

## Краткая информация о проекте

|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Наименование | Исследование $q$ -метрики с помощью многоволновых наблюдений с высоким разрешением. ИРН AP25795219                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 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       | <p><i>Задача 1:</i> Ограничение <math>q</math>-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*.</p> <p>На данном этапе был выполнен анализ изображений теней чёрных дыр высокого разрешения, полученных с телескопа горизонта событий (EHT). Исследование было сосредоточено на объектах M87 и Sgr A*, чтобы оценить влияние квадрупольного момента на размер, форму и угловую структуру тени. Теоретические предсказания <math>q</math>-метрики были сопоставлены с наблюдательными данными, что позволило оценить возможные квадрупольные деформации. Полученные результаты дали наблюдательные ограничения на <math>q</math>-метрику и показали её отличие от моделей Керра и Шварцшильда.</p> |

|                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                    | <p><i>Задача 2:</i> 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 <math>q</math>-метрику.</p> <p>В рамках данной задачи проведено сравнение теоретических моделей орбитального движения, основанных на <math>q</math>-метрике, с наблюдаемыми данными ближнего инфракрасного диапазона, полученными с инструмента GRAVITY. Рассмотрены особенности динамики ярких инфракрасных вспышек, а также движение звезд S-класса в непосредственной близости от Sgr A*. Выполнены отбор, обработка и систематизация необходимых наблюдательных и расчетных данных для последующего наложения ограничений на параметры <math>q</math>-метрики.</p> <p><i>Задача 3:</i> Предсказание наблюдаемых эффектов, таких как искривление света и эффекты гравитационного линзирования, характерных для <math>q</math>-метрики, которые могут служить прямыми наблюдательными индикаторами деформаций пространства-времени вблизи компактных объектов.</p> <p>Выполнение задач проекта осуществляется поэтапно в соответствии с календарным планом: задачи 1 и 2 реализованы, выполнение задачи 3 предусмотрено в следующем отчетном периоде.</p> |
| Ожидаемые и достигнутые результаты | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Впервые будут получены ограничения на <math>q</math>-метрику, основанные на анализе радио интерферометрических данных, полученных с телескопа Event Horizon Telescope, включая исследование кольца фотонов, тени чёрной дыры, а также интерпретацию ярких областей, наблюдаемых вокруг объектов M87 и Sgr A*.</li> <li>2. Впервые будут получены ограничения на <math>q</math>-метрику путем сравнения орбитального движения с наблюдательными данными в ближнем инфракрасном диапазоне, полученными с помощью инструмента GRAVITY, в частности на основе анализа ярких вспышек и движения звёздных кластеров (S-звёзды) вблизи сверхмассивной чёрной дыры в центре нашей Галактики, Sgr A*.</li> <li>3. Будут сформулированы предсказания наблюдаемых эффектов, таких как искривление света и гравитационное линзирование, характерных для <math>q</math>-метрики, которые могут служить прямыми индикаторами деформаций пространства-времени вблизи компактных объектов.</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Имена и фамилии членов исследовательской группы с их идентификаторами (Scopus Author ID, Researcher ID, ORCID, при наличии) и ссылками на соответствующие профили | <p>Муратхан Арай, PhD. Индекс Хирша Scopus = 3, WoS индекс Хирша = 4. ScopusID: 57219511165, WoS/PublonsID: V-1168-2018; ORCID: 0000-0001-9920-5193. ORCID: 0000-0001-9920-5193;</p> <p>Турсунов Арман, PhD, доцент. Индекс Хирша Scopus = 19, WoS индекс Хирша = 18; ScopusID: 36943530700; WoS: JPK-4731-2023;</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Использование                                                                                                                                                     | Результаты проекта могут быть использованы для исследования сильных гравитационных полей, анализа свойств компактных астрофизических объектов, а также для интерпретации данных наблюдений, полученных с помощью ЕНТ и GRAVITY. Кроме того, результаты могут применяться в научно-исследовательской работе и в образовательном процессе по астрофизике и теории гравитации.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Приоритет в сравнении с реальными аналогами                                                                                                                       | Преимущество проекта заключается в том, что $q$ -метрика рассматривается не только как теоретическая модель, но и как объект сопоставления с реальными наблюдательными данными ЕНТ и GRAVITY. Это обеспечивает более конкретный и прикладной научный результат по сравнению с аналогичными исследованиями.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Список публикаций с ссылками на них                                                                                                                               | <p>24 декабря 2025г. в журнал Physical Review D направлена статья. Текущий статус рукописи: на рецензировании.</p> <p>Saken Toktarbay, Aray Muratkhan, Nurgissa Myrzakulov, Hernando Quevedo. Shadows observable correspondence in Kerr and static quadrupolar spacetimes // Physical Review D. Submitted 24 December. Статус: на рецензировании.</p> <p>23 декабря 2025г. в журнал Physical Sciences and Technology направлена одна статья. В настоящее время статус рукописи: на рецензировании.</p> <p>Жантай Муратхан, Манас Хасанов, Арай Муратхан, Алия Таукенова. Корреляционный анализ параметра ускорения ветра в высококомассивных рентгеновских двойных // Physical Sciences and Technology. Submitted 23 December. Статус: на рецензировании.</p> |
| Информация о патентах                                                                                                                                             | не планируется, поскольку исследование имеет фундаментальный теоретический характер.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |