

ТАЙНЫ КОСМОСА: ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ

Козлов И.С., Коклягин М.Е.

МБОУ Одинцовская лингвистическая гимназия, 3 «Г» класс

Руководитель: Малярчук О.В., МБОУ Одинцовская лингвистическая гимназия,
учитель начальных классов

Вселенная – это бесконечное пространство, окружающее бесчисленное количество небесных тел. Небесными телами называют звёзды, кометы, астероиды, планеты и многие другие объекты, сформировавшиеся в космосе. Вселенная содержит миллиарды таких небесных тел, как галактики, туманности, чёрные дыры. Земля и все её обитатели также являются частью Вселенной. Космос – это всё пространство Вселенной, находящееся за пределами границ нижних уровней атмосфер небесных тел. Космос начинается на высоте около 100 километров от поверхности нашей планеты, то есть там, где её воздушная оболочка становится столь разреженной, что самолёты не могут в ней передвигаться.

Одним из самых интересных и малоизученных явлений космоса являются черные дыры. Внутри чёрной дыры удивительным образом меняются свойства пространства и времени, текут удивительные физические процессы, проявляются новые законы природы.

Цель проекта

Узнать, что такое чёрные дыры, как они образуются и каких видов они бывают.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить **следующие задачи**:

- прочитать и проанализировать научную литературу о космосе и черных дырах;
- просмотреть научные фильмы о чёрных дырах;
- изучить строение черной дыры и природу ее образования.

Для решения этих задач мы использовали следующие методы:

- теоретический анализ информации (подбор материалов научной литературы);
- обобщение и систематизация полученных результатов исследования;
- практические формы работы (поисковая – сбор информации, создание презентации, подготовка сценария и проведение мероприятия о загадках космоса в классе).

Актуальность проекта

Теория черных дыр является одной из наиболее интересных тем в современной астрономии, астрофизике и космологии. Изучение этих объектов позволяет луч-

ше понять устройство нашей Вселенной, а также спрогнозировать ее будущее. Теоретики предсказывают возможность существования микроскопических черных дыр, которые экспериментаторы мечтают обнаружить с помощью ускорителей элементарных частиц (коллайдеров). Существует даже совершенно фантастический проект их массовой концентрации «для практического применения». Может быть, черные дыры в скором будущем, не будут казаться заволакивающе незнакомыми и непонятными, а помогут людям усовершенствовать многие физические процессы на Земле, так как они являются самыми грандиозными источниками энергии во Вселенной.

История обнаружения черных дыр

Попытки объяснить феномен черных дыр (еще не зная об их существовании) были сделаны давно, более двух веков назад. Например, Исаак Ньютон считал, что свет состоит из частиц, следовательно, он обладает массой, а значит, на него действует гравитация. Следуя таким выводам, английский астроном Джон Митчелл и французский астроном, физик и математик Пьер-Симон Лаплас рассмотрели ситуацию, когда луч света в принципе не может покинуть поверхность звезды. Построения ученых были довольно просты и полностью основывались на выдающемся достижении человеческого разума – ньютоновской теории всемирного тяготения. По их расчетам, если наше Солнце взять и сжать до радиуса в 3 километра, образуется настолько огромная сила гравитации, что даже свет не сможет ее покинуть.

Впервые теоретическое существование черных дыр доказал в 1915 году Альберт Эйнштейн когда сформировал общую теорию относительности.

Карл Шварцшильд, немецкий астроном и физик, был первым, кто применил общую теорию относительности Эйнштейна для того, чтобы обосновать существование «точки невозврата». Им был придуман термин «радиус Шварцшильда» – величина, которая показывает, как сильно придется сжать объект, чтобы он стал черной дырой.

В 1932 году гениальный физик из СССР Лев Ландау предположил, что при коллапсе

сверхмассивная звезда сжимается в точку с бесконечно малым радиусом и бесконечной массой. Также физик предположил, что согласно теории относительности, гравитация в такой точке будет столь велика, что начнет искажать пространство-время.

Несмотря на то, что астрофизики уже много лет получали косвенные доказательства существования сверхмассивных невидимых объектов во Вселенной, термина «черная дыра» не существовало вплоть до 1967 года. Чтобы избежать сложных названий, американский физик Джон Арчибальд Уиллер предложил назвать такие объекты «черными дырами». Почему бы и нет? В какой-то мере они черные, ведь мы их не можем увидеть. К тому же они все притягивают, в них можно упасть, прямо как в настоящую дыру. Да и выбраться из такого места согласно современным законам физики просто невозможно. Впрочем, Стивен Хокинг, английский физик-теоретик и космолог, утверждал, что при путешествии сквозь черную дыру можно попасть в другую Вселенную, другой мир, а это уже надежда.

