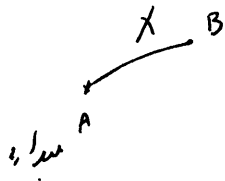


FRW-metric $ds^2 = -dt^2 + a(t)^2 dx^2$

۱) ناصدق در نقطه X ثابت باشد. (مانند سیاه کیهانی)



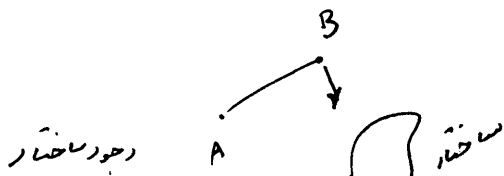
$l = a(t)X$

$\frac{dl}{dt} = v = \frac{da}{dt} X = Hl$

سرعت نامی

۲) تغییر ناصدق بدین غیر از عوامل انبساط کیهان

سرعت خاص



الف) نقطه B جذب ساخته شده از انبساط نامی ناصدق می‌گردد.

ب) اجرام بدین برخورد (سرعت حتمی)

نکته: مجموع سرعت نامی غیر شعاعی حاصل از برخورد همدگر اجرامی است. v_r, v_θ

arXiv: physics/0603087 S. Rahvar, Cooling in Cosmology

$\vec{R} = a(t) \vec{X} \rightarrow \frac{d\vec{R}}{dt} = \dot{a} \vec{X} + a \frac{d\vec{X}}{dt} = H\vec{R} + \vec{v}_{pec} \equiv \vec{v}_{Cosmic}$

$\vec{X} = |X| \hat{r} \rightarrow \frac{d\vec{X}}{dt} = |X| \frac{d\hat{r}}{dt} + \hat{r} \dot{X}$

در اداریت ارتباط بین سرعت خاصه حاصل از وجود ساختار و انت دهنده جغرافی رانشان خوانیم دارد.

$v_{pec} \rightarrow$ انت دهنده جغرافی

ارتباط دمای ستاره کیهان با انبساط

$\sigma = \sqrt{\langle v^2 \rangle}$

نشان دهم با انبساط کیهان که به صورت دربر تعریف می‌شود، کم خواهد بود.

سرعت حتمی ذرات

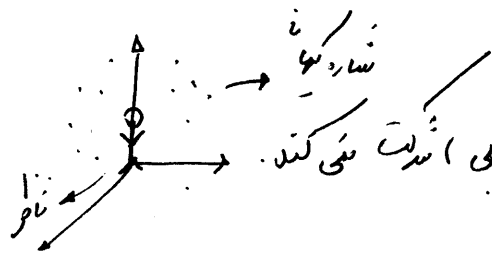
و از آنجا که دما با انرژی حتمی ارتباط دارد.

در نهایت رابطه $P = T(a)$ را بدست می‌آوریم.

2,

$$T = f(E_K)$$

↓
تختی



(۱) ذره آزاد

(۲) در این فضاها (۲، ۳، ۴) شتاب نمی‌کند.

د طول همراه آن تحریر کند.

معادله حرکتی

$$\ddot{x}^\mu + \Gamma_{\nu\lambda}^\mu \dot{x}^\nu \dot{x}^\lambda = 0$$

مختصات فضایی $\mu = i$

$$\ddot{x}^i + \Gamma_{\nu\lambda}^i \dot{x}^\nu \dot{x}^\lambda = 0$$

- معادله حرکت ذره تطویر می‌شود و خورد

$$\begin{cases} i = 1, 2, 3 \\ \lambda = 0, 1, 2, 3, 4 \end{cases}$$

برای بررسی حرکت ذره در حواله ساختارهای کیهانی باید احتمال در نظر گرفت
نیز در نظر گرفت.

