Проблема космологической эволюции типов галактик

Б.В. Комберг

I. Морфология галактик в локальной Вселенной

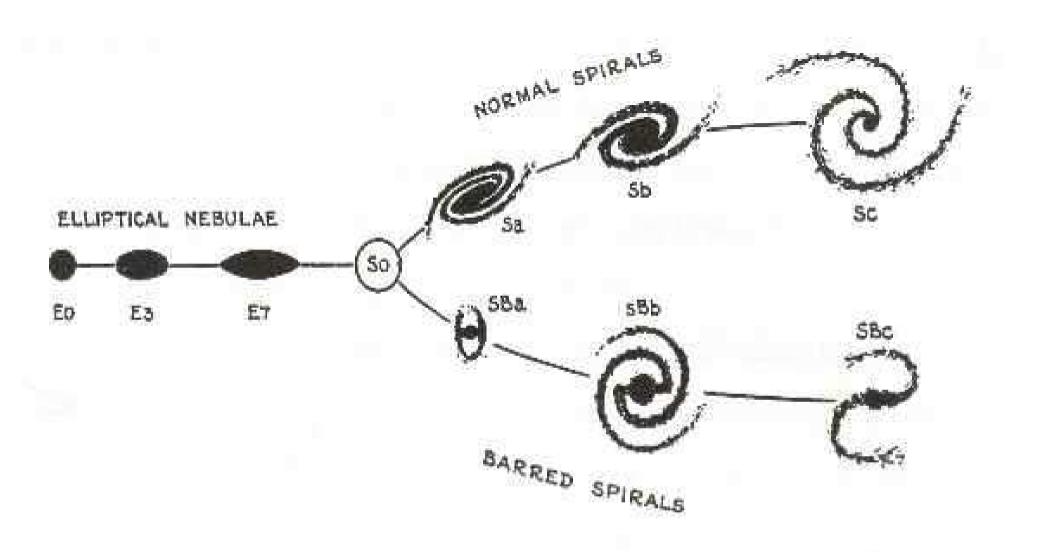


Fig. 2.— Hubble's (1936) "tuning fork" of galaxy morphologies is the basis for modern galaxy classification. (arXiv:1102.0550.v1)

Эллиптические галактики

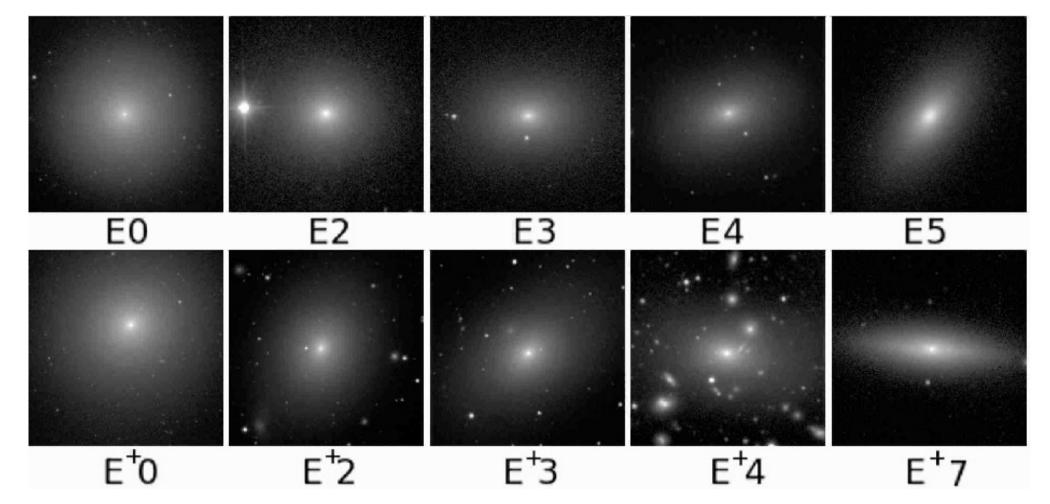


Fig. 4.— Examples of elliptical galaxies of different projected shapes. Type E galaxies are normal ellipticals with no structural details. Type E+ galaxies are "late" ellipticals, which may include faint extended envelopes typical of large cluster ellipticals, or simple transition types to S0–. (arXiv:1102.0550.v1)

Линзовидные галактики

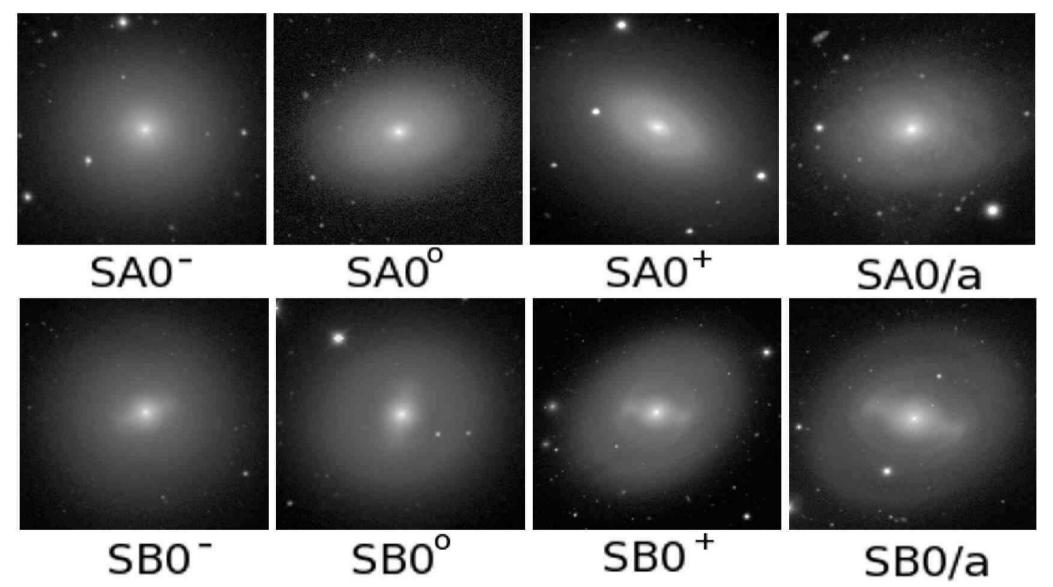


Fig. 7— Examples of barred and nonbarred S0 galaxies of different stages from "early" (S0-), to "intermediate" (S0+), to "late" (S0+), including the transition stage to spirals,

