



بِنامِ خدا

مدل استاندارد کیهان شناسی و تورم کیهانی

ارائه دهنده: راضیه امامی سیدی

پژوهشگاه دانش های بنیادی

فهرست:

- مدل استاندارد کیهان شناسی
- موفقیت های مدل استاندارد کیهان شناسی
- مشکلات مدل استاندارد کیهان شناسی
- مدل جهان تورمی

تاریخچه کیهان شناسی

• ۱۹۱۵: نسبت عام ایستین

• ۱۹۲۷: حل معادلات نسبت عام توسط فریدمان و ژرژ لومتر (مدل انفجار بزرگ).

• ۱۹۲۹: رصد انبساط مابلی توسط ادوین هابل (تأییدی بر مدل انفجار مهبانگ).

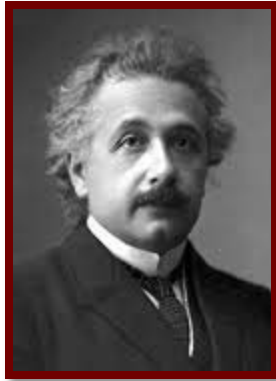
• ۱۹۶۵: کشف تابش زمینه‌ی کیهان

• ۱۹۹۲: مشاهده‌ی افت و خیز دمای تابش زمینه‌ی کیهان توسط ماهواره‌ی کوبی.

• ۲۰۰۳: افزایش دقت مشاهدات توسط کاوشگر ناسا نگر دی ریز موجی ویلسون

مدل استاندارد کیهان شناسی بر پایه ی نسبیت عام اینشتین

نسبیت عام اینشتین :



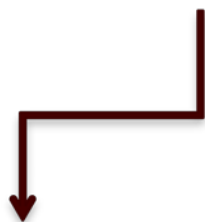
$$G_{\mu\nu} \equiv R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = 8\pi G T_{\mu\nu}$$

$G_{\mu\nu}$: تانسور اینشتین

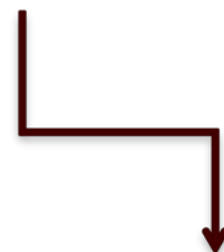
$T_{\mu\nu}$: تانسور انرژی گانه

$R_{\mu\nu}$: تانسور ریچی

مدل استاندارد
کیهان‌شناسی



دینامیک عالم



سینماتیک عالم

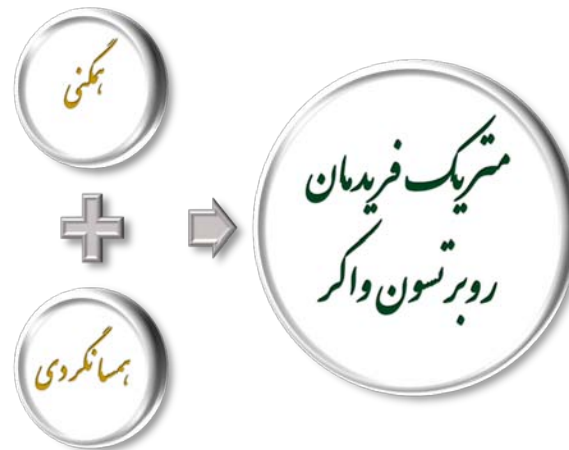
سینما تیک عالم

مقیاس های بزرگتر از ۱۰۰ مگا پارک : همگنی و همسانگردی

$$1 \text{ Mpc} = 3.08568025 \times 10^{22} \text{ meters}$$

$$4.85 \times 10^{-6} \text{ pc} = \text{فاصله ی زمین از خورشید}$$

نسبت فاصله ی زمین تا خورشید به قطر یک کلهکشان نوعی از مرتبه ی نسبت ابعاد هسته به متر است.

