

Общая теория относительности 1919 года и модель Вселенной, пульсирующей в черной дыре

Н. Горькавый (NASA/GSFC)

21 октября 2025 года, АКЦ/ФИАН/ИКИ

Общие вопросы

1. Дискуссии вокруг гравитационной энергии и **ОТО 1919**
2. **Чёрная дыра изнутри** и решение Шварцшильда для точки и шара
3. Слияние чёрных дыр и предсказание фона **наногерцовых гравитационных волн**

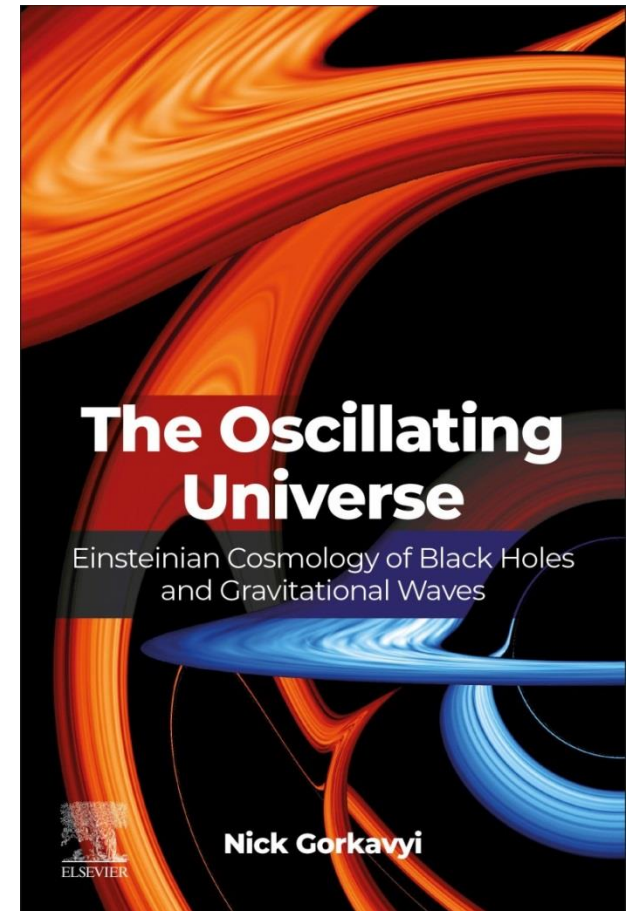
Обсуждаемая теория (ТПВ)

4. Метрика системы с переменной массой. **Механизм Большого взрыва** и ликвидации сингулярности
5. Ускоренное растяжение поля галактик и **проблема тёмной энергии**
6. Реликтовые чёрные дыры и решение **проблемы темной материи**

Приложения и подтверждения ТПВ

7. Сверхмассивные черные дыры и сверххранение галактики. Соотношения **Талли-Фишера**, Фабер-Джексона и М-сигма
8. Наблюдательные признаки **анизотропии и неоднородности** Вселенной
9. Отсутствие **проблемы энтропии** для модели пульсирующей Вселенной

Теория Пульсирующей Вселенной (ТПВ) основана только на **классической ОТО** и не вводит никаких гипотетических сущностей: новых полей, частиц или размерностей пространства.



1. Дискуссии вокруг гравитационной энергии и ОТО 1919

Закон гравитации Ньютона является решением уравнения Пуассона, которое связывает гравитационный потенциал φ с его источником - гравитационной массой с плотностью ρ :

$$\begin{array}{cc} \text{Поле} & \text{Источник поля} \\ & \downarrow \\ \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = - 4\pi G \rho \end{array}$$

Отметим, что в уравнении Пуассона сам потенциал никоим образом не входит в источники поля, то есть, **не является источником самого себя**.

Это уравнение прекрасно работало (за исключением объяснения прецессии орбиты Меркурия), но оно было очевидно нерелятивистским – **нет скорости света, нет производных потенциала от времени**.

Эйнштейна, создавшего специальную теорию относительности и релятивистскую механику, это не устраивало. Он стал выводить **релятивистское обобщение уравнения Пуассона**

1. Дискуссии вокруг гравитационной энергии и ОТО 1919

В **1913** году Эйнштейн, вместе с математиком М. Гроссманом, публикует «Проект обобщенной теории относительности и теории тяготения» (Собрание сочинений Эйнштейна, «Наука» =ССЭ, т.1) и записывает уравнения гравитационного поля в виде, аналогичном уравнению Пуассона:

$$\begin{array}{ccc} \text{Поле} & \text{Источники поля} & \\ \downarrow & \downarrow & \\ -D_{\mu\nu}(g) & = \kappa(t_{\mu\nu} + T_{\mu\nu}) & \end{array}$$

где тензор $D_{\mu\nu}(g)$ составлен из вторых производных (от пространства и **времени**) метрического тензора $g_{\mu\nu}$; $T_{\mu\nu}$ - **тензор энергии-импульса материи**, а $t_{\mu\nu}$ - **тензор энергии-импульса гравитационного поля**, который ввел Эйнштейн. В постоянную κ входит **скорость света**.

В работе «Основы общей теории относительности», **1916** (ССЭ, т.1), объемом свыше 50 страниц, которая была отправлена в печать 20 марта 1916 года и явилась наиболее полным изложением общей теории относительности (ОТО), Эйнштейн придерживается той же точки зрения об источниках и пишет:
«...Выше мы исходили из требования, что энергия гравитационного поля должна действовать в смысле тяготения точно так же, как всякая энергия другого рода.»

=ОТО 1916 года

1. Дискуссии вокруг гравитационной энергии и ОТО 1919

С октября 1915 года по декабрь 1918 года Эйнштейн получил целый ряд писем от коллег с замечаниями относительно **нековариантных (нетензорных) свойств гравитационной энергии** (см. письма **Нордстрема** от 22 сентября и 23 октября 1917 года, письмо **Клейна** от 20 марта 1918 года, письмо **Коттлера** от 30 марта 1918 года, письмо **Вейля** от 18 сентября 1918 года). Всего Эйнштейн затрагивал вопросы гравитационной энергии в 22 опубликованных письмах 1915-1918 годов (кроме упомянутых выше: письма к **Лоренцу** от 12 октября 1915 и 19 января 1916 гг.; к **Эренфесту** от 25 августа 1916 г.; к **Дондеру** от 8 и 23 июля 1916 года; к **Леви-Чивита** от 2 и 23 августа 1917 года; многочисленные письма 1918 года к **Клейну**; к **Борну** от 29 июня 1918 г., к **Вейлю** от 27 сентября 1918 года). (Принстонское собрание сочинений = ПСЭ)

Эйнштейн пишет **Гильберту** 12 апреля 1918 года: «Мой t_{μ}^{ν} отвергается всеми как некошерный» (ПСЭ, т.8, стр. 525).

1. Дискуссии вокруг гравитационной энергии и ОТО 1919

Новый этап дискуссий об энергии гравитационного поля связан со статьями **Эрвина Шредингера** (1918) и **Ганса Бауэра** (1918) о нефизических свойствах гравитационной энергии.

Шредингер показал, что **псевдотензорную величину**, введенную Эйнштейном в качестве энергии гравитационного поля, можно превратить в ноль во всем пространстве простым выбором координатной системы.

Бауэр в том же томе журнала *Physikalische Zeitschrift* (уже зная о работе Шредингера) показал обратное: **введя в плоском пространстве криволинейную систему координат, можно получить ненулевую и даже бесконечную величину эйнштейновского выражения для гравитационной энергии.**

Безупречная математика, приводящая к нефизическому решению!

В статье «О гравитационных волнах» 1918 года (ССЭ, т.1) Эйнштейн пытается найти компромисс: он указывает, что введенная им величина псевдотензора полезна для вычислений потерь энергии системой, излучающей гравитационные волны, но считает, что **«Нет никаких оснований заставить понимать под t_4^4 плотность энергии гравитационного поля...»**

1. Дискуссии вокруг гравитационной энергии и ОТО 1919

Эти дискуссии оказали на Эйнштейна глубокое впечатление и **заставили его изменить мнение о реальности гравитационной энергии и об ее гравитационном воздействии.** Это изменение прослеживается уже в 1917-1918 годах и отчетливо отражено в 1919 году, как ключевой пункт интерпретации эйнштейновских уравнений поля.

В статье «Играют ли гравитационные поля существенную роль в построении элементарных частиц материи?» 1919 (ССЭ, т.1) Эйнштейн, записывая ставшие уже знаменитыми уравнения поля:

$$R_{ik} - \frac{1}{2}g_{ik}R = -\kappa T_{ik} \quad (1)$$

указывает, что в правой части стоит T_{ik} - тензор энергии материи. Далее Эйнштейн подчеркивает: «**При этом развитие теории привело к допущению, что T_{ik} не зависят** от производных g_{ik} . Ибо эти величины являются компонентами энергии в духе специальной теории относительности, в которой не рассматриваются переменные по величине g_{ik} ».

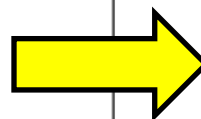
италик
от самого
Эйнштейна

=ОТО 1919 года

1. Дискуссии вокруг гравитационной энергии и ОТО 1919

Таблица I. Эволюция мнения Эйнштейна о гравитационной энергии

Годы	Сколько раз приведены уравнения для гравитационного поля	Число утверждений Эйнштейна:	
		Гравитационная энергия входит в число источников поля вместе с энергией материи	Источником гравполя является только материя (или гравэнергия не является источником поля)
1913	3	7	-
1914	5	10	-
1915	2	3	-
1916	3	5	-
1917	1	-	1
1918	1	-	3
1919	1	-	1
1920-1929	6	-	5
1930-1939	8	-	4
1940-1949	3	-	1
1950-1955	1	-	1



1. Дискуссии вокруг гравитационной энергии и ОТО 1919

В последний раз и совершенно недвусмысленно Эйнштейн заявляет об исключении энергии гравитационного поля из источников искривления пространства в **1953 году** в четвертом издании книги «**Сущность теории относительности**». Это издание снабжено Приложением II, которое начинается так:

«Содержание изложенной выше общей теории относительности формально выражается уравнением

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = T_{ik} \quad (1)$$

Левая часть этого уравнения зависит только от симметричного g_{ik} , описывающего как метрические свойства пространства, так и гравитационное поле. Правая часть уравнения (1) феноменологически описывает все источники гравитационного поля. **Тензор T_{ik} представляет энергию, которая создает гравитационное поле, но сама не имеет гравитационного характера**, как, например, энергия электромагнитного поля, энергия, связанная с плотностью вещества и т.д.» (ССЭ, т.2).

Такова точка зрения Эйнштейна и ОТО на вопрос - порождает ли гравитационное поле само себя (= имеет ли оно гравитационную массу).

1. Дискуссии вокруг гравитационной энергии и ОТО 1919

Говорят, что непреодолимой нековариантностью результатов ОТО, природа, на языке анализа, нам все время хочет что-то сказать, но мы никак не можем понять, что именно.

В.И. Родичев (1974)

Вывод из ОТО 1919:

Гравитационное поле – это искривление пространства-времени, которое само по себе не обладает ни энергией, ни гравитационной массой. Оно полностью описывается метрическим тензором, при этом вывести для него тензор энергии-импульса **нельзя** (можно ввести только нековариантный псевдотензор).

На создание гравитационных волн двойная звезда тратит энергию и массу, а детектор гравитационных волн отбирает у гравитационной волны энергию и массу. Но, строго говоря, **в самой волне нет массы и энергии**, а только искривленное пространство, которое само по себе является **vis viva** – живой силой, по Эддингтону (1934).

Торможение двойных пульсаров и потеря ими массы и энергии не требует наличия массы и энергии у гравитационных волн. Давно показано, что все процессы с участием гравитационного поля могут быть описаны только с помощью искривленного пространства-времени.

Это ключевой момент – мы привыкли, что все процессы Вселенной требуют энергетической «валюты» для их протекания, но **ОТО вывело на арену еще одну динамическую «валюту» – искривленное пространство**. Они перетекают друг в друга, но получить общий ковариантный закон сохранения для суммы обеих валют нельзя, можно только условно сопоставить гравполю какую-то псевдоэнергию. Приписать гравитационной волне реальную энергию, которая бы дополнительно искривляла пространство – значит, выйти за рамки **ОТО 1919 года**.

P.S. Это никак не запрещает квантовую теорию гравитации. Она, даже объяснив искривление пространства, вероятнее всего, НЕ повлияет на физику наблюдаемой Вселенной (так теория элементарных частиц не повлияла на АЭС).

