Исторический факультет

Реферат по КСЕ на тему :

"Черные дыры"

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ

1. История идеи о черных дырах

2. Формирование черных дыр

3. Свойства черных дыр

4. Поиски черных дыр

5. Термодинамика и испарение чёрных дыр

6. Падение в чёрную дыру

7. Виды черных дыр

Заключение

Список литературы

## ВВЕДЕНИЕ

Черная 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 (скорость убегания) должна была бы превышать скорость света, что невозможно, поскольку ни вещество, ни излучение не могут двигаться быстрее света. Поэтому из черной дыры ничто не может вылететь. Границу области, за которую не выходит свет, называют "горизонтом событий", или просто "горизонтом" черной дыры.

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 (M) должна сжаться до объема с радиусом, меньшим "гравитационного радиуса" rg = 2GM/c2 . 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.

## История идеи о черных дырах.

Английский геофизик и астроном Джон Мичелл предположил, что в природе могут существовать столь массивные звезды, что даже луч света не способен покинуть их поверхность. Используя законы Ньютона, Мичелл рассчитал, что если бы звезда с массой Солнца имела радиус не более 3 км, то даже частицы света (которые он, вслед за Ньютоном, считал корпускулами) не могли бы улететь далеко от такой звезды. Поэтому такая звезда казалась бы издалека абсолютно темной. Эту идею Мичелл представил на заседании Лондонского Королевского общества 27 ноября 1783. Так родилась концепция "ньютоновской" черной дыры.

Такую же идею высказал в своей книге Система мира (1796) французский математик и астроном Пьер Симон Лаплас. Простой расчет позволил ему написать: "Светящаяся звезда с плотностью, равной плотности Земли, и диаметром, в 250 раз большим диаметра Солнца, не дает ни одному световому лучу достичь нас из-за своего тяготения; поэтому возможно, что самые яркие небесные тела во Вселенной оказываются по этой причине невидимыми". Однако масса такой звезды должна была бы в десятки миллионов раз превосходить солнечную. А поскольку дальнейшие астрономические измерения показали, что массы реальных звезд не очень сильно отличаются от солнечной, идея Митчела и Лапласа о черных дырах была забыта.

На протяжении XIX века идея тел, невидимых вследствие своей массивности, не вызывала большого интереса у учёных. Это было связано с тем, что в рамках классической физики скорость света не имеет фундаментального значения. Однако в конце XIX — начале XX века было установлено, что сформулированные Дж.Максвеллом законы электродинамики, с одной стороны, выполняются во всех инерциальных системах отсчёта, а с другой стороны, не обладают инвариантностью относительно преобразований Галилея. Это означало, что сложившиеся в физике представления о характере перехода от одной инерциальной системы отсчёта к другой нуждаются в значительной корректировке.

В ходе дальнейшей разработки электродинамики Г.Лоренцем была предложена новая система преобразований пространственно-временных координат (известных сегодня как преобразования Лоренца), относительно которых уравнения Максвелла оставались инвариантными. Развивая идеи Лоренца, А.Пуанкаре предположил, что все прочие физические законы также инвариантны относительно этих преобразований.

В 1905 году А.Эйнштейн использовал концепции Лоренца и Пуанкаре в своей специальной теории относительности (СТО), в которой роль закона преобразования инерциальных систем отсчёта окончательно перешла от преобразований Галилея к преобразованиям Лоренца. Классическая (галилеевски-инвариантная) механика была при этом заменена на новую, лоренц-инвариантную релятивистскую механику. В рамках последней скорость света оказалась предельной скоростью, которую может развить физическое тело, что радикально изменило значение чёрных дыр в теоретической физике.

Однако ньютоновская теория тяготения (на которой базировалась первоначальная теория чёрных дыр) не является лоренц-инвариантной. Поэтому она не может быть применена к телам, движущимся с околосветовыми и световыми скоростями. Лишённая этого недостатка релятивистская теория тяготения была создана, в основном, Эйнштейном (сформулировавшим её окончательно к концу 1915 года) и получила название общей теории относительности (ОТО).

