

*Р.А. УПЕРЧУК*

# Галактическая астрономия

Учебные материалы астрономического кружка «Лаборатория космической мысли» Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева

# Вместо предисловия

- Презентация создавалась на основе лекций по циклу «Галактики», читавшихся на встречах клуба в 2016-2017 гг. Работая с ней, вы получите новые знания или освежите уже имеющиеся по данной теме. Материалы рассчитаны на самый широкий круг пользователей. Распространяется свободно с условием сохранения полной идентичности структуры и компонентов.
- Вы узнаете об устройстве нашей галактики, Млечного пути, его месте в общей классификации, а также о происхождении, строении и эволюционном развитии галактик. Будут затронуты межгалактические объекты и крупные ассоциации, как скопления и сверхскопления галактик, войды.

*Приятного прочтения!*

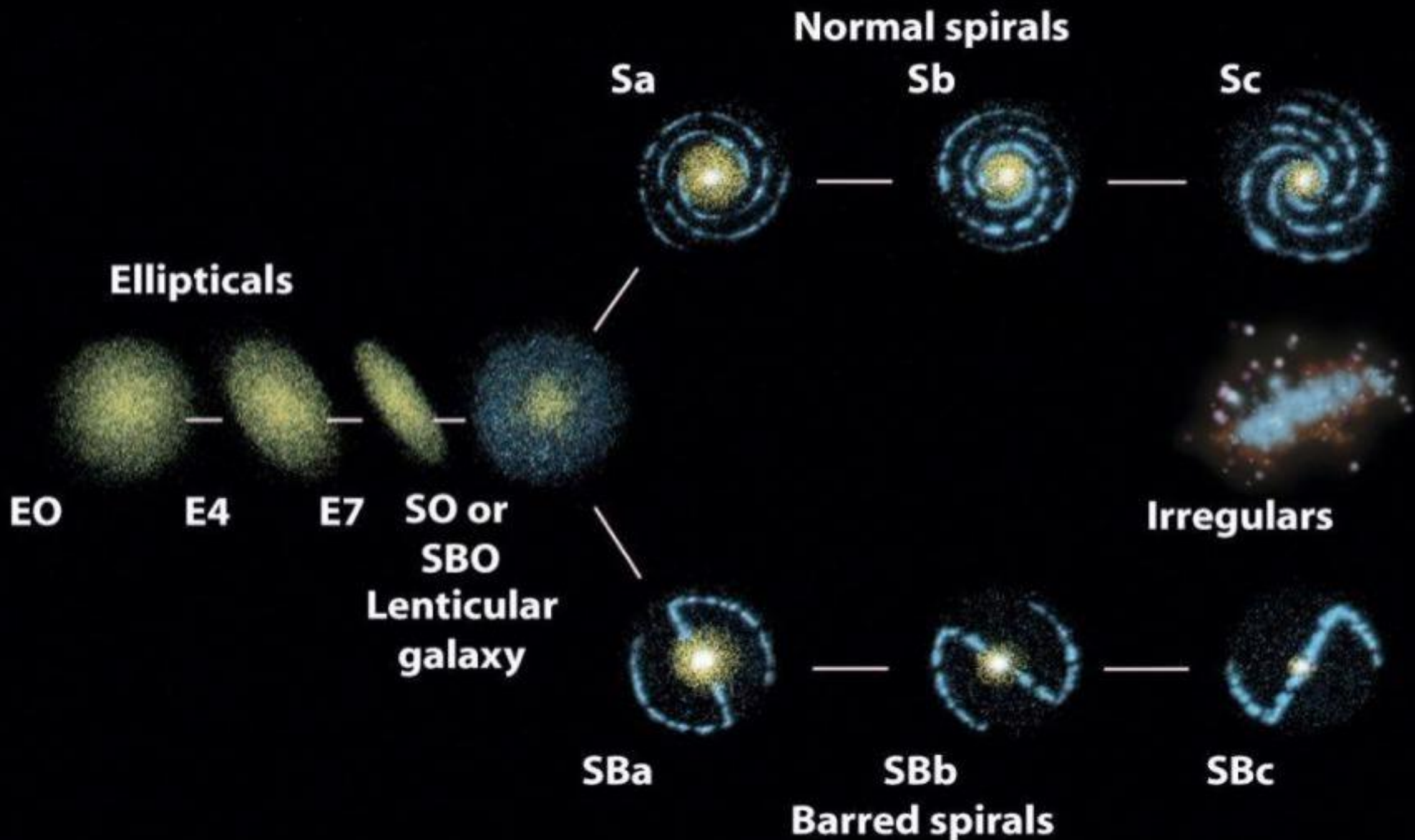
# Содержание

- Лекция 1. Галактики. Классификации галактик
- Лекция 2. Строение галактик
- Лекция 3. Галактическая активность
- Лекция 4. Происхождение и эволюция галактик
- Лекция 5. Межгалактические структуры
- Лекция 6. Темная материя и темная энергия
- Лекция 7. Черные дыры

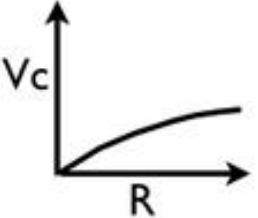
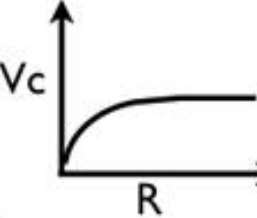
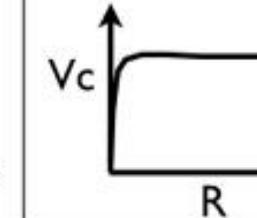
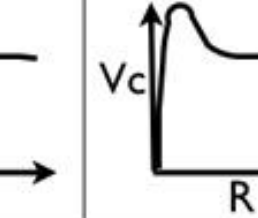
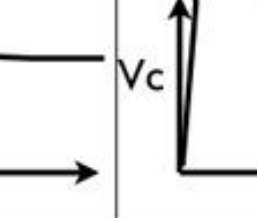
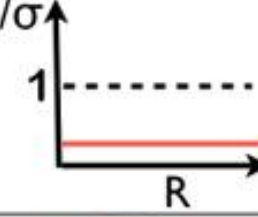
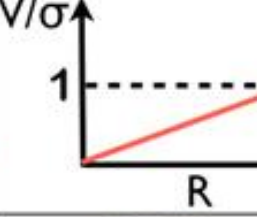
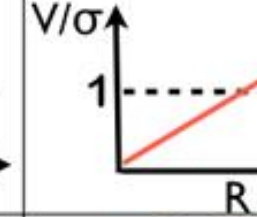
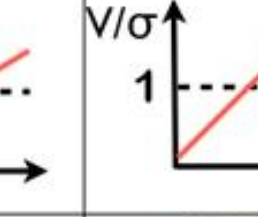
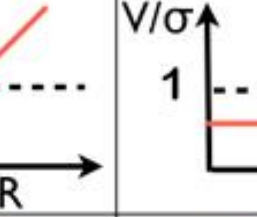
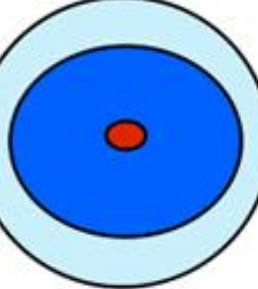
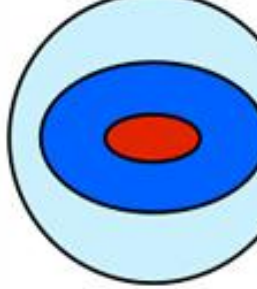
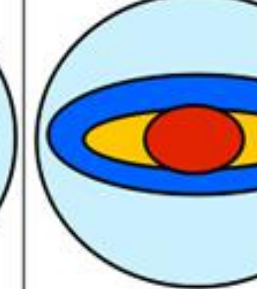
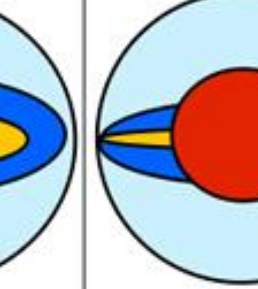
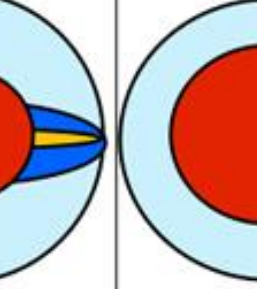
# Лекция 1. Галактики. Классификации галактик