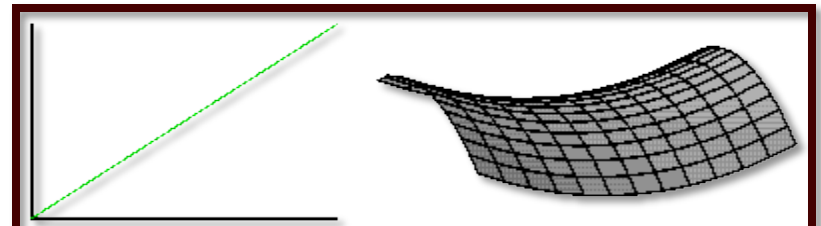


سینما تیک عالم

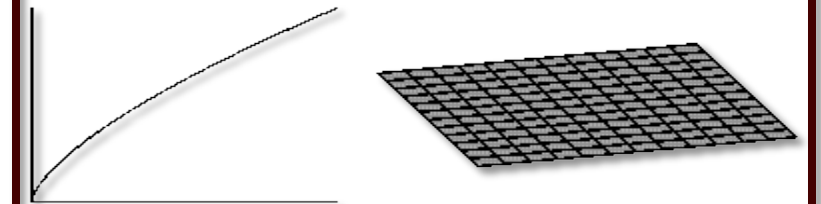
متریک فریدمان روبرتسون واکر:

$$ds^2 = dt^2 - a^2 \left(\frac{dr^2}{1 - Kr^2} + r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2) \right)$$

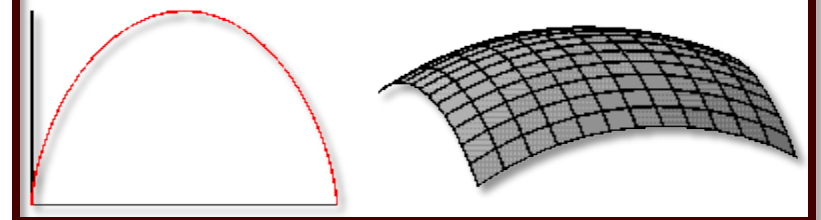
$$K = -1$$



$$K = 0$$



$$K = +1$$



دینامیک عالم

معادله‌ی فریدمان

$$\frac{8\pi G}{3}\rho = \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 + \frac{K}{a^2}$$

شتاب جهان

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3p)$$

معادله‌ی پیوستگی

$$\dot{\rho} + 3\frac{\dot{a}}{a}(\rho + p) = 0$$

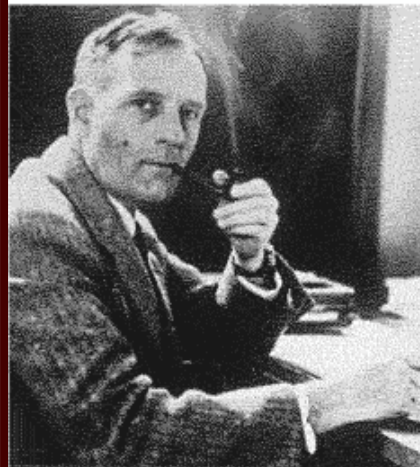
معادله‌ی حالت

$$p = \omega\rho$$

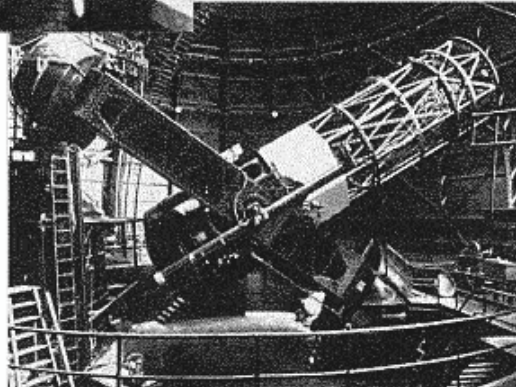
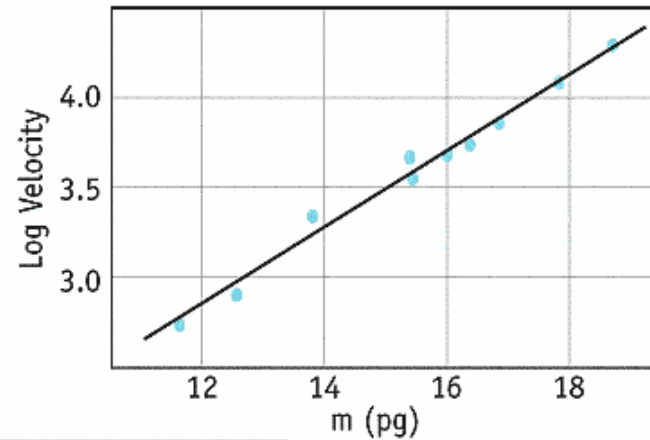
$$V = Hr$$

رصد انبساط مابلی :

عالم ایستانیست. بلکه با افزایش فاصله سرعت زیاد می شود.



