НЕОДНОРОДНОСТЬ КОСМОЛОГИЧЕСКИХ МЕТРИК КАК ФАКТОР ПРОСТРАНСТВЕННОЙ АНИЗОТРОПИИ ПАРАМЕТРОВ СВЕТИМОСТИ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ.

ПЛАН

• Введение

ГЛАВА 1. ГРАВИТАЦИОННЫЙ РЕЛЬЕФ ВСЕЛЕННОЙ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПЕРЕНОС ИЗЛУЧЕНИЯ

• 1.1. Топология Крупномасштабной структуры (Cosmic Web): Гравитационный потенциал филаментов, стен и космических пустот (войдов) как трехмерный геометрический волновод.

• 1.2. Релятивистские эффекты ОТО в неоднородных средах: Физические основы интегрированного эффекта Сакса — Вольфа ($ISW$) и гравитационного замедления времени Шапиро.

• 1.3. Критический анализ волновых ограничений материальных сред: Почему модели взаимодействия фотонов с барионным веществом (плазма, космический электронный туман, пыль) термодинамически несостоятельны (проблемы перегрева, избыточного рентгеновского фона и нарушения когерентности) и почему геометрический подход ОТО свободен от этих ограничений.

• 1.4. Критический анализ ограничений классических линейных моделей и методическое обоснование нелинейно-геометрического подхода

Выводы

ГЛАВА 2. РЕЛЯТИВИСТСКИЙ МЕХАНИЗМ КУМУЛЯТИВНОЙ ДЕГРАДАЦИИ ЭНЕРГИИ ФОТОНОВ И ВРЕМЕННОГО ЛАГА

•2.1. Уравнение движения светового геодезического пучка в нестационарной метрике Шварцшильда–Маквитти.

•2.2. Формализм “гравитационного диода” на несимметричных профилях потенциала.

•2.3. Локальная лоренц-инвариантность и доказательство отсутствия сверхсветового метрического расширения.

•2.4. Вывод хроматической независимости сдвига линий.

•2.5. Инвариантность фазового фронта электромагнитной волны.

Выводы

ГЛАВА 3. ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ АНИЗОТРОПИЯ СФЕРЫ ХАББЛА И ВОЙДОВЫЕ КОРИДОРЫ ВЫЖИВАНИЯ

• 3.1. Интегрирование временного лага Шапиро вдоль луча зрения: Математический расчет накопленной задержки сигнала, симулирующей релятивистское замедление времени удаленных событий (кривых блеска сверхновых Ia).

• 3.2. Математическое моделирование бугристого оптического горизонта: Определение радиуса сферы Хаббла как функции угловых координат на небесной сфере $R_H(\theta, \phi) = c/H_0(\theta, \phi)$.

• 3.3. Физика войдовых коридоров: Теоретическое обоснование зон пониженного гравитационного сопротивления, где спектр излучения деградирует медленнее, сохраняя первозданную яркость и цвет объектов на дальних границах пустот.

Выводы

ГЛАВА 4. ЭМПИРИЧЕСКАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ УСТРАНЕНИЕ ТЁМНОЙ ЭНЕРГИИ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ АСТРОФИЗИКИ4.

• 4.1. Эмпирическая калибровка и тестирование модели “гравитационного диода” по каталогу сверхновых типа Ia (Pantheon+)

Содержание: Прямое встраивание фотометрических данных масштабной компиляции Pantheon+ в интегральное уравнение диссипации и лага Шапиро.

Расчет теоретической кривой модуля расстояния $\mu(z)$ без привлечения космологической постоянной $\Lambda$ и доказательство ее полного совпадения с наблюдаемой дисперсией светимости на средних и высоких красных смещениях ($z \sim 0.5до1.5$).

• 4.2. Математическое доказательство избыточности Тёмной Энергии и эквивалентность диссипативного интеграла параметру $\Omega_\Lambda$

Содержание: Строгий сравнительный анализ стандартной модели $\Lambda$CDM и нелинейно-геометрической модели. Доказательство того, что наблюдаемый “ускоренный” дефицит потока энергии стандартных свечей полностью описывается кумулятивным эффектом в Cosmic Web, что делает введение феноменологической Тёмной Энергии математически избыточным и физически необоснованным.

• 4.3. Ревизия физического радиуса сферы Хаббла и опровержение сверхсветового расширения Вселенной

Содержание: Пересчет геометрического светового конуса Вселенной с исключением кумулятивных задержек времени. Математическое доказательство того, что сопутствующий радиус в 46.5 млрд световых лет и сверхсветовые скорости удаления галактик ($v > c$) являются проекционным артефактом неоднородной метрики, а реальный возраст и размеры Вселенной строго укладываются в досветовые релятивистские рамки.

• 4.4. Разрешение кризиса Hubble Tension и интегральный анализ войдовых коридоров по данным обзоров SDSS и JWST

Содержание: Количественное моделирование локального градиента потенциала внутри Войда КВС.

Объяснение природы расхождения локальных ($H_0 \approx 73$ км/с/Мпк) и глобальных ($H_0 \approx 67.4$ км/с/Мпк) измерений как следствие нахождения наблюдателя в “чистом” войдовом коридоре. Соотнесение аномалий яркости и спектров экстремальных галактик JWST ($z > 14$) с прохождением света по невозмущенным гравитационным плато.

• 4.5. ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ГРАВИТАЦИОННОГО ДИОДА НА СУЩЕСТВУЮЩИХ ДАННЫХ

Выводы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ВВЕДЕНИЕ

• Актуальность темы: Кризис стандартной модели $\Lambda CDM$. Феномен “напряжения Хаббла” (расхождение локальных и глобальных измерений $H_0$). Проблема аномальной избыточной светимости и “сверхсинего” собственного спектра ранних галактик, обнаруженных космическим телескопом JWST (2022–2026 гг.).

• Цель работы: Разработка и обоснование нелинейной геометрической модели оптического горизонта Вселенной, основанной на кумулятивных релятивистских эффектах при прохождении света сквозь нестационарный гравитационный потенциал Крупномасштабных структур.

• Научная новизна: Введение концепции геометрического “гравитационного диода”, обуславливающего строго монотонную деградацию частоты фотонов на асимметричных профилях “спуск–подъем” гравитационных ям, и обоснование анизотропной (“бугристой”) сферы Хаббла без привлечения гипотезы Тёмной Энергии.

Обоснование актуальности темы Современная теоретическая космология переживает кризис оснований, вызванный статистически неустранимым расхождением в определении ключевых параметров эволюции Вселенной. Этот феномен получил в академической литературе устойчивое наименование “напряжения Хаббла” (Hubble Tension). Суть кризиса заключается в том, что значения фундаментальной постоянной Хаббла $H_0$, полученные на основе глобальных данных космического микроволнового фона (коллаборация Planck, $H_0 \approx 67.4$ км/с/Мпк), строго противоречат результатам прямых локальных измерений по сверхновым типа Ia и цефеидам (проект SH0ES, $H_0 \approx 73.0$ км/с/Мпк). Статистическая значимость этого расхождения достигла порога в $5\sigma$, что полностью исключает возможность инструментальной погрешности и указывает на фундаментальную неполноту стандартной космологической модели $\Lambda$CDM. Ситуация обострилась после публикации ультраглубоких инфракрасных снимков космического телескопа JWST, который обнаружил высокоразвитые, массивные галактики на экстремальных красных смещениях ($z > 14$). Их существование в рамках концепции Большого взрыва требует признать, что сложные звездные системы и тяжелые элементы сформировались аномально быстро (всего за 200–300 млн лет), что вступает в противоречие с ядерной физикой и классическими моделями гравитационного коллапса. Попытки разрешить эти противоречия введением “ранней тёмной энергии” или модифицированной гравитации носят неоднозначный характер и лишь искусственно усложняют уравнения Эйнштейна. Настоящая работа предлагает принципиально иной, неметрический подход: исследование интегральных нелинейно-оптических и геометрических процессов, происходящих при прохождении светового кванта сквозь протяженную, анизотропную материальную среду космического вакуума. Это позволяет интерпретировать наблюдаемое “ускоренное расширение” Вселенной и сверхсветовой разлет галактик как оптическую иллюзию, обусловленную релятивистскими свойствами самого гравитационного потенциала Крупномасштабной структуры.

Цели и задачи исследования

1. Разработка, математическое развертывание и верификация альтернативной модели оптического горизонта в которой расширение вселенной является строго досветовым, что соответствует модели Эйнштейна-Фридмана, .

2. Доказать в рамках данной модели, что космологическое красное смещение и эффекты, приписываемые Тёмной Энергии, представляют собой результат нелинейно-оптического и геометрического взаимодействия фотонов с нестационарным гравитационным потенциалом Крупномасштабной структуры Вселенной (Cosmic Web) на космологических масштабах, сопоставимых с эффективным радиусом сферы Хаббла.

Для достижения поставленных целей решаются следующие задачи:

1. Вывод самосогласованной системы уравнений движения светового геодезического пучка в нестационарной метрике Шварцшильда–Маквитти с учетом нелинейных геометрических потерь энергии фотонов на асимметричных профилях потенциала.

2. Математическое описание интегральной оптической толщи ($\tau$) космоса как макроскопической анизотропной волноводной системы, заполненной мелкодисперсным селективным фильтром (ориентированной космической пылью).

3. Анализ наблюдаемой угловой анизотропии параметров светимости далеких объектов и установление её прямой математической корреляции с реальной геометрией крупномасштабной структуры и барионного рельефа Вселенной.

Научная новизна этой работы заключается в выдвижениии обосновании следующих положений:

• Концепция анизотропной (“бугристой”) сферы Хаббла: Радиус сферы Хаббла дефинируется не как инвариантная геометрическая граница метрического расширения ткани пространства, а как динамическая функция угловых координат на небе $R_H(\theta, \phi)$, топологический рельеф которой определяется анизотропным распределением плотности скрытой и барионной массы вдоль луча зрения.

• Двухступенчатый квантово-геометрический механизм селекции: Предложена оригинальная физическая модель, где за пропорциональный (хроматически независимый) сдвиг спектральных линий поглощения элементов отвечает нелинейная релятивистская динамика гравитационного потенциала (интегральный эффект Сакса — Вольфа), а за отсечку оптического диапазона за пределами локальной сферы Хаббла — отвечяает макроскопический накопительный гравитационный и барионный барьер.

• Физическое разрешение “напряжения Хаббла”: Доказать, что расхождение между локальными и глобальными измерениями постоянной Хаббла является естественным следствием топологической неоднородности гравитационного рельефа. Модель полностью исключает необходимость введения Тёмной Энергии в космологические уравнения.

На защиту выносятся следующие основные результаты и положения:

1. Концепция геометрического “гравитационного диода” в нестационарных метриках: Доказательство того, что масштабное космологическое красное смещение и наблюдаемый градиент деградации частоты фотонов являются кумулятивным результатом прохождения излучения сквозь эволюционирующий во времени гравитационный потенциал Крупномасштабной структуры Вселенной (Cosmic Web). Взаимодействие электромагнитного кванта с несимметричными профилями “спуск–подъем” гравитационных ям, описываемое интегральным эффектом Сакса — Вольфа (ISW), носит строго однонаправленный характер, что хроматически независимо смещает линии поглощения элементов и удовлетворяет метрическому закону Хаббла без физического расширения пространства.

2. Представленая как часть “гравитационного диода” Теории релятивистской временной задержки (лага) Шапиро в качестве источника кинематических иллюзий: Математически обосновано, что накопленная хронологическая задержка сигнала и геометрическое удлинение световых геодезических линий в искривленной пространственно-временной метрике суперскоплений галактик порождают систематическую ошибку проецирования при расчете расстояний по формулам плоского евклидова пространства. Доказатольство того что данный эффект полностью воспроизводит релятивистское уширение кривых блеска для сверхновых типа Ia и проецируется в фиктивные сверхсветовые скорости удаленных источников.

3. Модель анизотропной (“бугристой”) сферы Хаббла и физика войдовых коридоров: доказательство того, что эффективный космологический параметр Хаббла является функцией направления взгляда $H_0(\vartheta, \varphi)$, жестко детерминированной топологией рельефа Вселенной. Смоделирован механизм функционирования космических пустот (войдов) как “коридоры пониженного гравитационного сопротивления”. Установлено, что аномально высокая поверхностная яркость и избыточная “синева” спектров ультрадалеких галактик, зафиксированных телескопом JWST, а также кризис “напряжения Хаббла” (Hubble Tension) представляют собой прямое следствие прохождения света вдоль менее возмущеного гравитационного рельефа, минимизирующих потери энергии фотонов.

# ГЛАВА 1. БАРИОННЫЙ РЕЛЬЕФ ВСЕЛЕННОЙ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПЕРЕНОС ИЗЛУЧЕНИЯ

## 1.1. ГРАВИТАЦИОННЫЙ РЕЛЬЕФ ВСЕЛЕННОЙ И КРУПНОМАСШТАБНАЯ СТРУКТУРА (COSMIC WEB)

Для построения строгой нелинейно-геометрической модели оптического горизонта необходимо детально проанализировать пространственное распределение гравитирующих масс, сквозь которые на протяжении миллиардов лет распространяется электромагнитное излучение от внегалактических источников. Современная наблюдательная астрофизика полностью опровергла ранние представления о межгалактическом пространстве как о пустом и однородном евклидовом вакууме. Барионная и скрытая материя Вселенной организована в сложную, высокодифференцированную трехмерную структуру, известную в космологии как Космическая паутина (Cosmic Web). Согласно данным современных космологических обзоров (таких как SDSS, DESI и инфракрасные глубокие поля космического телескопа JWST), Крупномасштабная структура Вселенной топологически разделена на три фундаментальные зоны с резко различающимся гравитационным потенциалом:

1. Галактические филаменты и “стены”: Гигантские нитевидные и плоскостные уплотнения, в которых сосредоточена основная масса барионного вещества и скоплений галактик. С физической точки зрения филаменты заполнены тепло-горячим межгалактическим газом (Warm-Hot Intergalactic Medium, WHIM) с характерной плотностью $n_e \sim 10^{-5}$до$10^{-4}$ см$^{-3}$ и температурой до $10^7$ Кельвинов. Вдоль осей этих структур натянуты крупномасштабные межгалактические магнитные поля. В рамках Общей теории относительности (ОТО) филаменты представляют собой глубокие, динамически развивающиеся гравитационные ямы (колодцы).

2. Космические пустоты (Войды): Колоссальные пространственные области, практически лишенные ярких галактик и барионных уплотнений, занимающие до 80% общего объема Наблюдаемой Вселенной. Плотность диффузного вещества внутри войдов экстремально мала и составляет не более 10% от среднекосмического значения($n_e \sim 10^{-7}$ см$^{-3}$). В геометрической архитектуре ОТО войды функционируют как плоские гравитационные плато, где пространственно-временная метрика близка к невозмущенному вакуумному состоянию Минковского.

3. Локальные пространственные аномалии (Войд KBC): Особое значение для локального наблюдателя имеет тот факт, что Наша Галактика и Местная группа расположены внутри гигантского пространственного минимума плотности — Войда KBC (Keenan–Bargen–Cowie), простирающегося в радиусе до 300 мегапарсек. Этот локальный барионный рельеф создает анизотропный градиент гравитационного потенциала в ближней Вселенной относительно глобального космологического фона. Таким образом, траектория фотона, летящего от удаленного квазара или галактики к Земле, пролегает сквозь макроскопический “ухабистый” рельеф пространства-времени. Фотон вынужден последовательно пересекать чередующиеся гравитационные овраги филаментов и гладкие плато космических пустот. Поскольку знак и величина изменения энергии кванта жестко завязаны на динамику изменения глубины этих оврагов за время его пролета (Интегрированный эффект Сакса — Вольфа), интегральные потери частоты электромагнитной волны становятся прямой функцией топологии Cosmic Web вдоль конкретного луча зрения. Свет, пробивающийся сквозь череду плотных галактических стен, деградирует по частоте (“стареет”) быстрее, чем свет, распространяющийся вдоль гладких, невозмущенных волноводных коридоров космических войдов.

## 1.2. НЕЛИНЕЙНАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА ВАКУУМА И РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ДИНАМИКА ГРАВИТАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА

Для математически точной интерпретации природы космологического красного смещения необходимо разграничить локальные квантовые процессы в вакууме и глобальные геометрические свойства искривленного пространства-времени. В рамках Общей теории относительности (ОТО) и квантовой электродинамики (КЭД) физический вакуум представляет собой нелинейную оптическую среду, чья эффективная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon$ и магнитная проницаемость $\mu$ деформируются под воздействием макроскопического барионного рельефа Вселенной.

Уравнения Эйлера — Гейзенберга в искривленном пространстве-времени

Электродинамика электромагнитного кванта, распространяющегося на космологические дистанции, описывается лагранжианом Эйлера — Гейзенберга, модифицированным для ковариантного учета искривленной метрики Космической паутины:

$$\mathcal{L}_{KED} = -\tfrac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + \tfrac{2\alpha^2}{45m_e^4}\left[(F_{\mu\nu}F^{\mu\nu})^2 + 7(F_{\mu\nu}\tilde{F}^{\mu\nu})^2\right]$$

где $F_{\mu\nu}$ — тензор электромагнитного поля, $\tilde{F}^{\mu\nu}$— дуальный тензор, $\alpha$ — постоянная тонкой структуры, а $m_e$ — масса электрона. Данный формализм доказывает, что присутствие крупномасштабных магнитных линий и гравитационных уплотнений филаментов индуцирует макроскопическую поляризацию вакуума (виртуальных электрон-позитронных пар), превращая вакуум в анизотропный волновод.

Рельеф пространства-времени как основная причина деградации энергии излучения

Ключевым фактором, определяющим монотонное и плавное покраснение светового потока вдоль луча зрения, является динамическая нестационарность самого гравитационного потенциала Ф Крупномасштабной структуры Вселенной. Свет “стареет” и теряет частоту не из-за столкновения с материальными препятствиями, а вследствие преодоления гравитационного рельефа — “оврагов” геометрии пространства-времени. При прохождении фотона сквозь динамический гравитационный овраг (например, суперскопление галактик), баланс энергии электромагнитного кванта подчиняется Интегрированному эффекту Сакса — Вольфа (ISW):

1. Гравитационный спуск: Влетая в яму уплотнения материи, фотон испытывает локальное гравитационное синее смещение. Локальная скорость света $c$ остается инвариантной константой, но частота колебаний возрастает относительно локального времени внутри ямы.

2. Гравитационный подъем: Выбираясь из ямы обратно на плоское вакуумное плато, фотон тратит энергию на преодоление гравитационного притяжения массы и испытывает красное смещение. Поскольку Вселенная непрерывно эволюционирует под действием гравитационного коллапса, профиль потенциала $\Phi(\vec{r}, t)$ изменяется за те миллионы лет, пока фотон пересекает овраг скопления — гравитационные колодцы углубляются. В результате спуск в яму оказывается более пологим, а подъем из неё — более резким и глубоким. Фотон вынужден тратить на выход из оврага больше энергии, чем он приобрел на входе, что приводит к потере частоты $\Delta\nu$. Накопительный (интегральный) эффект от последовательного пересечения тысяч таких эволюционирующих гравитационных оврагов формирует идеально плавный, хроматически независимый и непрерывный красный градиент по мере удаленности объекта от наблюдателя. Таким образом, именно геометрия нестационарного рельефа пространства-времени выступает главным физическим механизмом, симулирующим закон Хаббла и создающим кинематическую иллюзию разлета галактик.

## 1.3. МАКРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ КОМПОНЕНТЫ И АНИЗОТРОПИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ

Для построения замкнутой нелинейно-геометрической модели космологического горизонта необходимо дополнить релятивистский каркас ОТО описанием твердотельной фракции межгалактической среды — межгалактической пыли (IGM dust). В разработанной концепции мелкодисперсная компонента не выступает в роли самостоятельной причины космологического красного смещения, а функционирует как вторичный индикатор и селективный фильтр, распределенный строго внутри гравитационного рельефа Крупномасштабной структуры Вселенной.

Морфологическая структура и селективная экстинкция

Межгалактическая пылевая компонента представлена преимущественно двумя фракциями микрочастиц: наноразмерными углеродно-графитовыми чешуйками (полициклическими ароматическими углеводородами, ПАУ) с радиусом$a \sim 5 - 50$ нм и субмикронными силикатными зернами ($MgFeSiO_4$) с радиусом $a \sim 0.1 - 0.25$ мкм. Взаимодействие электромагнитного кванта с данными структурами подчиняется законам теории Густава Ми. Для высокоэнергетической (синей и ультрафиолетовой) части спектра наноразмерная фракция функционирует в режиме рэлеевского рассеяния, где сечение экстинкции обратно пропорционально четвертой степени длины волны ($\sigma_{ext} \sim \nu^4$). Интегральная оптическаятолща среды $\tau_{dust}$ вдоль луча зрения вычисляется по формуле:

$$\tau_{dust}(\nu, R, \theta, \phi) = \int_0^R \alpha_{ext}(\nu, r, \theta, \phi)\, dr$$

где $\alpha_{ext}$ — объемный коэффициент экстинкции, зависящий от локальной концентрации пылевых масс.

Взаимодействие барионного рельефа и пылевого фильтра нижних частот

Главный аргумент настоящей модели заключается в том, что плотность распределения пыли $\rho_{dust}(r, \theta, \phi)$ жестко скоррелирована с динамическим рельефом гравитационного потенциала, формируемого преимущественно барионной материей Вселенной:

• Вдоль осей гравитационных оврагов (филаментов): Под действием гравитационного притяжения барионных масс (газа и галактик) и крупномасштабных магнитных полей, межгалактическая пыль концентрируется внутри филаментов. Здесь её плотность максимальна. Проходя сквозь эти зоны, свет испытывает комбинированное воздействие: он теряет энергию на резких подъемах из гравитационных ям (эффект Сакса — Вольфа) и одновременно подвергается жесткой фильтрации нижних частот (Low-pass filter) на мелкодисперсной компоненте. Синяя и УФ-составляющая излучения блокируется и рассеивается, переводя выходящий сигнал в сторону инфракрасного спектра.

• Внутри гравитационных плато (космических пустот / войдов): Под действием радиационного давления звездного излучения (эффект Пойнтинга — Робертсона) и гравитационного оттока материи к стенам филаментов, космические войды практически полностью очищаются от мелкодисперсной фракции. Войды превращаются в идеально прозрачные “оптические коридоры” с минимальной оптической толщей ($\tau_{dust} \to 0$). Свет, распространяющийся вдоль таких траекторий, не встречает материального сопротивления и сохраняет свою первозданную поверхностную яркость и энергетический профиль на гигантских дистанциях.

Таким образом, макроскопический пылевой фильтр дополняет геометрические эффекты ОТО. Гравитационный рельеф барионных масс одновременно создает базовое хроматическое покраснение и временной лаг Шапиро, а анизотропное распределение пыли обеспечивает абсолютную инфракрасную отсечку спектра за пределами сферы Хаббла, одновременно формируя феномен “войдовых коридоров выживания”, где сверхдалекие объекты за дальним краем войда сохраняют аномально высокую светимость в желто-оранжевом и синем сегментах собственного спектра.

## 1.4. КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОГРАНИЧЕНИЙ КЛАССИЧЕСКИХ ЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Для дефиниции научного статуса разработанной модели необходимо сопоставить её выводы с историческими попытками объяснения нерасширяющейся Вселенной, а также дать наглядное физическое обоснование вводимого двухступенчатого механизма потерь.

Несостоятельность классического “старения света”

Классические линейные гипотезы “усталости света” (например, модель Фрица Цвикки) были справедливо отвергнуты астрофизическим сообществом из-за трех непреодолимых противоречий:

1. Они требовали лобовых столкновений фотонов с частицами, что неизбежно вызывало бы дифракционное размытие контуров галактик (эффект “грязного стекла”).

2. Линейное поглощение пылью вызвало бы катастрофический термодинамический перегрев межгалактической среды с избыточным инфракрасным свечением.

3. Модели не могли объяснить хроматическую независимость сдвига спектрального штрихкода.

Предложенная модель полностью свободна от этих ошибок, поскольку переносит основную работу по изменению частоты излучения с материальных частиц на динамическую геометрию пространства-времени (ОТО Эйнштейна). Гравитационный потенциал Крупномасштабной структуры Вселенной меняется плавно на масштабах мегапарсек, что гарантирует идеальное сохранение пространственной когерентности и бритвенной резкости волнового фронта, фиксируемой телескопом JWST.

Выводы
1. Топология и гравитационный рельеф Вселенной (Cosmic Web) Неоднородность распределения материи: Пространство Вселенной не является однородным вакуумом, а организовано в сложную структуру — Космическую паутину, разделенную на три зоны:

Галактические филаменты и “стены”: Глубокие динамические гравитационные ямы, заполненные горячим газом (WHIM) и магнитными полями, где сосредоточена основная барионная масса.

Космические пустоты (войды): Области экстремально низкой плотности, занимающие до 80% объема Вселенной и выступающие в роли гладких гравитационных плато с метрикой, близкой к плоскому вакууму Минковского.

Локальные аномалии: Наша Галактика расположена в гигантском минимуме плотности — войде КВС (радиусом до 300 мегапарсек), создающем анизотропный градиент потенциала.

2. Физическая природа космологического красного смещения Иллюзия расширения: Плавная потеря частоты электромагнитного излучения от удаленных источников объясняется не разлетом галактик (законом Хаббла), а преодолением фотонами нестационарного гравитационного рельефа пространства-времени, плотность которого возрастает по мере удаления от наблюдателя вглубь более ранней Вселенной.

Интегрированный эффект Сакса — Вольфа (ISW): Из-за непрерывного гравитационного коллапса во Вселенной гравитационные колодцы филаментов углубляются за время пролета фотона. В результате подъем фотона из ямы требует больше энергии, чем было приобретено при спуске, что формирует хроматически независимый кумулятивный сдвиг спектра в красную сторону.

3. Нелинейная электродинамика вакуума Вакуум как оптическая среда: На основе уравнений Эйлера — Гейзенберга в искривленном пространстве-времени показано, что физический вакуум под воздействием крупномасштабных полей и барионного рельефа поляризуется, превращаясь в анизотропный волновод для распространения излучения.

4. Роль межгалактической пыли как селективного фильтра Неоднородность пылевой среды: Распределение мелкодисперсной пыли (ПАУ и силикатных зерен) жестко привязано к гравитационному рельефу:

Внутри филаментов концентрация пыли максимальна, что вызывает усиленное рассеяние и блокировку коротковолновой (синей и УФ) составляющей света.

В войдах под действием радиационного давления пыль практически полностью вымыта, создавая прозрачные “оптические коридоры”, сохраняющие высокие характеристики излучения на больших расстояниях.

5. Преимущество перед классическими моделями “сталости света” Сохранение когерентности: Предложенная нелинейно-геометрическая модель лишена недостатков ранних линейных гипотез (таких как моделирование через лобовые столкновения частиц, вызывающие размытие изображений и перегрев среды). Замена материальных столкновений на плавное искривление геометрии пространства-времени по законам ОТО позволяет полностью сохранить пространственную когерентность и резкость волнового фронта.

# ГЛАВА 2. РЕЛЯТИВИСТСКИЙ МЕХАНИЗМ КУМУЛЯТИВНОЙ ДЕГРАДАЦИИ ЭНЕРГИИ ФОТОНОВ И ВРЕМЕННОГО ЛАГА

## 2.1. УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ СВЕТОВОГО ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ПУЧКА В НЕСТАЦИОНАРНОЙ МЕТРИКЕ ШВАРЦШИЛЬД МАКВИТТИ

В стандартной космологической модели описание распространения света базируется на строго однородной и изотропной метрике Фридмана — Леметра — Робертсона — Уокера (ФЛРУ). Однако на масштабах, меньших сотни мегапарсек, распределение материи во Вселенной имеет ярко выраженную ячеистую (“ребристую”) структуру крупномасштабной паутины (Cosmic Web), состоящую из сверхплотных узлов, стен, филаментов и пустот (войдов). Для корректного описания эволюции энергии и фазы светового пучка необходимо использовать метрику, локально учитывающую гравитационные потенциальные ямы узлов структуры на фоне глобального космологического расширения.

Подходящим математическим аппаратом для решения данной задачи является нестационарная метрика Шварцшильда–Маквитти, описывающая точечную массу (или сферически-симметричное гало локализованной Тёмной и барионной материи), погруженную в расширяющуюся Вселенную. В изотропных сферических координатах $(t, r, \theta, \phi)$ линейный элемент пространства-времени Маквитти задается выражением:

$$ds^2 = \left(\frac{1-\mu(t,r)}{1+\mu(t,r)}\right)^2 c^2 dt^2 - a^2(t)\left(1+\mu(t,r)\right)^4 \left(dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2\theta d\phi^2\right)$$

где $a(t)$ — космологический масштабный фактор, определяющий глобальное (фоновое) расширение, а безразмерный параметр $\mu(t, r)$ характеризует локальный гравитационный потенциал:

$$\mu(t, r) = \frac{GM}{2c^2 a(t) r}$$

Здесь $M$ — масса локальной неоднородности (гравитационной ямы). При$M \to 0$ метрика строго переходит в плоскую модель ФЛРУ, а при $a(t) = \text{const}$ — в классическое решение Шварцшильда в изотропных координатах.

В рамках рассматриваемой нами "ребристой" модели пространства-времени, луч зрения от удаленного внегалактического источника до наблюдателя пересекает последовательность таких метрических заплат. Рассмотрим траекторию светового пучка (фотона), двигающегося вдоль радиального направления $d\theta = 0, d\phi = 0$ к центру или от центра неоднородности. Для нулевой геодезической выполняется условие $ds^2 = 0$, что позволяет получить уравнение связи между координатным временем и пространственной координатой:

$$c\frac{dt}{dr} = \pm a(t)\frac{(1+\mu)^3}{1-\mu}$$

Раскладывая правую часть данного уравнения в ряд Тейлора по малому параметру $\mu \ll 1$ (в приближении слабых полей, характерных для скоплений галактик), получаем:

$$c\frac{dt}{dr} \approx \pm a(t)\left(1 + 4\mu(t, r)\right) = \pm a(t)\left(1 + \frac{2GM}{c^2 a(t) r}\right)$$

Данное дифференциальное уравнение описывает кинематику фотона при пересечении локального гравитационного оврага. Первый член в скобках отвечает за базовое космологическое распространение сигнала, а второй — явно генерирует релятивистское запаздывание (лаг Шапиро), показывая, что координатная скорость света $dr/dt$ локально падает вблизи массивных сгущений материи, несмотря на инвариантность локальной физической скорости $c$.Для нахождения изменения энергии фотона при движении по нулевой геодезической необходимо вычислить компоненты 4-импульса $p^\alpha = dx^\alpha/d\lambda$, где $\lambda$ — аффинный параметр. Уравнение геодезической имеет стандартный вид:

$$\frac{dp^\alpha}{d\lambda} + \Gamma^\alpha_{\beta\gamma} p^\beta p^\gamma = 0$$

Вычисляя символы Кристоффеля $\Gamma^\alpha_{\beta\gamma}$ для метрики Маквитти, мы получаем нетривиальную временную компоненту, зависящую как от функции Хаббла $H(t) = \dot{a}/a$, так и от локального градиента массы $\partial\mu/\partial r$. Нулевая компонента уравнения геодезической, связывающая энергию фотона с параметрами метрики, выражается как:

$$\frac{1}{p^0}\frac{dp^0}{dt} = -\left(\Gamma^0_{00} + 2\Gamma^0_{01}\frac{p^1}{p^0} + \Gamma^0_{11}\left(\frac{p^1}{p^0}\right)^2\right)$$

Подстановка символов Кристоффеля в линейном по $\mu$ приближении демонстрирует суперпозицию двух эффектов. Во-первых, космологическое красное смещение, пропорциональное $H(t)$. Во-вторых, интегральный эффект Сакса — Вольфа (ISW), обусловленный нестационарностью ямы (изменением физического размера скопления, эволюцией массы и плотности барионного вещества на дне оврага в процессе фонового расширения).Таким образом, уравнение нулевой геодезической в метрике Маквитти строго математически доказывает, что траектория светового луча в крупномасштабной структуре подвержена двум синхронным процессам: хронологическому запаздыванию (интегрирование $dt/dr$) и динамической модификации энергии (интегрирование $dp^0/dt$).

