

Проблематика изучения и использования черных дыр

Выполнил: Ученики 11А класса
Лайок Олег

Научный руководитель: Крючкова Ольга
Николаевна

История

Концепция массивного тела, гравитационное притяжение которого настолько велико, что скорость, необходимая для преодоления этого притяжения (вторая космическая скорость), равна или превышает скорость света, впервые была высказана в 1784 году Джоном Мичеллом, английским естествоиспытателем, в письме, которое он послал в Королевское общество.

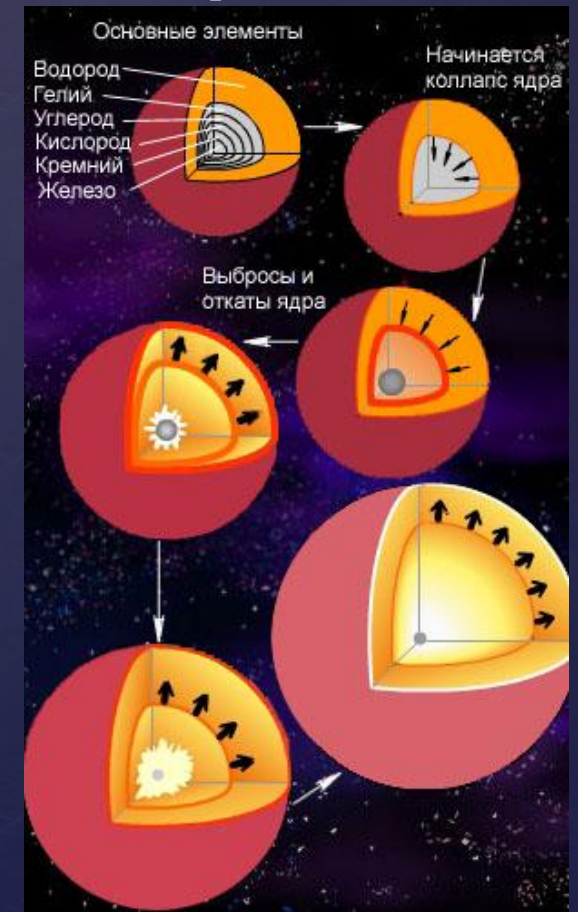
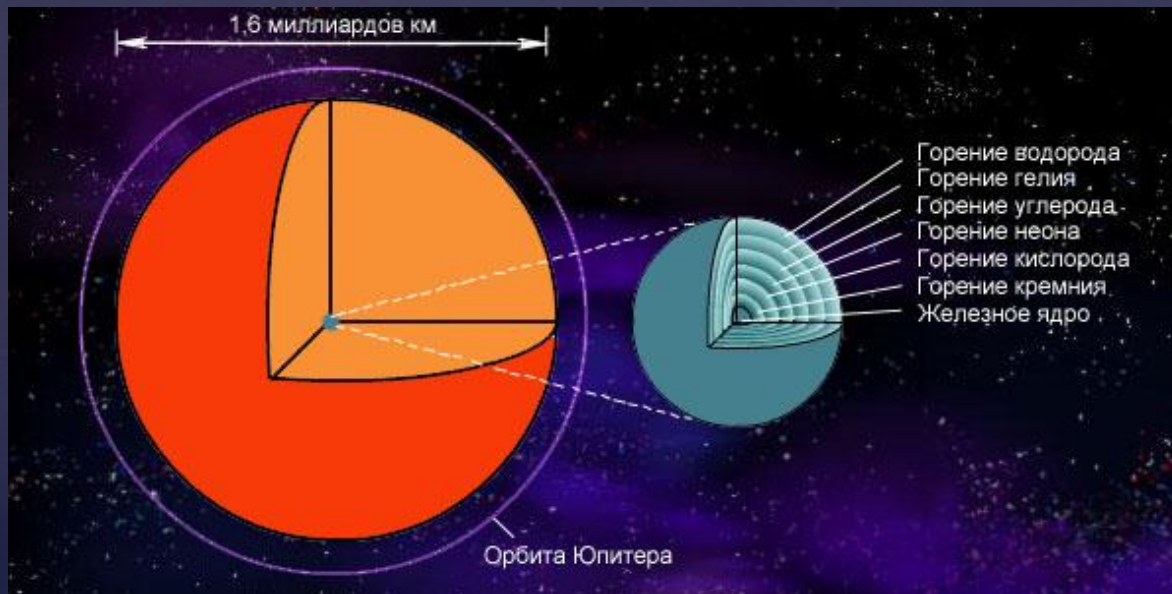
На протяжении XIX века идея тел, невидимых вследствие своей массивности, не вызывала большого интереса у учёных. Это было связано с тем, что в рамках классической физики скорость света не имеет фундаментального значения.

