

Dynamics of dark energy inside the cosmological horizon

Vitaly Kuyukov Petrovich

Siberian Federal University

Russia, The Republic Of Khakassia, 655017

Email: vitalik.kayukov@mail.ru

The article discusses the dynamics of cosmological vacuum in the de sitter Universe with emphasis on the so-called quantum cosmology. The evolution of the Universe, governed dark energy, compared with evolution obliged dynamic quantum vacuum.

Current data indicate that our universe balances in a narrow region on the border between phantom energy, the cosmological constant and quintessence. Future observations will help to determine the nature of dark energy.

This article describes the evolution of the future of the Universe with variable cosmological constant . When restricting the event horizon of the Universe, there exists a nonzero temperature of the Hawking. This effect leads to the decrease of the cosmological event horizon after a stage of expansion of the Universe with dark energy. Time compression in this universe is determined only cosmological constant.

I see a new destiny of the Universe, which is significantly different from the endless cooling in the standard model.

1. Космологический горизонт событий в стандартной Λ CDM модели.

С учетом того, что наша реальная Вселенная расширяется с ускоренным движением при плоской евклидовой геометрии, возникает конечный космологический горизонт. Это обусловлено тем, что видимая Вселенная ограничена горизонтом событий, которая расширяется с течением времени по формуле:

$$\rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G},$$

$$1 = \Omega_m + \Omega_k + \Omega_\Lambda,$$

$\Omega_m = 8\pi G\rho/3H^2$, $\Omega_k = -(kc^2)/(a^2H^2)$, $\Omega_\Lambda = (\Lambda c^2)/(3H^2)$ – сумма плотности барионной материи, темной материи и темной энергии дают критическую плотность при плоской Вселенной.

Сфера, на которой скорости удаления галактик равна скорости света называется сферой Хаббла:

$$r_H = \frac{c}{H}$$

Как видно из этого соотношения, сфера Хаббла Вселенной будет увеличиваться со временем при уменьшении критической плотности. Если нынешняя плотность темной энергии в будущем не изменится, эволюция Вселенной постепенно начнет все больше и больше соответствовать модели де Ситтера. В таком случае радиус горизонта событий с течением времени будет стремиться к предельному постоянному значению. Все, что находится за горизонтом, недоступно наблюдению, потому что скорость света является пределом для любых взаимодействий. Объект, расположенный в центре наблюдаемой вселенной, не взаимодействует ни с чем, находящимся за горизонтом.

Данный горизонт событий будет существовать во Вселенной де Ситтера и определяется космологической постоянной в виде:

$$r_g = \sqrt{\frac{3}{\Lambda}}$$

В очень далеком будущем все источники света, расположенные вне гравитационно связанной Местной группы галактик (к которой принадлежит и наш Млечный Путь), окажутся за пределами этого горизонта и навсегда станут невидимыми. В прочем все зависит от динамики темной энергии в будущем, является ли она космологической постоянной или квинтэссенцией?.

2. Термодинамика черной Вселенной де Ситтера .

Излучению вблизи горизонта событий чёрной дыры можно сопоставить определённую температуру.

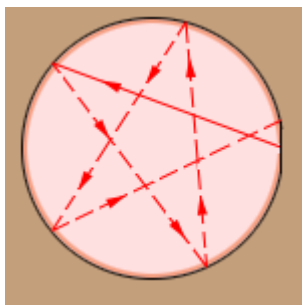
$$T_{BH} = \frac{\hbar c^3}{8\pi k GM},$$

Присутствие же горизонта событий для Вселенной де Ситтера предполагает конечную хокинговскую температуру, которая определяется через гравитационный радиус горизонта или космологическую постоянную :

$$T = \frac{\hbar g}{2\pi k c} = \frac{c \hbar}{4\pi k r_g} = \frac{c \hbar}{4\pi k} \cdot \sqrt{\frac{\Lambda}{3}}$$

(1)

Излучение Хокинга внутри космологического горизонта Вселенной де Ситтера находится в состоянии термодинамического равновесия, т.е. имеет везде одинаковую температуру во всех точках пространства внутри данного горизонта. Оно будет заперто аналогично тепловому излучению в абсолютно черном теле.



