АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD)
по образовательной программе «8D05306 – Физика»

ЕРНАЗАРОВ ТУРСЫНБЕК ИЗМУХАНОВИЧ

ЭФФЕКТЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ ВАКУУМА И ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ФРОНТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ЧЕРЕЗ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ МАГНЕТАРА

Работа посвящена изучению влияния нелинейной вакуумной электродинамики и общей теории относительности на прохождение фронта электромагнитных волн через магнитное поле магнетара.

Актуальность темы

Очевидно, что согласно современным теоретическим моделям вакуумная электродинамика является нелинейной теорией. Эта теория изучается в двух разделах: нелинейной оптике, изучающей нелинейные электродинамические процессы, происходящие в материальных средах, и нелинейной вакуумной электродинамике (НЭД), изучающей аналогичные процессы, происходящие в вакууме в присутствии сильных электромагнитных полей.

Эксперименты по неупругому рассеянию лазерных фотонов на гамма-квантах, проведенные на Стэнфордском линейном ускорителе, подтвердили, что вакуумная электродинамика обладает нелинейными свойствами. На Земле было проведено множество лабораторных экспериментов по наблюдению нелинейных эффектов квантовой электродинамики [1-2]. В лабораторных условиях наблюдение эффектов НЭД вакуума возможно только в экспериментах, в которых относительная точность измерений должна быть на уровне 10^{-19} 10^{-20}. Такую точность могут обеспечить только прецизионные кольцевые лазеры. Кольцевые лазеры и их применение в прецизионных оптических измерениях [3]. Хотя точность приборов, измеряющих эффекты НЭД, в настоящее время не позволяет изучать эффекты в вакууме НЭД. Поэтому НЭД вакуума изучен гораздо меньше. В то же время в условиях экстремально высоких магнитных полей, недостижимых в земных лабораториях, заряженные и намагниченные астрономические объекты, вероятно, позволят получить более детальное представление о нелинейных эффектах электродинамики [4,5]. Поэтому возрастает интерес к астрофизическим компактным объектам с высоким уровнем электромагнитного поля, в частности, к заряженным черным дырам и

магнетарам. Распространение слабой электромагнитной волны во внешнем электромагнитном поле сопровождается несколькими нелинейными электродинамическими эффектами, такими как нелинейное электродинамическое искривление лучей. Изучение задержки этих искривленных лучей с помощью детектора вносит огромный вклад в понимание и изучение эффектов вакуума НЭД. Естественно, что изучение эффектов вакуума НЭД на прохождение ЭМ-лучей через компактные объекты, такие как магнетары, будет актуальным.

Цели исследования: Целью исследования является численное исследование комбинированного гравитационного и нелинейного магнитного линзирования электромагнитного излучения на дипольном магнитном поле магнетара.

Для достижения этой цели необходимо решить **следующие задачи**:

1. Изучить процессы отклонения луча в плоскости оси диполя и плоскости, перпендикулярной ей, под действием гравитационного и магнитного полей. Определить зависимости угла отклонения от расстояния до цели и напряженности магнитного поля для различных расстояний (15-100 км) и магнитных полей в условиях сильного магнитара ($B = 10^{13}$ Гс).
2. Изучить деформацию фронта излучения, проходящего через дипольное магнитное поле магнетара, для выявления закономерностей изменения его формы. Оценить степень отклонения от идеальной круглой формы и приближения к эллипсу, а также определить основные параметры, влияющие на эту деформацию.
3. Провести исследование изменения распределения потока энергии фронта излучения при прохождении его через магнитное поле магнетара. Определить соотношение энергии на входе и выходе фронта и выявить факторы, влияющие на минимум и максимум потоков энергии.

Объектами исследования: дипольное магнитное поле магнетара, гамма-всплеск, магнетар.

Предметом исследования являются комбинированное гравитационное и магнитное линзирование при прохождении фронта электромагнитного излучения через магнетар.

Методы исследования: аналитическая часть исследования основана на принципах общей теории относительности и методах дифференциальной геометрии, а также включает методы теории возмущений для получения приближенных решений. Численный анализ в основном использует методы Рунге-Кутты и Адамса, а также спектральные методы, адаптированные к особенностям изучаемых уравнений.

Положения, выносимые на защиту:

1. Отклонение лучей, вызванное комбинированном гравитационным и дипольным магнитным полями магнетара, составляет 86 градусов и 3,36 градуса соответственно для значении импакт параметра от 15 до 100 км и при

напряженности магнитного поля B = 10^{13} Гс.

2. Деформация волнового фронта $\Delta = \frac{r_{max} - r_{min}}{r_{max}}$(безразмерная величина) электромагнитного излучения, вызванная комбинированном гравитационным и дипольным магнитным полями магнетара, составляет 0,07.

3. Из-за комбинированного эффекта гравитационного и дипольного магнитного линзирования плотность потока электромагнитного пучка от GRB091006360, измеренная на расстоянии 30 км от магнетара (Swift J1822.3-1606), увеличивается в 1,83 раза по сравнению с исходным значением.

Научная новизна

Уникальность и новаторство диссертации подтверждается тем, что;

– электромагнитное излучение, проходя через объединенное гравитационное и дипольное магнитное поле магнетара, отклоняется на большой угол в областях, прилегающих к магнетару, и на малый угол на большем расстоянии от него. Когда напряженность дипольного магнитного поля на поверхности магнетара приближается к критическому значению, влияние нелинейной электродинамики становится существенным;

– объединенное гравитационное и дипольное магнитное поле заставляет фронт электромагнитного излучения деформироваться в эллипс при прохождении через магнитосферу магнетара. Это явление не наблюдается в изолированном гравитационном поле;

– в результате существенного влияния совокупного гравитационного и дипольного магнитного поля на плотность потока гамма-квантов, проходящих через магнитосферу магнетара, происходит перераспределение этого потока.