Однако в 1905 году А. Эйнштейн сформулировал специальную теорию относительности (СТО), согласно которой скорость света оказалась предельной скоростью для физического тела, что радикально изменило значение чёрных дыр в теоретической физике.

Само название «черная дыра» появилось в 1968 году. Его в популярной статье ввел Джон Уиллер, американский физик-теоретик, и оно мгновенно прижилось, заменив собой использовавшиеся до того термины «коллапсар» или «застывшая звезда».

Рождение черных дыр

Основной процесс звездной эволюции - это гравитационное сжатие с темпом, определяемым светимостью. Ключевой параметр - начальная масса. Любой звездный остаток (холодная равновесная конфигурация) с массой больше $3 M_{\text{Sun}}$ то звезда становится черной дырой. Гравитационное поле столь массивной звезды так сильно сдавливает ее вещество, что звезда не может остановиться на стадии нейтронной звезды и продолжает сжиматься вплоть до гравитационного радиуса.



На рисунке показаны траектории звезд на диаграмме "масса - средняя плотность" в соответствии с последними наблюдательными и теоретическими данными. Звезды с массой меньше 8 M_{Sun} оканчивают жизнь как белые карлики, между 8 M_{Sun} и 45 M_{Sun} - как нейтронные звезды; черные дыры образуются только из звезд массивнее 45 M_{Sun} (для звезд с массами между 20 M_{Sun} и 45 M_{Sun} существенна потеря массы на стадии горения гелия). Принимая во внимание начальное распределение звезд по массам, мы получаем примерно 1 черную дыру на 100 взрывов сверхновых. Предполагают, что количество черных дыр в нашей Галактике около десяти миллионов.

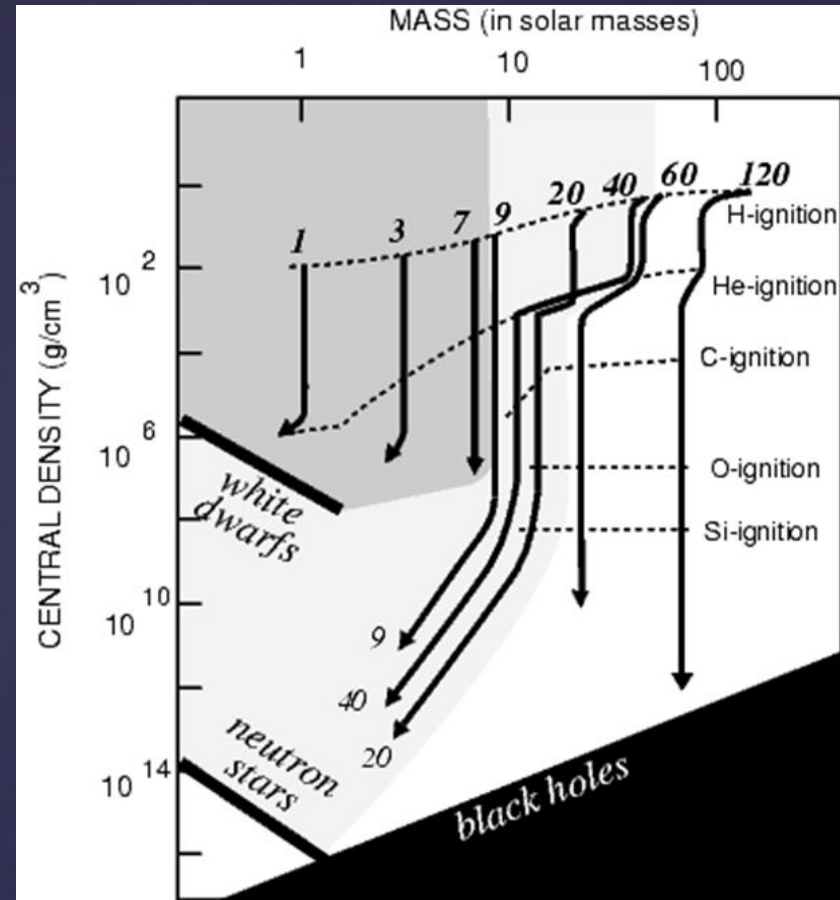


Figure 19

Виды и структура черных дыр

В настоящее время черной дырой называется область пространства-времени, в которой гравитационное поле столь сильно, что ни один объект (даже свет) не может вырваться из нее.

