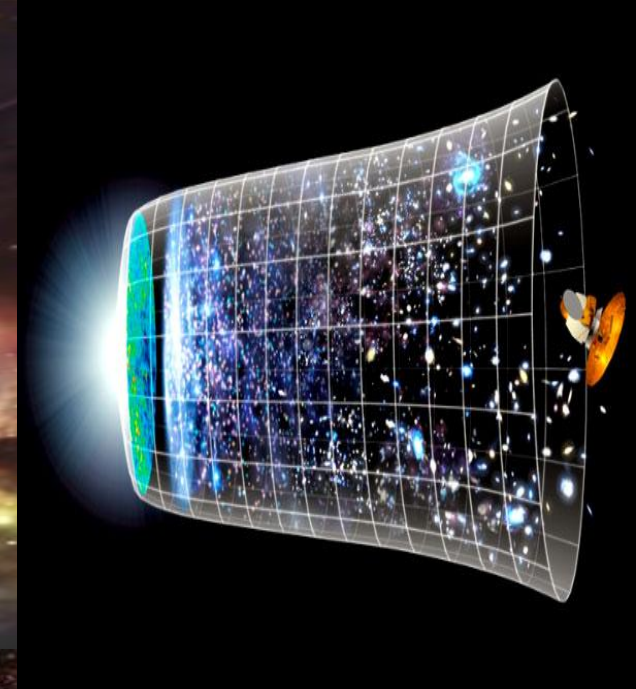


# Современная космология или как объяснить школьнику что такое темная материя?

## Содержание лекции

- Взгляд в звездное небо
- Размеры: от малого до великого
- Что такое космология?
- История Вселенной
- Из чего состоит Вселенная?
- Темная материя
- Темная энергия
- Кривизна пространства
- Что дальше?
- Литература



© 2006 Axel Mellinger

# Взгляд в звездное небо

Звезды кажутся неподвижными,  
Но если подождать с фотокамерой  
Немного, то мы увидим...



# Взгляд в звездное небо

Конечно, мы знаем, что это не звезды вращаются вокруг нас, А Земля вращается вокруг своей оси

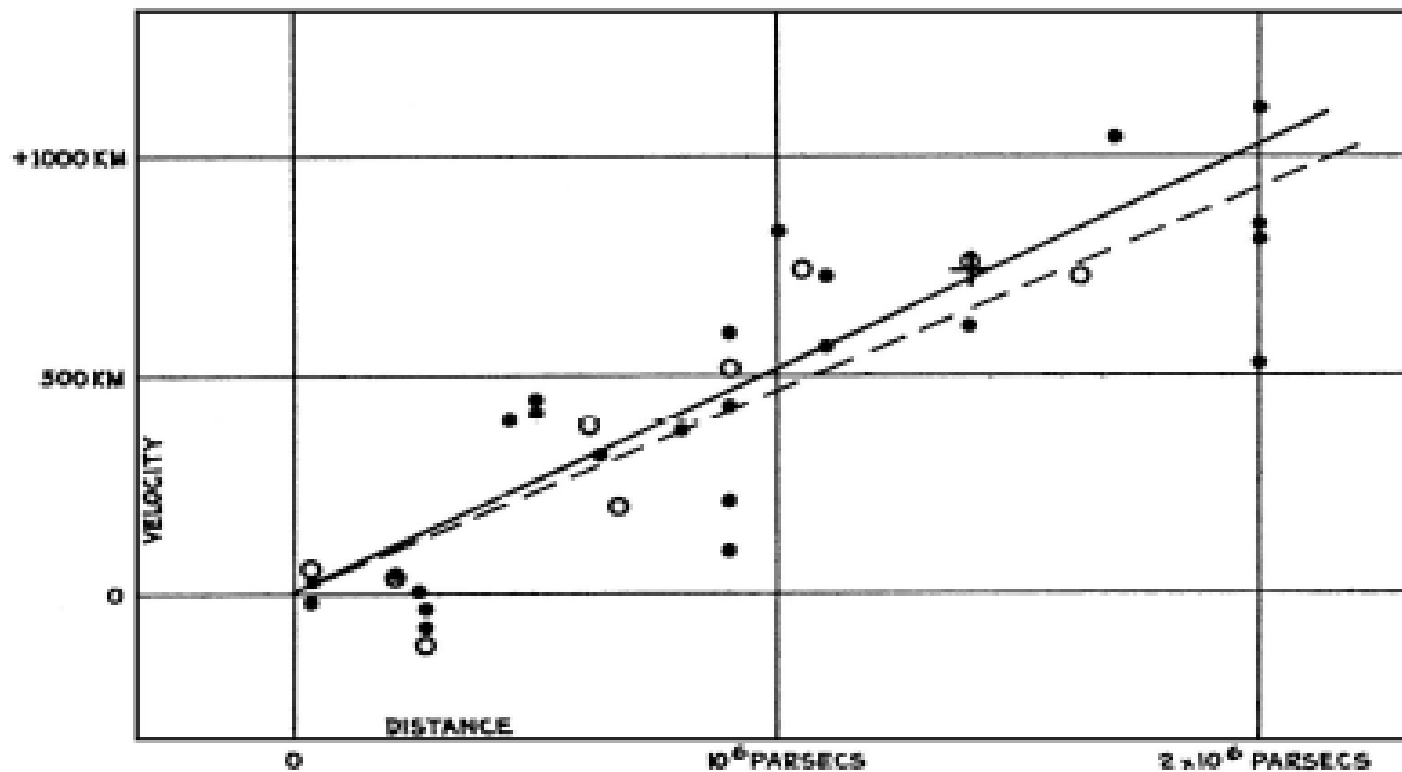


# Однако, звезды действительно движутся! Это открыл Э.Хаббл

1. Построить зависимость скорость --- расстояние

*В 1929 Э.Хаббл заявил об обнаружении расширения Вселенной*

- Хаббл измерил:  $H = 500 \text{ км сек}^{-1} \text{ Мпс}^{-1}$
- сегодня:  $H = 70 \text{ км сек}^{-1} \text{ Мпс}^{-1}$
- $1 \text{ Мпс} = 3 \cdot 10^{22} \text{ м} \approx 3 \cdot 10^6 \text{ световых года}$

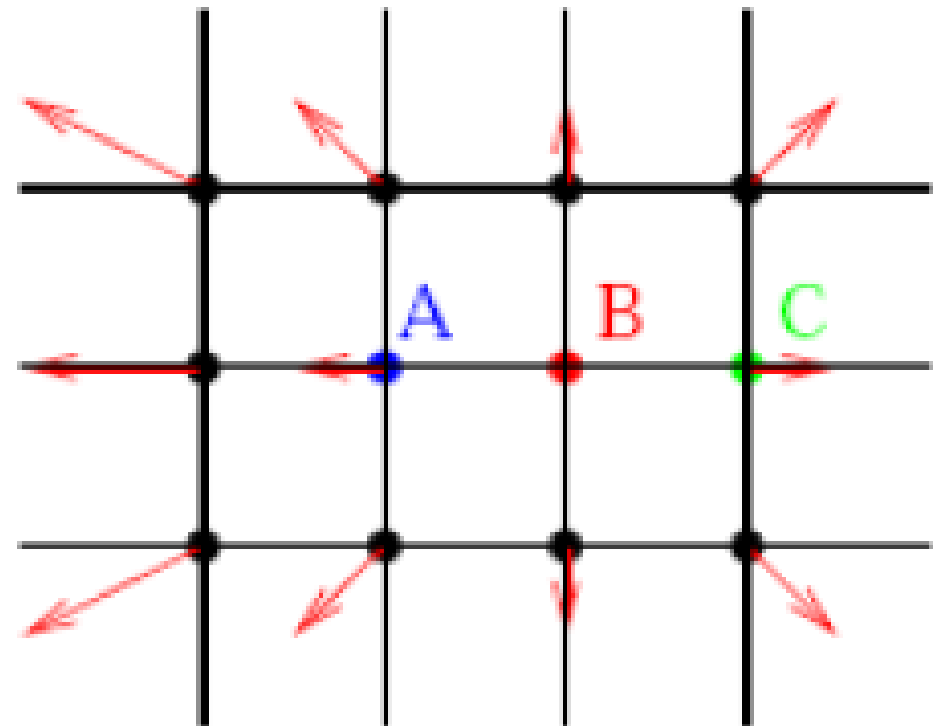
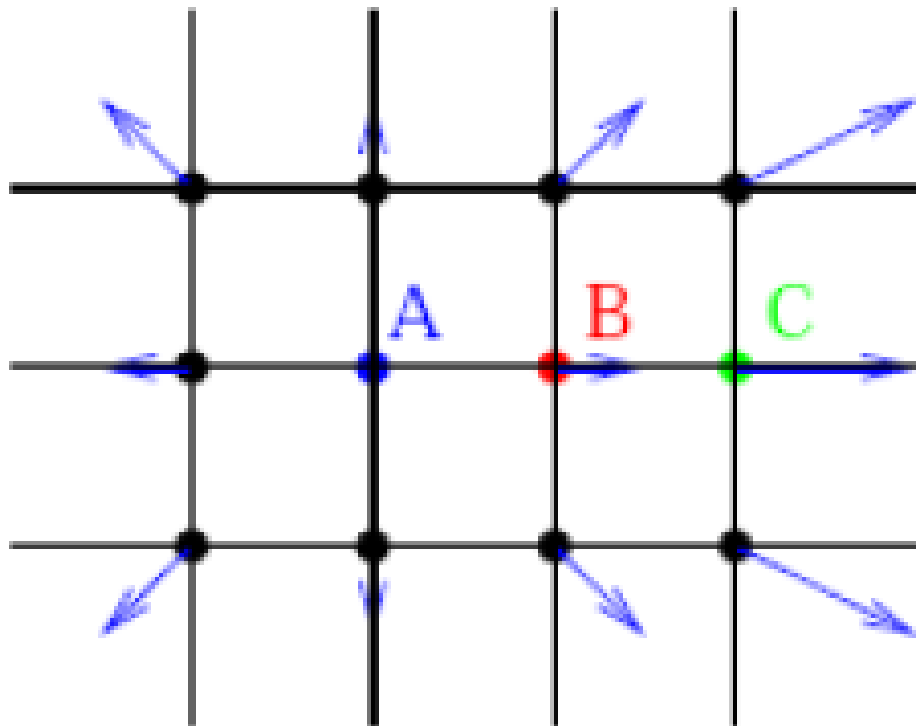


# Закономерность Хаббла:

*Чем дальше звезда – тем выше ее скорость*

**Вопрос:** Все звезды улетают от НАС. Мы находимся в центра Вселенной?

**Ответ:** Не обязательно. Если Вселенная **однородна**, то закон Хаббла будет справедлив для любой точки во Вселенной



# Что следует из обнаружения закона Хаббла и гипотезы об однородности Вселенной?

Следует то, что Вселенная расширяется! Вселенная не статична! Раз Вселенная завтра будет больше, чем сегодня, значит, вчера она была меньше, а миллион лет назад еще меньше, миллиард лет назад еще меньше, ... и был момент времени, когда размер Вселенной был бесконечно малым!

