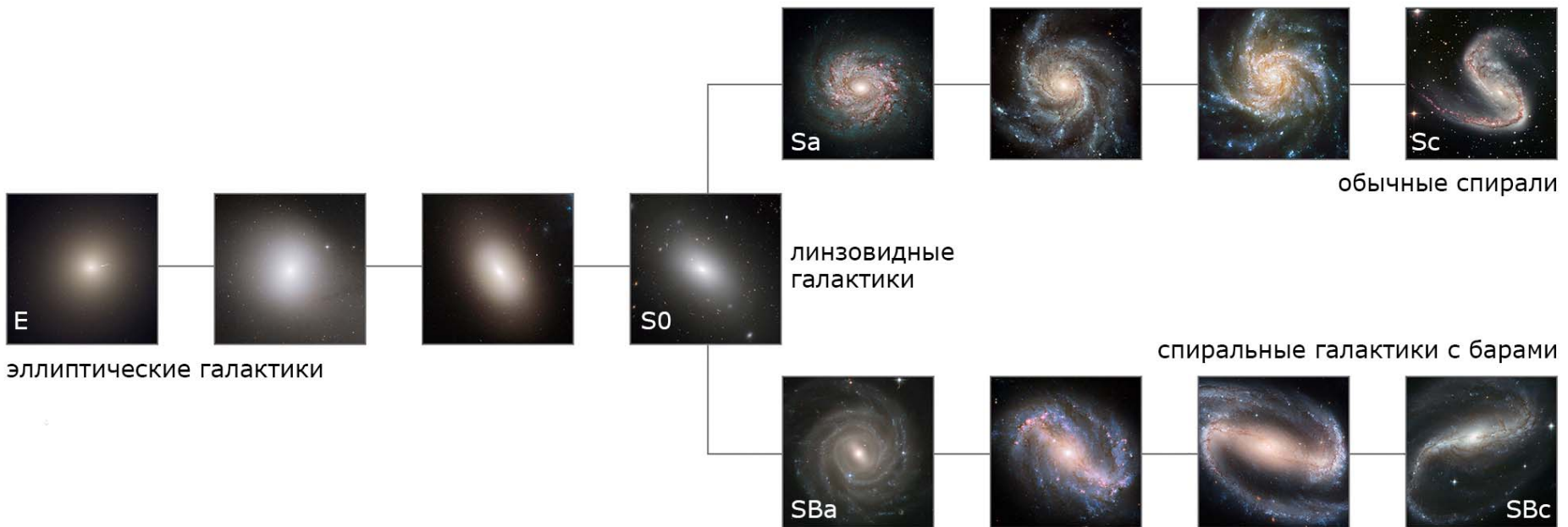


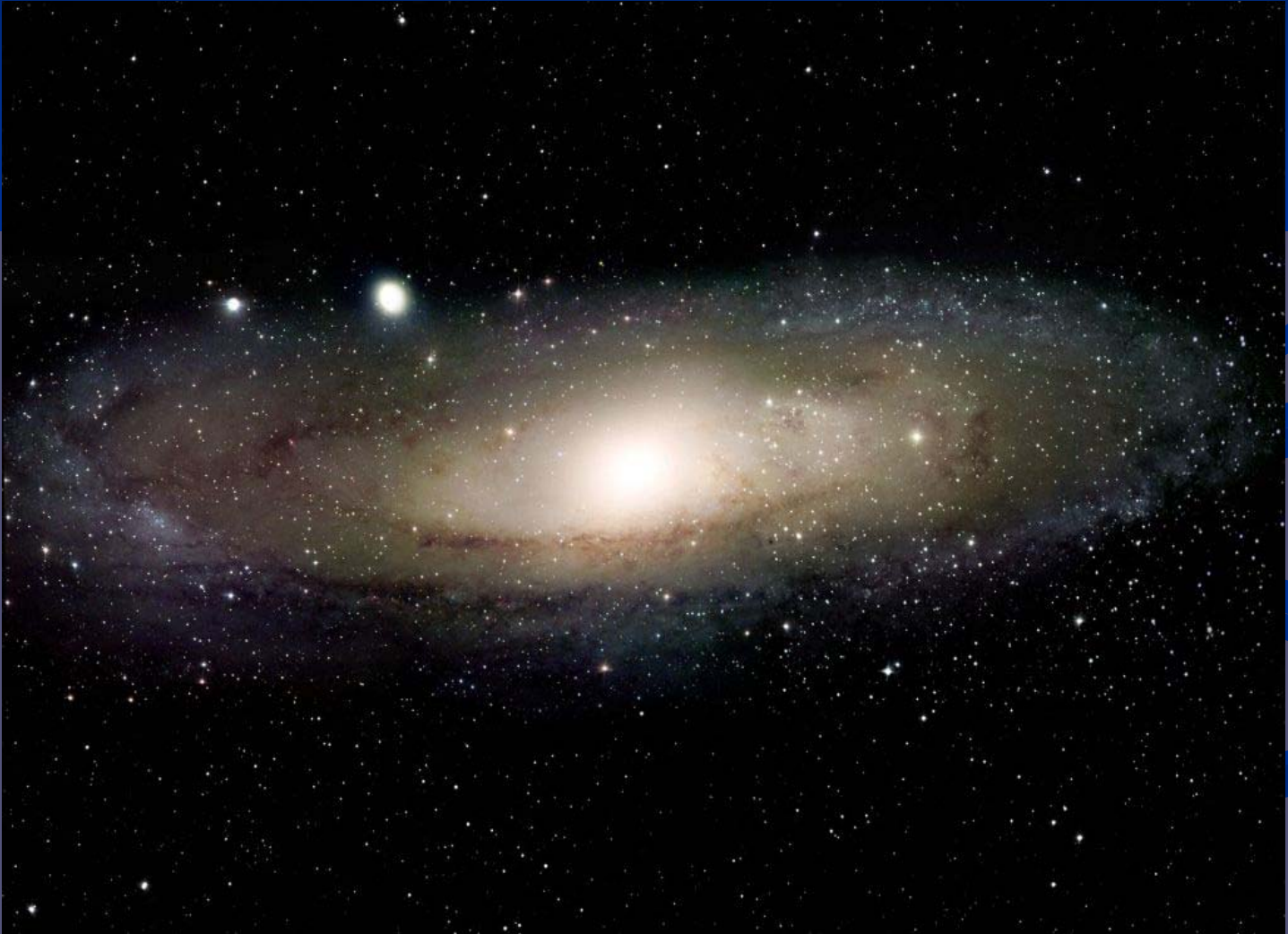
# Эволюция галактик: теория и наблюдения