Черная дыра описывается всего тремя параметрами:

- массой M (шварцшильдовская черная дыра),
- моментом импульса J (керровская черная дыра)
- электрическим зарядом Q (черная дыра Керра–Ньюмана).

Знание этих характеристик дает нам полную информацию о черной дыре, хотя последней характеристикой обычно пренебрегают.

В 1916 году Карл Шварцшильд нашел решение уравнений Эйнштейна для «точечного» сферически симметричного тела. Из решения следует, что сила притяжения возрастает до бесконечности при радиусе, стремящемся к радиусу Шварцшильда (R_g или $R_{ш}$), называемом также гравитационным радиусом. Если в начале коллапса масса звезды (ее ядра или всего того, что от нее осталось) превышает $3 M_{\odot}$, то пока нам неизвестна сила, которая в этом случае могла бы предотвратить неудержимое сжатие звезды — оно будет продолжаться до тех пор, пока все вещество звезды не окажется сосредоточенным в некоторой точке, называемой сингулярностью. В сингулярности вещество сжато до бесконечной плотности бесконечно большими гравитационными. Как только сколлапсировавшая звезда сжимается в сферу шварцшильдовского радиуса, она исчезает для наблюдателя, поскольку свет ее поверхности уже не может достичь нас. В этом случае мы говорим о формировании некоего горизонта, и все происходящее в пределах этого горизонта недоступно нашему наблюдению.

Радиусы Шварцшильда для различных объектов

Объект	Масса, кг	Радиус Шварцшильда, $R_{ш}$, м	Плотность сколлапсировавшего вещества при сжатии его до сферы радиуса Шварцшильда, кг/м ³
Небольшая гора	10^{12}	10^{-15}	10^{56}
Небольшой астероид	10^{18}	10^{-9}	10^{44}
Земля	$6 \cdot 10^{24}$	10^{-2}	10^{30}
Солнце	$2 \cdot 10^{30} = 1 M_{\odot}$	$3 \cdot 10^3$	10^{19}
Массивная звезда	$10 M_{\odot}$	$3 \cdot 10^4$	10^{17}
Сколлапсировавшая масса, возможно содержащаяся в активном ядре галактики	$10^8 M_{\odot}$	$3 \cdot 10^{11}$	10^3 (плотность воды)
Галактика в целом	$10^{11} M_{\odot}$	0,03 св. года	10^{-3}

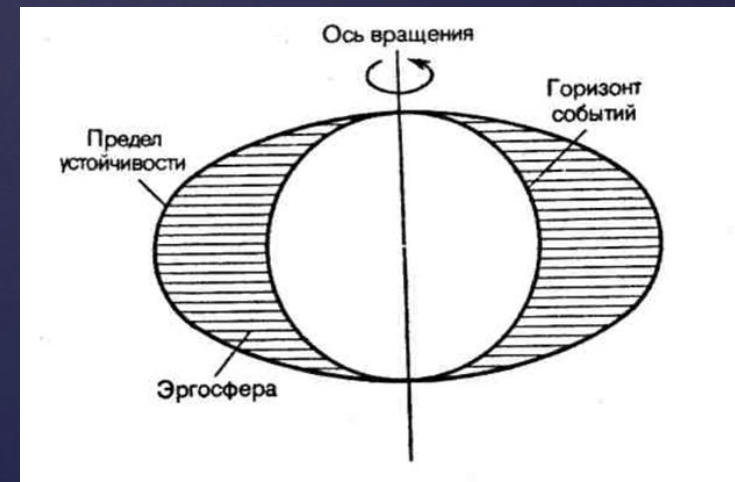
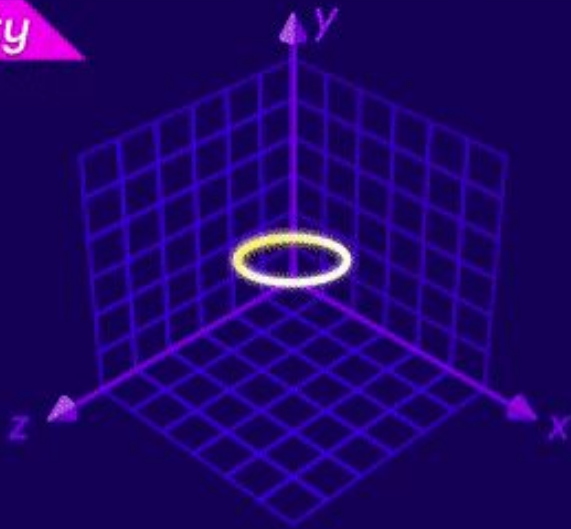
¹ Значения радиуса $R_{ш}$ и плотности приближительны, в последнем случае округлены до ближайшей степени 10.



Однако Шварцшильдовскую черную дыру нельзя считать реальным физическим объектом в строгом смысле этого слова. Дело в том, что если черные дыры действительно существуют, то они должны образовываться из вращающихся тел (т. е. из тел, обладающих собственным моментом импульса).

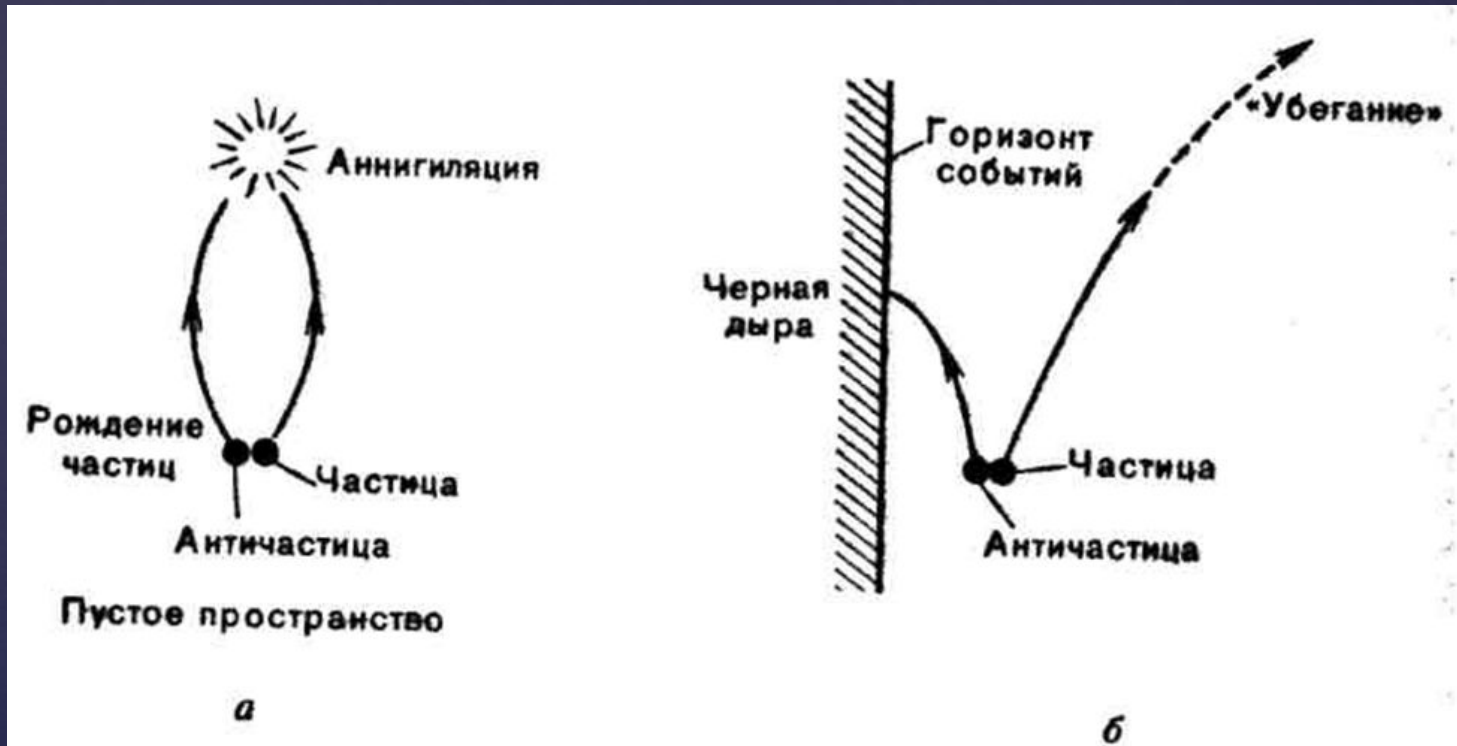


Ringularity



Излучение Хокинга

Британский астрофизик Стивен Хокинг исследовал квантовые эффекты в поведении вещества в окрестности черной дыры. К его собственному удивлению и к удивлению всей научной общественности, ознакомившейся с его результатами, опубликованными в 1974 г., оказалось, что черные дыры все же должны испускать частицы.

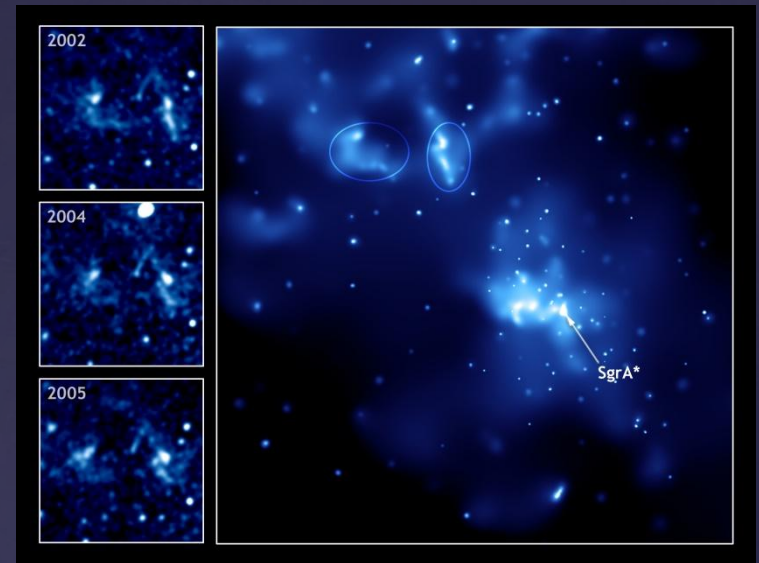


Проблема описания и изучения черных дыр

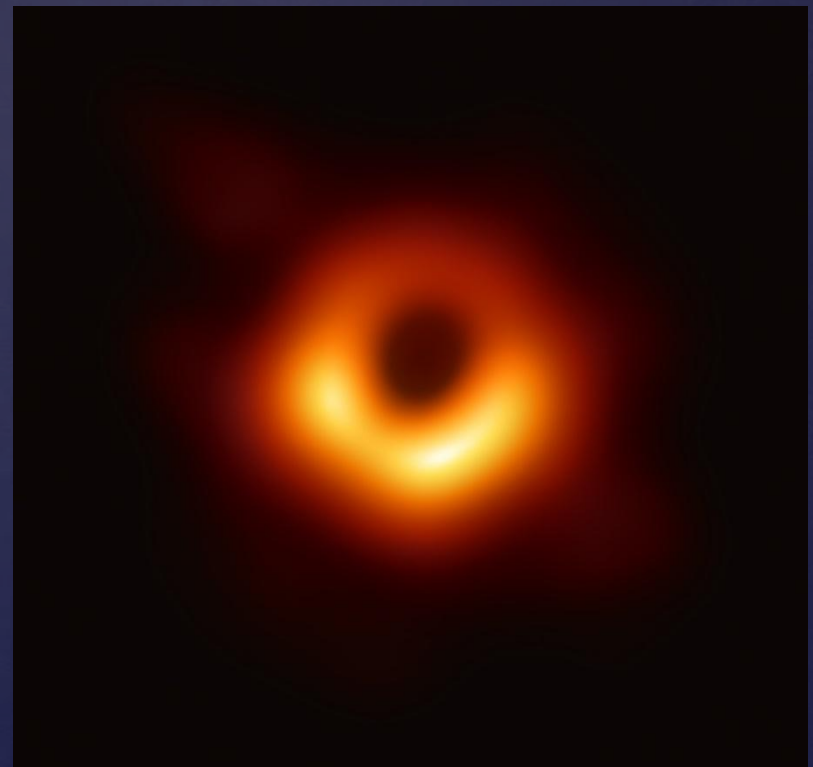
Несмотря на огромное количество черных дыр, обнаружить одиночную черную дыру практически невозможно. Поэтому одним из лучших мест для поиска черных дыр являются двойные звезды. В настоящее время единственный достоверный способ отличить чёрную дыру от объекта другого типа состоит в том, чтобы измерить массу и размеры объекта и сравнить его радиус с гравитационным радиусом. Даже свет не может покинуть черные дыры, но можно надеяться обнаружить их косвенно, по излучению, выделяющемуся в процессе аккреции на них. В этом процессе перетекающее вещество образует аккреционный диск, ответственный за многие наблюдательные феномены рентгеновских источников.



- Стрелец A* — компактный радиоисточник, находящийся в центре Млечного Пути, входит в состав радиоисточника Стрелец А. Представляет собой высокоплотный объект, вероятно сверхмассивную чёрную дыру, окружённую горячим радиоизлучающим газовым облаком диаметром около 1,8 пк. Расстояние до радиоисточника составляет около 26 тыс. св. лет, масса центрального объекта — $4,31 \cdot 10^6 M_{\text{sun}}$. Открыта 16 октября 2002 года международной исследовательской группой Института Макса Планка.

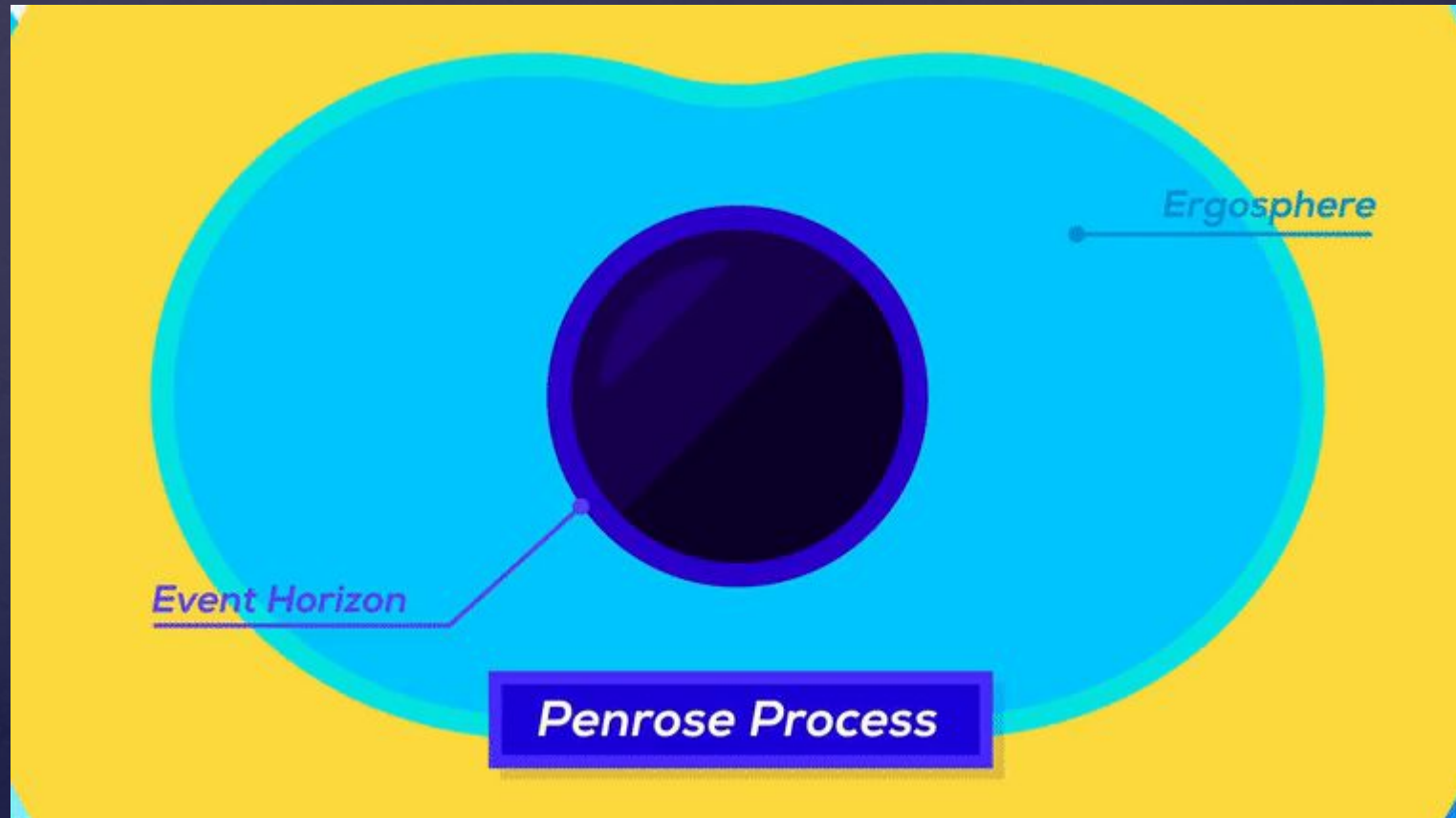


- Messier 87 (M 87, Virgo A (Дева А)) — сверхгигантская эллиптическая галактика, крупнейшая в созвездии Девы. В центре галактики находится сверхмассивная чёрная дыра, которая делает ядро галактики активным. Этот объект является мощным источником различного излучения, особенно радиоволн. 10 апреля 2019 года было опубликовано первое изображение этой черной дыры. Согласно полученным данным она расположена в 55 миллионах световых лет от Земли и имеет массу $6,5 \cdot 10^9$ масс Солнца.



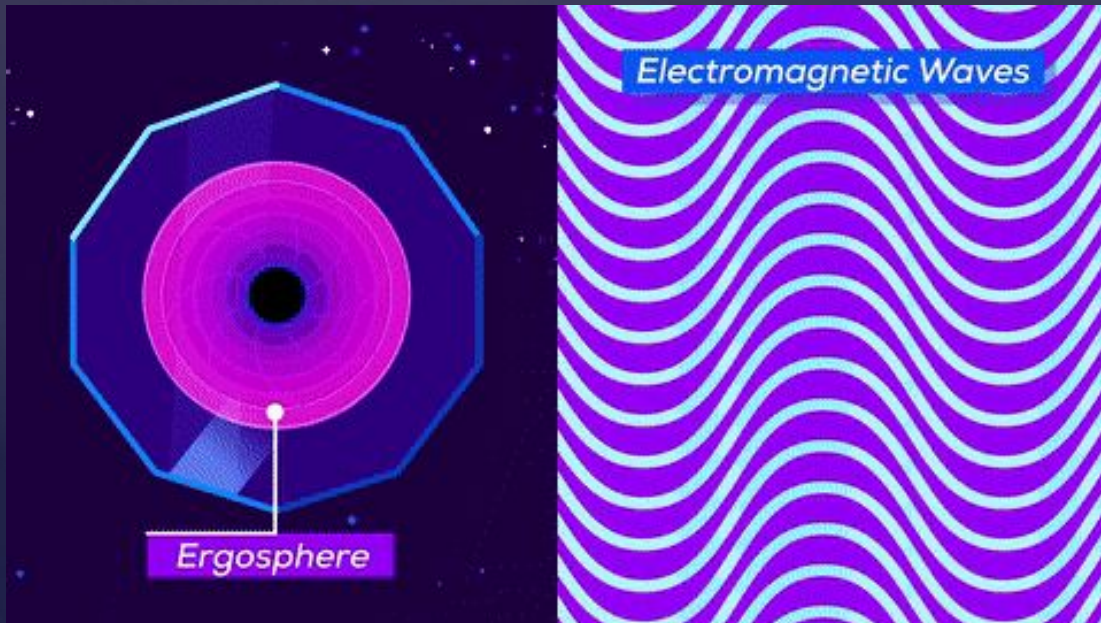
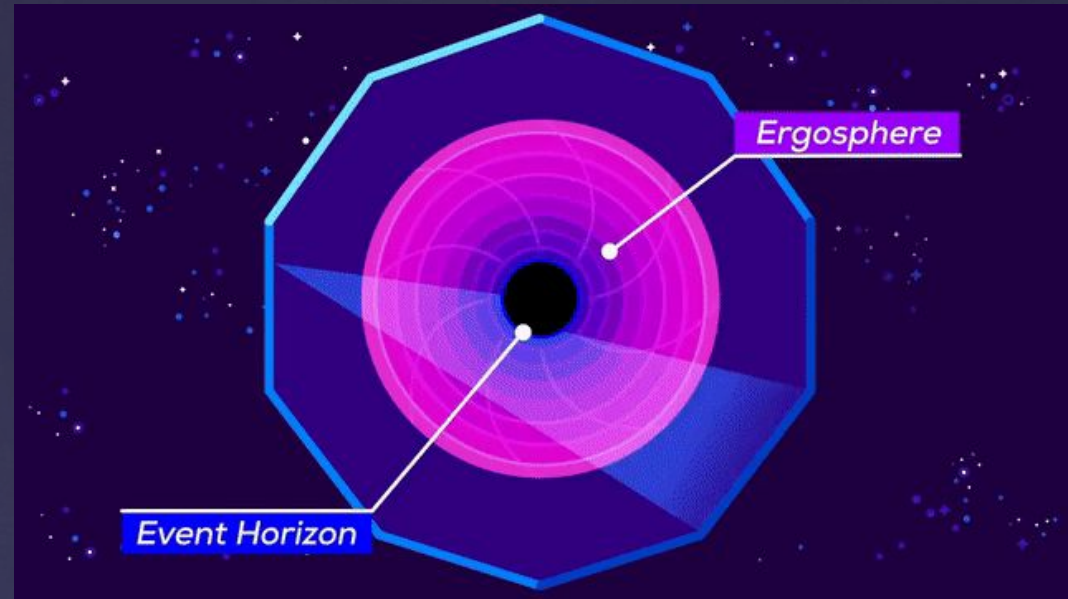
Использование черных дыр как источника энергии

В 1969 г. Роджер Пенроуз теоретически доказал, что из эргосферы черной дыры можно черпать энергию. Если какая-то частица, обладающая определенной энергией, попадет в эргосферу и разлетится на два осколка, один из которых имеет отрицательную энергию, то этот осколок упадет в черную дыру, тогда как другой осколок вылетит из эргосферы с энергией, превышающей первоначальную энергию всей частицы в целом.



Сверхизлучение

В астрофизике сверхизлучением называется явление усиления падающих на вращающуюся чёрную дыру волн. В 1971 году подобное рассеяние с увеличивающейся энергией описал Яков Зельдович.

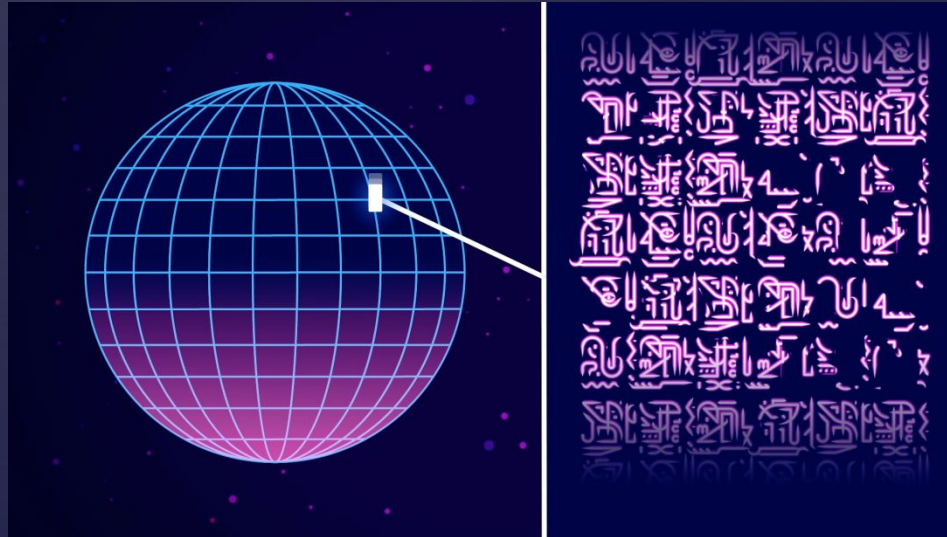


Информационный парадокс

Исчезновение информации в чёрной дыре — явление, которое должно происходить в чёрной дыре, если она действительно подчиняется термодинамическому описанию, предложенному Стивеном Хокингом. Это явление, однако, несовместимо с общими принципами квантовой механики и потому представляет собой серьёзнейшую проблему, стоящую перед квантовой гравитацией.

Возможен вариант, что черная дыра создает кротовую нору в другую вселенную, в которой и будет храниться информация о попадающих в дыру объектах.

Еще одним вариантом решения данной проблемы может быть так называемый голографический принцип — гипотеза, выдвинутая в 1993 году знаменитым нидерландским физиком-теоретиком Герардом т' Хофтом.



Кротовые норы

Кротовая нора, также «кротовина» или «червоточина» (последнее является дословным переводом англ. wormhole) — гипотетическая топологическая особенность пространства-времени, представляющая собой в каждый момент времени «туннель» в пространстве. Данный объект является самым загадочным следствием из существования черных дыр.

Самый известный тип кротовой норы - мост Эйнштейна — Розена, представляет собой теоретический метод пронзания пространства и времени так, что можно соединить две точки в космосе вместе и затем переместиться мгновенно из одной в другую.

