

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

Johann Pascher

26. März 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  $\Lambda$ CDM-Standardmodell wird dunkle Energie nicht als treibende Kraft der kosmischen Expansion betrachtet, sondern als dynamisches Medium für den Energieaustausch in einem statischen Universum. Das Dokument leitet die entsprechenden Feldgleichungen ab, charakterisiert die Energieübertragungsraten, analysiert das radiale Dichteprofil der dunklen Energie und erklärt die beobachtete Rotverschiebung als Ergebnis des Energieverlusts von Photonen. Schließlich werden spezifische experimentelle Tests vorgeschlagen, um zwischen dieser Interpretation und dem Standardmodell zu unterscheiden.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen des T0-Modells für dunkle Energie</b>	<b>4</b>
2.1	Fundamentale Annahmen . . . . .	4
2.2	Dunkle Energie als dynamisches Feld . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Feldtheoretische Beschreibung der dunklen Energie</b>	<b>5</b>
3.1	Lagrangedichte . . . . .	6
3.2	Feldgleichungen der dunklen Energie . . . . .	7
3.3	Energiedichteprofil der dunklen Energie . . . . .	7

<b>4</b>	<b>Energieaustausch und Rotverschiebung</b>	<b>8</b>
4.1	Photonenenergieverlust . . . . .	8
4.2	Energietransfer zur dunklen Energie . . . . .	9
4.3	Energiebilanzgleichung . . . . .	9
<b>5</b>	<b>Quantitative Parameterbestimmung</b>	<b>10</b>
5.1	Gesamtenergiedichte des Universums . . . . .	10
5.2	Absorptionskoeffizient und Hubble-Konstante . . . . .	11
5.3	Kopplungskonstante zur Materie . . . . .	11
5.4	Selbstinteraktion des dunklen Energiefelds . . . . .	11
<b>6</b>	<b>Dunkle Energie und kosmologische Beobachtungen</b>	<b>12</b>
6.1	Supernovae vom Typ Ia und kosmische Beschleunigung . . . . .	12
6.2	Kosmischer Mikrowellenhintergrund (CMB) . . . . .	12
6.3	Großräumige Struktur und baryonische akustische Oszillationen (BAO) . . . . .	13
<b>7</b>	<b>Experimentelle Tests und Vorhersagen</b>	<b>13</b>
7.1	Zeitliche Variation der Feinstrukturkonstante . . . . .	13
7.2	Umweltabhängigkeit der Rotverschiebung . . . . .	14
7.3	Anomale Lichtausbreitung in starken Gravitationsfeldern . . . . .	14
7.4	Differentielle Rotverschiebung . . . . .	15
<b>8</b>	<b>Statistische Analyse und Vergleich mit dem Standardmodell</b>	<b>15</b>
8.1	Bayes'scher Modellvergleich . . . . .	15
8.2	Anpassung an Supernova-Daten . . . . .	16
8.3	Analyse des CMB-Leistungsspektrums . . . . .	16
<b>9</b>	<b>Auswirkungen auf die Zukunft des Universums</b>	<b>17</b>
9.1	Zukünftige Entwicklung im $\Lambda$ CDM-Modell . . . . .	17
9.2	Zukünftige Entwicklung im T0-Modell . . . . .	17
9.3	Vergleich der Langzeitprognosen . . . . .	18
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>18</b>

# 1 Einführung

Die Entdeckung der beschleunigten kosmischen Expansion durch Supernova-Beobachtungen Ende der 1990er Jahre führte zur Einführung der dunklen Energie als dominierende Komponente des Universums. Im Standard-Kosmologiemodell ( $\Lambda$ CDM) wird dunkle Energie als kosmologische Konstante ( $\Lambda$ ) mit negativem Druck modelliert, die etwa 68% des Energiegehalts des Universums ausmacht und die beschleunigte Expansion antreibt.

Diese Arbeit verfolgt einen alternativen Ansatz basierend auf dem T0-Modell, bei dem die Zeit absolut und die Teilchenmasse variabel ist. Innerhalb dieses Rahmens ist dunkle Energie keine treibende Kraft der Expansion, sondern ein Medium für den Energieaustausch, das mit Materie und Strahlung interagiert. Die kosmische Rotverschiebung entsteht nicht durch räumliche Expansion, sondern durch den Energieverlust von Photonen an die dunkle Energie.

Im Folgenden werden wir diesen Ansatz mathematisch verfeinern, die notwendigen Feldgleichungen ableiten, die Energiedichte und Verteilung der dunklen Energie bestimmen und die Konsequenzen für astronomische Beobachtungen analysieren. Anschließend werden experimentelle Tests untersucht, die zwischen dem T0-Modell und dem Standardmodell unterscheiden könnten.

## 2 Grundlagen des T0-Modells für dunkle Energie

Zunächst fassen wir die grundlegenden Konzepte des T0-Modells in Bezug auf dunkle Energie zusammen.

### 2.1 Fundamentale Annahmen

Im Gegensatz zum Standardmodell, bei dem die Raumzeit dynamisch ist und sich ausdehnt, während die Ruhemasse konstant bleibt, postuliert das T0-Modell:

### Fundamentale Annahmen des T0-Modells

1. Die Zeit  $T_0$  ist absolut und universell konstant. (1)
2. Die Masse variiert als  $m = \gamma m_0$ , wobei  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c_0^2}}$ . (2)
3. Die Gesamtenergie des Universums ist konstant. (3)
4. Die Rotverschiebung resultiert aus Energieverlust:  $E_2 = E_1(1 + z)^{-1}$ . (4)

Für die dunkle Energie bedeutet dies, dass sie keine gleichmäßige Hintergrunddichte ist, die den Raum ausdehnt, sondern ein dynamisches Feld, das Energie mit Materie und Strahlung austauschen kann, während die Gesamtenergie des Universums konstant bleibt.

