

Муниципальное общеобразовательное учреждение
«Средняя общеобразовательная школа № 16 с углублённым
изучением отдельных предметов»

Черные дыры

реферат по физике

Ученицы 10 «А» класса

Туровой Людмилы Петровны

Учитель Кабанова Елена Викторовна

Г. Сергиев Посад

2012

Содержание

Введение	3
I глава Знакомство с застывшими звездами	
1.1 Понятие пространство – времени	4
1.2 Горизонт событий	5
1.3 Гравитационный провал космоса	6
II глава Путешествие в черную дыру	
2.1 Рождение черных дыр (Гравитационный коллапс)	8
2.2 Строение черных дыр	13
2.3 Процессия черных дыр (излучение вращающегося коллапсара)	15
2.4 Слияние застывших звезд	16
2.5 Путешествие в черную дыру	17
2.6 Виды черных дыр	19
2.7 Квазары	21
III глава Поиски черных дыр	
3.1 Гравитационные линзы	23
3.2 Кандидаты в черные дыры	25
3.3 Черные дыры Млечного Пути	27
3.4 Поиски черных дыр	28
IV глава	
4.1 Испарение черных дыр	30
Заключение	33
Словарь	34
Список литературы	35

«Свойства черных дыр столь фантастичны, что существование этих экзотических объектов в реальном мире верится с трудом, и об этом уже несколько десятилетий идут споры. Даже сам Эйнштейн сомневался в возможности их существования»^[3]

А.М. Черепашук. Демография черных дыр

Введение

Черные дыры – малоизученные, но популярные объекты во Вселенной, ведь их строение выходит далеко за рамки астрономии и физике элементарных частиц. Значения существования черных дыр для науки трудно переоценить.

Черные дыры - самые грандиозные источники энергии во Вселенной. Мы, наблюдаем их в далеких квазарах, во взрывающихся ядрах галактик. Возможно, черные дыры в будущем станут источниками энергии для человечества.

Основные цели работы:

- расширение представлений о возможностях Вселенной;
- развитие понятия «чёрные дыры»;
- рассмотрение процесса эволюции чёрных дыр.

Многие писатели фантасты используют образ черной дыры как огромного "пылесоса" в глубинах Вселенной, стремящегося поглотить все что находится поблизости. Давайте же попробуем взглянуть на черную дыру с научной точки зрения.

I глава

1.1 Понятие пространство – времени

*“Время больше пространства.
Пространство – вещь”^[5]
И. Бродский*

Пространство – время – физическая модель, дополняющая пространство временным измерением и, таким образом, создающая новую теоретико – физическую конструкцию, которая называется пространственно – временным континуумом.

В соответствии с теорией относительности, Вселенная имеет три пространственных измерения и одно временное измерение, и все четыре измерения органически связаны в единое целое, являясь почти равноправными и способные переходить друг в друга при смене наблюдателем системы отсчета.

В рамках общей теории относительности пространство-время имеет и единую динамическую природу, а его взаимодействие со всеми остальными физическими объектами (телами, полями) - есть гравитация. Таким образом, теория гравитации есть теория пространства-времени (полагаемого в ней не плоским, а способным динамически менять свою кривизну).

Ключевым математическим отличием пространства-времени (пространства Минковского, или, в случае общей теории относительности - четырехмерного многообразия с псевдоевклидовой метрикой соответствующей сигнатуры) от обычного (евклидова) 4-мерного пространства является то, что при вычислении расстояния значения времени и длин пространственных координат берутся с противоположным знаком (в обычном пространстве соответствующие значения равноправны для любой оси координат и имеют одинаковый знак).

Концепция пространства-времени сыграла исторически ключевую роль в создании геометрической теории гравитации. В рамках общей теории относительности гравитационное поле сводится к проявлениям геометрии четырехмерного пространства-времени, которое в этой теории не является плоским.

Количество измерений, необходимых для описания Вселенной, окончательно не определено. Теория струн (суперструн), например, требовала наличия 10 (считая время), а теперь даже 11 измерений (в рамках М-теории). Предполагается, что дополнительные (ненаблюдаемые) 6 или 7 измерений свёрнуты (компактифицированы) до планковских размеров, так что экспериментально они пока не могут быть обнаружены.

1.2 Горизонт событий

*«Меня ошеломляет
Вечное безмолвие этих пространств»^[5]*

Блез Паскаль

Горизонт событий будущего является необходимым признаком чёрной дыры как теоретического объекта. Горизонт событий сферически-симметричной чёрной дыры называется сферой Шварцшильда и имеет характерный размер, называемый гравитационным радиусом.

Находясь под горизонтом событий, любое тело будет двигаться только внутри чёрной дыры и не сможет вернуться обратно во внешнее пространство. С точки зрения наблюдателя, свободно падающего в чёрную дыру, свет может свободно распространяться как по направлению к чёрной дыре, так и от неё. Однако после пересечения горизонта событий даже свет, распространяющийся от наблюдателя наружу, никогда не сможет выйти за пределы горизонта. Предмет, попавший внутрь горизонта событий, в конце концов, попадает в сингулярность, а перед этим вытягивается в струну вследствие высокого градиента силы притяжения чёрной дыры (приливных сил).

Энергия, возможно, может покинуть чёрную дыру посредством т. н. излучения Хокинга, представляющего собой квантовый эффект. Таким образом, возможно, что истинные горизонты у сколлапсировавших объектов в нашей Вселенной не формируются. Тем не менее, так как астрофизические сколлапсировавшие объекты — это очень классические системы, то точность их описания классической моделью чёрной дыры достаточна для всех мыслимых астрофизических приложений.

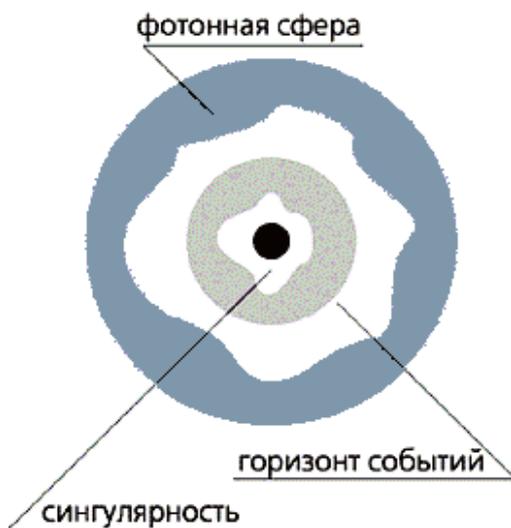
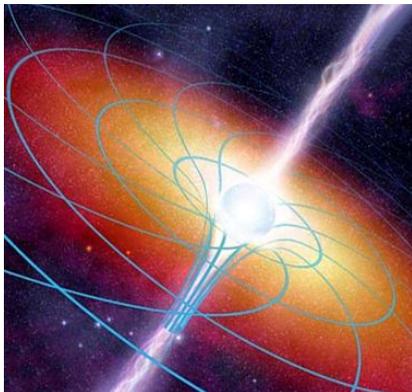


Схема невооружаемой черной дыры. Сингулярность, куда сжалась исходная материя, окружена сферическим горизонтом событий, радиус которого равен гравитационному радиусу r_g . Вблизи горизонта событий находится фотонная сфера - область пространства, где захваченные фотоны двигаются вокруг черной дыры по замкнутым траекториям.

1.3 Гравитационный провал космоса



По-настоящему последовательная и непротиворечивая теория черных дыр, или коллапсаров, невозможна без учета кривизны пространства-времени. Поэтому неудивительно, что появляются частные решения уравнений теории относительности. Согласно им черная дыра – это объект, искривляющий пространство-время в своей окрестности настолько, что никакой сигнал не может быть передан с ее поверхности или изнутри даже по световому лучу.

Согласно общей теории относительности сильные поля тяготы оказывают замедляющее действие на время, искривляют пространство. Все эти теоретические выводы прошли проверку в экспериментах астрономов и физиков и везде получили подтверждение: парадоксы теории относительности выступают и в реальных событиях нашего мира, но ощутимыми они становятся, когда дело касается больших масс и скоростей. В последние годы еще раз убедились в этом на примере такого явления, как черные дыры.

Теория относительности Эйнштейна искривляет траекторию света, и Шварцшильд занялся исследованием того, как все это отражается на существовании звезд. Согласно полученным им формулам на определенном расстоянии от звезды время, пространство и масса становятся взаимосвязанными: время может становиться пространством, а пространство временем.

Согласно представлениям квантовой механики вакуум - не пустота, а некая пена пространства-времени, субстанция из виртуальных не наблюдаемых в нашем мире частиц. Подобные квантовые флуктуации* (от лат. fluctuation – колебания) энергии непрерывно генерируют из вакуума пары «частица-античастица», что уже неоднократно наблюдается в лабораторных условиях. Именно квантовые флуктуации определяют процессы излучения черных дыр. Если пара частиц, обладающих определенными энергиями, причем полная энергия пары равна нулю, возникает в окрестности гравитационной сферы, дальнейшая судьба частиц будет различной. Они могут аннигилировать почти сразу же или уйти под горизонт событий. Никто и никогда уже не сможет узнать, что же происходит внутри замерзшей звезды. Именно поэтому

гравитационная сфера Шварцшильда * и носит название «горизонт событий». При этом состояние черной дыры не изменится. Но если под горизонт уйдет только одна частица, наблюдатель зарегистрирует другую и ему будет казаться, что ее породила черная дыра.

В середине 1970-х гг., Стивен Хокинг показал, что черным дырам можно приписать температуру и следовательно, они должны излучать. Хокинг математически доказал, что любые черные дыры могут испускать вещество и излучение, однако заметно это будет лишь в том случае, если масса самой дыры относительно невелика. Мощное гравитационное поле вблизи черной дыры должно рождать пары «частица-античастица». Одна из частиц каждой пары поглощается дырой, а вторая испускается наружу. Вероятность поглощения частиц с отрицательной энергией выше. Это значит, что черная дыра теряет энергию и массу – «испаряется». Кроме того, она излучает как абсолютно черное тело с очень низкой температурой. Температура черной дыры с массой, в шесть раз превышающей солнечную, равна одной стомиллионной доле градуса. Идея об «испарении» черных дыр полностью противоречит классическому представлению о них как о телах, не способных излучать.

Как же сегодня астрономы наблюдают гравитационные провалы черных дыр?

Дело в том, что наблюдаемая часть нашей Вселенной – Метагалактика состоит преимущественно из водорода, и именно атомы этого легкого газа должны образовывать потоки межзвездной среды застывших звезд. При этом атомы водорода сталкиваются друг с другом, нагреваясь и излучая электромагнитные волны. По теоретическим оценкам, подобные водородные каскады могут иметь температуру в несколько миллионов градусов, интенсивно испуская рентгеновские и гамма лучи. Это именно те признаки гравитационных коллапсаров, которые можно обнаружить с помощью орбитальных обсерваторий.

Выдающийся советский астрофизик академик Яков Зельдович разработал модель черной дыры, притягивающий из него диск. От столкновений частиц газ разогревается, теряет энергию, скорость и начинает по спирали приближаться к черной дыре. Газ, нагретый до нескольких миллионов градусов, образует вихрь, имеющий форму воронки. Его частицы мчатся со скоростью в сотни тысяч километров в секунду. Наконец вихрь газа доходит до горизонта событий и навечно исчезает в черной дыре.

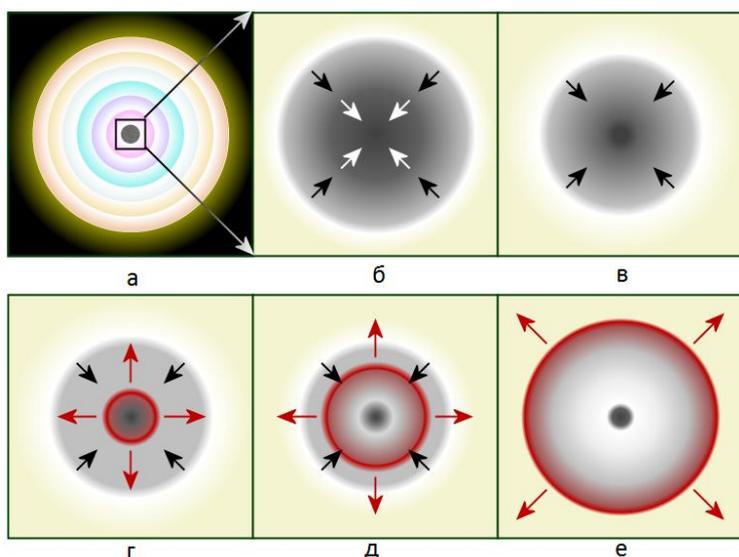
II Глава

2.1 Рождение черных дыр (Гравитационный коллапс)

“ В одном мгновении видеть вечность...”

Уильям Блейк

Модель механизма гравитационного коллапса



- а – столкновение быстрых массивных частиц;
- б – стягивание массы в точку;
- в – зарождение сингулярного состояния;
- г – конкуренция ядерных и гравитационных сил;
- д – начало испарения микроколлапсара;
- е – схлопывание микроскопической дыры.

катастрофически быстрое сжатие массивных тел под действием гравитационных сил. Гравитационным коллапсом называется быстрый процесс сжатия вещества под действием гравитационных сил. Под гравитационным коллапсом понимают неограниченное сжатие вещества в черную дыру, описываемое общей теорией относительности.

После того, как звезда с массой большей, чем пять солнечных, входит в стадию красного сверхгиганта, ее ядро под действием сил гравитации начинает сжиматься. По мере сжатия увеличиваются температура и

плотность, и начинается новая последовательность термоядерных реакций. В таких реакциях синтезируются все более тяжёлые элементы: гелий, углерод, кислород, кремний и железо, что временно сдерживает коллапс ядра.

В конечном итоге, по мере образования всё более тяжёлых элементов периодической системы, из кремния синтезируется железо-56. На этом этапе дальнейший термоядерный синтез становится невозможен, поскольку ядро железа-56 обладает максимальным дефектом массы и образование более тяжёлых ядер с выделением энергии невозможно. Поэтому когда железное ядро звезды достигает определённого размера, то давление в нём уже не в состоянии противостоять тяжести наружных слоев звезды, и происходит незамедлительный коллапс ядра с нейтронизацией его вещества.

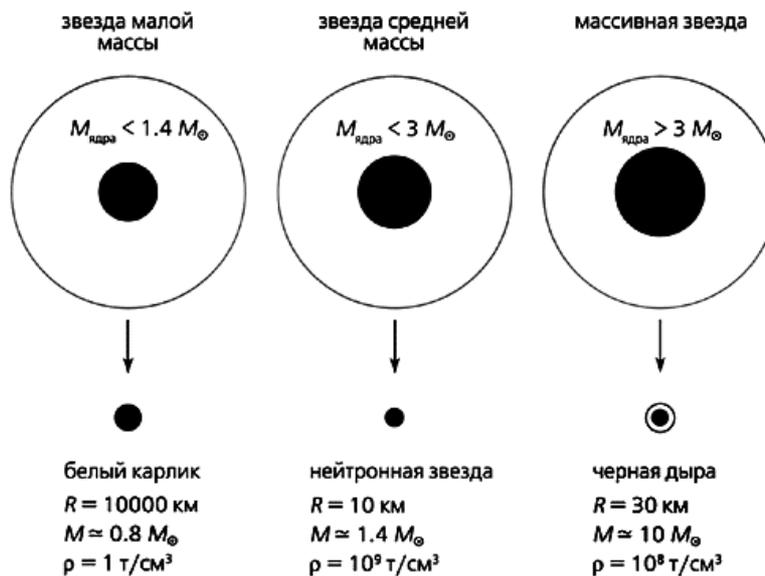
То, что происходит в дальнейшем, пока неясно до конца, но происходящие процессы в считанные секунды приводят к взрыву сверхновой звезды невероятной силы.

Сопутствующий этому всплеск нейтрино провоцирует ударную волну. Сильные струи нейтрино и вращающееся магнитное поле выталкивают большую часть накопленного звездой материала — так называемые распадочные элементы, включая железо и более лёгкие элементы. Разлетающаяся материя бомбардируется вырывающимися из ядра нейтронами, захватывая их и тем самым создавая набор элементов тяжелее железа, включая радиоактивные, вплоть до урана (а возможно, даже до калифорния).

Взрывная волна и струи нейтрино уносят вещество прочь от умирающей звезды в межзвёздное пространство. В последующем, остывая и перемещаясь по космосу, этот материал сверхновой может столкнуться с другим космическим «мусором», и возможно, участвовать в образовании новых звёзд, планет или спутников.

Процессы, протекающие при образовании сверхновой, до сих пор изучаются, и пока в этом вопросе нет ясности. Также под вопросом остается момент, что же на самом деле остаётся от изначальной звезды. Тем не менее, рассматриваются два варианта: нейтронные звезды и чёрные дыры.

Известно, что в некоторых сверхновых сильная гравитация в недрах сверхгиганта заставляет электроны поглощаться атомным ядром, где они, сливаясь с протонами, образуют нейтроны. Этот процесс называется нейтронизацией. Электромагнитные силы, разделяющие близлежащие ядра, исчезают. Ядро звезды теперь представляет



собой плотный шар из атомных ядер и отдельных нейтронов. Такие звёзды, известные, как нейтронные звёзды, чрезвычайно малы (не более размера крупного города), и имеют невообразимо высокую плотность. Период их обращения становится чрезвычайно мал по мере уменьшения размера звезды. Некоторые совершают 600 оборотов в секунду. У некоторых из них угол между вектором излучения и осью вращения может образовывать «конус» образуемый этим излучением; в этом случае можно зафиксировать импульс излучения,

повторяющийся через промежутки времени, равные периоду обращения звезды. Такие нейтронные звёзды получили название «пульсары», и стали первыми открытыми нейтронными звёздами.

Но далеко не все сверхновые становятся нейтронными звёздами. Если звезда обладает достаточно большой массой, то коллапс звезды продолжится и сами нейтроны начнут обрушиваться внутрь, пока её радиус не станет меньше Шварцшильдовского*. После этого звезда становится чёрной дырой.

Гравитационный коллапс массивных звезд (превышающими 5-10 масс Солнца), не заканчивается на стадии нейтронной звезды. С повышением массы нейтронной звезды плотность ее вещества растет и отталкивание нейтронов уже не может обеспечить эффективное противодействие гравитационному сжатию. Коллапс переходит в релятивистский гравитационный коллапс, и образуется черная дыра.

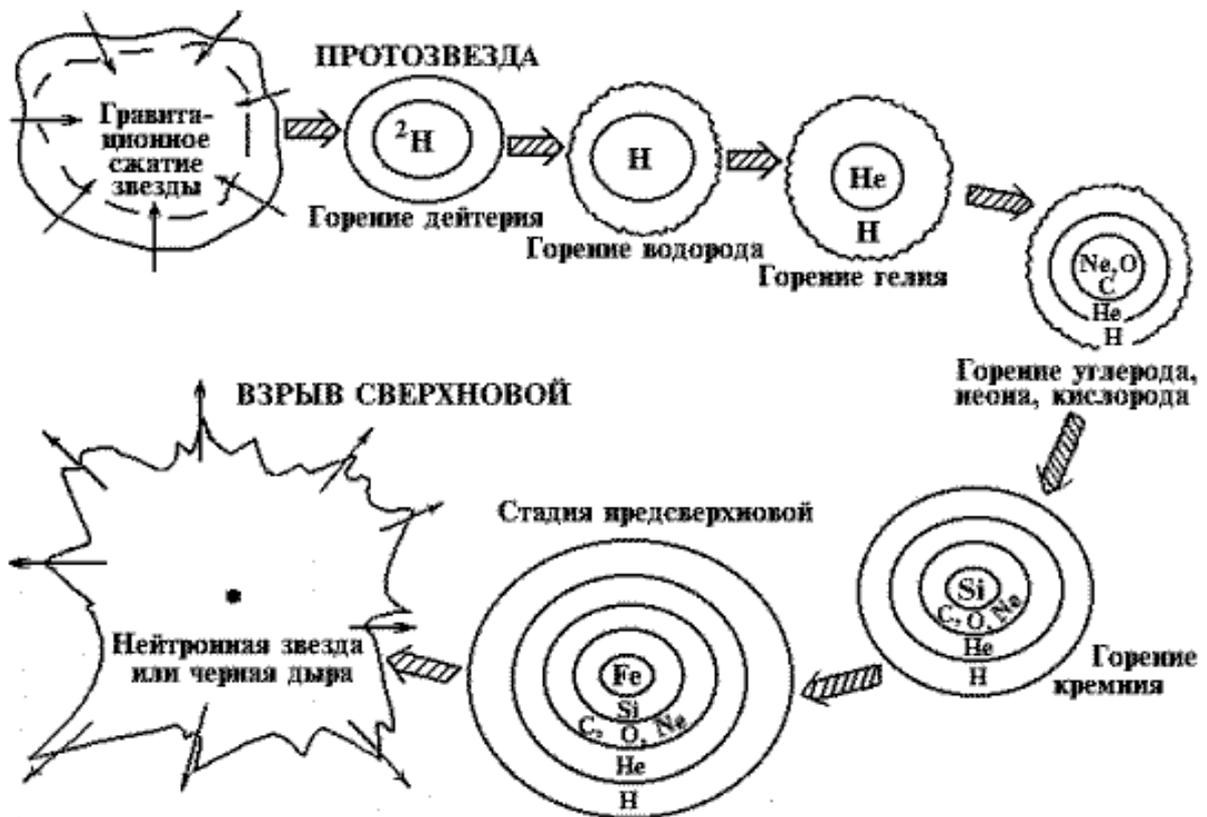
Гравитационный коллапс в черную дыру представляет собой явление, в котором эффекты общей теории относительности становятся определяющими. Сам коллапс происходит как свободное падение к центру образующейся черной дыры, но в соответствии с законами общей теории относительности удаленный наблюдатель будет видеть это падение как при все более замедленной киносъемке: для него процесс коллапса будет продолжаться бесконечно долго. При коллапсе в черную дыру меняются геометрические свойства пространства и времени. Искривление световых лучей оказывается столь сильным, что никакой сигнал не может покинуть поверхность коллапсирующего тела. Вещество, ушедшее под радиус черной дыры, полностью обособляется от остального мира, продолжая, влиять на окружение своим гравитационным полем.

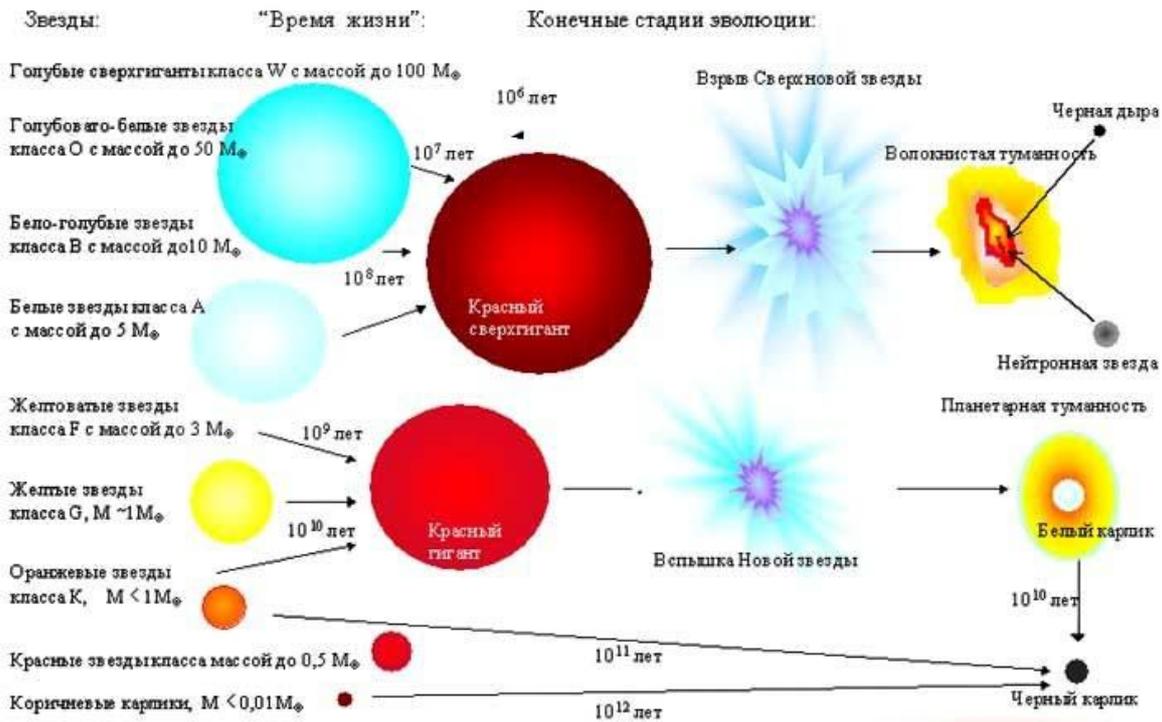
“Только пепел знает, что значит сгореть дотла...”

Иосиф Бродский

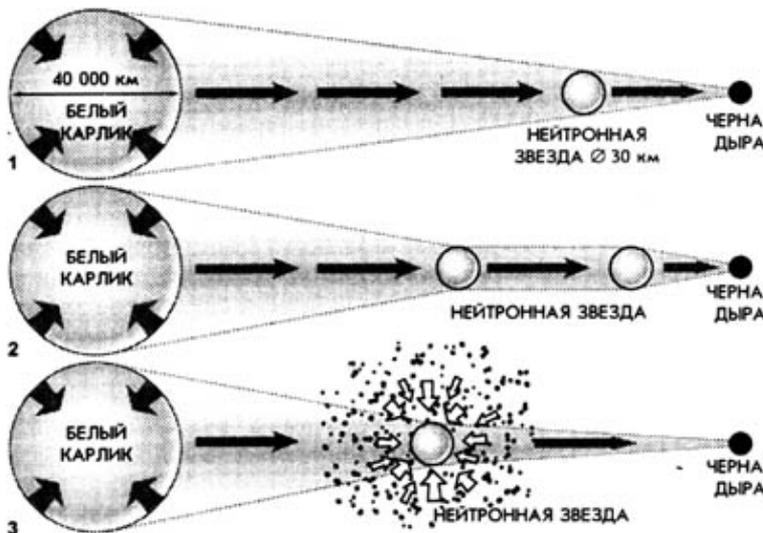
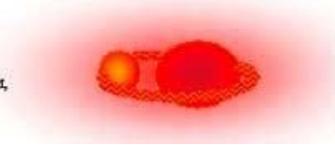
Время горения звезды и испускания ею частиц

Элемент	Температура 10^9K	Время горения	Испускаемые частицы
Водород	0.02	$7 \cdot 10^6$	Фотоны, нейтрино
Углерод	0.8	600 лет	Нейтрино
Кремний	3.5	1 сутки	Нейтрино





Эволюция двойных звезд носит сложный характер, определяемый массой звезд и расстоянием между ними. Один из возможных случаев: звезда с большей массой "ворует", пригитивает, в вещество соседки, при этом ее масса и температура увеличивается, возрастает интенсивность протекания термоядерных реакций и звезда быстрее проходит свой путь развития



Образование черной дыры может происходить тремя путями. Звезда, масса которой превышает две-три массы Солнца, в конце своей жизни сжимается в белый карлик. Если его масса велика, сжатие продолжается и белый карлик превращается в нейтронную звезду, которая коллапсирует до черной дыры либо сразу (1), либо после остывания (2). Массы нейтронной звезды может не хватить для коллапса, и тогда он начнется после того, как звезда всосет в себя достаточное количество межзвездного вещества (3) Образование черной дыры может происходить тремя путями. Звезда, масса которой превышает две-три массы Солнца, в конце своей жизни сжимается в белый карлик. Если его масса велика, сжатие продолжается и белый карлик превращается в нейтронную звезду, которая коллапсирует до черной дыры либо сразу (1), либо после остывания (2). Массы нейтронной звезды может не хватить для коллапса, и тогда он начнется после того, как звезда всосет в себя достаточное количество межзвездного вещества (3).

2.2 Структура черных дыр

С одной стороны, черные дыры – очень сложные объекты. Для их описания необходимо применять общую теорию относительности. Кроме того, так как никакая информация не может попасть из дыры наружу, то нет никаких наблюдательных данных о внутренней структуре черных дыр.

С другой стороны, черные дыры чрезвычайно просты. Для их описания необходимо всего три параметра: масса, вращение (момент количества движения), электрический заряд. Знание этих характеристик дает вам полную информацию о черной дыре. Все остальное исчезает в коллапсаре или излучается при образовании черной дыры. Такую потерю свойств описывают образным высказыванием: «у черной дыры нет волос».

Гравитационные коллапсары внешне предстают довольно простыми объектами, имеющими два параметра – массу и момент количества движения, зависящий от скорости вращения вокруг оси. Вращаясь, дыра создает пространственные вихрь, закручивающий вещество, падающее внутрь (см. п. 2.3). Вращаясь, дыра создает в пространстве вихрь, закручивающий вещество, падающее внутрь. Если пробные тела, например атомы водорода, падают отвесно поверхности коллапсара, то дыра, вероятнее всего, не вращается и имеет шарообразную форму. А если падение вещества закручивается по спирали и форма застывшей звезды близка к эллипсоиду то это вращающийся коллапсар.

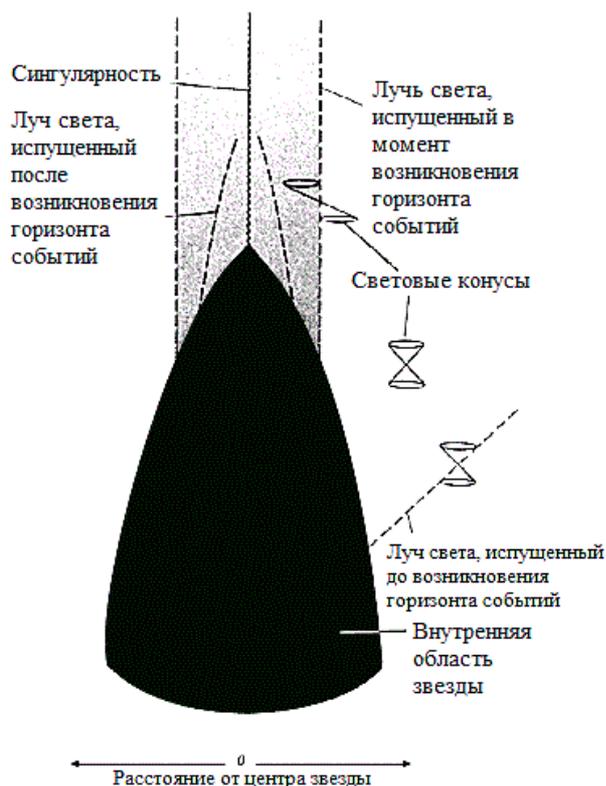
Черная дыра - это область пространства, в которой гравитационное притяжение настолько сильно, что ни вещество, ни излучение не могут эту область покинуть. Для находящихся там тел скорость убегания (вторая космическая) должна была бы превышать скорость света, что невозможно, поскольку ни вещество, ни излучение не могут двигаться быстрее света. Границу области, за которую не выходит свет, называют горизонтом событий, или просто горизонтом черной дыры.

