ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 24.2.306.01 НА БАЗЕ
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Иркутский государственный университет»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации
по диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

аттестационное дело №_____
решение диссертационного совета
от «23» сентября 2026 г. №12

О присуждении Панасенко Любови Алексеевне, гражданке РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование влияния эффекта Герценштейна на спектр реликтовых гравитационных волн» по специальности 1.3.3 – Теоретическая физика принята к защите 14 мая 2026 г. (протокол № 4) диссертационным советом Д 24.2.306.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (664003, г. Иркутск, бульвар Гагарина, д. 20, приказ Рособрнадзора о создании диссертационного совета № 1634–894 от 13.07.2007 г.).

Соискатель — Панасенко Любовь Алексеевна, 7 июня 1997 года рождения, в 2021 году окончила Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по специальности «Физика» с присвоением квалификации «Магистр». С 2021 по 2024 г.г. проходила обучение в очной аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего

образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» по направлению подготовки 1.3.3 – Теоретическая физика.

Работает в должности младшего научного сотрудника в лаборатории космологии и физики элементарных частиц физического факультета федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (ФГАОУ ВО НГУ). Диссертация была подготовлена в рамках аспирантуры.

Диссертация выполнена в лаборатории космологии и физики элементарных частиц физического факультета ФГАОУ ВО НГУ.

Официальные оппоненты:

Рамазанов Сабир Рамазанович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института теоретической и математической физики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, г. Москва;

Арбузов Андрей Борисович, доктор физико-математических наук, начальник сектора №5 Отдела теории фундаментальных взаимодействий Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, **дали положительные отзывы на диссертацию.**

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (ФГАОУ ВО КФУ), г. Казань, **в своем положительном отзыве**, утвержденном первым проректором – проректором по научной деятельности ФГАОУ ВО КФУ Таюрским Дмитрием Альбертовичем, подписанным доктором физико-математических наук, заведующим кафедрой теории относительности и гравитации Института физики ФГАОУ ВО КФУ Сушковым Сергеем Владимировичем, указала, что диссертация является самостоятельным законченным научным

исследованием, в рамках которого решена научная проблема, связанная с исследованием влияния эффекта Герценштейна — перехода гравитационных волн в электромагнитные под действием космологического магнитного поля — на спектр реликтовых гравитационных волн, а также влияния конверсии гравитационных волн в скалярные метрические возмущения при прохождении асферичного коллапсирующего облака на этапе формирования структур во Вселенной. Результаты диссертации являются новыми и обладают научной ценностью. Научная новизна диссертации заключается в том, что впервые получена система уравнений для эффекта Герценштейна на фоне произвольного искривленного непустого пространства-времени и решена эта система на фоне метрики Фридмана-Леметра-Робертсона-Уокера, тогда как в работах других авторов система уравнений строилась на фоне плоского пространства-времени с метрикой Минковского; впервые выполнена оценка влияния данного эффекта на спектр реликтовых гравитационных волн; впервые рассмотрено изменение амплитуды реликтовых гравитационных волн вследствие конверсии гравитационных волн в скалярные возмущения метрики при прохождении через асферичное коллапсирующее облако, причем в отличие от предшествующих работ других авторов, рассматривавших смешивание тензорных и скалярных возмущений метрики только в случаях анизотропной космологии в целом, в данной работе не требуется отступления от общепринятой космологической модели ΛCDM. Полученные результаты позволяют уточнить ограничения на амплитуду реликтовых гравитационных волн, приблизиться к выбору модели инфляции и повысить точность предсказаний их детектируемости, а полученная система уравнений для эффекта Герценштейна на фоне произвольного пространства-времени может быть применена для анализа конверсии в окрестности астрофизических объектов (магнетаров, нейтронных звезд, черных дыр), что позволит оценить возможность регистрации фотонов и тем самым экспериментально обнаружить сам эффект Герценштейна, до сих пор не наблюдавшийся. Достоверность полученных в диссертационной работе результатов не

вызывает сомнений, поскольку они получены с использованием общепринятых и хорошо проверенных методов физики элементарных частиц и эйнштейновской теории гравитации, а исследуемые уравнения в предельных случаях совпадают с результатами, ранее полученными другими авторами; кроме того, материалы диссертации опубликованы в рецензируемых изданиях и неоднократно обсуждались на семинарах и конференциях.

