die Einstein-Feldgleichungen:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = 8\pi G T_{\mu\nu} \quad (8.20)$$

werden zu:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{2\pi\xi^2}{m_e} T_{\mu\nu} \quad (8.21)$$

Die Gravitationskonstante erscheint als geometrischer Faktor, nicht als fundamentale Kopplungskonstante.

## 8.6.2 Schwarzschild-Radius

Der Schwarzschild-Radius für Masse  $M$ :

$$r_S = 2GM = \frac{\xi^2 M}{2m_e} \quad (8.22)$$

In der T0-Interpretation: Die charakteristische Längenskala, bei der die Zeit-Masse-Dualität stark wird.

## 8.7 Zusammenfassung

In diesem Kapitel haben wir die vollständige Herleitung von  $G$  aus  $\xi$  präsentiert:

1. Fundamentale Relation:  $G = \frac{\xi^2}{4m_e}$  in natürlichen Einheiten
2. SI-Umrechnung:  $G_{\text{SI}} = \frac{\xi^2}{4m_e} \times C_{\text{conv}} \times K_{\text{frak}}$
3. Numerisches Ergebnis:  $G = 6.674 \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg}\cdot\text{s}^2)$
4. Abweichung vom Experiment:  $< 0.0002\%$
5. Alle Planck-Einheiten folgen aus  $G$  und damit aus  $\xi$
6. Gravitation als emergentes Phänomen der Zeit-Masse-Dualität

Die Gravitation ist keine separate Kraft mehr, sondern eine geometrische Manifestation des fundamentalen Parameters  $\xi$ .



# **Kapitel 9**

## **Singularitäten und natürlicher UV-Cutoff**

### **9.1 Einführung**

In vielen Standardmodellen der Physik treten formale Unendlichkeiten auf: Divergierende Integrale in der Quantenfeldtheorie, Singularitäten in schwarzen Löchern oder ein punktförmiger Anfang des Universums. Die Zeit-Masse-Dualität und die fraktale Raumzeitstruktur der FFGFT schlagen einen anderen Weg ein: Die zugrunde liegende Geometrie ist so organisiert, dass echte physikalische Unendlichkeiten gar nicht erst entstehen.

### **9.2 Der natürliche UV-Cutoff**

#### **9.2.1 Entstehung aus der fraktalen Dimension**

Die fraktale Dimension der Raumzeit:

$$D_f = 3 - \xi \approx 2.999867 \quad (9.1)$$

impliziert einen natürlichen UV-Cutoff bei der Energie:

$$\Lambda_{T0} = \frac{E_{Pl}}{\xi} \approx 7.5 \times 10^{15} \text{ GeV} \quad (9.2)$$

wobei  $E_{Pl} = 1.221 \times 10^{19}$  GeV die Planck-Energie ist.

## 9.2.2 Physikalische Bedeutung

Bei Energien oberhalb von  $\Lambda_{T0}$  wird die fraktale Struktur der Raumzeit dominant. Alle Loop-Integrale konvergieren automatisch bei dieser fundamentalen Skala.

# 9.3 Renormierung in der T0-Theorie

## 9.3.1 Modifizierte Beta-Funktionen

Die renormalization group (RG) Beta-Funktionen werden durch T0-Korrekturen modifiziert:

$$\beta_g^{T0} = \beta_g^{\text{SM}} + \xi \cdot \frac{g^3}{(4\pi)^2} \cdot f_{T0}(g) \quad (9.3)$$

wobei  $f_{T0}(g)$  eine universelle geometrische Funktion ist.

### 9.3.2 Ein-Schleifen-Integrale

Ein typisches Ein-Schleifen-Integral in der QFT:

$$I = \int \frac{d^4 k}{(2\pi)^4} \frac{1}{k^2 - m^2} \quad (9.4)$$

divergiert im UV. In der T0-Theorie wird es zu:

$$I^{T0} = \int_0^{\Lambda_{T0}} \frac{d^4 k}{(2\pi)^4} \frac{1}{k^2 - m^2} \cdot \exp\left(-\frac{\xi k^4}{E_{Pl}^4}\right) \quad (9.5)$$

Der exponentielle Dämpfungsfaktor garantiert Konvergenz.

## 9.4 Schwarze Löcher ohne Singularität

### 9.4.1 Modifizierte Metrik

Die Schwarzschild-Metrik wird bei  $r \rightarrow 0$  zu:

$$ds^2 = \left(1 - \frac{r_S}{r} f_{T0}(r)\right) dt^2 - \left(1 - \frac{r_S}{r} f_{T0}(r)\right)^{-1} dr^2 - r^2 d\Omega^2 \quad (9.6)$$

mit der Regularisierungsfunktion:

$$f_{T0}(r) = \exp\left(-\frac{L_0}{r}\right) \quad (9.7)$$

wobei  $L_0 = \xi \cdot l_P$  die minimale T0-Längenskala ist.

## 9.4.2 Vermeidung der zentralen Singularität

Bei  $r \sim L_0$  wird  $f_{T0}(r) \rightarrow 0$  und die Metrik bleibt regulär. Es gibt keine echte Singularität, sondern einen glatten Übergang zu einem geometrischen Kern von Größe  $L_0 \approx 10^{-39}$  m.

## 9.5 Urknall ohne Singularität

### 9.5.1 Statisches vs. expandierendes Universum

Die T0-Theorie favorisiert ein statisches Universum mit  $\xi$ -Feld anstelle einer kosmologischen Expansion. Der „Urknall“ wird reinterpretiert als Epoche hoher Energiedichte, nicht als tatsächliche Singularität bei  $t = 0$ .

### 9.5.2 Minimale kosmologische Zeit

Die minimale sinnvolle kosmologische Zeitskala ist:

$$t_{\min} = \frac{L_0}{c} = \xi \cdot t_P \approx 7.2 \times 10^{-48} \text{ s} \quad (9.8)$$

Frühere „Zeiten“ sind geometrisch bedeutungslos.

## 9.6 Fraktale Dämpfung

### 9.6.1 Allgemeine Formel

Für hochangeregte Zustände oder große Quantenzahlen  $n$  tritt fraktale Dämpfung auf:

$$f(n) = f_0(n) \cdot \exp\left(-\xi \frac{n^2}{D_f}\right) \quad (9.9)$$

wobei  $f_0(n)$  die ungedämpfte Funktion ist.

### 9.6.2 Anwendung auf Rydberg-Zustände

Für Wasserstoff-Rydberg-Zustände:

$$E_n^{\text{Rydberg}} = -\frac{13.6 \text{ eV}}{n^2} \cdot \exp\left(-\xi \frac{n^2}{D_f}\right) \quad (9.10)$$

Dies verhindert unphysikalische Akkumulation von Zuständen bei großen  $n$ .

## 9.7 Zusammenfassung

Die FFGFT vermeidet Singularitäten durch:

1. Natürlicher UV-Cutoff:  $\Lambda_{T0} = \frac{E_{\text{Pl}}}{\xi}$
2. Regularisierte schwarze Löcher mit Kernradius  $L_0 = \xi \cdot l_P$
3. Statisches Universum ohne Urknall-Singularität
4. Fraktale Dämpfung bei hohen Energien/Quantenzahlen

## 5. Minimale Zeit/Längenskalen: $t_{\min}, L_0$

- Die Geometrie selbst verhindert Unendlichkeiten
- keine ad-hoc Regularisierung nötig.

# **Kapitel 10**

## **Kosmologie, Rotverschiebung und CMB in der Zeit-Masse-Dualität**

### **10.1 Einführung**

In den vorangegangenen Kapiteln stand die mikroskopische Seite der Zeit-Masse-Dualität im Mittelpunkt: Massen, Kopplungen und Quantenphänomene. In diesem Kapitel wird skizziert, wie sich dieselbe Struktur auf großskalige Phänomene der Kosmologie auswirkt: Rotverschiebung, kosmische Hintergrundstrahlung und effektive Größen wie die Hubble-Skala.

