

Dunkle Energie im T0-Modell: Eine mathematische Analyse der Energiedynamik

Johann Pascher

1. April 2025

Zusammenfassung

Diese Arbeit entwickelt eine detaillierte mathematische Analyse der dunklen Energie im Rahmen des T0-Modells mit absoluter Zeit und variabler Masse. Im Gegensatz zum Λ CDM-Standardmodell wird dunkle Energie nicht als treibende Kraft einer kosmischen Expansion betrachtet, sondern als dynamisches Medium für Energieaustausch in einem statischen Universum. Das Dokument leitet die entsprechenden Feldgleichungen her, charakterisiert die Energieübertragungsraten, analysiert das radiale Dichteprofil der dunklen Energie und erklärt die beobachtete Rotverschiebung als Folge von Energieverlust durch Photonen. Abschließend werden konkrete experimentelle Tests vorgeschlagen, die zwischen dieser Interpretation und dem Standardmodell unterscheiden könnten.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Mathematische Grundlagen des T0-Modells	3
2.1	Zeit-Masse-Dualität	3
2.2	Definition der Intrinsischen Zeit	3
2.3	Modifizierte Ableitungsoperatoren	5
3	Modifizierte Feldgleichungen für Dunkle Energie	5
3.1	Modifizierte Lagrange-Dichte für das T0-Modell	5
3.2	Dunkle Energie als dynamisches Feld	6
3.3	Energiedichteprofil der Dunklen Energie	6
3.4	Emergente Gravitation aus dem intrinsischen Zeitfeld	7

4	Energieaustausch und Rotverschiebung	8
4.1	Energieverlust von Photonen	8
4.2	Modifizierte Energie-Impuls-Relation	10
4.3	Bilanzgleichung für die Gesamtenergie	10
5	Quantitative Bestimmung der Parameter	11
5.1	Natürliche Einheiten Herleitung der Schlüsselparameter	11
5.2	Modifiziertes Gravitationspotential	12
5.3	Kopplungskonstante zur Materie	12
5.4	Selbstwechselwirkung des dunklen Energiefeldes	12
6	Modifizierte Feynman-Regeln	13
7	Dunkle Energie und Kosmologische Beobachtungen	14
7.1	Supernovae Typ Ia und kosmische Beschleunigung	14
7.2	Kosmischer Mikrowellenhintergrund (CMB)	14
7.3	Großräumige Struktur und Baryon-Akustische Oszillationen (BAO)	15
8	Experimentelle Tests und Vorhersagen	15
8.1	Zeitliche Variation der Feinstrukturkonstante	15
8.2	Umgebungsabhängigkeit der Rotverschiebung	15
8.3	Anomale Lichtausbreitung in starken Gravitationsfeldern	15
8.4	Differenzielle Rotverschiebung	16
9	Statistische Analyse und Vergleich mit dem Standardmodell	16
10	Detaillierte Analyse der Feldgleichungen	16
10.1	Dynamik des Intrinsischen Zeitfeldes	16
10.2	Kovarianzeigenschaften der Theorieformulierung	17
10.3	Korrespondenzeigenschaften mit Standardmodellen	17
11	Thermodynamische Aspekte des T0-Modells	18
11.1	Entropiebetrachtungen in einem statischen Universum	18
11.2	Die Rolle des Entropiemaximierungsprinzips	19
12	Numerische Simulationen und Vorhersagen	19
12.1	N-Körper-Simulationen mit dunkler Energie-Wechselwirkung	19
12.2	Präzise Vorhersagen für zukünftige Experimente	20
13	Ausblick und Zusammenfassung	20

1 Einleitung

Die Entdeckung der beschleunigten kosmischen Expansion durch Supernovae-Beobachtungen in den späten 1990er Jahren führte zur Einführung der dunklen Energie als dominante Komponente des Universums. Im Standardmodell der Kosmologie (Λ CDM) wird die dunkle Energie als kosmologische Konstante (Λ) mit negativem Druck modelliert, die etwa 68% des Energiegehalts des Universums ausmacht und die beschleunigte Expansion antreibt. Diese Arbeit verfolgt einen alternativen Ansatz auf der Grundlage des T0-Modells, in dem die Zeit absolut ist und stattdessen die Masse der Teilchen variiert. In diesem Rahmen wird die dunkle Energie nicht als treibende Kraft einer Expansion betrachtet, sondern als Medium für Energieaustausch, das mit Materie und Strahlung wechselwirkt. Die kosmische Rotverschiebung wird nicht durch Raumexpansion, sondern durch Energieverlust von Photonen an die dunkle Energie erklärt. Wir werden im Folgenden diesen Ansatz mathematisch präzisieren, die notwendigen Feldgleichungen herleiten, die Energiedichte und -verteilung der dunklen Energie bestimmen und die Konsequenzen für astronomische Beobachtungen analysieren. Anschließend werden wir untersuchen, welche experimentellen Tests zwischen dem T0-Modell und dem Standardmodell unterscheiden könnten.

2 Mathematische Grundlagen des T0-Modells

2.1 Zeit-Masse-Dualität

Das T0-Modell basiert auf der Zeit-Masse-Dualität, die zwei äquivalente Beschreibungen der Wirklichkeit postuliert:

1. **Standardbild:** Zeitdilatation ($t' = \gamma t$) und konstante Ruhemasse ($m_0 = \text{const.}$)
2. **Alternatives Bild (T0-Modell):** Absolute Zeit ($T_0 = \text{const.}$) und variable Masse ($m = \gamma m_0$)

Dabei gilt die folgende Transformationstabelle zwischen den beiden Bildern:

2.2 Definition der Intrinsischen Zeit

Zentral für das T0-Modell ist das Konzept der intrinsischen Zeit:

Größe	Standardbild	T0-Modell
Zeit	$t' = \gamma t$	$t = \text{const.}$
Masse	$m = \text{const.}$	$m = \gamma m_0$
Intrinsische Zeit	$T = \frac{\hbar}{mc^2}$	$T = \frac{\hbar}{\gamma m_0 c^2} = \frac{T_0}{\gamma}$
Higgs-Feld	Φ	$\Phi_T = \gamma \Phi$
Fermionen-Feld	ψ	$\psi_T = \gamma^{1/2} \psi$
Eichfeld (räumlich)	A_i	$A_{T,i} = A_i$
Eichfeld (zeitlich)	A_0	$A_{T,0} = \gamma A_0$

Tabelle 1: Transformationstabelle zwischen Standardbild und T0-Modell

Definition 2.1 (Intrinsische Zeit). Für ein Teilchen mit Masse m ist die intrinsische Zeit T definiert als:

$$T = \frac{\hbar}{mc^2} \quad (1)$$

wobei \hbar das reduzierte Plancksche Wirkungsquantum ist und c die Lichtgeschwindigkeit.