1. Дискуссии вокруг гравитационной энергии и ОТО 1919

Основная литература

1. Эйнштейн, А. Собрание сочинений, Т.1-4, М., Наука, 1965-1967 – **очень лаконичен!**
2. **Эддингтон, А.С. Теория относительности, Л.-М. ОНТИ-ГТТИ. 1934 – лучшее изложение ОТО-1919.**
3. Шредингер, Э. (1950) Структура пространства-времени. Шредингер, Э. (1956) Расширяющиеся Вселенные. (Пространственно-временная структура Вселенной. (1986), М. Наука, ГИФМЛ.)
4. Дирак, П.А.М. Общая теория относительности, 1978.
5. Родичев, В.И. Теория тяготения в ортогональном репере, М. Наука, 1974
6. **Горькавый Н.Н. «Осциллирующая Вселенная». Издательство Челябинского государственного университета. Февраль 2023.**
7. **Gorkavyi N. The Oscillating Universe. Einsteinian Cosmology of Black Holes and Gravitational Waves. Elsevier, July 2025.**

2. Чёрная дыра изнутри и решение Шварцшильда для точки и шара

Решение Шварцшильда для точки:

$$dS^2 = \underbrace{\left(1 - \frac{r_0}{r}\right)}_{+} c^2 dt^2 - \underbrace{\left(1 - \frac{r_0}{r}\right)^{-1}}_{-} dr^2 - \underbrace{r^2}_{-} d\theta^2 - \underbrace{r^2 \sin^2 \theta}_{-} d\varphi^2$$

где $r_0 = \frac{2Gm}{c^2}$ - радиус черной дыры.

Сигнатура метрики вне дыры (+ - - -)

Внутри черной дыры ($r < r_0$) сигнатура метрики «портится»: **(- + - -)**

Считаю, что время внутри ЧД в данной метрике нужно рассматривать, как мнимое.

Популярен «филологический» вариант исправления сигнатуры внутри черной дыры: время назвать радиусом, а радиальную координату – временем, и тогда ЧД становится миром **патологической динамики**: «Движение частицы при $r < r_g$ показывает, как течет «время» r в этой области: оно течет в начало координат $r = 0$. Но это означает, что даже если попытаться, скажем, включив ракетный двигатель, изменить при $r < r_g$ направление движения частицы на обратное, то это не удастся, каким бы мощным ни был двигатель. Внутри сферы $r = r_g$ движение возможно только к центру.» (И. Б. Хрипович, «Общая теория относительности», 2002)

2. Чёрная дыра изнутри и решение Шварцшильда для точки и шара

Крупнейший специалист в области черных дыр, нобелевский лауреат **Роджер Пенроуз**, относится к тем ученым, кто не рассматривает черную дыру как область патологической динамики. «**В окрестности ловушечной поверхности кривизна все еще чрезвычайно мала, а пространство-время совершенно регулярно**». (Р. Пенроуз «Структура пространства-времени», 1972).

**Спор решает решение Шварцшильда (1916)
для шара с однородной плотностью:**

$$dS^2 = \frac{1}{4} \left(3 \sqrt{1 - \frac{r_0}{r_s}} - \sqrt{1 - \frac{r^2 r_0}{r_s^3}} \right) c^2 dt^2 - \left(1 - \frac{r^2 r_0}{r_s^3} \right)^{-1} dr^2 - r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2)$$

где r_s - радиус сферы с однородной плотностью. **Для случая, когда $r_s = r_0$,** эта метрика значительно упрощается:

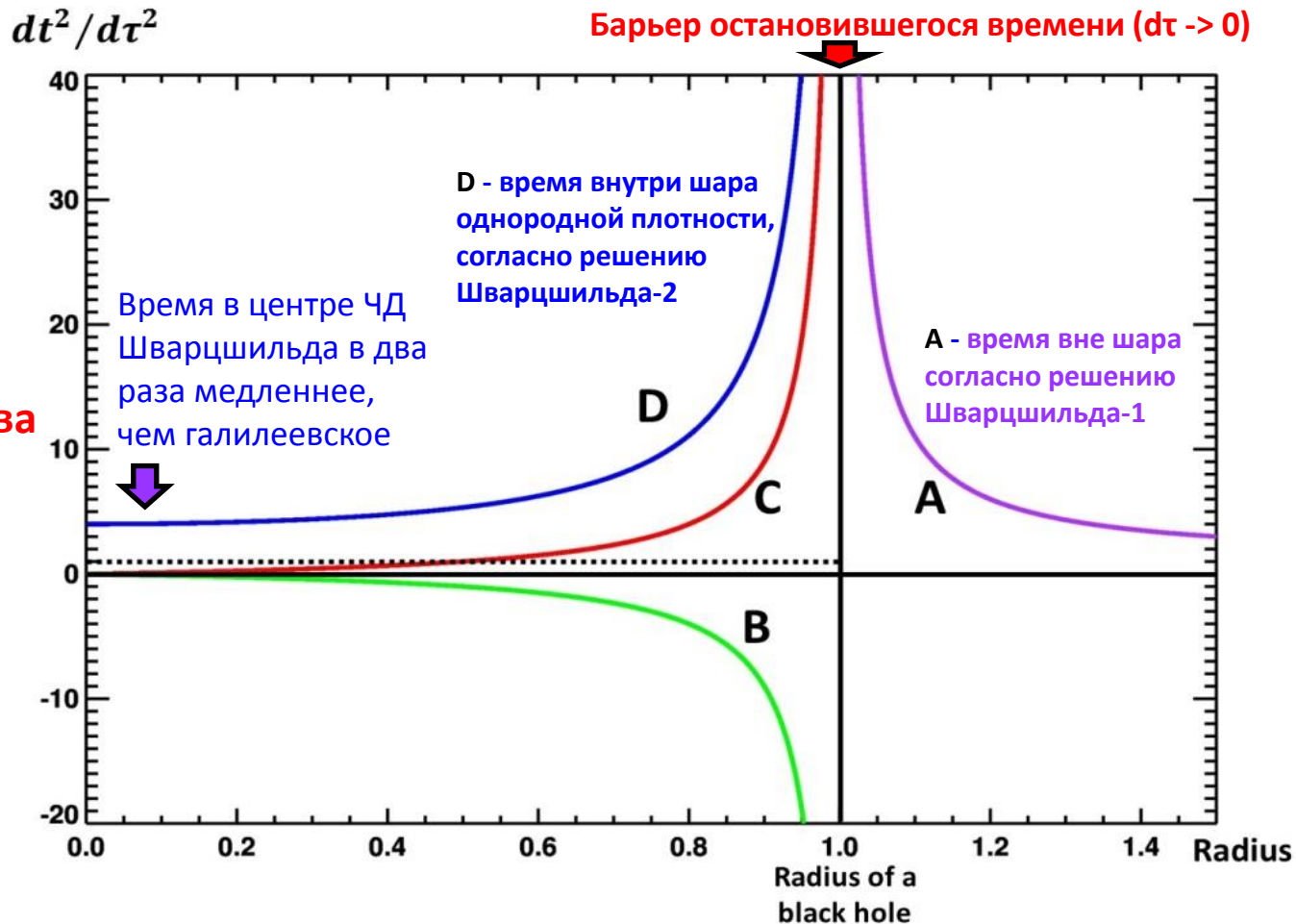
$$dS^2 = \frac{1}{4} \left[1 - \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \right] c^2 dt^2 - \left[1 - \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \right]^{-1} dr^2 - r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2)$$

Внутри черной дыры ($r < r_0$) сигнатура метрики **правильная: (+ - - -)**

**Gorkavyi N. The Oscillating Universe. Einsteinian Cosmology of
Black Holes and Gravitational Waves. Elsevier, July 2025.**

2. Чёрная дыра изнутри и решение Шварцшильда для точки и шара

Никакой
патологии
времени и
пространства
внутри ЧД



Время чёрной дыры как функция радиуса.

Кривые A и B показывают время с точки зрения удалённого внешнего наблюдателя. Кривая C описывает мнимое время для внутреннего наблюдателя метрики Шварцшильда для точки. Кривая D характеризует внутреннее время гравитирующей однородной сферы, размер которой точно соответствует размеру чёрной дыры. Пунктирная линия соответствует времени плоского пространства ($dt^2=d\tau^2$).

3. Слияние чёрных дыр и предсказание фона наногерцовых гравитационных волн

Джон Мазер, нобелевский лауреат по физике за 2006 год:

«Что, если нынешняя вселенная перестанет расширяться, скажем, потому что темная энергия имеет уравнение состояния, которое нам неизвестно, или, может быть, она не то, что мы думаем? Что случится с объектами, которые мы видим сегодня? Как они будут себя вести, если будут собраны вместе в каком-то гигантском сжатии? Будут ли звезды раздавлены и измельчены, испарятся ли в облака элементарных частиц, или они упадут в черные дыры и исчезнут из поля зрения? Будут ли черные дыры поглощать все, включая темную материю, которую мы считаем найденной? Что может остановить этот коллапс, если это вообще возможно?»

N. Gorkavyi, A. Vasilkov, J. Mather, «A Possible Solution for the Cosmological Constant Problem». In *Exploring the Dark Side of the Universe*. Eds: B. Vachon and P. Petroff, PoS(EDSU2018)039, <https://pos.sissa.it/335/039/pdf>, 2018.

Задача:

1. Превратим **расширение** современной Вселенной в **сжатие** - **что будет?**
2. Рассмотрим следующие компоненты Вселенной:
 - а. **барионную составляющую** с большим количеством тяжелых элементов;
 - б. **реликтовое микроволновое излучение**;
 - в. **черные дыры звездных масс**, которые могут составлять темную материю;
 - г. **гравитационные волны**

3. Слияние чёрных дыр и предсказание фона наногерцовых гравитационных волн

Что будет с барионами и фотонами – известно с 60-х годов:

Роберт Дикке (1916-1997) придерживался модели **пульсирующей Вселенной**: «...я боюсь говорить о «рождении» Вселенной, ибо полагаю, что Вселенная не была «рождена», а скорее эволюционировала из прежней коллапсированной фазы... Можно полагать, что **во время коллапса Вселенной энергия электромагнитного поля** и нейтринного излучения чрезвычайно возрастает аналогично излучению при адиабатическом сжатии, пока, наконец, не достигается тепловое равновесие **при температуре выше 10^{10} °K**. Неизвестным в настоящее время образом этот коллапс может быть обратим, т.е. Вселенная расширяется от этого очень горячего состояния.» (*«Gravitational Theory and Observation». Physics Today, 1967*)

Из знаменитой статьи **Дикке-Пиблса-Ролла-Вилкинсона (1965)** (которая соседствовала со статьей Пензиаса-Вильсона об открытии реликтового излучения): «**Предполагая осциллирующую космологию без сингулярностей**, мы полагаем, что температура должна была быть достаточно высокой, чтобы разложить тяжелые элементы из предыдущего цикла... В этой картине необходимо предположить, что в момент максимального коллапса температура Вселенной превысит 10^{10} °K, чтобы пепел предыдущего цикла переработался обратно в водород, необходимый для звезд в следующем цикле».

Температура реликтового излучения вырастет от нынешних 3К до 10 миллиардов кельвинов при сжатии Вселенной **до размера ~10 светолет** (сжатие на 10 порядков)

3. Слияние чёрных дыр и предсказание фона наногерцовых гравитационных волн

Как ведут себя черные дыры при сжатии Вселенной?

(реликтовые дыры – Carr-Coley, 2011 - в любой модели пульсирующей Вселенной)

Горькавый, Н.Н. и Тюльбашев, С.А. (ФИАН) «Черные дыры и нейтронные звезды в осциллирующей Вселенной», *Астрофизический бюллетень*, т.76, N3, с.285-305, 2021.

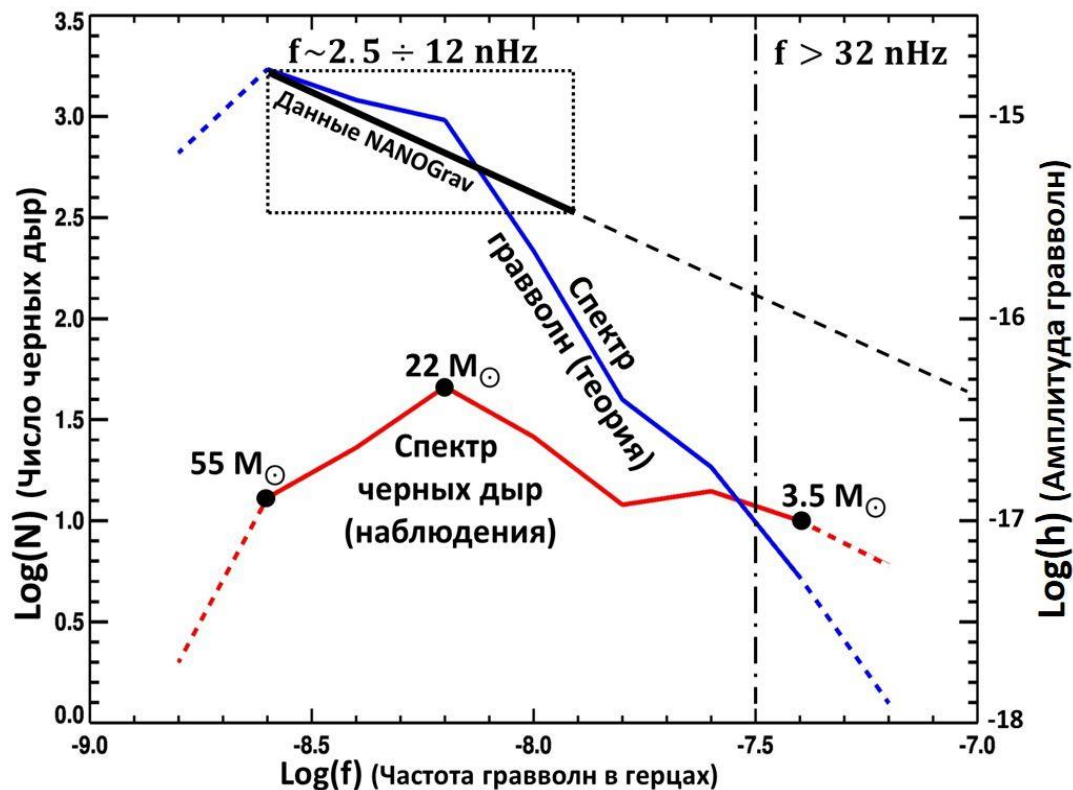
Из абстракта: «Модели пульсирующей Вселенной должны характеризоваться высоким уровнем реликтового гравитационного излучения, порождаемого в момент максимальных сжатий Вселенной и массовых слияний черных дыр...»