- **Галактика** — гравитационно связанная система звезд, звездных скоплений, межзвездного газа и пыли, планетарных систем, темной материи и прочих объектов, участвующих в движении относительно общего центра масс.
- Различают **эллиптические, линзовидные, спиральные и неправильные галактики.**





# Dynamical Classification of Galaxies

Dynamical classes	Slow-rising	Slow-rising-Flat	Flat	Sharp-peaked	Round-peaked
Rotation curves					
Ordered-over-random motion					
Structure: DM halo, thick disk, thin disk, bulge					
Hubble type	Scd, Sd	Sbc, Sc, Scd, Sd	Sb	Sa, Sab, Sb	Sbc, E
$M_{\text{dyn}} (M_{\odot})$	$10^9$	$10^9 - 10^{10}$	$10^{10}$	$10^{10} - 10^{11}$	$10^{11}$
Dark Matter fraction	90 - 80 %	80 - 70 %	40 - 30 %	60 - 70 %	70 - 80 %

# Лекция 2. Строение и состав галактик

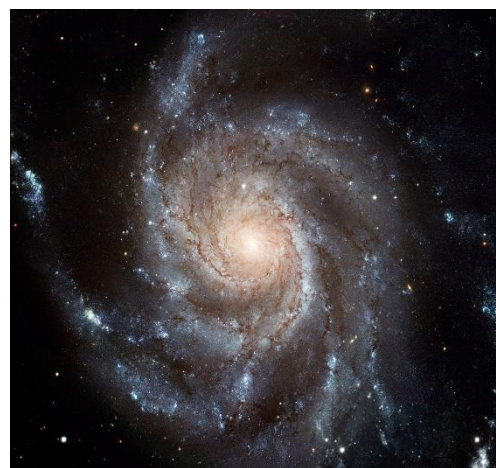
- В галактике различают следующие структуры, которые могут присутствовать и отсутствовать в силу морфологических особенностей:
- **Ядро** — крайне малая область в центре галактики. Когда речь заходит о ядрах галактик, то чаще всего говорят об активных ядрах галактик, где процессы нельзя объяснить свойствами сконцентрированных в них звёзд.
- **Диск** — относительно тонкий слой, в котором сконцентрировано большинство объектов галактики. Подразделяется на **газопылевой диск** и **звёздный диск**.
- **Полярное кольцо** — редкий компонент. В классическом случае галактика с полярным кольцом имеет два диска, вращающихся в перпендикулярных плоскостях. Центры этих дисков в классическом случае совпадают. Причина возникновения полярных колец до конца не ясна.

- **СФЕРОИДАЛЬНЫЙ КОМПОНЕНТ** — сфероподобное распределение звёзд.
  - **Балдж** — наиболее яркая внутренняя часть сфероидального компонента.
  - **Гало** — внешний сфероидальный компонент. Граница между балджем и гало размыта и достаточно условна.
- **Спиральная ветвь (спиральный рукав)** — уплотнение из межзвёздного газа и преимущественно молодых звёзд в виде спирали. Скорее всего, являются **волнами плотности**, вызванными различными причинами, однако вопрос об их происхождении до сих пор окончательно не решён.
- **Бар (перемычка)** — плотное вытянутое образование, состоящее из звёзд и межзвёздного газа. По расчётам, **главный поставщик межзвёздного газа к центру галактики**. Однако почти все теоретические построения основываются на факте, что толщина диска много меньше его размеров, иными словами, диск плоский, и почти все модели — упрощённые двумерные модели, расчётов трёхмерных моделей дисков крайне мало. А трёхмерный расчёт галактики с баром и газом в известной литературе всего один. По данным автора данного расчёта, газ не попадает в центр галактики, а проходит довольно далеко.



Таблица характеристик основных видов галактик

	E	S0	S	Irr
Сфероидальный компонент	Галактика целиком	Есть	Есть	Очень слаб
Звёздный диск	Нет или слабо выражен	Есть	Основной компонент	Основной компонент
Газопылевой диск	Нет	Нет или очень разрежен	Есть	Есть
Спиральные ветви	Нет или только вблизи ядра	Нет или слабо выражены	Есть	Нет
Активные ядра	Встречаются	Встречаются	Встречаются	Нет
Процент от общего числа галактик	20 %	20 %	55 %	5 %



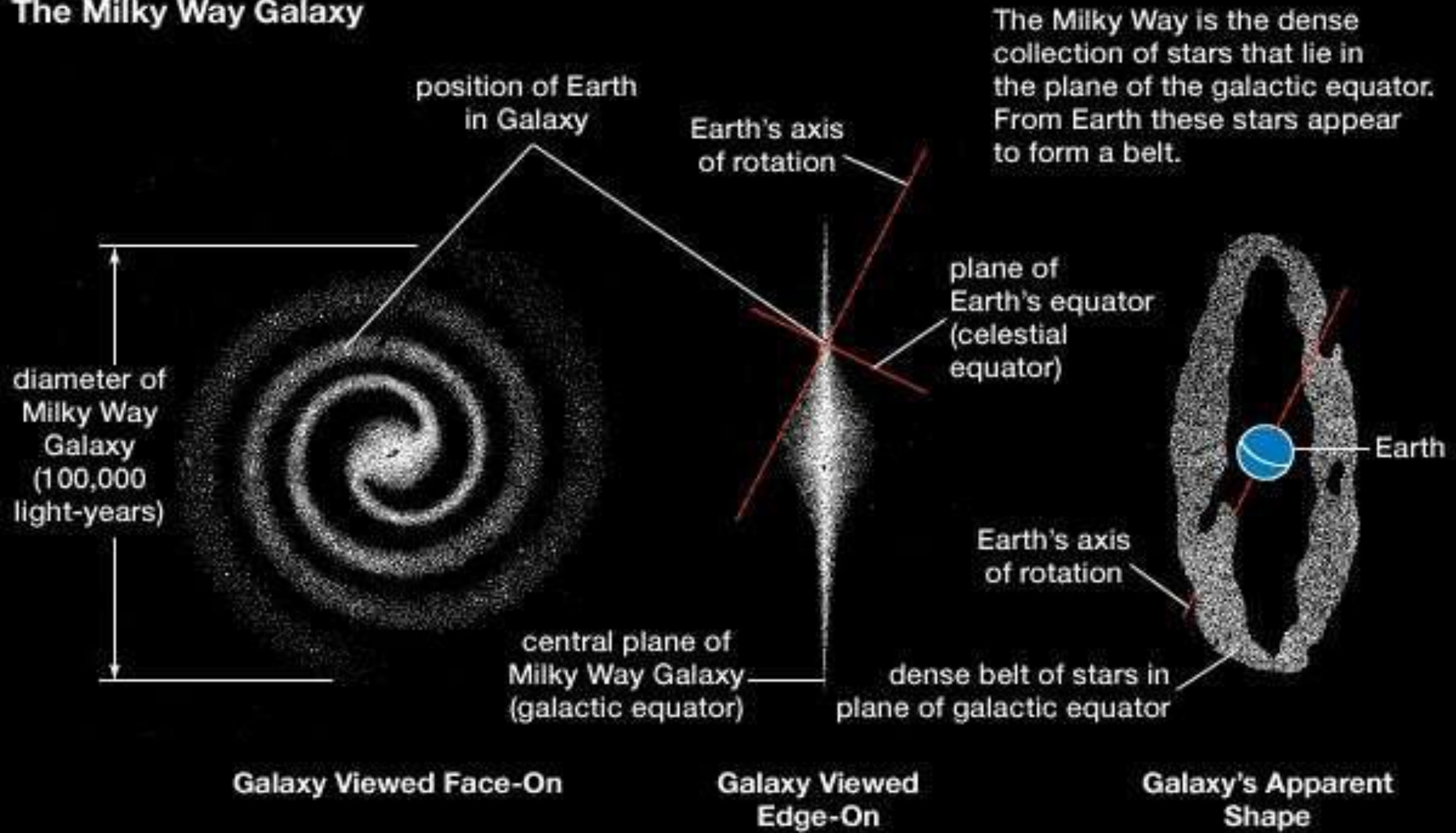
E (эллиптические)