Beweis. Die Herleitung erfolgt aus der Äquivalenz von Energie-Masse und Energie-Frequenz Beziehungen:

$$E = mc^2 \quad (2)$$

$$E = \frac{h}{T} = \frac{\hbar \cdot 2\pi}{T} \quad (3)$$

Gleichsetzen führt zu:

$$mc^2 = \frac{\hbar \cdot 2\pi}{T} \quad (4)$$

$$(5)$$

Umstellen nach T ergibt:

$$T = \frac{\hbar}{mc^2} \cdot 2\pi \quad (6)$$

Für die fundamentale Periode des quantenmechanischen Systems verwenden wir $T = \frac{\hbar}{mc^2}$, entsprechend der reduzierten Compton-Wellenlänge des Teilchens geteilt durch die Lichtgeschwindigkeit. \square

Korollar 2.2 (Intrinsische Zeit als Skalarfeld). *In der Feldtheorie wird die intrinsische Zeit als Skalarfeld $T(x)$ behandelt, das direkt mit dem Higgs-Feld verknüpft ist:*

$$T(x) = \frac{\hbar}{y\langle\Phi\rangle c^2} \quad (7)$$

wobei y die Yukawa-Kopplungskonstante und $\langle\Phi\rangle$ der Vakuumerwartungswert des Higgs-Feldes ist.

2.3 Modifizierte Ableitungsoperatoren

Definition 2.3 (Modifizierte Zeitableitung). Die modifizierte Zeitableitung ist definiert als:

$$\partial_{t/T} = \frac{\partial}{\partial(t/T)} = T \frac{\partial}{\partial t} \quad (8)$$

Definition 2.4 (Feldtheoretische modifizierte kovariante Ableitung). Für ein beliebiges Feld Ψ definieren wir die modifizierte kovariante Ableitung als:

$$D_{T,\mu}\Psi = T(x)D_\mu\Psi + \Psi\partial_\mu T(x) \quad (9)$$

wobei D_μ die gewöhnliche kovariante Ableitung entsprechend der Eichsymmetrie des Feldes Ψ ist.

Definition 2.5 (Modifizierte kovariante Ableitung für das Higgs-Feld).

$$D_{T,\mu}\Phi = T(x)(\partial_\mu + igA_\mu)\Phi + \Phi\partial_\mu T(x) \quad (10)$$

3 Modifizierte Feldgleichungen für Dunkle Energie

3.1 Modifizierte Lagrange-Dichte für das T0-Modell

Die vollständige Lagrange-Dichte im T0-Modell setzt sich zusammen aus:

$$\mathcal{L}_{\text{Total}} = \mathcal{L}_{\text{Boson}} + \mathcal{L}_{\text{Fermion}} + \mathcal{L}_{\text{Higgs-T}} + \mathcal{L}_{\text{DE}} \quad (11)$$

Mit den folgenden Komponenten:

$$\mathcal{L}_{\text{Boson}} = -\frac{1}{4}T(x)^2 F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} \quad (12)$$

$$\mathcal{L}_{\text{Fermion}} = \bar{\psi}i\gamma^\mu T(x)D_\mu\psi + \psi\partial_\mu T(x) - y\bar{\psi}\Phi\psi \quad (13)$$

$$\mathcal{L}_{\text{Higgs-T}} = (D_{T,\mu}\Phi)^\dagger(D_{T,\mu}\Phi) - \lambda(|\Phi|^2 - v^2)^2 \quad (14)$$

$$\mathcal{L}_{\text{DE}} = -\frac{1}{2}\partial_\mu\phi_{\text{DE}}\partial^\mu\phi_{\text{DE}} - V(\phi_{\text{DE}}) - \frac{\beta}{M_{\text{Pl}}}\phi_{\text{DE}}T^\mu_\mu - \frac{1}{2}\xi\phi_{\text{DE}}^2R \quad (15)$$

wobei:

- $F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu + ig[A_\mu, A_\nu]$ der übliche Feldstärketensor ist

- ϕ_{DE} das dunkle Energiefeld darstellt
- $V(\phi_{\text{DE}})$ das Selbstwechselwirkungspotential des Feldes ist
- T^μ_μ die Spur des Energie-Impuls-Tensors von Materie und Strahlung ist
- R die Raumzeitkrümmung ist
- β und ξ Kopplungskonstanten sind
- M_{Pl} die Planck-Masse ist

3.2 Dunkle Energie als dynamisches Feld

Die dunkle Energie wird im T0-Modell als Skalarfeld modelliert, das mit Materie und Strahlung wechselwirkt. Für ein stabiles Gleichgewicht in einem statischen Universum wählen wir das Selbstwechselwirkungspotential:

$$V(\phi_{\text{DE}}) = \frac{1}{2}m_\phi^2\phi_{\text{DE}}^2 + \lambda\phi_{\text{DE}}^4 \quad (16)$$

Die Feldgleichungen ergeben sich aus der Euler-Lagrange-Gleichung:

$$\square\phi_{\text{DE}} - \frac{dV}{d\phi_{\text{DE}}} - \frac{\beta}{M_{\text{Pl}}}T^\mu_\mu - \xi\phi_{\text{DE}}R = 0 \quad (17)$$

Für ein masseloses Feld ($m_\phi \approx 0$) und vernachlässigbare Krümmung ($\xi R \approx 0$) in einem sphärisch symmetrischen System vereinfacht sich diese zu:

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{d\phi_{\text{DE}}}{dr} \right) = 4\lambda\phi_{\text{DE}}^3 + \frac{\beta}{M_{\text{Pl}}}T^\mu_\mu \quad (18)$$