## 2.2. ФОРМАЛИЗМ " НА НЕСИММЕТРИЧНЫХ ПРОФИЛЯХ ПОТЕНЦИАЛА

В предыдущем параграфе было показано, что движение фотона в "ребристой" метрике Маквитти сопровождается локальными хронологическими задержками и модуляцией энергии. Перейдем к макроскопическому описанию этих эффектов на масштабах космологических структур (Cosmic Web). Для интегрального описания удобно использовать конформно-ньютоновскую калибровку возмущенной метрики FLRW, которая на локальных масштабах сшивается с решением Маквитти:

$$ds^2 = c^2\left(1 + \frac{2\Phi}{c^2}\right)dt^2 - a^2(t)\left(1 - \frac{2\Phi}{c^2}\right)\delta_{ij}dx^i dx^j$$

где $\Phi(\mathbf{x}, t)$ — гравитационный потенциал локальных неоднородностей (при отсутствии анизотропных напряжений в жидкости $\Phi = \Psi$).

Для безмассовой частицы, движущейся по нулевой геодезической, относительное изменение энергии $E = h\nu$ при пересечении эволюционирующей гравитационной ямы определяется интегральным эффектом Сакса — Вольфа (ISW):

$$\left(\frac{\Delta E}{E}\right)_{ISW} = \frac{2}{c^3}\int_{t_{in}}^{t_{out}} \frac{\partial\Phi}{\partial t}dt$$

В эпоху доминирования материи локальные сверхплотные области (скопления, филаменты) продолжают гравитационный коллапс, что приводит к динамическому углублению потенциальной ямы: $\partial\Phi/\partial t < 0$. Таким образом, фотон затрачивает на преодоление гравитационного градиента на выходе больше энергии, чем приобретает при падении.

Однако чисто гравитационный эффект ISW недостаточен для объяснения всей наблюдаемой дисперсии параметров светимости. Интегрируем в уравнение поправку на эффект задержки Шапиро и барионную диссипацию. Время прохождения сигнала $\Delta t$ через локальную неоднородность размером $L$ увеличивается за счет релятивистского лага, вытекающего из уравнения геодезической:

$$\Delta t_{Shapiro} \approx -\frac{2}{c^3}\int_0^L \Phi(x)dx$$

Поскольку $\Phi < 0$ внутри структуры, задержка Шапиро строго положительна ($\Delta t_{Shapiro} > 0$). Это приводит к тому, что фотон дольше находится в области максимальной концентрации межгалактического барионного газа и пыли (на "дне оврага").

Взаимодействие фотона с выстроенными вдоль линий локальных магнитных полей пылевыми частицами IGM описывается как прохождение через пространственно-ориентированный фильтр нижних частот (Low-pass filter). Ориентированная пыль поглощает незначительную коротковолновую часть спектра без разрушения фазового фронта волны снижая интегральную светимость. Введем коэффициент диссипации $\kappa(\nu, \mathbf{B})$, зависящий от частоты и вектора магнитного поля.

Полное дифференциальное уравнение потери энергии фотоном в несимметричном профиле потенциала примет вид:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{E}{c^2}\frac{\partial \Phi}{\partial t} - \kappa(\nu, \mathbf{B}) c \rho_{dust} E$$

Интегрируя это уравнение по контуру геодезической с учетом модифицированного времени транзита $t_{transit} = t_{geom} + \Delta t_{Shapiro}$, получаем итоговое соотношение для эффекта "гравитационного диода":

$$E_{out} = E_{in} \exp\left(\frac{2}{c^3}\int_{t_{in}}^{t_{out}} \frac{\partial \Phi}{\partial t} dt - \int_0^L \kappa(\nu, \mathbf{B}) \rho_{dust}(x) \left(1 - \frac{2\Phi(x)}{c^2}\right) dx\right)$$

В данном выражении математически формализована синергия трех факторов:

Асимметрия ямы ($\partial\Phi/\partial t < 0$) обеспечивает базовую гравитационную потерю энергии.

Задержка Шапиро (множитель $1 - 2\Phi/c^2 > 1$ в диссипативном члене) нелинейно увеличивает эффективное время взаимодействия фотона с пылью.

Пылевое поглощение $\kappa(\nu, \mathbf{B})$ избирательно гасит высокоэнергетические кванты.

При суммировании множества таких пересечений на макроскопических дистанциях, интегральная деградация энергии $E_{out} \ll E_{in}$ проецируется наблюдателем в избыточное красное смещение и аномальное падение светимости, что в стандартной космологической модели транслируется в завышенные значения фотометрической дистанции$D_L$. В то же время, луч зрения, проходящий через одиночный масштабный войд или пространственную череду пустот, пересекает области, где гравитационные потенциалы близки к фоновому среднему значению, а плотность барионной пыли пренебрежимо мала ($\rho_{dust} \to 0$). В таких "чистых" коридорах интегральная сумма лагов Шапиро и диссипативных потерь стремится к нулю. Как следствие, внегалактические источники, наблюдаемые сквозь войды, демонстрируют объективно лучшую сохранность исходной энергии сигнала и более высокую видимую светимость по сравнению с галактиками, находящимися на аналогичном фоновом красном смещении, но чье излучение прошло сквозь плотные структуры гравитационных ям, космологических стен и филаментов.Эта строгая зависимость интегрального гашения энергии от локальной плотности структур на конкретном луче зрения формирует пространственную анизотропию параметров светимости. Данный эффект флуктуации видимой яркости непрерывно накапливается и проявляется на любых космологических дистанциях, а на предельных горизонтах наблюдений формирует глобальную макроскопическую "бугристую" сферу Хаббла, интенсивность цветового градиента которой локально зависит от наличия макроструктур с высоким и низким гравитационным потенциалом.

## 2.3. ЛОКАЛЬНАЯ ЛОРЕНЦ-ИНВАРИАНТНОСТЬ И РЕДУКЦИЯ КООРДИНАТНОГО ПАРАДОКСА КОСМОЛОГИЧЕСКОГО ГОРИЗОНТА

Одной из наиболее дискуссионных проблем интерпретации космологического расширения в рамках стандартной метрики Фридмана — Леметра — Робертсона — Уокера (ФЛРУ) является кажущееся нарушение предела скорости света. В стандартной модели ΛCDM это противоречие наиболее остро проявляется в парадоксе горизонта частиц: при возрасте Вселенной $t_0 \approx 13.8$ млрд лет сопутствующее расстояние до поверхности последнего рассеяния оценивается в $R_p \approx 46.5$ млрд световых лет.

Для преодоления этого разрыва стандартная модель постулирует, что ткань пространства-времени способна растягиваться со сверхсветовыми скоростями, на которые ограничения Специальной теории относительности формально не распространяются. Однако формализм "гравитационного диода" и интегрального временного лага позволяет выдвинуть и доказать принципиально иную гипотезу: базовое метрическое расширение пространства существует, но его скорость нигде и никогда не превышает фундаментальную константу $c$. Наблюдаемый сверхсветовой разлет и гигантский размер радиуса наблюдаемой Вселенной являются не физическими свойствами метрики, а кумулятивной оптико-хронологической иллюзией.

### 2.3.1. ИЛЛЮЗИЯ СВЕРХСВЕТОВОГО РАЗЛЕТА ПРИ ТРАНСЛЯЦИИ СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА

Для математического доказательства этого утверждения применим принцип локальной лоренц-инвариантности и рассмотрим мысленный эксперимент с трансляцией локальной инерциальной системы отсчета (ЛИСО). Пусть земной наблюдатель $O_1$ фиксирует удаленную галактику $G_A$. Относительно $O_1$ галактика визуально удаляется со скоростью, превышающей $c$. Кажущаяся скорость удаления $v_{obs}$ вычисляется наблюдателем $O_1$ на основе принятого интегрального красного смещения, которое, согласно нашей модели, складывается из истинного космологического расширения $v_{true}$ и фиктивной добавки $v_{lag}$, порожденной суммарным лагом задержек Шапиро и потерями энергии (ISW) на оптическом пути $L$:

$$v_{obs}(L) = v_{true} + \frac{c}{D_L}\sum_{i=1}^{N}\left(\Delta t_{Shapiro}^{(i)} + \Delta\tau_{ISW}^{(i)}\right)$$

В координатах $O_1$ интегральная сумма задержек на макроскопических расстояниях ($L \to \infty$, $N \gg 1$) доминирует над физической компонентой метрического расширения, что и приводит к результату $v_{obs} > c$. Осуществим параллельный перенос системы отсчета, поместив нового наблюдателя $O_2$ непосредственно в инерциальную систему галактики $G_A$. Согласно принципу эквивалентности Эйнштейна, пространство-время в окрестности $O_2$ локально описывается метрикой Минковского $g_{\mu\nu} \to \eta_{\mu\nu}$, а в координатах $O_2$ галактика $G_A$ находится в состоянии покоя. Если бы пространство действительно глобально растягивалось со сверхсветовой скоростью, $O_2$ фиксировал бы сверхсветовое удаление своих ближайших соседей. Однако в моей модели длина оптического пути от ближайших к $G_A$ объектов стремится к нулю ($L \to 0$), следовательно, количество пересеченных гравитационных оврагов $N \to 0$. Интеграл задержек при этом строго обнуляется:

$$\lim_{L\to 0}\sum\left(\Delta t_{Shapiro} + \Delta\tau_{ISW}\right) = 0$$

Отсюда следует, что наблюдатель $O_2$, находясь внутри галактики $G_A$, измеряет скорость удаления соседних галактик, которая определяется исключительно истинной динамикой фоновой метрики:

$$v_{local} = \lim_{L \to 0} v_{obs}(L) = v_{true} < c$$

Отсутствие расширения пространства на сверхсветовой скорости инвариантно для любого локального наблюдателя. Иллюзия превышения скорости $c$ является проекционным артефактом искажения возраста информации в гетерогенной метрике.

### 2.3.2. РЕДУКЦИЯ РАДИУСА НАБЛЮДАЕМОЙ ВСЕЛЕННОЙ.

Следствием данного механизма является необходимость кардинального пересмотра физического радиуса наблюдаемой Вселенной. В модели ΛCDM сопутствующий радиус горизонта частиц $R_p$ вычисляется на основе наблюдаемых спектральных смещений:

$$R_p = c \int_0^{z_{max}} \frac{dz}{H(z)}$$

Ключевым противоречием стандартной космологии является отождествление измеренного спектрального сдвига $z_{obs}$ исключительно с космологическим расширением. Однако на дистанциях $z > 1.5$ доминирующий вклад в покраснение вносит кумулятивная потеря энергии в потенциалах Cosmic Web.

При исключении из наблюдаемого смещения $z_{obs}$ компоненты гравитационно-индуцированной деградации энергии, истинное координатное расстояние $R_{true}$ до предельных горизонтов коллапсирует до значений, строго согласованных с досветовой кинематикой. Свет, зарегистрированный от поверхности последнего рассеяния, действительно провел в пути $t_0 \approx 13.8$ млрд лет. Однако из-за многократных релятивистских задержек в гравитационных ямах ($dt/dr > 1/c$) его истинный геометрический путь $R_{true}$ оказывается существенно меньше расчетного значения в 46.5 млрд световых лет:

$$R_{true} = c \int_0^{t_0} \left(1 - \frac{v_{lag}(t)}{c}\right) dt \leq c \cdot t_0$$

Гигантский размер сопутствующего радиуса Вселенной в стандартной модели — это “виртуальный горизонт”, математическая иллюзия, порожденная ошибочной экстраполяцией кинематического эффекта на метрически неоднородное пространство-время. Истинные физические масштабы Вселенной полностью укладываются в классический релятивистский световой конус $R \leq c \cdot t_0$, деформированный исключительно локальными гравитационными задержками времени, что делает физически избыточным постулирование Тёмной Энергии.

***

## 2.4. ВЫВОД ХРОМАТИЧЕСКОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ СДВИГА ЛИНИЙ

Ключевым аргументом против классических альтернативных теорий (например, гипотезы “старения света” Цвикки) является их неспособность объяснить синхронный сдвиг всего спектрального “штрихкода” внегалактических источников. Любое комптоновское или рэлеевское рассеяние на частицах среды является хроматическим, то есть величина относительного сдвига частоты зависит от самой частоты волны, что неизбежно приводило бы к искажению интервалов между спектральными линиями. В предлагаемой мною модели гравитационно-индуцированного сдвига данное противоречие снимается, поскольку доминирующий механизм потери энергии имеет чисто метрическую (геометрическую) природу.

Покажем, что изменение частоты фотона в эволюционирующем макроскопическом гравитационном потенциале (эффект ISW) строго ахроматично. Рассмотрим фотон как безмассовую частицу с 4-импульсом $p^\mu = \hbar k^\mu$, движущуюся по изотропной геодезической. Вектор касательной к траектории $k^\mu = dx^\mu/d\lambda$, где $\lambda$ — аффинный параметр, удовлетворяет уравнению:

$$k^\nu \nabla_\nu k^\mu = 0$$

Частота фотона $\nu$, измеряемая локальным наблюдателем с 4-скоростью $u^\mu$, определяется инвариантной сверткой:

$$\nu = \frac{1}{2\pi} k_\mu u^\mu$$

Важно отметить, что символы Кристоффеля $\Gamma^\mu_{\nu\rho}$, описывающие кривизну пространства-времени, зависят исключительно от метрического тензора $g_{\mu\nu}$ и его производных, и абсолютно не зависят от энергии или частоты тестовой частицы. Уравнение эволюции временной компоненты волнового вектора в слабо возмущенной метрике имеет вид:

$$\frac{dk^0}{d\lambda} + \Gamma^0_{\mu\nu} k^\mu k^\nu = 0$$

Поскольку для изотропной геодезической пространственные компоненты волнового вектора пропорциональны его временной компоненте ( $|\mathbf{k}| = k^0$ в локально плоском пределе), подстановка выражений для символов Кристоффеля через потенциал $\Phi$ приводит к дифференциальному уравнению, линейному по $k^0$:

$$\frac{1}{k^0}\frac{dk^0}{dt} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

Интегрируя данное выражение вдоль пути следования луча, получаем относительное изменение частоты:

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{1}{c^2}\int \frac{\partial \Phi}{\partial t} dt = \text{const}(\nu)$$

Из полученного соотношения строго следует, что относительное изменение частоты $\Delta\nu/\nu$ не зависит от исходной частоты $\nu$. Следовательно, весь паттерн спектральных линий смещается в красную область синхронно и пропорционально, в точности имитируя кинематический эффект Доплера или метрическое космологическое расширение.

Роль межгалактической пыли (IGM) в модели “гравитационного диода” сводится к функции амплитудного фильтра (поглощение энергии), а не агента, формирующего сам спектральный сдвиг. Пыль гасит интенсивность континуума, но базовое красное смещение линий ($z$) определяется исключительно ахроматическим гравитационным градиентом.

## 2.5. ИНВАРИАНТНОСТЬ ФАЗОВОГО ФРОНТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ

Вторым критическим наблюдательным тестом для модели является сохранение пространственной когерентности изображений. Если свет взаимодействует со средой путем стохастического рассеяния, фазовый фронт волны разрушается, что должно приводить к диффузному размытию изображений далеких галактик. Однако телескопы JWST и HST демонстрируют высокую резкость внегалактических объектов на любых значениях $z$.

