

Übungsblatt: Hubble-Gesetz und Teilchenphysik im frühen Universum

DSA Rossleben – Kurs 5.1

Aufgabe 2.1

Das Hubble-Gesetz

$$v = H_0 \cdot d_L$$

beschreibt, mit welcher Geschwindigkeit v sich Galaxien in einer (Luminositäts-)Distanz d_L von uns wegbewegen. Durch spektroskopische Analysen des Lichts von Himmelskörpern und die Analyse des CMB konnte $H_0 = 67.4 \frac{\text{km}}{\text{s Mpc}}$ bestimmt werden.

- a) Ein Parsec ist die Distanz, aus welcher der mittlere Erdbahnradius (1 au), also der mittlere Abstand zwischen Sonne und Erde, unter einem Winkel von einer Bogensekunde erscheint. Es gilt

$$1 \text{ pc} = 206,265 \text{ au} = 3.26 \text{ ly} = 30.9 \times 10^{12} \text{ km}.$$

Nutze obige Umrechnungshilfe um den Hubble-Parameter H_0 in der Einheit s^{-1} anzugeben.

- b) Der inverse Hubble-Parameter H_0^{-1} definiert also eine Zeitskala. Gib diese in einer der Größenordnung angemessenen Einheit an. Was fällt dir auf?
- c) Welche Längenskala gibt cH_0^{-1} an? Wähle auch hier eine Einheit, die der Kosmologie angemessen ist.

Hinweis: Ein Jahr ist ziemlich genau $\pi \times 10^7$ s lang.

Aufgabe 5.2

Hinweis: In der folgenden Aufgabe vergleichen wir Teilchenmassen m (normalerweise in kg oder MeV/c^2) direkt mit Temperaturen T (normalerweise in Kelvin) und schreiben beide einfach in GeV. Das ist kein Zufall: In den natürlichen Einheiten $c = \hbar = k_B = 1$ tragen Massen, Energien und Temperaturen alle dieselbe Einheit (z.B. eV oder GeV) und werden direkt vergleichbar.

In einem heißen Plasma, wie es im frühen Universum vorlag, können nur Teilchenspezies mit Masse $m \lesssim T$ effektiv produziert werden und tragen damit signifikant zur Energiedichte bei; Teilchen mit $m \gg T$ sind exponentiell unterdrückt. Schau dir die Massen der Teilchen des Standardmodells an (Abbildung 1) und überlege:

1. Welche Teilchenspezies sind bei einer Temperatur von $T = 10^{16} \text{ GeV}$ (ungefähr die Temperatur am Ende der Inflation) Teil des Plasmas?
2. Welche bei $T = 10 \text{ GeV}$?
3. Welche bei $T = 0.1 \text{ MeV}$ (kurz vor der Elektron-Positron-Annihilation)?

Was fällt dir auf, wenn du die drei Fälle vergleichst?

Quarks			Eichbosonen	
u up 2.2 MeV	c charm 1.27 GeV	t top 173 GeV	g Gluon 0	H Higgs 125.25 GeV
d down 4.7 MeV	s strange 95 MeV	b bottom 4.18 GeV	γ Photon 0	
e Elektron 0.511 MeV	μ Myon 105.7 MeV	τ Tauon 1.777 GeV	Z Z-Boson 91.19 GeV	
ν_e Elektron- Neutrino < 1 eV	ν_μ Myon- Neutrino < 1 eV	ν_τ Tau- Neutrino < 1 eV	$W^\pm$ W-Boson 80.38 GeV	
Leptonen				

Abbildung 1: Die Elementarteilchen des Standardmodells mit ihren (Ruhe-)Massen. Quarks und Leptonen (links, je drei „Generationen“) sind Fermionen und bilden die Materie; Gluon, Photon, Z- und W-Bosonen (rechts) sind die Austauschteilchen der starken, elektromagnetischen und schwachen Wechselwirkung. Das Higgs-Boson ist für die Massen der anderen Teilchen verantwortlich.