

VI ежегодная научная конференция школьников
Иркутской области «Человек и космос»

ЧЕРНАЯ ДЫРА

Автор:

Куклин Валентин
Владимирович
10 «б» кл.
СОШ №24 г. Иркутска

Научный руководитель:

Федотова Анастасия
Юрьевна,
ИСЗФ СО РАН

Руководитель:

Немирова Варвара
Александровна,
учитель физики СОШ №24
г. Иркутска.

Иркутск, 2016 г.

Содержание:

Введение	3
Глава 1.	4
1.1 Что такое чёрная дыра?	4
1.2 Краткая история открытия	6
Глава 2.	7
2.1 Излучение чёрных дыр	7
2.2 Термодинамика чёрных дыр	8
Глава 3.	10
3.1 Моделирование чёрной дыры	10
3.2 Описание данной ч.д. согласно представлениям термодинамики и квантовой физики.....	11
Заключение.....	12
Список использованных источников	13
Приложение.....	14

Введение

У Человека всегда возникает любопытство перед неизведанным, неисследованным, таящим загадки. Чёрная дыра, наверное, одно из загадочных объектов во Вселенной, тем самым, становясь объектом пристального внимания разумной жизни на Земле. Как писал известный американский физик К. Торн: « Из всех измышлений человеческого ума, от единорогов и химер до водородной бомбы, наверное, самое фантастическое – это образ черной дыры, отделенной от остального пространства определенной границей, которую ничто не может пересечь; дыры, обладающей настолько сильным гравитационным полем, что даже свет задерживается его мертвой хваткой; дыры, искривляющей пространство и тормозящей время». Не согласится с этим мнением, невозможно.

Черные дыры являются уникальным объектом исследования, которые невозможно отнести к физическим телам или физическому излучению в классическом смысле. Они должны рассматриваться как гравитационные объекты с особенными характеристиками. Изучение таких объектов затрудняется из-за их удаленности и сложности обнаружения. Даже малая информация о массивных объектах, не излучающих свет, даст возможность расширить знания о свойствах гравитации, пространства и времени. Распространенным методом исследования является моделирование, который способствует рассмотрению процессов в определенных условиях. С помощью него можно строить предположения, прогнозировать события.

Цель нашей работы: смоделировать чёрные дыры, согласно представлениям термодинамики и квантовой физики.

Для достижения цели были сформулированы следующие задачи:

- 1).рассмотреть понятие «Чёрная дыра»;
- 2).ознакомиться с историей открытия и исследования чёрных дыр;
- 3).создать модели чёрных дыр, согласно представлениям термодинамики и квантовой физики.

Глава 1.

В большинстве источников СМИ черные дыры (ЧД) выступают в роли ужасных монстров космоса или таинственных формирований Вселенной. Для создания модели ЧД нам необходимо разобраться с определением данного термина, историей открытия и современными научными представлениями.

1.1 Что такое чёрная дыра?

Сам термин «Чёрная дыра» был впервые опубликован в известной лекции Джона Арчибальда Уилера «Наша Вселенная: известное и неизвестное» в 1976 г. До этого момента такие астрономические тела называли сколлапсировавшие звезды или коллапсары. Согласно энциклопедии Кольера, ЧД представляет собой область в пространстве, сформировавшуюся в результате полного гравитационного коллапса вещества, в которой гравитационное притяжение велико настолько, что даже свет не может покинуть её. Для понимания данного определения стоит выяснить, что представляет собой гравитационный коллапс.

