

История важнейших астрономических открытий

Сергей Попов
(ГАИШ МГУ)

Какими бывают открытия?

Неожиданные

Противоречащие «здравому смыслу»

Понятные на словах

Ставлящие не точку, а многоточие . . .

Меняющие картину мира

Горячая (но субъективная) десятка

1. Открытия Галилея и его современников
 - Пятна на Солнце
 - Горы на Луне
 - Спутники Юпитера
 - Фазы Венеры
 - Звезды в Млечном Пути
2. Открытие Урана
3. Звездные параллаксы
4. Межзвездная среда
5. Мир галактик
6. Расширение вселенной
7. Реликтовое излучение
8. Нейтронные звезды
9. Экзопланеты: горячие юпитеры
10. Ускорение расширения вселенной

В список не попали:

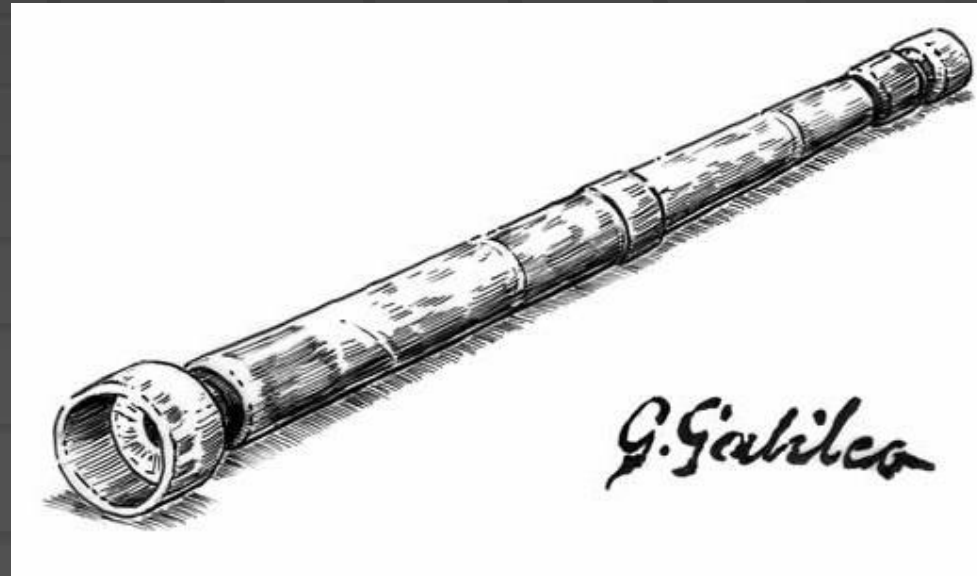
- Темное вещество и черные дыры
- Космические лучи и нейтрино
- Появление спектрального анализа
- Всеволновые наблюдения
-
- Квазары

Семнадцатый век начинается ...

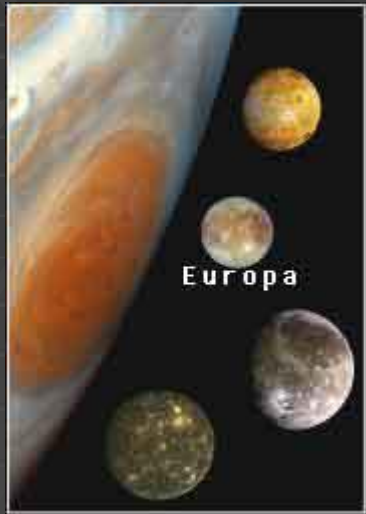


Hans Lippershey

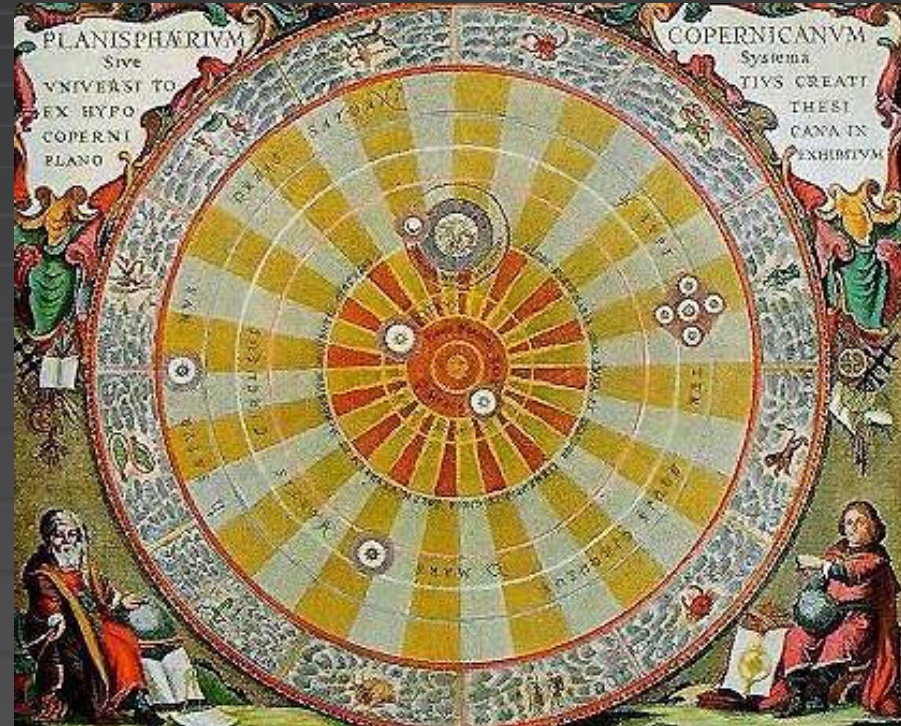
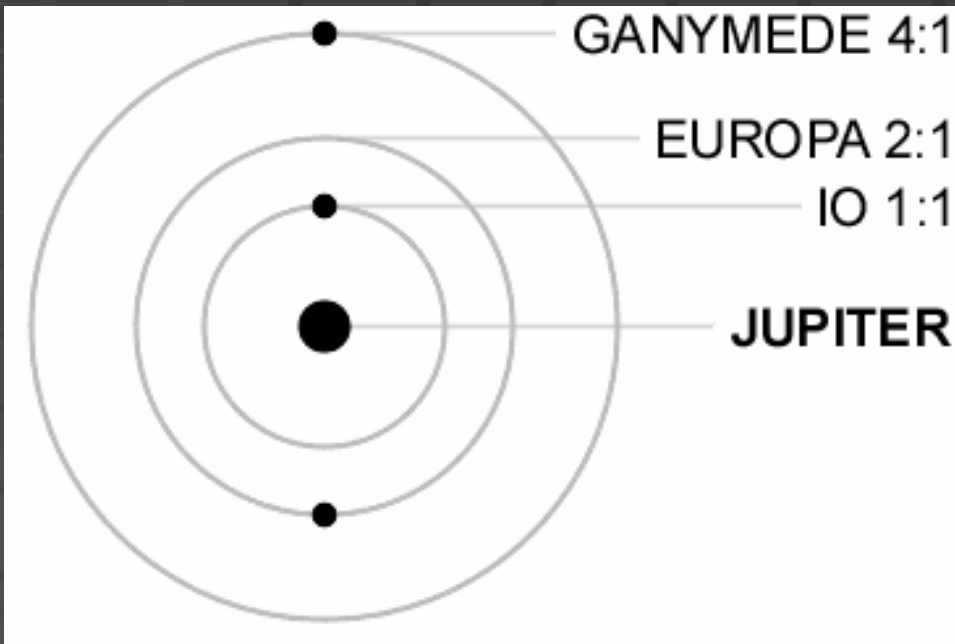
Разные люди в разных странах независимо использовали подзорные труб для наблюдения небесных тел. Однако наиболее осмысленно к этому делу подошел Галилео Галилей. Им была сделана серия открытий, многие из которых независимо были сделаны и другими исследователями.



Спутники Юпитера

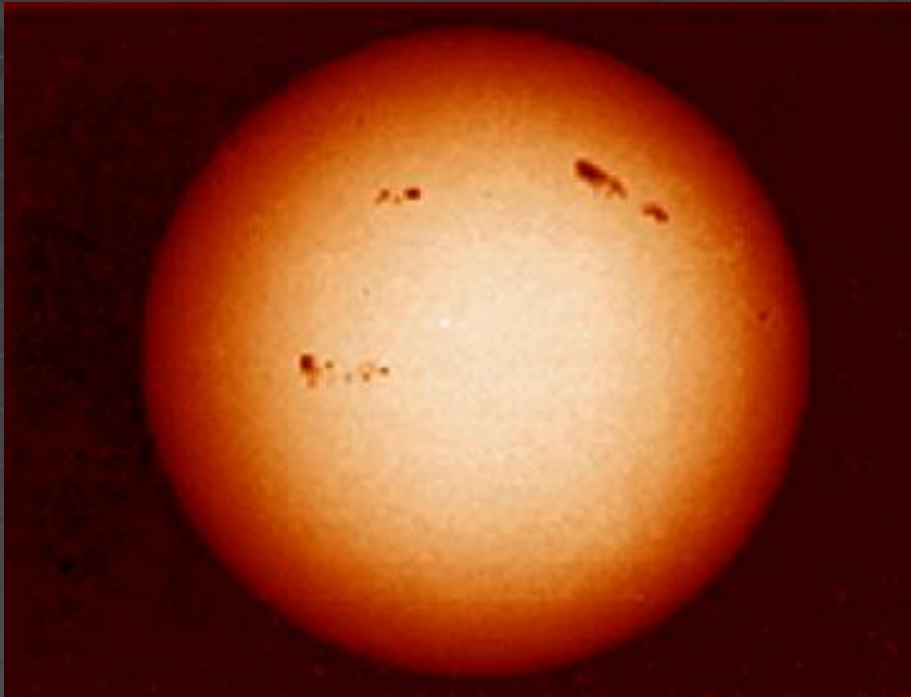


Чем важно?



Открытие системы спутников Юпитера давало яркий и всем понятный пример того, что Земля не является центром вращения всего на свете.

Пятна на Солнце



Пятна на Солнце иногда бывают настолько большими, что видны невооруженным глазом.

Однако телескопические наблюдения позволили наблюдать пятна регулярно.

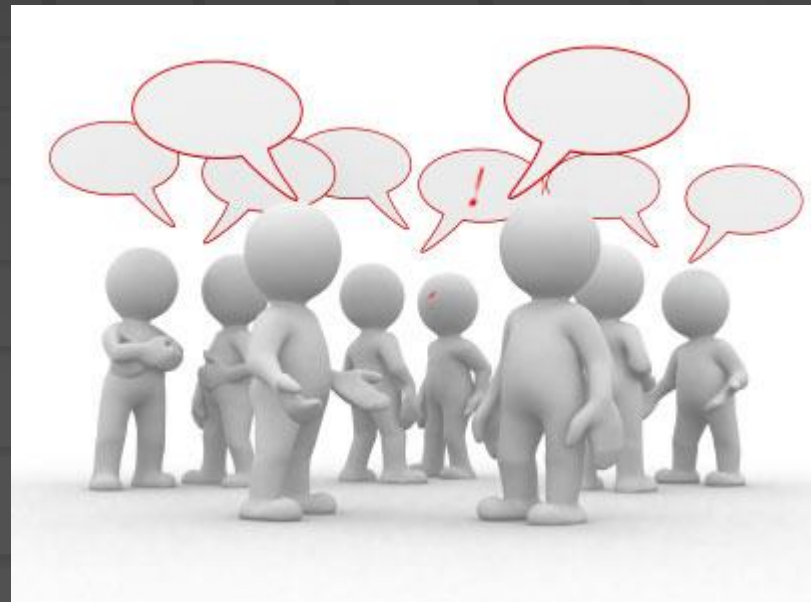
Чем важно?

Nota bene!

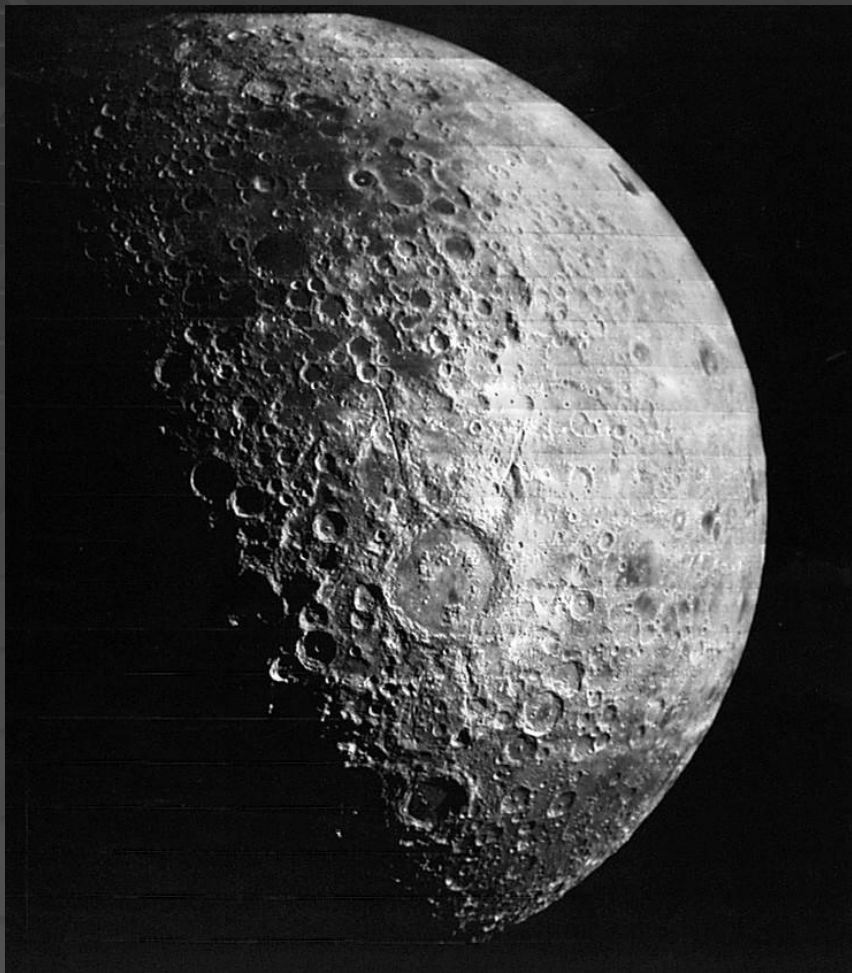
Наличие пятен на Солнце – одно из немногих астрономических открытий, которое вошло в поговорки.

Была продемонстрирована «неидеальность» ключевого объекта надлунного мира.

Т.к., пятна появляются и исчезают, то значит Солнце изменчиво.
Удалось увидеть вращение Солнца.