Стивен Хокинг в 1975 году доказал, что черные дыры не всегда поглощают свет, который появляется в аккреционных дисках, и его часть рассеивается в пространство. Такое явление было названо излучением Хокинга, или испарением черной дыры. Также Хокинг установил зависимость между размером черной дыры и скоростью ее «испарения» – чем она меньше, тем меньше существует во времени.

Что такое черные дыры и как они образуются

Черная дыра – это область в пространстве-времени, гравитационное притяжение которой настолько велико, что покинуть её не могут даже объекты, движущиеся со скоростью света, в том числе и лучи света. А поскольку быстрее света ничего нет, все остальное тоже туда затягивается. Так что можно провалиться в черную дыру и никогда больше оттуда не выбраться. Всегда считалось, что черная дыра – это как вечная темница, из которой нет спасения. Упасть в черную дыру – все равно, что в Ниагарский водопад: невозможно выкарабкаться наружу тем же путем.

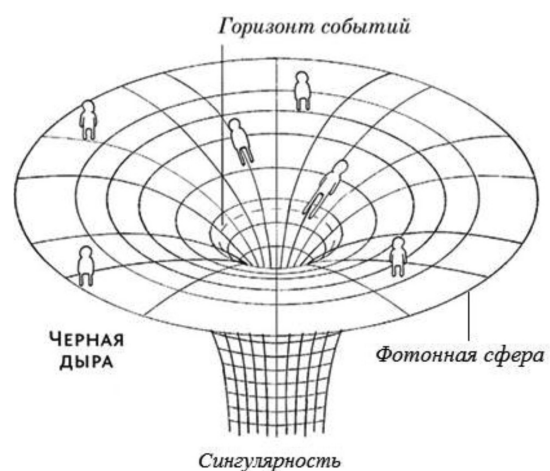
Как правило, черную дыру делят на следующие составляющие: фотонная сфера, горизонт событий и сингулярность.

Фотонная сфера – это сферическая поверхность нулевой толщины, на которой движущиеся вдоль касательной к поверхности фотоны будут захвачены на круговые орбиты. Если проходящий фотон пересекает фотонную сферу, его захватит черная

дыра. Однако, движение по поверхности нестабильно, и в результате возмущений фотон может покинуть фотонную сферу.

Горизонт событий является неотъемлемой частью черной дыры. По сути, горизонт событий – это граница, под которой пространство-время искривляется настолько, что все пути частиц направлены вниз, к сингулярности. При приближении объекта к горизонту событий сторонний наблюдатель будет видеть его замедление с практически полной остановкой и исчезновением. Это происходит из-за разницы течения времени у наблюдателя и объекта, падающего в черную дыру. У наблюдателя время бежит быстрее. У объекта же все процессы замедляются, испускаемые фотоны перестают вырываться наружу, из-за чего свет тускнеет, становясь более красным и тусклым, и через некоторое время весь испускаемый объектом свет будет поглощен черной дырой. Объект исчезнет из поля зрения наблюдателя. Эта граница как край водопада: если ты находишься за ним и очень быстро гребешь веслом, у тебя есть шанс спастись, но если ты упал за край – ты обречён. Чем больше всяких предметов попадает в черную дыру, тем больше она становится, и тем сильнее раздвигается горизонт. Это как с поросёнком – чем больше его кормишь, тем толще он становится.

Сингулярность – точка пространства с бесконечной массой, плотностью и гравитацией. Тяжело представить себе это, но в данном случае вся масса черной дыры сосредоточена в нулевом объеме! Фактически в этой области не действуют никакие известные нам законы физики.



Ученые выделяют несколько возможных вариантов образования черных дыр. Черные дыры могут образовываться в результате сжатия гигантских нейтронных

звезд массой более чем в 3 раза превышающей массу Солнца под действием собственной силы тяготения. При сжатии их гравитационное поле уплотняется все сильнее и сильнее. Наконец звезда сжимается до такой степени, что свет уже не может преодолеть ее притяжения. Т.е. когда звезда, в которой истощился запас топлива, взрывается как водородная бомба. Верхние слои звезды разлетаются, образуя газовую оболочку, а сердцевина сжимается, и на месте сердцевины возникает черная дыра.