По закону Стефана-Больцмана $J = \sigma T^4$, получается поток излучения Хокинга с горизонта Вселенной де Ситтера:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{\hbar c^2}{3840\pi r_g^2} = \frac{\hbar}{3840\pi} \cdot \frac{\Lambda}{3}$$

Энергия излучения Хокинга идет за счет потери энергии Вселенной де Ситтера внутри космологического горизонта:

$$\frac{d(\rho V)}{dt} = \frac{d\rho}{dt} V + \rho \frac{dV}{dt} = \frac{3d(H^2)}{8\pi G dt} \left(\frac{4\pi}{3} r_g^3\right) + \frac{3H^2}{8\pi G} \frac{d}{dt} \left(\frac{4\pi}{3} r_g^3\right)$$

при $r_g = \sqrt{\frac{3}{\Lambda}}$

$$\frac{dM}{dt} = \frac{d(\rho V)}{dt} = \frac{c^2}{2G} \frac{dr_g}{dt}$$

$$\frac{dE}{dt} + c^2 \frac{dM}{dt} = 0 \text{ — баланс энергии Вселенной}$$

де Ситтера внутри космологического горизонта при излучении Хокинга .

В данном случае, получим скорость сжатия горизонта Вселенной де Ситтера:

$$\frac{dr_g}{dt} = - \frac{G\hbar}{960\pi c^2 r_g^2} = - \frac{G\hbar \Lambda}{2880\pi c^2}$$

(2)

Сжатие горизонта Вселенной происходит с момента исчезновения видимой и темной материи за счет излучения Хокинга и наличия ненулевой плотности темной энергии.

Получается, что темная энергия не может быть истинным вакуумом, в данном случае ее динамика жестко связана с термодинамикой космологического горизонта . При излучении Хокинга горизонт Вселенной де Ситтера уменьшается, но внутри растет плотность темной энергии, то есть космологическая постоянная меняется.

$$\frac{d}{dt} (\Lambda) = \frac{G\hbar \Lambda \sqrt{\Lambda}}{1440\pi c^2}$$

Как видно неустойчивость космологического горизонта де Ситтера жестко связана с динамикой темной энергии - переменной космологической постоянной. Это означает, что плотность темной энергии меняется как

динамический квантовый вакуум под действием внешних эффектов, таких как излучение Хокинга на космологическом горизонте .

При дальнейшем уменьшении горизонта событий Вселенная де Ситтера будет сжиматься и нагреваться до сверхплотного состояния за некоторое время

$$\tau = \frac{2880\pi c^2}{G\hbar \left(\frac{\Lambda}{3}\right)^{\frac{3}{2}}} \cong 10^{159} \text{ sec}$$

Как видно, расчеты дали огромное значение времени через которое Вселенная начнет свое сжатие. Можно сказать, что с точки зрения нас людей Вселенная де Ситтера почти не изменяется, горизонт квазиустойчив по сравнению со временем существования испаряющихся черных дыр. Если человечество сможет изобрести такой прибор, способный вечно наблюдать за вселенной, то в конце концов зарегистрирует изменение размера космологического горизонта в сторону сжатия и увеличения плотности темной энергии.

Сжатие Вселенной не достигнет сингулярности, а остановиться при размере горизонта событий сопоставимого с Планковской длиной, когда скорость сжатия горизонта событий будет равна или чуть превышена скорости света.

$$\frac{G\hbar}{960\pi c^2 r_g^2} \geq c$$

Полученное свехплотное состояние Вселенной де Ситтера можно охарактеризовать как прединфляционную стадию с вакуумом $\rho = -\rho$. Плотность вакуума де Ситтера достигает Планковского значения в очень маленьком объеме равный объему Планка. Энтропия очень мала, так как космологический горизонт сжат до сферы Планка. Состояние вакуума соответствует антигравитации, которое вызывает инфляцию Вселенной де Ситтера.

- A Direct Measurement of Major Galaxy Mergers at $z < 3$. Christopher J. Conselice, Matthew A. Bershady, Mark Dickinson and Casey Papovich in *Astronomical Journal*, Vol. 126, No. 3, pages 1183–1207; September 2003. www.arxiv.org/abs/astro-ph/0306106
- Dark Energy. Robert R. Caldwell in *Physics World*, Vol. 17, No.5, pages 37–42; May 2004. <http://physicsweb.org/articles/world/17/5/7>
- The Extravagant Universe: Exploding Stars, Dark Energy, and the Accelerating Cosmos. Robert P. Kirshner. Princeton University Press, 2004.
- The Infinite Cosmos: Questions from the Frontiers of Cosmology. Joseph Silk. Oxford University Press, 2006. [Караченцев И., Чернин А. Острова в океане темной энергии // ВМН, № 11, 2006. С. 30–35.](#)
- Чернин А.Д. Космический вакуум // *Успехи физических наук*, т. 171, № 11, 2001. С. 1153–1175.