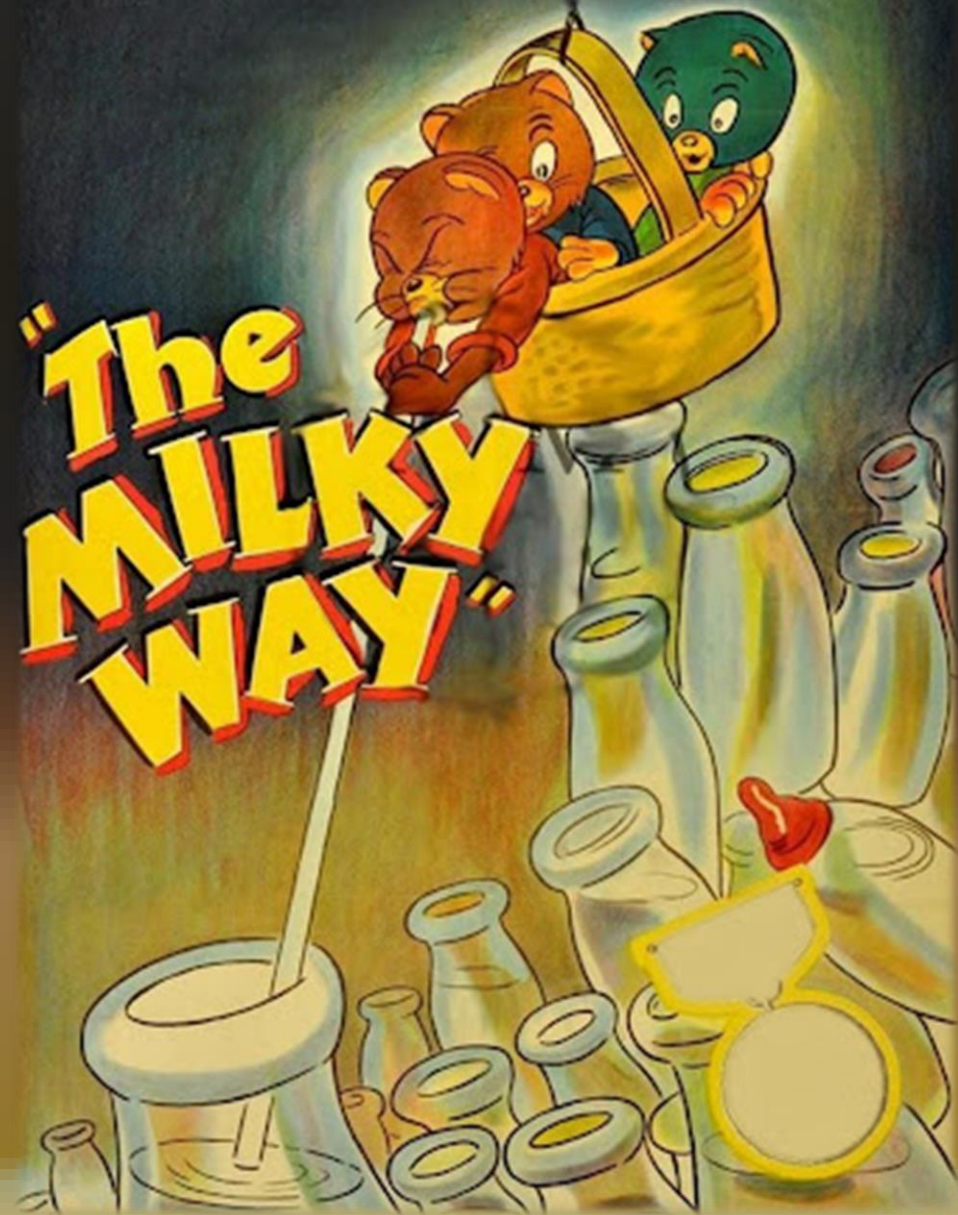
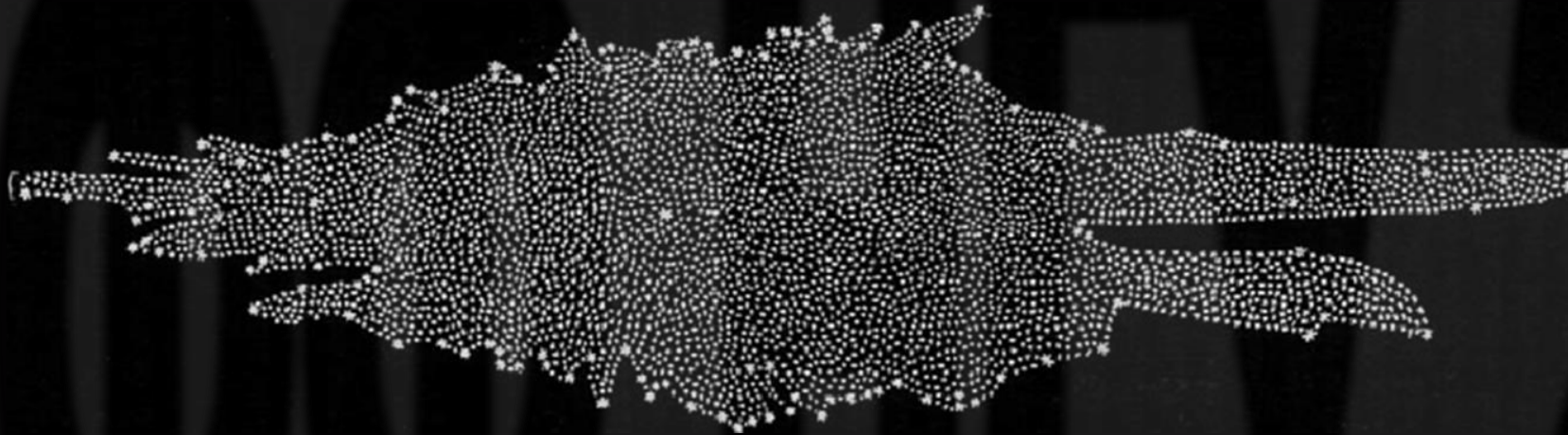