Горы и ущелья на Луне



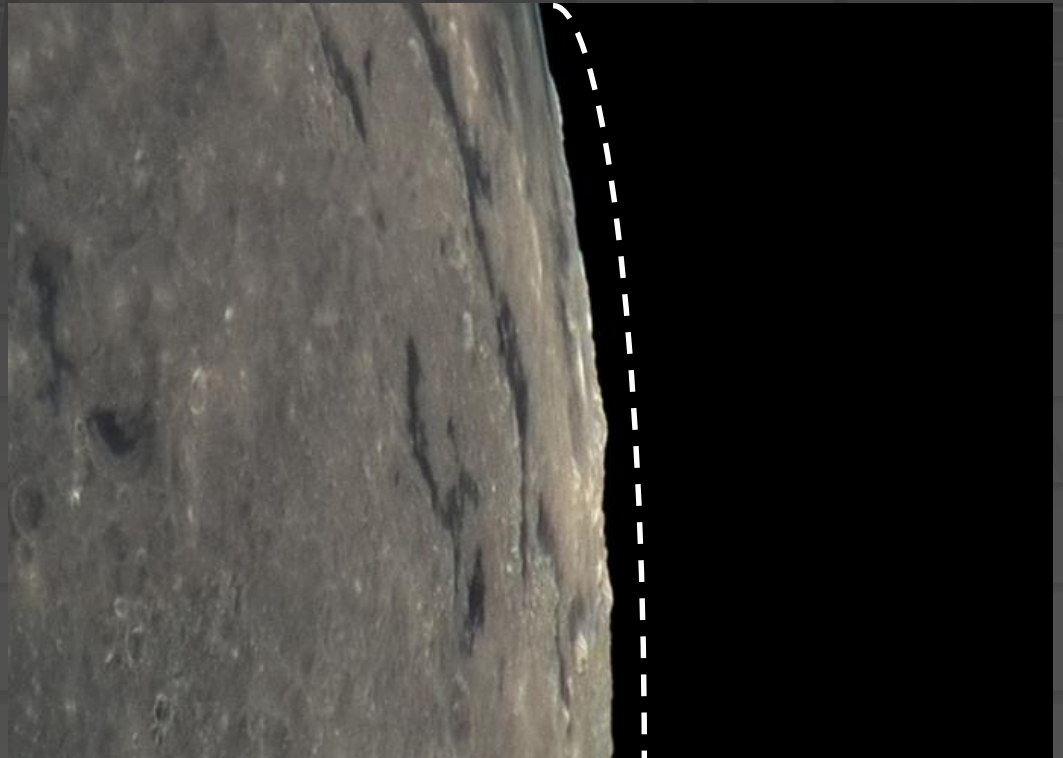
До сих пор зрелище лунных пейзажей остается одним из самых завораживающих при взгляде в любительский телескоп.

Нетрудно даже определить высоту гор. Это также было сделано Галилеем.

Чем важно?

Была продемонстрирована неидеальность Луны.

Это настолько противоречило взглядам времени, что Lodovico delle Colombe предположил, что Луна покрыта слоем прозрачного вещества, которое все-таки делает ее идеальной сферой.



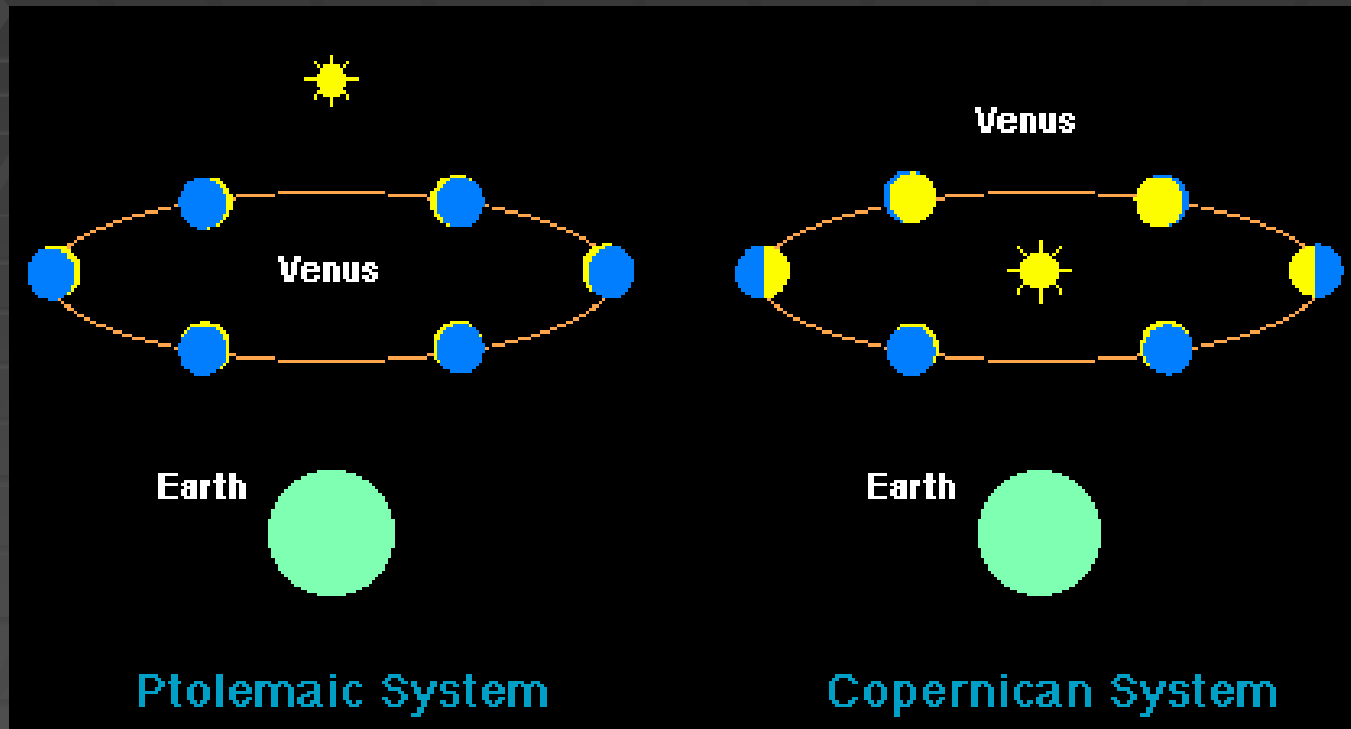
Фазы Венеры



Говорят, что некоторые люди видят фазы Венеры даже невооруженным глазом.

Однако важна достоверность и воспроизводимость. Это стало возможным с появлением простейших телескопов

Чем важно?



Объяснение фаз Венеры естественным образом возможно, только в предположении, что Земля и Венера обращаются вокруг Солнца.

Звезды в Млечном Пути



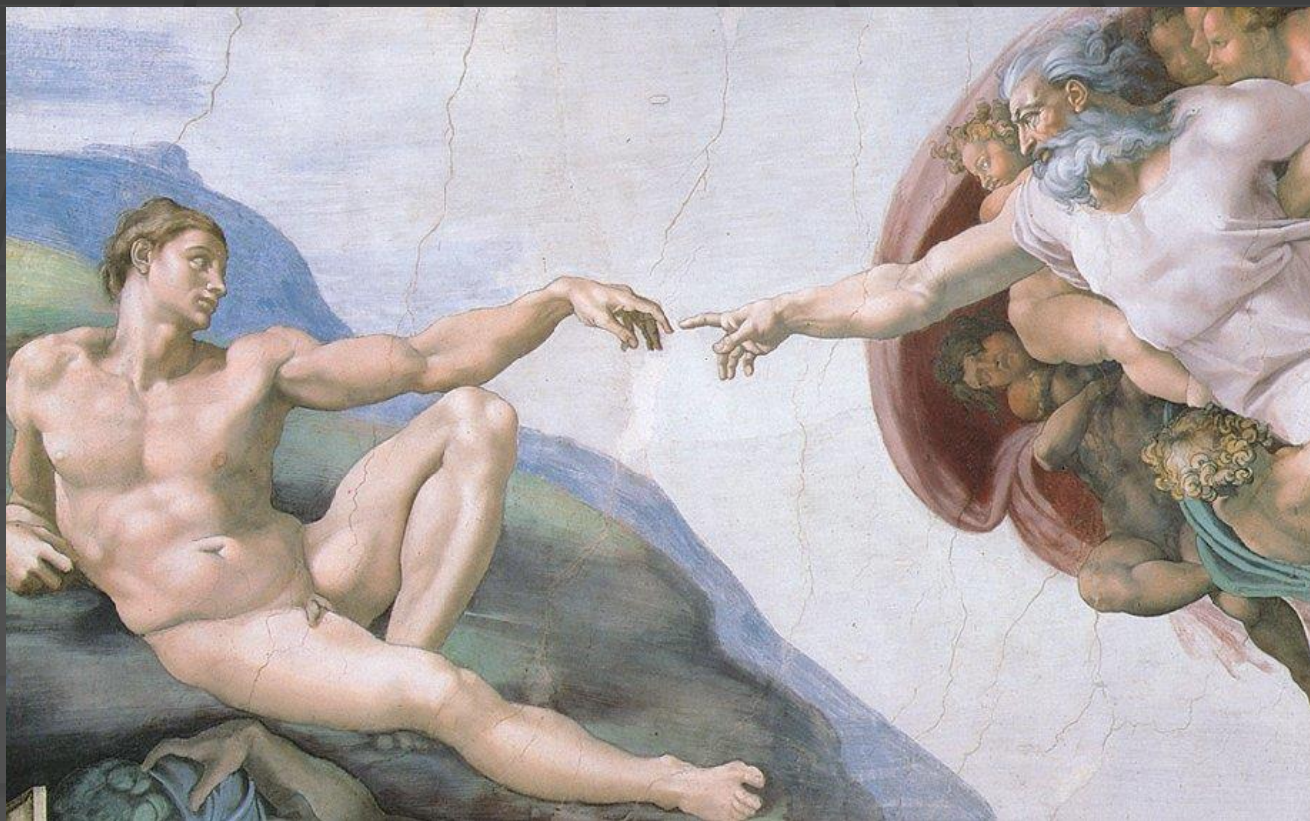
Наведя свой телескоп на Млечный Путь, Галилей обнаружил, что он состоит из множества слабых звезд, *не видимых невооруженным глазом.*

Чем важно?

Так же как микроскоп показал наличие микроорганизмов, не видимых глазу, так и телескоп открыл картину, глазом не видимую.

Причем стало ясно, что подавляющее большинство звезд невооруженным глазом увидеть нельзя.

Это говорит о том, что мир и человеческий глаз не «подогнаны».



Открытие Урана



Уран – довольно яркий объект. Его несколько раз вносили в каталоги как звезду. Но понадобился мощный инструмент и хороший наблюдатель, чтобы установить истинную природу объекта и тем самым – раздвинуть границы Солнечной Системы. Это сделал Вильям Гершель в 1781 году.



Телескоп понадобился лишь 15-сантиметровый. Дело было в уровне и работе наблюдателя.

March 12. 5^h 45^m in the morning
Mars seems to be all over bright but the air
is so frosty & undulating that it is possible there
may be spots without my being able to distinguish
them. W^m H. 20th!

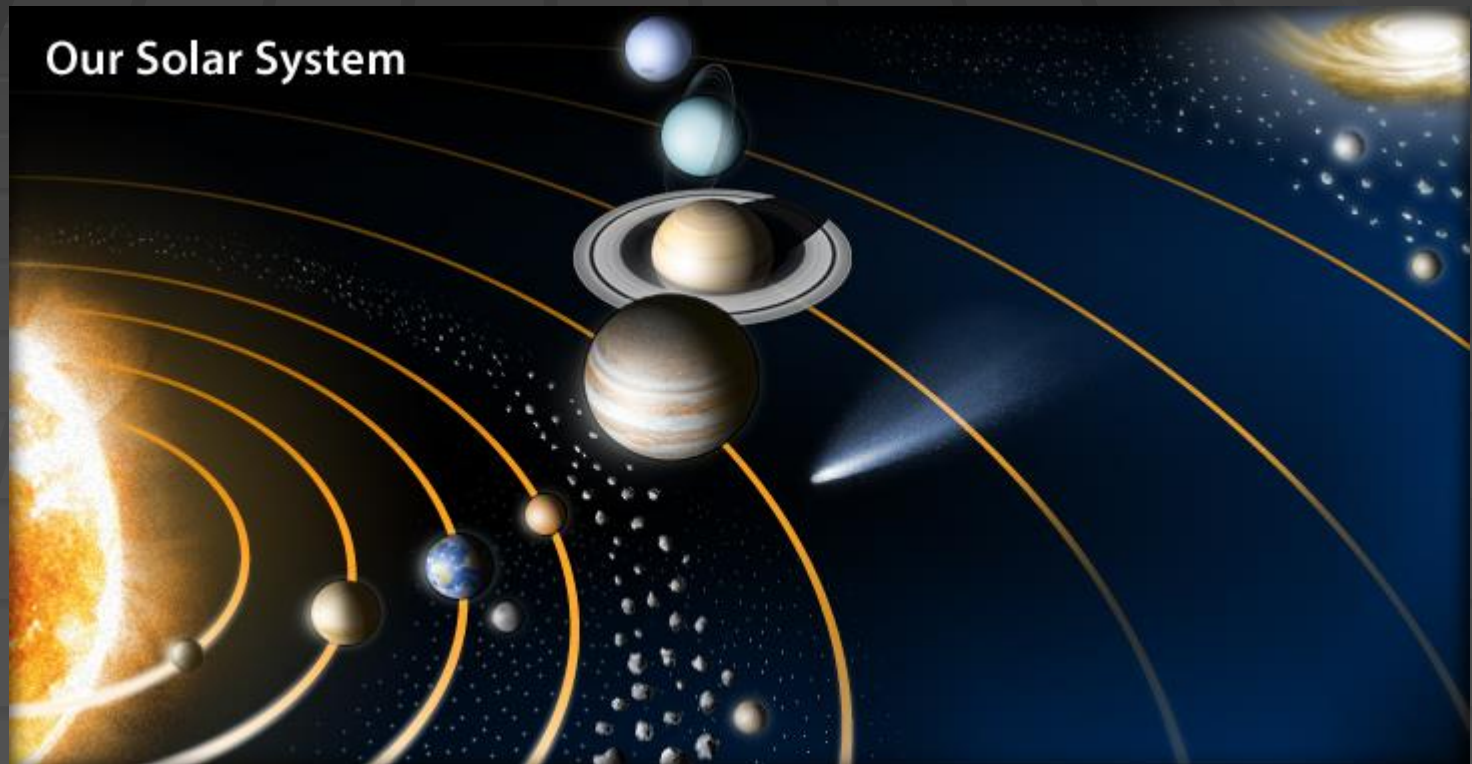
53' I am pretty sure there is no spot on Mars
the shadow of Solomons ring lays at the left
upon the ring

Tuesday March 13
Pollux is followed by 3 small stars at abt 2'
and 3' distance.
as usual. p H
in the quartile near ζ Tauri the lowest of two is a
curious ether Nebulous star or perhaps a Comet.
preceding the star that precedes ν Gemmae minoris double
about 60"
a small star follows the Comet at $\frac{2}{3}$ of the field's
distance
~~52. 33~~

SCIENCEPHOTOLIBRARY

Чем важно?