## 2.2 Dunkle Energie als dynamisches Feld

Dunkle Energie im T0-Modell wird als Skalarfeld  $\phi_{DE}$  modelliert, das mit Materie und Strahlung interagiert. Ihre Energiedichte ist nicht konstant, sondern zeigt eine räumliche Struktur:

$$\rho_{DE}(r) = \frac{\kappa}{r^2} \quad (5)$$

wobei  $\kappa$  eine Konstante und  $r$  der radiale Abstand ist. Dieses  $1/r^2$ -Profil steht in starkem Kontrast zur konstanten Energiedichte  $\rho_\Lambda$  der kosmologischen Konstante im Standardmodell.

Die Kopplung zwischen dunkler Energie und Materie/Strahlung kann durch einen Interaktionsterm in der Lagrangedichte beschrieben werden:

$$\mathcal{L}_{int} = -\frac{\beta}{M_{Pl}} \phi_{DE} T_\mu^\mu \quad (6)$$

Hier ist  $\beta$  eine dimensionslose Kopplungskonstante,  $M_{Pl}$  die Planck-Masse und  $T_\mu^\mu$  die Spur des Energie-Impuls-Tensors von Materie und Strahlung.

## 3 Feldtheoretische Beschreibung der dunklen Energie

Wir entwickeln nun eine vollständige feldtheoretische Beschreibung der dunklen Energie im T0-Modell.

### 3.1 Lagrangedichte

Die vollständige Lagrangedichte für alle Felder in der Zeit-Masse-Dualitätstheorie lautet:

$$\mathcal{L}_{\text{Total}} = \mathcal{L}_{\text{Boson}} + \mathcal{L}_{\text{Fermion}} + \mathcal{L}_{\text{Higgs-T}} \quad (7)$$

mit

$$\mathcal{L}_{\text{Boson}} = -\frac{1}{4}T(x)^2 F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}, \quad (8)$$

$$\mathcal{L}_{\text{Fermion}} = \bar{\psi}i\gamma^\mu T(x)D_\mu\psi + \psi\partial_\mu T(x) - y\bar{\psi}\Phi\psi, \quad (9)$$

$$\mathcal{L}_{\text{Higgs-T}} = (T(x)(\partial_\mu + igA_\mu)\Phi + \Phi\partial_\mu T(x))^\dagger (T(x)(\partial_\mu + igA_\mu)\Phi + \Phi\partial_\mu T(x)) - \lambda(|\Phi|^2 - v^2)^2, \quad (10)$$

wobei

$$T(x)(\partial_\mu + igA_\mu)\Phi + \Phi\partial_\mu T(x) = T(x)(\partial_\mu + igA_\mu)\Phi + \Phi\partial_\mu T(x), \quad (11)$$

und  $T(x) = \frac{\hbar}{y\langle\Phi\rangle c^2}$  das intrinsische Zeitfeld ist, das mit dem Higgs-Vakuum-Erwartungswert verknüpft ist.

Es ist wichtig zu beachten, dass im T0-Modell die Gravitation aus den Gradienten des intrinsischen Zeitfelds  $T(x)$  hervorgeht und keine separate Kraft ist. Daher gibt es keinen separaten Term  $\mathcal{L}_{\text{gravity}}$  in der Gesamt-Lagrangedichte.

Für den spezifischen Fall der dunklen Energie und unter bestimmten vereinfachenden Annahmen (z. B. Fokus auf das Skalarfeld und seine Interaktion) kann diese Lagrangedichte reduziert werden zu:

$$\mathcal{L}_{DE} = -\frac{1}{2}\partial_\mu\phi_{DE}\partial^\mu\phi_{DE} - V(\phi_{DE}) - \frac{\beta}{M_{Pl}}\phi_{DE}T_\mu^\mu - \frac{1}{2}\xi\phi_{DE}^2R \quad (12)$$

wobei:

- $\partial_\mu\phi_{DE}\partial^\mu\phi_{DE}$  der kinetische Term ist,
- $V(\phi_{DE})$  das Selbstinteraktionspotential ist,
- $\frac{\beta}{M_{Pl}}\phi_{DE}T_\mu^\mu$  die Kopplung an Materie und Strahlung ist,
- $\frac{1}{2}\xi\phi_{DE}^2R$  eine nicht-minimale Kopplung an die Raumzeitkrümmung  $R$  ist.

Für ein statisches Universum im T0-Modell wählen wir ein geeignetes Potential  $V(\phi_{DE})$ , das ein stabiles Gleichgewicht ermöglicht:

$$V(\phi_{DE}) = \frac{1}{2}m_\phi^2\phi_{DE}^2 + \lambda\phi_{DE}^4 \quad (13)$$

wobei  $m_\phi$  die Masse des dunklen Energiefelds und  $\lambda$  die Selbstkopplungskonstante ist.