По другой теории черные дыры намного большего размера образуются внутри звездных скоплений и в центре галактик. Их масса превышает массу Солнца в миллиарды раз. Чёрные дыры создаёт гравитация, наподобие того, как создаются звёзды. Отличие лишь в силе сжатия. Если масса звёздной системы гравитацией зажигает звезду в своем центре, то намного большая масса всей галактики создаёт не звезду, а её антипод – чёрную дыру. Своим сильным гравитационным притяжением такие «чёрные дыры» оказывают влияние на всю галактику.

Если в наше время необходимая плотность вещества для рождения чёрной дыры, может возникнуть лишь в сжимающихся ядрах погибающих звезд, то на рассвете Вселенной, сразу после Большого взрыва, высокая плотность материи была повсеместно. Поэтому небольшие изменения плотности могли приводить к формированию черных дыр любой массы. Самые маленькие из них в силу квантовых эффектов должны были испариться. Самые первые чёрные дыры с огромной массой могли сохраниться до наших дней. Самые мелкие из них, с массой как у небольшого астероида, должны иметь размер, сопоставимый с размерами элементарных частиц (протона или нейтрона).

Кроме того, существует гипотетическая возможность рождения микроскопических черных дыр при взаимных соударениях быстрых элементарных частиц. Таков один из прогнозов теории струн – одной из физических теорий строения материи. Согласно теории струн, пространство имеет более трех измерений. Гравитация, в отличие от прочих сил, должна распространяться по всем этим измерениям и поэтому существенно усиливаться на коротких расстояниях. При столкновении двух частиц, они могут сжаться достаточно сильно, чтобы появилась микроскопическая черная дыра. После этого она почти мгновенно «испарится» (разрушится), но наблюдение за этим процессом представляет для физики большой интерес, поскольку, испаряясь, дыра будет испускать все существующие в природе виды частиц.

Виды черных дыр и их свойства

Сейчас одно из важнейших направлений физики – исследование черных дыр, поскольку вблизи них проявляются скрытые свойства гравитации. Астрономы недавно выяснили, что черные дыры можно разделить на несколько разновидностей. Есть вращающиеся чёрные дыры, черные дыры с электрическим зарядом и чёрные дыры, включающие черты первых двух.

Виды черных дыр:

- Черные дыры звездных масс. Это черные дыры, образованные в результате коллапса достаточно массивной звезды. Как правило, масса такой звезды должна составлять в среднем 5 солнечных масс. Со временем такая черная дыра может набрать массу за счет поглощения вещества.

- Среднемассивные чёрные дыры. Предполагается, что такие дыры образуются исключительно путем слияния многих черных дыр звездных масс. Масса таких черных дыр может достигать нескольких тысяч солнечных масс. Есть и нижний предел – 200 солнечных масс.

- Сверхмассивные чёрные дыры. Огромные черные дыры с массой от нескольких миллионов до миллиардов солнечных масс. Как правило, такие дыры находятся в центрах практически всех галактик.

В рамках наиболее популярной теории гравитации Эйнштейна свойства черных дыр изучены весьма подробно. Наиболее любопытные особенности черных дыр таковы:

- *Черные дыры замедляют время вблизи себя.* По мере приближения к горизонту событий время замедляется. Чтобы понять, почему это происходит, нужно обратиться к «парадоксу близнецов», мысленному эксперименту, часто используемому для иллюстрации основных положений общей теории относительности Эйнштейна. Один из братьев-близнецов остается на Земле, а второй улетает в космическое путешествие, двигаясь со скоростью света. Вернувшийся на Землю близнец обнаруживает, что его брат постарел больше, чем он, потому что при движении на скорости, близкой к скорости света, время идет медленнее. Приближаясь к горизонту событий черной дыры, вы будете двигаться с такой высокой скоростью, что время для Вас замедлится.

- *Черные дыры искривляют пространство рядом с собой.* Пространство можно представить себе как растянутую резиновую пластинку с нарисованными на ней линиями. Если на пластинку положить какой-нибудь объект, она изменит свою форму. Так же работают и черные дыры. Их экс-

тремальная масса притягивает к себе все, включая свет (лучи которого, продолжая аналогию, можно было бы назвать линиями на пластинке)

● *Черные дыры являются самыми совершенными энергетическими установками.* Черные дыры генерируют энергию лучше, чем Солнце и другие звезды. Это связано с материей, вращающейся вокруг них. Преодолевая горизонт событий на огромной скорости, материя на орбите черной дыры разогревается до крайне высоких температур. Это называется излучением абсолютно черного тела. Преобразование массы в энергию этим путем в 50 раз более эффективно, чем ядерный синтез.

