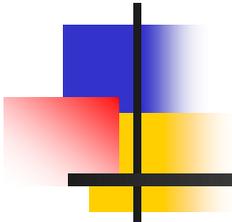
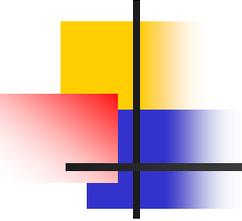


ВВЕДЕНИЕ В КОСМОЛОГИЮ



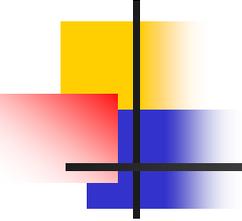
АЛЕКСЕЙ ГЛАДЫШЕВ

(ОИЯИ, Дубна)



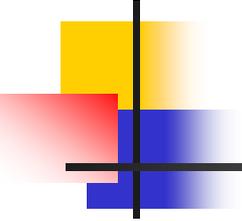
Вопросы

- ❑ «Сравним километр с килограммом»
- ❑ «Что? Где? Когда? Почему?»
- ❑ «Горе от ума»
- ❑ «Очень близкая галактика»
- ❑ «Очень далёкая галактика»
- ❑ «Красный или зелёный? Или как обмануть полицейского»
- ❑ «Утомлённый свет»
- ❑ «Ресторан на краю Вселенной»



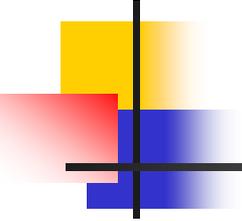
«Сравним километр с килограммом»

- Вопрос: Чему равен один километр в килограммах?



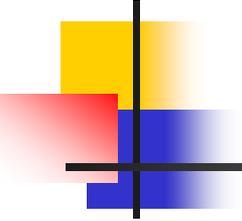
«Сравним километр с килограммом»

- Вопрос: Чему равен один километр в килограммах?
- Справка:
 $1 \text{ см} = 5 \times 10^{13} \text{ ГэВ}^{-1}$
 $1 \text{ ГэВ} = 1.8 \times 10^{-24} \text{ г}$



«Сравним километр с килограммом»

- Вопрос: Чему равен один километр в килограммах?
- Справка:
 $1 \text{ см} = 5 \times 10^{13} \text{ ГэВ}^{-1}$
 $1 \text{ ГэВ} = 1.8 \times 10^{-24} \text{ г}$
- Ответ: $2.8 \times 10^{44} \text{ кг}^{-1}$



«Что? Где? Когда? Почему?»

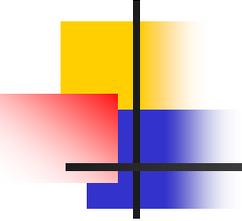
- Вопрос: ЧТО означает расширение Вселенной?

«Что? Где? Когда? Почему?»

- Вопрос: ЧТО означает расширение Вселенной?
- Ответ:

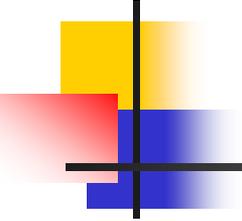
Расширение Вселенной означает расширение пространства.
Хорошая аналогия – раздувающийся воздушный шар. Галактики, находящиеся на поверхности шара неподвижны, но поскольку Вселенная расширяется, расстояние между ними увеличивается.





Задача про взрыв

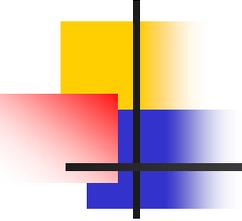
- Вопрос: Произошел взрыв ... ☹ Разлетелись осколки ...
Как всё это выглядит в системе отсчета,
связанной с одним из осколков?



Задача про взрыв

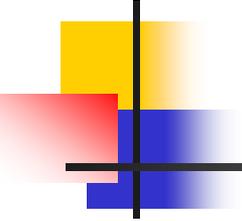
- Вопрос: Произошел взрыв ... ☹ Разлетелись осколки ...
Как всё это выглядит в системе отсчета,
связанной с одним из осколков?