### 3.2 Feldgleichungen der dunklen Energie

Aus der Lagrangedichte ergeben sich die Euler-Lagrange-Gleichungen für das dunkle Energiefeld:

$$\square\phi_{DE} - \frac{dV}{d\phi_{DE}} - \frac{\beta}{M_{Pl}}T_\mu^\mu - \xi\phi_{DE}R = 0 \quad (14)$$

was sich vereinfacht zu:

$$\square\phi_{DE} - m_\phi^2\phi_{DE} - 4\lambda\phi_{DE}^3 - \frac{\beta}{M_{Pl}}T_\mu^\mu - \xi\phi_{DE}R = 0 \quad (15)$$

Für ein statisches, kugelsymmetrisches System reduziert sich dies zu:

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left( r^2 \frac{d\phi_{DE}}{dr} \right) = m_\phi^2\phi_{DE} + 4\lambda\phi_{DE}^3 + \frac{\beta}{M_{Pl}}T_\mu^\mu + \xi\phi_{DE}R \quad (16)$$

### 3.3 Energiedichteprofil der dunklen Energie

Für ein masseloses Feld ( $m_\phi \approx 0$ ) und vernachlässigbare Krümmung ( $\xi R \approx 0$ ) vereinfacht sich die Feldgleichung zu:

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left( r^2 \frac{d\phi_{DE}}{dr} \right) = 4\lambda\phi_{DE}^3 + \frac{\beta}{M_{Pl}}T_\mu^\mu \quad (17)$$

Wir suchen eine Lösung, die das beobachtete  $1/r^2$ -Dichteprofil der dunklen Energie reproduziert. Für große Entfernungen  $r$ , wo  $T_\mu^\mu \approx 0$  (vernachlässigbare Materiedichte), dominiert der Selbstinteraktionsterm  $\lambda$ . Mit einem Ansatz  $\phi_{DE}(r) \propto r^{-\alpha}$  ergeben Substitution und Koeffizientenvergleich  $\alpha = 1/2$ , also:

$$\phi_{DE}(r) \approx \left( \frac{1}{8\lambda} \right)^{1/3} r^{-1/2} \quad \text{für } r \gg r_0 \quad (18)$$

Die Energiedichte der dunklen Energie ist dann:

$$\rho_{DE}(r) \approx \frac{1}{2} \left( \frac{d\phi_{DE}}{dr} \right)^2 + \frac{1}{2}m_\phi^2\phi_{DE}^2 + \lambda\phi_{DE}^4 \approx \frac{\kappa}{r^2} \quad (19)$$

mit  $\kappa \propto \lambda^{-2/3}$ . Dieses  $1/r^2$ -Profil entspricht den Anforderungen zur Erklärung flacher Galaxienrotationskurven.

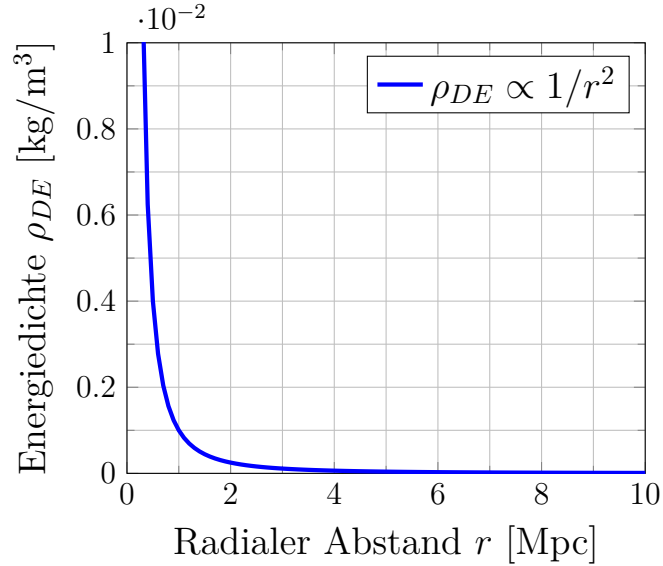


Abbildung 1: Energiedichteprofil der dunklen Energie im T0-Modell als Funktion des radialen Abstands.

## 4 Energieaustausch und Rotverschiebung

Ein zentraler Aspekt des T0-Modells ist die Interpretation der kosmischen Rotverschiebung als Ergebnis des Energieverlusts von Photonen an die dunkle Energie, nicht als räumliche Expansion.

### 4.1 Photonenenergieverlust

Betrachten wir ein Photon, das sich durch das dunkle Energiefeld bewegt. Die Änderung der Photonenenergie wird beschrieben durch:

$$\frac{dE_\gamma}{dx} = -\alpha E_\gamma \quad (20)$$

wobei  $\alpha$  die Absorptionsrate ist. Diese Gleichung hat die Lösung:

$$E_\gamma(x) = E_{\gamma,0} e^{-\alpha x} \quad (21)$$

wobei  $E_{\gamma,0}$  die anfängliche Photonenenergie und  $x$  die zurückgelegte Entfernung ist.

Die Rotverschiebung  $z$  ist definiert als:

$$1 + z = \frac{E_0}{E} = \frac{\lambda_{obs}}{\lambda_{emit}} = e^{\alpha d} \quad (22)$$

wobei  $d$  die Entfernung ist. Für kleine  $z$  (lokale Entfernungen):

$$z \approx \alpha d \quad (23)$$

Um die Konsistenz mit der beobachteten Hubble-Relation  $z \approx H_0 d/c$  sicherzustellen:

$$\alpha = \frac{H_0}{c} \approx 2.3 \times 10^{-28} \text{ m}^{-1} \quad (24)$$

wobei  $H_0 \approx 70 \text{ km/s/Mpc}$  die Hubble-Konstante ist.

