

Расширение Вселенной

Рикардо Морено, Сюзана Дестуа,
Роза М. Рос, Беатрис Гарсия

*Международное Астрономическое Объединение
Колледж Ретамар, Мадрид, Испания*

*Научный Институт Космических Телескопов, Америка
Технический университет Каталонии, Испания*

ITeDA и Национальный технологический университет, Аргентина



Цели

- Сформировать понятие о расширении Вселенной
- Сформировать понятие об отсутствии у Вселенной центра
- Научиться применять закон Хаббла
- Понять, как обнаружить темную материю



Презентация

Занятие посвящено рассмотрению следующих вопросов :

- Начало Вселенной: Большой взрыв
- Галактики: они не двигаются в пространстве, а само пространство расширяется
- Постоянная Хаббла: $v = H \times d$
- Не существует центра Вселенной
- Реликтовое излучение
- Гравитационные линзы



Модели, прогнозы, доказательства: Эксперимент со скатертью



Гипотеза: если резко выдернуть скатерть – ничего со стола не упадет.

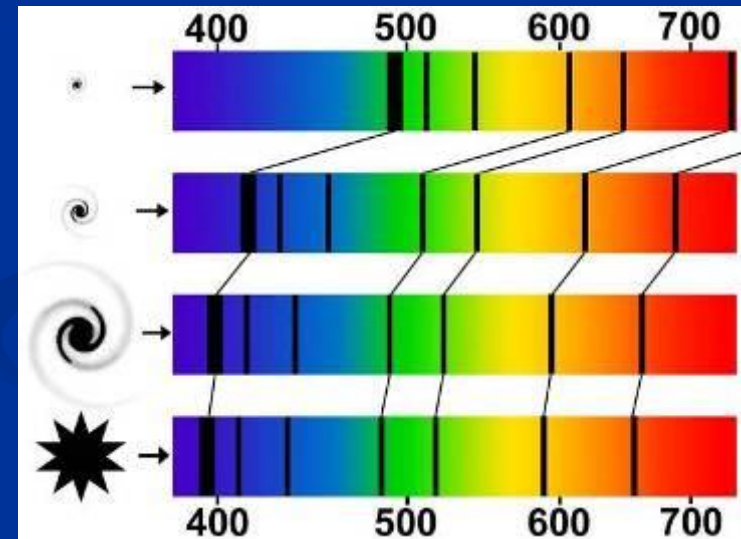
Согласно законам физики, если резко выдернуть скатерть, то время воздействия на предметы будет малым, и импульс, который им передается будет не достаточен, чтобы изменить их скорость. Эксперимент подтверждает гипотезу, потому что физика – это наука, которая предсказывает что произойдет.

Физика, которую мы разработали на Земле точно такая же, как и та, что мы применяем для всей Вселенной.



Красное смещение

- Каждый химический элемент имеет свой уникальный набор спектральных линий поглощения. Спектр поглощения – это характеристика химического элемента.
- Когда мы наблюдаем свет от галактик, то можем заметить, что спектральные линии известных нам химических элементов смещены ближе к красной области спектра. Чем дальше от нас галактика, тем больше красное смещение спектральных линий.
- Красное смещение интерпретируют как результат удаления галактик от нас.



Красное смещение

- Близлежащие галактики имеют относительно небольшую и нерегулярную скорость удаления: Большое Магелланово Облако + 13 км/с, Малое Магелланово Облако - 30 км/с, Галактика Андромеды – 60 км/с, М32 +21 км/с.
- В Скоплении Девы (50 миллионов световых лет), галактики удаляются от нас со скоростью от 1000 до 2000 км/с.
- В сверхскоплении галактик Волосы Вероники (300 миллионов световых лет) скорость удаления от 7 000 до 8 500 км/с.



Красное смещение

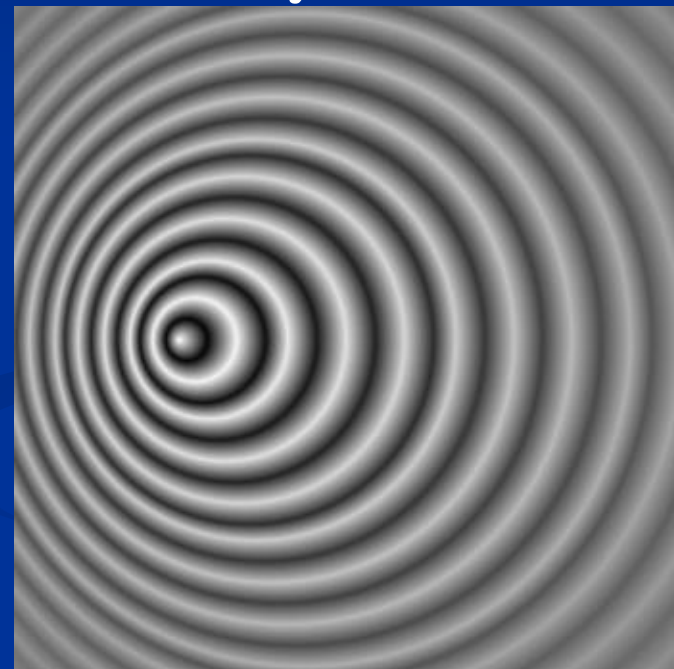
- М 74 удаляется от нас со скоростью 800 км/с и М 77 - 1 130 км/с.
- Если говорить про галактики, которые мы видим совсем тусклыми, то скорость их удаления еще выше: галактика NGC 375 удаляется со скоростью 6 200 км/с, NGC 562 - 10 500 км/с и NGC 326 - 14 500 км/с.
- Независимо от направления наблюдения, все галактики, кроме самых близких, удаляются от нас.



Эффект Доплера

Как и в эксперименте со скатертью – мы можем использовать физические законы для изучения Вселенной

При приближении скорой помощи, мотоцикла или поезда – мы услышим более высокий звук, нежели когда объект миновал нас



- Высокий звук → длина волны меньше
- Низкий звук → длина волны больше

Задание 1: Эффект Доплера



- Эффект Доплера можно услышат, если раскачать будильник в горизонтальной плоскости.
- Когда он приближается к слушателю, длины волны уменьшается и звук становится выше.
- При удалении будильника длина волны увеличивается и высота звука становится ниже.
- Это же происходит со скорыми, мотоциклами и поездами...

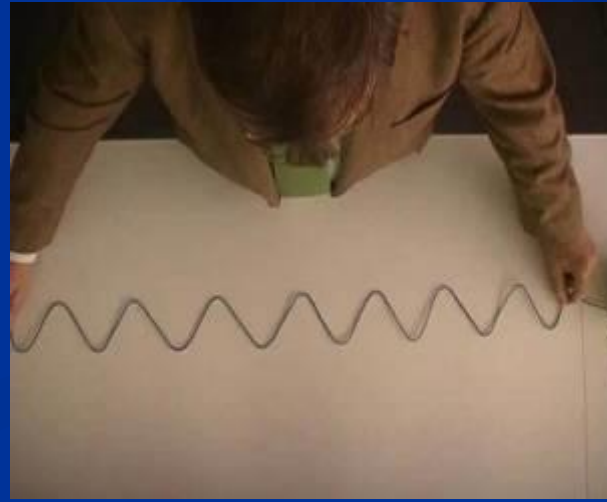


В этом простом опыте эффект Доплера мы наблюдаем из-за изменения расстояния. Но это не тоже самое, что наблюдение эффекта Доплера при расширении Вселенной.



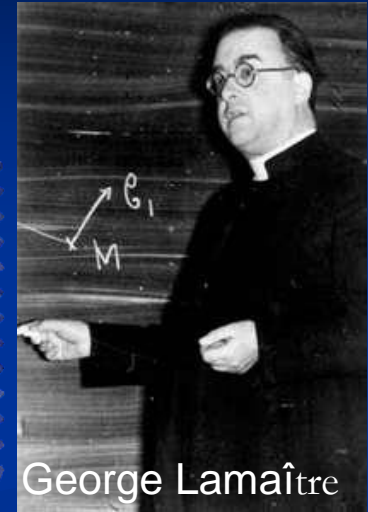
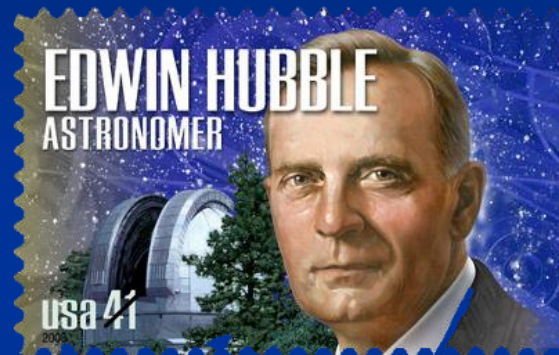
Задание 2: “Растяжение” фотонов

- ❑ Вселенная при расширении, «растягивает» фотоны
- ❑ Мы можем сделать модель растяжения при помощи кабеля от любого бытового прибора
- ❑ Чем длиннее путь фотона, тем больше он «растянут».