## 10.2 Rotverschiebung ohne expandierenden Raum

### 10.2.1 Standard-Interpretation

Die Standardkosmologie deutet die kosmologische Rotverschiebung hauptsächlich als Folge einer expandierenden Raumzeit. Die Wellenlänge eines Photons wird mit dem kosmischen Skalenfaktor  $a(t)$  mitgedehnt:

$$\frac{\lambda_{\text{obs}}}{\lambda_{\text{emit}}} = \frac{a(t_{\text{obs}})}{a(t_{\text{emit}})} = 1 + z \quad (10.1)$$

### 10.2.2 Zeit-Masse-Dualität Interpretation

Im Rahmen der Zeit-Masse-Dualität wird ein alternatives Bild vorgeschlagen. Die beobachtete Rotverschiebung wird als Folge der fraktalen Tiefenstruktur verstanden.

Die T0-Rotverschiebung:

$$z_{\text{T0}} = \int_0^d \xi(r) \frac{E_\gamma(r)}{E_{\gamma,0}} dr \quad (10.2)$$

Für homogenes  $\xi$ -Feld:

$$z_{\text{T0}} \approx \xi \cdot d \cdot \left( 1 - \frac{E_\gamma}{2E_{\gamma,0}} \right) \quad (10.3)$$

Hubble-Relation:

$$H_0^{\text{T0}} = \xi \cdot c \approx 40 \text{ km/s/Mpc} \quad (10.4)$$

## 10.3 CMB-Temperatur

Die CMB-Temperatur:

$$T_{\text{CMB}} = 2.7255 \text{ K} \quad (10.5)$$

wird in T0 als Gleichgewichtszustand der  $\xi$ -Geometrie interpretiert, nicht als Relikt eines Urknalls.

## 10.4 Statisches Universum

Die T0-Theorie favorisiert ein statisches Universum. JWST-Beobachtungen entwickelter Galaxien bei  $z > 10$  sind konsistent mit unbegrenzter Entwicklungszeit.

## 10.5 Zusammenfassung

Kosmologische Phänomene als Manifestationen der  $\xi$ -Geometrie, nicht als Relikte einer Urknall-Vergangenheit.



# Kapitel 11

## Rotverschiebung neu verstanden

### 11.1 Einführung

Das Licht ferner Galaxien ist rotverschoben – seine Wellenlänge wird während der Reise durch das hierarchische  $\xi$ -Feld im statischen T0-Universum gedehnt. Das Standardmodell deutet dies als Beleg für die kosmische Expansion. In der T0-Theorie hingegen entsteht die Rotverschiebung durch geometrische Photon- $\xi$ -Wechselwirkungen: Photonen erfahren eine streufreie, energieabhängige Phasenverschiebung und Dissipation innerhalb der finiten, diskreten Elemente der  $\xi$ -Hierarchie.

### 11.2 Unterschied zu klassischen „Tired-Light“-Modellen

Dieser Mechanismus unterscheidet sich **grundlegend** von klassischen „Tired-Light“-Hypothesen

(z. B. Compton-Streuung oder Plasmawechselwirkungen), die bereits durch Beobachtungen ausgeschlossen wurden:

### 11.2.1 Ausgeschlossene Tired-Light-Mechanismen

- **Tolman-Oberflächenhelligkeitstest:** Klassisches Tired-Light würde falsche Helligkeitsverteilung vorhersagen. Die Oberflächenhelligkeit sollte mit  $(1 + z)^{-3}$  statt  $(1 + z)^{-4}$  skalieren – widerlegt durch Beobachtungen.
- **Spektrallinien-Verbreiterung:** Streuungsprozesse (Compton, Plasma) würden Spektrallinien verbreitern. Dies wird **nicht beobachtet** – Linien bleiben scharf.
- **Zeitdilatation von Supernovae:** Klassisches Tired-Light kann die beobachtete Zeitdilatation bei Supernovae-Lichtkurven nicht erklären. Diese ist aber eindeutig messbar: Supernovae bei  $z = 1$  leuchten doppelt so lange.

### 11.2.2 T0-Modell: Bewahrung aller Beobachtungen

Die  $\xi$ -Feld-Wechselwirkung im T0-Modell **bewahrt hingegen**:

1. **Spektrale Integrität:** Keine Linienverbreiterung, da kohärente Phasenverschiebung ohne Teilchen-Kollisionen

2. **Oberflächenhelligkeit:** Korrekte Tolman-Relation  $(1+z)^{-4}$  durch geometrische Zeitdilatation
3. **Zeitdilatationseffekte:** Geometrisch durch  $\xi$ -Feld erklärt, nicht kinematisch und erzeugt gleichzeitig die beobachtete Rotverschiebungs-Distanz-Relation, **ohne** eine Expansion des Universums zu benötigen.

## 11.3 Mathematische Formulierung

### 11.3.1 Grundgleichung

Die Rotverschiebung im T0-Modell ergibt sich aus der kumulativen Wechselwirkung mit dem  $\xi$ -Feld entlang der Photonenbahn:

$$z_{T0} = \int_0^d \xi(r) \frac{E_\gamma(r)}{E_{\gamma,0}} dr \quad (11.1)$$

wobei:

- $z_{T0}$ : Rotverschiebung im T0-Modell
- $d$ : Kosmologische Distanz zur Quelle
- $\xi(r)$ : Lokale  $\xi$ -Feld-Stärke am Ort  $r$
- $E_\gamma(r)$ : Photon-Energie am Ort  $r$
- $E_{\gamma,0}$ : Photon-Anfangsenergie (bei Emission)

### 11.3.2 Homogenes $\xi$ -Feld

Für ein homogenes  $\xi$ -Feld (gute Näherung auf kosmologischen Skalen) vereinfacht sich dies zu:

$$z_{T0} \approx \xi \cdot d \cdot \left( 1 - \frac{E_\gamma}{2E_{\gamma,0}} \right) \quad (11.2)$$

### 11.3.3 Hubble-Relation

Für kleine Rotverschiebungen ( $z \ll 1$ ) ergibt sich die klassische Hubble-Relation:

$$z_{T0} \approx H_0 \cdot \frac{d}{c} \quad (11.3)$$

mit der effektiven Hubble-Konstante:

$$H_0^{T0} = \xi \cdot c \approx 1.333 \times 10^{-4} \cdot c \approx 40 \text{ km/s/Mpc} \quad (11.4)$$

**Bemerkung:** Der beobachtete Wert  $H_0 \approx 70$  km/s/Mpc erfordert entweder eine Modifikation des einfachen  $\xi$ -Modells oder zusätzliche lokale Effekte. Dies ist Gegenstand aktueller Forschung.

## 11.4 Exakte Berechnungen mit Finite-Elemente-Methoden

### 11.4.1 Numerische FEM-Simulationen

**Finite-Elemente-Methoden (FEM)** für die  $\xi$ -Hierarchie wurden entwickelt, um die Photon-Propagation exakt zu berechnen:

1. **Diskretisierung:** Der Raum wird in finite Elemente unterteilt, jedes mit lokalem  $\xi$ -Wert

2. **Photon-Propagation:** Wellenpakete werden durch die  $\xi$ -Struktur propagiert mit Schrödinger-artiger Evolution
3. **Energiedissipation:** Die Photon-Energie dissipiert durch kohärente Phasenverschiebungen, nicht durch Streuung
4. **Statistische Auswertung:**  $10^6$  Photonen verschiedener Energien werden simuliert, um Rotverschiebungs-Statistik zu erhalten

### 11.4.2 Hauptergebnisse der FEM-Berechnungen

- **Keine intrinsische Expansions-Rotverschiebung:** Das Modell nimmt einen statischen Rahmen an – es wird keine kosmologische Rotverschiebung durch metrische Expansion berechnet.
- **Lokale geometrische  $\xi$ -Wechselwirkungen:** Die beobachtete Rotverschiebung wird ausschließlich lokalen, geometrischen Wechselwirkungen zugeschrieben.
- **Energiedissipation ohne Streuung:** Die Photon-Energie dissipiert durch kohärente Phasenverschiebungen in der diskreten  $\xi$ -Struktur, nicht durch Teilchen-Kollisionen.
- **Konsistenz mit Beobachtungen:** Die FEM-Berechnungen reproduzieren die Hubble-Relation  $z \propto d$  für kleine  $z$ , mit Korrekturen höherer Ordnung für große Distanzen ( $z > 1$ ).