Диссертационная работа Панасенко Любови Алексеевны «Исследование влияния эффекта Герценштейна на спектр реликтовых гравитационных волн», полностью соответствует пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Панасенко Любовь Алексеевна, заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – Теоретическая физика.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Arbuzova, E. V. On Graviton Propagation in Curved Space-Time Background / E. V. Arbuzova, A. D. Dolgov, L. A. Panasenko // J. Exp. Theor. Phys. — 2022. — Vol. 135, no. 3. — P. 304—311. — DOI: 10.1134/S1063776122090126. — arXiv: 2011.07594 [gr-qc].

2. Panasenko, L. Gravitational Waves over Arbitrary Background / L. Panasenko // Moscow Univ. Phys. Bull. — 2022. — Vol. 77, no. 2. — P. 336—337. — DOI: 10.3103/S0027134922020746.

3. Dolgov, A. D. Graviton to Photon Conversion in Curved Space-Time and External Magnetic Field / A. D. Dolgov, L. A. Panasenko, V. A. Bochko // Universe. — 2024. — Vol. 10, no. 1. — P. 7. — DOI: 10 . 3390 / universe10010007. — arXiv: 2310.19838 [gr-qc].

4. Arbuzova, E. V. Opening of New Windows to the Early Universe by Means of Multi-Messenger Astronomy (Brief Review) / E. V. Arbuzova, K. A. Dolgikh, A. D. Dolgov [et al.] // JETP Lett. — 2024. — Vol. 119, no. 7. — P. 485—494. — DOI: 10.1134/S0021364024600629.

5. Панасенко, Л. А. Конверсия гравитационных волн в электромагнитные под действием космологического магнитного поля на фоне вселенной Фридмана / Л. А. Панасенко, А. Д. Долгов // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. — 2024. — вып. 1(46) — С. 84-89.

6. Panasenko, L. Relic Gravitational Wave Conversion into Photons in the Cosmological Magnetic Field / L. Panasenko // Physics of Particles and Nuclei Letters. — 2024. — Aug. — Vol. 21. — P. 590—592. — DOI:10.1134/S1547477124700675.

7. Panasenko, L. A. Conversion of high-frequency relic gravitational waves into photons in cosmological magnetic field / L. A. Panasenko, A. O. Chetverikov // Eur. Phys. J. Plus. — 2024. — Т. 139, № 12. — С. 1087. — DOI: 10.1140/epjp/s13360-024-05882-w. — arXiv: 2409.07063 [gr-qc].

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

В отзыве официального оппонента **Рамазанова Сабира Рамазановича** в качестве замечаний указано:

1. Список литературы выглядит несколько неполным. Как уже было отмечено выше, исследование приложений эффекта Герценштейна-это одно из перспективных научных направлений на данный момент, и данной теме посвящено достаточно много статей, часть из которых имело бы смысл упомянуть. Например, у Валери Домке (Valerie Domcke), Асуки Ито (Asuka Ito) и их коллег есть исследования эффекта Герценштейна в первичных магнитных полях, в магнитных полях пульсаров, в галактических магнитных полях и т.д. Также в литературе имеются предложения по поиску гравитационных волн в наземных условиях с использованием магнитных полей, созданных в лаборатории, которые аналогичны поиску аксионов и аксионоподобных частиц; им тоже посвящено достаточно много литературы. Тем не менее хочу отметить, что расширение литературы носит скорее рекомендательный характер: как уже упоминалось выше, в диссертации Любови Алексеевны в основном изучаются низкочастотные гравитационные

волны, а в литературе эффект Герценштейна обычно обсуждается в контексте высокочастотных гравитационных волн.

