

A detailed visualization of the cosmic web, showing a vast network of galaxies and dark matter filaments. The background is a deep black space filled with numerous stars and distant galaxies. A prominent filament of yellow and orange light stretches across the frame, representing the distribution of dark matter. In the center, a cluster of galaxies is visible, including a bright yellow star and several smaller planets or moons. The overall image has a circular, lens-like appearance, suggesting a view through a telescope or a simulated universe.

Объекты в естествознании

И коротко о методах, которыми их изучают

Материальный мир.

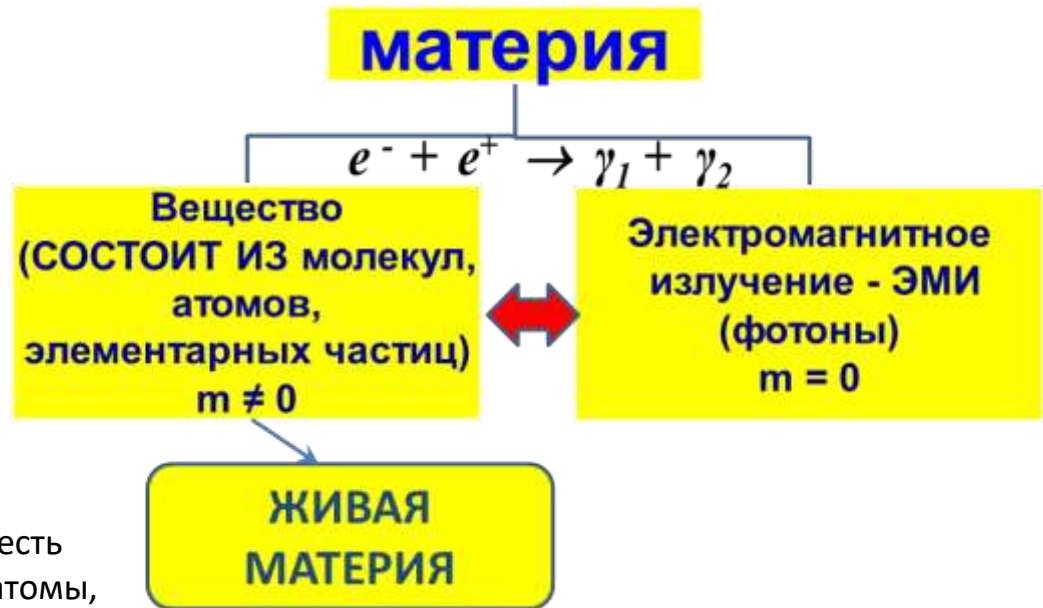
Прежде всего, окружающий мир состоит из **материи**, которая существует в двух **взаимосвязанных** формах: в **форме вещества и электромагнитного излучения (ЭМИ)***.



**Сейчас в физике понятие поля расширено, ибо бинарная оппозиция поле — вещество в современной физике некорректна, т.к. «вещество» также может быть описано специальными видами фундаментальных полей.*

Следует различать поле в математическом смысле как некое многообразие (напр., поле скоростей, температурное поле и т.д.) и физическое поле — (электромагнитное и ньютоново гравитационное) как особые среды, через которые передаётся определённый тип взаимодействия. Кроме того, со времён Эйнштейна гравитационное поле уже является не отдельным физическим понятием, а свойством пространства-времени, появляющимся в присутствии материи.

Материальный мир.



Вещество состоит из частиц, у которых есть масса (покоя). Из таких частиц состоят атомы, молекулы, химические вещества и составленные из них тела. В частности, из вещества состоит все живое.

Кроме обычного вещества ученые в лабораторных условиях обнаруживают антивещество: элементарные частицы, свойства которых в точности совпадают со свойствами соответствующих обычных частиц, но их заряд имеет противоположный знак.

Материальный
мир.



Электромагнитное излучение (ЭМИ) в зависимости от ситуации можно описывать одним из двух способов: как волны, т.е. возмущения особого физического поля, либо как поток особых частиц, фотонов, у которых нет массы покоя, зато есть импульс и энергия.

Материальный
мир.



Если частице дать возможность взаимодействовать со своей античастицей, они **аннигилируют («исчезают»**)*.

В результате аннигиляции пары электрон-позитрон, вместо этих частиц возникают несколько квантов электромагнитного поля, фотонов.

Такое «превращение» - свидетельство единства двух форм материи и материального мира в целом.

**Аннигиляция - превращение частицы и ее античастицы в результате взаимодействия в частицы иного типа. Речь идёт не об уничтожении или самопроизвольном возникновении материи, а лишь о взаимопревращениях частиц. Эти взаимопревращения управляются фундаментальными законами сохранения.*

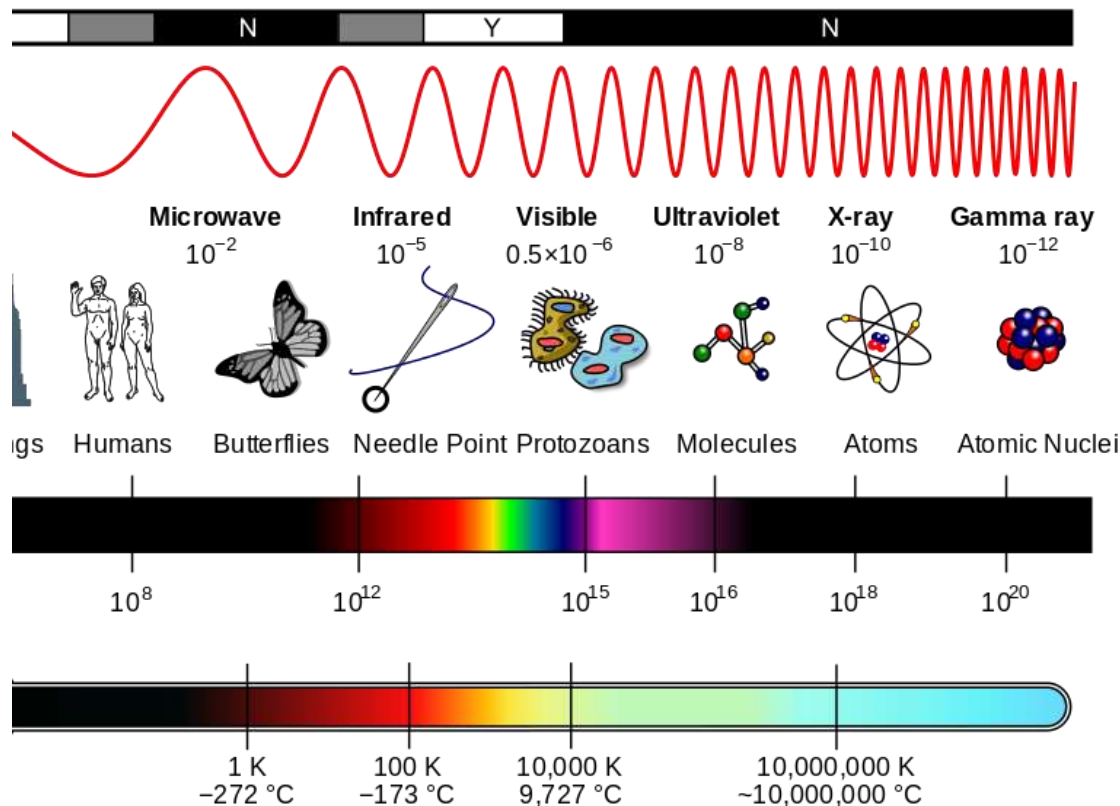
Материальный
мир.



Возможно и обратное явление: рождение из ЭМИ, обладающего достаточно большой энергией, электрон-позитронной пары. Причем для системы в целом (при условии ее изолированности от всех остальных взаимодействий) будут выполняться законы сохранения энергии и импульса.

