

Научно-исследовательская работа

по физике

НАЗВАНИЕ РАБОТЫ

«Черные дыры и молодые вселенные»

Выполнил ученик

Кудряшов Матвей

учащийся 11-2 класса

МОУ «Тверской лицей» Россия, г. Тверь

Крючина Наталья Марковна

научный руководитель, МОУ «Тверской лицей» Россия, г. Тверь

Оглавление

| | |
|-------------------------------------|----|
| Введение..... | 2 |
| Гипотеза | 2 |
| Цель работы: | 2 |
| История | 3 |
| Возникновение чёрной дыры..... | 4 |
| Квантовое излучение чёрных дыр..... | 7 |
| Термодинамика чёрных дыр. | 8 |
| Список литературы | 10 |
| Приложение..... | 12 |
| Приложение 1..... | 12 |
| Приложение 2 | 13 |
| Приложение 3 | 14 |
| Приложение 4..... | 14 |
| Приложение 5..... | 15 |
| Приложение 6 | 15 |
| Приложение 7 | 16 |
| Приложение 8..... | 16 |
| Приложение 9..... | 17 |
| Приложение 10..... | 17 |
| Приложение 11 | 18 |
| Приложение 12..... | 18 |
| Приложение 13..... | 19 |
| Приложение 14..... | 19 |
| Приложение 15..... | 20 |
| Приложение 16..... | 20 |

ЧЁРНЫЕ ДЫРЫ

Введение

Изучая объекты космического пространства, нужно прежде всего дать понятие того, что такое космос. Космос - это то, что находится за пределами земной атмосферы, составляющая пространства и времени, которую можно посчитать, но невероятно трудно осознать из-за огромных размеров. В космосе находится огромное количество разных объектов, как видимых, так и невидимых. К видимым относятся звёзды, созвездия, отражающие световое излучение планеты и спутники, квазары и т.п. Невидимыми являются планеты-одиночки, потухшие звёзды, тёмная материя, тёмная энергия и чёрные дыры. Чёрные дыры – объекты совершенно фантастические по своим свойствам. Это область космоса, гравитационное притяжение которой настолько велико, что даже свет не может покинуть её область (приложение 1).

Гипотеза

Млечный путь – «червоточина», путь через чёрную дыру, портал в иные измерения.

Цель работы:

Исследовать научные версии происхождения и функционирования чёрных дыр и их возможное влияние на космос и на нашу галактику, Солнечную систему.

Задачи:

1. Показать историю открытия «чёрных дыр»
2. Изучить различные способы возникновения «чёрной дыры»
3. Рассказать о разновидностях «чёрных дыр»
4. Показать эволюцию «чёрных дыр»

История

История открытия чёрных дыр начинается в 1783 с Джона Мичелла (приложение 2). На основе корпускулярной теории света и ньютоновской теории гравитации Мичелл сделал вывод, что существуют настолько массивные и компактные звёзды, которые должны иметь гравитационное поле такой силы, что свет не сможет покинуть его пределы. Предположение было достаточно простым: раз свет - это частица, то на него так же, как и на другие дела, действует гравитация. Поэтому, чем массивнее звезда или планета, то тем больше гравитация. Через 13 лет это же предположение (возможно) независимо от Мичелла сделал французский математик и астроном П. С. Лаплас (приложение 3). Через математические вычисления Лаплас пришёл к выводу, что тело с плотностью, равной Земной, должно иметь радиус, равный 250 солнечных. После этих учёных, исследования в области чёрных дыр прекратились более чем на 100 лет. Одной из причин прекращения исследований можно считать более перспективную и жизнеспособную волновую теорию света, когда Мичелл и Лаплас основывались на корпускулярной теории. После открытия квантов корпускулярная теория была «реабилитирована». О чёрных дырах вспомнили через некоторое время после «реабилитации». После выпуска в свет ОТО, немецкий физик К. Шварцшильд (приложение 4) заново «переоткрыл» чёрные дыры, но на более глубоком уровне. В 30-х годах двадцатого столетия молодой индийский учёный Субраманьян Чандрасекар (приложение 5), изучая жизненный цикл звёзд, пришёл к выводу, что звезда не всегда в конце жизненного цикла станет белым карликом. Всё зависело от её массы. В 1932 году советский физик Лев Ландау (приложение 6) предположил, что сверхмассивная звезда сжимается в точку с бесконечно малым радиусом и бесконечной массой. Им же было выдвинуто предположение, что такая точка будет искажать пространство и время. В 1939 году два учёных-физика Роберт Оппенгеймер и Хартленд Снейдер (приложение 7) подробно описали массивную звезду во время коллапса и последующее образование чёрной дыры. В шестидесятых годах Мартин