Предел статичности лежит вне горизонта и соприкасается с ним лишь в двух точках, там, где они оба пересекаются с осью вращения черной дыры. Область пространства-времени, расположенная между горизонтом и пределом статичности, называется эргосферой. Объект, попавший в эргосферу, еще может вырваться наружу. Поэтому, хотя черная дыра «все съедает и ничего не отпускает», тем не менее, возможен обмен энергией между ней и внешним пространством. Например, пролетающие через эргосферу частицы или кванты могут уносить энергию ее вращения.

Все вещество внутри горизонта событий черной дыры непременно падает к ее центру и образует сингулярность с бесконечно большой плотностью. Английский физик Стивен Хоукинг определяет 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».

Размер черной дыры, а точнее – радиус сферы Шварцшильда пропорционален массе звезды. А поскольку астрофизика никаких ограничений на размер звезды не накладывает, то и черная дыра может быть сколь угодно велика. Если она, например, возникла при коллапсе звезды массой 10^8 масс Солнца (или за счет слияния сотен тысяч, а то и миллионов сравнительно небольших звезд), ее радиус будет около 300 миллионов километров, вдвое больше земной орбиты. А средняя плотность вещества такого гиганта близка к плотности воды.

По-видимому, именно такие черные дыры находятся в центрах галактик. Во всяком случае, астрономы сегодня насчитывают около пятидесяти галактик, в центре которых, судя по косвенным признакам, имеются черные дыры массой порядка миллиарда (10^9) солнечной. В нашей Галактике тоже, видимо, есть своя черная дыра; ее массу удалось оценить довольно точно – $2,4 \cdot 10^6 \pm 10\%$ массы Солнца.



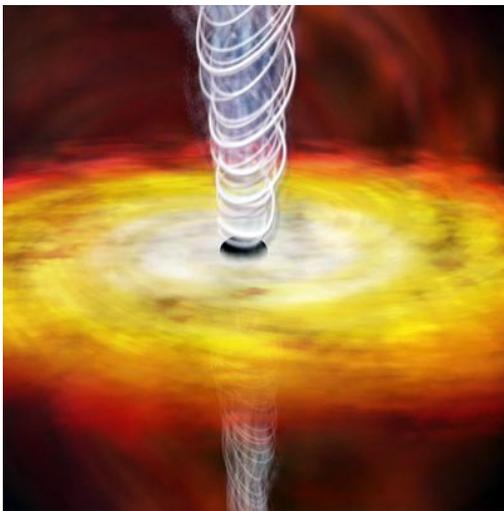
Теория предполагает, что наряду с такими сверхгигантами должны были возникать и черные мини-дыры массой порядка 10^{14} г и радиусом порядка 10^{-12} см (размер атомного ядра). Они могли появляться в первые мгновения существования Вселенной как проявление очень сильной неоднородности пространства-времени при колоссальной плотности энергии.

2.3 Процессия черных дыр

(излучение вращающегося коллапсара)

"Очень быстрая скорость вращения может быть не удивительна для больших черных дыр"

Наблюдение колебаний интенсивности рентгеновского излучения навели ученых на след удивительного феномена: пылевые частички и газовые молекулы, скапливаются вблизи коллапсара, постепенно вовлекаются в гигантскую карусель. Это вихревое периодическое движение, при котором ось не стоит на месте, а описывает круги в пространстве. Называются процессией. У черных дыр процессия должна происходить весьма интенсивно, ведь «юла» газопылевого диска вращается около сотни раз в секунду. Это позволяет сделать вывод, что и само пространство вблизи черных дыр как бы вовлекается во вращение, напоминая водоворот в потоке жидкости.

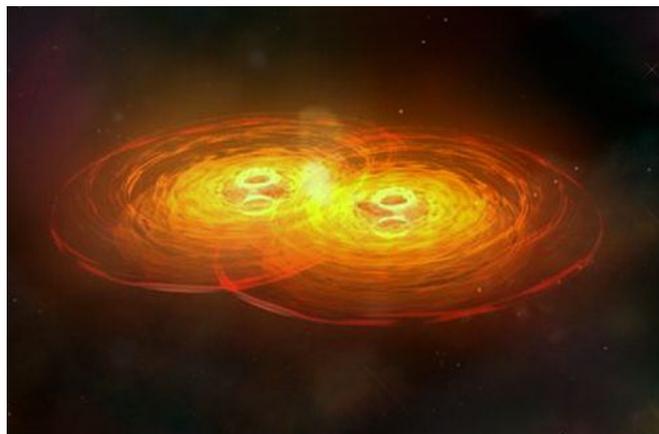


Теория Эйнштейна предполагает вращения черных дыр. Это даёт эффект закручивания спирали из газа в направлении черной дыры, а также создает магнитное поле, что выстреливает поступающий газ обратно в космос, как струи. Струи газа, полученные при помощи таких высокоскоростных вращениях сверхмассивных чёрных дыр могут дать достаточно тепла для зарождения газообразной атмосферы на планете. Однако такие мощные выбросы могут также уничтожить атмосферу соседних планет.

"Мы полагаем, что эти чудовищные черные дыры не противоречат теории относительности Эйнштейна, а это означает, что они могут разгонять материал вокруг себя со скоростью близкой к световой"

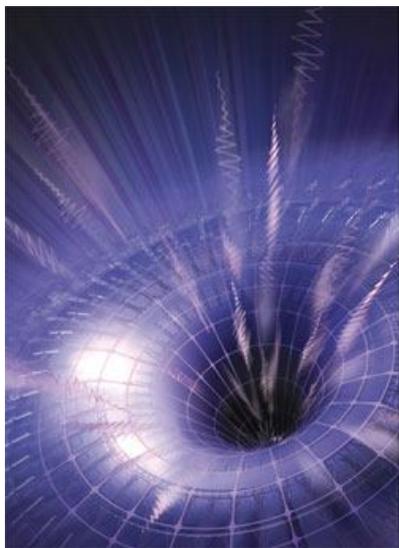
2.4 Слияние застывших звезд

Черные дыры замерзших звезд могут сближаться и сливаться, вызывая приливы гравитационных волн в виде пульсации кривизны пространство – времени. Попавший в такой гравитационный шторм звездолет будут сжимать, трясти и растягивать силы гравитационного приобоя. В результате слияния по теории должны возникать стремительно вращающиеся коллапсары сплюснутой формы, причем суммарная масса новой застывшей звезды будет несколько меньше суммарного баланса из – за гравитационного излучения. До сих пор еще никому не удалось зафиксировать этот «прибой Вселенной», но расчеты показывают, что если масса каждой составляет около 10 масс солнца, то при их слиянии за считанные часы гравитационных волн выделится энергия эквивалентная 1% их суммарной массы. Это в 1000 раз больше световой, тепловой и прочей энергии, которую излучает Солнце за все пятимиллиарднолетнее время своего существования.



Модель слияния двух сверхмассивных черных дыр

2.5 Путешествие в черную дыру



Приливные силы

Если по спирали приблизится к застывшей звезде, то на любое материальное тело обрушатся мощнейшие приливные силы. Они будут растягивать в противоположных направлениях, закручивая его и разрывая. За гравитационным горизонтом эти силы стремятся к бесконечности, являясь одним из проявлений сингулярности. В такой ситуации не могут существовать ни молекулы, ни атомы, ни элементарные частицы, ибо сингулярность теоретически характеризуется нулевым объемом при бесконечной кривизне пространство – времени.

Если отважный исследователь решит устремиться прямо на застывшую звезду, то его полет закончится в считанные мгновения по корабельному времени. Так, небесное тело размером с Солнце сколлапсирует за полчаса, а гораздо более плотная и компактная нейтронная звезда – за тысячные доли секунды. Если к дыре послать автоматическую станцию, сигнализирующую о своем положении лазерным лучом зеленого цвета, то по мере удаления луч начинает краснеть. Тут сразу две причины, связанные с потерей энергии при преодолении фотонами гравитационного поля и эффектом Доплера. Постепенно инфракрасное излучение лазера перейдет в микроволновое, радиоволновое и бесконечно длинноволновое, которое уже не сможет зарегистрировать аппаратура звездолета, поскольку последние сигналы будут бесконечно долго выбираться с горизонта коллапсара.

Затем автомат – разведчик неминуемо попадет в сильно искривленное пространство и вскоре прекратит передачу информации, поскольку вблизи гравитационного радиуса силы тяготения устремятся в бесконечность и растянут ракету в безмерно тонкую нить бесконечной длины. Величина приливных сил вблизи горизонта событий согласно законом теории относительности должна быть обратно пропорциональна квадрату массы коллапсара, а это означает что чем тяжелее застывшая звезда, тем меньше приливные силы на ее горизонте событий и тем дальше гравитационный горизонт от центра коллапсара. Но сам кибернетический организм этого не заметит: все его деформации будут соответствовать искажениям пространственно – временных

координат. Впрочем, все эти рассуждения относятся к идеальной стабильной траектории, а в реальности любое материальное тело будет разорвано приливными силами еще на подходе к гравитационной сфере Шварцшильда.

Получается, что как только исследовательская станция пересечет границу черной дыры, запустившие ее космонавты никогда не увидят, что же там будет происходить. В научно – фантастических романах черные дыры через червоточины пространства – времени связывают разные Вселенные. И тогда, встретив чужой зонд и просмотрев чудом сохранившиеся записи, «иномирные» поймут, что на корабле остановились все хронометры – механические, электронные и даже атомные, погасли табло приборов, видимый свет стал невидимым инфракрасным, потеряв энергию в борьбе с силами тяготения. Все предметы приобрели необычные искаженные очертания. Иномирные будут долго удивляться живучести космического аппарата, сумевшего найти горловину подпространственной «Кротовой норы», за мгновение до того, как гравитация стала столь сильной, что неминуемо вытянула бы и корабль, в тончайшую струну, разорвав ее затем на мельчайшие части.