Лекция 12
Млечный Путь
ФФ НГУ, 2024

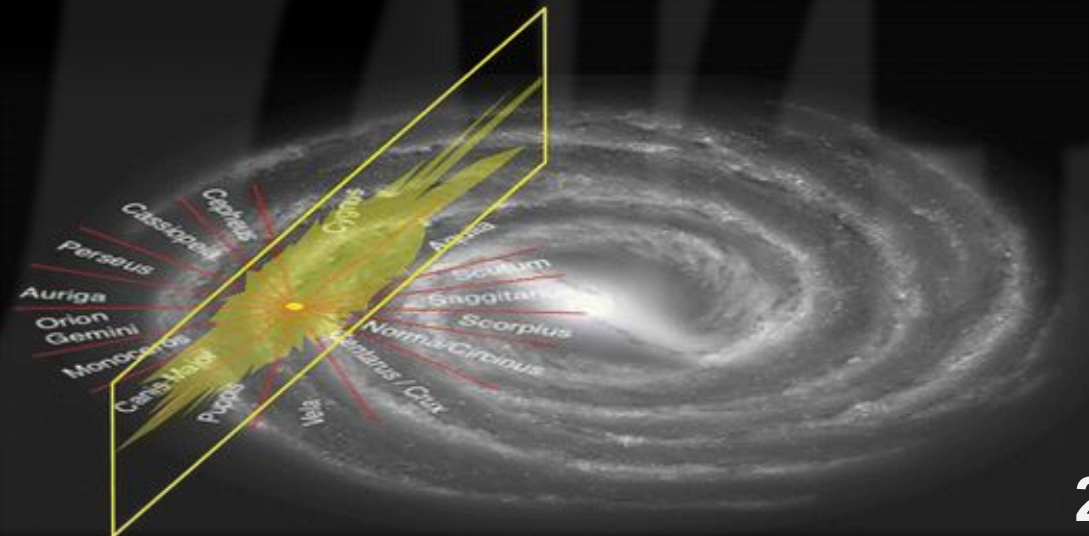


Структура Галактики

Сечение Галактики, определенное Вильямом Гершелем в 1756 году методом «черпаков».