Закон Хаббла-Леметра

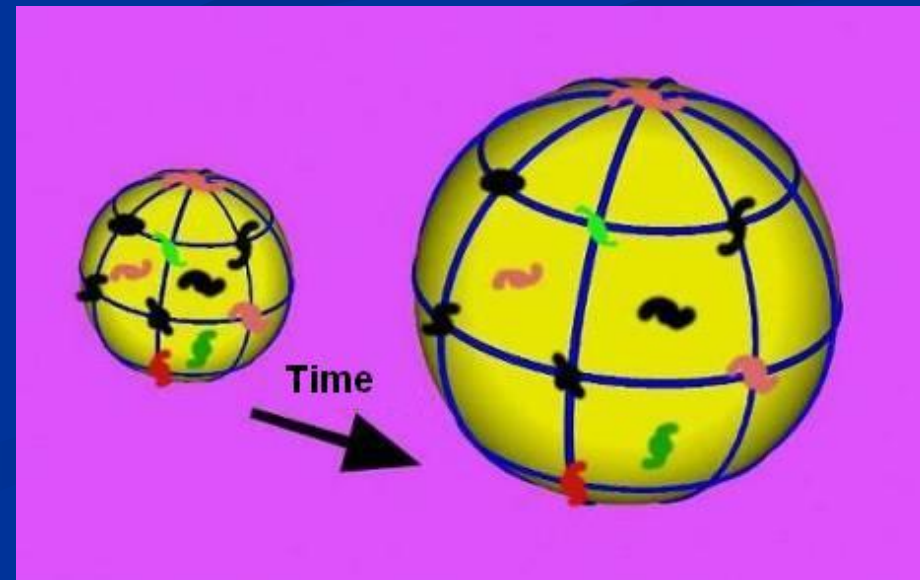
Между 1920 и 1930 г.г., Георг Леметр и Эдвин Хаббл поняли, что более отдаленные галактики удаляются быстрее, чем те, что находятся ближе.



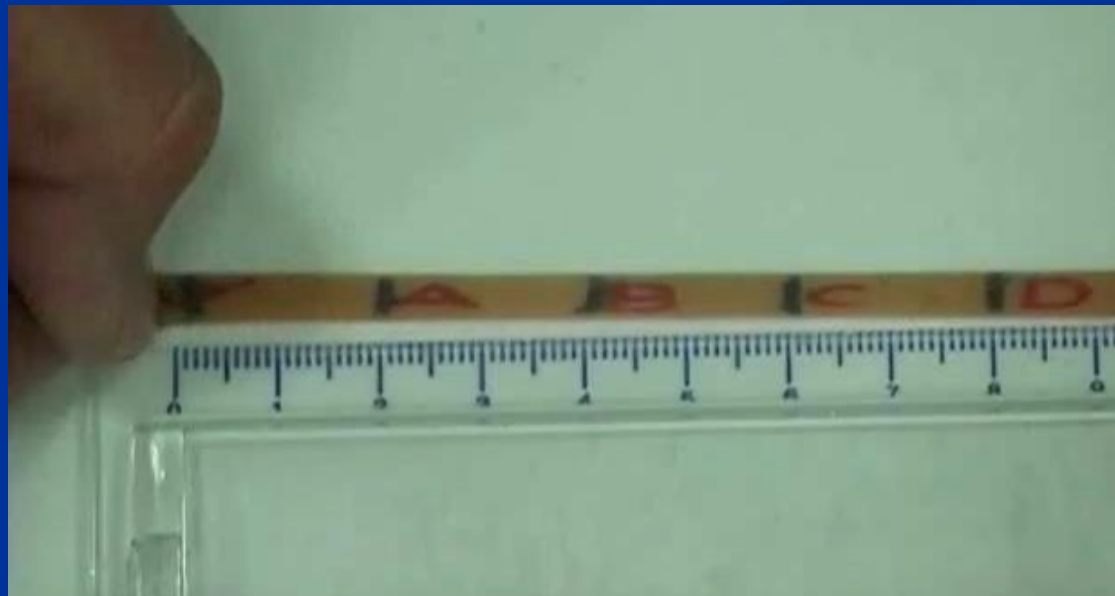
Закон Хаббла-Леметра:

$$v = H \times d$$

Галактики не двигаются в пространстве – это само пространство расширяется и увлекает галактики за собой.



Задание 3: Вселенная и резинка



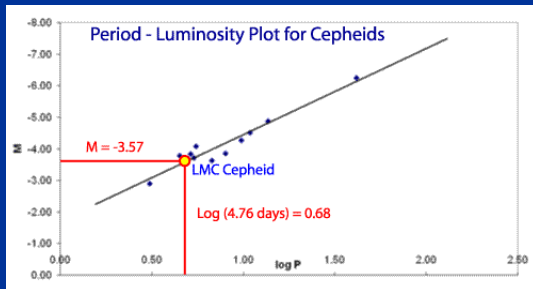
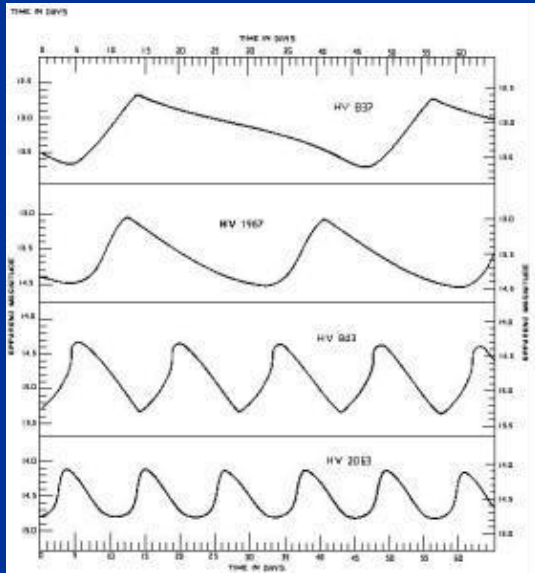
Задание 4: Вселенная в воздушном шарике



- Расстояние между галактиками увеличивается вместе с расширением шарика
- Галактики не перемещаются по шарiku
- Независимо от того, где расположить «наблюдателя» на шарике, – все галактики будут удаляться от него

Расширение Вселенной

1) Расстояние от нас до галактики может быть найдено на основе зависимости «Период-светимость» для пульсирующих переменных звезд (цефеид) (открыто Генриетой Левитт, Гарвард, начало 20 века)