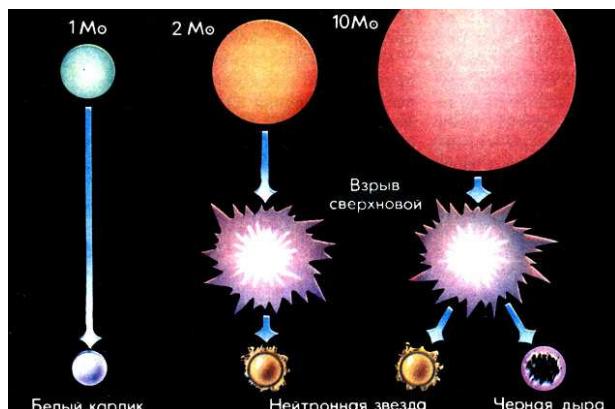


Рис. 1. Конечные стадии эволюции звезд разных масс. Рисунок с сайта: <http://12apr.su/> «12APR.SU: Библиотека по астрономии и космонавтике»

В астрономии гравитационным коллапсом называют процесс, при котором звезды, израсходовав запас ядерного горючего, теряют устойчивость и под действием собственного гравитационного поля быстро сжимаются. Причем ученые считают, что для данного явления необходимо наличие очень массивной звезды. Они отмечают это как конец эволюции массивных звезд. Согласно современной теории, если звезда с достаточной большой массой начинает под тяжестью собственной гравитации коллапсировать, то оставшееся вещество звезды будет сжиматься до тех пор, пока не сожмется в точку. В ходе «проваливания» массы внутрь себя, на поверхности увеличивается до колосальных значений сила тяжести, формируя гравитационный барьер[1]. Так рождается ЧД.

Представленный вариант окончания жизни звезд не единственный способ появление ЧД. Они могут возникнуть и из-за более массивных тел, например, в результате сжатия больших масс газа в центре шаровых звездных скоплений, в ядрах галактик или в квазарах (необычно активные излучающие ядра больших галактик). Отсюда из современных научных представлений следует, что в центре нашей галактики «Млечный путь» есть массивное тело, представляющее собой ЧД.

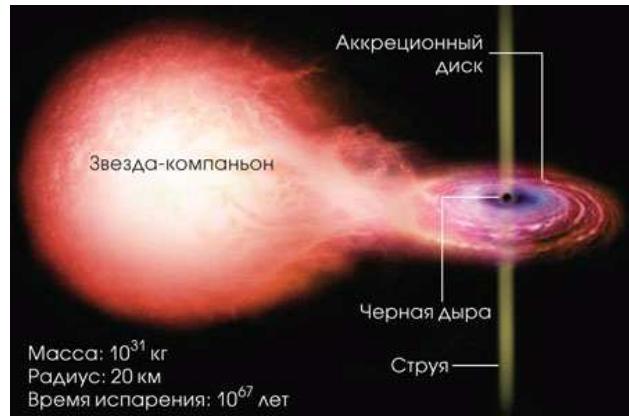


Рис.2. На этом рисунке показано, как звезда попала в поле тяготения черной дыры. Рисунок с сайта: <http://elementy.ru/content.mail.ru>

Согласно Новикову и Фролову [2], чёрной дырой называется область в пространстве-времени, из которой никакая информация, переносимая сигналом, не может достигнуть внешнего наблюдателя. Данная область ограничена так называемым горизонтом событий.

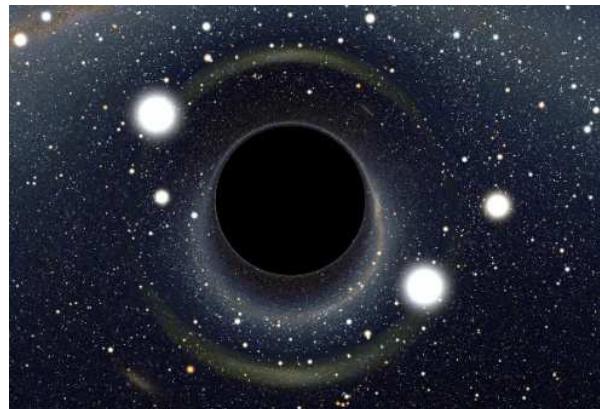


Рис. 3. Так в Космосе выглядит малая черная дыра. Фото с сайта: <http://sites.google.com>

- Рассмотрим виды и некоторые свойства, известные исследователям:
- ✓ Черные дыры могут иметь разнообразные размеры и даже быть меньше субатомных частиц. Крошечные дыры должны разрушаться квантовыми эффектами, а самые мелкие – взрываться сразу после рождения.

