

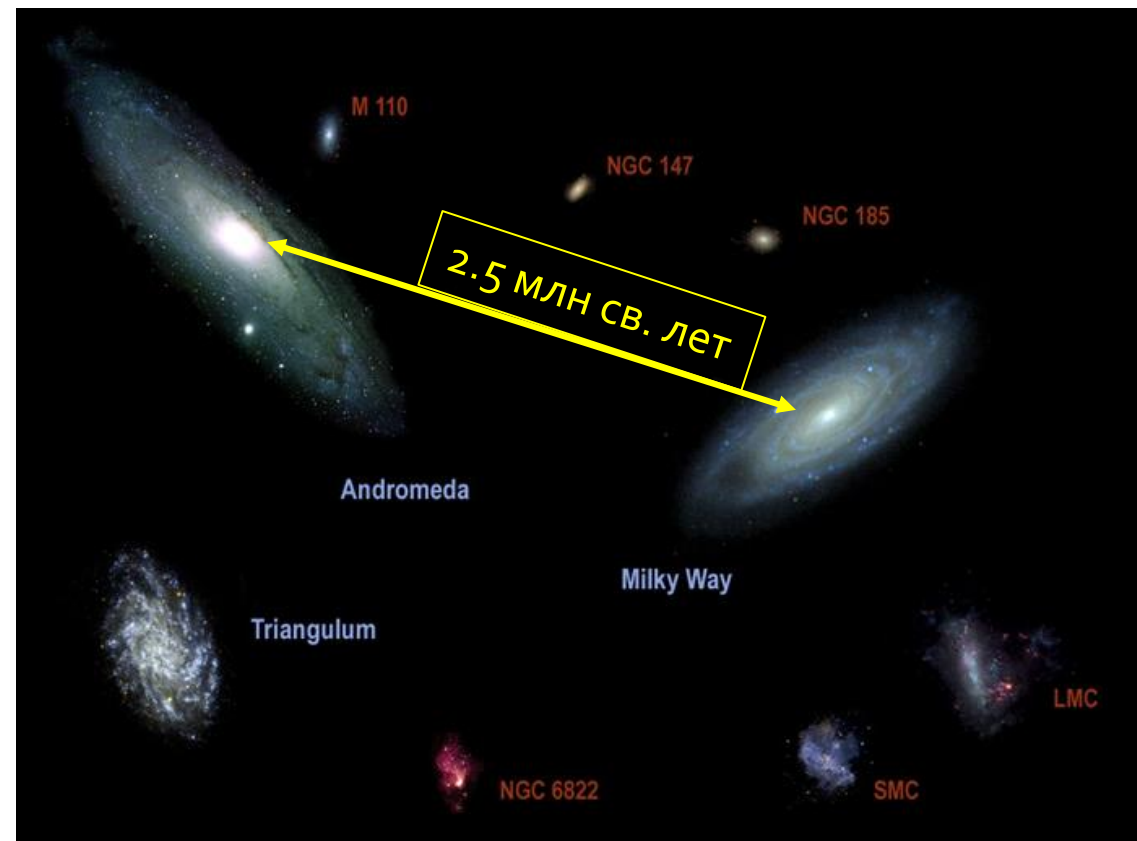
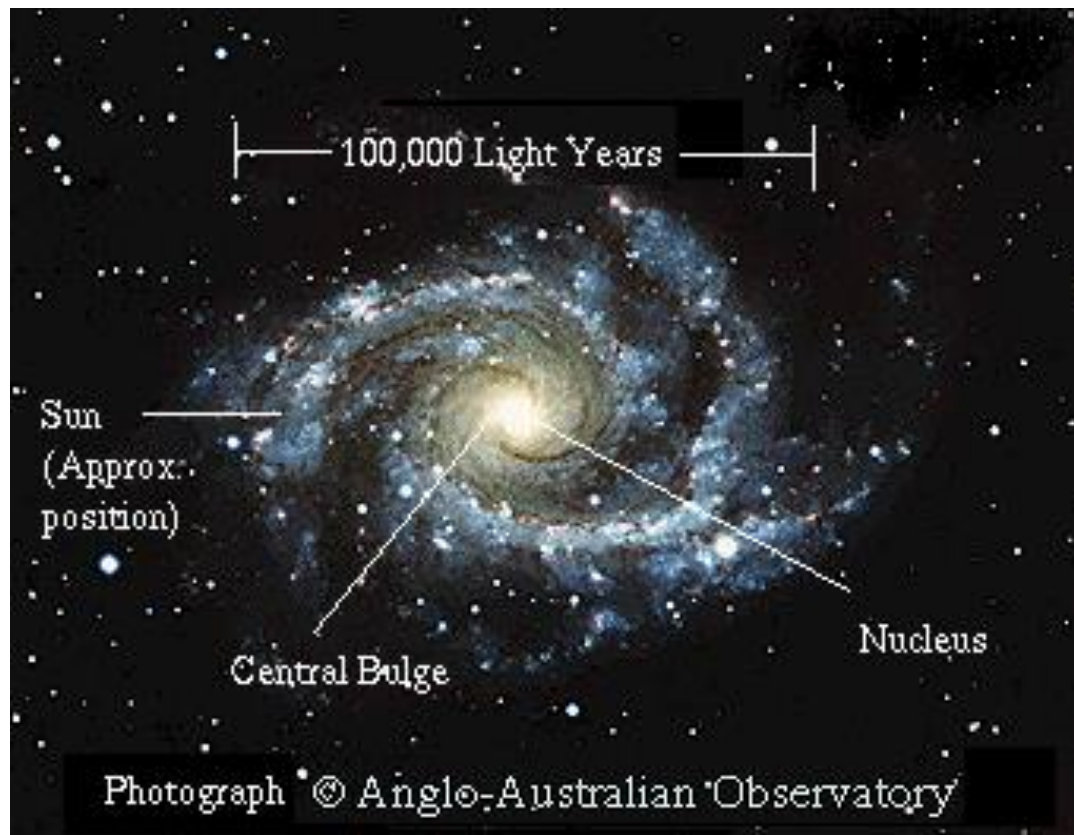


ГАЛАКТИКА И ГАЛАКТИКИ

АНТОН БИРЮКОВ. МОДУЛЬ «АСТРОФИЗИКА», ОСЕНЬ 2022. ФАКУЛЬТЕТ ФИЗИКИ ВШЭ.

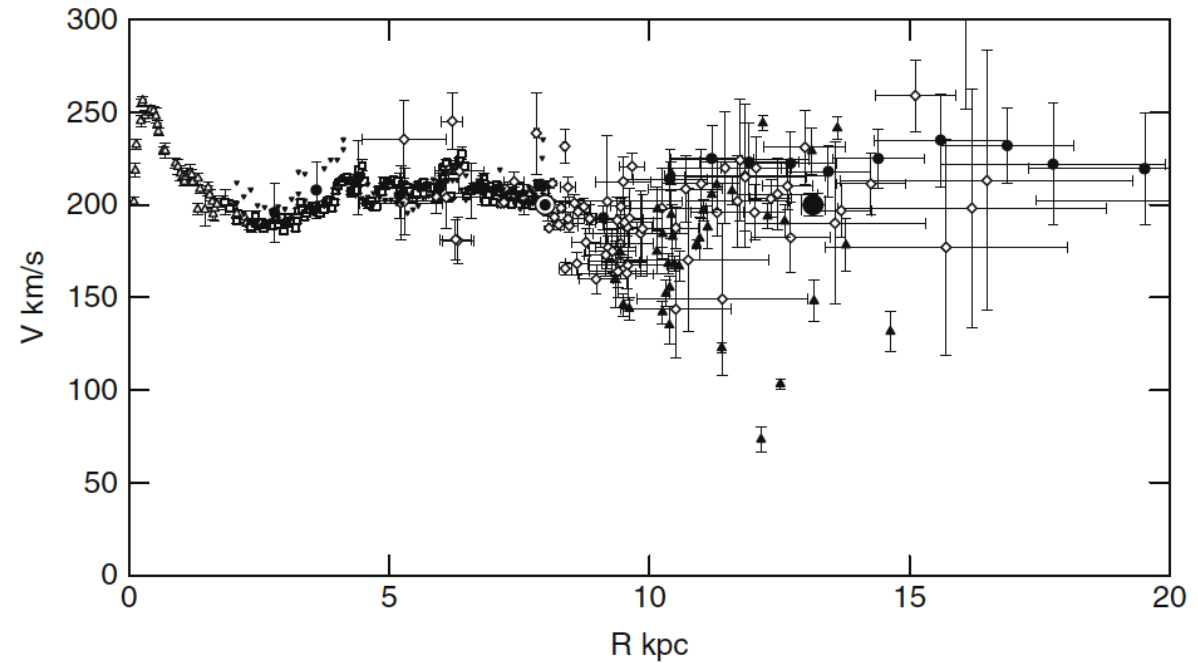
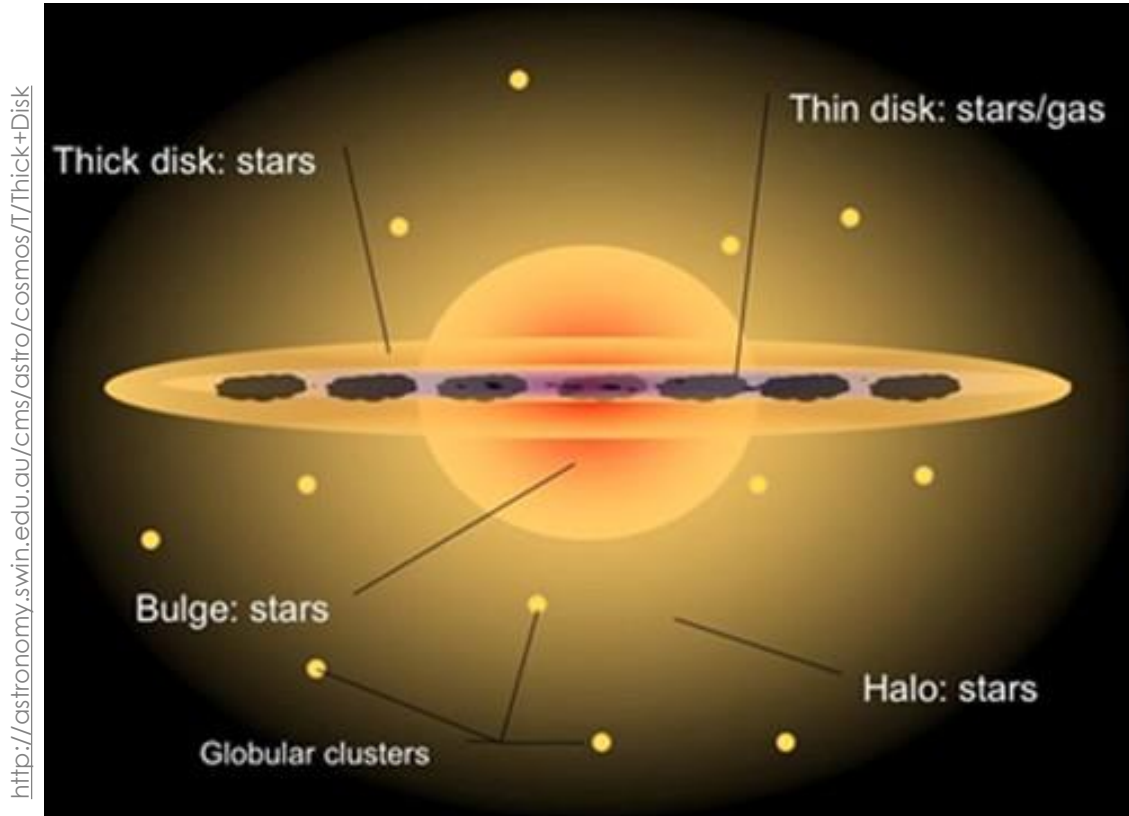


ГАЛАТИКИ – СВЯЗНЫЕ СИСТЕМЫ ЗВЁЗД



- В средней галактике $\sim 10^{11}$ звёзд, всего во Вселенной $\sim 10^{11}$ галактик.
- Галактики имеют спутники
- Галактики организованы иерархически (группы, скопления, сверхскопления...)

КИНЕМАТИКА ЗВЕЗД В МЛЕЧНОМ ПУТИ



- Круговые скорости около 250 км/с
- Скорость убегания 500-800 км/с (зависит от расстояния)
- Пекулярные скорости около 30 км/с

ГРАВИТАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ НАШЕЙ ГАЛАКТИКИ

astro-ph/9603106

$$\Phi = \Phi_H + \Phi_C + \Phi_D.$$

$$\Phi_H = \frac{1}{2}V_H^2\ln(r^2 + r_0^2)$$

$$\Phi_C = -\frac{GM_{C_1}}{\sqrt{r^2 + r_{C_1}^2}} - \frac{GM_{C_2}}{\sqrt{r^2 + r_{C_2}^2}}.$$

$$\Phi_D = \Phi_{D_1} + \Phi_{D_2} + \Phi_{D_3}.$$

$$\Phi_{D_n} = \frac{-GM_{D_n}}{\sqrt{(R^2 + (a_n + \sqrt{(z^2 + b^2)})^2)}}$$

$$n = 1, 2, 3$$

Component	Parameter	Value
Dark Halo	r_0	8.5 kpc
	V_H	220 km s ⁻¹
Bulge/Stellar-halo	r_{C_1}	2.7 kpc
	M_{C_1}	$3.0 \times 10^9 M_\odot$
Central comp.	r_{C_2}	0.42 kpc
	M_{C_2}	$1.6 \times 10^{10} M_\odot$
Disk	b	0.3 kpc
	M_{D_1}	$6.6 \times 10^{10} M_\odot$
	a_1	5.81 kpc
	M_{D_2}	$-2.9 \times 10^{10} M_\odot$
	a_2	17.43 kpc
	M_{D_3}	$3.3 \times 10^9 M_\odot$
	a_3	34.86 kpc

ГРАВИТАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ НАШЕЙ ГАЛАКТИКИ

astro-ph/9603106

$$\Phi = \Phi_H + \Phi_C + \Phi_D.$$

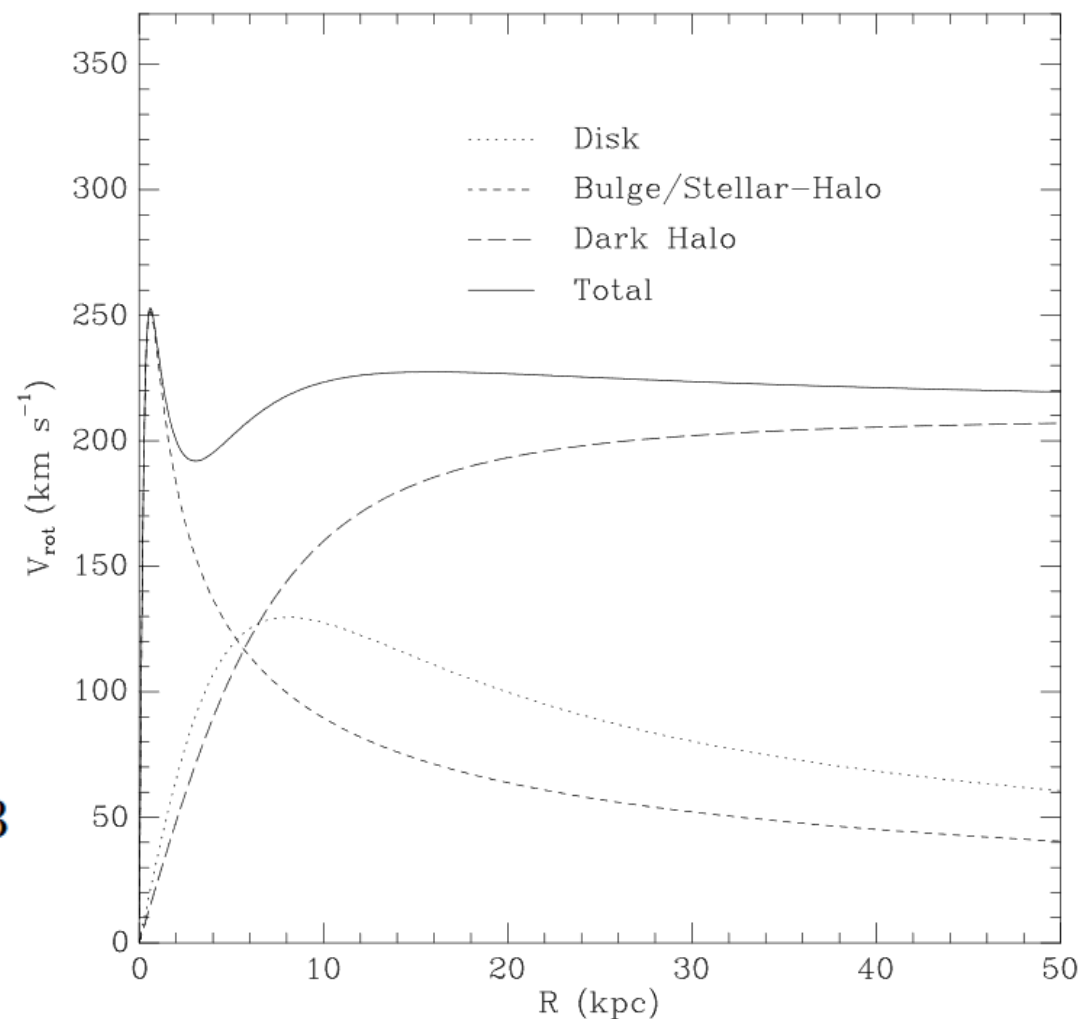
$$\Phi_H = \frac{1}{2} V_H^2 \ln(r^2 + r_0^2)$$

$$\Phi_C = -\frac{GM_{C_1}}{\sqrt{r^2 + r_{C_1}^2}} - \frac{GM_{C_2}}{\sqrt{r^2 + r_{C_2}^2}}.$$

$$\Phi_D = \Phi_{D_1} + \Phi_{D_2} + \Phi_{D_3}.$$

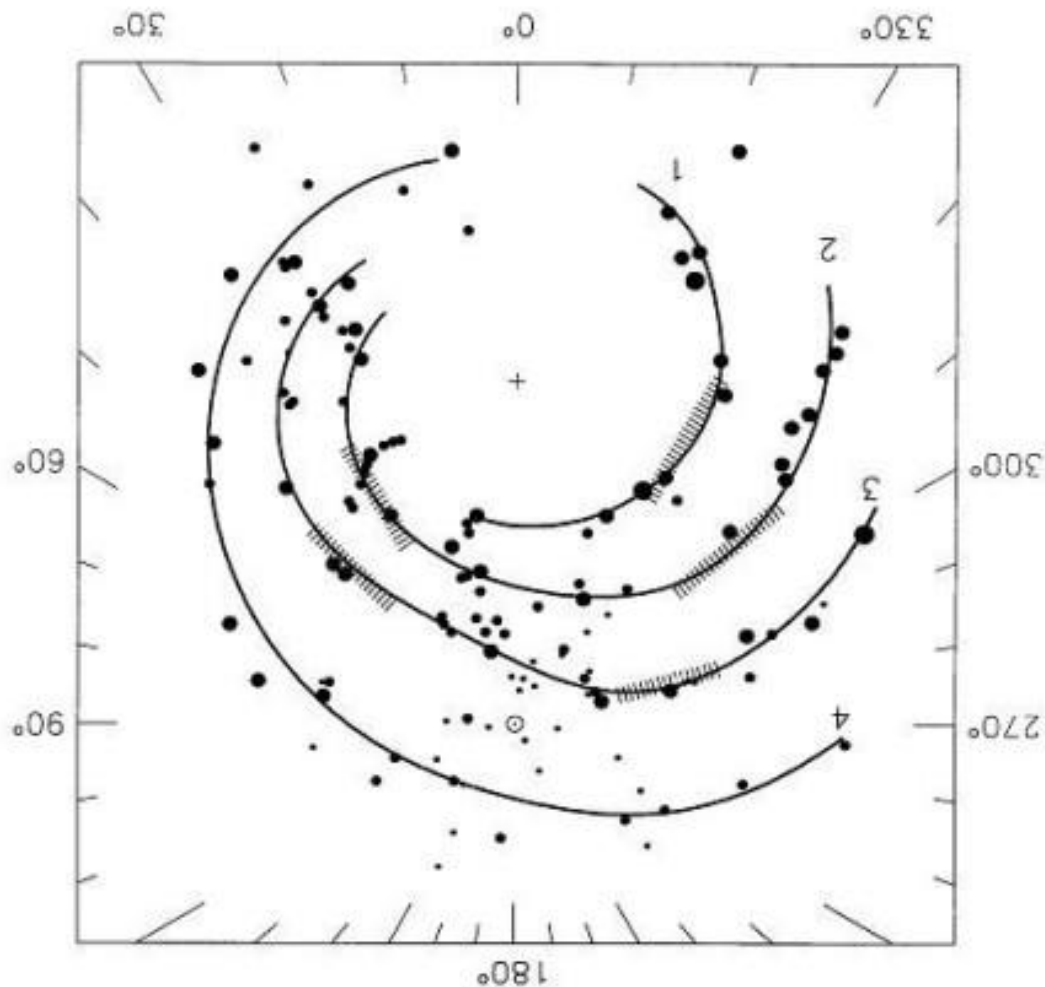
$$\Phi_{D_n} = \frac{-GM_{D_n}}{\sqrt{(R^2 + (a_n + \sqrt{(z^2 + b^2)})^2)}}$$

$n = 1, 2, 3$

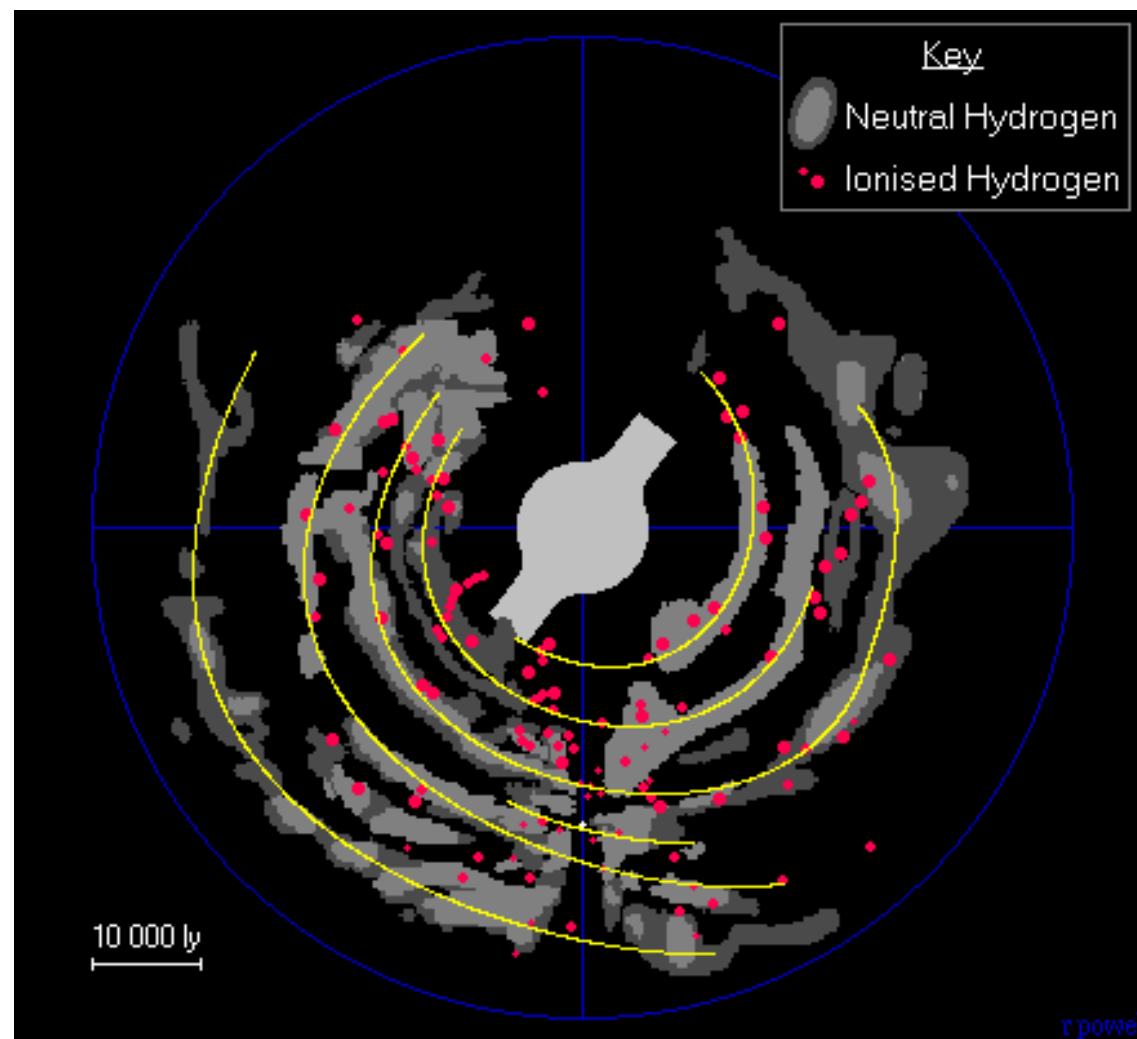


СПИРАЛЬНЫЕ ВЕТВИ

- Расстояние Солнца от центра Галактики 8 кпк.
- Скорость вращения на солнечном радиусе 230-250 км/с.
- У нас примерно 4 спиральных рукава, не считая ответвлений (шпуров)



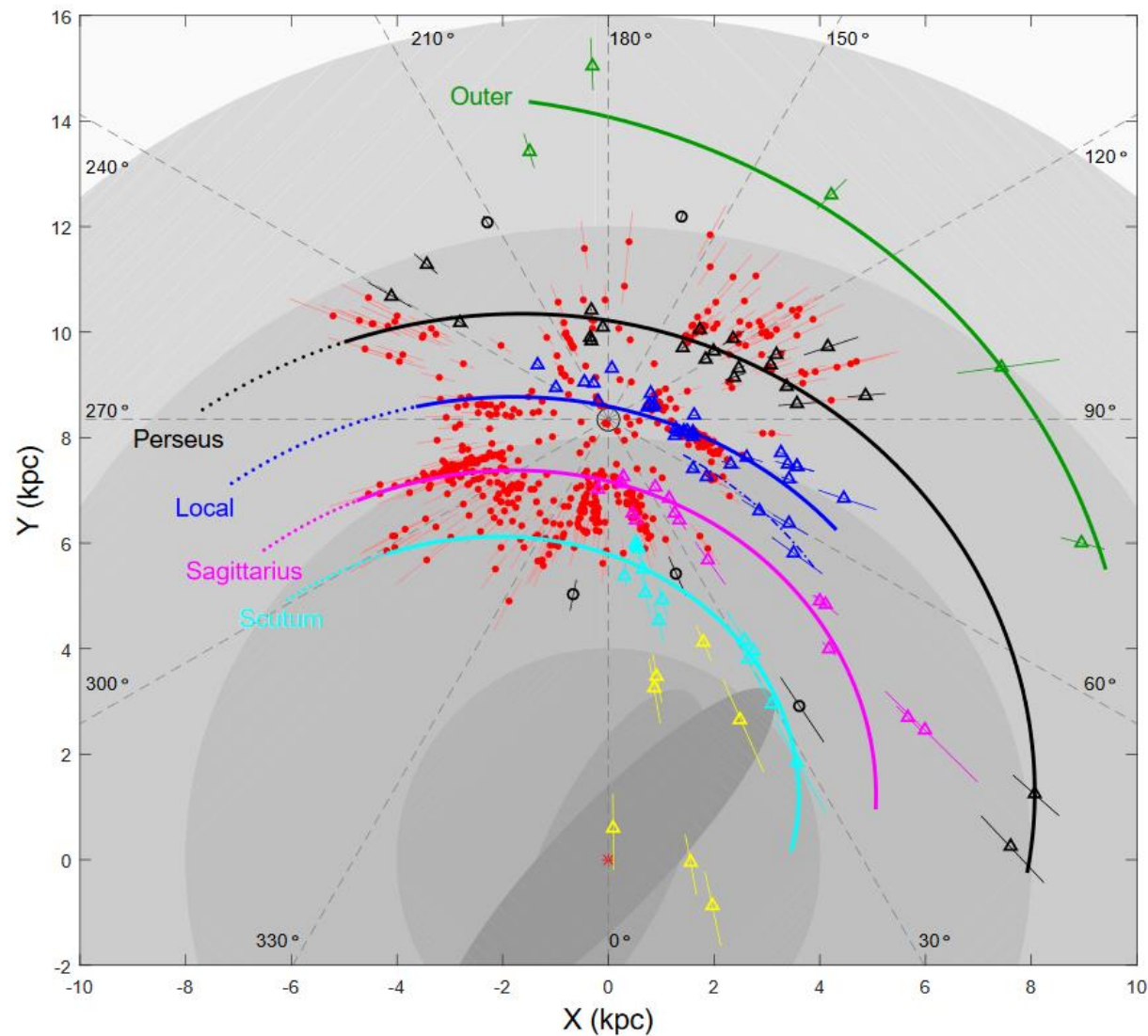
J.H. Taylor, J.M. Cordes



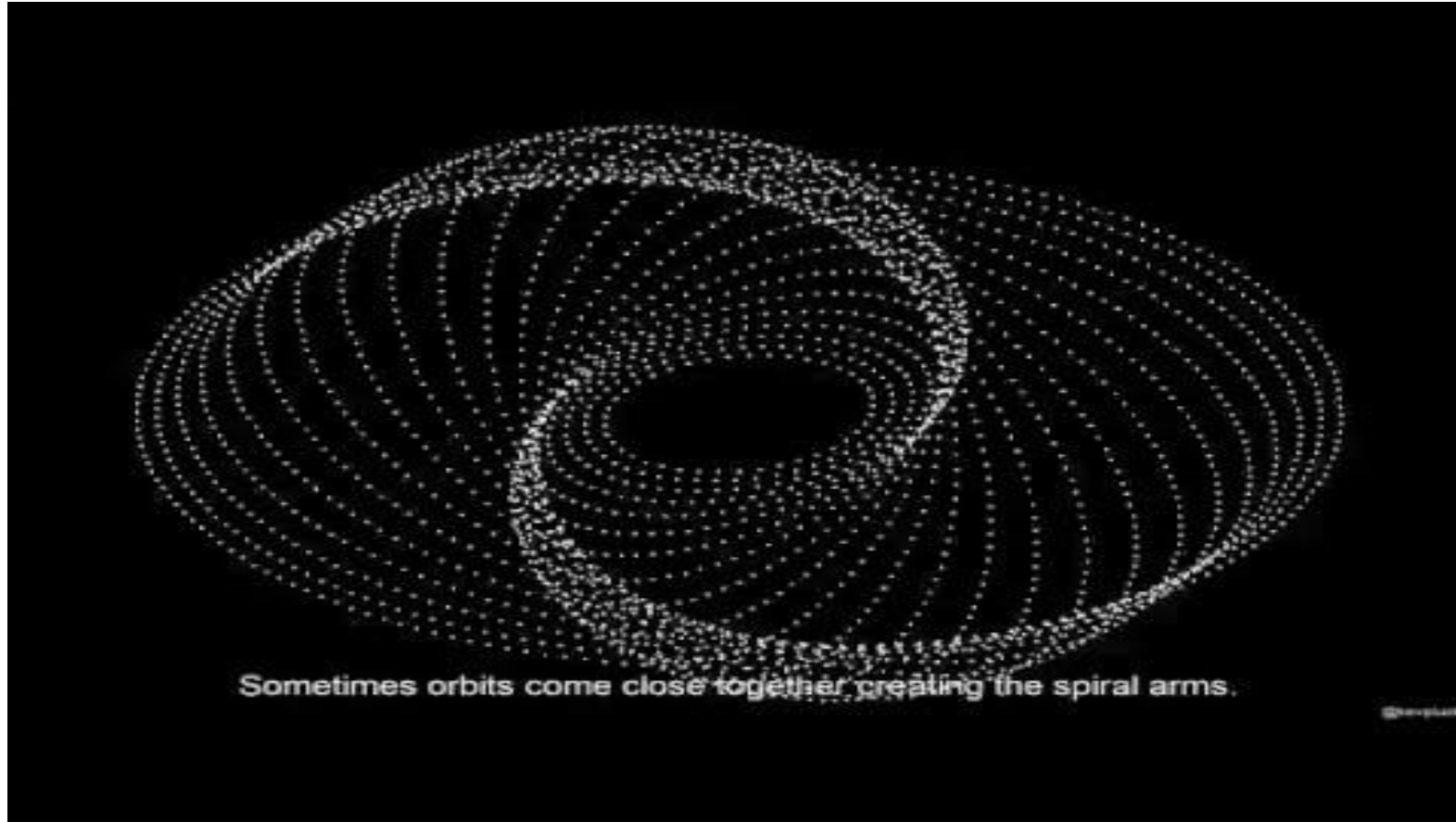
СТРУКТУРА МЛЕЧНОГО ПУТИ



Галактика должна быть похожа на М101:
есть как grand design спирали,
так и мелкие ветви