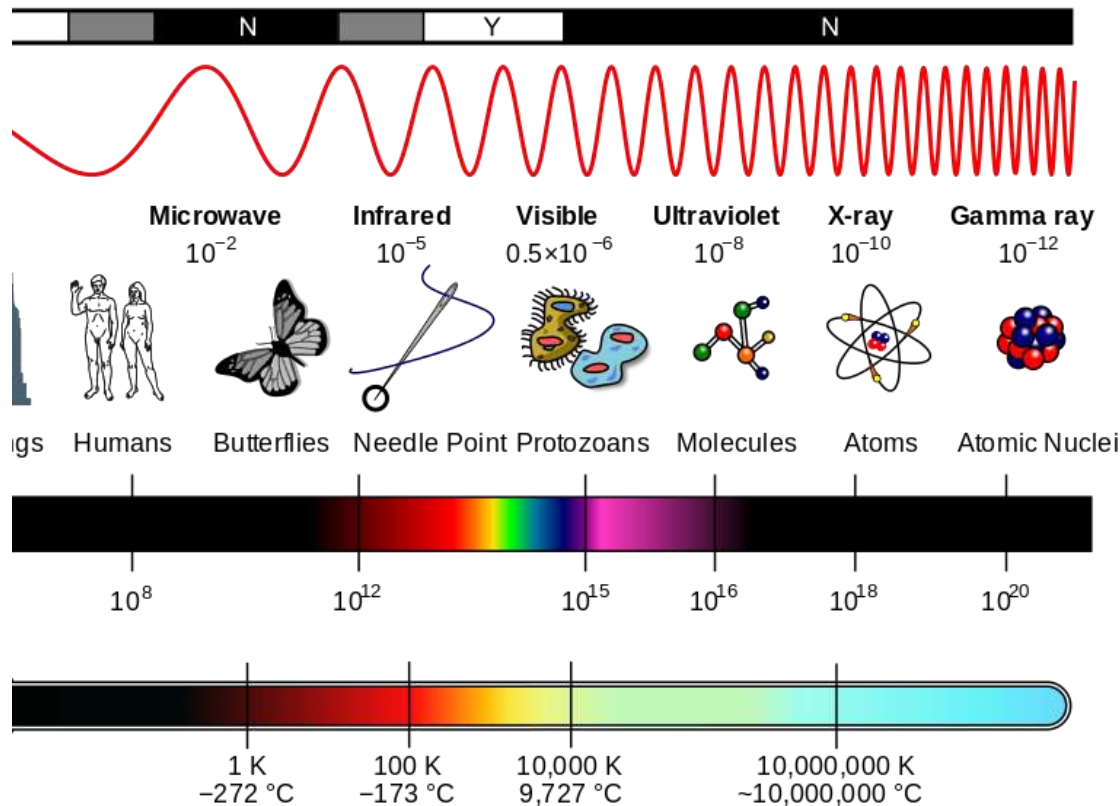
Такое «превращение» - свидетельство единства двух форм материи и материального мира в целом.

**Аннигиляция - превращение частицы и ее античастицы в результате взаимодействия в частицы иного типа. Речь идёт не об уничтожении или самопроизвольном возникновении материи, а лишь о взаимопревращениях частиц. Эти взаимопревращения управляются фундаментальными законами сохранения.*



Электромагнитное излучение —
основной инструмент
исследования природы.

- Электромагнитное излучение (ЭМИ) различается по цвету (в границах видимого диапазона), длине волны и соответствующей частоте.
- Различные диапазоны ЭМИ называют по-разному, это связано с историей их открытия и сложившейся традицией.
- Их физическая природа и способ описания одинаковы.
- В зависимости от частоты ЭМИ используется для изучения самых разных объектов: от атомных ядер до звезд и галактик.



- Далее мы будем использовать как синонимы термины ЭМИ, свет (имея в виду волновую природу) либо фотоны, гамма-кванты (если необходимо описание с помощью частиц-переносчиков).

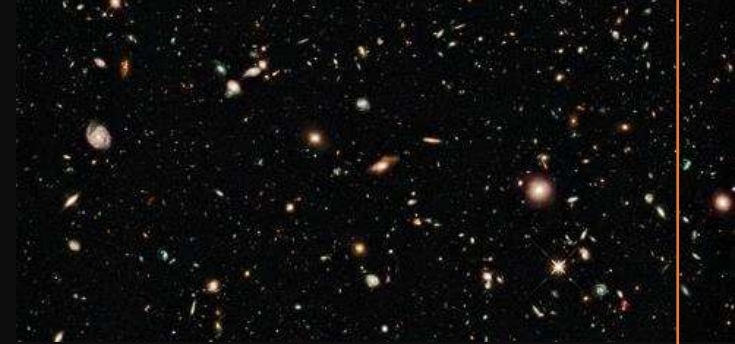
- Скорость распространения ЭМИ в вакууме постоянна, является мировой константой и равна ~ 300000 км/с.

Электромагнитное излучение –
основной инструмент
исследования природы.

- Упражнение: Выберите один из диапазонов ЭМИ и выясните, какие объекты изучают с его помощью. Какие свойства можно узнать с помощью света?*

Объекты в мегамире

- Объекты мегамира динамичны, разнообразны и составляют бóльшую часть Вселенной. Наблюдать объекты мегамира с Земли мы можем с помощью оптических телескопов и радиотелескопов. Солнце, планеты и малые тела Солнечной системы, другие звезды в галактике Млечный путь и другие галактики, доступная к наблюдению часть Вселенной (метегалактика) относятся к мегамиру.
- Звезды, которые ночью можно видеть на небосводе, находятся от нас на гигантском расстоянии, но все они принадлежат галактике Млечный путь. Некоторые из них похожи на Солнце, другие больше, горячее и ярче, третьи - меньше и тусклее.



Область неба, где почти нет звезд, из галактики Млечный путь. Почти каждый объект на этой фотографии – другая галактика

