

На правах рукописи



Молчанов Алексей Борисович

**СОПОСТАВЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО
И РЕЛЯЦИОННОГО ПОДХОДОВ К КОСМОЛОГИИ**

Специальность 01.04.02 — Теоретическая физика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва - 2022

Работа выполнена на физическом факультете федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова».

Научный руководитель

Владимиров Юрий Сергеевич,

доктор физико-математических наук,
профессор кафедры теоретической физики
Физического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова

Официальные оппоненты:

Аристов Владимир Владимирович,

доктор физико-математических наук,
профессор, главный научный
сотрудник Вычислительного центра
ФИЦ ИУ РАН

Кречет Владимир Георгиевич,

доктор физико-математических наук,
профессор кафедры физики
МГТУ "СТАНКИН"

Терещенко Дмитрий Александрович,

кандидат физико-математических наук,
инженер главного метрологического
центра ГСВЧ ВНИИФТРИ

Защита состоится 7 октября 2022 г. в 15:30 на заседании диссертационного совета ПДС 0200.004 при Российском университете дружбы народов по адресу: 115419, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3.

С диссертацией можно ознакомиться в УНИБЦ (Научная библиотека) Российского университета дружбы народов по адресу: 115419, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6.

Автореферат разослан 7 сентября 2022 г.

Учёный секретарь диссертационного совета
ПДС 0200.004
кандидат физико-математических наук



С.А. Будочкина

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

После создания общей теории относительности (ОТО) появилась возможность ставить и решать задачу описания Вселенной как единого целого – космология стала активно развиваться на базе строгих математических конструкций. На протяжении всего XX века это развитие сопровождалось появлением ряда проблем, решение которых вместе с новыми открытиями приводило к пересмотру господствовавших ранее представлений. Этот процесс продолжается и по сей день, не смотря на то, что стандартная космологическая модель (Λ CDM) была определена уже два десятилетия назад. Гипотезы, заложенные в её основу, о наличии ненаблюдаемых субстанций, таких как тёмная материя и тёмная энергия, предполагалось подтвердить с опорой на физику элементарных частиц. Однако, к настоящему моменту в этом направлении не было достигнуто существенных успехов. Напротив, выявились новые проблемы, затрагивающие не только результаты экспериментов, но и более глубокие, апеллирующие к основаниям фундаментальной физики.

Так, за последние годы обнаружилось несоответствия между результатами экспериментов, направленных на измерение одних и тех же космологических параметров независимыми методами. Речь идёт прежде всего о так называемой хаббловской напряжённости и о неоднозначности фитирования углового спектра анизотропии реликтового излучения на высших и низших гармониках (что даже привело к недавно выдвинутой гипотезе о ненулевой кривизне пространственного сечения Вселенной). В то же время прямых экспериментальных свидетельств, способных подтвердить или опровергнуть те или иные микроскопические модели тёмной материи и тёмной энергии, до сих пор получено не было.

К более фундаментальным вопросам, которые повлекла за собой стандартная космология, относятся следующие. Во-первых, проблема космологической постоянной, выраженная в том, что плотности энергий физического вакуума в ОТО и квантовой теории поля различаются более, чем на 120 порядков. Во-вторых, проблема начальных значений или, в более современном понимании, проблема точной настройки параметров теории, обеспечивающих эволюцию Вселенной от планковских масштабов до состояния в настоящий момент. Обе эти проблемы находятся на стыке ОТО, описывающей мегамир, и квантовой теории микромира, демонстрируя кардинальные различия в самих основаниях этих теорий, указывая на невозможность совмещения их принципов.

Анализ показал, что названные теории относятся к разным парадигмам: ОТО – к геометрической, а квантовая теория поля, соответственно, – к теоретико-полевой. Первая объединяет категории взаимодействий и пространства-времени в единое искривлённое пространство-время, в котором рассматриваются тела и частицы. Во второй объединяются категории частиц и полей переносчиков взаимодействий, и

их динамика описывается на фоне плоского пространства-времени. Известны попытки совмещения принципов этих парадигм, когда на фоне искривлённого пространства времени формулируется квантовая теория. Попытки пойти обратным путём приводят к известной проблеме квантования гравитации, которая в той же степени фундаментальна, что и названные выше проблемы.