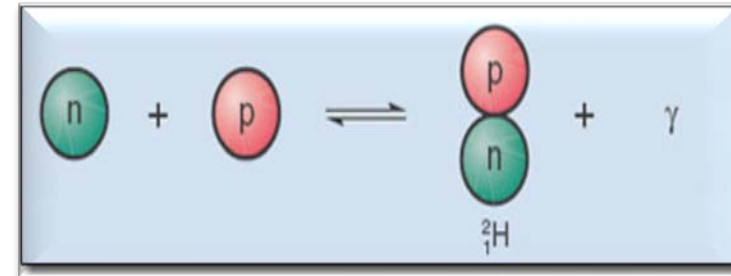
Edwin Hubble



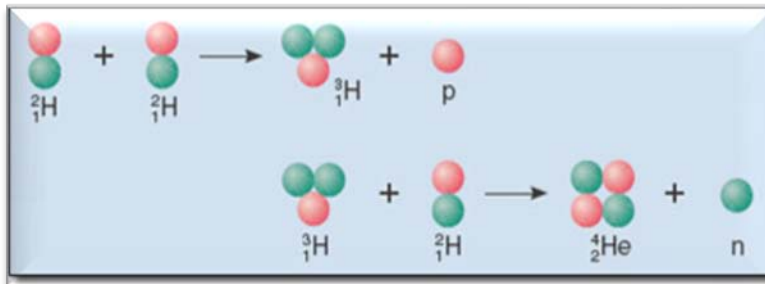
Mt. Wilson
100 Inch
Telescope

سنتز هسته‌ای:

ارائه می‌کنارشی دقیق از میزان فراوانی عناصر سبک در دوران کیهان اولیه



سنتز هسته‌ای چنری حدود ۱۷ دقیقه طول می‌کشد.



تشکیل دو تریم، تریتموم، هلیوم و دیگر عناصر سبک

کشف تابش زمینه‌ی کیهان:

Discovery of the Cosmic Microwave Background (CMBR): A Direct Evidence for the Big Bang



Arno Penzias &
Robert Wilson (1965)

Nobel Prize, 1978

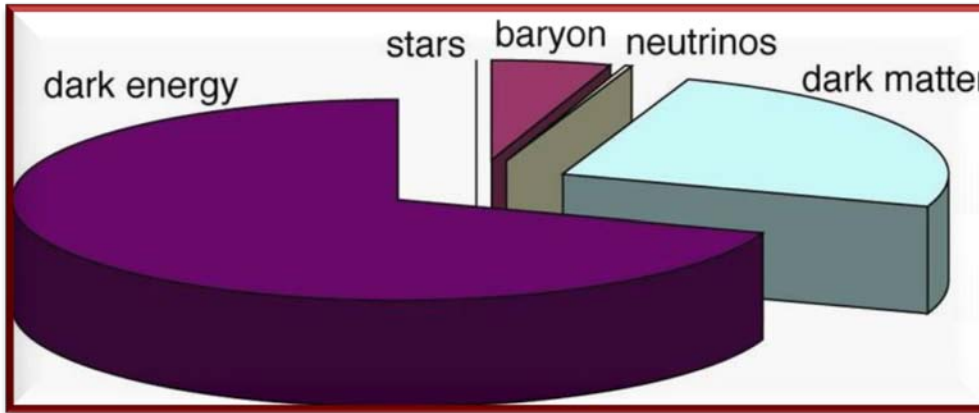


«موفقیت‌های فوق — عصر طلایی کیهان‌شناسی»

تاریخچه ی کرمایی عالم:



مقادیر پارامترهای مدل استاندارد کیهان شناسی



$$\Omega_i = \frac{\rho_i}{\rho_{total}}$$

$$\Omega_b = 0.04\%$$

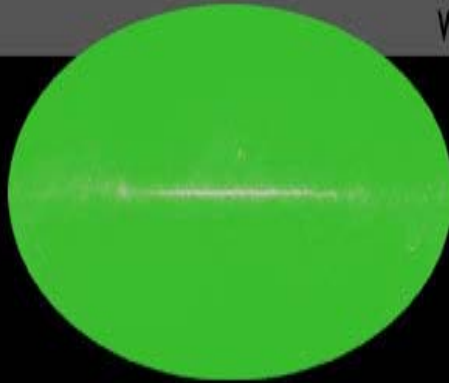
$$\Omega_c = 0.22\%$$

$$\Omega_\lambda = 0.73\%$$

arXiv:1001.4635 [astro-ph]

1965

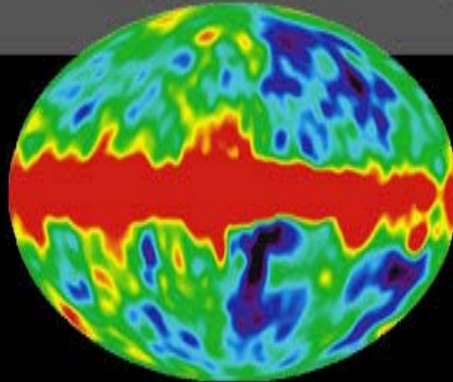
Penzias and
Wilson



طبق این مشاهدات یافت و
خبر دلیلی تابش زمینه‌ی کیهان
بسیار کوچک است.

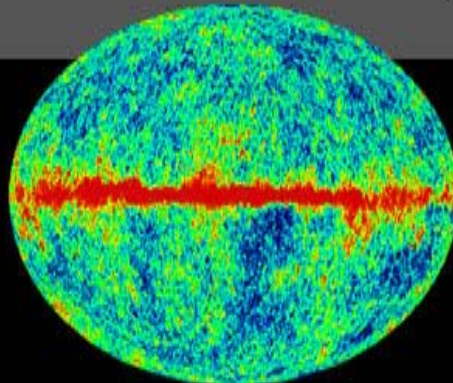
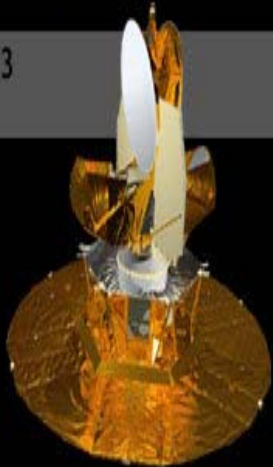
1992