СПИРАЛЬНЫЕ ВЕТВИ – ВОЛНЫ ПЛОТНОСТИ



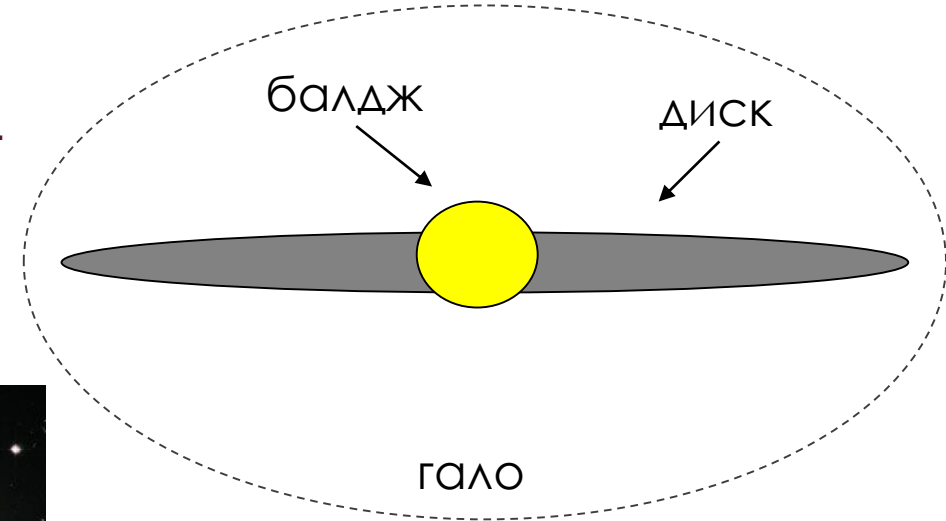
Grand Design Spiral

<https://www.youtube.com/watch?v=IMReQ6hVw5s>

МЕЖЗВЁЗДНАЯ СРЕДА



Межзвездная среда концентрируется к плоскости Галактики. Хорошо виден вклад пыли в поглощение света звезд.



Газ есть не только в галактическом диске, но в других частях его плотность не достигает больших значений и не начинается формирование новых звезд.

ФАЗЫ МЕЖЗВЕЗДНОЙ СРЕДЫ

Component	Fractional volume	Scale height (pc)	Temperature (K)	Density (particles/cm ³)	State of hydrogen	Primary observational techniques
Molecular clouds	< 1%	80	10–20	10 ² –10 ⁶	molecular	Radio and infrared molecular emission and absorption lines
Cold neutral medium (CNM)	1–5%	100–300	50–100	20–50	neutral atomic	H I 21 cm line absorption
Warm neutral medium (WNM)	10–20%	300–400	6000–10000	0.2–0.5	neutral atomic	H I 21 cm line emission
Warm ionized medium (WIM)	20–50%	1000	8000	0.2–0.5	ionized	H α emission and pulsar dispersion
H II regions	< 1%	70	8000	10 ² –10 ⁴	ionized	H α emission and pulsar dispersion
Coronal gas Hot ionized medium (HIM)	30–70%	1000–3000	10 ⁶ –10 ⁷	10 ⁻⁴ –10 ⁻²	ionized (metals also highly ionized)	X-ray emission; absorption lines of highly ionized metals, primarily in the ultraviolet

[arxiv:1803.02277](#) Межзвездная среда: от молекул до звездообразования

[arxiv:1412.5182](#) Физические процессы в межзвездной среде

[arxiv:1206.4090](#) Межзвездное поглощение и межзвездная поляризация

[arxiv:1104.2949](#) Межзвездная пыль

[arxiv:2004.06113](#) Жизненный цикл молекулярного облака

МИР ГАЛАКТИК: ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ



Шарль Мессье (1730-1817),
охотник за кометами

В 1744 г. публикует первый
каталог туманных объектов
(45 шт, сейчас – 110).

В современном каталоге
Мессье содержится 40
галактик.

МИР ГАЛАКТИК: РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ



Весто Слайфер
(1875-1963)



Генриетта Ливитт
(1868-1921)



Жорж Леметр
(1894-1966)



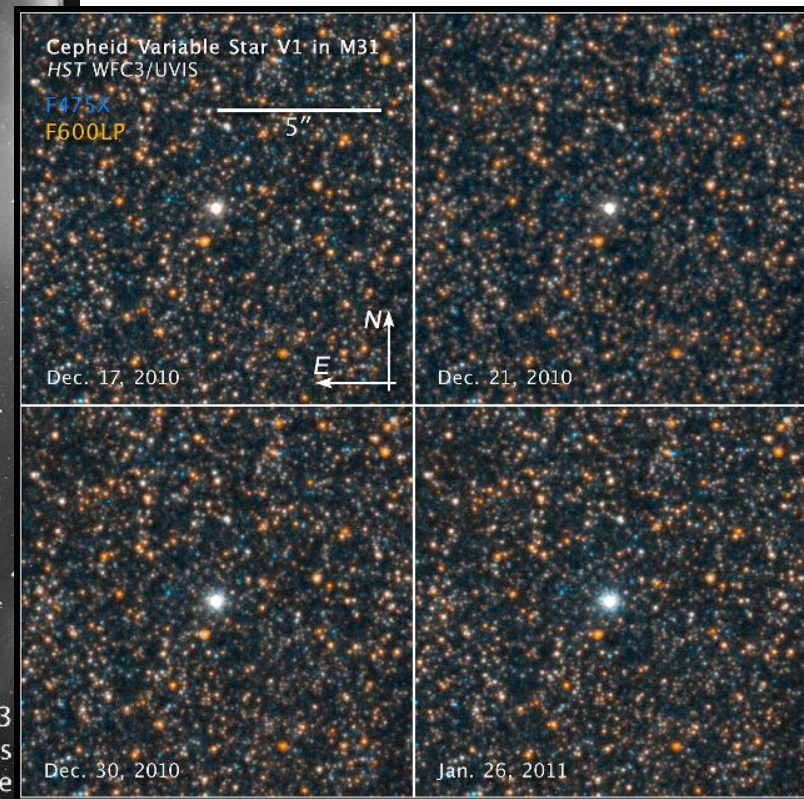
Эдвин Хаббл
(1889-1953)



Милтон Хьюмасон
(1891-1972)

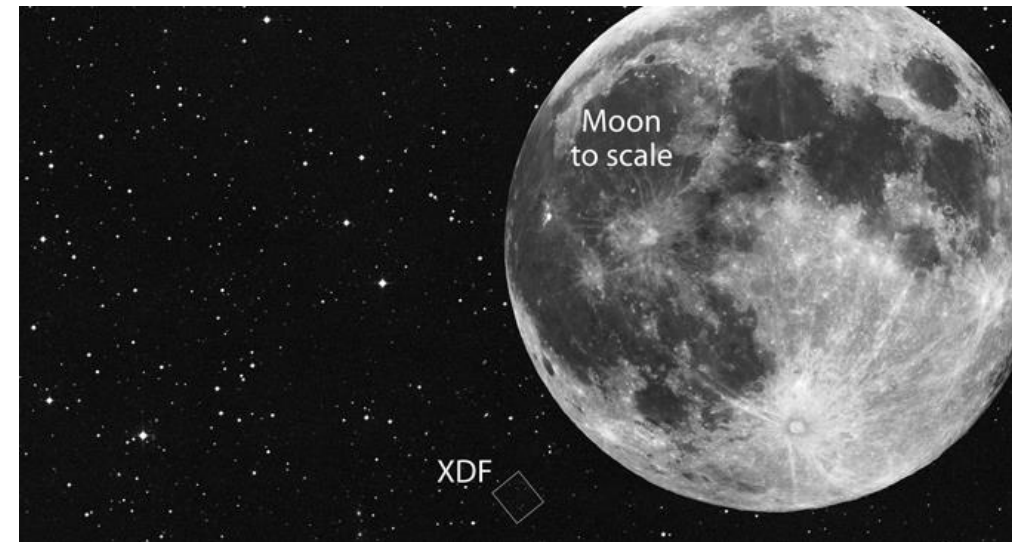
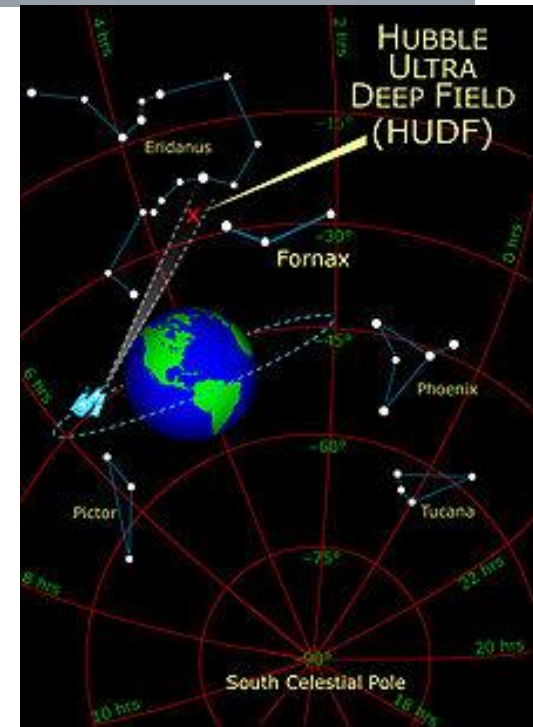