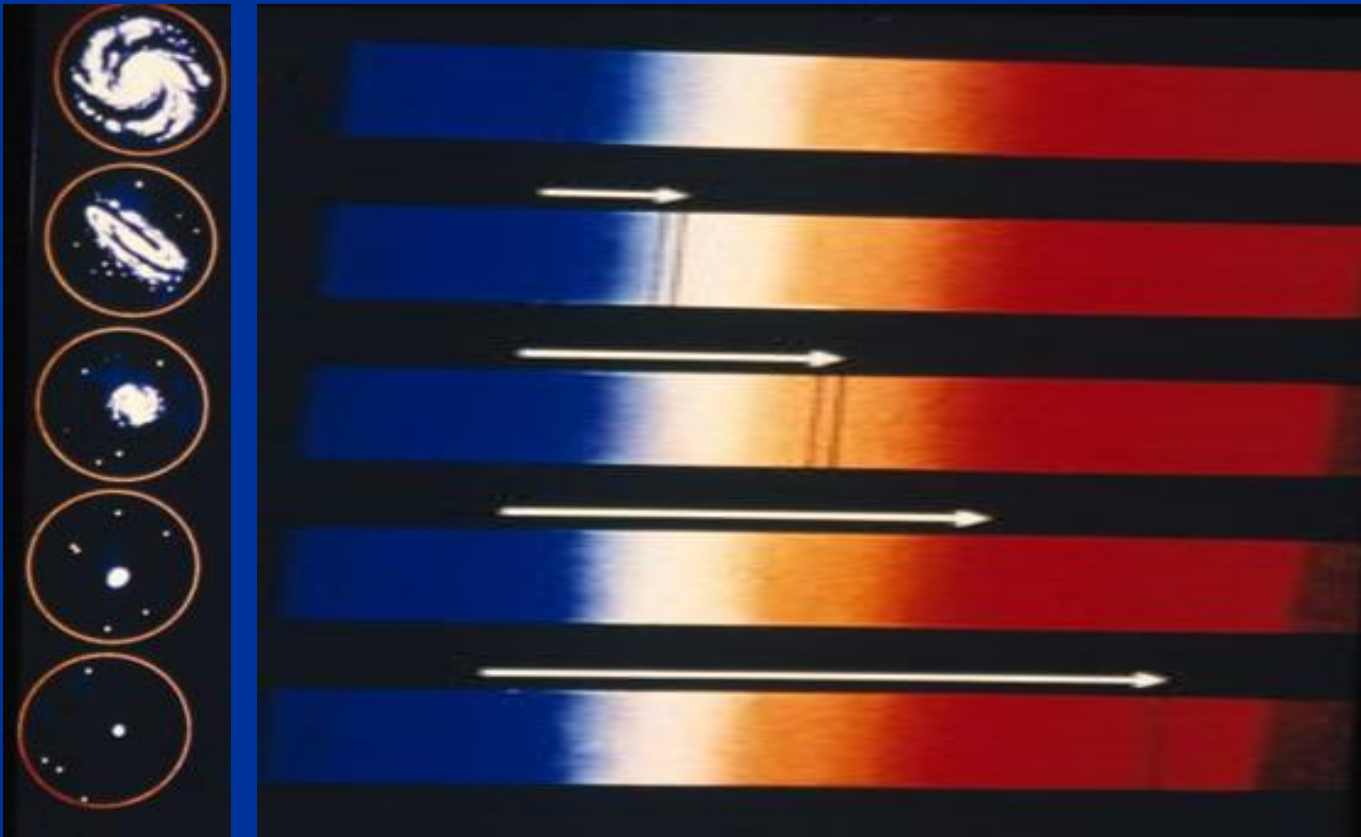


- По кривой блеска, можно найти период
- По графику зависимости «Период-светимость» определяют светимость и абсолютную звездную величину M
- Зная абсолютную M и видимую m звездные величины, оценивают расстояние до галактики по формуле $d=10^{(m-M+5)/5}$ парсек.
- Для определения расстояний до наиболее удаленных галактик астрономы используют сверхновые звезды (тип Iа), которые имеют схожее свечение.

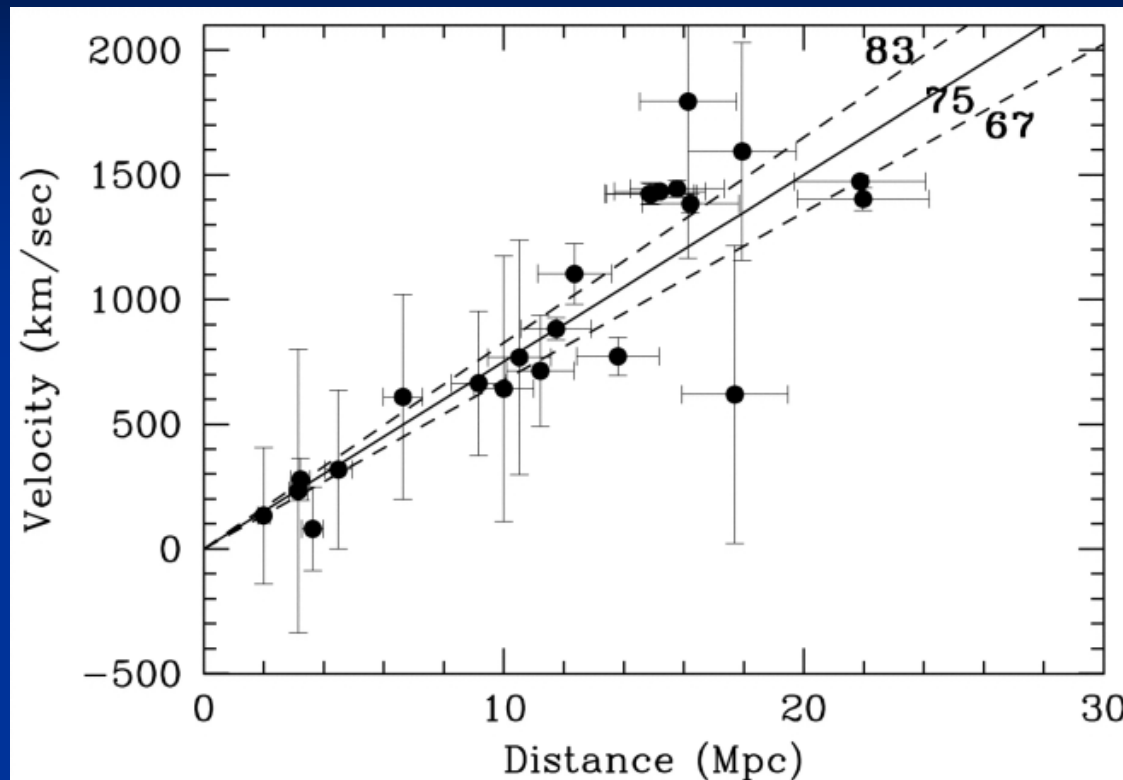


Расширение Вселенной

2) Скорость удаления галактик от нас можно оценить по сдвигу спектральных линий при помощи уравнения: $v = (\Delta \lambda / \lambda) \times c$



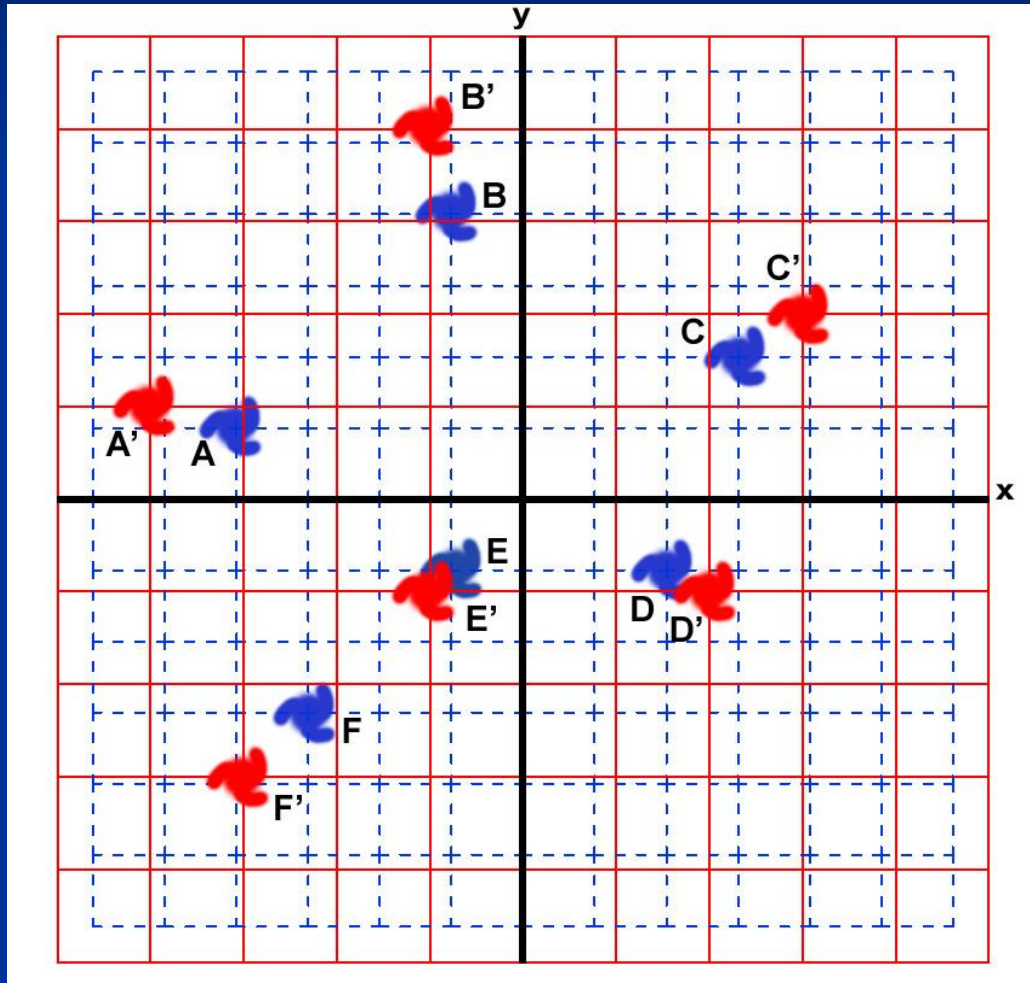
Расширение вселенной



(from Freedman et al, 2001, ApJ, vol 553, p47)

3. Постоянная Хаббла - это коэффициент пропорциональности в законе Хаббла:
 $v = H_0 \times d$, где $H_0 = 72$ (км/с)/Мпк.