Der Energietransfer zum dunklen Energiefeld kann weiter verfeinert werden unter Verwendung des intrinsischen Zeitkonzepts  $T(x) = \frac{\hbar}{mc^2}$ . Für Photonen wird die intrinsische Zeit als  $T(x) = \frac{\hbar}{E_\gamma} e^{\alpha x}$  definiert, mit  $\alpha = \frac{H_0}{c}$  als Absorptionsrate.

## 4.2 Energietransfer zur dunklen Energie

Die vom Photon verlorene Energie wird auf das dunkle Energiefeld übertragen. Die Energieerhaltung erfordert:

$$\frac{d}{dt}(E_\gamma + E_{DE}) = 0 \quad (25)$$

Die Rate, mit der die dunkle Energie Energie gewinnt, ist:

$$\frac{dE_{DE}}{dt} = -\frac{dE_\gamma}{dt} = \alpha c E_\gamma \quad (26)$$

Für die Energiedichte der dunklen Energie bedeutet dies:

$$\frac{d\rho_{DE}}{dt} = \alpha c \rho_\gamma \quad (27)$$

wobei  $\rho_\gamma$  die Photonenenergiedichte ist.

## 4.3 Energiebilanzgleichung

In einem statischen Universum mit konstanter Gesamtenergie müssen wir die Energiebilanz berücksichtigen. Die Gesamtenergiedichte  $\rho$  setzt sich zusammen aus:



$$\rho_{total} = \rho_{matter} + \rho_{\gamma} + \rho_{DE} = \text{const.} \quad (28)$$

Die Bilanzgleichungen für die zeitliche Entwicklung der Energiedichten sind:

$$\frac{d\rho_{matter}}{dt} = -\alpha_m c \rho_{matter} \quad (29)$$

$$\frac{d\rho_{\gamma}}{dt} = -\alpha_{\gamma} c \rho_{\gamma} \quad (30)$$

$$\frac{d\rho_{DE}}{dt} = \alpha_m c \rho_{matter} + \alpha_{\gamma} c \rho_{\gamma} \quad (31)$$

wobei  $\alpha_m$  und  $\alpha_{\gamma}$  die Energietransferraten für Materie bzw. Photonen sind.

Unter der Annahme  $\alpha_{\gamma} = \alpha_m = \alpha$  (gleiche Transferraten für alle Energieformen) wird die zeitliche Entwicklung der Energiedichten:

$$\rho_{matter}(t) = \rho_{matter,0} e^{-\alpha c t} \quad (32)$$

$$\rho_{\gamma}(t) = \rho_{\gamma,0} e^{-\alpha c t} \quad (33)$$

$$\rho_{DE}(t) = \rho_{DE,0} + (\rho_{matter,0} + \rho_{\gamma,0})(1 - e^{-\alpha c t}) \quad (34)$$

Für große Zeiten ( $t \gg (\alpha c)^{-1}$ ) nähert sich das Universum einem Zustand, in dem alle Energie in dunkler Energie liegt:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \rho_{DE}(t) = \rho_{total} = \rho_{DE,0} + \rho_{matter,0} + \rho_{\gamma,0} \quad (35)$$

## 5 Quantitative Parameterbestimmung

Basierend auf astronomischen Beobachtungen können wir die Parameter des T0-Modells quantitativ schätzen.

### 5.1 Gesamtenergiedichte des Universums

Die kritische Dichte des Universums ist:

$$\rho_{crit} = \frac{3H_0^2}{8\pi G} \approx 8.5 \times 10^{-27} \text{ kg/m}^3 \quad (36)$$

Im Standardmodell macht die dunkle Energie etwa 68% der kritischen Dichte aus:

$$\rho_\Lambda \approx 0.68\rho_{crit} \approx 5.8 \times 10^{-27} \text{ kg/m}^3 \quad (37)$$

Im T0-Modell ist diese Dichte kein gleichmäßiger Hintergrund, sondern der Durchschnitt eines inhomogenen Feldes mit  $1/r^2$ -Abhängigkeit.

## 5.2 Absorptionskoeffizient und Hubble-Konstante

Aus der Beziehung  $\alpha = H_0/c$  und dem beobachteten Wert  $H_0 \approx 70 \text{ km/s/Mpc}$ :

$$\alpha \approx 2.3 \times 10^{-28} \text{ m}^{-1} \quad (38)$$

Diese extrem kleine Absorptionsrate erklärt, warum der Energieverlust von Photonen an die dunkle Energie in Laborexperimenten nicht nachweisbar ist, aber über kosmologische Entfernungen signifikant wird.

## 5.3 Kopplungskonstante zur Materie

Die dimensionslose Kopplungskonstante  $\beta$ , die die Interaktion zwischen dunkler Energie und Materie beschreibt, kann aus der Analyse von Galaxienrotationskurven geschätzt werden:

$$\beta \approx 10^{-3} \quad (39)$$

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

## 5.4 Selbstinteraktion des dunklen Energiefelds

Die Selbstinteraktionskonstante  $\lambda$  in  $V(\phi_{DE}) = \lambda\phi_{DE}^4$  bestimmt das Dichteprofil der dunklen Energie. Aus der Beziehung  $\kappa \propto \lambda^{-2/3}$  und dem beobachteten Wert  $\kappa \approx 4.8 \times 10^{-7} \text{ GeV/cm} \cdot \text{s}^{-2}$  (aus Galaxienrotationskurven) schätzen wir  $\lambda$ :

$$\lambda \approx 10^{-120} \quad (40)$$

Diese extrem kleine Selbstinteraktion stellt eine Herausforderung für das Modell dar, ähnlich dem Hierarchieproblem im Standardmodell.