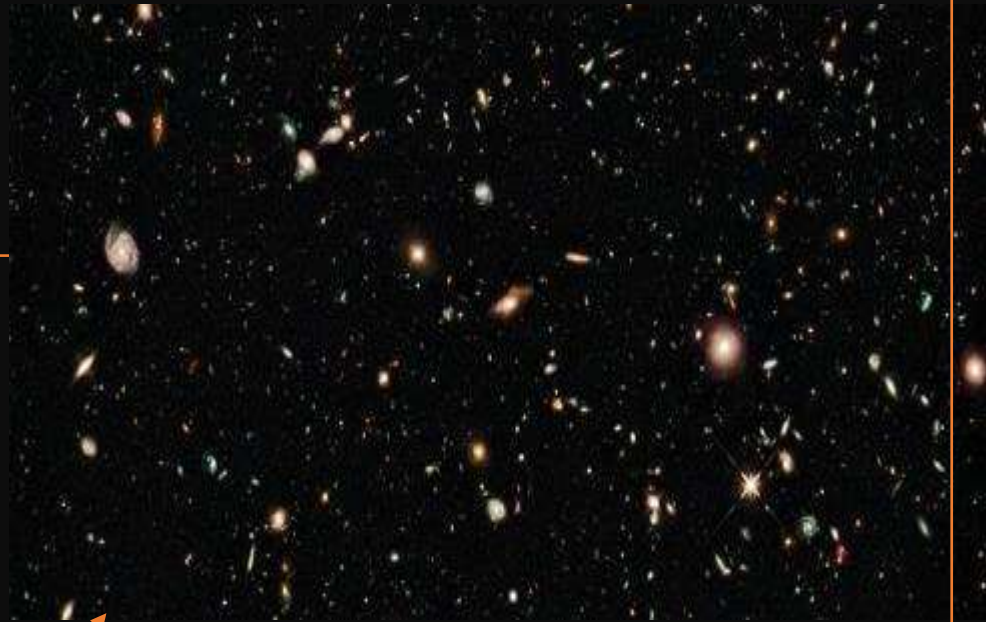


Вид южноевропейской обсерватории, расположенной в Чили

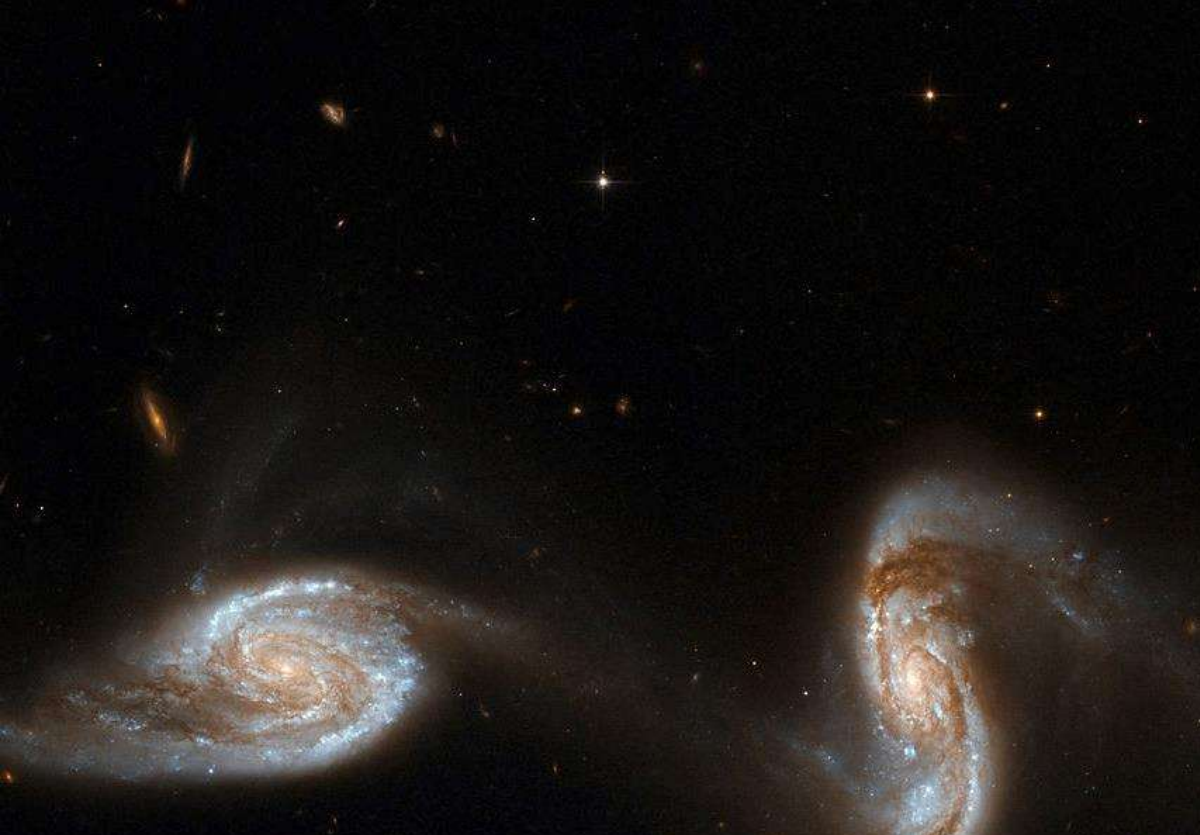
Объекты в мегамире

- Если посмотреть на небо в телескоп с достаточно хорошим увеличением, окажется, что даже там, где звезд, казалось бы, нет, все равно имеются светящиеся объекты – другие галактики. С помощью космических телескопов удастся разглядеть звезды в ближайших галактиках. Удивительно, они в общем такие же, как и в Млечном пути!

Область неба, где почти нет звезд, из галактики Млечный путь.
Почти каждый объект на этой фотографии – другая галактика



Вид южноевропейской обсерватории, расположенной в Чили

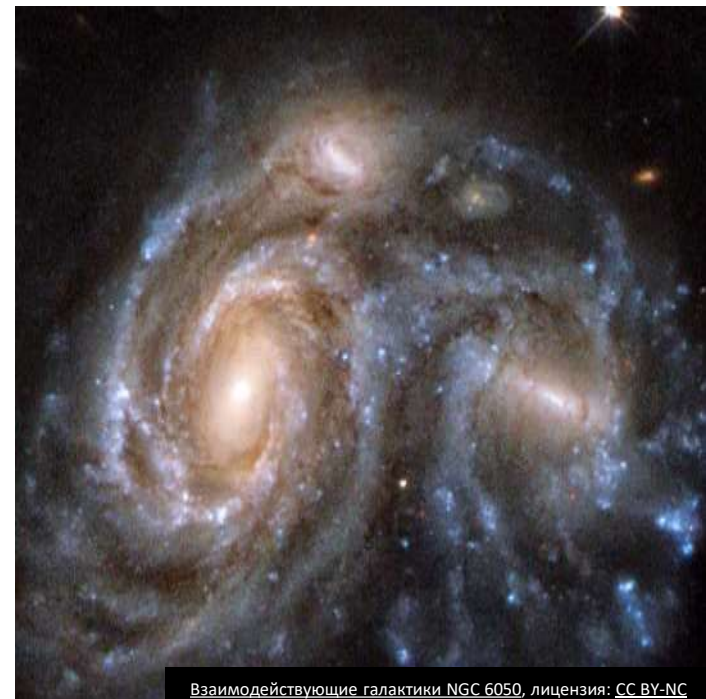


Процессы в мегамире

Процессы мегамира протекают в основном в течение миллионов и миллиардов лет, так что зафиксировать их течение за время жизни человечества обычно невозможно.



[NGC 7320C](#), автор: Неизвестный автор, лицензия: [CC BY-SA](#)



Взаимодействующие галактики NGC 6050, лицензия: [CC BY-NC](#)

[NGC 5257](#), лицензия: [CC BY-SA](#)

Процессы в мегамире

Иногда ученым везет.

В 1054 году китайские и японские астрологи задокументировали появление на небосводе необычайно яркой новой звезды, продолжавшееся несколько недель. Позже, в 1731 году британский врач и астроном Джон Бэвис обнаружил туманность, которую однозначно отождествили с этим историческим взрывом сверхновой.

Эта туманность и сейчас продолжает расширяться и ее фотографии можно получить даже с помощью любительских телескопов на земле. В ее центре сияет пульсар (нейтронная звезда). Свет от него излучается в основном в рентгеновском, гамма (самом коротковолновом) и радиодиапазоне (самом длинноволновом), так что увидеть его глазом невозможно, но можно зафиксировать с помощью специальных приборов.

Расстояние ~ 6500 св.л.; диаметр 11 св. л.; расширяется со скоростью ~1500 км/с.

Процессы в мегамире

2008



© 2017 Detlef Hartmann.

Расстояние ~ 6500 св.л.; диаметр 11 св. л.; расширяется со скоростью ~1500 км/с.

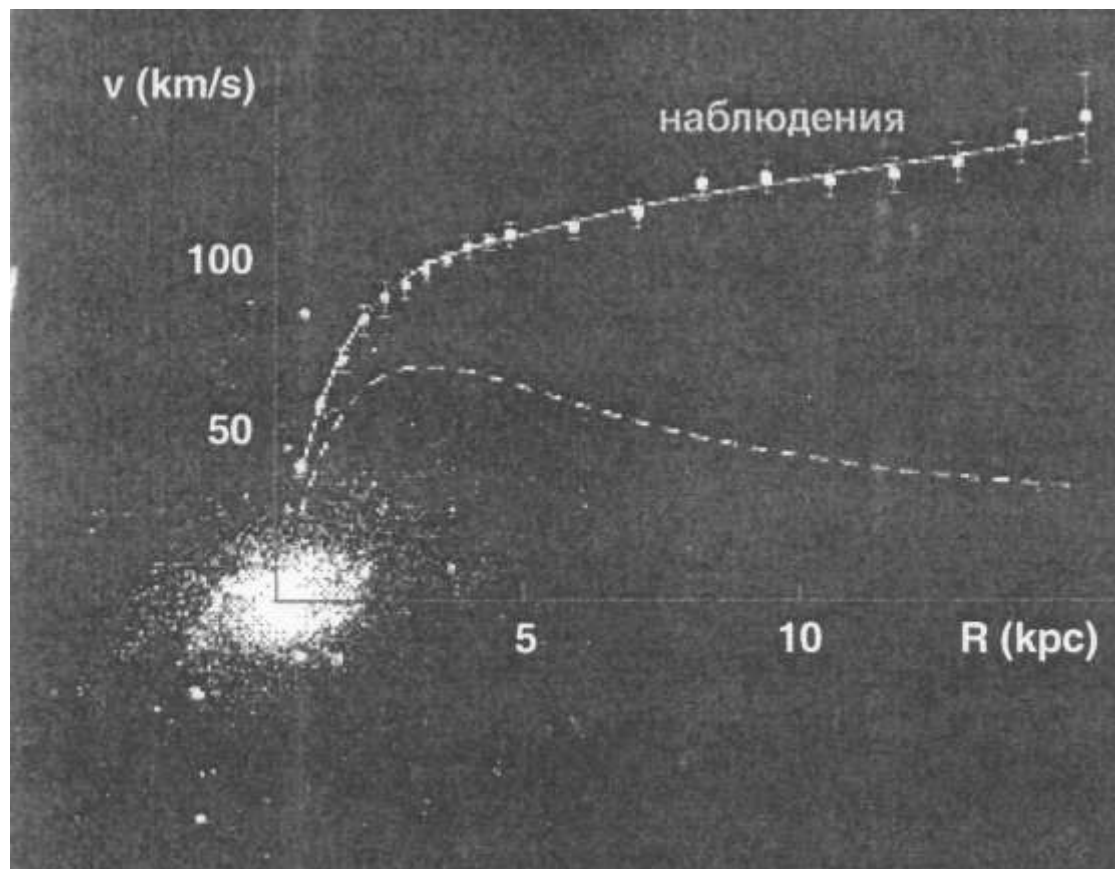
<https://apod.nasa.gov/apod/ap180104.html>

Видеоролик, составленный из снимков Крабовидной туманности, полученных за 110 лет можно найти здесь: http://spaceweathergallery.com/indiv_upload.php?upload_id=134317