تعمیر: برای متریک FRW - $\Gamma_{\nu\lambda}^\mu$ را بدست آورده.

$$\Gamma_{i0}^i = \frac{\dot{a}}{a}$$

تنها جمله در ضلع

$$\ddot{x}^i + \Gamma_{i0}^i \dot{x}^i \dot{x}^0 + \Gamma_{0i}^i \dot{x}^0 \dot{x}^i = 0, \quad \ddot{x}^i + 2 \frac{\dot{a}}{a} \dot{x}^i \dot{x}^0 = 0$$

↓
به معنی تعویض سیستم

محاسبات در مداره مختصات انجام می‌شود $x \sim 0$.

$$\frac{d}{dt} (\dot{x}^i) = - \frac{2}{a} \frac{da}{dt} \cdot \frac{dt}{d\tau} \cdot \frac{dx^i}{d\tau}$$

$$\frac{dx^i}{d\tau} = - \frac{2}{a} \frac{da}{d\tau} \dot{x}^i \rightarrow \frac{dx^i}{\dot{x}^i} = - 2 \frac{da}{a} \rightarrow \dot{x}^i \propto a^{-2}$$

↓
نسبت فضایی - سرعت

$$a \dot{x}^i \propto \frac{1}{a} \rightarrow a \frac{dx}{dt} \frac{dt}{d\tau} \propto \frac{1}{a}$$

$$\rightarrow v_{pec} \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_{pec}}{c}\right)^2}} \propto \frac{1}{a}$$

$a \frac{dx}{dt}$: سرعت فیزیکی

$$v_{pec} = a \frac{dx}{dt}$$

$\frac{dx}{dt}$: سرعت مختصات

$$\frac{dt}{d\tau} = \gamma$$

$$\frac{m_0 v_{pec}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_{pec}}{c}\right)^2}} \propto \frac{m_0}{a} \rightarrow P \propto \frac{m_0}{a}$$

برای ذرات نسبی غیر نسبی

تویون: ارتباط بین متوسط انرژی $\langle E \rangle$ و ρ

ذرات غیر نسبی $f(E) = e^{-E/KT}$

رایج است آورد

الف، جواب غیر نسبی نسبی: $\langle E \rangle \propto T$
 ذرات نسبی $f(E) = \frac{1}{1 \pm e^{\pm E/KT}}$

+ : Fermi-Dirac

$c=1$

Relat. الف $E = \sqrt{p^2 + E_0^2}$

- : Bose-Einstein

غیر نسبی

$E \sim p$

$\langle p \rangle \propto T \rightarrow T \propto \frac{1}{a}$

نتیجه: شماره ذرات نسبی به صورت $\frac{1}{a}$ بر روی نمودار (در همان اوله برای بار یون ρ و فوتون ρ و نور کوانتوم) ρ

Non Relat. ب

$$E = \sqrt{E_0^2 + p^2} = E_0 \left(1 + \frac{p^2}{2E_0^2}\right)$$

$$= E_0 + \frac{p^2}{2E_0}$$

$$\rightarrow \begin{cases} \langle E \rangle = \left\langle \frac{p^2}{2m} \right\rangle \\ \langle E \rangle \propto T \end{cases}$$

ی : برای ذرات غیر نسبی $T \propto \frac{1}{a^2}$

در همان اوله بدین بر هم نشستن بین دوک به فوتونی و

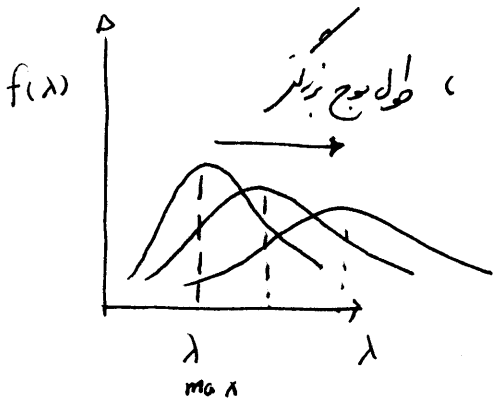
ماده تاریک، در هر لحظه برای هر شماره ثابت و مقدار آن بین $\frac{T\rho_1}{a^2} < \rho < \frac{T\rho_1}{e a}$ می باشد.

جریان انرژی از شماره فوتونی به ماده بار یون تاریک باعث می شود که ساختار بار یون پس از دوران داخل ساختار

ساخته شود.