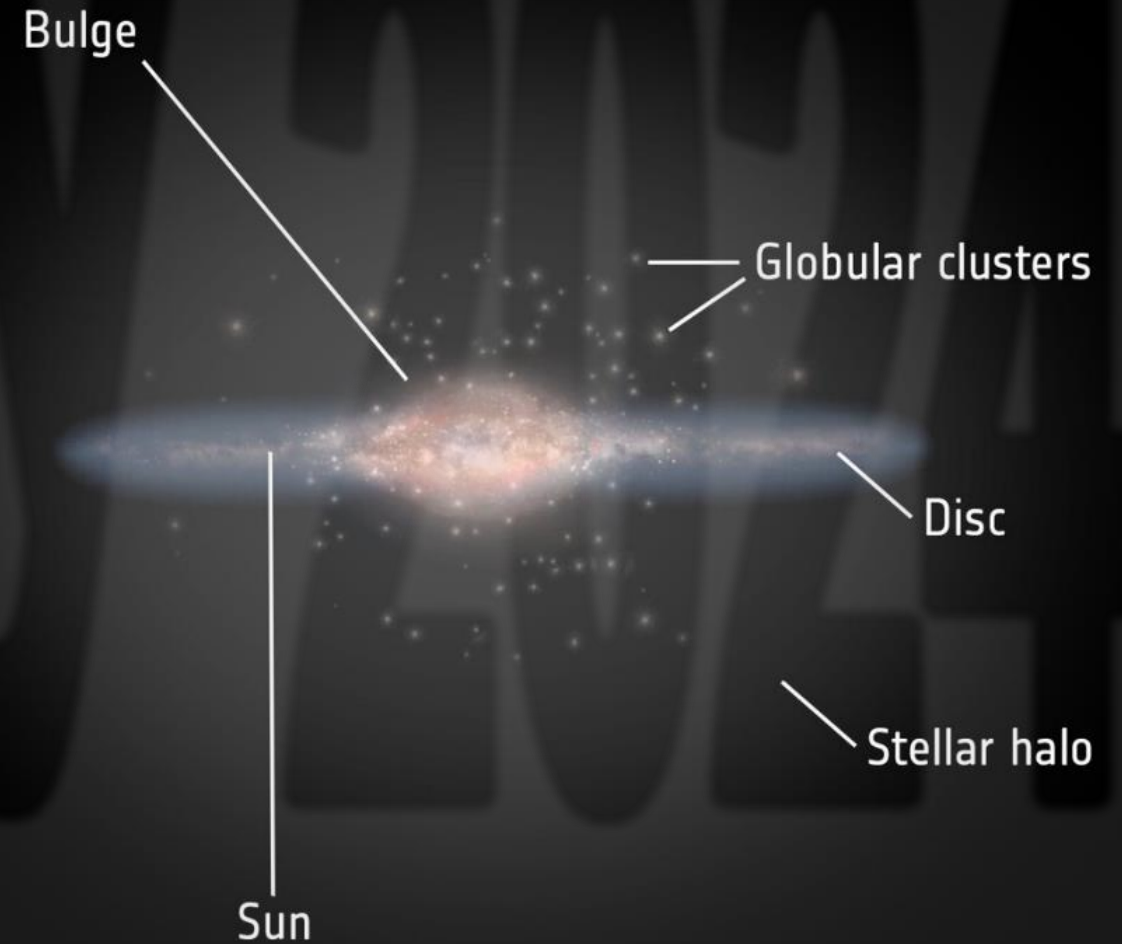
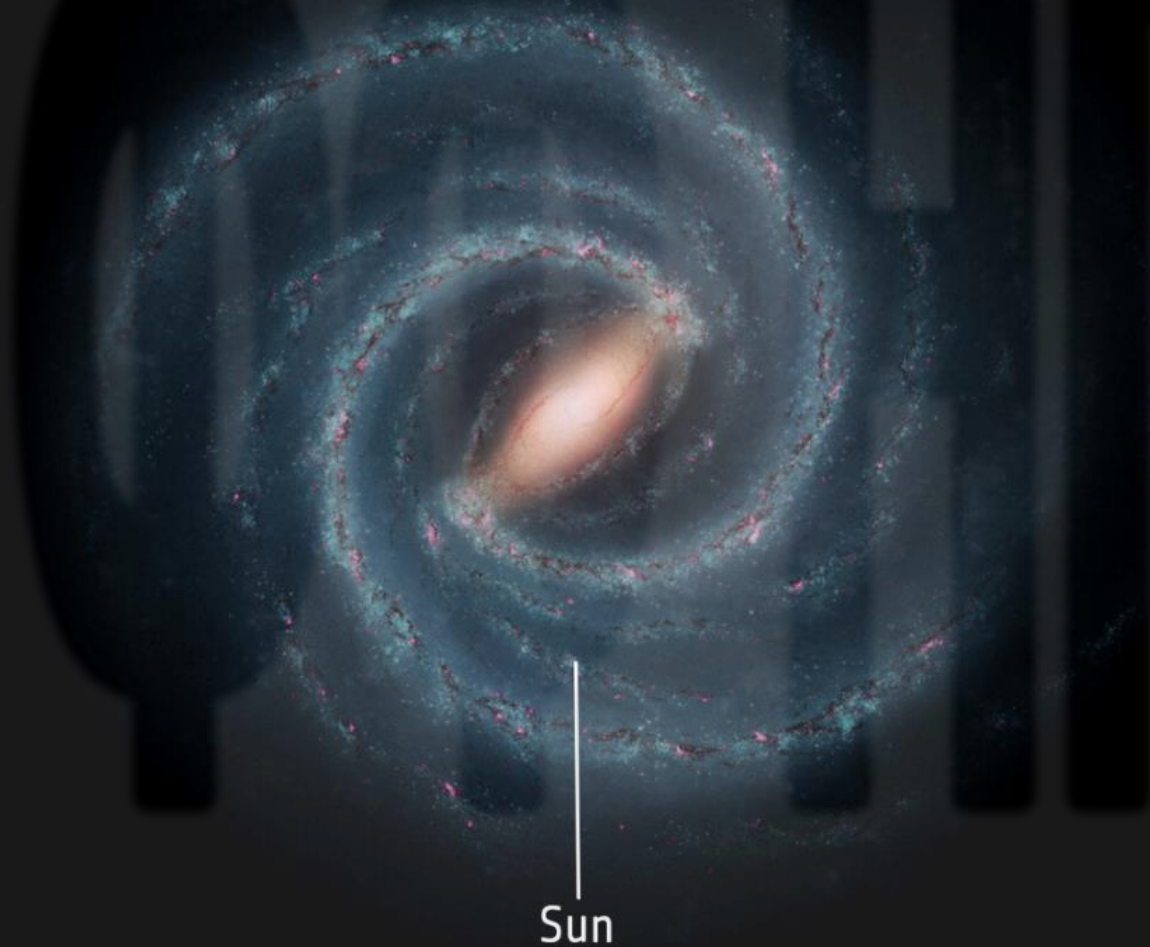


Определялось число звезд в поле зрения телескопа. Предполагая равномерное распределение, считалось, что изменение числа звезд связано с большей протяженностью Галактики в этом направлении.



Структура Галактики

→ ANATOMY OF THE MILKY WAY



Размеры Галактики

Первые систематические оценки линейных размеров Млечного Пути были сделаны Якобом Каптейном (Jacobus Kapteyn) и Харлоу Шепли (Harlow Shapley) независимо и разными методами в начале XX века.

Каптейн использовал по сути тот же метод Гершеля подсчета звезд в различных направлениях, с дополнительными предположениями о средней светимости звезд. В результате он заключил, что Солнце находится практически в центре Галактики, радиус самой Галактики составляет примерно 8.5 кпк.

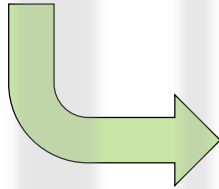
Шепли использовал переменные звезды типа RR Lyr в шаровых звездных скоплениях основываясь на связи период – светимость. Шепли установил, что распределение скоплений имеет сферическую форму с центром в направлении созвездия Стрельца. Из-за межзвездного поглощения, которое он не учитывал, его оценки расстояний оказались завышены примерно в два раза от современных: радиус галактики составляет около 100 кпк.

В обоих случаях причина погрешностей была связана с межзвездным поглощением света. В итоге, оценки размеров Галактики, полученные Каптейном и Шепли расходились почти в 10 раз!