Увидеть невидимое:
глобальная идея универсальности и
всеобщности законов природы

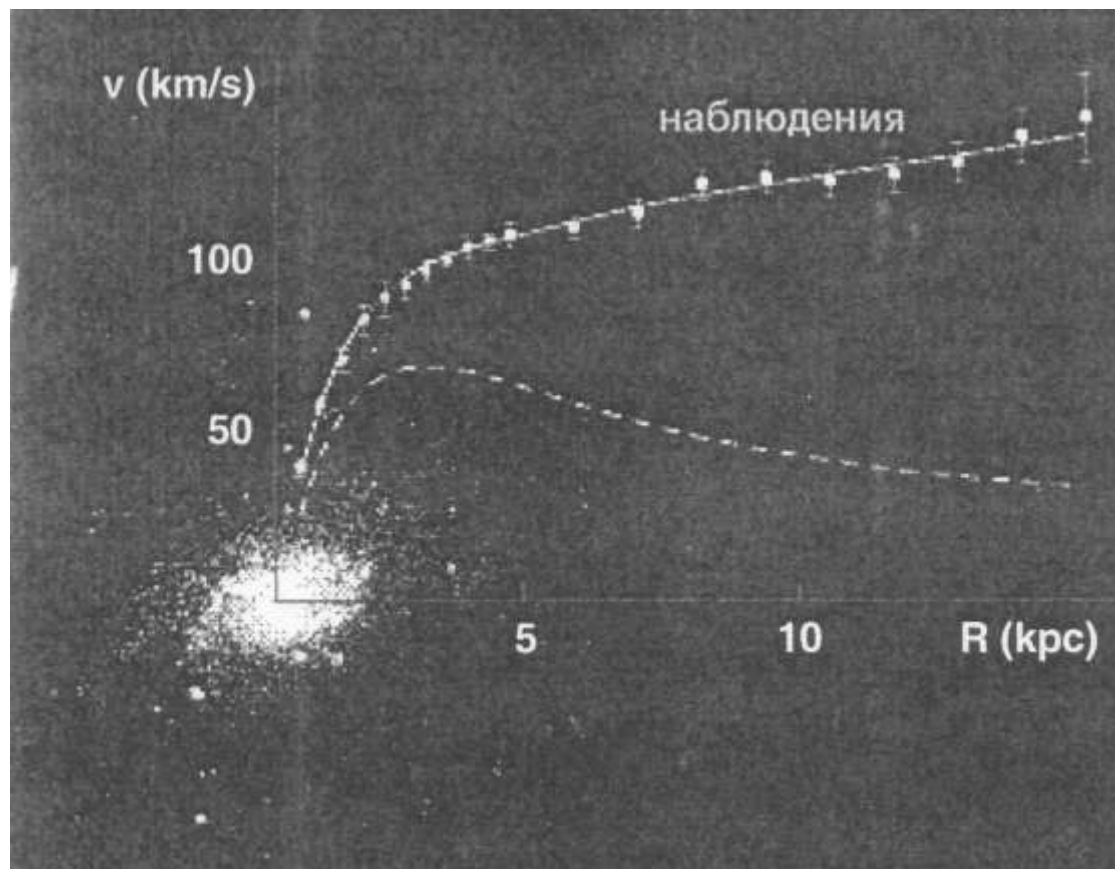
В некоторых случаях увидеть объекты мегамира невозможно не только глазом, но и с помощью приборов. Как быть в таком случае?

На помощь приходит убежденность в истинности наших представлений об универсальных законах природы и кропотливая работа с имеющимися данными наблюдений и экспериментов. Приведем два примера.



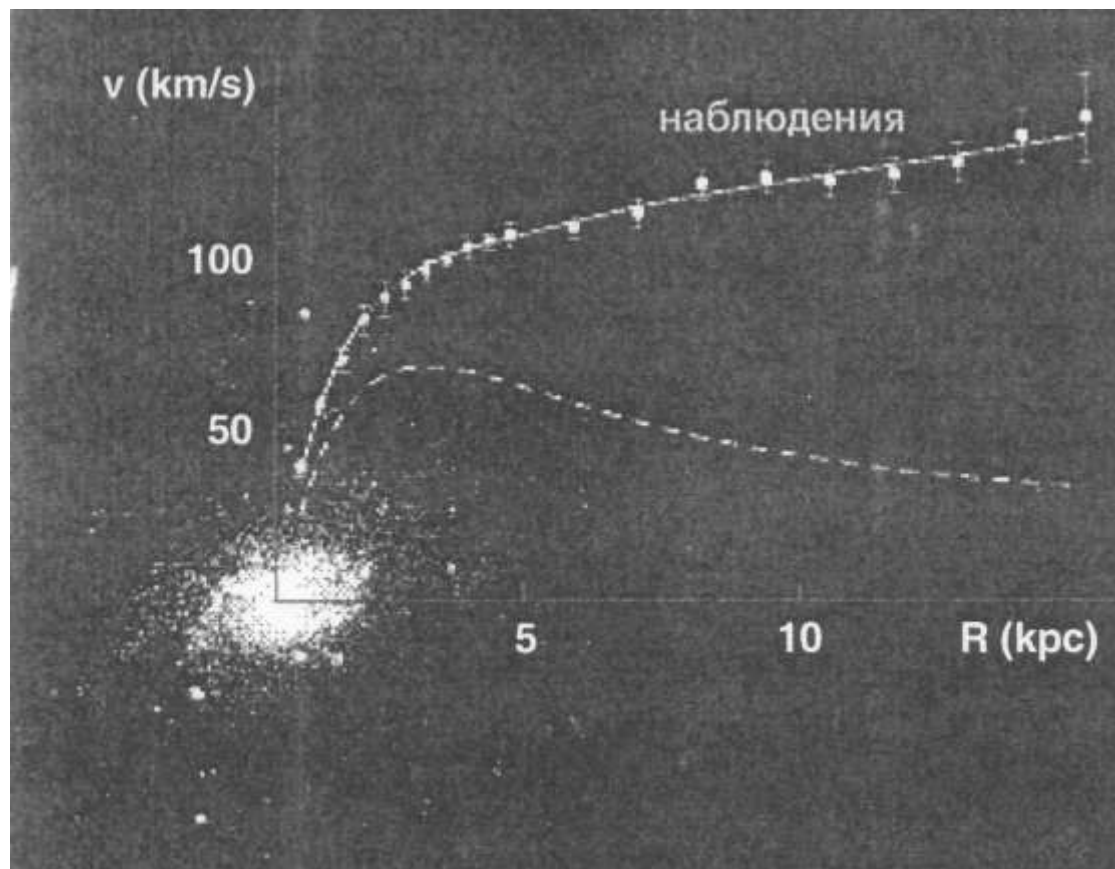
В середине 30-х гг. 20-го века швейцарский астроном Карл Цвикки измерил скорости, с которыми галактики скопления Волосы Вероники обращаются вокруг общего центра. Измеренные скорости не согласовывались с расчётами. Аналогичный результат для других галактик в 70-е гг. получила и обнародовала американский астроном Вера Рубин, заставив теоретиков задуматься о возможных причинах расхождения наблюдений с предсказаниями.

Увидеть невидимое:
глобальная идея универсальности и
всеобщности законов природы



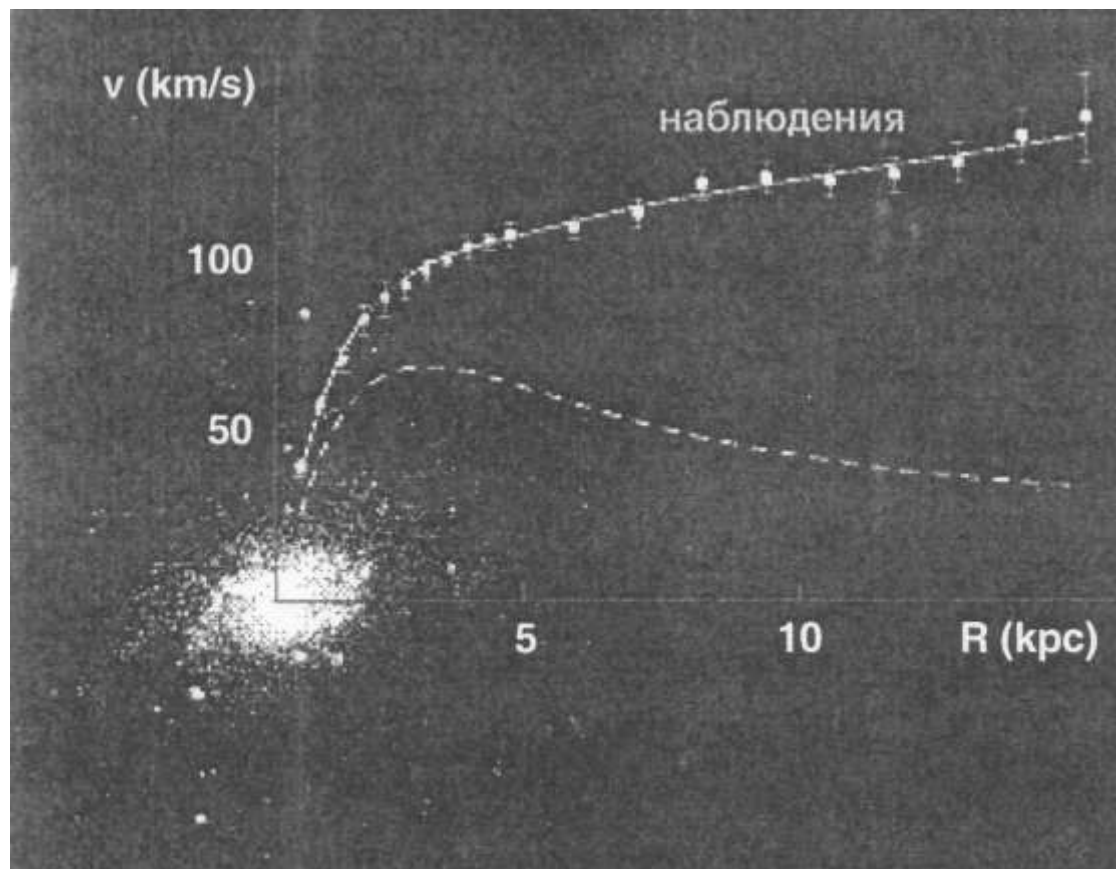
Такое несоответствие можно было бы объяснить, например, еще не изученным типом взаимодействий между звездами в других галактиках.