S0 (линзовидные)

S (спиральные)

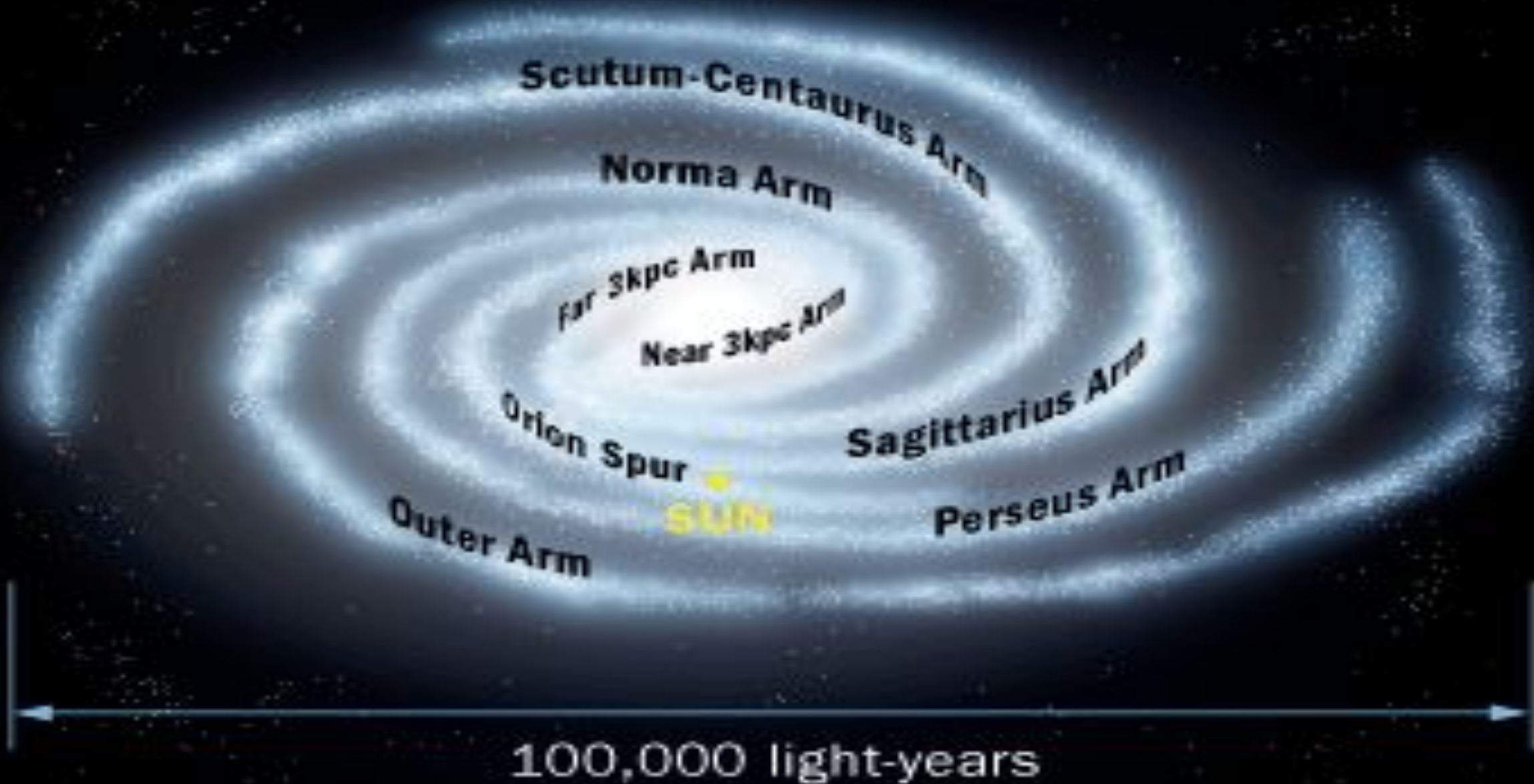
Irr (неправильные)

