
Inhaltsverzeichnis

1 Einführung: Der Gegenstand der Kosmologie	1	4 Kosmologisch Relevante Astronomische Beobachtungen	2
2 Kinematik von Robertson-Walker-Kosmen	1	4.1 Dunkelheit des Nachthimmels . . .	2
2.1 Kosmologische Symmetrien und Prinzipien	1	4.2 Die Kosmische Entfernungsskala . .	2
2.2 Robertson-Walker-Metrik	1	4.3 Die Kosmische Mikrowellen-Hintergrund-Strahlung	3
2.3 Die Expansions-Rotverschiebung . .	1	5 Die Kosmologische Konstante	3
2.4 Kosmische Nahzone	1	5.1 Einstein Kosmos	3
3 Dynamik von Robertson-Walker-Kosmen	2	5.2 Friedman-Lemaître-Kosmen	3
3.1 Friedmansche Modelle	2	5.3 Das Vakuum als ideale Flüssigkeit .	3
3.2 Friemansche Staubkosmen	2	5.4 Die Kosmologischen Parameter . . .	3
3.3 Die Kritische Dichte	2	5.5 Das Weltalter	3
3.4 Das Weltalter	2	5.6 Der de Sitter-Kosmos	3
3.5 Rotverschiebungs-Entfernungs-Relation	2	6 Horizonte im Universum	3
3.6 Friedman-artige Strahlungskosmen .	2	6.1 Konforme Raumzeit und gerade Lichtkegel	3
3.7 Staub und Strahlung	2	6.2 Teilchenhorizonte und die Hubble-Kugel	3

1 Einführung: Der Gegenstand der Kosmologie

- Wieso ist Kosmologie überhaupt möglich?
- Definition: Kosmologie
- Definition: Universum
- Gedankenexperiment zu Teilchenhorizonten
- Kosmologisches Modell
- Fragen der Kosmologie

2 Kinematik von Robertson-Walker-Kosmen

2.1 Kosmologische Symmetrien und Prinzipien

- Definition: Kosmologisches Prinzip
- Bemerkung

2.2 Robertson-Walker-Metrik

- Vorüberlegung: Trennung des räumlichen und zeitlichen Anteils
- 1. Schritt: Lichtausbreitung
- 2. Schritt: Weltzeit und das Weylsche Postulat

- 3. Schritt: Skalenfaktor
- 4. Schritt: Räume konstanter Krümmung
- 5. Schritt: Reskalierung
- Definition: Robertson-Walker-Metrik
- Definition: χ -Koordinate
- Beispiel: Volumen des Universums
- Geschwindigkeits-Entfernungs-Zusammenhang

2.3 Die Expansions-Rotverschiebung

- Herleitung der Expansions-Rotverschiebung
- Bemerkung: Unterschied zum Doppler-Effekt
- Definition: Rotverschiebung

2.4 Kosmische Nahzone

- Definition: Hubble-Parameter H , Beschleunigungs-Parameters q
- Approximation: Rotverschiebungs-Entfernungs-Zusammenhang
- Verschiedene Entfernungen
- Herleitung der Leuchtkraft-Entfernung
- Definition: Leuchtkraft-Entfernung

- Approximation: Leuchtkraft-Entfernung in Kosmischer Nahzone, Hubble-Diagramm
 - Definition: Winkeldurchmesser-Entfernung
 - Hubble-Effekt
- ### 3 Dynamik von Robertson-Walker-Kosmen
- #### 3.1 Friedmansche Modelle
- Einsteinschen Feldgleichungen
 - Bianchi-Identitäten, Kontinuitätsgleichungen
 - Kosmologische Konstante
 - Einsetzen der Robertson-Walker-Metrik in den Einstein-Tensor
 - Allgemeinste Lösung: ideale Flüssigkeiten, Energie-Impuls-Tensor
 - Definition: Beschleunigungsgleichung, Friedman-Gleichung, Kontinuitätsgleichung
 - Lösungsstrategie
 - Zustandsgleichung: Vakuum, Strahlung, inkohärente Materie wie Staub
- #### 3.2 Friedmansche Staubkosmen
- Annahmen
 - Effektives Potential
 - Lösungen für $\varepsilon \in \{-1, 0, 1\}$
 - Bedeutung
- #### 3.3 Die Kritische Dichte
- Definition: kritische Dichte
 - Werte der kritischen Dichte
 - Definition: Ω -Parameter
- #### 3.4 Das Weltalter
- Definition: Weltalter
 - Substitution durch Rotverschiebung
 - Werte des Weltalters
 - Gleichungen für $\varepsilon \in \{-1, 0, 1\}$
 - Bemerkung: Hubble-Alter versus Hubble-Zeit
- #### 3.5 Rotverschiebungs-Entfernungs-Relation
- Beispielherleitung der Mattig-Formel
 - Bemerkungen zur Mattig-Formel
- #### 3.6 Friedman-artige Strahlungskosmen
- Annahmen
 - Lösung
- #### 3.7 Staub und Strahlung
- Definition: Kosmische Parameter $\Omega_M, \Omega_R, \Omega_K$
 - Bemerkung: Diskussion dominierende Parameter
- #### 3.8 Leistungen und Grenzen der Newtonschen Kosmologie
- Herleitung der Friedman-Gleichung
 - Gravitationsparadoxon
- ## 4 Kosmologisch Relevante Astronomische Beobachtungen
- #### 4.1 Dunkelheit des Nachthimmels
- Gedankenexperiment: Wald mit Bäumen
 - Weltmodelle und Erklärungsversuche
 - Wirkung der endlichen Leuchtdauer
 - Wirkung der Expansions-Rotverschiebung
 - Wirkung der Expansion
 - kosmische Hintergrundstrahlung
- #### 4.2 Die Kosmische Entfernungsskala
- Leuchtkraft-Entfernung
 - Entfernungsmodul
 - Cepheiden als Standardkerzen
 - Supernovae Ia als Standardkerzen
 - Hubble-Diagramm und die beschleunigte Expansion

4.3 Die Kosmische Mikrowellen-Hintergrund-Strahlung

- Temperatur und Plancksches Spektrum
- Plancksches Spektrum und Expansion
- Energiedichte
- Anzahlldichte der Photonen

5 Die Kosmologische Konstante

5.1 Einstein Kosmos

- Annahmen
- Lösung

5.2 Friedman-Lemaître-Kosmen

- Annahmen
- Analyse des effektiven Potentials
- Lösungsmodelle des Diagramms und qualitative Betrachtung
- Friedman-Lemaître-Modelle: Annahmen und Lösungen

5.3 Das Vakuum als ideale Flüssigkeit

- Interpretation von Λ
- Dunkle Energie
- Phantomenergie

5.4 Die Kosmologischen Parameter

- Parameter-Gleichung
- Beschleunigungsparameter-Gleichung
- Rotverschiebung des Wendepunkts

5.5 Das Weltalter

- Integrand des Weltalters
- Lösung für $\varepsilon = 0$

5.6 Der de Sitter-Kosmos

- Annahmen
- Lösungen mit Diagramm

6 Horizonte im Universum

6.1 Konforme Raumzeit und gerade Lichtkegel

- Definition: Konformzeit, gerader Lichtkegel

6.2 Teilchenhorizonte und die Hubble-Kugel

- Hubble-Kugel