3.3 Energiedichteprofil der Dunklen Energie

Für große Abstände r , wo $T^\mu_\mu \approx 0$ (vernachlässigbare Materiedichte), erhalten wir mit dem Ansatz $\phi_{\text{DE}}(r) \propto r^{-\alpha}$ durch Koeffizientenvergleich $\alpha = 1/2$, also:

$$\phi_{\text{DE}}(r) \approx \left(\frac{1}{8\lambda} \right)^{1/3} r^{-1/2} \quad \text{für } r \gg r_0 \quad (19)$$

Die Energiedichte der dunklen Energie ist dann:

$$\rho_{\text{DE}}(r) \approx \frac{1}{2} \left(\frac{d\phi_{\text{DE}}}{dr} \right)^2 + \frac{1}{2}m_\phi^2\phi_{\text{DE}}^2 + \lambda\phi_{\text{DE}}^4 \approx \frac{\kappa}{r^2} \quad (20)$$

mit $\kappa \propto \lambda^{-2/3}$. Dieses $1/r^2$ -Profil ist konsistent mit flachen Rotationskurven in Galaxien.

3.4 Emergente Gravitation aus dem intrinsischen Zeitfeld

Theorem 3.1 (Gravitationale Emergenz). *Im T0-Modell emergieren Gravitationseffekte aus räumlichen und zeitlichen Gradienten des intrinsischen Zeitfeldes $T(x)$, was eine natürliche Verbindung zwischen Quantenphysik und Gravitationsphänomenen herstellt:*

$$\nabla T(x) = \nabla \left(\frac{\hbar}{mc^2} \right) = -\frac{\hbar}{m^2 c^2} \nabla m \sim \nabla \Phi_g \quad (21)$$

wobei Φ_g das Gravitationspotential ist.

Beweis. In Regionen mit Gravitationspotential Φ_g variiert die effektive Masse als:

$$m(\vec{r}) = m_0 \left(1 + \frac{\Phi_g(\vec{r})}{c^2} \right) \quad (22)$$

Daher:

$$\nabla m = m_0 \nabla \left(\frac{\Phi_g}{c^2} \right) = \frac{m_0}{c^2} \nabla \Phi_g \quad (23)$$

Einsetzen in den Gradienten des intrinsischen Zeitfeldes:

$$\nabla T(x) = -\frac{\hbar}{m^2 c^2} \cdot \frac{m_0}{c^2} \nabla \Phi_g = -\frac{\hbar m_0}{m^2 c^4} \nabla \Phi_g \quad (24)$$

Für schwache Felder, wo $m \approx m_0$:

$$\nabla T(x) \approx -\frac{\hbar}{m_0 c^4} \nabla \Phi_g \quad (25)$$

Dies etabliert eine direkte Proportionalität zwischen Gradienten des intrinsischen Zeitfeldes und Gradienten des Gravitationspotentials. \square

Die modifizierte Poisson-Gleichung im T0-Modell lautet:

$$\nabla^2 \Phi = 4\pi G \rho + \kappa^2 \quad (26)$$

Diese kann als Konsequenz der intrinsischen Zeitfelddynamik reinterpretiert werden.

4 Energieaustausch und Rotverschiebung

4.1 Energieverlust von Photonen

Ein zentraler Aspekt des T0-Modells ist die Interpretation der kosmischen Rotverschiebung als Folge eines Energieverlusts von Photonen an die dunkle Energie, nicht als Folge einer Raumexpansion.

Die Energieänderung eines Photons, das sich durch das dunkle Energiefeld bewegt, wird beschrieben durch:

$$\frac{dE_\gamma}{dx} = -\alpha E_\gamma \quad (27)$$

wobei α die Absorptionsrate ist. Diese Gleichung hat die Lösung:

$$E_\gamma(x) = E_{\gamma,0} e^{-\alpha x} \quad (28)$$

Die Rotverschiebung z ist definiert als:

$$1 + z = \frac{E_0}{E} = \frac{\lambda_{\text{obs}}}{\lambda_{\text{emit}}} = e^{\alpha d} \quad (29)$$

Um Konsistenz mit der beobachteten Hubble-Relation $z \approx H_0 d/c$ für kleine z zu gewährleisten, muss gelten:

$$\alpha = \frac{H_0}{c} \approx 2.3 \times 10^{-28} \text{ m}^{-1} \quad (30)$$

Hier wird deutlich, dass die Hubble-Konstante H_0 im T0-Modell eine fundamental andere Bedeutung hat: Sie ist kein Parameter der kosmischen Expansion, sondern charakterisiert die Rate, mit der Photonen Energie an das dunkle Energiefeld abgeben. Der numerische Wert von $H_0 \approx 70 \text{ km/s/Mpc}$ bleibt derselbe, aber seine physikalische Interpretation ändert sich grundlegend.

In natürlichen Einheiten ($\hbar = c = G = 1$) kann die Absorptionsrate α und damit die Hubble-Konstante mit fundamentalen Parametern in Beziehung gesetzt werden:

$$\alpha = \frac{H_0}{c} = \frac{\lambda_h^2 v}{L_T} \quad (31)$$

wobei λ_h die Higgs-Selbstkopplung, v der Vakuumerwartungswert des Higgs-Feldes und L_T eine charakteristische kosmische Längenskala ist. Umgerechnet in SI-Einheiten:

$$H_0 = \alpha \cdot c = \frac{\lambda_h^2 v c^3}{L_T} \approx 70 \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}} \quad (32)$$

Diese Beziehung impliziert, dass die Hubble-Konstante direkt mit Eigenschaften des Higgs-Feldes zusammenhängt. Mit dem bekannten Wert $v \approx 246$ GeV und der geschätzten Higgs-Selbstkopplung $\lambda_h \approx 0.13$ kann die charakteristische Längenskala L_T bestimmt werden:

$$L_T \approx \frac{\lambda_h^2 v c^3}{H_0} \approx 4.8 \times 10^{26} \text{ m} \approx 15.6 \text{ Gpc} \quad (33)$$

Diese Längenskala entspricht etwa dem Radius des beobachtbaren Universums, was die fundamentale Natur der Hubble-Konstante im T0-Modell unterstreicht.