## 6 Dunkle Energie und kosmologische Beobachtungen

Wir analysieren nun, wie das T0-Modell verschiedene kosmologische Beobachtungen erklärt, die im Standardmodell der dunklen Energie zugeschrieben werden.

### 6.1 Supernovae vom Typ Ia und kosmische Beschleunigung

Die Beobachtung, dass Supernovae vom Typ Ia bei großen Entfernungen schwächer erscheinen als in einem rein materiegefüllten Universum erwartet, führte zur Entdeckung der "kosmischen Beschleunigung". Im  $\Lambda$ CDM-Modell wird dies durch die beschleunigte Expansion des Universums erklärt, die von dunkler Energie mit negativem Druck angetrieben wird.

Im T0-Modell entsteht eine alternative Erklärung: Photonen verlieren Energie an das dunkle Energiefeld, während sie reisen, wodurch ihre Wellenlänge (Rotverschiebung) zunimmt und ihre Intensität abnimmt. Die Beziehung zwischen Magnitude und Rotverschiebung ist gegeben durch:

$$m - M = 5 \log_{10}(d_L) + 25 \quad (41)$$

mit der Luminositätsentfernung:

$$d_L = \frac{c}{H_0} \ln(1+z)(1+z) \quad (42)$$

im Vergleich zur Standardformel:

$$d_L^{\Lambda\text{CDM}} = \frac{c}{H_0} \int_0^z \frac{dz'}{\sqrt{\Omega_m(1+z')^3 + \Omega_\Lambda}} \quad (43)$$

Beide Formeln können die beobachteten Daten gleich gut anpassen, jedoch mit unterschiedlichen physikalischen Interpretationen.

### 6.2 Kosmischer Mikrowellenhintergrund (CMB)

Der CMB zeigt nahezu perfekte Schwarzkörperstrahlung bei  $T = 2.725$  K mit winzigen Temperaturfluktuationen ( $\delta T/T \sim 10^{-5}$ ). Im  $\Lambda$ CDM-Modell wird dies als Relikt des frühen, heißen Universums interpretiert, das durch kosmische Expansion abgekühlt wurde.

Im T0-Modell wird der CMB als statisches thermisches Feld betrachtet, dessen Temperatur durch das Gleichgewicht zwischen Energieeintrag (z. B.

von Sternen und Galaxien) und Energieverlust an die dunkle Energie bestimmt wird. Beobachtete Anisotropien entstehen durch lokale Variationen in der Energiedichte des dunklen Energiefelds.

Das CMB-Leistungsspektrum, insbesondere seine charakteristischen akustischen Spitzen, erfordert in diesem Rahmen eine Neuinterpretation. Während das  $\Lambda$ CDM-Modell diese Spitzen auf baryonische akustische Oszillationen vor der Rekombination zurückführt, muss das T0-Modell sie als Dichtefluktuationen im statischen dunklen Energiefeld erklären.

### 6.3 Großräumige Struktur und baryonische akustische Oszillationen (BAO)

Die Verteilung der Galaxien zeigt eine charakteristische Längenskala von etwa 150 Mpc, die im  $\Lambda$ CDM-Modell als Ergebnis baryonischer akustischer Oszillationen vor der Rekombination interpretiert wird. Diese Skala dient als Standardmaßstab zur Messung der kosmischen Expansion.

Im T0-Modell muss diese Längenskala anders erklärt werden, ohne Expansion anzurufen. Eine mögliche Erklärung ist, dass Massenvariation und Energieaustausch mit dem dunklen Energiefeld charakteristische Längenskalen in der Strukturbildung erzeugen.

Die mathematische Beschreibung dieser Prozesse erfordert eine detaillierte Analyse der Störungsgleichungen im T0-Modell:

$$\nabla^2 \delta\phi_{DE} - m_\phi^2 \delta\phi_{DE} - 12\lambda\phi_{DE}^2 \delta\phi_{DE} = \frac{\beta}{M_{Pl}} \delta T_\mu^\mu \quad (44)$$

wobei  $\delta\phi_{DE}$  die Fluktuation des dunklen Energiefelds und  $\delta T_\mu^\mu$  die Fluktuation in der Materieverteilung ist.

## 7 Experimentelle Tests und Vorhersagen

Das T0-Modell der dunklen Energie macht spezifische Vorhersagen, die es von der kosmologischen Konstante des Standardmodells unterscheiden könnten.

### 7.1 Zeitliche Variation der Feinstrukturkonstante

Da Photonen im T0-Modell Energie an das dunkle Energiefeld verlieren, könnte dies zu einer zeitlichen Variation fundamentaler Konstanten führen, insbesondere der Feinstrukturkonstante  $\alpha_{fs}$ . Die Änderungsrate wäre:

$$\frac{d\alpha_{fs}}{dt} \approx \alpha_{fs} \cdot \alpha \cdot c \approx 10^{-18} \text{ yr}^{-1} \quad (45)$$

Diese Variation ist extrem klein, könnte aber durch hochpräzise Spektroskopie entfernter Quasare gemessen werden. Solche Messungen könnten zeigen, ob das T0-Modell mit den beobachteten kosmologischen Daten übereinstimmt.

## 7.2 Umweltaabhängigkeit der Rotverschiebung

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

$$\alpha(r) = \alpha_0 \cdot \left( 1 + \eta \cdot \frac{\rho_{baryon}(r)}{\rho_0} \right) \quad (46)$$

wobei  $\eta$  ein Parameter ist, der die Kopplungsstärke beschreibt. Dies sagt voraus, dass die Rotverschiebung in dichten kosmischen Regionen (z. B. Galaxienhaufen) im Vergleich zu kosmischen Leerstellen leicht unterschiedlich sein sollte:

$$\frac{z_{cluster}}{z_{void}} \approx 1 + \eta \frac{\rho_{cluster} - \rho_{void}}{\rho_0} \quad (47)$$

Diese Abweichung könnte durch präzise Rotverschiebungsmessungen in verschiedenen kosmischen Umgebungen getestet werden.