Жители иного мира могут отправить в черную дыру аналогичное устройство. Чтобы прояснить вопрос: как же распадается, переходя в сингулярное состояние, материя подобного тела, становясь частью иной Вселенной? Впрочем, вопрос о том, как черные дыры связывают наш космос с другими мирами, пока еще принадлежит не науке, а фантастике.

2.6 Виды черных дыр

Среди застывших звезд могут встречаться колоссальные сверхгиганты, ведь теория коллапсаров не предполагает каких –либо ограничений их размеров. Например, если черная дыра возникает при коллапсе звезды в 100 млн. солнечных масс или же при слиянии сотен, а то и миллионов звездных карликов, ее радиус достигнет 300 млн. км, вдвое перекрывая радиус земной орбиты. При этом средняя плотность вещества такого мегагиганта приблизится к плотности воды.

В то же время теоретически возможно возникновение микроскопических черных дыр массой порядка десяти миллионов тонн и радиусом в миллиардные доли сантиметра, что достаточно близко к размерам атомного ядра. Эти коллапсары могли бы возникнуть в самые первые мгновения существования

Вселенной в силу неоднородности пространства – времени при большой плотности энергии.



*Сверхмассивная черная дыра
в центре галактики NGC 4696 (в псевдоцветах)*

Если в нашу эпоху высокая плотность вещества, необходимая для рождения черной дыры, может возникнуть лишь в сжимающихся ядрах массивных звезд, то сразу после Большого взрыва (с которого около 14 млрд. лет назад началось расширение Вселенной), высокая плотность материи была повсюду. Поэтому небольшие флуктуации плотности в ту эпоху могли

приводить к рождению черных дыр любой массы, в том числе и малой. Но самые маленькие из них в силу квантовых эффектов должны были испариться, потеряв свою массу в виде излучения и потоков частиц. «Первые черные дыры» могли сохраниться до наших дней, причем самые мелкие из них должны иметь размер протона или нейтрона.

Сверхмассивные чёрные дыры

Разросшиеся очень массивные чёрные дыры, по современным представлениям, образуют ядра большинства галактик. В их число входит и массивная чёрная дыра в ядре нашей галактики — Стрелец А*.

В настоящее время существование чёрных дыр звёздных и галактических масштабов считается большинством учёных надёжно доказанным астрономическими наблюдениями.

Для чёрной дыры в ядре галактики гравитационный радиус равен $3 \cdot 10^{15}$ см = 200 а. е., что в пять раз больше расстояния от Солнца до Плутона. Критическая плотность при этом равна $0,2 \cdot 10^{-3}$ г/см³, что в несколько раз меньше плотности воздуха.

Первичные чёрные дыры

Первичные чёрные дыры в настоящее время носят статус гипотезы. Если в начальные моменты жизни Вселенной существовали достаточной величины отклонения от однородности гравитационного поля и плотности материи, то из них путём коллапса могли образовываться чёрные дыры. При этом их масса не ограничена снизу, как при звёздном коллапсе — их масса, вероятно, могла бы быть достаточно малой. Обнаружение первичных чёрных дыр представляет особенный интерес в связи с возможностями изучения явления испарения чёрных дыр (см 4.2).

Квантовые чёрные дыры

Предполагается, что в результате ядерных реакций могут возникать устойчивые микроскопические чёрные дыры, так называемые квантовые чёрные дыры. Для математического описания таких объектов необходима квантовая теория гравитации. Однако из общих соображений весьма вероятно, что спектр масс c^* чёрных дыр дискретен и существует минимальная чёрная дыра — планковская чёрная дыра. Её масса — порядка 10^{-5} г, радиус — 10^{-35} м.

Таким образом, все «элементарные объекты» можно разделить на элементарные частицы и чёрные дыры. Планковская чёрная дыра является пограничным объектом, для неё можно встретить название максимон, указывающее на то, что это самая тяжёлая из возможных элементарных частиц. Другой иногда употребляемый для её обозначения термин — планкеон.

Даже если квантовые чёрные дыры существуют, время их существования крайне мало, что делает их непосредственное обнаружение очень проблематичным.

2.7 Квazarы



*Квazar в галактике M 87**

На расстоянии 50 000 000 световых лет

На границе доступного для наблюдения космического пространства есть совершенно необыкновенные объекты. Они настолько далеки, что выглядят как точечные источники излучения, но по его мощности сравнимы с галактиками. Такие объекты назвали квазарами, т. е. звездообразными.

Квazar — это яркий объект в центре галактики, который производит примерно в 10 триллионов раз

больше энергии в секунду, чем наше Солнце, и чье излучение очень изменчиво во всех диапазонах длин волн. По одной из теорий, квазары представляют собой галактики на начальном этапе развития, в которых сверхмассивная чёрная дыра поглощает окружающее вещество.

Звезды в центре галактики движутся со скоростью миллионов километров в час. Скорости с которыми двигаются звезды намного выше чем в других местах галактики и это явный признак черной дыры. Звезды выглядят как крошечные планеты вращающиеся вокруг невидимого солнца. Чтобы заставляя вращаться большие звезды на таких быстрых и плотных орбитах, нужна сильная гравитация есть только один объект во вселенной способный на это, и это сверхмассивные черные дыры.

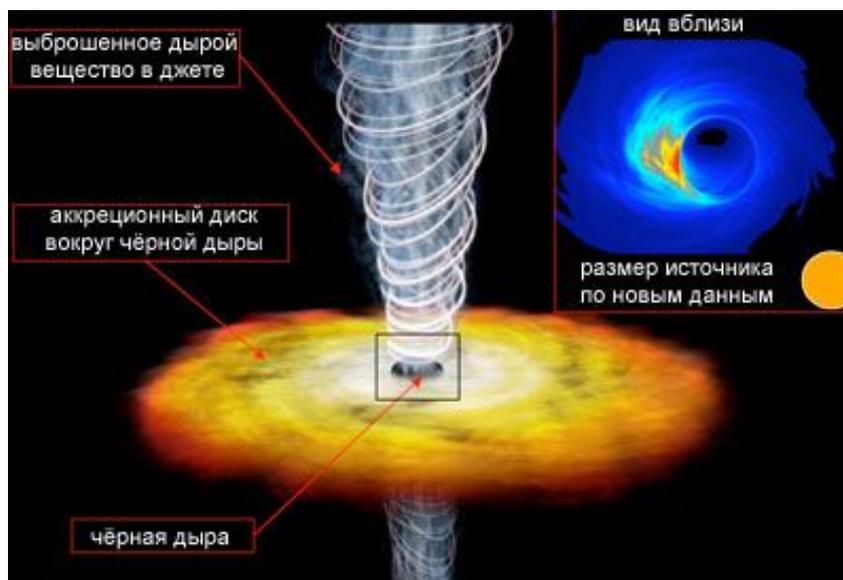
Отправимся на четырнадцать миллиардов лет назад к моменту зарождения Вселенной. В то время она была наполнена облаками после Большого взрыва, в некоторых местах газ был достаточно плотный чтобы сформировать миллионы звезд. Большинство из первых звезд были очень большими, быстро сгорали и взрывались, создавая множество черных дыр. Гравитация притягивала многие из них друг к другу, создавая более мощные черные дыры. За сотни миллионов лет каждая черная дыра росла, производя еще большую гравитацию и притягивая все больше газа, из газа рождались новые звезды, формируя примитивные галактики. В центре новой галактики находилась молодая гигантская черная дыра, поглощающая газ она становилась больше и больше.

Ближе к центру черной дыры, была очень высокая температура, газ устремлялся в черную дыру, но в конце концов там не осталось для него места и газ вырывался наружу огромными струями энергии. Каждая такая струя в двадцать раз шире нашей Солнечной системы. Сверхмассивная черная дыра породила квазар.

Квазары это самые яркие объекты во Вселенной они настолько мощные, что могут затмить любую галактику.

Квазары выбрасывают огромное количество газа из окружающей галактики в эквиваленте это равно десяти Землям в минуту. Черная дыра засасывает газ, а квазар выбрасывает его, в конце концов газа для формирования звезд не остается и галактика перестает расти.

Когда газа не остается квазар становится меньше и исчезает. В результате остается гигантская черная дыра в центре галактики со множеством молодых звезд, такой как наш Млечный путь, когда он был молодым.



III Глава

3.1 Гравитационные линзы

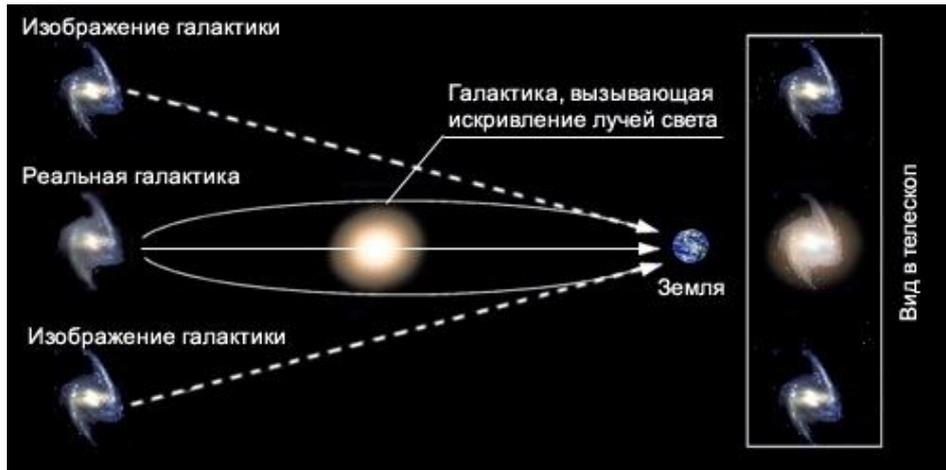
«Светящаяся звезда с плотностью, равной плотности Земли, и диаметром, в 250 раз больше диаметра Солнца, не дает ни одному световому лучу достичь нас из-за своего тяготения; поэтому возможно, что самые яркие тела во Вселенной оказываются пол этой причине невидимыми»^[3]

Пьер Симон Лаплас. Система мира. 1796

Природа сама придумала для астрофизиков гигантский всеволновой космический телескоп, основанный на эффекте гравитационного линзирования. Это явление, основанное на общей теории относительности, было теоретически предсказано в тридцатые годы XX века. Далекие галактики могут выглядеть для нас бесформенными и более яркими, чем они есть на самом деле, из – за того, что на пути к Земле их свет взаимодействует с множеством «линз тяготения». Иногда луч, проходя мимо тяжелого объекта, расщепляется, и тогда наблюдатель с Земли видит множество изображений одного и того же объекта, или же они сливаются в кольцо. Электронное моделирование показало, что свечение газового диска вращающегося вокруг черной дыры, видно и сзади ее «капсулы». Это означает: тяготение столь велико и пространство так закручено, что свет проходит по кругу. Для очень массивных

коллапсаров, превышающих Солнце по массе в триллионы раз, будут наблюдаться удивительные оптические явления, при которых контур черной дыры не будет закрывать звезд, а будет преломлять их свет в яркое кольцо на окружности темного диска. Это происходит из – за отклонения света в сверхмощном гравитационном поле компактных объектов, таких, как кандидаты в застывшие звезды. Будет видно несколько изображений каждой звезды: лучи, отклоненные вправо и влево, совершившие вокруг дыры один оборот, два, три...

