

Краткая информация о проекте

Наименование	AP13067667 «Общие релятивистские эффекты в магнитосферах астрофизических компактных объектов» (0122РК00072)
Актуальность	Компактные объекты, такие как черные дыры и их альтернативы, обычно окружены аккреционными дисками, состоящими из высоко ионизированной материи, и погружены в магнитные поля, которые могут возникать за счет динамики окружающей плазмы. Основная идея этого проекта - исследование динамики заряженных частиц в комбинированных гравитационных и электромагнитных полях различного масштаба, симметрии и конфигурации. Предлагаемые исследования могут привести к важным астрофизическим открытиям и проверяемым в эксперименте прогнозам необъясненных астрофизических явлений, перечисленных в целях проекта.
Цель	Аналитическое описание и численное моделирование динамики заряженных частиц внутри магнитосфер компактных объектов, применение результатов к наблюдаемым астрофизическим явлениям высоких энергий, таких как квазипериодические колебания от рентгеновских микрокварзов и ускорение релятивистских джетов космических лучей сверхвысоких энергий черными дырами в активных ядрах галактик.
Задачи	<p>Цели проекта разделены на три точных и тесно связанных задачи, соответствующих каждому году реализации проекта.</p> <p>Задача 1: Исследование движения заряженных частиц вокруг <i>сферически-симметричных</i> компактных объектов, расположенных во внешнем комбинированное магнитное поле:</p> <p>1.1. Суперпозиция <i>однородной и расщепленной монополярной</i> конфигураций магнитного поля в метрике <i>Шварцшильда</i>.</p> <p>1.2. Суперпозиция <i>дипольной и однородной</i> конфигураций магнитного поля в пространстве-времени <i>Шварцшильда</i>.</p> <p>Задача 2: Исследование движения заряженных частиц вокруг <i>аксиально-симметричных</i> компактных объектов, погруженных во внешнее комбинированное магнитное поле:</p> <p>2.1. Суперпозиция <i>однородной и расщепленной монополярной</i> конфигураций магнитного поля в метрике <i>Керра</i>. Исследование эффектов соответствующих индуцированных зарядов.</p> <p>2.2. Суперпозиция <i>дипольной и однородной</i> конфигураций магнитного поля в метрике <i>Керра</i>. Сравнение эффектов индуцированных зарядов из предыдущих исследований.</p>

	<p>Задача 3: Приложения полученных результатов к наблюдаемым астрофизическим явлениям высоких энергий:</p> <p>3.1. Построение модели <i>квазипериодических колебаний (ОРО)</i> от рентгеновских микроквазаров, содержащих черные дыры или нейтронные звезды.</p> <p>3.2. Моделирование <i>релятивистских джетов и космических лучей сверхвысоких энергий</i>.</p> <p><i>Содержание задачи 1:</i> Вывод динамических уравнений заряженных частиц, анализ стабильных и нестабильных круговых орбит, расчет частот эпициклических колебаний, определение условий ухода частиц в бесконечность и численное моделирование траекторий частиц для различных параметров системы. В течение первого года реализации проекта мы также рассмотрим другие комбинации конфигураций электромагнитного поля, в том числе эффекты гипотетического центрального заряда компактного объекта.</p> <p><i>Содержание задачи 2:</i> Обобщение первой задачи на аксиально-симметричное пространство-время, заданное вращающейся метрикой Керра. Комбинация вращения пространства-времени с внешним магнитным полем, имеющим симметрию фоновой метрики, приводит к скручиванию силовых линий магнитного поля и, как следствие, индукции электрического поля, способного ускорять заряженные частицы. Будет исследовано влияние этих индуцированных электрических полей в заданных конфигурациях магнитного поля на динамику ионизированного вещества.</p> <p><i>Содержание задачи 3:</i> Астрофизические приложения 1-й и 2-й задач. Будут предложены новые астрофизически значимые модели с проверяемыми предсказаниями для двух актуально наблюдаемых явлений. Для построения моделей будут использованы находящиеся в открытом доступе многоволновые и многоканальные наблюдательные данные.</p>
<p>Ожидаемые и достигнутые результаты</p>	<p><i>Ожидаемые результаты:</i></p> <p>1. Формулировка нового подхода к моделированию магнитосферы компактного объекта как суперпозиции различных конфигураций магнитного поля. Вывод уравнений динамики заряженных частиц, условий устойчивых и неустойчивых орбит, частот квазигармонических эпициклических колебаний.</p> <p>Эффект заданного суперпозиционного поля на уравнения движения заряженной частицы, условия устойчивой и неустойчивой орбиты, вычисление частот квазигармонических эпициклических колебаний, условия ухода частицы на бесконечность. Численное решение уравнений движения, нахождение траекторий. Поиск других</p>

комбинаций электромагнитных полей в искривленном пространстве-времени.