- Ответ: Точно так же.



«Что? Где? Когда? Почему?»

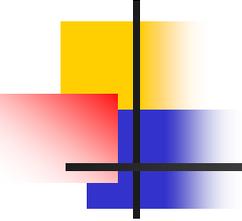
- Вопрос: ГДЕ (в каком месте Вселенной) находился эпицентр
 Большого Взрыва?



«Что? Где? Когда? Почему?»

- Вопрос: ГДЕ (в каком месте Вселенной) находился эпицентр Большого Взрыва?

- Ответ: Везде. Большой Взрыв произошел повсеместно, в отличие от взрыва бомбы, которая взрывается, а осколки разлетаются во все стороны.



«Что? Где? Когда? Почему?»

- Вопрос: КОГДА (сколько лет назад) произошел самый Большой Взрыв в истории?

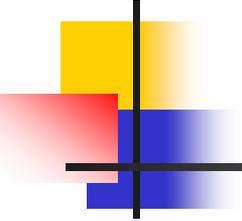
«Что? Где? Когда? Почему?»

- Вопрос: КОГДА (сколько лет назад) произошел самый Большой Взрыв в истории?
- Ответ: Зависимость масштабного фактора от времени

$$a(t) = a_0 \left(\frac{t}{t_0} \right)^{\frac{2}{3(1+w)}}$$

Отсюда получаем

$$H(t) = \frac{2}{3(1+w)} \frac{1}{t}$$

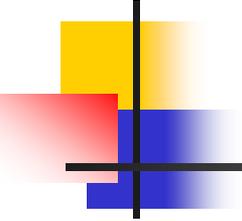


«Что? Где? Когда? Почему?»

- Вопрос: КОГДА (сколько лет назад) произошел самый Большой Взрыв в истории?
- Ответ: Предполагая, что во Вселенной преобладает вещество, а не излучение, т.е. $w=0$, и используя $H=71$ км/с/Мпк получаем оценку для возраста Вселенной

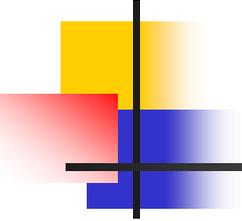
$$t_0 \sim \frac{2}{3H_0} \approx 2.9 \times 10^{17} \text{ s} \approx 10^{10} \text{ yr}$$

Результат WMAP $t_0=13.4 \pm 0.3$ миллиардов лет



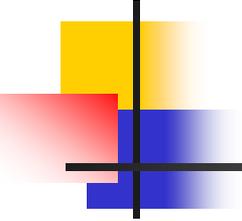
«Что? Где? Когда? Почему?»

- Вопрос: ПОЧЕМУ произошел Большой Взрыв?
 А что было до него? И было ли вообще?



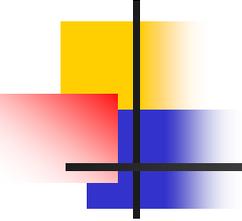
«Что? Где? Когда? Почему?»

- Вопрос: ПОЧЕМУ произошел Большой Взрыв?
А что было до него? И было ли вообще?
- Подсказка: Вспомните, с какого момента мы рассматривали историю Вселенной.



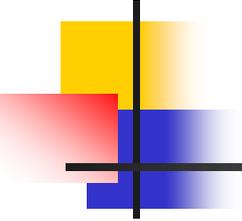
«Что? Где? Когда? Почему?»

- Вопрос: ПОЧЕМУ произошел Большой Взрыв?
А что было до него? И было ли вообще?
- Подсказка: Вспомните, с какого момента мы рассматривали историю Вселенной.
- Ответ: Теория Большого взрыва не дает никакой информации о том что было до Большого взрыва и что послужило его причиной. “Считается” что в его момент образовалось само пространство-время.



«Горе от ума»

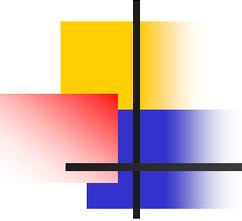
- Вопрос: Насколько увеличивается размер головы умного школьника за годы учёбы вследствие расширения пространства?