Спиральные галактики

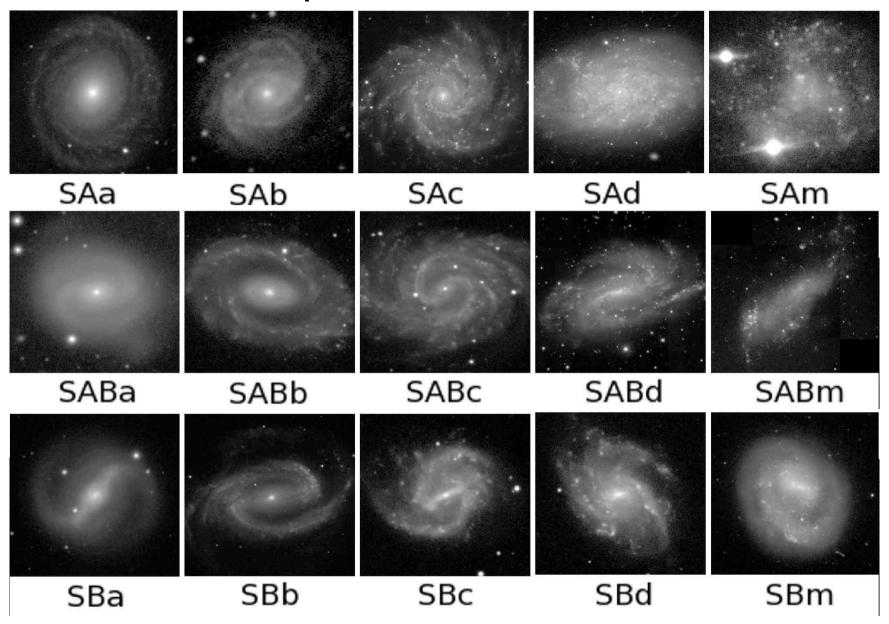


Fig. 8.— Stage classifications for spirals, divided according to bar classifications into parallel sequences(arXiv:1102.0550.v1)

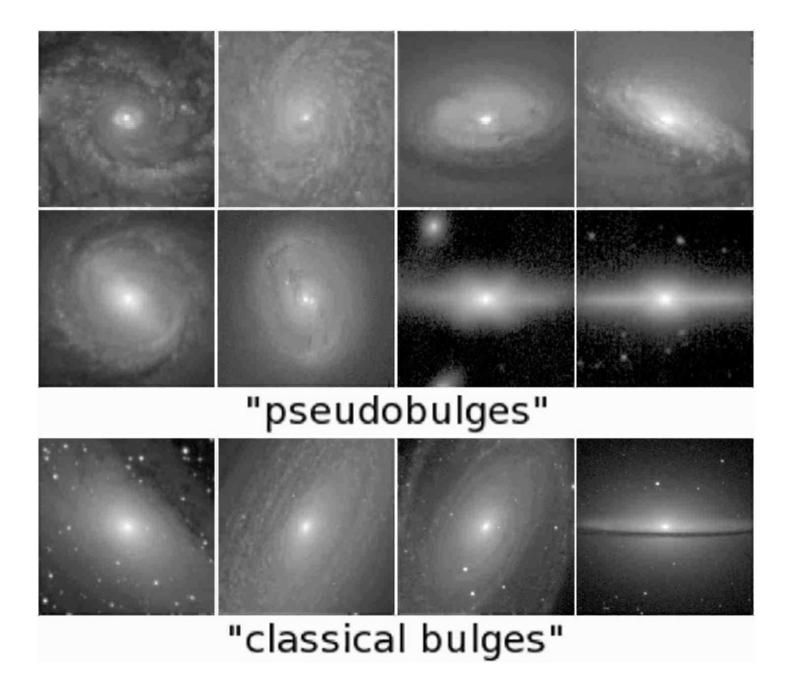


Fig. 26.— Examples of pseudobulges and classical bulges in spiral galaxies. (arXiv:1102.0550.v1)

Различные типы в цвете

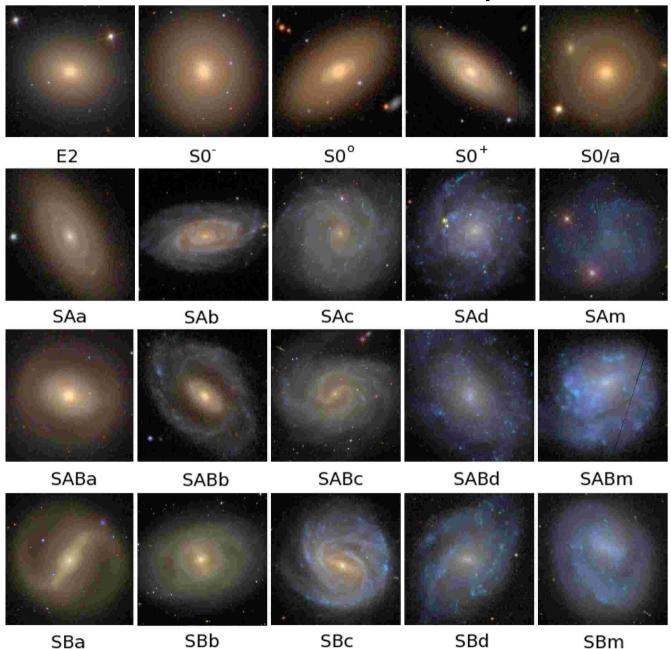


Fig. 48.— The Hubble tuning fork of ellipticals, using SDSS color images (arXiv:1102.0550.v1) .

В работе (arXiv:1008.3386) отмечено, что формирование эллиптических галактик происходит при z>1 и в их эволюции участвуют разные процессы: мерджинги, выметание газа, аккреция и тому подобное. Встречаются объекты переходного типа, когда в красном фильтре они похожи на EG, а в голубом — на Irr.

Симуляции авторов показали,что формирование ЕG происходит раньше, чем групп галактик. Поэтому могут встречаться одиночные EG. А также что стандартная хаббловская классификация применима только для локальной Вселенной.

