

## ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ: СТРУКТУРА, ФОРМИРОВАНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ

*Ременчик Е.П., Артеменко Е.А., студенты гр.378105*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Леонович А.А. – канд. физ.-мат. наук*

**Аннотация.** Данная работа посвящена исследованию на тему чёрных дыр, их структуры, формирования и эволюции. Также будут затронуты существующие чёрные дыры и звезды, которые в последствии могут ими стать.

Чёрные дыры являются одними из самых странных и удивительных объектов в космосе. Они чрезвычайно плотные, с таким сильным гравитационным притяжением, что даже свет не может вырваться из их рук.

Млечный Путь может содержать более 100 миллионов чёрных дыр, хотя обнаружить их очень сложно. В центре Млечного Пути находится сверхмассивная чёрная дыра — Стрелец А\*. Колоссальная структура примерно в 4 миллиона раз превышает массу Солнца и находится примерно в 26 000 световых лет от Земли, согласно заявлению НАСА.

Чёрные дыры были предсказаны как точное математическое решение уравнений Эйнштейна. Уравнения Эйнштейна описывают форму пространства вокруг материи. Общая теория относительности связывает геометрию с детальным распределением материи.

Решение проблемы чёрной дыры было найдено Карлом Шварцшильдом в 1915 году, и было обнаружено, что эти области — чёрные дыры — чрезвычайно искажают пространство и создают прокол в ткани пространства-времени. В то время было неясно, соответствуют ли они реальным объектам во Вселенной. Со временем, когда были обнаружены другие конечные продукты звездной смерти, а именно нейтронные звезды, рассматриваемые как пульсары, стало ясно, что чёрные дыры реальны и должны существовать. Первой обнаруженной чёрной дырой стала Лебедь-X1.

Чёрные дыры не излучают и не отражают свет, что делает их практически невидимыми для телескопов. Ученые в первую очередь обнаруживают и изучают их на основе того, как они влияют на окружающую среду

Массивные объекты, такие как чёрные дыры, могут искривлять и искажать свет от более удаленных объектов. Этот эффект, называемый гравитационным линзированием, может быть использован для поиска изолированных чёрных дыр, которые иначе невидимы.

По данным Space Telescope Science Institute (STScI), примерно одна из каждой тысячи звезд достаточно массивна, чтобы стать чёрной дырой. Поскольку Млечный Путь содержит более 100 миллиардов звезд, наша родная галактика должна содержать около 100 миллионов чёрных дыр. По оценкам НАСА, в нашей галактике может быть от 10 миллионов до миллиарда звездных чёрных дыр.

Ближайшая к Земле чёрная дыра называется «Единорог» и находится примерно в 1500 световых годах от нас. Прозвище имеет двойное значение. Мало того, что чёрная дыра находится в созвездии Единорога, ее невероятно низкая масса — примерно в три раза больше массы Солнца — делает ее почти единственной в своем роде.

Чёрные дыры имеют три «слоя»: внешний и внутренний горизонт событий и сингулярность. Также в них выделяют такие области, как фотонная сфера, эргосфера и аккреционный диск.

Горизонт событий чёрной дыры — это граница вокруг устья чёрной дыры, за которую свет не может вырваться. Как только частица пересекает горизонт событий, она не может уйти. Гравитация постоянна на всем горизонте событий.

Сингулярность — это точка размером с планковскую длину, которая содержит всю массу чёрной дыры. Она находится в центре горизонта событий и является фактическим телом чёрной дыры.

Фотонная сфера или фотонный круг — это область пространства, где гравитация настолько сильна, что фотоны вынуждены двигаться по орбитам. Это сферическая граница нулевой толщины, в которой фотоны, движущиеся по касательным к этой сфере, были бы захвачены круговой орбитой вокруг чёрной дыры.

Эргосфера. Вращающиеся чёрные дыры окружены областью пространства-времени, в которой невозможно стоять на месте. Эта область пространства-времени называется эргосферой. Объекты и излучение могут нормально выходить из эргосферы. Благодаря процессу Пенроуза объекты могут выходить из эргосферы с большей энергией, чем они вошли. Эта энергия берется из энергии вращения чёрной дыры, заставляя ее замедляться.

Аккреционный диск. Основным источником света от чёрной дыры является структура, называемая аккреционным диском. Чёрные дыры растут, поглощая материю, процесс, который ученые называют аккрецией, и сливаясь с другими чёрными дырами. Чёрная дыра звездной массы в паре со звездой может вытягивать из нее газ, а сверхмассивная чёрная дыра делает то же самое из звезд,

которые находятся слишком близко. Газ оседает в горячем, ярком, быстро вращающемся диске. Вещество постепенно прокладывает свой путь от внешней части диска к его внутреннему краю, где оно попадает в горизонт событий. Изолированные черные дыры, которые поглотили окружающую их материю, не обладают аккреционным диском, и их очень трудно найти и изучить.