Из текста: «Шар минимального объема, в который можно упаковать все наблюдаемые черные дыры Вселенной, имеет радиус примерно **0.2 – 0.3 св. года...** Это означает, что процесс массового слияния черных дыр должен наступить как раз тогда, когда коллапсирующая Вселенная достигнет радиуса фотодиссоциации ядер». (**~10 светолет**)

ЛИГО обсерватория показала, что вокруг нас сливаются черные дыры звездных масс, которые порождают гравитационное излучение **$\sim 10^2$ герц**. Если такие же волны генерируются при слиянии дыр при максимальном сжатии Вселенной, то после ее расширения до современного радиуса **частота этих волн упадет в 10^{10} раз и станет $\sim 10^{-8}$ герц ~ 10 наногерц**.

Именно такие волны недавно открыла обсерватория **NANOGrav**. Это фон реликтовых гравитационных волн, который полностью аналогичен реликтовому микроволновому излучению, испытывающему аналогичные изменения частоты при циклическом сжатии и расширении Вселенной.

3. Слияние чёрных дыр и предсказание фона наногерцовых гравитационных волн



Gorkavyi, N. "Gravitational wave background discovered by NANOGrav as evidence of a cyclic universe", New Astronomy, 91: 101698, 2022.

Наногерцовые волны – доказательство, что в момент максимального сжатия Вселенной в ней происходили массовые слияния ЧД звездных масс, которые, видимо, образуют темную материю.

Это верно для целого класса теорий осциллирующей Вселенной

Красная сплошная кривая внизу: спектр масс черных дыр по данным LIGO с добавлением черных дыр в двойных звездных системах в зависимости от частоты гравволн. **Синей сплошной линией** вверху показана теоретически рассчитанная амплитуда гравитационного излучения при слиянии черных дыр. Штриховые линии - зоны с низкой статистикой. Пунктирным прямоугольником показана граница, соответствующая частоте гравитационных волн, обнаруженных NANOGrav (жирная прямая линия, максимум которой совпадает с максимумом модельной кривой). Штрихпунктирной вертикальной линией показана граница, соответствующая частоте гравитационных волн $3.2 \cdot 10^{-8}$ Гц (или 1/год) от слияния черных дыр при $\sim 4M_{\odot}$, поэтому при частотах больше $3.2 \cdot 10^{-8}$ Гц **должен наблюдаться сильный дефицит гравволн** по сравнению с экстраполированными данными NANOGrav (пунктирное продолжение толстой прямой линии) и теоретическими моделями, основанными на гравитационных волнах от сверхмассивных черных дыр.

4. Метрика системы с переменной массой.

Механизм Большого взрыва и ликвидация сингулярности

1. Результаты ЛИГО показывают, что а. **черных дыр звездных масс** очень много и б. **около 5% массы пары сливающихся черных дыр превращается в гравитационные волны** (это **несколько масс солнца** за секунду!).
2. Целый ряд научных групп высказал мнение, что именно эти черные дыры звездных масс образуют темную материю. Свежий обзор: «**Observational Evidence for Primordial Black Holes: A Positivist Perspective**» Physics Reports, 2024, <https://arxiv.org/abs/2306.03903>, см. также <https://arxiv.org/pdf/2509.05400>
3. Рассмотрение сжимающейся Вселенной, содержащей большое количество черных дыр, показывает, что на ее размере в несколько световых лет будет происходить **массовое слияние черных дыр звездных масс**, которое сопровождается мощной генерацией гравитационного излучения: оно сейчас открыто как **реликтовый фон наногерцовых волн**.
4. Пересмотр роли черных дыр и гравитационных волн заставляет рассматривать различие между **ОТО 1916** и **ОТО 1919** в **вопросе гравитационной массы гравитационных волн** не просто как разницу в трактовках, имеющую академический интерес, а как ключевой момент, который требует **построения космологии Вселенной с переменной гравитационной массой**.

4. Метрика системы с переменной массой.

Механизм Большого взрыва и ликвидации сингулярности

После наблюдений ЛИГО с предложением о построении космологии с переменной массой выступил нобелевский лауреат Филип Андерсон: «В ходе недавних наблюдений гравитационного излучения от столкновений черных дыр было подсчитано, что масса образующейся дыры на несколько солнечных масс (около 3-х, я полагаю) меньше суммы масс исходной пары...

...излучение не сохраняет полную массу с нашей точки зрения; масса необратимо теряется в той части Вселенной, где происходит такое событие.

....Фактически, процесс генерации гравитационного излучения происходит во Вселенной повсюду и постоянно - например, пара пульсаров, обнаруженная Тейлором и Хюзом, непрерывно излучает свою гравитационную потенциальную энергию, как показывают наблюдения.

...Наблюдаемая вселенная становится легче с какой-то неизвестной скоростью, в зависимости от величины необратимо улетевшего излучения. По-видимому, заметное количество гравитационной потенциальной энергии необратимо излучалось в процессе образования звезд, галактик и черных дыр. Это, по-видимому, не учитывается в современной космологии и может быть частью или даже всей «темной энергии», которая теперь постулируется.»

Anderson, Ph. W. “Four Last Conjectures”, <https://arxiv.org/abs/1804.11186>, 2018

4. Метрика системы с переменной массой.

Механизм Большого взрыва и ликвидации сингулярности

Gorkavyi, N., Vasilkov, A. "A repulsive force in the Einstein theory". Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 461 (3): 2929-2933, 2016.

Для слабого гравитационного поля: $g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}$, где $\eta_{\mu\nu}$ - тензор Минковского для плоского пространства-времени, и $h_{\mu\nu} \ll \eta_{\mu\nu}$.

Решение для метрики с переменной гравитационной массы уже известно: вот уравнение Эйнштейна для слабого поля в известном виде (Ландау и Лившиц, 1973; Вайнберг, 1975):

$$\left(\nabla^2 - \frac{\partial^2}{c^2 \partial t^2}\right) h_{\mu\nu} = -\frac{16\pi G}{c^4} S_{\mu\nu} \quad (4)$$

где

$$S_{\mu\nu} = T_{\mu\nu} - \frac{1}{2} \eta_{\mu\nu} T^\lambda_\lambda \quad (5)$$

Решением волнового уравнения (4) является запаздывающий потенциал (Эйнштейн-Розен, 1937; Вайнберг, 1975; Мизнер, Торн, Уилер, 1977; Ландау и Лифшиц, 1973) от **переменной гравитационной массы**, проинтегрированной по объему V_* :

$$h_{\mu\nu}(t, r) = \frac{4G}{c^4} \int \frac{S_{\mu\nu}(r_*, t - \frac{r-r_*}{c})}{r-r_*} dV_*$$

Под переменностью часто понимается вращение двойной системы (6)

4. Метрика системы с переменной массой.

Механизм Большого взрыва и ликвидации сингулярности

Мы рассмотрели переменность в смысле изменения гравмассы.

Для медленных движений, нулевая компонента тензора S_{00} запишется просто:

$$S_{00} = \frac{1}{2} T_{00} \approx \frac{1}{2} \rho c^2 \quad (7)$$

Для массы системы, занимающей компактный объем с радиусом $r_* \ll r$, запишем:

$$M\left(t - \frac{r}{c}\right) \approx \int \rho\left(t - \frac{r-r_*}{c}\right) dV_* \quad (8)$$

Из (6)-(8) получим для нулевой компоненты h_{00} :

$$h_{00}(t, r) = \frac{2GM\left(t - \frac{r}{c}\right)}{rc^2} \quad (9)$$

Это даст искомую нулевую компоненту метрического тензора:

$$g_{00}(t, r) = -\left[1 - \frac{2GM\left(t - \frac{r}{c}\right)}{rc^2}\right] \quad (10)$$

где $(t-r/c)$ – это не сомножитель, а обозначение зависимости M от запаздывания $t - \frac{r}{c}$. Для **$M=\text{const}$** получим метрику Шварцшильда.

4. Метрика системы с переменной массой.

Механизм Большого взрыва и ликвидации сингулярности

Kutschera, M. Monopole gravitational waves from relativistic fireballs driving gamma-ray bursts. MNRAS, 345, L1-L5, 2003.

При написании своей работы, мы выяснили, что **Kutschera (2003)** уже давно получил в приближении слабого поля модифицированную метрику Шварцшильда для переменной гравитационной массы расширяющегося файрбола:

$$ds^2 = [1 - b(t, r)]c^2 dt^2 - [1 + b(t, r)](dx^2 + dy^2 + dz^2) \quad (1)$$

где

$$b(t, r) = \frac{2GM(t - \frac{r}{c})}{rc^2} \quad (2)$$

а $M(t - \frac{r}{c})$ является переменной гравитационной массой, поле которой описывается запаздывающим потенциалом с $t - \frac{r}{c}$. Kutschera (2003) сделал вывод, что **уменьшение гравитационной массы файрбола (Кутчера рассматривал изменение давления в качестве причины) порождает монопольную гравитационную волну.**

4. Метрика системы с переменной массой.

Механизм Большого взрыва и ликвидации сингулярности

Gorkavyi & Vasilkov (2016) вычислили и исследовали **гравитационное ускорение** для метрики Кутчеры (1)-(2). Запишем, с учетом (10), выражение для гравитационного ускорения $F(t, r)$ в случае слабых полей и медленных движений (Вайнберг, 1975):

$$F(t, r) \approx \frac{c^2}{2} \frac{\partial g_{00}}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial r} \frac{GM(t - \frac{r}{c})}{r} \quad (11)$$

или, после дифференцирования:

$$F(t, r) \approx - \frac{GM(t - \frac{r}{c})}{r^2} + \frac{G}{r} \frac{\partial M(t - \frac{r}{c})}{\partial r} \quad (12)$$

 **Новое слагаемое**

В (12) **первый член справа** характеризует всегда **отрицательную ньютоновскую силу**, описывающую только притяжение, которое в рассматриваемом случае **может меняться по величине со временем из-за вариаций массы**. Эффект уменьшения ньютоновского притяжения иногда **ошибочно (Итан Зигель!)** рассматривается как «антигравитация», хотя здесь нет отталкивающей силы.

Новое слагаемое в правой части (12) принципиально отличается от первого члена ньютоновского притяжения: оно релятивистское и зависит от скорости изменения массы, имеет другую зависимость от радиуса и может менять свой знак.

4. Метрика системы с переменной массой.

Механизм Большого взрыва и ликвидации сингулярности

Опишем гравитационную массу M функцией, которая, в зависимости от знака α , может описывать как уменьшение, так и увеличение массы:

$$M = M_0 e^{-\alpha(t - \frac{r}{c})} \quad (\text{можно взять другую функцию}) \quad (13)$$

Для функции (13) выведем из (12) следующее выражение для гравитационного ускорения (простым способом оно было получено в заметке Gorkavyi, BAAS, 2003):

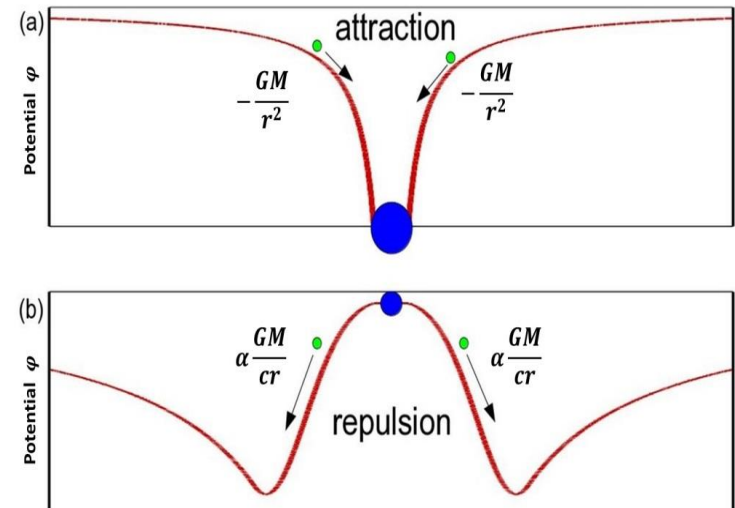
$$F \approx -\frac{GM}{r^2} + \frac{\alpha}{c} \frac{GM}{r} \quad \begin{array}{l} \text{Релятивистский характер нового члена} \\ \text{очевиден (при бесконечном } c \text{ он исчезает)} \end{array} \quad (14)$$

При $\alpha > 0$ (уменьшение массы) новый член гравитационного ускорения описывает «антигравитацию», а при $\alpha < 0$ (увеличение массы) - «гипергравитацию».