Во второй раз ученые "столкнулись" с черными дырами в 1916, когда немецкий астроном Карл Шварцшильд получил первое точное решение уравнений ОТО. Оказалось, что пустое пространство вокруг массивной точки обладает особенностью на расстоянии rg от нее; именно поэтому величину rg часто называют "шварцшильдовским радиусом", а соответствующую поверхность (горизонт событий) – шварцшильдовской поверхностью. В следующие полвека усилиями теоретиков были выяснены многие удивительные особенности решения Шварцшильда, но как реальный объект исследования черные дыры еще не рассматривались.

Правда, в 1930-е, после создания квантовой механики и открытия нейтрона, физики исследовали возможность формирования компактных объектов (белых карликов и нейтронных звезд)как продуктов эволюции нормальных звезд. Оценки показали, что после истощения в недрах звезды ядерного топлива, ее ядро может сжаться превратиться в маленький и очень плотный белый карлик или же в еще более плотную и совсем крохотную нейтронную звезду.

В 1934 работавшие в США европейские астрономы Фриц Цвикки и Вальтер Бааде выдвинули гипотезу – вспышки сверхновых представляют собой совершенно особый тип звездных взрывов, вызванных катастрофическим сжатием ядра звезды. Так впервые родилась идея о возможности наблюдать коллапс звезды. Бааде и Цвикки высказали предположение, что в результате взрыва сверхновой образуется сверхплотная вырожденная звезда, состоящая из нейтронов. Расчеты показали, что такие объекты действительно могут рождаться и быть устойчивыми, но лишь при умеренной начальной массе звезды. Но если масса звезды превышает три массы Солнца, то уже ничто не сможет остановить ее катастрофического коллапса.

В 1939 американские физики Роберт Оппенгеймер и Хартланд Снайдер обосновали вывод, что ядро массивной звезды должно безостановочно коллапсировать в предельно малый объект, свойства пространства вокруг которого (если он не вращается) описываются решением Шварцшильда. Иными словами, ядро массивной звезды в конце ее эволюции должно стремительно сжиматься и уходить под горизонт событий, становясь черной дырой. Но поскольку такой объект (как говорили тогда, "коллапсар", или "застывшая звезда") не излучает электромагнитные волны, то астрономы понимали, что обнаружить его в космосе будет невероятно трудно и поэтому долго не приступали к поиску.

Поскольку никакой носитель информации не способен выйти из-под горизонта событий, внутренняя часть черной дыры причинно не связана с остальной Вселенной, происходящие внутри черной дыры физические процессы не могут влиять на процессы вне ее. В то же время, вещество и излучение, падающие снаружи на черную дыру, свободно проникают внутрь через горизонт. Можно сказать, что черная дыра все поглощает и ничего не выпускает. По этой причине и родился термин "черная дыра", предложенный в 1967 американским физиком Джоном Арчибальдом Уилером.

## Формирование черных дыр

Самый очевидный путь образования черной дыры – коллапс ядра массивной звезды. Пока в недрах звезды не истощился запас ядерного топлива, ее равновесие поддерживается за счет термоядерных реакций (превращение водорода в гелий, затем в углерод, и т.д., вплоть до железа у наиболее массивных звезд). Выделяющееся при этом тепло компенсирует потерю энергии, уходящей от звезды с ее излучением и звездным ветром. Термоядерные реакции поддерживают высокое давление в недрах звезды, препятствуя ее сжатию под действием собственной гравитации. Однако со временем ядерное топливо истощается и звезда начинает сжиматься.