**Вопрос:** Что было в этот момент времени?

**Ответ:** БОЛЬШОЙ ВЗРЫВ!!!

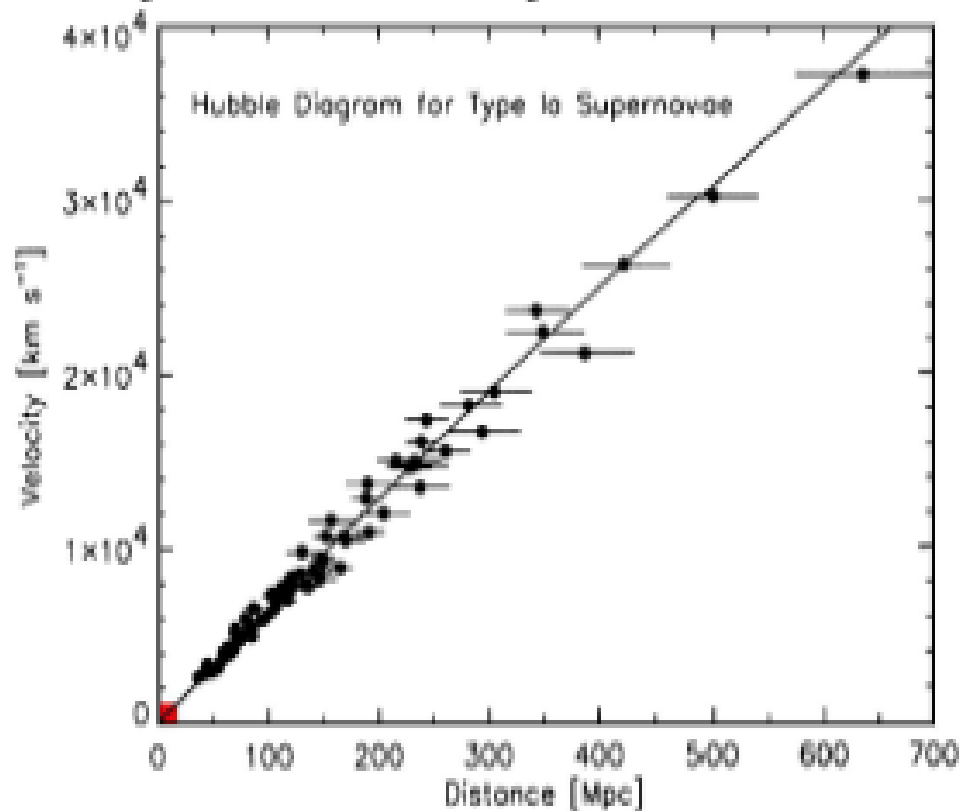
# Начало времен. Миллионы вопросов...

- Что взорвалось? Почему взорвалось?
- Почему из того, что взорвалось получилось то, что есть сегодня?
- Что было до того, как взорвалось?

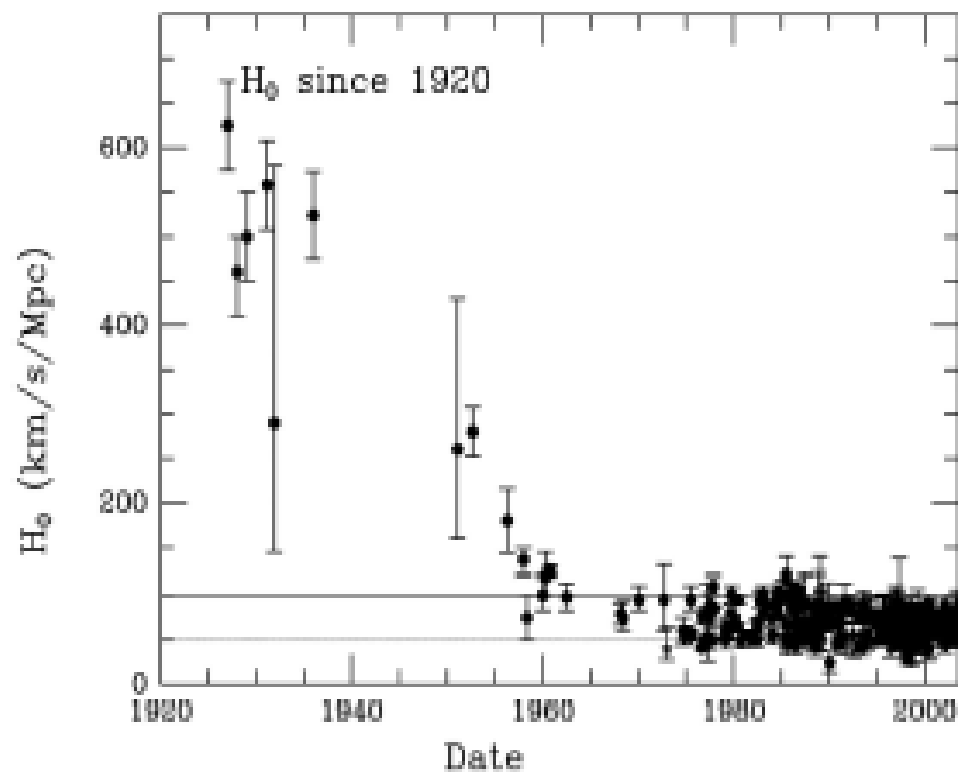
Космология – это наука, которая пытается найти ответы на эти и подобные вопросы

# Современное состояние закона Хаббла

Красный квадратик - область, доступная Хаббл в 1929



Эволюция измерения константы Хаббла со временем





# Размеры: от малого до великого

14 Гпк =  $4.34 \cdot 10^{28}$  см (размер видимой Вселенной)  
10-50 Мпк =  $1-5 \cdot 10^{25}$  см (размер сверхскоплений)

2-3 Мпк =  $2-3 \cdot 10^{24}$  см (размер скопления галактик), 12 Мпк – расстояние до ближайшего  
900 кпк =  $2.7 \cdot 10^{23}$  см до ближайшей галактики М31

1 пк =  $3.1 \cdot 10^{18}$  см = 3.3 св.года, 1.3 пк – Проксима, Альфа (созв. Центавра), 8 кпк – до центра МП, 30 кпк – диаметр диска

1 а.е. =  $1.5 \cdot 10^{13}$  см – расстояние от Земли до Солнца

$6.4 \cdot 10^8$  см – радиус Земли

1 см

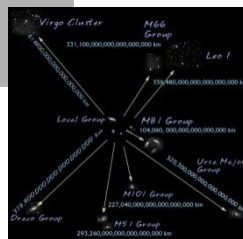
$5 \cdot 10^{-3}$  см – толщина волоса

$10^{-6}$  см

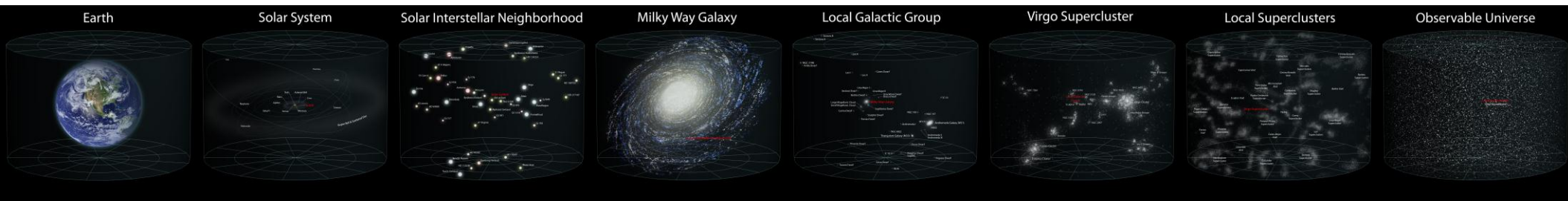
$10^{-8}$  см – радиус атома

$10^{-13}$  см – «радиус» протона

$10^{-33}$  см – Планковский масштаб



Самый малый и самый большой размеры отличаются в  $10^{61}$  раз



# Что такое космология?

Космология – это наука о Вселенной, о ее эволюции от начала до сегодняшнего дня (и далее).

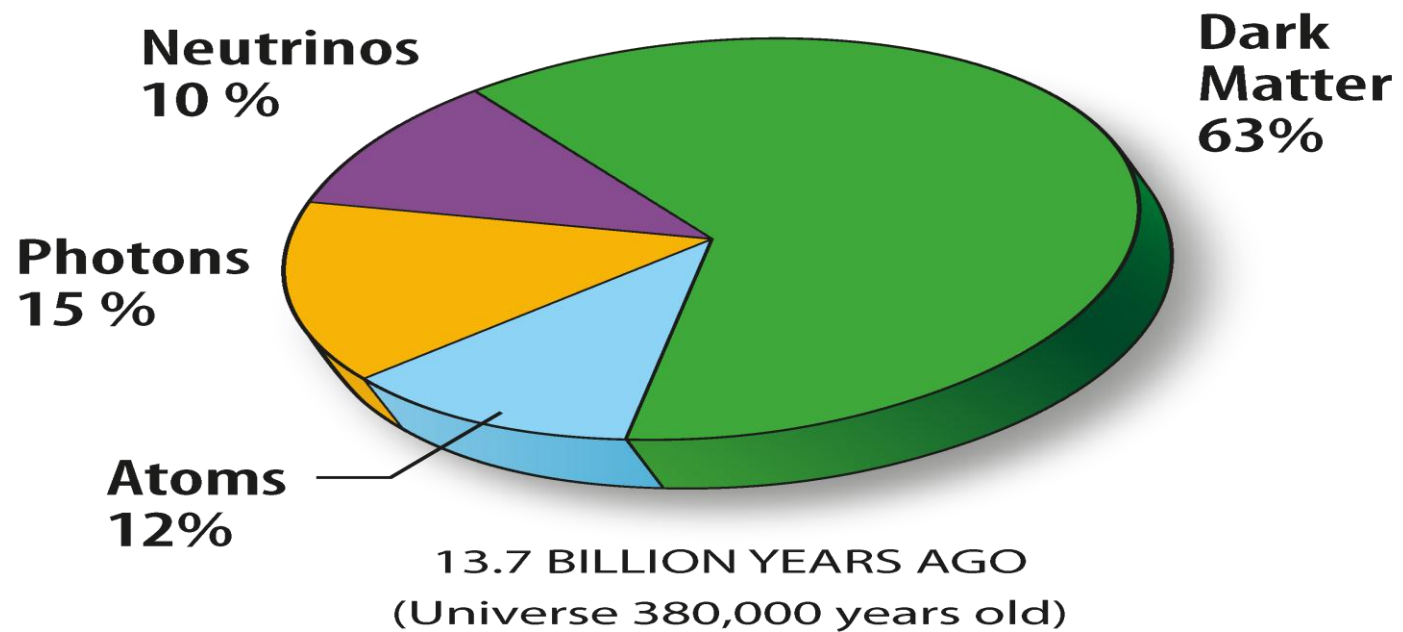
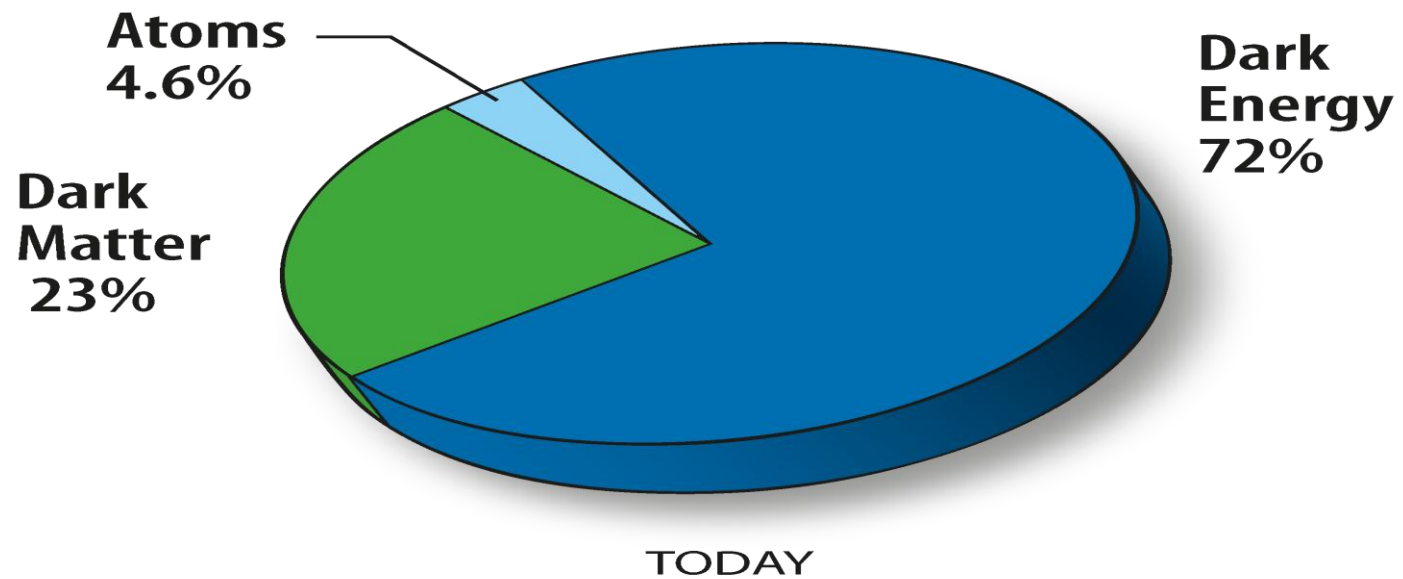
Космология «стыкует» всю физику от масштабов  $10^{-33}$  см до  $10^{28}$  см:

- Квантовая физика,
- Физика элементарных частиц
- Гравитация

# Что говорит нам Космология об истории Вселенной?

- Вселенная расширяется сейчас – звезды тем краснее, чем они от нас дальше (эффект Доплера), а значит:
- Вселенная не была вечной! Она родилась около 13.7 млрд лет назад (Возраст Солнца – 4.6 млрд лет, возраст Земли 4.6-5 млрд лет)
  - Что произошло 13.7 млрд лет назад? И как об этом узнали сегодня?
- На больших масштабах (около 100 Мпк) Вселенная очень однородна со средней плотностью около  $10^{-29}$  г/см<sup>3</sup>
- Полный вес Вселенной  $10^{50}$  тонн
- Число атомов во Вселенной  $10^{80}$
- Число звезд (3-100) x  $10^{22}$  в 80 млрд галактик.
- Вес в момент рождения согласно
  - Бесконечен (теория Большого Взрыва (БВ))
  - Меньше миллиграмма (инфляционная теория)
- Вся энергия Вселенной равна **НУЛЮ!**

# Из чего состоит Вселенная?



# Парадоксальное заявление!

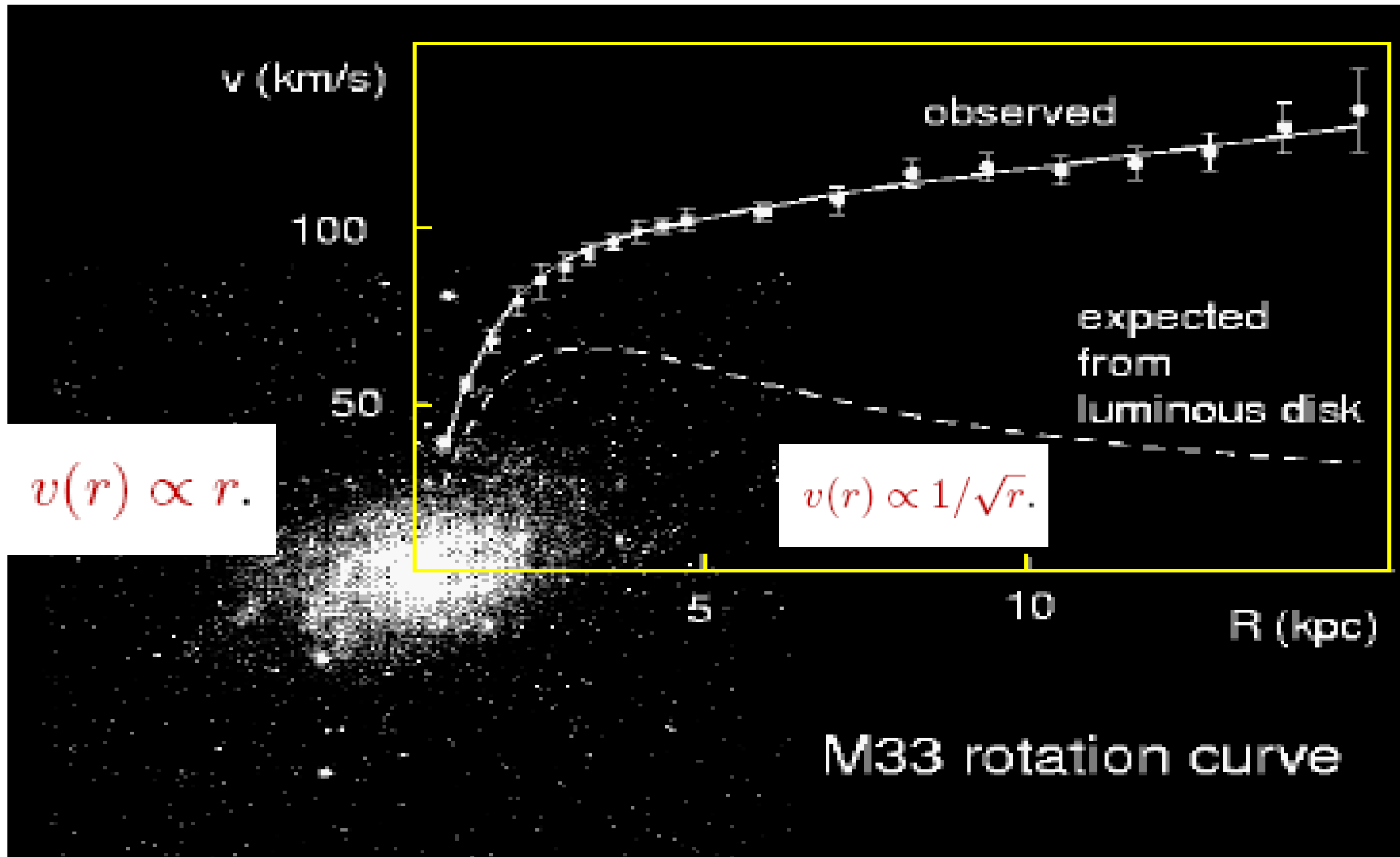
- Доля обычного вещества в общей массе Вселенной всего 4%, остальное приходится на темную энергию (73%) и темную материю (23%). Что это такое?

# Темная Материя

Это вещество (обычное или неизвестной нам природы ),  
которое не светится, но проявляет себя по своему  
гравитационную влиянию

Как видят темную материю?

# Ротационные кривые галактик

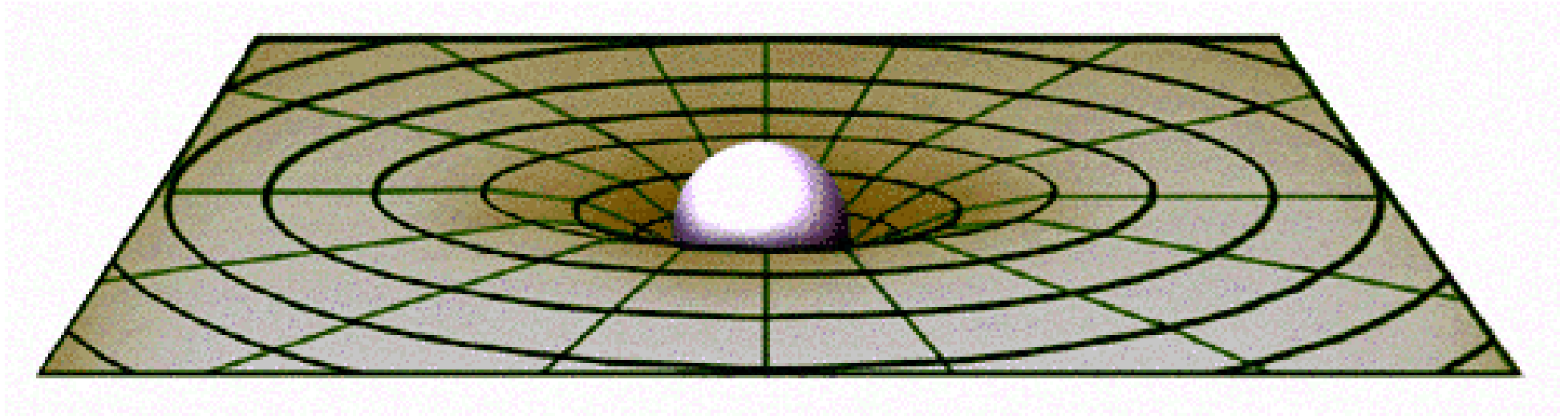


# Как еще видят темную материю?

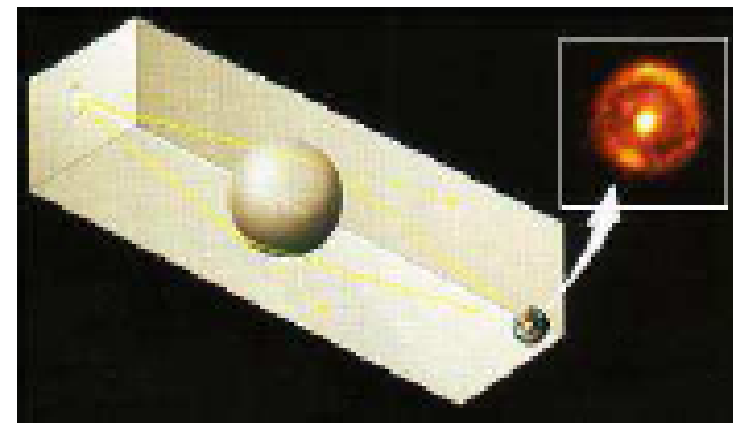
- Гравитационное линзирование и микро-линзирование
  - *Что это?*



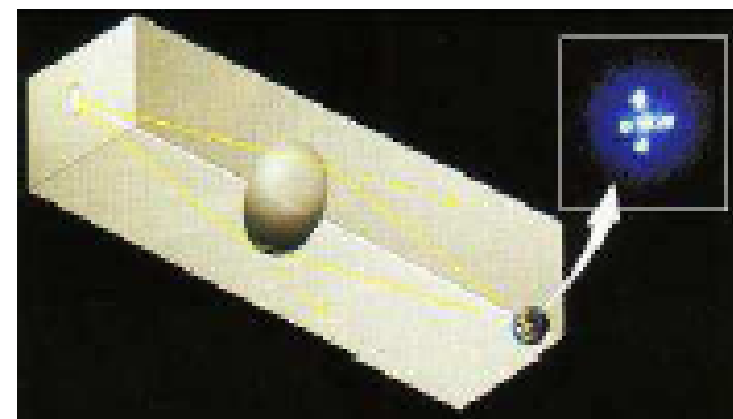
# Масса искривляет Пространство



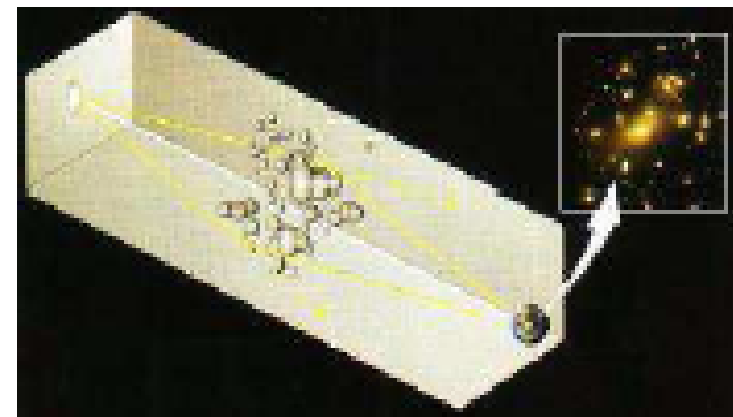
## Три вида эффектов от гравитационных линз.



Если линза сферически симметричная, то наблюдаемое изображение имеет вид "кольца Эйнштейна", т.е. светящегося кольца. Гравитационное поле, отклоняя лучи света, действует, подобно собирающей линзе.



Если линза вытянутая, то изображение размножается. Когда источник, линза и наблюдатель находятся на одном луче зрения, число и форма изображений зависят от формы объекта (точнее, от распределения вещества), создающего гравитационную линзу.



Если в качестве линзы выступает галактическое скопление, то изображение разбивается на части дугообразной формы. В отличие от привычных линз "фокусное расстояние" гравитационных линз оказывается очень большим.

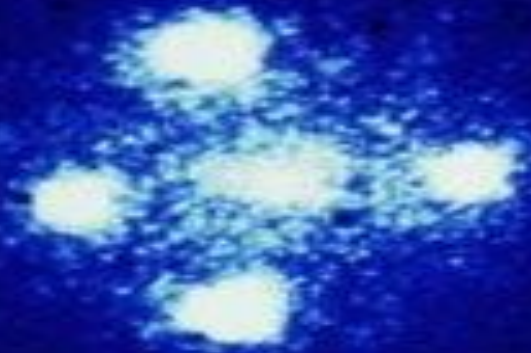
## Кольца Эйнштейна.



