

# Vježba 10: Problem ravnosti

I. Picek, Fizikalna kozmologija

2. svibanj 2011.

Promotrite rani svemir ispunjen ultrarelativističkom plazmom. Tada vrijedi

$$\begin{aligned}\rho &= 3p = \frac{\pi^2}{30} g_{eff}(T) T^4, \\ s &= \frac{2\pi^2}{45} g_{eff} T^3,\end{aligned}\tag{1}$$

gdje je  $g_{eff}(T)$  efektivni broj stupnjeva slobode čestica koje su u termičkoj ravnoteži na temperaturi  $T$ , a  $s$  je gustoća entropije.

Zapišite Friedmannove jednadžbe tako da opisuju vremensku evoluciju temperature  $T$  u području gdje promjena temperature ne utječe na  $g_{eff}$ . Uz zahtjev da je ukupna entropija očuvana i uz pretpostavku da je sva entropija sadržana u fotonima nađite gornju granicu na veličinu  $1 - \rho/\rho_{cr}$  u ranom svemiru, kada je temperatura  $T \approx 10^{17}$  GeV i  $g_{eff} \approx 100$ . Stavite, radi pogodnosti u računu,  $k = \pm 1$ .