COBE



2003

WMAP



$$\frac{\delta T}{T} \sim 10^{-5}$$

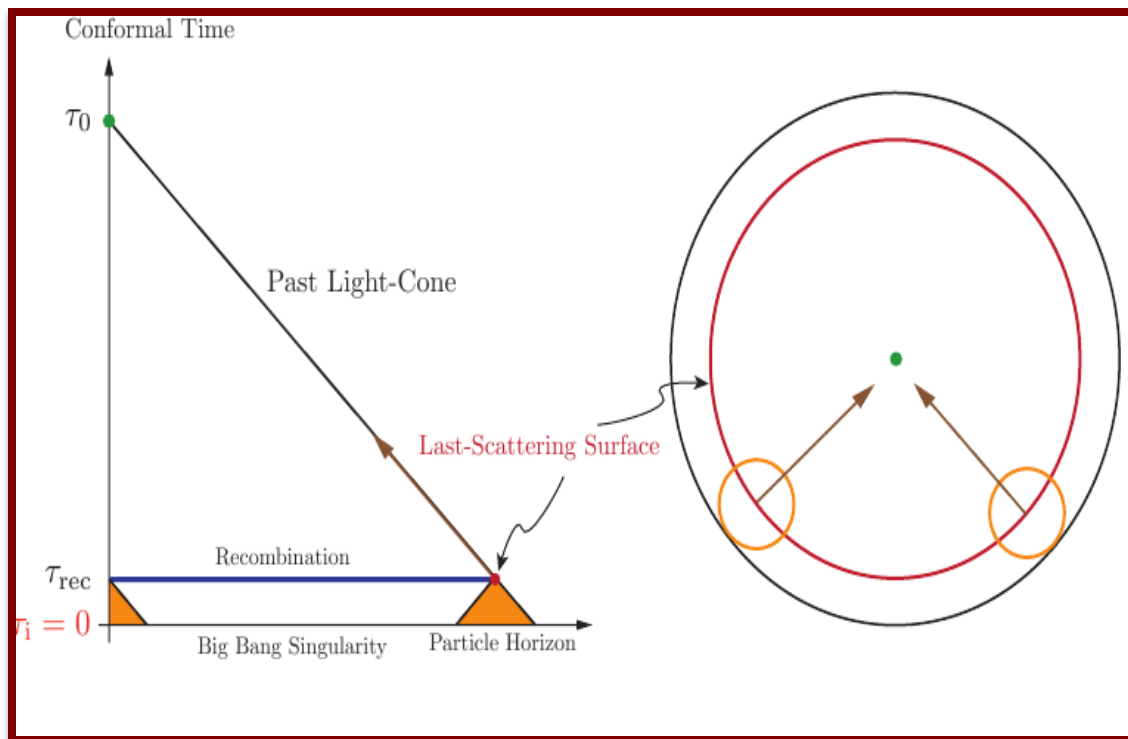
مشکلات مدل استاندارد کیهان شناسی:

مسئله تختی

مسئله افق

مشکلات
بزرگهای
ساختار

پیمایی میان نقاط گسسته علی



arXiv:0907.5424 [hep-th]

مسئله تختی:

$$\Omega_{tot}(a) - 1 = \frac{K}{a^2 H^2} = \frac{\rho_{tot}(a) - \rho_c(a)}{\rho_c(a)}, \quad \rho_c(a) = \frac{3H^2}{8\pi G}$$

در دوران ماده غالب و تابش غالب کمیت aH به ترتیب به صورت $aH \sim t^{-\frac{1}{2}}$ و $aH \sim t^{-\frac{1}{3}}$ تحول می‌یابد. بنابراین ملاحظه می‌کنیم که اگر امروزه چگالی کل خیلی به عدد یک نزدیک باشد، با رفتن به زمان گذشته یعنی دوران ابتدایی کیهان این کمیت خیلی به یک نزدیکتر بوده است:

$$\Omega_{tot}(t_{nucleosynthesis} = 1\text{sec}) \sim 1 \pm 10^{-16}$$

$$\Omega_{tot}(t = 10^{-30}\text{sec}) \sim 1 \pm 10^{-45}$$

$$\Omega_{tot}(t_{Planck} = 10^{-43}\text{sec}) \sim 1 \pm 10^{-60}$$



در ابتدای عالم تنظیم ظریفی در مقدار چگالی کل رخ داده است.

$$(\Omega_i - 1) = (\Omega_0 - 1) \left(\frac{\dot{a}_0}{\dot{a}_i} \right)^2$$

با نوشتن Ω بر حسب مشتق عامل مقیاس داریم:

مشاهده می‌شود که اگر در گذشته همیشه گرانش جاذب بوده باشد این مشکل به وجود می‌آید.