В нашей модели искажения метрики обусловлены крупномасштабной структурой Вселенной (характерный размер филаментов и войдов $L \sim 10 \dots 100$ Мпк). Длина волны оптического излучения $\lambda \sim 10^{-6}$ м. Строгое выполнение условия $\lambda \ll L$ позволяет применить к распространению света приближение эйконала (геометрической оптики) в искривленном пространстве-времени. Решения уравнений Максвелла $\nabla_\mu F^{\mu\nu} = 0$ ищутся в виде волны с быстро меняющейся фазой (эйконалом) $S$ и медленно меняющейся амплитудой $a_\mu$:

$$A_\mu = a_\mu e^{iS/\epsilon}$$

где $\epsilon \to 0$ — малый параметр. В ведущем порядке уравнение для фазы сводится к уравнению Гамильтона — Якоби для волнового вектора $k_\mu = \partial_\mu S$:

$$g^{\mu\nu}(\partial_\mu S)(\partial_\nu S) = 0$$

Данное уравнение показывает, что градиент фазы всегда лежит на изотропном конусе метрики. Поскольку гравитационный потенциал Cosmic Web $\Phi$ макроскопически непрерывен и дважды дифференцируем ($C^2$-гладкость), метрический тензор $g^{\mu\nu}$ не содержит микроскопических разрывов на масштабах порядка $\lambda$.

Вследствие этого фазовый фронт $S = \text{const}$ деформируется плавно и когерентно. Эта макроскопическая деформация проявляется в наблюдениях исключительно как слабое гравитационное линзирование (космический сдвиг, Cosmic Shear), но не как диффузное размытие. Уравнение эволюции оптического скаляра описывает только сдвиг $\gamma$ и расширение $\theta$ светового пучка, не содержа стохастических диссипативных членов:

$$\frac{d\theta}{d\lambda} + \frac{1}{2}\theta^2 + |\sigma|^2 = -R_{\mu\nu}k^\mu k^\nu$$

Что касается взаимодействия с ориентированной барионной пылью на дне гравитационных оврагов, пылинки, выстроенные локальными магнитными полями скоплений, действуют как анизотропный фильтр, работающий в режиме экстинкции (поглощения). Кванты, испытавшие соударение, выбывают из луча зрения, а до наблюдателя доходят лишь те фотоны, которые миновали препятствия, сохранив строгую коллинеарность волнового вектора.

Прохождение света сквозь макроскопические неоднородности метрики в сочетании с пылевым поглощением гарантирует инвариантность фазового фронта и математически обосновывает наблюдаемую резкость изображений галактик на дальних космологических горизонтах.

Как показано в уравнении нулевой геодезической (параграф 2.4), гравитационно-индуцированный сдвиг определяется исключительно символами Кристоффеля кривизны метрики:

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{1}{c^2}\int_{t_{\text{in}}}^{t_{\text{out}}} \frac{\partial\Phi}{\partial t}dt = \text{const}(\nu)$$

Поскольку метрический тензор $g_{\mu\nu}$ не содержит частотной зависимости, весь спектральный паттерн смещается строго синхронно ($\Delta\nu/\nu = \text{inv}$).

В рассматриваемой концепции пыль действует не как рассеиватель, а как поглотитель в режиме анизотропной экстинкции (векторное поле магнитной поляризации $\mathbf{B}$):

$$\frac{dE}{dt} = -\kappa(\nu, \mathbf{B})c\rho_{\text{dust}}E$$

Фотоны либо проходят мимо без взаимодействия, либо полностью удаляются из луча зрения (поглощаются). Уравнение эйконала для фазового фронта в гладкой метрике ($C^2$-непрерывность):

$$g^{\mu\nu}(\partial_\mu S)(\partial_\nu S) = 0$$

гарантирует, что выжившие коллинеарные лучи сохраняют нетронутый волновой фронт ($S = \text{const}$), исключая диффузное размытие.

В нашей модели вариации красного смещения определяются локальным параметром возмущения метрики Маквитти $\mu(t, r)$:

$$\mu(t, r) = \frac{GM}{2c^2 a(t) r} \ll 1$$

Вклад локальной гравитационной ямы в общую энергию фотона описывается через интеграл по нулевой геодезической, где возмущение потенциала $\Phi$ мало ($\Phi/c^2 \sim 10^{-5}$ для скоплений):

$$\left(\frac{\Delta E}{E}\right)_{\text{ISW}} = \frac{2}{c^3}\int_{t_{\text{in}}}^{t_{\text{out}}} \frac{\partial\Phi}{\partial t}dt$$

Малый параметр $\mu \ll 1$ и сглаживающий характер интеграла по всему оптическому пути нивелируют локальные резкие скачки плотности. Это математически доказывает, что наблюдаемый плавный закон изменения $z$ задается глобальной динамикой метрики и слабыми интегральными эффектами потенциала, а не скоплениями пыли.

Выводы

1. Метрическое описание крупномасштабной структуры (метрика Маквитти)

Учет реальной геометрии Вселенной: Вместо строго однородной модели ФЛРУ на масштабах менее 100 Мпк используется нестационарная метрика Шварцшильда–Маквитти, локально учитывающая гравитационные потенциальные ямы узлов Cosmic Web (скоплений, филаментов и войдов) на фоне глобального расширения.

Замедление света вблизи масс: Анализ нулевой геодезической в приближении слабых полей ($\mu \ll 1$) показывает, что координатная скорость света локально уменьшается вблизи массивных сгущений материи ($dr/dt$ падает), что приводит к релятивистскому запаздыванию — лагу Шапиро ($\Delta t_{Shapiro} > 0$).

2. Формализм “гравитационного диода” и деградация энергии фотонов

Эффект Сакса — Вольфа (ISW): Из-за продолжающегося гравитационного коллапса в эпоху доминирования материи потенциальные ямы углубляются ($\partial\Phi/\partial t < 0$), поэтому фотон на выходе из ямы теряет больше энергии, чем приобретает при падении.

Синергия факторов: Задержка Шапиро увеличивает время пребывания фотона в плотных областях межгалактической среды ($\rho_{dust}$), где ориентированная магнитными полями пыль работает как фильтр нижних частот, поглощая высокоэнергетические кванты.

Пространственная анизотропия: Накопление этих потерь на больших расстояниях приводит к избыточному красному смещению и падению светимости в областях с высокой плотностью, в то время как фотоны, прошедшие через войды ($\rho_{dust} \to 0$), сохраняют исходную энергию лучше. Это формирует "бугристую" сферу Хаббла.

3. Редукция космологического горизонта и устранение сверхсветового парадокса

Оптико-хронологическая иллюзия: Предложенная модель доказывает, что фоновое метрическое расширение пространства никогда не превышает фундаментальную константу $c$. Кажущееся сверхсветовое удаление галактик ($v_{obs} > c$) и гигантский размер сопутствующего горизонта ($\sim$ 46.5 млрд световых лет в $\Lambda$CDM) являются кумулятивным артефактом временных лагов Шапиро и потерь энергии (ISW) вдоль оптического пути.

Реальный масштаб Вселенной: Истинный геометрический путь света укладывается в классический релятивистский световой конус ($R \leq c \cdot t_0$), что делает гипотезу о существовании Тёмной Энергии физически избыточной.

Инвариантность локальных систем: Параллельный перенос локальной инерциальной системы отсчета (ЛИСО) в область удаленной галактики подтверждает, что для локального наблюдателя скорость удаления соседей всегда досветовая ($v_{true} < c$).

4. Ахроматичность спектрального сдвига

Решение проблемы "старения света": Классические гипотезы старения света несостоятельны из-за хроматического рассеяния (зависимости сдвига от частоты), которое искажало бы спектральные линии.

Метрическая природа сдвига: В рассматриваемой модели относительное изменение частоты определяется исключительно символами Кристоффеля и производной потенциала по времени:

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{1}{c^2}\int \frac{\partial\Phi}{\partial t}dt = \text{const}(\nu)$$

Поскольку метрический тензор не зависит от частоты, весь спектральный паттерн смещается в красную область строго синхронно и ахроматично, имитируя эффект Доплера или космологическое расширение. Межгалактическая пыль при этом выполняет роль только амплитудного поглотителя, а не генератора сдвига.

5. Сохранение фазового фронта и когерентности изображений

Приближение геометрической оптики: При выполнении условия $\lambda \ll L$ (где $\lambda$ — длина волны света, а $L \sim$ 10–100 Мпк — масштаб неоднородностей Cosmic Web) применим аппарат эйконала.

Отсутствие диффузного размытия: Поскольку потенциал Cosmic Web является макроскопически непрерывным ($C^2$-гладкость), уравнение Гамильтона — Якоби для фазового фронта гарантирует плавную и когерентную деформацию волновой поверхности (проявляющуюся как слабое линзирование/космический сдвиг, а не диффузное размытие).

Роль пыли: Пыль работает в режиме анизотропной экстинкции: фотоны либо проходят без взаимодействия, сохраняя волновой фронт ($S = \text{const}$), либо полностью поглощаются и удаляются из луча зрения. Это математически объясняет высокую резкость далеких галактик, наблюдаемую телескопами JWST и HST.

Исходя из теоретического формализма, представленного в тексте главы, пропорцию и характер изменения градиента красного смещения по мере уплотнения гравитации и удаления от наблюдателя можно выразить через аналитическую зависимость ключевых параметров.

Ниже приводится вывод и пропорциональное соотношение этого градиента на основе уравнений модели.

1. Пропорциональность локального возмущения ($\mu$) Локальный гравитационный потенциал структуры (скопления или филамента массы $M$) на расстоянии $r$ от центра задается параметром метрики Маквитти:

$$\mu(t, r) = \frac{GM}{2c^2 a(t) r}$$

Пропорция: Интенсивность локального гравитационного влияния отдельной ямы обратна расстоянию до её центра ($1/r$) и обратно пропорциональна космологическому масштабному фактору $a(t)$.

2. Кумулятивное накопление лага и потерь с удалением ($L$) Пусть луч зрения от источника на расстоянии $L$ пересекает $N$ последовательных гравитационных ям. Если среднее расстояние между структурными элементами принять за постоянную величину $\langle d \rangle$, то количество пересекаемых барьеров прямо пропорционально расстоянию:

$$N(L) \propto \frac{L}{\langle d \rangle}$$

Каждая яма вносит вклад в задержку Шапиро ($\Delta t_{Shapiro}$) и потерю энергии через эффект Сакса — Вольфа ($\Delta\tau_{ISW}$). Суммарный интегральный добавок к эффективному красному смещению (или видимой скорости $v_{obs}$) масштабируется как линейная сумма по всем пересеченным структурам:

$$v_{lag}(L) \propto \sum_{i=1}^{N(L)} \left( \Delta t_{Shapiro}^{(i)} + \Delta\tau_{ISW}^{(i)} \right)$$

Поскольку $N(L) \propto L$, интегральный эффект задержки и деградации энергии накапливается пропорционально удалению от наблюдателя, создавая возрастающий градиент эффективного красного смещения, который на больших дистанциях ($L \to \infty$) начинает доминировать над чистым расширением.

3. Пропорциональность градиента уплотнения материи ($\rho_{dust}$ и $\partial\Phi/\partial t$) Дифференциальное уравнение потери энергии фотона вдоль геодезической имеет вид:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{E}{c^2}\frac{\partial\Phi}{\partial t} - \kappa(\nu, \mathbf{B}) c \rho_{dust} E \left(1 - \frac{2\Phi}{c^2}\right)$$

Анализ правой части этого уравнения определяет пропорции градиента при уплотнении среды: Скорость эволюции потенциала ($\partial\Phi/\partial t$): В эпоху доминирования материи потенциальные ямы углубляются ($\partial\Phi/\partial t < 0$). Скорость падения энергии пропорциональна глубине и динамике коллапса конкретной ямы. Нелинейный множитель задержки Шапиро ($(1-2\Phi/c^2) > 1$): Релятивистский лаг увеличивает время нахождения фотона в зоне максимальной плотности межгалактического газа. Следовательно, диссипативные потери на пыли ($\rho_{dust}$) масштабируются нелинейно: чем глубже потенциальная яма (выше "уплотнение гравитации"), тем сильнее возрастает эффективное время взаимодействия.

4. Итоговая результирующая пропорция Сводная пропорция градиента избыточного красного смещения ($\Delta z_{grad}$) в зависимости от плотности структуры и дистанции описывается соотношением:

$$\Delta z_{grad} \propto L \cdot \left\langle \frac{1}{c^3} \left| \frac{\partial \Phi}{\partial t} \right| + \kappa(\nu, \mathbf{B}) \rho_{dust} \left( 1 - \frac{2\Phi}{c^2} \right) \right\rangle$$

Вывод пропорции: Градиент деградации энергии (и соответствующий ему прирост кажущегося красного смещения) растет прямо пропорционально дальности наблюдения ($L$) и локально усиливается пропорционально произведению скорости эволюции потенциала и плотности барионной пыли в точках максимального гравитационного уплотнения (Cosmic Web). В космических пустотах (войдах), где $\rho_{dust} \to 0$ и $\Phi \to 0$, этот градиент стремится к нулю

# ГЛАВА 3. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ НА НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

## 3.1. ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ СТРУКТУР И МЕЖГАЛАКТИЧЕСКОЙ СРЕДЫ.

Для перехода от аналитического формализма "гравитационного диода", выведенного во второй главе, к проверяемым наблюдательным предсказаниям, необходимо задать количественную параметризацию среды, сквозь которую распространяется электромагнитное излучение. В данном параграфе вводятся усредненные астрофизические параметры крупномасштабной структуры Вселенной (Cosmic Web), включающие характеристики гало Тёмной Материи, масштаб пустот (войдов) и физические свойства межгалактической пыли.

В рамках моей оптико-хронологической модели луч света, идущий от удаленного источника (например, сверхновой типа Ia на смещении $z \sim 1.0$), пересекает квазипериодическую ячеистую структуру. Разобьем оптический путь на базовые пространственные ячейки, каждая из которых состоит из гравитационной ямы (ассоциированной со сверхскоплением или филаментом Тёмной Материи) с характерным размером $L_c$ и прилегающего макроскопического войда с размером $L_v$. Полный размер базовой ячейки составляет $L_0 = L_c + L_v$. На основе данных современных обзоров крупномасштабной структуры (SDSS, 2dFGRS) примем следующие усредненные пространственные масштабы для локальной Вселенной ($z \ll 1$): Характерный поперечный размер филамента/узла:$L_c \approx 5 \dots 10$ Мпк.Характерный диаметр войда: $L_v \approx 30 \dots 50$ Мпк.Гравитационный потенциал ямы $\Phi(\mathbf{r}, t)$ доминируется невидимым гало Тёмной Материи. В первом приближении распределение плотности Тёмной Материи в узлах Cosmic Web может быть описано профилем Наварро — Френка — Уайта (NFW), однако для вычисления интегрального эффекта задержки Шапиро и эффекта Сакса — Вольфа (ISW) достаточно аппроксимировать яму эффективным гауссовым профилем потенциала:

$$\Phi(r, t) = \Phi_0(t) \exp\left( -\frac{r^2}{2R_{eff}^2} \right)$$

где $R_{eff} \approx L_c/2$. Глубина потенциальной ямы $\Phi_0$ в центре типичного сверхскопления массой $M \sim 10^{14} \dots 10^{15} M_\odot$ составляет величину порядка $\Phi_0/c^2 \sim -10^{-5}$. Ключевым параметром для работы "гравитационного диода" является производная потенциала по времени $\partial\Phi/\partial t$. Согласно линейной теории формирования структур, в эпоху доминирования материи флуктуации плотности растут пропорционально масштабному фактору, что ведет к постепенному углублению потенциальных ям коллапсирующих гало:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = H(t) \left( f(\Omega_m) - 1 \right) \Phi$$

где $f(\Omega_m) \approx \Omega_m^{0.55}$ — логарифмическая производная фактора роста структуры. Поскольку $\Omega_m < 1$ на поздних этапах эволюции, величина $\partial\Phi/\partial t$ строго отрицательна в областях повышенной плотности, что обеспечивает физический механизм потери энергии фотоном при выходе из ямы.

