

Kosmologische Zeitdilatation

Oktober 2026

Autor: Werner Lange, Altos/Paraguay, langealtos
werner.lange.altos@gmail.com

Zusammenfassung: Es wird erläutert, wie jene Form der Zeitdilatation, die allein durch die Expansion des Universums bedingt ist, durch Lichtemission und Lichtempfang auf unterschiedlichen Lichtkegeln modelliert werden kann.

Schlüsselwörter: Lichtkegel, Zeitdilatation, Expansion, Galaxie, mitbewegtes Objekt

English translation of title and abstract for publication on viXra.

Cosmological time dilation

Abstract: This paper explains how the form of time dilation caused solely by the expansion of the universe can be modelled using light emission and light reception on different light cones.

Keywords: light cone, time dilation, expansion, galaxy, comoving object

Kosmologische Zeitdilatation

Unter der kosmologischen Zeitdilatation wird jene Form der Zeitdehnung verstanden, die allein durch die Expansion des Universums verursacht wird.

Die weitere Nomenklatur kann Quelle [1], Kap. 3 und Kap. 6.1 entnommen werden.

Ein im Hubble-Flow treibender Beobachter im räumlichen Ursprung eines kosmologischen Koordinatensystems des Λ CDM-Modells empfangt auf der radialen Koordinatenachse zu einem Zeitpunkt T (Scheitelzeitpunkt des Rückwärts-Lichtkegels) mit zugeordnetem Skalenfaktor $a(T)$ das Lichtsignal S_1 einer Galaxie G , die als ein im Hubble-Flow treibendes mitbewegtes Objekt modelliert sein soll. Das Lichtsignal S_1 wurde zum Zeitpunkt t mit zugeordnetem Skalenfaktor $a(t)$ auf dem Lichtkegel $LK(T)$ mit dem Scheitelzeitpunkt T in Richtung auf den Beobachter emittiert.

Galaxien sind nach dem Zeitpunkt, zu dem sie die Photonen vom Lichtkegelmantel in Richtung auf den Beobachter emittiert haben, selbst nicht mehr auf dem Mantel des Lichtkegels gelegen. Während augenblicksüberdauernde mitbewegte Objekte sich nur kurz auf dem Mantel eines bestimmten Lichtkegels aufhalten, beschreibt der Mantel Ort (Abstand vom Beobachter auf der positiven radialen Halbachse) und Zeit der (tatsächlichen oder theoretischen) Emission von Photonen, die den Beobachter am Scheitelpunkt T gleichzeitig erreichen. Ein Lichtkegel ist also ein zurückgerechnetes Konstrukt. Wenn man liest, ein Photon hätte zu einem bestimmten Zeitpunkt der Vergangenheit auf einem Lichtkegel gelegen, so handelt es sich um den zurückgerechneten Ort und die zurückgerechnete Zeit eines Photons, das den Beobachter am Scheitel soeben erreicht hat. Vergeht bei der Beobachtung einer Galaxie eine bestimmte Zeiteinheit ΔT (z.B. 1 Sekunde, 100'000 Jahre oder 1 Mrd. Jahre), so besteht der dann neu beobachtete Lichtkegel aus vollständig anderen Photonen, die wieder den Beobachter zum Zukunftszeitpunkt $T+\Delta T$ gleichzeitig erreichen. Und die beobachtete Galaxie befindet sich nach dieser Zeiteinheit nicht mehr an jenem Ort (physikalischer Abstand zum Beobachter auf der radialen Koordinatenachse) auf dem Lichtkegel $LK(T)$, an dem sie vor dieser Zeiteinheit angesiedelt war. Vielmehr ist sie nun auf dem Lichtkegel $LK(T+\Delta T)$ mit dem Scheitelzeitpunkt $T+\Delta T$ gelegen.

Vorgegeben sei also ein Beobachtungszeitpunkt T , ein Lichtemissionszeitpunkt t mit $t < T$ und ein kleines positives Zeitintervall ΔT oberhalb von T .

Zum Zeitpunkt $T+\Delta T$ empfangt der Beobachter das Lichtsignal S_2 der Galaxie G , das zum Zeitpunkt $t+\Delta t$ im Schnittpunkt der Weltlinie der Galaxie G mit dem Lichtkegel $LK(T+\Delta T)$ in Richtung auf den Beobachter emittiert wurde.

