МбОУ “Гимназия №73”

**Исследовательская работа  
«Черные дыры как способ остановить время?»**

Автор: Гребнев Марк 11 А

Руководители: Кострыгина В.А  
Башкирова О.В

г.Новокузнецк  
 2018

**Содержание**

Введение\_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_3 стр.

Цели и задачи\_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ 3 стр.

Что же такое черная дыра?\_ \_ \_ \_4 стр.

Влияние черных дыр\_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ 7 стр.

Космическая цензура\_ \_ \_ \_ \_ \_ \_9 стр.

Виртуальные частицы\_ \_ \_ \_ \_ \_10 стр.

Излучение Хокинга\_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ 11 стр.

Вывод\_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_12 стр.

Источники\_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ 13 стр.

**ВВЕДЕНИЕ**

Сущность гипотезы образования черных дыр заключается в следующем: если некоторая масса вещества оказывается в сравнительно небольшом объеме, критическом для нее, то под действием сил собственного тяготения такое вещество начинает неудержимо сжиматься. Наступает своеобразная гравитационная катастрофа — гравитационный коллапс. В результате сжатия растет концентрация вещества. Наконец, наступает момент, когда сила тяготения на ее поверхности становится столь велика, что для ее преодоления надо развить скорость, превосходящую скорость света. Такие скорости практически недостижимы, и из замкнутого пространства черной дыры не могут вырваться ни лучи света, ни частицы материи. Излучение черной дыры оказывается "запертым" гравитацией. Черные дыры способны только поглощать излучение.  
 Чтобы поле тяготения смогло "запереть" излучение, создающая это поле, масса должна сжаться до объема с радиусом, меньшим "гравитационного радиуса". По этой причине создать и исследовать черную дыру в лаборатории практически невозможно: чтобы тело любой разумной массы (даже в миллионы тонн) стало черной дырой, его нужно сжать до размера, меньшего, чем размер протона или нейтрона, поэтому свойства черных дыр пока изучаются только теоретически.  
 Однако расчеты показывают, что тела астрономического масштаба (например, массивные звезды) после истощения в них термоядерного топлива могут под действием собственного тяготения сжиматься до размера своего гравитационного радиуса. Поиск таких объектов ведется уже более 40 лет, и сейчас можно с большой уверенностью указать несколько весьма вероятных кандидатов в черные дыры с массами от единиц до миллиардов масс Солнца. Однако их изучение затруднено огромными расстояниями от Земли. И хотя сам факт существования черных дыр уже трудно подвергать сомнению, практическое изучение их свойств еще впереди. Я выбрал эту тему, так как она малоизучена, но в это же время крайне интересна и многогранна.

**Цели и задачи**

**Цель** – определить, способна ли черная дыра остановить или замедлить ход времени.

Для раскрытия цели необходимо ответить на ряд вопросов:  
Определить что такое черная дыра?

Как происходит образование черной дыры?  
Как черная дыра взаимодействует с чем-либо?

**Что же такое черная дыра?**

Термин "Черная дыра" появился совсем недавно. Он был придуман в 1969 г. американским ученым Джоном Уилером для наглядного описания идеи, появившейся более двухсот лет назад. В те времена сущесвтовало две теории о природе света. В одной из них говорилось, что свет состоит из частиц, а в другой - из волн. В настоящее время мы знаем, что верны обе теории. Согласно принципу корпускулярно-волнового дуализма, принятому в квантовой механике, свет может рассматриваться и как волна и как частица. Теория волновой природы света не проясняет, как на него действует гравитация. Но если свет состоит из частиц, можно ожидать, что гравитация действует на них так же, как на пушечные ядра, ракеты и планеты. В 1783 г. кембриджский преподаватель Джон Мичелл опубликовал в журнале "Философские труды Лондонского королевского общества" статью, посвященную этой гипотезе. В этой статье он обратил внимание на то, что достаточно массивная и компактная звезда должна обладать настолько сильным гравитационным полем, что свет не сможет его преодолеть. Свет, излучаемый с поверхности звезды, не сможет преодолеть гравитационное притяжения звезды и удалиться от нее на значительное расстояние. Мичелл предположил, что таких звезд можеть быть много. Мы не можем их увидеть, поскольку их свет не достигает нас, однако мы можем "почувствовать" их гравитационное притяжение. Сейчас мы называем такие объекты черными дырами, и это название очень тонко отражает их суть, поскольку это черные пустоты в космическом пространстве.