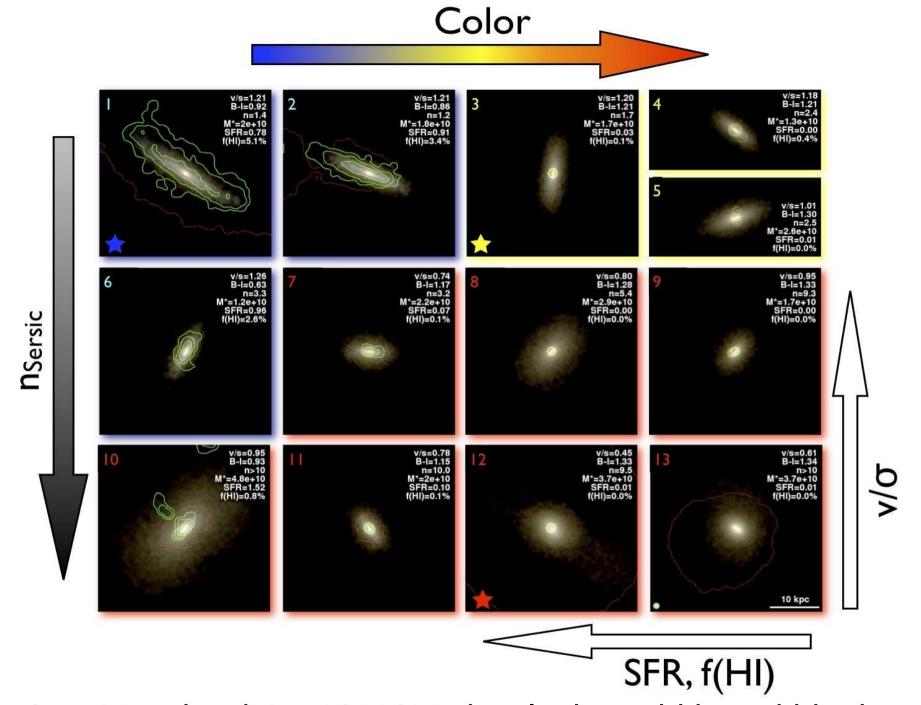


Fig. 2.— Massive (M > $10^10M\odot$) galaxies orbiting within the group at z = 0.19 (arXiv:1008.3386v2).

В поздних спиралях без признаков взаимодействия с соседями в более поздние эпохи формируются за счёт секулярной эволюции менее массивные, более вытянутые и быстро вращающиеся псевдобалджи (индекс n < 2 и отношение B/T < 0.2). Они формируются медленнее, чем классические балджи и с менее массивными чёрными дырами в центрах $(M_{BH} = 10^6 M\odot - 10^8 M\odot)$. Доля дисковых галактик без классических балджей растёт с уменьшением массы хозяйской галактики.

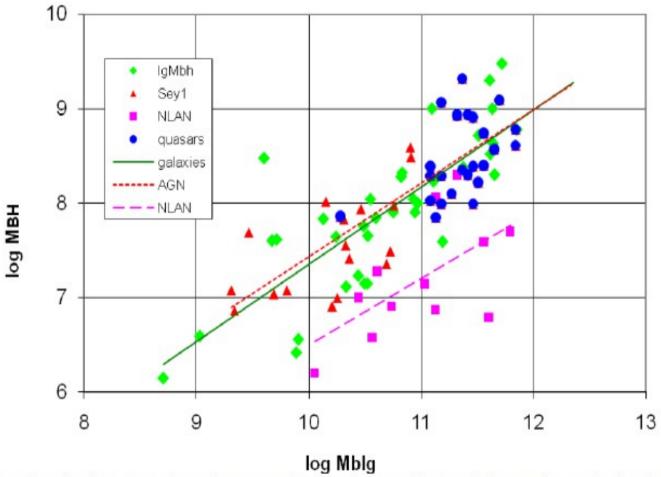


Fig. 4. BH mass vs. host bulge mass in quiescent galaxies (green diamonds), Seyfert galaxies (red triangles), quasars (blue circles) and narrow-line AGN (purple squares) and the respective best fits.

arXiv:1107.4238v1

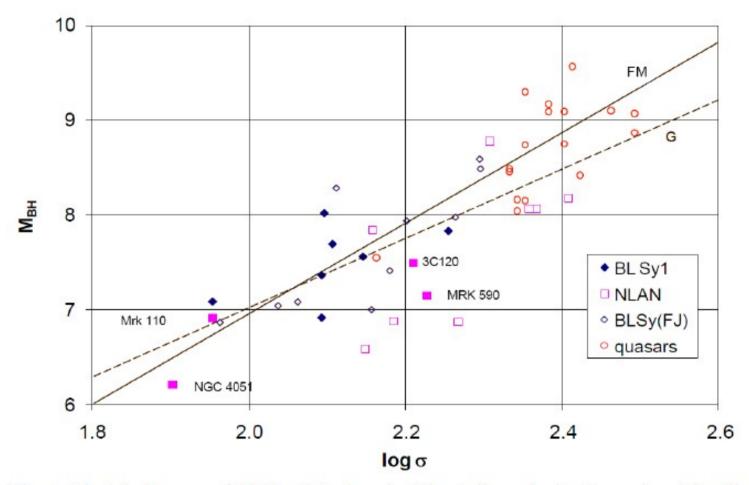


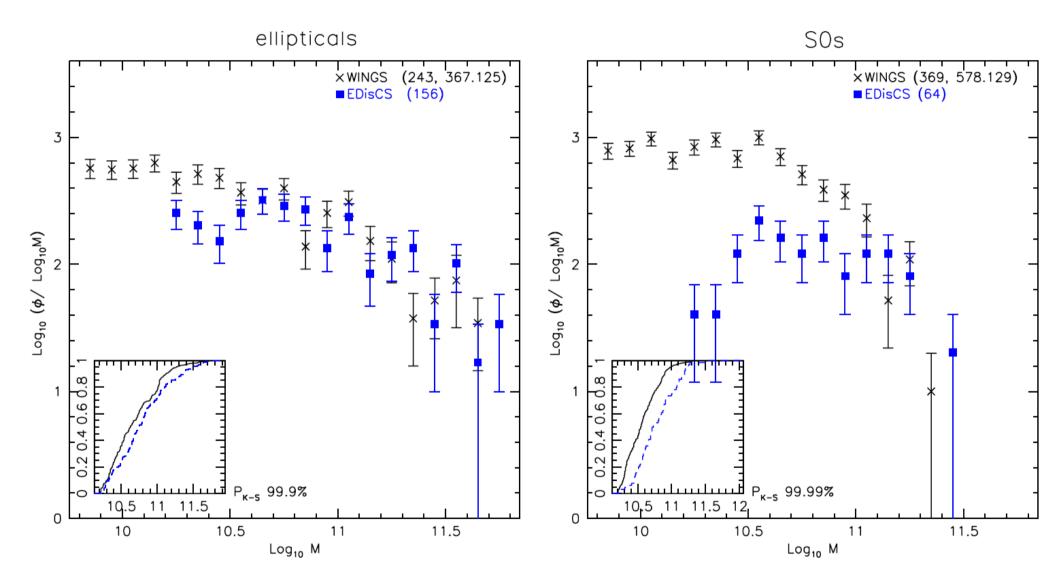
Fig. 6. Black hole mass of AGNs plotted against the stellar velocity dispersion. Blue diamonds are broad line Seyferts, pink squares denote NLS1s and red circles denote quasars. Solid symbols are Seyferts with measured σ^* , open symbols denote Seyferts with σ^* estimated from the Faber-Jackson relation. The diagonal lines are best fits of quiescent galaxies

