

УДК 530.12.531.51

ФИЗИКА ЧЕРНЫХ ДЫР

Тулеева Аружан Ержанкызы, Мухтарулы Еркебулан
aruzhantuleeva15@gmail.com

Студенты кафедры Космической техники и технологий ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан,
Казахстан

Научный руководитель – Н.Ғ.Ырыскелді

Чёрная дыра — область пространства-времени, гравитационное притяжение которой настолько велико, что покинуть её не могут даже объекты, движущиеся со скоростью света, в том числе кванты самого света. Граница этой области называется горизонтом событий. В простейшем случае сферически симметричной чёрной дыры он представляет собой сферу с радиусом Шварцшильда, который считается характерным размером чёрной дыры.

Общая теория относительности Эйнштейна была подтверждена несколько раз в последние годы. И в прошлом году это было еще раз подтверждено первым наблюдением рентгеновских лучей, исходящих из-за черной дыры, изогнутых в нашем направлении, поскольку гравитация черной дыры искажает форму пространства-времени вокруг нее.

10 апреля 2019 года впервые была «сфотографирована» сверхмассивная чёрная дыра в центре галактики Messier 87, расположенной на расстоянии 54 миллионов световых лет от Земли.

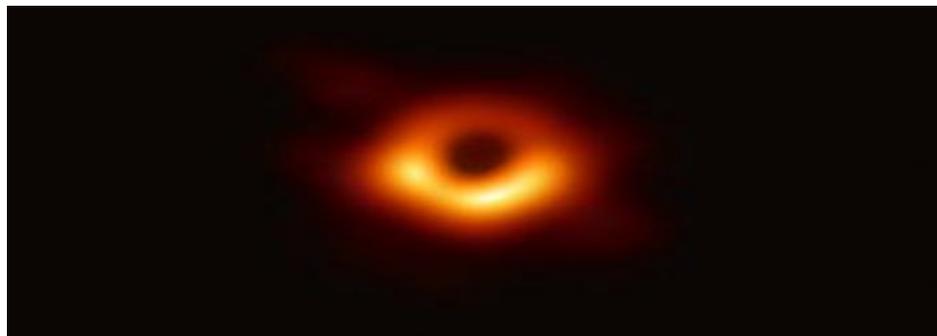


Рисунок 1. Изображение тени сверхмассивной чёрной дыры в ядре галактики М 87, полученное в радиодиапазоне, с помощью Event Horizon Telescope (2019)

Хотя свет не может вырваться изнутри горизонта событий черной дыры, мы можем видеть сигналы, излучаемые за пределами этой границы, где перегретый, быстро движущийся аккреционный диск материала закручивается внутрь. Это область, которую астрономы рассматривали в самом сердце галактики Цвикки 1, расположенной на расстоянии 800 миллионов световых лет, используя два рентгеновских космических телескопа: NuSTAR НАСА и XMM-Newton Европейского космического агентства. Там они наблюдали за сверхмассивной черной дырой на предмет ярких вспышек рентгеновского излучения от ее короны — сферической области энергичных частиц вокруг черной дыры.

Но через короткое время после каждой вспышки телескопы регистрировали более слабую рентгеновскую вспышку на другой длине волны. Эти вспышки, как определила команда, были отголосками каждой вспышки, отражающейся от части аккреционного диска, закрытой от нас тенью черной дыры. Изменение длины волны света указывало на то, что отражения были скручены и растянуты под действием силы тяжести, пока они не описали дугу вокруг черной дыры и не вернулись к Земле.

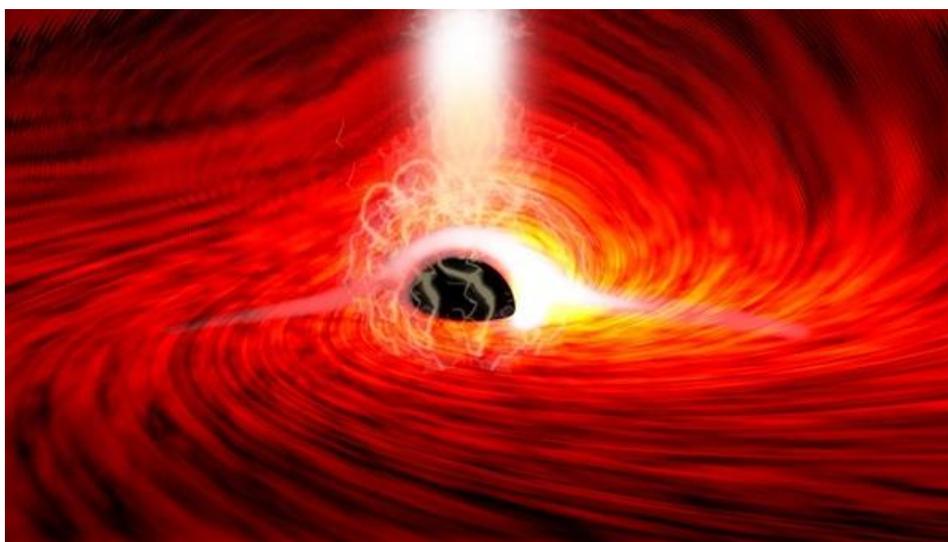


Рисунок 2. В концепции этого художника черная дыра находится в центре вращающегося водоворота горячего газа (красного цвета). В 2021 году исследователи зафиксировали рентгеновский свет, показанный белым цветом, отраженный от газа на дальней стороне черной дыры. Чрезвычайная гравитация черной дыры исказила пространство-время вокруг нее, искривляя рентгеновские лучи вокруг себя и попадая в поле нашего зрения.