Несколько лет спустя, независимо от Мичелла, такую же гипотезу высказал французский ученый маркиз де Лаплас. Примечательно, что он включил ее только в первое и второе издание своей книги «Изложение системы мира» и исключи из последующих изданий, видимо, сочтя эту идею слишком безумной. На самом деле, не очень логично рассматривать свет, как пушечные ядра в ньютоновской теории гравитации, поскольку скорость света постоянна. Ядро, выпущенное из пушки вверх, замедлится по действием силы тяжести, затем остановится и упадет обратно. Фотон же должен продолжать лететь вверх с постоянной скоростью. Как же воздействует на свет ньютоновская сила тяжести? Последовательной теории воздействия гравитации на свет не существовало до тех пор, пока Эйнштейн не представил в 1915 году свою общую теорию относительности. И даже после этого прошло еще немало времени до того, как были сформулированы выводы этой теории для массивных звезд.

Чтобы понять, как образуется черная дыра, необходимо разобраться в жизненном цикле звезды. Звезда образуется, когда большое количество газа, преимущественно водорода, начинает сжиматься под действием собственной гравитации. По мере сжатия атомы газа все чаще сталкиваются друг с другом и приобретают все большую скорость, следовательно, газ нагревается. Со временем температура газа станет такой, что при столкновении атомы не будут разлетаться в разные стороны, а начнут сливаться, образуя атомы гелия. Именно тепло, которое выделяется во время этой реакции, напоминающей контролируемый взрыв водородной бомбы, и заставляет светиться звезды. Этот дополнительный нагрев ведет также к увеличению давления газа до тех пор, пока оно не уравновесит гравитационное притяжение - тогда газ прекратит сжиматься. Нечто подобное происходит с воздушным шариком:давление воздуха, находящегося внутри него, стремится его растянуть, а силы упругости резиновой оболочки стремятся сделать его меньше.

В таком устойчивом состоянии, когда воздействие тепла, выделяющегося при ядерных реакциях, уравновешивается силой гравитации, звезды могут пребывать длительное время. Однако со временем у звезды закончится водород и другое ядерное топливо. И, как ни парадоксально, чем больше топлива изначально было у звезды, тем быстрее оно закончится. Дело в том, что чем массивнее звезда, тем больше тепла ей требуется для противодействия гравитации. А чем она горячее, тем быстрее израсходует свое топливо. Нашему Солнцу, по-видимому, хватит топлива еще примерно на пять миллиардов лет, но более массивные звезды могут израсходовать свое топливо всего за один миллиард лет, что гораздо меньше возраста Вселенной. Когда у звезды кончается топливо, она начинает остывать и сжиматься. Что может произойти потом, начали понимать лишь в конце 1920-х годов. Стоит отметить, ученый Субраманьян Чандрасекар рассчитал, что холодная звезда, масса которой больше порядка полутора масс Солнца, не может сопротивляться собственной гравитации. Эта масса получила название «Предел Чандрасекара». Этот вывод имеет огромное значение для судьбы массивных звезд. Если масса звезды меньше предела Чандрасекара, в какой-то момент она может перестать сжиматься и перейти в возможную финальную стадию, то есть стать белым карликом. Ученые также понимали, что есть и другая финальная стадия эволюции звезды с массой, не превышающей порядка полутора масс Солнца, но имеющей более скромные размеры по сравнению с белым карликом. Существование этих звезд могло бы поддерживаться отталкиванием, обусловленным принципом Паули, но не между электронами, а между протонами и нейтронами. Такие звезды стали называть нейтронными. Их радиус должен составлять около пятнадцати километров, а плотность - порядка сотен миллионов тонн в кубическом сантиметре. Но существует также и третий вариант развития событий, для звезд с массой, превышающей предел Чандрасекара в десятки раз. Сначала гравитационное поле такой звезды изменяет траектории лучей света в пространстве-времени относительно траекторий в отсутствии звезды. Световые конусы, соответствующие траекториям вспышек света, испущенного из их вершин, в пространстве и времени слегка отклоняются внутрь около поверхности звезды. Это можно наблюдать по искривлению траектории света от далеких звезд во время солнечного затмения. По мере сжатия звезды гравитационное поле на ее поверхности усиливается и световые конусы еще больше отклоняются внутрь. Свету становится все труднее ускользнуть от звезды, и удаленному наблюдателю он кажется все слабее и краснее. В итоге, когда звезда сжимается до определенного критического радиуса, гравитационное поле на ее поверхности становится настолько сильным, что отклонении световых конусов достигает той степени, которая уже не позволяет свету ускользнуть от звезды. В соответствии с теорией относительности ничто не может двигаться быстрее света. Таким образом, если даже свет не может ускользнуть от звезды, значит, и ничто другое не может. Все притягивается обратно гравитационным полем. Итак, существует совокупность событий, область пространства-времени, из которой невозможно выбраться, чтобы достичь удаленного наблюдателя. Эту область мы теперь и называем черной дырой, а ее границу – горизонтом событий. Он совпадает с траекториями световых лучей, которые не могут вырваться из черной дыры.

При образовании черной дыры в результате гравитационного коллапса движения будут ограничены излучением гравитационных волн. Поэтому можно ожидать, что черная дыра довольно скоро перейдет в стационарное состояние. Принято считать, что это конечно стационарное состояние будет зависеть от параметров объекта, коллапс которого породил черную дыру. Эта черная дыра может иметь любую форму или размер, причем ее форма может не оставаться неизменной, а пульсировать.

Теоретически возможность существования таких областей  
пространства-времени следует из некоторых точных решений уравнений Эйнштейна, первое из которых было получено Карлом Шварцшильдом в 1915 году.  
Различают четыре сценария образования чёрных дыр:

**Два реалистичных:**  
гравитационный коллапс (сжатие) достаточно массивной звезды;

коллапс центральной части галактики или протогалактического газа;  
 **и два гипотетических:**

формирование чёрных дыр сразу после Большого Взрыва (первичные чёрные дыры);

возникновение в ядерных реакциях высоких энергий.

**Влияние черных дыр**

В своей книге «Теория Всего» Стивен Хокинг описывает так называемые стрелы Вселенной: стрела Времени, Термодинамическая стрела, Психологическая стрела, Космологическая стрела. Согласно логике стрела Времени и Термодинамическая всегда сонаправленны. Примером может послужить чашка, которая упадет и разобьется на мелкие кусочки, тем самым перейдет из упорядоченного состояния в хаотичное, а значит ее энтропия возрастет. Но почему мы не можем наблюдать в обыденной жизни обратный процесс собирания чашки из мельчайших кусочков в единое целое и запрыгивание этой чашки на стол? Все просто, это противоречит 2-му закону Термодинамики, согласно которому энтропия необратимых процессов обязательно возрастает. Это можно рассмотреть на примере фрагментов пазла в коробке. Существует одна и только одна комбинация, при которой эти фрагменты образуют завершенную картинку. С другой стороны, существует много комбинаций, при которых фрагменты не упорядочены и не образуют картинки. Предположим, что система сначала находится в одном из небольшого числа упорядоченных состояний. С течением времени она будет развиваться по законам физики и ее состояние изменится. Впоследствии она с высокой вероятностью окажется в более неупорядоченном состоянии просто потому, что таких состояний гораздо больше. Таким образом, беспорядок имеет тенденцию возрастать с течением времени, если система удовлетворяет начальному условию, требующему, чтобы ее исходное состояние было высокоупорядоченным. Этот же пример можно сказать простыми словами. Если изначально фрагменты пазла были полностью упорядочены, то есть составляли картинку, но после этого коробку с пазлом встряхнуть, то более всего вероятно, фрагменты уже не будут составлять целую картинку, просто потому, что таких вариантов развития событий гораздо больше.

Учитывая законы нашей реальности, это является верным суждением. Если предположить, что Вселенная должна закончить свое существование в состоянии высокой упорядоченности независимо от того, в каком состоянии она пребывала изначально. В этом случае в более ранние времена Вселенная, скорее всего, находилась в неупорядоченном состоянии, и беспорядок с течением времени становился меньше. Осколки разбитых чашек собирались, образуя целые чашки, которые снова оказывались на столе. Однако любой человек, наблюдающий за этими чашками, жил бы во Вселенной, в которой беспорядок убывает с течением времени, а значит, и со временем произошли бы изменения, человек мог бы знать свое будущее, жить в настоящем, но при этом абсолютно не знать своего прошлого.

Это объясняет, что направление времени понятие относительное, но главное, чтобы оно соответствовало направлению Термодинамики.

Что же происходит со светом, который попадает в черную дыру? Свет огибает горизонт событий, но, в конечном счете, он захватывается в небытие, когда проникает внутрь.

Чтобы понять, что бы мы увидели, следует вспомнить, что в теории относительности нет абсолютного времени. Каждый наблюдатель имеет свою меру времени. Каждый наблюдатель имеет свою меру времени. Время на звезде будет отличаться от времени наблюдателя, находящегося на расстоянии от нее, из-за влияния гравитационного поля звезды. Этот эффект был измерен на Земле с помощью эксперимента с часами, расположенными на вершине и возле основания водонапорной башни. Предположим, что находящийся на поверхности коллапсирующей звезды бесстрашный астронавт, ориентируясь по своим часам, каждую секунду посылает сигнал на свой космический корабль, находящийся на орбите. В некоторый момент времени по его часам, например в 11 часов утра, радиус сжимающейся звезды становится меньше критического, при котором гравитационное поле усиливается настолько, что сигналы больше не достигают космического корабля. Экипаж корабля, наблюдающий за его сигналами, отметит, что по мере приближения к 11 часам интервалы между последовательными сигналами астронавта становятся все длиннее и длиннее, а сигнал, отправленный ровно в 11 часов, пришлось бы ждать бесконечно. Временной интервал между приемом последовательных сигналов на космическом корабле будет становиться все продолжительнее, а свет звезды будет казаться все краснее и слабее. Со временем звезда станет настолько тусклой, что уже не будет видна с корабля. Останется только черная дыра в космическом пространстве. Однако гравитационное поле звезды по-прежнему будет действовать на космический корабль, вследствие чего он продолжит двигаться вокруг черной дыры.

Можно описать то, что произойдёт с часами, если они попадут внутрь чёрной дыры и уцелеют там. По мере приближения к горизонту событий, они будут замедляться и, в конце концов, полностью остановятся.  
Эта заморозка времени происходит вследствие гравитационного замедления времени, которое объясняется теорией относительности Эйнштейна. Сила притяжения в чёрной дыре настолько велика, что она может замедлять время. С точки зрения часов, всё идёт нормально. Часы пропадут из поля зрения, в то время как свет от них будет ещё растягиваться. Свет будет становиться всё более красным (Проявление эффекта Доплера, то есть смещения в сторону красного цвета), длина волны будет увеличиваться и в итоге он выйдет за пределы видимого спектра.

**Космическая цензура**

Работа, проделанная Роджером Пенроузом и Стивеном Хокингом с 1965 по 1970 гг., показала, что согласно общей теории относительности внутри черной дыры должна находиться сингулярность с бесконечной плотностью. Это напоминает Большой взрыв в начале времени, только для коллапсирующего объекта и астронавта это будет концом времени. В этой сингулярности законы физики и наша способность предсказывать будущее нарушатся. Однако на наблюдателя, оставшегося за пределами черной дыры, это нарушение предсказуемости не подействует, поскольку ни свет, ни любой другой сигнал из сингулярности не сможет достичь его.

Поразмыслив об этом замечательном факте, Роджер Пенроуз предложил гипотезу космической цензуры, которую можно перефразировать следующим образом: «Бог не терпит голой сингулярности». Иными словами, сингулярности, образующейся в результате гравитационного коллапса, появляются только в таких местах, как черные дыры, где они надежно скрыты от постороннего взгляда горизонтом событий. Если быть точным, это то, что называется слабой гипотезой космической цензуры: наблюдатели, находящиеся за пределами черной дыры, защищены от последствий нарушения предсказуемости в сингулярности. Но для несчастного астронавта, попавшего в черную дыру, никакой защиты нет.

Уравнения общей теории относительности имеют несколько решений, в которых наш астронавт может увидеть голую сингулярность. Вместо того чтобы попасть в нее, он может провалиться в «кротовую нору» и оказаться в другой части Вселенной. Это открыло бы широкие возможности для путешествий в пространстве и времени, но, к сожалению, все эти решения могут оказаться крайне неустойчивыми. Небольшое возмущение, например присутствие астронавта, может настолько изменить решение, что астронавт не увидит сингулярность, пока не попадет в нее, и его время закончится. Другими словами, сингулярность всегда находится в его будущем и никогда – в прошлом

**Виртуальные частицы**

В процессе описания взаимодействий между частицами ученые пришли к мысли о том, что взаимодействия между ними происходят посредством обмена некими квантами («порции» какой-либо физической величины). Например, электромагнитное взаимодействие в атоме между электроном и протоном протекает при помощи обмена фотонами (переносчиками электромагнитного взаимодействия).

