**Краткая информация о проекте**

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование | Исследование q-метрики с помощью многоволновых наблюдений с высоким разрешением. ИРН АР25795219 |
| Актуальность | Данное исследование направлено на проверку q-метрики с использованием наблюдательных данных экспериментов EHT и GRAVITY, что позволит получить новые знания о гравитационных свойствах компактных объектов, таких как чёрные дыры и нейтронные звёзды. Сопоставляя теоретические модели с реальными наблюдениями, исследование углубит наше понимание того, как квадрупольные моменты влияют на гравитационные поля, искривление света и формирование теней. Эти результаты будут способствовать развитию теоретической астрофизики и методов наблюдений, а также укреплению международного научного сотрудничества в Казахстане. |
| Цель | Цель данного проекта заключается в проверке q-метрики, теоретической модели деформированных компактных объектов, посредством использования данных высокоточных и многоволновых наблюдений, полученных с телескопа горизонта событий (Event Horizon Telescope – EHT) и инструмента GRAVITY Европейской Южной Обсерватории (ESO). Путём анализа данных с этих телескопов проект нацелен на проверку предсказаний общей теории относительности в условиях сильных гравитационных полей, а также на углубление понимания физических процессов в окрестностях чёрных дыр и возможных деформаций пространства-времени. |
| Задачи | Проект состоит из трех конкретных и тесно связанных задач, соответствующих каждому году реализации проекта. Задача 1: Ограничение q-метрики посредством анализа радиоинтерферометрических данных, полученных с телескопа горизонта событий, с акцентом на исследование кольца фотонов, тени чёрной дыры и ярких областей, наблюдаемых вокруг объектов M87 и Sgr A\*. Задача 2: Сравнение теоретических моделей орбитального движения с наблюдаемыми данными ближнего инфракрасного диапазона, полученными с инструмента GRAVITY ESO, с особым вниманием к динамике ярких инфракрасных вспышек и кластеров звёзд S-класса вблизи Sgr A\*, с целью наложения ограничений на q-метрику. Задача 3: Предсказание наблюдаемых эффектов, таких как искривление света и эффекты гравитационного линзирования, характерных для q-метрики, которые могут служить прямыми наблюдательными индикаторами деформаций пространства-времени вблизи компактных объектов. В первой задаче основное внимание будет уделено анализу изображений теней чёрных дыр высокого разрешения, таких как M87 и Sgr A\*, полученных с помощью телескопа горизонта событий EHT. Мы будем моделировать, как квадрупольный момент влияет на размер, форму и угловую структуру тени. Сравнивая предсказания q-метрики с фактически наблюдаемыми изображениями, мы попытаемся оценить квадрупольный момент этих астрофизических компактных объектов. Этот анализ позволит нам различать простые модели, такие как метрики Шварцшильда и Керра, от более сложной q-метрики, учитывающую квадрупольные деформации. Во второй задаче мы будем использовать данные о динамике инфракрасных вспышек, связанных с орбитальным движением вблизи Sgr A\*, зафиксированные в 2018 году инструментом GRAVITY на ESO, а также точные астрометрические данные, отслеживающие звёзды, такие как S2, вращающиеся вокруг Sgr A\*. Мы исследуем, как квадрупольный момент может влиять на орбиты компонентов вспышек и звёзд вблизи сверхмассивной чёрной дыры в центре нашей Галактики. Используя q-метрику, мы вычислим отклонения в движении компонентов вспышек и звёзд, вызванные наличием квадрупольного момента, и сопоставим эти предсказания с данными наблюдений, полученными GRAVITY. Это поможет нам оценить квадрупольный момент и углубить понимание гравитационного поля вблизи Галактического центра. В третьей задаче мы разработаем и усовершенствуем численные модели, имитирующие искривление и фокусировку света в присутствии компактного объекта с квадрупольным моментом. Эти модели будут использовать q-метрику для расчёта ожидаемых эффектов гравитационного линзирования и их сравнения с существующими наблюдениями гравитационных линз компактных объектов. Проверяя предсказания q-метрики на основе этих наблюдений, мы сможем дополнительно подтвердить модель и получить более точную оценку влияния квадрупольного момента на распространение света в искривлённом пространстве-времени. |