Сильченко О.К.  
ГАИШ МГУ

# Классификация галактик по Хабблу



**Из каких глобальных компонент  
состоит дисковая галактика?**



# Морфологический тип определяется соотношением диск:балдж

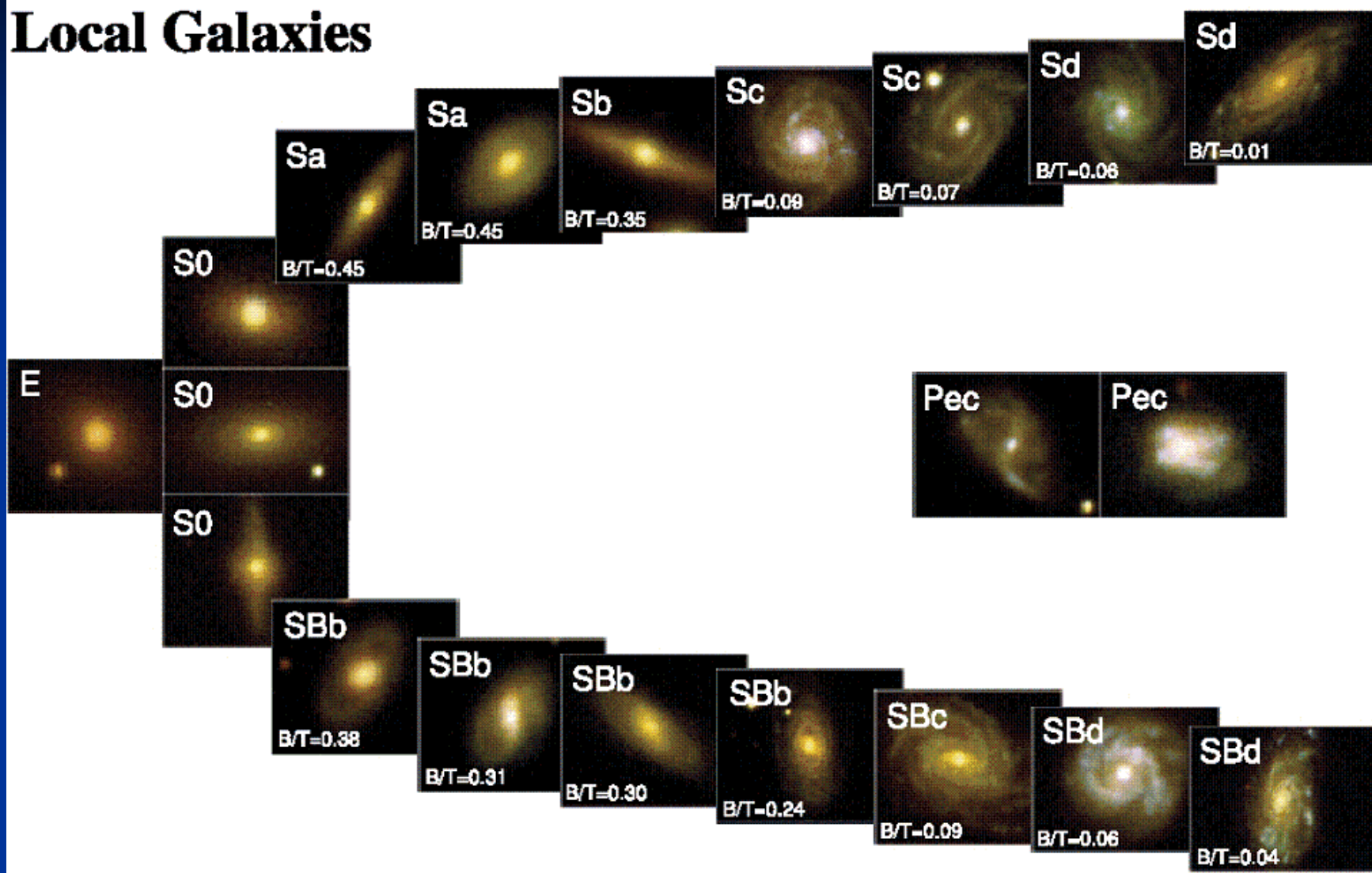


NGC 4565



NGC 4594

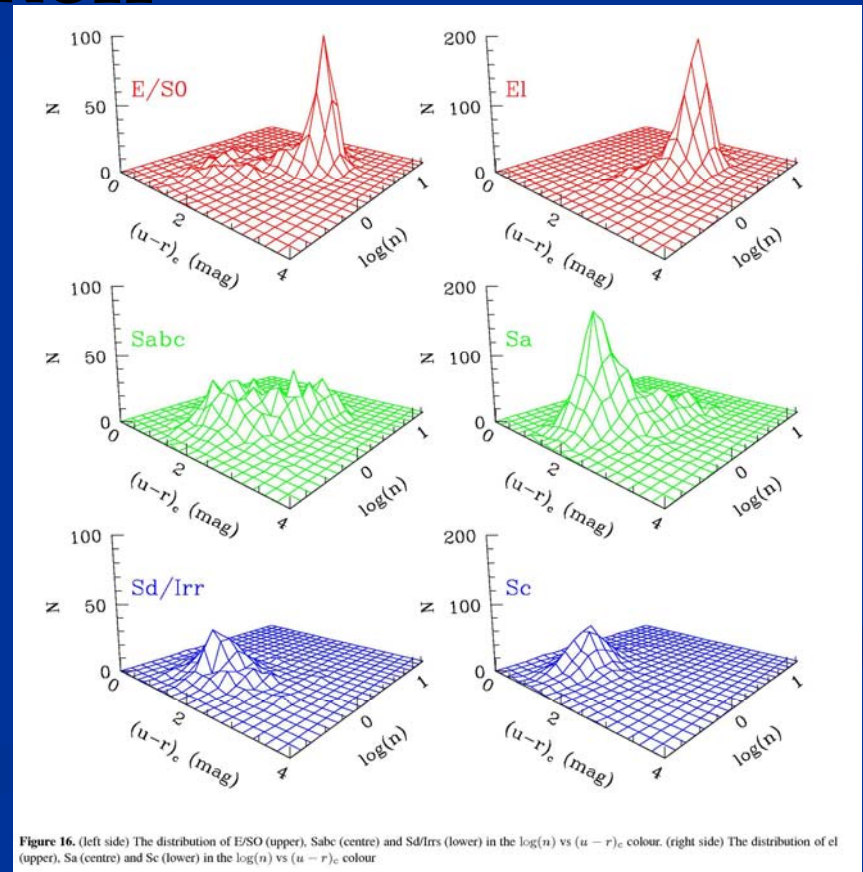
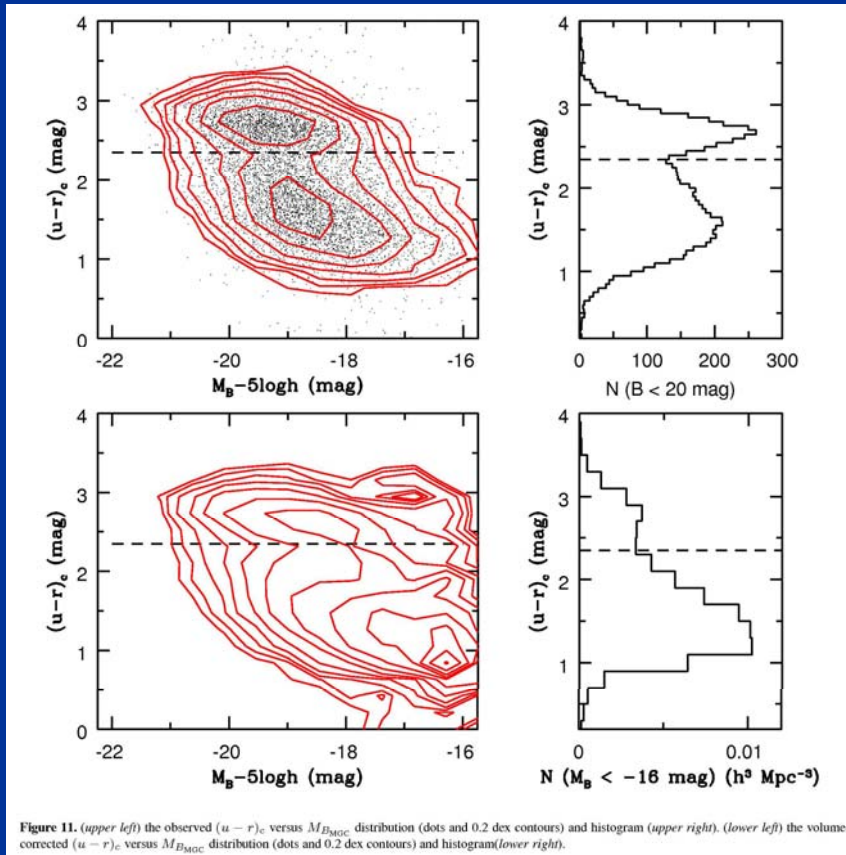
# Local Galaxies



E 3%	S0 15%	Spiral 72%			Peculiar 10%
---------	-----------	---------------	--	--	-----------------



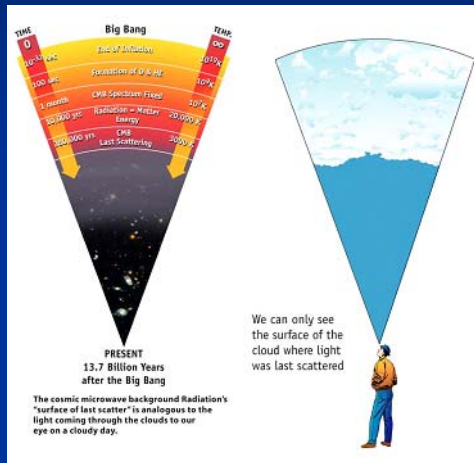
# Рядом с нами галактики резко делятся на красные и голубые: голубые более слабые и не имеют балджей



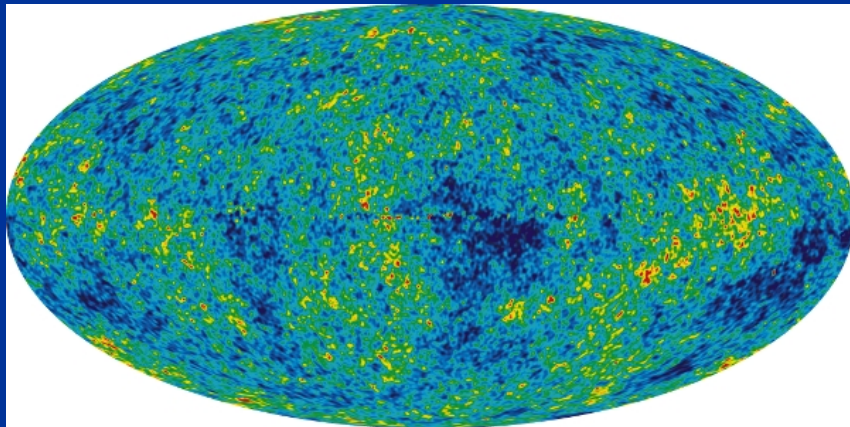
# Главное различие галактик ранних и поздних типов:

- Голубой цвет = современное образование новых звезд.
- Новые звезды в наше время образуются только в дисках галактик.
- А вот галактики ранних типов — причем и эллиптические, и линзовидные — сформировали все свои звезды быстро и **ОЧЕНЬ** давно — на заре эволюции Вселенной.

# «Реликтовый» космический фон

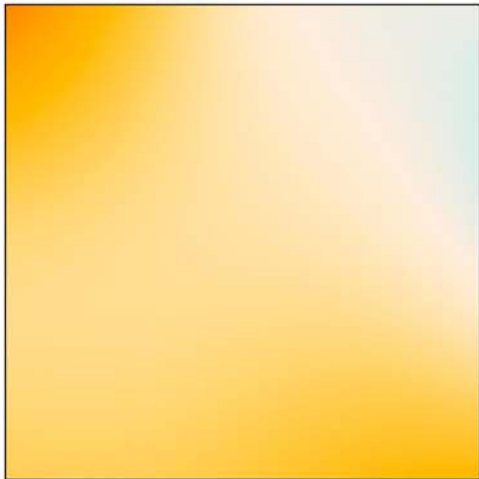


- На красном смещении  $\sim 1000$  излучение отделилось от вещества, и тем реликтовым фотонам, которые мы видим сейчас, ничто не мешало распространяться по Вселенной.
- Тогда, на  $z \sim 1000$ , Вселенная была **ОЧЕНЬ** однородной.

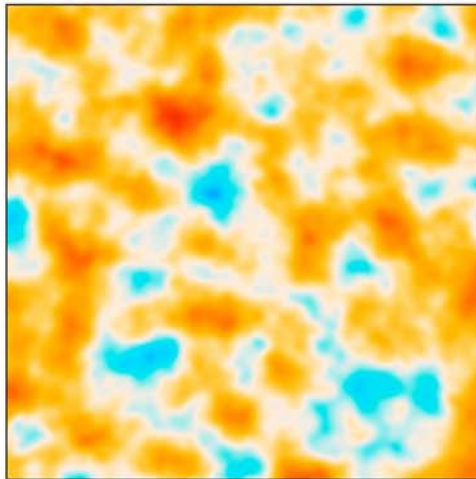
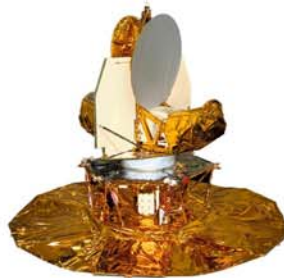




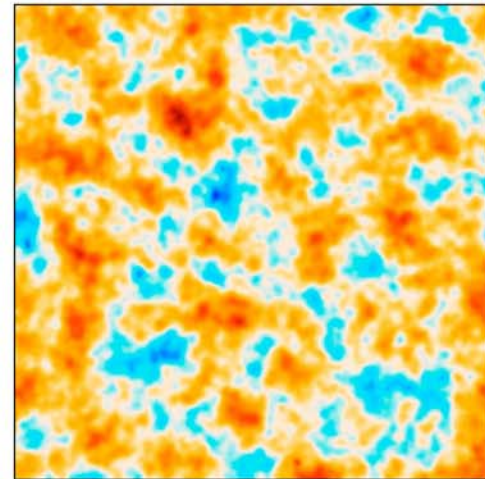
# Исследование флуктуаций температуры реликтового фона космическими телескопами