Наиболее быстро сжимается ядро звезды, при этом оно сильно разогревается (его гравитационная энергия переходит в тепло) и нагревает окружающую его оболочку. В итоге звезда теряет свои наружные слои в виде медленно расширяющейся планетарной туманности или катастрофически сброшенной оболочки сверхновой. А судьба сжимающегося ядра зависит от его массы. Расчеты показывают, что если масса ядра звезды не превосходит трех масс Солнца, то она "выигрывает битву с гравитацией": его сжатие будет остановлено давлением вырожденного вещества, и звезда превратится в белый карлик или нейтронную звезду. Но если масса ядра звезды более трех солнечных, то уже ничто не сможет остановить его катастрофический коллапс, и оно быстро уйдет под горизонт событий, став черной дырой. Как следует из формулы для rg, черная дыра с массой 3 солнечных имеет гравитационный радиус 8,8 км.

Астрономические наблюдения хорошо согласуются с этими расчетами: все компоненты двойных звездных систем, проявляющие свойства черных дыр (в 2005 их известно около 20), имеют массы от 4 до 16 масс Солнца. Теория звездной эволюции указывает, что за 12 млрд. лет существования нашей Галактики, содержащей порядка 100 млрд. звезд, в результате коллапса наиболее массивных из них должно было образоваться несколько десятков миллионов черных дыр. К тому же, черные дыры очень большой массы (от миллионов до миллиардов масс Солнца)могут находиться в ядрах крупных галактик, в том числе, и нашей. Об этом свидетельствуют астрономические наблюдения, хотя пути формирования этих гигантских черных дыр не вполне ясны.

Если в нашу эпоху высокая плотность вещества, необходимая для рождения черной дыры, может возникнуть лишь в сжимающихся ядрах массивных звезд, то в далеком прошлом, 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. "Первичные черные дыры" с массой более 1012 кг могли сохраниться до наших дней. Самые мелкие из них, массой 1012 кг (как у небольшого астероида), должны иметь размер порядка 10–15 м (как у протона или нейтрона).

Наконец, существует гипотетическая возможность рождения микроскопических черных дыр при взаимных соударениях быстрых элементарных частиц. Таков один из прогнозов теории струн – одной из конкурирующих сейчас физических теорий строения материи. Теория струн предсказывает, что пространство имеет более трех измерений. Гравитация, в отличие от прочих сил, должна распространяться по всем этим измерениям и поэтому существенно усиливаться на коротких расстояниях. При мощном столкновении двух частиц (например, протонов) они могут сжаться достаточно сильно, чтобы родилась микроскопическая черная дыра. После этого она почти мгновенно разрушится ("испарится"), но наблюдение за этим процессом представляет для физики большой интерес, поскольку, испаряясь, дыра будет испускать все существующие в природе виды частиц. Если гипотеза теории струн верна, то рождение таких черных дыр может происходить при столкновениях энергичных частиц космических лучей с атомами земной атмосферы, а также в наиболее мощных ускорителях элементарных частиц.

## Свойства черных дыр

Вблизи черной дыры напряженность гравитационного поля так велика, что физические процессы там можно описывать только с помощью релятивистской теории тяготения. Согласно ОТО, пространство и время искривляются гравитационным полем массивных тел, причем наибольшее искривление происходит вблизи черных дыр. Когда физики говорят об интервалах времени и пространства, они имеют в виду числа, считанные с каких-либо физических часов и линеек. Например, роль часов может играть молекула с определенной частотой колебаний, количество которых между двумя событиями можно называть "интервалом времени".

Важно, что гравитация действует на все физические системы одинаково: все часы показывают, что время замедляется, а все линейки, что пространство растягивается вблизи черной дыры. Это означает, что черная дыра искривляет вокруг себя геометрию пространства и времени. Вдали от черной дыры это искривление мало, а вблизи так велико, что лучи света могут двигаться вокруг нее по окружности. Вдали от черной дыры ее поле тяготения в точности описывается теорией Ньютона для тела такой же массы, но вблизи гравитация становится значительно сильнее, чем предсказывает ньютонова теория.