Международная группа астрономов, работающих по программе Слоановского линзового обзора (Sloan Lens Survey), обнаружила 19 новых гравитационных линз.<sup>a</sup>

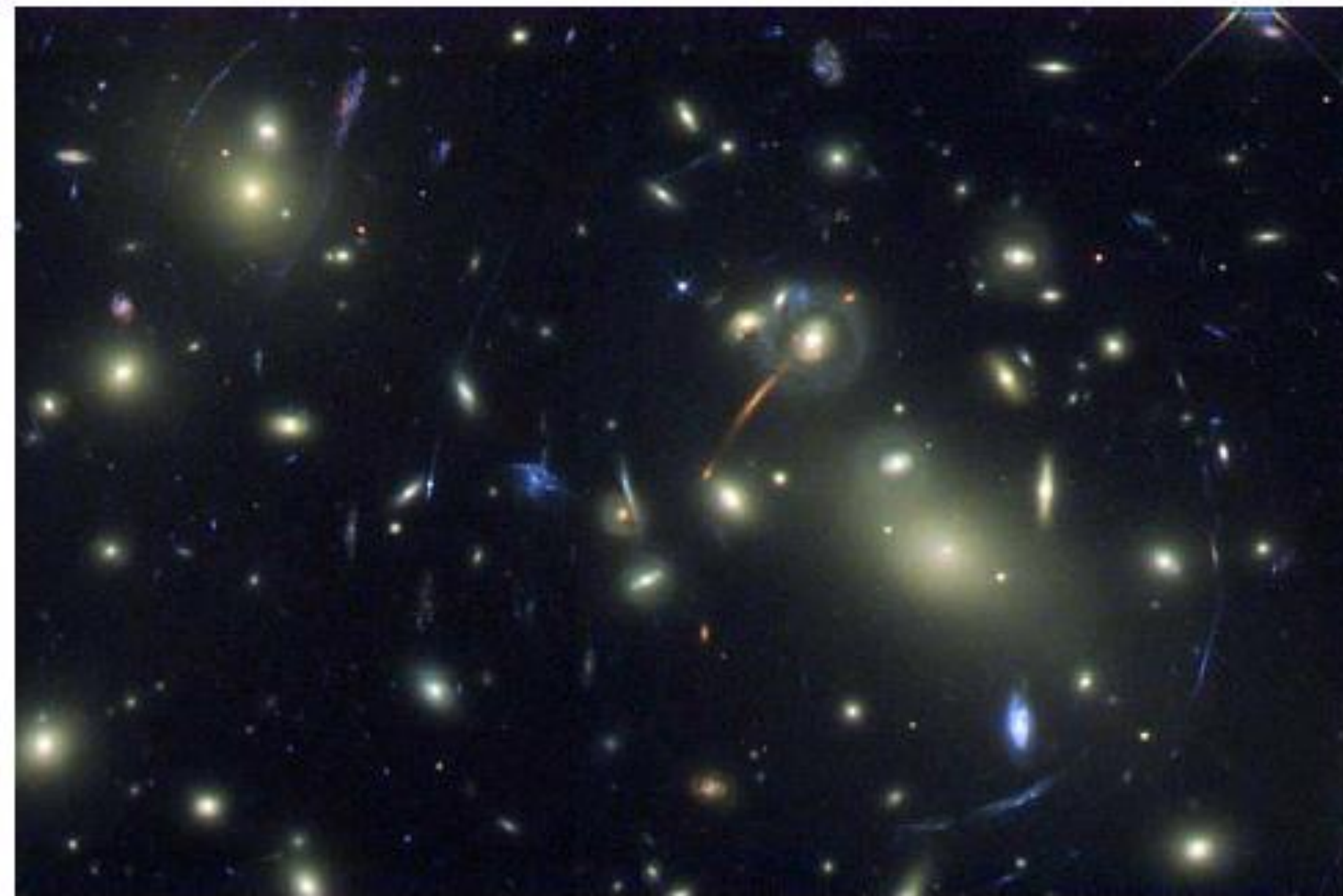
<sup>a</sup>См. подробности на URLs <<http://www.universetoday.com>>, <<http://astronomynow.com>> и <<http://www.astronet.ru/db/msg/1209761>>.

# Крест Эйнштейна



**Gravitational Lens G2237+0305**

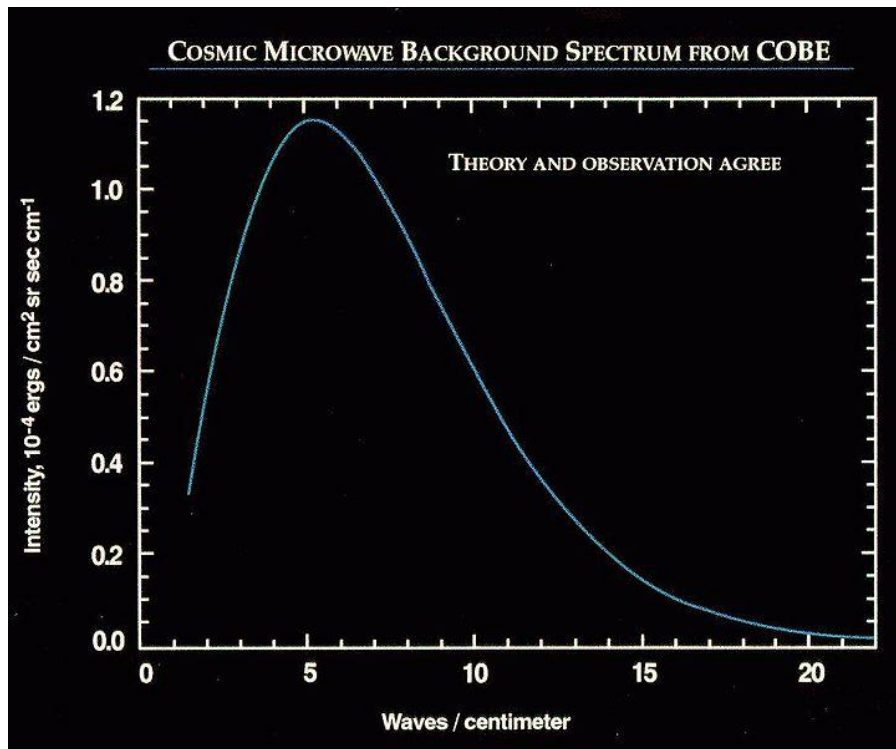
# Галактические дуги.



# Из чего состоит Вселенная?

- Что такое темная энергия?
  - Никто толком не знает...Выглядит так, что вакуум вовсе не пуст, а обладает энергией
  - ...И отрицательным давлением! (Отрицательное давление создается, например, поверхностным натяжением в мыльном пузыре)
- Как же это узнали? Ну, начнем вот с чего...

# Мы все живем в гигантской микроволновке...

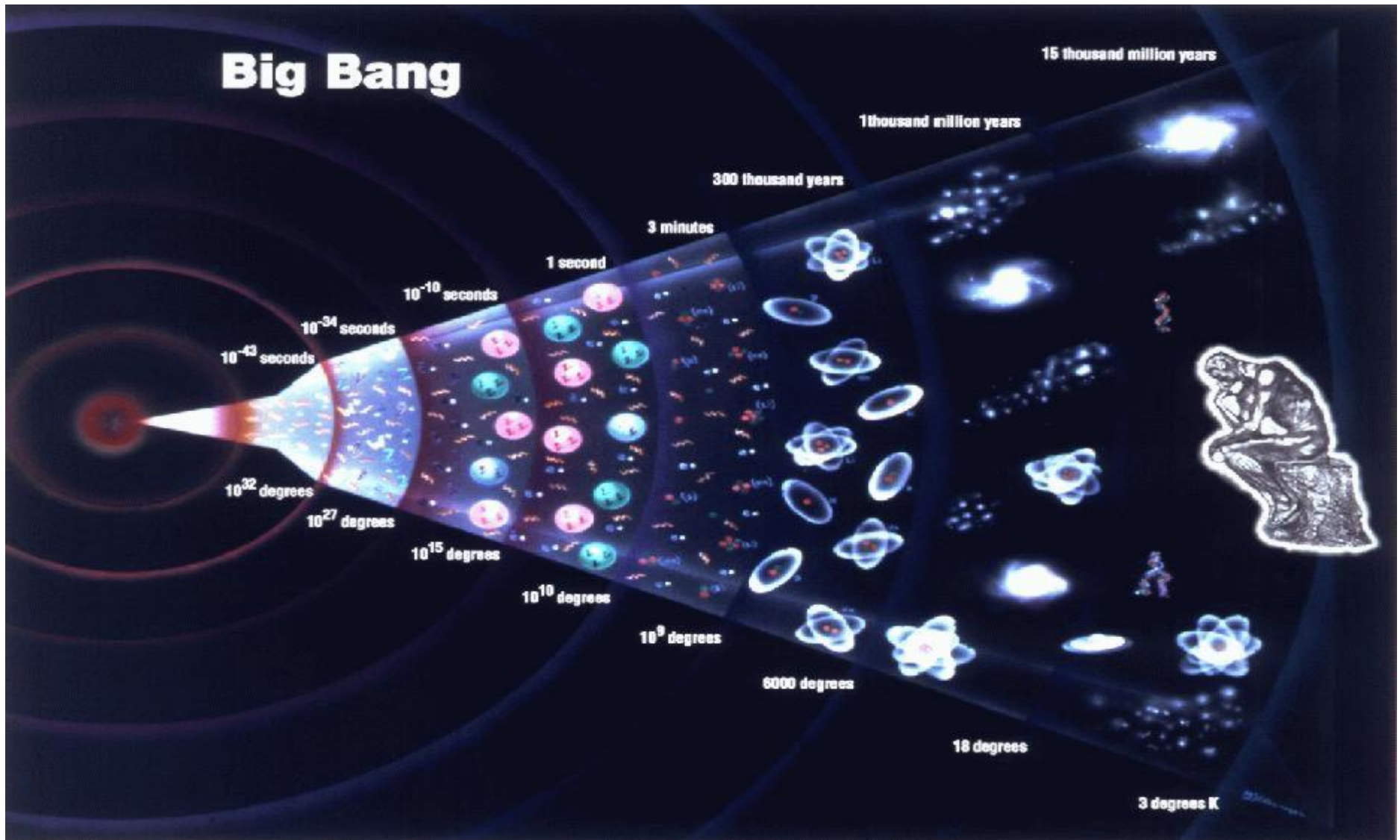


Всюду вокруг нас есть микроволновое излучение с  $T=2.7\text{K}$  Обнаружено Пензиасом и Вилсоном в 1964 (**Нобелевская Премия в 1978**)



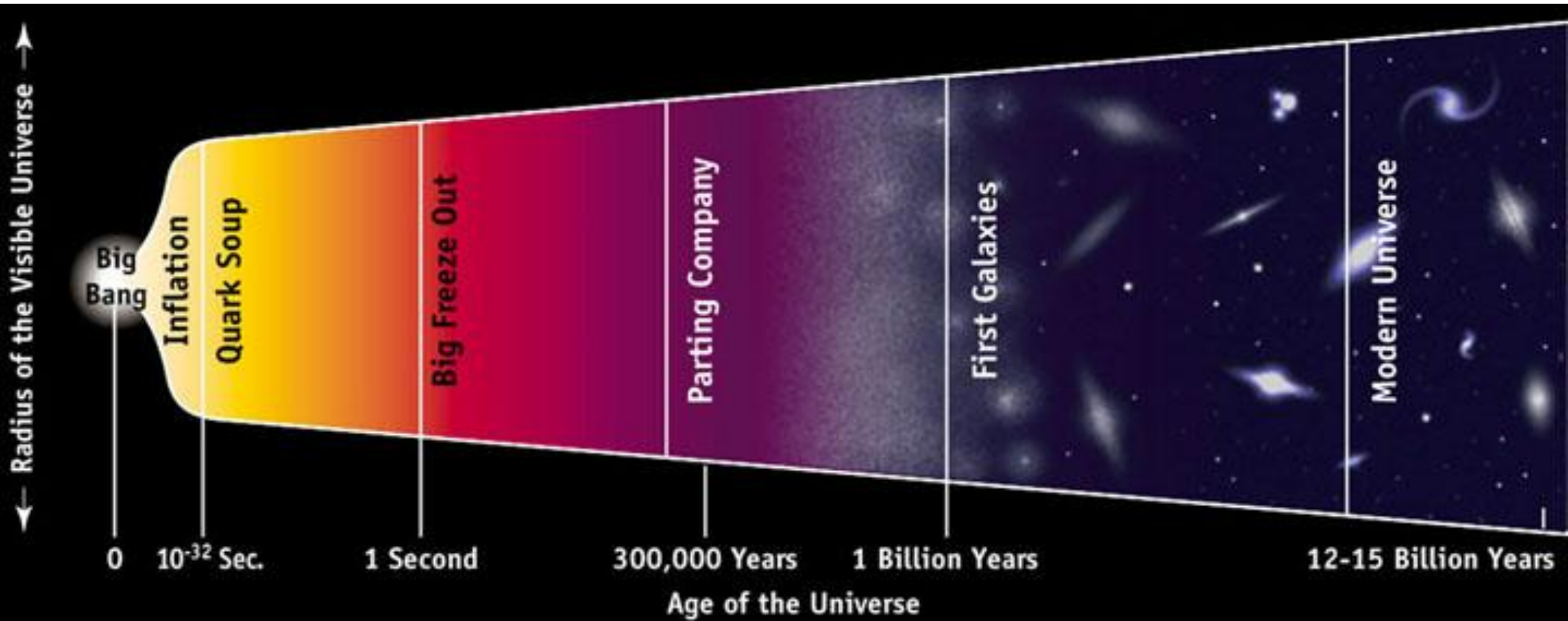
Частота реликтового излучения такая же как в микроволновке, но, к счастью, мощность излучения всего  $4 \cdot 10^{-8} \text{ W}/\text{cm}^2$ , т.е. для  $50 \times 30 \text{ cm}^2$  - это будет  $6 \cdot 10^{-6} \text{ W}$ , что ничтожно по сравнению с  $1000 \text{ W}$