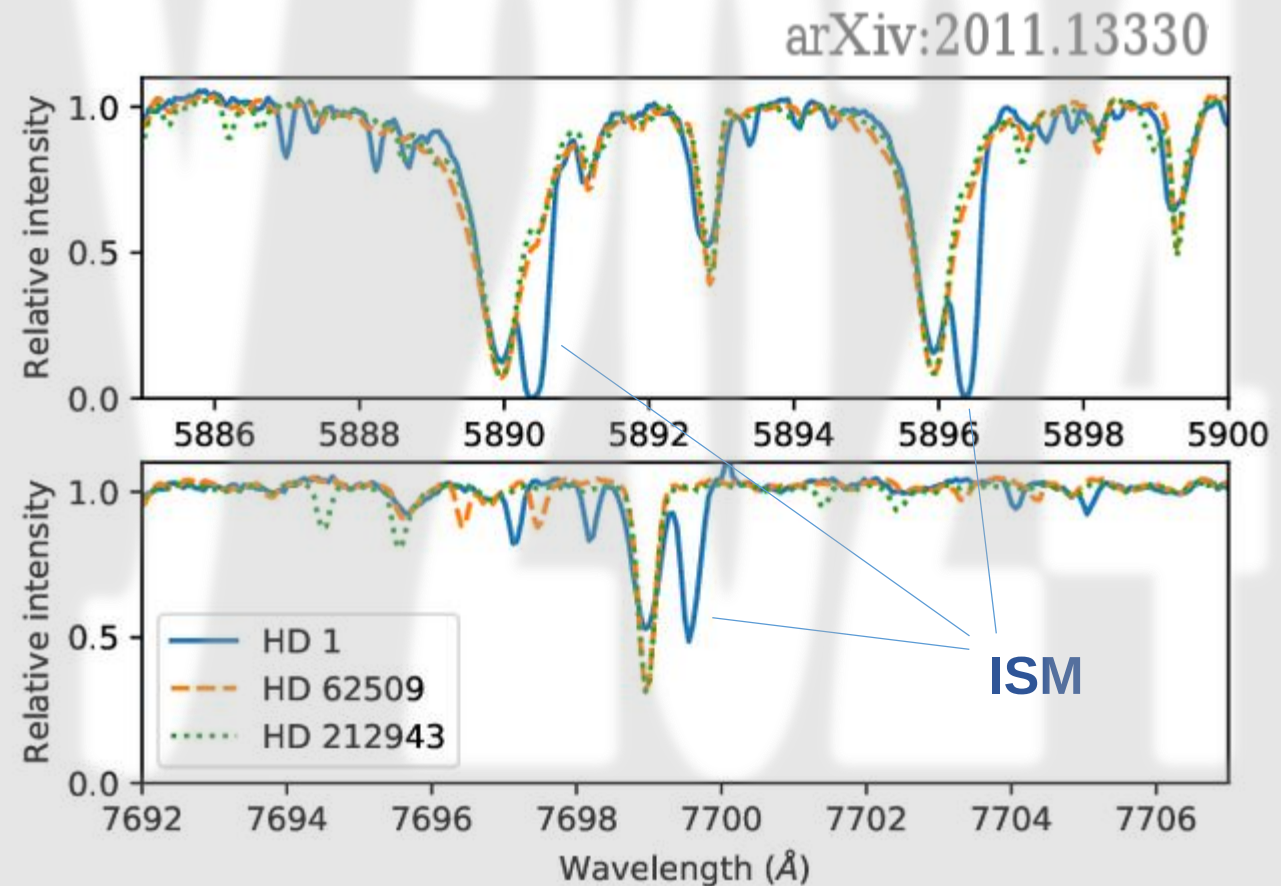
Межзвездная среда

В течение сотен лет считалось, что пространство между звездами совершенно пусто. В 1904 году Иоганн Гартман проводя спектральные исследования звезд заметил, что в иногда некоторые линии спектра имеют доплеровский сдвиг, отличающийся от сдвига всего спектра. Это наблюдение было интерпретировано как поглощение в межзвездной среде «по дороге» от звезды к нам.

Дополнительные линии межзвездного поглощения Na и K в спектре звезды HD 1 (синяя линия), имеющие доплеровский сдвиг, отличный от сдвига спектра самой звезды.



Для сравнения приведены спектры звезд HD 62509 (β Gem) и HD 212943 (35 Peg) имеющих тот же спектральный класс.



Межзвездное поглощение света

С одной стороны межзвездная (и межгалактическая) среда – важнейшая составляющая галактик и Вселенной в целом, и сама по себе является предметом активных исследований, с другой – существенно усложняет изучение практически всех объектов.

Прямое измерение межзвездного поглощения чрезвычайно трудоемкая задача. За исключением редких случаев прямого измерения поглощения при наблюдении конкретного объекта, эффект поглощения учитывается статистически.

По наблюдениям нашей и других галактик, подобных Млечному Пути строятся модели распределения звезд и межзвездного вещества, а затем сравнивается видимое распределение звезд нашей галактики (на которое уже влияет поглощение) с предсказанием модели. Процесс проводится итерациями до достижения согласия данных различных наблюдений и модели.