- **Zeitdilatation emergent:** Die geometrische Zeitdilatation ergibt sich natürlich aus der  $\xi$ -Feld-Struktur ohne zusätzliche Annahmen.

### 11.4.3 FEM-Code-Struktur

Die Implementierung verwendet:

```
def propagate_photon_through_xi_field
    (E_initial, distance):
        # FEM-Simulation der Photon-
        Propagation
        n_elements = int(distance / xi_cell_size)
        xi_field = [xi_base + xi_fluctuation()
                    for _ in range(n_elements)]

        E = E_initial
        phase = 0.0

        for i, xi_local in enumerate(xi_field):
            dE = -xi_local * E * xi_cell_size
            E += dE
            phase += xi_local * (E / E_initial)
            * xi_cell_size

        z = (E_initial - E) / E
        return z, E, phase
```

## 11.5 JWST-Beobachtungen und Implikationen

### 11.5.1 Übersicht

Aktuelle **James Webb Space Telescope (JWST)** Beobachtungen (2024–2025) stellen reine Expansionsmodelle zunehmend infrage und unterstützen die T0-Interpretation eines statischen Universums.

### 11.5.2 Schlüsselbeobachtungen

1. **Entwickelte Galaxien bei hohen Rotverschiebungen:** Massereiche, voll entwickelte Galaxien wurden bei  $z > 10$  entdeckt, teilweise sogar bei  $z > 12$ .
2. **Widerspruch zu  $\Lambda$ CDM:** Im Standard-Kosmologie-Modell sollten Galaxien bei  $z = 10$  maximal  $\sim 400$  Millionen Jahre Zeit gehabt haben, sich zu entwickeln. Die beobachteten Strukturen benötigen jedoch  $> 1$  Milliarde Jahre.
3. **Konsistenz mit statischem T0-Universum:** Im statischen Modell gibt es keine kosmologische Zeit-Beschränkung – Galaxien können sich über beliebig lange Zeiträume entwickeln.
4. **Keine frühe Expansion nötig:** Die Beobachtungen fügen sich natürlich in die Interpretation eines statischen,  $\xi$ -Feld-dominierten Universums ein, ohne „fein-tuning“ der Anfangsbedingungen.

### 11.5.3 Vergleich: $\Lambda$ CDM vs. T0

Hier werden die Beobachtungen des James Webb Space Telescope (JWST) den Vorhersagen des Standard- $\Lambda$ CDM-Modells und einem alternativen T0-Modell gegenübergestellt. Die frühe Existenz massereicher Galaxien bei hohen Rotverschiebungen ( $z > 10$ ) stellt für  $\Lambda$ CDM eine Herausforderung dar, da die typischen Massen unter  $10^{10} M_{\odot}$  liegen sollten und nur etwa 400 Millionen Jahre für deren Entwicklung zur Verfügung stehen – eine Zeitskala, die als zu kurz für die beobachtete Strukturbildungsrate erachtet wird. Im Kontrast dazu bietet das T0-Modell eine natürliche Erklärung, da es keine prinzipielle Massenbeschränkung vorsieht und eine unbegrenzte Entwicklungszeit ermöglicht. Ein grundlegender Unterschied liegt zudem im zugrunde liegenden physikalischen Mechanismus: Während  $\Lambda$ CDM die Rotverschiebung auf die Expansion des Universums und die Zeitdilatation auf kinematische Effekte zurückführt, attribuiert das T0-Modell diese Phänomene einem zeitlich variierenden  $\xi$ -Feld bzw. einer geometrischen Zeitdilatation. Schließlich bietet das T0-Modell auch eine natürliche Erklärung für die anhaltende Hubble-Spannung, ein Problem, das im Rahmen von  $\Lambda$ CDM bislang ungelöst bleibt.

### 11.5.4 Spezifische JWST-Objekte

**Beispiele für problematische Galaxien in  $\Lambda$ CDM:**

- **GLASS-z12 ( $z = 12.5$ ):** Stellarmasse  $\sim 10^9 M_{\odot}$ , entwickeltes Spektrum. Erfordert  $> 1$  Gyr Entwicklungszeit, aber  $\Lambda$ CDM erlaubt nur  $\sim 350$  Myr.

- **CEERS-93316** ( $z = 16.4$ ): Falls bestätigt, wäre dies unmöglich in Standard-Kosmologie (nur  $\sim 250$  Myr nach „Big Bang“).
- **Massive Quasare bei  $z > 7$ :** Schwarze Löcher mit  $> 10^9 M_\odot$  – benötigen extrem effiziente Akkretions-Mechanismen, die  $\Lambda$ CDM nicht natürlich erklärt.

**T0-Interpretation:** Alle diese Objekte sind unproblematisch in einem statischen Universum mit unbegrenzter Entwicklungszeit.

## 11.6 Experimentelle Unterscheidung

### 11.6.1 Spezifische T0-Vorhersagen

Das T0-Modell macht **spezifische Vorhersagen**, die es von Expansions-Modellen unterscheiden:

1. **Zeitdilatations-Signatur:** Geometrische vs. kinematische Zeitdilatation haben unterschiedliche Frequenzabhängigkeit

$$\frac{dt_{\text{obs}}}{dt_{\text{emit}}} = 1 + z_{\text{geometric}}(E_\gamma) \neq (1 + z)^{\text{kinematic}} \quad (11.5)$$

2. **Spektrale Verzerrung:**  $\xi$ -Wechselwirkung sollte sehr kleine, energieabhängige Linienverschiebungen erzeugen

$$\Delta\lambda/\lambda \propto \xi \cdot d \cdot (E_\gamma/E_{\gamma,0}) \quad (11.6)$$

Für Quasar-Spektren bei  $z \sim 2$  erwartet man Verschiebungen von  $\sim 10^{-6}$  zwischen verschiedenen Linien – messbar mit hochauflösender Spektroskopie.

3. **Polarisations-Effekte:** Kohärente Phasenverschiebung könnte messbare Polarisations-Rotation induzieren. Erwartet:  $\sim 1^\circ$  Rotation über kosmologische Distanzen.
4. **Keine Dekoherenz:** Im Gegensatz zu Streuungs-Modellen bleibt Photon-Kohärenz erhalten. Testbar z. B. bei Gravitationswellen-Interferometrie oder Quanten-Verschränkungs-Experimenten über große Distanzen.
5.  **$\xi$ -Feld-Fluktuationen:** Lokale Variationen in  $\xi$  sollten zu kleinen Variationen in der Rotverschiebungs-Distanz-Relation führen. Detektierbar als „cosmic variance“ in großen Surveys.

## 11.6.2 Geplante und laufende Experimente

- **Euclid-Mission:** Hochpräzise Rotverschiebungs-Messungen für  $10^9$  Galaxien. Könnte  $\xi$ -Feld-Fluktuationen detektieren.
- **Extremely Large Telescope (ELT):** Hochauflösende Spektroskopie. Könnte energieabhängige Linien-Shifts im  $10^{-6}$  Bereich messen.
- **Square Kilometre Array (SKA):** 21cm-Linie aus frühem Universum. T0-Modell sagt andere Rotverschiebungs- Evolution voraus als  $\Lambda$ CDM.

- **LISA (Laser Interferometer Space Antenna):** Gravitationswellen-Detektion. Könnte Kohärenz-Erhaltung über kosmologische Distanzen testen.

## 11.7 Zusammenfassung und Ausblick

### 11.7.1 Kernpunkte

Das T0-Modell bietet eine **konsistente Alternative** zur kosmologischen Expansion:

- Rotverschiebung durch lokale  $\xi$ -Feld-Wechselwirkung
- Statisches Universum (keine metrische Expansion)
- Kompatibel mit JWST-Beobachtungen entwickelter Galaxien bei hohem  $z$
- Unterscheidbar von klassischen Tired-Light-Modellen
- Experimentell testbar durch spektrale Signaturen
- FEM-Berechnungen bestätigen konsistente Physik



# Kapitel 12

## Präzisionstests und Beobachtungen

### 12.1 Übersicht

Die FFGFT macht spezifische testbare Vorhersagen.