Проясним физический смысл уравнения (14), записав гравитационное ускорение через квазиньютоновский потенциал φ (Gorkavyi, 2003):

$$F(t, r) = -\frac{\partial \varphi}{\partial r}, \quad \text{где } \varphi = -\frac{GM(t - \frac{r}{c})}{r} \quad (15)$$

После дифференцирования потенциала φ получим выражение (14).

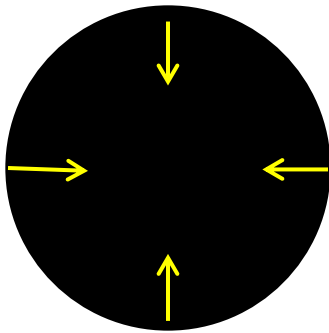


4. Метрика системы с переменной массой.

Механизм Большого взрыва и ликвидации сингулярности

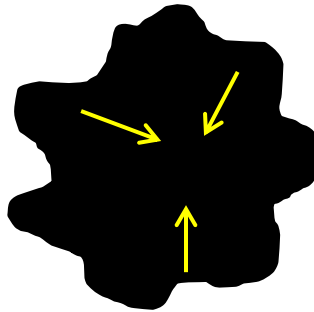
Хорошо известно, что гравитационное притяжение невозможно остановить любыми другими силами. Зато его можно преодолеть с помощью других, **быстро растущих**, гравитационных феноменов!

Ньютоновское
притяжение



$$1/R^2$$

Асимметрия коллапса
из-за приливных сил



$$1/R^3$$

Переход массы
в гравизлучение

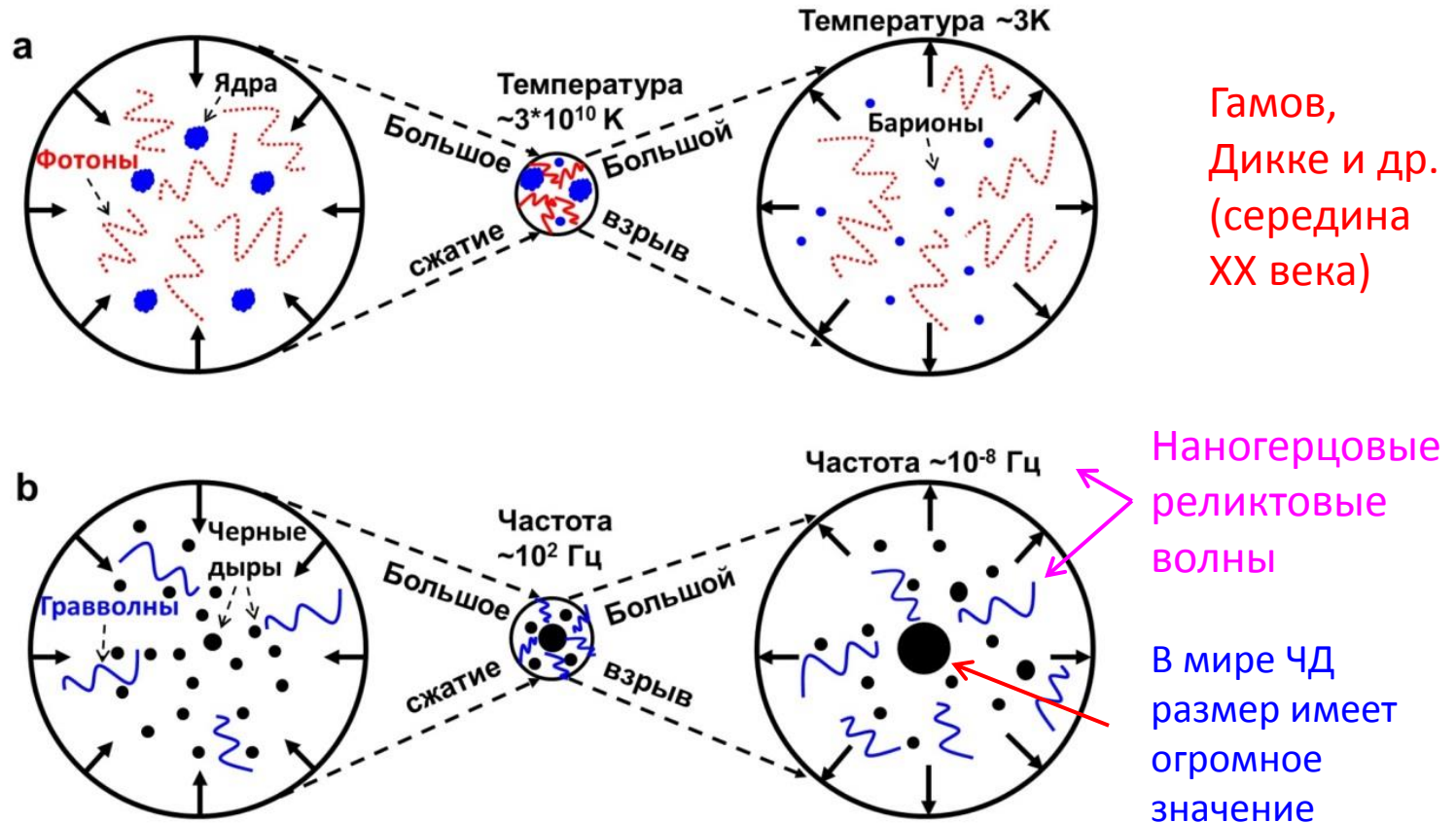


$$1/R^5$$

1. **До сингулярности** система **не может сжаться**, потому что она должна раньше превратиться в облако гравитационных волн, **не имеющих гравитационной массы**.
2. На самом деле, даже этого не произойдет, потому что **при резком уменьшении гравитационной массы** член с антигравитацией превысит член ньютоновского притяжения – и **система испытает Большой Взрыв**. Расчеты показывают: переход от сжатия к расширению происходит **возле центра черной дыры**.

4. Метрика системы с переменной массой.

Механизм Большого взрыва и ликвидации сингулярности



Эволюция (a) реликовых электромагнитных волн и (b) реликового гравитационного излучения во Вселенной при **Большом сжатии** и **Большом взрыве**. При сжатии тяжелые ядра распадаются на барионы, а также образуется самая **Большая Черная Дыра** ($\sim 1 \text{ св.года}$). Рисунок из статьи Gorkavyy et al. (2018), с модификациями.

5. Ускоренное растяжение поля галактик и проблема тёмной энергии

Комментарий от Джона Мазера: нужно объяснить темную энергию

Выведем **модифицированные уравнения Фридмана** для метрики с переменной гравитирующей массой в сопутствующих координатах x_*, y_*, z_* :

$$ds^2 = [1 - b(t, r)]c^2 dt^2 - a(t, r)^2 [1 + b(t, r)](dx_*^2 + dy_*^2 + dz_*^2) \quad (23)$$

где $b(t, r) = \frac{2GM(t, r)}{rc^2} \ll 1$ - известная функция, а $a(t, r)$ - неизвестный масштабный фактор. Метрика типа (23) была исследована, например, МакВитти (1961), Dodelson (2003), Kopeikin (2012). Согласно Крамеру и др. (1982), метрика (23) принадлежит к типу сферически симметричных нестационарных метрик, которые допускают введение изотропных сопутствующих координат. Мы будем искать **модифицированные уравнения Фридмана** в таких координатах. Зависимость функций $a(t, r)$ и $b(t, r)$ от координат означает, что мы рассматриваем слабо неоднородную космологическую модель.

Функция $b(t, r)$ в метрике (23) является возмущением классической метрики FLRW (Friedmann–Lemaître–Robertson–Walker), которая получается при $b(t, r)=0$

5. Ускоренное растяжение поля галактик и проблема тёмной энергии

Запишем нулевую компоненту уравнений Эйнштейна:

$$R_{00} - \frac{1}{2} g_{00} R = -\frac{8\pi G}{c^4} T_{00} \quad (24)$$

После громоздких, но стандартных вычислений величин R_{00} (нулевая компонента тензора Риччи) и R (скалярная кривизна), получим для левой части (24) следующее выражение:

$$R_{00} - \frac{1}{2} g_{00} R = \overbrace{\left[-\left(\frac{1}{2g_{11}} \frac{\partial g_{11}}{c \partial t} \right) \left(\frac{1}{2g_{22}} \frac{\partial g_{22}}{c \partial t} \right) - \left(\frac{1}{2g_{11}} \frac{\partial g_{11}}{c \partial t} \right) \left(\frac{1}{2g_{33}} \frac{\partial g_{33}}{c \partial t} \right) - \left(\frac{1}{2g_{22}} \frac{\partial g_{22}}{c \partial t} \right) \left(\frac{1}{2g_{33}} \frac{\partial g_{33}}{c \partial t} \right) - \right.}_{\text{Члены, из которых получаются обычные слагаемые уравнения Фридмана } \left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2}$$

$$\left. g_{00} \left(\frac{1}{2g_{11}g_{22}} \frac{\partial^2 g_{22}}{\partial x_*^2} + \frac{1}{2g_{11}g_{33}} \frac{\partial^2 g_{33}}{\partial x_*^2} + \frac{1}{2g_{11}g_{22}} \frac{\partial^2 g_{11}}{\partial y_*^2} + \frac{1}{2g_{22}g_{33}} \frac{\partial^2 g_{33}}{\partial y_*^2} + \frac{1}{2g_{11}g_{33}} \frac{\partial^2 g_{11}}{\partial z_*^2} + \frac{1}{2g_{22}g_{33}} \frac{\partial^2 g_{22}}{\partial z_*^2} \right) \right] \quad (25)$$

ДАЕТ НОВЫЙ ЧЛЕН, ВЫЗВАННЫЙ ВОЗМУЩЕНИЕМ $b(t, r)$

Здесь было учтено, что $b(t, r) \ll a(t, r)$, поэтому членами, нелинейными по $b(t, r)$, пренебрегалось (см. оценки в статье Gorkavyi & Vasilkov, 2018).
Корректность вывода (25) была также проверена вторым способом, с использованием общих выражений из параграфа 100 книги Толмена (1974).

Gorkavyi, N. & Vasilkov, A. A modified Friedmann equation for a system with varying gravitational mass. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 476 (1): 1384-1389, 2018.

5. Ускоренное растяжение поля галактик и проблема тёмной энергии

С учетом (25) запишем **первое модифицированное уравнение**

Фридмана для слабого поля:

Новое слагаемое дает неоднородность ~10%

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 + \frac{\dot{a}}{a} \dot{b} = \frac{\Lambda(t,r)c^2}{3} + \frac{8\pi G\rho}{3} \quad (27)$$

где в функции $\Lambda(t,r)$ можно оставить только члены с $b(t,r)$, которые для $\alpha \gg \frac{c}{R}$ сильнее зависят от пространства, чем $a(t,r)$:

$$\Lambda(t,r) = \frac{1}{a^2} \left(\frac{\partial^2 b}{\partial x_*^2} + \frac{\partial^2 b}{\partial y_*^2} + \frac{\partial^2 b}{\partial z_*^2} \right) = \frac{\partial^2 b}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 b}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 b}{\partial z^2} \quad (28)$$

Космологическая
постоянная стала
красивой функцией

Из уравнения (28) для $|\alpha| \gg c/r$ получим

$$\Lambda(t,r) \approx \frac{\alpha^2}{c^2} b(t,r) = \frac{\alpha^2}{c^2} \frac{r_0}{r} \approx 0.7 * 10^{-56} (\alpha T)^2 \frac{r_0}{r} \text{ см}^{-2} \quad (29)$$

где $T = 4 * 10^{17}$ сек – космологическое время. Сравним (29) с измеренным значением космологической постоянной (Ade et al., 2016):

$$\Lambda(t,r) \approx 1.1 * 10^{-56} \text{ см}^{-2} \quad (30)$$

Функция (29), описывающая ускорение Вселенной, соответствует измеренной космологической постоянной при следующем значении безразмерной величины, которая получается при разумных оценках:

$$(\alpha T)^2 \frac{r_0}{r} \approx 1.6 \quad (31)$$

5. Ускоренное растяжение поля галактик и проблема тёмной энергии

Оценка плотности фона реликтовых гравволн, который обеспечивает **наблюдаемую постоянную Λ** (оценка двумя независимыми способами):

$$\rho_{GW} = \frac{|\alpha|c^3}{108\pi G^2 M} \sim 10^{-28} \text{ Г/см}^3 \quad (33)$$

$$\rho_{GW} \sim \frac{c^2}{8\pi G R^2} \sim 10^{-29} \text{ Г/см}^3 \quad (34)$$

Сравним с критической плотностью замкнутой Вселенной:

$$\rho_{crit} \sim \frac{3H^2}{8\pi G} \sim 9.3 * 10^{-30} \text{ Г/см}^3$$

Поразительное согласие! Квантовые расчеты темной энергии на основе флуктуаций вакуума расходились с реальностью на 120 порядков...