- ✓ Малые черные дыры могли остаться от ранних стадий Большого взрыва, поэтому астрономы пытаются обнаружить взрывы некоторых из них.
- ✓ Теоретики предполагают, что малые черные дыры могут возникать при столкновениях в современной Вселенной даже на Земле. Правда, для этого потребуется гигантская энергия.

Последнее свойства ЧД создало проблему для работы Большого адронного коллайдера в Церне. Это связано с мнением о том, что в ходе экспериментов БАК, может появиться дыра. На данный момент доказано, что для такой ситуации необходима огромная энергия, которую человечество не в состоянии создать.

1.2. Краткая история открытия

Теоретическая концепция массивного тела с огромной гравитационной силой, не позволяющей свету преодолеть притяжение, впервые была озвучена Джоном Мичелом в 1784 году. Популяризацию этой идеи продолжил Лаплас (1796г.), включив её обсуждение в свой труд «*Exposition du Systeme du Monde*». Однако в XIX веке данное направление не получило своего развития. Научный мир вернулся к взглядам Мичела только в начале XX века.

Существование ЧД было предсказано общей теорией относительности (ОТО), предложенной А. Эйнштейном в 1915 году. Основная задача ОТО сводилась к математическому обоснованию явления тяготения, свойств пространства и времени. Любая теория должна пройти проверку, т.е. найти подтверждение в реальном мире. Долгое время теория Эйнштейна оставалось всего лишь странными предположениями. Ситуация изменилась в середине 1960-х годов после выхода на орбиту телескопов. Были открыты первый рентгеновский источник (1962г.), квазары (1963г.), реликтовое излучение Вселенной (1965г.), пульсары (1967г.) и т.д. [3] Это привело к серьезному рассмотрению основ ОТО и, следовательно, к теоретическим представлениям ЧД. Основной проблемой в исследовании ЧД стало то, что их сложно обнаружить, т.е. найти на просторах Вселенной объект, неизлучающий свет.

Практическое решение проблемы нахождения ЧД появилось из их определения. Эти объекты имеют очень большую массу, которая должна оказывать воздействие на другие соседние объекты. Изучая движение звезд в центрах галактик и двойных звездных системах нашей Галактики, ученые обнаружили десятки миллионов массивных объектов, не излучающих свет. Измерив массу и размеры таких объектов, исследователи сравнивают радиус с гравитационным радиусом. Такой метод определения местоположения ЧД стал универсальным, позволив начать новую эпоху практического исследования.

Глава 2.

Стоит отметить, что в процессе формирования ЧД выделяется огромное количество энергии, соизмеримое с энергией миллионов звезд. Это связано с излучением дырами световых волн с малой длиной волны[3]. Данный факт позволяет рассматривать ЧД, как источник энергии.

Выясним за счет, каких процессов это происходит.

2.1. Излучение черных дыр

Классическая теория физики говорит о ЧД, как о стационарных объектах, что не согласуется с наблюдениями. Экспериментальные данные может объяснить только квантовая теория, которая отмечает непрерывное излучение ЧД. Возникает вопрос: «Как может излучать тело, которое притягивает свет?». Обосновать такой эффект смог С. Хокинг (1975г.). Согласно представлениям квантовой физики в пространстве постоянно происходит рождение пары виртуальных частиц (короткоживущих), которые могут превратиться в реальные частицы (долгоживущие). Хокинг отмечает, что в вакууме на границе горизонта событий происходит рождение пары частиц, одна из них уходит внутрь ЧД, а другая вылетает наружу. Такое излучение имеет название излучение Хокинга [3].