Шмидт (приложение 8) нашёл на небе объекты, находящиеся на расстоянии в пару миллиардов световых лет от земли и такие же яркие, как звёзды, на расстоянии около ста световых лет. Он пришёл к выводу, что такое яркое свечение может быть вызвано только при поглощении окружающей материи при помощи гравитации. Так были открыты квазары (приложение 9) – маяки вселенной, ядрами которых являются чёрные дыры. В процессе поглощения частицы разгоняются до околосветовых скоростей и начинают светиться. Одним из основных популяризаторов науки в этой области является Стивен Хокинг (приложение 10). Им было написано несколько книг по чёрным дырам и образованию вселенной, в которых он научно-популярно рассказывает о работе своей жизни. Стивеном Хокингом было открыто «испарение» чёрных дыр, речь о котором пойдёт дальше. Первой подтверждённой чёрной дырой был объект, находящийся в системе Лебедь-X1 (приложение 11).

Возникновение чёрной дыры

Различают четыре случая возникновения чёрной дыры: два реальных – коллапс звезды или центра галактики; и два гипотетических – возникновения при Большом взрыве и на больших скоростях в ядерных реакциях.

Чтобы достигнуть гравитации, удерживающей даже свет, тело должно иметь огромную массу в сравнительно малых размерах. Поэтому один из основных способов возникновения чёрной дыры это коллапс – сильное сжатие какой-либо массы. Для сравнения: чтобы наша всеми любимая Земля стала чёрной дырой, всю её массу нужно сжать до сферы радиусом меньше сантиметра. Для Солнца этот радиус немного больше – около 3 км. Предельный радиус тела для образования чёрной дыры называется гравитационным радиусом или радиусом Шварцшильда по фамилии немецкого учёного Карла Шварцшильда, решившего первое из уравнений Эйнштейна в начале двадцатого века. Для каждого тела существует свой гравитационный радиус и теоретически любое тело может стать чёрной дырой. Идеальным кандидатом на роль будущей чёрной дыры является звезда (приложение 12). Пока в недрах звезды

происходят термоядерные реакции, они поддерживают высокую температуру и давление, препятствуя сжатию звезды под действием собственной гравитации. Однако со временем ядерное топливо истощается, и звезда начинает сжиматься. Расчеты показывают, что если масса звезды не превосходит трех масс Солнца, то она выиграет «битву с гравитацией»: ее гравитационный коллапс остановлен давлением «вырожденного» вещества, и звезда навсегда превратится в белый карлик (приложение 13) или нейтронную звезду (приложение 14). Но если масса звезды более трех солнечных, то уже ничто не сможет остановить ее катастрофического коллапса, и она быстро уйдет под горизонт событий, став черной дырой. В ходе сжатия сила тяжести многократно возрастает и достигает того момента, когда вторая космическая скорость становится выше скорости света. Звезда исчезает для видимого наблюдения, возникает чёрная дыра. Наше Солнце в конце жизни станет белым карликом, так как не превышает предел Чандрасекара верхнюю границу массы образования белого карлика, равную 1.44 от массы Солнца.

При этом может образоваться вращающаяся чёрная дыра. При вращении массивного тела пространство начинает увлекаться во вращательное движение. Если какой-то объект попадает в гравитационное поле вращающегося тела, то его угловая скорость будет увеличиваться по мере приближения к вращающемуся массивному телу. Такое вращение легко обнаруживается с помощью гироскопа. у обычных космических тел вращение ничтожно мало (у Земли, например, годовая скорость гироскопа будет примерно равна $0,1''$), а, например, у пульсаров гироскоп будет вращаться со скоростью, чуть меньшей скорости вращения вокруг своей оси нейтронной звезды (несколько десятков оборотов в секунду). Учёные выяснили, что при коллапсе вращающегося тела будет сохраняться вихревая компонента поля, которая определяется моментом импульса. Момент импульса – третий коэффициент, от которого зависят свойства чёрной дыры.

Но при этом возникает интересный момент. При вращении чёрной дыры увеличивается расстояние действия гравитационного поля, всё в него

попавшее увлекается во вращательное движение. Однако, это не означает увеличение горизонта событий, появляется так называемая эргосфера, в которой уже никакая сила не может удержать тело в покое. Однако, эргосфера не является гравитационным радиусом, поэтому тело может её покинуть. В эргосфере тело может свободно передвигаться, увеличивая или уменьшая угловую скорость, но покоя в эргосфере не достигнуть.