Gorkavyi, N., Vasilkov, A., Mather, J., A Possible Solution for the Cosmological Constant Problem, In: *Exploring the Dark Side of the Universe*. Eds: B. Vachon and P. Petroff, PoS(EDSU2018)039, <https://pos.sissa.it/335/039/pdf>, 2018.

Аналогичный подход: Garcia-Bellido J: **Cosmic entropic acceleration from supermassive black hole growth**. *Physics of the Dark Universe*. 44:10191, 2024.

5. Ускоренное растяжение поля галактик и проблема тёмной энергии

Второе модифицированное уравнение Фридмана получаем обычным способом, дифференцируя первое уравнение Фридмана (27):

$$\frac{\ddot{a}}{a} = \frac{\Lambda(t,r)c^2}{3} + \frac{8\pi G\rho}{3} - \frac{\ddot{b}}{2} + \frac{\frac{\dot{\Lambda}(t,r)c^2}{6} + \frac{4\pi G\dot{\rho}}{3}}{\sqrt{\frac{\Lambda(t,r)c^2}{3} + \frac{8\pi G\rho}{3}}} \quad (35)$$

Неожиданный результат: ускорение наблюдаемой части Вселенной $\frac{\ddot{a}}{a} > 0$ определяется **эффектом гипергравитации** при $\alpha < -H$, вызванным увеличением гравитационной массы **наблюдаемой части Вселенной**. Гипергравитация растягивает наблюдаемый набор галактик так, что с точки зрения сопутствующего локального наблюдателя, галактики удаляются друг от друга с ускорением. **Следовательно, ускоренное «расширение» Вселенной вызвано ростом ее массы и остановится с будущем**



а. Движение трёх галактик α , β , γ , удаляющихся от центра Вселенной. б. По мере углубления гравитационной потенциальной ямы цепочка галактик на склоне начинает растягиваться. Для наблюдателя в галактике β соседние галактики удаляются от него с **относительным ускорением**, обозначенным пунктирными стрелками. (Рисунок из МТУ, 1977 с небольшими модификациями)

6. Реликтовые чёрные дыры и решение проблемы темной материи

Н.Н. Горькавый, А.С. Тюльбашев, ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ И НЕЙТРОННЫЕ ЗВЕЗДЫ В ОСЦИЛЛИРУЮЩЕЙ ВСЕЛЕННОЙ. Астрофизический бюллетень. т.76, N3, с.285-305, 2021.

Запишем уравнение непрерывности для изменения массы популяции черных дыр:

$$\frac{dnm}{dt} = A(n, m) - B(n, m) \quad (42)$$

где $A(n, m)$ - член, характеризующий рост общего числа n и средней массы m черных дыр, а $B(n, m)$ описывает уменьшение этих величин. Пусть звездная эволюция в каком-то цикле Вселенной породила начальную популяцию черных дыр с численностью n_0 и массами дыр m_0 . Рассмотрим простую модель, в которой процессы уменьшения общего числа черных дыр и рост индивидуальной массы дыр независимы. Тогда, перейдя к итерациям в заданный интервал времени, из уравнения (42) можно получить отдельное уравнение для числа черных дыр:

$$n_{i+1} = n_i(1 - D) \quad (43)$$

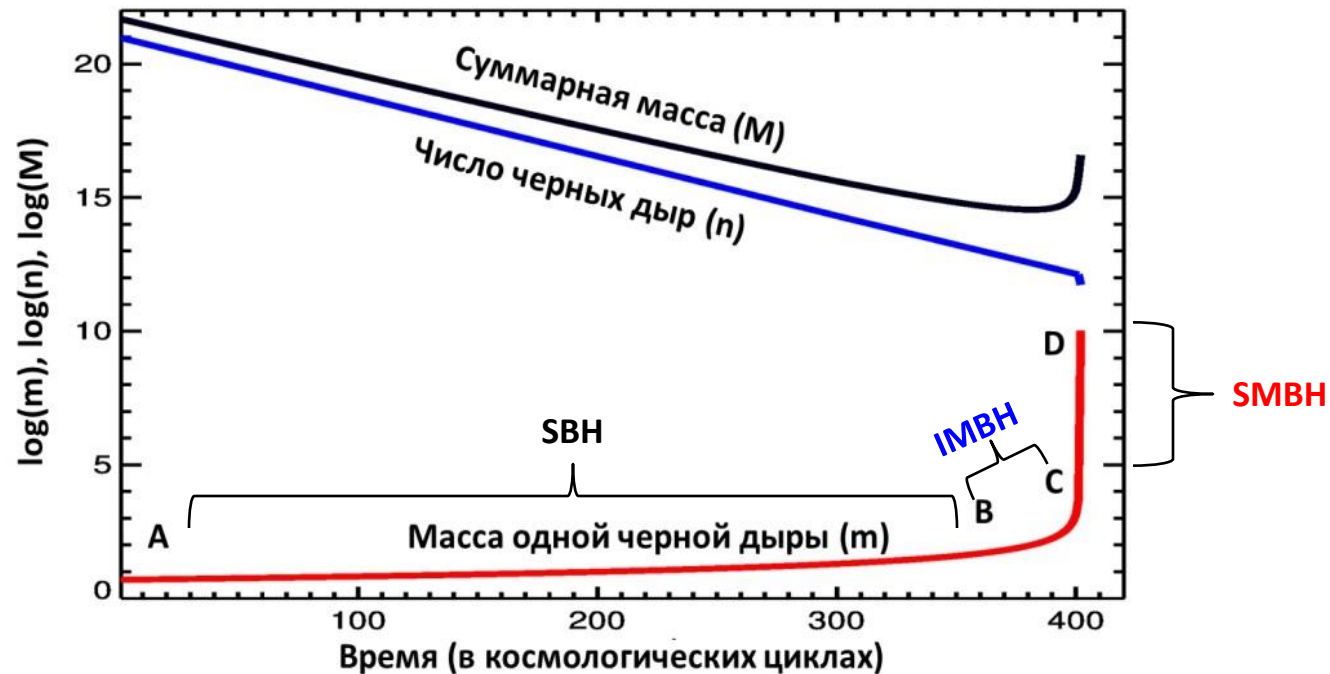
и отдельную формулу для массы черных дыр:

$$m_{i+1} = m_i(1 + C m_i) \quad (44)$$

где

$$C = \frac{27\pi G^2}{c^3} T_a \rho_a \quad (45)$$

6. Реликтовые чёрные дыры и решение проблемы темной материи



Эволюция популяции черных дыр в Модели 1 в течение 402 циклов. Индивидуальная масса черных дыр m показана нижней кривой, их количество n в каждом цикле – средней линией. Суммарная масса M популяции черных дыр каждого цикла отражена на верхнем графике. Все массы указаны в массах Солнца M_{\odot} .

6. Реликтовые чёрные дыры и решение проблемы темной материи

Таблица. Популяция черных дыр в двух моделях циклической Вселенной.

Параметры	Модель 1	Модель 4
Доля уменьшения числа дыр за цикл (в %), D	5%	2%
Параметр роста массы дыры за цикл, C (в $1/M_{\odot}$)	$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Максимальное число циклов в модели, t_{max}	401.41	1002.33
Циклы с массой растущих дыр меньше $100 M_{\odot}$	1-382	1-953
Суммарное число черных дыр SBH ($<100 M_{\odot}$), N_{SBH}	$1.9 \cdot 10^{22}$	$4.9 \cdot 10^{22}$
Суммарное число черных дыр IMBH, N_{IMBH}	$4.5 \cdot 10^{13}$	$1.4 \cdot 10^{14}$
Суммарное число черных дыр SMBH, N_{SMBH}	$2.6 \cdot 10^{10}$	$8.2 \cdot 10^{10}$
Суммарная масса черных дыр SBH, M_{SBH} (в M_{\odot})	$1.0 \cdot 10^{23}$	$2.6 \cdot 10^{23}$
Суммарная масса черных дыр IMBH, M_{IMBH} (в M_{\odot})	$2.1 \cdot 10^{16}$	$6.7 \cdot 10^{16}$
Суммарная масса черных дыр SMBH, M_{SMBH} (в M_{\odot})	$3.1 \cdot 10^{16}$	$9.5 \cdot 10^{16}$

Выводы

1. **SBH**, черные дыры звездных масс (менее $100M_{\odot}$), накапливаясь в процессе многочисленных циклов, образуют популяцию, объясняющую наблюдения LIGO и отвечающую за феномен **темной материи**.

2. Популяция промежуточных **IMBH** потеряла свою коллективную численность и суммарную массу по сравнению с SBH в ходе многократных циклов. Зато IMBH стали родителями быстро растущих SMBH. IMBH отвечают за формирование **звездных шаровых скоплений** и образование спутников галактик.

3. Сверхмассивные **SMBH** существуют с самого начала расширения Вселенной и вносят важный вклад в **образование квазаров и галактик**, которые могут формироваться вокруг SMBH.

Статьи 2016 и 2018 года (с А. Васильковым и Дж. Мазером) и 2021 года с С. Тюльбашевым заложили основы теории пульсирующей Вселенной.

Литература

68 стр

1. Carr, B. J. and Coley, A. A. “**Persistence of black holes through a cosmological bounce**”. International Journal of Modern Physics D, Vol. 20, No. 14, pp. 2733-2738, **2011**.
2. Bernard Carr, Sebastien Clesse, Juan Garcia-Bellido, Michael Hawkins, Florian Kuhnel “Observational Evidence for **Primordial Black Holes**: A Positivist Perspective”. Physics Reports 1054, **2024**, 1, <https://arxiv.org/abs/2306.03903>
3. M.R.S. Hawkins, J. García-Bellido «A critical analysis of the recent **OGLE limits** on stellar mass primordial black holes in the halo of the Milky Way», **Sept. 5, 2025**; <https://arxiv.org/abs/2509.05400>
4. Н.Н. Горькавый, **А.С. Тюльбашев**, ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ И НЕЙТРОННЫЕ ЗВЕЗДЫ В ОСЦИЛЛИРУЮЩЕЙ ВСЕЛЕННОЙ. Астрофизический бюллетень. т.76, N3, с.285-305, **2021**. <https://www.sao.ru/Doc-k8/Science/Public/Bulletin/Vol76/N3/ASPB285.pdf>
5. Perez, Daniela and Romero, Gustavo E. "**Survival of black holes through a cosmological bounce**", Phys. Rev. D, 105, 10, 104047, **2022**. <https://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.105.104047>

7. Сверхмассивные черные дыры и сверхгигантские галактики. Соотношения Талли-Фишера, Фабер-Джексона и M-сигма

Приложения теории:

- объяснение фона наногерцовых гравитационных волн (см. ранее)
- модель формирования ранних галактик и соотношения Талли-Фишера

Gorkavyi, N. Accretion of Galaxies around Supermassive Black Holes and a Theoretical Model of the Tully-Fisher and M-Sigma Relations. *Galaxies*, 10: 73, 2022b.

Когда возраст расширяющейся Вселенной достиг 380 тысяч лет, протонно-электронная плазма охладилась до 3000 кельвинов и превратилась в нейтральный водород. В среде из водорода и темной материи возникла **гравитационная неустойчивость Джинса** (Зельдович и Новиков, 1975, Вайнберг, 1975), которая характеризуется следующим дисперсионным уравнением (Поляченко и Фридман, 1972, Горькавый и Фридман, 1994):

$$\omega^2 = k^2 c_s^2 - 4\pi G \rho \quad (63)$$

где ρ - объемная плотность среды; c_s - скорость звука; волновой вектор $k = 2\pi/\lambda$, где λ - длина волны возмущения; $\omega = 2\pi/T$ - частота колебаний с периодом T .