Dann ist $\Delta T/\Delta t$ ungefähr $a(T)/a(t)$, und zwar umso genauer, je kleiner ΔT ist.

Beispiel: T und t seien so gewählt, dass $a(t)=0.25 a(T)$ gilt. Beim Skalenfaktor $a(t)$ betrug also der physikalische Abstand zwischen mitbewegten Objekten $1/4$ jenes physikalischen Abstands, der jeweils zwischen den gleichen Objekten beim Skalenfaktor $a(T)$ gilt. Dann wird durch die Expansion des Universums das Zeitintervall Δt auf das Zeitintervall ΔT oberhalb von T abgebildet, und es gilt: ΔT ist ungefähr $4 \cdot \Delta t$, und zwar umso genauer, je kleiner ΔT ist. Der Beobachter benötigt für den Empfang ΔT der beiden Signale S_1 und S_2 das ungefähr 4-fache der verstrichenen Emissionszeit Δt , sieht die beiden Signale also unter ungefähr 4-facher Verlangsamung.

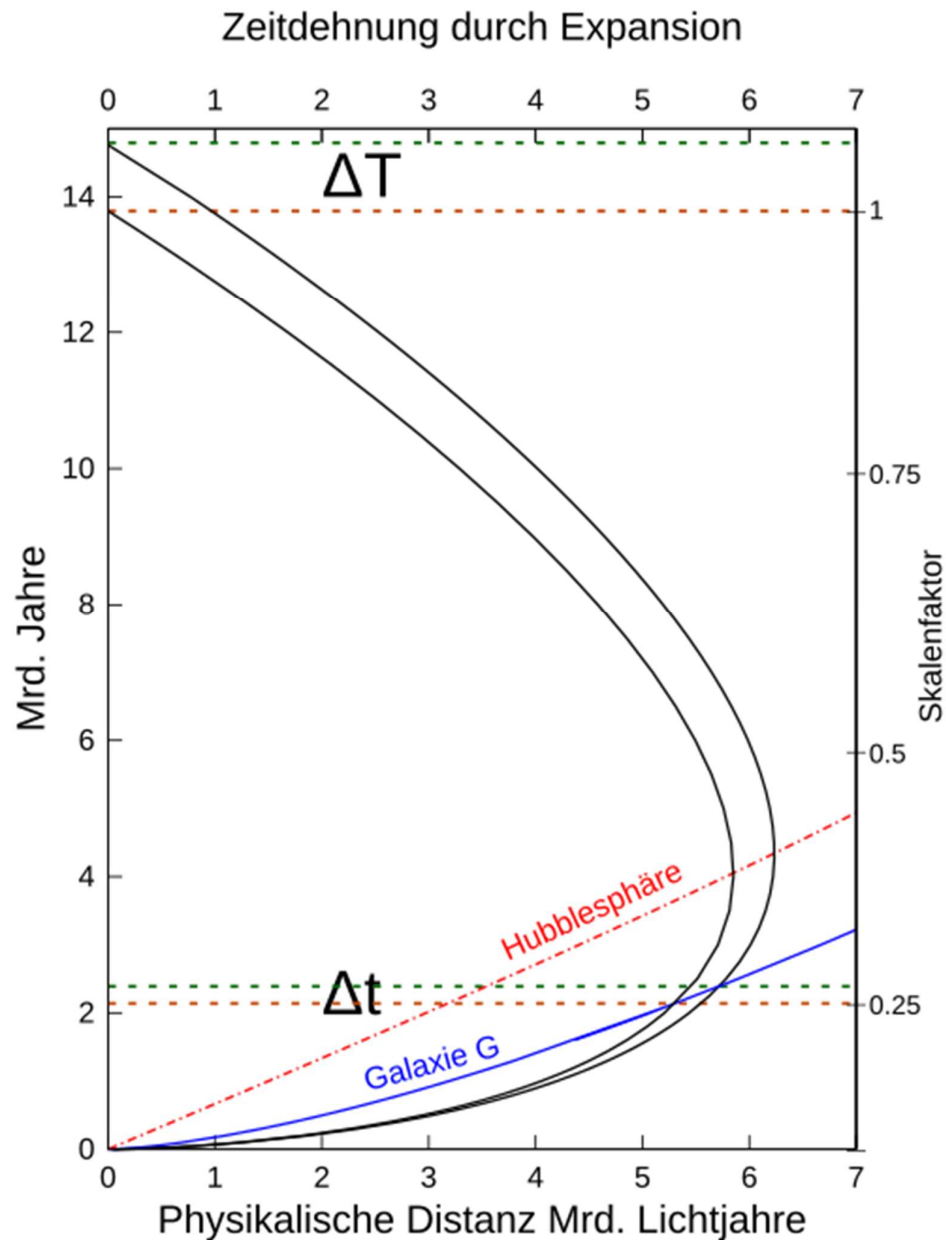


Abbildung: Zeitdehnung durch Expansion des Universums

Verwendet für Berechnungen wurde der Parametersatz Planck 18 [2] und für T der Wert von HEUTE, also $a(T)=1$ und $T=13.7906868085201$ Mrd. Jahre nach dem Urknall. Alle Berechnungen wurden mit dem Kosmologie-Rechner WELTTABELLEN [3] durchgeführt.

Um die Zeitdehnung durch Expansion auch zeichnerisch darstellen zu können, wird unter der Annahme $a(t)=0.25 a(T)$ mit $a(T)=1$ ein Anstieg von $\Delta T=1$ Mrd. Jahren gewählt. Bei $t=2.13842545701032$ Mrd. Jahren nach dem Urknall gilt im Schnittpunkt der Weltlinie der Galaxie G und dem Lichtkegel $LK(T)$ der Skalenfaktor $a(t)=0.25$. Die Weltlinie der Galaxie G schneidet den Lichtkegel $LK(T+\Delta T)$ bei $t+\Delta t=2.38941205445179$ Mrd. Jahren nach dem Urknall bei $a(t+\Delta t)=0.269425241989111$. Es gilt nun $\Delta T=3.984276492 \cdot \Delta t$. ΔT und Δt sind in der Abbildung jeweils zwischen einer dunkelorangeenen waagerechten gestrichelten Linie unten und einer dunkelgrünen gestrichelten Linie oben eingezeichnet.