Если бы можно было наблюдать в телескоп за звездой в момент ее превращения в черную дыру, то сначала было бы видно, как звезда все быстрее и быстрее сжимается, но по мере приближения ее поверхности к гравитационному радиусу сжатие начнет замедляться, пока не остановится совсем. При этом приходящий от звезды свет будет слабеть и краснеть пока окончательно не потухнет. Это происходит потому, что, преодолевая силу тяжести, фотоны теряют энергию и им требуется все больше времени, чтобы дойти до нас. Когда поверхность звезды достигнет гравитационного радиуса, покинувшему ее свету потребуется бесконечное время, чтобы достичь любого наблюдателя, даже расположенного сравнительно близко к звезде (и при этом фотоны полностью потеряют свою энергию). Следовательно, мы никогда не дождемся этого момента и, тем более, не увидим того, что происходит со звездой под горизонтом событий, но теоретически этот процесс исследовать можно.

Расчет идеализированного сферического коллапса показывает, что за короткое время вещество под горизонтом событий сжимается в точку, где достигаются бесконечно большие значения плотности и тяготения. Такую точку называют "сингулярностью". Более того, математический анализ показывает, что если возник горизонт событий, то даже несферический коллапс приводит к сингулярности. Однако, все это верно лишь в том случае, если общая теория относительности применима вплоть до очень малых пространственных масштабов, в чем пока нет уверенности. В микромире действуют квантовые законы, а квантовая теория гравитации еще не создана. Ясно, что квантовые эффекты не могут остановить сжатие звезды в черную дыру, а вот предотвратить появление сингулярности они могли бы.

Изучая фундаментальные свойства материи и пространства-времени, физики считают исследование черных дыр одним из важнейших направлений, поскольку вблизи черных дыр проявляются скрытые свойства гравитации. Для поведения вещества и излучения в слабых гравитационных полях различные теории тяготения дают почти неразличимые прогнозы, однако в сильных полях, характерных для черных дыр, предсказания различных теорий существенно расходятся, что дает ключ к выявлению лучшей среди них. В рамках наиболее популярной сейчас теории гравитации – ОТО Эйнштейна – свойства черных дыр изучены весьма подробно. Вот некоторые важнейшие из них:

1) Вблизи черной дыры время течет медленнее, чем вдали от нее. Если удаленный наблюдатель бросит в сторону черной дыры зажженный фонарь, то увидит, как фонарь будет падать все быстрее и быстрее, но затем, приближаясь к поверхности Шварцшильда, начнет замедляться, а его свет будет тускнеть и краснеть (поскольку замедлится темп колебания всех его атомов и молекул). С точки зрения далекого наблюдателя фонарь практически остановится и станет невидим, так и не сумев пересечь поверхность черной дыры. Но если бы наблюдатель сам прыгнул туда вместе с фонарем, то он за короткое время пересек бы поверхность Шварцшильда и упал к центру черной дыры, будучи при этом разорван ее мощными приливными гравитационными силами, возникающими из-за разницы притяжения на разных расстояниях от центра.

2) Каким бы сложным ни было исходное тело, после его сжатия в черную дыру внешний наблюдатель может определить только три его параметра: полную массу, момент импульса (связанный с вращением) и электрический заряд. Все остальные особенности тела (форма, распределение плотности, химический состав и т.д.)в ходе коллапса "стираются". То, что для стороннего наблюдателя структура черной дыры выглядит чрезвычайно простой, Джон Уилер выразил шутливым утверждением: "Черная дыра не имеет волос".

В процессе коллапса звезды в черную дыру за малую долю секунды (по часам удаленного наблюдателя) все ее внешние особенности, связанные с исходной неоднородностью, излучаются в виде гравитационных и электромагнитных волн. Образовавшаяся стационарная черная дыра "забывает" всю информацию об исходной звезде, кроме трех величин: полной массы, момента импульса (связанного с вращением) и электрического заряда. Изучая черную дыру, уже невозможно узнать, состояла ли исходная звезда из вещества или антивещества, была ли она вытянутой или сплюснутой и т.п. В реальных астрофизических условиях заряженная черная дыра будет притягивать к себе из межзвездной среды частицы противоположного знака, и ее заряд быстро станет нулевым. Оставшийся стационарный объект либо будет невращающейся "шварцшильдовой черной дырой", которая характеризуется только массой, либо вращающейся "керровской черной дырой", которая характеризуется массой и моментом импульса.