7. Сверхмассивные черные дыры и сверхгигантские галактики. Соотношения Талли-Фишера, Фабер-Джексона и М-сигма

Условие неустойчивости Джинса выполняется для возмущений плотности с длиной волны больше критической:

$$\lambda > c_s \sqrt{\frac{\pi}{G\rho}} \sim 100 \text{ световых лет} \quad (65)$$

где принята типичная оценка плотности гравитирующей материи $\rho \sim 3 * 10^{-21} \text{ г/см}^3$ и $c_s \sim 10^6 \text{ см/с}$ (Зельдович и Новиков, 1975, Вайнберг, 1975). Массу образующегося скопления можно оценить так (Зельдович и Новиков, 1975, Вайнберг, 1975; Peebles, 1993):

$$M_j \approx \rho \left(\frac{\lambda}{2}\right)^3 \sim 10^5 M_\odot \propto \sqrt{\frac{1}{\rho}} \propto t^{3/2} \quad (66)$$

Гравитационное ускорение на границе облака Джинса с массой $10^5 M_\odot$:

$$f = \frac{Gm}{d^2} \sim 10^{-8} \text{ см/с}^2 \quad (67)$$

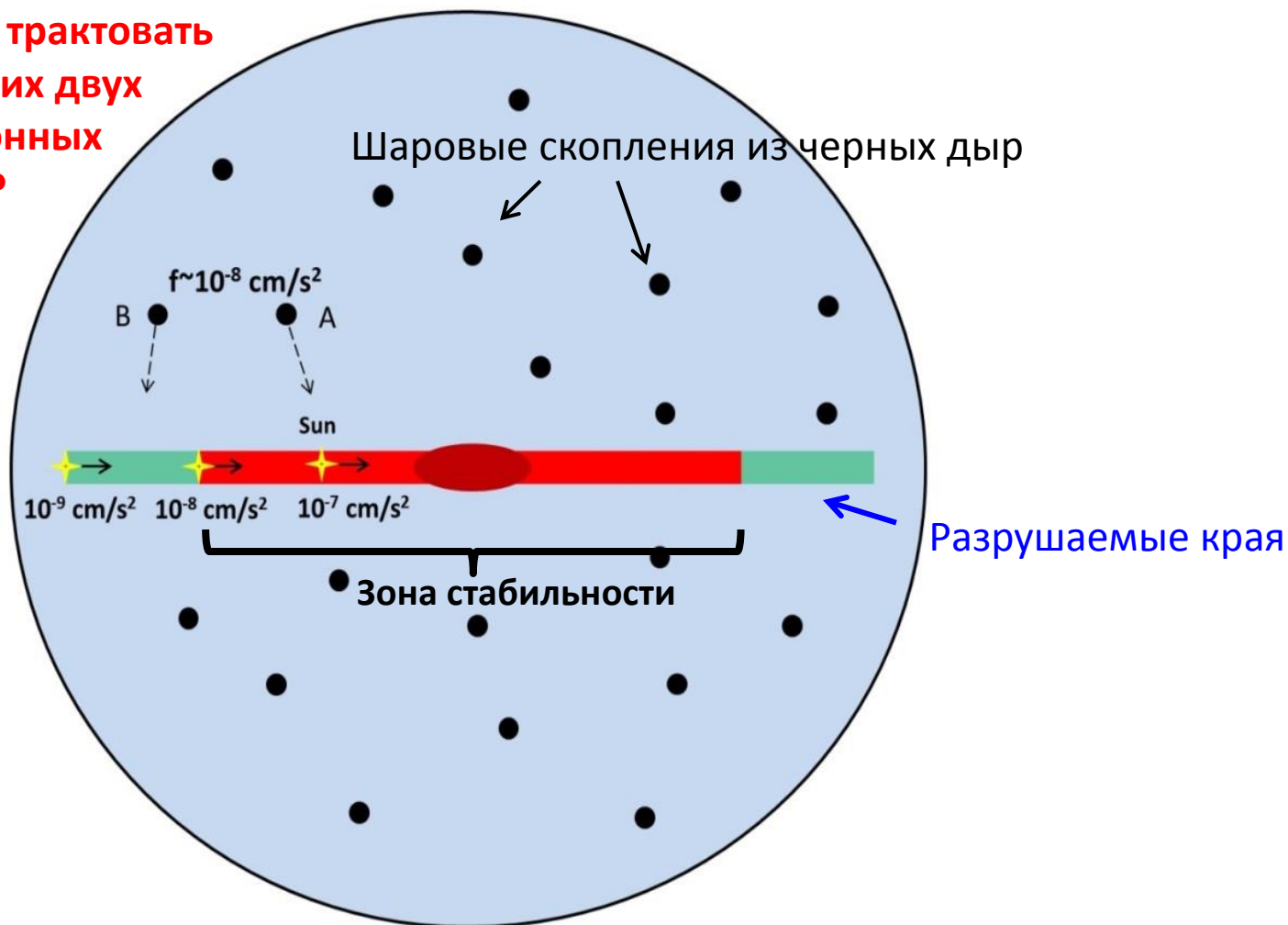
Здесь мы предположили, что радиус облака $d=25$ световых лет.

Величина (67) поразительно близка к гравитационному ускорению на краю нашей Галактики (принимая ее массу $M=10^{12} M_\odot$ и радиус $R=10^5$ световых лет):

$$\frac{GM}{R^2} \sim 2 * 10^{-8} \text{ см/с}^2 \quad (68)$$

7. Сверхмассивные черные дыры и сверхгигантские галактики. Соотношения Талли-Фишера, Фабер-Джексона и М-сигма

Как можно трактовать
близость этих двух
гравитационных
ускорений?



Шаровые темные скопления (их стали открывать) как пираньи обгрызают края галактики, пока им позволяют **зубы** (то есть величина гравитационного ускорения)

7. Сверхмассивные черные дыры и сверххранение галактики. Соотношения Талли-Фишера, Фабер-Джексона и М-сигма

Согласно кеплеровскому закону, квадрат скорости V кругового вращения тел вокруг массивного объекта пропорционален массе M этого объекта:

$$V^2 = \frac{GM}{R} \quad (1)$$

В 1977 году Р. Талли и Дж. Фишер обнаружили противоречащую (1) закономерность $M \propto V^4$, которая связывает массу дисковой галактики M и скорость вращения V на ее краю. Мы установили (см. предыдущий рис):

$$\frac{GM}{R^2} \sim \frac{Gm}{d^2} \sim f \sim \text{const} \sim \mathbf{10^{-8}} \text{ см/с}^2 \quad (2)$$

Подставляя R из (1) в уравнение (2), получим:

$$\mathbf{M = \frac{V^4}{Gf}} \quad \text{где константа } f \sim \frac{Gm}{d^2} \quad (3)$$

Соотношение (3) просто и логично объясняет загадочную (см. МОНД!) знаменитую зависимость Талли-Фишера между массой галактик и периферийной скоростью их вращения.

Аналогичным способом, используя теорему вириала для дисперсии скоростей σ , получим закон Фабера-Джексона для эллиптических галактик:

$$\mathbf{M = 25 \frac{\sigma^4}{Gf}} \quad (4)$$

7. Сверхмассивные черные дыры и сверххранение галактики. Соотношения Талли-Фишера, Фабер-Джексона и М-сигма

Еще более загадочной закономерностью является так называемое $M - \sigma$ или «М-сигма» соотношение. **Масса SMBH - центральной сверхмассивной черной дыры M_0 обычно составляет малую часть (~0.1%) от массы балджа** (центральной части дисковой галактики). Тем не менее, существует высокая корреляция между массой локальной SMBH и таким глобальным параметром, как дисперсия звездных скоростей в балдже.

М-сигма соотношение между массой SMBH и дисперсией скоростей: $M_0 \propto \sigma^4$ близко к зависимости (4). Из условия (2) можно получить, что масса галактики связана с ее площадью: $\pi R^2 \propto M$. Аккреционный рост галактики прямо зависит от площади ее диска, а, следовательно, и от ее массы:

$$\frac{dM}{dt} \propto \pi R^2 \propto M \quad (5)$$

Уравнение (5) приводит к экспоненциальному закону роста галактики $M = M_0 \exp(\gamma t)$. Можно ожидать, что соотношение (5) выполнялось и в самом начале роста галактики, когда основная масса ее зародыша содержалась в SMBH. Таким образом, под массой M_0 можно понимать массу центральной SMBH. **Следовательно, уравнение (5) и его решение связывают массу центральной дыры с массой окружающего ее балджа.** Учитывая (4), мы получаем обоснование М-sigma отношения: связи массы SMBH и одномерной дисперсии хаотических скоростей в балдже:

$$M \propto M_0 \propto \sigma^4 \quad (6)$$

7. Сверхмассивные черные дыры и сверххранение галактики. Соотношения Талли-Фишера, Фабер-Джексона и М-сигма

Масса галактики вокруг SMBH растет до $e^{\frac{\gamma}{\delta-1}t_0} \sim 5 * 10^3 M_{SMBH}$ всего **за несколько миллионов лет**. Это подтверждает Уэбб телескоп (создатель – Джон Мазер).

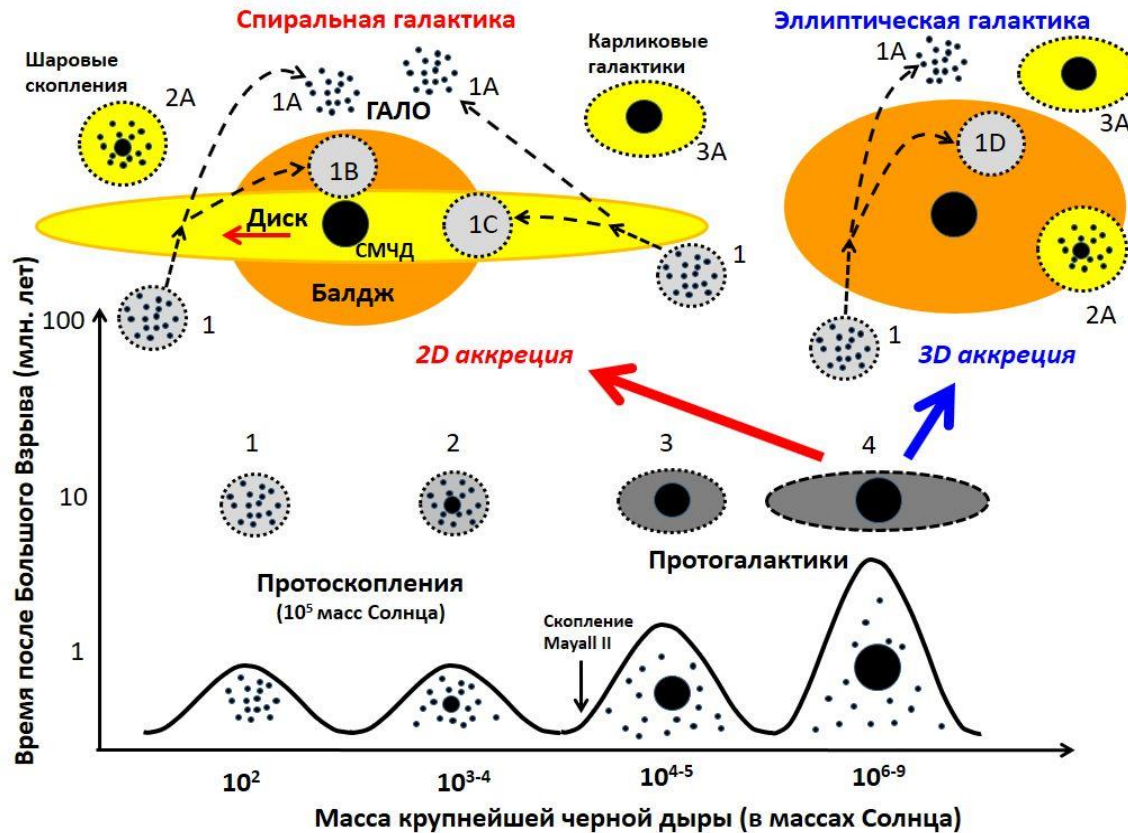


Схема образования и эволюции облаков Джинса и протогалактик в современные **дисковые и эллиптические галактики** с гало и шаровыми скоплениями звезд.

8. Наблюдательные признаки анизотропии и неоднородности Вселенной

Напряжение Хаббла (Hubble tension)

Из анализа реликтового излучения, сделанного по данным спутника *Planck*, была найдена величина постоянной Хаббла:

$$H = 67.4 \pm 0.5 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпс}^{-1}$$

Из этой величины следует, что галактики, разделенные расстоянием в один мегапарсек, разбегаются со скоростями 67.4 км/сек. Это измеренное значение постоянной Хаббла относится к периоду образования реликтового излучения, так что это оценка той постоянной Хаббла, которая была **380 тысяч лет спустя Большого взрыва**.

Адам Рисс, получивший Нобелевскую премию за открытие ускоренного расширения Вселенной, вместе с командой активно занимается измерением постоянной Хаббла по наблюдениям цефеид и сверхновых. Результаты Рисса и его соавторов дают постоянную Хаббла равной

$$73.2 \pm 1.3 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпс}^{-1}$$

Это измерение **современной постоянной Хаббла**, основанное на достаточно близких объектах.