2. В диссертации не хватает детального и самосогласованного анализа коэффициента преломления электромагнитной волны при ее прохождении через первичную плазму. В какой-то степени исследуется поправка в коэффициент преломления света за счет петлевой поправки Эйлера-Гейзенберга, но мало внимания уделено исследованию рассеяния фотонов на свободных электронах (которые точно присутствовали в первичной плазме до эпохи рекомбинации). Тут стоит отметить, что автор поднимает вопрос о необходимости подобного исследования в разделе 4.5, но указывает, что учет рассеяния на электронах требует отдельного деликатного анализа.

3. Указано, что при больших магнитных полях, характерных для ранней Вселенной, поправка Эйлера-Гейзенберга становится очень большой и необходим учет высших поправок. Я бы сказал, что в данном случае весь эффективный подход становится неприменим и необходимо работать в рамках квантовой электродинамики, в которой явно выписаны фермионные поля, описывающие электроны и позитроны.

4. Помимо преломления, электромагнитные волны также испытывают поглощение в плазме. Такой эффект тоже необходимо учитывать для корректной оценки эффекта Герценштейна. Например, при температуре выше 1 МэВ в первичной плазме низкочастотный фотон может выбыть из плазмы за счет аннигиляции с тепловым фотоном в электрон-позитронную пару.

5. Исследование, проведенное в диссертации, не всегда “прозрачное”. Было бы полезно продемонстрировать усиление низкочастотных гравитационных волн в первичной плазме на основе качественных оценок, прежде чем решать дифференциальное уравнение четвертого порядка.

6. Не очень ясны феноменологические последствия усиления амплитуды инфляционных гравитационных волн в 300 раз для частот k >10^(-7) Гц. Какой эксперимент был бы чувствителен к подобному усилению? Мне этот вопрос кажется релевантным, потому что космологические эксперименты типа Planck

чувствительны к существенно более низким частотам. Возможно, в этом контексте стоит обратить внимание на эксперимент будущего LISA.

7. Помимо вакуумных флуктуаций, усиленных во время инфляционного расширения, в литературе активно обсуждаются другие источники гравитационных волн: космические струны, фазовые переходы первого рода и т.д. Мне кажется, стоило бы кратко обсудить подобные источники.

8. Стоит отметить, что в диссертации опечаток мало, но в автореферате они встречаются чаще. Например, в формуле 7 автореферата масштабные факторы a(t) и b(t) должны быть в квадрате. Ниже на той же странице допущена опечатка в фамилии Зельдовича.

В отзыве официального оппонента **Арбузова Андрея Борисовича** в качестве вопросов и замечаний указаны следующие:

1. Диссертация написана на высоком научном уровне и грамотно с точки зрения русского языка, однако при чтении текста замечены отдельные опечатки и стилистические недочеты, не влияющие на основные результаты. В частности, на странице 10 в названии конференции указано «The 20st Lomonosov conference», что является ошибкой (должно быть «20th»). Также образованные от фамилий прилагательные должны писаться со строчных букв, например, «сахаровские» (стр. 52) и «альфвеновские» (стр. 54). В формуле (2.11) на стр. 47 степень в знаменателе поставлена не там, где должно.

2. При оформлении данных о публикациях по материалам диссертации допущена ошибка: в публикации под номером 5 неверно указаны год и страницы и отсутствуют данные о номере выпуска. Верные данные: 2024, вып. 1(46), С. 84-89.