Массивные черные дыры из – за эффекта гравитационного линзирования могут значительно исказить вид окружающего космического пространства. Если приблизить к гравитационному горизонту гигантской застывшей звезды, из – за искривления лучей она закроет почти весь видимый горизонт.



Эффект гравитационной линзы

Наблюдателю предстанет лишь узкий овал, через который весь окружающий мир будет виден, словно со дна глубокого колодца.

В середине восьмидесятых годов было установлено, что Местная группа галактик движется со скоростью более 600 км/с в сторону большого сверхскопления галактик. Эта скорость слишком велика, чтобы ее можно было объяснить гравитационным действием наблюдаемых галактик. Она свидетельствует о присутствии скрытой массы между галактиками. Другое доказательство скрытой массы - эффект гравитационного линзирования.

3.2 Кандидаты в черные дыры

К настоящему времени открыто несколько сотен массивных и чрезвычайно компактных объектов, наблюдаемые свойства которых очень похожи на свойства черных дыр, предсказанных общей теорией относительности. Хотя окончательных доказательств существования черных дыр пока не получено, за последнее десятилетие ученые к обнаружению подобных объектов. Поскольку никаких противоречий с общей теорией относительности у кандидатов в черные дыры не замечено, астрономы рискуют использовать термин «черная дыра» вместо более осторожного «кандидат в черные дыры». Рост числа обнаруженных кандидатов привел к тому, что родилась новая область астрофизики - демография черных дыр, изучающая их статистические свойства и связь с другими объектами Вселенной. Наблюдения тесных систем двойных звезд, когда звездные соседи расположены настолько близко, что в телескоп видна лишь одна звезда, иногда дают основание считать, что невидимый партнер может быть кандидатом в черные дыры. Звезды таких пар могут быть настолько близки, что невидимый коллапсар начнет «поедать» своего видимого соседа. Используя наземные и орбитальные телескопы исследователи смогли открыть многие тайны космических объектов, которые интересовали их на протяжении долгого периода. В частности, один из наиболее интересных объектов под названием Лебедь X-1 раскрыл о себе многие интересные загадки.

Это один из самых ярких галактических источников рентгеновского излучения, находящийся в созвездии Лебедя, который был открыт еще в далеком 1964 году во время суборбитального полёта. Лебедь X-1 входит в состав массивной двойной звездной системы, которая расположена на расстоянии примерно 6 070 световых лет от нашего Солнца. В эту бинарную систему входит и голубой сверхгигант с переменным блеском, обозначенный HDE 226868. Объекты находятся друг от друга на расстоянии 0,2 а. е. Это приблизительно 20 % расстояния от Земли до Солнца.

Лебедь X-1 был первым рентгеновским источником-кандидатом в чёрные дыры. Не зря, он является среди них одним из самых изученных объектов. Известно, что его масса составляет 14.8 масс Солнца. Его относят к черным дырам, так как этот объект слишком компактен, чтобы быть каким-либо объектом кроме чёрной дыры. Радиус его горизонта событий составляет около 26 километров.

Кандидаты в черные дыры в ТДС

Рентгеновский источник	Описание	Масса релятивистского* объекта	Масса оптической звезды
CYG X-1 (Лебедь X-1)	Рентгеновский источник Лебедь X-1. Это невидимый спутник звезды HDE 226868, являющейся голубым сверхгигантом, видимая звездная величина которой $m = +9$, расстояние до этой двойной системы около 2 кпс. Период орбитального обращения этой системы 5,6 дней. Рентгеновское излучение в источнике Лебедь X-1 рождается в очень малой области около черной дыры, так как колебания происходят за тысячные доли секунды, следовательно, излучающий объект мал, кроме того, достаточно большая масса, около $20 M_{\odot}$, говорит о том, что этот малый объект не может быть нейтронной звездой.	20	20
LMC X-3	Оптическая звезда в двойной системе – голубой сверхгигант	7–11	3–6
LMC X-1	Оптическая звезда в двойной системе – голубой сверхгигант. Релятивистский объект в двойной системе не проявляет признаков рентгеновского пульсара или рентгеновского барстера, то есть аккрецирующей нейтронной звезды.	4–10	18–25
V616 MonA0620-00	Внимание к этому рентгеновскому источнику возросло после вспышки как рентгеновской новой в 1975 году. При этом светимость увеличилась в 100 000 раз. Оптическая звезда позднего спектрального класса K обращается вокруг невидимого компонента с периодом 7,75 часа. В рентгеновской двойной системе A0620-00 удалось очень точно измерить массу компактной звезды, она оказалась больше $16 M_{\odot}$. Это намного превышает возможности нейтронных звезд.	16–17	0,7
V404 Cyg	Двойная система. Масса невидимого компонента не менее $10 M_{\odot}$	10–15	0,5–1
XN Mus 1991	Двойная система. Масса невидимого компонента не менее $9 M_{\odot}$	9–16	0,7–0,8
QZ Vul	Двойная система. Масса невидимого компонента не менее $5 M_{\odot}$	5,3–8,2	0,7
XN Per 1992	Двойная система. Масса невидимого компонента не менее $2,5 M_{\odot}$	2,5–5,0	0,4
XN Sco 1994	Двойная система. Масса невидимого компонента не менее $4 M_{\odot}$	4–6	2,3
XN Oph 1977	Двойная система. Масса невидимого компонента не менее $5 M_{\odot}$	5–7	0,8

3.3 Чёрные дыры Млечного Пути



Большинство астрономов считают, что хотя бы одна сверхмассивная чёрная дыра есть почти в каждом галактическом ядре. В центре нашей галактике Млечный Путь многие звезды вращаются вокруг мощного радиоисточника Стрельца А. Именно с ним связывают наличие кандидата в коллапсары более чем в 3 млн. солнечных масс.

В центре нашей Галактики находится крупная чёрная дыра, известная под названием Стрелец А*, это компактный радиоисточник, излучает также в инфракрасном, рентгеновском и других диапазонах. Представляет собой сверхмассивную чёрную дыру окружённую горячим радиоизлучающим газовым облаком диаметром около 1,8 пк⁽¹⁾. Расстояние до радиоисточника составляет около 26 тыс. св. лет, масса центрального объекта — 4,3 млн. масс солнца.

Расшифровывая информацию, поступающую из космических обсерваторий, улавливающих рентгеновское излучение, астрофизики пришли к выводу, что в Млечном Пути находятся сотни чёрных дыр с массой от трех до сотен солнечных. Некоторые из этих дыр вращаются очень медленно, другие — практически неподвижны, но есть и очень быстрые «космические волчки», крутящиеся с невероятно высокой скоростью. Исследуя вращение коллапсаров, астрофизики узнают важные подробности их эволюции, включая количество поглощенной материи и критерии ее последующего выброса в виде осевой струи. Астрономы убеждены: кандидаты в быстро вращающиеся дыры, обнаруженные в нашей Галактике, должны посылать вблизи направления оси вращения колоссальные струи высокоэнергичных частиц. Причем данные струи должны быть закручены и вращаться примерно с той же скоростью, что и сама звезда.

(1) Парсек (пк) — распространённая в астрономии внесистемная единица измерения расстояния.

3.4 Поиски черных дыр

“История космологии – это история наших заблуждений...”

Мы находимся на маленькой планете во Вселенной, не можем никуда выйти и поставить эксперимент. Всё, что мы можем сделать, это взять немного света, который достиг нас и понять, что из себя представляет Вселенная”^[5]

М. Чаун

Черные дыры ничего не излучают, однако астрономы научились находить «кандидатов» на эту роль. Учитывая важнейшие свойства черных дыр (массивность, компактность и невидимость) астрономы постепенно выработали стратегию их поиска. Проще всего обнаружить черную дыру по ее гравитационному взаимодействию с окружающим веществом, например, с близкими звездами. Попытки обнаружить невидимые массивные спутники в двойных звездах не увенчались успехом. Но после запуска на орбиту рентгеновских телескопов выяснилось, что черные дыры активно проявляют себя в тесных двойных системах, где они отбирают вещество у соседней звезды и поглощают его, нагревая при этом до температуры в миллионы градусов и делая его на короткое время источником рентгеновского излучения.

Поскольку в двойной системе черная дыра в паре с нормальной звездой обращается вокруг общего центра массы, используя эффект Доплера*, удастся измерить скорость звезды и определить массу ее невидимого компаньона. Астрономы выявили уже несколько десятков двойных систем, где масса невидимого компаньона превосходит 3 массы Солнца и заметны характерные проявления активности вещества, движущегося вокруг компактного объекта, например, очень быстрые колебания яркости потоков горячего газа, стремительно вращающегося вокруг невидимого тела.