Рис. 4. На этом рисунке черная дыра не только притягивает вещество, но и излучает, или испаряет его в виде квантов света очень большой энергии. Это излучение Хокинга. Рисунок с сайта: <http://spacetelescope.org>

Исследование данного явления привело Хокинга к выводу о том, что ЧД светит, как чёрное тело радиуса R_g , нагретого до температуры

$$T = \frac{\hbar c^3}{8\pi k M G},$$

где \hbar – приведенная постоянная Планка;
 k -постоянная Больцмана;
 T -температура (измеряется в градусах Кельвина);
 M -масса в граммах;
 G -гравитационная постоянная.

Полученное излучение можно назвать атмосферой дыры. Основную часть излучения ЧД захватывает обратно своим гравитационным полем, а оставшиеся частицы могут покинуть пределы притяжения. Данные частицы движутся вдоль радиуса, тем самым испаряясь в пространство. Именно они формируют излучение Хокинга.

Такое открытие дает дополнительную информацию, которую мы можем получить о ЧД. Кроме этого позволяет рассматривать массивные «черные» тела, как термодинамические системы.

2.2. Термодинамика черных дыр

Первоначально Дж. Уилер отметил, что существование ЧД противоречит второму началу термодинамики. Т.к. хаотичность системы (энтропия) либо растет со времени, либо остается неизменной. А падение тел в рамках классической теории нельзя было объяснить, куда и как исчезает энтропия тела. Однако открытие излучения Хокинга дало возможность объяснить, что тело передает ЧД не только энергию, массу, но и свою энтропию. Расчет энтропии дыры можно осуществить по следующей формуле:

$$S = \frac{Ak c^3}{4\hbar G},$$

где A – площадь горизонта событий,
 \hbar – приведенная постоянная Планка,
 c – скорость света в вакууме,
 k - постоянная Больцмана;
 G - гравитационная постоянная.

Представляя сферическую форму, необходимо рассчитать гравитационный радиус Шварцшильда, который показывает границу области «горизонта событий». Формула радиуса Шварцшильда:

$$r_s = \frac{2GM}{c^2}.$$

Согласно представленным выводам, энтропия ЧД, а, следовательно, и площадь остается постоянной или возрастает. Связь энергии и энтропии, также позволяет провести связь между ускорения свободного падения ЧД g с температурой T . Это связь очевидна из формулы ускорения свободного падения через массу дыры:

$$g = \frac{c^4}{4GM}.$$

Кроме представленных выше формул расчета характеристик ЧД, есть формула подсчета мощности излучения:

$$L = \frac{\hbar c^6}{15360\pi G^2 M^2}.$$

Делая вывод из имеющихся зависимостей, можно заключить, что Черная дыра представляет собой неустойчивую и неравновесную систему. Температура её растет с уменьшением массы, а излучение приводит к уменьшению массы, что способствует повышению температуры. Чем меньше ЧД, тем меньшее расстояние придется пройти частице, и, следовательно, тем больше скорость излучения и кажущаяся температура самой дыры. Из этого следует, что потеря массы дыры идет быстрее. На данный момент пока не известен весь процесс излучения ЧД. Однако существует предположение, что чёрная дыра, в ходе излучения, полностью исчезает в гигантской последней вспышке излучения. Остальные закономерности от массы дополняют картину «жизни» черной дыры, подводя к моменту её выгорания за конечное количество времени.

Глава 3.

В данной главе мы смоделируем некоторые разновидности ЧД отличных по массе. Рассчитаем их термодинамические характеристики.

3.1. Моделирование черной дыры

Согласно современным представлениям существует четыре сценария образования ЧД:

1. Гравитационный коллапс достаточно массивной звезды ($\approx 3,6$ масс Солнца) на конечном этапе её эволюции;
2. Коллапс центральной части галактики или галактического газа, масса таких объектов превышает 1000 масс Солнца (например, в центре нашей Галактики находится чёрная дыра Стрелец А массой $3,7 \cdot 10^6$ масс Солнца);
3. Формирование чёрных дыр в момент Большого Взрыва в результате флюктуаций гравитационного поля и/или материи (первичные ЧД);
4. Возникновение чёрных дыр в ядерных реакциях высоких энергий – квантовые чёрные дыры.