● *Черные дыры «стирают» память об исходном объекте.* Каким бы сложным ни было исходное тело, после его сжатия в «чёрную дыру» внешний наблюдатель может определить только три его параметра: полную массу, момент импульса (связанный с вращением) и электрический заряд. Все остальные особенности тела (форма, распределение плотности, химический состав и т.д.) в ходе коллапса «стираются». Изучая «чёрную дыру», уже невозможно узнать, состояла ли исходная звезда из вещества или антивещества, была ли она вытянутой или сплюснутой и т.п.

● *Черные дыры образуют сингулярность.* Всё вещество внутри горизонта событий «чёрной дыры» непременно падает к её центру и образует сингулярность – область бесконечно малых размеров с бесконечно большой плотностью, из-за которой все вещество звезды разрушается. Английский физик Стивен Хоукинг определял сингулярность как «место, где разрушается классическая концепция пространства и времени так же, как и все известные законы физики, поскольку все они формулируются на основе классического пространства-времени».

● *Черные дыры испаряются со временем.* Черные дыры не только поглощают звездный ветер, но и испаряются. Это явление было открыто Стивеном Хокингом в 1974 г. (излучение Хокинга). Со временем черная дыра может отдать всю свою массу в окружающее пространство вместе с этим излучением и исчезнуть. Идея об «испарении» чёрных дыр полностью противоречит классическому представлению о них как о телах, не способных излучать.

Сверхмассивные черные дыры

В сердце каждой галактики располагается невидимый объект огромных размеров, искажающий орбиты звезд. Этим объектом оказалась сверхмассивная черная дыра или

квazar (ослепительный луч энергии, протяженность которого составляет несколько миллиардов километров). Это объясняется тем, что в центральных частях галактик скопление звезд наибольшее, результат их слияния и приводит к гигантским массам черных дыр, и выходит, что сверхмассивная черная дыра в центре галактики – это не странность, а закономерность.

Сверхмассивная черная дыра фактически ядро галактики, у которого есть сверхмощное гравитационное поле, существующее за счет своей массы (миллионы или миллиарды масс Солнца). Принцип формирования сверхмассивных черных дыр пока установить не удалось. Согласно одной версии, причиной такого коллапса служат слишком сжатые газовые облака, газ в которых предельно разрежен, а температура невероятно высока. Вторая версия – это приращение масс различных малых черных дыр, звезд и облаков к единому гравитационному центру.

Одним из самых объемных и старых объектов в космосе является сверхмассивная черная дыра в квазаре OJ 287. Это мощный источник электромагнитного излучения в ядре галактики расположенной в созвездии Рака, которая очень плохо видна с Земли. В ее основе лежит двойная система черных дыр, следовательно, имеется два горизонта событий и две точки сингулярности.

Сверхмассивная черная дыра в центре Млечного Пути не входит в разряд самых мощных. Дело в том, что наша галактика имеет спиралевидную структуру, что, в свою очередь, заставляет всех ее участников находиться в постоянном и достаточно быстром движении. Таким образом, гравитационные силы, которые могли бы быть сосредоточены исключительно в центре, как бы рассеиваются, и от края к ядру увеличиваются равномерно.

Еще один интересный момент – цвет, в котором перед нами предстают самые мощные ядра галактик, сложно назвать черным. Невооруженным глазом на самой простой фотографии любой галактики видно, что ее центр – это огромная белая точка. Почему же тогда сверхмассивная «черная дыра»? Фото, сделанные через телескопы, демонстрируют огромное скопление звезд, которые притягивает к себе ядро. Планеты и астероиды, которые вращаются рядом, из-за непосредственной близости отражают, тем самым преумножая весь присутствующий рядом свет. Так как ядра галактик не затягивают с молниеносной скоростью все соседние объекты, а лишь удерживают их в своем гравитационном радиусе, они не

пропадают, а начинают еще больше пылать, ведь их температура стремительно растет. Что же касается обычных черных дыр, которые существуют в открытом космосе, то их название полностью оправдано. Размеры относительно невелики, но при этом сила гравитации колоссальна. Они попросту «съедают» свет, не выпуская из своих берегов ни единого луча.

