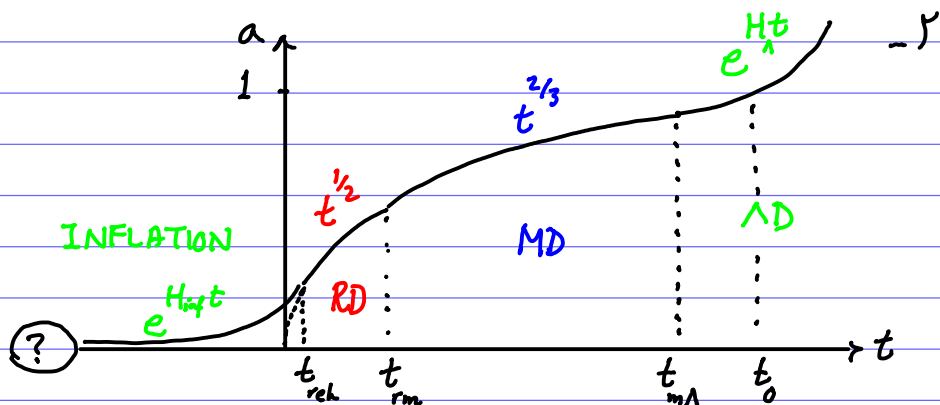


۱- با بسایر ابدای معنی عالم $T_0 \approx 2.725 \text{ K} \approx 2 \times 10^{-4} \text{ eV}$ داریم

$$T \propto \frac{1}{a} = 1+z \rightarrow \frac{1+z_{\text{BBN}}}{1+0} = \frac{T_{\text{BBN}}}{T_0} \sim 10^{10} \rightarrow \boxed{z_{\text{BBN}} \sim 10^{10}}$$

[البته درست آنجاست که بزرگیم $g_{*s} (aT)^3 = \text{const}$ یا حضور g_{*s}]
تغییری در مرتبه بزرگی z_{BBN} نمی‌دهد.



در این نمودار $t=0$ زمانی است که اگر ترم نبود در ابتدای RD شکلی داشتیم، ولی حبابان با t_{reh} زنی می‌زدند.

آ) مقدار a در زمان‌های برابر برای بسادگی برداشت می‌آید و می‌توان دید با افزایش Ω_{m} و کاهش Ω_{m} چگونه تغییر می‌کند:

$$\Omega_{\Lambda_0} = \frac{\Omega_{m_0}}{a_{m_0}^3} \Rightarrow a_{m_0} = \left(\frac{\Omega_{m_0}}{\Omega_{\Lambda_0}} \right)^{1/3} \Rightarrow a_{m_0} \downarrow$$

$$\frac{\Omega_{m_0}}{a_{m_0}^3} = \frac{\Omega_{r_0}}{a_{r_0}^4} \Rightarrow a_{r_0} = \frac{\Omega_{r_0}}{\Omega_{m_0}} \Rightarrow a_{r_0} \uparrow$$

این حائز اهمیت اصلی حسد و برای رسم شکل کنونی کتاب می‌کند. لایه‌ها را بیشتر گفت.

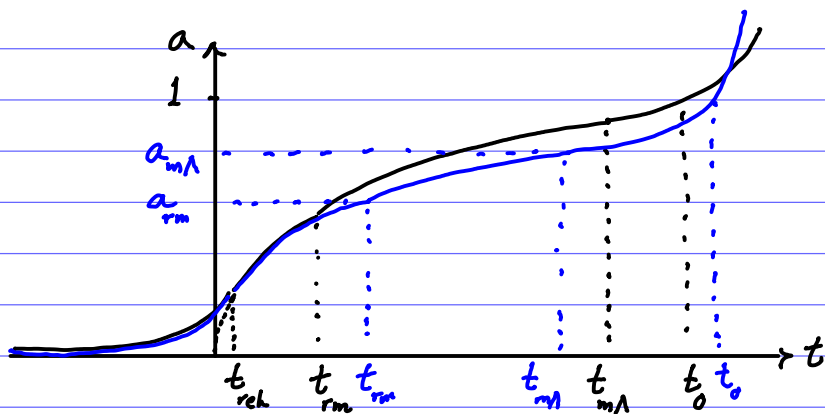
چون H_{inf} و Ω_m تغییر نکرده اند تا قبل از t_m مثل نمودار قبل است. همین

که a_m زیاد شده یعنی طول دوره RD باید طولانی تر باشد، پس $t_m \uparrow$.