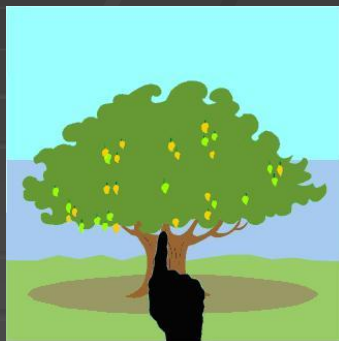
Открытие раздвинуло границы Солнечной системы.
Кроме того, суть произошедшего легко понять.
Т.е., раздвинулась картина мира в головах всех
сколь-нибудь образованных людей.



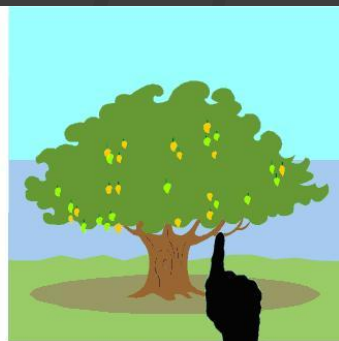
Звездные параллаксы

Звезды – далекие Солнца?

В течение веков некоторые ученые так думали, но были и серьезные основания для сомнений. Необходимо было обнаружить простой эффект.



Right eye open



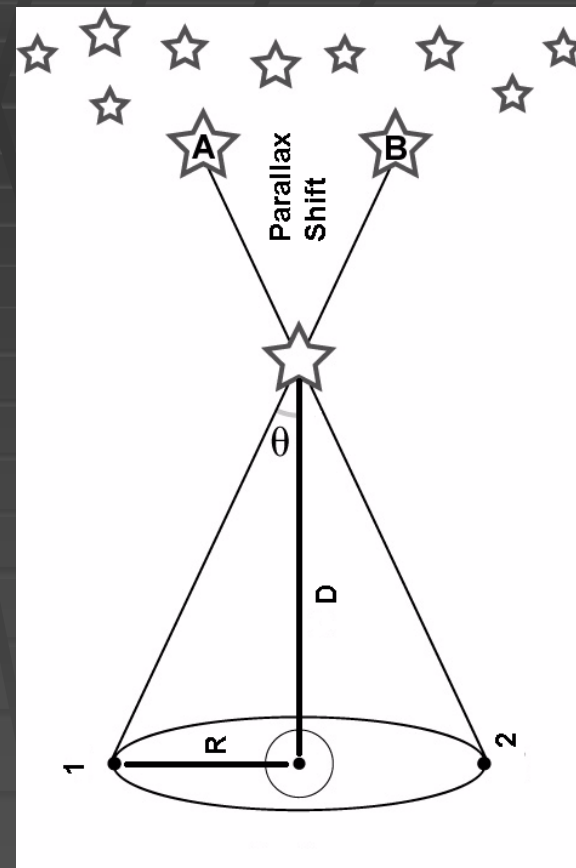
Left eye open



Тихо Браге

Если мы смотрим на некий предмет то одним, то другим глазом, то он сдвигается на фоне более далеких.

Так можно измерять расстояние до довольно далеких объектов.



Параллактический сдвиг из-за движения Земли вокруг Солнца.

Первые измерения параллаксов



В.Я. Струве.
Вега. 1837 г.



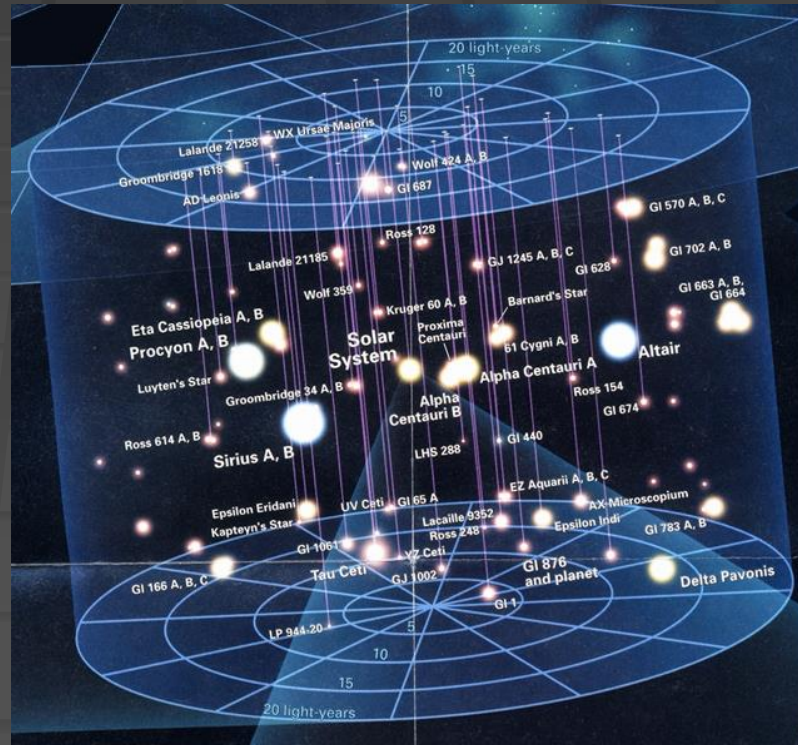
Ф. Бессель.
61 Лебедя 1838 г.



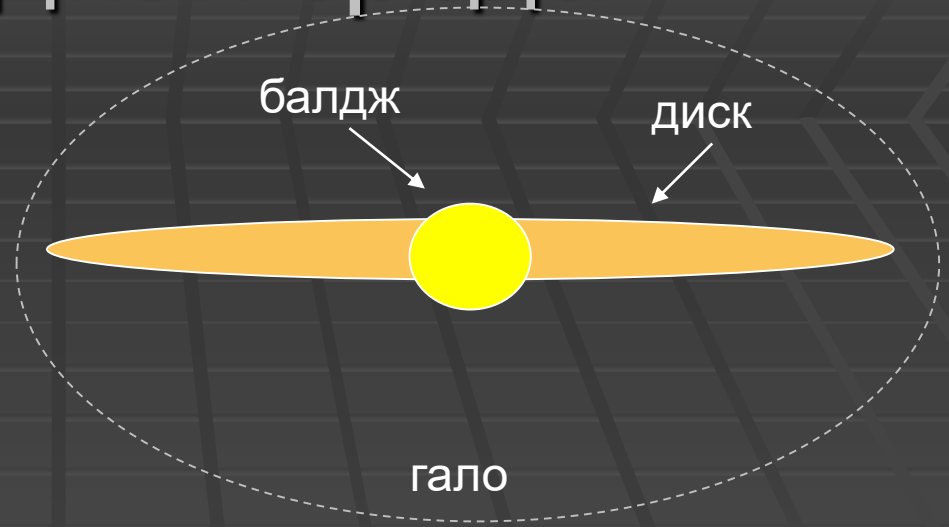
Томас Хендерсон
Альфа Центавра 1833

Чем важно?

Впервые надежно был задан масштаб межзвездных расстояний. Это дало основу для более уверенных рассуждений и о звездах, и о структуре Галактики.



Межзвездная среда

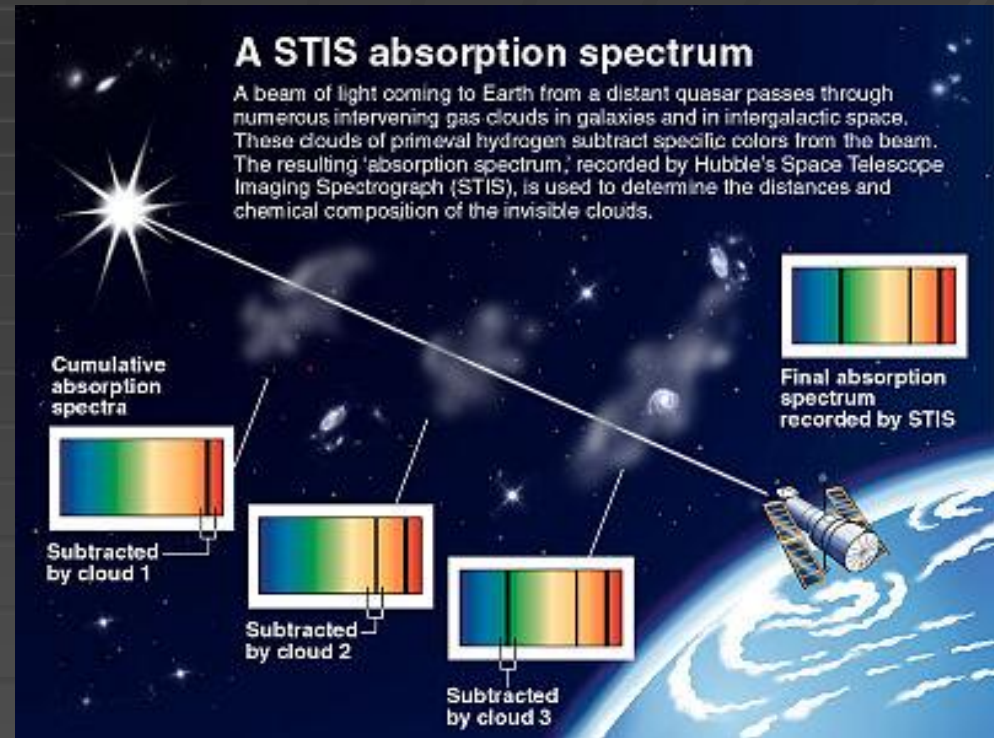


Открытие межзвездной среды

В течение сотен лет считалось что пространство между звезда пусто, совсем пусто. В 1904 году Иоганн Гартман смог получить спектр, который однозначно говорил, что свет звезды частично поглощался «по дороге», т.е. между звездами.



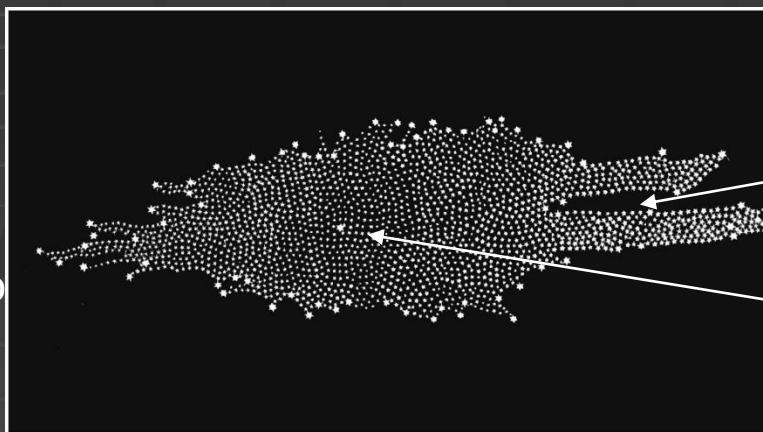
Иоганн Гартман



Чем важно?

Во-первых, наличие межзвездной среды сильно влияет на наблюдаемость звезд.

Только правильный учет поглощения позволил Трюмплеру построить качественно верную схему нашей Галактики.

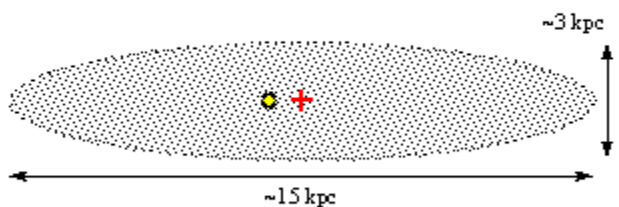


«Галактика Гершеля»

Облака
в Стрельце

Солнце

Kapteyn Model (1922)



kpc = kiloparsec = 1000 pc

Во-вторых, наличие межзвездной среды крайне важно для понимания процессов формирования звезд, их эволюции и химической эволюции Галактики.

«Вселенная Каптейна» 1922

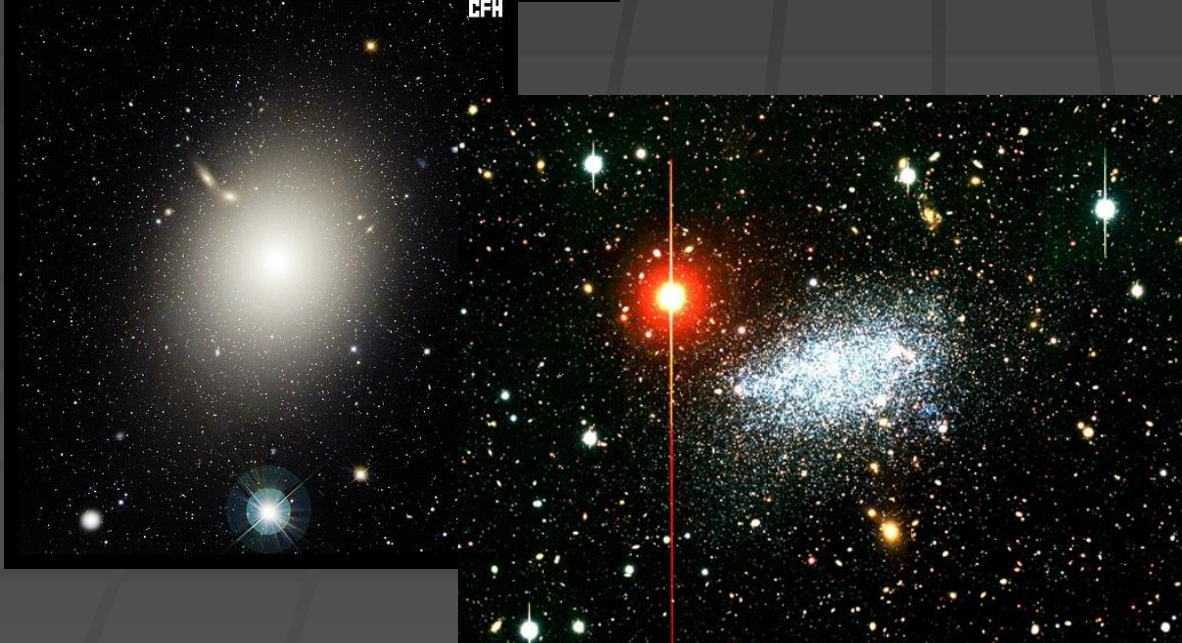
Мир галактик

Люди давно наблюдали «туманности», про которые не было ясно: газ это или нет. Часть из них оказалась огромными звездными системами – галактиками. Но достоверно установить это удалось только в 20-е гг. 20 века.




Coelum
Astronomia

The Giant Elliptical Galaxy Messier 87 by




Великий спор

1920 Great Debate



Гигантские
звездные
системы –
«звездные
острова»

Все туманности
находятся
внутри нашей
Галактики



Гебер Кертис



Харлоу Шепли

Неточности были
в аргументации
обеих сторон,
однако в целом
прав оказался
Гебер Кертис.

Ответ дали
наблюдения.