Научно-практическая значимость работы

Полученные в данной диссертации результаты будут крайне ценны для изучения эффектов нелинейной вакуумной электродинамики. Более того, понимание характеристик фокусировки и распределения интенсивности электромагнитных пучков, проходящих через магнитосферу магнетара, поможет подтвердить и исследовать эффекты вакуумной НЭД в удаленных астрофизических объектах. Проведенное исследование имеет как теоретическое, так и практическое значение для расширения наших знаний в областях релятивистской астрофизики, космологии и физики вакуумной НЭД.

Достоверность результатов работы

Полученные результаты подтверждены публикациями в ведущих научных журналах с импакт-фактором и журналах, рекомендованных Комитетом образования и науки Республики Казахстан. Кроме того, наличие публикаций в сборниках материалов отечественных и зарубежных международных научных конференций дополнительно подтверждает обоснованность результатов. Источниками для исследования являются оригинальные научные труды, указанные в библиографическом списке.

Источниками исследования являются оригинальные научные работы, перечисленные в списке использованной литературы**.**

Личный вклад автора:

На протяжении всего процесса исследования, включая обзоры литературы, проведение соответствующих исследований для решения исследовательских задач и получение удовлетворительных результатов, автор работал самостоятельно. Однако автор консультировался с руководителями для определения задач, соответствующих теме исследования, и для анализа полученных результатов.

Публикации:

По материалам, представленным в диссертации, всего опубликовано 5 публикаций: одна статья в журнале, индексируемом в: Web of Knowledge (Thomson Reuters, США), Scopus (Elsevier, Нидерланды); 4 статьи в журналах, рекомендованных Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан; одна публикация в сборнике международных научных конференций.

Статьи с высоким импакт-фактором в базе данных Thomson Reuters или изданиях, включенных в международную научную базу данных Scopus:

1. Beissen, N., Abishev, M., Toktarbay, S., **Yernazarov, T.**, Aimuratov, Y., Khassanov, M. (2023). Nonlinear electrodynamical lensing of electromagnetic waves on the dipole magnetic field of the magnetar. International Journal of Modern Physics D, 32(16), 2350106-142. (IF: 3.8, SCOPUS 80).

Статьи в изданиях, рекомендуемых ККСНВО Министерства науки высшего образования МНВО РК:

1. Beissen, N., Abishev, M., Toktarbay, S., **Yernazarov, T.**, Utepova, D., & Zhakipova, M. (2023). The Exploring nonlinear vacuum electrodynamics beyond Maxwell's Equations. International Journal of Mathematics and Physics, 14(1), 61-70.

2. Beissen, N. A., Utepova, D. S., Kossov, V. N., Toktarbay, S., Khassanov, M. K., **Yernazarov, T.**, Seydalieva, M. (2024). The influence of deformation in compact objects on redshift and radar echo delay. Recent Contributions to Physics, 88(1).

3. Beissen, N., Abishev, M., Toktarbay, S., **Yernazarov, T.**, Khassanov, M., Utepova, D., Abduali, A. (2024). An overview of light ray deflection calculation by magnetars in nonlinear electrodynamics. Bulletin of the Karaganda University" Physics Series", 11429(2), 65-71.

4. Beissen, N. A., Utepova, D. S., Kossov, V. N., Toktarbay, S., Khassanov, M. K., **Yernazarov, T.**, Imanbayeva, A. K. (2024). Comparing the efficiency of GPU and CPU in gravitational lensing simulation. International Journal of Mathematics and Physics, 15(1), 49-56.

Публикации в материалах международных и зарубежных научных конференций, а также отечественных конференций:

1. Yernazarov, T., Abishev, M., Aimuratov, Y. Correspondence of gamma radiation coming from GRBs and magnetars based on the effects of nonlinear vacuum

electrodynamics. In the Sixteenth Marcel Grossmann Meeting on Recent Developments in Theoretical and Experimental General Relativity, Astrophysics and Relativistic Field Theories: Proceedings of the MG16 Meeting on General Relativity Online; 5–10 July 2021 (pp. 4401-4409).

Апробация диссертации

Результаты работы были представлены и обсуждены на следующих отечественных и зарубежных международных конференциях:

– на научных семинарах кафедры теоретической и ядерной физики КазНУ им. аль-Фараби;

– на Международной научной конференции студентов и молодых ученых "ФАРАБИ АЛЕМИ", г. Алматы, 6-8 апреля 2023 г.;

- на Международной научной онлайн-конференции «Шестнадцатые встречи Марселя Гроссмана» Рим, Италия, 2021 г.;

- на Международной конференции Абдильдинские чтения (актуальные проблемы современной физики) Казахский национальный университет имени аль-Фараби, физико-технический факультет, Алматы, Казахстан, 12 - 15 апреля 2023 г.;

- на Международной конференции по теоретической физике и астрофизике (ICTPA-2024), Институт фундаментальных и прикладных исследований, Ташкент, Узбекистан, 13 - 18 мая 2024 года.

Связь темы диссертации с планами научных работ :

Диссертационная работа выполнена по планам фундаментальных научно-исследовательских работ (НИР) Комитета по науке Министерства образования и науки Республики Казахстан «Грантовое финансирование научных исследований» по темам: «Эффекты нелинейной электродинамики вакуума и общей теории относительности на магнетарах» (2022-2024 гг., шифр АП14869524 № Договора № 253/30-22-24 от 18 октября 2022 г.) .

Объем и структура диссертации:

Диссертация состоит из введения, 2 глав и списка литературы, включающего 116 названий. Она охватывает 111 страниц основного текста, включая 27 рисунков.