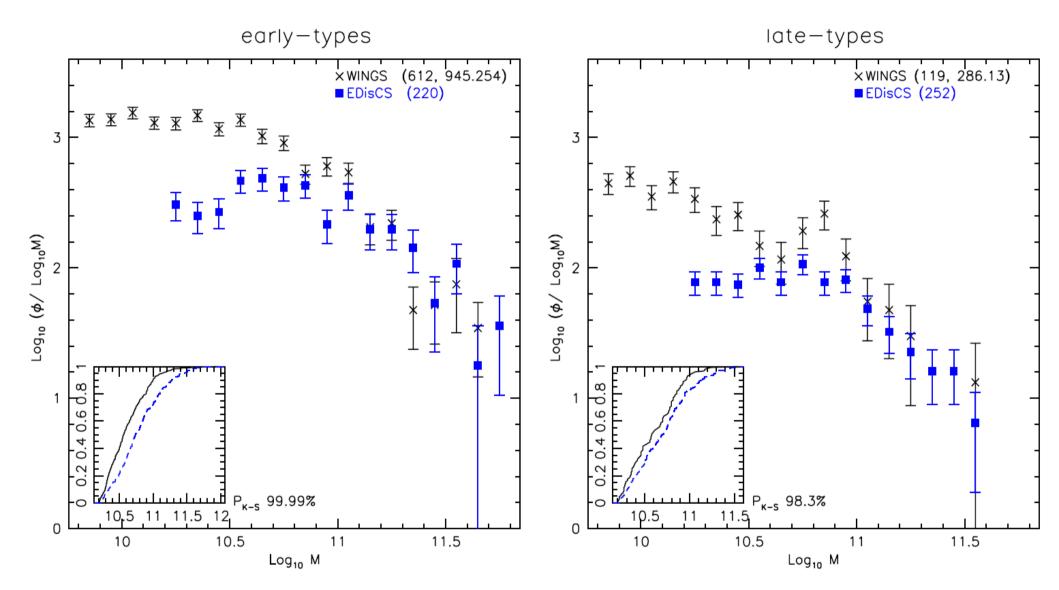
arXiv:1107.4238v1

Об эволюции типов галактик можно судить по частоте их встречаемости в скоплениях на разных z. Сравнивая результаты по скоплениям на z=0 и z=0.8 (arXiv:1010.4442), было получено:

- 1) Доля EG составляет около ~40% в независимости от z.
- 2) Доля поздних SG падает от ~40% в далёких скоплениях до 15% в близких.
- 3) Доля S0 галактик растёт от 13% для далёких скоплений до 40% в близких.

Авторы предполагают, что при z~0.4 в скоплениях происходит эволюция S галактик в S0 за счёт выметания газа давлением межгалактической среды.





- В работе (arXiv:1112.3990v1) по выборке почти 1000 S,S0 и Е галактик (M_в<-19) из обзора SDSS оценивались их доли.
- 1) Доля всех ЕG возрастает с М∗, но не зависит от М_{halo}. Доля центральных EG растёт с М∗ и М_{halo}. Доля нецентральных EG растёт с М∗, но при всех М_{halo} остаётся ниже доли центральных EG. Массы центральных EG формируются за счёт слияния центральных галактик меньших субгало.
- 2) Доля центральных S0 галактик слабо зависит от M_* и от M_{halo} . Доля нецентральных S0 возрастает от нескольких процентов при M_{halo} <10^13 M_{\odot} до 70% при более массивном гало.

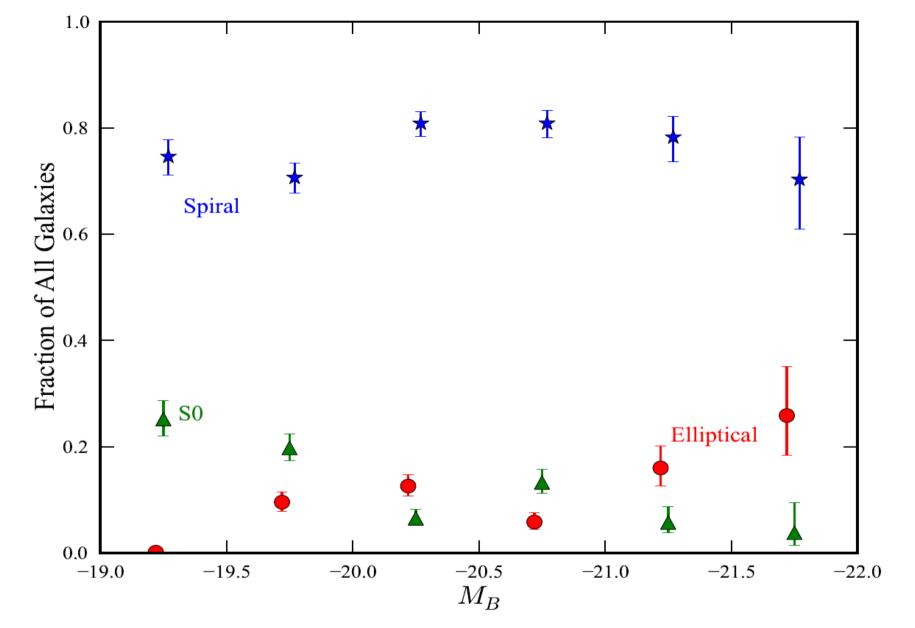


Fig. 4.| Fractions of elliptical (red circles), lenticular (green triangles), and spiral (blue stars) galaxies as a function of B- and luminosity, with selection weights applied. Binomialerrors are computed using the Wilson (1927) method. (arXiv:1112.3990v1)