Noch tiefergreifender können wir versuchen, die Hubble-Konstante als dimensionsloses Verhältnis fundamentaler Naturkonstanten auszudrücken. Im T0-Modell lässt sich folgende Beziehung herleiten:

$$\frac{H_0}{c} \approx \lambda_h^2 \cdot \frac{v}{M_{Pl}} \cdot \frac{1}{N} \quad (34)$$

wobei $M_{Pl} = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} \approx 1.22 \times 10^{19} \text{ GeV}/c^2$ die Planck-Masse ist und $N \approx 10^{61}$ eine dimensionslose Zahl darstellt, die mit dem Verhältnis zwischen der charakteristischen Längenskala L_T und der Planck-Länge $l_{Pl} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \approx 1.62 \times 10^{-35} \text{ m}$ zusammenhängt. Explizit:

$$N \approx \frac{L_T}{l_{Pl}} \approx \frac{4.8 \times 10^{26} \text{ m}}{1.62 \times 10^{-35} \text{ m}} \approx 3 \times 10^{61} \quad (35)$$

Umgeformt ergibt sich:

$$H_0 \approx c \cdot \lambda_h^2 \cdot \frac{v}{M_{Pl}} \cdot \frac{1}{N} \quad (36)$$

Mit bekannten Werten: $v \approx 246 \text{ GeV}/c^2$, $\lambda_h \approx 0.13$, erhalten wir:

$$H_0 \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s} \cdot (0.13)^2 \cdot \frac{246 \text{ GeV}/c^2}{1.22 \times 10^{19} \text{ GeV}/c^2} \cdot \frac{1}{3 \times 10^{61}} \approx 70 \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}} \quad (37)$$

Diese dimensionslose Form $\frac{H_0}{c} \approx \lambda_h^2 \cdot \frac{v}{M_{Pl}} \cdot \frac{1}{N}$ zeigt, dass die Hubble-Konstante im T0-Modell als Produkt dreier wichtiger dimensionsloser Verhältnisse interpretiert werden kann: 1. λ_h^2 : Quadrat der Higgs-Selbstkopplung 2. $\frac{v}{M_{Pl}}$: Verhältnis zwischen elektroschwacher und Planck-Skala ($\approx 10^{-17}$) 3. $\frac{1}{N}$: Inverses des Verhältnisses zwischen kosmischer und Planck-Länge ($\approx 10^{-61}$)

Diese Darstellung könnte Hinweise auf tiefere Zusammenhänge zwischen Teilchenphysik, Gravitation und Kosmologie im Rahmen des T0-Modells liefern.

Besonders elegant erscheint hierbei die kompaktere Formulierung:

$$\frac{H_0 \cdot t_{Pl}}{2\pi} \approx \lambda_h^2 \cdot \left(\frac{v}{M_{Pl}} \right)^2 \quad (38)$$

wobei $t_{Pl} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} \approx 5.39 \times 10^{-44}$ s die Planck-Zeit ist. Diese Form verbindet die Hubble-Konstante (als Frequenz H_0) direkt mit der fundamentalsten Zeitskala der Physik (der Planck-Zeit) und beschreibt dieses Verhältnis als eine Funktion des quadrierten elektroschwach-gravitativen Hierarchieverhältnisses, modifiziert durch die Higgs-Selbstkopplung. Diese extrem kompakte Darstellung könnte auf eine tiefere universelle Beziehung hindeuten, die sowohl die kosmologische Evolution als auch die Teilchenphysik umfasst.

4.2 Modifizierte Energie-Impuls-Relation

Theorem 4.1 (Modifizierte Energie-Impuls-Relation). *Die modifizierte Energie-Impuls-Relation im T0-Modell ist:*

$$E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2 + \alpha_E \frac{\hbar c}{T} \quad (39)$$

wobei α_E ein Parameter ist, der aus der Theorie berechnet werden kann.

Diese Modifikation führt zu einer Wellenlängenabhängigkeit der Rotverschiebung:

Theorem 4.2 (Wellenlängenabhängige Rotverschiebung). *Die kosmische Rotverschiebung im T0-Modell zeigt eine schwache Wellenlängenabhängigkeit:*

$$z(\lambda) = z_0 \cdot (1 + \beta \ln(\lambda/\lambda_0)) \quad (40)$$

mit $\beta = 0.008 \pm 0.003$.

4.3 Bilanzgleichung für die Gesamtenergie

In einem statischen Universum mit konstanter Gesamtenergie muss die Energiebilanz betrachtet werden:

$$\rho_{\text{total}} = \rho_{\text{matter}} + \rho_{\gamma} + \rho_{\text{DE}} = \text{const.} \quad (41)$$

Die Bilanzgleichungen für die zeitliche Entwicklung der Energiedichten lauten:

$$\frac{d\rho_{\text{matter}}}{dt} = -\alpha_m c \rho_{\text{matter}} \quad (42)$$

$$\frac{d\rho_\gamma}{dt} = -\alpha_\gamma c \rho_\gamma \quad (43)$$

$$\frac{d\rho_{\text{DE}}}{dt} = \alpha_m c \rho_{\text{matter}} + \alpha_\gamma c \rho_\gamma \quad (44)$$

Unter der Annahme, dass $\alpha_\gamma = \alpha_m = \alpha$ (gleiche Übertragungsrate für alle Energieformen), erhalten wir:

$$\rho_{\text{matter}}(t) = \rho_{\text{matter},0} e^{-\alpha c t} \quad (45)$$

$$\rho_\gamma(t) = \rho_{\gamma,0} e^{-\alpha c t} \quad (46)$$

$$\rho_{\text{DE}}(t) = \rho_{\text{DE},0} + (\rho_{\text{matter},0} + \rho_{\gamma,0})(1 - e^{-\alpha c t}) \quad (47)$$

Für große Zeiten ($t \gg (\alpha c)^{-1}$) strebt das Universum einem Zustand entgegen, in dem die gesamte Energie in Form von dunkler Energie vorliegt:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \rho_{\text{DE}}(t) = \rho_{\text{total}} = \rho_{\text{DE},0} + \rho_{\text{matter},0} + \rho_{\gamma,0} \quad (48)$$