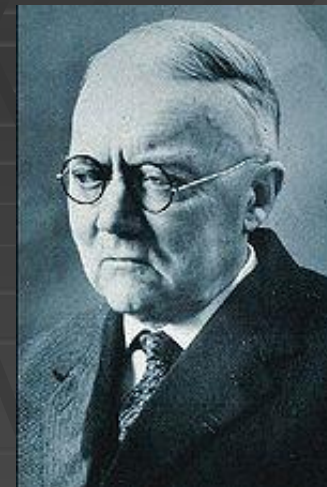
Раскрылась бездна ...



Эдвин Хаббл

Главный результат был получен в 1922-23 г. Эдвином Хабблом. С помощью нового 2.5-метрового телескопа ему удалось обнаружить цефеиды в нескольких близких галактиках, начиная с М31 – Туманности Андромеды (первые из них обнаружил Дункан в 1922 г.). Это дало возможность определить расстояние.

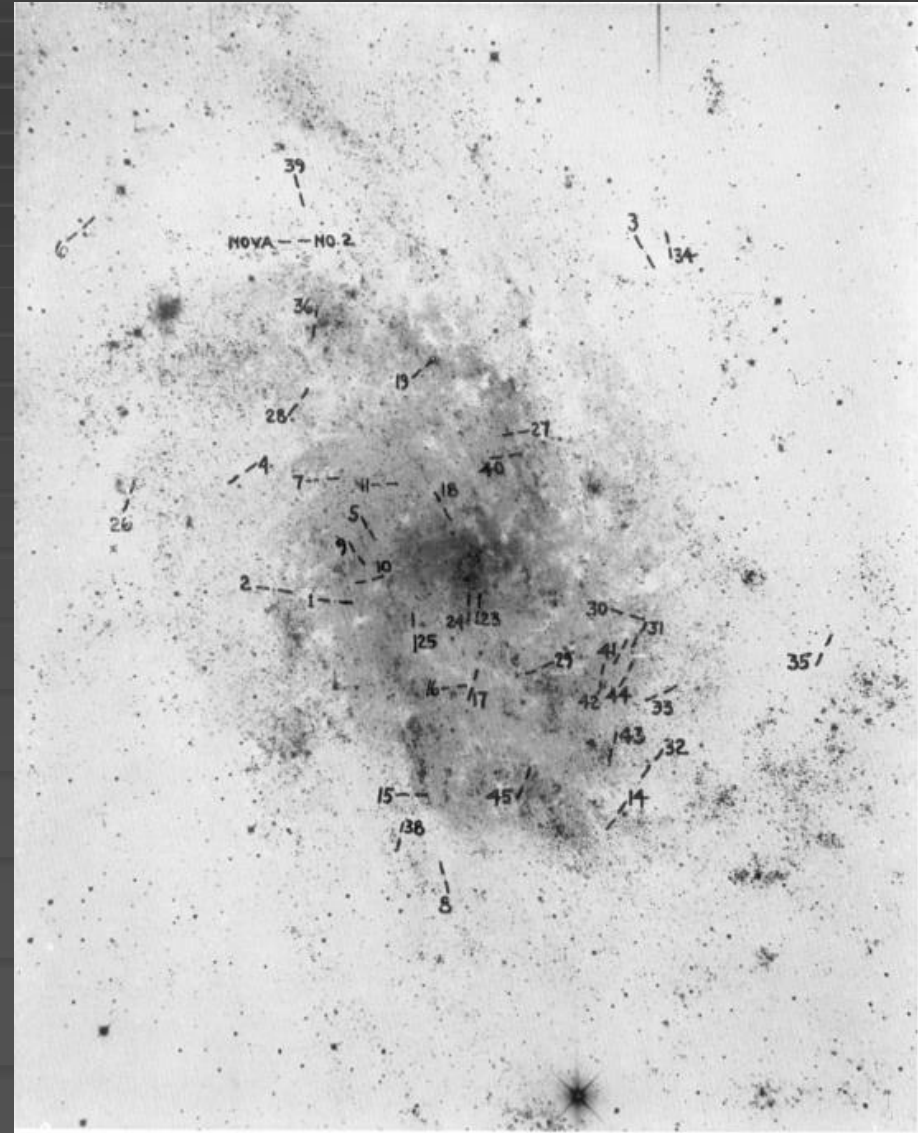
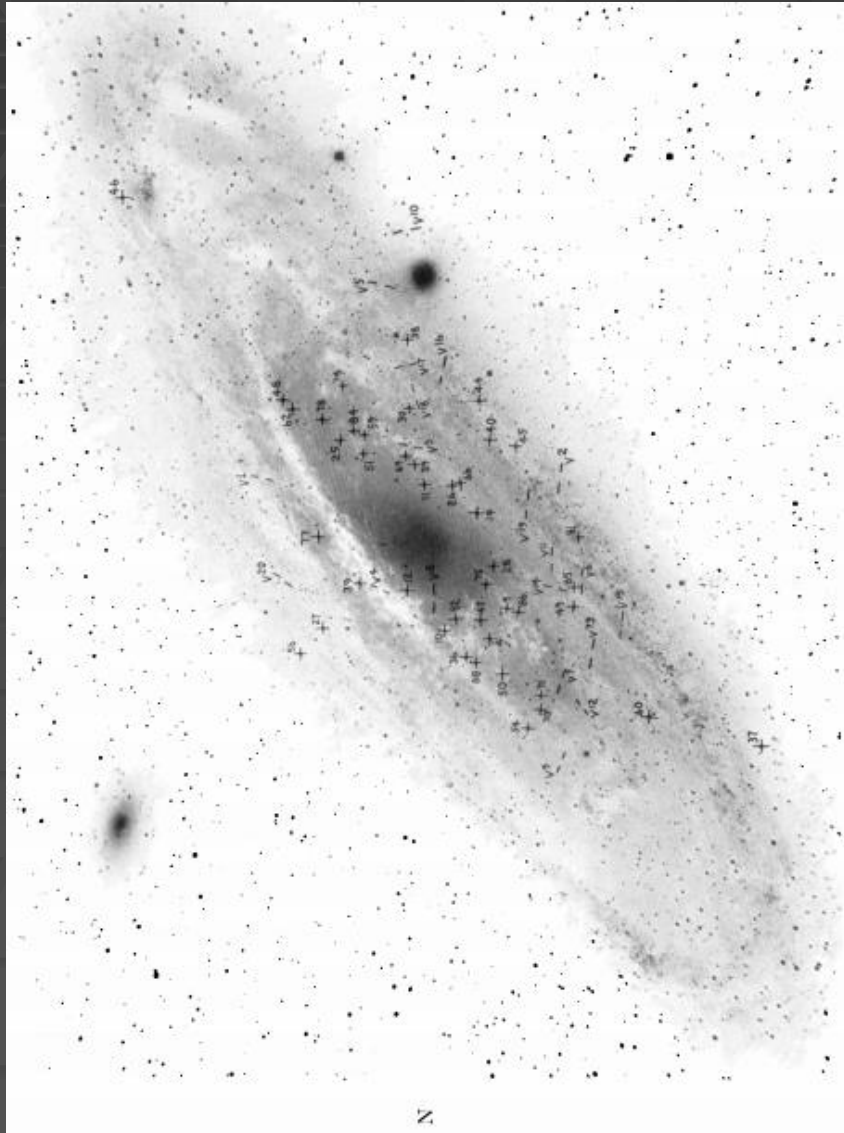
В том же 1922 г. Эрнст Эпик предложил метод определения расстояний, который показал, что М31 находится за пределами нашей Галактики.



Эрнст Эпик

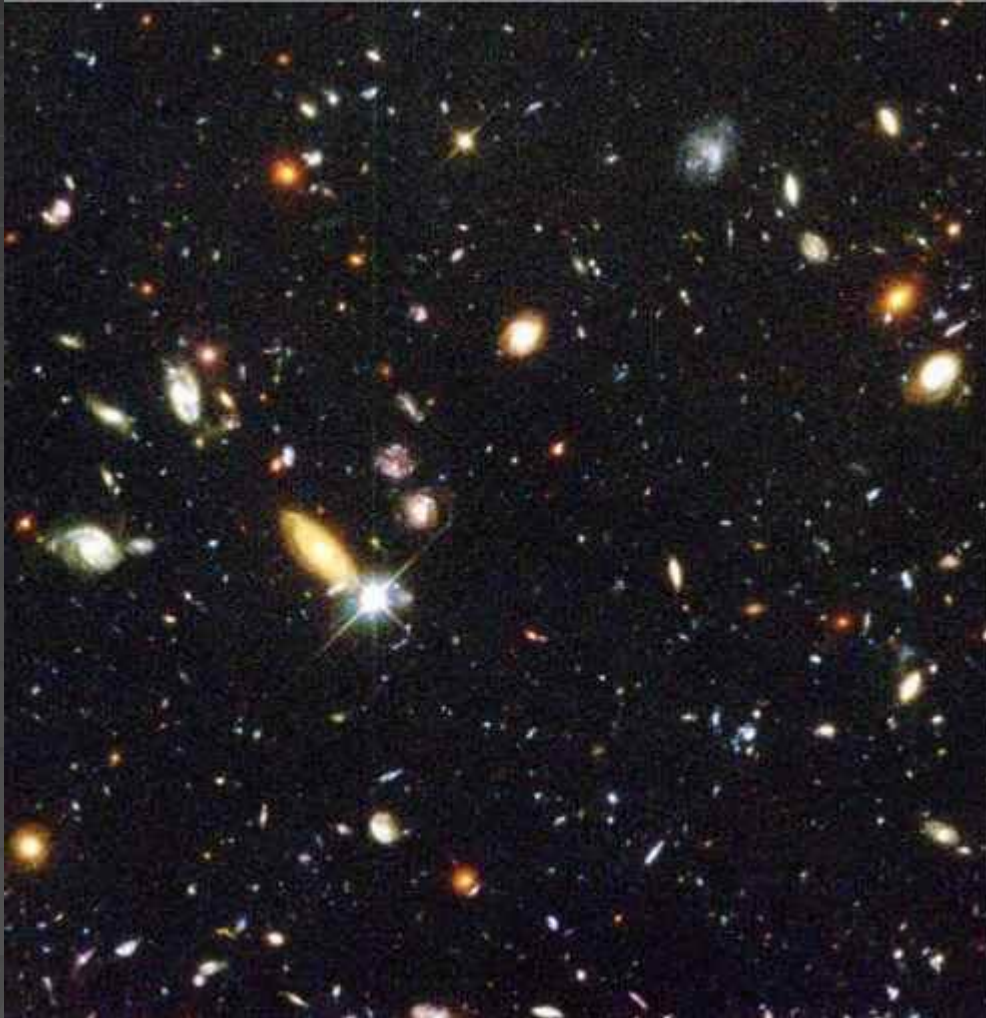


Снимки Хаббла

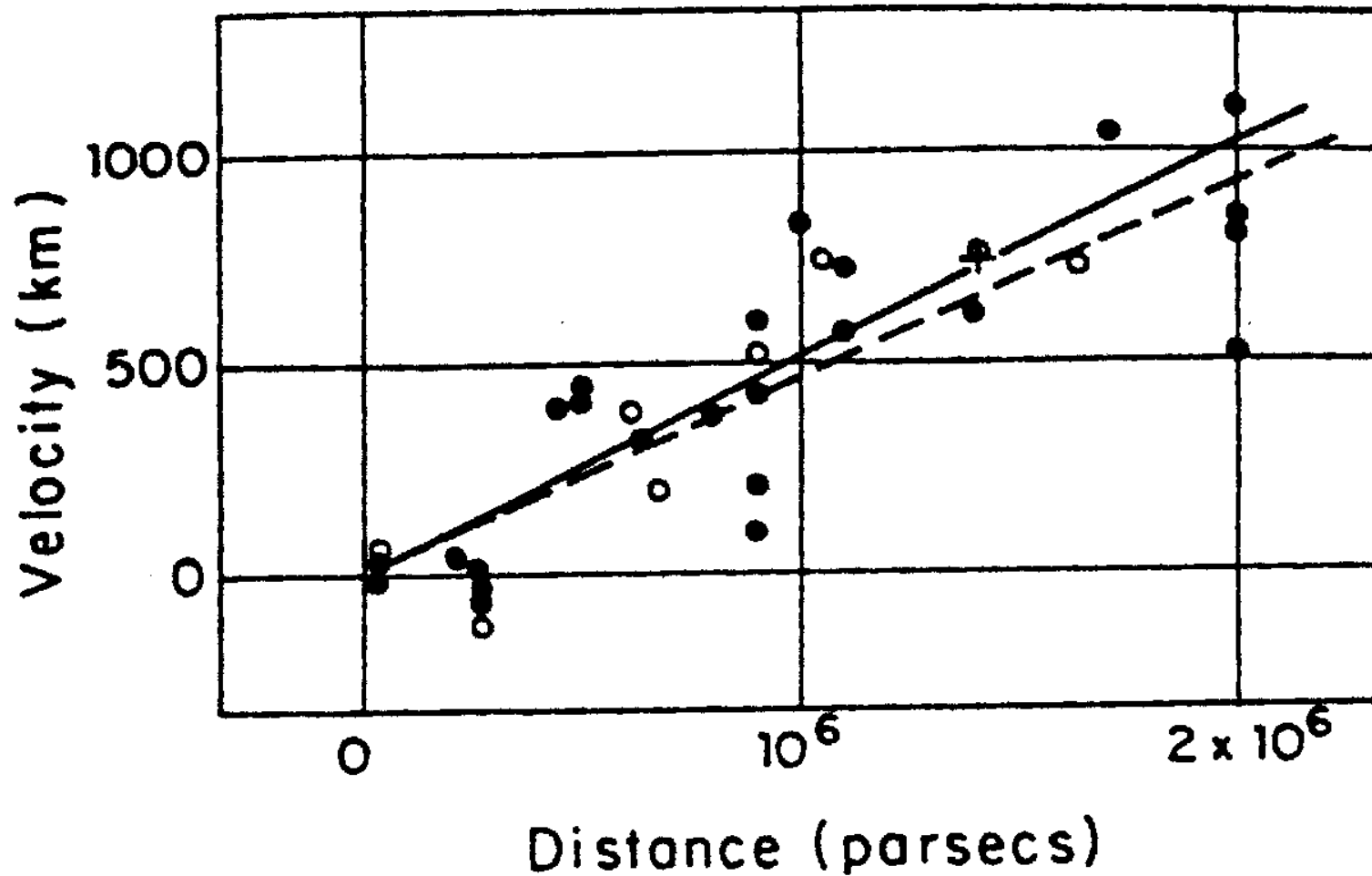


Чем важно?

Мы получили совсем другую картину мира, от которой оставался один шаг до современной (оставалось открыть расширение – разбегание галактик).



Расширение вселенной



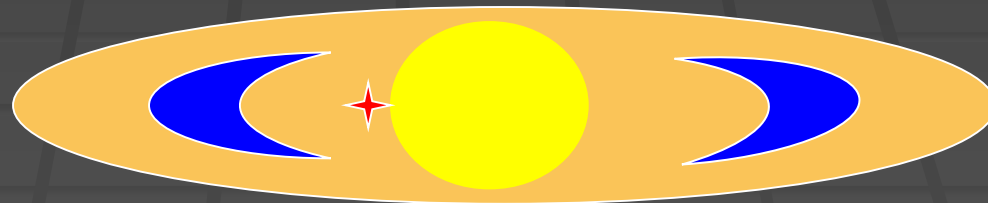
Хаббл 1929 г.