Достигнутые результаты:

Были исследованы движения заряженных частиц вокруг сферически-симметричных компактных объектов, расположенных во внешнем комбинированном магнитном поле.

Был сформулирован новый подход к моделированию магнитосферы компактного объекта как суперпозиции различных конфигураций магнитного поля. Были выведены уравнения динамики заряженных частиц, условия устойчивых и неустойчивых орбит и частоты квазигармонических эпициклических колебаний.

Был исследован эффект заданного суперпозиционного поля, уравнения движения заряженной частицы и условия устойчивой и неустойчивой орбиты, были вычислены частоты квазигармонических эпициклических колебаний и условия ухода частицы на бесконечность. Было получено численное решение уравнения движения, были найдены траектории заряженных частиц. Были рассмотрены другие комбинации электромагнитных полей в искривленном пространстве-времени.

Ожидаемые результаты:

2. Доказательство того, что вращение компактного объекта в заданном суперпозиционном магнитном поле приводит к индукции электрического поля. Ожидается, что данное индуцированное электрическое поле способно ускорять заряженные частицы. Изучение влияния суперпозиционного магнитного поля и пространства-времени на динамику заряженных частиц.

Влияние заданного суперпозиционного магнитного поля на уравнения динамики заряженной частицы, условия устойчивости орбит, условия выхода в бесконечность. Численное моделирование траекторий заряженных частиц в заданной конфигурации. Сравнение с результатами задач 1.2 и 2.1.

Достигнутые результаты:

В ходе проведенных исследований был проведен анализ, и были сделаны выводы о том, что вращение компактного объекта в заданном суперпозиционном магнитном поле приводит к индукции электрического поля. Было показано, что данное индуцированное электрическое поле способствует ускорению заряженных частиц. Также было изучено влияние суперпозиционного магнитного поля и пространства-времени на динамику заряженных частиц.