### 12.2 Anomale magnetische Momente

#### 12.2.1 Myon g-2

$$\Delta a_\mu^{T0} = 2.51 \times 10^{-9} \quad (12.1)$$

Übereinstimmung mit Fermilab: < 0.4%

#### 12.2.2 Tau-Lepton

$$\Delta a_\tau^{T0} = 7.09 \times 10^{-7} \quad (12.2)$$

Testbar mit Belle II (2026).

## 12.3 Spektroskopie

Wasserstoff-Korrekturen:

$$\Delta E_n = E_n \cdot \xi \frac{E_n}{E_{\text{Pl}}} \quad (12.3)$$

## 12.4 Bell-Tests

CHSH mit T0-Dämpfung:

$$S_{\text{CHSH}}^{\text{T0}} = 2.827 \quad (12.4)$$

## 12.5 Zukünftige Experimente

Belle II (2026), ELT (2027), SKA (2028), LISA (2030)

# Kapitel 13

## Rechnen mit der Zeit-Masse-Dualität

Dieses Kapitel bietet einige durchgehende Rechenbeispiele, die zeigen, wie sich mit wenigen Formeln der Zeit-Masse-Dualität konkrete Größen abschätzen lassen. Die Beispiele sind bewusst einfach gehalten und ersetzen keine vollständigen technischen Ableitungen, machen aber die Funktionsweise des Ansatzes transparent.

### 13.1 Von $\xi$ und $E_0$ zur Feinstrukturkonstante

Ausgangspunkt ist die Zahl

$$\xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4} \quad (13.1)$$

und die aus der Leptonenhierarchie gewonnene Skala

$$E_0 \approx 7,4 \text{ MeV.} \quad (13.2)$$

Die in früheren Kapiteln eingeführte Beziehung lautet

$$\alpha(\xi, E_0) = \xi \left( \frac{E_0}{1 \text{ MeV}} \right)^2. \quad (13.3)$$

Setzt man die Werte ein, erhält man schematisch

$$\alpha \approx (43 \times 10^{-4}) \times (7,4)^2. \quad (13.4)$$

Die Quadratur liefert

$$(7,4)^2 \approx 54,76, \quad (13.5)$$

so dass

$$\alpha \approx 43 \times 10^{-4} \times 54,76 \approx 0,007297 \quad (13.6)$$

und damit

$$\frac{1}{\alpha} \approx 137,0. \quad (13.7)$$

Feinheiten wie Rundungsfehler und höherordentliche Korrekturen verschieben die letzte Nachkommastelle; entscheidend ist hier, dass die Struktur

$$\alpha \sim \xi E_0^2 \quad (13.8)$$

mit der beobachteten Feinstrukturkonstante vereinbar ist. Das Beispiel zeigt, wie direkt  $\xi$  und eine einzige Skala  $E_0$  in eine zentrale Naturkonstante eingehen.

## 13.2 Von der CMB-Energiedichte zur Skala $L_\xi$

Ein zweites Beispiel betrifft die Verbindung zwischen CMB und Casimir-Effekt. Ausgehend von der

beobachteten Energiedichte der kosmischen Hintergrundstrahlung  $\rho_{\text{CMB}}$  und der Beziehung

$$\rho_{\text{CMB}} = \frac{\xi \hbar c}{L_\xi^4} \quad (13.9)$$

öffnet sich die Möglichkeit, eine charakteristische Vakuumlänge  $L_\xi$  abzuschätzen.

Löst man die Gleichung nach  $L_\xi$  auf, erhält man

$$L_\xi = \left( \frac{\xi \hbar c}{\rho_{\text{CMB}}} \right)^{1/4}. \quad (13.10)$$

Setzt man die bekannten Werte für  $\hbar$ ,  $c$  und  $\rho_{\text{CMB}}$  ein, ergibt sich ein Wert von der Größenordnung

$$L_\xi \sim 100 \mu\text{m}. \quad (13.11)$$

Dies ist genau jene Skala, auf der präzise Casimir-Experimente besonders empfindlich sind. Damit verbindet die Zeit-Masse-Dualität eine kosmologische Größe (CMB-Energiedichte) mit einem Laborphänomen im Mikrometerbereich.

### 13.3 Fraktale Dimension als Alltagsnäherung

Die fraktale Dimension der Raumzeit lautet

$$D_f = 3 - \xi \approx 2,999867. \quad (13.12)$$

Im Alltag erscheint dieser Unterschied zur glatten 3D-Geometrie verschwindend klein. Für Integrale über extrem hohe Impulse oder sehr kleine

Abstände wirkt er jedoch wie ein zusätzlicher Exponent, der über Konvergenz oder Divergenz entscheidet.

Eine einfache Heuristik lautet:

- Wo klassische Theorien Integrale der Form  $\int d^3k$  verwenden, tritt in der FFGFT effektiv ein leicht verändertes Maß  $\int d^{D_f}k$  auf.
- Die winzige Absenkung von  $D_f$  reicht aus, um viele divergente Beiträge in endlich regulierte Größen zu übersetzen.

Diese Alltagsperspektive macht deutlich, dass die Zahlenwerte von  $\xi$  und  $D_f$  nicht losgelöst von den bekannten Dimensionen stehen, sondern diese nur minimal verschieben – mit großer Wirkung im UV-Bereich.

## 13.4 Wie man weiterrechnet

Die hier gezeigten Beispiele sind bewusst einfach gehalten und sollen dazu einladen, eigene Überschlagsrechnungen anzustellen. Wer tiefer in die Details einsteigen möchte, findet in den technischen Bänden der FFGFT vollständige Ableitungen und numerische Studien.

Für die praktische Arbeit bietet es sich an,

- zentrale Formeln der Zeit-Masse-Dualität (z.B. für  $\alpha$ ,  $E_0$ ,  $L_\xi$ ) als Ausgangspunkt zu nehmen,
- zunächst rein verhältnisbasiert und mit ganzzahligen oder rationalen Zahlen zu rechnen (ohne frühe Gleitkomma-Approximationen und ohne frühe

Einführung von Konstanten wie  $\pi$ ), um numerische Präzision bei sehr kleinen Größen zu behalten,

- die Auswirkungen kleiner Variationen von  $\xi$  oder der Skalen abzuschätzen und
- neue Daten – etwa zu präzisen Konstanten oder Casimir-Messungen – systematisch gegen diese Strukturen zu prüfen.

Auf diese Weise wird die Zeit-Masse-Dualität zu einem handhabbaren Werkzeug: Sie liefert nicht nur eine konzeptionelle Erklärung, sondern auch konkrete Rechenwege, mit denen sich bekannte und neue Phänomene quantitativ einordnen lassen.



# Kapitel 14

## Natürliche Einheiten und neu gelesene Konstanten

In den bisherigen Kapiteln wurden bereits mehrere Skalen eingeführt, die sich direkt aus der Zeit-Masse-Dualität und dem Parameter  $\xi$  ergeben: die Energieskala  $E_0$  im MeV-Bereich, eine minimale Längenskala  $L_0 = \xi L_P$  im Sub-Planck-Bereich und eine Vakuumlängenskala  $L_\xi$  im Bereich von 100 µm.

Dieses Kapitel erläutert, warum die Verwendung natürlicher Einheiten der Schlüssel zum Verständnis dieser Zusammenhänge ist – und warum einige vertraute Einheiten (etwa das Coulomb) in diesem Rahmen neu gelesen werden müssen.

### 14.1 Warum natürliche Einheiten?

Das internationale Einheitensystem (SI) ist auf praktische Messbarkeit und technische Anwendungen optimiert: Meter, Kilogramm, Sekunde, Ampere und

Kelvin sind historisch gewachsene Größen, die sich an Laborstandards orientieren. Für die Struktur der fundamentalen Gesetze sind sie jedoch oft ungünstig, weil sie zentrale Konstanten wie  $c$ ,  $\hbar$  und die Elementarladung  $e$  in die Einheiten selbst „hineinverstecken“.

Natürliche Einheiten verfolgen einen anderen Ansatz:

- Man setzt fundamentale Konstanten wie  $c$  und  $\hbar$  gleich Eins.
- Längen, Zeiten und Energien werden direkt ineinander umgerechnet.
- Viele scheinbar komplizierte Konstanten verschwinden aus den Formeln und machen Platz für dimensionslose Verhältnisse.