3) Если исходное тело вращалось, то вокруг черной дыры сохраняется "вихревое" гравитационное поле, увлекающее все соседние тела во вращательное движение вокруг нее. Поле тяготения вращающейся черной дыры называют полем Керра (математик Рой Керр в 1963 нашел решение соответствующих уравнений). Этот эффект характерен не только для черной дыры, но для любого вращающегося тела, даже для Земли. По этой причине размещенный на искусственном спутнике Земли свободно вращающийся гироскоп испытывает медленную прецессию относительно далеких звезд. Вблизи Земли этот эффект едва заметен, но вблизи черной дыры он выражен гораздо сильнее: по скорости прецессии гироскопа можно измерить момент импульса черной дыры, хотя сама она не видна.

Чем ближе мы подходим к горизонту черной дыры, тем сильнее становится эффект увлечения "вихревым полем". Прежде чем достичь горизонта, мы окажемся на поверхности, где увлечение становится настолько сильным, что ни один наблюдатель не может оставаться неподвижным (т. е. быть "статическим") относительно далеких звезд. На этой поверхности (называемой пределом статичности) и внутри нее все объекты должны двигаться по орбите вокруг черной дыры в том же направлении, в котором вращается сама дыра. Независимо от того, какую мощность развивают его реактивные двигатели, наблюдатель внутри предела статичности никогда не сможет остановить свое вращательное движение относительно далеких звезд.

Предел статичности всюду 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.

4) 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".

5) Кроме этого С.Хоукинг открыл возможность очень медленного самопроизвольного квантового "испарения" черных дыр. В 1974 он доказал, что черные дыры (не только вращающиеся, но любые) 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. Например, черная дыра с массой 1012 кг должна вести себя как тело с температурой 1011 К, излучающее очень жесткие гамма-кванты и частицы. Идея об "испарении" черных дыр полностью противоречит классическому представлению о них как о телах, не способных излучать.

## Поиски черных дыр

Расчеты в рамках ОТО указывают лишь на возможность существования черных дыр, но отнюдь не доказывают их наличия в реальном мире, открытие черной дыры стало бы важным шагом в развитии физики. Поиск изолированных черных дыр в космосе невероятно труден: требуется заметить маленький темный объект на фоне космической черноты. Но есть надежда обнаружить черную дыру по ее взаимодействию с окружающими астрономическими телами, по ее характерному влиянию на них.

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, удается 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.

Особенно перспективной считают рентгеновскую двойную звезду V404 Лебедя, масса невидимого компонента которой оценивается не менее, чем в 6 масс Солнца. Другие кандидаты в черные дыры находятся в двойных системах Лебедь X-1, LMC X-3, V616 Единорога, QZ Лисички, а также в рентгеновских новых Змееносец 1977, Муха 1981 и Скорпион 1994. Почти все они расположены в пределах нашей Галактики, а система LMC X-3 – в близкой к нам галактике Большое Магелланово Облако.

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 не умозрительная теория, а процессы, реально наблюдаемые в ядрах некоторых галактик и указывающие на присутствие в них черных дыр с массами до нескольких миллиардов масс Солнца. В последнее время получены весьма убедительные доказательства того, что и в центре нашей Галактики есть черная дыра с массой около 2,5 млн масс Солнца.

Вполне вероятно, что самые мощные процессы энерговыделения во Вселенной происходят с участием черных дыр. Именно их считают источником активности в ядрах квазаров – молодых массивных галактик. Именно их рождение, как полагают астрофизики, знаменуется самыми мощными взрывами во Вселенной, проявляющимися как гамма-всплески.