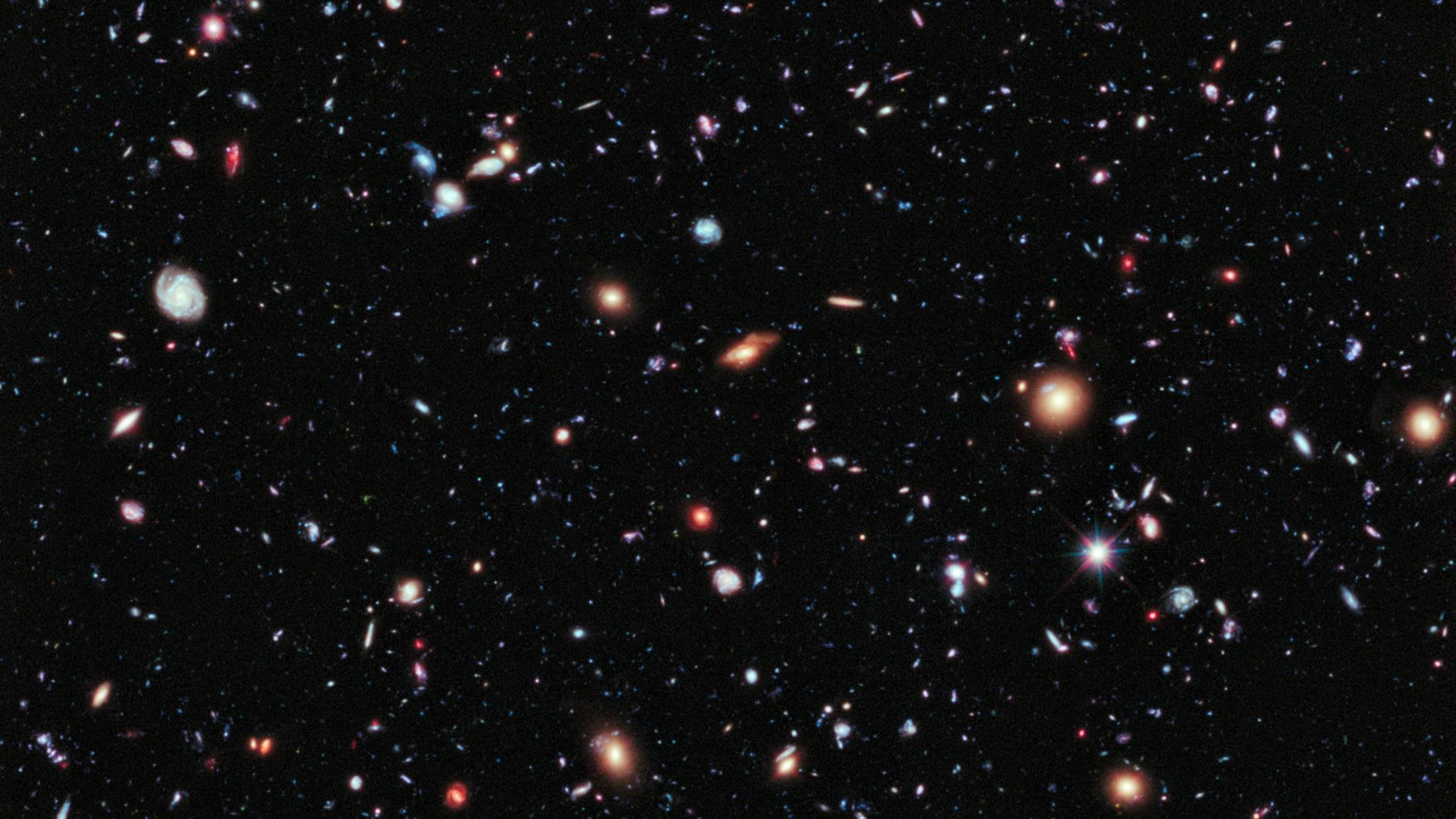
Photo: R. Gendler





Созвездие Печь
2003-2004 гг





ЗООПАРК ГАЛАКТИК



Дисковая спиральная



Неправильная карликовая



Линзовидная

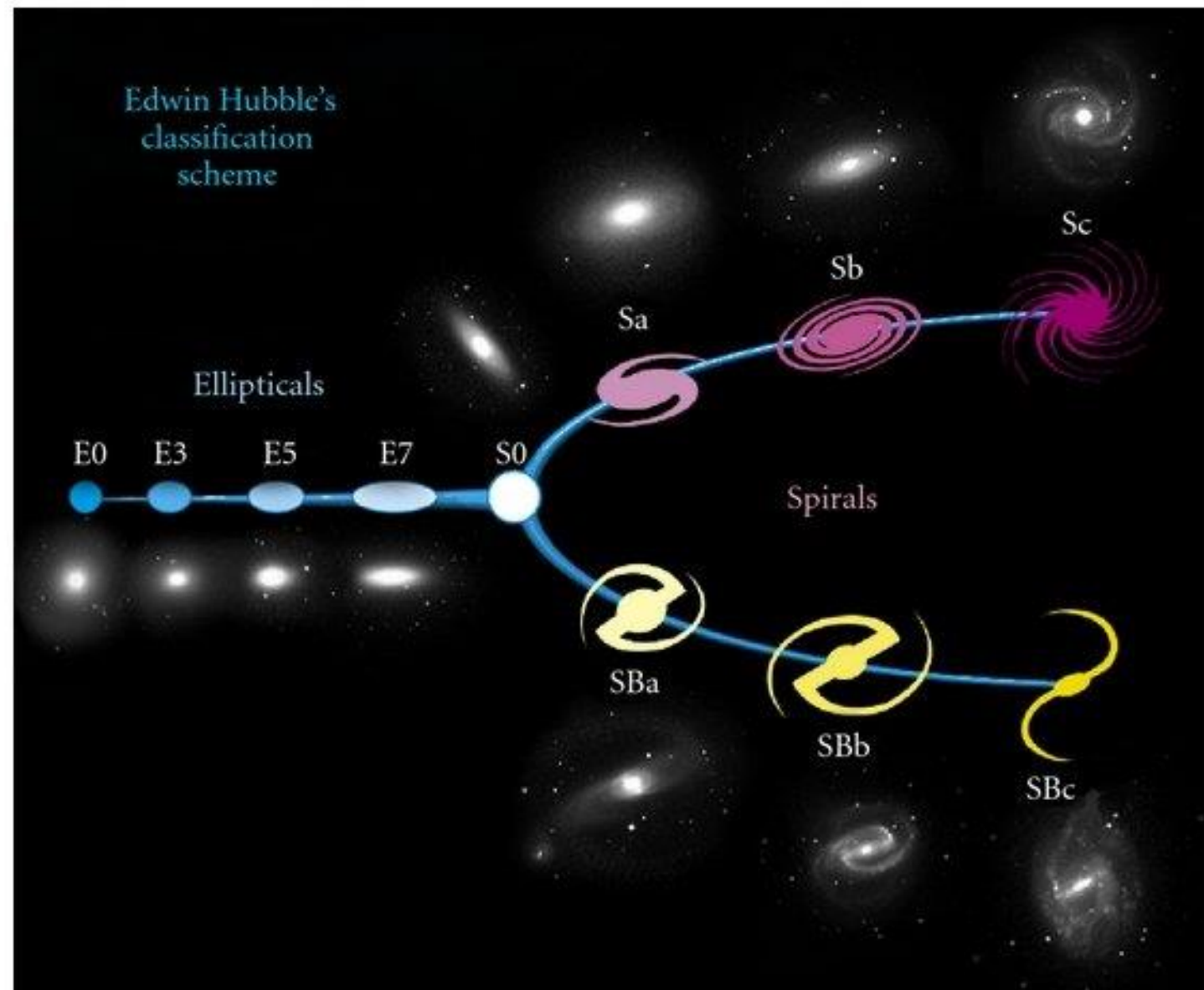
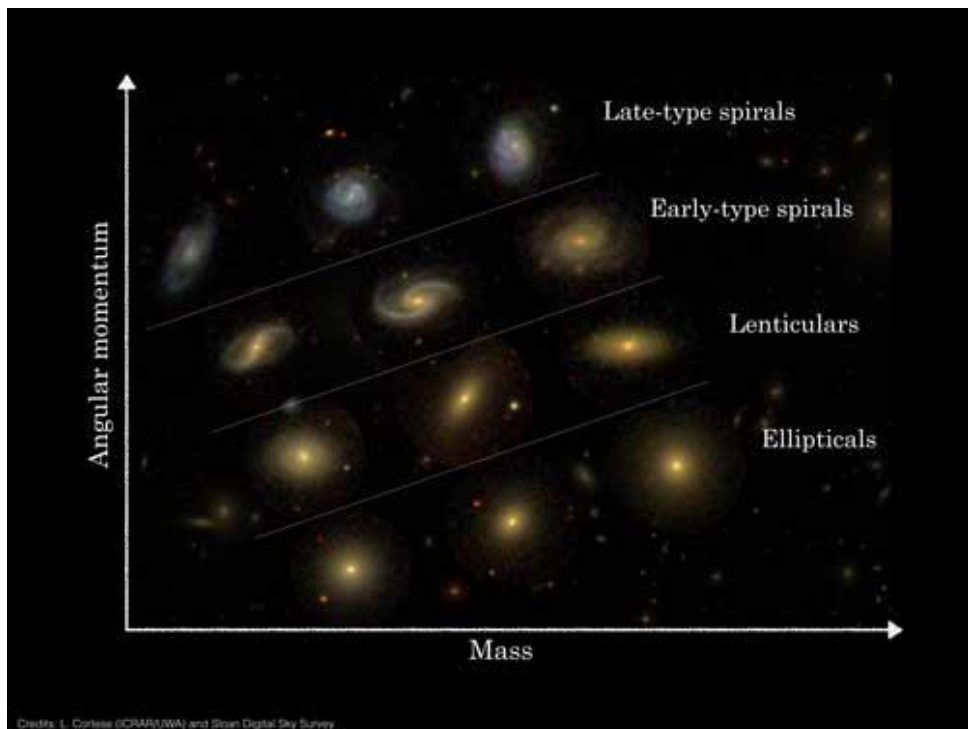


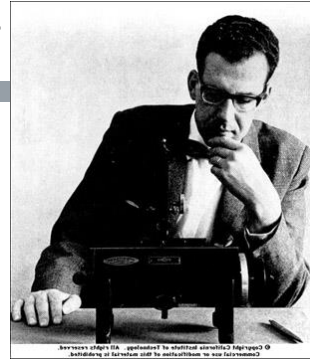
Эллиптическая



Взаимодействующие

КАМЕРТОН ХАББЛА



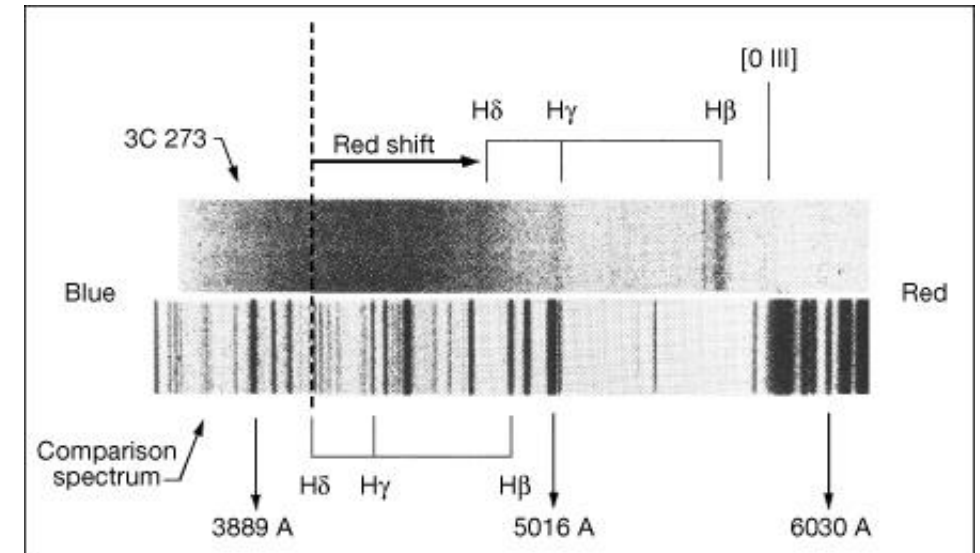


АКТИВНЫЕ ЯДРА: КВАЗАРЫ



Квазары начали открывать как радиоисточники в конце 50-х гг. Также их удалось обнаружить в оптическом диапазоне, как звездopodobные источники (сам термин появился в 1964 г.)

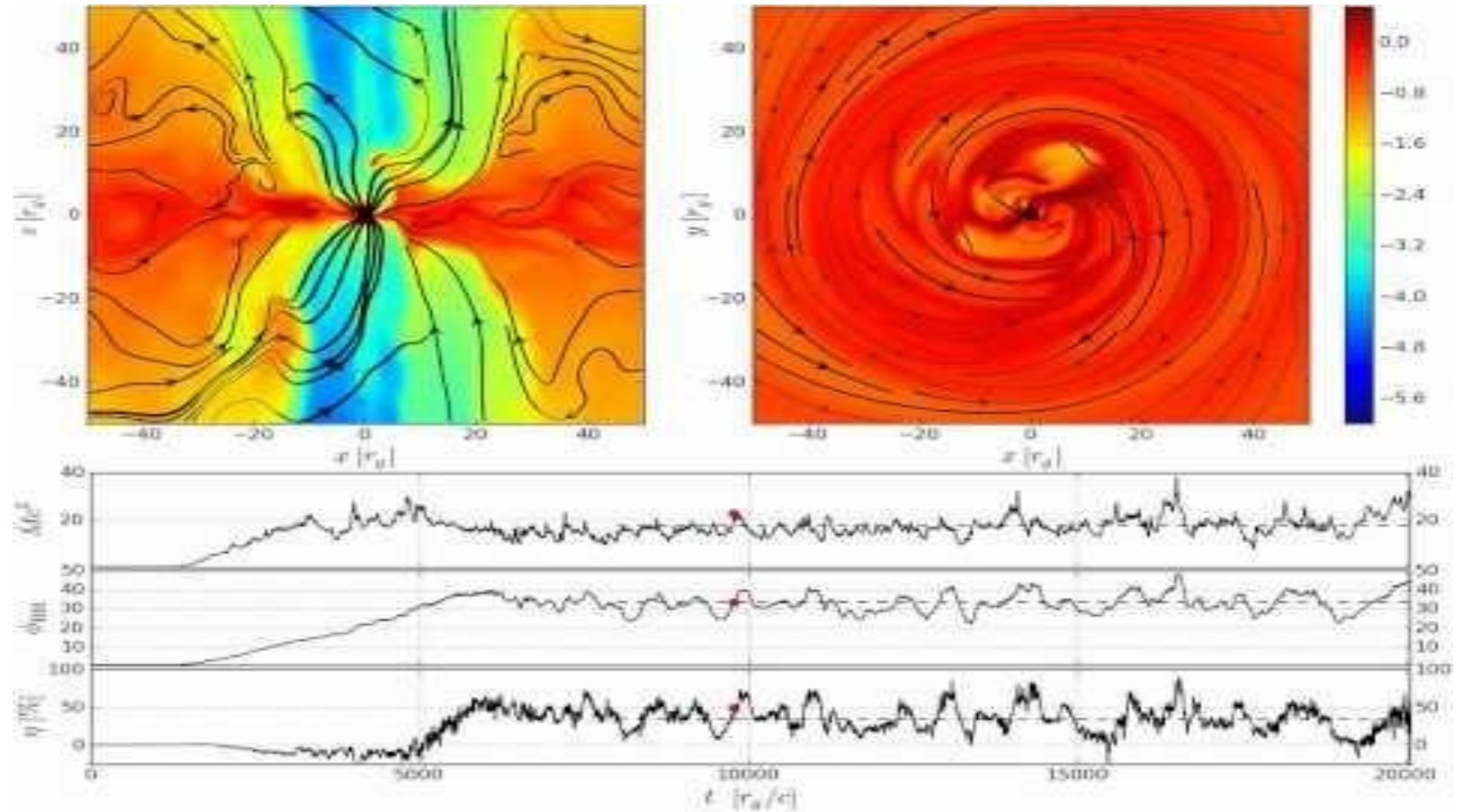
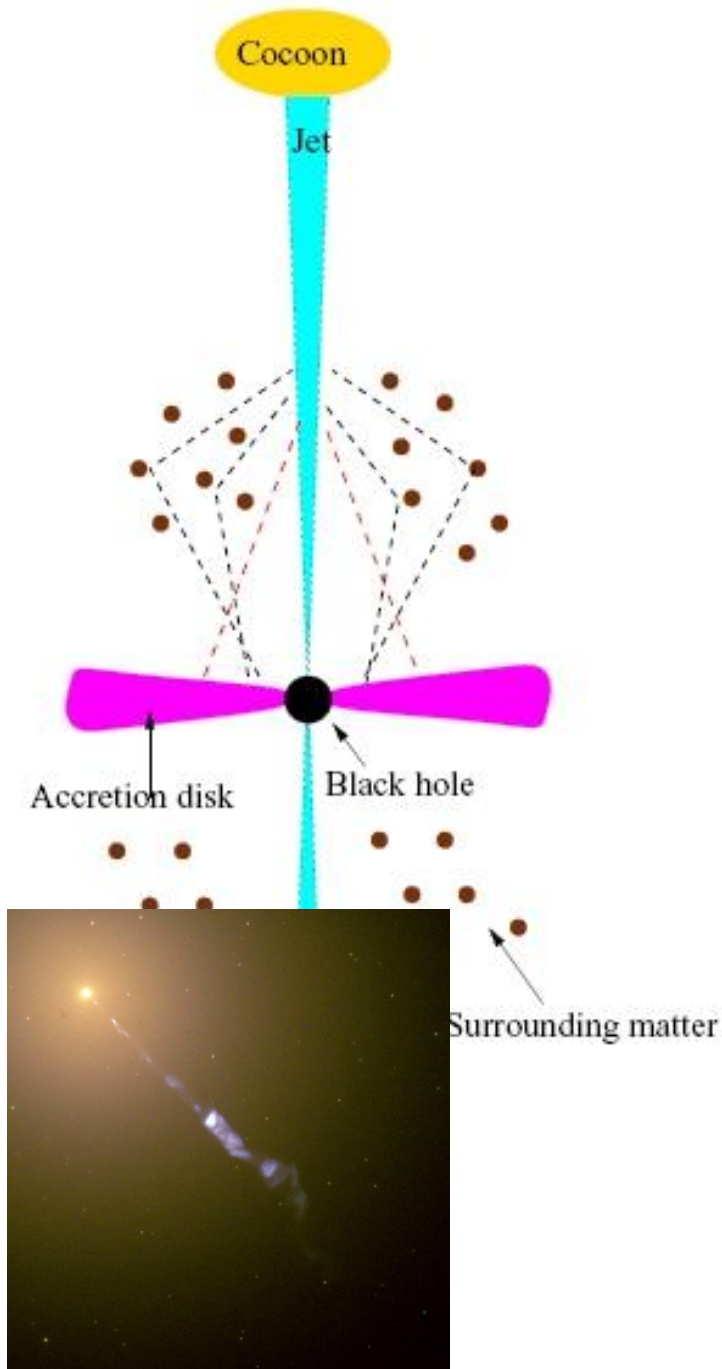
Долгое время шли дискуссии о природе этих «радиозвезд».



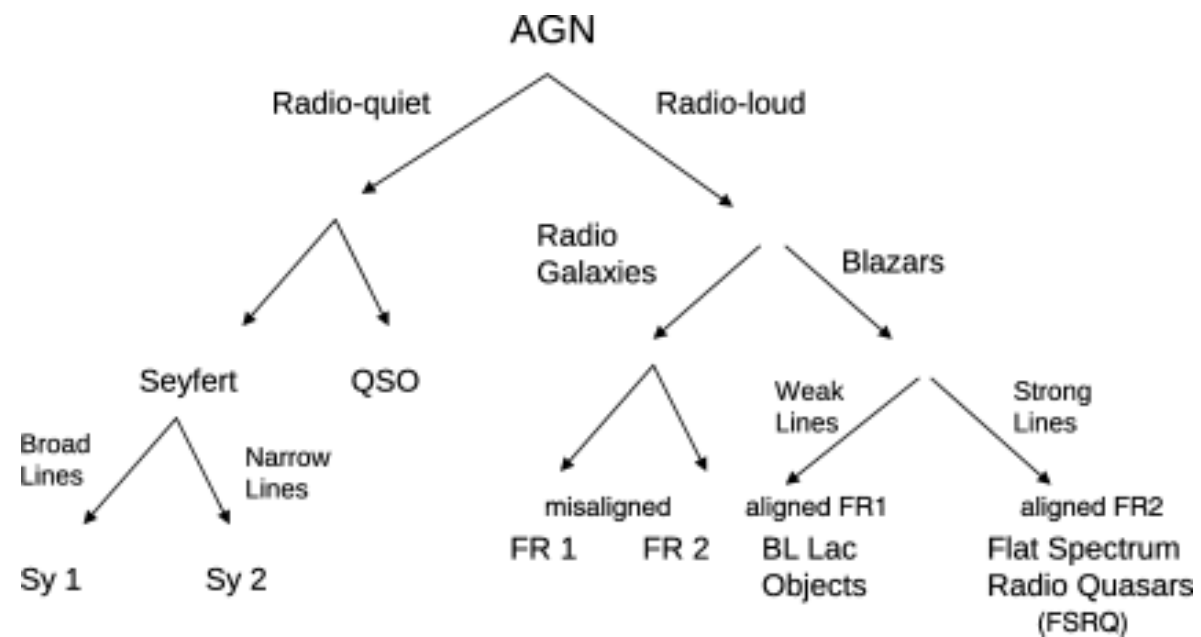
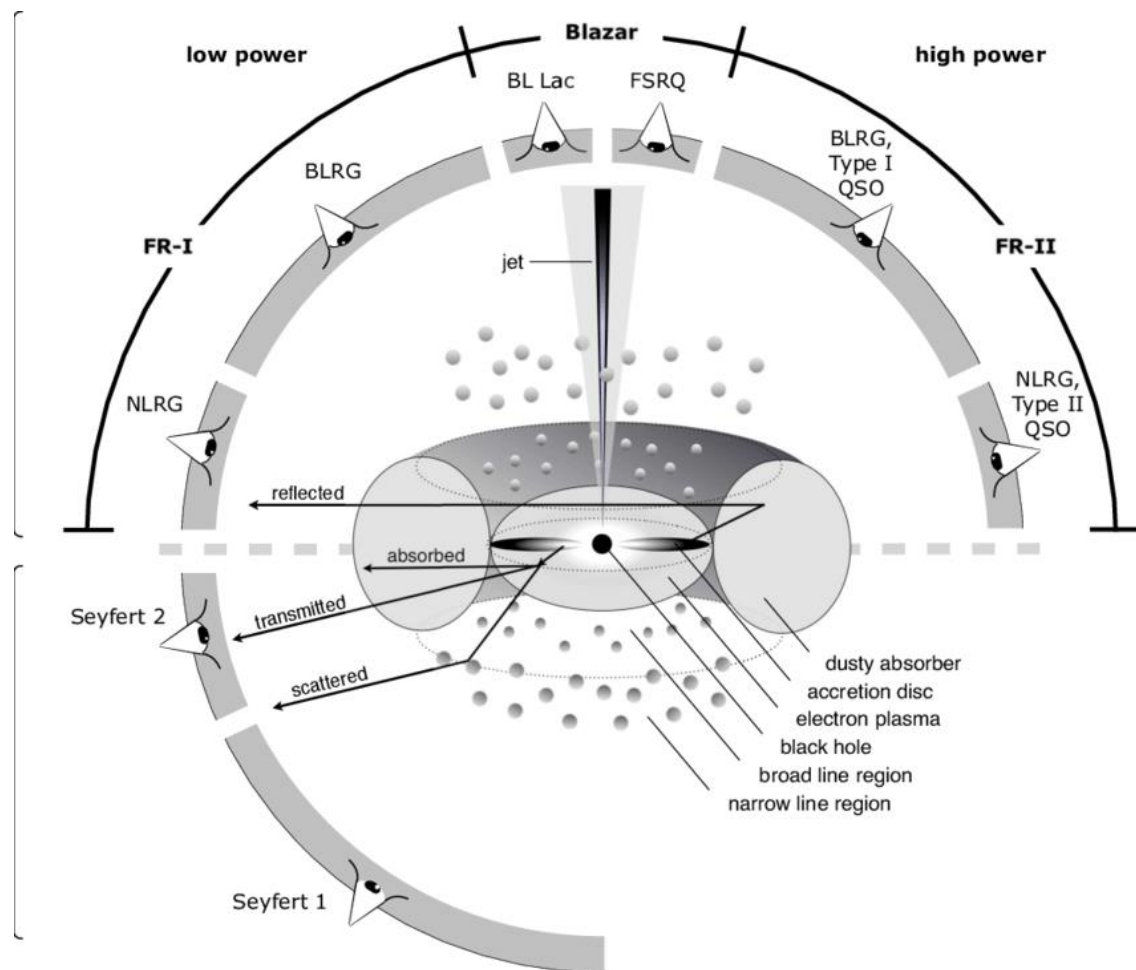
ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ И ДЖЕТЫ

