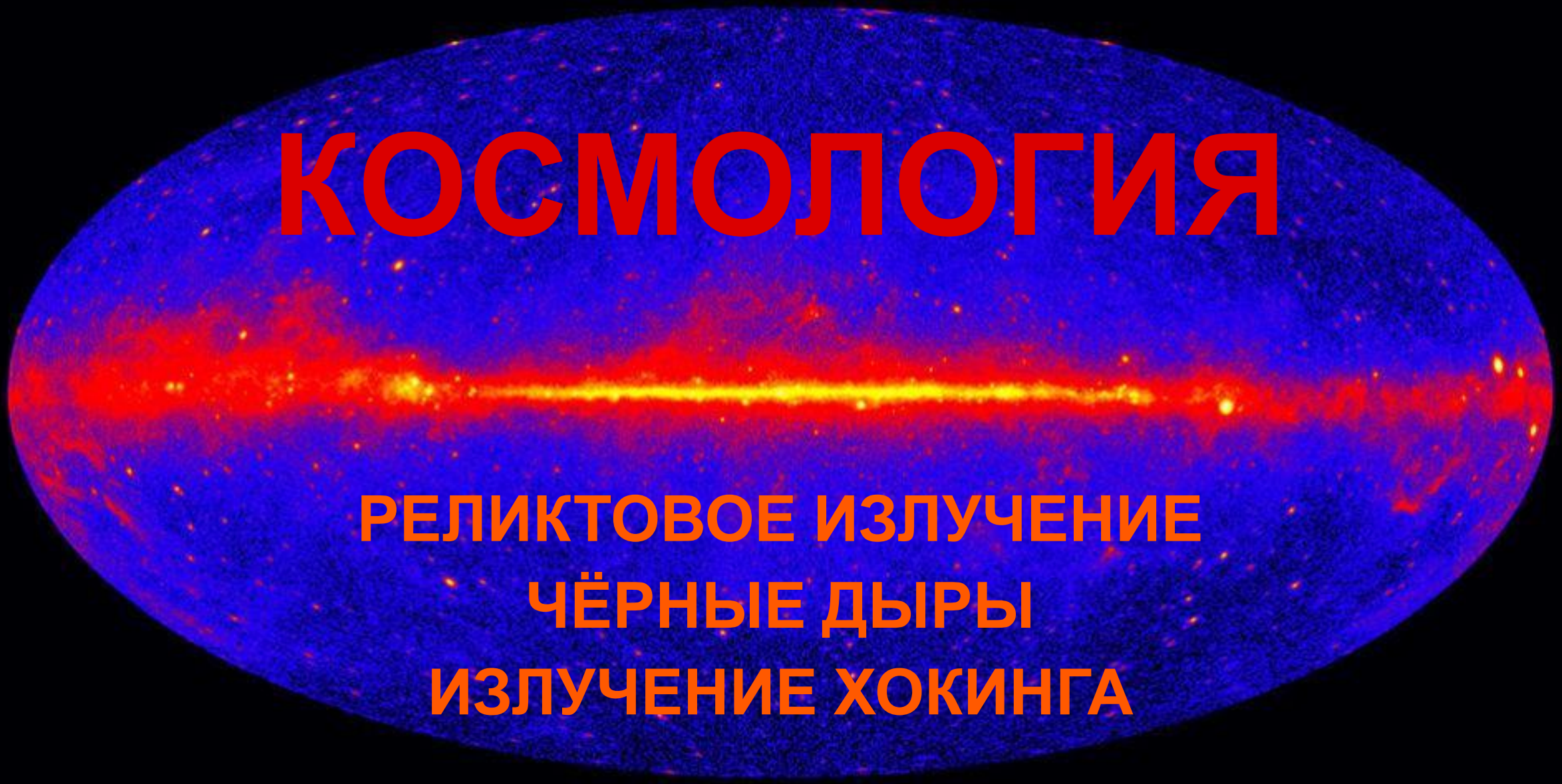
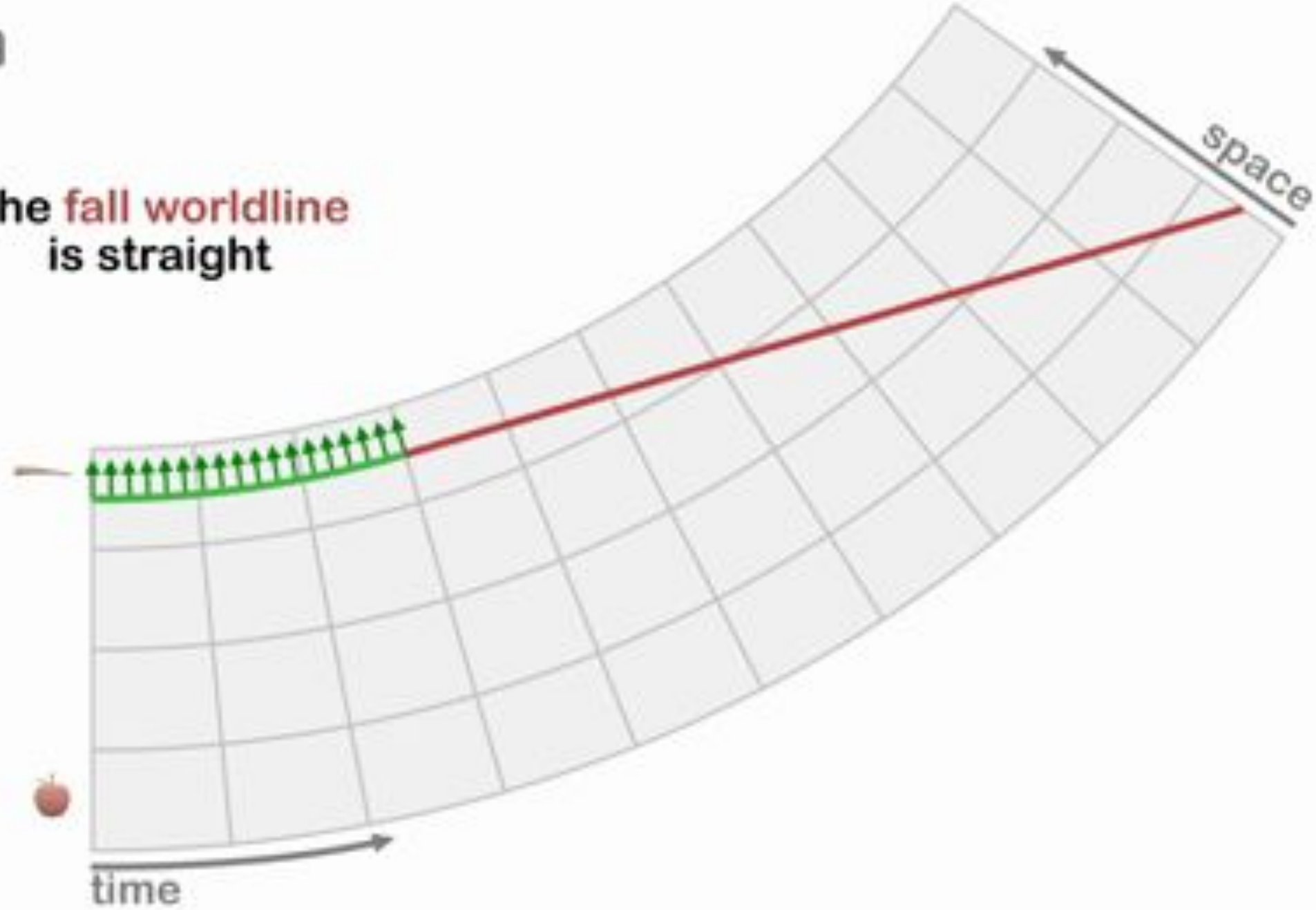


КОСМОЛОГИЯ

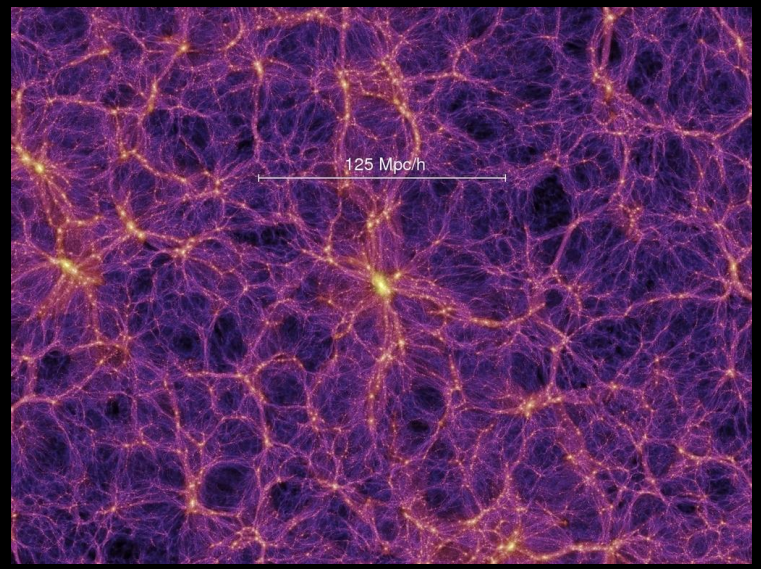
РЕЛИКТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
ЧЁРНЫЕ ДЫРЫ
ИЗЛУЧЕНИЕ ХОКИНГА

Einstein

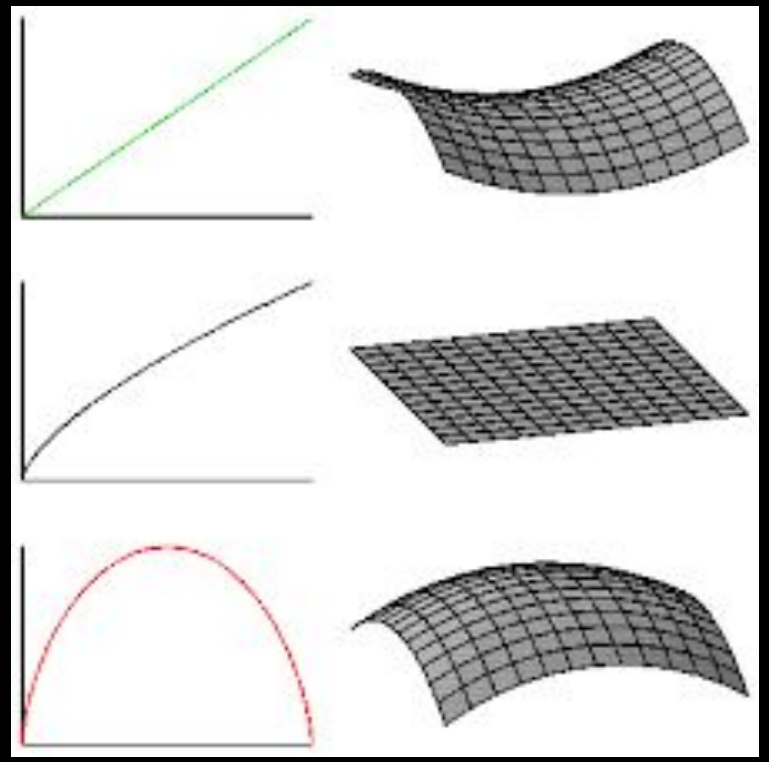


ΛCDM-МОДЕЛЬ

В 1965 году было открыто реликтовое излучение. С этого момента было принято считать, что Вселенная расширяется с течением времени, а раннее её состояние было плотным и горячим. Модель ΛCDM стала стандартом вскоре после открытия ускорения расширения Вселенной



Скорость расширения зависит от содержания и типа вещества и энергии во Вселенной и, в частности, от того, является ли полная плотность выше или ниже так называемой критической плотности.

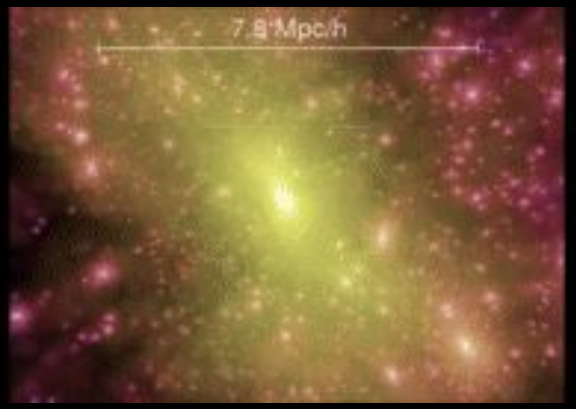


Плоская Вселенная заполнена обычной барионной материи, тёмной энергией и холодной тёмной материей

Гравитация описывается общей теорией относительности

На малых масштабах физика описывается стандартной моделью

Главные элементы VCDM-модели



Космологический принцип

Изотропия
Однородность

Большой взрыв

Космологическая сингулярность
Планковская эпоха
Реликтовое излучение

Инфляция

Критическая плотность
Геометрия Вселенной

Расширение Вселенной

Ускорение расширения Вселенной
Постоянная Хаббла
Космологическое красное смещение

Материя и энергия

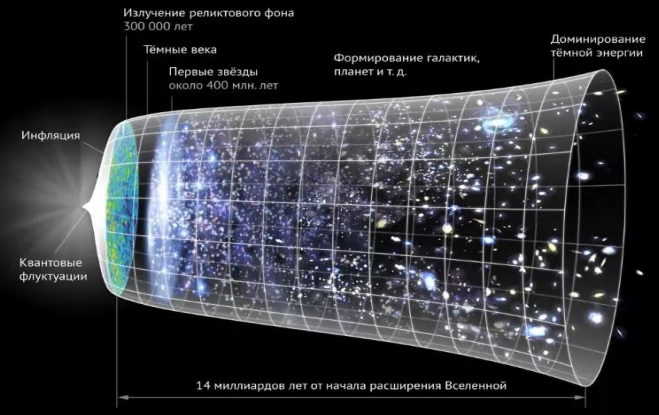
Барионная материя
Тёмная энергия
Тёмная материя

Фундаментальные взаимодействия

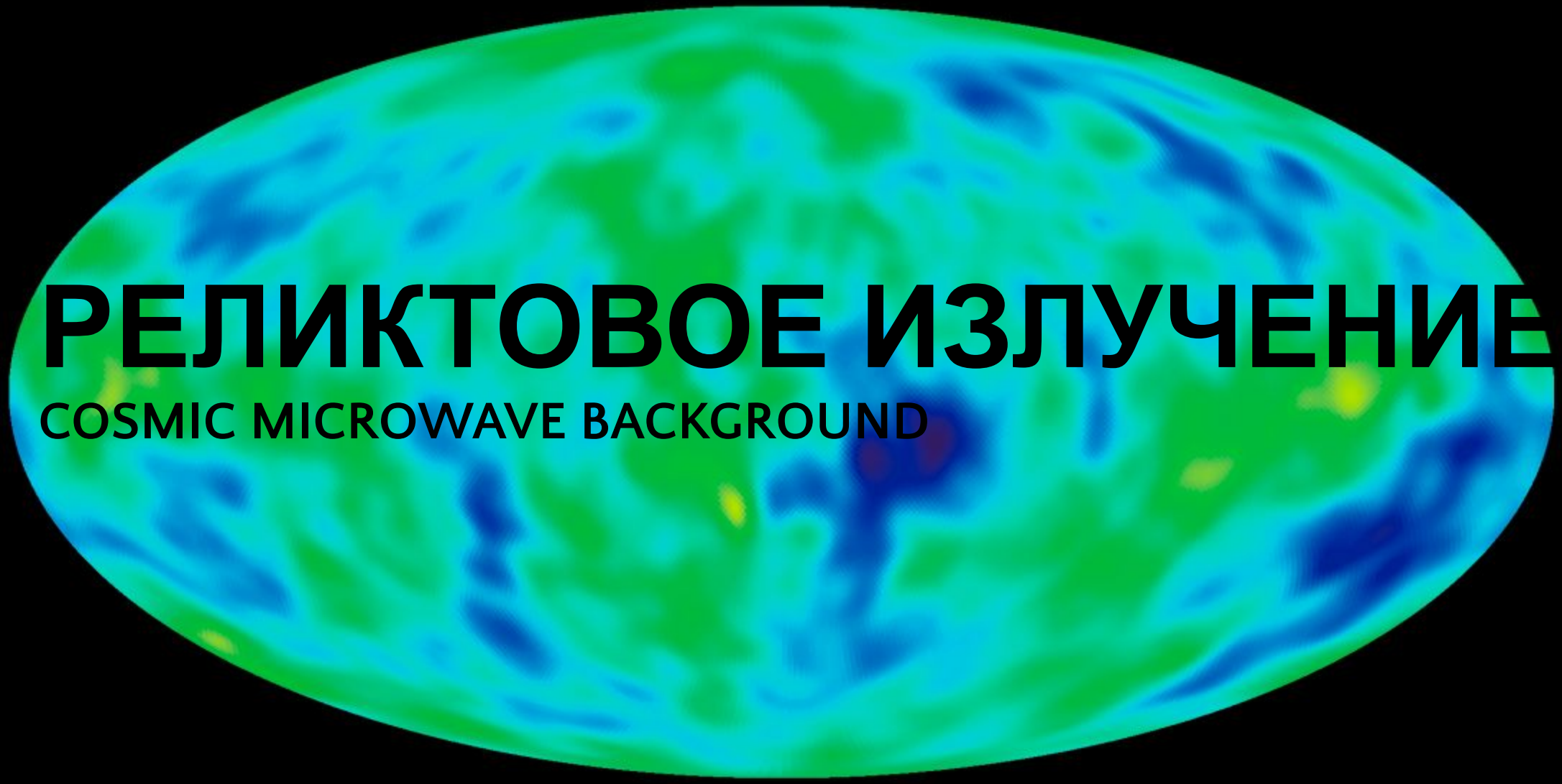
Гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое

	WMAP[1]	Planck[2]	LIGO[3][4]
Возраст Вселенной t_0, млрд лет	13,75 ± 0,13	13,799 ± 0,021	11,9—15,7
Постоянная Хаббла H_0, (км/с)/Мпк	71,0 ± 2,5	67,74 ± 0,46	$70{,}0^{+12}_{-8}$

Взаимодействие	Текущее описание теорией	Заряд	Частица-переносчик	Относительная сила[1]	Зависимость от расстояния	Радиус воздействия (м)
Гравитация	Общая теория относительности (ОТО)	Масса	Гравитон (гипотетич.)	1	$\frac{1}{r^2}$	∞
Слабое	Теория электрослабого взаимодействия (ТЭВ)	Слабый изоспин	W^+-, W^-- и Z^0-бозоны	10^{25}	$\frac{1}{r}e^{-m_{W,Z}r}$	10^{-18}
Электромагнитное	Квантовая электродинамика (КЭД)	Электрический заряд	Фотон	10^{36}	$\frac{1}{r^2}$	∞
Сильное	Квантовая хромодинамика (КХД)	Цветной заряд	Глюоны	10^{38}	1	10^{-15}



Космологические параметры по данным WMAP и Planck		
	WMAP[5]	Planck[6]
Возраст Вселенной t_0 млрд лет	13,75±0,13	13,81±0,06
H_0 км/с/МПк	71,0±2,5	67,4±1,4
Плотность барионной материи $\Omega_b h^2$	0,0226±0,0006	0,0221±0,0003
Плотность тёмной материи $\Omega_c h^2$	0,111±0,006	0,120±0,003
Общая плотность Ω_t	$1{,}08^{+0{,}09}_{-0{,}07}$	1,0±0,02
Плотность барионной материи Ω_b	0,045±0,003	
Плотность тёмной энергии Ω_Λ	0,73±0,03	0,69±0,02
Плотность тёмной материи Ω_c	0,22±0,03	

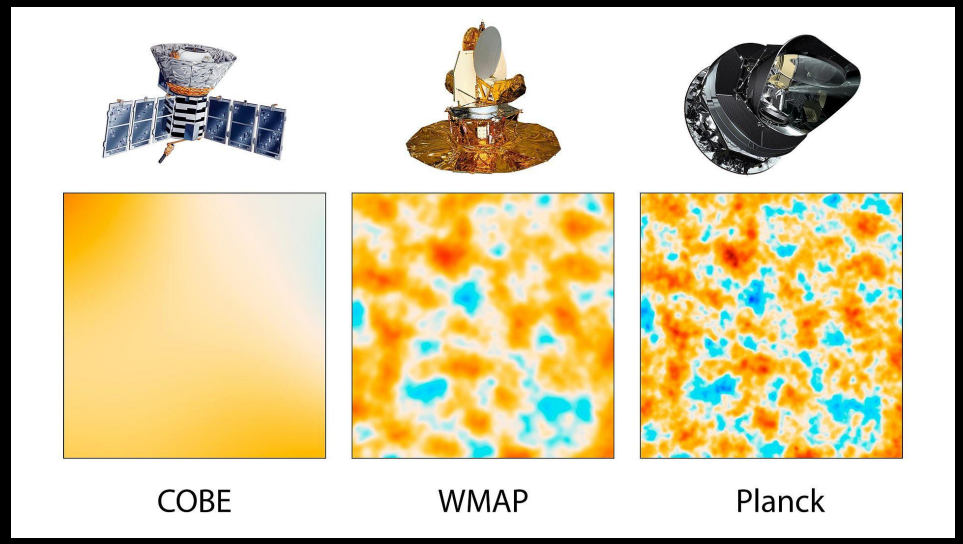


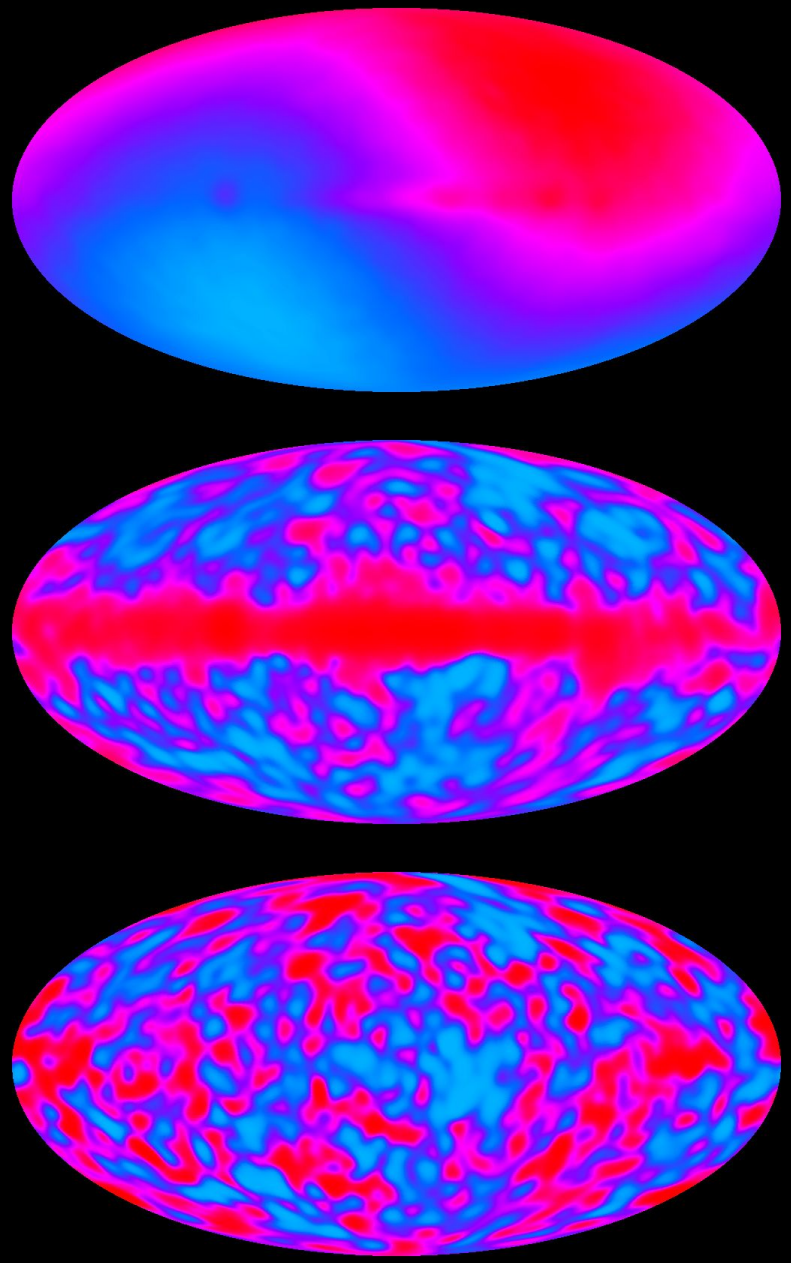
РЕЛИКТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

COSMIC MICROWAVE BACKGROUND

Реликтовое излучение это

Космическое сверхвысокочастотное фоновое излучение — равномерно заполняющее Вселенную тепловое излучение, возникшее в эпоху первичной рекомбинации водорода. Обладает высокой степенью изотропности и спектром, свойственным для абсолютно чёрного тела с температурой 2,72548 ± 0,00057 К





Предсказания реликтового излучения

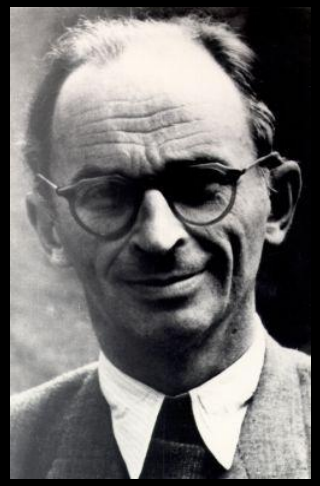
В 1948 году Г. Гамовым, Р. Альфером и Р. Германом была предложена модель «горячей Вселенной» и в ней было предсказано существование фонового микроволнового излучения и дана оценка его температуры – 1—10 К
А. Г. Дорошкевич и И. Д. Новиков одновременно с Р. Дикке и Д. Пиблзом предсказали существование реликтового излучения в 1964 году.

А. Г. Дорошкевич
род. 1937

И. Д. Новиков
род. 1935

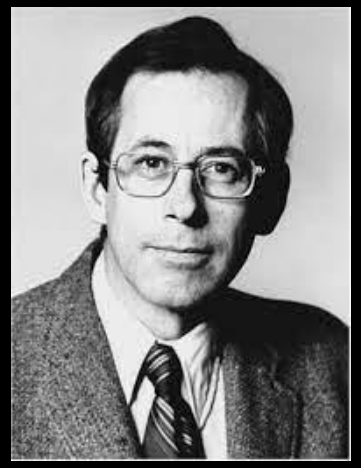
Г. А. Гамов
1904 – 1968

R. A. Alpher
1921 – 2007



R. R. W. Herman
2914 – 1997

R. H. Dicke
1916 – 1997

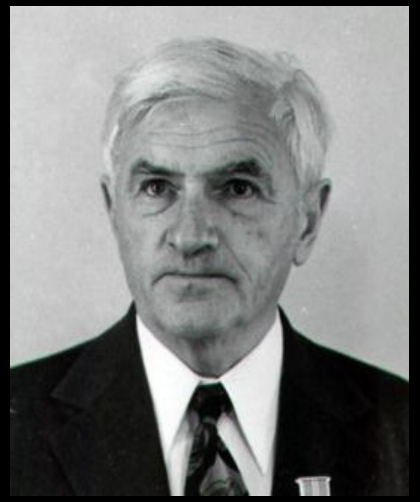


P. J. E. Peebles
род. 1935

Обнаружение РИ

В 1955 году радиоастроном Т. А. Шмаонов в Пулковской обсерватории под руководством радиоастрономов С. Э. Хайкина и Н. Л. Кайдановского провёл измерения радиоизлучения из космоса на длине волны 32 см и обнаружил шумовое СВЧ излучение. Оказалось, что абсолютная величина эффективной температуры радиоизлучения фона равна 4 ± 3 К. Отмечалась независимость интенсивности излучения от направления на небе и от времени.

С. Э. Хайкин
1901 – 1968

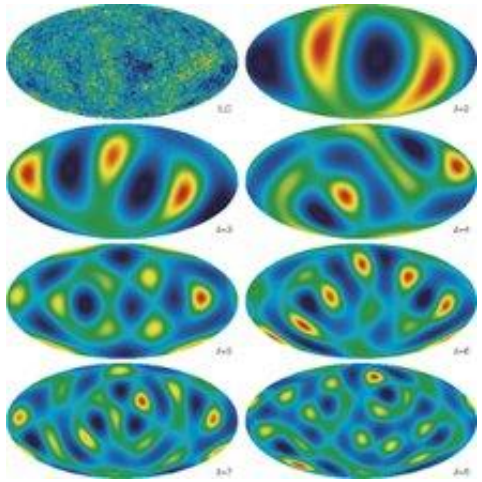


Н. Л. Кайдановский
1907 – 2010

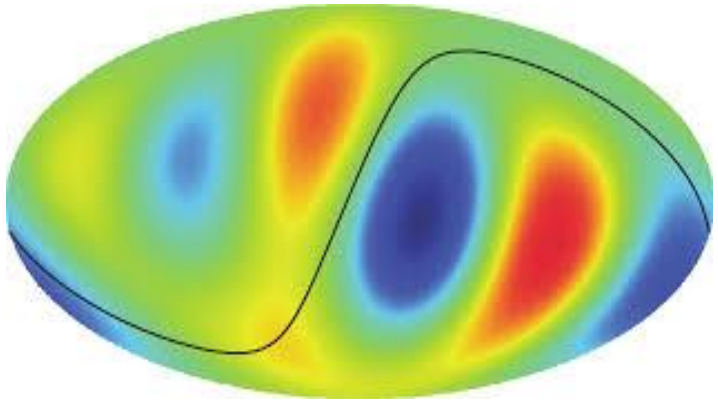
В 1965 году А. Пензиас и Р. Вильсон построили прибор, который они намеревались использовать не для поиска реликтового излучения, а для экспериментов в области радиоастрономии и спутниковых коммуникаций. При калибровке установки выяснилось, что антенна имеет избыточную шумовую температуру в 3,5 К, которую они не могли объяснить. После совместного обсуждения группы из Принстона и Холмдейла заключили, что такая температура антенны была вызвана реликтовым излучением. В 1978 году Пензиас и Вильсон за своё открытие получили Нобелевскую премию. Исследование неоднородностей

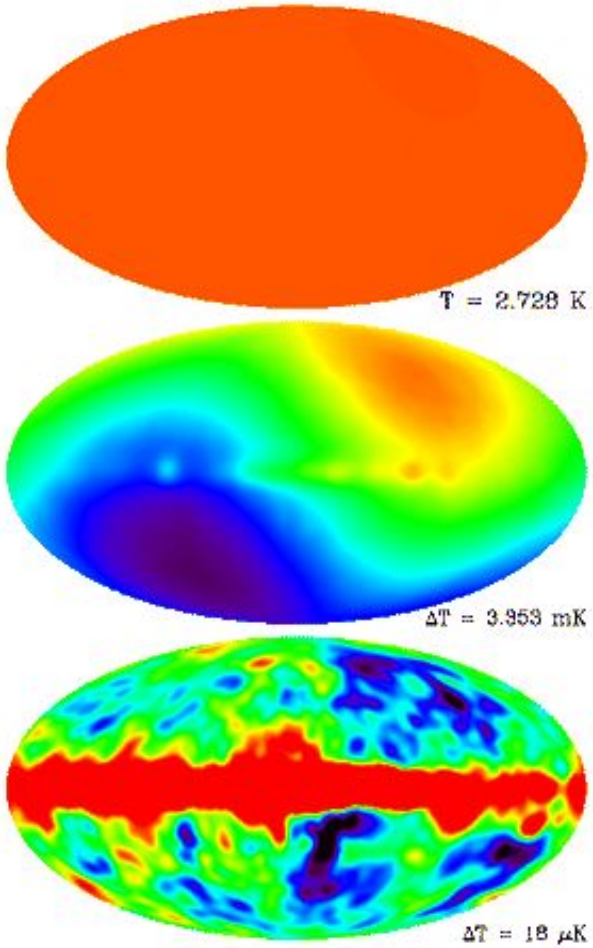
R. Wilson A. A. Penzias

Анизотропия РИ



Текст слайда





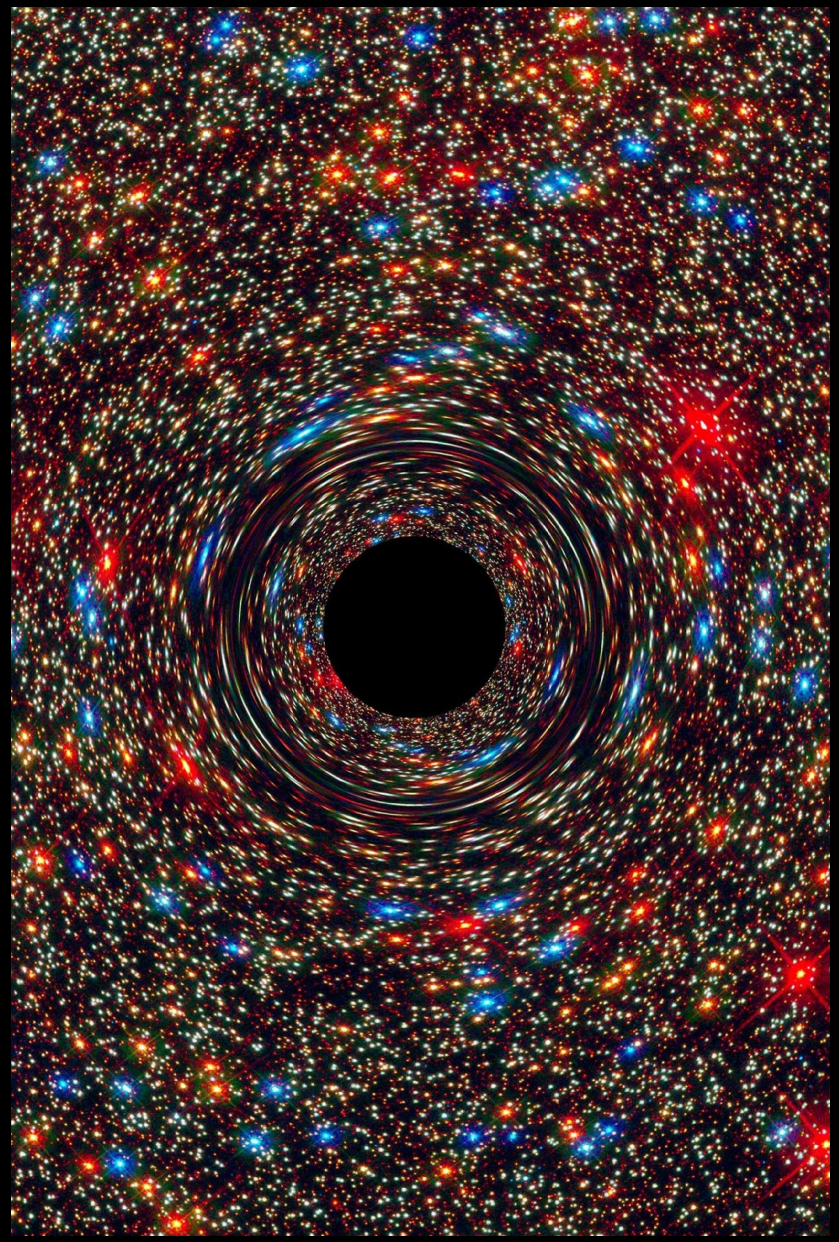
ЧЁРНЫЕ ДЫРЫ

BLACK HOLES

Чёрная дыра

Чёрная дыра — область пространства-времени, гравитационное притяжение которой настолько велико, что покинуть её не могут даже объекты, движущиеся со скоростью 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.



Ранние предположения

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 естествоиспытателем и геологом Джоном Мичеллом

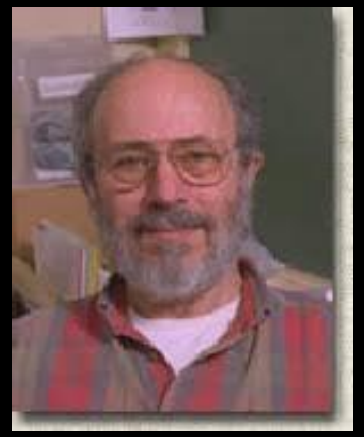
В письме от 27 ноября 1783 года, которое он послал в Королевское Общество, были объединены ньютоновская небесная механика и корпускулярная оптика. Письмо содержало концепцию массивного тела, гравитационное притяжение которого настолько велико, что скорость, необходимая для преодоления этого притяжения (вторая космическая скорость), равна или превышаетскорость света с расчётом, из которого следовало, что для тела с радиусом в 500 солнечных радиусов и с плотностью Солнца вторая космическая скорость на его поверхности будет равна скорости света. Таким образом, свет не сможет покинуть это тело, оно будет невидимым. Мичелл предположил, что в космосе может существовать множество таких недоступных для прямого наблюдения объектов

ЧД как предсказание ОТО

В 1905 году А. Эйнштейн использовал концепции Лоренца и Пуанкаре в СТО т. к. ньютоновская теория тяготения (на которой базировалась первоначальная теория чёрных дыр) не она не может быть применена к телам, движущимся с околосветовыми и световой скоростями. Лишённая этого недостатка релятивистская теория тяготения была создана Эйнштейном в 1915 году – ОТО.

Так как чёрные дыры являются локальными и относительно компактными образованиями, решения для чёрных дыр в рамках ОТО характеризуются только тремя параметрами: массой, моментом импульса и электрическим зарядом, которые складываются из соответствующих характеристик, вошедших в чёрную дыру при коллапсе и упавших в неё позднее тел и излучения.

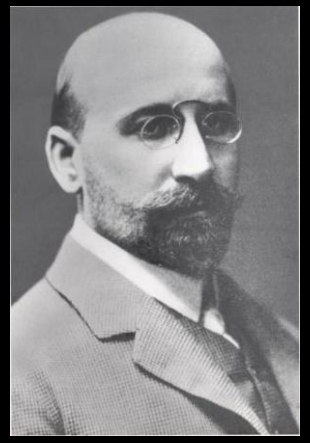
Любая чёрная дыра стремится в отсутствие внешних воздействий стать стационарной, что было доказано усилиями многих физиков-теоретиков



E. T. Newman
1929 - 2021

R. P. Kerr
род. 1934

K. Schwarzschild
1873 – 1916



H. J. Reissner
1874 – 1967

Gunnar Nordström
1881 - 1921

Характеристика ЧД	Без вращения	Вращается
Без заряда	Решение Шварцшильда	Решение Керра
Заряженная	Решение Рейснера — Нордстрёма	Решение Керра — Ньюмена

Стационарная ЧД

Вращающиеся ЧД

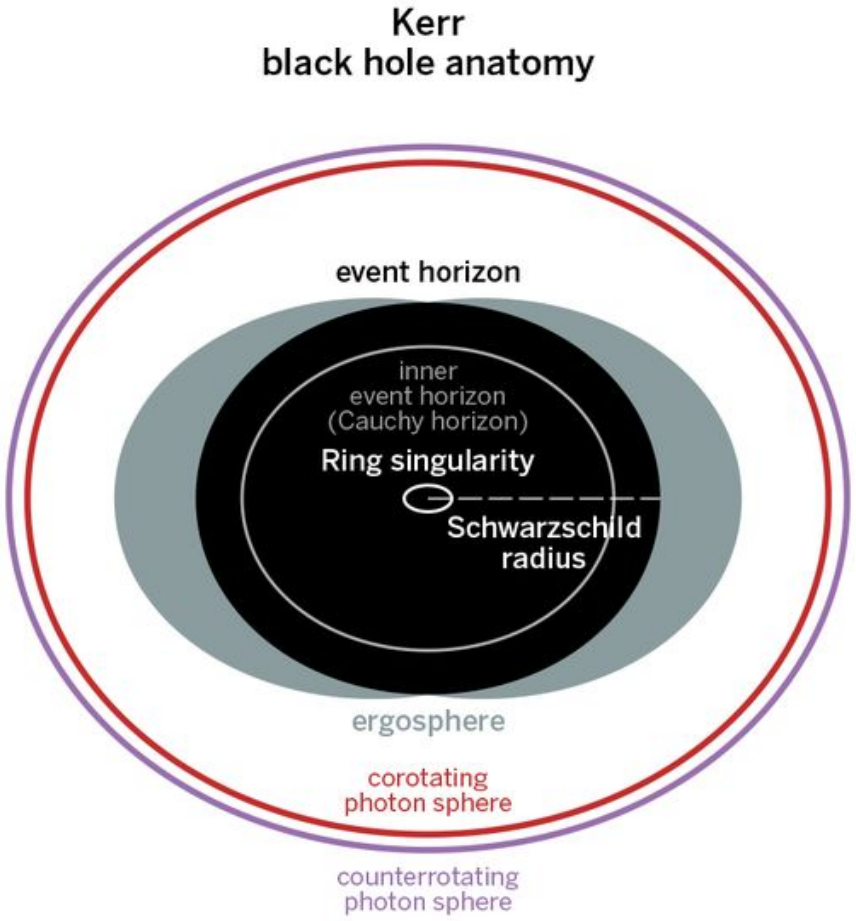
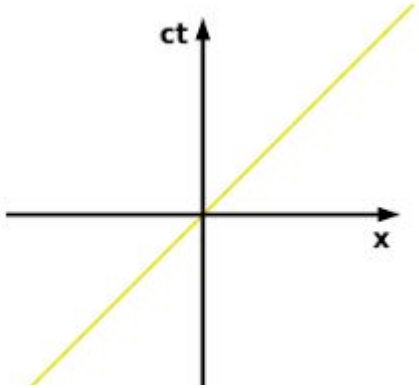
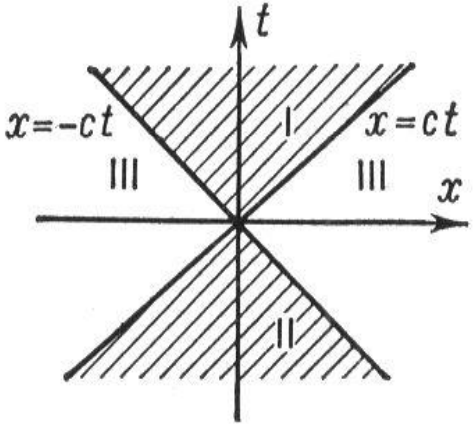
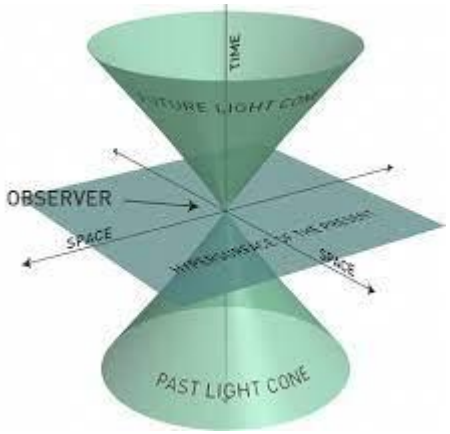
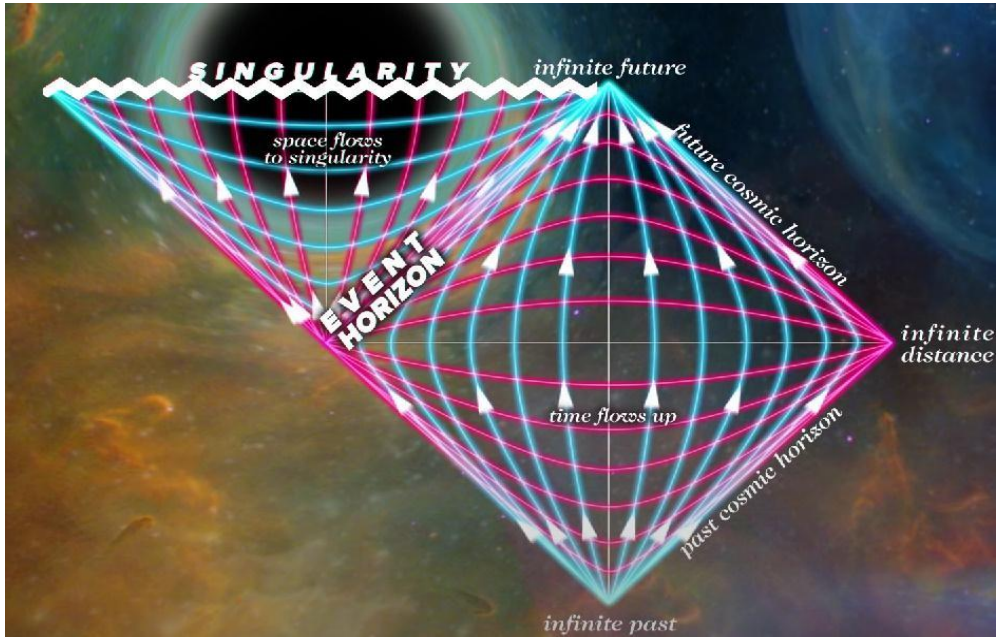


Диаграмма Пенроуза для стационарной ЧД







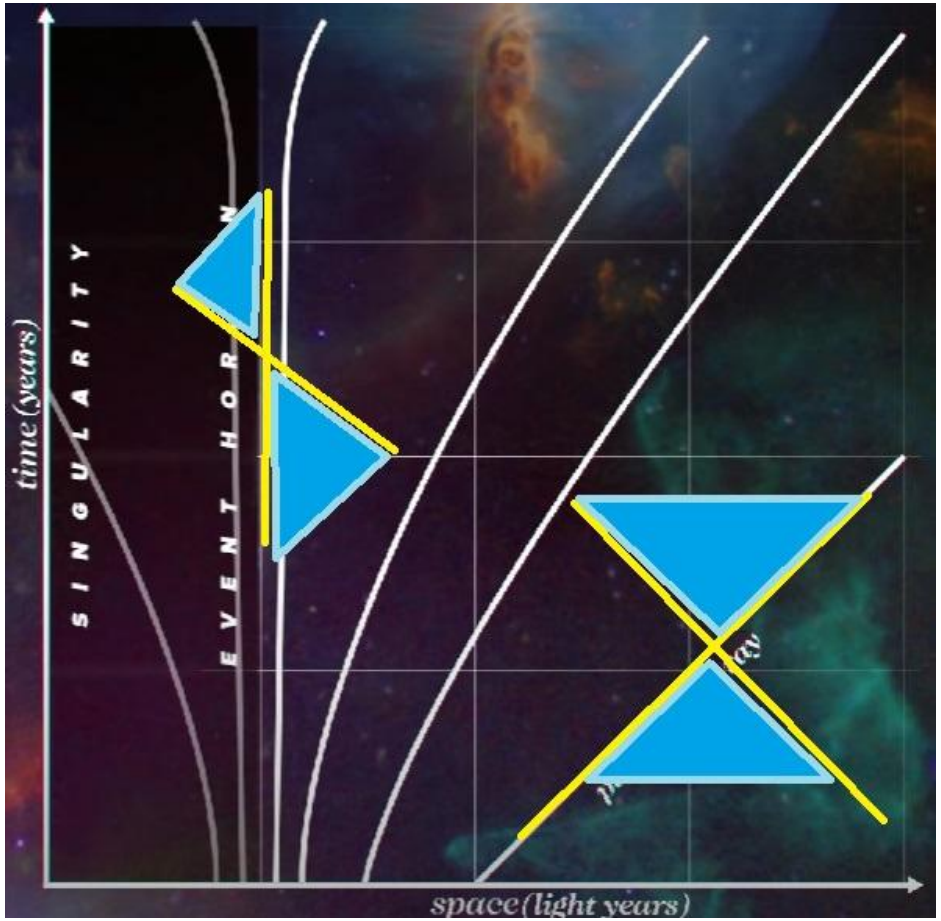


Roger Penrose
род. 1931

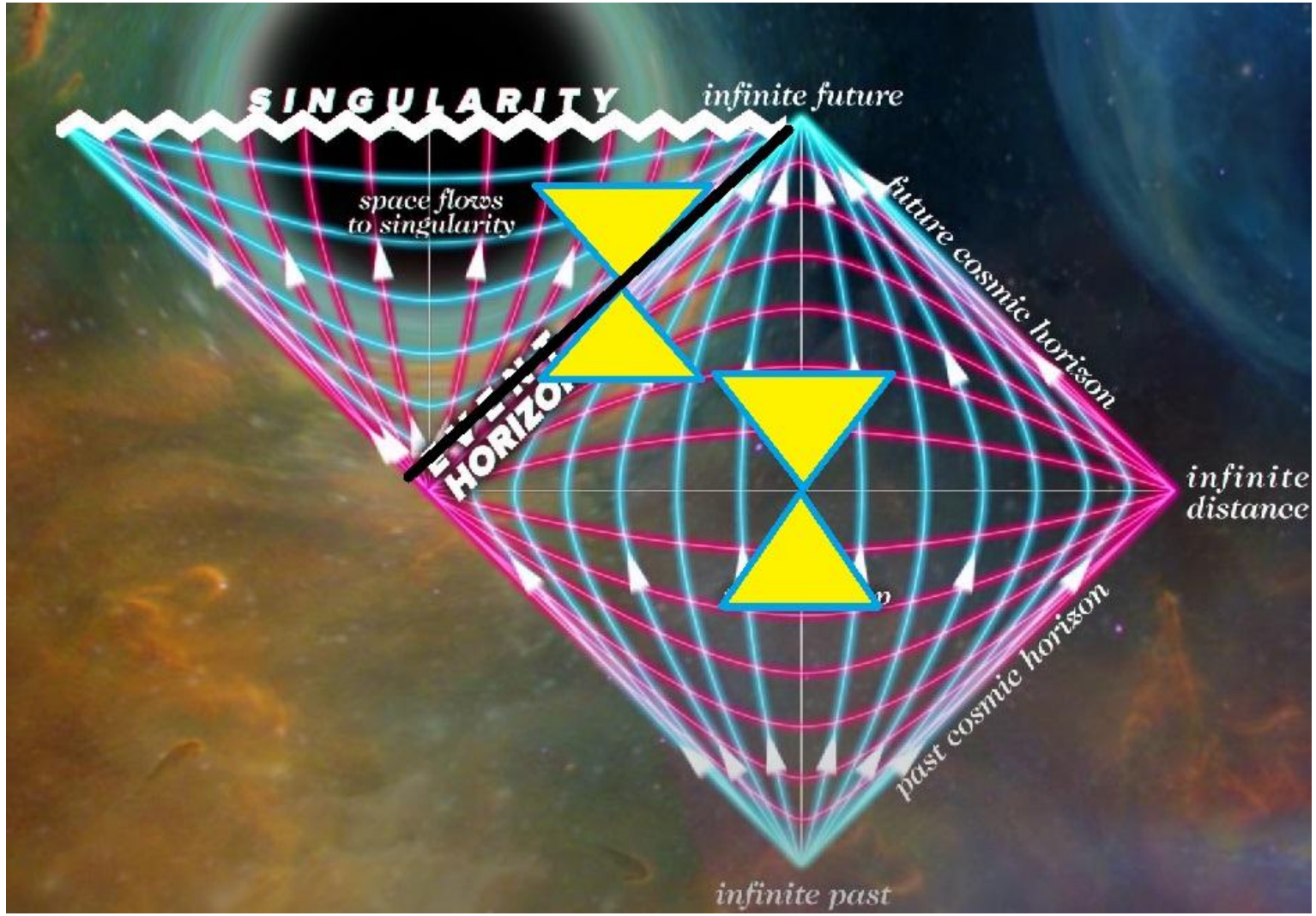
Диаграмма Пенроуза для моста Эйнштейна–Розена

Hermann Minkowski
1864 – 1909

Д. Минковского с ЧД



Д.Пенроуза с ЧД



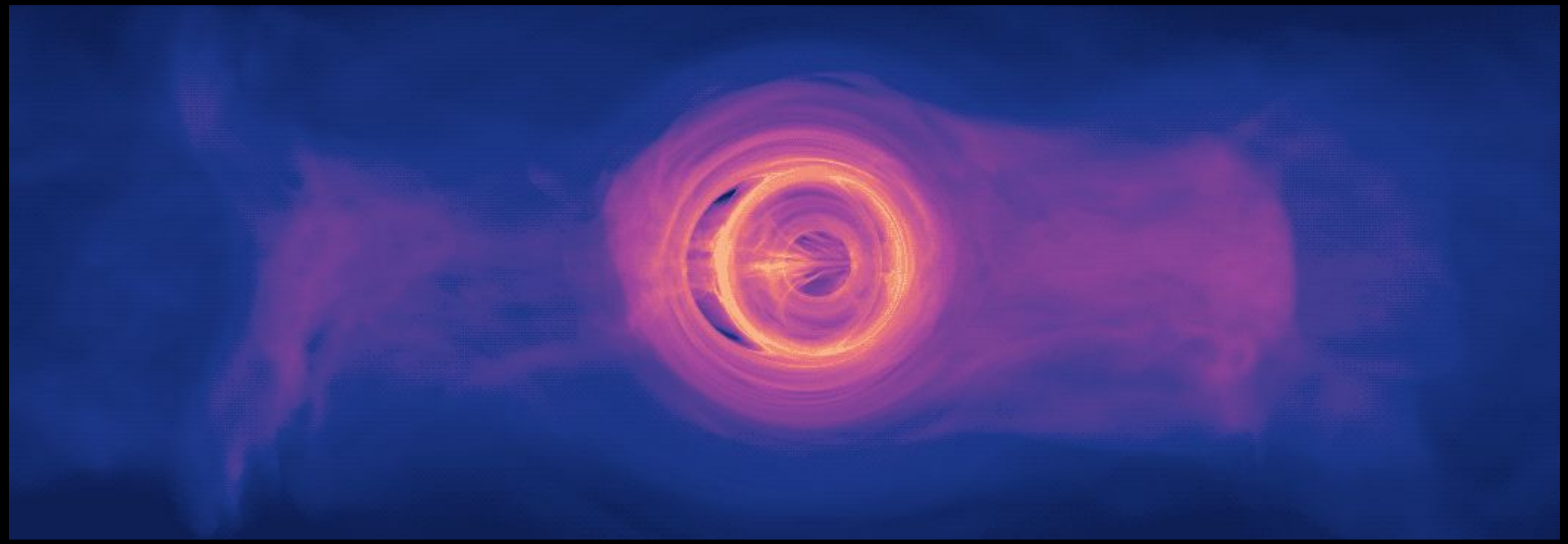
Классификация ЧД

Сверхмассивные чёрные дыры

Чёрные дыры звёздных масс

Первичные чёрные дыры

Квантовые чёрные дыры



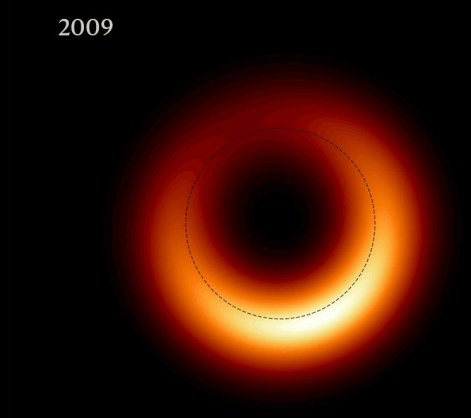
Образование ЧД

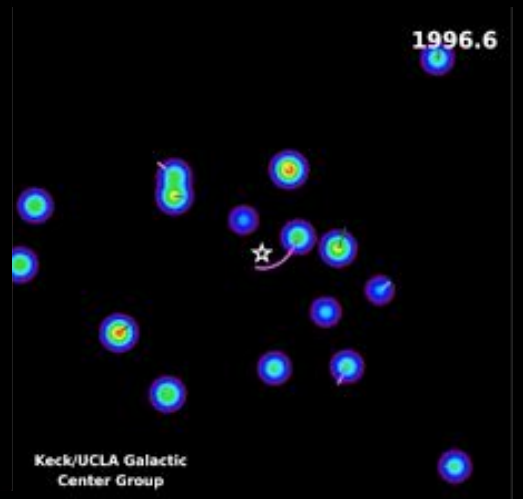
По современным представлениям, есть четыре сценария образования чёрной дыры:

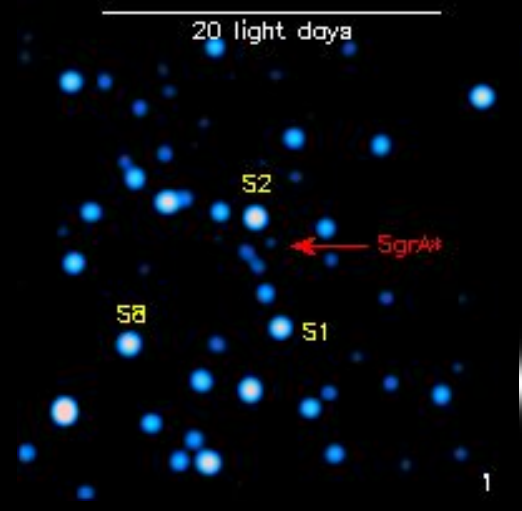
- Коллапс центральной части галактик или протогалактического газа. Современные представления помещают (>1000M) чёрную дыру в центр почти всех, спиральных и эллиптических галактик. Например, в центре нашей Галактики находится чёрная дыра Стрелец A* - Сверхмассивные черные дыры
- Гравитационный коллапс (катастрофическое сжатие) достаточно массивной звезды на конечном этапе её эволюции – Чёрные дыры звёздной массы
- Формирование в момент сразу после Большого Взрыва в результате флуктуаций гравитационного поля и/или материи – Первичные чёрные дыры
- Возникновение в ядерных реакциях высоких энергий – Квантовые чёрные дыры

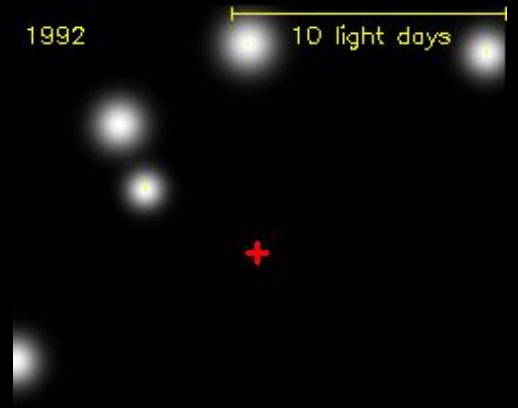
Обнаружение чёрных дыр

- Измерение скорости вращения газа
- Измерение скорости микроволновых источников
- Наблюдение траекторий отдельных звёзд
- Наблюдение процессов приливного разрушения звёзд
- Радиографирование чёрных дыр



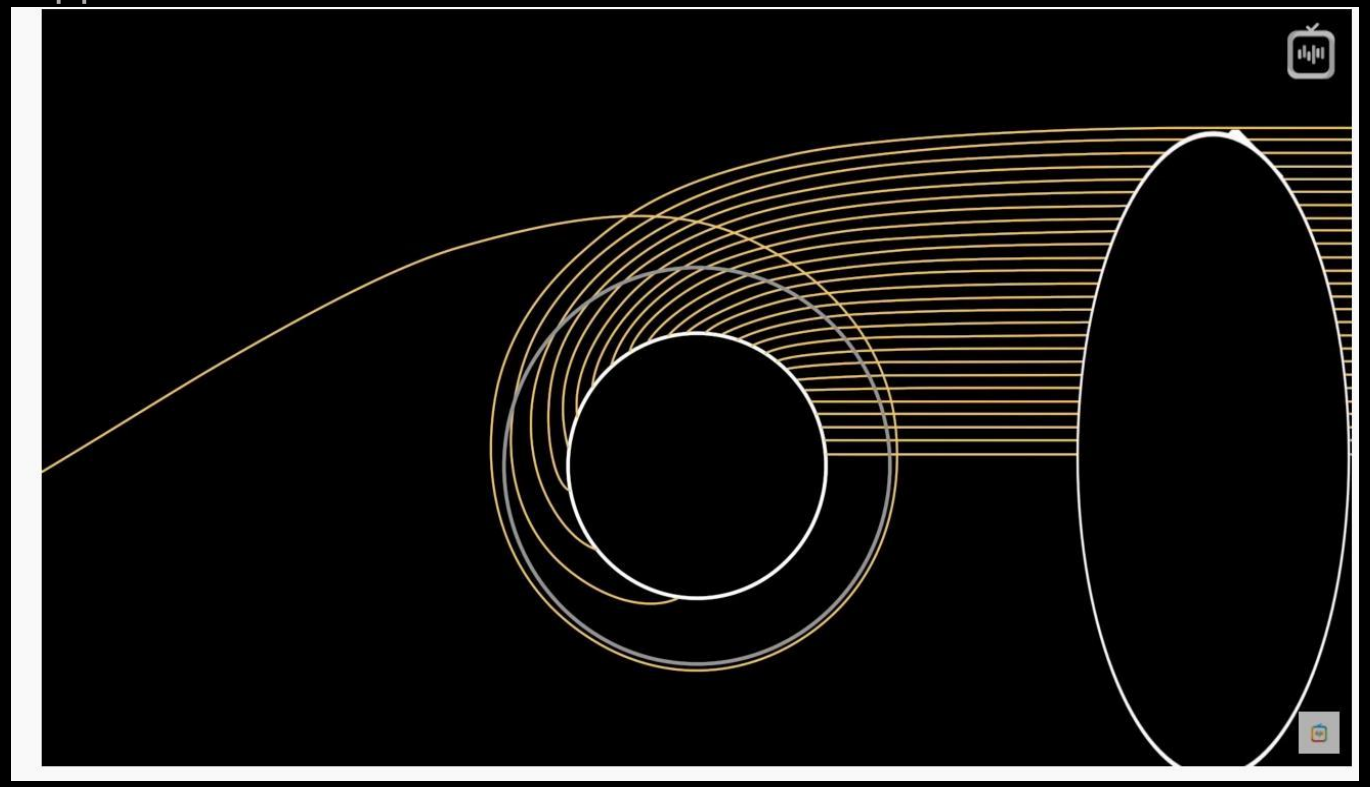


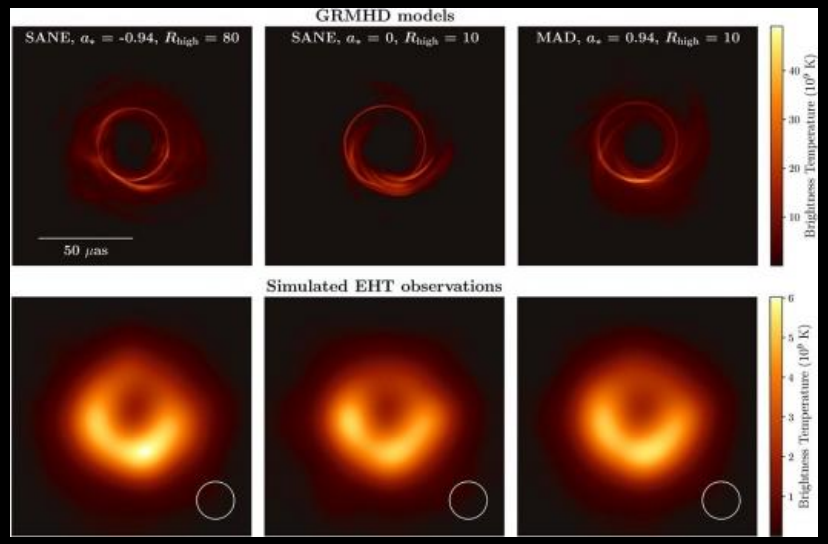




«Фото» чёрной дыры

10 апреля 2019 года Национальный научный фонд США впервые показал «фото» сверхмассивной чёрной дыры в центре галактики Messier 87, расположенной на расстоянии 54 миллионов световых лет от Земли. Она примерно в 6,5 млрд раз тяжелее Солнца. Изображение получили благодаря проекту Event Horizon Telescope, который включает в себя восемь радиотелескопов. Эти телескопы находились на разных континентах. На расшифровку и анализ полученных данных ушло два года.





ИЗЛУЧЕНИЕ ХОКИНГА

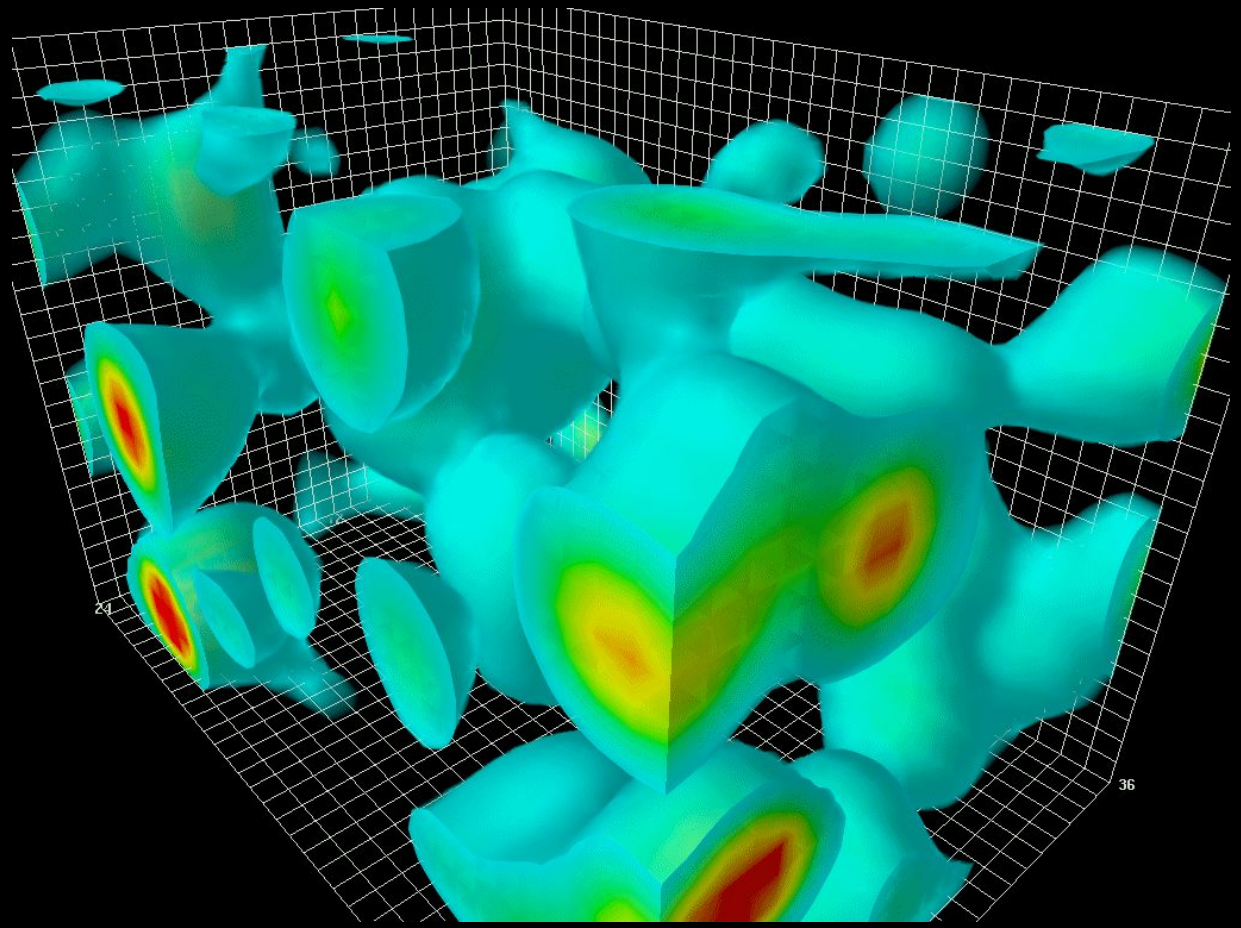
HAWKING RADIATION

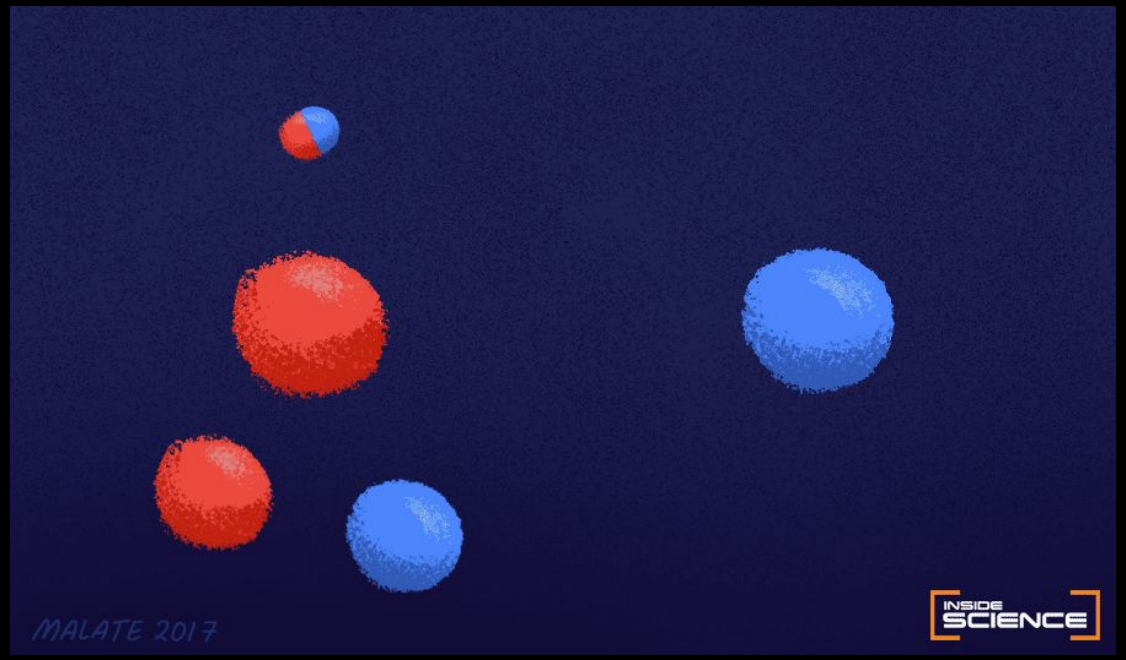
Что такое излучение Хокинга?

Поток частиц, который теоретически испускается сразу за горизонтом событий чёрной дыры. В 1974 году Стивен Хокинг предположил, что пары мелких субатомных частиц возникающие вблизи горизонта событий, могут привести к тому, что одна частица покинет окрестности черной дыры, в то время как другая частица с отрицательной энергией исчезает в нем. Поток частиц отрицательной энергии в черную дыру уменьшает ее массу до тех пор, пока она полностью не исчезнет в последнем всплеске излучения.

Механизм эффекта

Энергетические флуктуации вакуума





Спасибо за внимание