Квантовые явления

Исчезновение информации в чёрной дыре представляет серьезнейшую проблему, стоящую перед квантовой гравитацией, поскольку оно несовместимо с общими принципами квантовой механики.

В рамках классической (неквантовой) теории гравитации чёрная дыра — объект неуничтожимый. Она может только расти, но не может ни уменьшиться, ни исчезнуть совсем. Это значит, что в принципе возможна ситуация, что попавшая в чёрную дыру информация на самом деле не исчезла, она продолжает находиться внутри чёрной дыры, но просто ненаблюдаема снаружи. Иная разновидность этой же мысли: если чёрная дыра служит мостом между нашей Вселенной и какой-нибудь другой вселенной, то информация, возможно, просто перебросилась в другую вселенную.

В этой ситуации становится очевидным следующий парадокс. Если мы рассмотрим то же самое для падения и последующего испарения квантовой системы, находящейся в каком-либо чистом состоянии, то — поскольку чёрная дыра сама не изменилась — получим

преобразование исходного чистого состояния в «тепловое» (смешанное) состояние. Такое преобразование, как уже было сказано, неунитарно, а вся квантовая механика строится на унитарных преобразованиях. Таким образом, эта ситуация противоречит исходным постулатам квантовой механики.

Излучение Хокинга

Излучением Хокинга называют гипотетический процесс испускания разнообразных элементарных частиц, преимущественно фотонов, чёрной дырой. Температуры известных астрономам чёрных дыр слишком малы, чтобы излучение Хокинга от них можно было бы зафиксировать — массы дыр слишком велики. Поэтому до сих пор эффект не подтверждён наблюдениями.

Согласно ОТО, при образовании Вселенной могли бы рождаться первичные чёрные дыры, некоторые из которых (с начальной массой 10^{12} кг) должны были бы заканчивать испарение в наше время. Так как интенсивность испарения растёт с уменьшением размера чёрной дыры, то последние стадии должны быть по сути взрывом чёрной дыры. Пока таких взрывов зарегистрировано не было.

Заключительные стадии испарения чёрной дыры

Испарение чёрной дыры — квантовый процесс. Дело в том, что понятие о чёрной дыре как объекте, который ничего не излучает, а может лишь поглощать материю, справедливо до тех пор, пока не учитываются квантовые эффекты. В квантовой же механике, благодаря туннелированию, появляется возможность преодолевать потенциальные барьеры, непреодолимые для неквантовой системы. Утверждение, что конечное состояние чёрной дыры стационарно, правильно лишь в рамках обычной, не квантовой теории тяготения. Квантовые эффекты ведут к тому, что на самом деле чёрная дыра должна непрерывно излучать, теряя при этом свою энергию. При этом температура и скорость излучения растут с потерей чёрной дырой своей массы, и финальные стадии процесса должны напоминать взрыв. Что останется от чёрной дыры в финале испарения, точно не известно. Возможно, остаётся планковская чёрная дыра минимальной массы, возможно, дыра испаряется полностью. Ответ на этот вопрос должна дать пока не разработанная квантовая теория гравитации.

Нерешённые проблемы физики чёрных дыр

Неизвестно доказательство принципа космической цензуры, а также точная формулировка условий, при которых он выполняется.

Неизвестно доказательство в общем случае «теоремы об отсутствии волос» у чёрной дыры.

Отсутствует полная и законченная теория магнитосферы чёрных дыр.

Неизвестна точная формула для вычисления числа различных состояний системы, коллапс которой приводит к возникновению чёрной дыры с заданными массой, моментом количества движения и зарядом.

Неизвестно, что остаётся после завершения процесса квантового распада чёрной дыры.

Список использованных источников

1. И. Д. Новиков, В. П. Фролов. Физика чёрных дыр, 1986, Глава 9. Квантовые эффекты в чёрных дырах. Рождение частиц.
2. Hawking, S. W. Black hole explosions? (англ.) // Nature. — 1974. — Vol. 248, no. 5443. — P. 30—31. — doi:10.1038/248030a0. — Bibcode: 1974Natur.248...30H.
3. Уильям Дж. Кауфман. Космические рубежи теории относительности, 1981, Глава 11. Вращающиеся чёрные дыры.

4. Субраманьян Чандрасекар. Математическая теория чёрных дыр. В 2-х томах = Mathematical theory of black holes / Перевод с английского к. ф.-м. н. В. А. Березина. Под ред. д. ф.-м. н. Д. А. Гальцова. — М.: Мир, 1986.

5. Уильям Дж. Кауфман. Космические рубежи теории относительности, 1981, Глава 10. Чёрные дыры с электрическим зарядом.