Самым полным решением чёрной дыры является решение Керра-Ньюмена. Оно описывает существование вращающейся чёрной дыры с зарядом.

$$ds^2 = - \left(1 - \frac{2Mr - Q^2}{\Sigma} \right) dt^2 - 2(2Mr - Q^2)a \frac{\sin^2 \theta}{\Sigma} dt d\varphi + \\ + \left(r^2 + a^2 + \frac{(2Mr - Q^2)a^2 \sin^2 \theta}{\Sigma} \right) \sin^2 \theta d\varphi^2 + \frac{\Sigma}{\Delta} dr^2 + \Sigma d\theta^2,$$

где $\Sigma \equiv r^2 + a^2 \cos^2 \theta$; $\Delta \equiv r^2 - 2Mr + a^2 + Q^2$ и $a \equiv J/M$, где J — момент импульса.

Граница гравитационного радиуса определяется определёнными параметрами, которые не могут превышать определённых границ:

$$r = M + \sqrt{M^2 - Q^2 - a^2}$$

Отсюда следует:

$$Q^2 + a^2 \ll M^2$$

В противном случае будет появляться голая сингулярность, что, по принципу космической цензуры, не возможен. Метрику Керра — Ньюмена можно аналитически продолжить также через горизонт таким образом, чтобы соединить в чёрной дыре бесконечно много «независимых» пространств. Это могут быть как «другие» вселенные, так и удалённые части нашей Вселенной. В таком образом полученных пространствах есть замкнутые времениподобные кривые: путешественник может, в принципе, попасть в своё прошлое, то есть встретиться с самим собой. Вокруг горизонта событий вращающейся заряженной чёрной дыры также существует область, называемая эргосферой, практически эквивалентная эргосфере из решения

Керра; находящийся там стационарный наблюдатель обязан вращаться с положительной угловой скоростью (в сторону вращения чёрной дыры).

С коллапсом центра галактики дело обстоит примерно также, если провести аналогию со звездой: на центр (ядро) галактики происходит сжатие вещества, вращающегося вокруг этого центра. Как результат, возникает сверхмассивная чёрная дыра.

Одна из версий возникновения чёрных дыр – образование через некоторое время после Большого Взрыва. Тогда вся вселенная представляла собой равномерно распределённое вещество большой плотности и температуры с небольшими шероховатостями. Именно эти шероховатости из-за колебаний, сильно влияющих на материю эпохи Планка, впоследствии сколлапсировали в чёрные дыры. При этом могли получиться достаточно маленькие дыры, массой в диапазоне от 10^{14} до 10^{23} кг. Это средняя масса астероида. Такие чёрные дыры называются первичными.

После постройки Большого Адронного Коллайдера (приложение 15) начали ходить слухи, что чёрная дыра может образоваться при разгоне частиц. Теоретически, есть такая вероятность, что при столкновении на больших скоростях возникает чёрная дыра, но даже если она и возникнет, то не просуществует и миллионной доли секунды.

Квантовое излучение чёрных дыр

В классической физике есть утверждение, что конечное состояние чёрной дыры стационарно. Квантовая физика говорит нам обратное. Чёрная дыра постоянно должна терять свою энергию. В 1975 г. С. Хокинг, решая чисто динамическую задачу, пришёл к выводу, что чёрная дыра обязана излучать частицы. Но излучение идёт не из самой чёрной дыры. Частицы образуются перед горизонтом событий. Гравитация чёрной дыры настолько велика, что работа, производимая над телом соизмерима с энергией покоя, что делает вакуум неустойчивым. В нём всегда присутствуют виртуальные частицы, которые в обычных условиях мгновенно аннигилируют. Примером таких

частиц являются частицы гравитации Солнца. Гравитационное поле чёрной дыры настолько велико, что виртуальные частицы превращаются в реальные. Энергия не может взяться из ничего, поэтому рождаются пары: одна частица имеет положительную энергию, другая – отрицательную. При этом один партнёр падает в пространство чёрной дыры, другой может также упасть в чёрную дыру, либо выйти из пространства перед чёрной дырой. Удалённому наблюдателю будет казаться, что частица вылетела из чёрной дыры. Эти частицы, выходящие из пространства перед чёрной дырой в качестве излучения, названы именем их открывателя и носят имя «излучение Хокинга». В своей работе Хокинг пришёл к неожиданному заключению: чёрная дыра ведёт себя как нагретое чёрное тело, нагретое до некоторой температуры T :

$$T = \frac{\hbar c^3}{8\pi kMG} \approx 1026/M,$$

где \hbar - постоянная Планка;

k -постоянная Больцмана;

T -температура (измеряется в градусах Кельвина);

M -масса.

Термодинамика чёрных дыр.