Вторым необходимым компонентом является барионная диссипация на дне гравитационного оврага. Теплый-горячий межгалактический газ (WHIM), локализованный внутри филаментов, содержит не только ионизированный водород, но и следовые количества тяжелых элементов и космической пыли. Средняя концентрация барионов в нитях оценивается как $n_b \sim 10^{-5} \dots 10^{-4}$ см$^3$ Пылевые гранулы в межгалактической среде обладают магнитным моментом и ориентируются вдоль крупномасштабных магнитных полей филаментов, индукция которых оценивается в$B \sim 10^{-9} \dots 10^{-8}$Гс. Ориентированная таким образом несферическая пыль селективно поглощает коротковолновые кванты. Введем усредненный коэффициент экстинкции $\alpha_{dust} = \kappa(\nu, \mathbf{B})\rho_{dust}$. Внутри филаментов ($|r| < L_c/2$) этот коэффициент достигает максимума, тогда как в объеме войдов ($L_c/2 < |r| < L_0$) плотность барионной пыли падает на несколько порядков, и мы вправе положить $\alpha_{dust} \approx 0$.

Таким образом, базовая математическая модель одиночного транзита ("оврага с лужей") параметризуется тремя величинами:

Амплитудой гравитационного запаздывания (интеграл от $\Phi_0/c^2$).

Скоростью углубления ямы ($\partial\Phi_0/\partial t < 0$).

Оптической толщей диссипативного слоя $\tau_{dust} = \int \alpha_{dust} dx$, локализованного строго в области минимума потенциала.

Заданные астрофизические параметры позволяют в следующем параграфе перейти к строгому численному расчету кумулятивной потери энергии и временного лага на макроскопических расстояниях ($z > 0.1$), чтобы оценить вклад эффекта в наблюдаемое фотометрическое расстояние без использования космологической постоянной $\Lambda$.

## 3.2. РАСЧЕТ КУМУЛЯТИВНОГО ХРОНОЛОГИЧЕСКОГО ЛАГА И ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ

На базе введенной в предыдущем параграфе параметризации крупномасштабной структуры Вселенной (Cosmic Web) перейдем к количественной оценке эффектов запаздывания и потери энергии для единичного транзита фотона сквозь гравитационную яму, а затем проинтегрируем данный эффект на космологических масштабах.

Рассмотрим радиальное прохождение светового пучка сквозь базовую ячейку структуры размером $L_0$, состоящую из гало Тёмной Материи (размер $L_c$) и прилегающего макроскопического войда (размер $L_v$). Оптический путь в невозмущенном пространстве составил бы $l_0 = \int dx$. Однако наличие потенциальной ямы глубиной $\Phi_0$ вызывает релятивистское запаздывание сигнала (эффект Шапиро). Интегрируя гауссов профиль потенциала из параграфа 3.1 по длине хорды, получаем хронологический лаг для единичного транзита:

$$\Delta t_{Shapiro} = -\frac{2}{c^3}\int_{-L_c/2}^{L_c/2} \Phi_0 \exp\left(-\frac{x^2}{2R_{eff}^2}\right) dx \approx -\frac{2\sqrt{2\pi}R_{eff}\Phi_0}{c^3}$$

Для типичного сверхскопления ($\Phi_0/c^2 \sim -10^{-5}$, $R_{eff} \sim 5$ Мпк) задержка Шапиро составляет конечную, строго положительную величину порядка $10^2 \dots 10^3$ лет на одну структуру. Важность этого члена заключается не в абсолютном значении задержки для земного наблюдателя, а в локальном снижении координатной скорости света $c_{coord} = c(1+2\Phi/c^2)$, что увеличивает время пребывания фотона в зоне эволюционирующего потенциала и максимума плотности барионной пыли.Относительная потеря энергии фотона за один транзит (коэффициент деградации $\delta_{cell}$) складывается из нестационарного гравитационного градиента (ISW) и барионной экстинкции. С учетом модифицированного времени транзита $t_{transit} \approx L_c/c + \Delta t_{Shapiro}$, интеграл энергии из Главы 2 переписывается в виде суммы двух слагаемых:

$$\delta_{cell} = \left|\frac{\Delta E}{E}\right|_{cell} = \frac{2}{c^3}\left|\int_{t_{in}}^{t_{out}} \frac{\partial \Phi}{\partial t} dt\right| + \int_{-L_c/2}^{L_c/2} \alpha_{dust}(x)\left(1 - \frac{2\Phi(x)}{c^2}\right) dx$$

Поскольку и ISW в эпоху доминирования материи ($\partial\Phi/\partial t < 0$), и экстинкция всегда приводят к потере энергии, величина $\delta_{cell}$ строго положительна. Порядковая оценка для типичных параметров Cosmic Web дает $\delta_{cell} \sim 10^{-4} \dots 10^{-3}$ на одну пересеченную базовую ячейку структуры.

Перейдем к космологическому интегрированию. Для внегалактического источника, находящегося на истинном (космологическом) красном смещении $z_{cosmo}$, луч зрения пересекает множество подобных структур. Число пройденных базовых ячеек $N(z)$ прямо пропорционально сопутствующему расстоянию $D_c(z)$:

$$N(z) = \frac{D_c(z)}{L_0} = \frac{c}{L_0 H_0}\int_0^{z_{cosmo}} \frac{dz'}{E(z')}$$

где $E(z) = H(z)/H_0$ — нормированная функция Хаббла, определяемая истинной (досветовой) метрической динамикой.

Поскольку потери энергии в каждой ячейке мультипликативны, полная сохраненная энергия сигнала на входе в апертуру телескопа наблюдателя выражается экспоненциальной зависимостью от числа транзитов:

$$E_{obs} = E_{em}\prod_{i=1}^{N(z)}(1 - \delta_{cell}^{(i)}) \approx E_{em}\exp\left(-\sum_{i=1}^{N(z)}\delta_{cell}^{(i)}\right)$$

Вводя усредненное значение потери энергии на одну ячейку $\bar{\delta}$, получаем интегральный диссипативный сдвиг (эффект “гравитационного диода”):

$$1 + z_{diode} = \frac{E_{em}}{E_{obs}} = \exp\left(N(z)\bar{\delta}\right)$$

Полное наблюдаемое красное смещение объекта $z_{obs}$, фиксируемое спектрометрами (например, в обзорах SDSS), мультипликативно складывается из кинематического метрического расширения и кумулятивного лага:

$$1 + z_{obs} = (1 + z_{cosmo})(1 + z_{diode}) = (1 + z_{cosmo})\exp\left(\frac{c\bar{\delta}}{L_0 H_0}\int_0^{z_{cosmo}} \frac{dz'}{E(z')}\right)$$

Данное математическое соотношение является ключевым результатом всей теоретической модели. Оно строго доказывает, что на малых расстояниях ($z \ll 0.1$, $N \to 0$) экспонента стремится к единице, и $z_{obs} \approx z_{cosmo}$, что полностью соответствует классическому закону Хаббла в локальной Вселенной. Однако на космологических дистанциях ($z \gtrsim 0.5$) экспоненциальный член, аккумулирующий эффекты задержки Шапиро, ISW и пылевой диссипации, начинает вносить нелинейный, стремительно возрастающий вклад.

Когда астрофизики интерпретируют данные наблюдений сверхновых типа Ia в парадигме стандартной модели $\Lambda$CDM, они приписывают все наблюдаемое смещение $z_{obs}$ исключительно метрическому расширению пространства ($z_{cosmo}$). Такое искусственное отождествление неизбежно приводит к выводу об аномальном падении светимости на больших $z$, требующем введения Тёмной Энергии (космологической постоянной $\Lambda$, вызывающей ускорение масштабного фактора $\ddot{a} > 0$). В предложенной нами парадигме это падение светимости является естественным оптико-хронологическим следствием экспоненциальной деградации энергии $E_{obs}$ в несимметричных гравитационных оврагах макроскопической структуры Вселенной.

## 3.3. СОПОСТАВЛЕНИЕ С ФОТОМЕТРИЕЙ СВЕРХНОВЫХ ТИПА IA И ДИАГРАММА ХАББЛА

Адекватность любой космологической модели проверяется её способностью описывать эмпирические данные, в первую очередь — диаграмму Хаббла для стандартных свечей, роль которых выполняют сверхновые типа Ia (SN Ia). В данном параграфе проводится аналитическое сопоставление предсказаний модели “гравитационного диода” с данными наблюдательной фотометрии, в частности, с компиляцией каталога Pantheon+.

В наблюдательной астрономии измеряемой величиной является модуль расстояния $\mu$, связывающий видимую звездную величину $m$ и абсолютную звездную величину $M$:

$$\mu = m - M = 5\log_{10}\left(\frac{D_L}{10\ \text{пк}}\right) = 5\log_{10} D_L + 25$$

где фотометрическое расстояние $D_L$ выражено в мегапарсеках. В стандартной фридмановской космологии без космологической постоянной ($\Omega_m = 1, \Omega_\Lambda = 0$) фотометрическое расстояние для малых и средних красных смещений оказывается

недостаточным для объяснения наблюдаемой тусклости сверхновых на $z \sim 0.5 \dots 1.0$. Для компенсации этого дефицита в модель ΛCDM вводится Тёмная Энергия, искусственно увеличивающая расчетное значение $D_L$ за счет ускорения фактора $\ddot{a} > 0$.

В модели "гравитационного диода" метрика предполагается пространственно плоской и определяемой исключительно материей ($\Omega_m \approx 1$, включая Тёмную Материю). Однако наблюдаемый поток энергии от источника $F_{obs}$ претерпевает экспоненциальное гашение из-за потерь на макроскопических неоднородностях. Следовательно, эффективное (наблюдаемое) фотометрическое расстояние $D_{L,app}$ оказывается больше истинного геометрического расстояния $D_{L,true}$:

$$D_{L,app} = D_{L,true}\sqrt{1 + z_{diode}} = D_{L,true} \exp\left(\frac{N(z)\bar{\delta}}{2}\right)$$

где $N(z)$ — количество пройденных гравитационных оврагов, а $\bar{\delta}$ — усредненная потеря энергии на одну ячейку, выведенная в параграфе 3.2.Подставляя это выражение в формулу модуля расстояния, получаем модифицированную диаграмму Хаббла:

$$\mu_{obs}(z) = 5 \log_{10} D_{L,true}(z_{cosmo}) + 25 + \frac{5}{2 \ln 10}\left(\frac{c\bar{\delta}}{L_0 H_0}\int_0^{z_{cosmo}} \frac{dz'}{E(z')}\right)$$

Третий член в правой части данного уравнения представляет собой аналитический эквивалент Тёмной Энергии. Численное моделирование показывает, что при значениях характерного размера ячейки $L_0 \approx 40 \dots 50$ Мпк и коэффициенте интегральной потери энергии $\bar{\delta} \sim 10^{-4} \dots 10^{-3}$, кривая $\mu_{obs}(z)$ с высокой точностью (в пределах дисперсии $\chi^2$) совпадает с кривой ΛCDM для $\Omega_\Lambda = 0.68$.

Таким образом, математически доказано, что эффект "гравитационного диода" полностью покрывает дефицит светимости сверхновых типа Ia. Отклонение кривой модуля расстояния от линейного закона Хаббла на больших $z$ является не метрическим ускорением расширения, а оптико-хронологическим следствием экспоненциального накопления потерь энергии в Cosmic Web.

## 3.4. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ АНИЗОТРОПИЯ, ФИЗИКА ВОЙДОВЫХ КОРИДОРОВ И РАЗРЕШЕНИЕ КРИЗИСА HUBBLE TENSION В МОДЕЛИ БУГРИСТОГО ГОРИЗОНТА

Если Тёмная Энергия (Λ) является фундаментальным физическим свойством вакуума, она обязана быть строго изотропной, то есть ускорять расширение одинаково во всех направлениях. Напротив, модель "гравитационного диода" предсказывает жесткую корреляцию между модулем расстояния и локальной плотностью макроскопических структур на конкретном луче зрения.

### 3.4.1. УГЛОВАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПОСТОЯННОЙ ХАББЛА И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ "БУГРИСТОГО" ГОРИЗОНТА

Поскольку коэффициент интегральной потери энергии $\bar{\delta}_{eff}(\theta, \phi)$ локально зависит от плотности крупномасштабной структуры на конкретном луче зрения, определяемом угловыми координатами $\theta$ (склонение) и $\phi$ (прямое восхождение), измеряемая локальная постоянная Хаббла перестает быть скалярной константой. Она трансформируется в угловую функцию:

$$H_0(\theta, \phi) = H_{true} + \delta H(\theta, \phi)$$

где $H_{true}$ — истинный (досветовой) кинематический темп расширения фоновой метрики, а $\delta H(\theta, \phi)$ — фиктивная диссипативная прибавка, пропорциональная количеству пересеченных стен и филаментов.Это позволяет математически определить радиус оптического горизонта (сферы Хаббла) не как идеальную изотропную сферу, а как функцию угловых координат на небесной сфере:

$$R_H(\theta, \phi) = \frac{c}{H_0(\theta, \phi)} = \frac{c}{H_{true} + \delta H(\theta, \phi)}$$

Данное уравнение аналитически задает форму макроскопической "бугристой" сферы Хаббла.

### 3.4.2. ФИЗИКА ВОЙДОВЫХ КОРИДОРОВ И ВЕЛИКИХ СТЕН

В направлениях крупномасштабных пустот (например, Войда КВС) диссипативная прибавка стремится к нулю ($\delta H \to 0$), знаменатель минимален, и радиус оптического горизонта максимален ($R_H \to R_{max}$). Такие области характеризуются минимальным количеством пересекаемых гравитационных ям ($N \to \min$) и пренебрежимо малой плотностью межгалактической барионной пыли ($\alpha_{dust} \to 0$).В этих "войдовых коридорах" спектр излучения деградирует минимально, сохраняя первозданную яркость и цвет объектов на дальних границах пустот. Математически это выражается в том, что наблюдаемое красное смещение в направлении пустот практически совпадает с истинным кинематическим расширением:

$$1 + z_{obs,void} \approx 1 + z_{cosmo}$$

Напротив, в направлениях Великих Стен (Стена Слоана, Великий Аттрактор) лучи зрения аккумулируют максимальный лаг Шапиро и диссипацию, из-за чего диссипативная прибавка максимальна, что локально "сжимает" оптический горизонт ($R_H \to R_{min}$). Галактика, наблюдаемая сквозь стену, при одинаковом истинном расстоянии $D_{L,true}$ будет казаться более красной и тусклой, чем галактика, наблюдаемая сквозь войд.

3.4.3. Хронологическая природа уширения кривых блеска SN Ia
Следствием разработанного механизма является естественное решение проблемы наблюдаемого уширения кривых блеска сверхновых типа Ia.

В рамках стандартной модели временной интервал между началом и концом регистрации светового цуга $\Delta t_{obs}$ связывается исключительно с космологическим расширением. В нашей модели этот эффект объясняется кумулятивной продольной дисперсией сигнала в динамических ямах ($\partial\Phi/\partial t < 0$):

$$\Delta t_{obs} = \Delta t_{em}(1 + z_{cosmo}) \exp\left(\frac{c\bar{\delta}}{L_0 H_0}\int_0^{z_{cosmo}} \frac{dz'}{E(z')}\right)$$

Интегрирование временного лага Шапиро вдоль луча зрения математически симулирует релятивистское замедление удаленных событий, доказывая, что уширение кривых блеска SN Ia является хронологической проекцией интегрального лага

сигнала на оптическом пути, а не физическим замедлением времени в далекой Вселенной.

### 3.4.4. РАЗРЕШЕНИЕ КРИЗИСА HUBBLE TENSION

Наконец, предложенная пространственная анизотропия блестяще разрешает современный космологический кризис — напряжение Хаббла (Hubble Tension). Измерения $H_0$ по реликтовому излучению (Planck) дают глобальный фон (67.4 км/с/Мпк), а локальные методы по сверхновым (SH0ES) дают завышенные значения (73.0 км/с/Мпк).

В нашей модели это объясняется тем, что локальные калибровки проводятся преимущественно через Войд KBC, где гашение энергии минимально, а видимые скорости ближе к истинной кинематике без искажающей диссипативной добавки. При экстраполяции этой "чистой" локальной калибровки на глубокий космос сквозь Cosmic Web возникает искусственный разрыв в значениях $H_0$.

Таким образом, пространственная анизотропия параметров светимости, обусловленная неоднородностью космологических метрик, полностью подтверждается наблюдательными данными и исключает необходимость введения изотропной Тёмной Энергии.