COBE

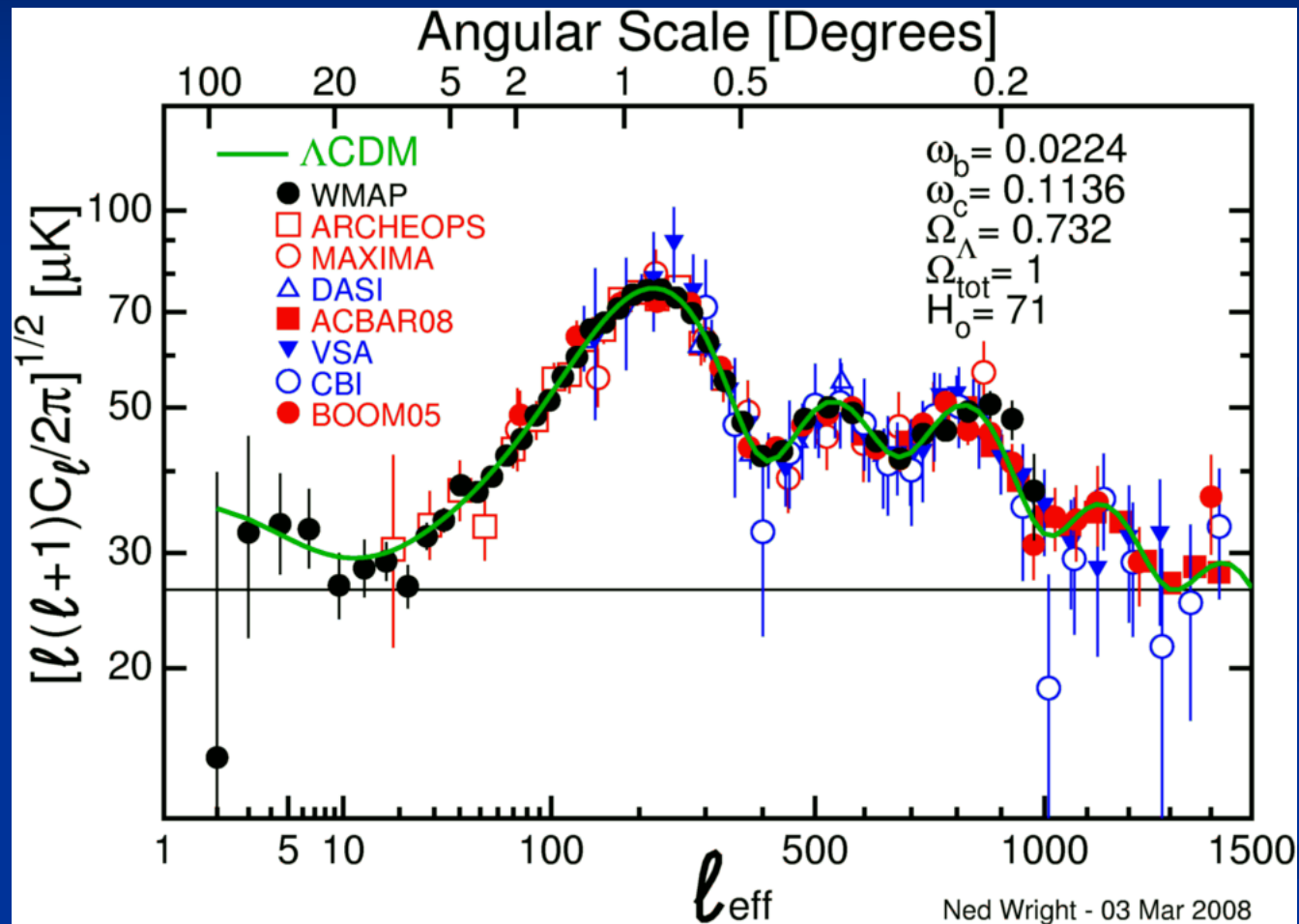


WMAP

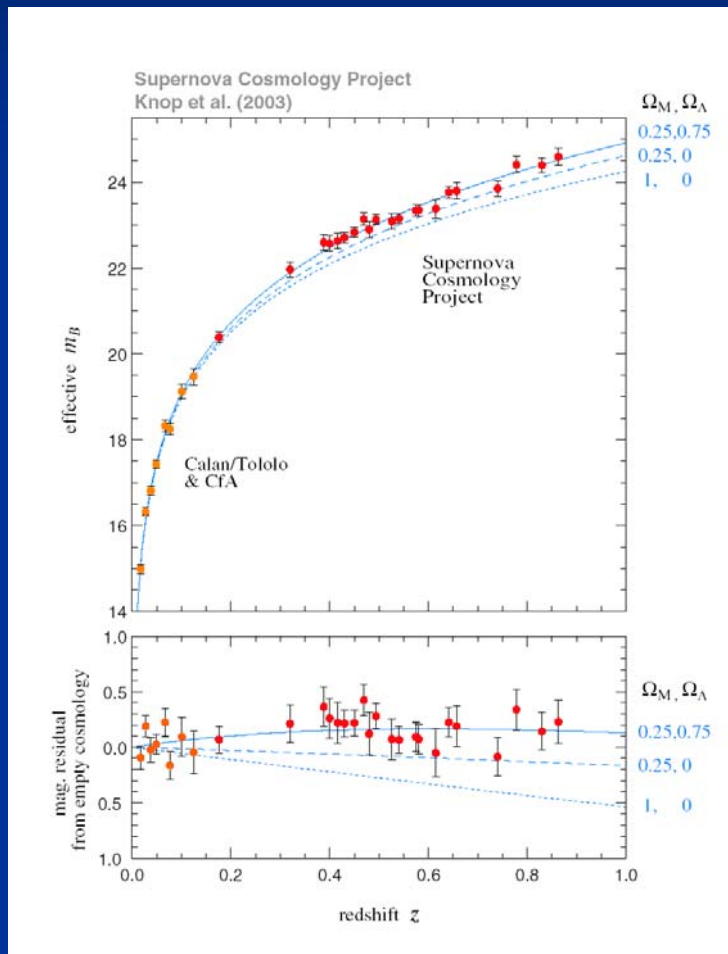


Planck

# WMAP:

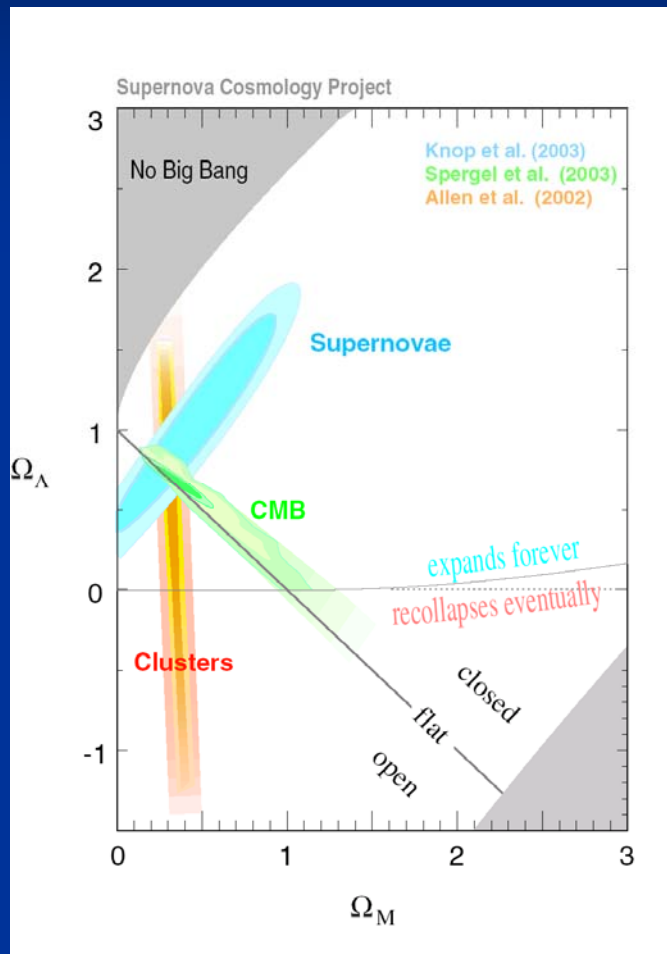


# Космология с далекими сверхновыми типа Ia в качестве стандартных свечей



- Уже при построении Хаббловской диаграммы до  $z=1$  выяснилось, что плоская модель с критической плотностью темной материи не проходит: сверхновые выглядят слишком слабыми

# Космология с комбинированными наблюдательными данными



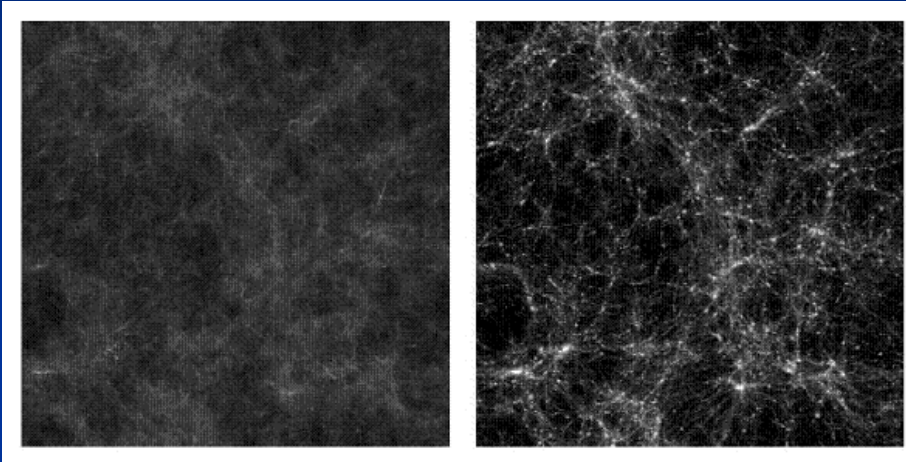
- Сопоставление сверхновых, спектра флуктуаций реликтового фона и статистики близких скоплений галактик позволяет точно определить космологические параметры:
- $\Omega_m = 0.3, \Omega_\Lambda = 0.7$



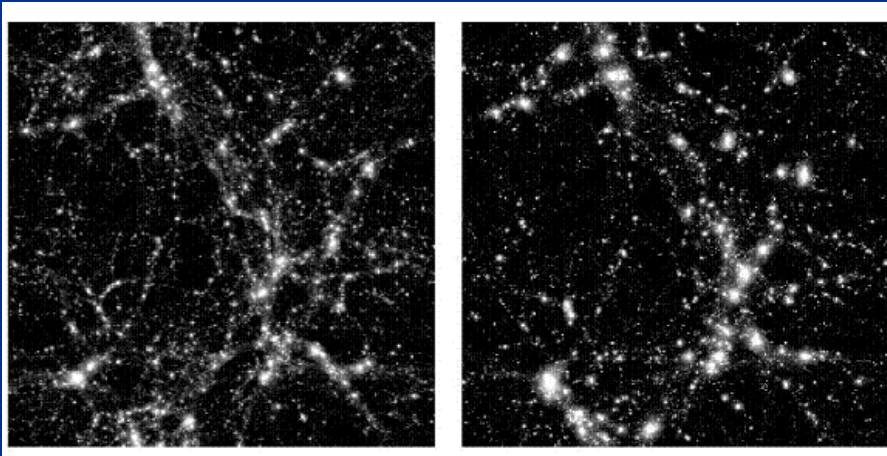
# Результаты 9го года WMAP (Bennett et al. 2013, Hinshaw et al. 2013):

- $H_0 = 69.32 \pm 0.80 \text{ км/с/Мпк}$
- Возраст Вселенной  $13.772 \pm 0.059$  млрд лет
- Плотность барионная – 4.64% от критической, плотность темной материи – 23.5% от критической, плотность темной энергии – 71.85%