Со всех направлений микроволновое излучение одинаково, с одной и той же температурой  $T=2.7\text{K}$ . Откуда оно? Это замороженный свет, оставшийся после 380000 лет после БВ





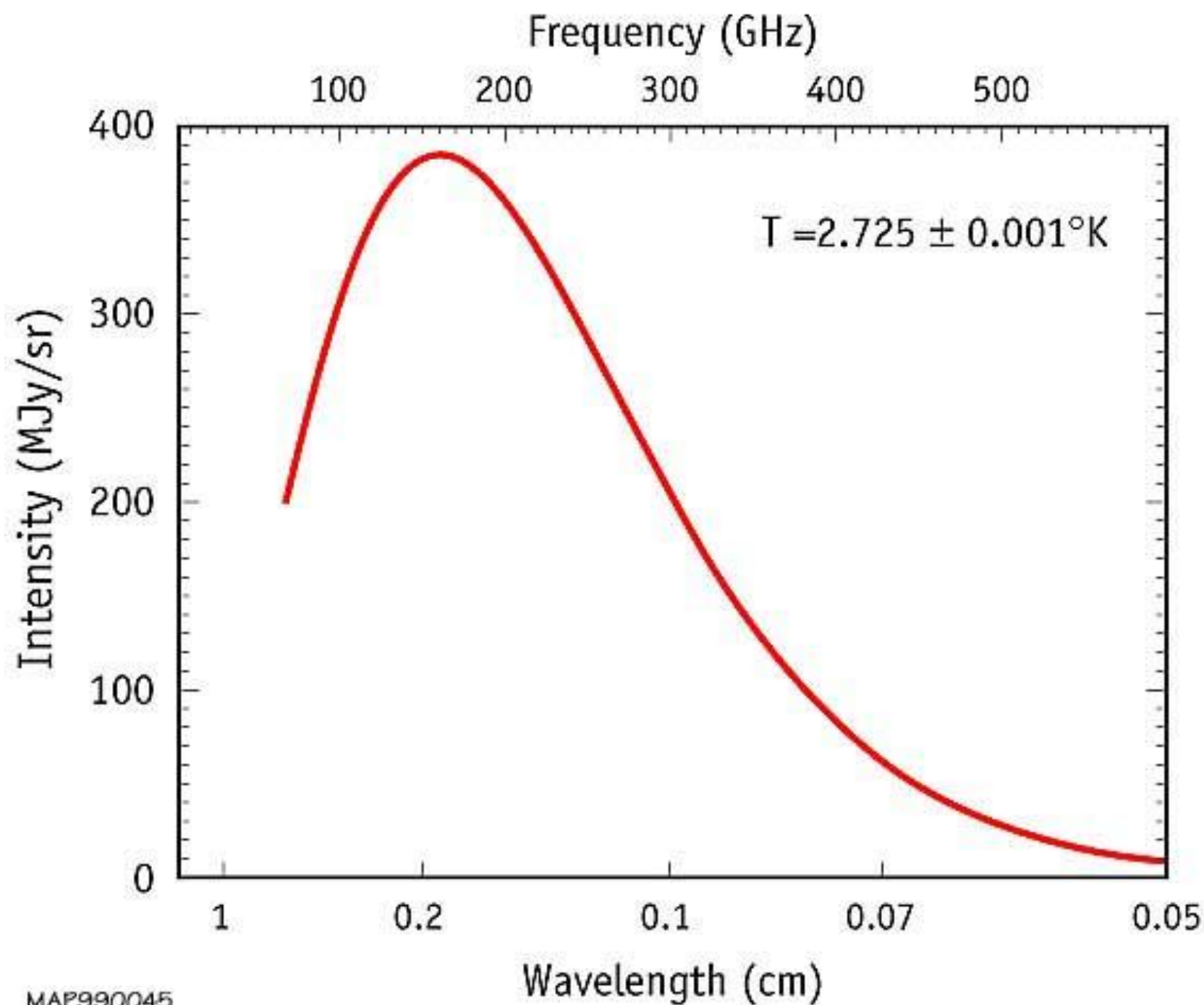
# Создание Вселенной

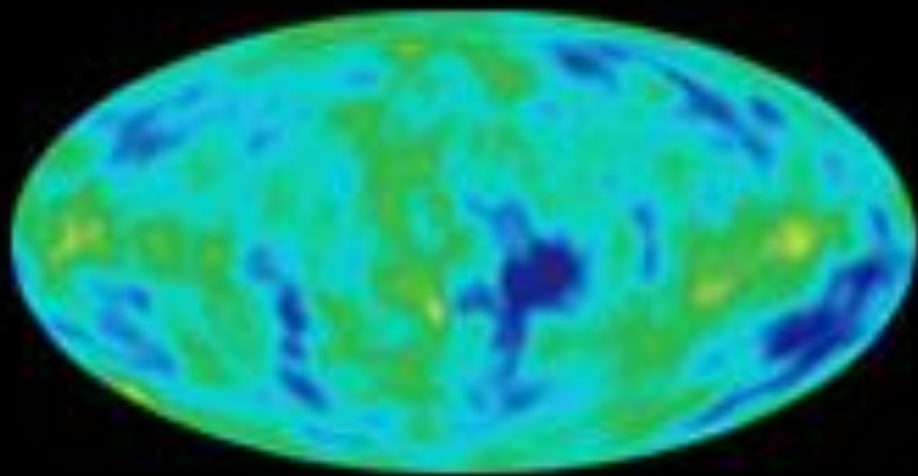


## Time Since the Big Bang

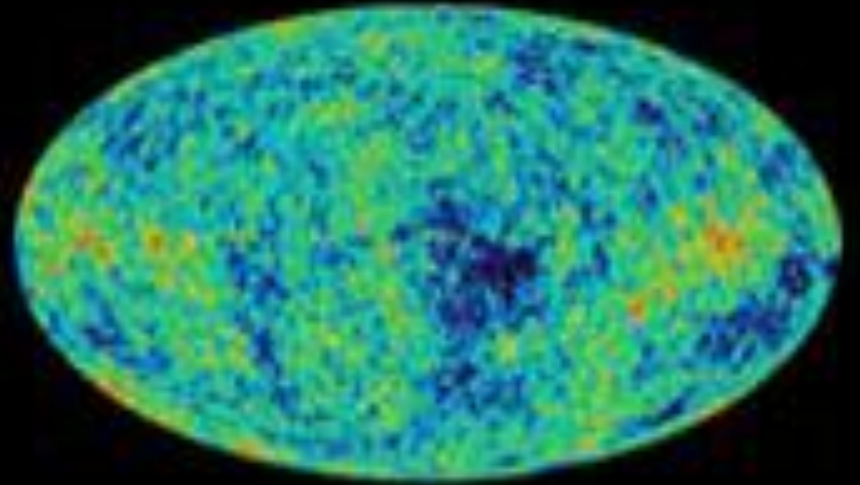


# SPECTRUM OF THE COSMIC MICROWAVE BACKGROUND





**COBE**

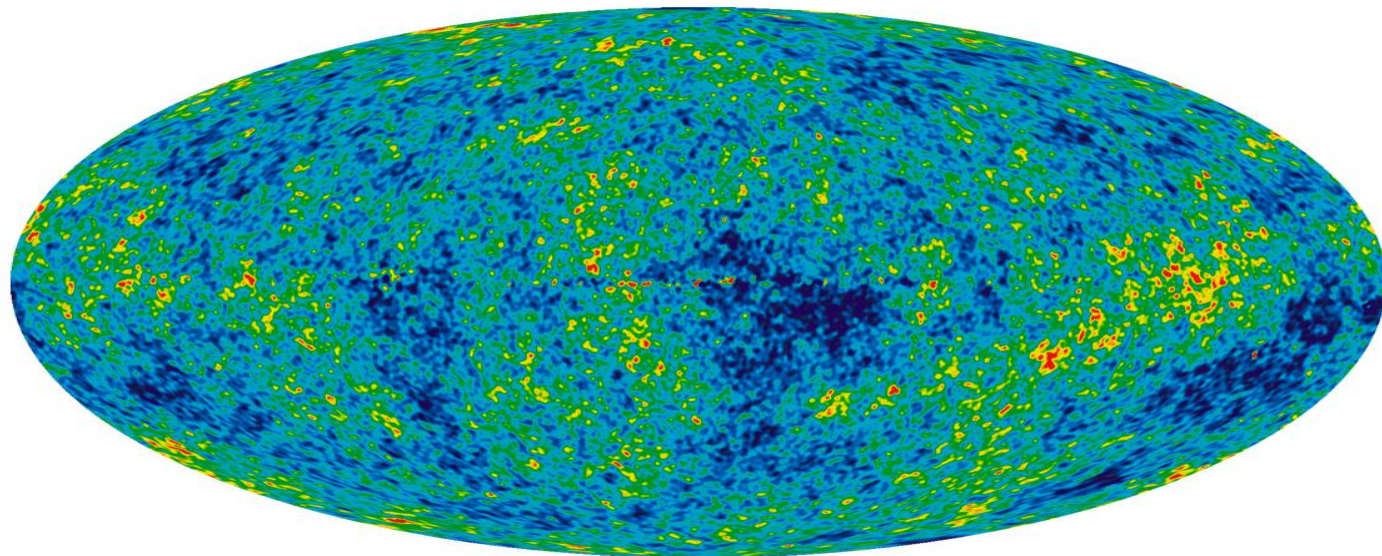


**WMAP**



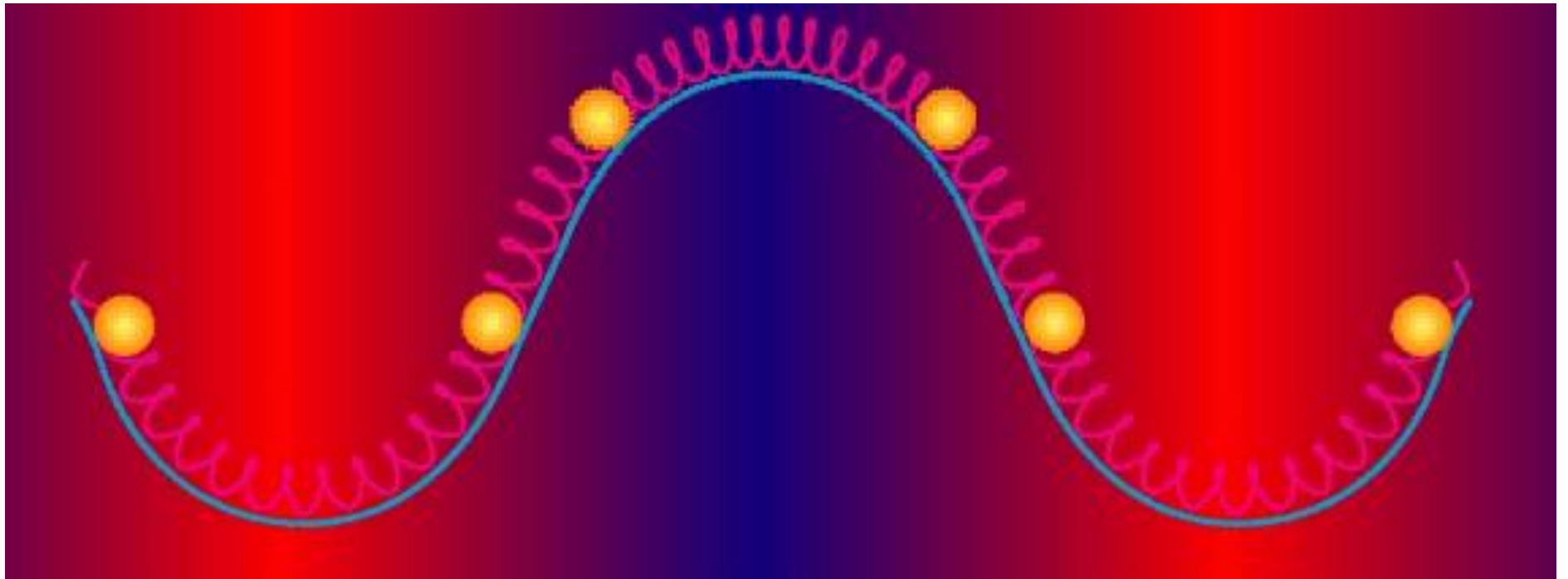
# Анизотропия реликтового излучения

Удивительно, но «одинаковость»  
температуры света справедлива только с  
точностью до  $10^{-5}$  К