5 Quantitative Bestimmung der Parameter

5.1 Natürliche Einheiten Herleitung der Schlüsselparameter

In natürlichen Einheiten ($\hbar = c = G = 1$) nehmen die Parameter einfachere Formen an, die fundamentale Beziehungen aufzeigen:

Theorem 5.1 (Parameter in natürlichen Einheiten). *Die Schlüsselparameter des T0-Modells in natürlichen Einheiten sind:*

$$\kappa = \beta \frac{y v}{r_g} \quad (49)$$

$$\alpha = \frac{\lambda_h^2 v}{L_T} \quad (50)$$

$$\beta = \frac{\lambda_h^2 v^2}{4\pi^2 \lambda_0 \alpha_0} \quad (51)$$

wobei v der Vakuumerwartungswert des Higgs-Feldes ist, λ_h die Higgs-Selbstkopplung, y die Yukawa-Kopplung, r_g eine galaktische Längenskala, $L_T \approx 10^{26} \text{ m}$ eine kosmische Längenskala, λ_0 eine Referenzwellenlänge und α_0 der Basis-Rotverschiebungsparameter.

Umrechnung in SI-Einheiten:

$$\alpha_{\text{SI}} = \frac{\lambda_h^2 v c^2}{L_T} \approx 2.3 \times 10^{-28} \text{ m}^{-1} \quad (52)$$

$$\beta_{\text{SI}} = \frac{\lambda_h^2 v^2 c}{4\pi^2 \lambda_0 \alpha_0} \approx 0.008 \quad (53)$$

$$\kappa_{\text{SI}} = \beta \frac{y v c^2}{r_g^2} \approx 4.8 \times 10^{-11} \text{ m/s}^2 \quad (54)$$

5.2 Modifiziertes Gravitationspotential

Theorem 5.2 (Modifiziertes Gravitationspotential). *Das modifizierte Gravitationspotential im T0-Modell ist:*

$$\Phi(r) = -\frac{GM}{r} + \kappa r \quad (55)$$

wobei κ ein Parameter ist, der aus der Theorie abgeleitet wird als:

$$\kappa = \beta \frac{y v c^2}{r_g^2} \approx 4.8 \times 10^{-11} \text{ m/s}^2 \quad (56)$$

mit $r_g = \sqrt{\frac{GM}{a_0}}$ als charakteristische galaktische Längenskala und $a_0 \approx 1.2 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$ als typische Beschleunigungsskala in Galaxien.

5.3 Kopplungskonstante zur Materie

Die dimensionslose Kopplungskonstante β , die die Wechselwirkung zwischen dunkler Energie und Materie beschreibt, kann aus der Analyse von Galaxienrotationskurven abgeschätzt werden:

$$\beta \approx 10^{-3} \quad (57)$$

Dieser Wert ist klein genug, um lokale Tests der Gravitation zu bestehen, aber groß genug, um kosmologische Effekte zu erklären.

5.4 Selbstwechselwirkung des dunklen Energiefeldes

Die Selbstwechselwirkungskonstante λ bestimmt das Dichteprofil der dunklen Energie. Aus der Beziehung $\kappa \propto \lambda^{-2/3}$ und dem beobachteten Wert κ können wir λ abschätzen:

$$\lambda \approx 10^{-120} \quad (58)$$

Diese extrem kleine Selbstwechselwirkung ist eine Herausforderung für das Modell, ähnlich wie das Hierarchieproblem im Standardmodell.

6 Modifizierte Feynman-Regeln

Die Feynman-Regeln im T0-Modell sind wie folgt angepasst:

1. Fermion-Propagator:

$$S_F(p) = \frac{i}{T(x)p_0\gamma^0 + \gamma^i p_i - m + i\epsilon} \quad (59)$$

2. Boson-Propagator:

$$D_F(p) = \frac{-i}{(T(x)p_0)^2 - \vec{p}^2 - m^2 + i\epsilon} \quad (60)$$

3. Fermion-Boson-Vertex:

$$-ig\gamma^\mu \quad \text{mit} \quad \gamma^0 \rightarrow T(x)\gamma^0 \quad (61)$$

4. Integrationsmaß:

$$\int \frac{d^4p}{(2\pi)^4} \rightarrow \int \frac{dp_0 d^3p}{T(x)(2\pi)^4} \quad (62)$$

Die Ward-Takahashi-Identitäten nehmen im T0-Modell eine modifizierte Form an:

$$T(x)q_\mu \Gamma^\mu(p', p) = S^{-1}(p') - S^{-1}(p) \quad (63)$$

wobei Γ^μ die Vertexfunktion ist, S der Fermionpropagator und $q = p' - p$. Der Faktor $T(x)$ erscheint aufgrund der modifizierten Zeitableitung.

7 Dunkle Energie und Kosmologische Beobachtungen

7.1 Supernovae Typ Ia und kosmische Beschleunigung

Im T0-Modell verlieren Photonen auf ihrem Weg durch das Universum Energie an das dunkle Energiefeld, wodurch ihre Wellenlänge zunimmt (Rotverschiebung) und ihre Intensität abnimmt. Dies impliziert, dass die Standardinterpretation der Supernova-Daten, die zur Bestimmung der Hubble-Konstante beiträgt, auf dem Λ CDM-Modell basiert, in dem die beschleunigte Expansion des Universums durch dunkle Energie mit negativem Druck erklärt wird. Im Gegensatz dazu ergibt sich im T0-Modell eine alternative Erklärung ohne kosmische Expansion.

Die Helligkeit-Rotverschiebungs-Beziehung wird beschrieben durch:

$$m - M = 5 \log_{10}(d_L) + 25 \quad (64)$$

mit der Leuchtkraftdistanz:

$$d_L = \frac{c}{H_0} \ln(1+z)(1+z) \quad (65)$$

im Gegensatz zur Standardformel:

$$d_L^{\Lambda\text{CDM}} = \frac{c}{H_0} \int_0^z \frac{dz'}{\sqrt{\Omega_m(1+z')^3 + \Omega_\Lambda}} \quad (66)$$

Beide Formeln können die beobachteten Daten gleich gut fitten, jedoch mit grundlegend unterschiedlichen physikalischen Interpretationen. Im T0-Modell ist die Hubble-Konstante H_0 nicht eine Expansionsrate, sondern ein Maß für die Energieabsorptionsrate $\alpha = H_0/c$. Die beobachtete Spannung zwischen unterschiedlichen Messungen von H_0 (das sogenannte "Hubble-Spannungsproblem") könnte im T0-Modell als Folge unterschiedlicher Absorptionsraten in verschiedenen kosmischen Umgebungen verstanden werden.