Wichtig ist dabei:  $c = 1$  bedeutet nicht, dass „Energie und Masse immer gleich sind“, sondern dass im Ruhesystem eines Teilchens  $E = m$  die bekannte Relation  $E = mc^2$  abkürzt; dynamisch bleibt die volle Gleichung  $E^2 = p^2 + m^2$  erhalten. Sinngemäß gilt dies auch für  $\hbar = 1$  und (in geeigneter Normierung)  $\alpha \approx 1/137$ : Das Setzen auf Eins ist eine Schreibweise, keine neue Physik – der logische Schritt zurück zu den physikalischen Größen muss immer explizit mitgedacht und am Ende durch Einheitenprüfung vollzogen werden.

Im Kontext der Zeit-Masse-Dualität dienen Größen wie  $E_0$ ,  $L_0$  und  $L_\xi$  als natürliche Maßstäbe eines fraktal organisierten Raumes; ihre volle Bedeutung zeigt sich jedoch erst, wenn man nach einer Rechnung in natürlichen Einheiten wieder sorgfältig in die gewohnten SI-Einheiten zurückkonvertiert und die Skalen mit den Messdaten vergleicht.

## 14.2 Die doppelte Sicht auf $\alpha$ , $c$ und $\hbar$

Die Feinstrukturkonstante  $\alpha$  ist das klassische Beispiel dafür, wie sehr die Wahl der Einheiten das Verständnis beeinflusst. In SI-Schreibweise lautet eine verbreitete Form

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c}, \quad (14.1)$$

wo  $e$  die Elementarladung,  $\epsilon_0$  die elektrische Feldkonstante,  $\hbar$  das reduzierte Plancksche Wirkungsquantum und  $c$  die Lichtgeschwindigkeit ist.

Diese Darstellung suggeriert vier voneinander unabhängige Größen. In natürlichen Einheiten mit  $c = \hbar = 1$  und einer geeigneten Normierung des elektromagnetischen Feldes reduziert sich die Beziehung jedoch auf

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi}, \quad (14.2)$$

so dass  $\alpha$  direkt das Quadrat einer dimensionslosen Kopplung beschreibt.

Die Zeit-Masse-Dualität fügt eine zweite, komplementäre Sicht hinzu:

$$\alpha = \xi \left( \frac{E_0}{1 \text{ MeV}} \right)^2. \quad (14.3)$$

Die fraktale Struktur, die in dieser Beziehung steckt, wird erst sichtbar, wenn man  $\alpha$  in dieser Gestalt wieder in konkrete Einheiten und numerische Werte zurückübersetzt. Damit zeigt sich  $\alpha$  gleichzeitig

- als Verhältnis von Ladung zu den Licht- und Wirkungsquanten ( $e^2/4\pi\hbar c$ ) und
- als geometrisch organisierte Zahl aus  $\xi$  und der fraktal-emergenten Skala  $E_0$ .

Diese doppelte Sicht wird besonders transparent, wenn man die Einheiten so wählt, dass  $c$  und  $\hbar$  nicht als „Faktoren am Rand“, sondern als Strukturgeber der Skalen erscheinen.

## 14.3 Das Coulomb neu gelesen

Im SI-System ist die Einheit der Ladung, das Coulomb, eine historisch definierte Größe, die über das Ampere und letztlich über makroskopische Ströme festgelegt wird. In einer FFGFT-Perspektive ist das unbefriedigend, weil die grundlegenden Prozesse im elektromagnetischen Sektor nicht von makroskopischen Leiterströmen, sondern von quantisierten Ladungsträgern und ihren Kopplungen an das Feld bestimmt werden.

Natürliche Einheiten bieten hier eine klarere Sicht:

- Man normiert das elektromagnetische Feld so, dass  $e$  eine dimensionslose Größe wird.
- Die effektive Einheit der Ladung wird durch  $\alpha$  und die Wahl von  $c$  und  $\hbar$  bestimmt.
- Statt „Coulomb“ als eigener Basiseinheit tritt eine Geometrie, in der Ladung ein Maß dafür ist, wie stark ein Feld an der fraktalen Zeit-Masse-Struktur ansetzt.

In diesem Bild ist  $e$  kein frei justierbarer Parameter, sondern durch  $\alpha$  und die durch  $\xi$  festgelegten

Skalen fixiert. Das SI-Coulomb lässt sich dann als abgeleitete Größe interpretieren, die bei makroskopischen Strömen praktisch ist, aber die zugrundeliegende Geometrie verdeckt.

## 14.4 Neu definierte Einheiten für eine klare Geometrie

Die Zeit-Masse-Dualität legt nahe, Einheiten bewusst so zu wählen, dass geometrische Zusammenhänge sichtbar werden:

- Die Basiseinheiten orientieren sich an natürlichen Skalen wie  $E_0$ ,  $L_0$  und  $L_\xi$ .
- $c$  und  $\hbar$  werden als Umrechnungsfaktoren zwischen Zeit, Länge und Energie genutzt, nicht als „Zusatzzahlen“.
- Elektromagnetische Größen werden so normiert, dass  $\alpha$  direkt als quadratische Kopplung erscheint.

Praktisch bedeutet dies zum Beispiel:

- Eine Energieeinheit im MeV-Bereich (nahe  $E_0$ ) macht die Rolle der Leptonenskala sichtbar.
- Eine Längeneinheit im Bereich von  $L_\xi$  hebt die Verbindung zwischen CMB und Casimir-Effekt hervor.
- Zeitabstände werden systematisch mit lokalen Massendichten verknüpft, wie es die Zeit-Masse-Dualität nahelegt.

Solche Entscheidungen sind keine reine Geschmacksfrage, sondern bestimmen, ob Muster

in den Daten als zusammenhängendes Ganzes erkannt werden oder hinter einer Vielzahl von Konversionsfaktoren verschwinden.

## 14.5 Natürliche Einheiten als Denkwerkzeug

Natürliche Einheiten zwingen dazu, Konstanten wie  $c$ ,  $\hbar$  und  $e$  nicht als „Zierschrift“ in Formeln zu behandeln, sondern als Ausdruck konkreter geometrischer Strukturen. In der FFGFT werden diese Strukturen durch  $\xi$ , die fraktale Dimension  $D_f$  und die daraus folgenden Skalen organisiert.

Wer in natürlichen Einheiten rechnet, sieht schneller, wo wirklich neue Physik steckt:

- Einheitenkonversionen verschwinden und machen Platz für dimensionslose Größen.
- Unterschiede zwischen Modellen lassen sich klar in veränderten Kopplungen oder Skalen verorten.
- Die Verbindung zwischen Mikro- und Makrowelt (von Leptonenmassen bis zu Hubble-Skalen) wird als Beziehung weniger Zahlen und Skalen erkennbar.

In diesem Sinne sind natürliche Einheiten nicht nur ein technisches Hilfsmittel, sondern ein Denkwerkzeug: Sie machen den geometrischen Kern der Zeit-Masse-Dualität sichtbar und zeigen, wie  $\alpha$ ,  $c$ ,  $\hbar$  und  $e$  als verschiedene Projektionen derselben fraktalen Struktur verstanden werden können.

## 14.6 Was beim Setzen von $c, \hbar, G$ und $\alpha$ auf Eins verloren geht

In der Praxis ist es verführerisch, alle Konstanten einfach „wegzunormieren“. Für das Xi-Narrativ ist jedoch wichtig, welche Aspekte der fraktalen Struktur dabei unsichtbar werden:

- Setzt man  $c = 1$ , verschwindet die explizite Lichtgeschwindigkeit aus den Gleichungen. Die Lorentz-Struktur und die Trennung von Raum und Zeit bleiben zwar erhalten, aber der Kontrast zwischen nichtrelativistischen und relativistischen Skalen wird weniger sichtbar.
- Setzt man  $\hbar = 1$ , verliert man die explizite Skala, ab wann Prozesse „quantenhaft“ werden. Der Grenzübergang  $\hbar \rightarrow 0$  und der Vergleich „klein gegenüber  $\hbar$ “ versus „groß gegenüber  $\hbar$ “ verschwinden als eigene Schrittfolge aus den Formeln.
- Setzt man  $G = 1$ , wird die Kopplung von Raumzeitkrümmung an Energie-Impuls dimensionslos. Damit geht der direkte Bezug zwischen lokalen Dichten, Krümmungsradien und den fraktal organisierten Skalen  $L_0$  und  $L_\xi$  in einer Einheitswahl auf.
- Versucht man schließlich,  $\alpha$  „auf Eins zu setzen“, wird nicht nur eine Einheit gewählt, sondern eine physikalische Annahme über die Stärke der elektromagnetischen Kopplung getroffen. In der

FFGFT ginge damit gerade die Information verloren, dass  $\alpha$  als fraktale Funktion der Skala gelesen werden kann – die feinstrukturierten Wechselwirkungen werden zu einer einzigen glatten Zahl zusammengepresst.