3. В работе для оценки влияния космологического магнитного поля на спектр реликтовых гравитационных волн (ГВ) эффективно используется приближение однородного или упрощенного стохастического магнитного поля. Вместе с тем, реальные космологические магнитные поля обладают сложной топологией и пространственной структурой, формирующейся в процессе эволюции Вселенной. Представляло бы интерес обсуждение того,

насколько критичными для полученных результатов (в частности, для коэффициента конверсии ГВ в электромагнитные волны) являются допущения о стационарности и однородности магнитного поля на промежуточных масштабах. Было бы полезно дополнить работу анализом применимости полученных решений для случаев магнитных полей с более выраженной мелкомасштабной неоднородностью.

4. В диссертации рассматривается взаимодействие ГВ с плазмой (раздел 4.5), что является важным аспектом задачи. Однако влияние обратного воздействия генерируемых электромагнитных волн на состояние плазмы (обратные магнитогидродинамические эффекты) затронуто лишь частично. Дальнейшее развитие представленных в работе подходов в направлении самосогласованного учета обратной связи между конвертированным электромагнитным излучением и плазменной средой могло бы существенно уточнить предсказания амплитуд ГВ, особенно для диапазонов частот, чувствительных к эффектам диссипации, что открыло бы новые возможности для интерпретации данных будущих гравитационно-волновых детекторов.

В отзыве на диссертацию от **ведущей организации** работа охарактеризована положительно, при этом указан ряд замечаний, в качестве основных указаны следующие замечания:

1. В диссертации подробно исследованы два предельных случая ориентации волнового вектора гравитационной волны относительно направления крупномасштабного магнитного поля: $k \perp B$ и $k \parallel B$. Однако в реальной космологической ситуации реликтовые гравитационные волны приходят со случайных направлений, а стохастическое магнитное поле также не является однородным. В работе не обсуждается, каким образом полученные оценки для этих двух частных случаев могут быть обобщены на случай произвольного угла между векторами, и как это отразится на наблюдаемых характеристиках спектра — например, на поляризационных зависимостях или на угловом распределении сигнала. Следует отметить, что сам автор указывает на оценочный характер полученных результатов, подчеркивая, что

рассмотрение лишь ключевых ориентаций позволяет сделать оценку влияния эффекта Герценштейна на спектр реликтовых гравитационных волн «сверху». Тем не менее, представляется полезным в будущем провести более детальный анализ угловой зависимости эффекта, чтобы перейти от оценки сверху к точным предсказаниям для конкретных наблюдательных данных, включая ожидаемый сигнал в детекторах нового поколения — космических интерферометрах и массивах точного тайминга пульсаров (PTA).

2. В разделе 4.4 диссертации проведен детальный анализ влияния длины когерентности стохастического магнитного поля на усреднение эффекта при прохождении гравитационной волны через большое число доменов, и показано, что для современных длин когерентности $\gtrsim$10 Мпк приближение однородного поля остается справедливым как в эпоху радиационного доминирования, так и в эпоху доминирования материи. Вместе с тем, за рамками рассмотрения остается вопрос о возможном вкладе мелкомасштабных магнитных полей внутри галактик и скоплений галактик, где напряженность поля достигает 1–10 мкГс (и даже 30–70 мкГс в центрах скоплений). Хотя такие структуры являются существенно неоднородными, их гравитационные потенциалы могут влиять на распространение гравитационных волн, а сильные локальные поля — давать дополнительные каналы конверсии для волн соответствующих частот. Было бы интересно оценить, может ли прохождение гравитационной волны через отдельное скопление или галактику приводить к наблюдаемому эффекту, не усредняющемуся до нуля, особенно в контексте детекторов нового поколения, чувствительных к более высоким частотам. Кроме того, в работе не приводится количественной оценки того, как конкретная модель эволюции длины когерентности (например, модели с различной начальной спиральностью, рассмотренные в разделе 2.2.6) влияет на итоговое изменение спектра реликтовых гравитационных волн — этот вопрос остается модельно зависимым, что справедливо отмечено самим автором в заключении главы 4.

Дальнейшее уточнение этих аспектов позволило бы сделать предсказания более определенными.