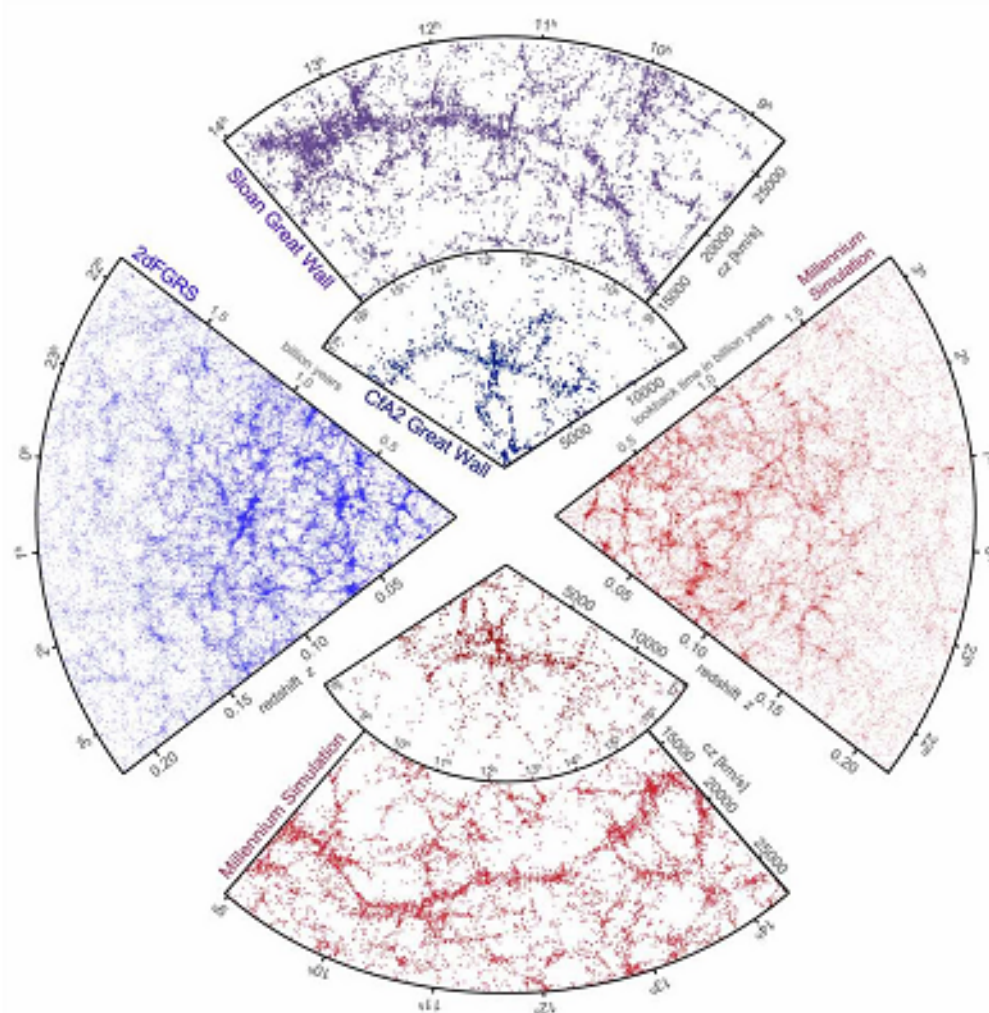
# Космологические модели: Эволюция крупномасштабной структуры темной материи в масштабах Вселенной



- Основной механизм — иерархическое скучивание материи под действием гравитационной неустойчивости



- Подбор параметров — чтобы получить правильную конечную картину к моменту  $z=0$



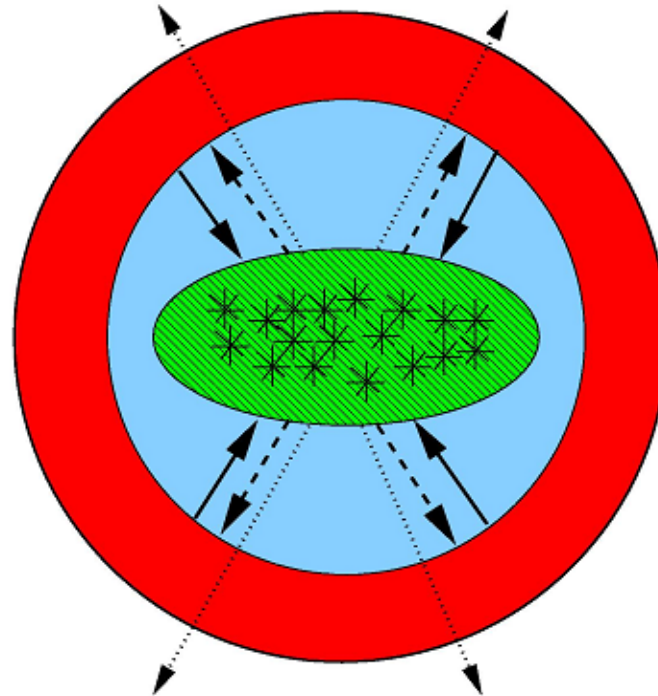
**Figure 1:** The galaxy distribution obtained from spectroscopic redshift surveys and from mock catalogues constructed from cosmological simulations. The small slice at the top shows the CfA2 “Great Wall”<sup>3</sup>, with the Coma cluster at the centre. Drawn to the same scale is a small section of the SDSS, in which an even larger “Sloan Great Wall” has been identified<sup>100</sup>. This is one of the largest observed structures in the Universe, containing over 10,000 galaxies and stretching over more than 1.37 billion light years. The wedge on the left shows one-half of the 2dFGRS, which determined distances to more than 220,000 galaxies in the southern sky out to a depth of 2 billion light years. The SDSS has a similar depth but a larger solid angle and currently includes over 650,000 observed redshifts in the northern sky. At the bottom and on the right, mock galaxy surveys constructed using semi-analytic techniques to simulate the formation and evolution of galaxies within the evolving dark matter distribution of the “Millennium” simulation<sup>5</sup> are shown, selected with matching survey geometries and magnitude limits.

# Теоретическое направление «собирания» галактик:

- Иерархическое скучивание — сначала маленькие галактики, потом большие галактики — слиянием малых; потом к настоящей эпохе уже скопления галактик — самые массивные гравитационно связанные объекты из наблюдаемых.

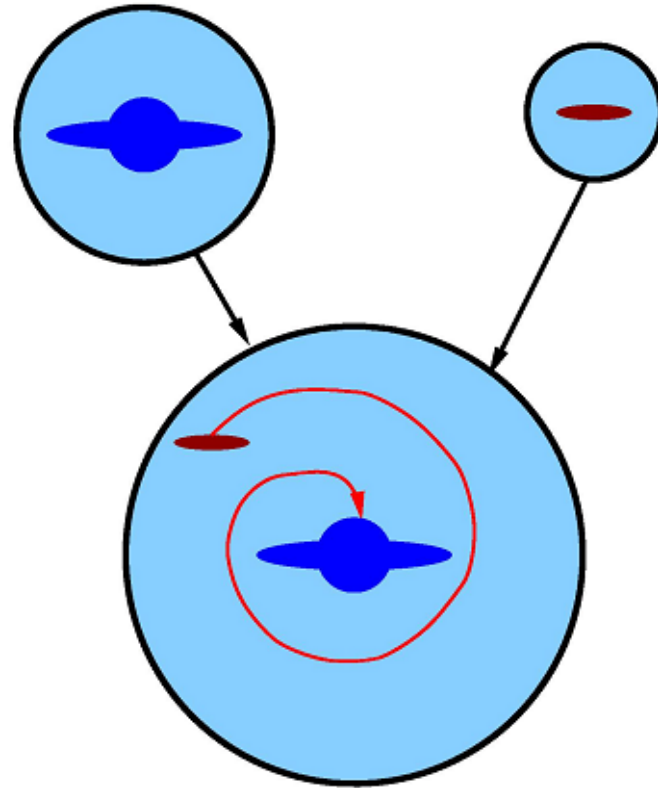


# Три фазы эволюции: 1. медленная аккреция горячего газа гало



**Figure 10.** A schematic figure showing gas cooling from the hot halo (solid lines) and building up the reservoir of cold gas in the galactic disc. The cooled gas is turned into stars on a timescale set by the parameters of the model. Supernova explosions can reheat a fraction of the cooled gas and return it to the hot phase (dashed lines) or eject material from the halo altogether (dotted lines).

# Три фазы эволюции в жизни каждой галактики: 2. слияния

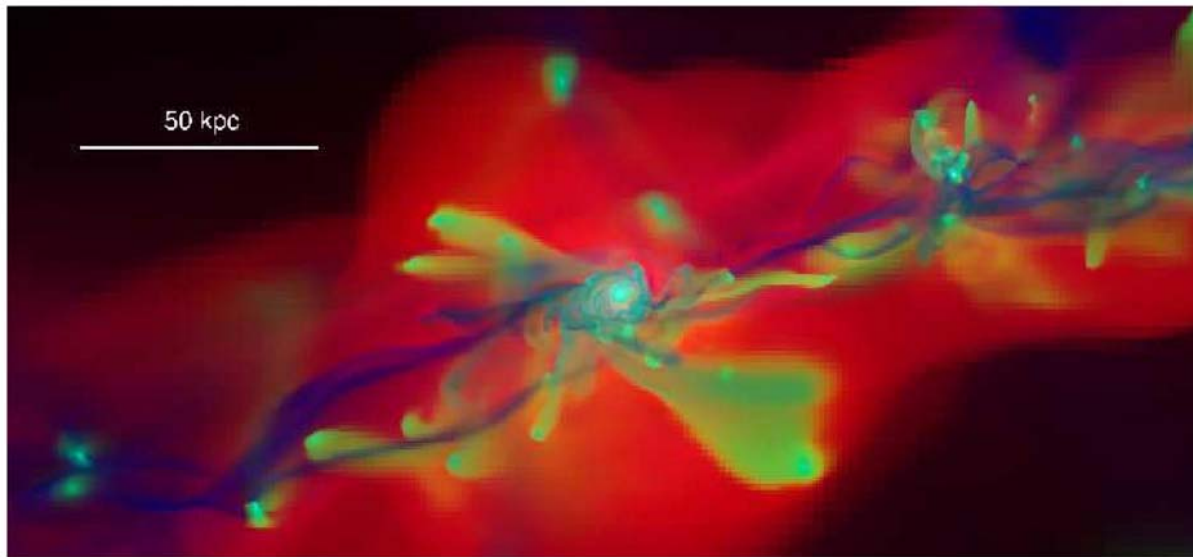


**Figure 11.** A schematic of a merger between two dark matter haloes. The progenitors of the final halo each contain a galaxy. After the haloes merge, the more massive galaxy is placed at the centre of the newly formed halo. Any hot gas that cools would be directed onto the central galaxy (for simplicity, in this illustration, the haloes have exhausted their supply of hot gas). The smaller galaxy becomes a satellite of the central galaxy. The orbit of the satellite galaxy decays due to dynamical friction. The satellite may eventually merge with the central galaxy.

Major merging:

Отношение масс 1:1-1:4

# 3-я фаза: “Собирание” диска натеканием холодного газа вдоль узких жгутов?



**Figure 1.** An *RGB*-image of the gas showing the disk and accretion region at  $z \sim 3$ . The image is constructed using  $R$ =temperature,  $G$ =metals and  $B$ =density. We can clearly distinguish the cold pristine gas streams in blue connecting directly onto the edge of the disk, the shock heated gas in red surrounding the disk and metal rich gas in green being stripped from smaller galaxies interacting with the halo and streams of gas. The disk and the interacting satellites stand out since they are cold, dense and metal rich. The distance measure is in physical units.

# Видимые последствия:

- Большие слияния (отношения масс  $>1:4$ ) разрушают диски и формируют сфероиды;
- Малые слияния НЕ разрушают диски, но «греют» их — делают толстыми;
- Плавное натекание газа извне позволяет в стационарном режиме питать образование новых звезд и формировать тонкие звездные диски.