«Горе от ума»

- Вопрос: Насколько увеличивается размер головы умного школьника за годы учёбы вследствие расширения пространства?

- Справка: Диаметр головы = 20 см
 Время в пути до аттестата 10 лет

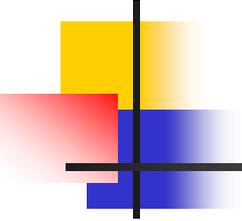


«Горе от ума»

- Вопрос: Насколько увеличивается размер головы умного школьника за годы учёбы вследствие расширения пространства?

- Справка: Диаметр головы = 20 см
 Время в пути до аттестата 10 лет

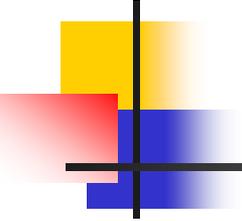
- Ответ: ~ 10^{-11} м



«Горе от ума»

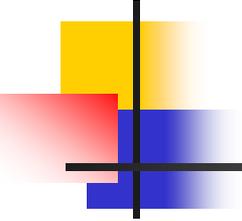
- Вопрос: А имеет ли вообще смысл предыдущий вопрос?

- Варианты ответов: 1. Да. Почему?
 2. Нет. Почему?



«Горе от ума»

- Вопрос: А имеет ли вообще смысл предыдущий вопрос?
- Ответ: Конечно же “2. Нет”. Хотя мы и говорим о расширении пространства, мы говорим только о космологическом расширении. Т.е. объекты, находящиеся в нем не меняют своих размеров.

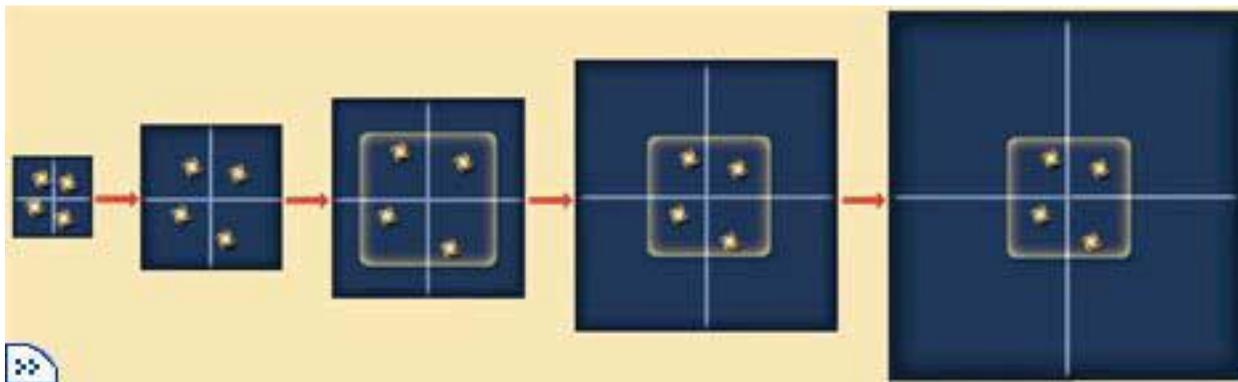
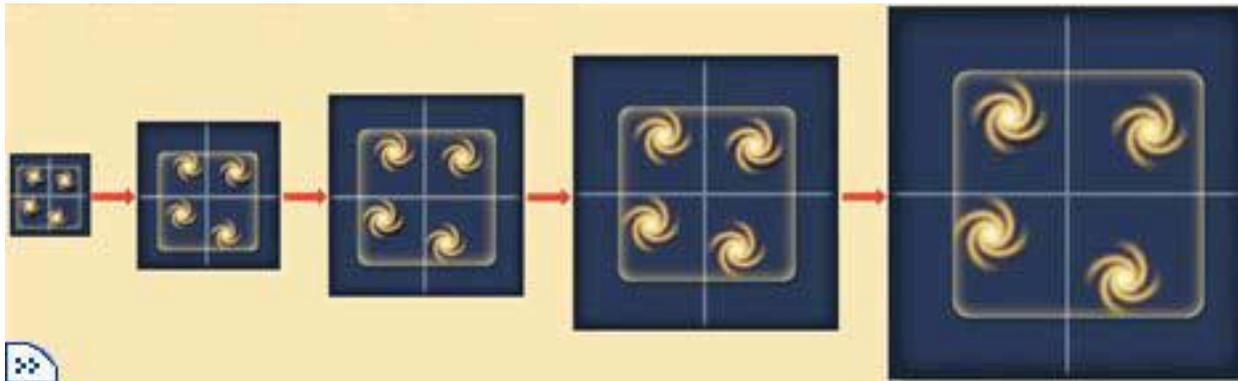