## Термодинамика и испарение чёрных дыр

Представления о чёрной дыре как об абсолютно поглощающем объекте были скорректированы С.Хокингом в 1975 году. Изучая поведение квантовых полей вблизи чёрной дыры, он предсказал, что чёрная дыра обязательно излучает частицы во внешнее пространство и тем самым теряет массу. Этот эффект называется излучением (испарением) Хокинга. Упрощённо говоря, гравитационное поле поляризует вакуум, в результате чего возможно образование не только виртуальных, но и реальных пар частица-античастица. Одна из частиц, оказавшаяся чуть ниже горизонта событий, падает внутрь чёрной дыры, а другая, оказавшаяся чуть выше горизонта, улетает, унося энергию (то есть часть массы) чёрной дыры. Мощность излучения чёрной дыры равна

.



Состав излучения зависит от размера чёрной дыры: для больших чёрных дыр это в основном фотоны и нейтрино, а в спектре лёгких чёрных дыр начинают присутствовать и тяжёлые частицы. Спектр хокинговского излучения для безмассовых полей оказался строго совпадающим с излучением абсолютно чёрного тела, что позволило приписать чёрной дыре температуру

,



где — редуцированная постоянная Планка, c — скорость света, k — постоянная Больцмана, G — гравитационная постоянная, M — масса чёрной дыры.



На этой основе была построена термодинамика чёрных дыр, в том числе введено ключевое понятие энтропии чёрной дыры, которая оказалась пропорциональна площади её горизонта событий:

,



где A — площадь горизонта событий.

Скорость испарения чёрной дыры тем больше, чем меньше её размеры. Испарением чёрных дыр звёздных (и тем более галактических) масштабов можно пренебречь, однако для первичных и в особенности для квантовых чёрных дыр процессы испарения становятся центральными.

За счёт испарения все чёрные дыры теряют массу и время их жизни оказывается конечным:

.



При этом интенсивность испарения нарастает лавинообразно, и заключительный этап эволюции носит характер взрыва, например, чёрная дыра массой 1000 тонн испарится за время порядка 84 секунды, выделив энергию, равную взрыву примерно десяти миллионов атомных бомб средней мощности.

В то же время, большие чёрные дыры, температура которых ниже температуры реликтового излучения Вселенной (2,7К), на современном этапе развития Вселенной могут только расти, так как испускаемое ими излучение имеет меньшую энергию, чем поглощаемое. Данный процесс продлится до тех пор, пока фотонный газ реликтового излучения не остынет в результате расширения Вселенной.

Без квантовой теории гравитации невозможно описать заключительный этап испарения, когда чёрные дыры становятся микроскопическими (квантовыми). Согласно некоторым теориям, после испарения должен оставаться "огарок" — минимальная планковская чёрная дыра.

## Падение в чёрную дыру

Представим себе, как должно выглядеть падение в шварцшильдовскую чёрную дыру. Тело, свободно падающее под действием сил гравитации, находится в состоянии невесомости. Падающее тело будет испытывать действие приливных сил, растягивающих тело в радиальном направлении и сжимающих — в тангенциальном. Величина этих сил растёт и стремится к бесконечности при . В некоторый момент собственного времени тело пересечёт горизонт событий. С точки зрения наблюдателя, падающего вместе с телом, этот момент ничем не выделен, однако возврата теперь нет. Тело оказывается в горловине (её радиус в точке, где находится тело и есть ), сжимающейся столь быстро, что улететь из неё до момента окончательного схлопывания (это и есть сингулярность) уже нельзя, даже двигаясь со скоростью света.