Что было надо?

СПЕКТРЫ – чтобы определить скорости

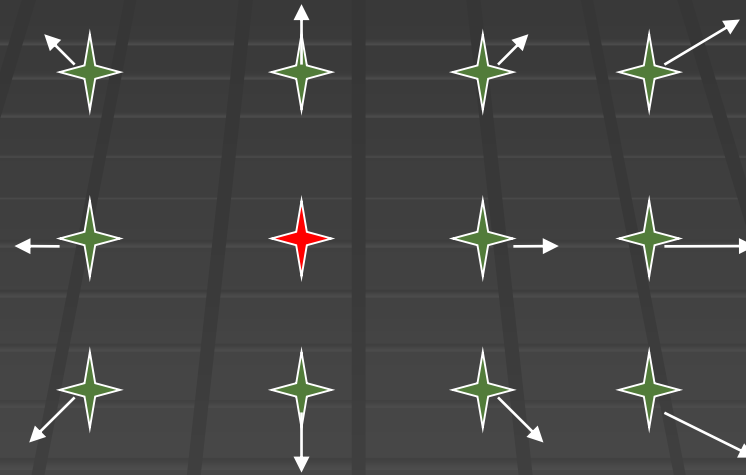
+

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЙ

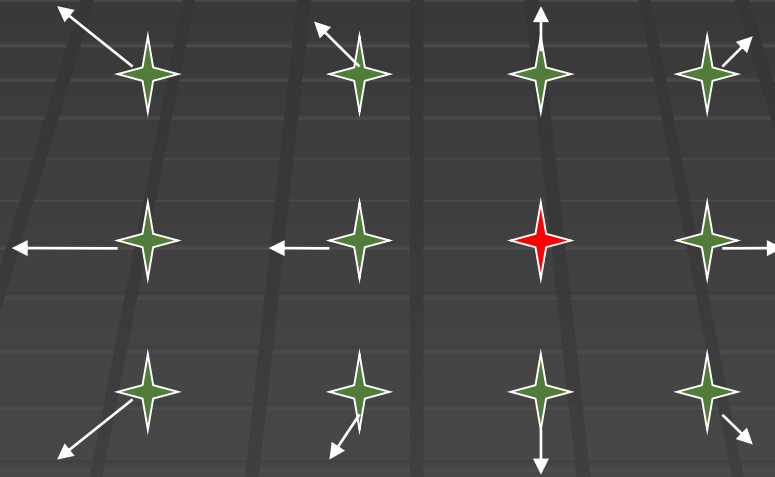


Самая яркая звезда в галактике.
Гипотеза: они довольно одинаковы

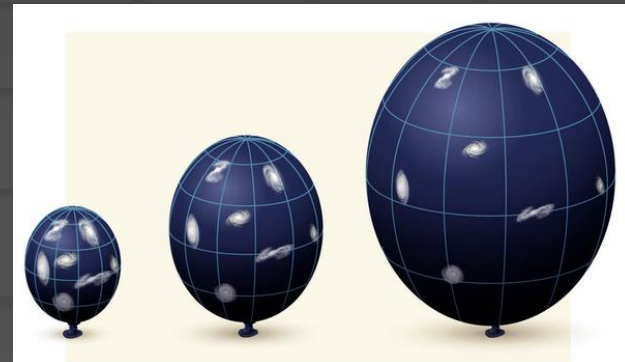
Как это работает?



Как это работает?

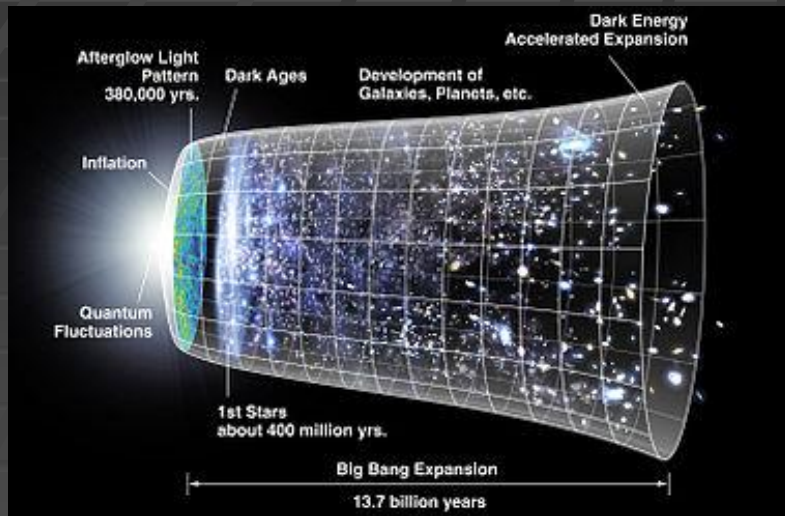


Чем дальше галактика – тем быстрее она удаляется.
Центра расширения нет. Если мы перелетим в другое место,
то картина расширения не изменится.



Чем важно?

Возможно, это одно из немногих самых-самых важных открытий в истории.



Вся вселенная предстала эволюционирующей. Удалось разрешить многие парадоксы. С другой стороны, перед учеными встало много новых задач.

Картина мира претерпела совершенно радикальное изменение. Ведь даже Эйнштейн верил в стационарную вселенную.

Реликтовое излучение

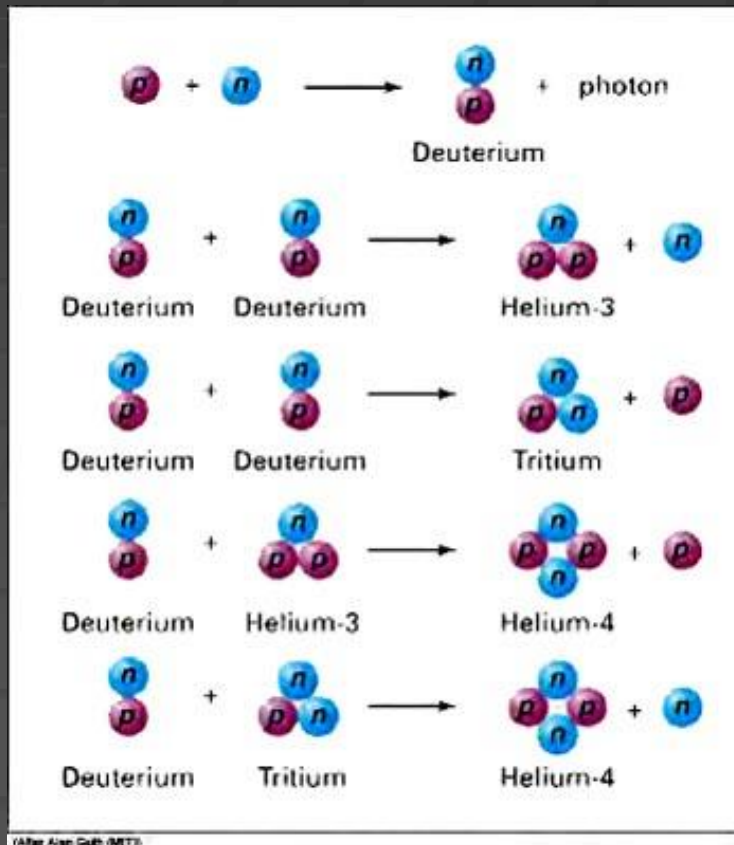
После работ Фридмана и открытия расширения вселенной стало ясно, что в своей молодости вселенная имела большую плотность.

Но была ли она при этом горячей или холодной???

Правильная модель была построена на основе расчета синтеза гелия.

Чтобы успеть создать гелий в расширяющейся Вселенной, надо, чтобы она была не только плотной, но и горячей.

От этой горячей эпохи до наших дней должно было дожить излучение, изрядно остыв.



Ральф Альфер



Георгий Гамов

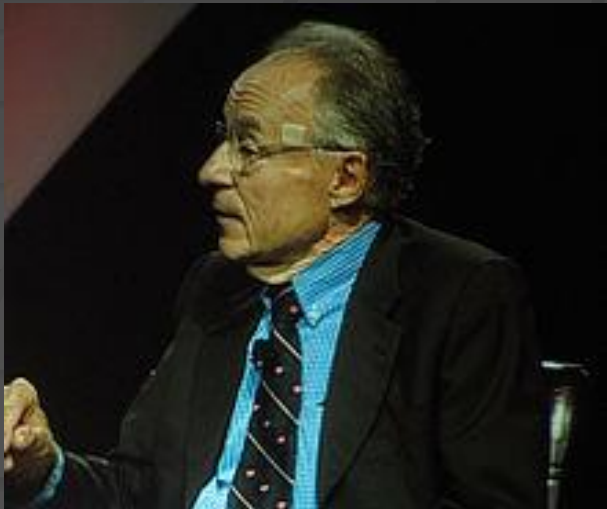
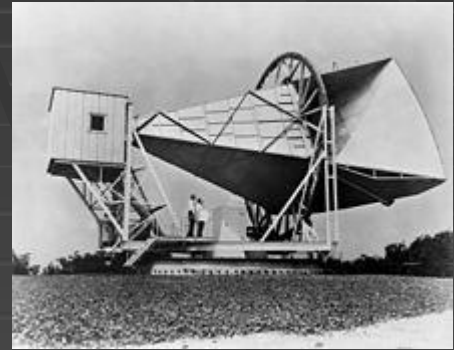
Неожиданное открытие

Хотя реликтовое излучение было предсказано, и его следы его присутствия даже были известны (но не распознаны), и были планы искать его целенаправленно, само открытие произошло достаточно случайно.

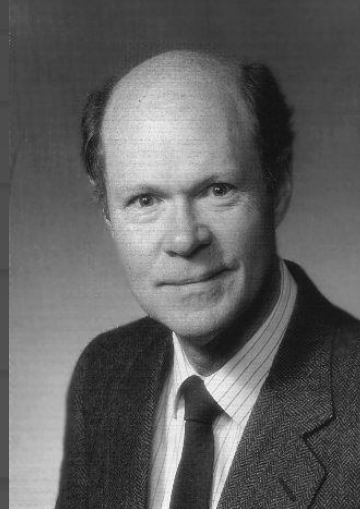
ПОМЕХИ! ШУМ В РАДИОЭФИРЕ!!!!

Но, после открытия, осознание того, что было найдено пришло очень быстро, потому что теоретики уже ждали.

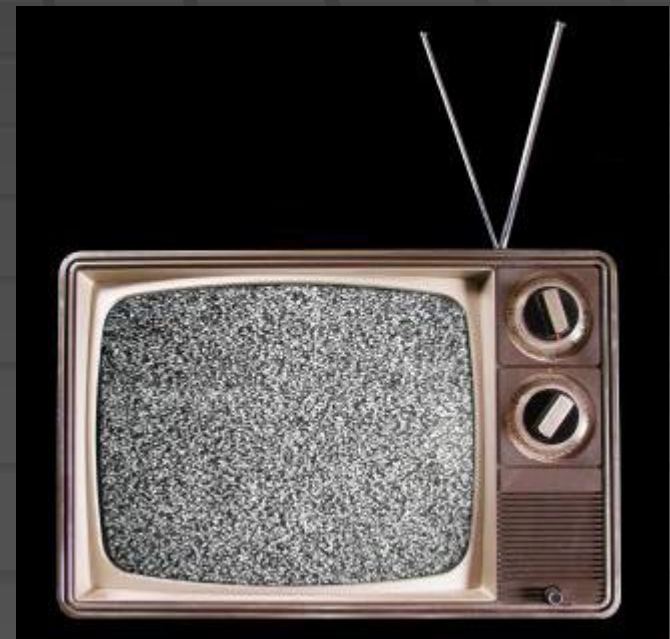
За свое открытие Пензиас и Вилсон в 1978 г. получили Нобелевскую премию по физике.



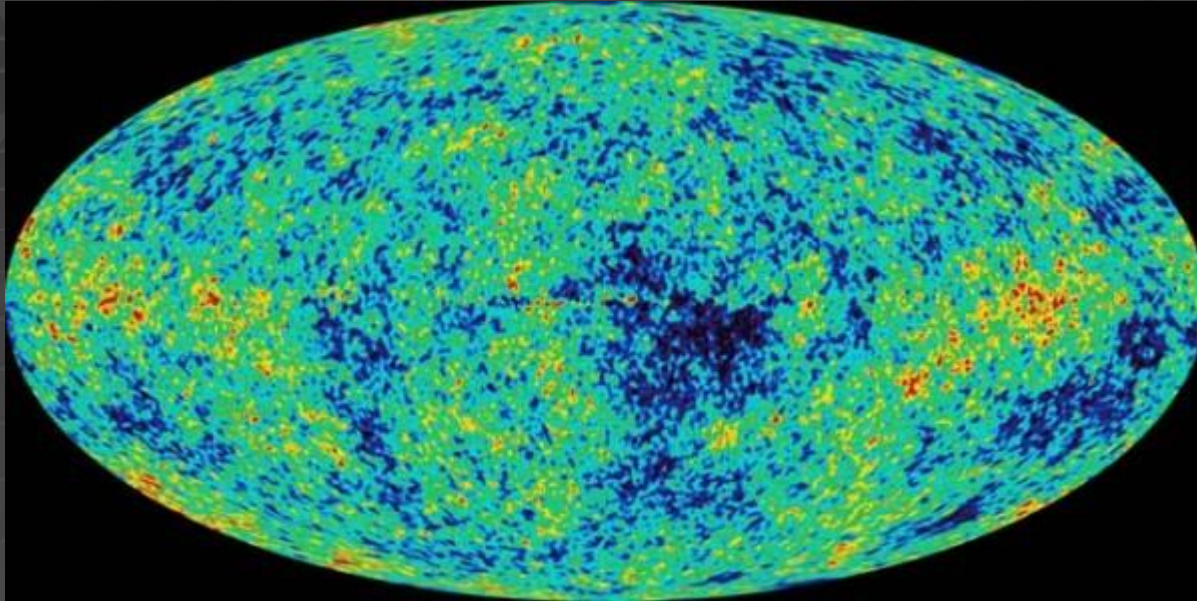
Арно Пензиас



Роберт Вилсон

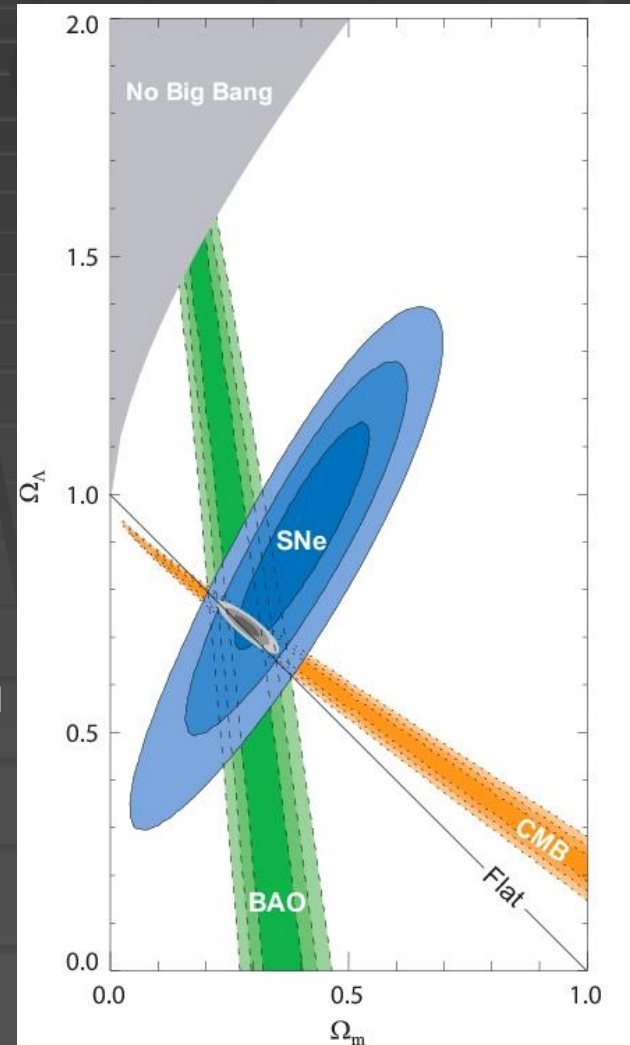


Чем важно?