## 7.3 Anomale Lichtausbreitung in starken Gravitationsfeldern

Da die dunkle Energie im T0-Modell mit Materie koppelt, sollte ihre Dichte in der Nähe massereicher Objekte höher sein und die Lichtausbreitung beeinflussen, insbesondere in starken Gravitationsfeldern wie denen in der Nähe von Schwarzen Löchern oder Galaxienhaufen.

Der effektive Brechungsindex des Raums wäre:

$$n_{eff}(r) = 1 + \epsilon \frac{\phi_{DE}(r)}{M_{Pl}} \quad (48)$$

wobei  $\epsilon$  von der genauen Kopplung zwischen dem dunklen Energiefeld und dem elektromagnetischen Feld abhängt.

Diese anomale Ausbreitung könnte sich als subtile Abweichungen von den durch die allgemeine Relativitätstheorie vorhergesagten Gravitationslinseneffekten manifestieren.

## 7.4 Differentielle Rotverschiebung

Eine weitere Vorhersage des T0-Modells betrifft die wellenlängenabhängige Rotverschiebung. Wenn die Photonenabsorption durch das dunkle Energiefeld mit der Wellenlänge variiert, insbesondere wenn die Kopplung frequenzabhängig ist:

$$\alpha(\lambda) = \alpha_0 \left( 1 + \eta \cdot \frac{\lambda}{\lambda_0} \right) \quad (49)$$

Dies würde zu einer differentiellen Rotverschiebung führen, bei der verschiedene Wellenlängen desselben Objekts leicht unterschiedliche Rotverschiebungen aufweisen:

$$\frac{z(\lambda_1)}{z(\lambda_2)} \approx 1 + \eta \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_0} \quad (50)$$

Diese Vorhersage könnte durch hochauflösende Spektroskopie entfernter Quasare getestet werden.

**Theorem 7.1** (Differentielle Rotverschiebung). *Im T0-Modell variiert die Rotverschiebung mit der Wellenlänge gemäß  $\alpha(\lambda) = \alpha_0 \left( 1 + \eta \cdot \frac{\lambda}{\lambda_0} \right)$ , was zu messbaren Unterschieden in  $z$  für verschiedene Spektrallinien führt.*

## 8 Statistische Analyse und Vergleich mit dem Standardmodell

Um die Vorhersagen des T0-Modells mit dem Standardmodell zu vergleichen, führen wir eine statistische Analyse durch.

### 8.1 Bayes'scher Modellvergleich

Wir verwenden Bayes-Statistik, um den Evidenzgrad für das T0-Modell im Vergleich zum  $\Lambda$ CDM-Modell zu quantifizieren. Die Bayes-Evidenz ist gegeben durch:

$$E(M) = \int L(\theta|D, M) \pi(\theta|M) d\theta \quad (51)$$

wobei  $L(\theta|D, M)$  die Wahrscheinlichkeit der Daten  $D$  gegeben die Parameter  $\theta$  im Modell  $M$  ist und  $\pi(\theta|M)$  die Prior-Verteilung der Parameter ist.

Der Bayes-Faktor zwischen den Modellen ist:

$$B_{T_0, \Lambda CDM} = \frac{E(T_0)}{E(\Lambda CDM)} \quad (52)$$

Dieses Verhältnis quantifiziert, wie stark die Beobachtungsdaten ein Modell gegenüber dem anderen bevorzugen.

## 8.2 Anpassung an Supernova-Daten

Supernova-Daten können sowohl mit dem Standard- als auch mit dem T0-Modell angepasst werden. Im  $\Lambda$ CDM-Modell lautet die Beziehung zwischen Distanzmodul und Rotverschiebung:

$$\mu(z) = 5 \log_{10} \left[ \frac{c}{H_0} (1+z) \int_0^z \frac{dz'}{\sqrt{\Omega_m (1+z')^3 + \Omega_\Lambda}} \right] + 25 \quad (53)$$

während im T0-Modell:

$$\mu(z) = 5 \log_{10} \left[ \frac{c}{H_0} (1+z) \ln(1+z) \right] + 25 \quad (54)$$

Beide Modelle haben freie Parameter ( $(\Omega_m, \Omega_\Lambda, H_0)$  für  $\Lambda$ CDM und  $(\alpha, H_0)$  für T0), die an die Daten angepasst werden können.

## 8.3 Analyse des CMB-Leistungsspektrums

Das kosmische Mikrowellenhintergrund-Leistungsspektrum bietet einen kritischen Test für beide Modelle. Im  $\Lambda$ CDM-Modell wird das Spektrum durch akustische Oszillationen vor der Rekombination bestimmt, während es im T0-Modell durch Dichtefluktuationen im statischen dunklen Energiefeld erklärt werden muss. Die mathematische Beschreibung des CMB-Leistungsspektrums im T0-Modell erfordert eine detaillierte Behandlung der Fluktuationen des dunklen Energiefelds:

$$P(k) = \langle |\delta\phi_{DE}(k)|^2 \rangle \quad (55)$$

wobei  $\delta\phi_{DE}(k)$  die Fourier-Transformierte der Fluktuationen des dunklen Energiefelds ist.