پانچ مشکلات مدل
استاندارد



تورم



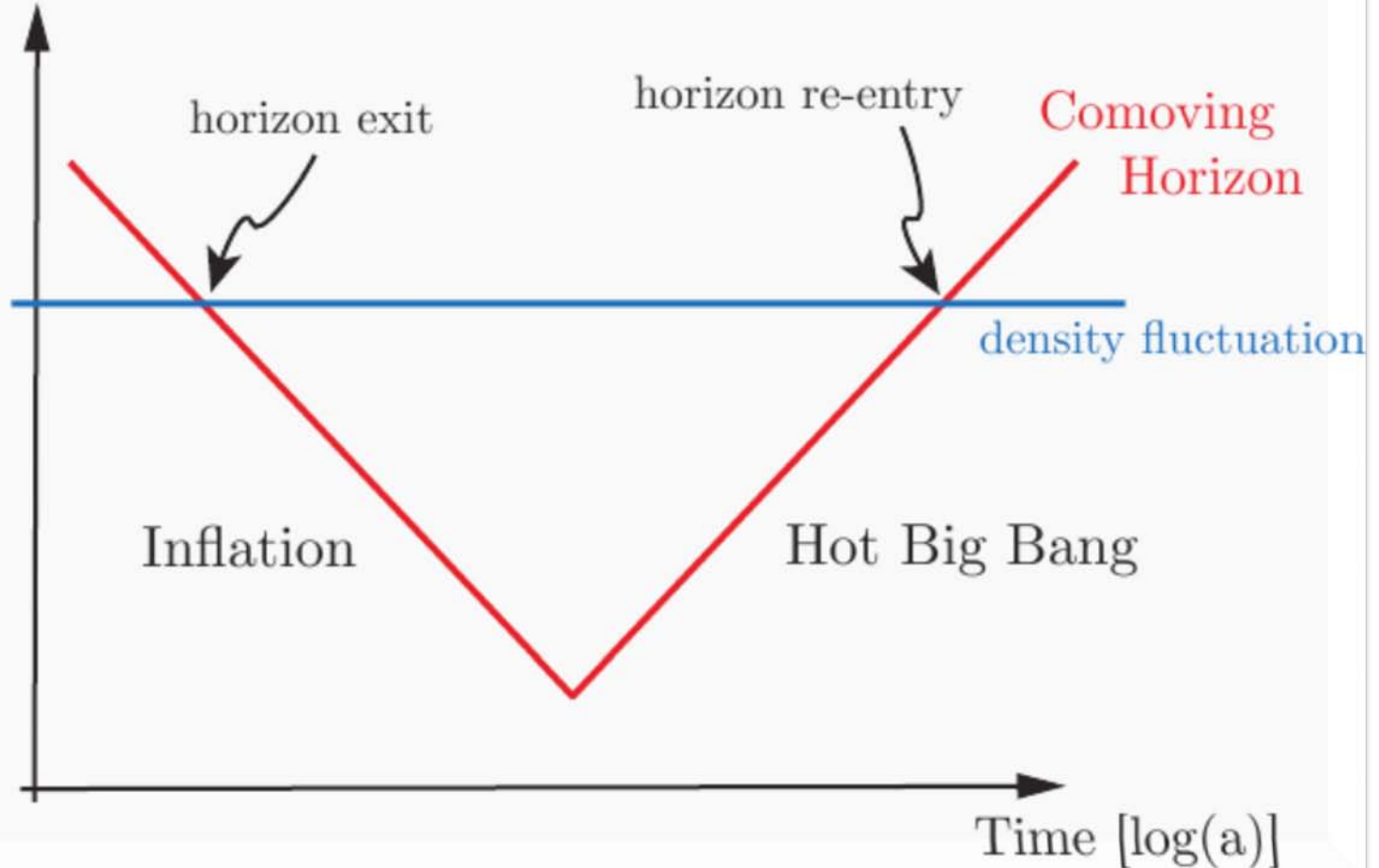
الین گات

مرحله ای از انبساط عالم است که در
آن شتاب نهان مثبت بوده
است.