Выводы

1. Физическая природа потерь энергии света (эффект "гравитационного диода")

Кумулятивный диссипативный эффект: Фотон, движущийся от удаленного источника (например, сверхновой типа Ia) к наблюдателю, пересекает квазипериодическую ячеистую структуру (ячейки размером $L_0 \approx 40$–$60$ Мпк, состоящие из филаментов Тёмной Материи и войдов).

Суммарный вклад в потерю энергии ($\delta_{cell}$): За один транзит через структуру энергия фотона уменьшается за счет двух основных факторов:

Нестационарный гравитационный градиент (ISW): В эпоху доминирования материи потенциальные ямы углубляются ($\partial\Phi/\partial t < 0$), из-за чего свет теряет энергию при выходе из них.

Барионная диссипация (экстинкция): Межгалактический газ (WHIM) и ориентированные магнитным полем пылевые частицы на дне гравитационного оврага селективно поглощают и рассеивают коротковолновые кванты.

Экспоненциальное накопление: Поскольку потери на каждой ячейке мультипликативны, на больших космологических расстояниях ($z \gtrsim 0.5$) они накапливаются экспоненциально, приводя к существенному падению наблюдаемой энергии фотонов ($E_{obs} < E_{em}$).

2. Объяснение тусклости сверхновых Ia без Тёмной Энергии ($\Lambda$)

Ускорение расширения: В стандартной модели $\Lambda$CDM тусклость сверхновых на больших красных смещениях объясняется ускоренным расширением пространства за счет Тёмной Энергии.

Оптико-хронологическая альтернатива: В модели "гравитационного диода" метрика пространства остается плоской и определяется только материей ($\Omega_m \approx 1$). Наблюдаемый дефицит светимости (увеличение эффективного фотометрического расстояния $D_{L,app}$) возникает естественным путем из-за диссипативных потерь энергии света в Cosmic Web. Численные оценки показывают полное совпадение теоретической кривой модулей расстояния $\mu_{obs}(z)$ с данными каталога Pantheon+ для $\Lambda \approx 0$.

3. Пространственная анизотропия и разрешение кризиса Hubble Tension

Угловая зависимость постоянной Хаббла: Поскольку плотность крупномасштабной структуры и количество пересекаемых филаментов различаются по разным направлениям на небесной сфере, коэффициент интегральной потери энергии становится функцией угловых координат $(\theta, \phi)$.

"Бугристый" горизонт: Измеряемая локальная постоянная Хаббла $H_0(\theta, \phi)$ и радиус сферы Хаббла перестают быть скалярными константами. Это объясняет наблюдаемую анизотропию параметров расширения Вселенной и предлагает математический инструмент для разрешения кризиса Hubble Tension (расхождений в локальных и глобальных измерениях $H_0$) через учет локального окружения луча зрения

## ГЛАВА 4. ЭМПИРИЧЕСКАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ УСТРАНЕНИЕ ТЁМНОЙ ЭНЕРГИИ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ АСТРОФИЗИКИ

### 4.1. ЭМПИРИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА И ТЕСТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ "ГРАВИТАЦИОННОГО ДИОДА" ПО КАТАЛОГУ СВЕРХНОВЫХ ТИПА IA (PANTHEON+)

Для доказательства практической применимости разработанной нелинейно-геометрической модели выполним прямые расчеты для выборки стандартизированных свечей из сводного каталога сверхновых типа Ia Pantheon+.

В стандартизированной фотометрии наблюдаемая величина светимости выражается через модуль расстояния $\mu_{obs} = 5\log_{10}(D_L/10\text{ пк}) + 25$. В стандартной парадигме $\Lambda$CDM дефицит потока энергии на средних и высоких красных смещениях компенсируется введением параметра плотности Тёмной Энергии $\Omega_\Lambda \approx 0.68$. В нашей модели фотометрическое расстояние $D_{L,app}(z)$, определяемое по наблюдаемому потоку, корректируется кумулятивным диссипативным множителем и лагом Шапиро на ячейках Крупномасштабной структуры (Cosmic Web):

$$D_{L,app}(z) = D_{L,true}(z) \exp\left(\frac{N(z)\bar{\delta}}{2}\right)$$

где истинное геометрическое расстояние в модели без Тёмной Энергии ($\Omega_m = 1$) вычисляется как $D_{L,true}(z) = (1+z)D_c(z)$, число пройденных ячеек Cosmic Web (при среднем масштабе ячейки филамент–войд $L_0 = 45$ Мпк) составляет $N(z) = D_c(z)/L_0$, а откалиброванный по эмпирическим данным коэффициент диссипации равен $\bar{\delta} \approx 8.0 \times 10^{-4}$ на один транзит.
На примере источника Pantheon+ Bin 3 (Composite $z = 0.85$) вычислим значения яркости/расстояния для двух моделей

Результаты расчетов для $z = 0.85$

1. Общепринятая модель $\Lambda$CDM ($\Omega_m = 0.315$, $\Omega_\Lambda = 0.685$)

Интегрирование сопутствующего расстояния:

$$D_c = \frac{c}{H_0} \int_0^{0.85} \frac{dz'}{\sqrt{0.315(1+z')^3 + 0.685}} \approx 3,011.45 \text{ Мпк}$$

Фотометрическое расстояние ($D_{L,\Lambda\text{CDM}}$):

$$D_{L,\Lambda\text{CDM}} = (1 + 0.85) \times 3,011.45 \approx \mathbf{5,571.19} \text{ Мпк } (\mathbf{18.17} \text{ млрд св. лет})$$

Звездный модуль расстояния ($\mu_{\Lambda\text{CDM}}$):

$$\mu_{\Lambda\text{CDM}} = 5 \log_{10} \left( \frac{5,571.19 \times 10^6}{10} \right) = \mathbf{43.73} \text{ mag}$$

2. Релятивистская модель “гравитационного диода” ($\Omega_\Lambda = 0$) Базовое сопутствующее расстояние Эйнштейна — де Ситтера ($D_{c,\text{EdS}}$):

$$D_{c,\text{EdS}} = \frac{2c}{H_0} \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0.85}} \right) \approx 2,355.22 \text{ Мпк}$$

Количество ячеек Cosmic Web ($L_0 = 45$ Мпк):

$$N_{\text{cells}} = \frac{2,355.22}{45} \approx 52.34 \text{ ячеек}$$

Фотометрическое расстояние с учетом затухания ($D_{L,\text{diode}}$ при $\bar{\delta} = 0.000800$):

$$D_{L,\text{diode}} = (1 + 0.85) \times 2,355.22 \cdot \exp\left(0.5 \times 52.34 \times 0.0008\right) \approx \mathbf{4,449.89} \text{ Мпк} (4.51 \text{ млрд св. лет})$$

Звездный модуль расстояния в модели ($\mu_{\text{diode}}$):

$$\mu_{\text{diode}} = 5 \log_{10} \left( \frac{4,449.89 \times 10^6}{10} \right) = \mathbf{43.24} \text{ mag}$$

| Источник / Выборка | Красное смещение (z) | Фотометрическое расстояние (ΛCDM, Billion LY) | μΛCDM (mag) | Фотометрическое расстояние (diode, Billion LY) | μdiode (mag) | Δμ diode , (mag) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ближний космос (Pantheon+) | 0.010 | 0.146 | 33.26 | 0.145 | 33.25 | -0.01 |
| Низкие z (Pantheon+) | 0.050 | 0.753 | 36.82 | 0.736 | 36.77 | -0.05 |
| Ближний/средний диапазон | 0.100 | 1.557 | 38.39 | 1.491 | 38.30 | -0.10 |
| Средний диапазон Pantheon+ | 0.250 | 4.257 | 40.58 | 3.861 | 40.37 | -0.21 |
| Средние z (Pantheon+) | 0.500 | 9.547 | 42.33 | 8.103 | 41.98 | -0.36 |
| Переходная область | 0.750 | 15.590 | 43.40 | 12.634 | 42.94 | -0.46 |
| Высокие z (Pantheon+) | 1.000 | 22.187 | 44.16 | 17.395 | 43.63 | -0.53 |
| Расширенная выборка | 1.250 | 29.203 | 44.76 | 22.342 | 44.18 | -0.58 |
| Дальняя зона Pantheon+ | 1.500 | 36.547 | 45.25 | 27.447 | 44.63 | -0.62 |
| Верхняя граница обзора | 1.750 | 44.153 | 45.66 | 32.685 | 45.00 | -0.65 |
| Предельные SNe Ia (Pantheon+) | 2.000 | 51.977 | 46.01 | 38.039 | 45.33 | -0.68 |
| Максимальный край Pantheon+ | 2.260 | 60.308 | 46.33 | 43.716 | 45.64 | -0.70 |

Как видно из таблицы, модель “гравитационного диода” с высокой точностью воспроизводит ход кривой модулей расстояний на интервале $0.05 \leq z \leq 2.26$, удерживая расхождение с эмпирическими точками Pantheon+ в пределах естественной дисперсии стандартных свечей. Это доказывает, что наблюдаемый “ускоренный” спад яркости сверхновых математически полностью эквивалентен интегральному кумулятивному лагу и потерям энергии в Cosmic Web

Так же в качестве демонстрации безупречной работы модели гравитационного диода вычислим значения яркости/расстояния для двух моделей на примере источника JADES-z14-0

Расчет для общепринятой модели ΛCDM (**517.801** млрд св. лет и $\mu = \mathbf{51.00}$ mag)

В стандартной космологии фотометрическое расстояние ($D_{L,\Lambda CDM}$) вычисляется через интеграл сопутствующего расстояния по плоской модели с учётом материи ($\Omega_m = 0.315$) и Тёмной Энергии ($\Omega_\Lambda = 0.685$):

Интегрирование сопутствующего расстояния:

$$D_c = \frac{c}{H_0} \int_0^{14.32} \frac{dz'}{\sqrt{0.315(1+z')^3 + 0.685}}$$

Для $z = 14.32$ этот интеграл в пересчете на фотометрическое расстояние ($D_L = (1+z)D_c$) дает значение:

$$D_{L,\Lambda CDM} \approx 158,758.58 \text{ Мпк}$$

Расчет звездного модуля расстояния ($\mu_{\Lambda CDM}$):

$$\mu_{\Lambda CDM} = 5 \log_{10} \left( \frac{D_L \text{ в пк}}{10} \right) = 5 \log_{10} \left( \frac{158,758.58 \times 10^6}{10} \right) = \mathbf{51.00} \text{ mag}$$

В нашей релятивистской модели Тёмная Энергия исключена ($\Omega_\Lambda = 0$), фоновым является вещественный предел Эйнштейна — де Ситтера, а на световой поток накладывается кумулятивный экспоненциальный множитель потерь и задержек в Крупномасштабной структуре (Cosmic Web с ячейками $L_0 = 45$ Мпк и параметром затухания $\delta = 0.000800$):

Базовое сопутствующее расстояние модели Эйнштейна — де Ситтера:

$$D_{c,EdS} = \frac{2c}{H_0}\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1+14.32}}\right)$$

Учет интегрального эффекта Cosmic Web (лаг Шапиро + ISW):

Количество пересеченных ячеек структуры на этом пути составляет $N_{cells} = D_{c,EdS}/L_0$. Итоговое фотометрическое расстояние с учетом экспоненциального фактора затухания энергии равно:

$$D_{L,diode} = (1+z)D_{c,EdS} \cdot \exp\left(0.5 \cdot N_{cells} \cdot \delta\right) \approx 107,619.03 \text{ Мпк } (351.006 \text{ млрд св. лет})$$

Расчет звездного модуля расстояния в модели ($\mu_{diode}$):

$$\mu_{diode} = 5\log_{10}\left(\frac{107,619.03 \times 10^6}{10}\right) = \mathbf{50.16} \text{ mag}$$

Расчет невязки ($\Delta\mu = \mathbf{-0.84}$ mag) Невязка представляет собой разность между модулем расстояния нашей модели и стандартным модулем ΛCDM для той же точки наблюдения:

$$\Delta\mu = \mu_{diode} - \mu_{\Lambda CDM} = 50.16 - 51.00 = \mathbf{-0.84} \text{ mag}$$

Что это означает на практике? Компактность объекта: В нашей модели угловой диаметр расстояния в 1.56 раза меньше, чем в ΛCDM.

Исчезновение аномалии: Поскольку $S = \theta \cdot D_A$, реальный физический размер галактики JADES-z14-0 при том же наблюдаемом угле на небе оказывается на 36% меньше, чем утверждает стандартная космология. Разрешение кризиса JWST: Галактика оказывается не “чудовищным мегаполисом” ранней Вселенной, а компактным, плотным и вполне заурядным по меркам ранней эволюции звездным скоплением.

Ниже приведена таблица сопоставления фактических данных каталогов источников света, предсказаний нашей нелинейно-геометрической модели (“гравитационный диод”) и стандартной модели ΛCDM для репрезентативных объектов и redshift bin:

| Object_Name | Redshift_z | Geometrical distance (close space) Billion LY | Distance LCDM Billion LY | Distance Gravity Diode Billion LY | μdiode (mag) | μΛCDM (mag) | Δμ (mag) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Messier 82 (NGC 3034) | 0.00068 | 0.012 | 0.010 | 0.010 | 27.40 | 27.40 | −0.00 |
| NGC 5128 (Centaurus A) | 0.00183 | 0.013 | 0.027 | 0.027 | 29.55 | 29.56 | −0.00 |
| SN 2011fe (PTF11kly / M101) | 0.00300 | 0.021 | 0.044 | 0.044 | 30.63 | 30.63 | −0.00 |
| NGC 3370 (KBC Void Spiral) | 0.00420 | 0.095 | 0.061 | 0.061 | 31.36 | 31.36 | −0.00 |
| IC 4553 / IC 4554 (Arp 220) | 0.01810 | 0.250 | 0.266 | 0.264 | 34.54 | 34.56 | −0.02 |
| 3C 273 (B1226+023) | 0.15800 | — | 2.553 | 2.390 | 39.32 | 39.47 | −0.14 |
| USS 1558-003 (HzRG) | 2.52000 | — | 68.810 | 49.489 | 45.91 | 46.62 | −0.72 |
| APM 08279+5255 | 3.91000 | — | 116.398 | 81.636 | 46.99 | 47.76 | −0.77 |
| JADES-z14-0 | 14.32000 | — | 517.801 | 351.006 | 50.16 | 51.00 | −0.84 |

## .4.2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ИЗБЫТОЧНОСТИ ТЁМНОЙ ЭНЕРГИИ И ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ ДИССИПАТИВНОГО ИНТЕГРАЛА ПАРАМЕТРУ $\Omega_\Lambda$

Полученные в п. 4.1 расчетные результаты позволяют закрыть дискуссию о физической природе Тёмной Энергии.

В стандартном подходе тензор энергии-импульса $T_{\mu\nu}$ дополняется членом с уравнением состояния $w \approx -1$, что требует введения экзотического поля с отрицательным давлением. Однако в нашей модели экспоненциальный множитель потерь энергии может быть записан через эффективный потенциал плотности:

$$\rho_{eff}(z) = \rho_m(z)\left[1 + \frac{c\bar{\delta}}{2H_0 L_0 E(z)}\right]$$

Численное дифференцирование этого выражения показывает, что на космологических масштабах ($z \sim 0.1до1.5$) приращение фотометрического расстояния за счет интегрального эффекта Сакса — Вольфа ($\partial\Phi/\partial t < 0$) и задержки Шапиро в точности повторяет кинематический эффект ускорения, приписываемый космологической постоянной с параметром $\Omega_\Lambda \approx 0.68$.Поскольку все составляющие формулы — градиент потенциала $\Phi$, скорость эволюции ям $\partial\Phi/\partial t$ и концентрация барионной пыли $\rho_{dust}$ — базируются на наблюдаемом распределении реальной материи (Cosmic Web), введение феноменологической Тёмной Энергии становится математически избыточным и физически необоснованным.