Задание 5: Оценка постоянной Хаббла-Леметра

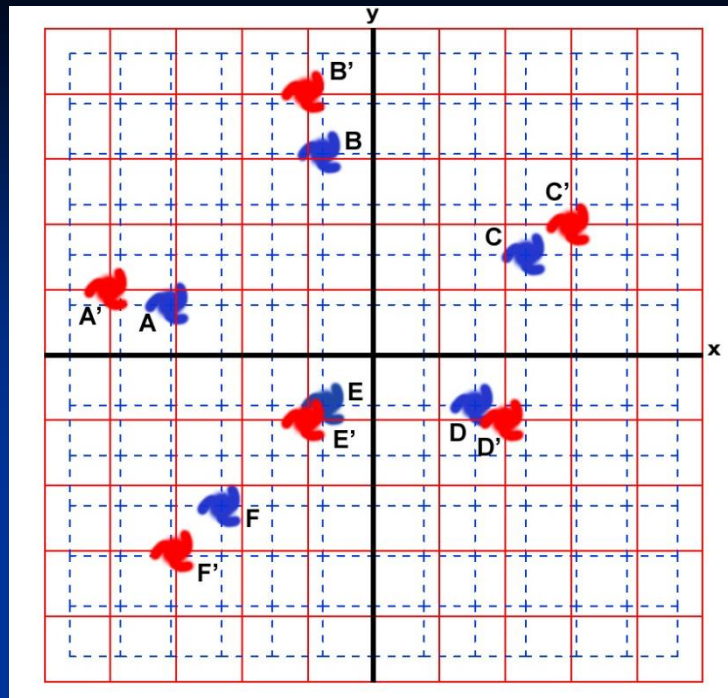


Blue = Вселенная до расширения

Red = Вселенная после расширения

Задание 5: Оценка постоянной Хаббла-Леметра

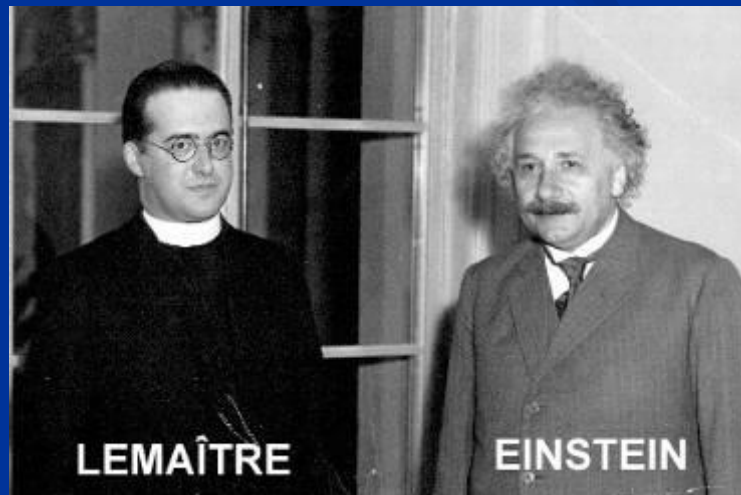
<i>Galaxy</i>	<i>Coordinates x,y</i>	<i>d=distance to origin</i>	Δd	$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$	$H = \frac{v}{d}$
<i>A</i>					
<i>A'</i>					
<i>B</i>					
<i>B'</i>					
<i>C</i>					
<i>C'</i>					
<i>D</i>					
<i>D'</i>					
<i>E</i>					
<i>E'</i>					
<i>F</i>					
<i>F'</i>					



Galaxy	Coordinates x, y	d =distance to origin	Δd	$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$	$H = \frac{v}{d}$
A	(-4, 1)				
A'	(-4, 1)				
B	(-1, 4)				
B'	(-1, 4)				
C	(3, 2)				
C'	(3, 2)				
D	(2, -1)				
D'	(2, -1)				
E	(-1, -1)				
E'	(-1, -1)				
F	(-3, -3)				
F'	(-3, -3)				

Большой взрыв

- Если мысленно перенестись назад во времени, то мы увидим раннюю Вселенную, которая совсем не похожа на ту, что мы знаем сейчас.
- Жорж Леметр, решая уравнения общей теории относительности, пришел к идее расширяющейся Вселенной, которая начиналась как “космическое яйцо”.



Большой взрыв

- На английском Большой взрыв – Big Bang.
- Название предложено английским астрофизиком Фредом Хойлом как шуточное название для космологической модели, описывающей раннее развитие Вселенной
- S & T предприняли попытку переименовать теорию. Было более 12000 предложений. Но ни одно не прижилось!



Большой взрыв

- Что было до Большого взрыва?
- Что стало причиной? Почему это произошло? Почему везде действуют одинаковые физические законы?
- Физики открывают законы на Земле, но они оказываются справедливы и для самых дальних просторов Вселенной.
- Физики изучают Вселенную от момента ее происхождения на разных этапах эволюции и находят все больше свидетельств в пользу теории расширяющейся Вселенной и теории Большого взрыва.