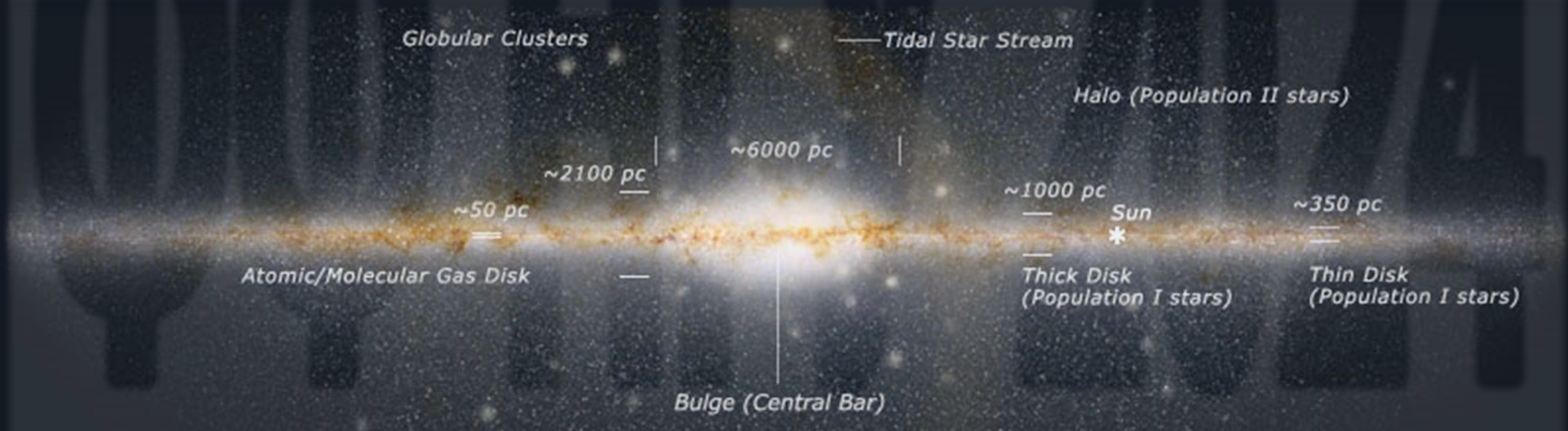
Несмотря на существенный прогресс в этом направлении, неопределенности в межзвездном поглощении все еще остаются одним из самых существенных источников систематических погрешностей.

Структура Галактики: диск

В структуре диска Галактики различают тонкий и толстый диски. Радиус диска ~ 20 кпк

В тонком диске находится основная масса пыли, газа и звезд. Толщина тонкого диска ~ 0.35 кпк.

Средняя плотность звезд в толстом диске в ~ 12 раз меньше. Толщина толстого диска ~ 1.0 кпк.



Солнце расположено в тонком диске на расстоянии ~ 30 кпк от срединной плоскости Галактики.

Спиральная структура

На изображениях спиральных галактик наиболее выраженной структурой кажется собственно их спиральные рукава. Эффект усилен тем, что именно в этих областях идет активный процесс звездообразования, молодые массивные звезды имеют высокую светимость, в результате, несмотря на их сравнительно малую долю от общего числа звезд, спиральная структура ярко выражена, особенно в синей части спектра. Распределение старых (более красных) звезд гораздо более равномерно по плоскости диска.

2 рукава ("The Grand Design")



NGC 5194

4 рукава



NGC 5457

Множество коротких «обрывков»