Первичные черные дыры

Первичные черные дыры в настоящее время носят статус гипотезы. Они стали предметом значительного интереса с тех пор как Стивингом Хокингом было открыто квантовое испарение черных дыр малой массы, поскольку только первичные черные дыры могут обладать такими малыми массами.

Первичные черные дыры – гипотетические космические объекты, которые могли образоваться на ранней стадии эволюции Вселенной, в эпоху доминирования излучения над веществом, называемой Горячей Вселенной. В этот момент давление и температура Вселенной были крайне высокими, поэтому первичные черные дыры могли иметь как очень большие, так и очень маленькие массы. В первом случае они могут стать семенами для сверхмассивных черных дыр. Во втором случае, они подходят на роль темной материи.

Объекты с массой меньше миллиарда тонн были подвержены активному испарению за счет «излучения Хокинга», поэтому сегодня мы не можем их наблюдать, однако их изучение представляет интерес, так как оно могло повлиять на разные процессы, происходившие во Вселенной ранее. Первичные дыры, имеющие массу больше миллиарда тонн, отличаются от черных дыр, образующихся в результате звездного коллапса только тем, что изначально не вращаются, поэтому они могут быть обнаружены аналогично: например, при наблюдении искажения хода световых лучей в гравитационном поле массивных объектов.

Квантовые черные дыры

Предполагается, что в результате ядерных реакций могут возникать устойчивые микроскопические чёрные дыры, так называемые микродыры или квантовые чёрные дыры. Но даже если квантовые чёрные дыры существуют, время их существования крайне мало, что делает их непосредственное обнаружение очень проблематичным.

Когда размышляют о чёрных дырах, обычно представляют себе массивных монстров, способных целиком заглатывать космические корабли или даже звёзды. Однако дыры, которые могли бы родиться на самых мощных ускорителях, например, на

Большом адронном коллайдере в ЦЕРНе под Женевой являются дальними родственниками подобных астрофизических бегемотов. Это микроскопические дыры, сравнимые по размерам с элементарными частицами. Они не будут разрываться на куски звёзды, управлять галактиками или представлять угрозу нашей планете. Но в определённом смысле свойства этих дыр будут ещё более интригующими: благодаря квантовым эффектам они будут быстро испаряться вскоре после образования, заставляя детекторы частиц светиться, как рождественские ёлки.

Именно квантовые черные дыры инструмент в разложении элементарной материи на элементарные частицы, а после превращения частиц в энергию. Любому объекту столкнувшись с черной дырой, предстоит разложиться на элементарные частицы. И это произойдет с любой элементарной материей, как под воздействием квантовых генераторов сфокусированных в одной точке, и при достижении неограниченной мощности, так и от воздействия квантовых черных дыр. Насколько ближе подходит объект к черной дыре, настолько плотно соприкасается со сверхмагнитным веществом, что разделяется на атомы от воздействия излучения квантовых черных дыр и их квантовой гравитации.

Понимание того, что чёрные дыры могут быть маленькими, подтолкнуло Стивена Хокинга к рассмотрению того, какие квантовые эффекты могут в этом случае проявиться. В 1974 г. он пришёл к знаменитому выводу, что чёрные дыры способны не только заглатывать частицы, но и выплёвывать их. Хокинг предсказал, что дыра испускает тепловое излучение, как нагретая печка, причём температура обратно пропорциональна массе дыры.

Поэтому такие дыры могут дать в руки исследователей ключ к пониманию того, как объединено пространство и время, существуют ли дополнительные невидимые пространственные измерения.

Обнаружение черных дыр

Проблем в исследовании и наблюдении за черными дырами довольно много, однако главная трудность состоит в их обнаружении. Свет не может преодолеть их гравитацию, а это значит, что объект с такой колоссальной массой остается невидим! Так что даже если бы самый мощный телескоп современности «Хаббл» «увидел» сверхмассивную черную дыру, понять, что она действительно там есть, сможет только астрофизик.

Теория звездной эволюции указывает, что за 12 млрд. лет существования нашей Галактики, содержащей порядка 100 млрд.

звезд, в результате коллапса наиболее массивных из них должно было образоваться несколько десятков миллионов черных дыр. В настоящее время в зоне видимости наблюдается около 200 объектов – кандидатов в черные дыры, но нет пока ни одного объекта, в отношении которого можно утверждать, что это черная дыра.