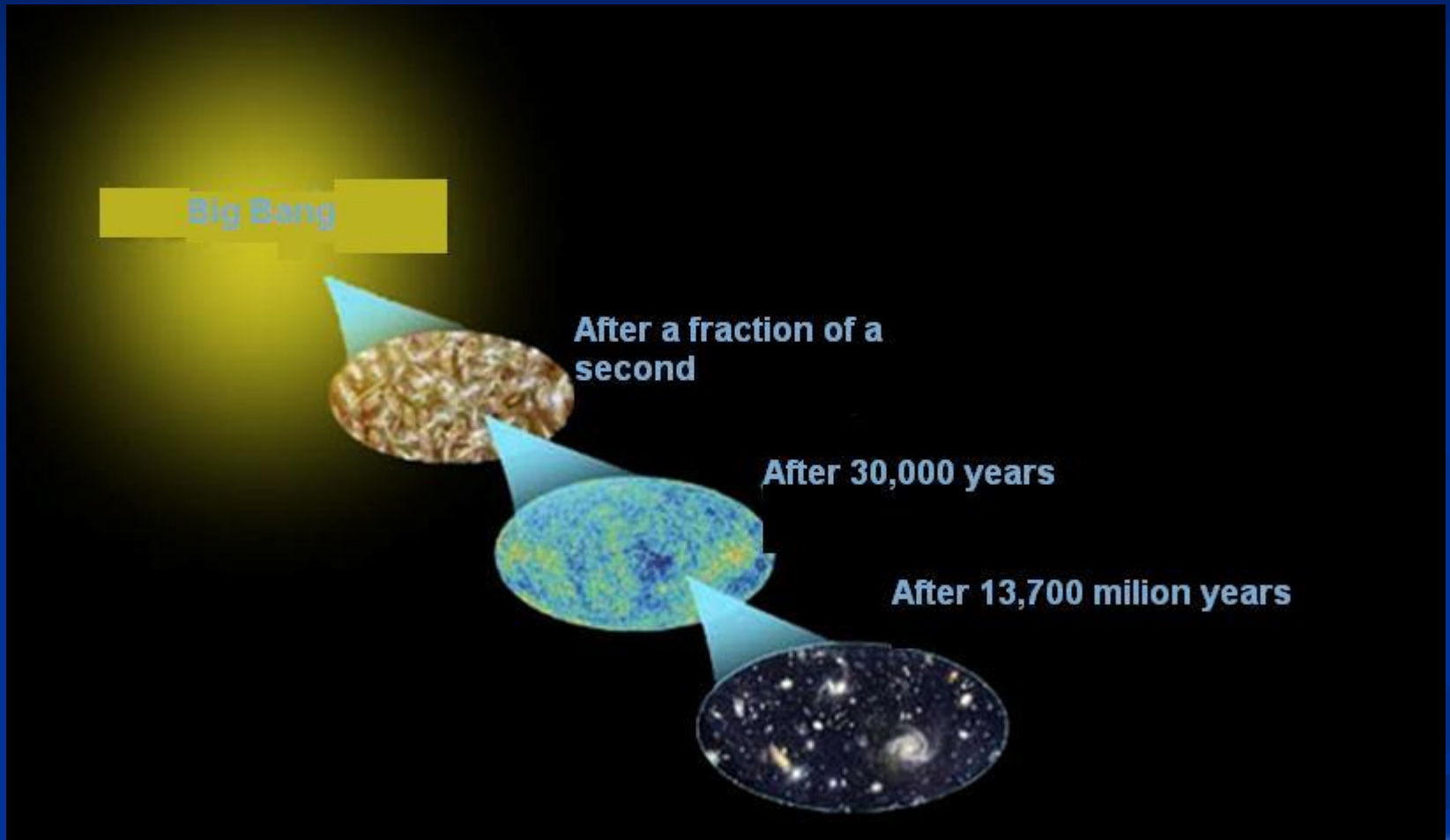


Большой взрыв

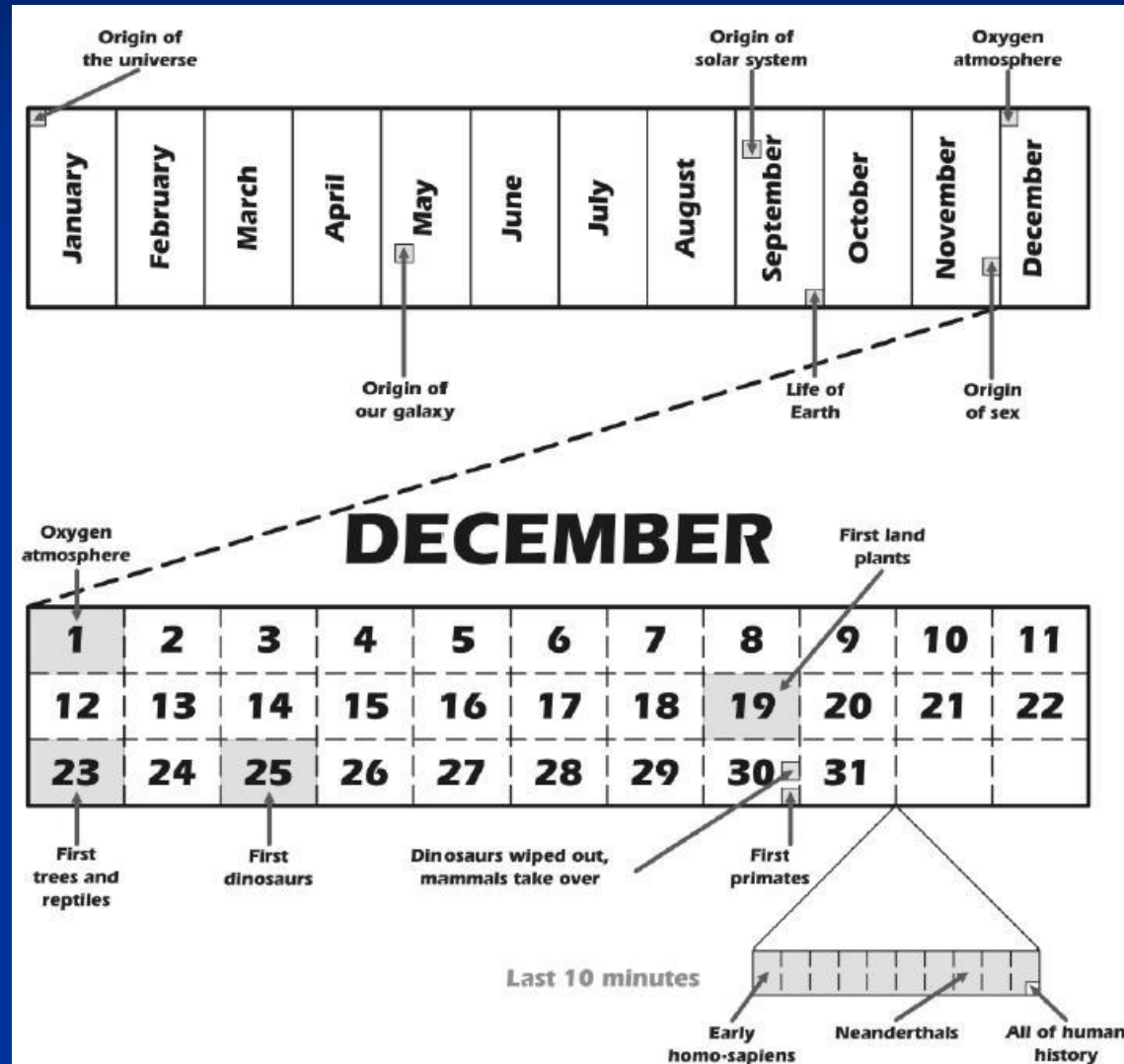
- Флуктуации квантового вакуума?
- Физический вакуум - это не пустота. Он существует, обладает энергией, в нем могут рождаться пары частицы.
- Множественность Вселенных? Существуют гипотезы, но их невозможно проверить.