Для построения модели мы выберем формирование дыр в процессе гравитационного коллапса массами чуть больше масс Солнца и много больше масс Солнца, а также с уменьшающейся массой (моделирование «испарения» ЧД). Сжатие звезды в конце её жизни может остановиться на определённом этапе или сколлапсироваться. Конечные исход зависят от массы звезды и вращательного момента. Так как термодинамические характеристики имеют зависимость от массы, то выбранный критерий будет актуальным.

Подсчёты величин осуществлены в программе Excel, находятся в приложении №1.

3.2. Описание черной дыры

Рассмотрев эволюцию чёрных дыр, мы предложили модель дыры с изменяющейся массой от 10 масс Солнца до 0,5 масс Солнца. Согласно выше представленным формулам были посчитаны зависимости гравитационного радиуса, температуры и мощности излучения ЧД в процессе её уменьшения («испарения»).

По мере уменьшения массы ЧД уменьшается и её радиус, зависимость имеет линейный характер. Однако с уменьшением массы температура наоборот возрастает, причем экспоненциально. Аналогичную зависимость имеет мощность излучения.

Полученные с помощью подсчета зависимости позволяют модельно представить этапы жизни чёрных дыр. И согласиться с предположениями о конечной станции существования ЧД – мощным взрывом.

Заключение

Для достижения цели исследования нами были изучены основные определения, даны базовые понятия, связанные с физикой чёрных дыр. Разобраны этапы рождения дыр, термодинамические процессы связанные с их существованием во Вселенной. Во второй части работы были проведены расчёты с целью моделирования некоторого этапа эволюции чёрных дыр.

В приложении представлены расчеты радиуса Шварцшильда, площади, температуры, ускорения свободного падения, излучения и энтропии чёрных дыр массами 5, 1000 и 1000000 масс Солнца. Из полученных данных мы видим прямую зависимость энтропии от увеличения массы ЧД, что подтверждает выполнение второго закона термодинамики. Графики зависимости радиуса температуры и излучения от массы ЧД (приложение №2), позволяют увидеть не линейный характер этих величин с ростом массы дыры.

На данный момент науке доподлинно неизвестны все процессы формирования, развития и гибели ЧД. Однако многие процессы или изучены на практике, или ждут момента своего практического подтверждения. Исследования в области излучения чёрных дыр могут дать дополнительную информацию о более ранних стадиях развития нашей Вселенной.

В дальнейшем, мы надеемся продолжить наше исследование, рассмотрев информацию о чёрной дыре, находящейся в центре Млечного пути. Построить и описать её модель.

Список использованных источников

1. Прошлое и будущее Вселенной. Под ред. А.М. Черепашук, М., Наука, 1986 г.
2. И.Д. Новиков, В.П. Фролов, Физика наших дней: Черные дыры во Вселенной//Успехи физических наук, Т.171, №3, март 2001 г.
3. Стивен Хокинг, Краткая история времени // Библиотека сайта «Знания-сила»; <http://znaniya-sila.narod.ru>
4. А.М. Черепашук. Черные дыры во Вселенной, Издательство «Век 2», Серия: Наука сегодня, 2006 г., 64 с.
5. С. Лесков. Умные парни. – М.: Время, 2011. 704 с. – («Диалог»)
6. И.Новиков. Черные дыры и Вселенная. М., “Молодая гвардия”, 1985 г.
7. Дж.Нарликар. От черных облаков к черным дырам. М., Энергоатомиздат, 1989 г.
8. И.А.Климишин. Астрономия наших дней. М., Наука, 1986 г.
9. И.Николсон. Тяготение, черные дыры и Вселенная. М., Мир ,1983 г.
10. Я.А. Смородинский. Температура. М., Наука, 1987 г.
11. Энциклопедический словарь по физике.
12. Энциклопедический словарь юного астронома.
13. <http://www.astronet.ru/db/print/msg/1180462/node2.html> - Жан-Пьер Люмине/CNRS Черные дыры: Популярное введение.
14. Я.Б. Зельдович, Л.П. Питаевский, В.С. Попов, А.А. Старобинский, Рождение пар в поле тяжелых ядер и в гравитационном поле, Успехи физ. наук, 105 (4), 780-781 (1971).