Однако, существует и третья парадигма – реляционная, опирающаяся на категории частиц и отношений между ними, описывающих взаимодействия. Реляционный подход в течении всего XX века оставался в тени, во многом потому что идеи, заложенные в его основания, формулировались Г. Лейбницем и Э. Махом задолго до создания теорий геометрического и теоретико-полевого подходов, и к тому моменту казались устаревшими. Вместе с тем, в течении всего XX века возникали вспышки интереса к этим идеям у таких видных учёных, как А. Фоккер, Я.И. Френкель, Р. Фейнман, Ф. Хойл и другими. В настоящее время на фоне обозначенных проблем интерес к реляционному подходу усиливается: в реляционном ключе высказываются многие зарубежные физики-теоретики: Ли Смолин, К. Ровелли, Б. Грин, Р. Пенроуз и ряд других. В нашей стране развитие реляционного подхода осуществляется в группе Ю.С. Владимирова в продолжение исследований Ю.И. Кулакова, Г.Г. Михайличенко и Г.В. Рязанова.

В современном понимании главные принципы реляционного подхода могут быть сведены к трём составляющим: 1) реляционное понимание природы пространства-времени, 2) описание взаимодействий на основе концепции дальнего действия, 3) принцип Маха. Связь микро- и мегамира устанавливается уже в самих основаниях теории. При этом на первый план выходит задача вывода классических пространственно-временных понятий из более фундаментальных закономерностей, проявляющихся в физике микромира. В этом смысле реляционный подход является альтернативным геометрическому: если в геометрическом основная задача состоит в том, чтобы вывести свойства тел и частиц из понятий искривлённого пространства-времени, то в реляционном, наоборот следует вывести пространственно-временные понятия из свойств частиц.

В рамках реляционного подхода становится возможным по-новому взглянуть на указанные выше проблемы современной космологии и попытаться разрешить их или вовсе обойти. В этом контексте проведённые в настоящей диссертации исследования являются актуальными. Кроме того, проведённая работа вносит вклад в развитие самого реляционного подхода, что благоприятно скажется на решении вопросов, уже не обязательно связанных с космологией.

Степень разработанности темы

Изложенные в настоящей диссертации исследования были проведены под руководством профессора Ю.С. Владимирова и являются продолжением целого ряда работ, выполненных в его группе по данной и смежным тематикам в рамках реляционного подхода. Эти работы ведутся на протяжении нескольких десятков

лет на базе кафедры теоретической физики Физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, а также Института гравитации и космологии (УНИГК) РУДН как самим Ю.С. Владимировым, так и его учениками: С.В. Болоховым, А.В. Соловьёвым, Д.А. Терещенко, И.А. Бабенко и другими. В более ранних исследованиях Ю.И. Кулакова, Г.Г. Михайличенко и В.Х. Льва были заложены основы математического аппарата реляционного подхода: теории систем отношений, которая за несколько десятилетий активно развивалась и сейчас используется в широком кругу задач как для описания элементарных частиц, так и для обоснования космологических эффектов. В последние годы на фоне усилившегося интереса к проблемам фундаментальной физики на базе УНИГК РУДН было организовано пять российских конференций «Основания фундаментальной физики и математики», на которых широко обсуждалась данная тематика.

Цели и задачи

В данной диссертации преследуются две основные цели: 1) сопоставление в контексте космологии двух подходов к описанию физического мира: геометрического, который является превалирующим в решении космологических задач, и менее известного реляционного, который в последние годы становится всё более и более перспективным в фундаментальной физике; 2) развитие реляционного подхода для описания наблюдаемых космологических эффектов на основе современной трактовки реляционных принципов.

Для достижения этих целей были поставлены следующие задачи.

1. Выявление периодов доминирования геометрических и реляционных взглядов на всём протяжении развития современной космологии в XX – начале XXI веков.
2. Реляционное обоснование эффекта космологического красного смещения на базе современных составляющих данного подхода.
3. Реляционное обоснование эффекта космического микроволнового фонового излучения на базе современных составляющих данного подхода.
4. Выделение сходств и различий в обоснованиях наблюдаемых космологических эффектов в геометрическом и реляционном подходах.
5. Сопоставление фундаментальных вопросов, возникающих в двух названных подходах в контексте космологии, и возможных способов их решения.

Научная новизна

В настоящей диссертации были получены следующие новые результаты. Во-первых, предложена периодизация процесса развития современной космологии с разделением на семь этапов, соответствующих преобладанию геометрического и возрождению реляционного подходов. Во-вторых, приведено реляционное обосно-

вание эффекта космологического красного смещения, на основе реляционных принципов получен закон Хаббла, а также вычислены параметр Хаббла и параметр замедления. Кроме того, выдвинута реляционная интерпретация хаббловской напряжённости. В-третьих, приведено реляционное обоснование космического микроволнового фонового излучения, и на основе реляционных принципов рассчитана температура излучения, регистрируемого земным наблюдателем. Наконец, получены предварительные результаты по постановке и решению задачи вывода классических расстояний, которая возникает в реляционном подходе.