همچنین در دوره MD ضرب $t^{2/3}$ کمی کاهش می یابد زیرا

$$a = ct^{2/3} ; H = \frac{2}{3t} ; 3H^2 = \frac{\Omega_m \rho_0}{a^3} \Rightarrow c \propto \Omega_m^{1/3} \downarrow$$

برعکس، در دوره RD حامل بزرگتری داریم $\uparrow \Omega_m \propto H^2$ در سُدنایی
میرج رزی شود. در مجموع، نموداری شبیه شکل زیر حاصل می شود:



پیدا کردن نحوه تغییر t_m ، بحث برابست. می توان از تخمین که در سال ۳ سری ۵

قرن حا بر دست آمده استفاده کرد. چون $\Omega_m \gg \Omega_{\Lambda}, \Omega_{\nu}$ [بافرض

این که تغییر Ω_{ν} ، Ω_{Λ} کوچک باشد] می توان از نت $t_m \approx \frac{2}{3} H_0^{-1}$

که $H_0 = \Omega_{\Lambda}^{-1/2} H_0$ پس $\Omega_{\Lambda} \uparrow \Rightarrow t_m \downarrow$. اگر نرخ اضم از این تخمین است

$$t_m = \int_0^{(\Omega_m/\Omega_{\Lambda})^{1/3}} \frac{da}{a H_0 [\Omega_{\Lambda} + \Omega_m a^3 + \Omega_{\nu} a^4]^{1/2}} \quad \text{قسمت باید نزول}$$

در مورد t_0 هم رابطه داریم: $\int_0^{t_0} dt = \dots$ اما طبق همان ترتیب داریم:

$$t_0 = \left[\frac{2}{3} + \frac{1}{3} \ln \frac{\Omega_{m0}}{\Omega_{m0}} \right] \Omega_{m0}^{-1} H_0^{-1}$$

$$\Rightarrow 3 H_0 \delta t_0 = -\Omega_{m0}^{-2} \delta \Omega_{m0} \left[2 + \ln \frac{\Omega_{m0}}{\Omega_{m0}} \right] + \Omega_{m0}^{-1} \left[\frac{\delta \Omega_{m0}}{\Omega_{m0}} - \frac{\delta \Omega_{m0}}{\Omega_{m0}} \right]$$

$$\delta(\Omega_{m0} + \Omega_{m0}) = 0$$

$$= \Omega_{m0}^{-2} \left[-2 - \ln \frac{\Omega_{m0}}{\Omega_{m0}} + 1 + \frac{\Omega_{m0}}{\Omega_{m0}} \right] \delta \Omega_{m0} > 0$$

$$-1 - \ln \frac{0.68}{0.32} + \frac{0.68}{0.32} = 0.37 > 0$$

$$\Rightarrow t_0 \uparrow$$

ب) دوباره به سادگی مقدار a در زمان ای برابری بردستی آید (و هیچ کاری نیست)

$$a_{m0} = \left(\frac{\Omega_{m0}}{\Omega_{m0}} \right)^{1/3} \downarrow$$

$$a_{rm} = \frac{\Omega_{r0}}{\Omega_{m0}} \uparrow$$

$t=0$ دوباره طبق ذکر داد تعیین می شود. t_{reh} هم تغییر نمی کند زیرا الزام برابری حاصل

قبل و بعد از بازگشت به سادگی ای: $H_{inf} = \frac{1}{2t_{reh}}$ اما a_{reh} فرق می کند زیرا الزامی

انرژی و انتروپی داریم (دانش که $\Omega_{r0} \propto T_0^4 / H_0^2$):

$$3 H_{inf}^2 = \rho_{reh} \propto g_{s,reh} T_{reh}^4 = g_{s,reh} \left[\left(\frac{g_{s,0}}{g_{s,reh}} \right)^{1/3} \frac{T_0}{a_{reh}} \right]^4 \propto \frac{\Omega_{r0} H_0^2}{a_{reh}^4}$$

چون H_{inf} ، H_0 و Ω_{r0} را تغییر ندادیم، $a_{reh} \uparrow \Leftarrow \Omega_{r0} \uparrow$

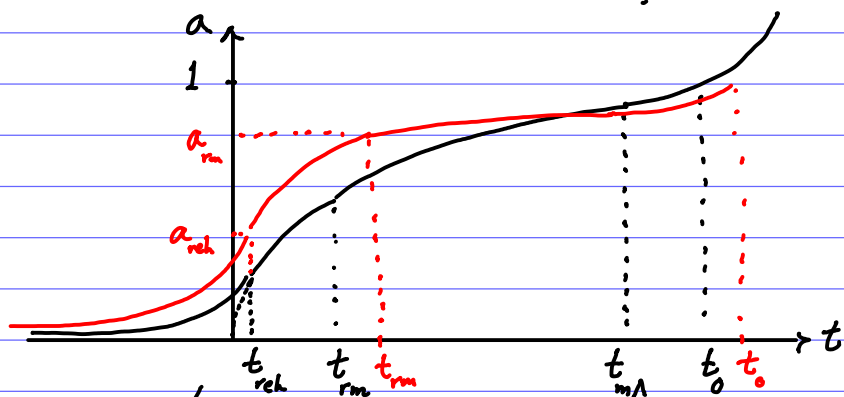
[بدون نوشتن محادلات هم واضح بود. همان انرژی ترم $(3H_{inf}^2)$ باید صرف تولید