3. В диссертации отсутствует прямое сравнение полученных результатов с работой [Dolgov and Ejlli 2012], в которой эффект Герценштейна для реликтовых гравитационных волн оценивался на фоне плоского пространства-времени Минковского с последующим пересчетом напряженности поля по закону B∝a^(-2). В упомянутой работе, в отличие от диссертации, рассматривается произвольный угол между k и B, учитывается взаимодействие фотонов с первичной плазмой (коэффициенты преломления, матрица плотности, вероятность перехода). Однако следует отметить, что в указанной работе основное внимание уделено условиям, при которых вероятность конверсии достигает максимальных значений, и не проводится систематического анализа изменения спектра реликтовых гравитационных волн в широком частотном диапазоне. Таким образом, диссертация восполняет этот пробел, предлагая последовательный космологический расчет эволюции спектра. Было бы интересно в ходе дальнейших исследований сопоставить результаты двух подходов — расчета в приближении плоского пространства-времени с последующим пересчетом напряженности поля и реалистичного космологического решения на фоне метрики Фридмана — чтобы понять, насколько учет расширения Вселенной и эволюции поля изменяет итоговые предсказания для спектра реликтовых гравитационных волн, а также оценить, в какой степени различия обусловлены именно учетом космологического расширения, а не выбором конкретных значений параметров модели.

4. В диссертации проведен детальный вывод системы уравнений для эффекта Герценштейна с учетом эффективного действия Гейзенберга–Эйлера, и для интервала масштабного фактора a≥3×10^(-11), где поправка может быть вычислена аналитически, показана ее пренебрежимая малость (разность амплитуд составляет ∼10^(-12) для волн с частотой 10^(-16) Гц и доли процента для частот порядка 1 нГц). Автор также четко оговаривает пределы

применимости используемого приближения: B≪m_e^2 (≲10^13 Гс), за которыми эффективное действие Гейзенберга–Эйлера становится неприменимым, а учет поправок требует численных методов. Вместе с тем, в работе остается открытым вопрос о поведении системы в области a<3×10^(-11), где напряженность магнитного поля превышает 10^13 Гс и петлевые поправки потенциально могли бы давать существенный вклад, однако аналитическое рассмотрение там невозможно. Автор справедливо указывает, что в рамках диссертационного исследования этот режим не рассматривается. Следует отметить, что в последних работах [Karbstein 2019, 2024; Franchino-Viñas, Quevillon and Saviot 2025] предприняты попытки продвинуться в описании непертурбативного режима сильных полей — получены всепетлевые результаты для сильнополевого предела эффективного действия Гейзенберга–Эйлера, в том числе в рамках 1/N-разложения и метода ковариантного разложения по производным. Представляется перспективным в будущем сопоставить эти новые результаты с системой уравнений для эффекта Герценштейна, чтобы окончательно оценить, не может ли учет непертурбативных поправок в самой ранней эпохе повлиять на итоговый спектр реликтовых гравитационных волн, особенно в высокочастотной области, где эффект Герценштейна без учета поправок дает наибольшее усиление.

Несмотря на представленные замечания и вопросы, в отзывах отмечено, что они не затрагивают сути выносимых на защиту положений, имеют уточняющий или рекомендательный характер и не снижают достоинства диссертационной работы.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются известными учеными в области исследований, близкой к тематике представленной диссертационной работы. Кандидат физико-математических наук С.Р. Рамазанов является известным специалистом в области ранней Вселенной и космологии, в том числе в области первичных гравитационных волн, фазовых переходов, формирования солитонов, а также эволюции