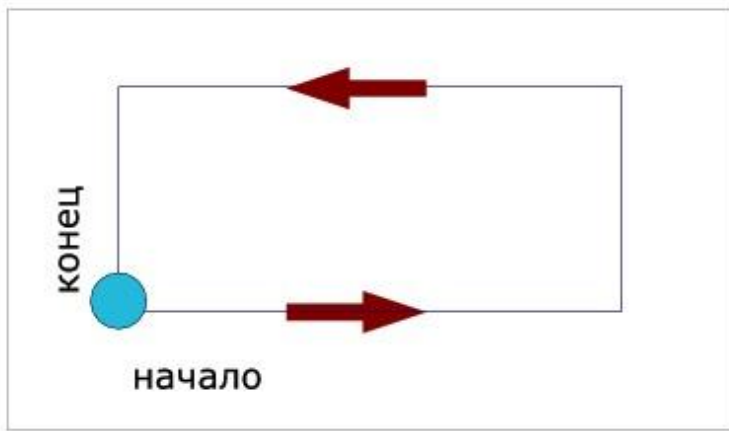


# Можно ли УВИДЕТЬ звуковые колебания Вселенной?

Сжатый газ нагревается

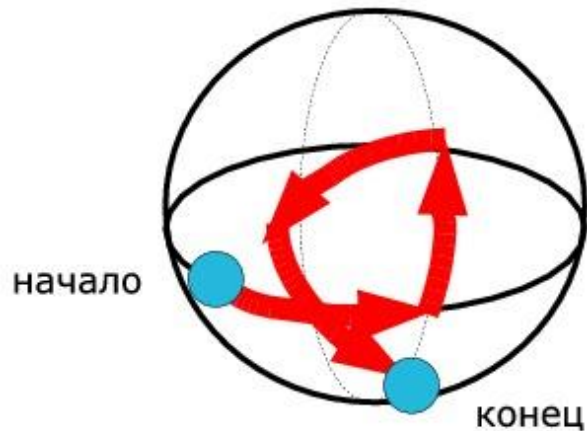


Флуктуации температуры



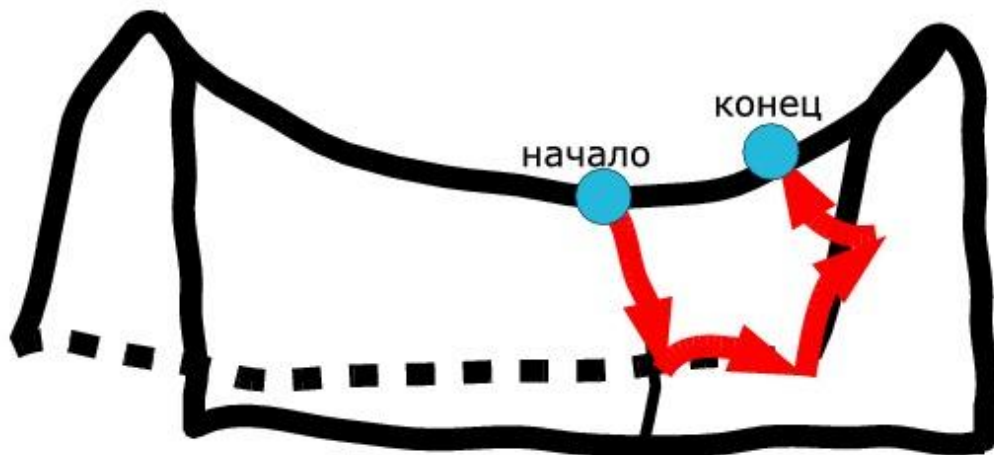
## Кривизна пространства и полная энергия Вселенной

Кривизну пространства можно измерить сделав 4 равных шага, каждый раз поворачивая налево на  $90^{\circ}$

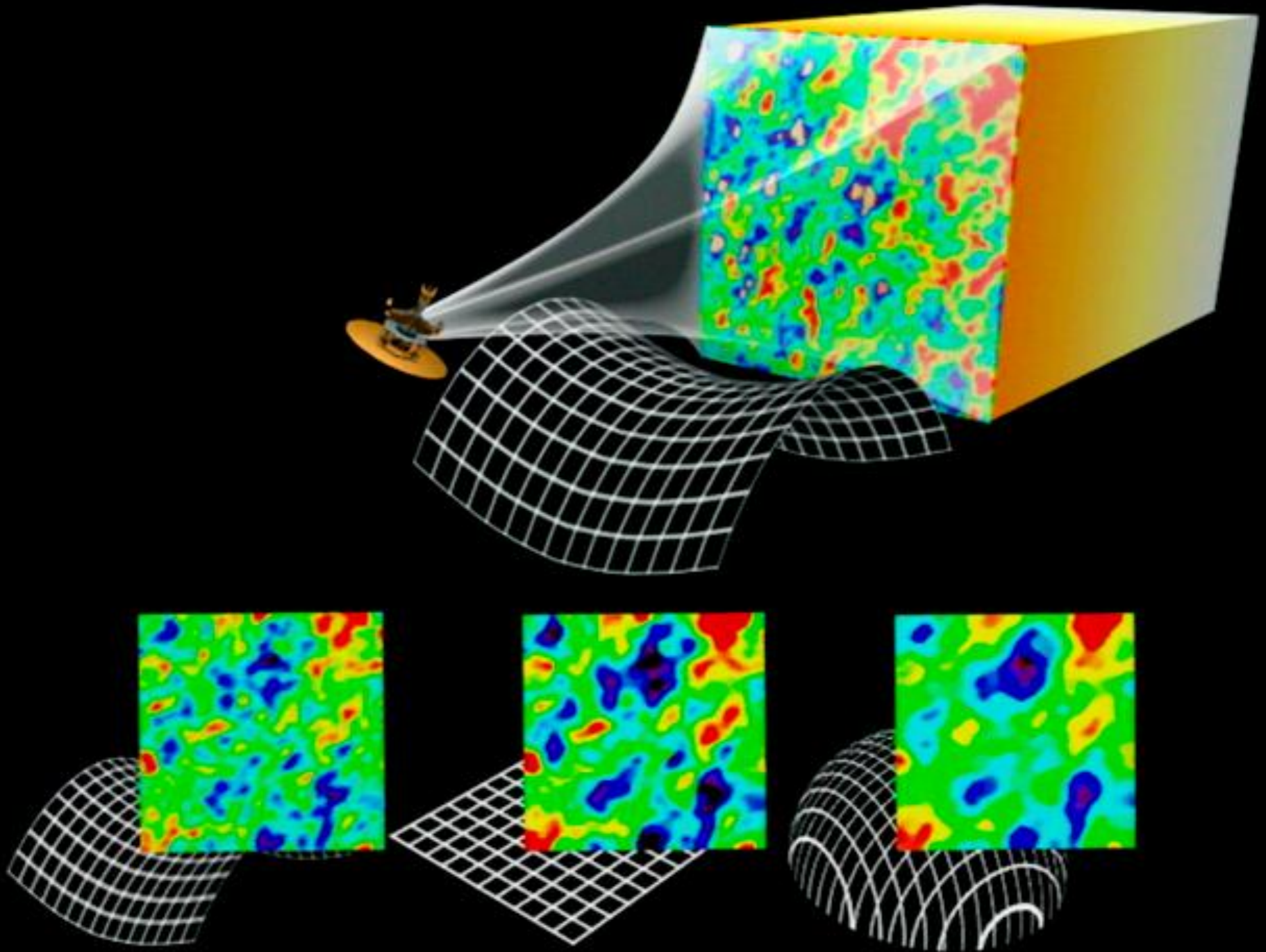


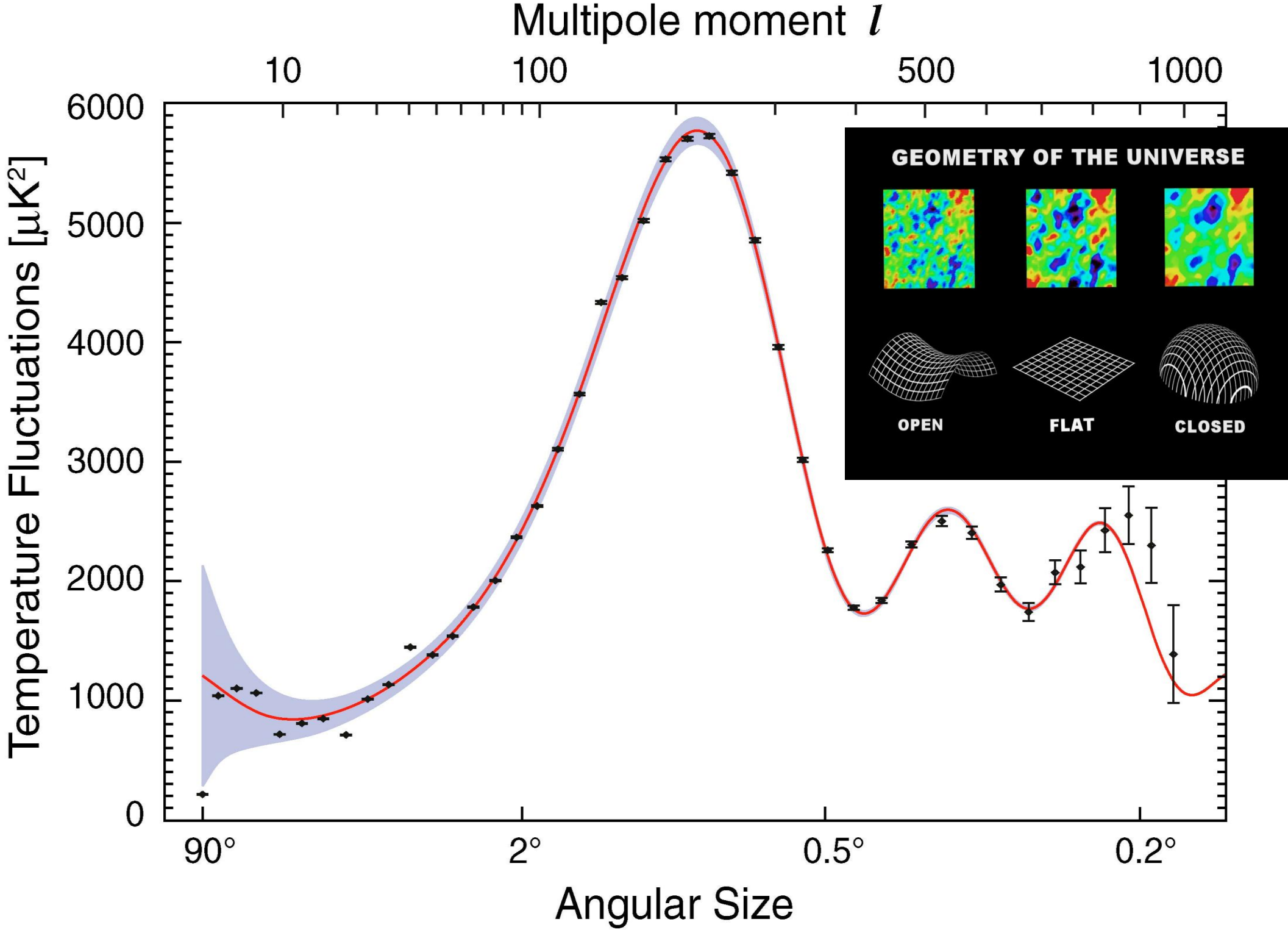
$$\Omega = \frac{\text{Кинетическая энергия}}{\text{Потенциальная энергия}}$$