# The Milky Way Galaxy



# The Milky Way

©2010 HowStuffWorks



**CENTRAL BLACK HOLE**

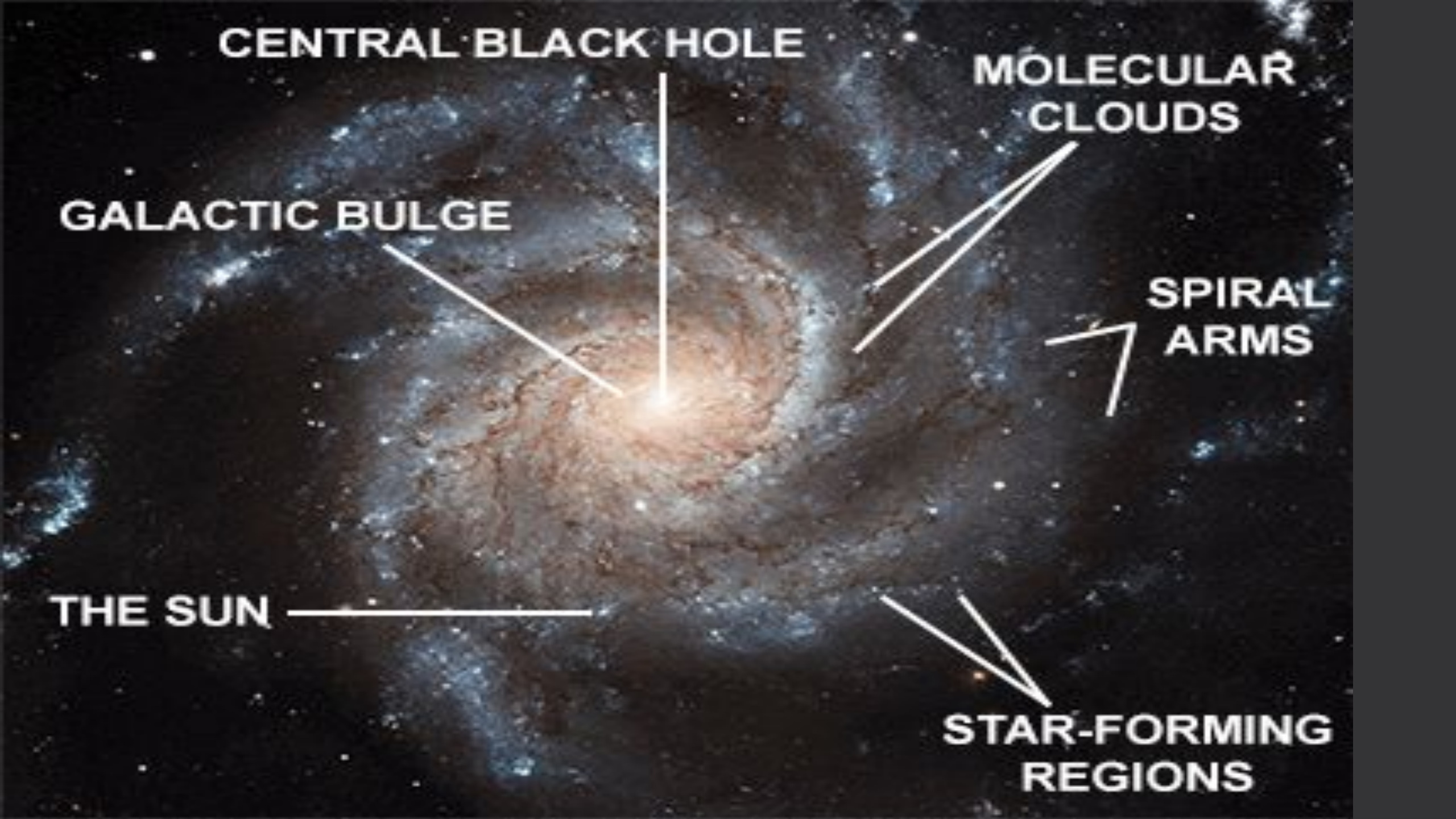
**MOLECULAR  
CLOUDS**

**GALACTIC BULGE**

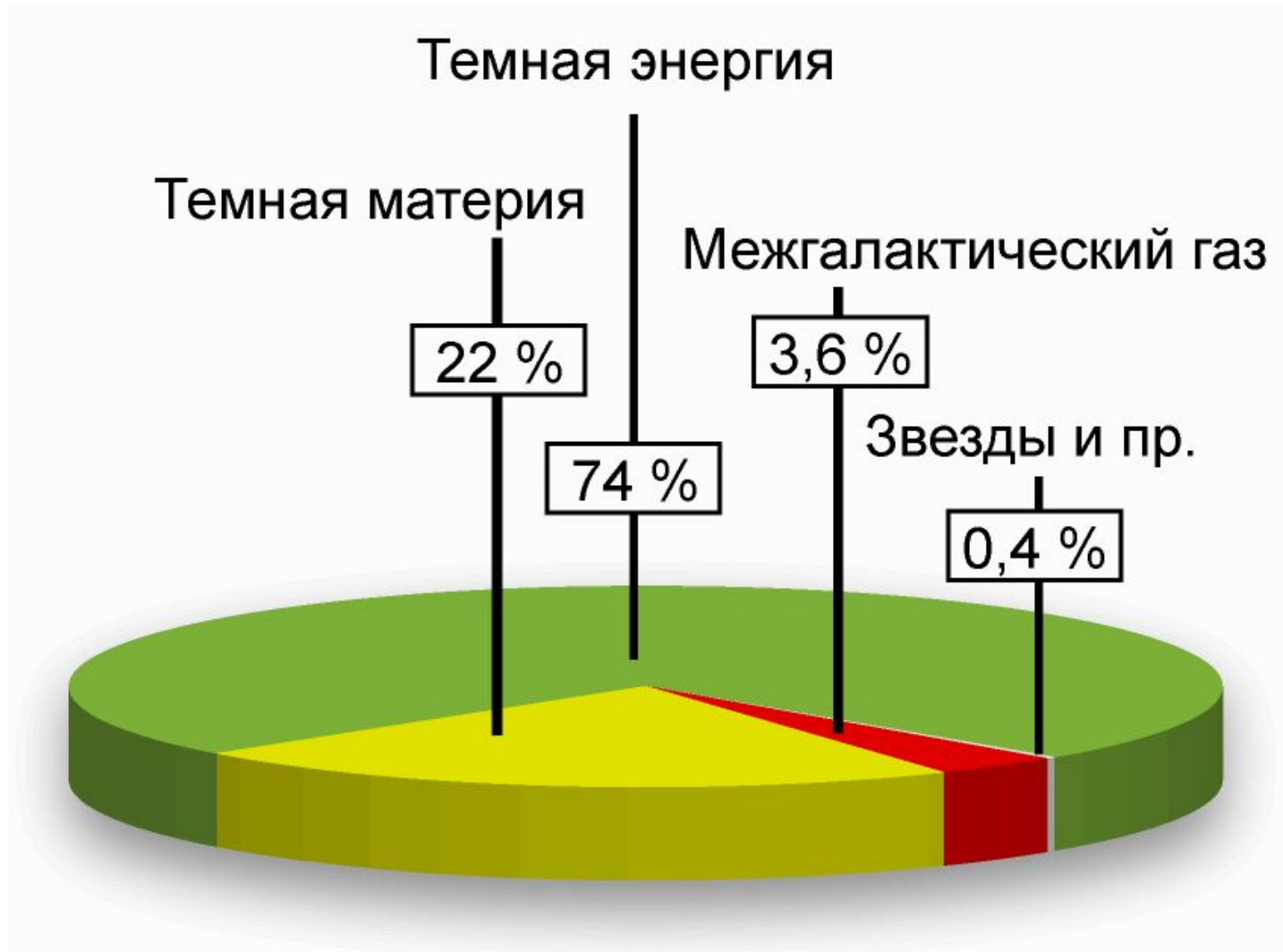
**SPIRAL  
ARMS**

**THE SUN**

**STAR-FORMING  
REGIONS**



# Состав галактик



# Звездообразование в галактиках

**Звездообразование** — крупномасштабный процесс формирования звезд в гравитационно неустойчивых газопылевых облаках.

**Оно происходит:**

- В ядрах галактик;
- На концах спиральных ветвей;
- На периферии неправильных галактик, в сферических образованиях;
- В наиболее ярких частях небольших галактик.

Образовавшиеся звезды формируют **звездный диск** (у всех галактик, кроме эллиптических)



