

**8. Übungsblatt – Allgemeine Relativitätstheorie II****Abgabe: 06.01.2009**

Bei den schriftlichen Ausarbeitungen werden ausführliche Kommentare zum Vorgehen erwartet. Dafür gibt es auch Punkte! Die Abgabe in Dreiergruppen ist erwünscht.

**Aufgabe 9 (5 Punkte): Beobachtungsrelation**

Man kann allgemein zeigen, dass die scheinbare Helligkeit  $m$  mit der absoluten Helligkeit  $M$  folgenden Zusammenhang zeigt

$$(1) \quad m = M - 2.5 \log(D^{-2}(1+z)^{-4}).$$

Hierin sind  $D$  der Abstand und  $z$  die Rotverschiebung. Für diese gilt näherungsweise die Rotverschiebungs-Abstands-Relation

$$(2) \quad z = \frac{H}{c} D + \frac{(1+q)H^2}{2c^2} D^2.$$

Dabei sind  $H = \frac{c\dot{R}(t)}{R(t)}$  die Hubble-Konstante und der Abbremsungsparameter  $q = \frac{-\ddot{R}(t)R(t)}{\dot{R}(t)^2}$ .

Leiten Sie die Helligkeits-Rotverschiebungs-Relation ( $m - z$ -Relation) für den Robertson-Walker-Kosmos bis einschließlich der ersten Ordnung in  $z$  ab. Hierzu sind folgende Schritte sinnvoll:

a) Bestimmen Sie die zu  $z(D)$  inverse Funktion  $D(z)$ . (Beispielsweise zu finden im Bronstein unter dem Thema: analytische Funktionen, Taylorreihe, Entwicklung elementarer Funktionen in Potenzreihen.)

b) Entwickeln Sie dann die Logarithmusfunktion an der Stelle  $z = 0$ .

Alles zusammen ergibt dann die gesuchte  $m - z$ -Relation.

**Aufgabe 10 (5 Punkte): Hintergrundstrahlung**

Betrachten Sie eine Photonengas, welches sich zu einem Zeitpunkt  $t_e$  im Gleichgewicht befindet, d.h. die Dichte  $n(\nu_e, t_e)$  der Photonen ist (Plancksches Strahlungsgesetz)

$$(3) \quad n(\nu', t_e) d\nu' = \frac{1}{\pi^2 c^3} \frac{\nu'^2 d\nu'}{\exp(\hbar\nu'/kT_e) - 1}.$$

Bestimmen Sie die Änderung dieser Verteilung für den Robertson-Walker-Kosmos.

a) Zeigen Sie, dass die Gleichgewichtsverteilung unter der Expansion des Kosmos erhalten bleibt.

b) Welche Abhängigkeit erhält man für die Entwicklung der neuen Gleichgewichtstemperatur?

c) Diskutieren Sie das erhaltene Ergebnis.

Beachten Sie die Abhängigkeit zwischen Frequenz und Skalenparameter  $\nu R(t) = \nu' R(t_e)$  und

dass sich Volumina bei der Expansion mit  $(\frac{R(t_e)}{R(t)})^3$  skalieren.

- |                  |   |
|------------------|---|
| Vorlesung:       | • Mittwoch 16:15 Uhr – 17:45 Uhr im EW 229  |
| Übung:           | • Dienstag 14:15 Uhr – 15:45 Uhr im EW 114  |
| Scheinkriterien: | • Mindestens 50% der Übungspunkte.  |
| Sprechzeiten:    | • Prof. H.-H. v- Borzeszkowski: EW 740 n. V.<br>• Dr. Thoralf Chrobok: Mo, 14:00–15:00 Uhr im EW 740<br>• Dipl-Phys. Sebastian Heidenreich: Do, 11:30–12:30 Uhr im EW 702 |

Die Anmeldung muss bis zum 3.11.2008 22:59 Uhr unter  
**[https://www.itp.physik.tu-berlin.de/cgi-bin/lvdb/anmeldung.py?id=ws08\\_art2](https://www.itp.physik.tu-berlin.de/cgi-bin/lvdb/anmeldung.py?id=ws08_art2)**  
erfolgen.