تابش میتری شود پس باید تابش رقیق تر باشد] یعنی a در حال دادن ترم

بافزایی تناسب با Ω_{reh}^4 نسبت به قبل بزرگ تر است. به همین ترتیب فزاین

$t^{\frac{1}{2}}$, $t^{\frac{2}{3}}$ در دوران MD , RD که با $\Omega_{r0}^{\frac{1}{4}}$, $\Omega_{m0}^{\frac{1}{3}}$ متناسبند

افزایش دما حس می یابند. اما سرعت انبساط کافی در AD فزونی نمی کند.



دوباره برای محاسبه زمان کمی برای از قریب تقریب حال استفاده می کنیم:

$$t_{rm} \simeq \frac{1}{2} \Omega_{r0}^{\frac{3}{2}} \Omega_{m0}^{-2} H_0^{-1} \uparrow$$

$$t_{m\Lambda} \simeq \frac{2}{3} \left[1 - \frac{1}{4} \left(\frac{\Omega_{r0} \Omega_{\Lambda 0}}{\Omega_{m0}^4} \right)^{\frac{1}{2}} \right] H_{\Lambda}^{-1} \downarrow \quad (\text{حنی کم تغییر کند چون } \Omega_{\Lambda} \ll \Omega_{m0})$$

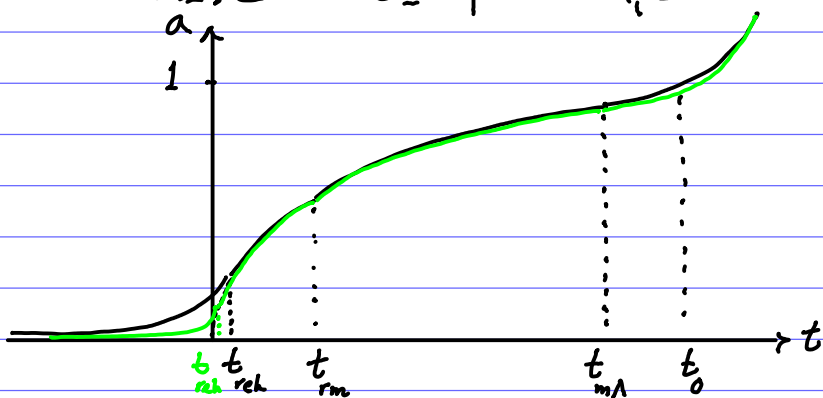
$$t_{\bullet} \simeq \frac{1}{3} H_{\Lambda}^{-1} \left[2 + \ln \frac{\Omega_{\Lambda 0}}{\Omega_{m0}} \right] \uparrow$$

ب) از روابطی که درست قبل داشتیم بدست می آوریم:

$$t_{reh} \propto H_{inf}^{-1} \downarrow$$

$$a_{reh} \propto H_{inf}^{-\frac{1}{2}} \downarrow$$

صفا سرعت رشد کافی هم در دوران تورم افزایش می یابد. اما هیچ چیز دیگری عوض نمی شود.



۳- واضح است که انرژی ذره افزایش می یابد : با بر در زمان ذرات

بهتری داخل انرژی دیدنی آیند. از روی تعریف می داریم

$$d_p(t) = a(t) \int_0^t \frac{dt'}{a(t')}$$

که هم استرال معودی است هم $a(t)$.

در مورد انرژی رویداد، چون به تدریج CC غالب بر می شود، پس به معنای اولیه

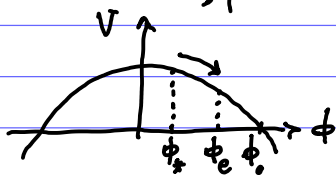
می بینیم که در آن انرژی رویداد ثابت است. از روی تعریف می داریم

$$d_e(t) = a(t) \int_t^\infty \frac{dt'}{a(t')} \xrightarrow[t \rightarrow \infty]{t \rightarrow \infty} e^{H_\Lambda t} \left[\frac{1}{H_\Lambda} e^{-H_\Lambda t} \right] = H_\Lambda^{-1}$$

۴- (آ) از $\epsilon(\phi_e) = 1$ داریم:

$$\left. \frac{1}{2} \left(\frac{V'}{V} \right)^2 \right|_{\phi_e} = 1 \Rightarrow \frac{M^2 \phi_e}{\frac{1}{2} M^2 (\phi_0^2 - \phi_e^2)} = \sqrt{2} \Rightarrow \phi_e = \frac{-1 \pm \sqrt{1+2\phi_0^2}}{\sqrt{2}}$$