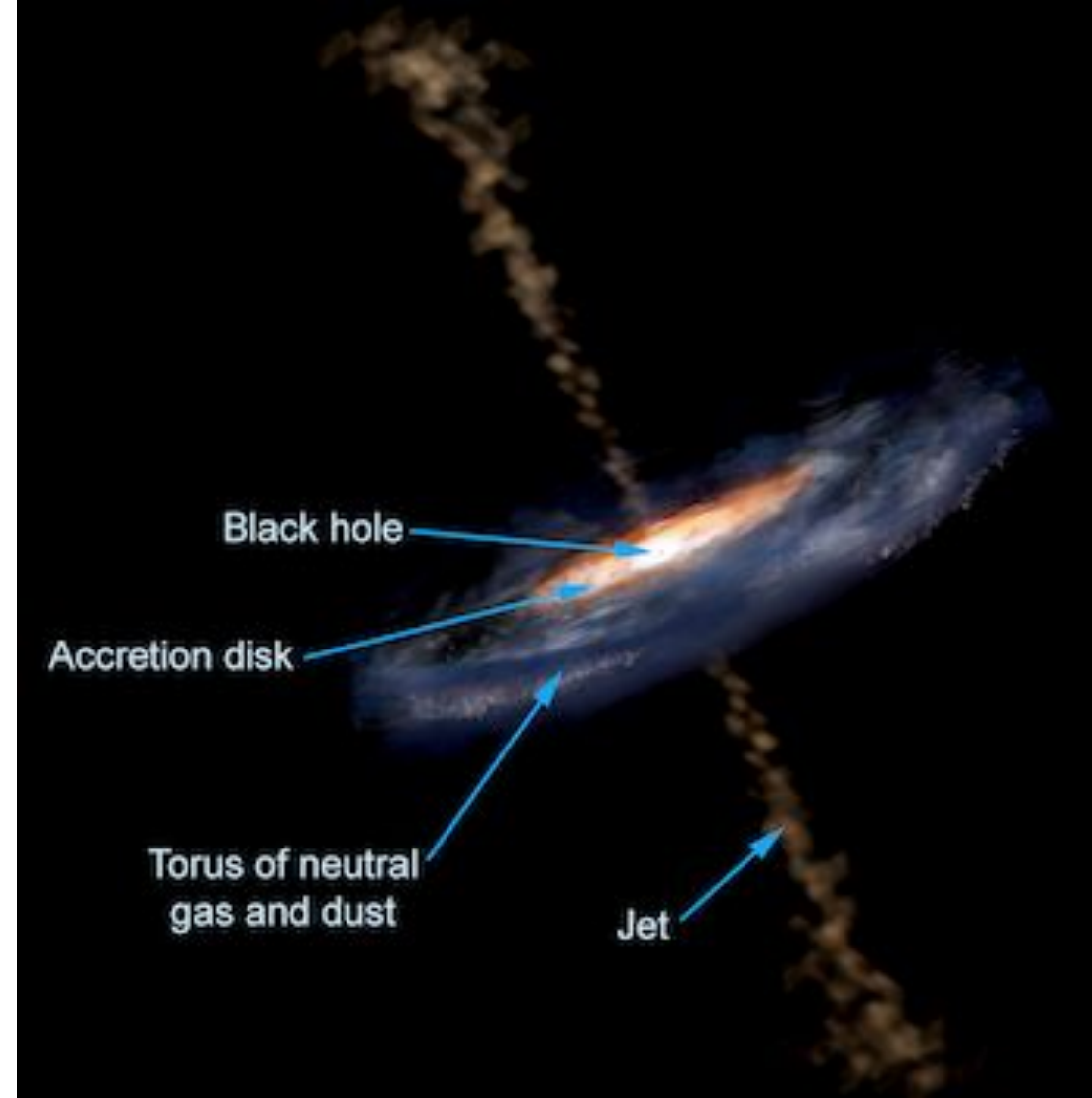
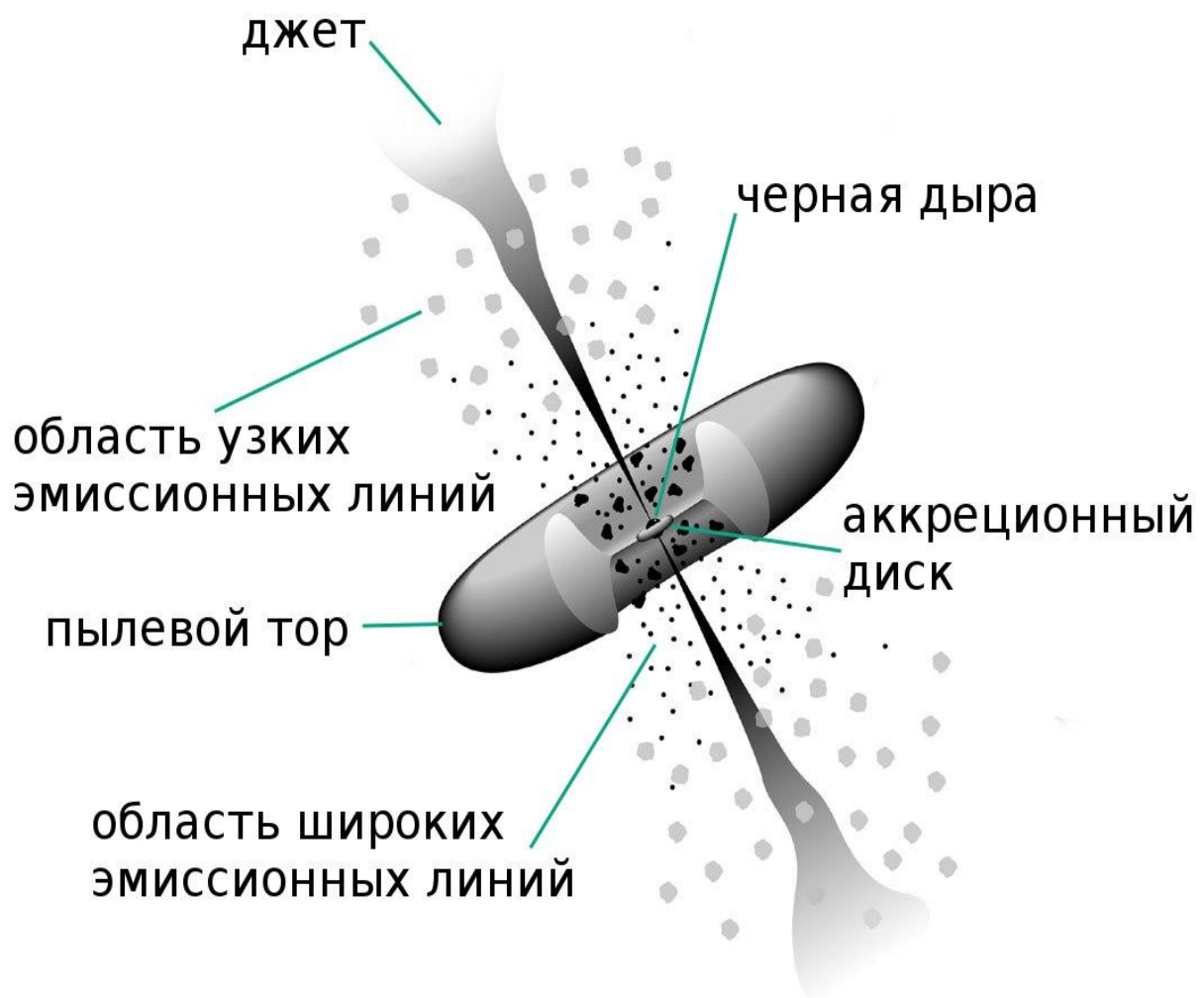
# Лекция 3. Галактическая активность

- **Активные ядра галактик** — ядра, в которых происходит выделение большого количества энергии, не связанное с процессами звездообразования.
- **Наиболее частые проявления активности:**
  - Выбросы струй газа или быстрых частиц из ядер.
  - Высокая мощность радиоизлучения, связанного с **выбросом высокоэнергичных электронов из ядра**, излучающих в магнитном поле (синхротронный механизм излучения).
  - Быстрое движение газа со скоростями в тысячу километров в секунду, которое приводит к сильному уширению линий излучения в спектре ядра вследствие **эффекта Доплера**.
  - Излучение большой мощности в коротковолновых (оптической, ультрафиолетовой и рентгеновской) областях спектра, сконцентрированное в очень небольшой области размером менее светового года. Спектр его не похож на спектр абсолютно чёрного тела и имеет степенную форму ( $F_\nu \sim \nu^n$ , где  $n \approx 0.6—0.8$ ). Излучение обычно имеет **переменный характер без чётко выраженного периода**; характерное время заметного изменения светимости составляет от нескольких лет до нескольких дней или даже часов.

- **АКТИВНЫЕ ГАЛАКТИКИ** — галактики с активным ядром.
- **Сейфертовские галактики** — спиральные или неправильные галактики с активным ядром, спектр излучения которых содержит множество ярких широких полос, что указывает на мощные выбросы газа со скоростями до нескольких тысяч километров в секунду.
- **Радиогалактики** — тип галактик, которые обладают намного большим радиоизлучением по сравнению с остальными галактиками. Их радиосветимости (мощность радиоизлучения) достигают  $10^{45}$  эрг/с.
- **Квazarы (микроквazarы)** — активные ядра галактик на начальном этапе развития, в которых сверхмассивная черная дыра поглощает окружающее вещество, формируя аккреционный диск.
- **Блазары** — объекты высокой светимости, активные галактические ядра с релятивистскими струями, направленными в сторону наблюдателя (менее 20 градусов от луча зрения).
- **Квзаги** — космические объекты, напоминающие квazarы, но не обладающие сильным радиоизлучением.