# Как формируются сфероиды?

## Большим мержингом – слиянием дисков близких масс



SPH simulation of a major merger by Wetzstein et al. (2007)

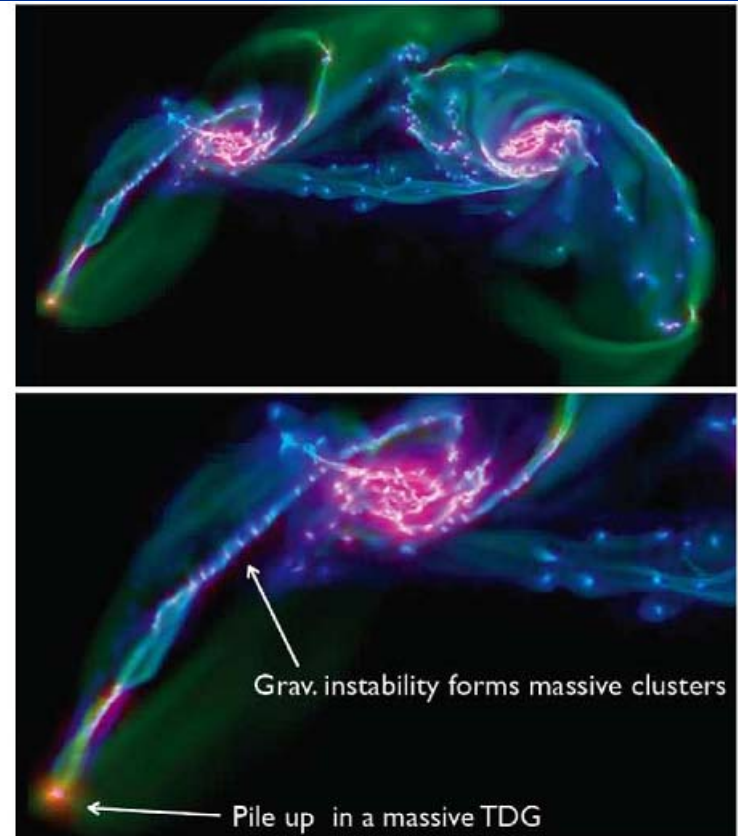
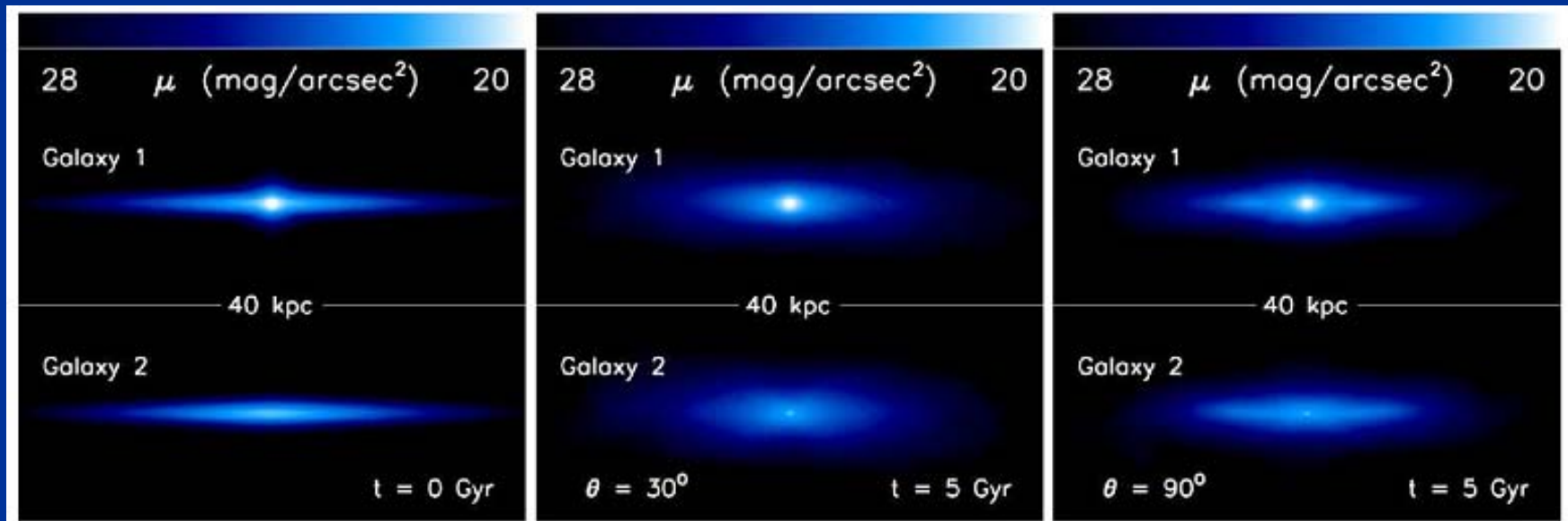


Figure 5. Grid hydrodynamic (AMR) simulation of a major merger by Chapon et al. (in preparation).

# «Антенны» - близкие к нам сливающиеся галактики

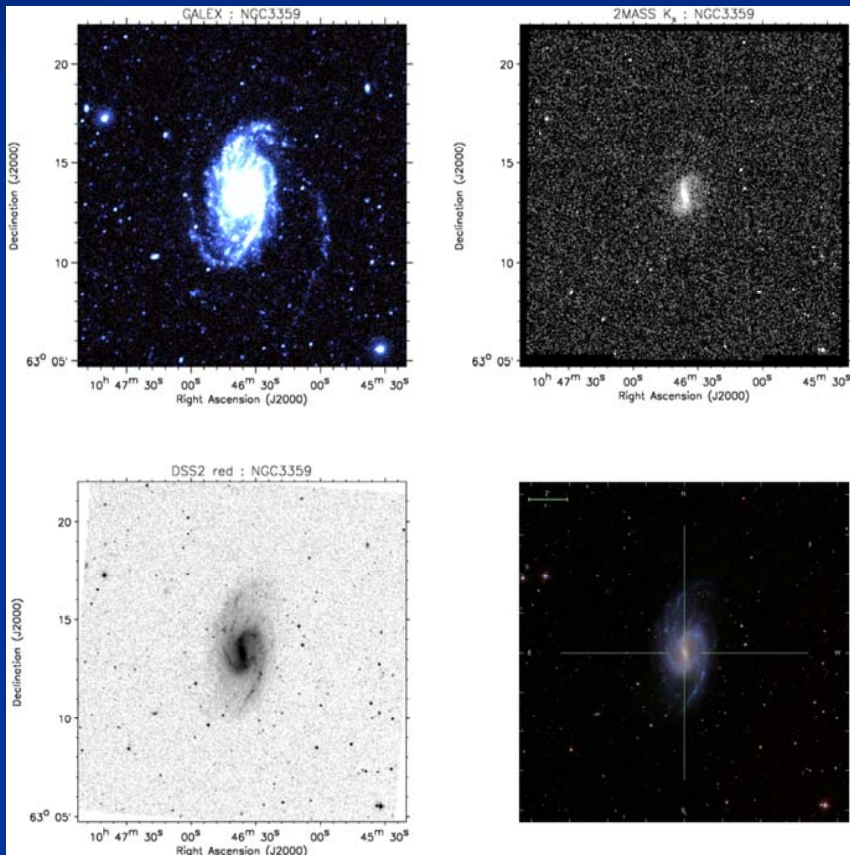


# Динамическая эволюция звездного диска: поглощение малого спутника

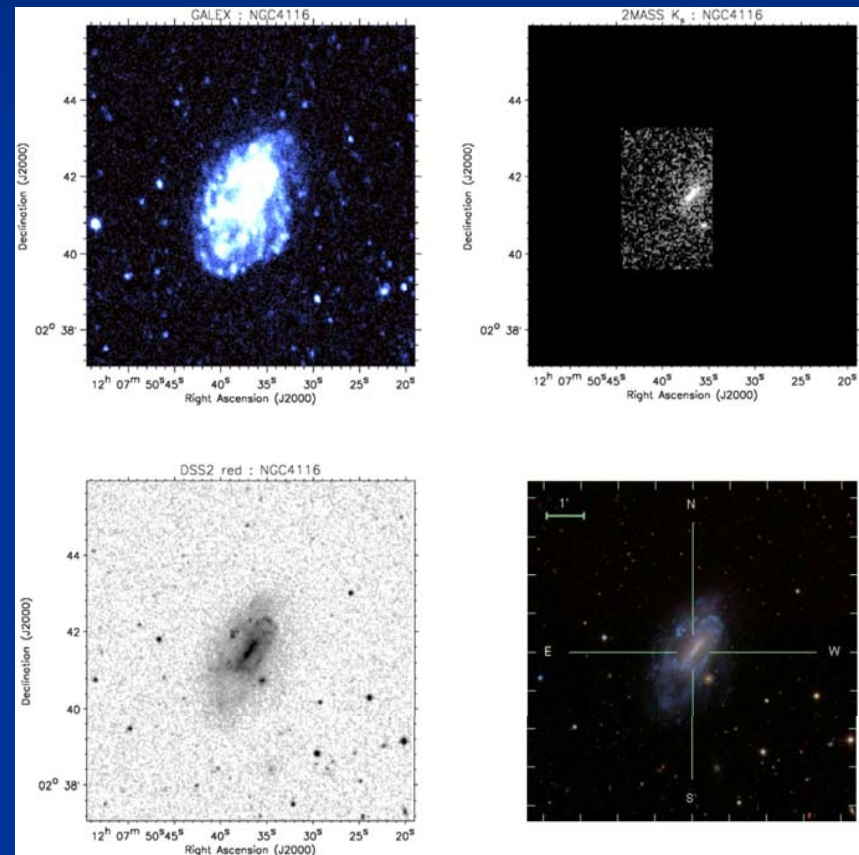


Purcell et al. 2009

# Плавный рост дисков: внешние протяженные ультрафиолетовые диски галактик по данным GALEX



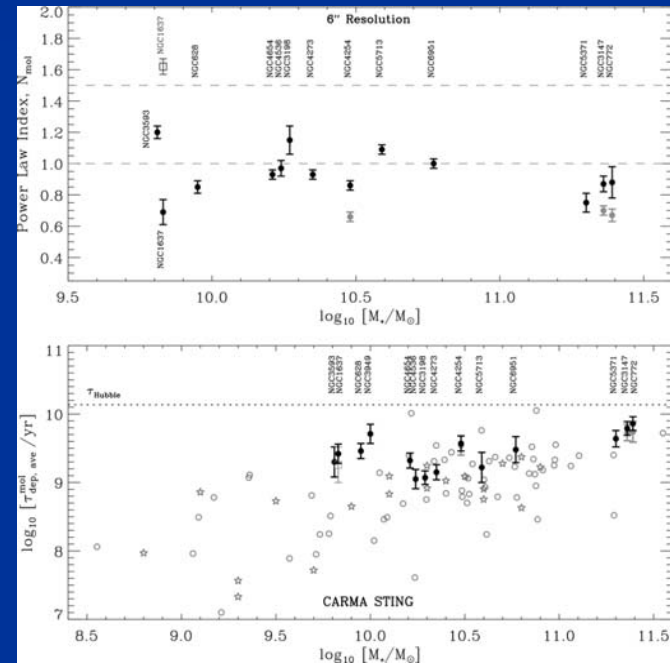
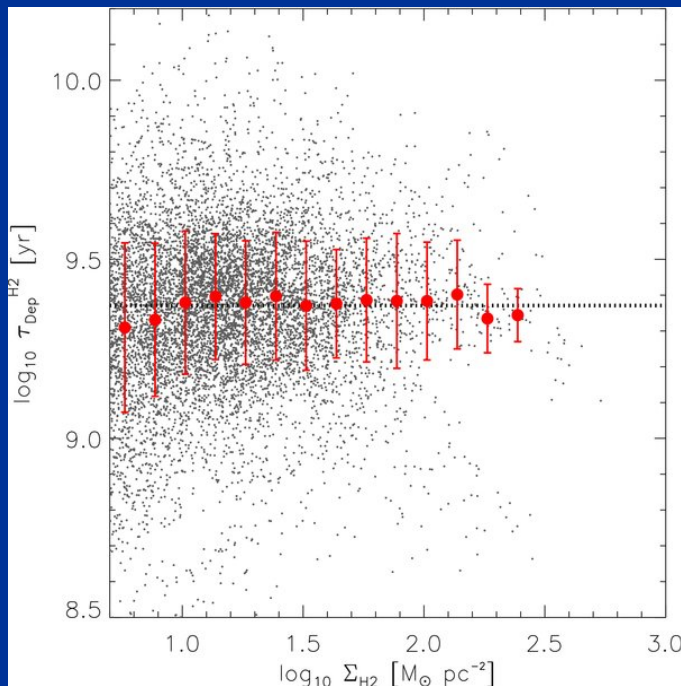
Тип I