После открытия теплового излучения встал вопрос о согласовании чёрных дыр и классической теории тяготения. Джон Уиллер (приложение 16) одним из первых обратил внимание на то, что существование чёрных дыр противоречит второму закону термодинамики, который гласит, что полная энтропия физической системы, величина хаотичности, либо увеличивается со временем, либо остаётся неизменной. Нарушение происходило в масштабах всей вселенной. Горячее тело, обладающее запасом некоторой энтропии, падая в чёрную дыру, суммарно уменьшает общий запас энтропии вселенной для удалённого наблюдателя. Во время исследования этого феномена были так же возражения, что на самом деле энтропия не уменьшается, а передаётся

внутренней энтропии чёрной дыры. Это будет действительно так, но только для наблюдателя, падающего вместе с горячим телом в чёрную дыру. Нарушения второго закона термодинамики не будет только в этом случае. Для удалённого наблюдателя тело просто исчезает, передавая чёрной дыре свою энергию, массу и заряд. Всё это наводит на мысль, что, либо термодинамика запрещает существование чёрных дыр, либо есть какая-то величина, характеризующая энтропию системы. При дальнейшем исследовании и пристальном изучении основной характеристики чёрной дыры – горизонта событий – было замечено, что площадь поверхности ведёт себя похоже на свойства энтропии. При слиянии двух чёрных дыр или падении в неё материи, площадь поверхности увеличивается, причём численно суммарно больше, чем сумма площадей до слияния. При этом, когда чёрная дыра находится в покое, горизонт событий остаётся неизменным, то есть во всех случаях площадь поверхности либо возрастает, либо остаётся неизменной. Физика чёрных дыр и термодинамика во многих моментах очень тесно пересекаются. При соотношении изменения энергии чёрной дыры и изменения её поверхности получаем:

$$\Delta E = T \Delta S \quad - \text{Изменение энергии чёрной дыры}$$

$$\Delta F = 8\pi R g \Delta R g \quad \text{Изменение поверхности чёрной дыры}$$

При объединении этих формул получим:

$$\Delta E = (c^2/8\pi G) g \Delta F$$

Заключение

Чёрные дыры являются совершенно необычными по своим свойствам объектами. Несмотря на весь прогресс, достигнутый в их изучении, природа пространства и времени чёрных дыр в большой мере остаётся загадочной. Некоторые аспекты этой проблемы всё ещё выглядят как научные забавы, интересные только для специалистов. Оказывается, чёрные дыры не являются совсем «чёрными», они излучают так называемое «излучение Хокинга», что

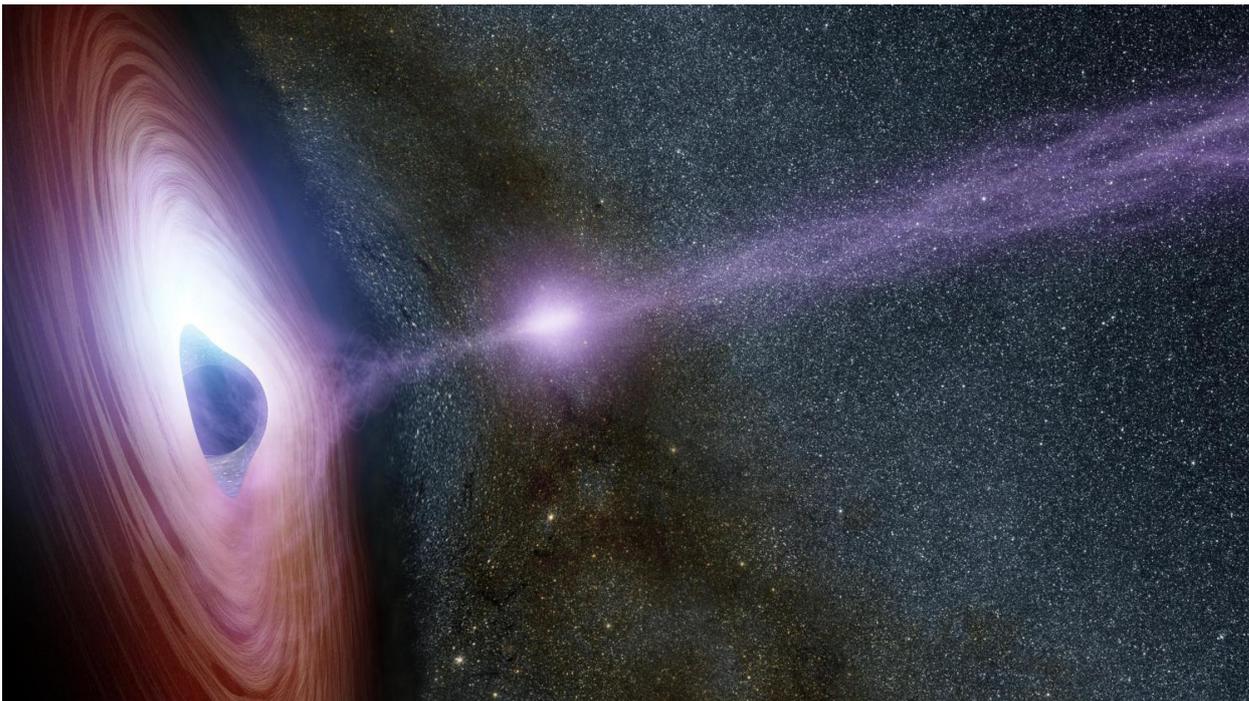
заставляет их терять энергию, а, следовательно, и массу с течением времени. Для больших черных дыр количество излучения является очень маленькой, но маленькие черные дыры могут быстро превратить свою массу в огромное количество энергии. Черные дыры, предсказанные общей теорией относительности (теорией гравитации, предложенной Эйнштейном в 1915) и другими, более современными теориями тяготения, были математически обоснованы Р. Оппенгеймером и Х. Снайдером в 1939. Но свойства пространства и времени в окрестности этих объектов оказались столь необычными, что астрономы и физики в течение 25 лет не относились к ним серьезно. Однако астрономические открытия в середине 1960-х годов заставили взглянуть на черные дыры как на возможную физическую реальность. Их открытие и изучение может принципиально изменить наши представления о пространстве и времени.