9% разница

*Напряжение Хаббла называют кризисом космологии
(на эту тему выходит ~30 статей/месяц)*

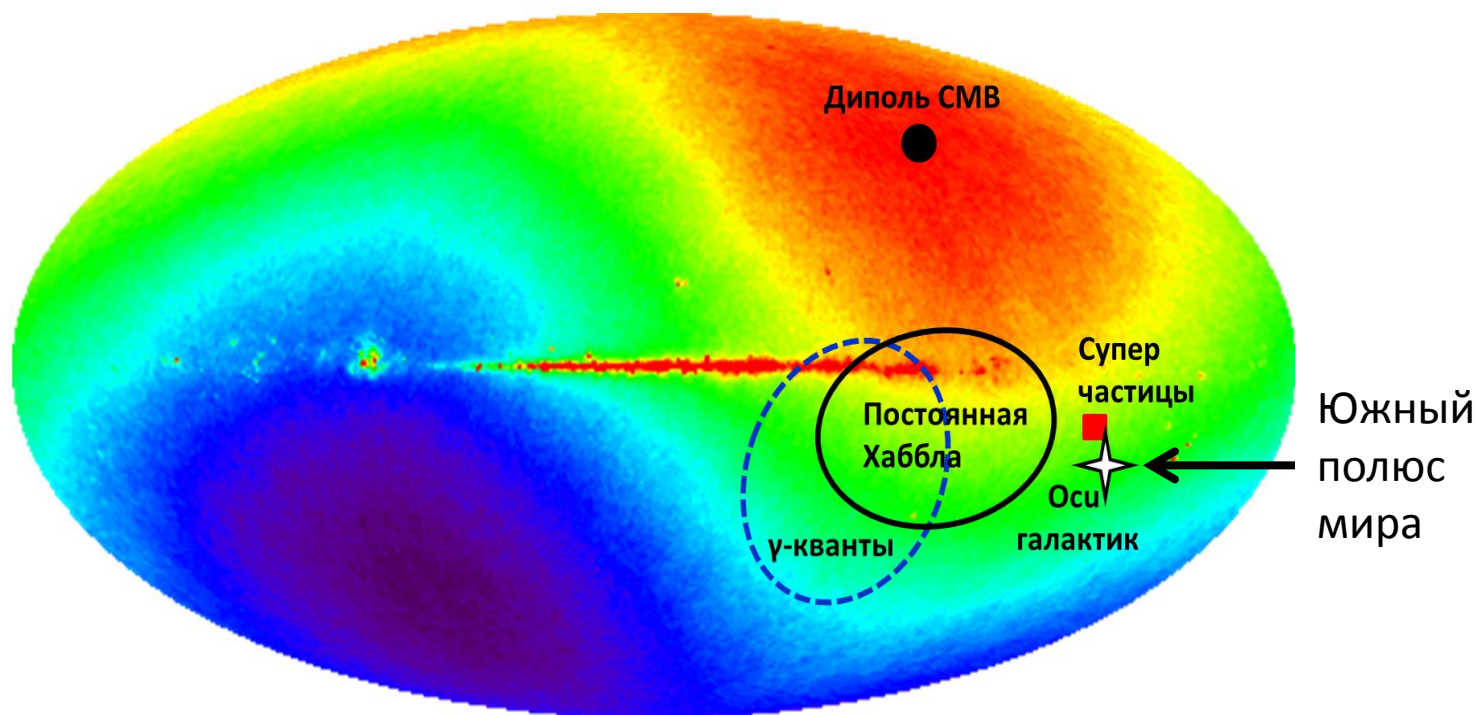
8. Наблюдательные признаки анизотропии и неоднородности Вселенной

Целый ряд работ выявили в наблюдательных данных

глобальную анизотропию

распределения различных космических объектов или их свойств

Рисунок из Gorkavyi N. The Oscillating Universe. Einsteinian Cosmology of Black Holes and Gravitational Waves (2025):



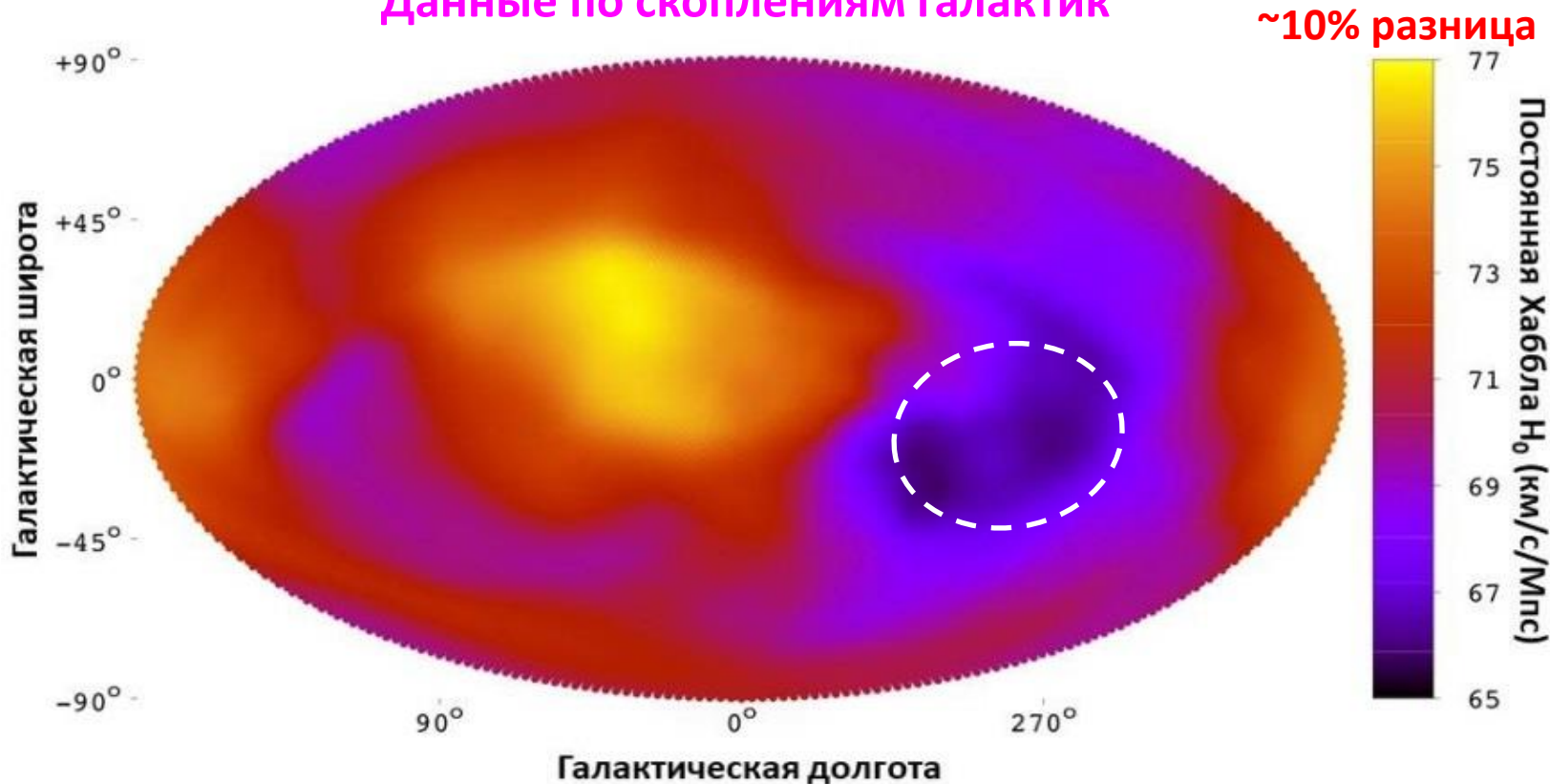
Карта неба (и СМВ) в галактических координатах
(Млечный Путь расположен вдоль горизонтальной оси).

8. Наблюдательные признаки анизотропии и неоднородности Вселенной

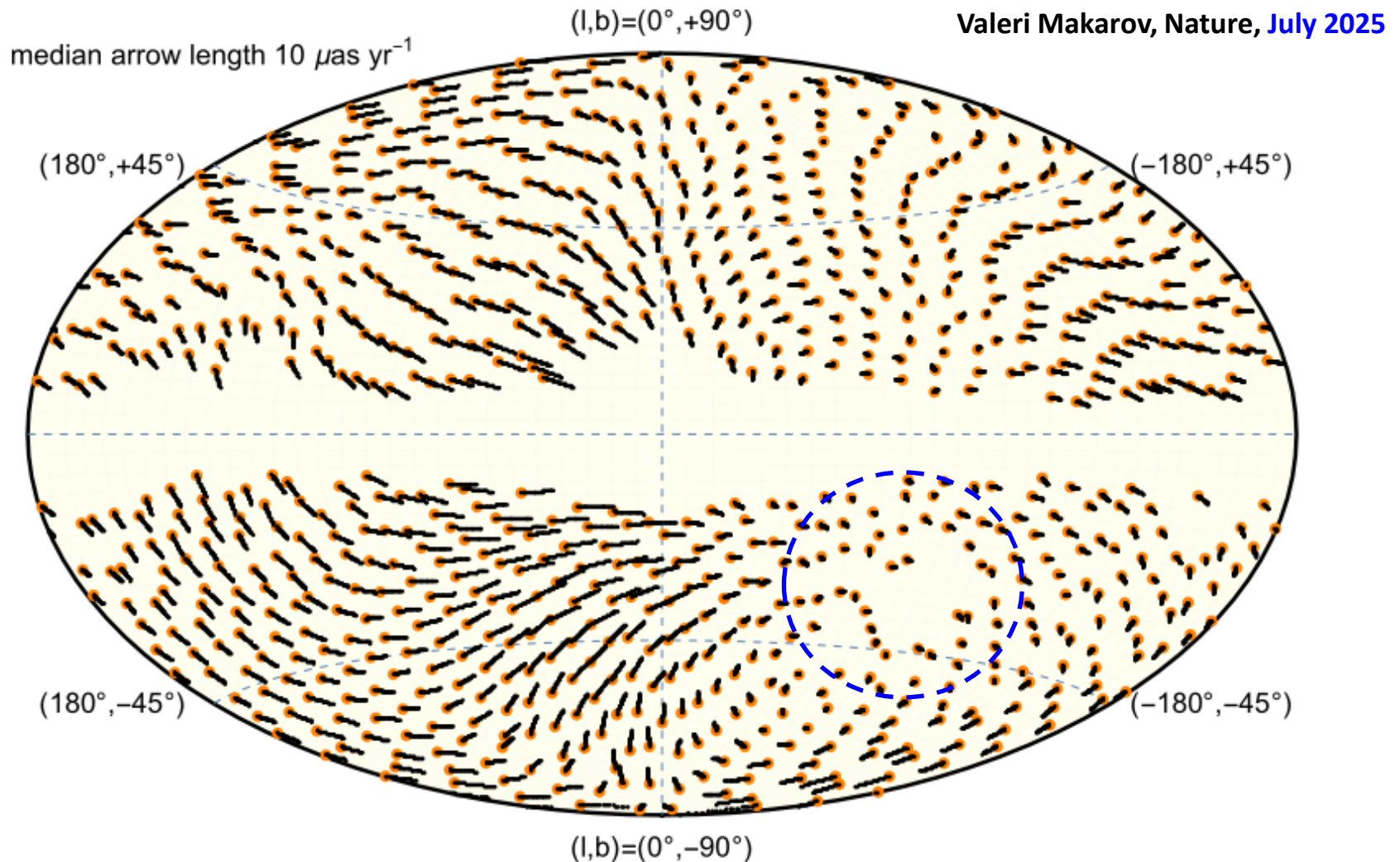
Анизотропия постоянной Хаббла ($\sim 10\%$)

Рисунок из статьи **Мигкаса** и др. (2020). Темная область минимальной постоянной Хаббла расположена в районе отрицательных галактических **широт -20° и долгот $\sim 280^\circ$** , вблизи Южного полюса Земли (галактическая **широта -27.1° и долгота 302.9°**).