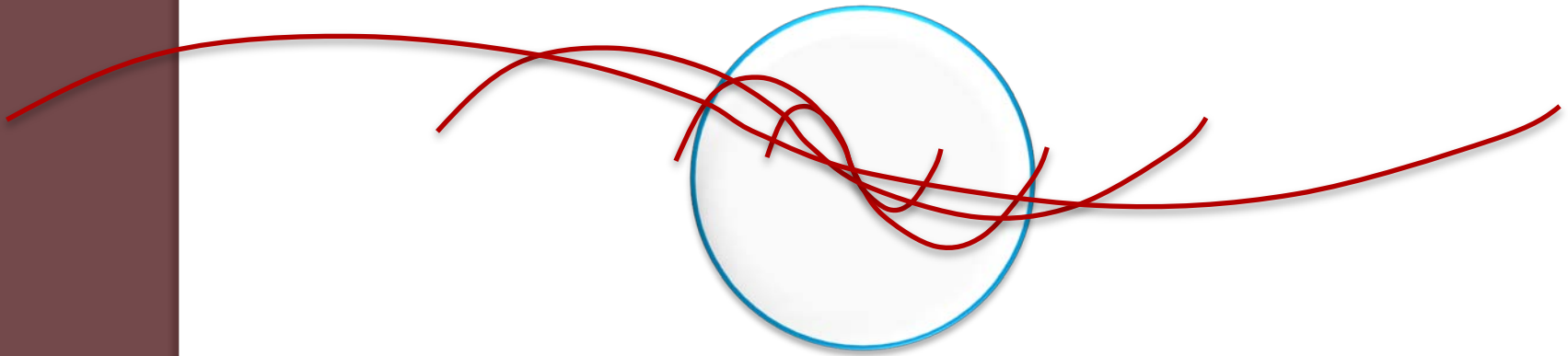
$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3p)$$
$$(\rho + 3p) < 0$$

چگونگی حل مشکلات مدل استاندارد توسط تورم:
مسئله افق:

Comoving Scales



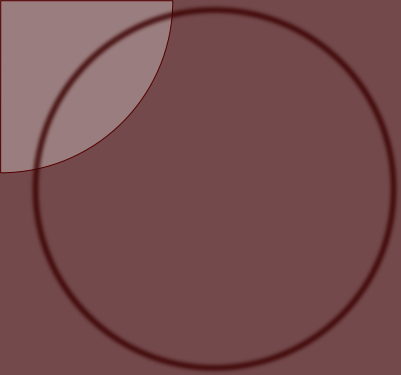
حل مسئلہ افق :



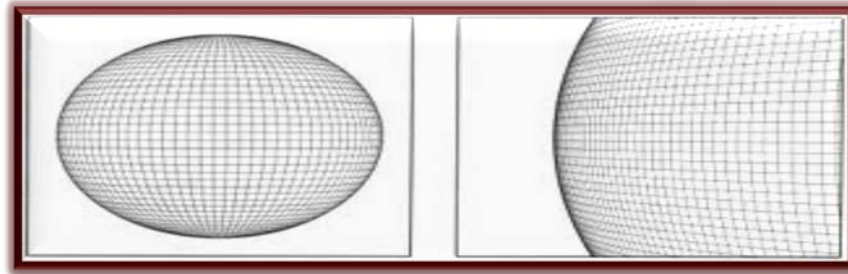
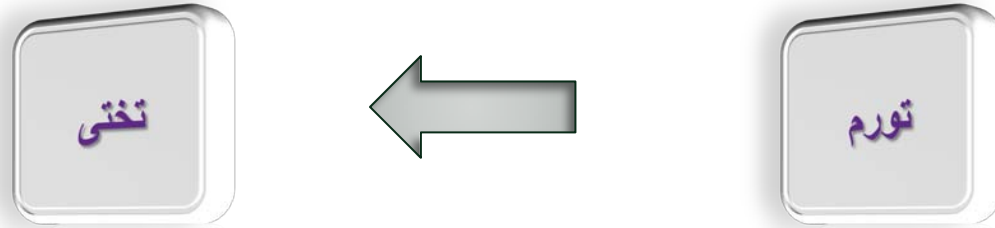
پارامتر ہابل تقریباً ثابت

حل مسئله افق:

پس از پایان تورم H^{-1} رشد می کند



چگونگی حل مشکلات مدل استاندارد توسط تورم:
مسئله تختی:



در نتیجه $\Omega_{tot} = 1$ یک حل جاذب است

به لحاظ کمی برای حل این مشکل باید: $\frac{a_f}{a_i} \simeq e^{64} > e^{60}$

➤ فیزیک دوران تورم



➤ تقریب غلتش آهسته در تورم :

• در طول تورم $\epsilon \equiv -\frac{\dot{H}}{H^2}$ خیلی کوچکتر از یک است.