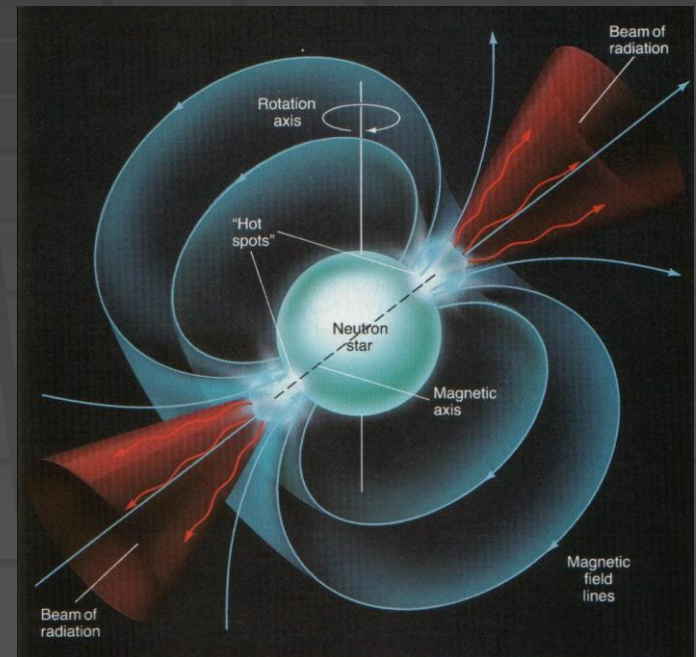
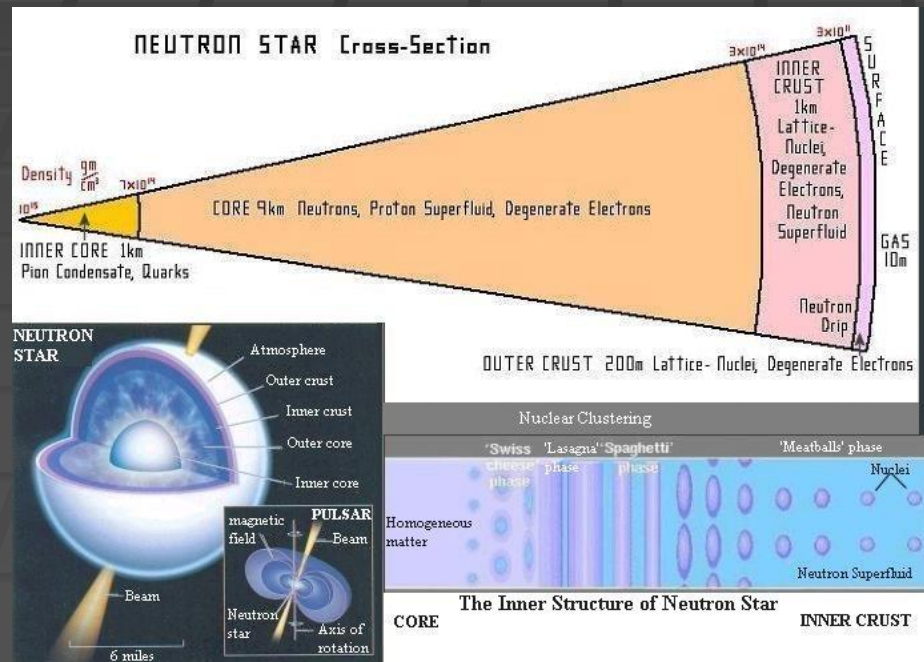
Кроме важного подтверждения модели горячей В.,
Открытие реликтового излучения дало в руки ученым
потрясающий инструмент для исследования мира.

В частности, данные по реликту позволяют
определять геометрию вселенной,
самодостаточно показывают ускорение расширения.



Нейтронные звезды – экстремальные источники

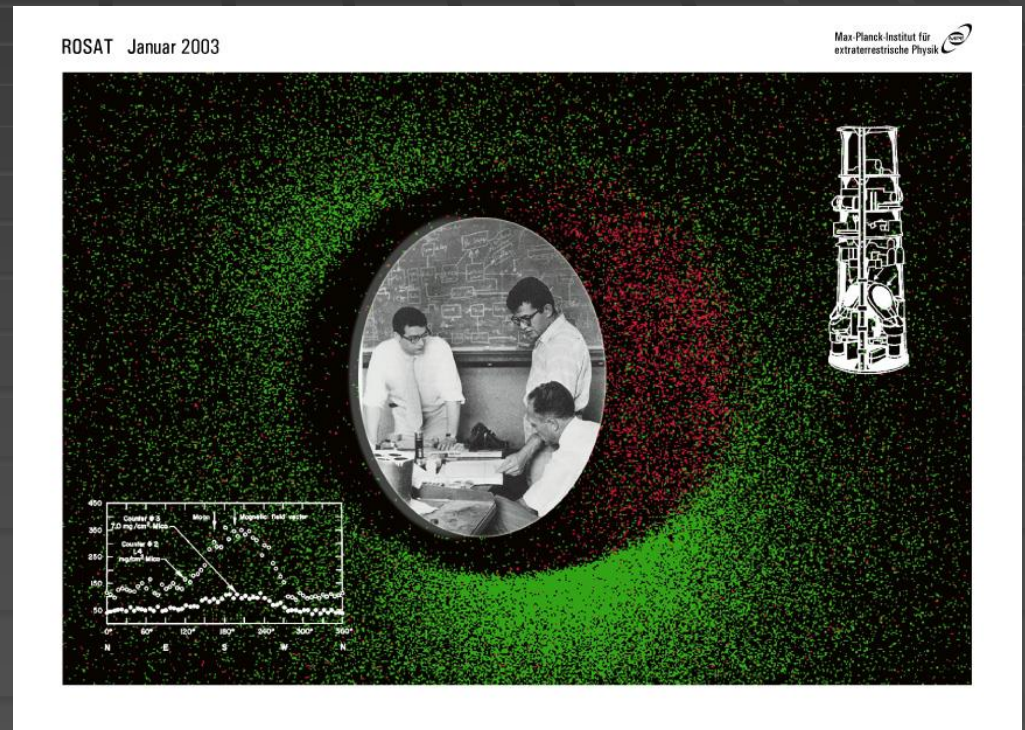
- Сверхсильные магнитные поля (больше швингеровского)
- Сильная гравитация (радиус порядка 3-4 шварцшильдовских)
- Сверхплотное вещество (в центре плотность выше ядерной)



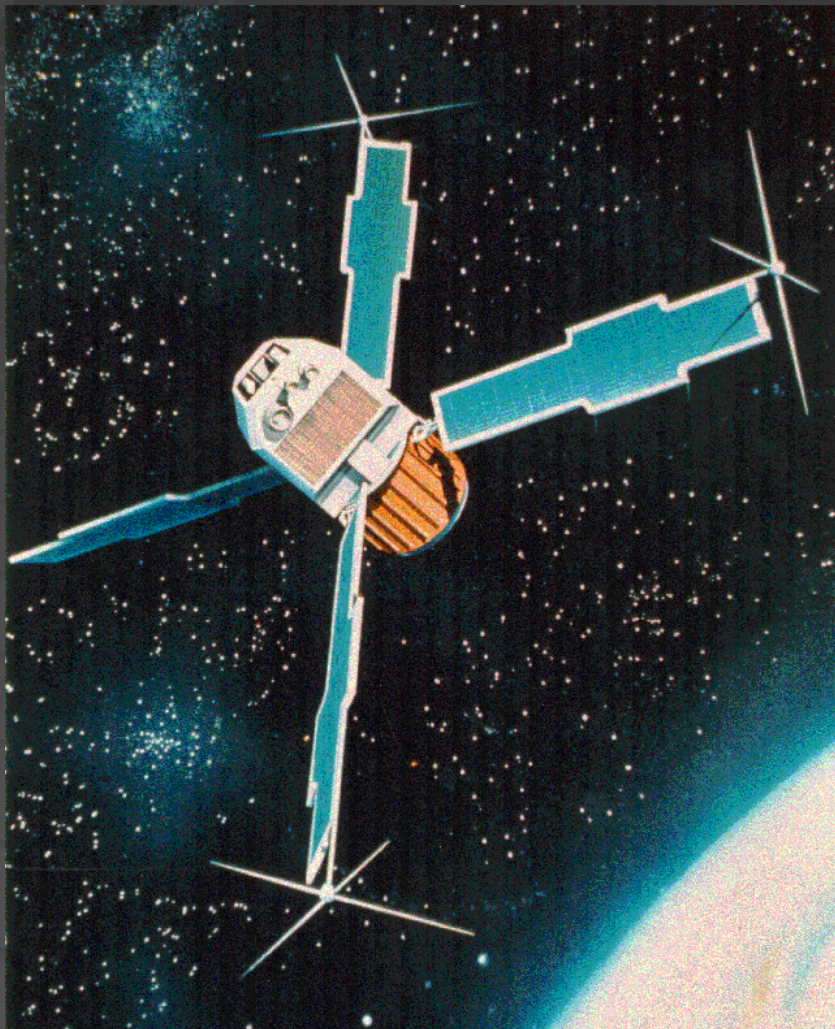
Ракетные эксперименты Sco X-1

Giacconi, Gursky et al.
1962 год

В 2002 г. Р. Джаикони
получил Нобелевскую
премию по физике.



UHURU



Спутник запущен 12 декабря 1970 г.
Закончил работу в марте 1973 г.

Другое название SAS-1

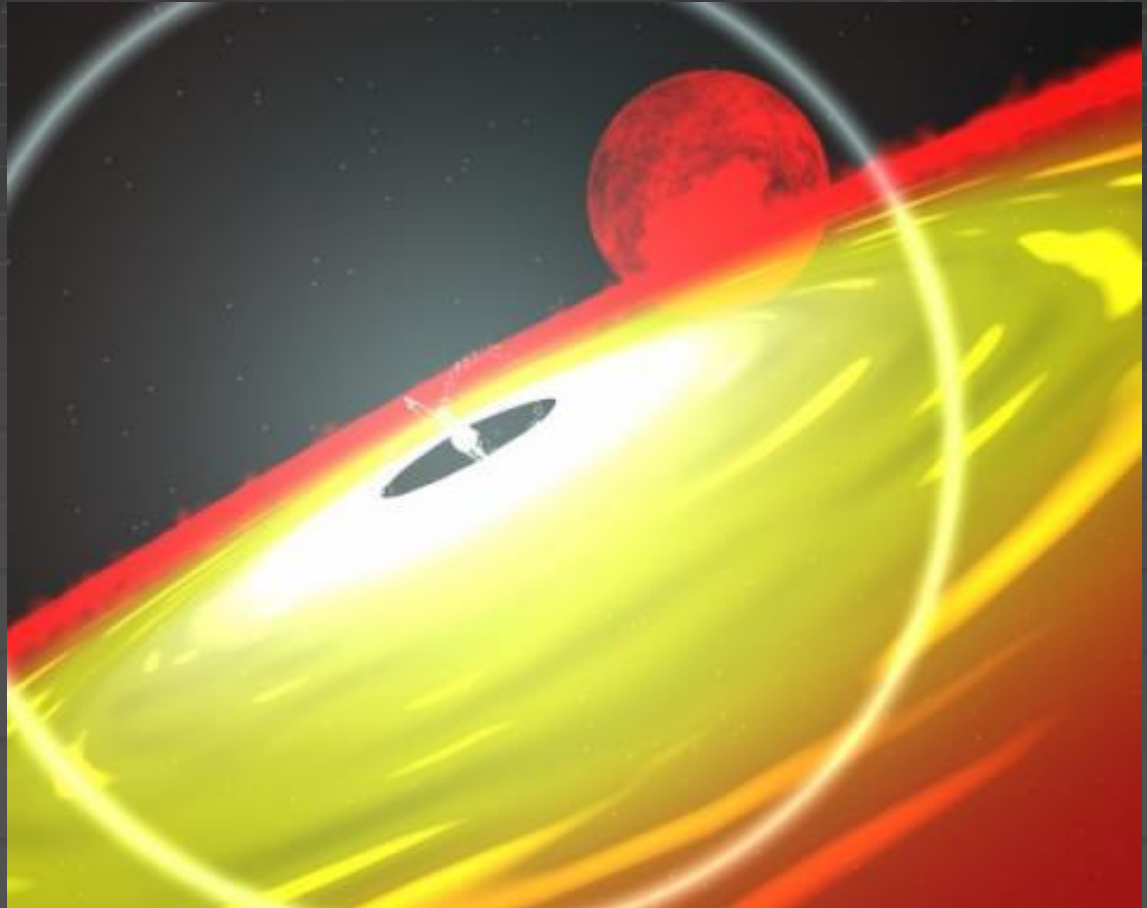
2-20 кэВ

Первый полный обзор неба.
339 источника.

Аккреция в тесных двойных

Аккреция – самый мощный источник энергии в мире из тех, что могут давать большой выход энергии.