Теоретическая и практическая значимость

Главный фактор, формирующий теоретическую и практическую значимость полученных в диссертации результатов состоит в том, что выведенные закономерности и рассчитанные космологические параметры были получены в предположении об отсутствии ненаблюдаемых видов материи. Поскольку численные результаты соответствуют наблюдаемым в экспериментах, проведённое исследование позволяет обойти ряд фундаментальных проблем стандартной космологии. Практической ценностью также обладают результаты численного решения частной задачи вывода классических расстояний: предложен программный алгоритм, который в дальнейшем может быть расширен на более общие случаи.

Методы исследования

Поставленные задачи были решены с опорой на: анализ теоретических исследований, проведённых отечественными и зарубежными авторами по космологии в XX – начале XXI веков, математический аппарат ОТО вместе с методами задания систем отсчёта, математический аппарат теории систем отношений, а также методы вычислительного программирования.

Положения, выносимые на защиту

В диссертации обосновываются и выносятся на защиту следующие основные положения:

1. Выявлены семь основных этапов развития современной космологии на протяжении XX – начала XXI веков с чередованием идей геометрического и реляционного подходов.

2. Предложено реляционное обоснование эффекта космологического красного смещения на основе вкладов энергий и импульсов испущенного, но не поглощённого электромагнитного излучения в энергии и импульсы всех возможных наблюдаемых поглотителей.

3. Предложено реляционное обоснование наблюдаемого космического микроволнового фона на основе вкладов энергий испущенного, но не поглощённого электромагнитного излучения в энергию регистрирующего прибора.

Достоверность результатов

Численные результаты, полученные в диссертации следует считать достоверными и обоснованными, поскольку все вычисления производились с опорой на достоверные современные модельно-независимые наблюдательные данные. При этом было произведено сравнение полученных значений космологических параметров (параметр Хаббла, параметр замедления, температура космического микроволнового фона) с современными значениями в рамках стандартной космологической модели, продемонстрировано совпадение в пределах погрешностей.

Предложенную периодизацию развития современной космологии также следует считать научно обоснованной, так как она опирается напрямую на факты, изложенные в оригинальных работах многочисленных авторитетных учёных.

Апробация

Основные результаты диссертации докладывались на ряде российских и международных конференций: на II, III, IV и V Российских конференциях по основам фундаментальной физики и математики (ОФФМ-2018, Москва, 2018; ОФФМ-2019, Москва, 2019; ОФФМ-2020, Москва, 2020; ОФФМ-2021, Москва, 2021), на XVII Российской конференции по гравитации, космологии и астрофизике (RUSGRAV-17, Санкт-Петербург, 2020), на XVI Международной конференции по финслеровым обобщениям теории относительности (FERT-2020, Фризино, 2020), на XXIX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных по фундаментальным наукам «Ломоносов-2022» (Москва, 2022) и на Обще-университетской конференции «Ломоносовские чтения» в МГУ (Москва, 2022). Кроме того, неоднократно результаты докладывались и обсуждались на заседаниях семинаров «Основания фундаментальной физики» (Российского гравитационного общества) и «Физика высоких энергий», работающих на Физическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова.

Публикации

Результаты диссертации опубликованы в 4 научных статьях журналов перечня ВАК, две из которых входят в индексы Scopus и WoS, а также в 6 тезисах и материалах научных конференций.

Структура и объём диссертации

Настоящая диссертация состоит из Введения, четырёх глав основного содержания, Заключения и Приложения. Список литературы содержит 116 источников. Объём рукописи составляет 115 страниц.

II. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертации даётся подробный исторический обзор развития современной космологии в XX и начале XXI века. Предложена периодизация этого процесса на семь этапов в соответствии с преобладанием геометрических и возрождением реляционных взглядов. Здесь будут приведены ключевые идеи для каждого этапа.

Первый этап начинается с появлением статических космологических моделей Эйнштейна и де Ситтера в 1917 году. В первой модели Эйнштейна одним из основных положений был принцип Маха, выраженный в том, что любому локальному изменению массы Вселенной соответствовало бы глобальное изменение её радиуса. Эта связь записывалась через космологическую постоянную Λ и была реализацией реляционных идей в космологии:

$$\rho = \frac{2\Lambda}{kc^2}; \quad \Lambda = \frac{1}{R^2}. \quad (1)$$

Второй этап связан с получением нестационарных решений А.А. Фридманом в 1922-1924 годах. Эволюция радиуса мира или масштабного отрезка подчинялась уравнению

$$\frac{1}{c^2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 = \frac{A - R + \frac{\Lambda}{3c^2} R^3}{R}. \quad (2)$$

К этому же этапу относятся модели Леметра и открытие закона Хаббла. На данном этапе доминируют геометрические взгляды.