- $\Omega > 1$  Сферическая, открытая Вселенная
- $\Omega = 1$  Плоская Вселенная
- $\Omega < 1$  Гиперболическая, замкнутая Вселенная

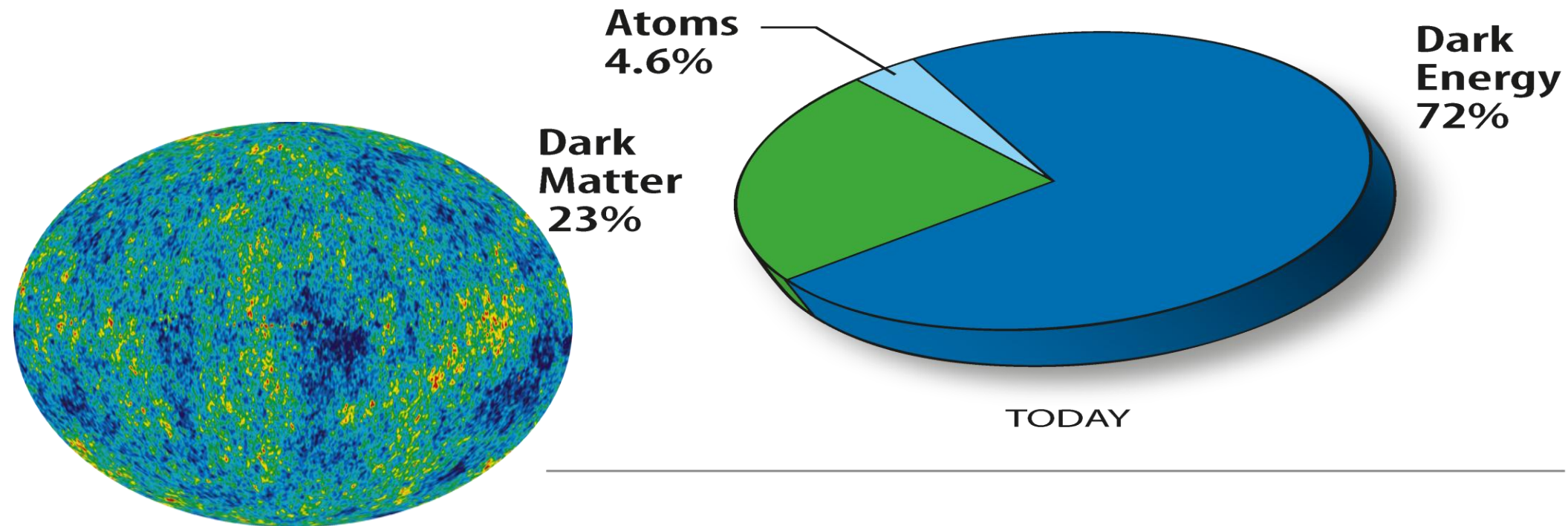


Кривизна пространства может быть измерена!









- **Возраст Вселенной 13.7 млрд лет**
- **Полная энергия равна нулю (для знатоков математики это значит, что Вселенная плоская)**
- **72-73% всей энергии приходится на темную энергию вакуума – это загадочная энергия, никто не знает – что это**
- **23% всей энергии приходится на темную материю – и тут никто не знает наверняка, что это**
- **Лишь 4-5% всей энергии это обычные атомы, про которые мы много знаем**
- **Обнаружение анизотропии тоже привело к Нобелевской Премии в 2006.**
- **По космологии еще будут Нобелевские Премии**

# Что дальше?

- За последнее десятилетие в космологии сделаны выдающиеся открытия.
- Мы стоим на пороге новых революционных открытий в космологии, физике элементарных частиц, технологиях
- Хватит торговать нефтью и сникерсами, молодежь, идите в науку!
- Только **НАСТОЯЩИЙ УЧИТЕЛЬ** может помочь в правильном выборе!

## Список литературы и ссылок в интернете

- А.Д. Чернин «Темная энергия и всемирное антитяготение» УФН 178 267 (2008)
- Н. Лукаш, В.А. Рубаков «Темная энергия: мифы и реальность» УФН 178 301 (2008)
- WMAP Mission: <http://map.gsfc.nasa.gov/>
- SuperNova Cosmology Project <http://www.supernova.lbl.gov/>
- <http://www.astronet.ru>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Gravitational\\_lens](http://en.wikipedia.org/wiki/Gravitational_lens)

## Список литературы и ссылок в интернете

Космология . Физика космоса. Маленькая энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1986, с. 90.

Вайнберг С. Первые три минуты. М.: Энергоиздат, 1981.

Долгов А.Д., Зельдович Я.Б., Сажин М.В. Космология ранней Вселенной. М.: МГУ, 1988.

Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Строение и эволюция Вселенной. М.: Наука, 1975.

Окунь Л.Б. Физика элементарных частиц. М.: Наука, 1988.

# Список литературы и ссылок в интернете

- D.Scramm and M.S. Turner, "Big Bang enters the precision era", RMP70(1998)0303
- В.Л.Гинзбург, "О некоторых успехах физики и астрономии за последние три года", УФН172(2002)0213
- В.А.Рубаков, "Физика частиц и космология: состояние и надежды", УФН169(1999)1299
- S.Sarkar, "Big bang nucleosynthesis and physics beyond the standard model",RPP59(1996)1493
- M.Turner, J.Tyson, "Cosmology at the millenium",RMP71(1999)S145
- Dolgov, Ya.Zeldovich, "Cosmology and elementary particles",RMP53(1981)0001
- A.Dolgov, "Neutrinos in Cosmology",PR370(2002)333
- M.Maggiore, "Gravitational Wave Experiments ...",PR331(2000)283
- V.L. Ginzburg, "What problems of physics and astrophysics ...", PhU042(1999)0353
- I.L.Rozental, "Elementary particles and cosmology", PhU40(1997)0763
- V.A. Rubakov, M.E.Saposhnikov, "Electroweak baryon number non-conservation ...", PhU039(1996)0461
- J.Ellis, "Astropartical Physics: A personal outlook", NPB48(1996)522
- J.Ellis, "Particles and Cosmology",NPB35(1994)005
- J.M.Uson, "General Cosmology: Overview and outstanding problems",NPB28A(1992)017
- L.Jauneau, "Introduction to Gravity and Cosmology", LAL88-41
- M.Kutschera, "Introduction to Physical Cosmology", INP-1659-PH
- P.Olesen, "An introduction to cosmology",ESHEP(1997)220
- astro-ph/0204294, astro-ph/0208103, astro-ph/0208103
- astro-ph/0210580, astro-ph/0305038, astro-ph/0305063
- astro-ph/0309703, astro-ph/0309704, astro-ph/0402065
- astro-ph/9312022, astro-ph/9609007, astro-ph/9905017
- astro-ph/9911325, astro-ph/9911440, gr-qc/0101003
- gr-qc/0103023, hep-ph/0101119, hep-ph/0104251
- hep-ph/0201178, hep-ph/0304257, hep-ph/0304264
- hep-ph/0308251, hep-ph/9808418, hep-ph/9811432
- hep-ph/9904502, hep-th/0209261, hep-th/9802057
- hep-th/9907067

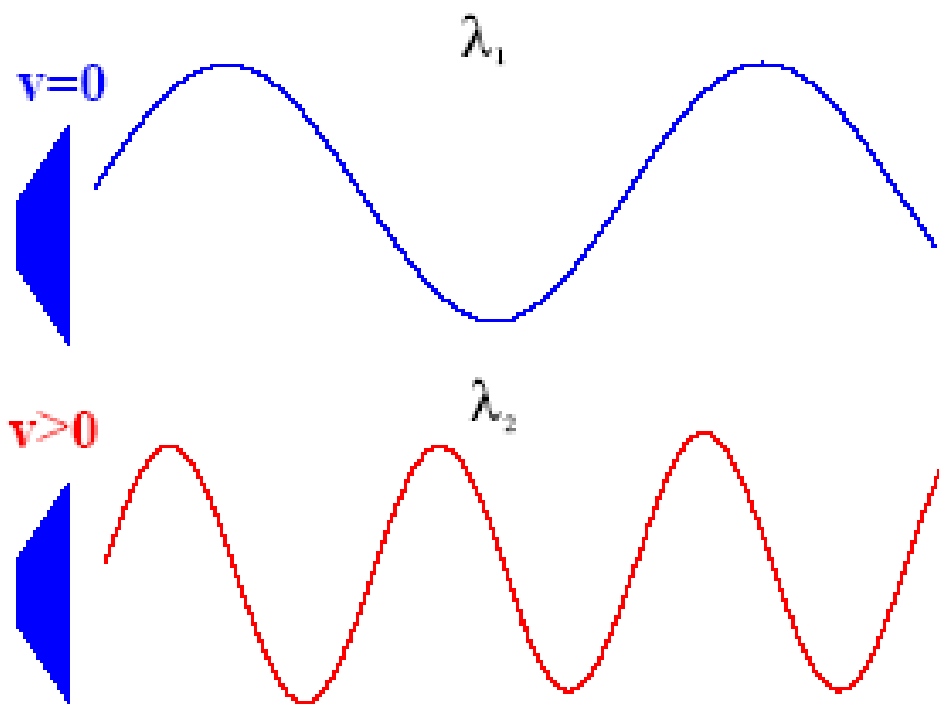
# Возможные темы для рефератов

- 1) Темная энергия
- 2) Темная материя
- 3) Кривизна Вселенной
- 4) Нуклеосинтез
- 5) Бариогенезис
- 6) Квазары
- 7) Реликтовое излучение
- 8) Анизотропия реликтового излучения
- 9) Крупно-масштабные структуры
- 10) Как образуются галактики
- 11) Почему светят звезды?
- 12) Взрыв звезды — сверхновая
- 13) Теория Большого взрыва. Успехи и проблемы
- 14) Инфляционная Модель

**Дополнительные слайды**

# Однако, звезды действительно движутся! Это открыл Э.Хаббл

1. Найти похожие звезды на разных расстояниях. Сравнив линии излучения, определить их скорость по эффекту Доплера



Открытый в 1842 Допплером для звуковых колебаний:

$$z = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1} = \vec{v} \cdot \vec{c}/c$$

прекрасно работает и для света.  $z$  - красное смещение, если  $z > 0$  или голубое смещение, если  $z < 0$



# Однако, звезды действительно движутся! Это открыл Э.Хаббл

1. Найти расстояние до звезды при помощи цефеид

- В 1920 годах Ливит и Шепли установили, что период изменения яркости *цефеид* пропорционален их **абсолютной яркости  $L$** .
- Это дало возможность определять расстояние до звезд ( $r$ ) по их **видимой яркости  $l$** :

$$L = l \times (4\pi r^2)$$

- В 1923 Хаббл обнаружил звезды в туманности Андромеды при помощи 2.5 метрового телескопа и это было первым подтверждением того, что облака во Вселенной это галактики!

## “Хаббл”+“Чандра”. Столкновение кластеров.

В результате столкновения двух галактических кластеров, приведшему к образованию суперкластера MACSJ0025, темная материя (показана синим цветом) отделилась от обычной (показана фиолетовым цветом). Астрономы смогли “увидеть” два типа материи с помощью орбитального телескопа “Хаббл” (Hubble Space Telescope) и рентгеновского оборудования лаборатории “Чандра” (The Chandra X-ray Observatory).



Масса суперкластера:  $10^{15} M_{\odot}$ , расстояние:  $5.7 \cdot 10^9$  с.л. от Земли.

При столкновении на огромной скорости частицы газа из разных кластеров столкнулись и замедлили свое движение. Скорость движения темной материи не изменилась. Она прошла сквозь обычную материю и сформировала два больших облака. Облака продолжают удаляться от обычной части MACSJ0025.