Если бы мы могли увидеть его вблизи, мы бы обнаружили, что аккреционный диск имеет забавную форму, если смотреть на него под разными углами. Это связано с тем, что гравитационное поле черной дыры искривляет пространство-время, ткань Вселенной, и свет должен следовать по этому искаженному пути. Астрономы называют этот процесс гравитационным линзированием. Свет, приходящий к нам с вершины диска позади черной дыры, образует над ней горб. Свет из-под дальней стороны диска идет по другому пути, создавая еще один горб внизу. Размеры и формы горбов меняются по мере того, как мы смотрим на них под разными углами, и мы вообще не видим горбов, когда видим диск точно лицевой стороной.

Черные дыры возникают в результате коллапса огромных нейтронных звезд, чья масса превышает 3 массы Солнца. По мере сжатия этих звезд их гравитационное поле становится все более сильным и интенсивным. По итогу, звезда сжимается до такой степени, что свет не может преодолеть ее гравитационную силу. Радиус, на который должна сжаться звезда, чтобы превратиться в черную дыру, называется гравитационным радиусом. Для массивных звезд этот радиус составляет несколько десятков километров.

Как и многие другие космические объекты черные дыры бывают разных видов. Ученые классифицируют их как звездные, сверхмассивные или промежуточные.

Исследования, связанные с определением условий, при которых звезда эволюционирует в черную дыру, оставляют некоторые нерешенные вопросы. Это связано с невозможностью экспериментально изучать поведение вещества при экстремально высоких плотностях, которые характерны для черных дыр. Моделирование звезд на поздних стадиях их эволюции также является сложной задачей из-за изменений в химическом составе и быстрого протекания процессов. Стоит отметить, что на этих стадиях происходят события, такие как вспышки сверхновых, которые являются одними из самых значительных космических событий.

Существуют различные модели, которые дают нижнюю оценку массы черной дыры, образующейся в результате гравитационного коллапса, и они варьируются от 2,5 до 5,6 масс Солнца. Радиус черной дыры очень мал и составляет всего несколько десятков километров.

Впоследствии черная дыра может увеличивать свою массу за счет поглощения вещества, обычно газа, из окружающих двойных звездных систем (столкновение черной дыры с другим астрономическим объектом из-за ее малого размера крайне маловероятно). Этот процесс называется аккрецией, и он приводит к образованию аккреционного диска, где газ разгоняется до очень высоких скоростей, нагревается и излучает энергию, включая рентгеновский диапазон.

Однако главной проблемой является сложность различения аккреционных дисков, связанных с нейтронными звездами и черными дырами, что создает неопределенность в идентификации астрономических объектов с черными дырами. Основное отличие заключается в том, что газ, падающий на другие объекты, в конечном итоге сталкивается с их твердой поверхностью, что приводит к интенсивному излучению, тогда как газ, падающий на черную дыру, меркнет по мере приближения к горизонту событий из-за гравитационного замедления времени. Такое поведение было наблюденно, например, в случае системы Лебедь X-1 с использованием телескопа Хаббла.

Существует еще два типа черных дыр: первичные и квантовые.

Результаты экспериментов с протон-протонными столкновениями на Большом адронном коллайдере при полной энергии 7 ТэВ показали, что эта энергия недостаточна для образования микроскопических черных дыр. Исходя из этих данных, можно сделать вывод, что микроскопические черные дыры должны иметь массу от 3,5 до 4,5 ТэВ в зависимости от конкретных условий.

Черные дыры представляют собой уникальные и необычные объекты с непривычными свойствами. Несмотря на значительный прогресс в их изучении, природа пространства и времени в окрестности черных дыр остается загадкой. Некоторые аспекты этой проблемы до сих пор кажутся научными курьезами, интересными лишь для специалистов.

Относительно практической реализации новых идей, следует вспомнить, что даже в середине XIX века такая насущная практическая вещь, как электричество, казалась всего лишь научной абстракцией. Когда британский премьер-министр того времени спросил Фарадея о практической ценности электричества, Фарадей ответил: "Когда-нибудь ваше правительство обложит его налогом".

#### **Список использованных источников:**

1. Черные дыры: все, что вам нужно знать. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [Black holes: Everything you need to know | Space](#) – Дата доступа 08.04.2024
2. Черные дыры. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [Black Holes \(nasa.gov\)](#) – Дата доступа 08.04.2024
3. Что такое черные дыры? [Электронный ресурс] – Режим доступа: [What Are Black Holes? The Secrets Of The Universe \(secretsofuniverse.in\)](#) – Дата доступа 08.04.2024
4. Полное введение в черные дыры. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [A Complete Introduction to Black Holes: | by Rak Laptudirm | Medium](#) – Дата доступа 08.04.2024
5. Типы черных дыр. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [Types \(nasa.gov\)](#) – Дата доступа 08.04.2024