Третий этап сопоставляется возрождению реляционных идей в космологии на фоне неудач с оценкой возраста расширяющейся Вселенной. На рубеже 1930-1940-х годов в работах Эддингтона и Дирака получила развитие гипотеза больших чисел. Эддингтоном было найдено соотношение между радиусом наблюдаемой Вселенной и классическим радиусом электрона

$$m_e = \frac{e^2 \sqrt{N}}{c^2 R}, \quad (3)$$

а Дирак ввёл зависимость фундаментальных констант от возраста Вселенной.

Четвёртый этап, начавшийся во второй половине 1950-х, снова соответствует укреплению позиций геометрического подхода с переоценкой возраста Вселенной Сэндиджем и повышению интереса к модели горячей Вселенной Гамова. Также к нему следует отнести официальное открытие реликтового излучения в 1967 году.

Пятый этап представляет собой очередное возрождение реляционных идей на фоне трудностей с описанием начальных состояний Вселенной и согласованию их с решениями Фридмана. Здесь обращается внимание на развитие модифицированных теорий гравитации типа Бранса—Дике и Хойла—Нарликара. В последней явным образом учитывались дальноедействие и принцип Маха.

Шестой этап снова демонстрирует доминирование идей геометрической парадигмы. После создания теории космической инфляции в 1980-х, открытия анизотропии реликтового излучения и ускоренного расширения Вселенной к концу 1990-х была создана стандартная космологическая модель Λ CDM на основе одного из решений Фридмана.

Седьмой этап начинается в новое время с накоплением проблем в стандартной космологии и фундаментальной физике. По всей видимости он снова сопровождается подъёмом интереса к реляционным идеям. К нему можно отнести разработанное в конце 1990-х годов В.Л. Рвачёвым неархимедово исчисление, которое развивает реляционные идеи П.К. Рашевского, а также ряд работ других авторов, в том числе и настоящее исследование.

Во второй главе диссертации обсуждается современное состояние и проблемы космологии в геометрическом подходе. Прежде всего, в §2.1 формулируются основные приближения: космологический принцип, приближение сплошной среды, условие вмороженности материи в пространство и описываются методы задания систем отсчёта. Далее в §2.2 при помощи метода кинеметрических инвариантов вводится сопутствующая система отсчёта, и в ней записываются уравнения Фридмана:

$$-\frac{3}{a^4}(\ddot{a}a - \dot{a}^2) = \frac{\kappa}{2}(\rho c^2 + 3p) - \Lambda, \quad (4)$$

$$\frac{1}{a^4}(\ddot{a}a + \dot{a}^2) + B(x^0) = \frac{\kappa}{2}(\rho c^2 - p) + \Lambda. \quad (5)$$

где $B(x^0)$ – функция времени-подобной координаты, задаваемая выражением ${}^3R_{ik} = B(x^0)h_{ik}$, а $a(x^0)$ – масштабный фактор.

Затем в §2.3 приводятся основные наблюдательные данные и геометрическое обоснование космологических эффектов: крупномасштабной структуры Вселенной, космологического красного смещения, реликтового излучения. На основе современных данных в §2.4 обосновывается Λ CDM модель и демонстрируется, что зависимость масштабного фактора от времени имеет вид

$$a(\tau) \sim \left(\sinh \frac{3}{2} \sqrt{\frac{\Lambda}{3}} c\tau \right)^{2/3}. \quad (6)$$

Из уравнений Фридмана получается уравнение энергий

$$\Omega_b + \Omega_c + \Omega_\Lambda = 1, \quad (7)$$

определяющее состав Вселенной, согласно модели.

Наконец, в §2.5 обсуждаются открытые вопросы стандартной космологии в рамках геометрического подхода: тёмная энергия и проблема космологической постоянной, природа тёмной материи, напряжённость Хаббла, проблема горизонта и аномалии реликтового излучения. Показывается, что корни этих проблем име-

ют межпарадигмальный характер, и для возможного их разрешения потребуется посмотреть на космологию с позиции третьей, менее известной, реляционной парадигмы.

Третья глава диссертации знакомит читателя с основными принципами реляционного подхода к описанию пространства-времени и физических взаимодействий. В §3.1 обсуждаются три основные составляющие реляционного подхода: 1) реляционное понимание природы пространства-времени, 2) описание взаимодействий в рамках концепции дальнего действия и 3) обусловленность локальных свойств объектов глобальными свойствами окружающего мира (принцип Маха). Показывается их взаимосвязь и формулируется основная задача подхода: вывод классических пространственно-временных представлений из более глубоких закономерностей микромира в рамках теории систем отношений.

Далее в §3.2 излагаются основы унарной теории вещественных отношений (на одном множестве элементов). Рассматриваются два вида законов: для точек-событий в координатном пространстве и для токов в пространстве скоростей. Первый вид закона позволяет переформулировать классические геометрические понятия через отношения, в пространстве-времени Минковского, он записывается в виде равенства нулю определителя Кэли—Менгера для произвольных 6 точек-событий. Второй закон в этом случае представляется как равенство нулю определителя Грама для произвольных 5 токов.

В §3.3 приводятся основные понятия бинарных систем комплексных отношений (БСКО). Для систем на двух множествах элементов справедливы аналогичные законы в виде равенств нулю определителей Грама (если он строится на r элементах из первого множества и r элементах из второго, БСКО обозначается рангом (r, r) и Кэли—Менгера (БСКО ранга $(r, r; a)$). Сами парные отношения выражаются через параметры элементов i^l, α^l следующим образом

$$u_{i\alpha}^{(r,r)} = \sum_{l=1}^{r-1} i^l \alpha^l, \quad (8)$$

$$a_{i\alpha}^{(r,r;a)} = \sum_{l=1}^{r-2} i^l \alpha^l + i_0 + \alpha_0. \quad (9)$$

В §3.4 рассматривается БСКО ранга $(3,3)$ и показывается, что её элементами являются двухкомпонентные спиноры, они сопоставляются левым и правым компонентам заряженных элементарных частиц (лептонов). С использованием сопряжённых элементов БСКО ранга $(3,3)$, характеризующихся комплексно-сопряжёнными параметрами, из двухкомпонентных спиноров можно построить изотропные четырёхмерные векторы с сигнатурой пространства-времени Минковского. Таким образом в рамках данной БСКО можно описывать акты испускания и поглощения электромагнитного излучения. Это описание играет ключевую роль в дальнейшем реляционном обосновании космологических эффектов.

В §3.5 рассматривается БСКО минимального ранга (2,2). Преобразования перехода к новым базисным элементам БСКО ранга (r, r) , сохраняющие порядок их параметров, имеют вид конформных преобразований $i'^s = C_i i^s$, так что сами отношения преобразуются как $u'_{i\alpha} = C_i C_\alpha u_{i\alpha}$. Комплексные коэффициенты C_i и C_α принадлежат БСКО ранга (2,2), причём, можно показать, что их произведение имеет единичный модуль, а фаза должна быть вещественной и зависеть от характеристик исходной системы ранга (r, r) . В случае $r = 3$ такой характеристикой естественно считать изотропный вектор k_μ . Таким образом, закон преобразования отношений БСКО ранга (3,3) представляет собой принцип Гюйгенса или одно из правил квантования Фейнмана:

$$u'_{i\alpha} = C_i C_\alpha u_{i\alpha} = e^{ik_\mu \tilde{x}^\mu} u_{i\alpha}. \quad (10)$$

Следует однако подчеркнуть, что записанные здесь коэффициенты \tilde{x}^μ , обеспечивающие инвариантность фазы, перейдут в классические координаты только после согласования всех возможных фазовых вкладов, характеризующих испускаемое и поглощаемое излучение всеми частицами рассматриваемой системы. Такая процедура в конечном счёте позволяет получить классические расстояния между частицами и промежутки времени между актами излучения. Этот вопрос подробно рассматривается в Приложении.

В четвёртой главе диссертации на основании реляционного описания электромагнитного излучения рассматриваются основные наблюдаемые космологические эффекты. Вселенная понимается как система большого числа излучателей и поглотителей. Ключевым положением, вытекающим из описания излучения в рамках БСКО, является то, что характеристики испускаемого излучения, такие как энергия и импульс, распределяются по отношениям между излучателем и всеми возможными поглотителями. От этих характеристик зависят пространственно-временные свойства системы, в частности, шкала расстояний.