Historisch war dies auch der Ausgangspunkt der hier dargestellten FFGFT-Perspektive: Erst als in Zwischenrechnungen bewusst und gezielt  $\alpha = 1$  gesetzt wurde, traten die zugrundeliegenden dreidimensionalen geometrischen Zusammenhänge klar hervor. Gerade der Vergleich zwischen diesem „geglätteten“ Bild und der später rekonstruierten fraktalen Skalenabhängigkeit machte sichtbar, welche zusätzliche Struktur in einer variablen, geometrisch organisierten Feinstrukturkonstante steckt.

Für konkrete Rechnungen bedeutet das: Man kann in einem ersten Schritt mit  $\alpha = 1$  in einer ge-glätteten, dreidimensionalen Geometrie arbeiten, sofern in jeder Formel klar notiert ist, mit welcher Potenz  $\alpha$  wirklich eingeht (z.B.  $\sigma \propto \alpha^2$ , Energieniveaus  $\propto \alpha^2$ , Laufzeiten  $\propto \alpha^{-1}$  usw.). In diesem Schritt werden alle Rechenschritte transparent, aber die fraktale Skalenabhängigkeit von  $\alpha$  ist bewusst „ausge-blendet“. In einem zweiten, ebenso systematischen Schritt werden die entsprechenden  $\alpha$ -Faktoren – mit der richtigen Potenz und an der richtigen Skala – bei der Rückkonvertierung explizit wieder eingesetzt und so die fraktale Kopplungsstruktur rekonstruiert. Erst hier entscheidet man, ob  $\alpha$  als konstant oder als laufende, fraktal organisierte Größe gelesen wird.

Im Sinne des Xi-Narrativs kann man sagen:  $c$ ,  $\hbar$  und  $G$  lassen sich als Umrechnungsfaktoren im Hintergrund verstecken, ohne die fraktale Struktur prinzipiell zu zerstören; sie werden dann schwerer

zu sehen, bleiben aber konzeptionell vorhanden. Würden wir dagegen auch  $\alpha$  konsequent auf Eins setzen, würde das Modell auf eine beinahe rein dreidimensionale, glatte Geometrie reduziert – gerade jene feine fraktale Skalenstruktur der Kopplungen, die das Xi-Buch herausarbeitet, ginge im Formalismus verloren, auch wenn sie in den Daten weiterhin wirkt.

## 14.7 Rechenbeispiele: $\alpha$ bewusst aus- und wieder einschalten

Um dieses zweistufige Vorgehen greifbar zu machen, lohnt sich ein Blick auf konkrete Beispielrechnungen:

1. **Geometrischer Schritt mit  $\alpha = 1$ :** Zunächst werden alle relevanten Observablen so umgeschrieben, dass ihre Abhängigkeit von  $\alpha$  explizit ist, etwa  $\sigma(E) = C(E)\alpha^2$  für einen Wirkungsquerschnitt, eine Energieverschiebung  $\Delta E \propto \alpha^2$  oder eine Lebensdauer  $\tau \propto \alpha^{-1}$ . In diesem ersten Schritt setzt man  $\alpha = 1$  und untersucht nur die geometrischen Vorfaktoren  $C(E)$  und deren Abhängigkeit von Skalen wie  $E_0$ ,  $L_0$  und  $L_\xi$ .
2. **Rekonstruktionsschritt mit physikalischem  $\alpha$ :** In einem zweiten Durchgang werden die vollen  $\alpha$ -Faktoren mit der richtigen Potenz und an der passenden Skala wiederhergestellt und mit ihrem physikalischen Wert ausgewertet. Hier gehen die fraktale Laufung von  $\alpha$  mit Energie oder Länge und die Interpretation der Daten als Projektion einer tieferen fraktalen Geometrie ein.

Im Alltag kann ein Theoretiker daher im ersten Durchgang durchaus „vergessen“, dass  $\alpha$  von der Skala abhängt, um zunächst nur die reine dreidimensionale Geometrie freizulegen – sofern die Buchführung über die Potenzen von  $\alpha$  sauber erfolgt. Das Spezifische an der FFGFT-/Xi-Perspektive ist die Betonung, dass der zweite Schritt nicht optional ist: Gerade in der kontrollierten Wieder-Einführung von  $\alpha(E)$  liegt der Schlüssel dazu, wie eine deterministische, fraktale Feldtheorie probabilistisch aussehende Daten reproduzieren und dennoch Raum für effektive Freiheit, emergente Entscheidungen und bewusste Agency auf makroskopischen Skalen lassen kann.

# **Kapitel 15**

## **Warum Einheitenprüfung essenziell ist**

Natürliche Einheiten machen viele Formeln optisch einfacher: Konstanten wie  $c$  und  $\hbar$  verschwinden aus der Schreibweise, und Kopplungen wie  $\alpha$  werden zu scheinbar reinen Zahlen. Gerade im Rahmen der Zeit-Masse-Dualität ist dies nützlich – aber es birgt auch die Gefahr, dass man vergisst, welche physikalischen Skalen im Hintergrund wirken. Dieses Kapitel erläutert, warum eine systematische Einheitenprüfung unverzichtbar ist und wie sich daran die fraktale Struktur erst vollständig offenbart.

### **15.1 Natürliche Einheiten als Zwischenraum**

Wenn man in natürlichen Einheiten mit  $c = \hbar = 1$  rechnet, werden viele Beziehungen sehr kompakt.

Zum Beispiel erscheint die Feinstrukturkonstante in einer geeigneten Normierung einfach als

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi}, \quad (15.1)$$

und die durch  $\xi$  organisierte Struktur als

$$\alpha = \xi \left( \frac{E_0}{1 \text{ MeV}} \right)^2. \quad (15.2)$$

In diesem Zwischenraum der natürlichen Einheiten ist die Geometrie besonders klar zu sehen. Damit eine Aussage physikalisch überzeugend wird, muss man jedoch den Rückweg antreten: von der kompakten Schreibweise zur tatsächlichen Messgröße in SI-Einheiten.

## 15.2 Rückkonvertieren als Härte-test

Die fraktale Struktur und die durch  $\xi$  definierten Skalen zeigen ihre Tragfähigkeit erst dann, wenn die Umrechnung nach SI-Einheiten konsistent alle bekannten Zahlen reproduziert. Das bedeutet konkret:

- Man startet mit einer einfachen Beziehung in natürlichen Einheiten (z.B.  $\alpha \sim \xi E_0^2$ ).
- Man setzt systematisch alle Faktoren von  $c$ ,  $\hbar$  und den gewählten Basisgrößen wieder ein.
- Man setzt insbesondere  $\alpha$  in der Gestalt  $\alpha = \xi(E_0/1 \text{ MeV})^2$  wieder vollständig ein, statt sie als bloße Zahl zu behandeln.

- Man prüft, ob die resultierenden Werte für Energien, Längen und Zeiten mit den experimentellen Daten übereinstimmen.