*Причина повышенного излучения — наличие массивной черной дыры в центре активной галактики.*

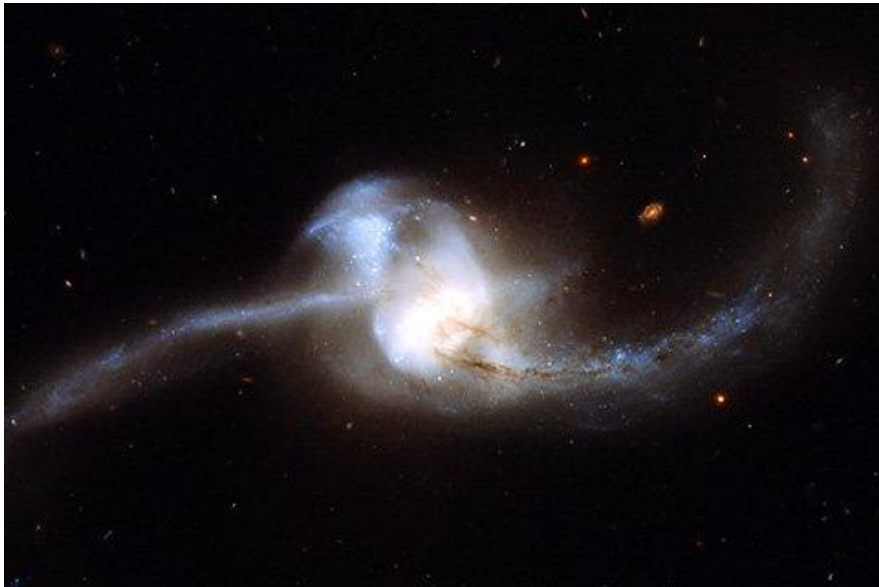




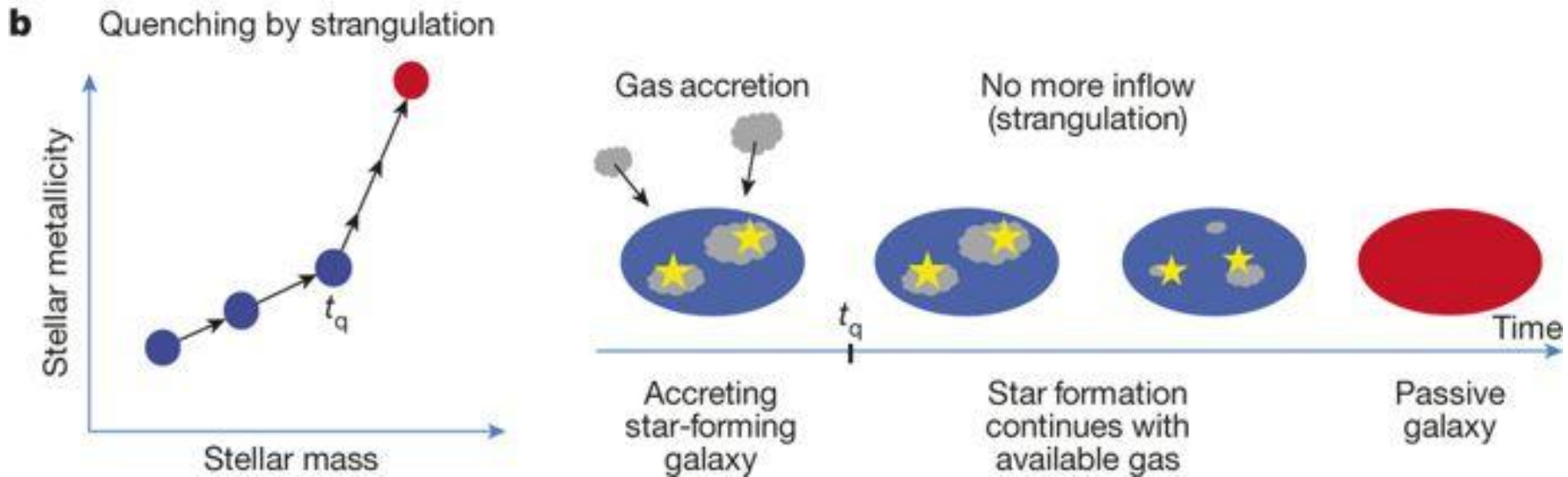
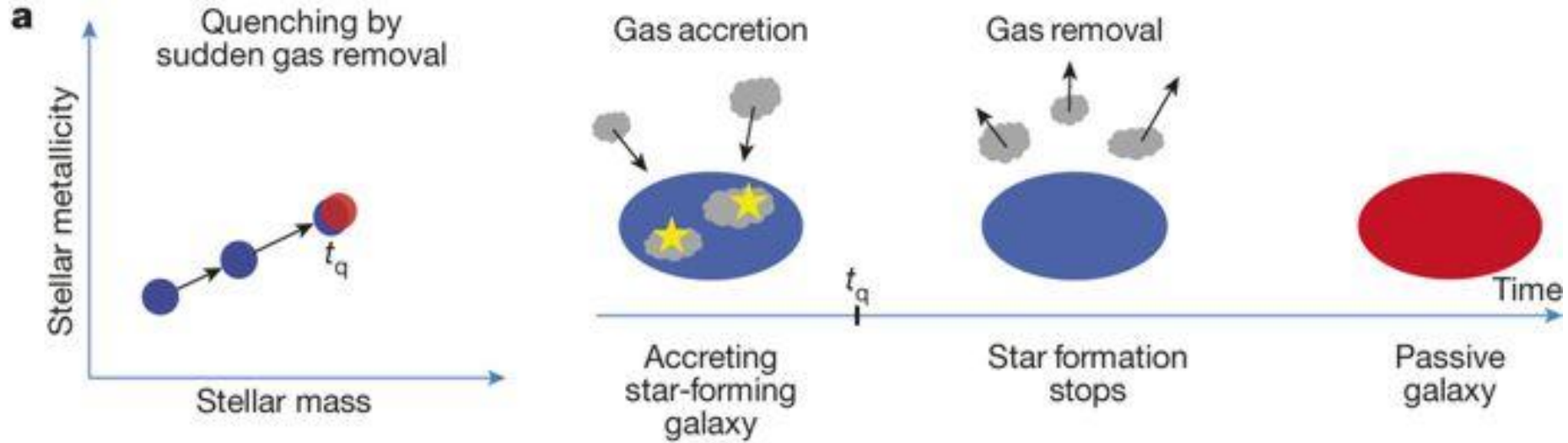
Строение активных эллиптических и спиральных галактик

# Лекция 4. Происхождение и эволюция галактик

- Существуют две основные теории образования галактик.
- **Иерархическая теория** — образовавшиеся звезды объединились и сформировали более крупную структуру, галактику.
- **Инфляционная теория** — зачатки галактик сформировались сразу после Большого взрыва и расширялись, поглощая пространство-время (наиболее приемлемая теория).



# Эволюционные процессы



# Эволюция массивных эллиптических галактик



Протогалактическое сжатие

**Быстрые**  
( $<10^8$  лет)

Большой мёрджинг (слияние галактик),  
давление горячего межгалактического газа.