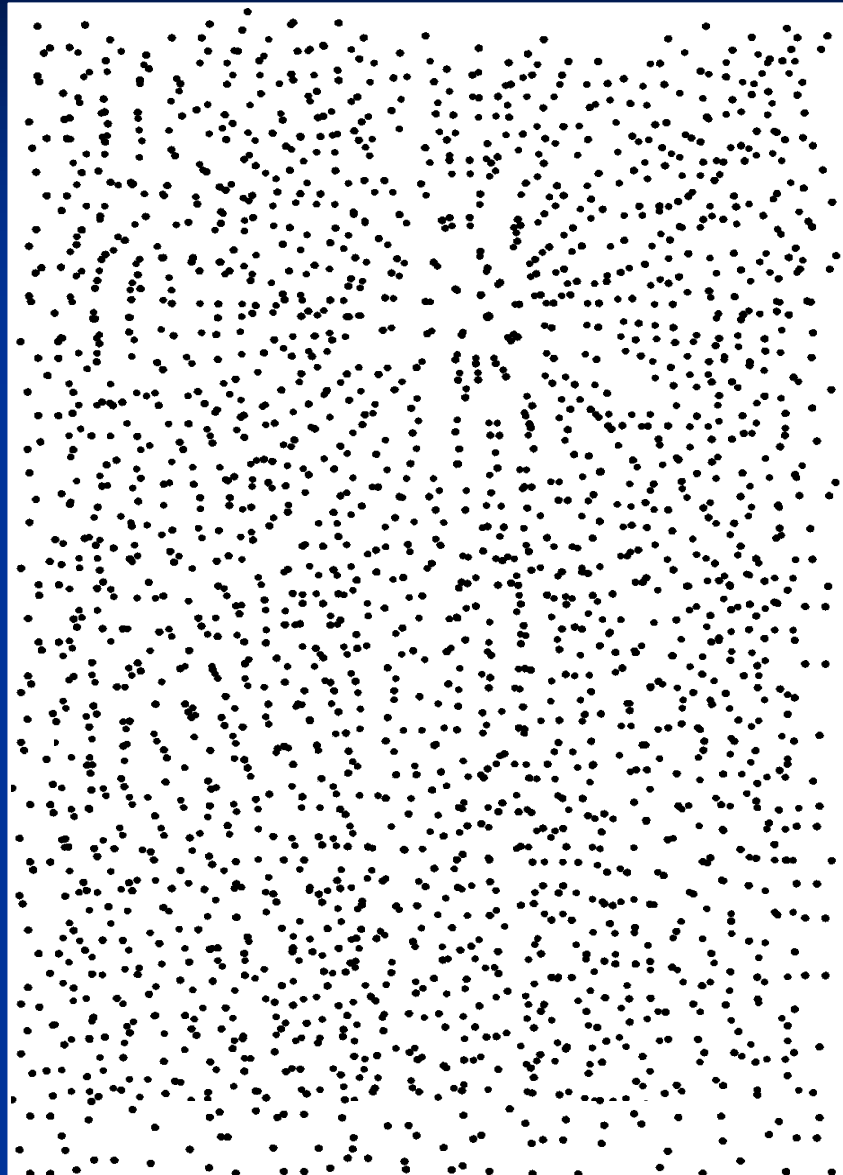
Эволюция Вселенной



Развитие Вселенной в течение КОСМИЧЕСКОГО ГОДА



Задание 6: Не существует центра расширения Вселенной

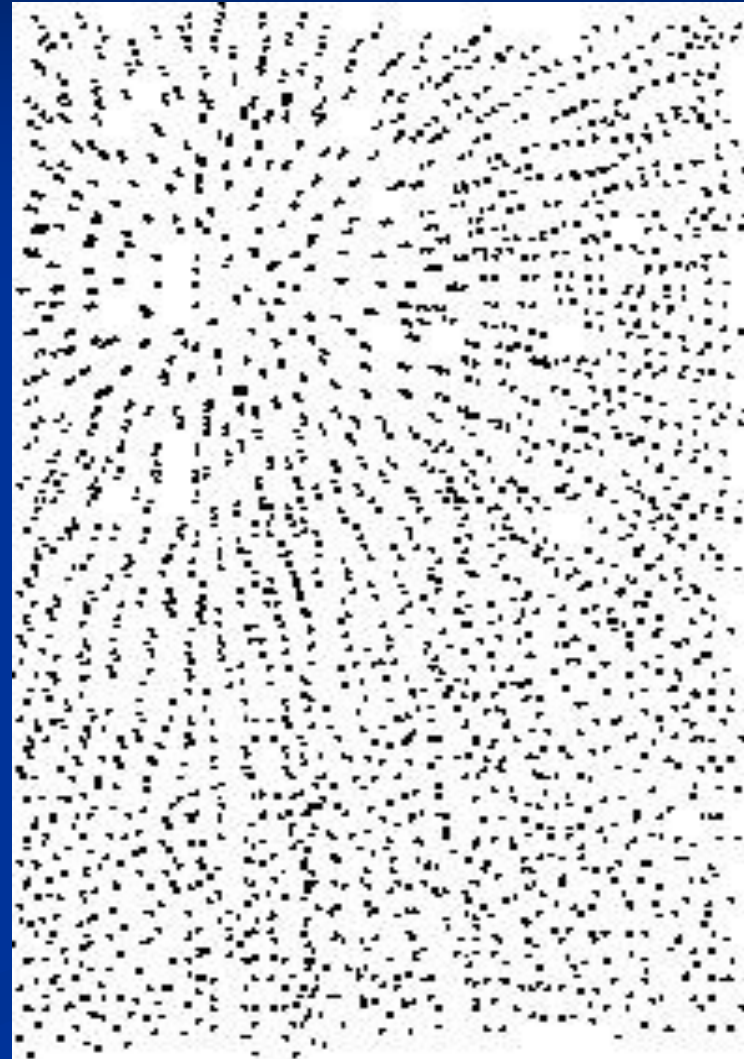
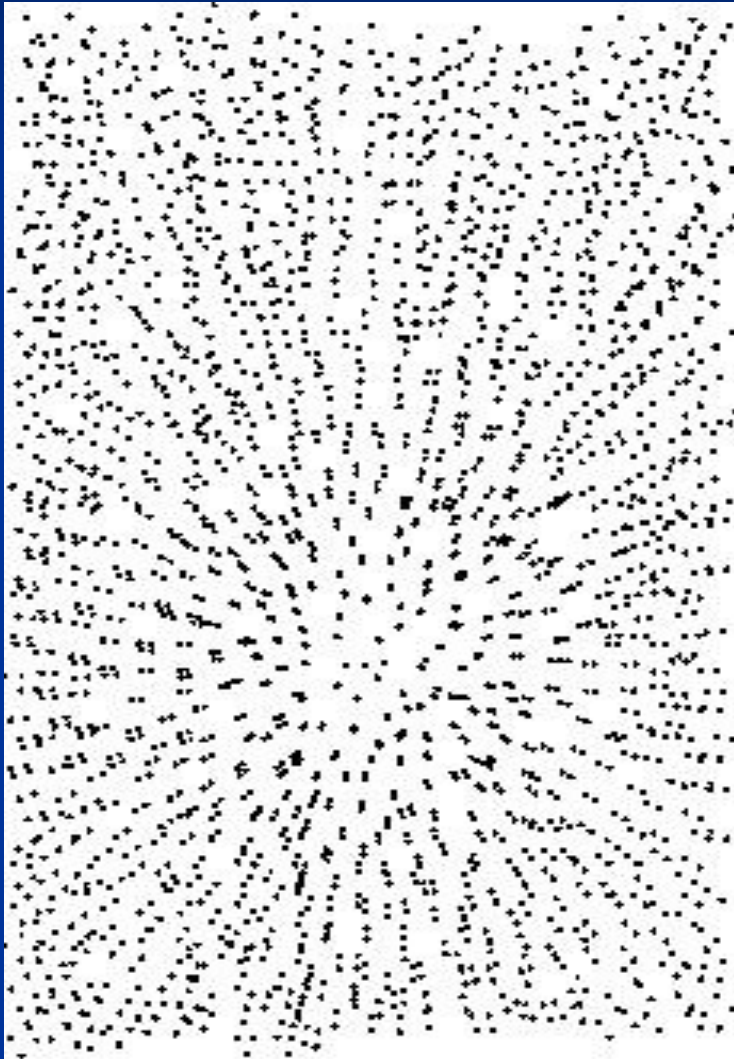


100%

105%



Задание 6: Не существует центра расширения Вселенной



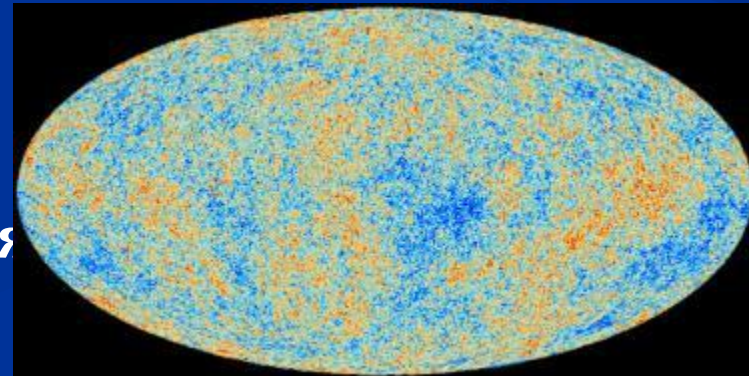
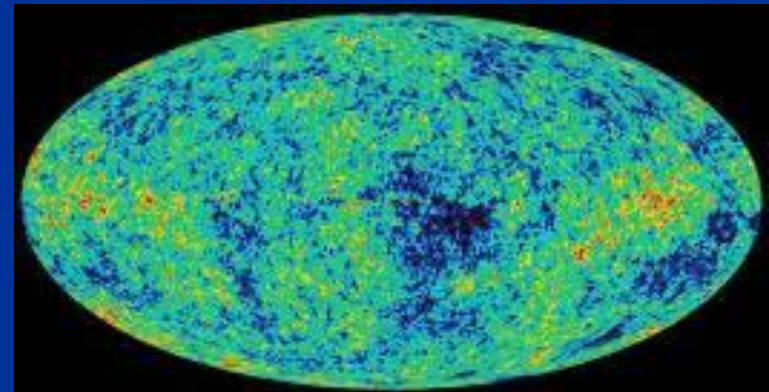
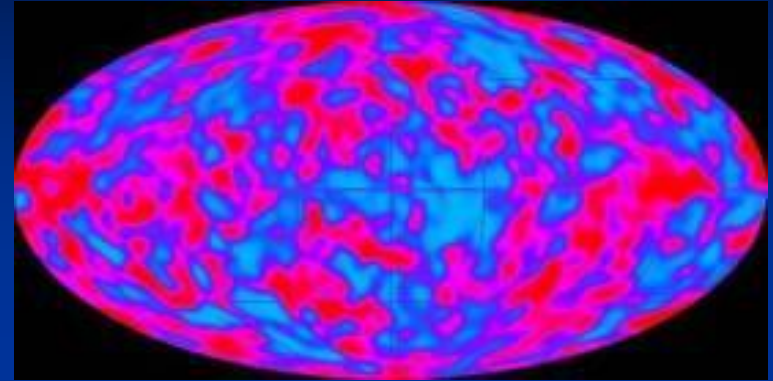
Реликтовое излучение (Cosmic Microwave Background - CMB)

- Излучение, которое появилось спустя 380 000 лет после Большого Взрыва.
- Со временем пространство расширяется, длина волны фотонов CMB увеличивается
- В настоящее время они находятся в микроволновой области.



Реликтовое излучение (СМВ)

- Наблюдения с помощью космических аппаратов COBE, WMAP и PLANCK позволили создать карту реликтового излучения.
- Удалось обнаружить небольшие флуктуации - отпечатки сгустков материи, из которых начали образовываться галактики.



Задание 7: реликтовое излучение

- Более чем через 300 000 лет после Большого взрыва, фотоны отделились от вещества и начали свободно путешествовать по Вселенной.
- По мере расширения Вселенной, длина волны фотонов увеличивается, в текущий момент $\lambda = 2$ мм, что эквивалентно $T = 2.7\text{K} = -270.3$ °С.



Задание 7: реликтовое излучение

Мы можем увидеть реликтовое излучение при помощи обычного телевизора. На пустом экране одна из десяти черных точек появляется из-за реликтового излучения. Тот же эффект можно услышать на УКВ радио, если настроиться «мимо» канала.