NGC 2841

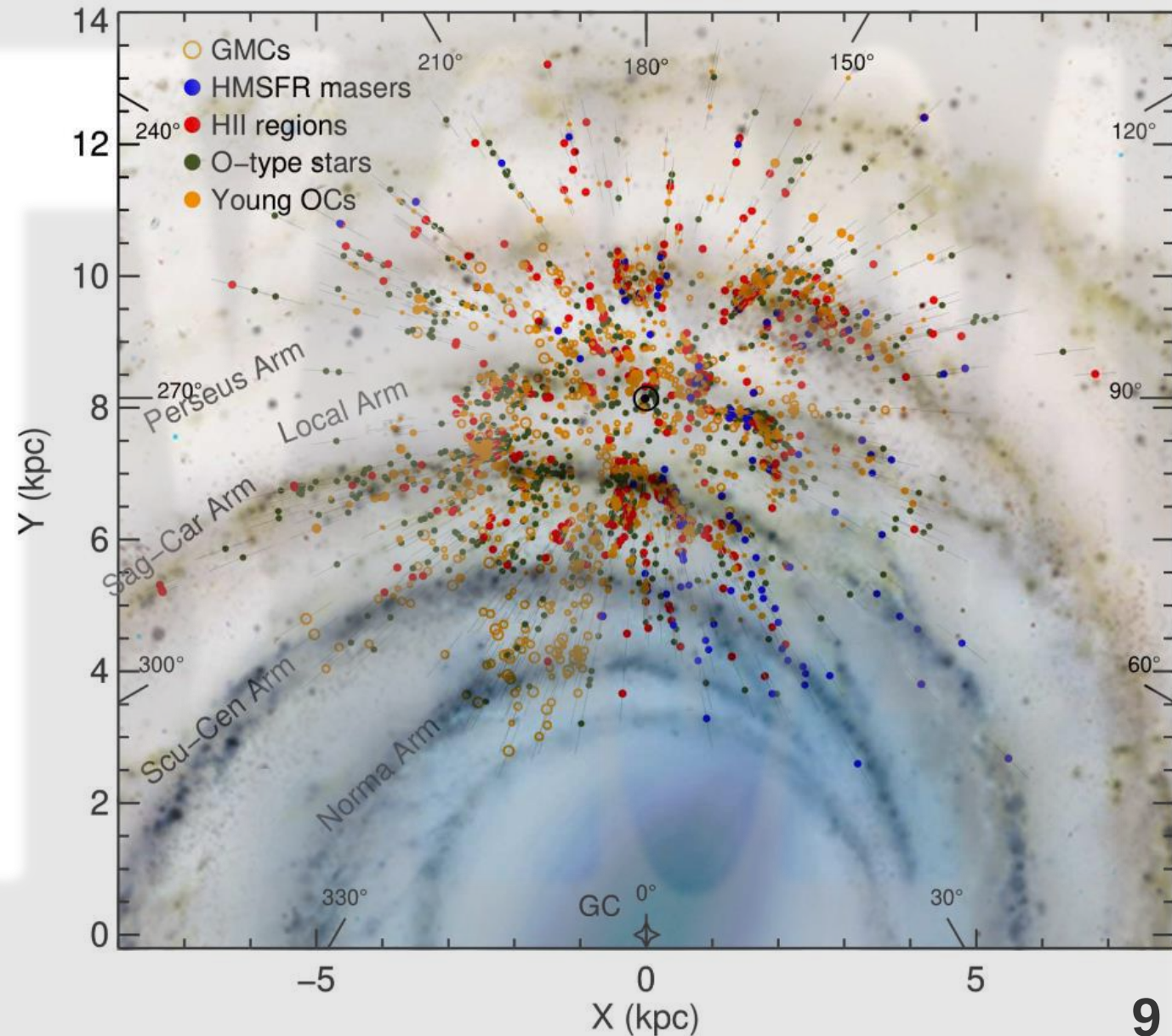
Рукава / Спирали

arXiv:2110.04446

Определение спиральной структуры Галактики сильно осложняется тем, что Солнечная система сама находится в диске, а также большим межзвездным поглощением в плоскости Галактики.

В 1950-х было обнаружены сегменты трех спиральных рукавов в окрестности Солнца.

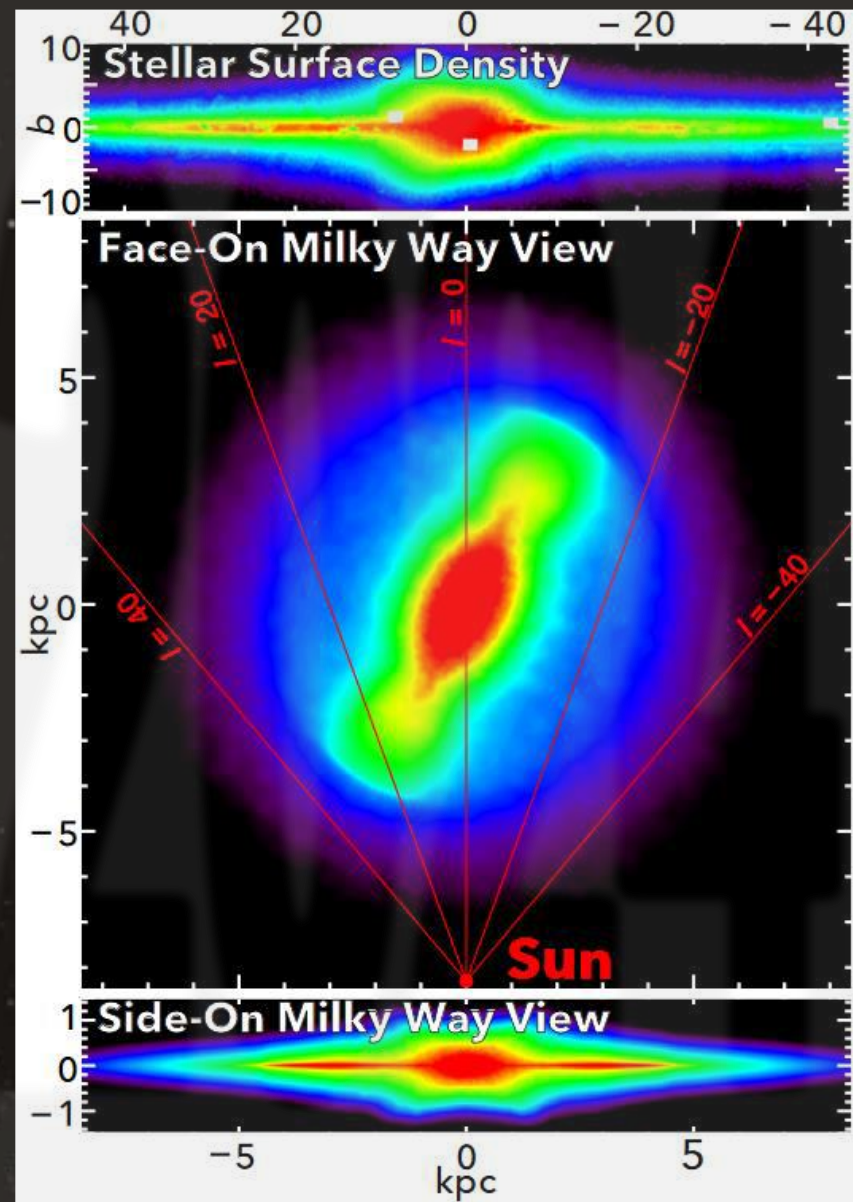
В настоящее время у нас есть более-менее надежная информация лишь о локальной структуре спиралей. Возможно, данные спутника GAIA расширят наши возможности на большую область Галактики.