«Горе от ума»

- Вопрос: А имеет ли вообще смысл предыдущий вопрос?
- Ответ: Конечно же “2. Нет”. Хотя мы и говорим о расширении пространства, мы говорим только о космологическом расширении. Т.е. объекты, находящиеся в нем не меняют своих размеров.
- Это справедливо и для скоплений галактик. Вселенная расширяется, но связанные объекты в ней не делают этого. Соседние галактики сначала удаляются, но в конечном счете их взаимное притяжение пересиливает расширение. Формируется скопление такого размера, которое соответствует его равновесному состоянию.

«Горе от ума»

- Вопрос: Какая картинка правильная?



«Очень близкая галактика»

- Вопрос: Ближайшая к нам крупная галактика – Туманность Андромеды (М31) согласно наблюдениям движется к нам, а не от нас. Не противоречит ли это закону Хаббла?

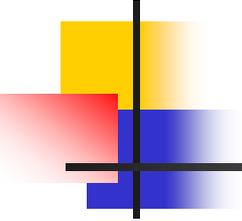


«Очень близкая галактика»

- Вопрос: Ближайшая к нам крупная галактика – Туманность Андромеды (М31) согласно наблюдениям движется к нам, а не от нас. Не противоречит ли это закону Хаббла?

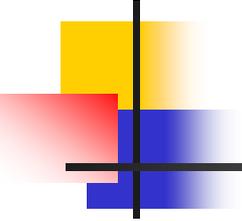


- Ответ: Нисколько. Закон Хаббла выводится в предположении отсутствия у галактик скоростей, связанных с их собственным движением (а оно есть у всех!). Наша галактика и М31 движутся в основном под действием взаимного притяжения. Для далеких галактик закон Хаббла справедлив с высокой точностью.



«Очень далёкая галактика»

- Вопрос: С какой скоростью удаляется от нас галактика, находящаяся на расстоянии 4300 Мпк ?

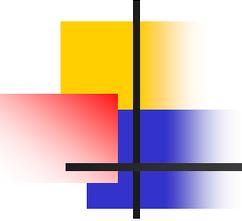


«Очень далёкая галактика»

□ Вопрос: С какой скоростью удаляется от нас галактика, находящаяся на расстоянии 4300 Мпк ?

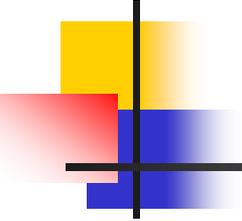
□ Ответ:

$$v = H \cdot r = 71 \frac{\text{км}}{\text{с} \cdot \text{Мпк}} \cdot 4300 \text{ Мпк} = 305300 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$



«Очень далёкая галактика»

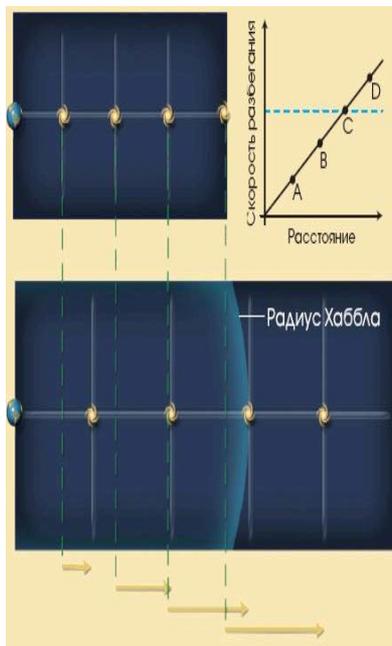
- Вопрос: В чем парадокс и может ли такое быть?