В §4.1 рассматривается первое следствие из этого положения: все объекты с точки зрения любого наблюдателя должны восприниматься им как обладающие некоторой дополнительной энергией (и импульсом). Следует проверить, не совпадает ли плотность этой энергии с плотностью энергии наблюдаемого хаббловского расширения. Данное сравнение было проведено в области линейности закона Хаббла, соответствующей красным смещениям $z < 0.1$, поскольку в расчётах используются объёмы пространства, взятые в одном случае в сопутствующих, а в другом – в собственных координатах. Оказалось, что обе плотности энергии имеют близкие значения порядка 10^{-33} г/см³. Этот факт позволяет считать, что в реляционном подходе эффект космологического красного смещения обусловлен вкладами испущенного, но не поглощённого излучения.

Для того, чтобы получить сам закон Хаббла, следует рассматривать импульсные вклады в собственных координатах наблюдателя. Если поглотитель находится на расстоянии от наблюдателя, то его импульс будет определяться только вкла-

дами излучателей внутри сферы радиуса c с центром в точке наблюдения. Кроме того, суммарный импульс при однородном распределении излучателей будет направлен вдоль вектора от точки наблюдения к наблюдаемому объекту. Это позволяет записать итоговую радиальную компоненту импульса поглотителя в виде интеграла

$$p_r = \frac{4\rho_{rad}}{c} \int_0^\pi \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^r \frac{r'^2 \sin \theta (r - r' \sin \theta \cos \varphi)}{\sqrt{r^2 - 2rr' \sin \theta \cos \varphi + r'^2}} dr' d\theta d\varphi \equiv \frac{\rho_{rad}}{c} I(r), \quad (11)$$

где ρ_{rad} – плотность энергии излучения в г/см^3 . После интегрирования это выражение будет пропорционально r^3 , в то время как вероятность поглощения – обратно пропорциональна r^2 . От этого выражения можно перейти к закону Хаббла для скоростей астрономических объектов, если указать плотность материи ρ и характерный размер объекта Δr , которому передаётся импульс

$$v(r) = \frac{\rho_{rad}}{4\pi c \rho \Delta r} \frac{I(r)}{r^2}. \quad (12)$$

где первый множитель пропорционален параметру Хаббла. Поскольку каждый реальный поглотитель находится в гравитационно-связанной системе, импульсы будут передаваться всей системе, а именно скоплению галактик. Поэтому для вычислений была взята плотность только наблюдаемой материи, а величина Δr была подобрана в соответствии с измеренным по методу стандартных свеч значением параметра Хаббла ($H_0 = 74.03 \pm 1.42 \frac{\text{км/с}}{\text{Мпк}}$) и составила 1.07 ± 0.02 Мпк, что сопоставимо с характерными размерами галактических скоплений. Такой подход сразу позволяет указать возможную причину хаббловской напряжённости: средний характерный размер скоплений, содержащих стандартные свечи, не обязан в точности совпадать со средним значением по всей наблюдаемой Вселенной.

В §4.2 рассматривается второе следствие из приведённого в начале главы положения. Поскольку шкала расстояний может быть неравномерной, следует проанализировать вклад такой неравномерности в космологическое красное смещение. В диссертации исследована гипотеза Рашевского—Рвачёва, согласно которой арифметические операции в координатном пространстве определяются так же, как и в пространстве скоростей, а в качестве предельного значения выбирается некоторое расстояние R_0 . Соответствующий вклад в красное смещение получается квадратичным в главной асимптотике:

$$z = \frac{1}{1 - r_*^2/R_0^2} - 1 \approx \frac{r^2}{R_0^2}, \quad (13)$$

где $r_* \in (0, R_0)$, а $r \in (0, +\infty)$, причём $r_* \approx r$ при $r_* \ll R_0$. Расчётное значение параметра замедления q_0 , характеризующего квадратичную часть закона Хаббла, совпало с экспериментальным ($q_0 = -0.53_{-0.13}^{+0.17}$), когда в качестве R_0 был выбран гравитационный радиус наблюдаемой Вселенной.

В §4.3 обсуждается реляционная интерпретация космического микроволнового фона. Ещё одно следствие состоит в том, что в системе большого числа излучателей и поглотителей наблюдатель должен воспринимать самого себя обладающим некоторой дополнительной энергией. Иначе говоря, при условии баланса испускаемого и поглощаемого излучения регистрирующий прибор должен находиться в термодинамическом равновесии с этим излучением. Температура регистрируемого излучения может быть найдена по закону Стефана—Больцмана после расчёта полной освещённости от всех звёзд

$$E_s = \int dN \frac{\langle L \rangle}{4\pi r^2} \cos \theta \left(\frac{1}{\frac{r}{R_H} + \frac{1}{1 - r^2/R_0^2}} \right) \cong 0.13\rho \frac{\langle L \rangle}{\langle M \rangle} R_0, \quad (14)$$