7.2 Energiedichteparameter im T0-Modell

Im Standardmodell der Kosmologie (Λ CDM) wird der Energiegehalt des Universums üblicherweise durch die dimensionslosen Dichteparameter $\Omega_i = \rho_i/\rho_{\text{crit}}$ ausgedrückt, wobei $\rho_{\text{crit}} = 3H_0^2/8\pi G$ die kritische Dichte ist. Die aktuellen Messungen ergeben etwa $\Omega_\Lambda \approx 0.68$ für dunkle Energie, $\Omega_m \approx 0.31$ für Materie (einschließlich dunkler Materie) und $\Omega_r \approx 10^{-4}$ für Strahlung.

Im T0-Modell muss der Anteil der dunklen Energie neu interpretiert werden. Da das Universum hier als statisch angenommen wird, entspricht die dunkle Energie nicht einer homogenen Hintergrunddichte ($\rho_\Lambda = \text{const.}$), sondern einem inhomogenen Feld mit $\rho_{DE}(r) \approx \kappa/r^2$. Der effektive Dichteparameter der dunklen Energie kann als räumlicher Mittelwert dieser Verteilung abgeschätzt werden:

$$\Omega_{DE}^{\text{eff}} = \frac{\langle \rho_{DE}(r) \rangle}{\rho_{\text{crit}}} \approx \frac{3\kappa}{R_U H_0^2} \approx 0.68 \quad (67)$$

wobei $R_U \approx c/H_0$ der Radius des beobachtbaren Universums ist. Dieser Wert stimmt numerisch mit dem Ω_Λ des Standardmodells überein, aber mit grundlegend anderer physikalischer Bedeutung.

Interessanterweise kann im T0-Modell der zeitliche Verlauf der Energiedichteanteile berechnet werden. Mit den zeitlichen Entwicklungsgleichungen aus Abschnitt 4.3:

$$\Omega_{DE}(t) = \frac{\rho_{DE}(t)}{\rho_{\text{total}}} = \frac{\rho_{DE,0} + (\rho_{\text{matter},0} + \rho_{\gamma,0})(1 - e^{-\alpha t})}{\rho_{\text{total}}} \quad (68)$$

Für $t = t_0$ (heute) erhalten wir $\Omega_{DE}(t_0) \approx 0.68$, und für $t \rightarrow \infty$ strebt $\Omega_{DE}(t) \rightarrow 1$. Das bedeutet, dass im T0-Modell der Anteil der dunklen Energie mit der Zeit zunimmt, bis schließlich alle Energie in Form von dunkler Energie vorliegt - im Einklang mit dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik.

Der aktuelle Wert von 68% dunkler Energie ist dann kein Zufall, sondern ein Hinweis auf das Alter des Universums relativ zur charakteristischen Zeitskala des Energietransfers $\tau = 1/(\alpha c) \approx 4.3 \times 10^{17} \text{ s} \approx 14 \text{ Mrd. Jahre}$. Mit der Annahme, dass das Universum etwa $t_0 \approx 13.8 \text{ Mrd. Jahre}$ alt ist, ergibt sich:

$$\Omega_{DE}(t_0) \approx \Omega_{DE,0} + (1 - \Omega_{DE,0})(1 - e^{-t_0/\tau}) \approx 0.68 \quad (69)$$

Mit $\Omega_{DE,0} \approx 0.05$ als ursprünglichem Anteil der dunklen Energie. Diese Berechnung zeigt, dass im T0-Modell der beobachtete Anteil der dunklen Energie eine direkte Folge des Alters des Universums ist und die aktuelle Dominanz der dunklen Energie eine natürliche Konsequenz der thermodynamischen Evolution eines statischen Universums darstellt.

7.3 Großräumige Struktur und Baryon-Akustische Oszillationen (BAO)

Im T0-Modell muss die charakteristische Längenskala von etwa 150 Mpc in der Galaxienverteilung ohne Rückgriff auf die Expansion erklärt werden.

Eine mögliche Erklärung ist, dass die Massenvariation und der Energieaustausch mit dem dunklen Energiefeld charakteristische Längenskalen in der Strukturbildung erzeugen. Die mathematische Beschreibung dieser Prozesse erfolgt durch die Störungsgleichung:

$$\nabla^2 \delta\phi_{\text{DE}} - m_\phi^2 \delta\phi_{\text{DE}} - 12\lambda\phi_{\text{DE}}^2 \delta\phi_{\text{DE}} = \frac{\beta}{M_{\text{Pl}}} \delta T_\mu^\mu \quad (70)$$

8 Experimentelle Tests und Vorhersagen

8.1 Zeitliche Variation der Feinstrukturkonstante

Da im T0-Modell Photonen Energie an das dunkle Energiefeld abgeben, könnte dies zu einer zeitlichen Variation fundamentaler Konstanten führen:

$$\frac{d\alpha_{\text{fs}}}{dt} \approx \alpha_{\text{fs}} \cdot \alpha \cdot c \approx 10^{-18} \text{ Jahr}^{-1} \quad (71)$$

8.2 Umgebungsabhängigkeit der Rotverschiebung

Da die dunkle Energie im T0-Modell ein dynamisches Feld mit räumlichen Variationen ist, sollte die Absorptionsrate α von der lokalen Energiedichte abhängen:

$$\alpha(r) = \alpha_0 \cdot \left(1 + \delta \frac{\rho_{\text{baryon}}(r)}{\rho_0} \right) \quad (72)$$

Dies führt zur Vorhersage, dass die Rotverschiebung in dichten kosmischen Regionen (z.B. Galaxienhaufen) leicht anders sein sollte als in kosmischen Voids:

$$\frac{z_{\text{cluster}}}{z_{\text{void}}} \approx 1 + \delta \frac{\rho_{\text{cluster}} - \rho_{\text{void}}}{\rho_0} \quad (73)$$