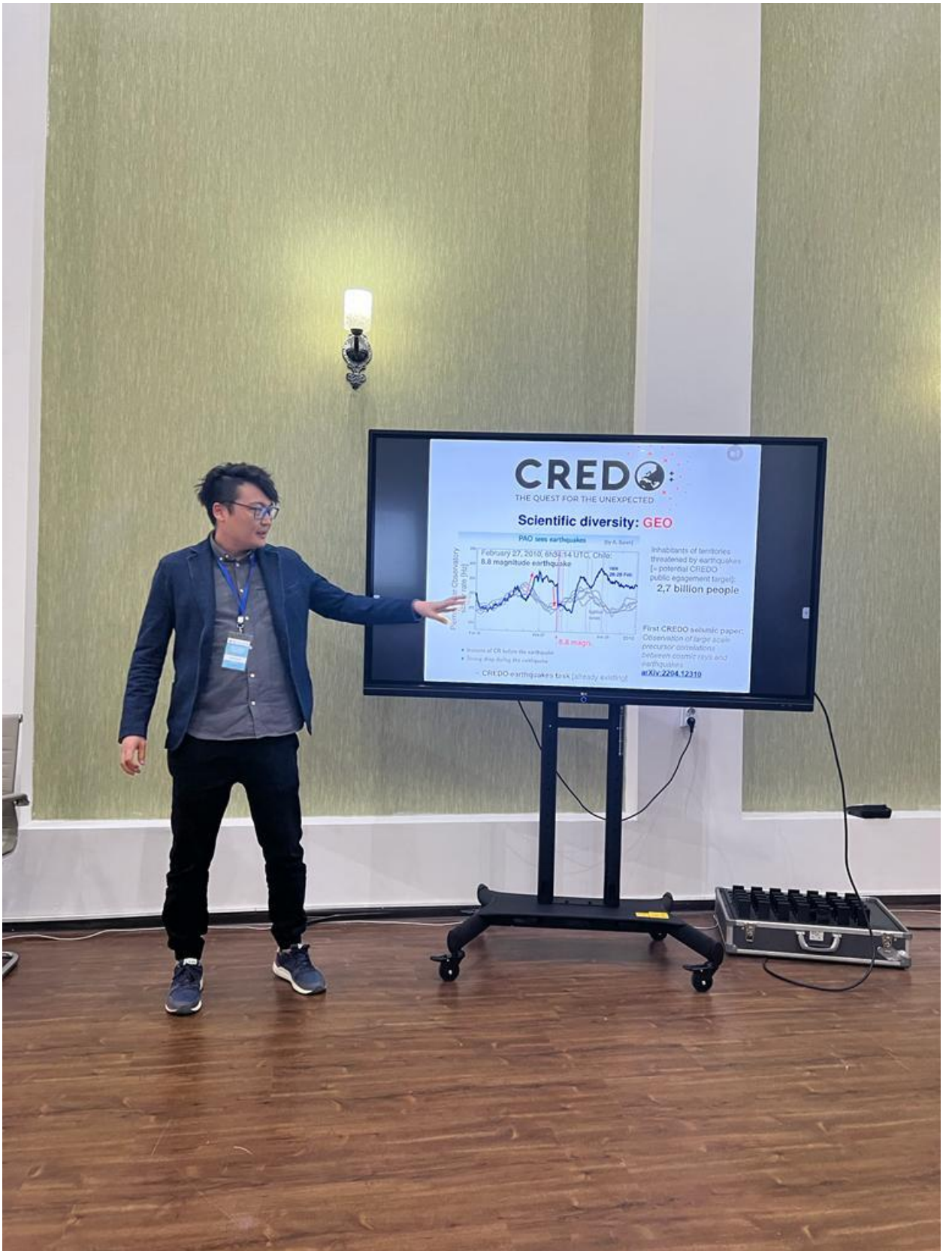
В рамках выполненных исследований было изучено влияние заданного суперпозиционного магнитного поля на уравнения динамики заряженной частицы. Были выведены и проанализированы соответствующие уравнения движения, что позволило оценить условия устойчивости орбит заряженных частиц и условия их выхода в бесконечность в заданных магнитных полях.

	<p><i>Ожидаемые результаты (2024):</i></p> <p>3. Астрофизическое приложение 1-й и 2-й задач. Предложение новой модели генерации квазипериодических осцилляций (QPOs), наблюдаемых в рентгеновских микрокварах и некоторых активных ядрах галактик (AGN). Поиск корреляция новой модели с данными наблюдений.</p> <p>Астрофизическое приложение 1-й и 2-й задач. Предложение модели ускорения космических лучей сверхвысоких энергий с ожидаемой энергией протонов порядка 10^{20} эВ. Исследование возможности ускорения релятивистских джетов, проверка предела ГЗК (Грайзена-Зацепина-Кузьмина), а также критерия Хилласа в рамках новой модели.</p>
<p>Имена и фамилии членов исследовательской группы с их идентификаторами (Scopus Author ID, Researcher ID, ORCID, при наличии) и ссылками на соответствующие профили</p>	<p>1. <u>Токтарбай Сакен</u>, 39 лет, образование: КазНУ им. Аль-Фараби (бакалавр, 2009, Казахстан); Национальный исследовательский Томский политехнический университет (магистр, 2011, Россия); КазНУ им. Аль-Фараби (PhD, 2016, Казахстан). Ученая степень: PhD в теоретической физике (2016). Опыт работы по направлению проекта: более 10 лет (физика и астрономия). ScopusID: 56336189300, (Scopus индекс Хирша = 3); WoS/PublonsID: B-3614-2012, (WoS/Publons индекс Хирша = 3); ORCID: 0000-0002-5699-4476; Позиция и роль в проекте: общее руководство проектом, координация проекта, разработка и тестирование компьютерного кода, подготовка и публикация научных статей, подготовка отчетов по проекту.</p> <p>2. <u>Бакытжан Жами</u>, 31 год, образование: Казахский национальный университет им. Аль-Фараби (бакалавр, 2012, Казахстан); Казахский национальный университет имени аль-Фараби (магистр, 2014, Казахстан); Казахский национальный университет имени аль-Фараби (PhD, 2020, Казахстан). Ученая степень: PhD в теоретической физике (2020). Стаж работы по направлению проекта: более 7 лет (физика и астрономия). ScopusID: 56336051500, (Scopus индекс Хирша = 3); WoS/PublonsID: P-7959-2014, (WoS/Publons индекс Хирша = 3); ORCID: 0000-0002-8132-5477; Позиция и роль в проекте: разработка и тестирование компьютерного кода, подготовка и публикация научных статей, подготовка отчетов по проекту.</p> <p>3. <u>Алдабергенов Ермек</u>, 31 год, образование: Казахский национальный университет им. Аль-Фараби (бакалавр, 2012, Казахстан); Казахский национальный университет имени аль-Фараби (магистр, 2014, Казахстан); Токийский Столичный Университет (PhD, 2018, Япония). Ученая степень: PhD в теоретической физике (2018). Стаж работы по направлению проекта: более 8 лет (физика и астрономия). ScopusID: 56743280800, (Scopus индекс Хирша = 8); WoS/PublonsID: ААК-1668-2021, (WoS/Publons индекс Хирша = 8); ORCID: 0000-0001-6021-9707; Позиция и роль в проекте: разработка и тестирование компьютерного кода, подготовка и публикация научных статей, подготовка отчетов по проекту.</p> <p>4. <u>Талхат Аманхан</u>, 26 лет, PhD-студент КазНУ им. Аль-Фараби; ScopusID: 57200368356; ORCID: 0000-0002-0615-</p>