$$M_{BH} = 10^7 - 10^9 M_{\odot}$$

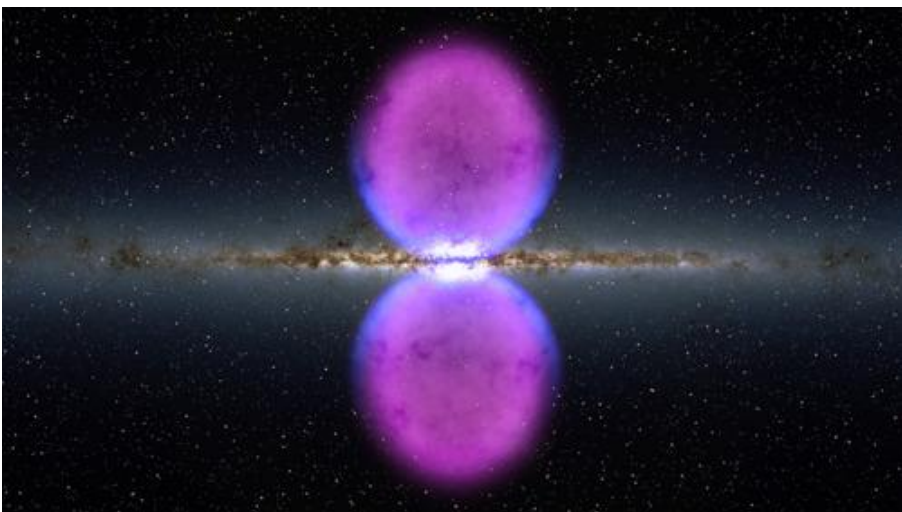
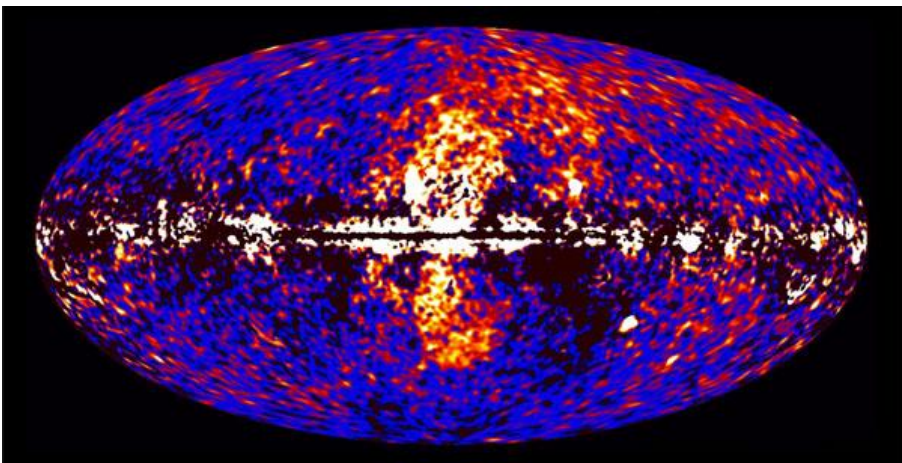
$$L(< \sim L_{Edd}) \sim 10^{42} - 10^{47} \text{ эрг/с}$$



ГЕОМЕТРИЯ АКТИВНЫХ ЯДЕР



ПУЗЫРИ ФЕРМИ



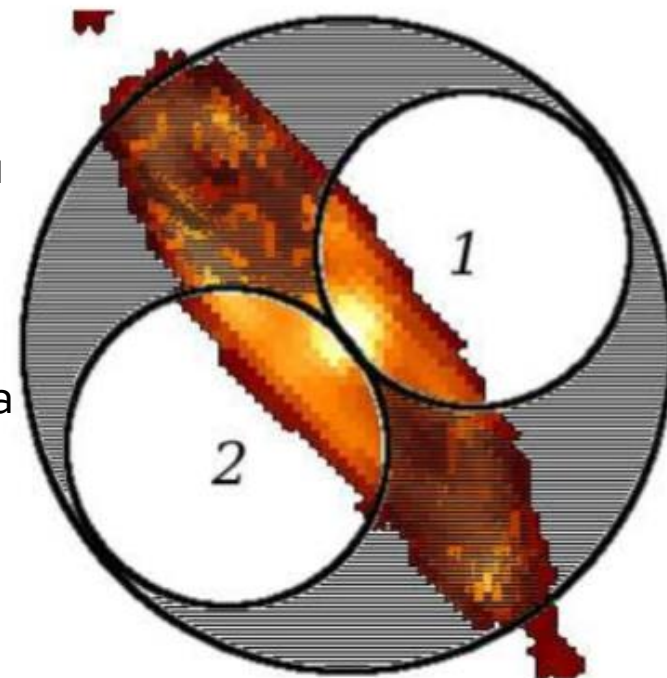
Возраст пузырей в MW от 10 до 100 млн лет.

Возникновение такой структуры может быть связано с прошлой активностью центральной черной дыры.

В Туманности Андромеды – аналогичные структуры (там ЧД на порядок массивнее нашей).

Светимость пузырей в M31 на порядок выше, чем у нас.

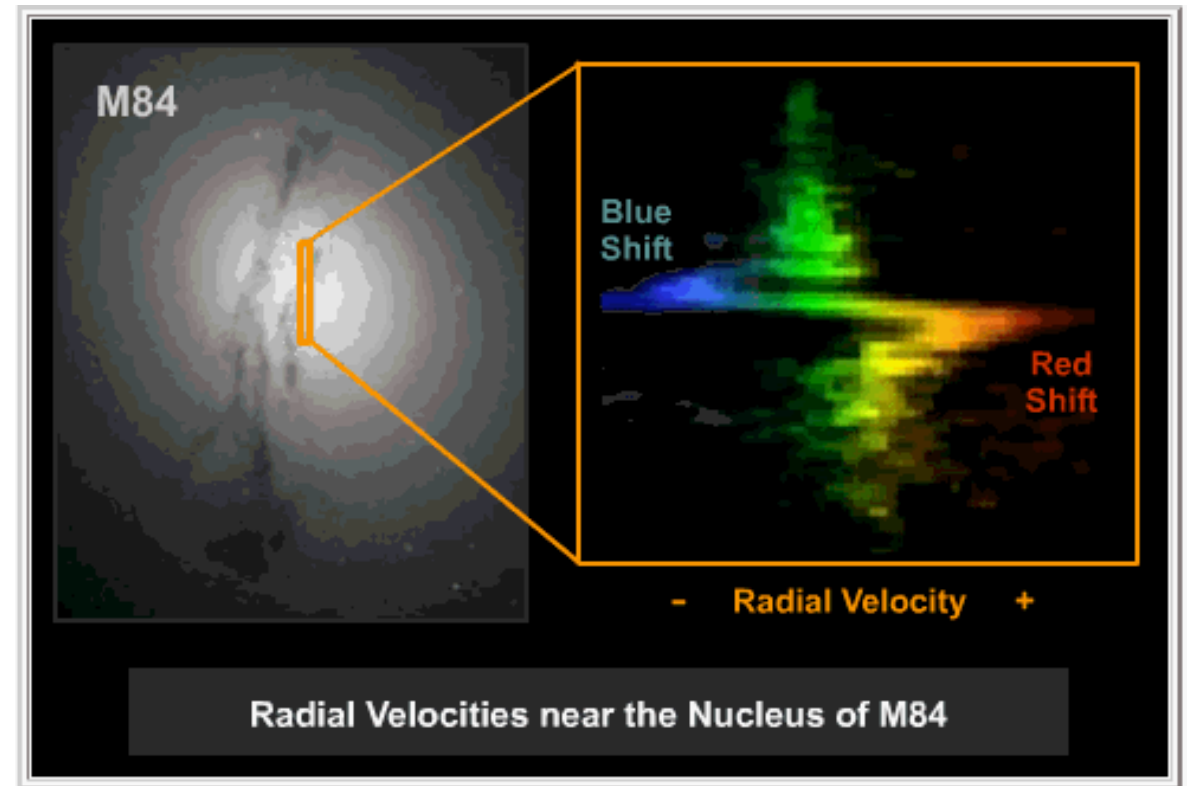
1603.07245

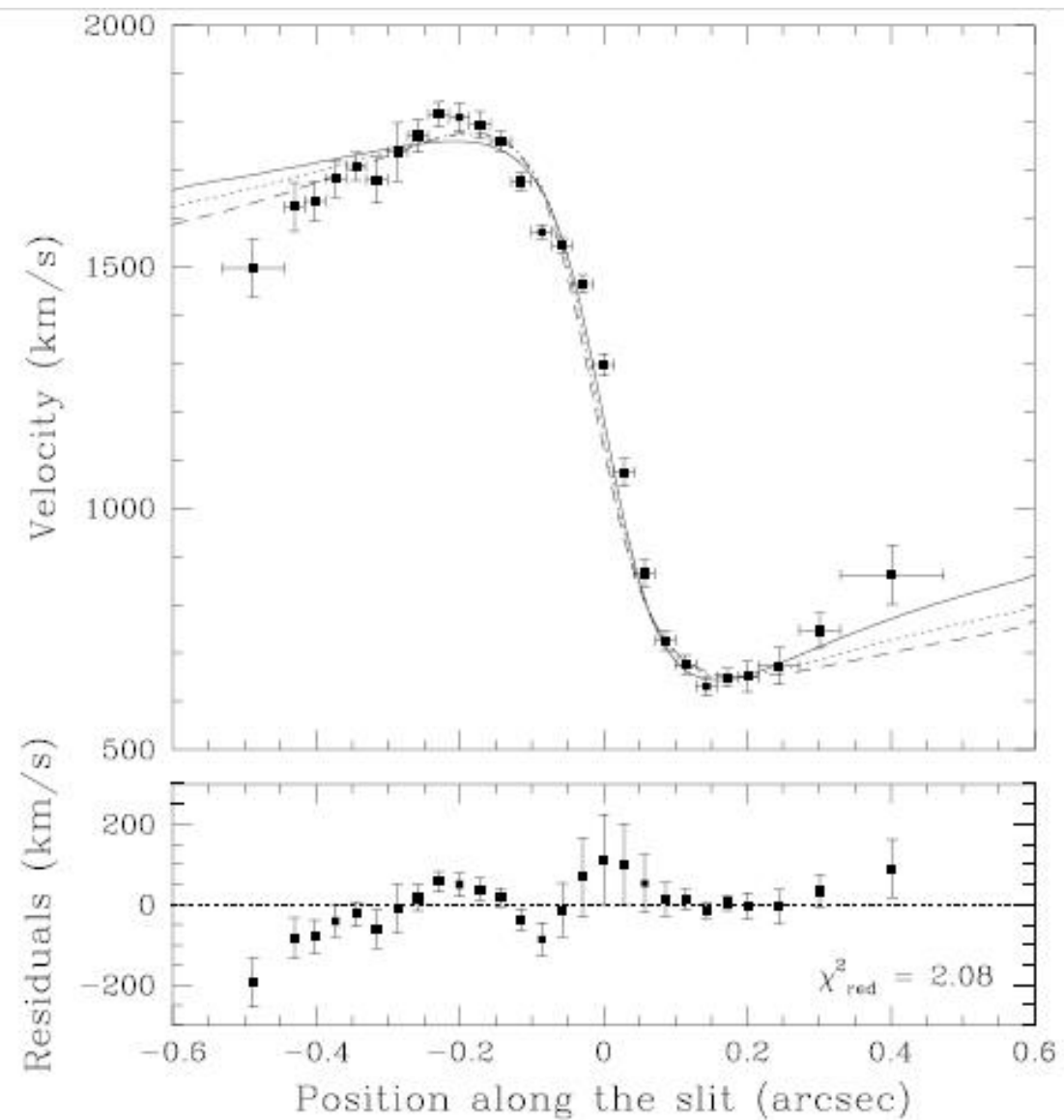


МАССЫ СВЕРХМАССИВНЫХ ЧЕРНЫХ ДЫР

- Соотношение между массой черной дыры и массой балджа
- Измерение орбит звезд и мазерных источников
- Кинематика газа
- Профиль звездной плотности
- Реверберационное картирование

Конечно, всегда можно дать верхний предел на массу, исходя из того, что светимость не превосходит критическую (эддингтоновскую).