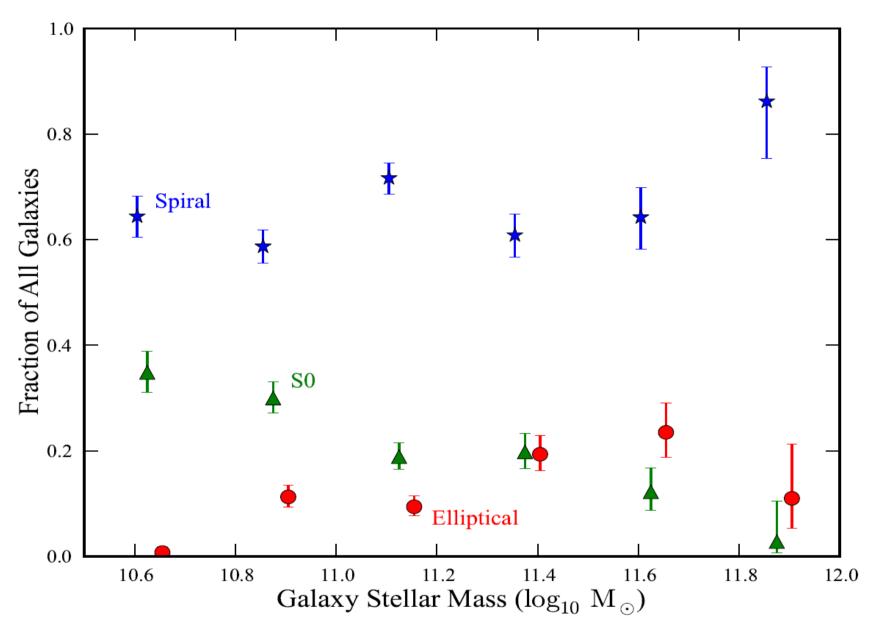


Fig. 5.| Fractions of each morphological type (elliptical, lenticular (S0), and spiral) for MB < -19 galaxies as a function of stellar mass, weighted using selection and V=Vmax weights. (arXiv: 1112.3990v1)

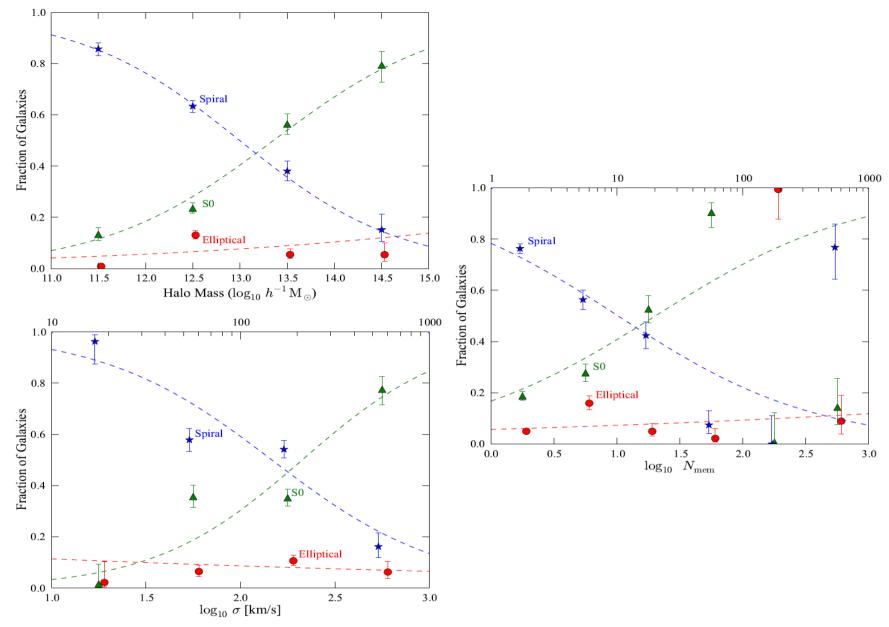


Fig. 6.Morphological fractions as a function of halo mass (top), group velocity dispersion (bottom), and number of group members (right); only galaxies with $M > 10^10.5M$ are considered. Dashed lines indicate logistic ts to the (unbinned) data. (arXiv:1112.3990v1

II. Морфология галактик на больших красных смещениях

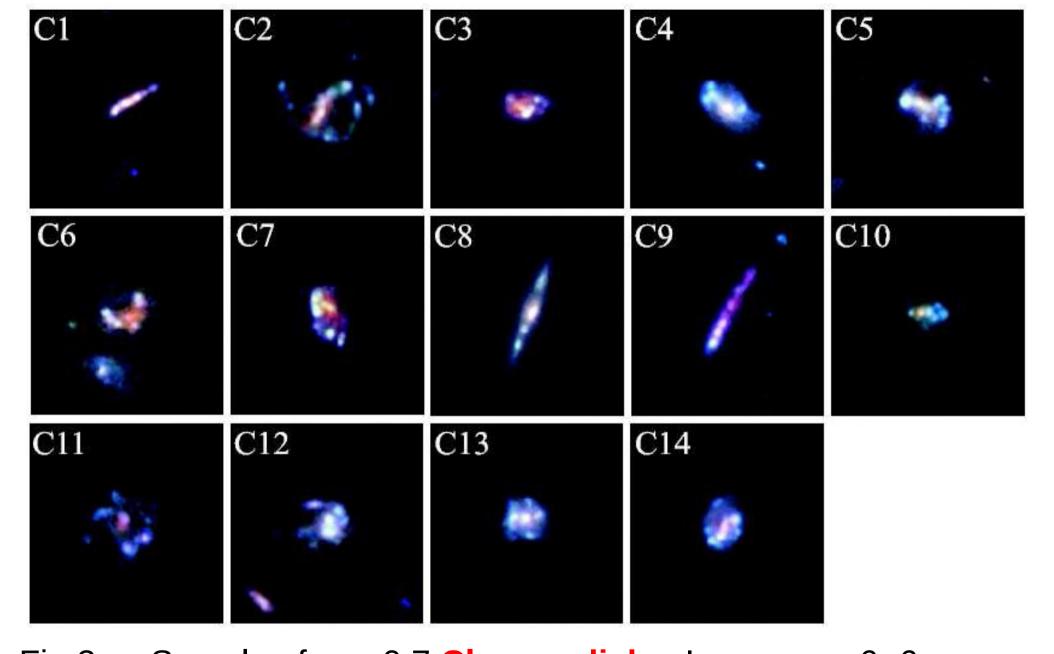


Fig.3.— Sample of z ~ 0.7 Clumpy disks. Images are6×6 arcsec, from HST/ACS B, V and i bands. Spiral arms may be present but as not as contrasted as the main clumps (arXiv:1111.0987v1)