Галактический бар



2012.10130



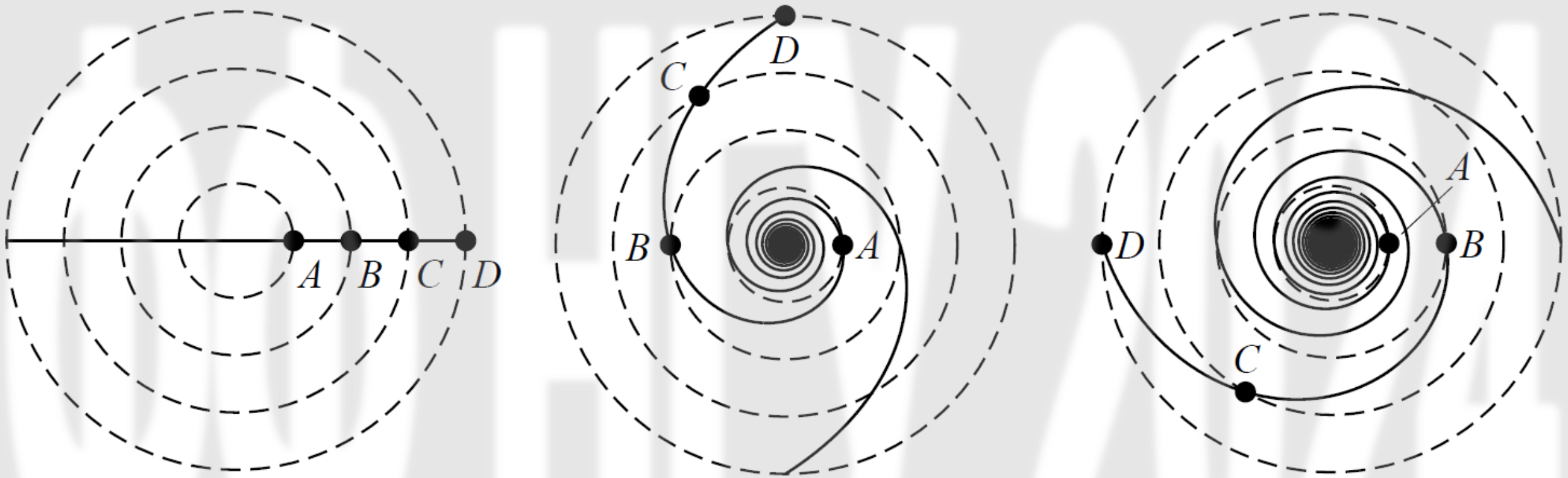
Галактический бар



NGC 1300

У некоторых спиральных
галактик бар более выражен.

Спирали: проблема накручивания



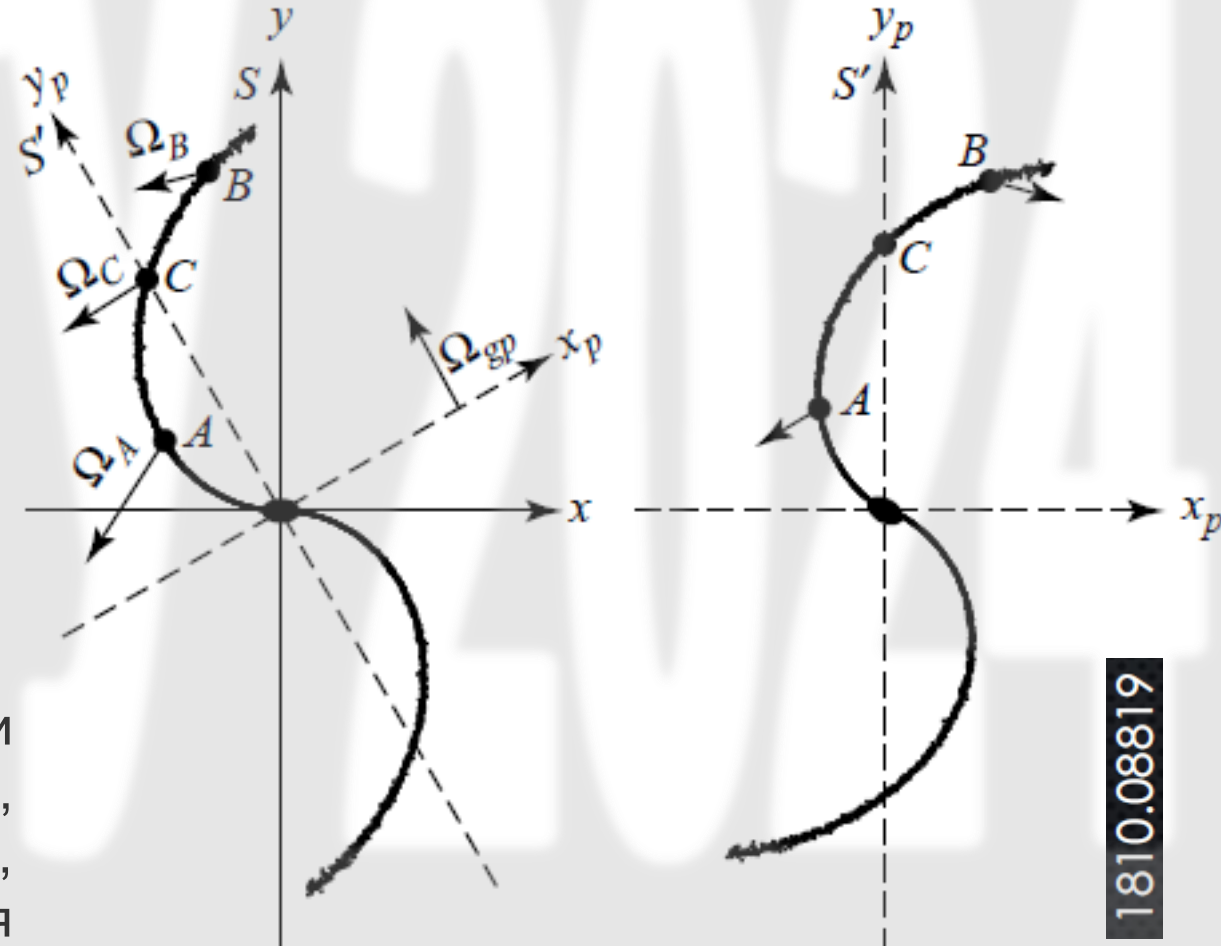
Предположим, что состав звезд, входящих в рукав не меняется, т.е. одни и те же звезды находятся в рукаве. Тогда из-за того, что период обращения звезды увеличивается с расстоянием до центра, за короткое по сравнению с возрастом галактики время, спирали «намотаются» очень плотно, и станут неразличимы. Это не согласуется с наблюдениями – проблема накручивания.