космических струн и доменных стенок и их гравитационного излучения. Доктор физико-математических наук А.Б. Арбузов является высококвалифицированным специалистом в области квантовой теории поля, физики высоких энергий и физики элементарных частиц, в том числе в области космологии и квантовой гравитации, радиационных поправок и эффективного потенциала в скалярно-тензорных теориях гравитации. Высокий профессиональный уровень официальных оппонентов подтверждается их публикациями в ведущих рецензируемых российских и зарубежных изданиях.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (ФГАОУ ВО КФУ), г. Казань, является одним из ведущих научно-образовательных центров России в области теоретической физики, гравитации и космологии. В КФУ проводятся многолетние исследования по теории гравитации, релятивистской астрофизике и космологии, в том числе по проблемам модифицированных теорий гравитации, космологических моделей и темной энергии, физики черных дыр и кротовых нор, а также квантовой теории поля в искривленном пространстве-времени. Специалисты университета имеют широкую публикационную активность в ведущих рецензируемых научных изданиях по физике. С.В. Сушков, доктор физико-математических наук, является известным специалистом в области теории гравитации и космологии, в том числе в области модифицированных теорий гравитации, физики черных дыр, кротовых нор и релятивистской астрофизики.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: **выведено** уравнение распространения возмущений метрики на фоне произвольного непустого искривленного пространства-времени; **получена** система дифференциальных уравнений, описывающая связанное распространение возмущений метрики и электромагнитных волн во внешнем магнитном поле на фоне произвольной фоновой метрики; **показано**, что учет петлевой поправки из эффективного

действия Гейзенберга–Эйлера приводит к подавлению конверсии и к ослаблению ее влияния на спектр реликтовых гравитационных волн, при этом для напряженностей магнитного поля $B \leq 10^{12}$ Гс соответствующая поправка к амплитуде составляет величину порядка 10^{-12} для частот 10^{-16} Гц и доли процента для частот порядка 1 нГц; **установлено**, что в модели однородного адиабатически изменяющегося космологического магнитного поля с современной напряженностью 1 нГс обратный эффект Герценштейна для $h_{\times}$-поляризации при $k \perp B$ приводит к усилению амплитуды реликтовых гравитационных волн в 10 раз для частот 10^{-10} Гц $\leq k < 10^{-7}$ Гц и в 300 раз для частот $k \geq 10^{-7}$ Гц к концу эпохи доминирования релятивистского вещества; **показано**, что для реликтовых гравитационных волн любой поляризации и направления волнового вектора относительно магнитного поля вследствие наличия космологического магнитного поля возникает эффективная масса гравитона, приводящая к усилению амплитуды порядка 0,01 % для частот $10^{-18} \leq k \leq 10^{-14}$ Гц, порядка 0,1 % для $10^{-13} \leq k \leq 10^{-12}$ Гц и порядка 0,5 % для $k = 10^{-11}$ Гц; **установлено**, что в модели стохастического магнитного поля с длиной когерентности, соответствующей современному значению $\gtrsim 10$ Мпк, оценки, полученные в модели однородного поля, остаются справедливыми; **показано**, что прохождение гравитационной волны с частотой 10^{-13} Гц через одно коллапсирующее анизотропное пылевое облако с параметрами, характерными для скопления галактик в эпоху доминирования нерелятивистского вещества, приводит к изменению амплитуды гравитационной волны на доли процента, а в диапазоне 10^{-9}–10^{-6} Гц влияние одного облака масштаба скопления галактик оказывается практически нулевым ($\sim 10^{-9}$).

Теоретическая значимость исследования определяется развитием теоретических представлений о распространении гравитационных волн на фоне произвольного искривленного пространства-времени и в анизотропных метриках, развитием представлений об эффекте Герценштейна–Зельдовича в космологических условиях и о роли космологического магнитного поля в

эволюции спектра реликтовых гравитационных волн. **Обоснован** комплексный подход, сочетающий вывод линеаризованных уравнений Эйнштейна в общем виде, разложение возмущений метрики по спиральностям, аналитическое решение задачи Коши и численное интегрирование неявной схемой Рунге–Кутты пятого порядка, что позволило убедительно **подтвердить** модель усиления амплитуды реликтовых гравитационных волн вследствие их конверсии в фотоны.