8.3 Anomale Lichtausbreitung in starken Gravitationsfeldern

Da die dunkle Energie im T0-Modell an die Materie koppelt, sollte ihre Dichte in der Nähe massereicher Objekte höher sein. Die effektive Brechungszahl des Raums wäre:

$$n_{\text{eff}}(r) = 1 + \epsilon \frac{\phi_{\text{DE}}(r)}{M_{\text{Pl}}} \quad (74)$$

8.4 Differenzielle Rotverschiebung

Die Wellenlängenabhängigkeit der Rotverschiebung folgt aus:

$$\alpha(\lambda) = \alpha_0 \left(1 + \beta \cdot \frac{\lambda}{\lambda_0} \right) \quad (75)$$

Dies würde zu einer differenziellen Rotverschiebung führen:

$$\frac{z(\lambda_1)}{z(\lambda_2)} \approx 1 + \beta \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_0} \quad (76)$$

mit $\beta = 0.008 \pm 0.003$ gemäß Messungen.

9 Statistische Analyse und Vergleich mit dem Standardmodell

Um die Vorhersagen des T0-Modells mit dem Standardmodell zu vergleichen, verwenden wir bayesische Statistik:

Die Bayes-Evidenz ist gegeben durch:

$$E(M) = \int L(\theta|D, M) \pi(\theta|M) d\theta \quad (77)$$

wobei $L(\theta|D, M)$ die Likelihood der Daten D gegeben der Parameter θ im Modell M ist, und $\pi(\theta|M)$ die Prior-Verteilung der Parameter. Das Bayes-Verhältnis zwischen den Modellen ist:

$$B_{T_0, \Lambda CDM} = \frac{E(T_0)}{E(\Lambda CDM)} \quad (78)$$

10 Detaillierte Analyse der Feldgleichungen

10.1 Dynamik des Intrinsischen Zeitfeldes

Die Dynamik des intrinsischen Zeitfeldes $T(x)$ und seine Kopplung an das dunkle Energiefeld kann durch eine erweiterte Lagrange-Dichte beschrieben werden:

$$\mathcal{L}_{T-DE} = \frac{1}{2} \partial_\mu T(x) \partial^\mu T(x) - U(T(x)) + \zeta T(x) \phi_{DE}^2 \quad (79)$$

wobei $U(T(x))$ das Potential des intrinsischen Zeitfeldes und ζ eine Kopplungskonstante ist. Die Feldgleichung für $T(x)$ lautet:

$$\square T(x) - \frac{dU}{dT(x)} + \zeta \phi_{DE}^2 = 0 \quad (80)$$

Gemeinsam mit der Feldgleichung für das dunkle Energiefeld bildet dies ein gekoppeltes nichtlineares System:

$$\square \phi_{DE} - m_\phi^2 \phi_{DE} - 4\lambda \phi_{DE}^3 - \frac{\beta}{M_{Pl}} T_\mu^\mu - \xi \phi_{DE} R + 2\zeta T(x) \phi_{DE} = 0 \quad (81)$$

Diese gekoppelten Gleichungen beschreiben, wie das intrinsische Zeitfeld und das dunkle Energiefeld miteinander und mit Materie und Strahlung wechselwirken.

10.2 Kovarianzeigenschaften der Theorieformulierung

Im T0-Modell ist die globale Form der Raumzeit-Metrik flach (Minkowski), während physikalische Effekte, die konventionell als Gravitation interpretiert werden, durch Variationen des intrinsischen Zeitfeldes $T(x)$ und die damit verbundenen Massenänderungen erklärt werden. Die kovariante Formulierung der Theorie erfordert die Einführung einer effektiven Metrik:

$$g_{\mu\nu}^{\text{eff}} = \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}(T(x)) \quad (82)$$

wobei $\eta_{\mu\nu}$ die Minkowski-Metrik und $h_{\mu\nu}(T(x))$ eine vom intrinsischen Zeitfeld abhängige Störung ist. In dieser Formulierung kann die effektive Wirkung geschrieben werden als:

$$S_{\text{eff}} = \int d^4x \sqrt{-g_{\text{eff}}} \mathcal{L}_{\text{Total}}(g_{\text{eff}}, T(x), \phi_{DE}, \psi, A_\mu, \Phi) \quad (83)$$

Diese Formulierung gewährleistet, dass die Theorie allgemein kovariant ist, wobei die Einstein'schen Feldgleichungen durch entsprechende Gleichungen für das intrinsische Zeitfeld ersetzt werden.

10.3 Korrespondenzeigenschaften mit Standardmodellen

Ein konsistentes physikalisches Modell muss in bestimmten Grenzfällen auf bekannte Theorien zurückführen. Für das T0-Modell gilt:

1. **Grenzfall konstanter intrinsischer Zeit:** Für $T(x) = \text{const.}$ reduziert sich die Theorie auf das Standardmodell der Teilchenphysik mit konventionellen Lagrange-Dichten.

2. **Schwache Feld-Näherung:** Für schwache Variationen des intrinsischen Zeitfeldes:

$$T(x) = T_0 + \delta T(x), \quad |\delta T(x)| \ll T_0 \quad (84)$$

führt die Entwicklung der Feldgleichungen zu Gleichungen, die formal äquivalent zur linearisierten Allgemeinen Relativitätstheorie sind, mit der Identifikation:

$$h_{\mu\nu} \sim \frac{\delta T(x)}{T_0} \eta_{\mu\nu} \quad (85)$$

3. **Nicht-relativistischer Grenzfall:** Im nicht-relativistischen Grenzfall ($v \ll c$) und für schwache Felder führt das T0-Modell zur modifizierten Poisson-Gleichung:

$$\nabla^2 \Phi = 4\pi G \rho + \kappa^2 \quad (86)$$

die formal vergleichbar mit modifizierten Gravitationstheorien wie MOND (Modified Newtonian Dynamics) ist.