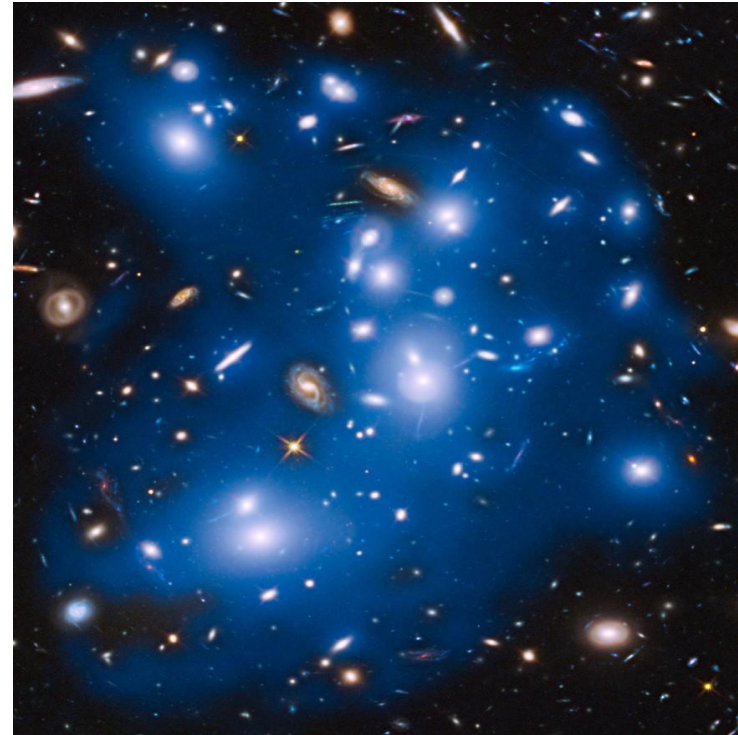
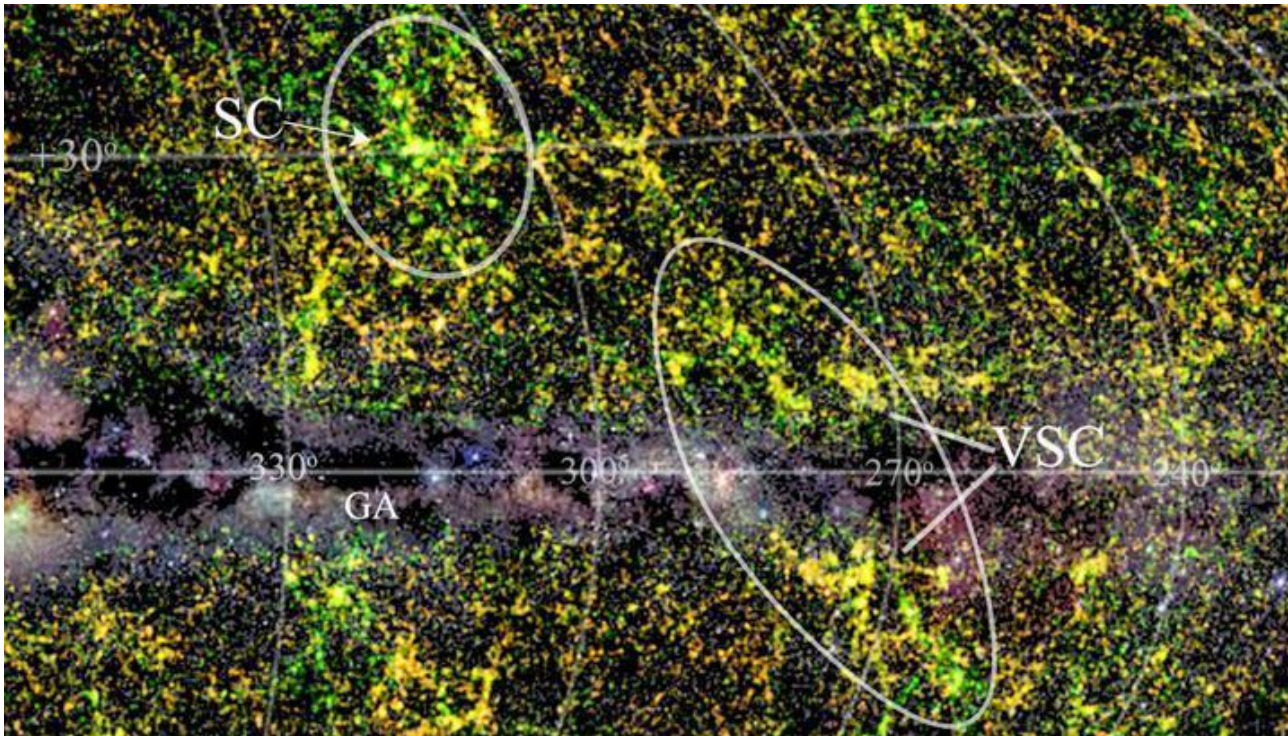
Эволюция, вызванная  
неустойчивостью бара,  
тёмным гало,  
центральной чёрной дырой,  
спиральными ветвями,  
галактическими ветрами и фонтанами.

**Медленные**  
( $>10^9$  лет)

Эволюция, вызванная  
продолжительной аккрецией на диске,  
малым слиянием,  
приливным взаимодействием галактик.