Wählt man in einer alternativen Rechnung für ΔT den Anstieg von 100'000 Jahren und geht ansonsten wie zuvor beschrieben vor, so gewinnt man $\Delta T = 3.999998046 \cdot \Delta t$.

Zusätzlich ist in der Zeichnung die Hubblesphäre zu sehen, die beide Lichtkegel jeweils zum Zeitpunkt der größten physikalischen Entfernung vom Beobachter schneidet. Beide Schnittpunkte der Weltlinie der Galaxie mit den Lichtkegeln liegen offenbar zeitlich vor den jeweiligen Schnittpunkten mit der Hubblesphäre. Auf den Beobachter gerichtete Photonen auf den jeweiligen Lichtkegeln haben sich also in den Schnittpunkten mit der Weltlinie der Galaxie noch vom Beobachter entfernt, und die physikalische Entfernung vom Beobachter ist bei $t + \Delta t$ größer als beim Zeitpunkt t . Außerdem ist in beiden Beispielen ($\Delta T = 100'000$ Jahre und $\Delta T = 1$ Mrd. Jahre nach dem Urknall) jeweils $a(T + \Delta T)/a(t + \Delta t) < a(T)/a(t)$.

Damit die hier erwähnten Berechnungen nachvollzogen werden können, sollten verwendete Zahlen stets mit hoher Genauigkeit ausgewiesen werden. Vergleichbare Berechnungen können [4], Kap. 5.2.2, entnommen werden.

Literatur

- [1] W. Lange: Von Lichtkegeln im Standardmodell der Kosmologie (Λ CDM-Modell), viXra 2212.0155, <https://vixra.org/abs/2212.0155>, jeweils aktuelle Version: <https://www.welttabellen.com/downloads/weitere-downloads>
- [2] N. Aghanim et al.: Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters, arXiv 1807.06209v4, August 2021, <https://arxiv.org/pdf/1807.06209.pdf>
- [3] W. Lange: Kosmologie-Rechner WELTTABELLEN - Weltlinien des Standardmodells der Kosmologie (Λ CDM-Modell) in Tabellenform, viXra 2209.0113, <https://vixra.org/abs/2209.0113>, jeweils aktuelle Version: <https://www.welttabellen.com/downloads>
- [4] W. Lange: Die Rolle der Hubblesphäre für die Umkehrung des Rezessionsverhaltens von Galaxien und Photonen im Standardmodell der Kosmologie (Λ CDM-Modell), viXra:2504.0137, 2025-2026, <https://vixra.org/abs/2504.0137>