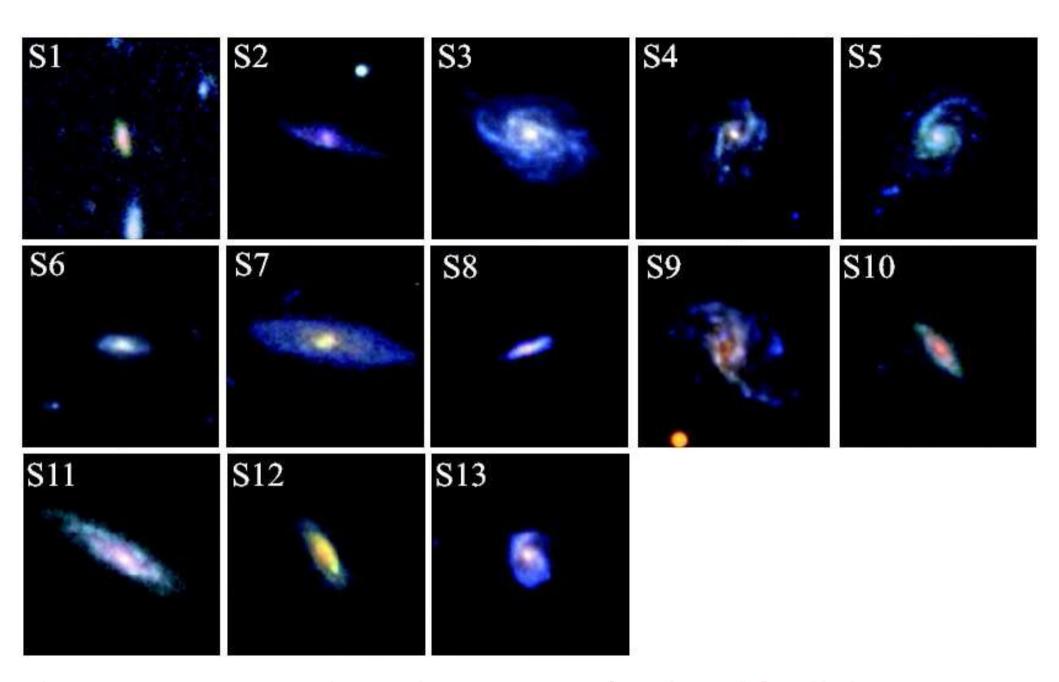


Fig. 4.— Same as Fig. 3, for our sample of **Stable disks**. (arXiv:1111.0987v1).

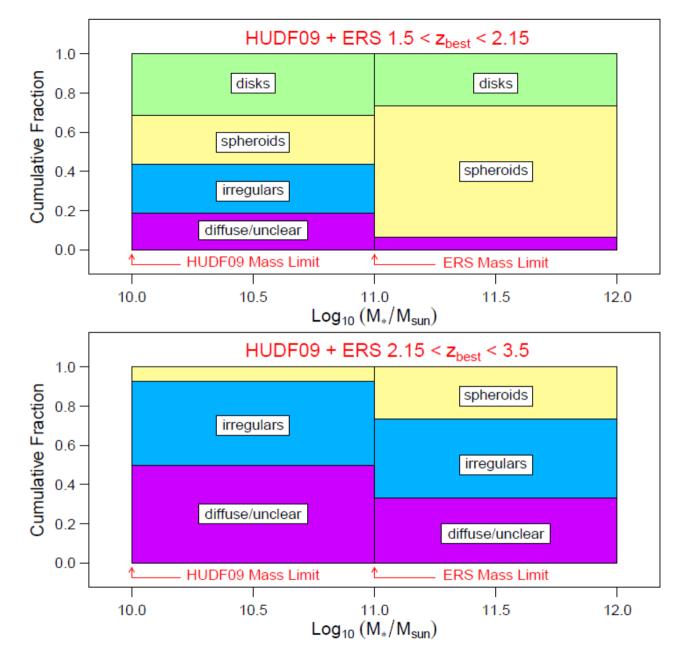


FIG. 12.— Fractional contribution of high-z morphological subtypes as a function of stellar mass at 1.5 < z < 2.15 (top row) and 2.15 < z < 3.5 (bottom row) from visual inspection of the ACS z_{850} and WFC3 H_{160} images of 30 galaxies at $M > 10^{10} M_{\odot}$ in the HUDF09 and 30 galaxies at $M > 10^{11} M_{\odot}$ in the ERS.

(arXiv:1007.2422)