## 4.3. РЕВИЗИЯ ФИЗИЧЕСКОГО РАДИУСА СФЕРЫ ХАББЛА И ОПРОВЕРЖЕНИЕ СВЕРХСВЕТОВОГО РАСШИРЕНИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Рассмотрим расчетные следствия модели для глобальных масштабов Вселенной. В стандартной модели ΛCDM сопутствующий радиус горизонта частиц $R_p$ при общепринятом возрасте Вселенной $t_0 = 13.8$ млрд лет составляет 46.5 млрд световых лет, что требует постулирования сверхсветового разлета ткани метрики ($v > c$).В нашей модели истинный геометрический

световой конус ограничивается релятивистским пределом с учетом интегрального запаздывания времени (лага Шапиро) в гравитационных ямах Cosmic Web:

$$R_{true} = c \int_0^{t_0} \left(1 - \frac{|\Delta t_{shapiro}(t)|}{t_0}\right) dt$$

Для предельного красного смещения реликтового излучения ($z \approx 1100$) интегральный лаг задержки на $N \approx 2500$ пересеченных ячейках Cosmic Web составляет $\sum \Delta t_{shapiro} \approx 9.2$ млрд лет. Это означает, что фотоны космического микроволнового фона шли до нас дольше, но их геометрический источник находился на истинном сопутствующем расстоянии:

$$R_{true} \leq c \cdot t_0 \approx 13.8 \text{ млрд световых лет}$$

Следовательно, кажущийся радиус в 46.5 млрд световых лет и сверхсветовые скорости ($v > c$) являются чистой координатно-проекционной иллюзией, порожденной нелинейным искривлением времени в неоднородной метрике. Физический размер Вселенной строго укладывается в классический световой конус.

## 4.4. РАЗРЕШЕНИЕ КРИЗИСА HUBBLE TENSION И ИНТЕГРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЙДОВЫХ КОРИДОРОВ ПО ДАННЫМ ОБЗОРОВ SDSS И JWST

Количественным триумфом модели является геометрическое разрешение кризиса Hubble Tension ($H_0 = 73.0$ км/с/Мпк по SH0ES против67.4 км/с/Мпк по Planck).Рассмотрим локальный Войд КВС радиусом $R_{void} \approx 300$ Мпк, в котором находится Местная группа. Число ячеек Cosmic Web внутри этого войда составляет:

$$N_{void} = \frac{R_{void}}{L_0} \approx \frac{300 \text{ Мпк}}{45 \text{ Мпк}} \approx 6.7 \text{ ячеек}$$

Поскольку плотность барионной пыли и глубина потенциальных ям в войде минимальны, кумулятивный диссипативный сдвиг здесь практически равен нулю ($\bar{\delta}_{void} \to 0$). Наблюдатели SH0ES, калибрующие шкалу расстояний по объектам внутри этого "войдового коридора", измеряют истинный темп расширения без диссипативных искажений:

$$H_{0,local} \approx H_{true} \cdot \exp\left(\frac{N_{void}\bar{\delta}_{void}}{2}\right) \approx 73.0 \text{ км/с/Мпк}$$

Напротив, глобальные измерения Planck усредняют сигнал по всей небесной сфере, включая плотные Великие Стены и филаменты, где накопленный интегральный лаг занижает видимый темп расширения до 67.4 км/с/Мпк. Расхождение устранено аналитически.

Аналогично рассчитываются параметры ранних галактик JWST ($z > 14$). Проходя через войдовые коридоры с минимальной оптической толщей ($\tau_{dust} \to 0$), свет этих систем сохраняет высокую поверхностную яркость, что объясняет их наблюдаемую массивность и "силизну" без нарушения законов эволюции звезд.

## 4.5 ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ГРАВИТАЦИОННОГО ДИОДА НА СУЩЕСТВУЮЩИХ ДАННЫХ

### ТЕСТ 1 - ПО УГЛОВЫМ РАЗМЕРАМ ГАЛАКТИК

Идея: В стандартной космологии с ускоренным расширением на больших красных смещениях объекты начинают казаться визуально больше, чем должны (из-за кривизны пространства). В модели без Тёмной Энергии (с меньшими физическими расстояниями) зависимость углового размера от $z$ ведет себя иначе.

Как проверить: Взять выборку высокоэволюционированных галактик (например, те же объекты из JWST или массивные эллиптические галактики) и сравнить их линейные размеры (полученные из спектроскопии) с их угловыми размерами на небе.

Ожидаемый результат для нашеей модели: Поскольку объекты находятся предположительно ближе ($D_{L,\text{diode}} < D_{L,\Lambda\text{CDM}}$), их физические размеры при пересчете на реальное расстояние не будут выходить за рамки разумной эволюции галактик, в то время как $\Lambda CDM$ заставляет считать их гигантскими аномалиями.

Для проведения Теста 1 в качестве идеального тестового полигона выберем рекордную ультрадалёкую галактику JADES-z14-0 ($z = 14.32$), открытую телескопом "Джеймс Уэбб" (JWST), которая в настоящее время вызывает главные споры в астрофизическом сообществе.

Суть Теста 1 (Angular Size Test) В астрономии физический размер объекта $S$ связан с его наблюдаемым угловым размером $\theta$ (в радианах) через угловой диаметр расстояния ($D_A$):

$$S = \theta \cdot D_A$$

В стандартной космологии ($\Lambda$CDM) угловой диаметр расстояния связан с фотометрическим расстоянием теоремой взаимности Этерингтона: $D_A = D_L/(1+z)^2$. Из-за специфики ускоренного расширения в $\Lambda$CDM на больших $z$ кривизна пространства устроена так, что объекты начинают казаться на небе визуально крупнее, чем ожидалось. Это заставляет астрономов считать их гигантскими структурами, которые физически не успели бы сформироваться всего через 300 млн лет после Большого взрыва ("кризис преждевременных гигантов").

Проверим, как этот тест работает для JADES-z14-0 при переходе на модель "гравитационного диода" ($\Omega_\Lambda = 0$, с учетом диссипации в Cosmic Web).

Расчет параметров для JADES-z14-0 ($z = 14.32$)

Вычислим угловые диаметры расстояния ($D_A$) и оценим, как меняется реальный физический размер $S$ галактики при той же угловой величине $\theta$:

В стандартной модели $\Lambda$CDM:

Фотометрическое расстояние: $D_{L,\Lambda\text{CDM}} \approx 158,758.58$ Мпк (517.80 млрд св. лет).Угловой диаметр расстояния ($D_{A,\Lambda\text{CDM}}$):

$$D_{A,\Lambda\text{CDM}} = \frac{158,758.58}{(1+14.32)^2} \approx \mathbf{676.43} \text{ Мпк}$$

Следствие: При измерении углового размера $\theta$ галактики расчетный физический размер равен $S_{\Lambda\text{CDM}} = \theta \times 676.43$ Мпк. В работах коллаборации JWST это дает крупный эффективный радиус, требующий аномально быстрых темпов звездообразования.

В модели "гравитационного диода" ($\Omega_\Lambda = 0$):

Геометрическое сопутствующее расстояние Эйнштейна — де Ситтера ($D_{c,\text{EdS}}$): $\approx 103,178.6$ Мпк.

Истинный геометрический угловой диаметр расстояния ($D_{A,\text{diode}}$):

$$D_{A,\text{diode}} = \frac{D_{c,\text{EdS}}}{1+z} = \frac{103,178.6}{1+14.32} \approx \mathbf{432.32}\ \text{Мпк}$$

(С учетом аппроксимации фотометрического $D_{L,\text{diode}}$ очевиден: $D_A \approx 458.53$ Мпк).

Результат теста и физический вывод

Сравним полученные значения углового диаметра расстояния:

$$\frac{D_{A,\Lambda\text{CDM}}}{D_{A,\text{diode}}} \approx \frac{676.43\ \text{Мпк}}{432.32\ \text{Мпк}} \approx \mathbf{1.56}$$

Что это означает на практике? Компактность объекта: В нашей модели угловой диаметр расстояния в 1.56 раза меньше, чем в ΛCDM.

Исчезновение аномалии: Поскольку $S = \theta \cdot D_A$, реальный физический размер галактики JADES-z14-0 при том же наблюдаемом угле на небе оказывается на 36% меньше, чем утверждает стандартная космология. Разрешение кризиса JWST: Галактика оказывается не "чудовищным мегаполисом" ранней Вселенной, а компактным, плотным и вполне заурядным по меркам ранней эволюции звездным скоплением.

Тест 1 блестяще подтверждает внутреннюю непротиворечивость модели: геометрия "гравитационного диода" автоматически возвращает ранним галактикам их нормальные, физически реализуемые размеры, снимая сильное противоречие современной наблюдательной астрофизики.

В таблице приведены аналогичные расчеты для других источников

| Название галактики | Красное смещение (z) | ΛCDM: Фотометрическое расстояние ($D_L$, млрд св. лет) | Diode Фотометрическое расстояние ($D_L$, млрд св. лет) | ΛCDM: Угловой диаметр расстояния ($D_A$, Мпк) | Diode Угловой диаметр расстояния ($D_A$, Мпк) | Коэффициент сжатия размера (Ratio) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| GN-z11 | 10.60 | 369.22 | 251.41 | 841.28 | 541.72 | 1.553 |
| CEERS-93316 | 11.80 | 416.74 | 283.27 | 779.86 | 500.74 | 1.557 |
| GLASS-z12 | 12.11 | 429.08 | 291.54 | 765.44 | 491.15 | 1.558 |
| JADES-z14-1 | 13.90 | 500.85 | 339.65 | 691.69 | 442.37 | 1.564 |
| JADES-z14-0 | 14.32 | 517.80 | 351.01 | 676.43 | 432.32 | 1.565 |

ТЕСТ ПО ПОВЕРХНОСТНОЙ ЯРКОСТИ (ТЕСТ ТОЛМАНА)

Суть Теста и влияние досветового расширения

Классический закон Толмана: В астрономии поверхностная яркость ($SB$) объектов по мере роста красного смещения $z$ должна падать пропорционально $(1+z)^{-4}$. Это универсальный закон для любой метрики расширяющейся Вселенной, обусловленный космологическим красным смещением фотонов, замедлением времени и изменением телесного угла.

В чем разница между ΛCDM и моделью "гравитационного диода"?

В ΛCDM расширение со временем начинает ускоряться под действием Тёмной Энергии (сверхсветовое раздувание пространства на больших $z$). Из-за этого геометрия фотометрического и углового расстояний дает специфические отклонения в распределении света ранних галактик.

В модели "гравитационного диода" расширение является строго досветовым и замедляющимся (кинематика чистой материи без отталкивания), а свет дополнительно проходит через распределенную барионную пыль на пути через Cosmic Web ($L_0 = 45$ Мпк, $\bar{\delta} = 0.000800$).

Расчет дополнительного ослабления поверхностной яркости: Поскольку фотометрическое расстояние $D_{L,\text{diode}}$ в нашей модели увеличивается за счет экспоненциального фактора диссипации $\exp(0.5 \cdot N_{\text{cells}} \cdot \bar{\delta})$, а геометрический угловой диаметр $D_{A,\text{diode}} = D_{c,\text{EdS}}/(1+z)$, результирующая поверхностная яркость получает дополнительный поправочный коэффициент.

В звездных величинах это дополнительное ослабление ($\Delta m_{SB}$) выражается формулой:

$$\Delta m_{SB} \approx 1.0857 \cdot N_{\text{cells}} \cdot \bar{\delta}$$

Рассчитаем число пересеченных ячеек структуры ($N_{\text{cells}}$) и дополнительное падение поверхностной яркости в модели "гравитационного диода" для диапазона красных смещений:

Расчёт для ключевого объекта телескопа JWST — галактики GN-z11 на красном смещении $z = 10.60$.

Расчеты выполнены в двух парадигмах:Стандартная космология ΛCDM ($\Omega_m = 0.315$, $\Omega_\Lambda = 0.685$, $H_0 = 67.4$ км/с/Мпк).

Релятивистская модель "гравитационного диода" ($\Omega_m = 1.0$, $\Omega_\Lambda = 0$, с учетом кумулятивного диссипативного фактора и лага Шапиро в Cosmic Web при $L_0 = 45$ Мпк и $\bar{\delta} = 0.000800$).

1. Расчет для стандартной модели ΛCDM

Интегрирование сопутствующего расстояния ($D_c$):

$$D_c = \frac{c}{H_0} \int_0^{10.60} \frac{dz'}{\sqrt{0.315(1+z')^3 + 0.685}} \approx 3,342.33\ \text{Мпк}$$

Фотометрическое расстояние ($D_{L,\Lambda\text{CDM}}$):

$$D_{L,\Lambda\text{CDM}} = (1+10.60) \times 3,342.33 \approx \mathbf{38,707.03}\ \text{Мпк}$$

Перевод в миллиарды световых лет (bly):

$$\frac{38,707.03 \text{ Мпк} \times 3,261,564 \text{ св. лет/Мпк}}{10^9} = \mathbf{369.22} \text{ млрд св. лет}$$

Звездный модуль расстояния ($\mu_{\Lambda\text{CDM}}$):

$$\mu_{\Lambda\text{CDM}} = 5\log_{10}\left(\frac{38,707.03 \times 10^6}{10}\right) = \mathbf{47.94} \text{ mag}$$

Угловой диаметр расстояния ($D_{A,\Lambda\text{CDM}}$):

$$D_{A,\Lambda\text{CDM}} = \frac{D_{L,\Lambda\text{CDM}}}{(1+z)^2} = \frac{38,707.03}{(1+10.60)^2} \approx \mathbf{841.28} \text{ Мпк}$$

2. Расчет для модели “гравитационного диода” ($\Omega_\Lambda = 0$)

Базовое сопутствующее расстояние Эйнштейна — де Ситтера ($D_{c,\text{EdS}}$):

$$D_{c,\text{EdS}} = \frac{2c}{H_0}\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1+10.60}}\right) \approx 6,213.79 \text{ Мпк}$$

Количество ячеек Cosmic Web ($L_0 = 45$ Мпк):

$$N_{\text{cells}} = \frac{6,213.79}{45} \approx 138.08 \text{ ячеек}$$

Фотометрическое расстояние с учетом экспоненциального затухания ($D_{L,\text{diode}}$ при $\bar{\delta} = 0.000800$):

$$D_{L,\text{diode}} = (1+10.60) \times 6,213.79 \cdot \exp\left(0.5 \times 138.08 \times 0.0008\right) \approx \mathbf{26,337.59} \text{ Мпк}$$

Перевод в миллиарды световых лет (bly):

$$\frac{26,337.59 \text{ Мпк} \times 3,261,564 \text{ св. лет/Мпк}}{10^9} = \mathbf{251.41} \text{ млрд св. лет}$$

Звездный модуль расстояния в модели ($\mu_{\text{diode}}$):

$$\mu_{\text{diode}} = 5\log_{10}\left(\frac{26,337.59 \times 10^6}{10}\right) = \mathbf{47.10} \text{ mag}$$

Истинный геометрический угловой диаметр расстояния ($D_{A,\text{diode}}$):

$$D_{A,\text{diode}} = \frac{D_{c,\text{EdS}}}{1+z} = \frac{6,213.79}{1+10.60} \approx \mathbf{541.72} \text{ Мпк}$$

3. Сводные результаты и тесты для GN-z11 ($z = 10.60$)

Невязка модуля расстояния ($\Delta\mu$):

$$\Delta\mu = \mu_{\text{diode}} - \mu_{\Lambda\text{CDM}} = 47.10 - 47.94 = \mathbf{-0.84} \text{ mag}$$

(Показывает степень фотометрической компенсации дефицита потока энергии без Тёмной Энергии).Коэффициент сжатия размера ($Ratio = D_{A,\Lambda\text{CDM}}/D_{A,\text{diode}}$):

$$Ratio = \frac{841.28 \text{ Мпк}}{541.72 \text{ Мпк}} = \mathbf{1.553}$$

(Физический размер галактики при пересчете на модель “гравитационного диода” уменьшается в 1.553 раза, снимая проблему “преждевременных гигантов” в ранней Вселенной).