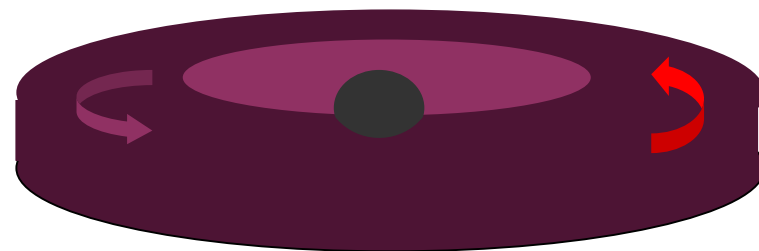


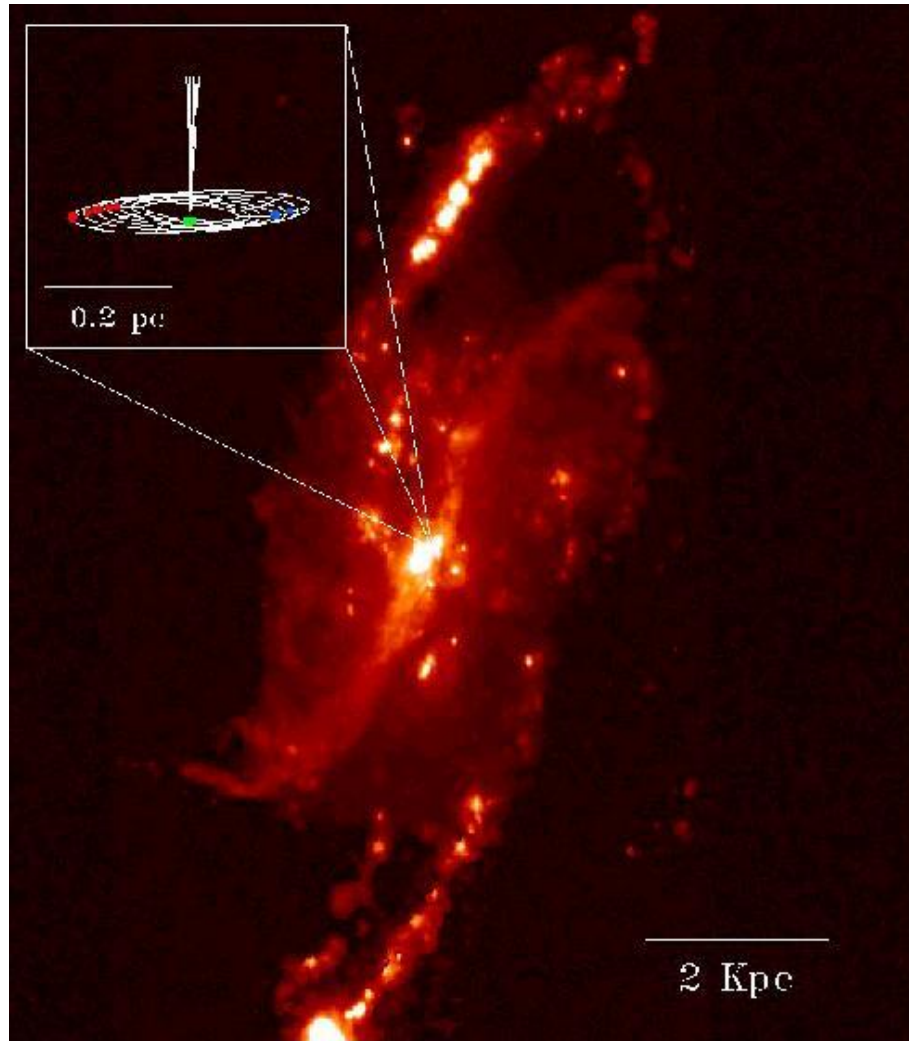


Для M87 скорости газа измерены
внутри одной миллисекунды дуги
(5pc).

Масса $3 \cdot 10^9 M_{\odot}$

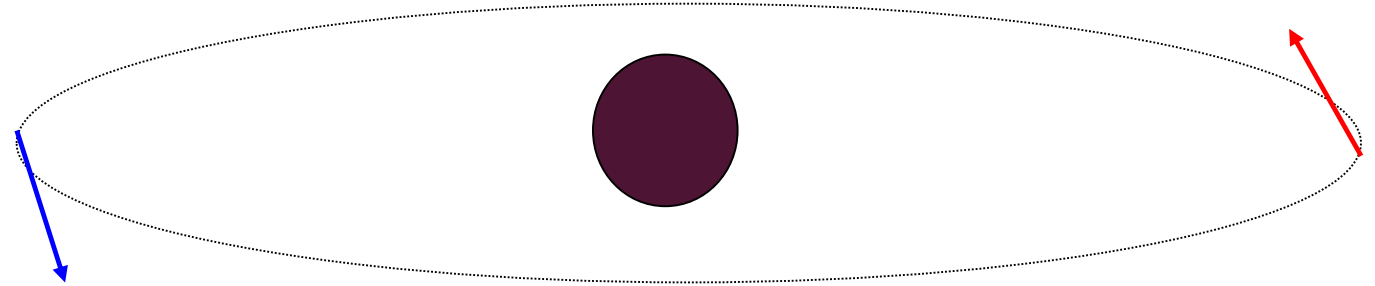
Одна из самых тяжелых черных дыр





Наблюдая движение мазерных источников в галактике **NGC 4258**, стало возможным измерить массу внутри 0.2 пк. Получено значение 35-40 миллионов масс Солнца.

Это наиболее точный метод.





Мы видим, что далекие галактики только формируются.
Они не похожи на симметричные галактики вокруг нас.

ФОРМИРОВАНИЕ ГАЛАКТИК

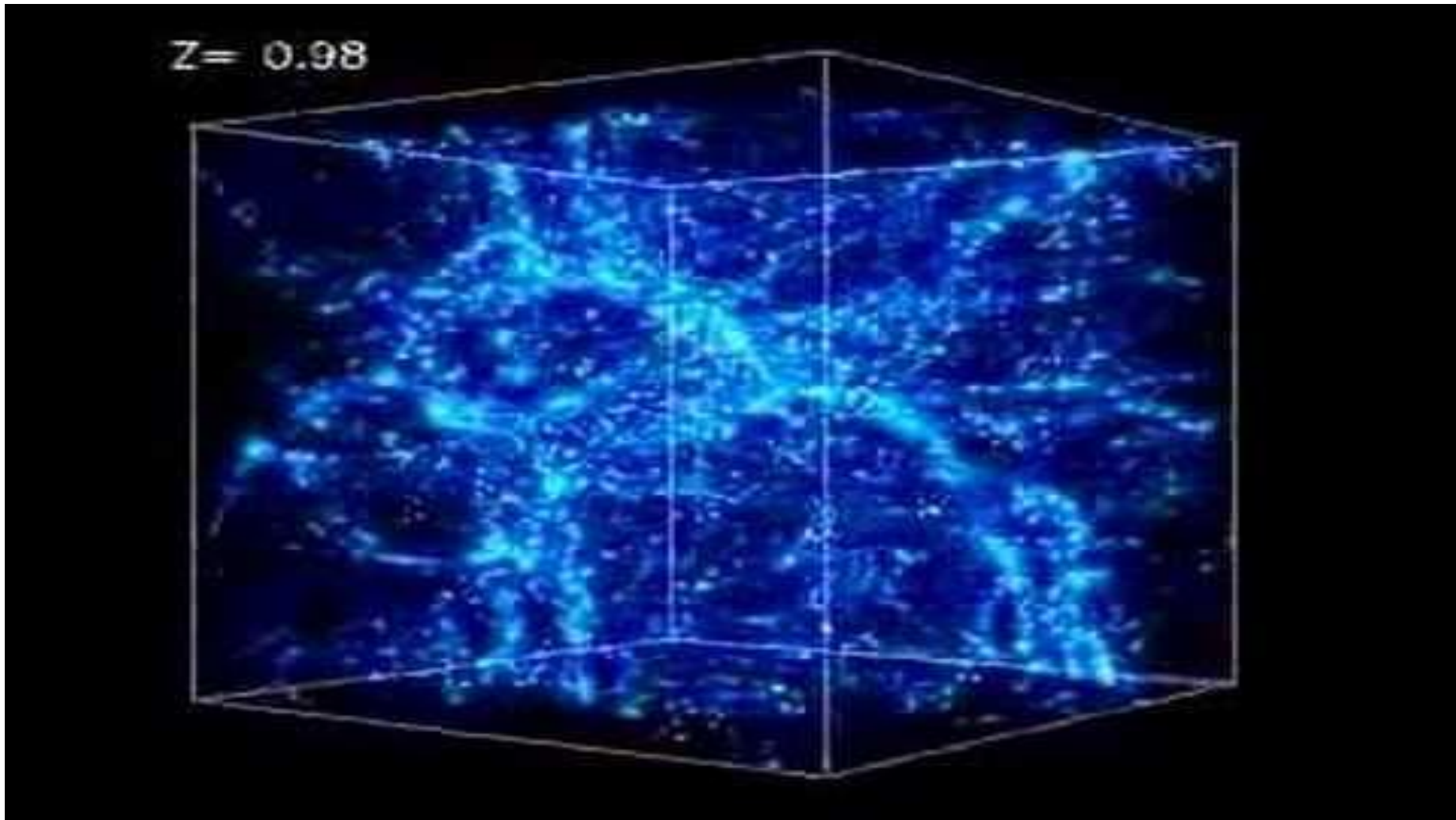
Путь роста массы галактики – «или слияние или поглощение» (с)

«Галактический каннибализм»



КРУПНОМАСШТАБНАЯ СТРУКТУРА

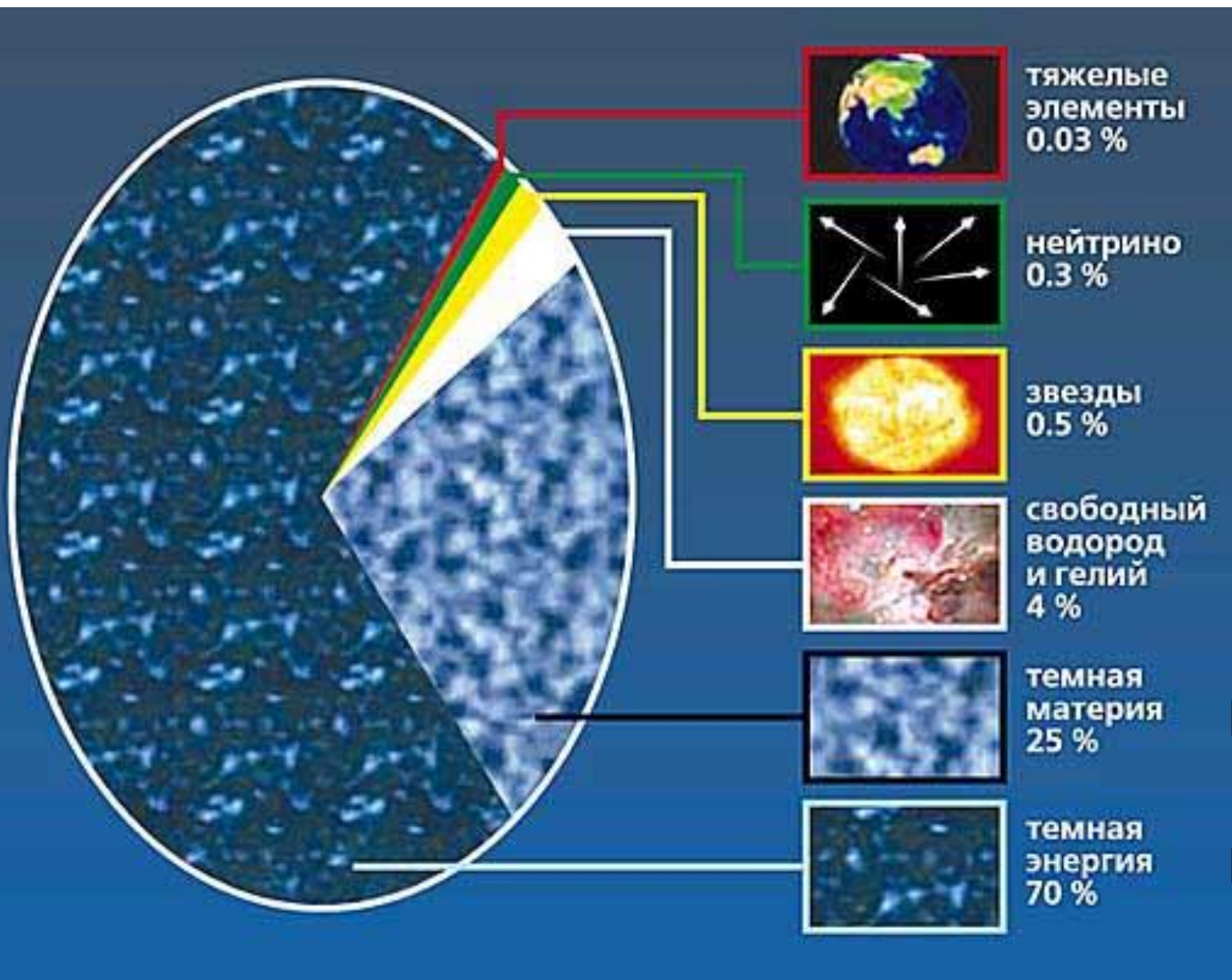
А. Кравцов и др.





Мы видим, что скопления
возникают постепенно.

На больших расстояниях
скопления еще не успели
сформироваться.



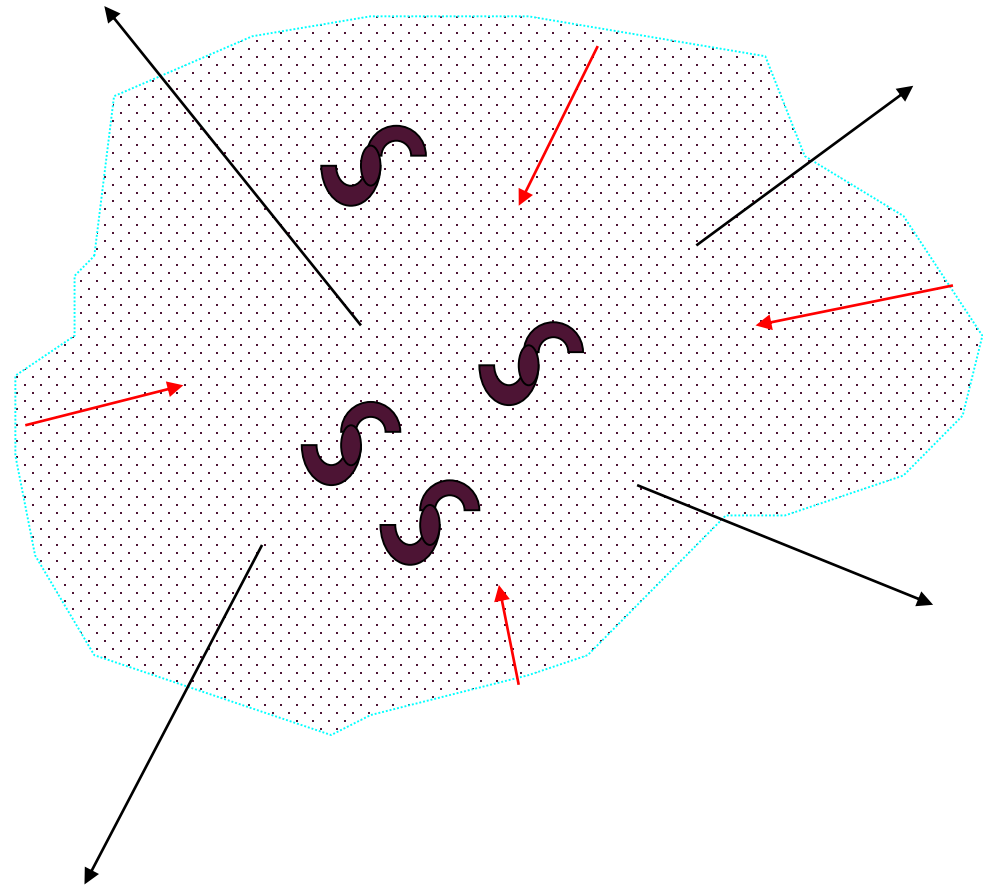
Большую часть материи, заполняющей вселенную, мы можем наблюдать лишь косвенными методами.

Неизвестные частицы

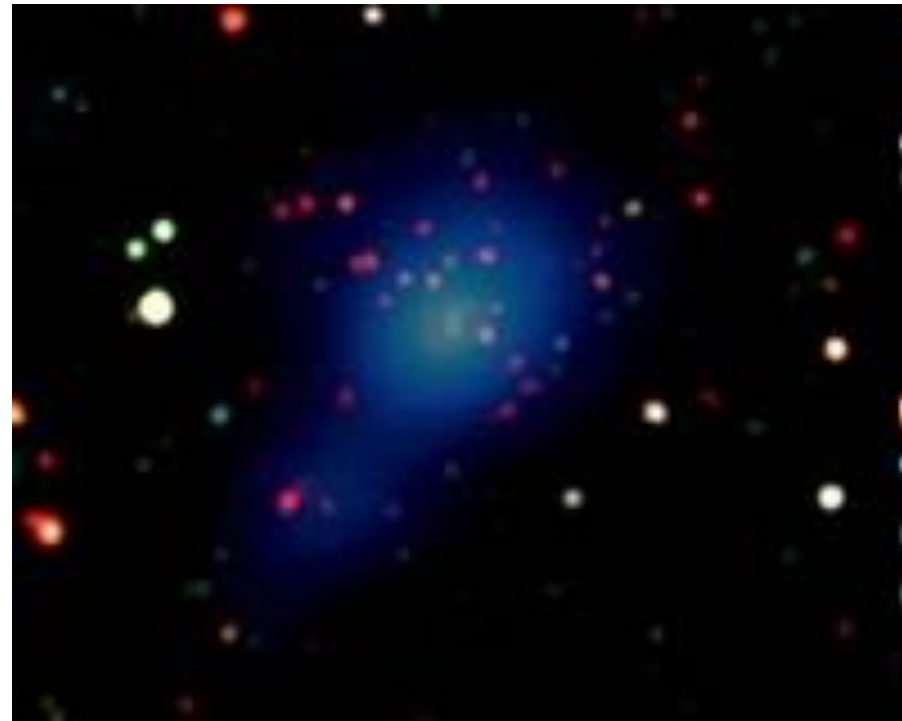
Неизвестные поля или вакуум

МОТИВАЦИЯ ТЁМНОЙ МАТЕРИИ

Сама идея появилась в 30-гг. благодаря работам Фрица Цвикки.