Список литературы

1. Прошлое и будущее Вселенной. Под ред. А.М. Черепашук, М., Наука, 1986г.
2. И. Новиков. Черные дыры и Вселенная. М., “Молодая гвардия”, 1985г.
3. Дж. Нарликар. От черных облаков к черным дырам. М., Энергоатомиздат, 1989г.
4. И. А. Климишин. Астрономия наших дней. М., Наука, 1986г.
5. И. Николсон. Тяготение, черные дыры и Вселенная. М., Мир ,1983г.
6. Энциклопедический словарь по физике.
7. Энциклопедический словарь юного астронома.
8. Паули В. Теория относительности. — 2-е изд. — М.: Наука, 1983
9. Черепашук А.М. Поиски черных дыр. – Успехи физических наук, 2003, т.173, № 4.
10. С. Хокинг «Краткая история времени».

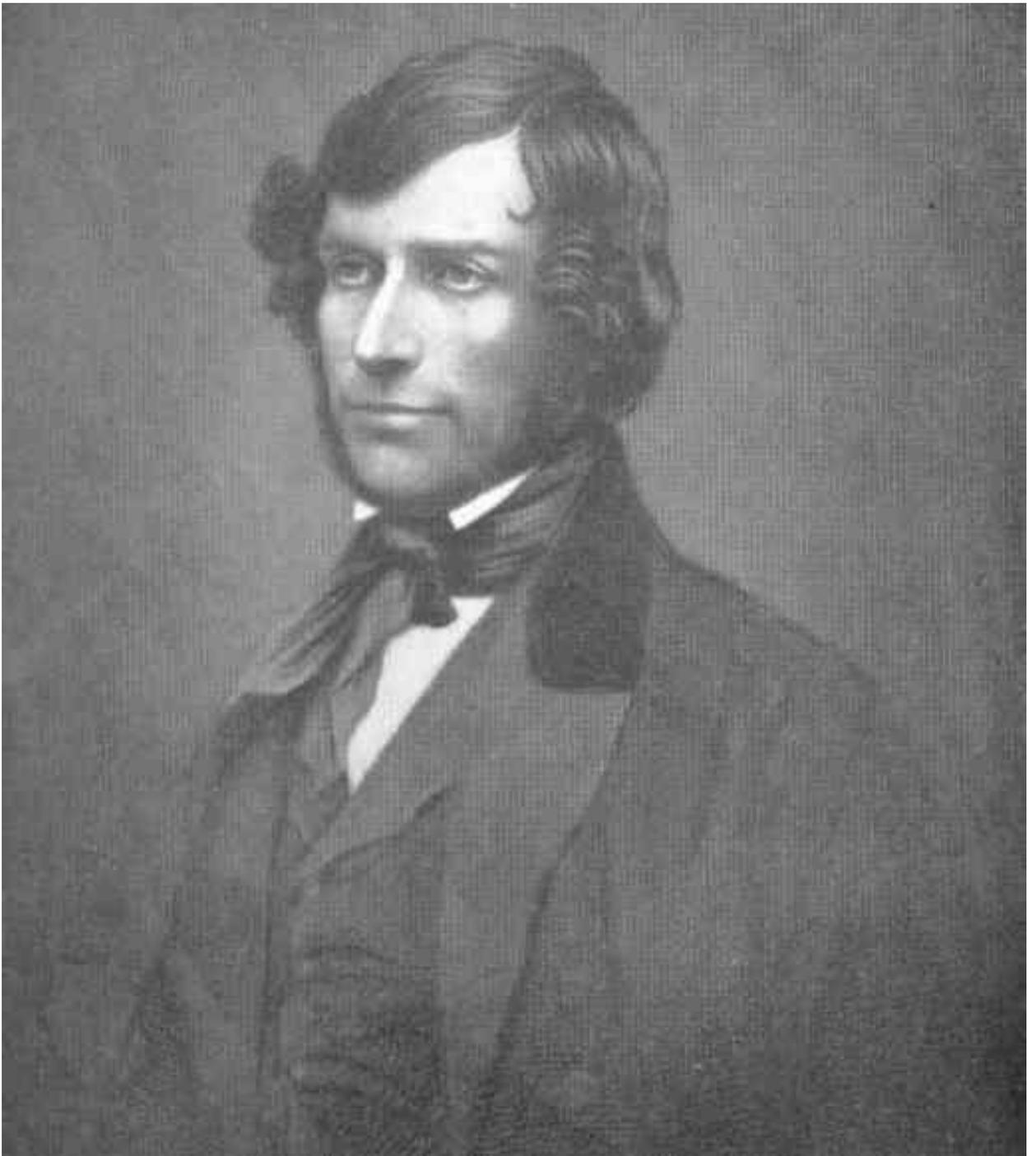
11. С. Хокинг «Чёрные дыры и молодые вселенные».