منازعت می کنیم که $\phi_e < \phi_0$ (برای آن که سهم مثبت از منحنی شدن



V پایین می آید). با انتخاب علامت +

$$\boxed{\phi_e = \phi_0 / \sqrt{2}} \quad \text{بر دست می آوریم:}$$

ب) تعداد e^- ها از ϕ_* تا ϕ_e برابر است با

$$N = \int_{\phi_*}^{\phi_e} \left| \frac{V'}{V} \right| d\phi = \int_{\phi_*}^{\phi_e} \frac{\frac{1}{2} (\phi_0^2 - \phi^2)}{\phi} d\phi = \frac{1}{2} \phi_0^2 \log \frac{\phi_e}{\phi_*} - \frac{\phi_e^2 - \phi_*^2}{4}$$

از $\frac{\phi_e^2 - \phi_*^2}{4}$ صرف نظر می کنیم [حد اکثر $O(\phi_0^2)$ است]

حالی که حد بلور با یک فریب $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ و نزدیک تر است. اگر این لحاظ کنیم
لرزش می برد، اما برای $N \gg 60$ جواب نزدیک است. [پس

$$\phi_s \approx \frac{\phi_0}{\sqrt{2}} \exp[-2N/\phi_0^2]$$

لَا يَأْتِيهِ الْمَوْتُ

(-) مائیں $A_s \sim \frac{V^3}{V^{12}} \bigg|_{\phi_s}$ جس

$$A_s \sim \frac{\left[\frac{1}{2} M^2 (\phi_0^2 - \phi_*^2)^2 \right]^3}{\left[M^2 \phi_* \right]^2} \simeq \frac{M^2}{8} \frac{\phi_0^6}{\phi_*^2} \simeq \frac{M^2}{4} \phi_0^4 e^{4N/\phi_0^2}$$

$$\Rightarrow M \sim \frac{\sqrt{A_5}}{\phi_0^2} \exp[-2N/\phi_0^2]$$

که (در واحد پانز) بیاروید ز انب الت.

۵- میدان ترمی به خاطر از آن کوانتمی افت دخیزحالی دارد که منجر به تولد

ناحیه‌ی دماغه مغز دی (ای بسیار کوچک در (آکس) می‌گردد. این احتمالاً

به جایی از روی (ت)م هم برای می کند و نهایتاً به صورت های نامفرد (ت)T

در CMB دیده می شود. همچنین اختلالات انرژی مخزن به تولید بذرها و امواج را

می‌گویند که با گذر زمان به علت تراش روی هم انباشته می‌شوند و ناگهانی حای

بیاد بزرگ مثل ایشان دارد. بر مردمی اند.

۶- اگر $t_{nr} > t_{dec}$ ، ابتدا X غیرنسبتی می‌شود و دیگر سهمی در m

ندارد. این باعث کاهش g_{*} ، g_{*s} می‌شود. چون $g_{*s}(aT)^3 = \text{const}$

دمای بقیه عالم به خاطر کاهش g_{*s} افزایش می‌یابد. وقتی که بعدتر X هدایمی شود تا زیر دگرتری روی دمای بقیه ذرات نمی‌گذارد.

اگر $t_{dec} < t_{nr}$ ، ابتدا X هدایمی شود ولی همان در m هم دارد. این

به خودی خود تا اثری روی دمای فوتون ها ندارد. غیرنسبتی شدن X هم که بعدا

اتفاق می‌افتد تا اثری روی دمای فوتون ها ندارد چون این در دوره تبادل انرژی

نمی‌گردد. [اگر X با گونه دیگری مثل X' که آن هم از بقیه هدایمی در تعادل باشد،

مرح غیرنسبتی شدن آن تدریجی است و رابطه X می‌دهد. اگر X ها هدایمی و با خودش

در تعادل، نمی‌تواند به صورت بی در و غیرنسبتی شود.]

۷- به طور عمومی، B دمای باز ترکیب را تعیین می‌کند. پس افزایش B

باعث بالا رفتن این دما و کاهش زمان باز ترکیب می‌شود. انرژی معادل

ساخته $\left[\frac{1-X_e}{X_e^2} \propto \eta \left(\frac{T}{m_e} \right)^{3/2} e^{B/T} \right]$ هم می‌توان این را دید: اگر

B بزرگ شود اما T همین دمای $3000K$ بماند، کم است زیاد می‌شود و

(چون $\frac{1-X_e}{X_e^2}$ تا کمی نزدیک X_e است) X_e کم تر از ۰.۱ می‌شود. یعنی

باز ترکیب زودتر رخ داده بود.

بهمن ترتیب از این $\Omega_{\text{b},0} \propto \eta$ است را زیاد می کند.
پس آن هم موجب تسریع بازگشت واقعات z_{rec} می شود.