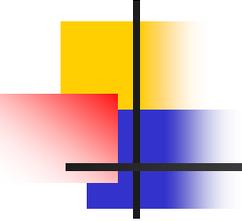
«Очень далёкая галактика»

- Вопрос: В чем парадокс и может ли такое быть?
- Ответ: Парадокса никакого нет. Согласно закону Хаббла начиная с некоторого расстояния (хаббловского расстояния) галактики действительно удаляются от нас со сверхсветовой скоростью. Хаббловское расстояние соответствует примерно $z=1.5$. Обнаружено уже больше 1000 таких галактик.

«Очень далёкая галактика»



Это не является нарушением теории относительности.
Почему?



«Очень далёкая галактика»

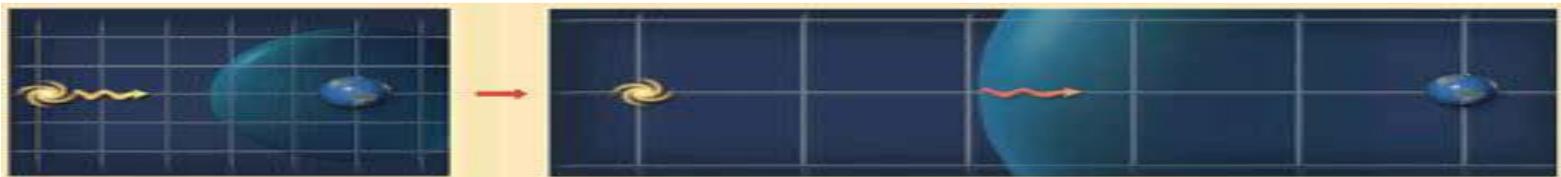
- Вопрос: Можно ли увидеть свет от галактики находящейся дальше хаббловского расстояния (т.е. двигающихся со скоростью, превышающей скорость света)?

- Варианты ответов: 1. Да. Почему?
 2. Нет. Почему?

«Очень далёкая галактика»

- Вопрос: Можно ли увидеть свет от галактики находящейся дальше хаббловского расстояния?

- Ответ: 1. Да, поскольку скорость расширения меняется со временем. Сначала фотон сносится расширением. Но хаббловское расстояние увеличивается и фотон в конце концов может попасть в сферу Хаббла



«Красный или зелёный ?»

□ Вопрос: С какой скоростью нужно приближаться к светофору, чтобы красный свет показался зелёным?

□ Справка: Длина волны красного света равна $\sim 0,6-0,7$ мкм
Длина волны зелёного света равна $0,48$ мкм

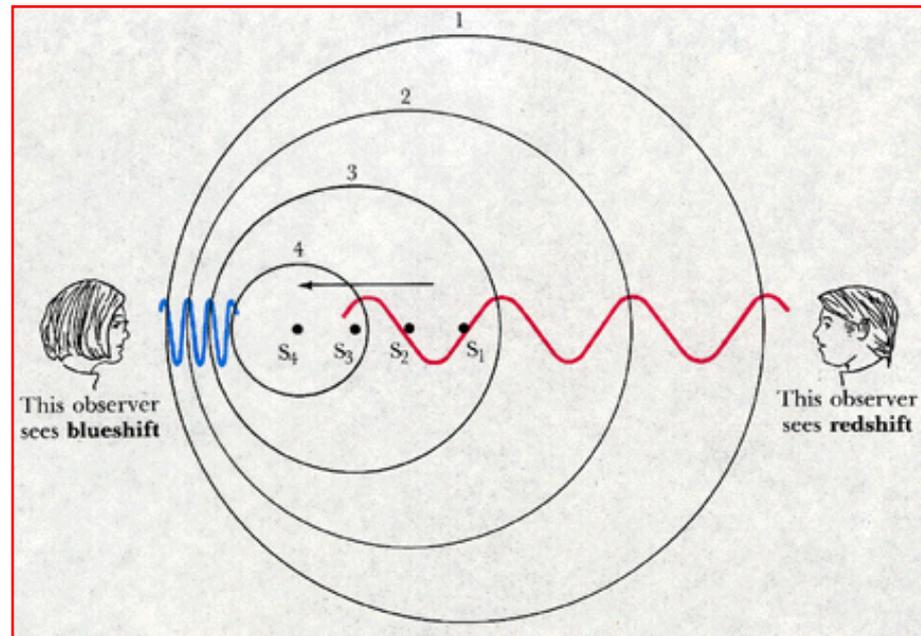
□ Ответ:

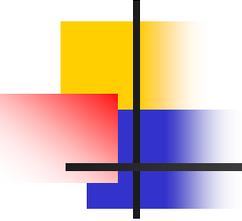
$$z = \frac{\lambda_{observed} - \lambda_{emitted}}{\lambda_{emitted}} = \frac{0.6\text{мкм} - 0.48\text{мкм}}{0.48\text{мкм}} = \frac{0.12}{0.48} = \frac{1}{4} = \frac{v}{c}$$

$$v = c/4 = 75000\text{км}/c$$

«Красный или зелёный ?»

- Вопрос: ЧТО общего между эффектом Допплера, и космологическим красным смещением? В чём различие?

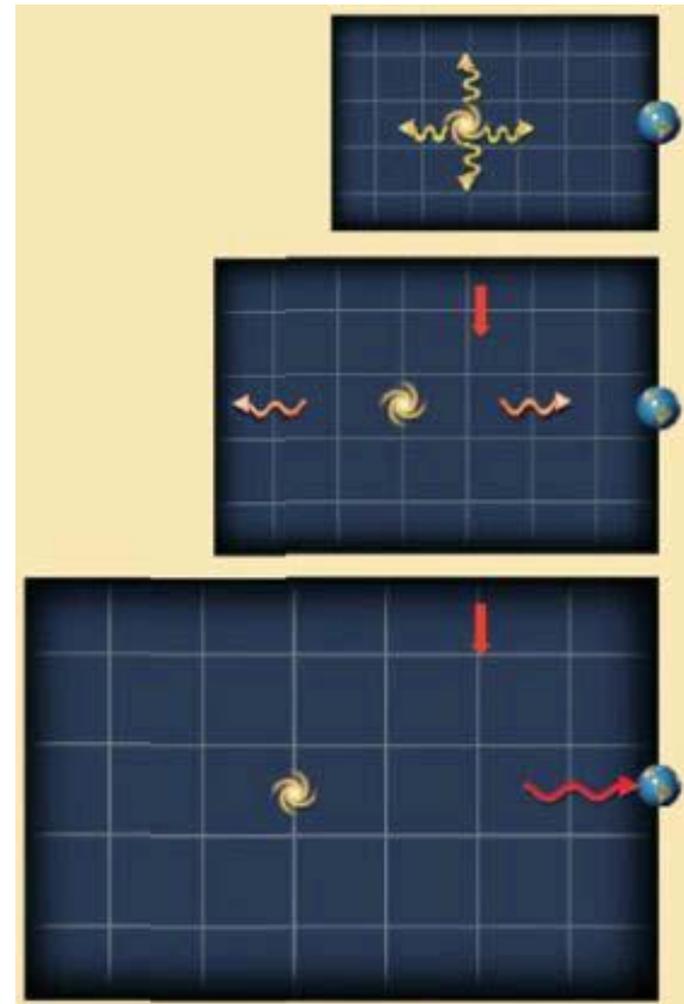
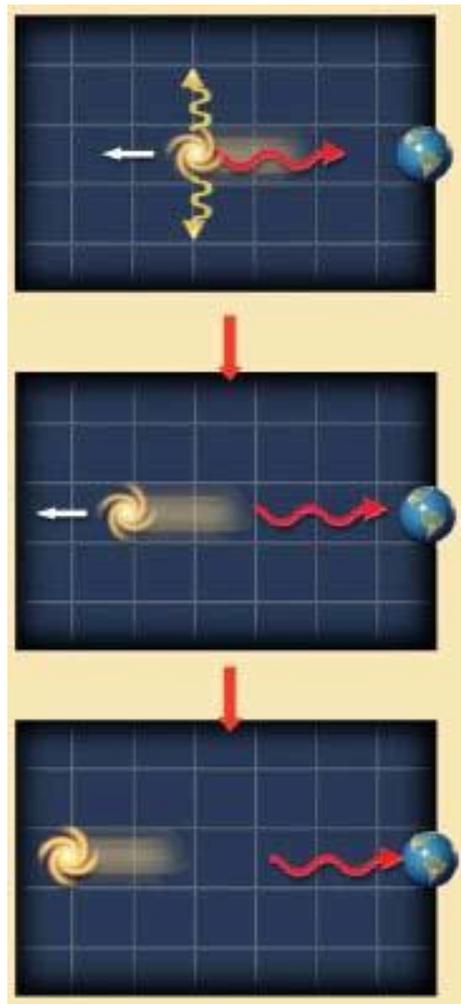