Приложение №1

Таблица. 1. Расчет моделирования чёрных дыр

$M, \text{кг}$	$9,945 \cdot 10^{30}$	$1,99 \cdot 10^{33}$	$1,989 \cdot 10^{36}$
масс Солнца	5	1000	1000000
$r_s, \text{м}$	14740,7	2948140	2948140000
$A, \text{м}^2$	3598293196	$1,44 \cdot 10^{14}$	$1,4393 \cdot 10^{20}$
$T, \text{К}$	$9,39542 \cdot 10^{-9}$	$4,7 \cdot 10^{-11}$	$4,6977 \cdot 10^{-14}$
$g, \text{м/с}^2$	$3,05277 \cdot 10^{12}$	$1,53 \cdot 10^{10}$	15263861,3
$L, \text{Дж}$	$2,7487 \cdot 10^{-30}$	$6,87 \cdot 10^{-35}$	$6,8717 \cdot 10^{-41}$
S	$4,76323 \cdot 10^{55}$	$1,91 \cdot 10^{60}$	$1,9053 \cdot 10^{66}$

Приложение №2

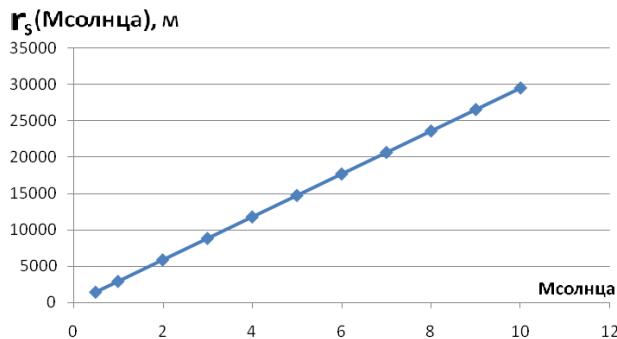


Рис. 5. Зависимость гравитационного радиуса Шварцшильда от массы ЧД

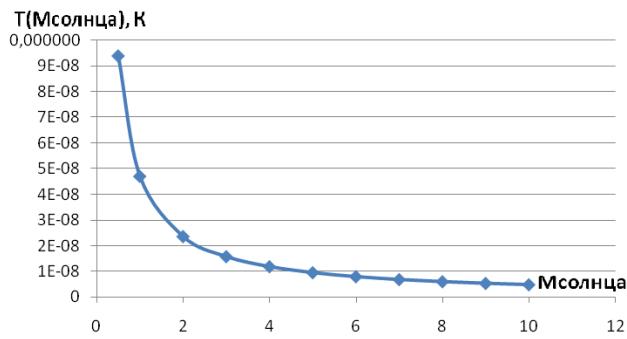


Рис. 6. Зависимость температуры от массы ЧД

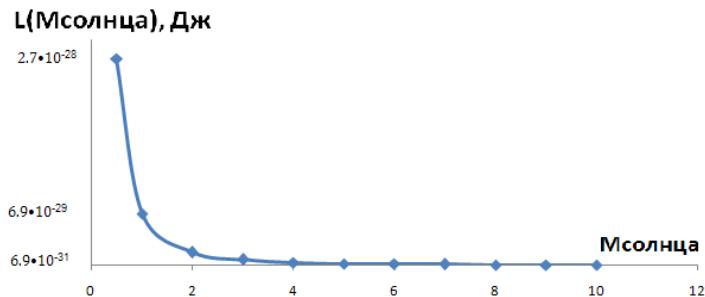


Рис. 7. Зависимость мощности излучения от массы ЧД