Увидеть невидимое:
глобальная идея универсальности и
всеобщности законов природы



Однако такое предположение довольно сложно вписать в имеющуюся ЕНКМ.

Увидеть невидимое:
глобальная идея универсальности и
всеобщности законов природы



Увидеть невидимое:
глобальная идея универсальности и
всеобщности законов природы

Более простым оказывается предположение, что вещество галактики подчиняется закону всемирного тяготения,

Но

большая часть вещества галактики не излучает, не отражает и не преломляет свет, что делает ее совершенно невидимой для наземных и околоземных наблюдателей.

Материю, которая обладает такими свойствами, назвали темной материей.

Существует множество свидетельств, указывающих на то, что темная материя значительно превышает по массе видимую материю.

Ее **природа** до конца не изучена, хотя у тех, кто профессионально занимается физикой частиц и физикой высоких энергий имеются некоторые «кандидаты в темную материю».

Общее название для таких частиц – **WIMP** (weakly interacting massive particles – слабо взаимодействующие массивные частицы). Их масса должна быть в сто раз больше массы протона, но обнаружить их очень сложно, так как в электромагнитных взаимодействиях такие частицы не участвуют.

Увидеть невидимое:
глобальная идея универсальности и
всеобщности законов природы

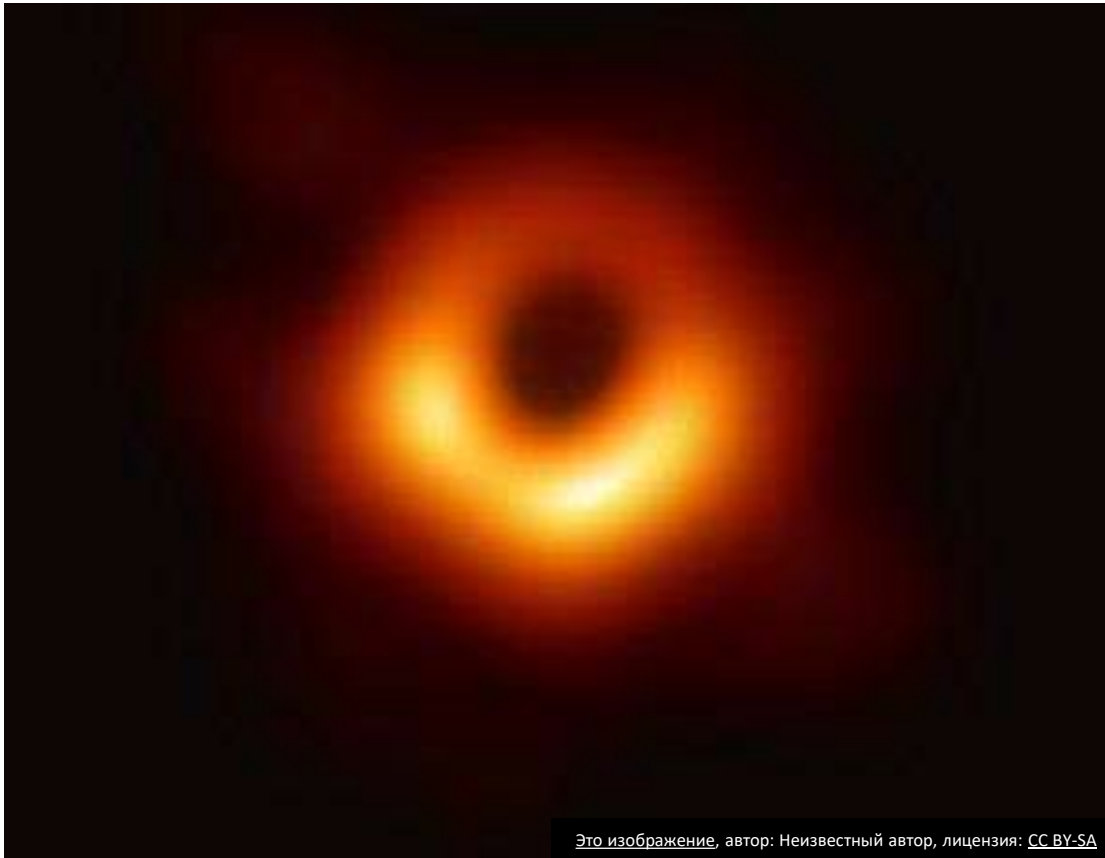
Более простым оказывается предположение, что вещество галактики подчиняется закону всемирного тяготения,

Но

большая часть вещества галактики не излучает, не отражает и не преломляет свет, что делает ее совершенно невидимой для наземных и околоземных наблюдателей.

Материю, которая обладает такими свойствами, назвали темной материей.

Увидеть невидимое:
глобальная идея универсальности и
всеобщности законов природы

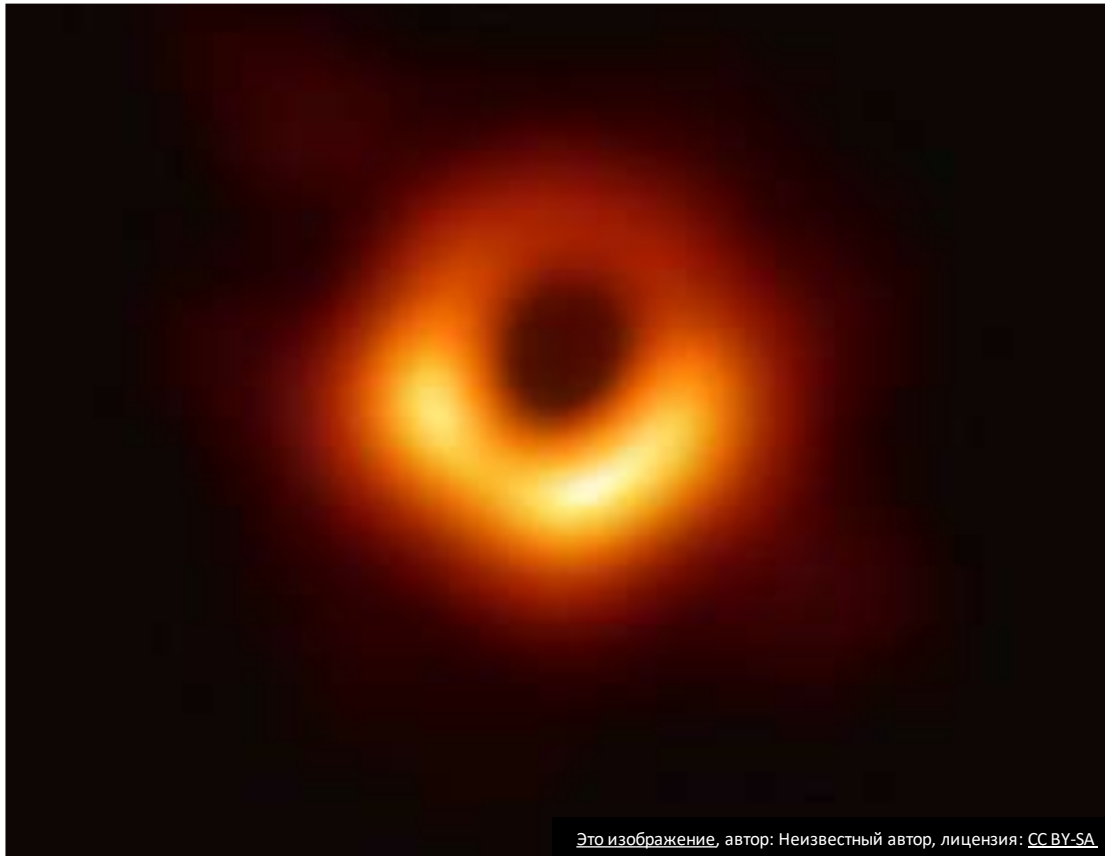


Это изображение, автор: Неизвестный автор, лицензия: [CC BY-SA](#)

Второй пример:
Гипотетическим кандидатом
на роль темной материи
некоторое время считались
черные дыры.