	<p>417X; Положение и роль в проекте: разработка и тестирование компьютерного кода, подготовка научных статей, подготовка отчетов по проекту.</p> <p>5. Муратхан Арай, 33 года, PhD-студент КазНУ им. Аль-Фараби; WoS/PublonsID: V-1168-2018; ORCID: 0000-0001-9920-5193; Позиция и роль в проекте: сопровождение аналитических расчетов, участие в подготовке статей и отчетов по проекту.</p> <p>6. Балгимбеков Галымдин, 33 года, PhD-студент КазНУ им. Аль-Фараби; ScopusID: WoS/PublonsID: ORCID: 0000-0002-2677-9070; Положение и роль в проекте: сопровождение аналитических расчетов, участие в подготовке статей и отчетов по проекту.</p>
<p>Список публикаций со ссылками на них</p>	<p><i>Scopus u Web of Science.</i></p> <p><i>In press:</i> Black hole in a combined magnetic field: Ionized accretion disks in the jetlike and looplike configurations by <i>Saltanat Kenzhebayeva, Saken Toktarbay, Arman Tursunov, et al.</i> (Physical Review D. 2024).</p> <p><i>In a journal included in KOKSON MES RK</i></p> <p>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. https://doi.org/10.26577/ijmph.2023.v14.i1.07</p> <p>2. Muratkhan, A., Orazymbet, A., Zhakipova, M., Assylbek, M., & Toktarbay, S. (2023). A shadows from the static black hole mimickers. International Journal of Mathematics and Physics, 13(2), 44–49. https://doi.org/10.26577/ijmph.2022.v13.i2.06</p> <p><i>International conference</i></p> <p>1. Saken Toktarbay. The Influence of photon orbits on shadow creation by naked singularities. «Disks, tori, spheres. Accretion onto compact objects, 22-27 June 2023, Opava»// report (with certificate). https://indico.slu.cz/event/22/timetable/#20230626</p> <p>Saken Toktarbay. Shadow formation and observational signatures from naked singularities. International Conference ABDILDIN READINGS (ACTUAL PROBLEMS OF MODERN PHYSICS), Al Farabi Kazakh National University, April 12–15, 2023, Almaty // report (with certificate)</p>
<p>Информация о патентах</p>	<p>-</p>

Видео:

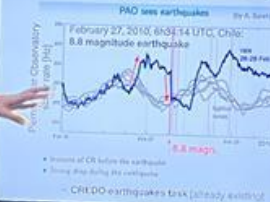
https://drive.google.com/file/d/1BjSubZj8bnGh27uM0s2acZgLGdVcbBwa/view?usp=drive_link



CREDO

THE QUEST FOR THE UNEXPECTED

Scientific diversity: GEO



Inhabitants of territories threatened by earthquakes
[= potential CREDO public engagement target]:
2,7 billion people

First CREDO seismic paper:
Observation of large scale precursor correlations
between cosmic rays and earthquake
@Xiv:2204.12310

- Events of CR before the earthquake
- Long time delay for earthquake