где R_H – хаббловский радиус, а $\langle L \rangle$ и $\langle M \rangle$ – средняя светимость и средняя масса звезды. По современным данным известны следующие соотношения масс и светимостей:

$$\begin{aligned} \frac{L}{L_\odot} &\approx 0,23 \left(\frac{M}{M_\odot} \right)^{2,3}, & M < 0,43M_\odot; \\ \frac{L}{L_\odot} &= \left(\frac{M}{M_\odot} \right)^4, & 0,43M_\odot < M < 2M_\odot; \\ \frac{L}{L_\odot} &\approx 1,5 \left(\frac{M}{M_\odot} \right)^{3,5}, & 2M_\odot < M < 20M_\odot; \\ \frac{L}{L_\odot} &\approx 3200 \frac{M}{M_\odot}, & M > 20M_\odot. \end{aligned} \quad (15)$$

По известной функции распределения звёзд по массам можно рассчитать вклад в E_s каждого из четырёх случаев. Однако, выбор этой функции является одной из нерешённых проблем современной астрофизики, поэтому вычисления были проведены для двух наиболее часто используемых и наиболее разных по значениям функций Э. Солпитера и П. Крупы. Обе имеют вид $dN(M) \sim M^{-\alpha} dM$, но различаются показателем α в разных интервалах масс. Таким образом, получается допустимый интервал регистрируемых температур:

$$2,17 \text{ K} < T < 6,03 \text{ K}, \quad (16)$$

он содержит в себе современное наблюдаемое значение $T = 2.72548 \pm 0.00057 \text{ K}$.

Далее в §4.4 и §4.5 рассматривается связь использованной шкалы расстояний с реляционной интерпретацией модифицированной ньютоновской динамики, а также с метрикой Коттлера в геометрическом подходе.

В приложении иллюстрируется процедура вывода классических расстояний в реляционном подходе на примере системы конечного числа излучателей и поглотителей, имеющих спектры атомов водорода, и обсуждаются возможные причины возникновения неравномерности в космологической шкале расстояний.

III. ОСНОВНЫЕ ИТОГИ ИССЛЕДОВАНИЯ

При сопоставлении геометрического и реляционного подходов к космологии можно выделить следующие особенности.

1. Прежде всего, как продемонстрировано в первой главе, на протяжении всего XX века в космологии были периоды усиления интереса к реляционным идеям при ослаблении позиций геометрического подхода. Выделяется семь этапов развития этой области фундаментальной физики, на каждом из которых либо геометрический подход занимал место доминирующего, либо возрождались реляционные идеи. Причём переход к реляционным идеям в каждом случае сопровождался накоплением проблем в геометрическом подходе. В настоящее время эта ситуация повторяется, поэтому исследования, проведённые в рамках настоящей работы представляют интерес.

2. Эффект космологического красного смещения в геометрическом подходе связан с увеличением масштабного фактора со временем, что принято интерпретировать реальным расширением Вселенной. Причинами такого расширения являются начальные условия (Большой взрыв) и наличие ненаблюдаемой тёмной энергии, соответствующей вкладу космологической постоянной. В реляционном подходе эффект красного смещения оказывается обусловленным вкладами энергии испущенного, но не поглощённого излучения. Влияние этих вкладов тоже может быть интерпретировано как расширение, однако более естественной для реляционного подхода является идея, что испущенное, но не поглощённое излучение приводит к формированию таких пространственно-временных отношений, которые соответствуют неравномерной шкале расстояний. Эта неравномерность интерпретируется как эффект космологического красного смещения. Следуя этим идеям, удалось обосновать обобщённый закон Хаббла и произвести оценки космологических параметров, которые совпадают с данными наблюдений и при этом не требуют введения в теорию ненаблюдаемых видов материи.

3. Космический микроволновый фон в геометрическом подходе представляется как своеобразное "эхо" Большого взрыва: излучение, испущенное в момент рекомбинации первичной плазмы, наступивший примерно через 380 000 лет после Большого взрыва. Моделирование поведения первичной плазмы позволило теоретически предсказать вид углового спектра неоднородностей космического микроволнового фона. Этот результат является одним из центральных в современной космологии. В рамках реляционного подхода пока был обоснован лишь сам факт наличия фонового излучения, и это обоснование полностью отличается от принятого в геометрическом подходе. В реляционном подходе этот эффект так же, как и красное смещение, связан со вкладами испущенного излучения. Но в этом случае он обусловлен воздействием этих вкладов на наблюдателя. Вклады создаются всеми излучающими объектами во Вселенной. Исходя из данных соображений удалось получить оценку температуры микроволнового фона.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах Scopus, WoS

1. Molchanov A.B. The Hubble law: its relational justification and the Hubble tension // *Gravitation and Cosmology*, 2022, Vol. 28, No. 2, pp. 133-138.
2. Molchanov A.B. Temperature of interstellar space revisited by relational approach // *Gravitation and Cosmology*, 2020, Vol. 26, No. 1, pp. 70-74.