Темная материя:

при раскручивании стола стакан не падает на Землю под действием гравитации

Черные дыры невидимы, но мы знаем, что они существуют, потому что звездные системы вращаются вокруг них под действием гравитации



Так же невидима и темная материя, и один из способов ее обнаружить – наблюдать и изучать характер спиральных рукавов галактик.



Другой способ обнаружить темную материю: гравитационное линзирование



Гравитационная линза действует подобно оптической линзе. Она изменяет своим гравитационным полем направление распространения электромагнитного излучения, подобно тому, как обычная линза изменяет направление светового луча.



Гравитационная линза

- Свет всегда идет по наиболее короткому пути.
- Если поверхность изогнута – изогнут и путь.

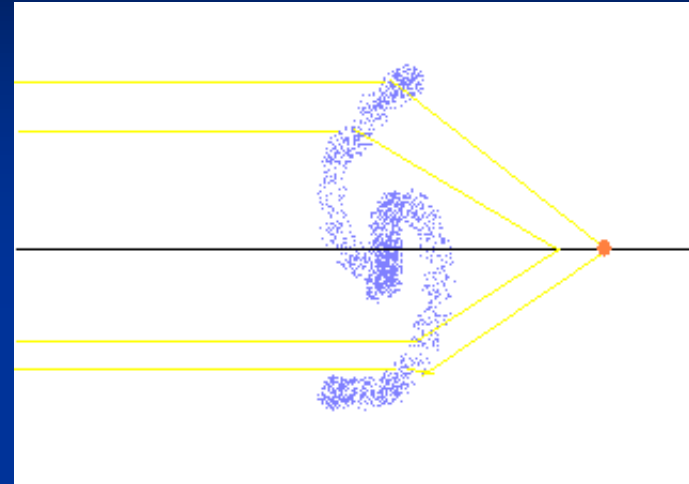
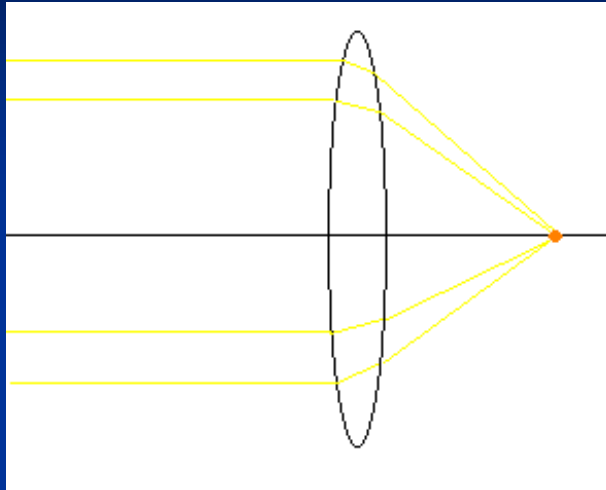


Почему луч света искривляется вблизи массивных тел?

- Вблизи массивных тел пространство искривлено и кратчайший путь между двумя точками – кривая.
- Это можно проиллюстрировать и на обычном глобусе.

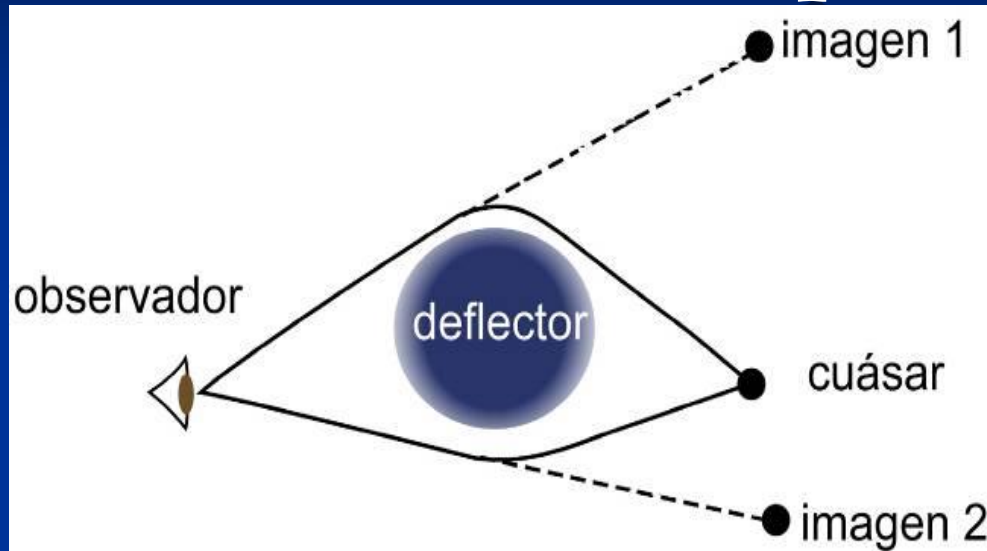


Как работает гравитационная линза ?



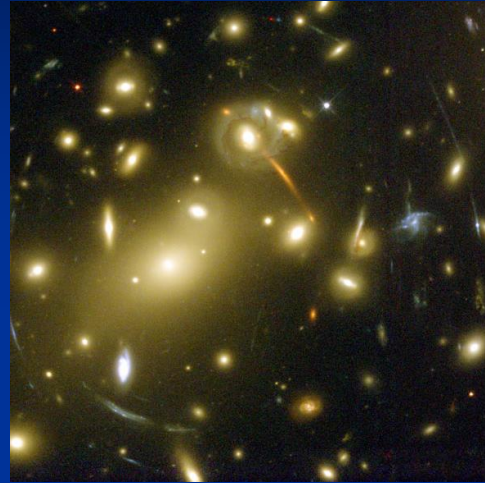
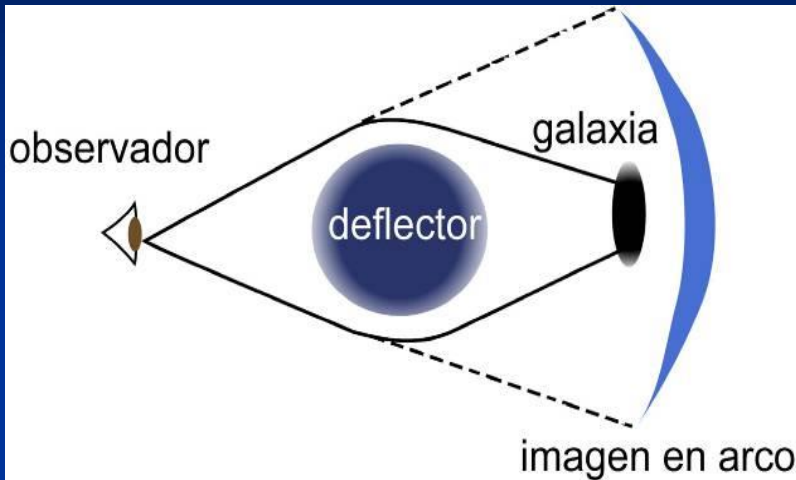
- Выпуклая оптическая линза фокусирует параллельные лучи света в одну точку.
- Гравитационная линза (галактика или скопление галактик) фокусирует световые лучи в линию вместо точки; это вносит некоторые изменения в картинку.

Изменение положения и несколько изображений



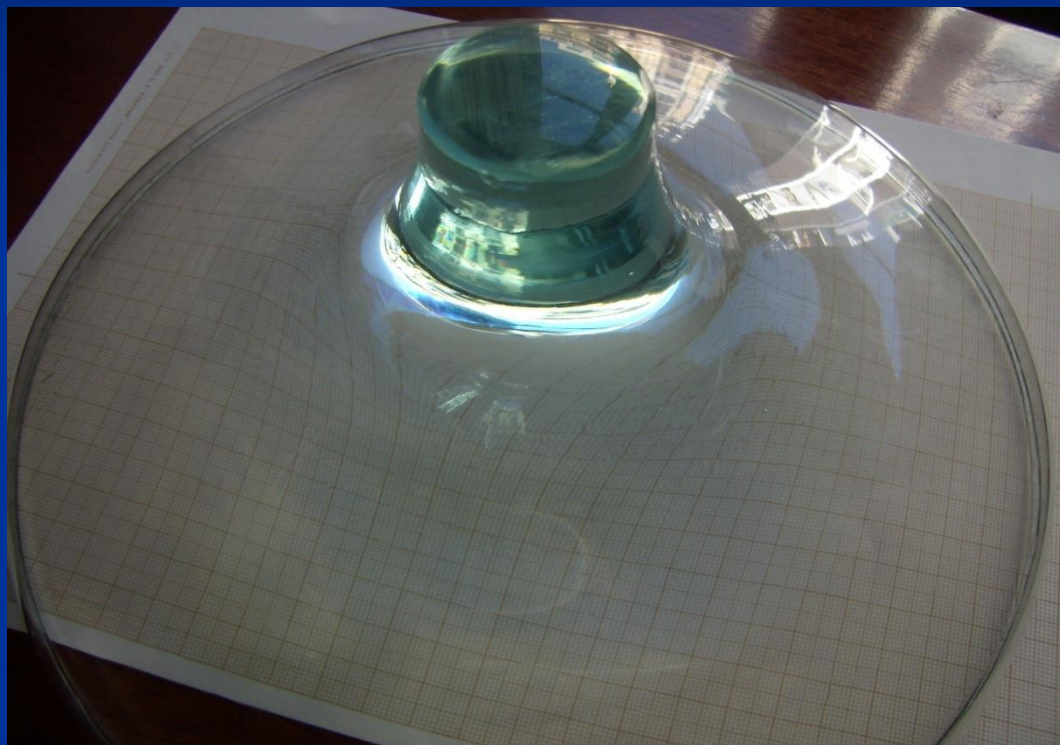
- отклонение создает видимое положение звезды, галактики или квазара.
- Гравитационные линзы могут создавать несколько изображений.