Тип II



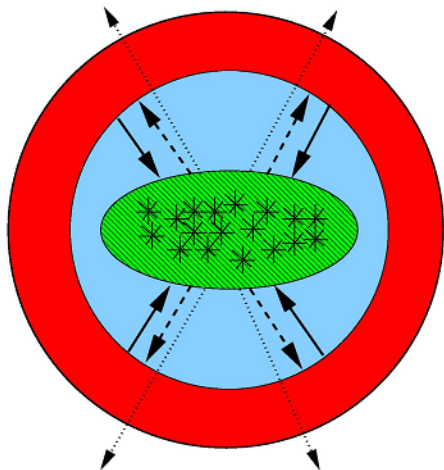
# Но современные запасы газа в спиральных галактиках рассчитаны на 2-3 млрд лет



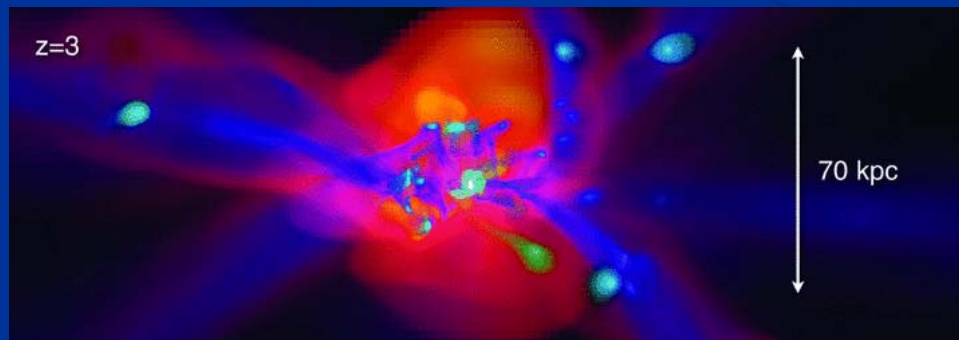
**Нужна постоянная аккреция!**

# Откуда берется газ для образования звезд?

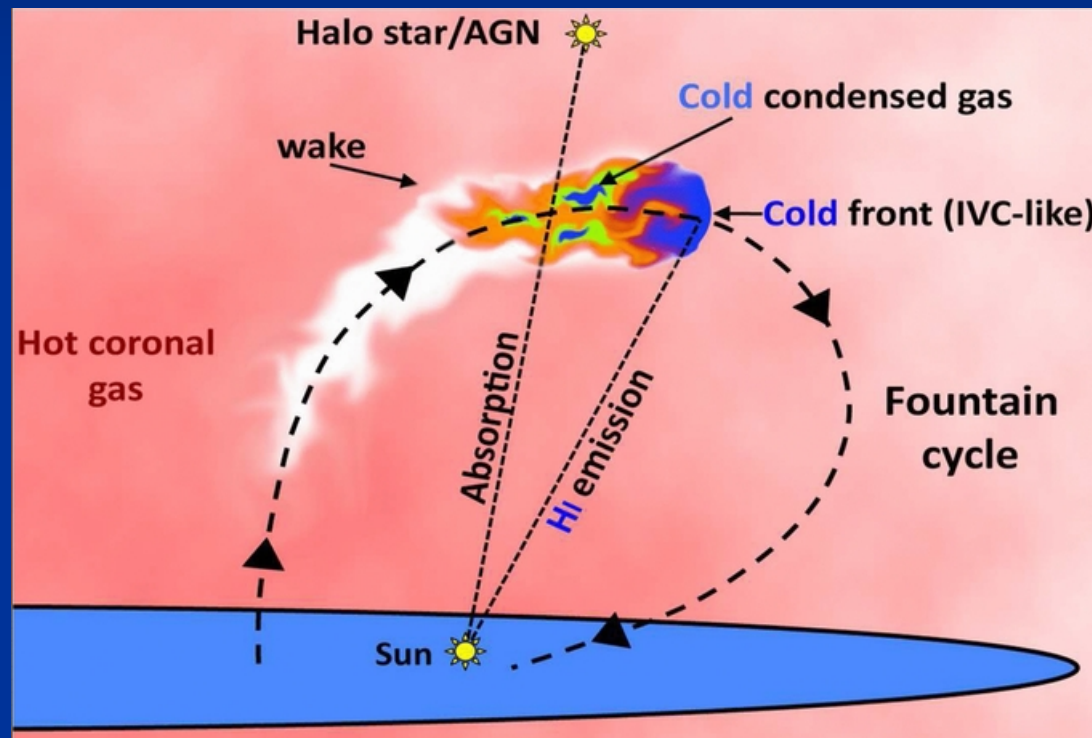
## Или падение спутников?



**Figure 10.** A schematic figure showing gas cooling from the hot halo (solid lines) and building up the reservoir of cold gas in the galactic disc. The cooled gas is turned into stars on a timescale set by the parameters of the model. Supernova explosions can reheat a fraction of the cooled gas and return it to the hot phase (dashed lines) or eject material from the halo altogether (dotted lines).



# Вариант «горячей аккреции»:

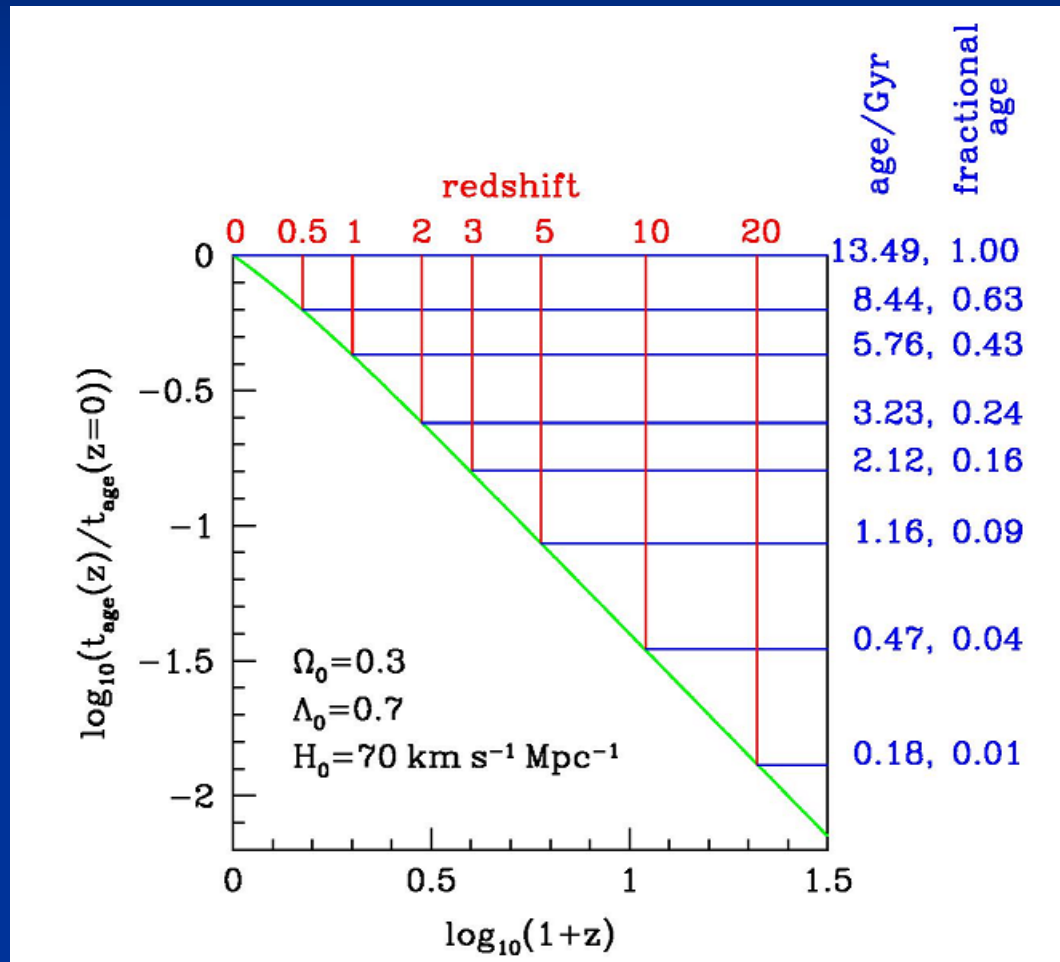


Filippo Fraternali

# Наблюдательное исследование эволюции Вселенной

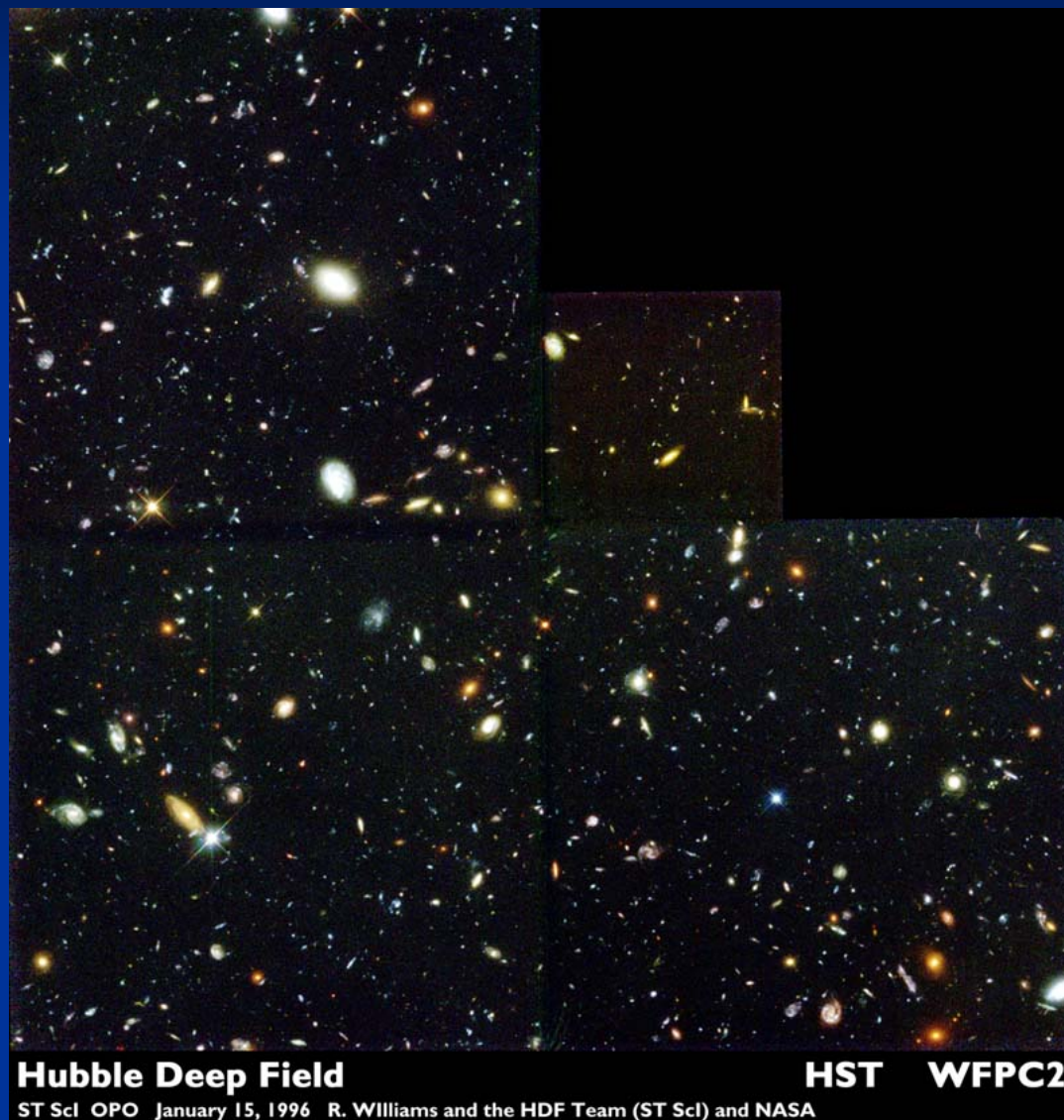
- На больших 8-10 метровых телескопах мы видим всю Вселенную после рекомбинации на просвет...

