

Kosmologische Parameter' und Inflation ① 15. Juli 2010

Welche (wichtigen) Parameter beschreiben die Struktur und Zustand des Universums?

H_0 : heutige Expansionsrate

$$\Omega_m := \rho_{\text{materie}} / \rho_{\text{crit}} \quad \text{mit} \quad \rho_{\text{crit}} = \frac{3H_0^2}{8\pi G}$$

Ω_{bary} : "normale Materie"

Ω_Λ : "kosmologische Konstante" / Vakuumenergie

$$[\text{Krümmung: } \Omega_k \equiv 1 - \Omega_m - \Omega_\Lambda]$$

Amplitude von Fluktuationen: z.B. σ_8 : Varianz in Kugeln von Radius 8 Mpc (heute)

Wie bestimmt man die kosmol. Parameter?

H_0 : geom. Entfernungen vs. z ($z \lesssim 0.1$)

$$\Omega_m + \Omega_\Lambda \rightarrow a(t) \rightarrow \begin{cases} \text{Leuchtkraftentfernung} \\ \text{Winkelentfernung} \end{cases}$$

$$\text{und } \ddot{\delta} + \frac{2\dot{a}}{a} \dot{\delta} = 4\pi G \bar{\rho}_m^{(a)} \delta \rightarrow \Omega_m, \Omega_\Lambda \text{ bestimmen} \\ \text{Strukturwachstum durch } \bar{\rho}_m, \dot{a}(t)$$

Ω_{bary} : primordiale Nucleosynthese + kosm. Hintergrundfluktuationen

Inflation im Kosmos

(2)

Das bisher bespr. Modell der Ausdehnung des Kosmos und der Strukturbildung erklärt vieles, läßt aber fundamentale Fragen offen:

Wie kommt es zur Ausdehnung des Universums?

Woher kommen die anfänglichen Massenfuktuationen (skalenfrei "zufällig")

Warum ist das Universum auf großen Skalen isotrop? (CMB)

Warum ist der Raum nahezu flach? $\Omega \equiv \Omega_M + \Omega_\Lambda \approx 1$ (heute)?

Isotropie des CMB:

Horizont: Weg, den Licht seit $t=0$ zurück gelegt hat

$$d_H(t) = c a(t) \int_{t_{\text{init}}}^t \frac{dt'}{a(t')} \Rightarrow d_H(z=1000) \ll d_H(\text{heute})$$

$d_H(t_{\text{re-comb}}, z \sim 1200)$ erscheint unter 2°

\Rightarrow gleiche Temperatur $> 2^\circ$ unerklärt des CMB

~~Flachheit des Kosmos~~

Flachheit des Raumes

$$\text{keine } \Omega_\Lambda \approx 0 \Rightarrow |\Omega - 1| \approx \frac{1}{\Omega^2 H^2}$$

Materie dominiert: $|\Omega - 1| \sim t^{2/3}$

Strahlung dominiert: $|\Omega - 1| \sim t$

$$|\Omega - 1| < 10^{-3} \text{ heute} \Rightarrow |\Omega - 1| (t \sim 1s) \lesssim 10^{-16} \text{ "fine tuning"}$$

\Rightarrow Masse-Energiedichte 'kurz' nach dem Urknall muss extrem genau vorgegeben sein.

"Inflation" als Lösung/Erklärung

15.7.10
③ HW

(frühe)
Es gab eine Phase mit

$$\ddot{a} > 0 \quad ; \Leftrightarrow \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{H \cdot a} \right) < 0 \quad H(t) = \frac{\dot{a}(t)}{a(t)}$$

↑
beschleunigte
Ausdehnung

↑
Schrumpfen des 'Horizonts'

Eine Lösung, die diese Bedingung erfüllt ist

$$a(t) \sim e^{H_0 \cdot t} \Rightarrow \ddot{a} > 0, \frac{d}{dt} (H \cdot a)^{-1} < 0$$

"Flachheit" $|\Omega - 1|/t \sim \frac{1}{(a \cdot H)^2} \rightarrow 0$

$$H(t) = \frac{\dot{a}(t)}{a(t)} = \text{const}$$

"Horizont problem": gelöst wenn $\int_{t_{\text{init}}}^{t_{z=1000}} \frac{dt}{a(t)} \gg \int_{t_{z=1000}}^{t_{\text{heute}}} \frac{dt}{a(t)}$

oder: Photonen konnten vor CMB ~~se~~ weiter bewegen als danach.

N.B.: Inflation schrumpft den Horizont: erst in kausalem Kontakt, später nicht mehr

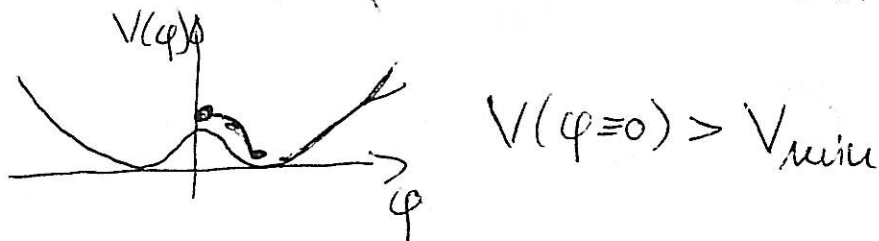
Warum könnte es Inflation gegeben haben?

Man kennt "Vektorfelder", z.B. \vec{E} , \vec{B}

Man kann sich auch "skalare Felder" $\phi(\vec{x}, t)$ vorstellen
homogen $\rightarrow \phi(t)$

und man kann dem Feld ein Potential $V(\phi)$ zuschreiben

Es gibt Gründe, daß $V(\phi)$ so aussieht



\Rightarrow solange $V(\phi) > \min$, dehnt sich der Raum, $a(t)$, exponentiell aus

\Rightarrow Expansion eines winzigen Bereiches
 $\sim 10^{30}$

\Rightarrow Universen entstehen dort wo es Inflation gibt

\Rightarrow "virtuelle" Quantenfluktuationen \rightarrow "Erklärung" der Expansion
fluktuationen \rightarrow kleine Massen-