Черные дыры были
предсказаны Шварцшильдом
на основе анализа общей
теории относительности.
Дальнейший анализ показал,
что суммарная масса всех
черных дыр во Вселенной
недостаточна, чтобы
объяснить явления, связанные
с темной материей, так что их
рассматривают обычно как
самостоятельный класс
мегаскопических объектов.

Увидеть невидимое:
глобальная идея универсальности и
всеобщности законов природы



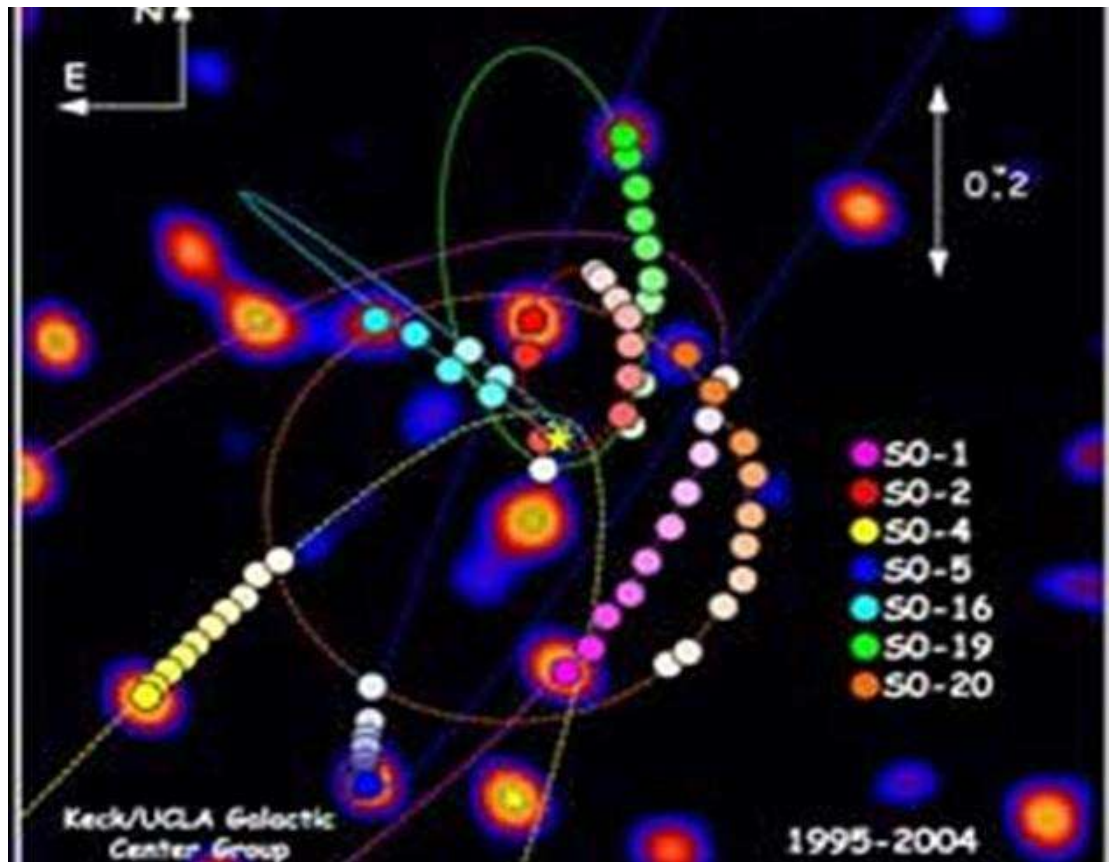
Это изображение, автор: Неизвестный автор, лицензия: [CC BY-SA](#)

Обнаружить черные дыры, как следует из их названия, тоже весьма сложно. Они также как и темная материя не могут излучать свет.

До последнего времени не было способов прямого обнаружения черных дыр, хотя свидетельства наличия черной дыры, например, в центре нашей родной Галактики признается всем научным сообществом.

Чтобы и вам присоединиться к научному сообществу, предлагаю взглянуть на следующий слайд.

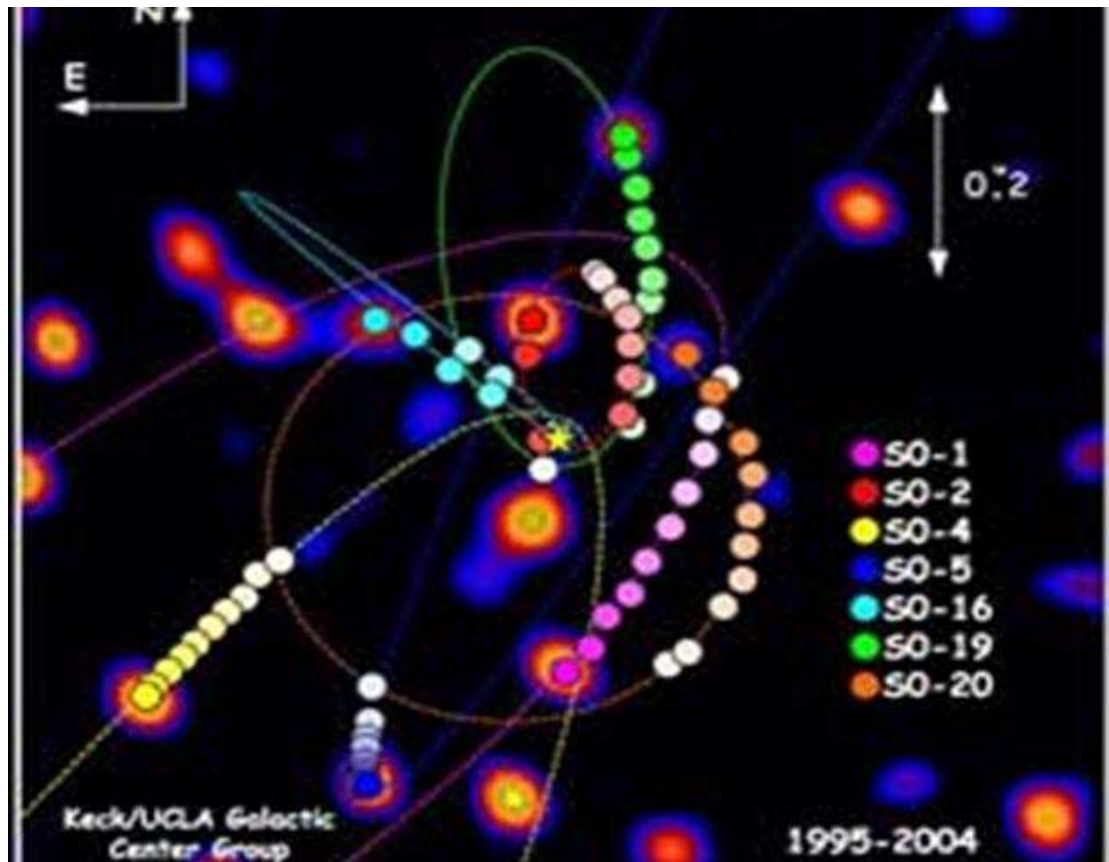
Увидеть невидимое:
глобальная идея универсальности и
всеобщности законов природы



Здесь одинаковыми цветами
отмечены последовательные
положения звезд центральной
части Галактики за 10 лет
наблюдений.

Что вы здесь видите?