# Космологическая модель пространства времени связывает красное смещение и время, затраченное светом, чтобы пройти это расстояние





# Северное Глубокое Хаббловское поле



# Еще 8-9 млрд лет назад галактики были такие же, как сегодня...

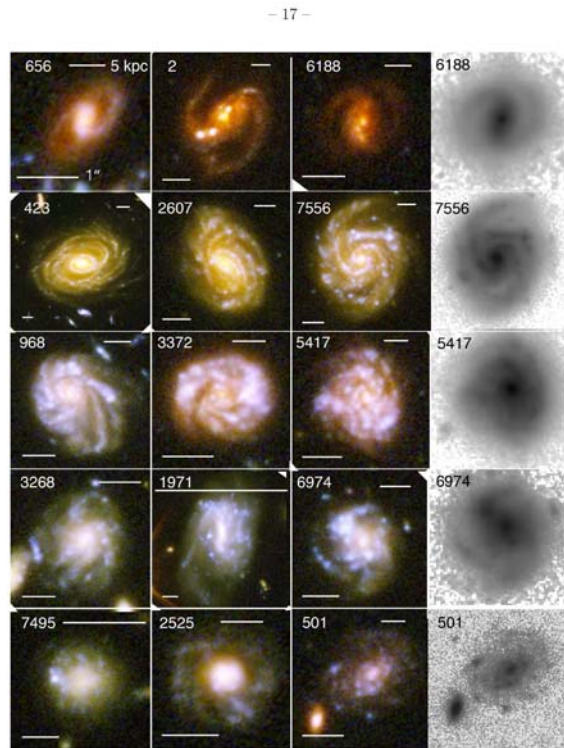


Fig. 1.— Five spiral arm morphologies in the UDF with three examples of each (in color) and an H-band image of the right-most example in black and white. In each image, the bar on the lower left indicates an angular scale of  $1''$ , while the bar on the upper right indicates a linear scale of 5 kpc. From top to bottom, the morphologies are: grand design, normal multiple arm, woolly, irregular long-arm, and flocculent. The properties of these galaxies are in Table 1. What we call woolly consists of thick, patchy and long arms, in contrast to flocculent galaxies which have numerous short and patchy arms. The irregular long-arm type consists of numerous thin arms with bright beads of star formation in them and an overall irregular or asymmetric structure.

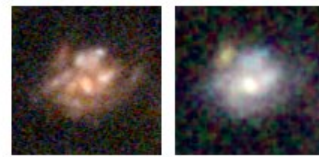
$Z=1.03$

$Z=1.11$

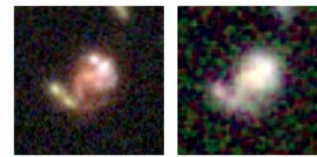
$Z=0.50$

$Z=1.37$

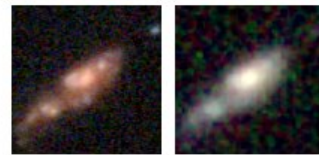
А вот дальше от нас морфологическая последовательность нарушается... (галактики в северном Глубоком Хаббловском поле)



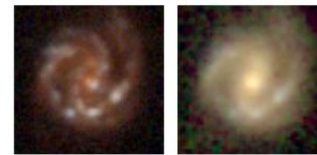
$z = 0.75$



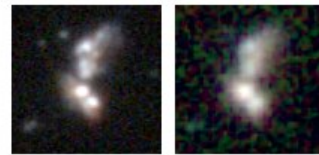
$z = 0.95$



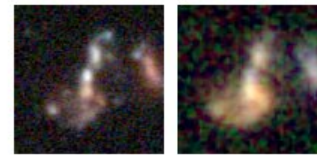
$z = 0.96$



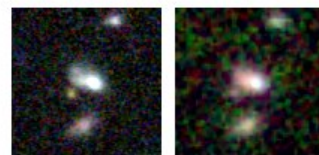
$z = 1.01$



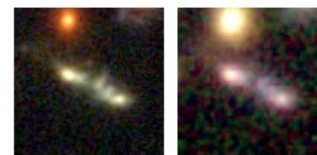
$z = 1.36$



$z = 2.01$



$z = 2.27$

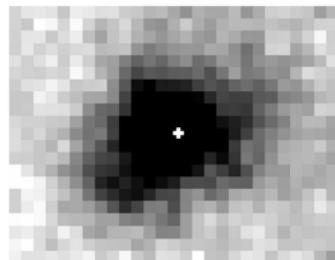
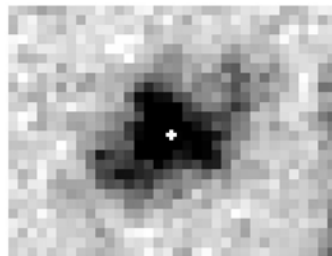
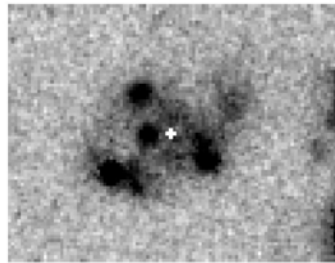


$z = 2.80$

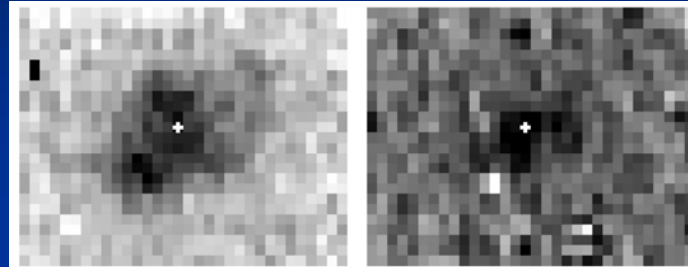
# Что значит клочковатость далеких галактик?

- Звздообразование идет в крупных комплексах?
- Большие галактики на глазах образуются слиянием малых галактик?

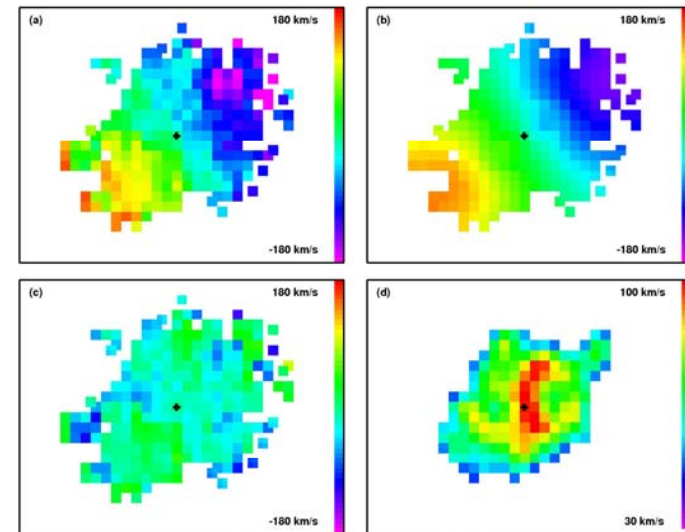
# Как оказалось, все клочки участвуют в едином вращении:



**Fig. 1.** From top to bottom: F814W image, NICMOS H band image and Ks image from F814W data. Image size is always 3" times 4" and the images have been rotated so that east is to the top and north is to the right. The (K band) center from the F814W data is marked by the white crosses.



**Fig. 5.** a.  $H\alpha$  line map. b.  $[N II] 6583$  line map. Image size is again 3" times 4" and the images have been rotated so that east is to the top and north is to the right. The white crosses mark again the (K band) center (here determined from the PSF star positions).