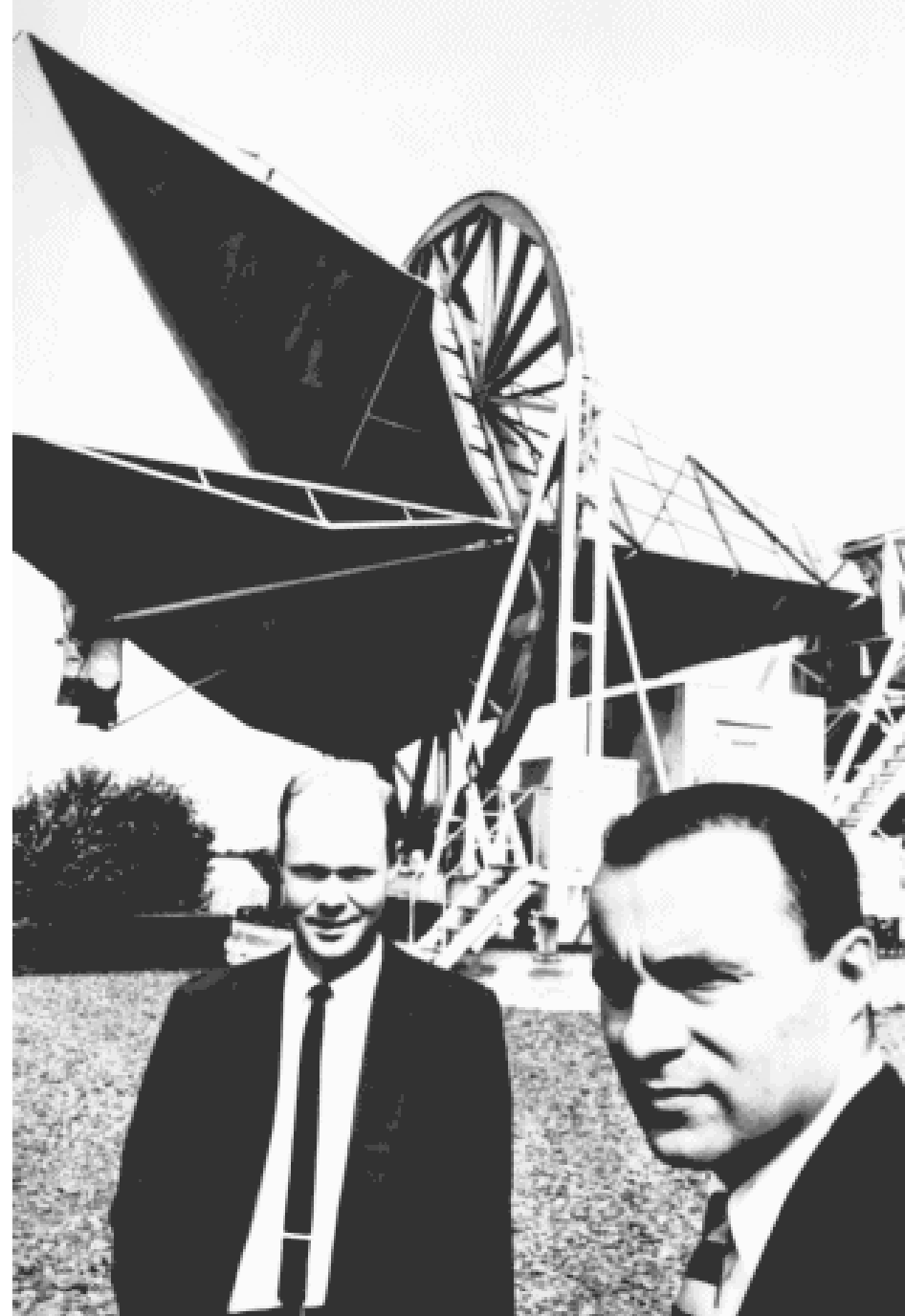
## И снова "Хаббл". Кольцо из темной материи.

С помощью Усовершенствованной Камеры для Обзоров (Advanced Camera for Surveys – ACS) космического телескопа "Хаббл" группа американских, европейских и израильских астрономов обнаружила кольцо, состоящее из темного вещества.

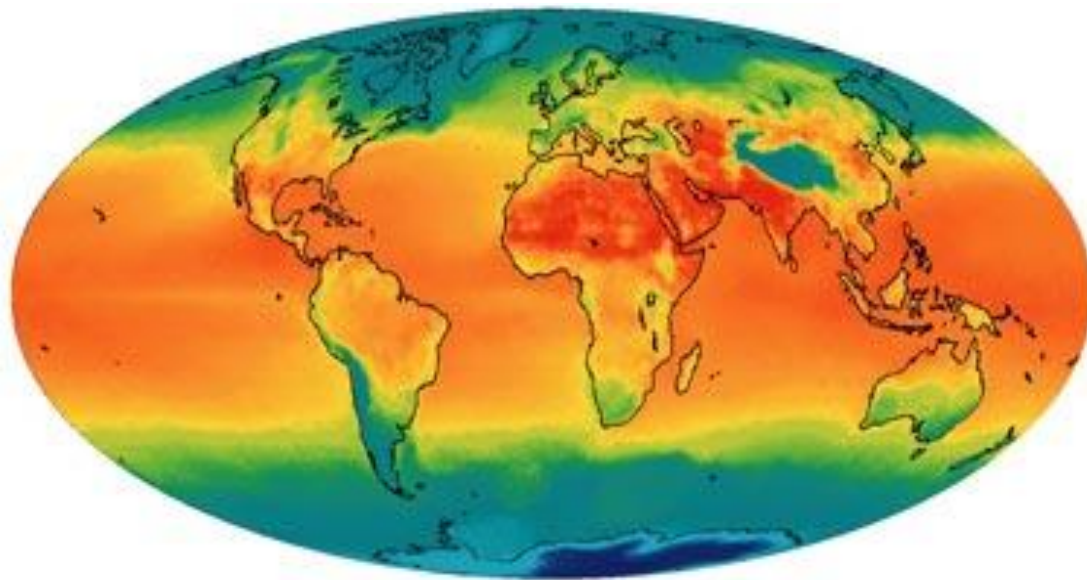


Кольцо сформировалось  $(1-2) \cdot 10^9$  лет назад в ходе чудовищного столкновения между двумя массивными галактическими скоплениями.

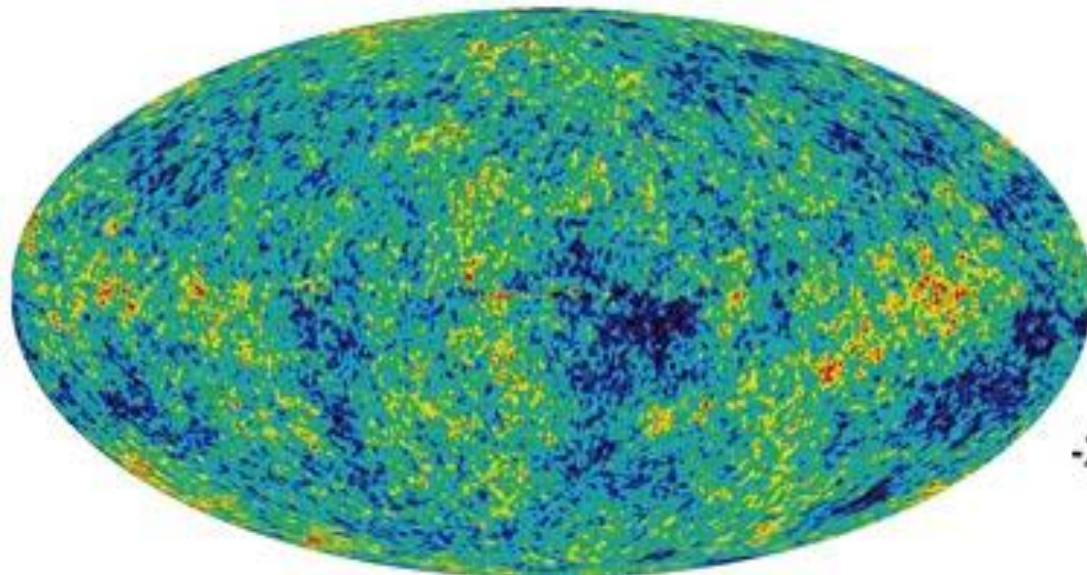
Это открытие, видимо, можно считать одним из самых убедительных доказательств существования темной материи. [Статья направлена в ApJ.]



Nobel Prize, for what has been called  
“the greatest scientific discovery ever”.

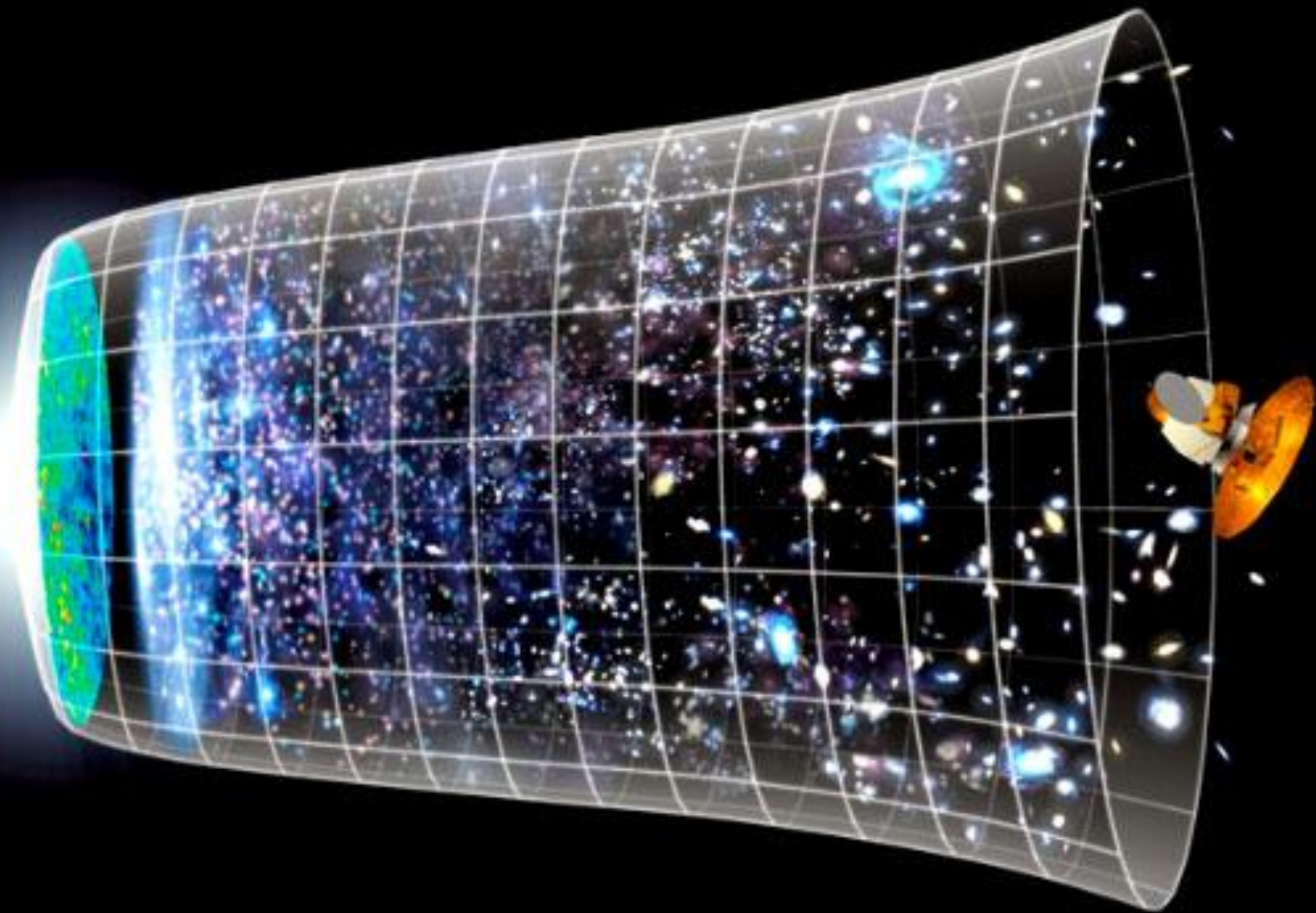


Earth  
Temperatures



Microwave Sky  
Temperatures





# Будущее Вселенной