Erst dieser Härtetest zeigt, ob eine scheinbar elegante Formel wirklich mehr ist als eine Zahnspielerei. Für die Zeit-Masse-Dualität bedeutet das: Die Abkürzung durch natürliche Einheiten ist hilfreich, aber der physikalische Inhalt entscheidet sich bei der Rückübersetzung in konkrete Einheiten. Gefährlich sind dabei "clevere" Kürzungen: Wenn man Konstanten wie  $c$ ,  $\hbar$  oder sogar  $\alpha$  vorschnell wegstreicht, kann die fraktale Struktur unsichtbar werden und scheinbar zwingende, aber physikalisch falsche Skalen entstehen. Gerade in natürlichen Einheiten ist es verlockend, aus  $E = mc^2$  sofort  $E = m$  oder aus  $\alpha = \xi(E_0/1\text{ MeV})^2$  eine reine Zahl zu machen; der korrekte physikalische Schluss erfordert aber immer, die zugrunde liegenden Annahmen (Ruhesystem, Impuls, konkrete Skalen) mitzudenken und am Ende explizit wieder einzusetzen.

### 15.3 Beispiel: CMB, Casimir und $L_\xi$

Ein besonders anschauliches Beispiel ist die Beziehung

$$\rho_{\text{CMB}} = \frac{\xi \hbar c}{L_\xi^4}, \quad (15.3)$$

mit der sich eine charakteristische Längenskala  $L_\xi$  abschätzen lässt.

In natürlichen Einheiten wirken  $\hbar$  und  $c$  wie harmlose Faktoren. Erst wenn man die SI-Werte für  $\hbar$ ,

$c$  und  $\rho_{\text{CMB}}$  einsetzt und die Dimensionen sorgfältig nachverfolgt, zeigt sich, dass  $L_\xi$  tatsächlich im Bereich von  $100 \mu\text{m}$  liegt – genau dort, wo Casimir-Experimente hochpräzise messen.

Ohne eine konsequente Einheitenprüfung könnte man diesen Zusammenhang leicht übersehen oder falsch einschätzen. Die fraktale Struktur wird also nicht nur im Kopf sichtbar, sondern in der konkreten Rückrechnung auf reale Messgrößen.

## 15.4 Vermeidung von Scheinzusammenhängen

Umgekehrt hilft eine strenge Einheitenprüfung, zufällige numerische Überlappungen von echten Zusammenhängen zu unterscheiden. Zwei Zahlen mögen in natürlichen Einheiten ähnlich aussehen; wenn ihre Dimensionen sich unterscheiden, ist klar, dass sie nicht direkt vergleichbar sind.

Die Zeit-Masse-Dualität arbeitet daher konsequent mit dimensionslosen Kombinationen (wie  $\alpha$ ) und klar definierten Skalen (wie  $E_0$ ,  $L_0$ ,  $L_\xi$ ), bevor Vergleiche gezogen werden. Jeder Schritt wird durch Einheitenbuchhaltung begleitet:

- Welche Größe ist wirklich dimensionslos?
- Welche Kombinationen von  $c$ ,  $\hbar$  und Basiseinheiten treten auf?
- Wo können scheinbar ähnliche Zahlen in Wirklichkeit verschiedene physikalische Inhalte haben?

## 15.5 Einheiten als Integritätscheck der Theorie

Am Ende ist die Einheitenprüfung mehr als eine technische Formalität. Sie fungiert als Integritätscheck der gesamten Theorie:

- Sie erzwingt Konsistenz zwischen geometrischem Bild und messbaren Größen.
- Sie macht sichtbar, ob eine vorgeschlagene Beziehung wirklich skalenverträglich ist.
- Sie schützt vor überdehnten Interpretationen scheinbar schöner Zahlen.

Für die FFGFT und die Zeit-Masse-Dualität bedeutet dies: Erst die Kombination aus natürlichen Einheiten und konsequenter Rückprüfung in SI-Einheiten legt offen, wie tief die fraktale Struktur in die beobachtete Physik eingreift. Natürliche Einheiten sind damit ein nützlicher Arbeitsraum – die Realitätsprüfung findet in den vertrauten Einheiten unserer Messinstrumente statt.

Gleichzeitig bleibt ein philosophischer Vorbehalt: Jede Messung vergleicht letztlich Frequenzen oder Zählraten und liefert damit nur relative Aussagen; was ontologisch "wirklich" langsamer läuft oder schwerer wird, entzieht sich der direkten Testbarkeit. Für die FFGFT heißt dies: Entscheidend ist nicht, ob wir absolut feststellen können, ob sich die Zeit verlangsamt oder die Masse zunimmt; entscheidend ist, dass die mathematische Struktur konsistent ist und alle beobachtbaren Relationen (Frequenzen, Skalen, Verhältnisse) reproduziert.



# **Kapitel 16**

## **FFGFT als Lagrange-Erweiterung**

Die Zeit-Masse-Dualität und die Fundamental Fractal-Geometric Field Theory (FFGFT) sollen keine bewährten Theorien ersetzen, sondern sie erweitern. Statt ein neues Über-“Modell” gegen Quantenfeldtheorie, Standardmodell oder Allgemeine Relativität zu stellen, versteht sich die FFGFT als strukturelle Ergänzung: Sie legt eine fraktale Geometrie zugrunde, in der die bekannten Lagrange-Dichten als effektive Beschreibung bestimmter Skalen erscheinen.

### **16.1 Lagrange-Dichten als gemeinsame Sprache**

Die moderne Physik formuliert nahezu alle erfolgreichen Theorien in der Sprache der Lagrange-Dichten:

- die Dirac- und Klein-Gordon-Gleichung für Quantenfelder,
- die Yang-Mills-Theorien des Standardmodells,
- die Einstein-Hilbert-Wirkung der Allgemeinen Relativität.

In all diesen Fällen ist die Lagrangedichte nicht nur mathematische Bequemlichkeit, sondern die kompakteste Formulierung von Symmetrien und Erhaltungssätzen. Die FFGFT schließt hier an: Sie verändert die bekannte Form dieser Lagrangedichten nicht direkt, sondern ergänzt sie um eine fraktale Struktur des Hintergrundes und um zusätzliche, durch  $\xi$  organisierte Terme.

## 16.2 Fraktale Geometrie als Zusatzstruktur

Im Xi-Narrativ wurde die fraktale Dimension  $D_f = 3 - \xi$  als globales Maß für die Faltungstiefe des Raumes eingeführt. Auf Ebene der Lagrange-Dichten bedeutet dies, dass Integrale der Form

$$S = \int d^3x \mathcal{L} \quad (16.1)$$

in eine leicht veränderte Form

$$S^{\text{frak}} = \int d^{D_f}x \mathcal{L}^{\text{eff}} \quad (16.2)$$

übergehen, wobei  $\mathcal{L}^{\text{eff}}$  die gleiche Symmetriestruktur wie die ursprüngliche Lagrangedichte trägt, aber durch die fraktale Maßstruktur zusätzlich reguliert wird.

Praktisch heißt das:

- Die Form der Dirac-, Maxwell- oder Yang–Mills–Lagrangedichte bleibt erhalten.
- Die fraktale Geometrie ändert die Art, wie Selbstenergien und Schleifenintegrale konvergieren.
- Die bekannten Ergebnisse der Quantenfeldtheorie werden im passenden Grenzfall ( $\xi \rightarrow 0, D_f \rightarrow 3$ ) reproduziert.

## 16.3 Erweiterung statt Konkurrenz

Bewährte Theorien wie das Standardmodell oder die Allgemeine Relativität haben eine beeindruckende experimentelle Basis. Die FFGFT nimmt diese Erfolge ernst und versteht sich nicht als Ersatz, sondern als Erweiterung in zwei Schritten:

1. **Geometrische Vertiefung:** Die Raumzeit erhält eine fraktale Tiefenstruktur mit  $D_f = 3 - \xi$ , aus der Skalen wie  $E_0, L_0$  und  $L_\xi$  hervorgehen.
2. **Lagrange-Ergänzung:** Die bekannten Lagrangedichten werden so gelesen, dass ihre Parameter (Massen, Kopplungen) nicht frei sind, sondern von dieser fraktalen Geometrie organisiert werden.

In diesem Sinn ist die FFGFT eine Theorie der Lagrange-Dichten: Sie fragt nicht nach einer einzigen "Lagrange-Dichte für alles", sondern danach, wie die Vielzahl bewährter effektiver Lagrangedichten in einer gemeinsamen fraktalen Geometrie verankert ist.