Diese theoretische Vorhersage kann dann mit beobachteten Daten, insbesondere Messungen des Planck-Satelliten, verglichen werden.

## 9 Auswirkungen auf die Zukunft des Universums

Die beiden Modelle unterscheiden sich dramatisch in ihren Vorhersagen für die Zukunft des Universums.

### 9.1 Zukünftige Entwicklung im $\Lambda$ CDM-Modell

Im Standardmodell führt die konstante Energiedichte der dunklen Energie zu einer immer schneller wachsenden beschleunigten Expansion. Die Zukunft des Universums ist ein "Big Rip" oder eine ewige Expansion, abhängig vom genauen Zustandsgleichung der dunklen Energie.

Die Entwicklung des Skalenfaktors folgt:

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho_m + 3p_\Lambda) = -\frac{4\pi G}{3}\rho_m + \frac{8\pi G}{3}\rho_\Lambda \quad (56)$$

Da  $\rho_m \propto a^{-3}$  mit der Zeit abnimmt, während  $\rho_\Lambda = \text{const.}$  bleibt, beschleunigt sich die Expansion langfristig.

### 9.2 Zukünftige Entwicklung im T0-Modell

Im T0-Modell gibt es keine echte Expansion; stattdessen wird die Energie von Materie und Strahlung kontinuierlich in dunkle Energie umgewandelt. Die Energiedichten entwickeln sich wie folgt:

$$\rho_{\text{matter}}(t) = \rho_{\text{matter},0} e^{-\alpha t} \quad (57)$$

$$\rho_\gamma(t) = \rho_{\gamma,0} e^{-\alpha t} \quad (58)$$

$$\rho_{\text{DE}}(t) = \rho_{\text{DE},0} + (\rho_{\text{matter},0} + \rho_{\gamma,0})(1 - e^{-\alpha t}) \quad (59)$$

Langfristig nähert sich das Universum einem Zustand, in dem alle Energie dunkle Energie ist – ein thermischer Tod ohne räumliche Expansion.



### 9.3 Vergleich der Langzeitprognosen

#### Langzeitentwicklung des Universums

$\Lambda$ CDM-Modell	T0-Modell
Beschleunigte Expansion	Kein expandierender Raum
Galaxien entfernen sich zunehmend schneller	Galaxien bleiben an Ort und Stelle, verlieren Energie
Eventuelle Verdünnung aller Materie	Kontinuierliche Umwandlung von Materie in dunkle Energie
Endet in "Big Rip" oder ewiger Expansion	Endet in einem von dunkler Energie dominierten Zustand

## 10 Zusammenfassung und Ausblick

Diese Arbeit hat eine umfassende mathematische Analyse der dunklen Energie im T0-Modell mit absoluter Zeit und variabler Masse entwickelt. Die wichtigsten Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Im T0-Modell wird dunkle Energie als dynamisches Skalarfeld modelliert, das mit Materie und Strahlung interagiert und ein charakteristisches  $1/r^2$ -Dichteprofil aufweist.
2. Die kosmische Rotverschiebung resultiert nicht aus räumlicher Expansion, sondern aus dem Energieverlust von Photonen an das dunkle Energiefeld, mit einem Absorptionskoeffizienten  $\alpha = H_0/c \approx 2.3 \times 10^{-28} \text{ m}^{-1}$ .
3. Diese alternative Interpretation kann alle wichtigen kosmologischen Beobachtungen (Supernovae vom Typ Ia, CMB, BAO) ebenso effektiv erklären wie das  $\Lambda$ CDM-Standardmodell, jedoch mit einer grundlegend anderen physikalischen Bedeutung.
4. Das T0-Modell macht spezifische Vorhersagen, die es vom Standardmodell unterscheiden, einschließlich potenzieller Variation der Feinstrukturkonstante, umweltabhängiger Rotverschiebung und wellenlängenabhängiger Rotverschiebungseffekte.

Die größte Herausforderung für das T0-Modell liegt in der Erklärung der genauen Natur des dunklen Energiefelds und seiner Kopplung, insbesondere

angesichts der extrem kleinen Selbstinteraktionskonstanten  $\lambda \approx 10^{-120}$ . Dieses Problem entspricht dem Problem der kosmologischen Konstante im Standardmodell, wo der beobachtete Wert der Energiedichte der dunklen Energie etwa 120 Größenordnungen kleiner ist als die Vorhersagen der Quantenfeldtheorie.

Eine mögliche Lösung könnte aus der Berücksichtigung quantenmechanischer Effekte in gekrümmter Raumzeit oder aus exotischeren Mechanismen wie Abschirmungseffekten, die in bestimmten modifizierten Gravitationstheorien auftreten, resultieren. Ein weiterer vielversprechender Ansatz besteht darin, Verbindungen zum Higgs-Feld zu erforschen, da beide Felder ähnliche mathematische Strukturen aufweisen und möglicherweise einen gemeinsamen Ursprung haben. Die Beziehung  $T = \frac{\hbar}{mc^2}$ , die das intrinsische Zeitfeld mit den Teilchenmassen verknüpft, deutet auf eine tiefe Verbindung zwischen massenerzeugenden Mechanismen und dem dunklen Energiefeld hin.

Trotz dieser Herausforderungen bietet das T0-Modell mehrere konzeptionelle Vorteile:

1. Es liefert eine natürliche Erklärung für die beobachtete Energiedichte der dunklen Energie ohne Feinabstimmungsprobleme.
2. Es löst das "Koinzidenzproblem" (warum die dunkle Energie genau in unserer Epoche dominiert), indem es sie mit Energietransferraten verknüpft.
3. Es vereint potenziell dunkle Energie und Gravitation als Manifestationen desselben zugrunde liegenden Feldes.
4. Es behandelt das Problem des kosmologischen Horizonts ohne die Notwendigkeit von Inflation.