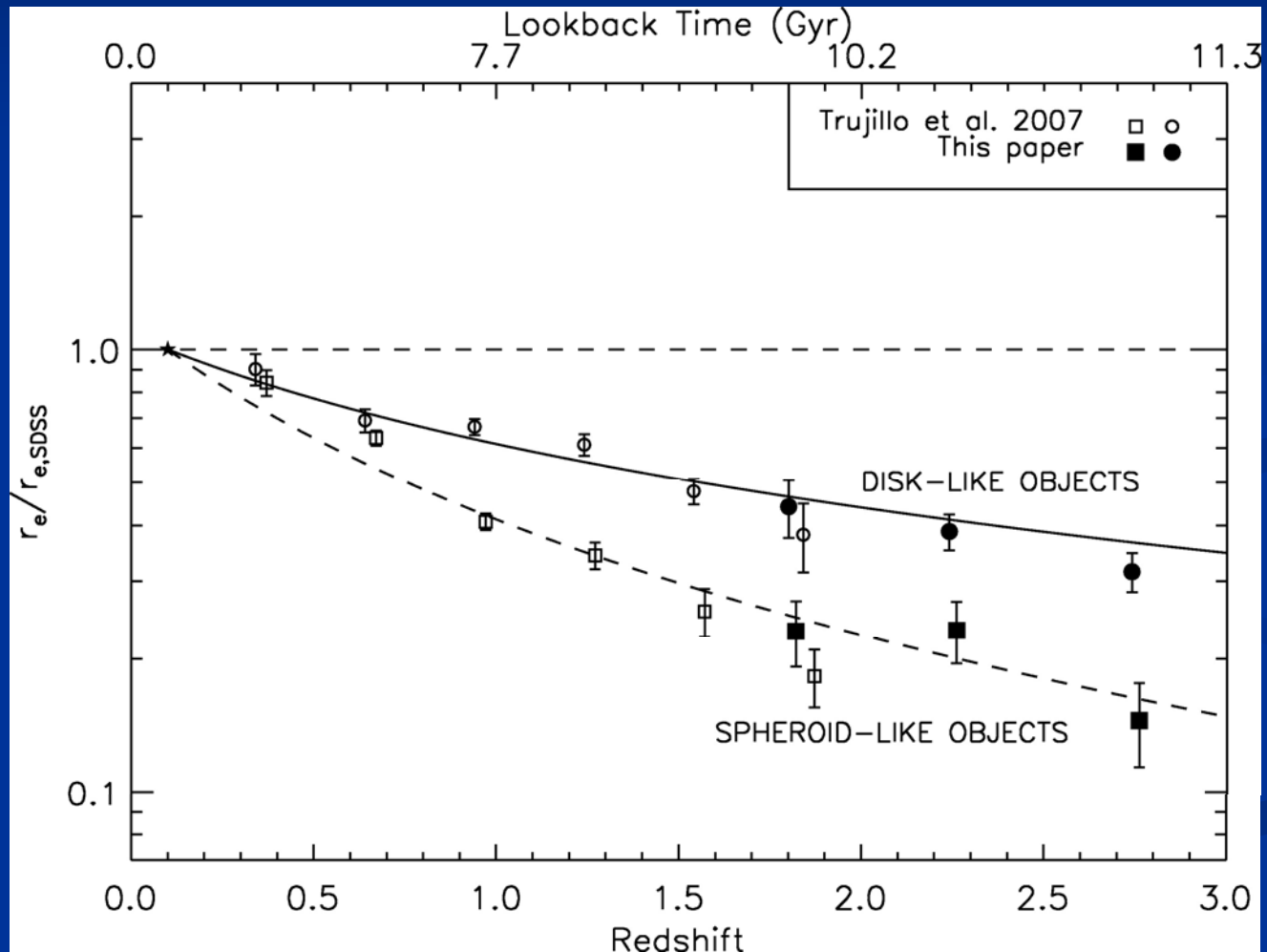
**Fig. 6.** a. The observed velocity field (not corrected for inclination). Some points at the edges are the average of four pixels. b. Best fit model velocity field. c. Residuals from the fit. d. Velocity dispersion field. The extent is smaller than for the velocity field due to the lower  $S/N$ . Instrumental resolution is  $32 \text{ km s}^{-1}$ . Note that the velocity scale is different for this figure. The spatial scale and orientation is the same as in previous figures and the cross point marks again the (dynamical and photometric) center.



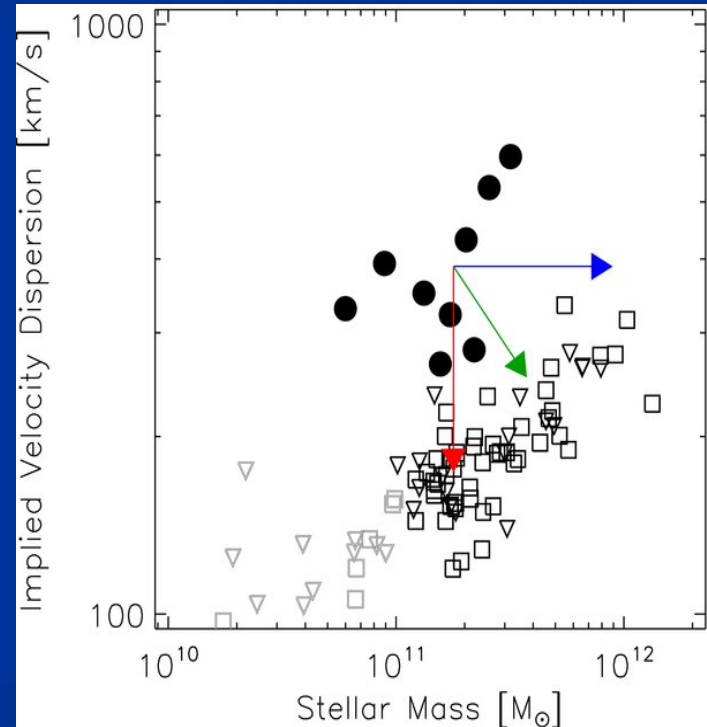
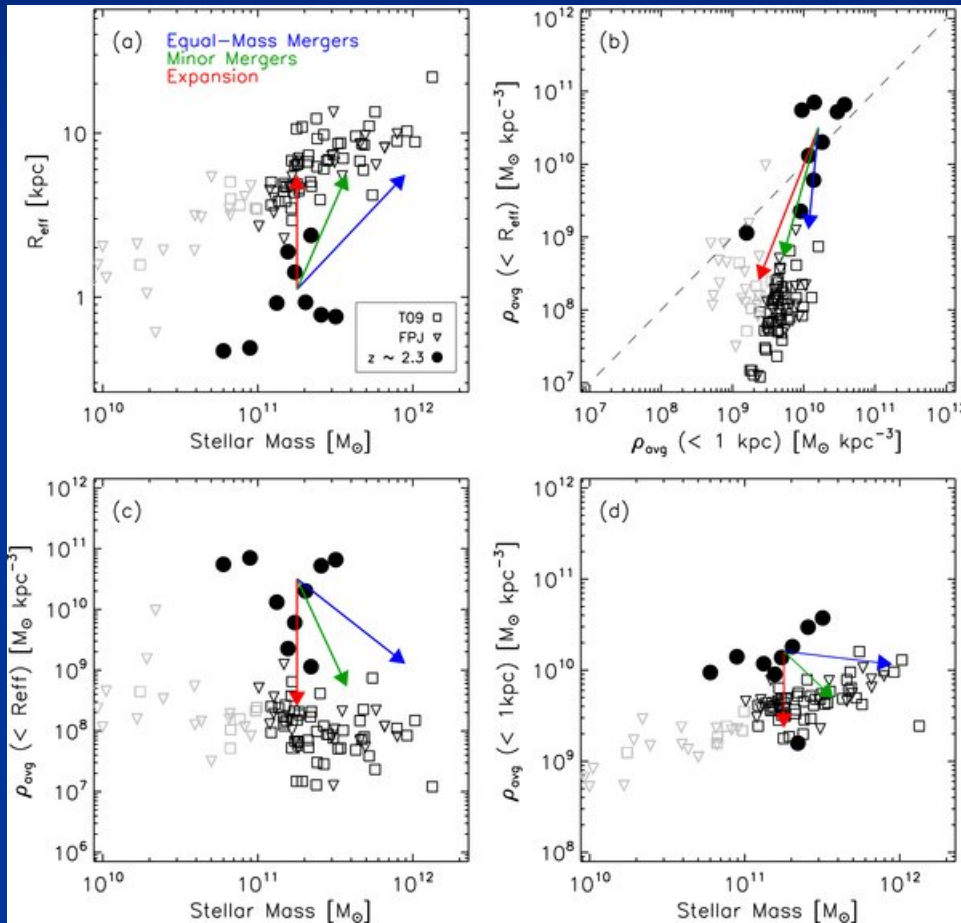
# «Горячие» проблемы:

- Эллиптические галактики: один большой мерджинг или много малых?
- Спиральные галактики: почему такие тонкие диски? Как вообще могут возникнуть галактики без балджей, и в огромном количестве?
- Откуда падает газ в диски? Остывание горячего газа гало? Или натекание вдоль космологических филаментов? Или постоянное падение карликовых спутников?

# Эволюция размеров: особенно сильная у сфероидов

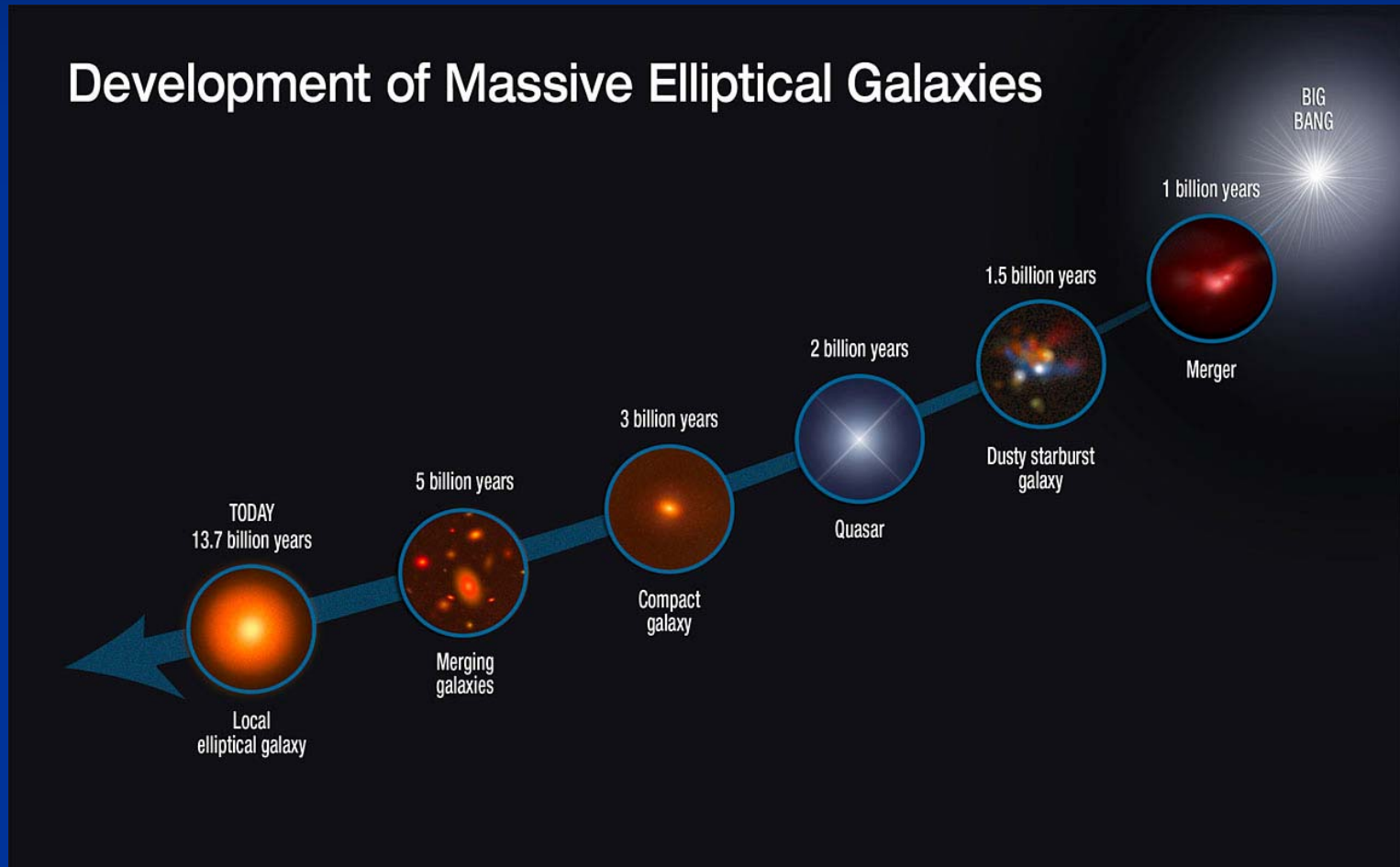


# Аргументы в пользу малого мерджинга: эволюция размера E-галактик



Bezanson et al. 2009

# Все-таки много малых сияний



# Ответы

- Образование эллиптических галактик: много слияний без газа.
- Дисковые галактики: толстый звездный диск – старый, тонкий звездный диск формируется постепенно до сих пор из падающего на галактику газа.
- ОТКУДА ПАДАЕТ ГАЗ? Самый важный нерешенный вопрос.