‎

**Научная Визуализация:**

**‎ Черная Дыра Стрелец A\***

**‎В Метрике**

**‎Керра-Ньюмена.**

‎

**‎1. Цель работы**

‎*Создать научно-точную и наглядную визуализацию структуры сверхмассивной черной дыры Стрелец A\* (Sgr A\*) в центре нашей галактики, используя самую полную физическую модель, которая учитывает не только массу, но и вращение (a) и электрический заряд черной дыры (q).*

‎

**‎2. Почему это сложно и важно?**

‎*Большинство популярных изображений черных дыр показывают только "горизонт событий" — точку невозврата. Однако реальная структура черной дыры гораздо сложнее и включает в себя несколько ключевых областей, где пространство-время искривлено настолько сильно, что определяет поведение всего вокруг: света, плазмы, звезд. Понимание этих областей критически важно для современной астрофизики.*

‎

**‎3. Метод: Метрика Керра-Ньюмена**

‎ *Что это? Это решение уравнений Эйнштейна, которое описывает геометрию пространства-времени вокруг сферически-симметричного, вращающегося и заряженного массивного тела. Это самая полная модель из существующих.*

***‎ Что учитывает:***

***‎ · Масса (M):*** *Определяет основной масштаб искривления пространства.*

***‎ · Спин (a):*** *Безразмерный параметр, описывающий скорость вращения. Искривляет пространство-время вокруг черной дыры, "увлекая" его за собой.*

***‎ · Заряд (q):*** *Влияет на структуру горизонтов и орбит. Для астрофизических черных дыр считается пренебрежимо малым, но был добавлен для полноты модели.*

‎

**‎4. Ключевые параметры, которые были рассчитаны и визуализированы:**

‎*На графике концентрические круги отображают не физические объекты, а критические радиусы, где поведение материи и света кардинально меняется.*

‎

‎***1. Горизонт событий (Черный круг):***

‎ *· Что это? Граница, из-под которой ничто, даже свет, не может выйти.*

*‎ · Как рассчитан? r₊ = M + √(M² - a² - q²)*

‎***2. Тень Черной Дыры (Серый круг, штрих-пунктир):***

‎ *· Что это? Область кажущейся "темноты", которую мы видим на фоне излучающего аккреционного диска (знаменитое изображение от EHT). Ее размер больше горизонта событий.*

*‎ · Как рассчитан? Рассчитывается путем численных решений с использованием прицельного параметра.*

‎***3. ISCO (Innermost Stable Circular Orbit) — Внутренняя устойчивая круговая орбита (Синий и Красный круги):***

‎ *· Что это? Самая близкая к черной дыре орбита, на которой еще может существовать стабильный аккреционный диск (вещество, падающее на черную дыру). Ближе этой орбиты вещество неустойчиво и быстро падает под горизонт.*

*‎ · Почему их два? Из-за вращения черной дыры (спина):*

*‎ · Ретроградный ISCO (Синий): Орбита, где вещество вращается против направления вращения черной дыры. Она находится дальше.*

*‎ · Протоградный ISCO (Красный): Орбита, где вещество вращается в том же направлении. Она намного ближе к черной дыре.*

*‎***4. Фотонная Сфера (Фиолетовый и Зеленый пунктирные круги):**

*‎ · Что это? Область, где гравитация настолько сильна, что фотоны (частицы света) могут двигаться по круговым орбитам. Это не стабильные орбиты, а критическая точка.*

*‎ · Почему их два? Аналогично ISCO, из-за вращения черной дыры существуют протоградная и ретроградная фотонные сферы.*

‎***5. Излучение Хокинга (Указано в тексте):***

*‎ · Что это? Квантовый эффект, из-за которого черная дыра должна испаряться, излучая частицы.*

*‎ · Почему значение такое маленькое? Для массивных астрофизических черных дыр этот эффект ничтожно мал. Его температура составляет миллиардные доли Кельвина.*

‎

‎**5. Использованные данные и инструменты**

**‎· Данные:** *Масса и параметры Sgr A\* взяты из данных коллаборации Event Horizon Telescope (EHT) — международного проекта, который в 2022 году получил первое изображение этой черной дыры.*

**‎· Инструменты:** *Работа реализована на языке Python с использованием библиотек matplotlib и numpy для вычислений и визуализации. Для расчетов были программно реализованы уравнения метрики Керра-Ньюмена.‎*

‎**6. Значимость работы**

**‎*· Научная точность:*** *Визуализация не является художественной. Каждый радиус рассчитан по строгим формулам Общей Теории Относительности.*

***‎· Образовательная ценность: Работа*** *наглядно демонстрирует сложную и не интуитивную структуру черных дыр, которую невозможно понять без математического аппарата.*

***‎· Техническое исполнение:*** *Проект демонстрирует владение продвинутым программированием, математическим моделированием и понимание одной из самых сложных областей современной физики.*

‎

‎**Вывод:**

*‎Данная работа является законченным научно-вычислительным проектом между сложной теорией и наглядным представлением.*

‎

‎

**‎Автор Научной Работы:**  Шаваев Дамир Расулович.

‎

**‎Gmail:**

‎shavaeffdamir1@gmail.com