Увидеть невидимое:
глобальная идея универсальности и
всеобщности законов природы

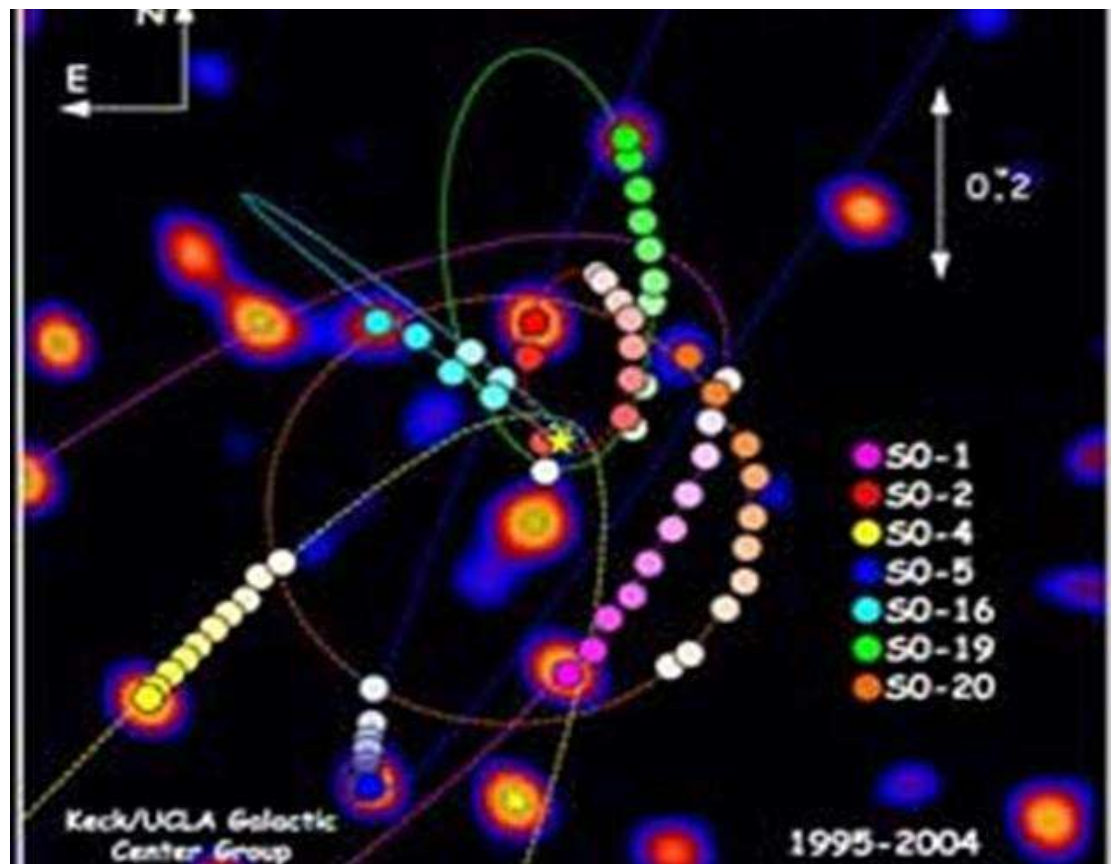


Действительно, орбиты имеют
общую область, довольно
небольшую (обозначена
звездочкой).

Если приглядеться, внутри
этой области ничего нет!

И это указывает на наличие в
этой области сверхмассивной
черной дыры.

Увидеть невидимое:
глобальная идея универсальности и
всеобщности законов природы



Как прийти к такому заключению?
Снова будем руководствоваться
предположением об
универсальности законов природы.

Движение небесных тел подчинено
закону всемирного тяготения. Под
действием тяготения тела могут
обращаться по эллиптическим
орбитам вокруг более массивного
тела, помещенного в фокус орбиты.

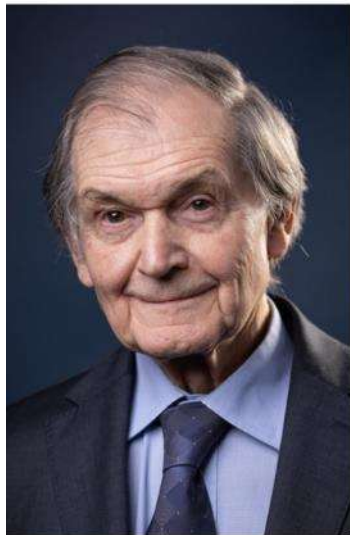
Анализируя яркость и светимость
звезд можно сделать вывод об их
массе, зная массу и траекторию
звезд, делают вывод о массе
объекта, находящегося в фокусе его
орбиты. Эта масса огромна.

Звезда, обладающая такой массой,
ну никак не могла бы поместиться в
отведенную для нее область.

А если все же «заставить» ее туда
поместиться, то есть считать ее
размер меньшим, чем область
перекрывания орбит всех наблюдаемых
звезд, то мы получим колоссально
высокую плотность вещества,
присущую только черным дырам.

Увидеть невидимое:
глобальная идея универсальности и
всеобщности законов природы

The Nobel Prize in Physics 2020



© Nobel Prize Outreach. Photo:
Fergus Kennedy

Roger Penrose

Prize share: 1/2



© Nobel Prize Outreach. Photo:
Bernhard Ludewig

Reinhard Genzel

Prize share: 1/4



© Nobel Prize Outreach. Photo:
Annette Buhl

Andrea Ghez

Prize share: 1/4

Это наблюдение, подкрепленное расчётом, стало первым подтвержденным открытием черной дыры. Сегодня астрономы считают, что в центральной области каждой из галактик во Вселенной имеется сверхмассивная черная дыра.

В 2020 году $\frac{1}{2}$ нобелевской премии по физике была присуждена Рейнхарду Генцелю и Андрее Гез "за открытие сверхмассивного компактного объекта в центре нашей галактики".

(Еще $\frac{1}{2}$ присуждена Роджеру Пенроузу "за открытие того, что образование черной дыры является надежным предсказанием общей теории относительности")

Вклад различных форм материи в общую массу Вселенной



Если подытожить знания человечества о составе Вселенной, получится, что знаем мы очень и очень мало. Хорошо изученное видимое вещество и ЭМИ составляют вместе не более 5% материи во Вселенной.



Вклад различных форм материи в общую массу Вселенной



Около $\frac{1}{4}$ массы вселенной составляет темная материя, о которой мы говорили несколькими слайдами выше.

А оставшиеся почти $\frac{3}{4}$ массы вселенной – это темная энергия*. Более подробно о ней мы поговорим в конце курса.



*Предположение о темной энергии и оценка ее вклада в общую массу Вселенной также следуют из наблюдаемых явлений и попытки их описать наиболее элегантно, не привлекая гипотезу о сверхъестественном и считая законы природы действующими одинаково во всей Вселенной. Наблюдаемое явление состоит в том, что Вселенная расширяется, причем с ускорением. Как будто неизвестная сила противостоит гравитации и не дает Вселенной замедлить свое расширение или же схлопнуться вовсе. Энергию, обуславливающую ускоренное расширение Вселенной, называют темной энергией или иногда антигравитацией. Она вездесуща, но наиболее ярко проявляется в космологических масштабах.

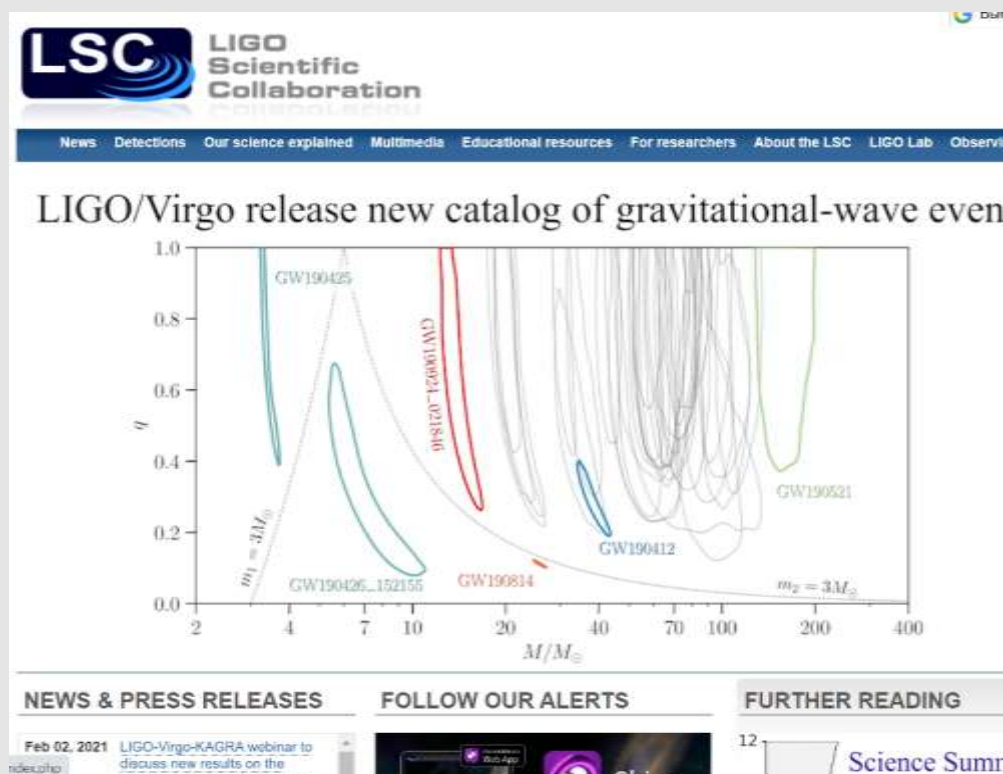
Наблюдение гравитационных волн, порожденных слиянием супермассивных объектов



11 февраля 2016 года
объявлено, что LIGO
впервые в мире
зарегистривовала
гравитационные волны.