Приложение



Приложение 1

Представление о чёрной дыре



Приложение 2
Джон Мичел



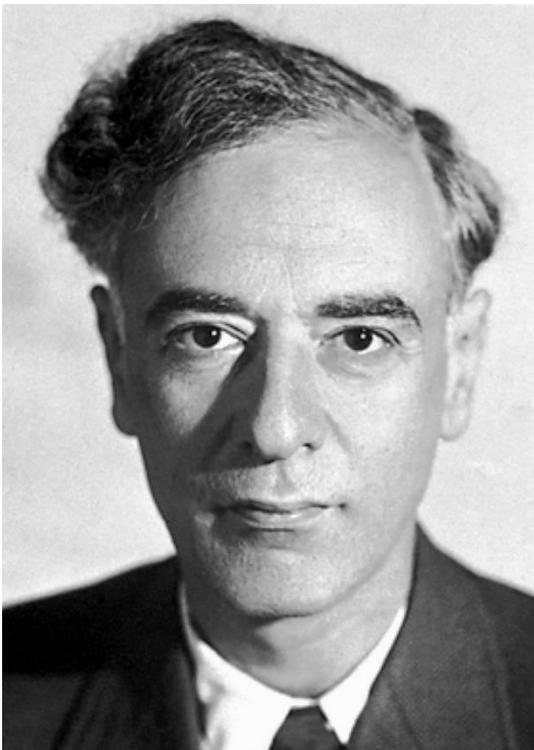
Приложение 3
Пьер Симон Лаплас



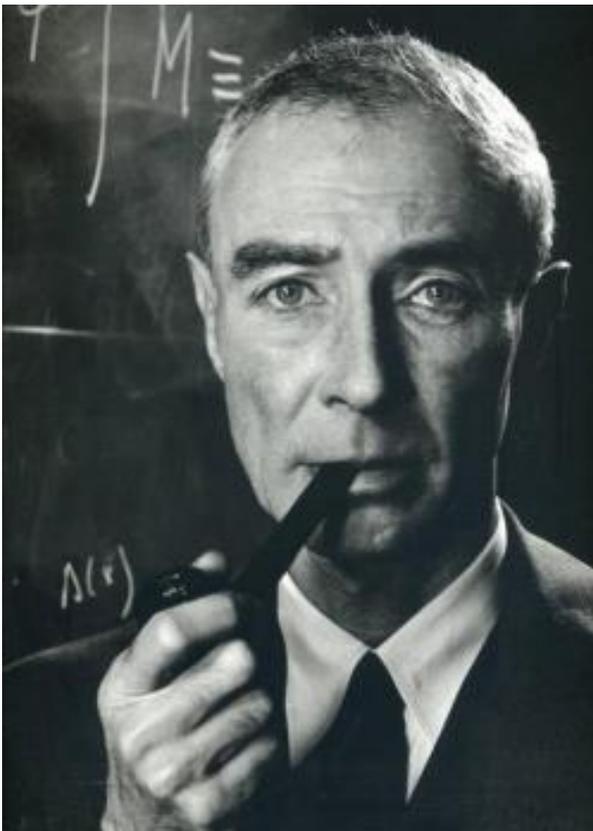
Приложение 4
Карл Шварцшильд



Приложение 5
Субраманьян Чандрасекар