| Ожидаемые и достигнутые результаты | В ходе реализации идей и планов проекта ожидаются следующие результаты: 1. Впервые будут получены ограничения на q-метрику, основанные на анализе радио интерферометрических данных, полученных с телескопа Event Horizon Telescope. В рамках исследования будет проведено детальное изучение кольца фотонов, тени чёрной дыры и интерпретация ярких пятен, наблюдаемых вокруг сверхмассивных чёрных дыр в M87 и Sgr A\*. Эти результаты предоставят первые наблюдательные доказательства в пользу или против существования q-метрики в пространствах-временах чёрных дыр, предлагая важные сведения о возможных отклонениях от метрики Керра. 2. Впервые будут получены ограничения на q-метрику путём анализа орбитальной динамики, сопоставляя теоретические предсказания с данными в ближнем инфракрасном диапазоне, полученными с инструмента GRAVITY, с особым вниманием к ярким вспышкам, зафиксированным между маем и июлем 2018 года в наблюдениях K-диапазона инфракрасного диапазона с Очень Большого Телескопа (VLT). Эти вспышки предоставят важные данные для ограничения параметров q-метрики и оценки возможных деформаций пространства-времени вблизи чёрной дыры в центре Галактики, Sgr A\*. 3. Будут разработаны предсказания наблюдаемых признаков, уникальных для q-метрики, таких как искривление света и эффекты гравитационного линзирования. Эти предсказания будут служить прямыми индикаторами деформаций пространства-времени вблизи компактных объектов, помогая дополнительно уточнить модель и направить будущие наблюдения. В дополнение к этим научным результатам исследование приведёт к публикации статей в рецензируемых журналах с высоким импакт-фактором в соответствии с требованиями тендерной документации. Эти публикации будут способствовать углублению понимания физики чёрных дыр и внесут вклад в международное научное сообщество. Количество и качество статей будут соответствовать или превосходить стандарты, установленные тендерной документацией. |
| Имена и фамилии членов исследовательской группы с их идентификаторами (Scopus Author ID, Researcher ID, ORCID, при наличии) и ссылками на соответствующие профили | Муратхан Арай, PhD. Индекс Хирша Scopus = 2, WoS индекс Хирша = 3. ScopusID: 57219511165, WoS/PublonsID: V-1168-2018; ORCID: 0000-0001-9920-5193.  Турсунов Арман, PhD, доцент. Индекс Хирша Scopus = 19, WoS индекс Хирша = 18; ScopusID: 36943530700; WoS: JPK-4731-2023; |
| Список публикаций со ссылками на них (по направлениям) | 1. Muratkhan A., Orazymbet A., Zhakipova M., Assylbek M., Toktarbay S. A shadows from the static black hole mimickers // International Journal of Mathematics and Physics. – 2023. –Vol.13, –№ 2. – P. 44 – 49   (https://doi.org/10.26577/ijmph.2022.v13.i2.06).   1. Abishev M.E., Quevedo H., Beissen N., Toktarbay S., Mansurova A., Alimkulova M., Muratkhan A., Dzhapashov N.М., Kusmanova B.C. Определения релятивистских мультипольных моментов в ньютоновской гравитации массивных объектов // Вестник. Серия физическая. – 2020. –Vol.72, – № 1. – P.11–18.   (<https://doi.org/10.26577/RCPh.2020.v72.i1.02>).   1. Мансурова А.А., Бейсен Н.А., Кэведо Э., Алимкулова М.О., Муратхан М., Кашкеева А., Демисенова Д.А. Согласование условий для внутреннего и Внешнего пространства-времени Астрофизических компактных объектов //Вестник. Серия физическая. – 2019. –Vol.71, – № 4. – P.45–50. (https://doi.org/10.26577/RCPh-2019-i4-6). 2. Абишев М.Е., Кэведо Э., Токтарбай С., Мансурова А., Муратхан А., Токтарбек С., Иманбай С. Стационарное вакуумное решение уравнений Эйнштейна // Вестник. Серия физическая. – 2019. –Vol.69, – №2. – P. 4 – 9. (<https://doi.org/10.26577/rcph-2019-i2-1>). 3. Beissen N.A., Utepova D., Muratkhan A., Orazymbet A., Khassanov M., Toktarbay S. Application of GBT theorem for gravitational deflection of light by compact objects // Recent Contributions to Physics. – 2023. –Vol.1, – № 84. – P.15 – 22. (https://doi.org/10.26577/RCPh.2023.v84.i1.02). |
| Информация о патентах | - |