Черная дыра как физический объект обладает очень многими интересными и необычными свойствами, но подавляющее большинство этих свойств проявляются в непосредственной близости или даже за горизонтом событий. Для удаленного наблюдателя они недоступны и в качестве признаков обнаружения не представляют интереса.

Ищут черные дыры по косвенным признакам, т.е. по искажению нормальных характеристик ближайших объектов, например – черная дыра. Есть и другие признаки, основанные на проявлении именно необычных свойств черных дыр, и представляют значительные трудности для обнаружения.

Рассмотрим методы, которые астрономы используют для обнаружения черных дыр.

Черную дыру можно зарегистрировать в том случае, когда она притягивает окружающую ее материю, будь то звездное вещество соседней звезды или газовое облако, через которое движется черная дыра. В таком случае видимое вещество начнет стягиваться к массивному объекту, образуя вокруг него аккреционный диск. То есть диск быстровращающейся разогретой материи. В некоторых случаях вращающаяся вокруг черной дыры материя может плотно перекрывать черную дыру, тем самым визуально образуя огромную светящуюся сферу.

Метод гравитационного возмущения позволяет определить наличие черной дыры по ее гравитационному влиянию на окружающие тела. К примеру, если траектория движения планеты вокруг некоторой звезды не согласуется с теоретическими подсчетами орбиты этой планеты, а имеет некоторое искажение, можно предположить о наличии массивного объекта вблизи планеты, который влияет на ее траекторию. Данный частный случай упрощен, так как подобные ситуации позволяют обнаружить менее массивные объекты, вроде других планет. Черные дыры же могут искажать траекторию огромных облаков газа.

Одно из явлений, которое также позволяет обнаружить черную дыру – гравитационное линзирование. Свет, проходящий около границ черной дыры, несколько изменяет свою траекторию, создавая таким образом размытую или искаженную картинку, а иногда даже продублированное изображение космических тел. Таким образом,

черная дыра, расположенная на фоне какого-либо скопления, вроде галактики или туманности, дает аномальное изображение этого скопления, что привлекает астрономов и дает повод начать поиски черной дыры в этой области небосвода.

Заключение

В заключении следует сказать, что ни одно из предположений ученых на сегодняшний день не доказано. Многие считают, что материя, попавшая в черную дыру, исчезает из Вселенной и где-то в нашей же или в другой Вселенной снова «выбрасывается». Другие предполагают, что черная дыра может быть чем-то вроде «временного портала», через который можно перемещаться по Вселенной в мгновение ока или вообще совершить путешествие в прошлое.

При этом можно выделить несколько интересных и необычных особенностей природы черных дыр:

- ЧД имеют всего три параметра: масса, электрический заряд и момент импульса. В результате такого малого количества характеристик этого тела, теорема утверждающая это, называется «теоремой об отсутствии волос». Отсюда также возникла фраза «у черной дыры нет волос», которая обозначает, что две ЧД абсолютно идентичны, если их упомянуть выше три параметра одинаковы.

- Время для тел, поглощенных ЧД, идет значительно медленней, чем для внешнего наблюдателя. Кроме того, поглощенные тела значительно растягиваются внутри черной дыры. Эти предметы начинают напоминать спагетти («спагеттификация»).

- Общее количество черных дыр во Вселенной подсчитать невозможно. Предполагается, что в центре каждой галактики находится черная дыра, удерживающая всю эту галактику. Это сверхмассивные черные дыры, то есть их масса составляет миллионы, иногда миллиарды масс Солнца, а в некоторых случаях даже больше.

- Теоретически, черной дырой может стать все, что угодно, при достаточной степени сжатия. Чем плотнее объект, тем более сильное гравитационное поле он создает. Например, Земля стала бы черной дырой, если бы ее массой обладал объект величиной с арахис.

Список литературы

1. Черепашук А.М. «Черные дыры во Вселенной» Издательство «Век 2», 2006 г.
2. Хокинг С. «Черные дыры и молодые вселенные», АСТ, 2017 г.
3. Веб сайт «Мир знаний» <http://mir-znaniy.com>
4. Веб сайт «Light-Science.ru» <http://light-science.ru>
5. Веб сайт «Научно-популярный журнал Познавайка» <http://www.poznavayka.org>
6. Веб сайт «Академик» <https://dic.academic.ru>