Однако тогда возникает следующая проблема. Если, рассмотреть этот электрон как свободную частицу, то он никоим образом не может просто излучить или поглотить фотон, согласно принципу сохранения энергии. То есть он не может просто потерять или приобрести какое-то количество энергии. Тогда ученые и создали так называемые «виртуальные частицы». Последние отличаются от реальных тем, что рождаются и исчезают так быстро, что зарегистрировать их невозможно. Все, что виртуальные частицы успевают сделать за короткий промежуток своей жизни – это передать импульс другим частицам, при этом, не передавая энергию.

Таким образом, даже пустое пространство, в силу неких физических флуктуаций (случайных отклонений от нормы) просто кишит этими виртуальными частицами, которые постоянно рождаются и уничтожаются

**Излучение Хокинга**

В отличие от советских физиков, описание излучения Стивеном Хокингом основывается на абстрактных, виртуальных частицах, которые являются неотъемлемой частью квантовой теории поля. Британский физик-теоретик рассматривает спонтанное возникновение этих виртуальных частиц на [горизонте событий](http://spacegid.com/gorizont-sobyitiy.html) черной дыры. В таком случае мощное гравитационное поле черной дыры способно «растащить» виртуальные частицы еще до момента их уничтожения, тем самым превратив их в реальные. Подобные процессы экспериментально наблюдаются на синхрофазотронах, где ученым удается растаскивать эти частицы, при этом затрачивая некоторое количество энергии.

С точки зрения физики, возникновение реальных частиц, имеющих массу, спин, энергию и прочие характеристики, в пустом пространстве «из ничего» противоречит закону сохранения энергии, а значит просто невозможно. Поэтому для «превращения» виртуальных частиц в реальные потребуется энергия, не меньше, чем суммарная масса этих двух частиц, согласно известному закону [E=mc2](http://spacegid.com/korotko-ob-obshhey-teorii-otnositelnosti.html). Такой запас энергии затрачивает и черная дыра на то, чтобы растащить виртуальные частицы на горизонте событий.

В результате процесса растаскивания одна из частиц, находящаяся ближе к горизонту событий или даже под ним, «превращается» в реальную, и направляется в сторону черной дыры. Другая же, в обратном направлении отправляется в свободное плаванье по космическому пространству. Проведя математические подсчеты, можно убедиться в том, что даже, несмотря на полученную энергию (массу) от частицы, упавшей на поверхность черный дыры, энергия, потраченная черной дырой на процесс растаскивания — отрицательная. То есть, в конечном счете, в результате описанного процесса, черная дыра лишь утратила некоторый запас энергии, который, причем, в точности равен энергии (массе), которой обладает улетевшая «наружу» частица.

Таким образом, согласно описанной теории, черная дыра хоть и не излучает никаких частиц, но способствует такому процессу и теряет эквивалентную энергию. Следуя уже упомянутому закону Эйнштейна об эквивалентности массы и энергии, становится ясно, что черной дыре неоткуда брать энергию, кроме как из собственной массы.

**ВЫВОД**

Коллапс звезды, приводящий к образованию черной дыры, во многом напоминает поздние этапы коллапса Вселенной. Так что если при сжатии Вселенной беспорядок уменьшается, можно ожидать, что он уменьшается и в черной дыре. Возможно, астронавт, падающий в черную дыру, сможет выиграть в рулетку, поскольку до того, как сделать ставку, будет помнить, куда попадет шарик. К сожалению, очень сильные гравитационные поля оставят ему совсем мало времени на игру, прежде чем превратят его в спагетти. Он также не сможет ни сообщить нам об изменении направления термодинамической стрелы времени на противоположное, ни положить свой выигрыш в банк, поскольку окажется в ловушке за горизонтом событий черной дыры. Таким образом, можно сказать, что черная дыра способна остановить время и даже повернуть его вспять, а это все вследствие искривления пространственно-временного контиинума, из-за огромной массы и высокой плотности самой черной дыры.

**Источники:**

1.Стивен Хокинг «Теория Всего» ООО «Издательство ACT», 2017 год. 160 стр.

2.Стивен Хокинг «Черные дыры» ООО «Издательство ACT», 2016 год. 124 стр.

3. Стивен Хокинг «От Большого взрыва до черных дыр» М., Мир, 1990, 144 стр.