Приложение 6
Лев Ландау



Приложение 7

Роберт Оппенгеймер и Хартленд Снейдер



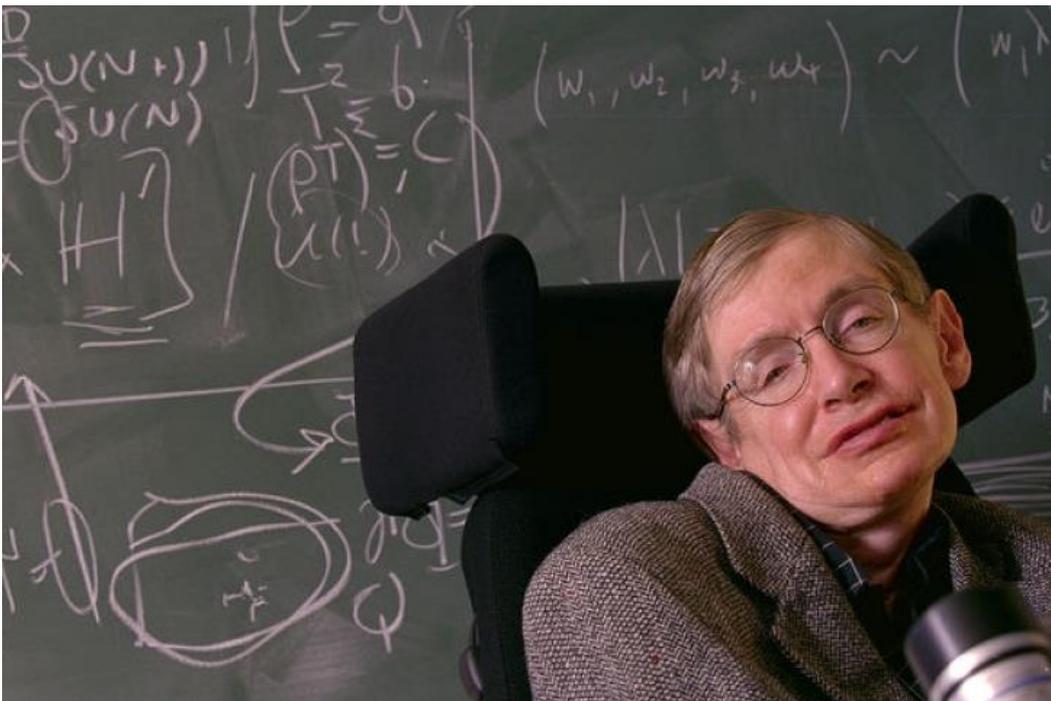
Приложение 8

Мартин Шмидт



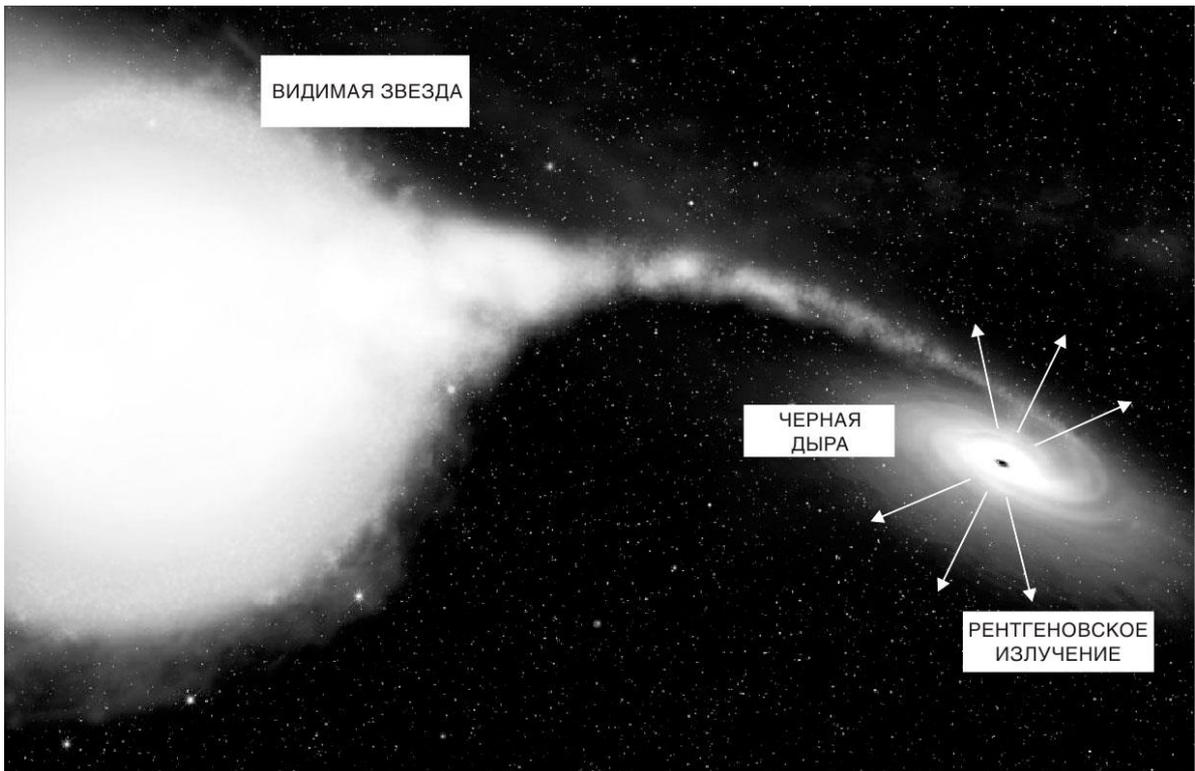
Приложение 9

Квазар



Приложение 10

Стивен Хокинг



Приложение 11