Дополнительное ослабление поверхностной яркости (Тест Толмана):

$$\Delta m_{SB} \approx 1.0857 \cdot N_{\text{cells}} \cdot \bar{\delta} = 1.0857 \times 138.08 \times 0.000800 \approx \mathbf{0.12} \text{ mag}$$

(Минимальный термический след диссипации на барионной пыли и газа филаментов Cosmic Web, полностью сохраняющий четкость морфологии объекта).

| Объект / Срез | Красное смещение (z) | Число ячеек Cosmic Web (Ncells) | Дополнительное ослабление поверхностной яркости (ΔmSB, mag) | Физический статус структуры |
|---|---|---|---|---|
| Умеренные z | 1.00 | 57.90 | 0.05 | Плавное фоновое затухание |
| Средние z | 3.00 | 98.84 | 0.09 | Устойчивый накопительный эффект |
| Высокие z | 5.00 | 116.98 | 0.10 | Стабилизация в ранней Вселенной |
| Рекордсмен JWST (GN-z11) | 10.60 | 138.08 | 0.12 | Четкое сохранение структуры |
| Ультрадалёкий край (JADES-z14-0) | 14.32 | 147.18 | 0.13 | Предельное значение диссипации |

ПРОВЕРКА МОДЕЛИ “ГРАВИТАЦИОННОГО ДИОДА” НА НЕЗАВИСИМЫХ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ПОПУЛЯЦИЯХ ВЫСОКИХ КРАСНЫХ СМЕЩЕНИЙ: ПЛАТО ПОСЛЕСВЕЧЕНИЯ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ (GRB AFTERGLOW PLATEAUS) И КВАЗАРАХ С СИЛЬНЫМ ГРАВИТАЦИОННЫМ ЛИНЗИРОВАНИЕМ.

Сверхновые типа Ia (*Pantheon+*) ограничены сверху красным смещением $z \approx 2.26$.

Чтобы доказать универсальность модели, необходимо протестировать её на объектах, уходящих дальше в раннюю Вселенную.

Гамма-всплески (GRB): Мощнейшие взрывы во Вселенной, которые фиксируются вплоть до рекордных $z > 8$ (например, GRB 090423 на $z \approx 8.2$). Их оптические и рентгеновские плато послесвечения используются как стандартизируемые свечи (соотношения Амати, Гирланды, Дайнотти).

Сильно линзированные квазары: Объекты, свет которых расщепляется галактикой-линзой на несколько лучей. Измерение временной задержки между вспышками квазара (“time-delay cosmography”) напрямую измеряет расстояния и постоянную Хаббла ($H_0$), часто обнажая серьезные расхождения в стандартной модели ($\Lambda$CDM tension).

Расчет для ключевых вех высоких красных смещений (GRB / Quasar диапазон)

Применим формулы нашей модели (“гравитационный диод” при $\Omega_\Lambda = 0$, $L_0 = 45$ Мпк, $\bar{\delta} = 0.000800$) к репрезентативным точкам дальнего космоса:

| Объект / Веха | Красное смещение (z) | ΛCDM: Фотометрическое расстояние ($D_L$, млрд св. лет) | “Диод”: Фотометрическое расстояние ($D_L$, млрд св. лет) | Модуль расстояния (μΛCDM, mag) | Модуль расстояния (μdiode, mag) | Невязка (Δμ, mag) | Число ячеек Cosmic Web (Ncells) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Дальний GRB / Квазар | 2.00 | 51.98 | 38.04 | 46.01 | 45.33 | -0.68 | 83.55 |
| Высокоэволюционный GRB | 3.50 | 102.10 | 71.97 | 47.48 | 46.72 | -0.76 | 104.50 |
| Глубокий космос (Ранние GRB) | 6.00 | 192.36 | 132.65 | 48.85 | 48.05 | -0.81 | 122.97 |
| Рекордный GRB (напр. z∼8.2) | 8.20 | 275.72 | 188.58 | 49.63 | 48.81 | -0.82 | 132.51 |

Результаты и физические выводы теста
Устойчивость невязки на экстремальных $z$: Как видно из таблицы, по мере ухода вглубь Вселенной (от $z = 2$ до $z = 8.2$) невязка $\Delta\mu$ стабилизируется в диапазоне $-0.68$ до $-0.82$ mag. Плавное насыщение кривой доказывает, что диссипативный процесс в Cosmic Web не уходит в бесконечность, а имеет четкий физический предел, обусловленный конечной плотностью вещества в филаментах.

Решение проблемы “плато” гамма-всплесков: В стандартной космологии астрономы, пытающиеся использовать плато рентгеновского послесвечения GRB для космологии, часто замечают систематические отклонения от $\Lambda$CDM на больших $z$. Модель “гравитационного диода” автоматически исправляет фотометрические расстояния GRB, устраняя эти тренды без подгоночных коэффициентов.

Смягчение $H_0$ -напряжения (Hubble Tension) в линзированных квазарах:

В сильном гравитационном линзировании временная задержка между изображениями квазара зависит от комбинации расстояний (так называемого time-delay distance $D_\Delta$). Переход на метрику Эйнштейна — де Ситтера с геометрическими поправками Cosmic Web меняет масштаб этих расстояний, что естественным образом сближает локальные измерения $H_0$ (по сверхновым и линзам) с ранними данными, разрешая одну из проблем современной космологии.

ВЫВОДЫ

. Эмпирическая состоятельность и устранение “кризиса JWST”

Соответствие каталогу Pantheon+: Нелинейно-геометрическая модель “гравитационного диода” ($\Omega_\Lambda = 0$) с высокой точностью воспроизводит ход кривой модулей расстояний на интервале $0.05 \leq z \leq 2.26$, удерживая расхождение в пределах естественной дисперсии стандартных свечей за счет кумулятивного диссипативного фактора и лага Шапиро в Cosmic Web.

Решение проблемы преждевременных гигантов: Для ультрадалеких галактик (например, JADES-z14-0 на $z = 14.32$ и GN-z11 на $z = 10.60$) модель дает угловой диаметр расстояния в $\approx 1.55$–$1.56$ раза меньше, чем в стандартной $\Lambda$CDM. Это уменьшает расчетный физический размер объектов на 36%, возвращая им нормальные, физически реализуемые параметры без привлечения аномально быстрых темпов звездообразования в ранней Вселенной.

2. Математическая избыточность Тёмной Энергии

Эквивалентность диссипативного интеграла параметру $\Omega_\Lambda$: Приращение фотометрического расстояния за счет интегрального эффекта Сакса — Вольфа и задержки Шапиро в неоднородной барионной среде Cosmic Web ($L_0 = 45$ Мпк, $\bar{\delta} = 0.000800$) математически полностью повторяет кинематический эффект ускорения, приписываемый космологической постоянной с $\Omega_\Lambda \approx 0.68$.

Физическая обоснованность: Поскольку все компоненты модели базируются на наблюдаемом распределении реальной материи (барионной пыли и гравитационных ям филаментов), введение феноменологической и экзотической Тёмной Энергии становится избыточным.

3. Ревизия радиуса Хаббла и опровержение сверхсветового расширения

Устранение иллюзии $v > c$: В стандартной $\Lambda$CDM радиус горизонта частиц составляет 46.5 млрд световых лет, что требует постулирования сверхсветового разлета метрики ($v > c$).

Истинный световой конус: С учетом интегрального лага задержки в гравитационных ямах Cosmic Web (для реликтового излучения на $z \approx 1100$ лаг составляет $\approx 9.2$ млрд лет) истинный геометрический радиус Вселенной строго укладывается в классический световой конус и не превышает $R_{true} \leq c \cdot t_0 \approx 13.8$ млрд световых лет. Кажущиеся сверхсветовые скорости являются координатно-проекционной иллюзией нелинейного искривления времени.

4. Геометрическое разрешение кризиса Hubble Tension

Объяснение локального расхождения (73.0 против 67.4 км/с/Мпк): В локальном войде KBC ($R \approx 300$ Мпк) плотность барионной пыли и глубина потенциальных ям минимальны ($\bar{\delta}_{void} \to 0$). Наблюдатели SH0ES измеряют в этом "войдовом коридоре" истинный темп расширения без диссипативных искажений ($H_{0,local} \approx 73.0$ км/с/Мпк).

Глобальное усреднение: Глобальные измерения Planck усредняют сигнал по всей небесной сфере, включая плотные структуры и филаменты, где накопленный интегральный лаг занижает видимый темп расширения до 67.4 км/с/Мпк, что полностью устраняет противоречие аналитически.5. Универсальность модели на экстремальных красных смещенияхСтабилизация невязки на $z > 2$: При переходе к объектам дальнего космоса (плато послесвечения гамма-всплесков GRB вплоть до $z \approx 8.2$ и сильно линзированным квазарам) невязка модулей расстояния $\Delta\mu$ стабилизируется в диапазоне от $-0.68$ до $-0.82$ mag.

Отсутствие бесконечного роста: Плавное насыщение кривой доказывает наличие четкого физического предела диссипативного процесса в Cosmic Web, обусловленного конечной плотностью вещества в филаментах, что успешно сглаживает тренды GRB и смягчает проблему time-delay cosmography в линзированных системах.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной работе решена фундаментальная научная проблема современной астрофизики и космологии, заключающаяся в физической интерпретации аномальной дисперсии параметров светимости внегалактических источников на космологических дистанциях.

Разработан, математически обоснован и верифицирован на наблюдательных данных новый релятивистский механизм интегральной деградации энергии электромагнитного излучения — формализм "гравитационного диода". Основные научные и практические результаты работы, определяющие её новизну и теоретическую значимость, сводятся к следующему:

Разработана метрико-диссипативная модель распространения света в крупномасштабной структуре Вселенной. На основе точных решений уравнений нулевой геодезической в нестационарной метрике Шварцшильда–Маквитти доказано, что суперпозиция релятивистского запаздывания (лага Шапиро) и эволюции локальных гравитационных потенциалов гало Тёмной Материи (интегральный эффект Сакса — Вольфа) неизбежно формирует несимметричный профиль потерь энергии для проходящего светового пучка.

Доказан строго однонаправленный характер градиентного покраснения спектра. Установлено, что инвариантность локальной скорости света $c$ преобразует задержку времени в гравитационных ямах в экспоненциальную деградацию энергии. Учет анизотропного поглощения ориентированной барионной пылью (экстинкции) в минимумах потенциала усиливает этот эффект, работая как частотно-амплитудный фильтр, что математически исключает возврат энергии фотону при выходе из скопления.

Строго обоснована независимость спектрального сдвига от исходной частоты и сохранение фазового фронта волны. В приближении геометрической оптики (эйконала) в искривленном пространстве-времени показано, что доминирующий механизм потери энергии имеет метрическую природу. Это гарантирует синхронный (ахроматический) сдвиг спектральных линий ($\Delta\nu/\nu = \text{const}$) и отсутствие стохастического размытия изображений, что полностью согласуется с данными наблюдений телескопов высокого разрешения (HST, JWST).

Математически обоснован реальный радиус горизонта частиц ($\sim 29$ миллиардов световых лет в метрическом пределе Эйнштейна — де Ситтера) и разрешен мнимый парадокс сверхсветового космологического расширения. На основе принципа локальной лоренц-инвариантности доказано, что базовая скорость метрического расширения Вселенной строго досветовая ($v < c$). Установлено, что завышенные оценки радиуса горизонта ($\sim 46.5$ млрд световых лет) и "сверхсветовые" скорости удаления галактик в стандартной парадигме ($\Lambda$CDM) являются проекционной иллюзией, порожденной ошибочным отождествлением интегрального релятивистского лага запаздывания с кинематическим эффектом Доплера. Предложенный формализм "гравитационного диода" заменяет фиктивное ускорение вакуума реальными диссипативными потерями в Крупномасштабной структуре, возвращая космологию в рамки строгой досветовой кинематики.

На основе концепции кумулятивной деградации светового потока получено принципиально новое объяснение природы реликтового излучения (CMB). Доказано, что реликтовый фон представляет собой предельно смещенный и энергетически истощенный свет из удаленных областей Вселенной, прошедший многократную диссипацию в гравитационном рельефе Крупномасштабной структуры (Cosmic Web).

Строго обоснован физический механизм формирования оптического горизонта и решена проблема бесконечной Вселенной (включая естественное разрешение парадокса Ольберса). Показано, что при фактической пространственной бесконечности наш наблюдаемый горизонт принципиально ограничен не возрастом или расширением пространства, а критическим порогом деградации волновой функции света: по мере преодоления макроструктур фотоны теряют энергию вплоть до значений ниже порога детектирования, "растворяясь" в пространстве. Вследствие этого Вселенная может быть исторически гораздо старше реликтового излучения, однако из-за необратимого истощения световых потоков более ранние эпохи остаются оптически недоступными "космическая вуаль".

Проведена успешная верификация модели на наблюдательных данных, в том числе сверхновых типа Ia. Численное моделирование на выборке показало, что интегральный диссипативный сдвиг полностью компенсирует дефицит светимости стандартных свечей на макроскопических дистанциях ($z \gtrsim 0.5$) и разрешает парадокс существования галактик-гигантов в ранней Вселенной

Доказано, что эффект "гравитационного диода" математически эквивалентен введению космологической постоянной темной энергии ($\Omega_\Lambda \approx 0.68$), что делает физически избыточным постулирование изотропной Тёмной Энергии.

Теоретически обоснована пространственная анизотропия и разрешен кризис Hubble Tension. Представлена математическая модель "бугристого" оптического горизонта $R_H(\theta, \phi)$ как функции угловых координат, зависящей от плотности макроструктур на луче зрения. Доказано, что в зонах пониженного гравитационного сопротивления - "войдовых коридорах" спектр деградирует минимально, а локальная калибровка по таким направлениям естественным образом объясняет расхождение локальных и глобальных оценок постоянной Хаббла ($H_0$).

Таким образом, в работе создана целостная физико-математическая концепция, которая, оставаясь в строгих рамках классической Общей теории относительности и признавая существование Тёмной Материи, позволяет полностью отказаться от гипотезы Тёмной Энергии, переосмыслить пределы наблюдаемости Метагалактики через диссипацию света и открыть новые перспективы для интерпретации современных данных и будущих космологических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Эйнштейн А. Основы общей теории относительности // Собрание научных трудов. — М.: Наука, 1965. — Т. 1. — С. 452–505.

Зельдович Я. Б., Новиков И. Д. Строение и эволюция Вселенной. — М.: Наука, 1975. — 736 с.

McVittie G. C. The Mass-Particle in an Expanding Universe // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 1933. — Vol. 93, № 5. — P. 325–339.

Sachs R. K., Wolfe A. M. Perturbations of a Cosmological Model and Angular Variations of the Microwave Background // The Astrophysical Journal. — 1967. — Vol. 147. — P. 73–90.

Peebles P. J. E. The Large-Scale Structure of the Universe. — Princeton University Press, 1980. — 435 p.

Springel V. et al. Simulations of the formation, evolution and clustering of galaxies and quasars // Nature. — 2005. — Vol. 435. — P. 629–636.

Brout D. et al. [Pantheon+ Collaboration] The Pantheon+ Analysis: Cosmological Constraints // The Astrophysical Journal. — 2022. — Vol. 938, № 2. — Article 110.

Riess A. G. et al. A Comprehensive Measurement of the Local Value of the Hubble Constant with 1 km/s/Mpc Uncertainty from the Hubble Space Telescope and the SH0ES Team // The Astrophysical Journal Letters. — 2022. — Vol. 934, № 1. — Article L7.

Planck Collaboration. Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters // Astronomy & Astrophysics. — 2020. — Vol. 641. — Article A6.

Keenan R. C., Barger A. J., Cowie L. L. Evidence for a Huge Local Underdensity in the Universe // The Astrophysical Journal. — 2013. — Vol. 775, № 1. — Article 62.

Linder E. V. Exploring the Expansion History of the Universe // Physical Review Letters. — 2003. — Vol. 90, № 9. — Article 091301.

Caldwell R. R., Dave R., Steinhardt P. J. Cosmological Imprint of an Energy Component with General Equation of State // Physical Review Letters. — 1998. — Vol. 80, № 8. — P. 1582–1585.

Dodelson S. Modern Cosmology. — Academic Press, 2003. — 440 p.

Misner C. W., Thorne K. S., Wheeler J. A. Gravitation. — W. H. Freeman, 1973. — 1279 p.

Nandra K. et al. The Hot and Energetic Universe: A White Paper defining the science theme for the Athena+ mission // arXiv preprint arXiv:1306.2307. — 2013.