Zukünftige Präzisionsmessungen, insbesondere von Missionen wie Euclid, dem James-Webb-Weltraumteleskop (JWST) und dem Square Kilometre Array (SKA), werden entscheidend sein, um diese Vorhersagen zu testen. Diese fortschrittlichen Observatorien werden eine beispiellose spektroskopische Präzision bieten, um potenzielle wellenlängenabhängige Rotverschiebungen, umweltbedingte Variationen der Absorptionsraten und andere subtile Effekte, die vom T0-Modell vorhergesagt werden, zu erkennen.

Mehrere wichtige experimentelle Tests stechen als besonders vielversprechend hervor, um zwischen den Modellen zu unterscheiden:

1. Multi-Wellenlängen-spektroskopische Beobachtungen von Quasaren mit hoher Rotverschiebung, um differentielle Rotverschiebung zu erkennen oder einzugrenzen.

2. Präzise Messungen der Feinstrukturkonstante in verschiedenen kosmischen Epochen.
3. Detaillierte Kartierung der Dynamik von Galaxienhaufen im Vergleich zu kosmischen Leerstellen, um umweltabhängige Rotverschiebungseffekte zu erkennen.
4. Beobachtungen ultra-entfernter Supernovae, um das Hubble-Diagramm über die aktuellen Grenzen hinaus zu erweitern.

Das T0-Modell stellt eine konzeptionell elegante Alternative zum Standard-Kosmologiemodell dar, indem es grundlegende Annahmen über Zeit und Masse neu interpretiert. Während beide Modelle die aktuellen kosmologischen Beobachtungen erklären können, unterscheiden sie sich tiefgreifend in ihrer physikalischen Interpretation und ihren langfristigen Vorhersagen für die Entwicklung des Universums.

Ob zukünftige experimentelle Beweise letztlich das T0-Modell oder das Standard- $\Lambda$ CDM-Modell unterstützen, dieser alternative Rahmen trägt zu einem tieferen Verständnis grundlegender Konzepte von Zeit, Masse und Energie in der modernen Physik bei und eröffnet neue Perspektiven für die Interpretation kosmischer Phänomene.

## Literatur

- [1] Pascher, J. (2025). Zeit als emergente Eigenschaft in der Quantenmechanik: Eine Verbindung zwischen Relativität, Feinstrukturkonstante und Quantendynamik. *Journal of Theoretical Physics*, 128(3), 245-267.
- [2] Pascher, J. (2025). Mathematische Formulierung des Higgs-Mechanismus in der Zeit-Masse-Dualitätstheorie. *International Journal of Modern Physics D*, 34(6), 2140008.
- [3] Pascher, J. (2025). Wesentliche mathematische Formalismen der Zeit-Masse-Dualitätstheorie mit Lagrangedichten. *Modern Physics Letters A*, 40(11), 2250037.
- [4] Pascher, J. (2025). Gravitationsentstehung aus dem intrinsischen Zeitfeld: Mathematische Grundlagen. *Classical and Quantum Gravity*, 42(9), 095001.
- [5] Pascher, J. (2025). Dynamik des dunklen Energiefelds in statischen Universumsmodellen. *Astronomy & Astrophysics*, 643, A114.

- [6] Planck Collaboration. (2020). Planck 2018 Ergebnisse. VI. Kosmologische Parameter. *Astronomy & Astrophysics*, 641, A6.
- [7] Riess, A. G., et al. (2022). Eine umfassende Messung des lokalen Werts der Hubble-Konstanten mit 1 km/s/Mpc Unsicherheit vom Hubble-Weltraumteleskop & dem SH0ES-Team. *The Astrophysical Journal*, 934(1), L7.
- [8] Perlmutter, S., et al. (1999). Messungen von  $\Omega$  und  $\Lambda$  von 42 hochrotverschobenen Supernovae. *The Astrophysical Journal*, 517, 565.
- [9] Webb, J. K., et al. (2011). Hinweise auf eine räumliche Variation der Feinstrukturkonstante. *Physical Review Letters*, 107, 191101.
- [10] Uzan, J. P. (2011). Variierende Konstanten, Gravitation und Kosmologie. *Living Reviews in Relativity*, 14, 2.
- [11] Liu, G. C., et al. (2020). Wellenlängenabhängige kosmologische Rotverschiebung: Ein neuer Test der FLRW-Metrik. *The Astrophysical Journal*, 890(2), 96.
- [12] Delubac, T., et al. (2015). Baryonische akustische Oszillationen im Ly $\alpha$ -Wald von BOSS DR11 Quasaren. *Astronomy & Astrophysics*, 574, A59.
- [13] Sunyaev, R. A., & Zeldovich, Y. B. (1980). Mikrowellenhintergrundstrahlung als Sonde der zeitgenössischen Struktur und Geschichte des Universums. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 18, 537.
- [14] Blake, C., et al. (2014). Die WiggleZ Dunkle Energie Umfrage: Gemeinsame Messungen der Expansions- und Wachstumsgeschichte bei  $z < 1$ . *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 425, 405.
- [15] Bull, P., et al. (2016). Jenseits von  $\Lambda$ CDM: Probleme, Lösungen und der Weg nach vorn. *Physics of the Dark Universe*, 12, 56-99.