Двойная система Лебедь-X1



Приложение 12

Коллапс звезды



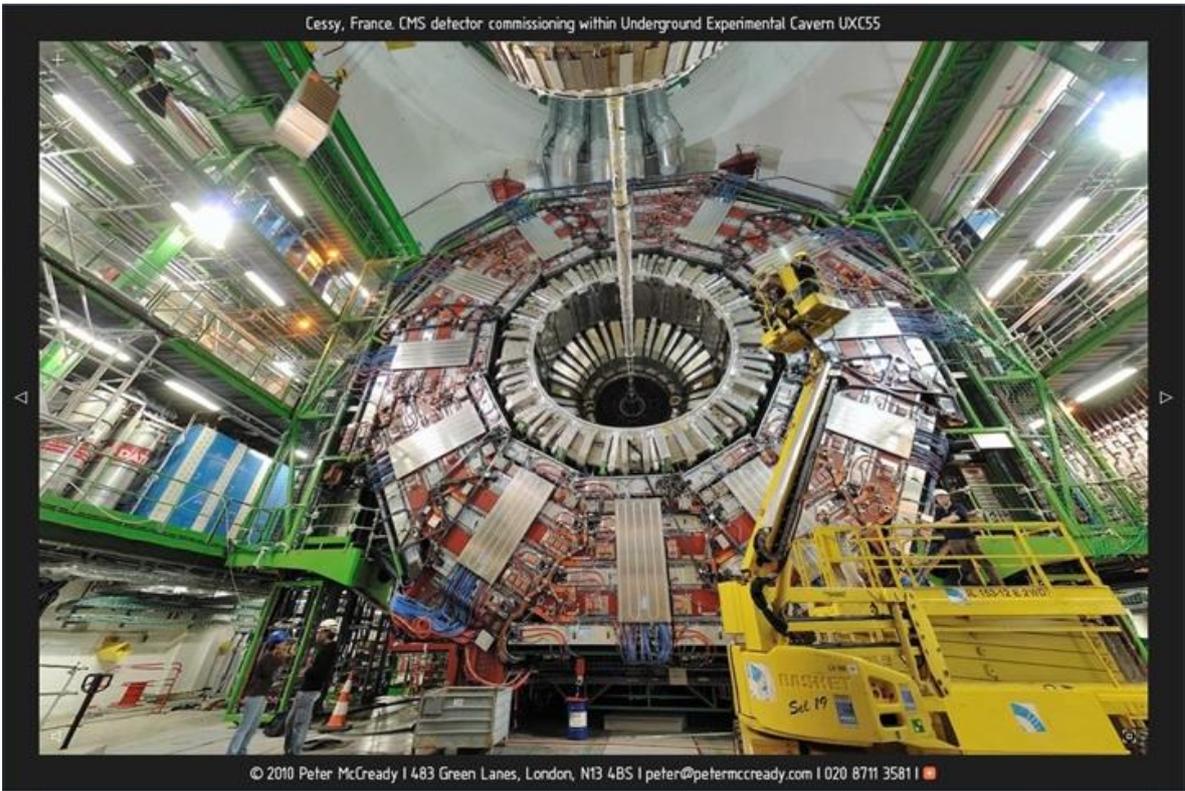
Приложение 13

Белый карлик в двойной системе Сириус



Приложение 14

Строение нейтронной звезды



Приложение 15

Большой адронный коллайдер



Приложение 16

Джон Уиллер