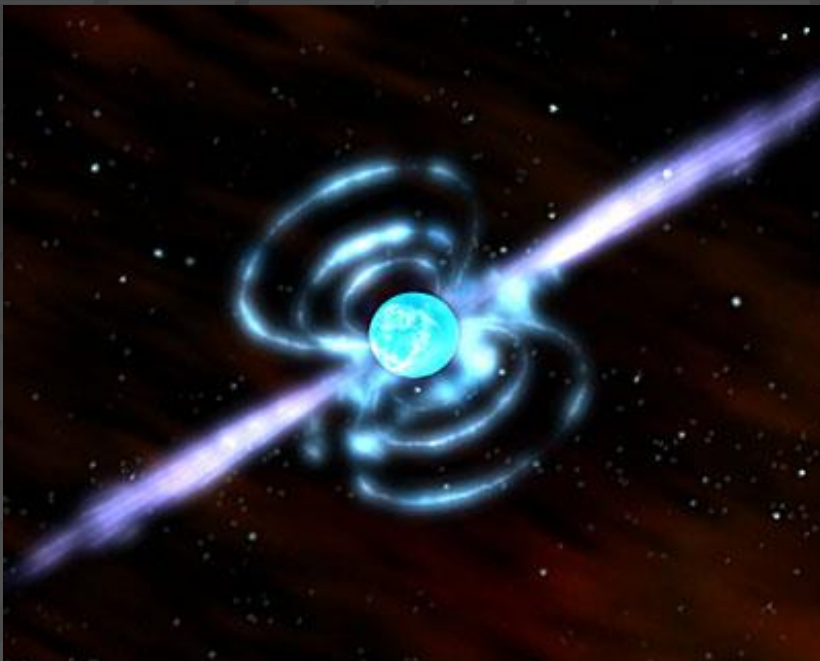
При падении вещества на нейтронную звезду выделяется до 10% от mc^2



Открытие !!!!

1967: Джоселин Белл. Радиопульсары.

Серендипическое открытие.

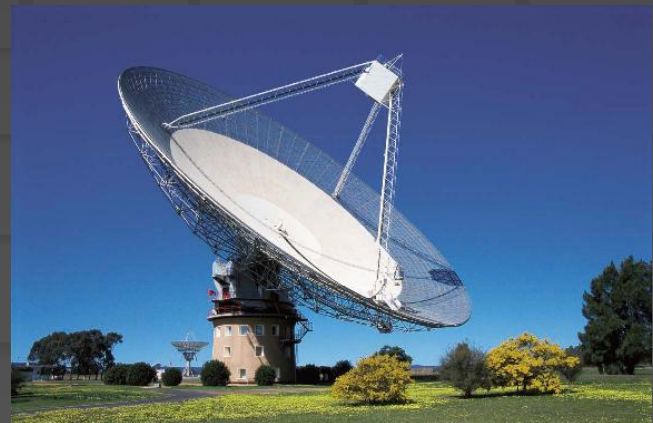


Пульсар в Крабовидной туманности



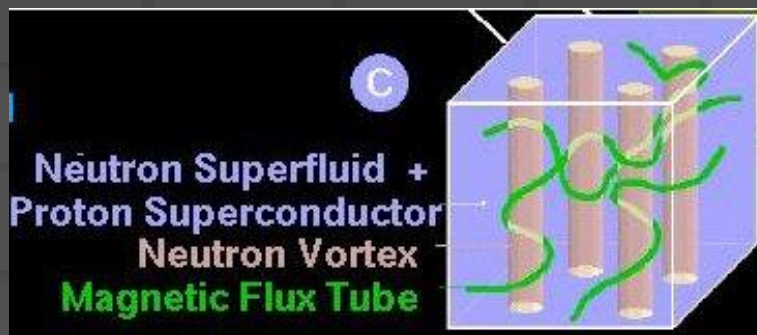
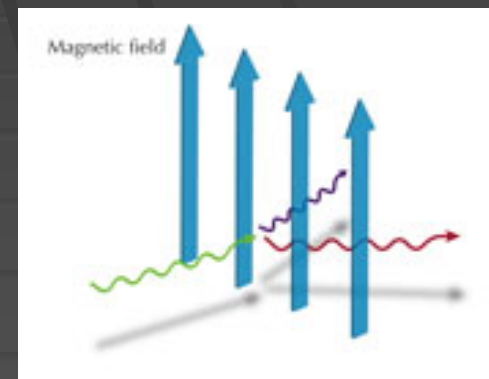
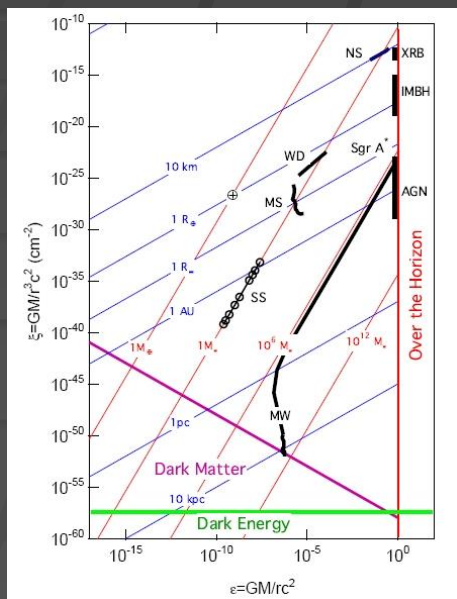
Как наблюдаем

- радиопульсары
- рентгеновские источники в двойных системах
 - рентгеновские пульсары
 - барстеры
 - другие типы ...
- магнитары
 - аномальные рентгеновские пульсары
 - источники мягких повторяющихся гамма-всплесков
- одиночные остывающие нейтронные звезды
 - компактные источники в остатках сверхновых
 - Великолепная семерка
 - Геминга и похожие источники
- вспыхивающие радиоисточники (RRATs)
- гамма-источники



Чем важны

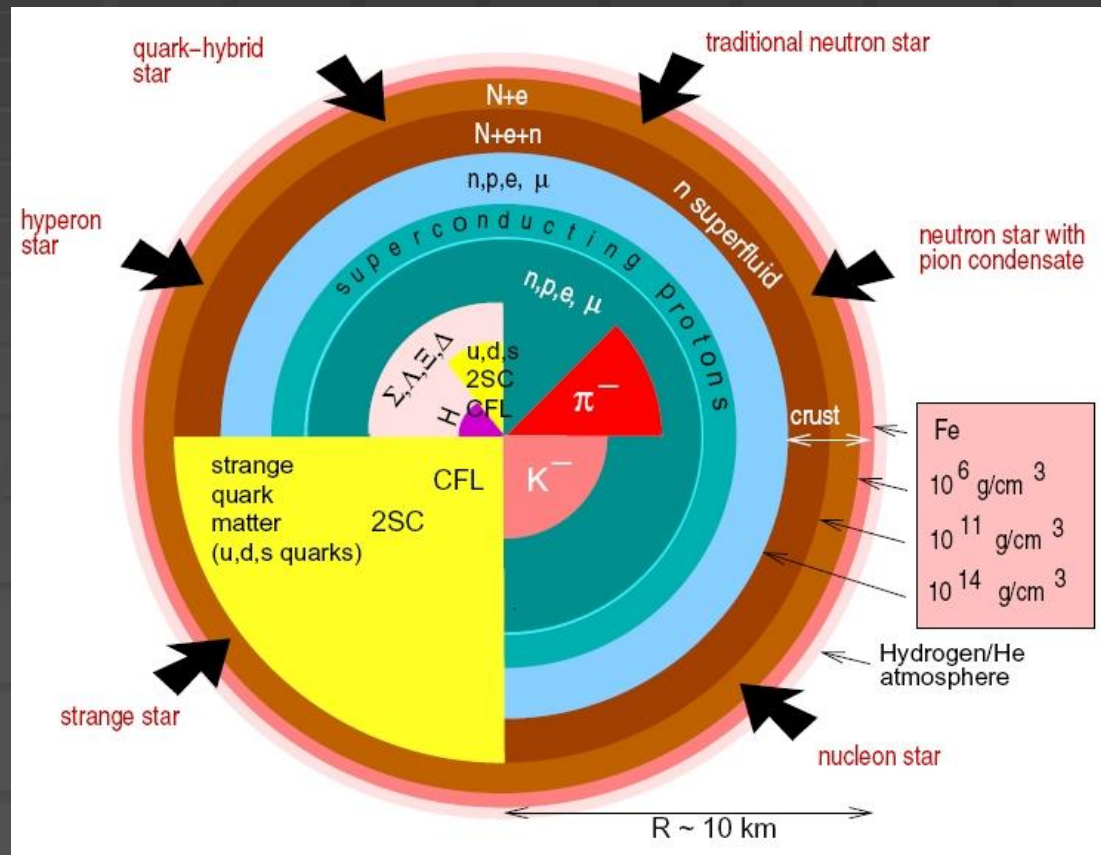
- Инструменты для физиков и астрофизиков
 - радиопульсары – тесты теорий гравитации
 - регистрация гравитационных волн
 - точное время
- Теория поведения вещества при высокой плотности – квантовая хромодинамика
- Процессы в сильном магнитном поле



Загадка нейтронных звезд

В недрах – очень плотное вещество.

Мы плохо понимаем, как ведет себя вещество при такой плотности.



- Обычные нейтронные звезды
- Пионный конденсат
- Каонный конденсат
- Странные звезды
- Гиперонные звезды
- Гибридные звезды

Как же устроено вещество при очень высокой плотности и «низкой» температуре?

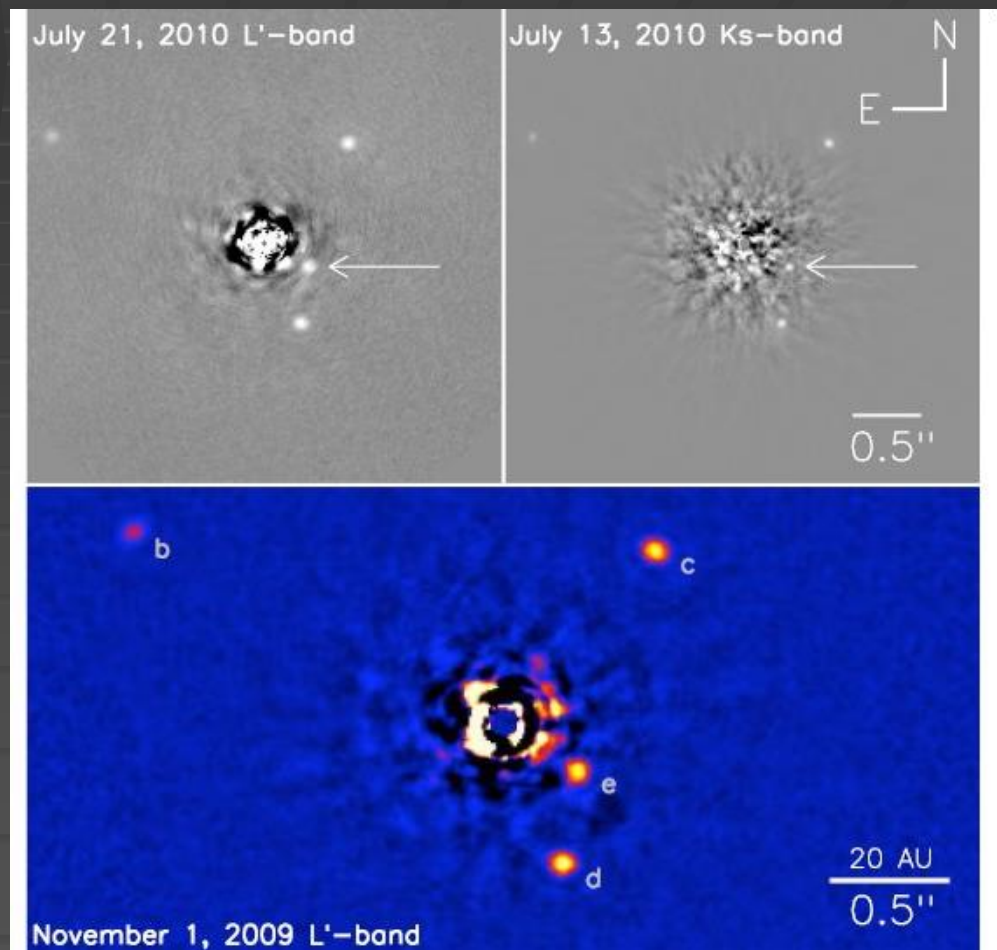
Экзопланеты

Открытие экзопланет стало одним из двух главных открытий в астрономии в конце 20 века.

Сейчас существуют разные методы для обнаружения экзопланет:

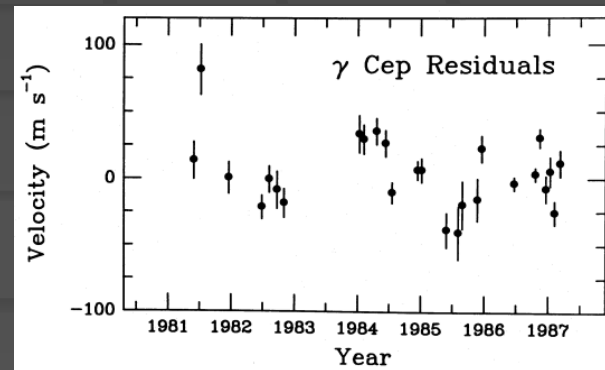
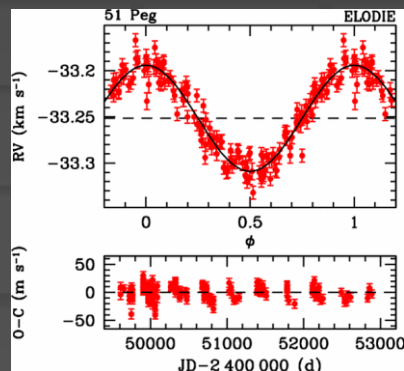
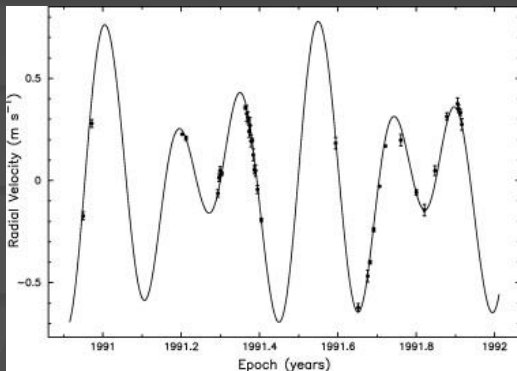
- лучевые скорости звезд
- транзиты
- тайминг
- микролинзирование

Всего открыто более 4000 планет.



Какая экзопланета была открыта первой?

- Первая надежно подтвержденная планета, вращающаяся вокруг другой нормальной звезды, была открыта в 1995 году Майором и Квелоцом.
- Однако еще в 1992 году надежнейшее обнаружение планеты было сделано Вольцшаном и Фрейлом, но вращалась она вокруг ... радиопульсара!
- В 1988 году появилась работа Кэмпбелла и др., в которой говорилось о планетном кандидате, но надежно подтвердить его удалось только в 2003 году.
- Наконец, в 1989 году Латам и др. открыли спутник одной из звезд, у которого до сих пор масса оценена недостаточно точно, чтобы сказать планета это или бурый карлик.



Чем важно?



Горячие юпитеры!

Первые открытые системы оказались совсем не похожи на Солнечную систему.