«Красный или зелёный ?»

- Вопрос: ЧТО общего между эффектом Допплера, и космологическим красным смещением? В чём различие?
- Ответ: Космологическое красное смещение не имеет никакого отношения к эффекту Допплера. За время пути от далекой (практически неподвижной !) галактики длина волны становится больше, поскольку пространство расширяется. Поэтому свет постепенно краснеет.

«Красный или зелёный?»

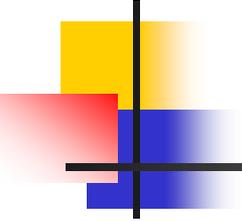


November
8, 2018

A Gladyshev

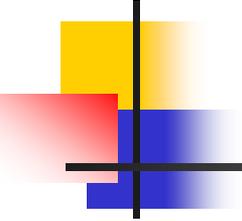
“Introduction to Cosmology”

37



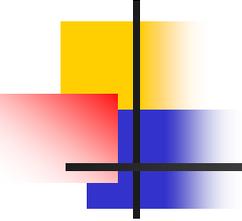
«Утомлённый свет»

- Вопрос: А может быть причина красного смещения не в расширении Вселенной?



«Утомлённый свет»

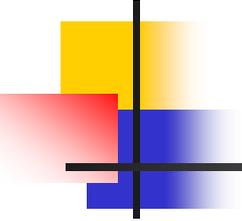
- Вопрос: А может быть причина красного смещения не в расширении Вселенной?
- Предположение: Красное смещение в спектрах галактик вызвано не расширением Вселенной, а чем-то вроде «утомления» от долгой поездки. Некий неизвестный процесс вынуждает свет терять энергию и поэтому краснеть.



«Утомлённый свет»

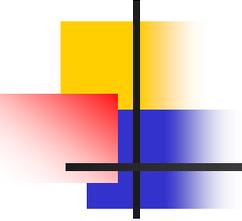
- Вопрос: А может быть причина красного смещения не в расширении Вселенной?
- Ответ: Гипотеза усталости не согласуется с наблюдениями. Сверхновые при взрыве сначала вспыхивают, затем тускнеют. Процесс занимает ~ 2 недели. Гипотеза усталости говорит о том, что свет покраснеет, но мы все равно будем наблюдать процесс 2 недели.

Но наблюдения говорят другое. Вспышка сверхновой в галактике с $z=0.5$ длится 3 недели, а в галактике с $z=1$ – месяц. В чем причина?



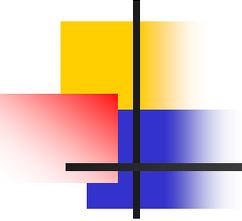
«Ресторан на краю Вселенной»

- Вопрос: Вам позвонил друг «заседающий» в ресторане, расположенном на краю Вселенной? Какое расстояние разделяет вас в тот момент, когда Вы сказали «Алло»?