• در طول تورم به عنوان یک تقریب η است :

$$\eta = -\frac{\ddot{\phi}}{H\dot{\phi}} = \epsilon - \frac{1}{2\epsilon} \frac{d\epsilon}{dN}$$

که در آن N تعداد ایتارها است.

$$N(\phi) \equiv \ln \frac{a_{end}}{a} = \int_t^{t_{end}} H dt = \int_{\phi}^{\phi_{end}} \frac{H}{\dot{\phi}} d\phi \approx \int_{\phi_{end}}^{\phi} \frac{V}{V_{,\phi}} d\phi$$

در تقریب غلتش آهسته فضا-زمان تقریباً دوسیده است:

$$a(t) \sim e^{Ht}$$

جنگل مدل های تورمی

تورم خد
میدانی

تورم
آشوبناک

تورم
آمنی

تورم از
نظر
رسمان

تورم از
ابرتقارن

تورم
جدید

تورم
قدیم

تورم
بردارمی

تورم در
مدل
استاندارد

ارتباط با مشاهدات:

• طیف توان احتمال انحنای

$$\Delta^2_{\mathfrak{R}} = \frac{k^3 P_{\mathfrak{R}}}{2\pi\pi^2}$$

• طبق WMAP-7

$$\Delta^2_{\mathfrak{R}} = 2.45 \times 10^{-9}$$

• شاخص طیفی

$$n_s - 1 \equiv \frac{d \ln \Delta^2_{\mathfrak{R}}}{d \ln k} \Big|_{k=aH}$$

$$n_s \simeq 0.963 \pm 0.014$$

• طبق WMAP-7

$$r \equiv \frac{\Delta^2_h}{\Delta^2_{\mathfrak{R}}} \simeq 16\epsilon$$

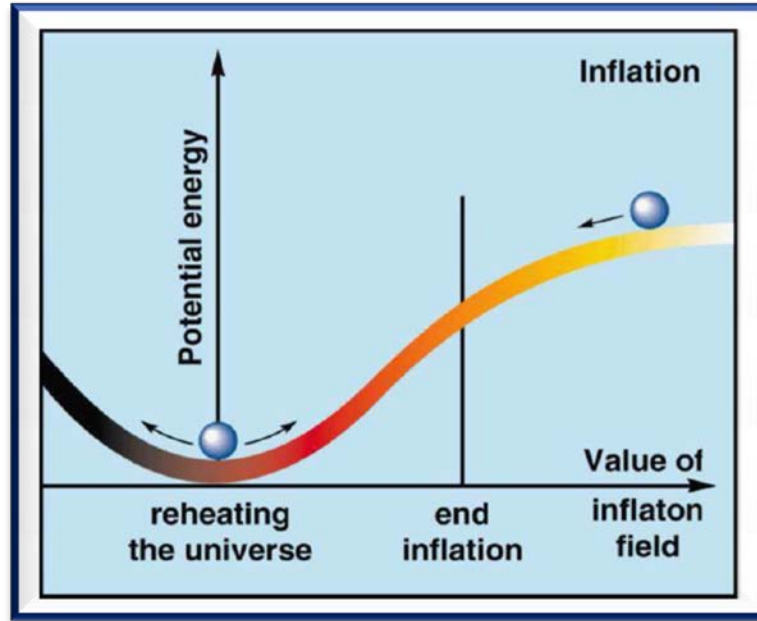
• نسبت طیف احتمال های تانسوری به احتمال های اسکالر

$$r < 0.36$$

• طبق WMAP-7

مدل تورم آشوبناک

مثال



$$v(\phi) = \frac{1}{2} m^2 \phi^2$$

$$N_e = 60$$

$$\phi_i \sim 10 M_P, m \sim 6 \times 10^{-6} M_P, \quad H \approx 10^{-6} M_P$$

$$P_R \sim 2.4 \times 10^{-9}$$

نتیجہ گیری:

مستقبلت تکنولوژی
مشاہدات در کیهان شناسی



عصر طلایی کیهان شناسی

جایزه ی نوبل سال ۲۰۱۱

کشف شتاب مثبت جهان از طریق مشاهدات ابرنواخترها



Adam G. Riess



Brian P. Schmidt

باشکر از حضورتان