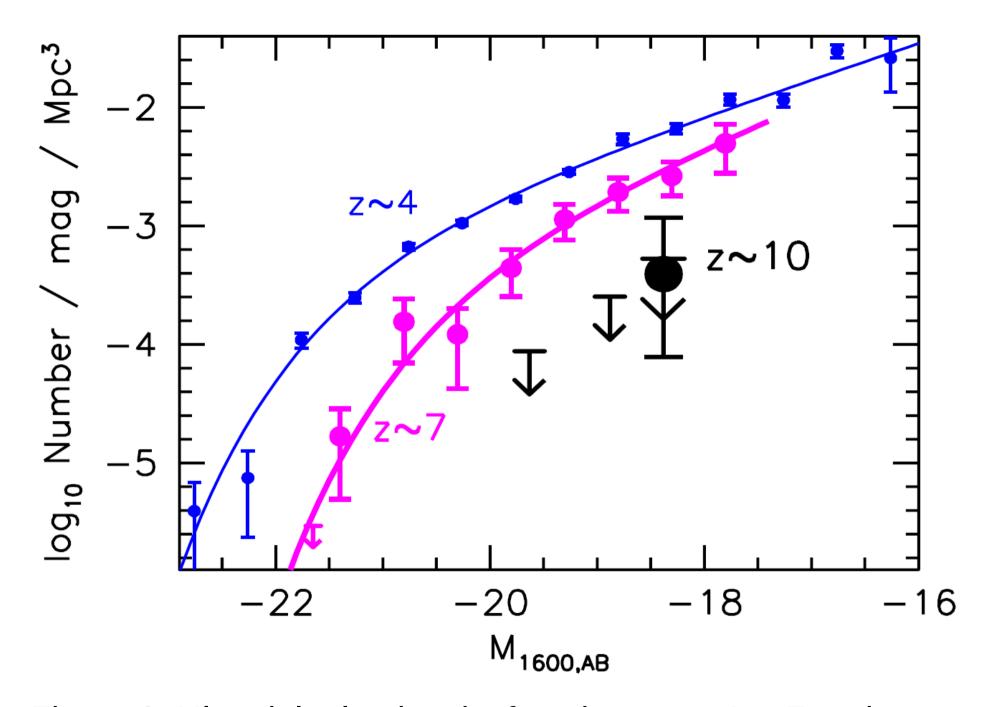


Figure 3. Ultraviolet luminosity functions at z 4, z 7 and constraints for z 10.arXiv:(:0912.4263v5)

Для того, чтобы выявить эволюцию типов галактик со временем, необходимо сначала выделить элементы структуры, подходящие для наблюдения, анализа и сравнения. К таковым можно отнести: звёздную массу или светимость галактики, параметры диска и балджа (массу, структурные параметры, звёздное население и т.п.), массу чёрной дыры, различные транзиентные и квазистабильные образования (кольца, бары, ядерные спирали и т.п.).

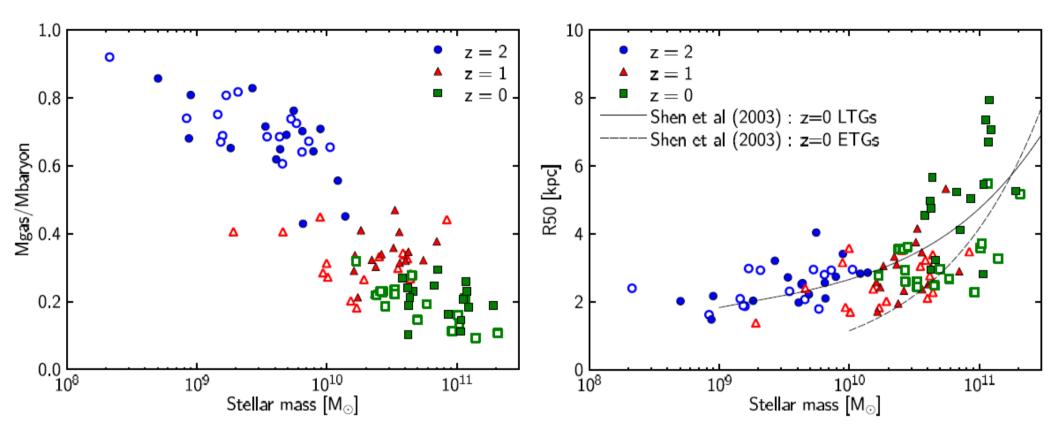
К структурным параметрам могут быть отнесены: дисперсия скоростей звёзд, индекс Серсика, отношение В/Т, центральная поверхностная яркость и др.

Важные выводы относительно космологической эволюции типов галактик можно получить из анализа имеющихся численных симуляций и их сравнения с имеющимися наблюдениями.

В симуляциях показано, что форма дисковых галактик возникает за счёт нескольких динамических процессов: слияний, аккреции холодного газа из космических филаментов и разного рода неустойчивостей в самом диске.

В работе (M. Martig, F. Bournaud et al., 2012, arXiv:1201.1079v) показано, что на z~0 большинство дисковых галактик обладают псевдобалджами, с n<2; а также 70% галактик обладают барами. Авторы отмечают факт, что при z=1 не видно заметной корреляции с морфологией галактик на z=0.

Отсюда следует, что «предками» дисковых галактик на z=0 являются галактик на z=1 разных типов. Однако на z=0.5 уже появляется корреляция с типами галактик на z=0.



arXiv:1207.1079

Авторы приходят к выводу, что большинство галактик с доминирующими дисками после z=2 не имели слияний с большими галактиками, аккреция газа на них была слабой и постоянной, а момент вращение был стабилен по направлению. В отличие от галактик с более заметным балджем, которые после z=2 претерпевали активные слияния или аккрецию.

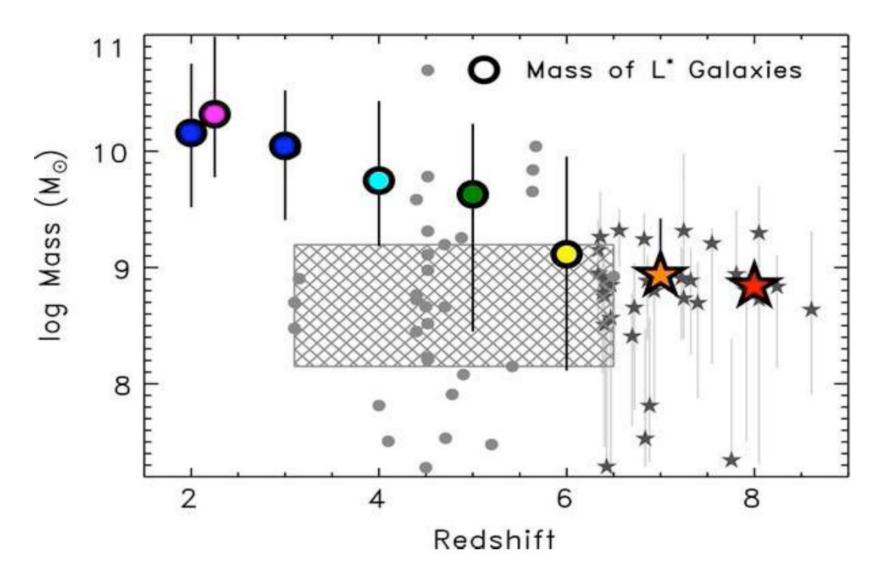


Figure 4: Stellar mass of high-redshift galaxies. The colored symbols represent data for LBGs with characteristic luminosity (L). It is evident that stellar masses in typical LBGs decreases with redshift. The small grey circles denote LAEs for comparison, and the grey hatched region shows the interquartile range. The highest redshift LBGs seem to be more similar to the LAEs than to LBGs at lower redshift. Adopted from Finkelstein et al. (2010), where all references for the data shown here can be found.