Данные по скоплениям галактик



Анизотропия движения квазаров по небу

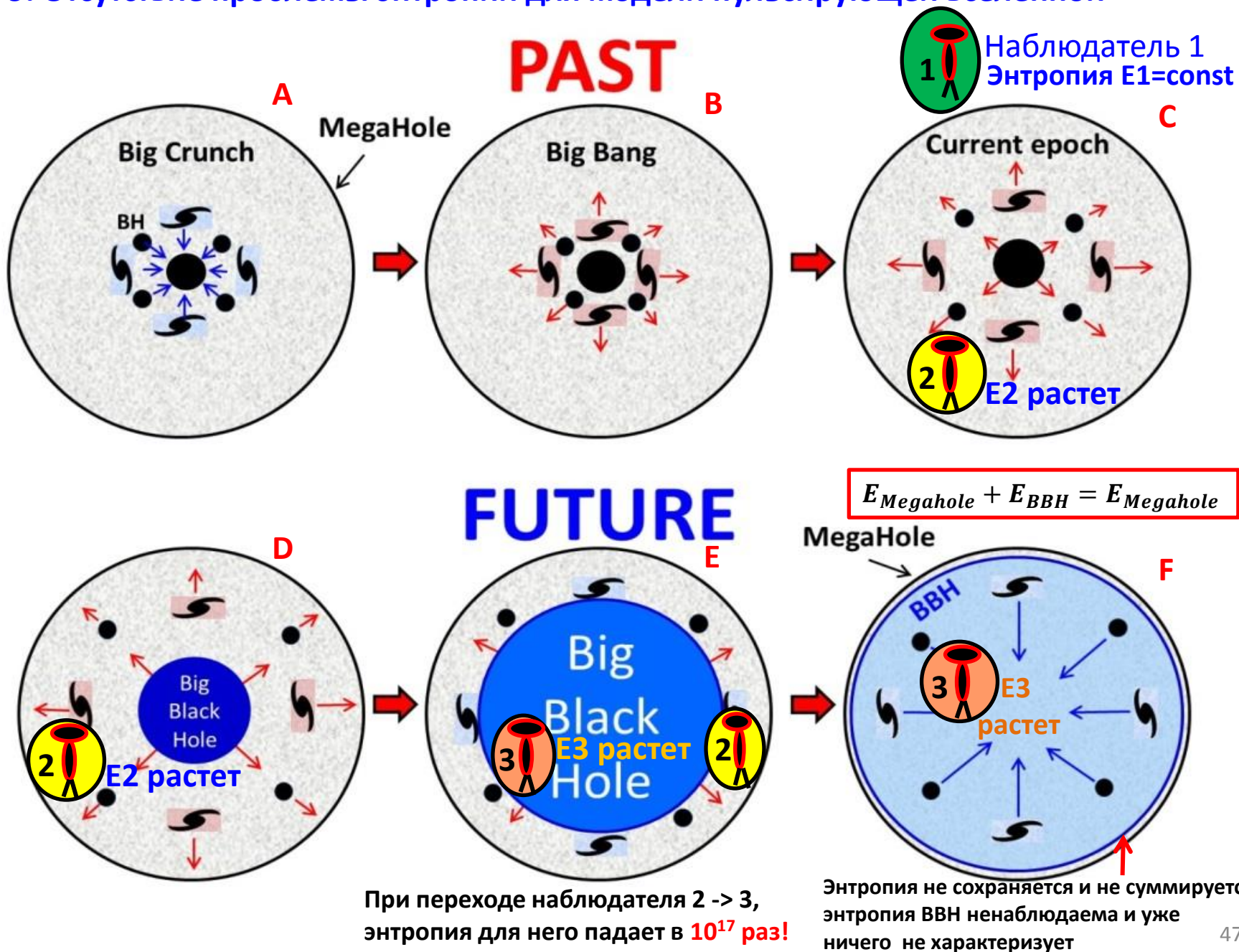


8. Наблюдательные признаки анизотропии и неоднородности Вселенной

ГАИШ

1. *Aluri, P.K. et al.* Is the observable Universe consistent with the cosmological principle? **Class. Quantum Grav.** 40, 094001, 2023.
2. *Land, K., & Magueijo, J.* Examination of Evidence for a Preferred Axis in the Cosmic Radiation Anisotropy, **Phys. Rev. Lett.** 95, 071301, 2005.
3. *Amirkhanyan, V.R.* Anisotropy of the space orientation of radio sources. II: The axis distribution function. **Astrophys. Bull.**, 64, 333–339. 2009.
4. *Kashlinsky, A., Atrio-Barandela, F. and Shrader, C. S.* Probing the Dipole of the Diffuse Gamma-Ray Background. **ApJ**, 961, L1, 2024.
5. *Migkas, K., Schellenberger, G., Reiprich, T.H. et al.* Probing cosmic isotropy with a new X-ray galaxy cluster sample through the L_X – T scaling relation. **Astronomy & Astrophysics**, 636, A15, 2020.
6. *Migkas, K., Pacaud, F., Schellenberger, G., et al.* Cosmological implications of the anisotropy of ten galaxy cluster scaling relations. **Astronomy & Astrophysics**, 649, A151, 2021.
7. *Pandia, A., Migkas, K., Reiprich, T.H. et al.,* Examining the local Universe isotropy with galaxy cluster velocity dispersion scaling relations. **A&A**, V. 691, A355, 2024.
8. *Valeri V. Makarov,* Kinematic Distortions of the High-Redshift Universe as Seen from Quasar Proper Motions. **Nature Astronomy**, 9, 1396–1403 (2025)

9. Отсутствие проблемы энтропии для модели пульсирующей вселенной



Список основных научных публикаций :

1. Gorkavyi, N. "Origin and Acceleration of the Universe without Singularities and Dark Energy". *Bulletin of the American Astronomical Society*. **2003**, 35, #3.
<http://www.aas.org/publications/baas/v35n3/aas202/404.htm>
2. Gorkavyi N., Vasilkov A. "A repulsive force in the Einstein theory". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. **2016**, 461 (3): 2929-2933. <https://doi.org/10.1093/mnras/stw1517>
3. Gorkavyi N., Vasilkov A. "A modified Friedmann equation for a system with varying gravitational mass". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. **2018**, 476 (1): 1384-1389.
<https://doi.org/10.1093/mnras/sty335>
4. Gorkavyi, N., Vasilkov, A., Mather, J. A Possible Solution for the Cosmological Constant Problem. In *Proceedings of the 2nd World Summit on Exploring the Dark Side of the Universe* (EDSU2018) Eds: B. Vachon and P. Petroff, Point a Pitre, Guadeloupe, France, 25-29 June **2018**,
<https://pos.sissa.it/335/039/pdf>, <https://doi.org/10.22323/1.335.0039>
5. Горькавый, Н.Н. и Тюльбашев, С.А. «Черные дыры и нейтронные звезды в осциллирующей Вселенной», *Астрофизический бюллетень*. **2021**, т.76, N3, с.285-305.
<https://doi.org/10.1134/S199034132103007X>
6. Gorkavyi, N. "Gravitational wave background discovered by NANOGrav as evidence of a cyclic universe". *New Astronomy*. **2021**, 91: 101698. <https://doi.org/10.1016/j.newast.2021.101698>
7. Gorkavyi, N. "Accretion of Galaxies around Supermassive Black Holes and a Theoretical Model of the Tully-Fisher and M-Sigma Relations". *Galaxies*. **2022**, 10: 73.
<https://doi.org/10.3390/galaxies10030073>
8. Gorkavyi, N. "Entropy of Black Holes and an Oscillating Universe". *Preprints*. **2023**, 2023111978. <https://doi.org/10.20944/preprints202311.1978.v1>
9. Горькавый Н.Н. «Осциллирующая Вселенная». Издательство Челябинского государственного университета. Февраль **2023**.
10. Gorkavyi N. *The Oscillating Universe. Einsteinian Cosmology of Black Holes and Gravitational Waves*. Elsevier, July **2025**.
11. Горькавый Н.Н. «Пульсирующая Вселенная». Изд. «Питер», **2024** (1500), **2025** (1000).

Заключение

Краткая история развития ТПВ: **Теории Пульсирующей (в черной дыре) Вселенной**

1. Пульсирующая Вселенная: А.А.Фридман (1922), Г. Гамов, Р. Дикке и др (60-е), Р. Пенроуз (2011), А. Сахаров (1995 – «Труды») etc.

А. Д. Долгов (ФИАН), Я. Б. Зельдович и М. В. Сажин, «Космология ранней Вселенной» (1988): «Раньше наибольшей популярностью пользовалась точка зрения, согласно которой наш цикл расширения явился продолжением предыдущего цикла сжатия. Существовала модель пульсирующей Вселенной.»

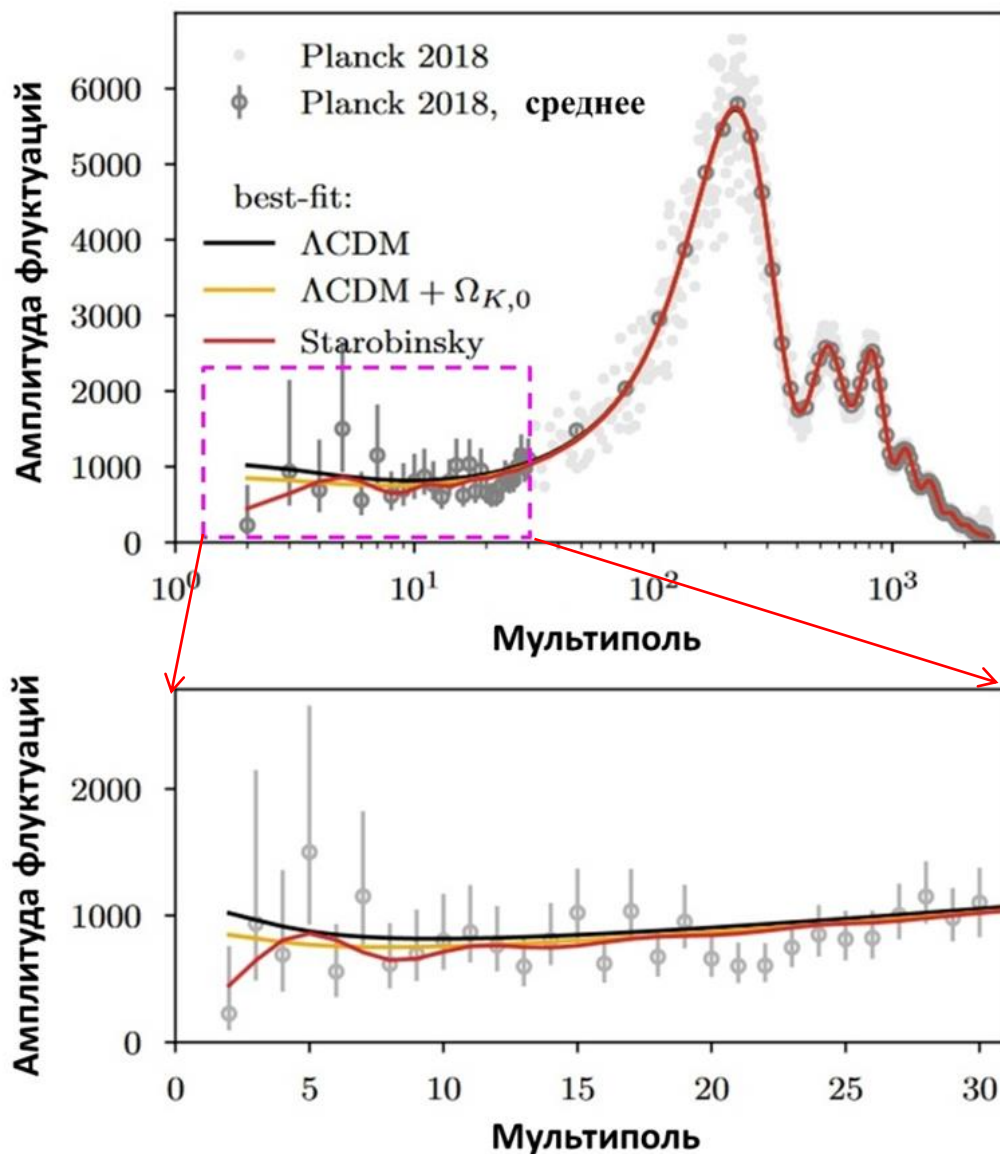
“I’ve always preferred if it was a cyclical universe”. Adam Riess, The Washington Post, 11/11/2024.

2. Вселенная в черной дыре: Эйнштейн (1917, замкнутая Вселенная), Кип Торн, Патриа и др. (70-е). **А. Азимов** в книге 1978 года «Коллапсирующая Вселенная»: «Вполне возможно, что **вся Вселенная сама по себе является черной дырой (как предположил физик Кип Торн)**. Если это так, то, скорее всего, это всегда была черная дыра и всегда будет черной дырой. Если это так, мы живем в черной дыре, и, если мы хотим знать, каковы условия в черной дыре (при условии, что она чрезвычайно массивна), нам нужно только посмотреть вокруг».

Di Valentino, E., Melchiorri, A., Silk, J. Planck evidence for a closed Universe and a possible crisis for cosmology. Nature Astronomy, 4, 196–203, 2020.

3. Вселенная, пульсирующая в черной дыре:
Н. Поплавский (*Poplawski, ApJ*, 832, 96, 2016).
Э. Газтанага и др (*Gaztanaga et al. Phys. Rev. D* 111, 103537, 29 May, 2025)
Д. Перес и Г. Ромеро (*Perez & Romero, «Survival of black holes through a cosmological bounce»*).
<https://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.105.104047> , **Phys. Rev. D** 105, 104047, 2022

P.S. Сравнение теоретического и наблюдаемого (по данным спутника «Планк») спектров мощности флуктуаций реликтового излучения (из статьи Hergt et al., 2022).



Верхний график: самая левая точка соответствует 180° , а самый высокий пик – мелкомасштабным флуктуациям примерно в 1° . Все пики и провалы объясняются в рамках классической физики, различные варианты квантовой инфляционной теории влияют только на плоскую левую часть графика, взятую в прямоугольник (см. нижний график). Вариант замкнутой Вселенной отмечен добавлением величины $\Omega_{K,0}$. Все варианты космологических теорий находятся в пределах ошибок наблюдений