Значимость полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: полученная система уравнений связанного распространения возмущений метрики и электромагнитных волн **может быть использована** для любого фонового пространства-времени и для внешних магнитных полей произвольной природы, в частности для метрик Шварцшильда и Керра, что дает более точное описание конверсии вблизи массивных намагниченных объектов (магнетаров, двойных систем нейтронных звезд, намагниченных облаков); учет изменения амплитуды реликтовых гравитационных волн за счет их конверсии в фотоны **позволяет уточнить** ограничения на амплитуду реликтовых гравитационных волн в момент их зарождения и приблизиться к решению проблемы выбора модели инфляции; продемонстрированное возникновение эффективной массы гравитона вследствие смешивания тензорных и скалярных метрических возмущений на фоне асферичного коллапсирующего облака **открывает** круг задач о распространении астрофизических и космологических гравитационных волн в реалистичных анизотропных метриках, не требующих расширения стандартной космологической модели; выводы о значительном усилении реликтовых гравитационных волн с частотой больше 10^(-10) Гц **указывают** на принципиальную возможность их детектирования с помощью космических интерферометров и эксперимента по точному таймингу пульсаров PTA.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что в диссертационном исследовании результаты являются достоверными.

Исследуемые уравнения в предельных случаях совпадают с результатами, ранее опубликованными другими авторами: система уравнений для эффекта Герценштейна, полученная для произвольной фоновой метрики, в случае плоского пространства-времени переходит в систему, полученную в работах Герценштейна, Зельдовича, Долгова–Эйли и др.; выводы базируются на обобщении результатов современных теоретических и экспериментальных исследований в области теории гравитации, теории поля, космологии и физики ранней Вселенной; использованы общепринятые методы получения уравнений в теории гравитации и физике элементарных частиц, подход линейной теории возмущений с разложением по спиральностям, современные численные методики решения дифференциальных уравнений.

Личный вклад соискателя состоит в анализе и обобщении литературных данных, в обосновании актуальности проблемы, что явилось основой для формирования целей и задач работы. Автор производила вывод систем уравнений, их анализ и численное решение, принимала непосредственное участие в получении аналитического решения системы дифференциальных уравнений, описывающих эффект Герценштейна на фоне метрики ФЛРУ, самостоятельно выполняла все необходимые оценки влияния различных эффектов на окончательный результат. Автором самостоятельно проводился анализ влияния неоднородности космологического магнитного поля и взаимодействия с плазмой. Все выносимые на защиту результаты принадлежат соискателю лично. У автора нет конфликта интересов с другими коллегами, принимавшими участие в исследованиях, отраженных в диссертации.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация является законченным научным исследованием по актуальной тематике, результаты которого имеют важное значение для понимания фундаментальных процессов, протекающих в ранней Вселенной и связанных с эволюцией реликтового гравитационно-волнового фона. Полученные в работе результаты имеют важное теоретическое значение для корректной трактовки

наблюдательных данных по анизотропии и поляризации реликтового излучения и для выбора наиболее правдоподобной модели инфляции. В диссертационной работе на основании выполненных автором исследований получены значимые теоретические результаты, совокупность которых вносит существенный вклад в теорию реликтовых гравитационных волн.

Диссертационное исследование соответствует специальности 1.3.3 — Теоретическая физика и п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., редакция от 18.03.2023, а также отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

На заседании 23 сентября 2026 г. диссертационный совет принял решение присудить Панасенко Любови Алексеевне ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – Теоретическая физика.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 6 докторов наук по специальности 1.3.3 – Теоретическая физика, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали за – 14, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета Д 24.2.306.01, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Буднев Николай Михайлович

Ученый секретарь диссертационного совета Д 24.2.306.01, доктор физико-математических наук, доцент Растёгин Алексей Эдуардович

23 сентября 2026 г.