Эти волны возникли в результате слияния двух черных
дыр массами около 30 масс Солнца, произошедшего
более миллиарда лет назад на огромном расстоянии от
Земли

Гравитационные волны – это способ изучить объекты, не излучающие ни в одном из диапазонов электромагнитных волн! Это принципиально новый инструмент для изучения вселенной.



Вероятно, гравитационно-волновые исследования в астрономии и космологии станут довольно распространенными в течение следующих 50 лет.

МАКРОМИР

$10^{-6} \dots 10^9 \text{ м}$

Мир соизмеримых с человеком масштабов называют макромиром. Он включает живую и неживую природу. Если попытаться охарактеризовать масштабы, то самые маленькие макроскопические объекты – это те, что можно еще увидеть в оптический микроскоп: мельчайшие насекомые, споры растений, песчинки, пыльца. Самые большие объекты, которые еще относят к макромиру, это географические и геологические объекты: горные хребты, моря и океаны, облака, течения в атмосфере и в океанах. Человек сам является представителем макромира. Объекты, процессы и явления макромира привычны нам. Останавливаться подробно на них мы не будем.

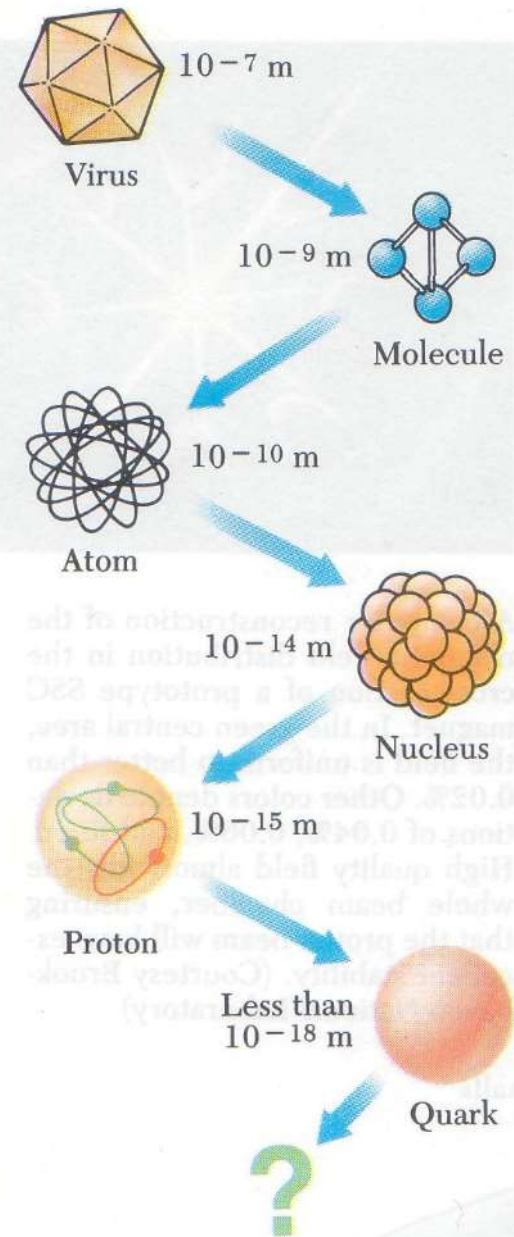
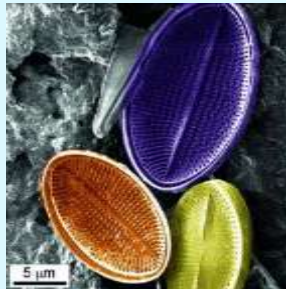


МИКРОМИР

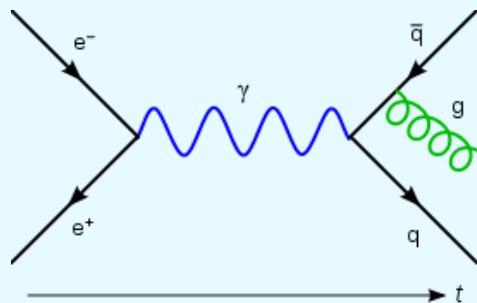
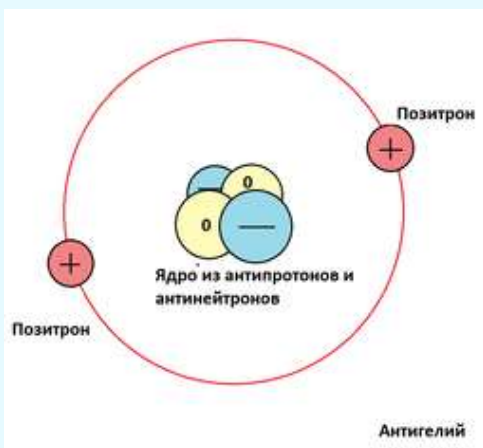
$< 10^{-6}$ м

Наверняка вы когда-то задавались вопросом: «Из чего все состоит, и есть ли какой-то предел делимости вещества?»

В ходе 20-го столетия благодаря развитию теоретической физики, квантовой теории и технологии строительства ускорителей частиц, удалось доказать наличие внутренней структуры у атома, атомного ядра и даже у протонов и нейтронов, входящих в состав атомного ядра.



МИКРОМИР



- Кроме того оказалось, что электронами, нейтронами и протонами многообразие элементарных частиц не ограничивается. Были получены античастицы обычного вещества, а также обнаружены особые ядерные силы, играющие роль в микромире. Ядерным силам соответствуют особые частицы, агенты-переносчики.

Стандартная модель

- наименьший набор фундаментальных частиц, позволяющий описать все многообразие форм существования материи

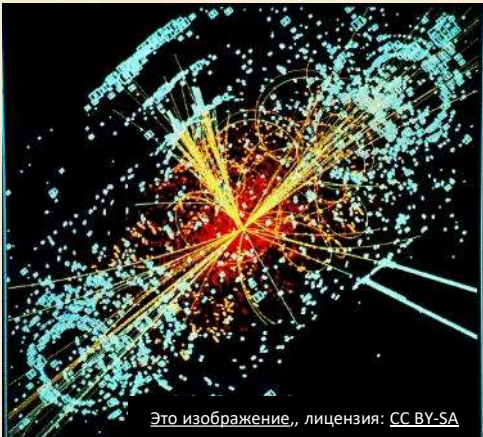


- Наиболее полная на сегодняшний день самосогласованная теория строения вещества называется «стандартная модель». Выделяют три типа фундаментальных частиц: лептоны, кварки (не существуют в свободном виде, но из них состоят, например, протоны и нейтроны) и фундаментальные бозоны, осуществляющие взаимодействия.

- Все многообразие материального мира в итоге сводится к взаимодействиям с участием частиц, указанных на слайде. Увидеть или потрогать эти частицы невозможно! Но ученые вновь руководствуются принципом поиска самого простого и полного объяснения, и используют теоретические вычисления вместе с экспериментальной проверкой всех следствий, вытекающих из имеющейся модели.

Стандартная модель

- наименьший набор фундаментальных частиц, позволяющий описать все многообразие форм существования материи



Это изображение,, лицензия: CC BY-SA



© Nobel Media AB. Photo: A. Mahmoud

François Englert

Prize share: 1/2



© Nobel Media AB. Photo: A. Mahmoud

Peter W. Higgs

Prize share: 1/2

- Одним из следствий Стандартной модели была довольно массивная частица, обнаружить которую предположительно можно было только в экспериментах с участием очень быстрых (высокоэнергетичных) частиц. Достичь нужных энергий можно в ускорителе специального типа, коллайдере, при столкновении адронов, но его размер должен быть очень большим.
- Было принято решение о строительстве Большого адронного коллайдера (LHC – Large hadron collider).
- В 2013 году с его помощью предсказанная частица – бозон Хиггса – был обнаружен, и всего двумя годами позже за это предсказание, сделанное буквально «на кончике пера» Франсуа Энглера и Питера Хиггса были удостоены Нобелевской премии.
- Для стандартной модели это очень важная частица. Она позволяет понять механизм возникновения массы у всех остальных частиц и тел, которые из этих частиц состоят.