Другим направлением поиска черных дыр служит изучение ядер галактик. В них скапливаются и уплотняются огромные массы вещества, сталкиваются и сливаются звезды, поэтому там могут формироваться сверхмассивные черные дыры, превосходящие по массе Солнце в миллионы раз. Они притягивают к себе окружающие звезды, создавая в центре галактики пик яркости. Они разрушают близко подлетающие к ним звезды, вещество которых образует вокруг черной дыры аккреционный* диск и частично выбрасывается вдоль оси диска в виде быстрых струй и потоков частиц. Это процессы, реально наблюдаемые в ядрах некоторых галактик и указывающие на присутствие в них черных дыр с массами до нескольких миллиардов масс Солнца.

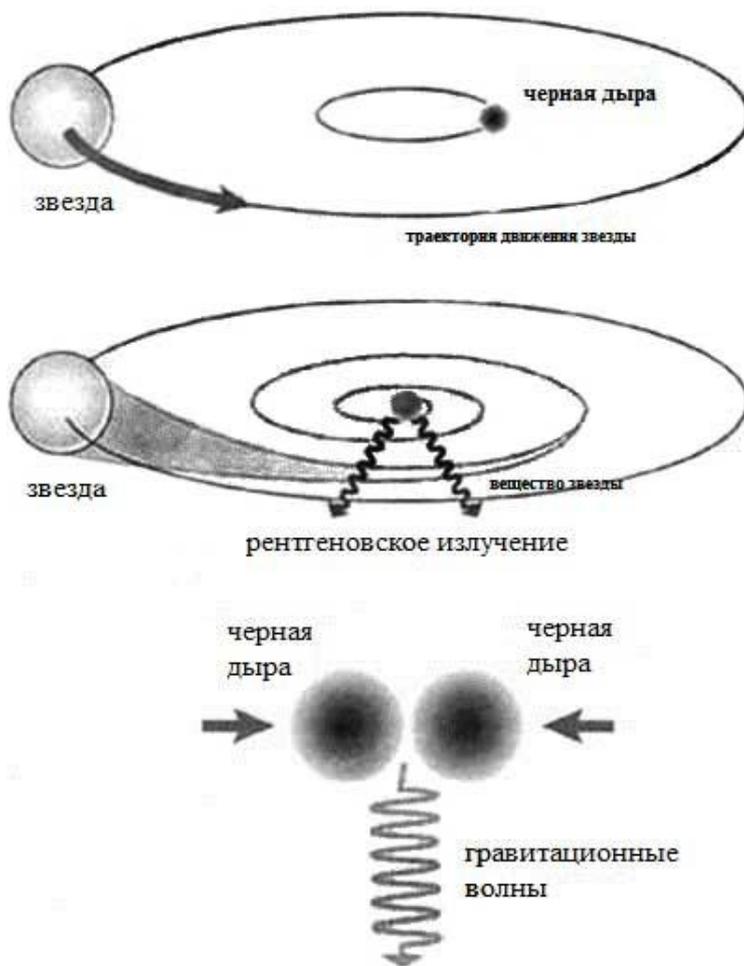
Есть три способа обнаружить черную дыру:

1. Нужно проследить за обращением звезд в скоплениях вокруг некоего центра гравитации. Если окажется, что в этом центре ничего нет, и звезды крутятся как бы вокруг пустого места, можно сказать, что в этой «пустоте» находится черная

дыра. Именно по этому признаку предположили наличие черной дыры в центре нашей Галактики и оценили ее массу.

2. Черная дыра активно всасывает в себя материю из окружающего пространства. Межзвездная пыль, газ, вещество ближайших звезд падают на нее по спирали, образуя так называемый аккреционный диск. Приближаясь к сфере Шварцшильда, частицы испытывают ускорение и начинают излучать в рентгеновском диапазоне.

3. При слиянии двух черных дыр возникает гравитационное излучение. Подсчитано, что если масса каждой составляет около десяти масс Солнца, то при их слиянии за считанные часы в виде гравитационных волн выделится энергия, эквивалентная 1 % их суммарной массы. Это в тысячу раз больше световой, тепловой и прочей энергии, которую излучило Солнце за все время своего существования – пять миллиардов лет. Обнаружить гравитационное излучение надеются с помощью гравитационно-волновых обсерваторий.



Черная дыра, невидимая в телескоп, обнаруживает себя только по своему гравитационному воздействию. Она заставляет звезды двигаться по эллиптическим траекториям вокруг якобы пустого места, стягивает в себя вещество звезд и космическую пыль. При слиянии двух черных дыр возникает мощнейший всплеск гравитационного излучения.

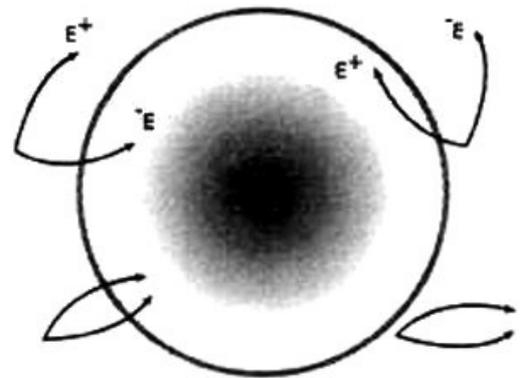
IV Глава

4.1 Испарение черных дыр

До открытия С. Хоукинга физики были уверены, что статическое поле тяготения вне черной дыры никак не может рождать частицы. Переменное же поле за горизонтом внутри дыры “невидимо”, “неосвязаемо” для внешнего наблюдателя, и о нем, казалось, можно забыть. Но квантовые процессы как раз в характерны тем, что частица может оказаться там, где, с точки зрения классической физики, ее никак быть не должно. Например, частица может “просочиться” сквозь энергетический барьер, когда у нее не хватает энергии на его преодоление. С. Хоукинг показал, что такое свойство квантовых частиц в случае черных дыр ведет к качественно новому эффекту — квантовому испарению черных дыр.

Согласно представлениям квантовой механики, вакуум — не пустота, а некая «пена пространства-времени», мешанина из виртуальных (ненаблюдаемых в нашем мире) частиц. Однако квантовые флуктуации энергии способны «выбросить» из вакуума пару частица-античастица. Например, при столкновении двух-трех гамма-квантов как бы из ничего возникнут электрон и позитрон. Это и аналогичные явления неоднократно наблюдались в лабораториях.

Именно квантовые флуктуации определяют процессы излучения черных дыр. Если пара частиц, обладающих энергиями E и $-E$ (полная энергия пары равна нулю), возникает в окрестности сферы Шварцшильда, дальнейшая судьба частиц будет различной. Они могут аннигилировать почти сразу же или вместе уйти под горизонт событий. При этом состояние черной дыры не изменится. Но если под горизонт уйдет только одна частица, наблюдатель зарегистрирует другую, и ему будет казаться, что ее породила черная дыра. При этом черная дыра, поглотившая частицу с энергией $-E$, уменьшит свою энергию, а с энергией E — увеличит.



В мощном поле тяготения черной дыры происходит рождение пар частица-античастица. Поглощение частиц с отрицательной энергией приводит к уменьшению полной энергии черной дыры — ее испарению.

Хокинг подсчитал скорости, с которыми идут все эти процессы, и пришел к выводу: вероятность поглощения частиц с отрицательной энергией выше. Это значит, что черная дыра теряет энергию и массу — испаряется. Кроме того она

излучает как абсолютно черное тело с температурой $T = 6 \cdot 10^{-8} M_c / M$ кельвинов, где M_c – масса Солнца ($2 \cdot 10^{33}$ г), M – масса черной дыры. Эта несложная зависимость показывает, что температура черной дыры с массой, в шесть раз превышающей солнечную, равна одной стомиллионной доле градуса. Ясно, что столь холодное тело практически ничего не излучает, и все приведенные выше рассуждения остаются в силе. Иное дело – мини-дыры. Легко увидеть, что при массе $10^{14} - 10^{30}$ граммов они оказываются нагретыми до десятков тысяч градусов и раскалены добела! Следует, однако, сразу отметить, что противоречий со свойствами черных дыр здесь нет: это излучение испускается слоем над сферой Шварцшильда, а не под ней.

Без внешних воздействий, черные дыры медленно исчезают, превращаются в тепловое излучение, медленно затягиваются в пространстве и времени.

Сравнительно большие черные дыры с массой в несколько солнечных обладают столь низкой температурой, что могут производить только безмассовые частицы.

Эти частицы всегда летят со скоростью света и не имеют собственной массы покоя. К ним относятся фотоны, электрон-позитронные и мюонные нейтрино, а также их античастицы и, наконец, еще не открытые гравитоны — кванты гравитационных волн. Черная дыра с массой, типичной для звезд, рождает особенно много нейтрино (81 процент всего потока) всех сортов, затем фотонов (17 процентов) и гравитонов (2 процента). Тот факт, что разные частицы излучаются в разных количествах, объясняется различием их свойств. Нейтрино испускается больше всего потому, что их квантовое вращение (на языке квантовой физики — спин) минимально ($1/2$), а гравитонов меньше всего, так как их спин максимален.

Черные дыры малой массы имеют большую температуру. Так, температура черных дыр с массой меньше 10^{17} — 10^{16} граммов, выше 10^9 — 10^{10} градусов. Эти черные дыры порождают, помимо перечисленных частиц, электронно-позитронные пары. Заметим, что размеры таких черных дыр составляют всего 10-11 сантиметра — в 1000 раз меньше размеров атома.

Еще меньшие черные дыры с массой меньше $5 \cdot 10^{14}$ граммов способны излучать также мюоны и более тяжелые элементарные частицы.

Размер этих черных дыр уже меньше атомного ядра. Конечно, такие карликовые черные дыры не могут возникать в ходе эволюции звезд. Но их появление было возможным в далеком прошлом. Если в начале расширения Вселенной, когда вещество было плотным, образовались такие “первичные” черные дыры с массой меньше 10^{15} граммов, то все они должны к нашему

времени испариться. По этой причине процесс, открытый С. Хоукингом, имеет очень важное значение для космологии.

Важным является не только предсказываемый факт излучения, но и то, что это излучение имеет тепловой спектр (для безмассовых частиц). Это значит, что излучению вблизи горизонта событий чёрной дыры можно сопоставить определённую температуру:

$$T_{\text{ВН}} = \frac{\hbar c^3}{8\pi kGM}$$

где \hbar — постоянная Планка⁽¹⁾, c — скорость света в вакууме, k — постоянная Больцмана, G — гравитационная постоянная, M — масса чёрной дыры. При этом не только спектр излучения (распределение его по частотам), но и более тонкие его характеристики (например, все корреляционные функции*) точно такие же, как у излучения черного тела. Развивая теорию, можно построить и полную термодинамику чёрных дыр.