Гигантские планеты вращаются очень близко от своих звезд, иногда совершая оборот менее чем за сутки.

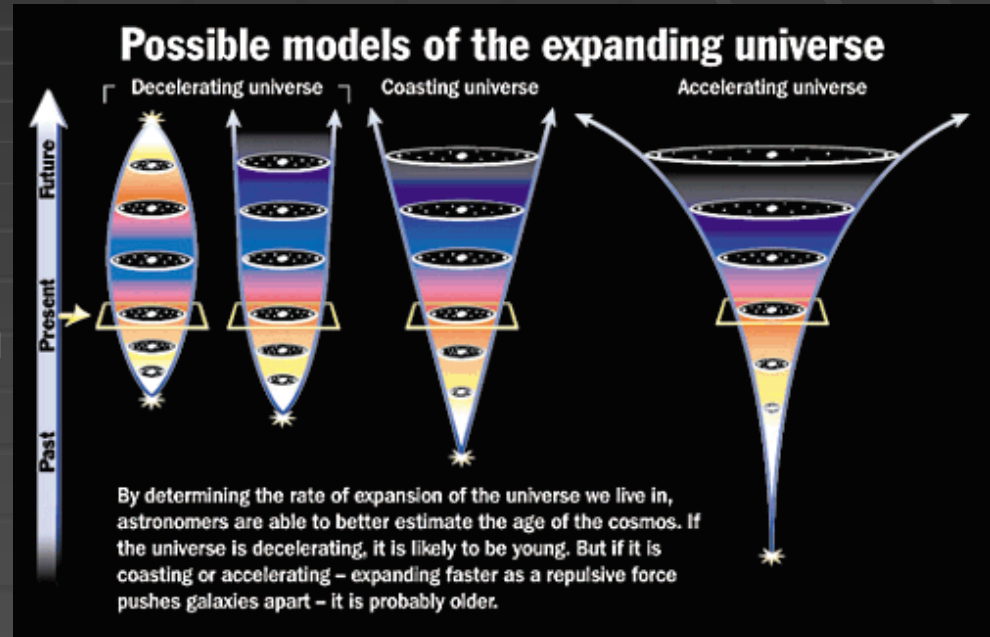
Открытие экзопланет в 90-е гг. не просто подтвердило давнюю гипотезу. Было показано, что мир планетных систем очень многообразен. Это ставит перед учеными новые важные вопросы.

Ускоренное расширение

Вселенная расширяется, но как?!?

Для измерения темпа расширения необходимо уметь разными способами определять расстояния до далеких источников.

Сравнение измеренных расстояний с тем, что предсказывает модель, позволит определить параметры, куда входит и изменение темпа.



Как открыли

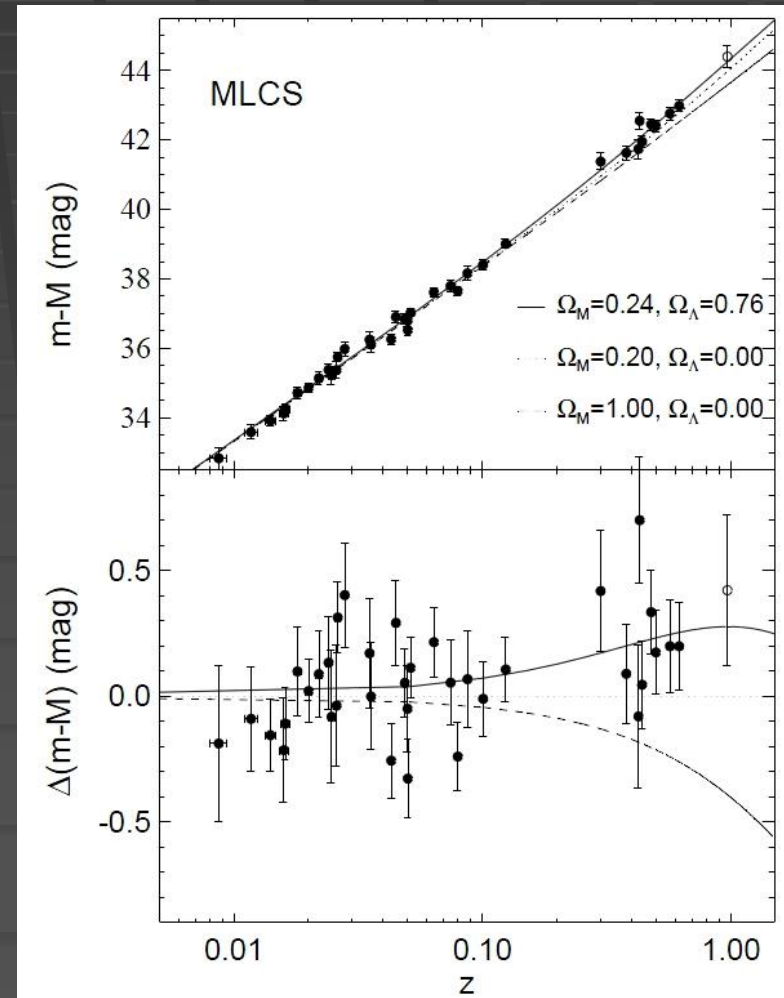
Авторы открытия наблюдали далекие сверхновые типа Ia.
Для этих источников мы умеем определять светимость.

На верхнем рисунке показана т.н. диаграмма Хаббла для сверхновых. По горизонтальной оси – красное смещение, а по вертикальной разность видимой и абсолютной звездной величины.

На нижнем рисунке показано отклонение разности видимой и абсолютной звездной величины от предсказаний одной из стандартных моделей. В этой модели вся плотность обеспечивается обычной (включая темную) материей и составляет 0.2 от критической плотности.

Также тонкой штриховой линией показана модель для плоской вселенной, целиком состоящей из обычного вещества.

Сплошной жирной линией показана модель, наилучшим образом описывающая данные наблюдений сверхновых. Это модель плоской вселенной, где темная энергия является космологической постоянной и ее вклад в полную плотность составляет 76 процентов.

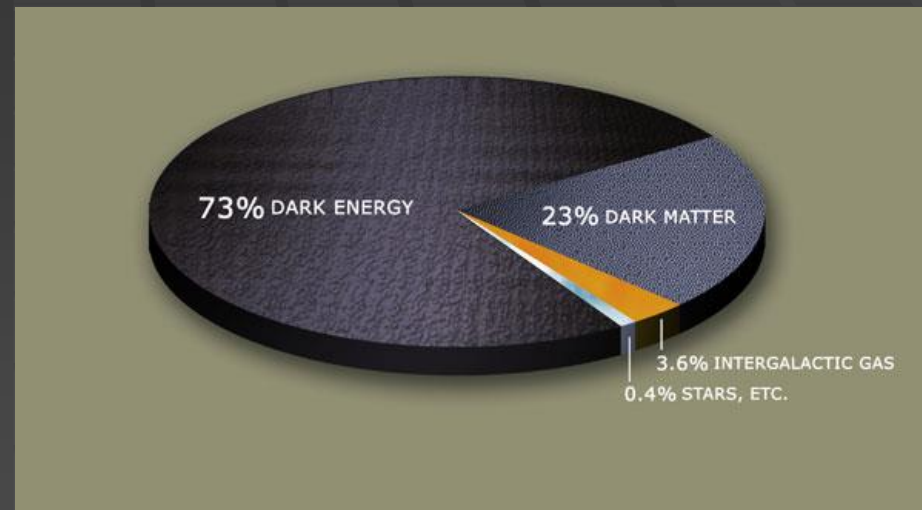


Чем важно?

Ускорение расширения вселенной является одним из важнейших элементов картины мира.

Стандартная интерпретация – темная энергия – говорит о том, что основной вклад в плотность вселенной вносит этот компонент.

Диссертация Хокинга была посвящена вопросам, связанным с расширением вселенной: «Properties of expanding universes»



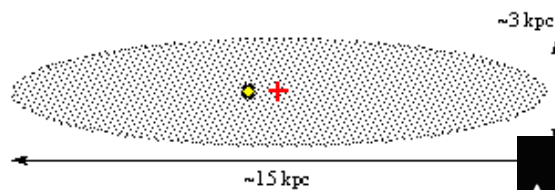
Обнаружение ускоренного расширения ставит трудные задачи перед физикой.

Почему именно эти десять?

ОНИ ИЗМЕНЯЛИ КАРТИНУ МИРА
На первый взгляд, противоречили
здравому смыслу.

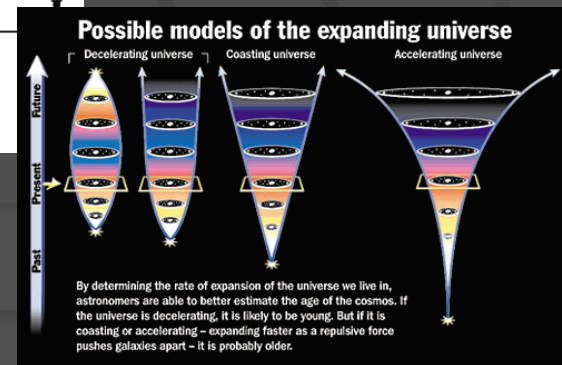


Картеян Model (1922)



kpc = kiloparsec = 1000 pc

Ставили новые вопросы.
Создавали основы развития.
Давали новые возможности.



Квazarы



Квазизвездные объекты

Квazarы начали открывать как радиоисточники в конце 50-х гг. Также их удалось обнаружить в оптическом диапазоне, как звездоподобные источники (сам термин появился в 1964 г.)

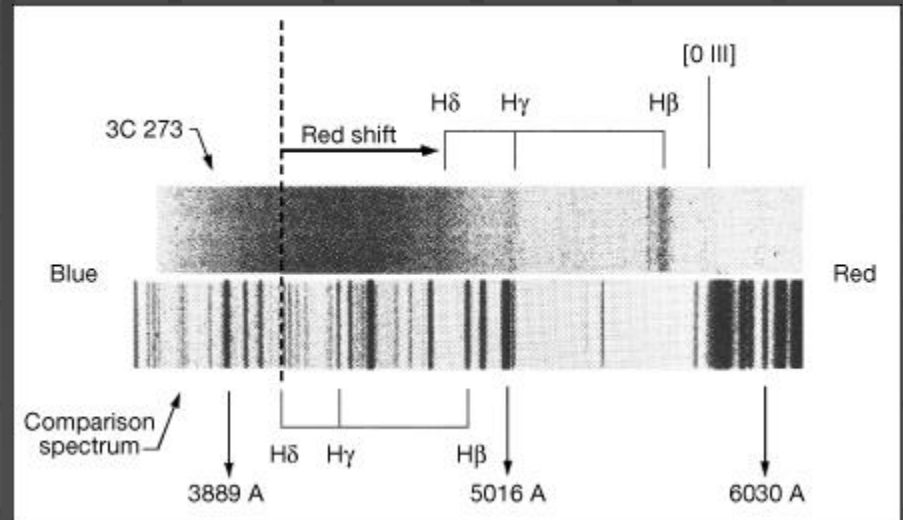
Долгое время шли дискуссии о природе этих «радиозвезд».

Разгадка

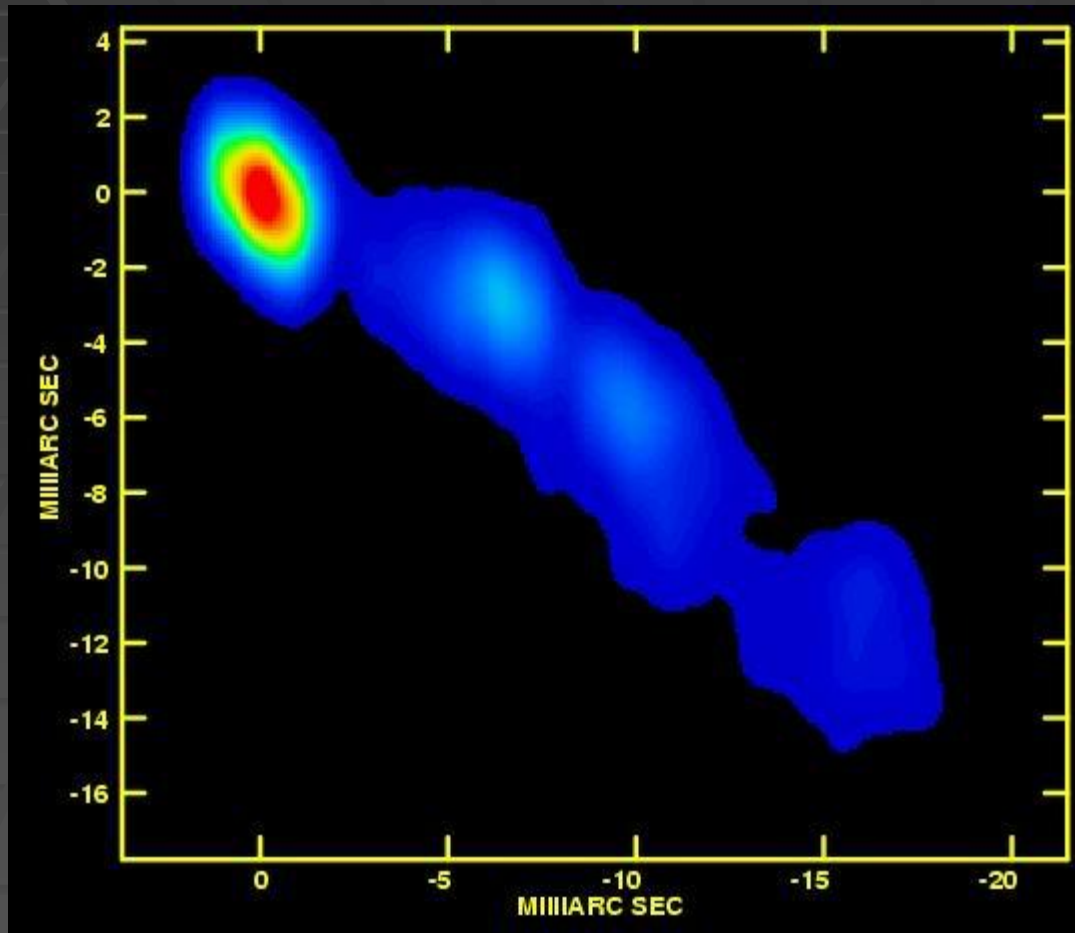
Линии в спектре сильно сдвинуты.
В соответствии с расширением вселенной это соответствует очень большому расстоянию (в случае 3C273 – 2.4 млрд св. лет).
Значит – это чрезвычайно мощные источники, но при этом очень небольшие по размеру



Мартин Шмидт



Природа квазара



Сверхмассивные черные дыры в центрах галактик, на которые течет много вещества, образуя аккреционный диск. При этом выделяется энергия, а также с огромной скоростью в виде струй выбрасывается газ.

Чем важно?

Во-первых, квазары раздвинули границы наблюдаемого мира: они были дальше известных тогда галактик.

Во-вторых, возникла необходимость объяснять, как же они работают.

Это дало дорогу концепции сверхмассивных черных дыр.