«Ресторан на краю Вселенной»

- Вопрос: Вам позвонил друг «заседающий» в ресторане, расположенном на краю Вселенной? Какое расстояние разделяет вас в тот момент, когда Вы сказали «Алло»?
- Ответ: Казалось бы расстояние равно ct , где t – возраст Вселенной (~ 14 миллиардов лет).



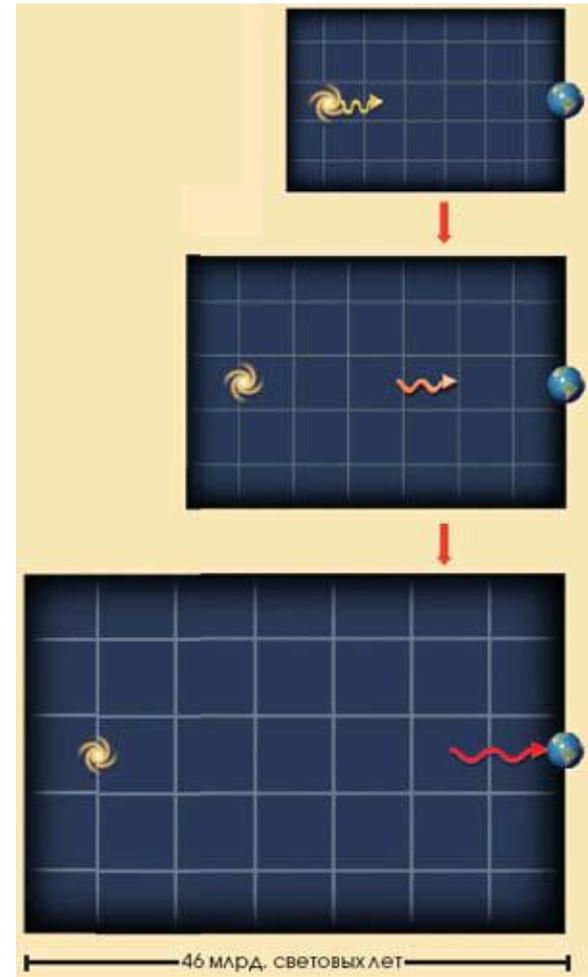
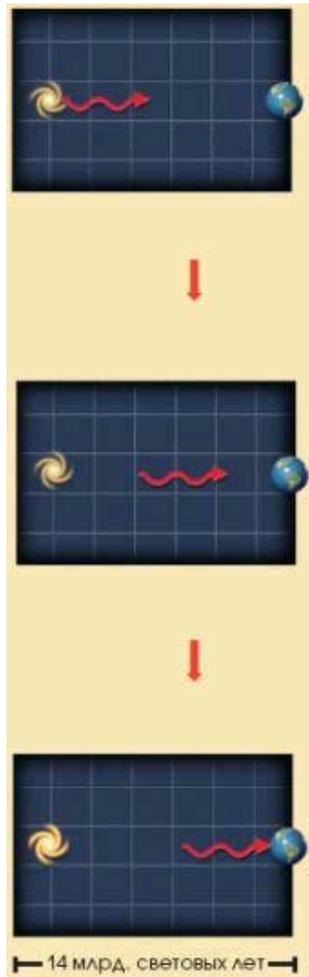
«Ресторан на краю Вселенной»

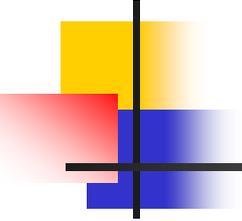
□ Вопрос: Вам позвонил друг «заседающий» в ресторане, расположенном на краю Вселенной? Какое расстояние разделяет вас в тот момент, когда Вы сказали «Алло»?

□ Ответ: Казалось бы расстояние равно ct , где t – возраст Вселенной (~ 14 миллиардов лет).

Но, объект, из стен которого испущен радиосигнал продолжает удаляться, причем со сверхсветовой скоростью! Истинное расстояние до «ресторана» оказывается примерно в 3 раза больше! Примерно 46 млрд световых лет!

«Ресторан на краю Вселенной»





THE END