Итак, черная дыра, которая казалась навеки застывшим объектом, рано или поздно исчезает, испарившись. Причем по мере того, как она «худеет», темп испарения нарастает, но все равно идет чрезвычайно долго. Подсчитано, что мини-дыры массой 10^{14} граммов, возникшие сразу после Большого взрыва 10 – 15 миллиардов лет назад, к нашему времени должны испариться полностью. На последнем этапе жизни их температура достигает колоссальной величины, поэтому продуктами испарения должны быть частицы чрезвычайно высокой энергии.



Рождение пары частица-античастица в лаборатории. Гамма-квант высокой энергии (он трека не оставляет и на снимке не виден) сталкивается с неподвижным электроном. При столкновении возникают электрон и позитрон, траектории которых магнитное поле закручивает в разные стороны, а электрон приобретает энергию и с большой скоростью улетает. Еще один гамма-квант порождает вторую электрон-позитронную пару (на снимке внизу).

(1) Постоянная Планка (квант действия) — основная константа квантовой теории, коэффициент, связывающий величину энергии кванта электромагнитного излучения с его частотой. Также имеет смысл кванта действия и кванта момента импульса.

$\hbar = 6,626176(36) \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

Возможно, именно они порождают в атмосфере Земли широкие атмосферные ливни – ШАЛы. Во всяком случае, происхождение частиц аномально высокой энергии – еще одна важная и интересная проблема, которая может быть вплотную связана с не менее захватывающими вопросами физики черных дыр.

Заключение

Чем таинственней загадка, чем глубже проблема, тем больший интерес она вызывает. Эйнштейн, автор общей теории относительности, писал: «Самое прекрасное и глубокое переживание, выпадающее на долю человека, — это ощущение таинственности». А у черных дыр и Вселенной вряд ли найдутся конкуренты по части их загадочности.

Из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

- самые мощные процессы энерговыделения во Вселенной происходят с участием черных дыр;
- их рождение знаменуется самыми мощными взрывами во Вселенной, проявляющимися как гамма-всплески;
- черные дыры играют важную роль в формировании галактики, могут собирать материю вместе, и это создает условия для формирования звезд.

И звезды умирают во Вселенной... Звезда уходит словно в глубь себя, В последней крике выплеснув все чувства... Уходит внутрь, во тьму, в ничто, оставив бездну времени-пространства, воронку мрака среди звездной пыли.

Голодный зев уже иных миров... Что Дантов ад в сравненье с этим адом!

Безмолвной бездной, заключенной в сферу, где время перепуталось с пространством и все пути ведут к уничтоженью. И только черный ветер во Вселенной. Застывший ветер, смерч ва звездной пыли стоит на страже на краю воронки...^[6]

М. Катыс

Список литературы

1. Е.Ананьева, С.Миронова, И.Лапина - «Звездное небо»— М.: Мир энциклопедий Аванта+, Астрель, 2010
2. Б.А. Воронцов-Вельяминов, Е.К. Страу/ Астрономия. 11кл.: учеб. Для общеобразоват. учреждений — 6-е изд.: доп. — М.: Дрофа, 2005.
3. Олег Фейгин «Поразительная Вселенная» — М.: Эксмо, 2011
4. Первый национальный познавательный журнал «Вокруг света» №5(2764), май 2004.

Интернет-ресурсы

5. <http://nuclphys.sinp.msu.ru/pilgrims/cr01.htm>
6. http://www.o8ode.ru/article/timyy/coza/black/vzryv_4ernoj_dyry.htm
7. <http://nuclphys.sinp.msu.ru/pilgrims/cr01.htm>
8. <http://atheismru.narod.ru/science/popular/trankovsky.htm>
9. http://aimatrix.nm.ru/astro/b01_050.htm
10. <http://infuture.ru/article/5190>
11. http://vivovoco.rsl.ru/VV/JOURNAL/NATURE/10_06/BLACKHOLE.HTM
12. <http://ru.wikipedia.org/>
13. <http://filmix.net/dokumentalenyje/9800-kak-rabotaet-vselennaya-how-the-universe-works-2010.html>
14. http://www.for-leader.com/tehnologii/parallelnye_vselennye/

Словарь

А

Аккре́ция — процесс падения вещества на космическое тело из окружающего пространства.

Аккреционный диск — диск, образующийся вокруг звезды в результате аккреции, если падающее вещество имеет момент вращения. Ситуация, приводящая к образованию аккреционного диска, в частности, возникает в тесных двойных системах.

В

Вторая космическая скорость (*параболическая скорость, скорость освобождения, скорость убегания*) — наименьшая скорость, которую необходимо придать объекту, масса которого пренебрежимо мала по сравнению с массой небесного тела, для преодоления гравитационного притяжения этого небесного тела.

Вырожденный газ — это газ, на свойства которого существенно влияют квантомеханические эффекты, возникающие вследствие тождественности его частиц.

Г

Гравитационная линза — массивное тело (планета, звезда) или система тел (галактика, скопление галактик), искривляющая своим гравитационным полем направление распространения излучения, подобно тому, как искривляет световой луч обычная линза.

Гравитацио́нный колла́пс — катастрофически быстрое сжатие массивных тел под действием гравитационных сил.

К

Кваза́р — особо мощное и далёкое активное ядро галактики. Квазары являются одними из самых ярких объектов во Вселенной — их мощность излучения иногда в десятки и сотни раз превышает суммарную мощность всех звёзд таких галактик, как наша.

Корреляционная функция — функция времени или пространственных координат, которая задает корреляцию в системах со случайными процессам

Корреля́ция (корреляционная зависимость) — статистическая взаимосвязь двух или нескольких случайных величин (либо величин, которые можно с некоторой допустимой степенью точности считать таковыми).

Крото́вая но́ра также «крито́вина» или «червото́чина» гипотетическая топологическая особенность пространства –времени, представляющая собой каждый момент времени «туннель» в пространстве. Область вблизи самого узкого участка кротовины называется «горловиной».

М

М 87 (*M 87, NGC 4486, Дева А*) — гигантская эллиптическая галактика, крупнейшая в скоплении галактик в Деве с массой 2000-3000 млрд. солнечных масс, и одна из крупнейших известных галактик. Является мощным источником радио- и гамма-излучения.

Микроквазары (рентгеновские двойные звезды) — это двойные звездные системы, в которых остаток первой звезды, сжатый в тёмный компактный объект (такой как нейтронная звезда или чёрная дыра), гравитационно связан со второй обычной звездой, которая движется по тесной орбите вокруг первого компонента.

Н

Нейтронная звезда — астрономический объект, является одним из конечных продуктов эволюции звёзд, состоит из нейтронной сердцевины и тонкой коры вырожденного вещества с преобладанием ядер железа и никеля. Масса нейтронной звезды практически такая же, как и у Солнца, но радиус всего 10 км. Поэтому средняя плотность вещества такой звезды в несколько раз превышает плотность атомного ядра (которая для тяжёлых ядер составляет в среднем $2,8 \times 10^{17}$ кг/м³). Считается, что нейтронные звезды рождаются во время вспышек сверхновых.

П

Парсёк (пк) — распространённая в астрономии внесистемная единица измерения расстояния.

Предел Оппенгеймера — Волкова — верхний предел массы нейтронной звезды, при которой давление вырожденного нейтронного газа не может компенсировать силы гравитации, что приводит к её коллапсу в чёрную дыру. Одновременно предел Оппенгеймера — Волкова является нижним пределом массы чёрных дыр, образующихся в ходе эволюции звёзд.

Приливные силы — силы, возникающие в телах, свободно движущихся в неоднородном силовом поле. Самым известным примером действия приливных сил являются приливы и отливы на Земле, откуда и произошло их название.

Процессия — это движение оси вращения твердого тела, при котором она описывает круговую коническую поверхность.

Р

Релятивистская механика — раздел физики, рассматривающий законы механики (законы движения тел и частиц) при скоростях, сравнимых со скоростью света. При скоростях значительно меньших скорости света переходит в классическую (ньютоновскую) механику.

Релятивистские струи — струи плазмы, вырывающиеся из центров (ядер) таких астрономических объектов, как активные галактики, квазары и радиогалактики.

С

Сингулярность — точка в пространстве –времени, где искривление пространства – времени (или некая другая физическая величина) достигает бесконечного значения. Все вещество внутри горизонта событий черной дыры непременно падает к ее центру и образует сингулярность с бесконечно большой плотностью.

Спектр масс — набор значений масс элементарных частиц.

Т

Туннельный эффект, туннелирование — преодоление микрочастицей потенциального барьера в случае, когда её полная энергия (остающаяся при туннелировании неизменной) меньше высоты барьера.

Туннельный эффект — явление исключительно квантовой природы, невозможное и даже полностью противоречащее классической механике.

Ф

Флуктуация — термин, характеризующий любое колебание или любое периодическое изменение.

Ч

Чёрная дыра — область пространства, в которой гравитационное притяжение настолько сильно, что ни вещество, ни излучение не могут эту область покинуть. Для находящихся там тел вторая космическая (скорость убегания) должна была превышать скорость света.

Ш

Радиус Шварцшильда (или гравитационный радиус) представляет собой характерный радиус, определённый для любого физического тела, обладающего массой: это радиус сферы в искривлённых координатах, на которой находился бы горизонт событий, создаваемый этой массой в общей теории относительности, если бы она была распределена сферически-симметрично, была бы неподвижной (в частности, не вращалась, но радиальные движения допустимы), и целиком лежала бы внутри этой сферы.

Гравитационный радиус пропорционален массе тела m и равен $r_g = 2Gm / c^2$, где G — гравитационная постоянная, c — скорость света в вакууме. Это выражение можно записать как $r_g \approx 1.48 \times 10^{-27} m$

+где r_g измеряется в метрах, а m — в килограммах. Для астрофизики удобной является запись

$r_g \approx 2.95(m/M_\odot)$ км, где M_\odot — масса Солнца.

Э

Эффект Доплера — изменение частоты и длины волн, регистрируемых приёмником, вызванное движением их источника и/или движением приёмника.