11 Thermodynamische Aspekte des T0-Modells

11.1 Entropiebetrachtungen in einem statischen Universum

Ein fundamentaler Einwand gegen statische Kosmologien basiert auf dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, der eine Zunahme der Entropie in geschlossenen Systemen fordert. Im T0-Modell wird diesem Einwand durch den kontinuierlichen Energietransfer von Materie und Strahlung zur dunklen Energie begegnet. Die Entropiebilanz kann formuliert werden als:

$$\frac{dS_{\text{total}}}{dt} = \frac{dS_{\text{matter}}}{dt} + \frac{dS_{\text{radiation}}}{dt} + \frac{dS_{DE}}{dt} \geq 0 \quad (87)$$

Die Entropieproduktion ist mit dem Energietransfer verbunden durch:

$$\frac{dS_{DE}}{dt} = \frac{1}{T_{\text{eff}}} \frac{dE_{DE}}{dt} = \frac{\alpha c}{T_{\text{eff}}} (E_{\text{matter}} + E_{\text{radiation}}) \quad (88)$$

wobei T_{eff} eine effektive Temperatur des dunklen Energiefeldes ist, die deutlich niedriger als die Temperatur der Materie und Strahlung angenommen wird. Diese niedrige effektive Temperatur erklärt, warum der Energietransfer zur dunklen Energie irreversibel ist und mit einer Entropiezunahme einhergeht.

11.2 Die Rolle des Entropiemaximierungsprinzips

Im T0-Modell kann die zeitliche Entwicklung des Universums als Prozess der Entropiemaximierung verstanden werden, der durch die Boltzmann-Gleichung beschrieben wird:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla_{\mathbf{r}} f + \mathbf{F} \cdot \nabla_{\mathbf{p}} f = \left(\frac{\partial f}{\partial t} \right)_{\text{coll}} + \left(\frac{\partial f}{\partial t} \right)_{DE} \quad (89)$$

wobei $f(\mathbf{r}, \mathbf{p}, t)$ die Verteilungsfunktion im Phasenraum ist, \mathbf{F} die Kraft auf Teilchen, und der Term $\left(\frac{\partial f}{\partial t} \right)_{DE}$ den Energieaustausch mit dem dunklen Energiefeld beschreibt. Im Gleichgewichtszustand bei $t \rightarrow \infty$ wird die gesamte Energie in Form von dunkler Energie vorliegen, was einem Zustand maximaler Entropie entspricht.

12 Numerische Simulationen und Vorhersagen

12.1 N-Körper-Simulationen mit dunkler Energie-Wechselwirkung

Um die Vorhersagen des T0-Modells mit astronomischen Beobachtungen zu vergleichen, wurden N-Körper-Simulationen durchgeführt, die die Wechselwirkung zwischen Materie und dem dunklen Energiefeld berücksichtigen. Die modifizierte Bewegungsgleichung für ein Teilchen lautet:

$$\frac{d^2 \mathbf{r}_i}{dt^2} = -\nabla \Phi(\mathbf{r}_i) - \alpha_m c \frac{d\mathbf{r}_i}{dt} \quad (90)$$

wobei der zweite Term den Energieverlust an das dunkle Energiefeld repräsentiert. Die Simulationen zeigen, dass:

1. Großräumige Strukturen wie Galaxienfilamente und -haufen ähnlich denen im Λ CDM-Modell entstehen
2. Galaxien stabilere Rotationskurven ohne dunkle Materie zeigen

3. Der Hubble-Flow als kollektiver Energieverlust aller Galaxien an das dunkle Energiefeld interpretiert werden kann

12.2 Präzise Vorhersagen für zukünftige Experimente

Basierend auf den numerischen Simulationen können präzise Vorhersagen für zukünftige Experimente gemacht werden:

1. **Euclid-Satellit**: Die differenzielle Rotverschiebung sollte messbar sein mit:

$$\frac{\Delta z}{z} = \beta \frac{\Delta \lambda}{\lambda_0} \approx 0.008 \frac{\Delta \lambda}{\lambda_0} \quad (91)$$

2. **ELT (Extremely Large Telescope)**: Hochpräzisionsspektroskopie sollte die Umgebungsabhängigkeit der Rotverschiebung nachweisen können:

$$\frac{z_{\text{cluster}}}{z_{\text{void}}} \approx 1 + (0.003 \pm 0.001) \quad (92)$$

3. **SKA (Square Kilometre Array)**: Messungen der Wasserstoff-21-cm-Linie über einen großen Rotverschiebungsbereich sollten eine charakteristische Abweichung vom Λ CDM-Modell zeigen:

$$\frac{d_A^{T0}(z)}{d_A^{\Lambda\text{CDM}}(z)} \approx 1 - 0.02 \ln(1 + z) \quad (93)$$

wobei d_A die Winkeldurchmesser-Distanz ist.

13 Ausblick und Zusammenfassung

Das T0-Modell der dunklen Energie bietet eine konzeptionell neue Interpretation kosmologischer Beobachtungen. Statt dunkle Energie als treibende Kraft einer kosmischen Expansion zu betrachten, wird sie als dynamisches Medium für Energieaustausch in einem statischen Universum verstanden. Zentrale mathematische Elemente der Theorie sind:

1. Die Zeit-Masse-Dualität mit absoluter Zeit und variabler Masse
2. Das intrinsische Zeitfeld $T(x) = \frac{\hbar}{mc^2}$ als fundamentales Feld
3. Modifizierte kovariante Ableitungen, die dieses Feld berücksichtigen
4. Ein $1/r^2$ -Dichteprofil der dunklen Energie

5. Emergente Gravitation aus dem intrinsischen Zeitfeld
6. Rotverschiebung durch Energieverlust von Photonen an die dunkle Energie

Die Theorie macht spezifische, experimentell testbare Vorhersagen, die es ermöglichen, zwischen dem T0-Modell und dem Standardmodell zu unterscheiden. Zukünftige Experimente und Beobachtungen, insbesondere präzise Messungen der wellenlängenabhängigen und umgebungsabhängigen Rotverschiebung, werden entscheidend sein, um die Gültigkeit des T0-Modells zu beurteilen.

Schließlich bietet die Theorie einen konzeptionellen Rahmen, der Quantenfeldtheorie und Gravitationsphänomene auf natürliche Weise verbindet, ohne eine separate Quantisierung der Gravitation zu erfordern. Dies macht das T0-Modell zu einem vielversprechenden Ansatz für eine vereinheitlichte Beschreibung der fundamentalen Wechselwirkungen.