Отклонение



- Если отклоняющее тело является протяженным астрономическим источником, то получающиеся изображения представляют собой набор ярких дуг
- Если система линз идеально симметрична, лучи сходятся и в результате получается кольцо Эйнштейна.
- Если же отклоняющееся тело звезда или квазар – изображение будет точечным.

Задание 8: Моделирование искривления при помощи основания винного бокала



Если расположить основание винного бокала на клетчатый лист бумаги – мы увидим искривление клетчатого пространства.



Задание 8: Взглянем через основание винного бокала



Возьмите основание винного бокала и
посмотрите через него на окружающие
предметы



+



=



Фрагмент дуги



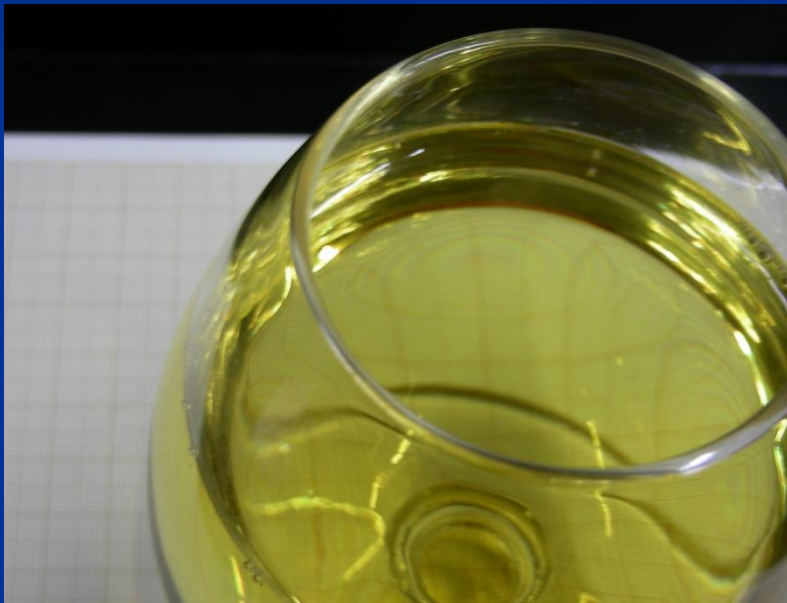
Дуга Эйнштейна



Кольцо Эйнштейна



Задание 9: Моделирование искривления пространства при помощи бокала вина



Если поставить бокал вина на клетчатую бумагу и посмотреть через напиток, вы сможете увидеть искривление

Задание 9: Зафиксируйте фонарик и медленно перемещайтесь, глядя сквозь бокал вина



Этот простой эксперимент показывает, что “материя” может исказить изображения

(Вино можно заменить любой другой жидкостью)



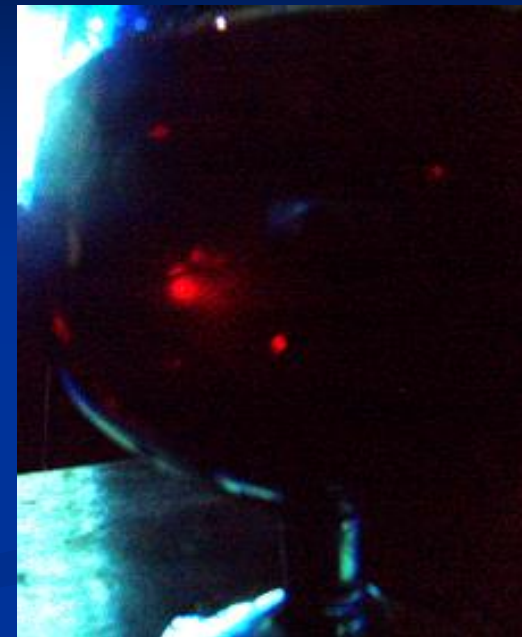
Задание 9: Зафиксируйте фонарик и двигайтесь медленно, глядя сквозь бокал вина



Фрагмент дуги



Дуга Эйнштейна



Кольцо Эйнштейна



Кольцо Эйнштейна

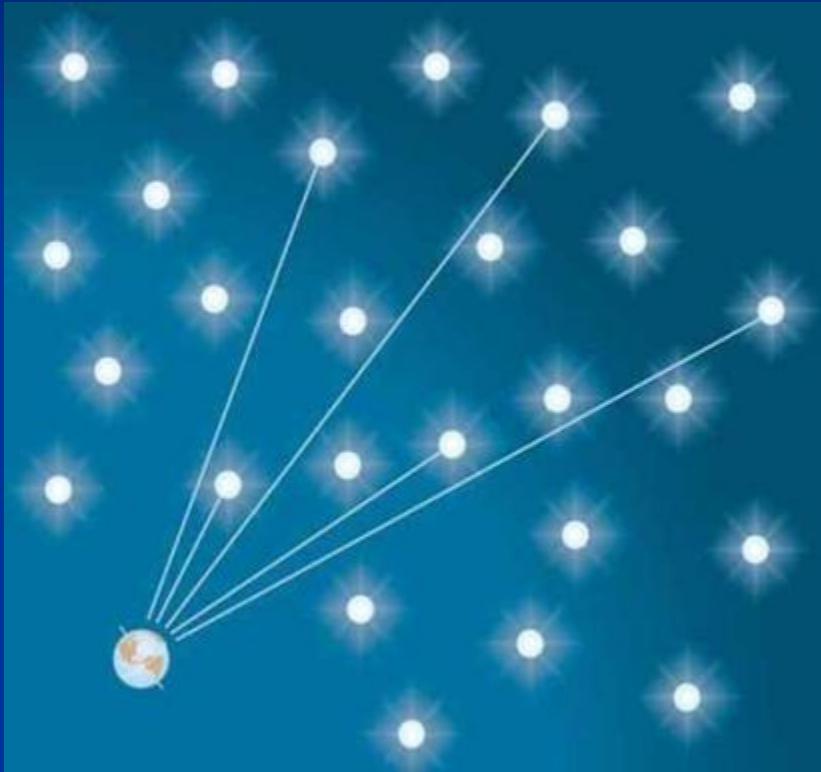
Внеклассная работа: Почему небо ночью темное?

В 1923 г. В. Ольберс предположил:

- Вселенная бесконечного размера.
- Звезды равномерно распределены по Вселенной.
- Все звезды имеют одинаковую светимость во всей Вселенной, тогда...



Внеклассная работа: Почему небо ночью темное?



... бесконечная вселенная будет иметь
бесконечное количество объектов и должна быть
яркой ночью



Почему небо ночью темное?

Тогда :

- Каждая точка на небе должна быть яркой, а не темной, в каком бы направлении не смотреть
- Количество звезд в каждом «луковом слое» неба пропорционально квадрату расстояния от Земли, а интенсивность их света обратно пропорциональна квадрату этого расстояния. Следовательно, каждый слой обеспечивает одинаковую яркость света на Земле. Если слоев бесконечно много – небо должно выглядеть ярким ночью.



Почему небо ночью темное?

Но с современных позиций в этом рассуждении есть ошибки:

- Чем звезды дальше от нас, тем больше их спектр смещен в красную сторону. Из-за этого более далекие звезды более тусклые.
- Но, прежде всего, возраст Вселенной конечен, скорость света тоже конечна, следовательно, нет и бесконечных слоев звезд.

Эдгар Аллан По предложил возможное решение парадокса Ольберса в своем эссе “Эврика”, изданном в 1848 году.

Ночь должна быть темной!



Большое спасибо за
внимание!