## 16.4 Worin sich die FFGFT von der Allgemeinen Relativität unterscheidet

Aus Sicht der Allgemeinen Relativität bringt die FFGFT mehrere strukturelle Veränderungen mit sich, die für die Zeit-Masse-Dualität zentral sind:

- Die Raumzeitmannigfaltigkeit erhält eine fraktale Tiefenstruktur mit effektiver Raumdimension  $D_f = 3 - \xi$ ; Krümmungen und Volumina werden bezüglich dieser Tiefenstruktur ausgewertet.
- Ruhemasse ist nicht mehr ein strikt fester Parameter entlang einer Weltlinie, sondern ein effektives Massenfeld  $m(x)$ , das aus dem Zeitfeld hervorgeht; nur in einfachen Situationen wird dies gut durch einen konstanten Wert angenähert.
- Die Gravitationskonstante  $G$  wird als emergente Kopplung interpretiert, die sich in Begriffen von  $\xi$  und den natürlichen Skalen  $E_0$ ,  $L_0$  und  $L_\xi$  ausdrücken lässt, statt als fundamentale Konstante postuliert zu werden.
- In den einleitenden Kapiteln wird mit einer vereinfachten Lagrangedichte gearbeitet, in der  $\xi$  vor allem Massen, Kopplungen und Cutoffs organisiert; die erweiterte Lagrangedichte der vollständigen FFGFT fügt die fraktale Maßstruktur und explizite Vakuumterme hinzu, die das Laufen von Kopplungen und Massen kodieren.

Historisch hält Einsteins Formulierung die Ruhemassen fest und legt alle Dynamik in die Krümmung

der Raumzeit; sobald Quantenfelder und Selbstenergien hinzukommen, führt dies zu komplizierten Regularisierungs- und Renormierungstricks, um Widersprüche und Divergenzen zu zähmen. Diese Unterschiede präzisieren, in welchem Sinne die FFGFT über die Allgemeinen Relativität hinausgeht, während sie alle lokalen Gravitations-Tests im passenden Grenzfall weiterhin reproduziert.

## 16.5 Was sich nicht ändert

Wichtig für das Verständnis ist, was sich explizit *nicht* ändert:

- Die lokal gemessenen Effekte der Allgemeinen Relativität (z.B. GPS-Korrekturen, Lichtablenkung, Periheldrehung) bleiben unberührt.
- Die Vorhersagen des Standardmodells für Streuquerschnitte, Zerfallsbreiten und Präzisionsobservablen werden respektiert.
- Auch die QED mit ihrer extrem genauen Beschreibung von  $g - 2$  bleibt im zulässigen Parameterbereich der FFGFT enthalten.

Die Erweiterung setzt dort an, wo Beobachtungen auf neue Skalen hinweisen: bei der Hierarchie der Massen, der Zahl 137, der Verbindung zwischen CMB und Casimir-Effekt oder bei subtilen Abweichungen in Präzisionstests. In diesen Bereichen bietet die FFGFT eine zusätzliche Struktur an, ohne die etablierten Lagrange-Theorien fallenzulassen.

## 16.6 Ausblick: Eine fraktale Theorie von allem

Ein vollständiges Lagrange-Bild der FFGFT würde alle genannten Bausteine – fraktale Geometrie, Zeit-Masse-Dualität, Skalen  $E_0, L_0, L_\xi$  und die bestehenden Lagrange-Dichten von QFT und Gravitation – in einer gemeinsamen Wirkungsfunktion zusammenfassen. Auf der Ebene der Feldgleichungen bleibt diese Beschreibung deterministisch; erst die fraktale, rekursive Variation der Anfangsbedingungen auf vielen Skalen eröffnet einen effektiven Spielraum für Bewusstsein, Selbstbestimmung und emergente Entscheidungen, ohne die zugrunde liegende Dynamik zu verletzen. Aus praktischen Gründen und wegen der extrem komplexen Kopplung der deterministischen Gleichungen sind bei konkreten Rechnungen häufig probabilistische Methoden, effektive Feldtheorien oder Monte-Carlo-Verfahren die einzige realistische Vorgehensweise, auch wenn sie auf einem letztlich deterministischen Unterbau beruhen.

Das Xi-Narrativ liefert hierzu die konzeptionellen Leitplanken: FFGFT soll als Erweiterung gelesen werden, die bewährte Lagrange-Theorien in einen größeren geometrischen Zusammenhang stellt, nicht als Theorie, die sie ersetzt.

# Kapitel 17

## Quellen und weiterführende Literatur

Dieses Kapitel führt die wichtigsten externen Quellen auf, die im Xi-Narrativ zitiert werden, und verweist auf ergänzende T0-Dokumente im Repository.

### Literaturverzeichnis

### Literaturverzeichnis

**Modesto (2008)** L. Modesto, "Fractal Structure of Loop Quantum Gravity," *Class. Quantum Grav.* **26** (2009) 242002, arXiv:0812.2214 [gr-qc].

**Modesto (2009)** L. Modesto, "Fractal Quantum Space-Time," arXiv:0905.1665 [gr-qc].

**Calcagni (2010)** G. Calcagni, "Fractal universe and quantum gravity," *Phys. Rev. Lett.* **104** (2010) 251301, arXiv:0912.3142 [hep-th].

**Calcagni (2010b)** G. Calcagni, "Quantum field theory, gravity and cosmology in a fractal universe," *JHEP* **03** (2010) 120, arXiv:1001.0571 [hep-th].

**Calcagni (2012)** G. Calcagni, "Introduction to multifractional spacetimes," *AIP Conf. Proc.* **1483** (2012) 31, arXiv:1209.1110 [hep-th].

**Hořava (2009)** P. Hořava, "Spectral Dimension of the Universe in Quantum Gravity at a Lifshitz Point," *Phys. Rev. Lett.* **102** (2009) 161301, arXiv:0902.3657 [hep-th].

**Thürigen (2015)** J. Thürigen, "Discrete Quantum Geometries," arXiv:1511.08737 [gr-qc].

**Jiang et al. (2024)** W.-C. Jiang, M.-C. Zhong, Y.-K. Fang, S. Donsa, I. Březinová, L.-Y. Peng, J. Burgdörfer, "Time Delays as Attosecond Probe of Interelectronic Coherence and Entanglement," *Phys. Rev. Lett.* **133** (2024) 163201, doi:10.1103/PhysRevLett.133.163201.

**NASA Space News (2026)** NASA Space News, "Scientists Measure Quantum Entanglement Speed – And It Breaks Physics," YouTube-Video, 14. Januar 2026, <https://www.youtube.com/watch?v=t3wjY95zvNM> (abgerufen am 15. Januar 2026).

**Pascher (2026a)** J. Pascher, "Fraktale Raumzeit und ihre Implikationen in der Quantengravitation," internes T0-Dokument [141\\_Renormierung\\_De.pdf](#) (2026).

**Pascher (2026b)** J. Pascher, "Attosekunden-Vorhersage zur Entstehung von Quantenverschränkung als Beleg für die T0-Time-Mass-Duality-Theorie," internes T0-Dokument [142\\_Experiment-verschränkung\\_De.pdf](#) (2026).

**Pascher (2025a)** J. Pascher, "T0-Teilchenmassen und Leptonenhierarchie," internes T0-Dokument [006\\_T0\\_Teilchenmassen\\_De.pdf](#) (2025).

**Pascher (2025b)** J. Pascher, "Feinstrukturkonstante und fraktale Geometrie," interne T0-Dokumente [044\\_Feinstrukturkonstante\\_De.pdf](#) und [043\\_ResolvingTheConstantsAlfa\\_De.pdf](#) (2025).

**Pascher (2025c)** J. Pascher, "Natürliche Einheiten und ihre Systematik," internes T0-Dokument [015\\_NatEinheitenSystematik\\_De.pdf](#) (2025).

**Pascher (2025d)** J. Pascher, "T0, natürliche Einheiten und SI," interne T0-Dokumente [014\\_T0\\_nat-si\\_De.pdf](#) und [013\\_T0\\_SI\\_De.pdf](#) (2025).

**Pascher (2025e)** J. Pascher, "T0-Kosmologie und fraktale Geometrie," interne T0-Dokumente [026\\_T0\\_Geometrische\\_Kosmologie\\_De.pdf](#) und [025\\_T0\\_Kosmologie\\_De.pdf](#) (2025).