Публикации в журналах перечня ВАК

3. Молчанов А.Б. Космический микроволновой фон в реляционном подходе // *Пространство, время и фундаментальные взаимодействия*. 2019. № 28. С. 79-86.
4. Молчанов А.Б. Реляционный подход к космологии // *Метафизика*. 2018. №1 (27). С. 36-42.

Публикации в сборниках трудов и тезисов научных конференций

5. Молчанов А.Б. Сопоставление геометрического и реляционного подходов к космологии // *Научная конференция "ЛОМОНОСОВСКИЕ ЧТЕНИЯ". Секция физики.* – Москва: Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2022, сс. 91-93.
6. Молчанов А.Б. Космологическое красное смещение и напряжённость Хаббла в реляционном подходе // *XXIX Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам "Ломоносов-2022". Секция "Физика".* – Москва: Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2022, сс. 445-446.
7. Молчанов А.Б. Принцип Маха и космологическое красное смещение в реляционной парадигме // *Основания фундаментальной физики и математики: материалы V Российской конференции (ОФФМ-2021)* / под ред. Ю.С. Владимирова, В.А. Панчелюги. – Москва: РУДН, 2021, сс. 27-32.
8. Молчанов А.Б. Принцип Маха и понятие длины в реляционном подходе // *Основания фундаментальной физики и математики: материалы IV Российской конференции (ОФФМ-2020)* / под ред. Ю.С. Владимирова, В.А. Панчелюги. – Москва: РУДН, 2020, сс. 38-41.
9. Молчанов А.Б. Декомпактификация расстояний в реляционном подходе // *Материалы XVI Международной конференции "Финслеровы обобщения теории относительности" (FERT-2020).* – Москва: 11-й формат, 2020, сс. 149-152.
10. Молчанов А.Б. Космологический наблюдатель в реляционном подходе // *Основания фундаментальной физики и математики: материалы III Российской конференции (ОФФМ-2019).* – Москва: РУДН, 2019, сс. 49-51.

МОЛЧАНОВ Алексей Борисович

Сопоставление геометрического и реляционного подходов к космологии

Исследованы проявления принципов геометрической и реляционной парадигм в космологии. Выявлены семь этапов развития современной космологии с начала XX века по настоящее время, на каждом из которых либо доминировали геометрические идеи, либо возрождались реляционные. Проанализировано современное состояние и проблемы стандартной космологической модели, показано, что они имеют фундаментальный, межпарадигмальный характер.

В рамках реляционного подхода на основе принципов бинарной предгеометрии получено обоснование эффекта космологического красного смещения. Получен закон Хаббла и вычислены параметр Хаббла и параметр замедления без введения ненаблюдаемых видов материи. Также в рамках реляционного подхода найдено обоснование космического микроволнового фонового излучения. Сформулировано условие, при котором его спектр является чернотельным. На основе современных данных о соотношениях масса-светимость и о распределениях звезд по массам вычислена температура фонового излучения. Проведено сопоставление теоретических результатов, описывающих основные наблюдаемые космологические эффекты в геометрическом и реляционном подходах.

MOLCHANOV Aleksei Borisovich

Comparison of geometric and relational approaches to cosmology

Manifestations of geometric and relational paradigm principles in cosmology are studied. There are identified seven stages in the development of modern cosmology from the beginning of the 20th century to the present time, at each of which either geometric ideas dominated or relational ideas were revived. The current state and problems of the standard cosmological model are analyzed, it is shown that they have a fundamental, inter-paradigm essence.

A substantiation of the cosmological redshift effect is obtained in the framework of the relational approach, based on the principles of binary pregeometry. The Hubble law is obtained, the Hubble parameter and the deceleration parameter are calculated without introducing unobservable types of matter. A justification for the cosmic microwave background radiation was found, also within the framework of the relational approach. A condition is formulated under which it has a black body spectrum. The temperature of the background radiation is calculated using the modern data on the mass-luminosity relations and mass distributions of stars. The theoretical results, which describe the main observed cosmological effects in geometric and relational approaches, are compared.