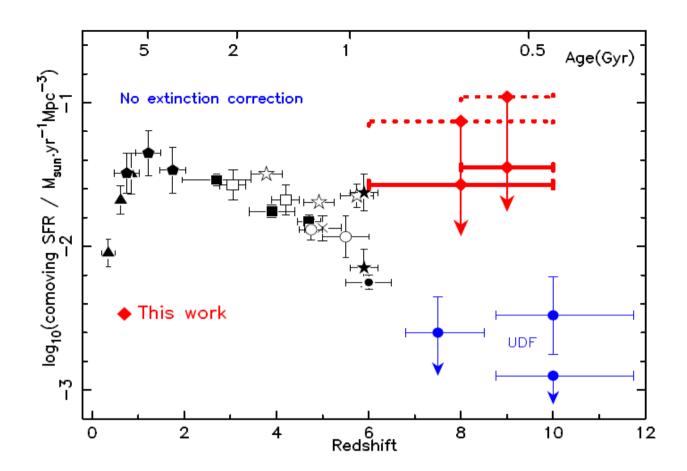


Figure 2. Evolution of the comoving SFR density as a function of z including a compilation of results at $z \leq 6$, our estimates obtained from both clusters for the redshift ranges [6-10] and [8-10] and the values derived from the HST UDF (labeled "UDF", Bouwens et al. 2004, 2005b). Red solid lines: SFR density obtained from integrating the LF of our first category candidates down to $L_{1500} = 0.3 L_{z=3}^*$. From Richard et al. (2006).

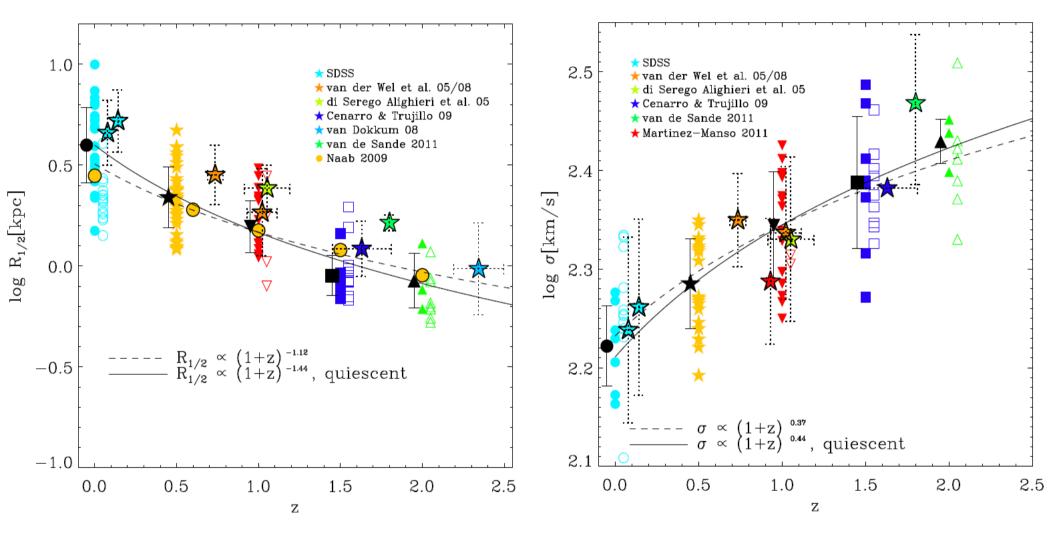
Schaerer D., Pello R., astro-ph/0701195, 8 jan 2007

Предположение об эволюции типов галактик за счёт простого иерархического скучивания столкнулась в последние годы с большими трудностями. Это связано как с обнаружением массивных галактик и квазаров на z>5, так и с быстрым увеличением размеров галактик при уменьшении красных смещений. Для преодоления этих противоречий, получивших в литературе название «downsizing», в ряде работ были предложены более сложные схемы эволюции галактик. В работе (arXiv:1010.1381, L. Oser, J. P. Ostriker, T. Naab et al.) была выдвинута гипотеза двухфазного формирования галактик.

Ранняя фаза (in-situ), на z>3, в процессе монолитного диссипативного коллапса формируется центральная область (<1kpc) с относительно молодыми звёздами.

Поздняя фаза (ex-situ), на z<3, когда периферия галактики формируется при аккреции маломассивных спутников со старыми звёздами (dry minor mergers). При этом размер галактики увеличивается пропорционально M*^2, а роль фазы ex-situ возрастает с ростом M*, то есть с уменьшением z.

Те же авторы в работе (arXiv:1106.5490) проводят симуляцию эволюции галактик с массой звёзд M> 6.3*10^10M⊙ при z=0 и показывают, что размер галактик с М > 10^11M⊙ на z=2 не превышает 1кпк, а к z=0 он увеличивается $R\sim(1+z)^{-1}$. Это хорошо согласуется с предположением о частых minor mergers с соотношением массы 1:5. При этом дисперсия скоростей уменьшается \sim (1+z) 0 0.4.



Что в итоге?

- 1) Каждая галактика эволюционирует индивидуально в зависимости от массы DM-гало, плотности окружения, темпа аккреции холодного газа из филаментов, присутствия в самой галактике или вблизи неё мощного AGN.
- 2) Формирование отдельных галактик происходит раньше, чем вириализация самих систем галактик.
- 3) Активность звёздообразования смещается от более массивных галактик к менее массивным с течением времени.
- 4)Стандартная модель иерархического скучивания преобразуется в сценарий «archaeological downsizing», когда средний возраст звёзд пропорционален (logM*)^1.6

- 5) Массы балджей в дисковых галактиках определяют массы чёрных дыр в их центрах. При этом отношение масс чёрных дыр к массам балджей растёт ~(1+z)^n, где n>1.
- 6)Классические балджи в ранних спиралях формируются за счёт major mergers за более короткое время, чем в поздних формируются псевдобалджи. Образование последних связано с развитием неустойчивостей (внутренних или за счёт внешних воздействий) в самом диске. В галактиках с псевдобалджами массы чёрных дыр всегда меньше, чем в галактиках с классическими балджами.