انحراف به سرخ RedShift

شماره فوتون اولی که همان باندست زمان با کاهش دامنه بزرگی می شود
 و شماره فوتونی یک حجم که فرکانس نسبت به حجم سیاه است. (بدلیل براندگی - تدریج بولتزما)

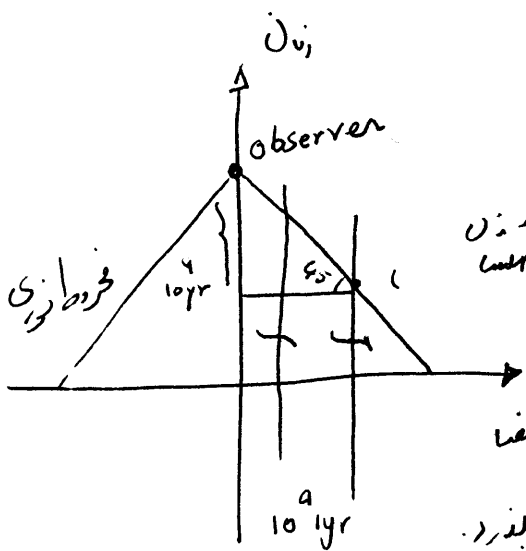


اینجا همان (طول موج بزرگتر) است
 ثابت $T = \lambda_{max}$
 $T \propto \frac{1}{a} \implies \lambda_{max} \propto a$

توسعه -
 $1+z \equiv \frac{a_0}{a} \implies \lambda_{max} \propto \frac{1}{1+z}$

$\lambda_{max} = K \frac{1}{1+z}$; $\frac{\lambda(0)}{\lambda(z)} = 1+z \implies \lambda(z) = \frac{\lambda(0)}{1+z}$

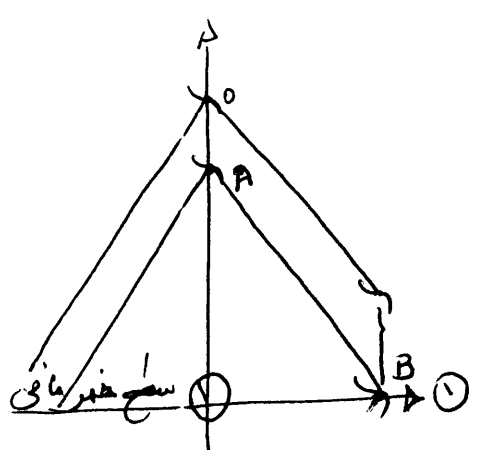
تغییرات طول موج فوتون



در زمان سیاه نور گسیلا
 نور گسیلا

لگسا در این نوری به فاصله تا که گسیلا
 در چه بازه زمانی نور به ما می رسد؟
 مسافت در وقت پایش از سیاه می رود

از نسبت عام انحراف در هم بر وجه گرایش نوری می باشد زمان کندتر می گذرد
 و چون که همان اولی گرایش نوری می بوده زمان کندتری می بودند



X_{AB} = (طول همراه) ثابت

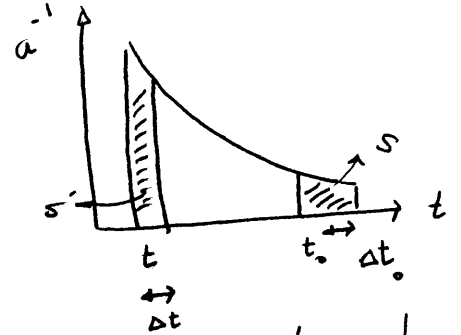
$ds^2 = dt^2 + a^2(t) dx^2$

$ds^2 = 0$ مسیر نور

$$5 \quad ds^2 = 0 \rightarrow \chi = \int_t^{t_0} \frac{dt}{a(t)} \quad (1) \quad t_0: \text{today}$$

$$\chi = \int_{t+\Delta t}^{t_0+\Delta t} \frac{dt}{a(t)} \quad (2)$$

$$(1), (2) \rightarrow \int_t^{t_0} \frac{dt}{a(t)} = \int_{t+\Delta t}^{t_0+\Delta t} \frac{dt}{a(t)}$$



$$s = s' \rightarrow \frac{\Delta t_0}{a_0} = \frac{\Delta t}{a(t)}$$

$$\frac{\Delta t_0}{\Delta t} = \frac{a_0}{a} = \frac{1}{a} \rightarrow \frac{\lambda_{obs.}}{\lambda_{em}} = \frac{1}{a} \rightarrow \frac{\lambda_{obs.} - \lambda_{em}}{\lambda_{em}} = \frac{1-a}{a}$$

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda_{em}} \equiv z = \frac{1}{a} - 1 \quad \text{"Cosmological Redshift"}$$