Рассмотрим теперь процесс падения тела в чёрную дыру с точки зрения удалённого наблюдателя. Пусть, например, тело будет светящимся и, кроме того, будет посылать сигналы назад с определённой частотой. Вначале удалённый наблюдатель будет видеть, что тело, находясь в процессе свободного падения, постепенно разгоняется под действием сил тяжести по направлению к центру. Цвет тела не изменяется, частота детектируемых сигналов практически постоянна. Однако, когда тело начнёт приближаться к горизонту событий, фотоны, идущие от тела, будут испытывать всё большее и большее гравитационное красное смещение. Кроме того, из-за гравитационного поля все физические процессы с точки зрения удалённого наблюдателя будут идти всё медленнее и медленнее гравитационного замедления времени): часы, закреплённые на радиальной координате r без вращения (), будут идти медленнее бесконечно удалённых в раз. Будет казаться, что тело — в чрезвычайно сплющенном виде — будет замедляться, приближаясь к горизонту событий и, в конце концов, практически остановится. Частота сигнала будет резко падать. Длина волны испускаемого телом света будет стремительно расти, так что свет быстро превратится в радиоволны и далее в низкочастотные электромагнитные колебания, зафиксировать которые уже будет невозможно. Пересечения телом горизонта событий наблюдатель не увидит никогда и в этом смысле падение в чёрную дыру будет длиться бесконечно долго. Есть, однако, момент, начиная с которого повлиять на падающее тело удалённый наблюдатель уже не сможет. Луч света, посланный вслед этому телу, его либо вообще никогда не догонит, либо догонит уже за горизонтом. Кроме того, расстояние между телом и горизонтом событий, а также "толщина" сплющенного (с точки зрения стороннего наблюдателя) тела довольно быстро достигнут планковской длины и (с математической точки зрения) будут уменьшаться и далее. Для реального физического наблюдателя (ведущего измерения с планковской погрешностью) это равносильно тому, что масса чёрной дыры увеличится на массу падающего тела, а значит радиус горизонта событий возрастёт и падающее тело окажется "внутри" горизонта событий за конечное время.



Аналогично будет выглядеть для удалённого наблюдателя и процесс гравитационного коллапса. Вначале вещество ринется к центру, но вблизи горизонта событий оно станет резко замедляться, его излучение уйдёт в радиодиапазон, и в результате удалённый наблюдатель увидит, что звезда погасла.

## Виды черных дыр

А) 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 A\*.

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

Американские астрономы установили, что массы сверхмассивных чёрных дыр могут быть значительно недооценены. Исследователи установили, что для того, чтобы звёзды двигались в галактике М87 (которая расположена на расстоянии 50 миллионов световых лет от Земли) так, как это наблюдается сейчас, масса центральной чёрной дыры должна быть как минимум 6,4 миллиарда солнечных масс, то есть в два раза больше нынешних оценок ядра М87, которые составляют 3 млрд солнечных масс.

Б) 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.

В)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 соображенийвесьма вероятно, что спектр масс чёрных дыр дискретен и существует минимальная чёрная дыра — планковская чёрная дыра. Её масса порядка 10−5 г, радиус — 10−35 м. Комптоновская длина волны планковской чёрной дыры по порядку величины равна её гравитационному радиусу.

## Заключение

Таким образом, все "элементарные объекты" можно разделить на элементарные частицы (их длина волны больше их гравитационного радиуса) и чёрные дыры (длина волны меньше гравитационного радиуса). 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.

В последнее время предложены эксперименты с целью обнаружения свидетельств появления чёрных дыр в ядерных реакциях. Однако для непосредственного синтеза чёрной дыры в ускорителе необходима недостижимая на сегодня энергия 1026 эВ. По-видимому, в реакциях сверхвысоких энергий могут возникать виртуальные промежуточные чёрные дыры.

## Список литературы

1. Карпенков С.Х. Концепции современного естествознания, М, Высш. школа 2003г.
2. http://nrc.edu.ru/est/pos/24.html
3. http://www.krugosvet.ru/enc/nauka\_i\_tehnika/astronomiya/CHERNAYA\_DIRA.html
4. http://ru.wikipedia.org/