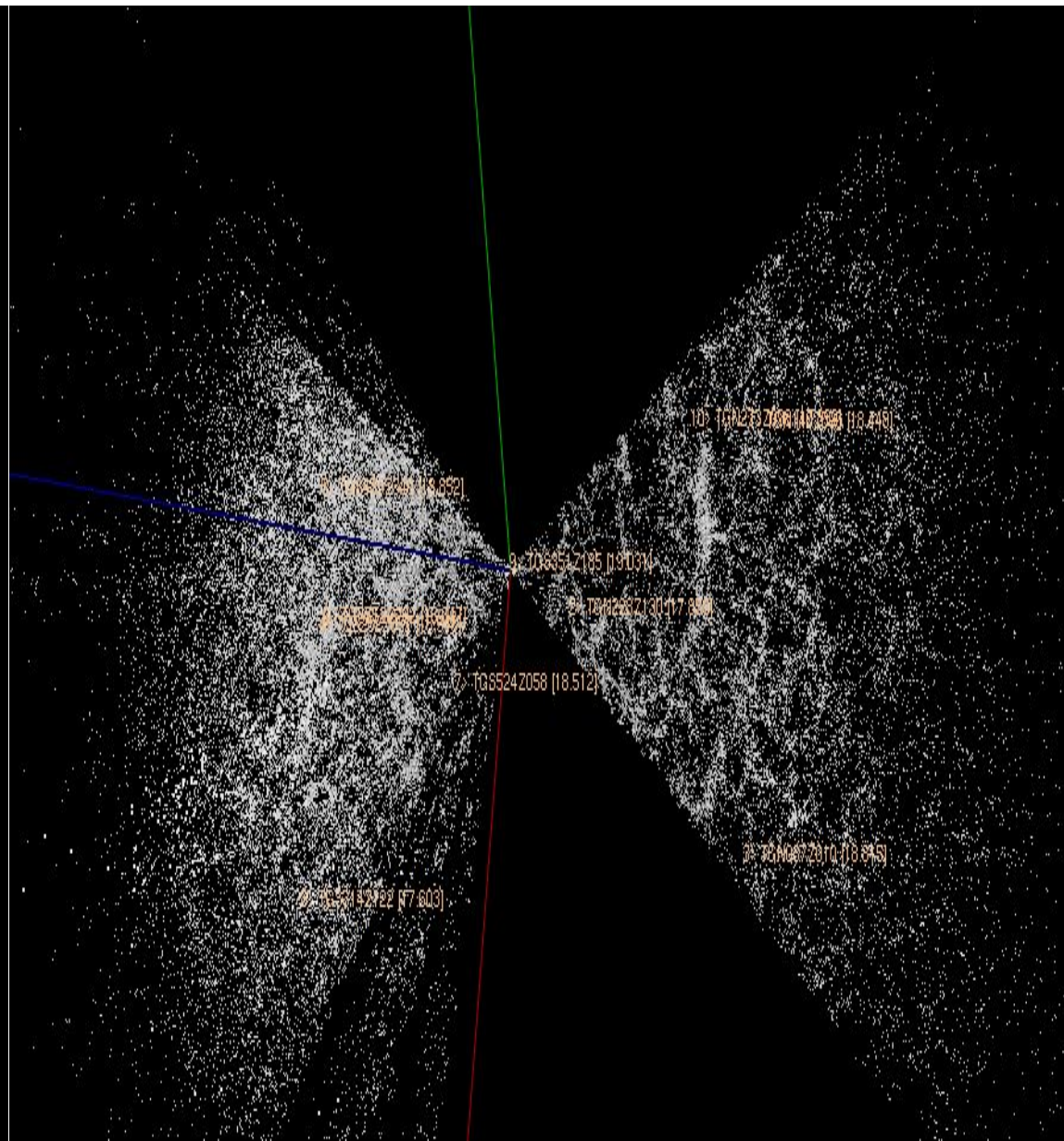
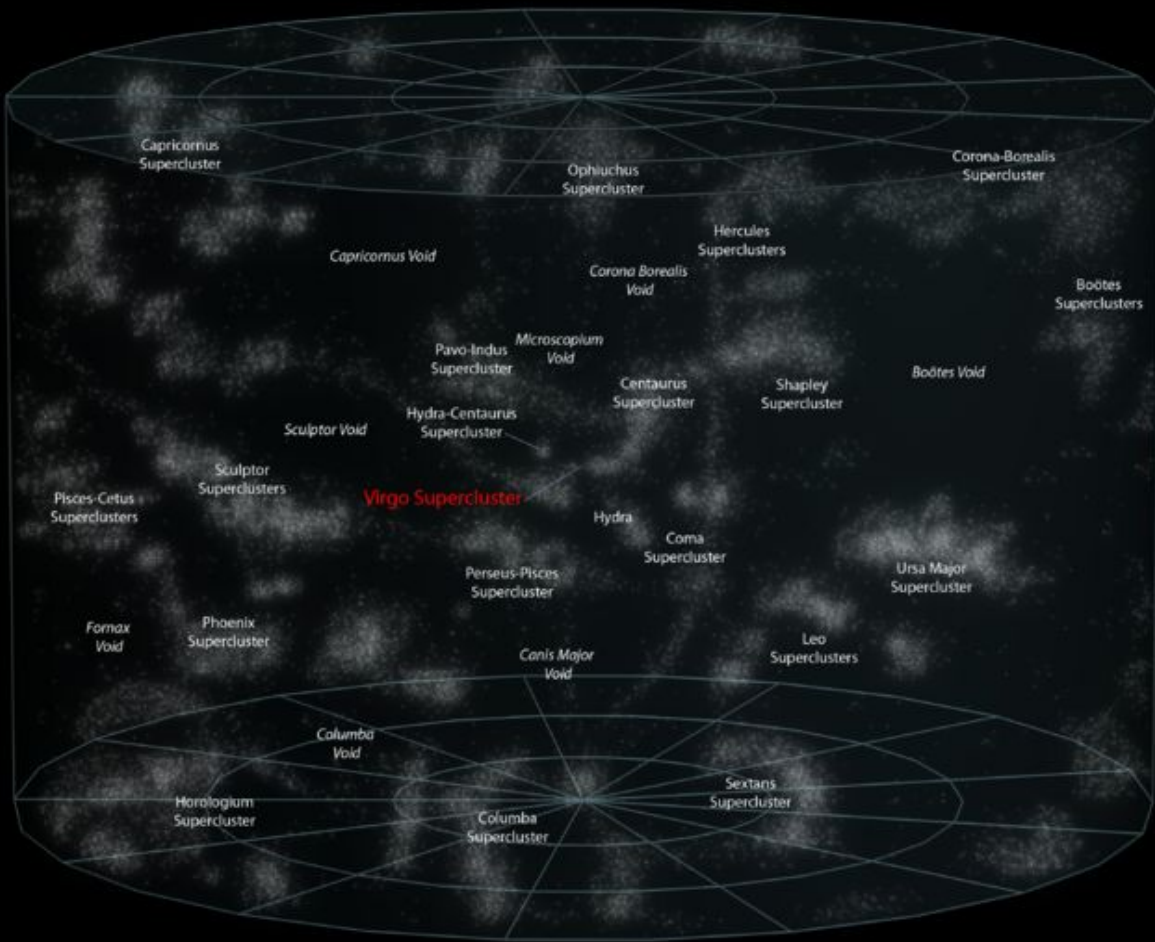
# Лекция 5. Галактические структуры

- Галактики образуют **скопления галактик**.
- **Регулярные скопления галактик** имеют почти правильную сферическую форму, в них преобладают эллиптические и линзовидные галактики.
- **Иррегулярные скопления галактики** не имеют определенной формы, значительно меньше регулярных по размерам, в них преобладают спиральные галактики.



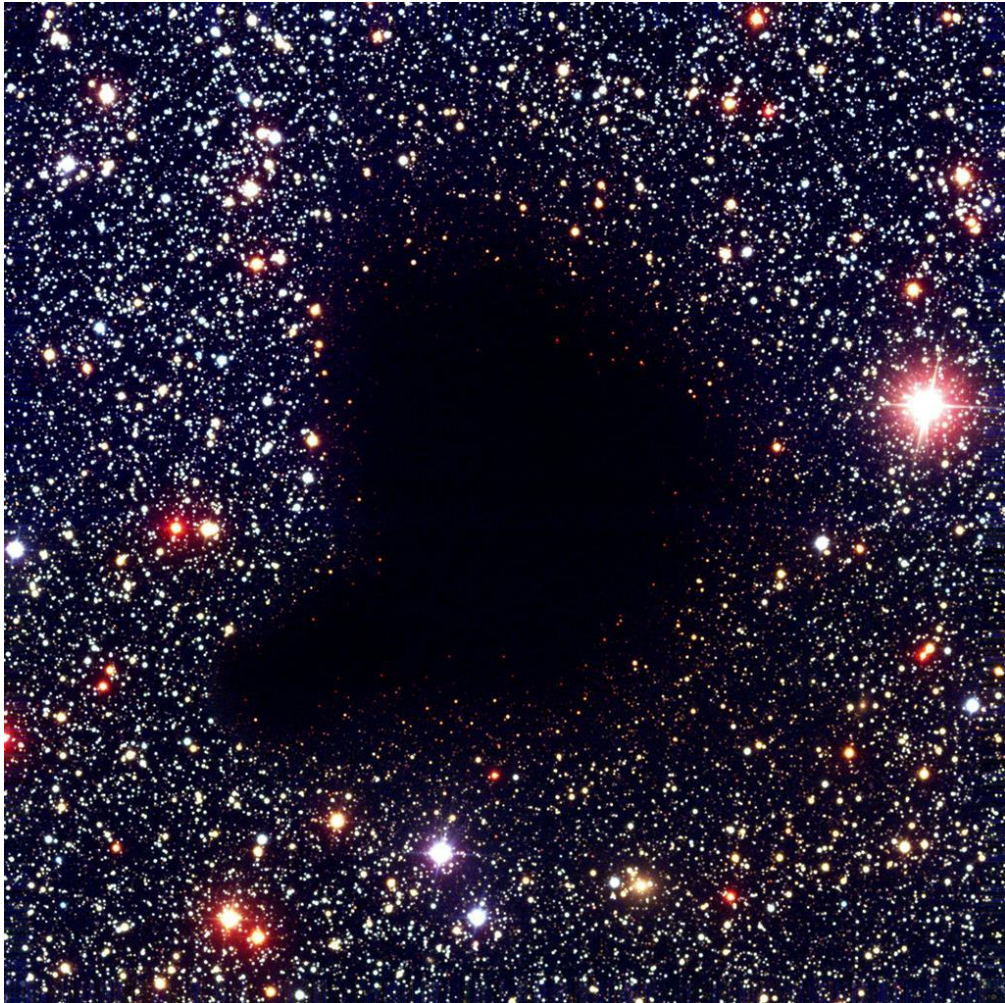
# Скопления галактик объединяются в сверхскопления галактик.

## LOCAL SUPERCLUSTERS



Сверхскопления образуют более крупную структуру, называемую **галактической сетью** или **галактическими нитями**.

Пустоты между галактическими нитями, где отсутствуют скопления, называются **войдами**.  
Близлежащие войды объединяются в **супервойды**.





**Спасибо за внимание!**