Подсчет массы видимого вещества в скоплениях галактик показывал, что его недостаточно для того, чтобы галактики и газ не разлетелись.



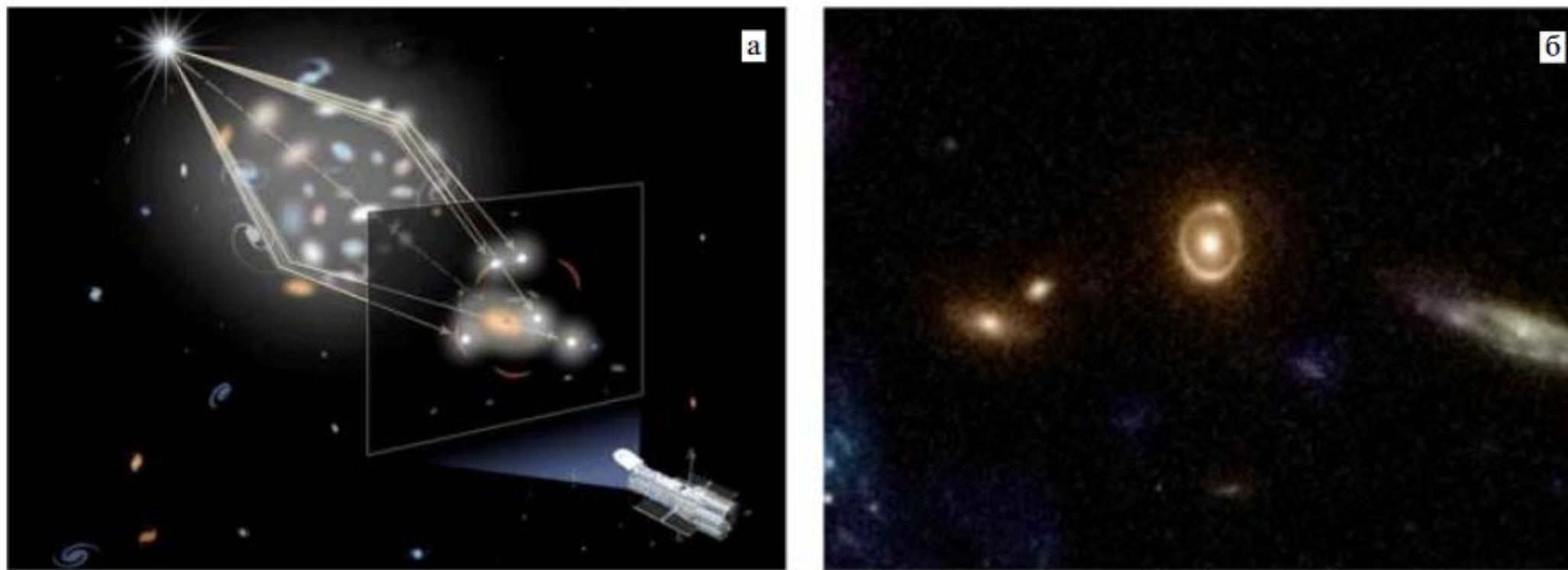
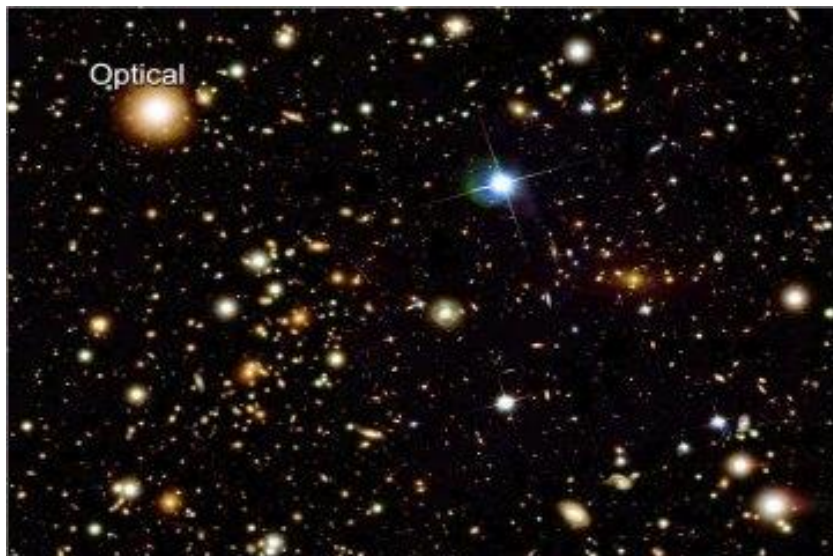
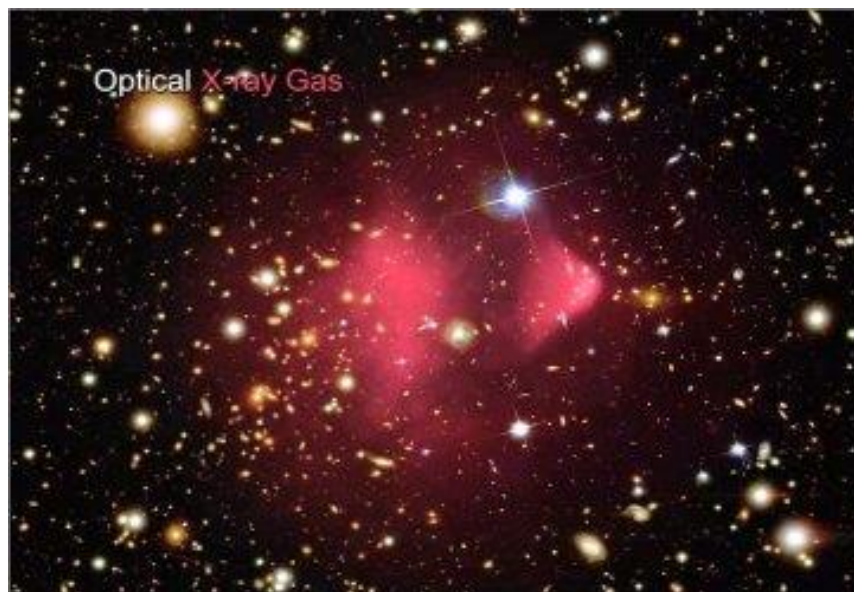
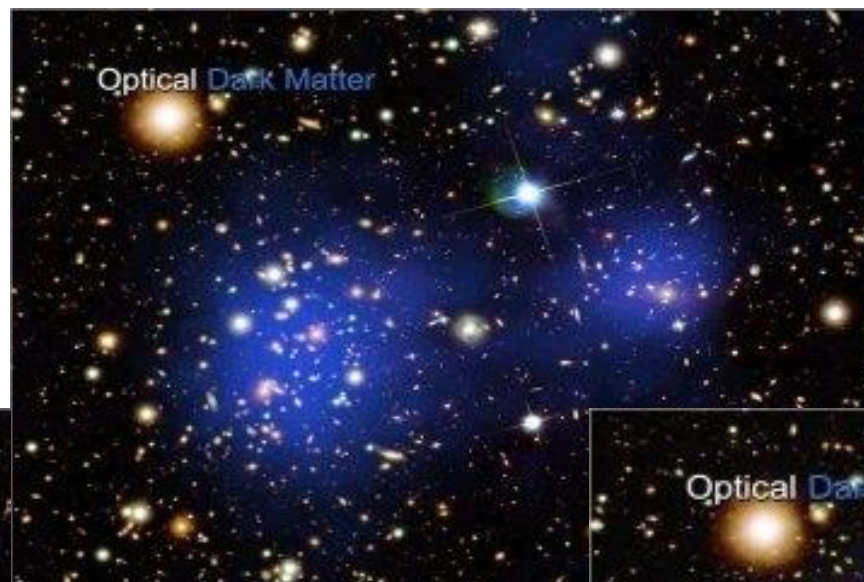


Рис. 16. (а) Иллюстрация хода лучей в гравитационной линзе. (б) Изображение почти идеального кольца Эйнштейна на гравитационной линзе 0038 + 4133 (телескоп Хаббла).

По линзированию проводятся оценки массы как для скоплений галактик, так и для отдельных галактик.



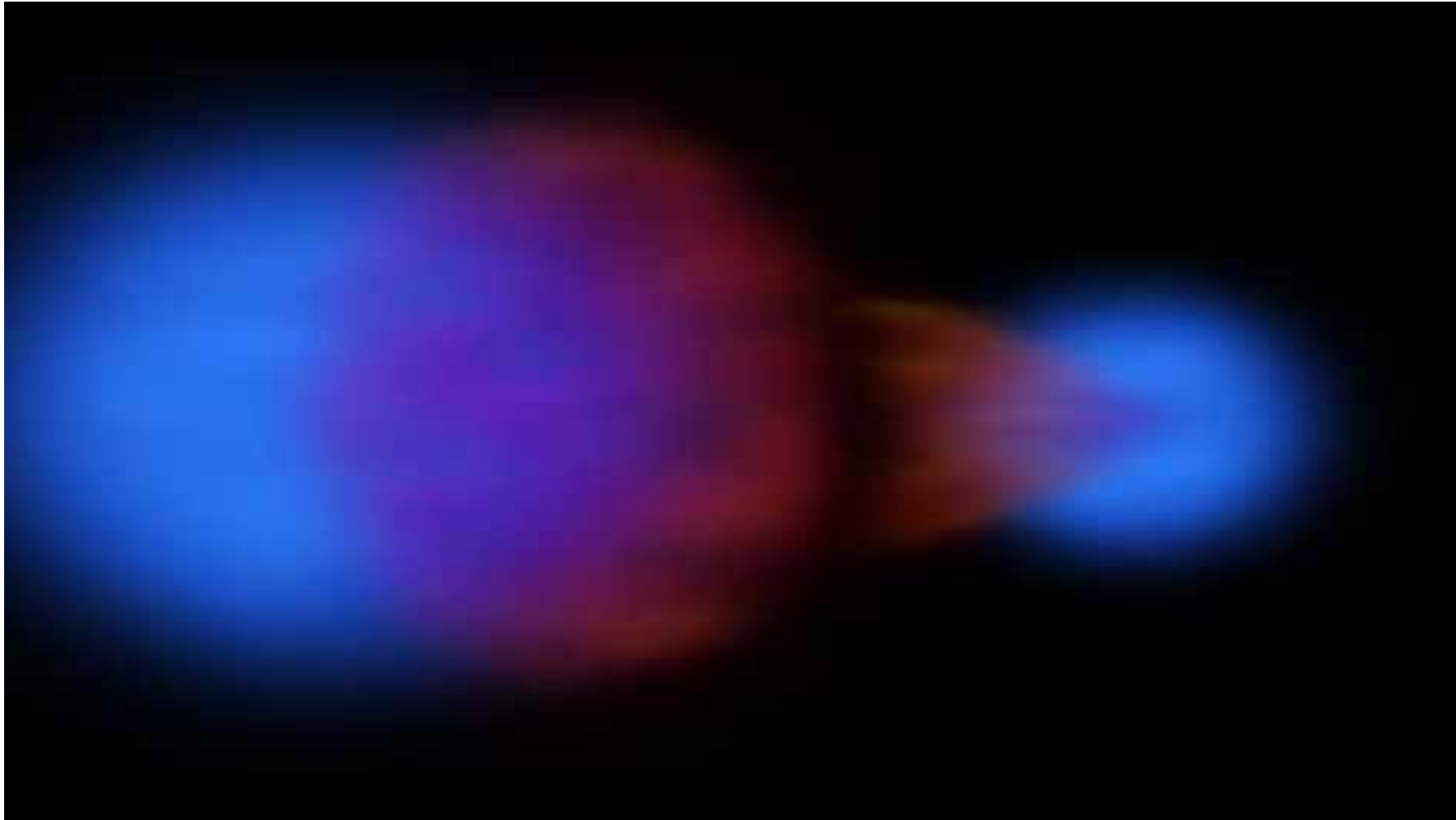
Сталкивающиеся скопления галактик
1E 0657-56 (Bullet cluster)





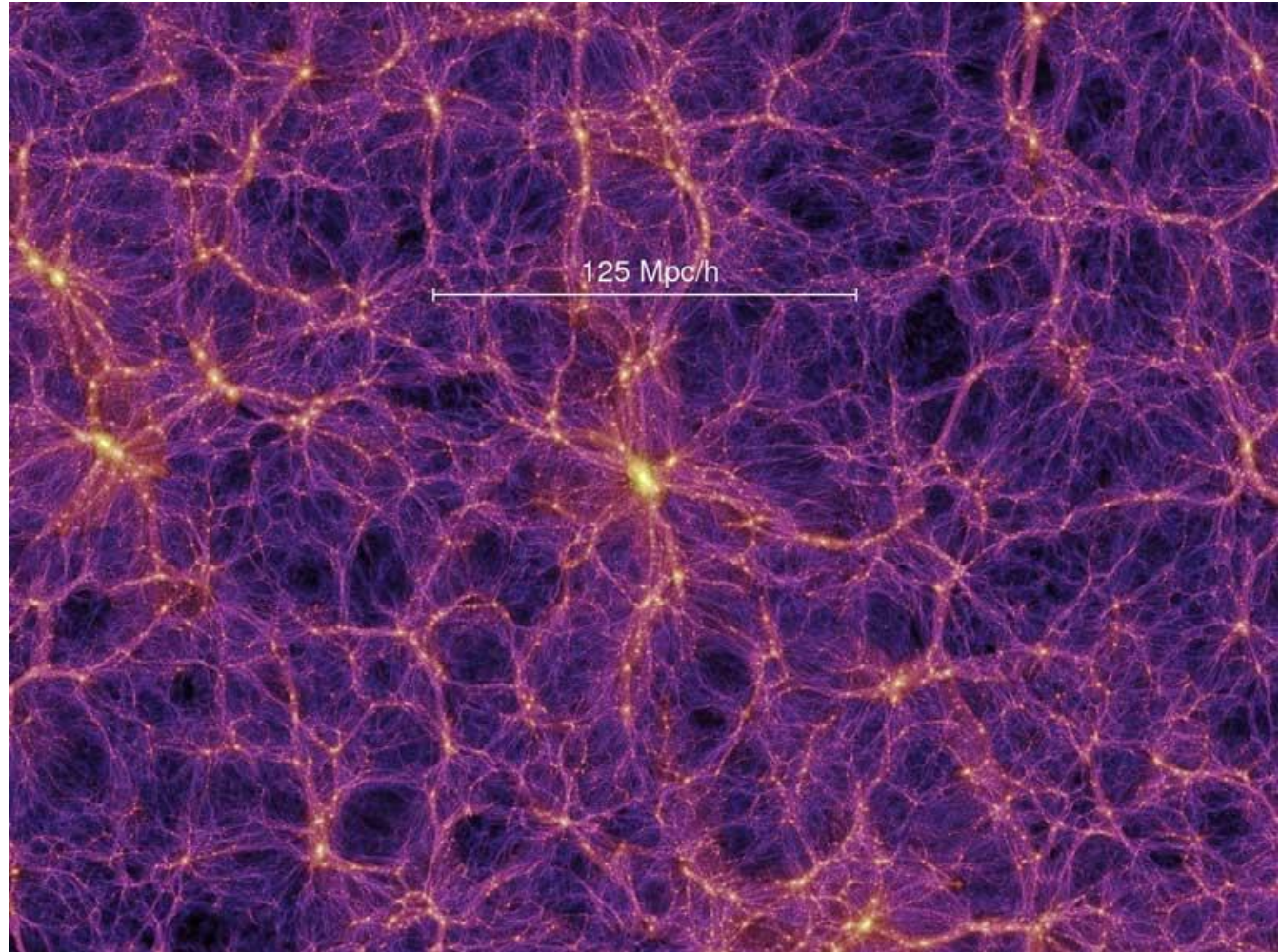
Благодаря эффекту
гравитационного линзирования
мы можем «видеть невидимое»
и измерять его массу!

СТОЛКНОВЕНИЕ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК



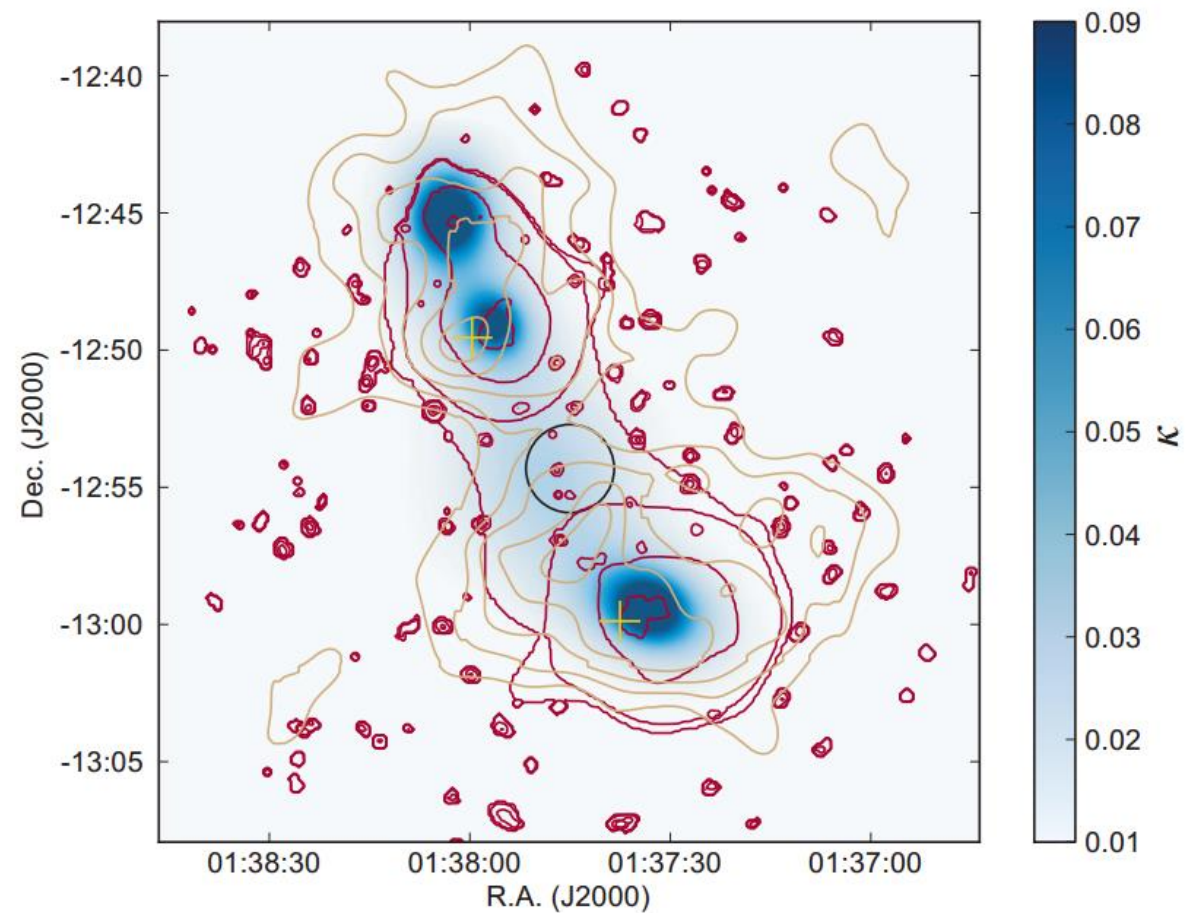
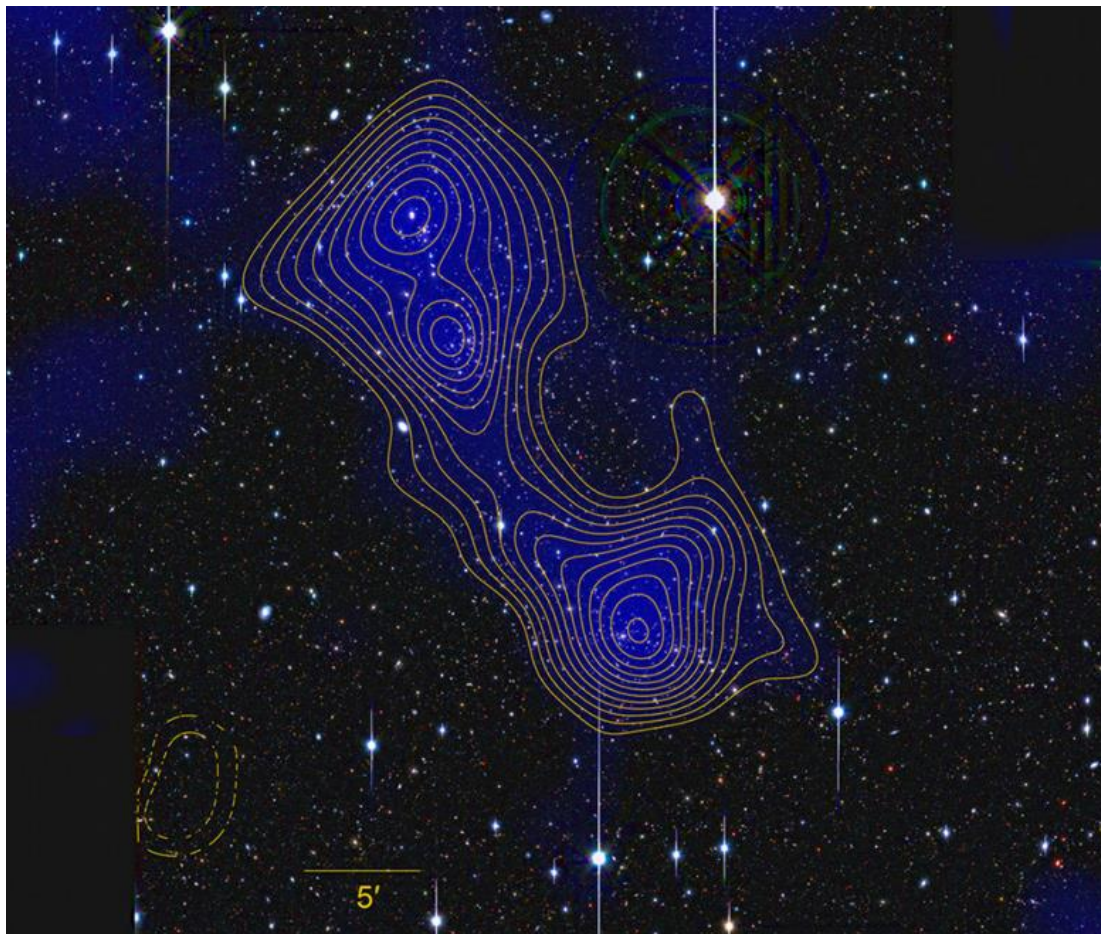
Крупномасштабная структура формируется в основном темным веществом.
Но видим мы галактики, их скопления, горячий газ – т.е., обычное вещество.

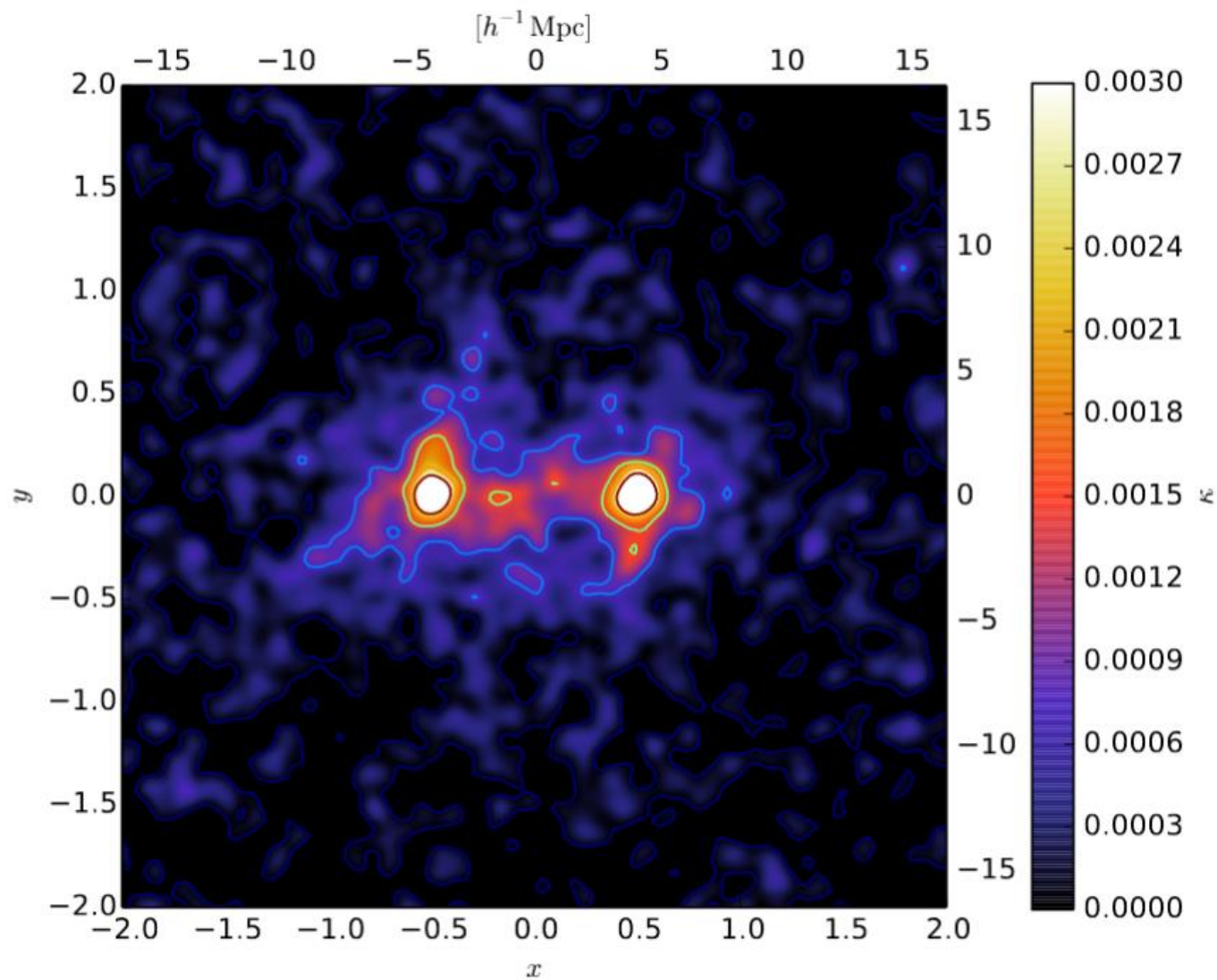
Как увидеть сам скелет вселенной?



ВОЛОКНА ТЁМНОГО ВЕЩЕСТВА

Скопления A222/223. $z \sim 0.2$ Между скоплениями 18 Мпк.
Распределение массы восстанавливается по линзированию.
Массы газа не хватит для объяснения массы волокна.

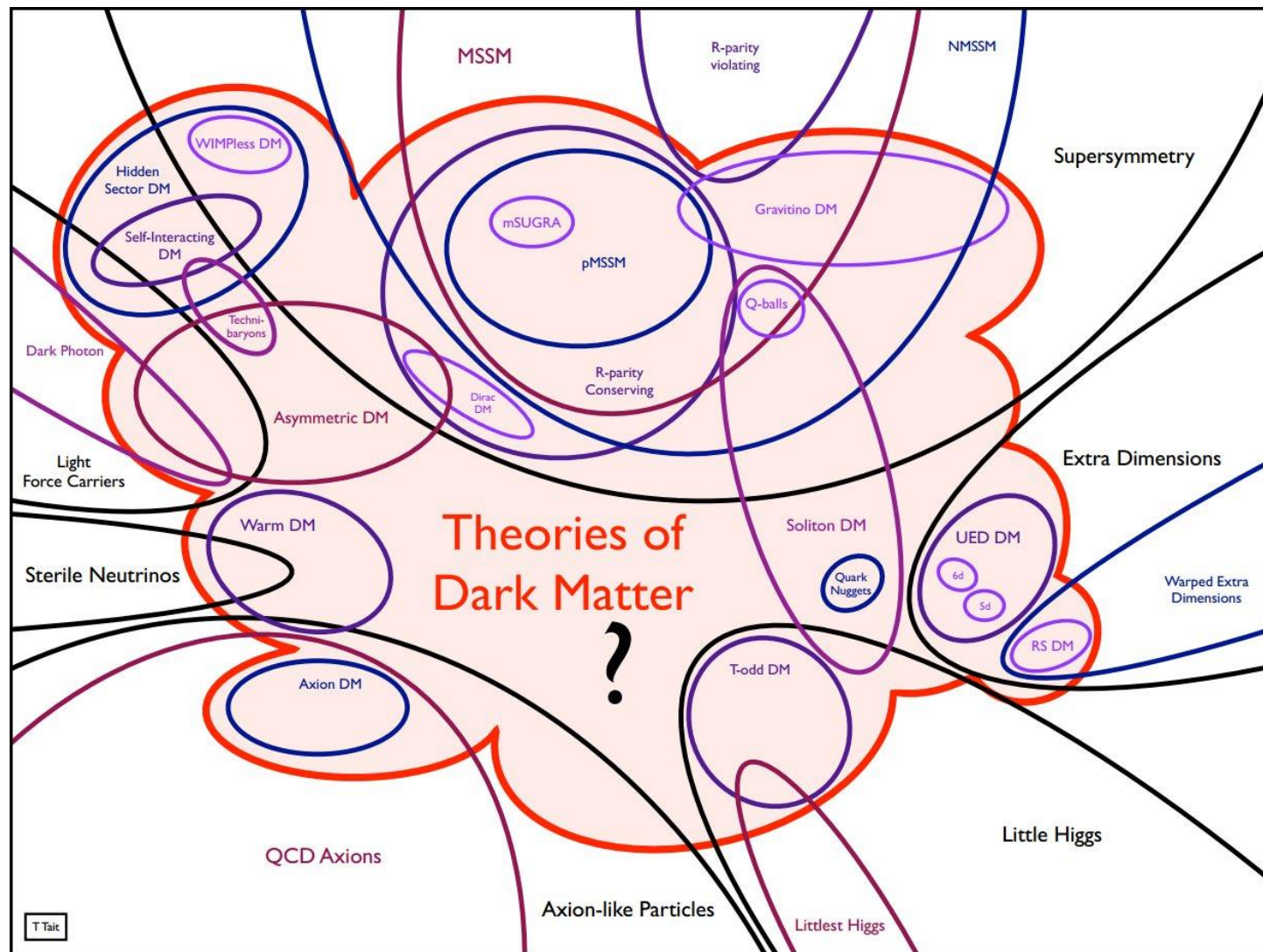




Результат получен не для какой-то конкретной пары галактик, а в результате сложения данных по многим парам.

Распределение массы определено по слабому линзированию.

$(1.6 \pm 0.3) \times 10^{13} M_{\odot}$ for a stacked filament region $7.1 h^{-1} \text{ Mpc}$ long and $2.5 h^{-1} \text{ Mpc}$



ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

Наблюдаемая поперечная скорость отдельных сгустков в джетах многих активных ядер галактик оказывается больше скорости света. Пусть джет направлен под углом θ к наблюдателю, а его скорость $v = \beta c$.

а) получите формулу для наблюдаемого значения $\beta_{\text{app}} = \beta_{\text{app}}(\beta, \theta)$

б) при каком θ величина β_{app} максимальна (для данного β) и чему она равна?

Superluminal Motion in the M87 Jet