Спирали: модель С. Lin и F. Shu

Спирали – это квазистатические волны повышенной ($\sim 20\%$) **плотности** материи и существует вращающаяся система отсчета (с угловой скоростью Ω_{gp}), в которой глобальный спиральный «узор» покоится.

Вблизи центра галактики угловая скорость звезд меньше Ω_{gp} и звезды догоняют рукав, на больших расстояниях – наоборот. Радиус, на котором угловые скорости спиралей и звезд совпадают называется радиусом коротации.

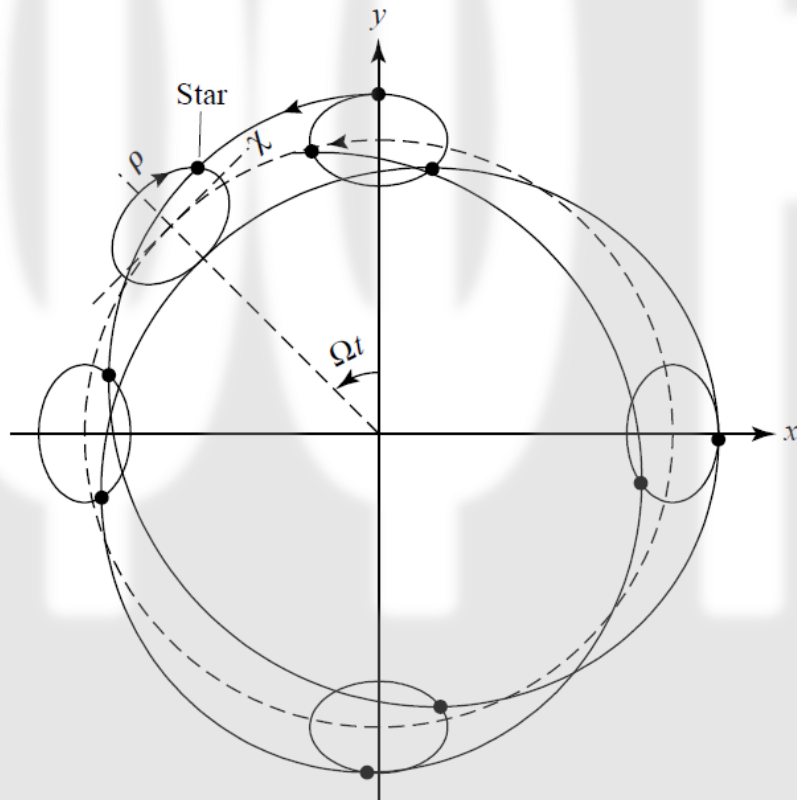
Это же относится и к облакам газа и пыли. При входе в рукав – область повышенной плотности, облако испытывает гравитационное возмущения, развивается турбулентность, выполняются условия Джинса, начинается коллапс...



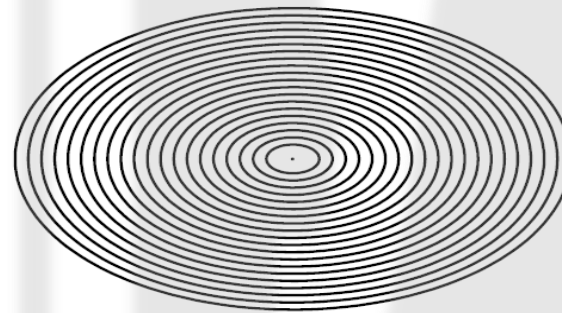
Спирали: модель С. Lin и F. Shu

Детальный анализ устойчивости звездных орбит в гравитационном поле диска показывает, что звезда может совершать колебания относительно невозмущенной круговой орбиты (аналог эпициклов Аристотеля) во всех трех направлениях: радиальном, азимутальном и перпендикулярно диску. В общем случае частоты колебаний не связаны друг с другом.

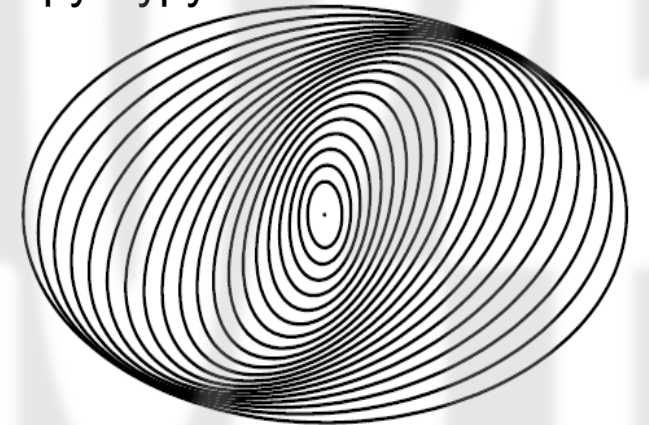
В результате орбита звезды становится эллипсоподобной и не замкнутой.



Если большие оси эллипсов согласованы и прецессия орбит синхронизована, то можно получить бар-подобную структуру



Если ось каждой следующей орбиты повернута относительно предыдущей, то можно получить двуспиральную структуру.



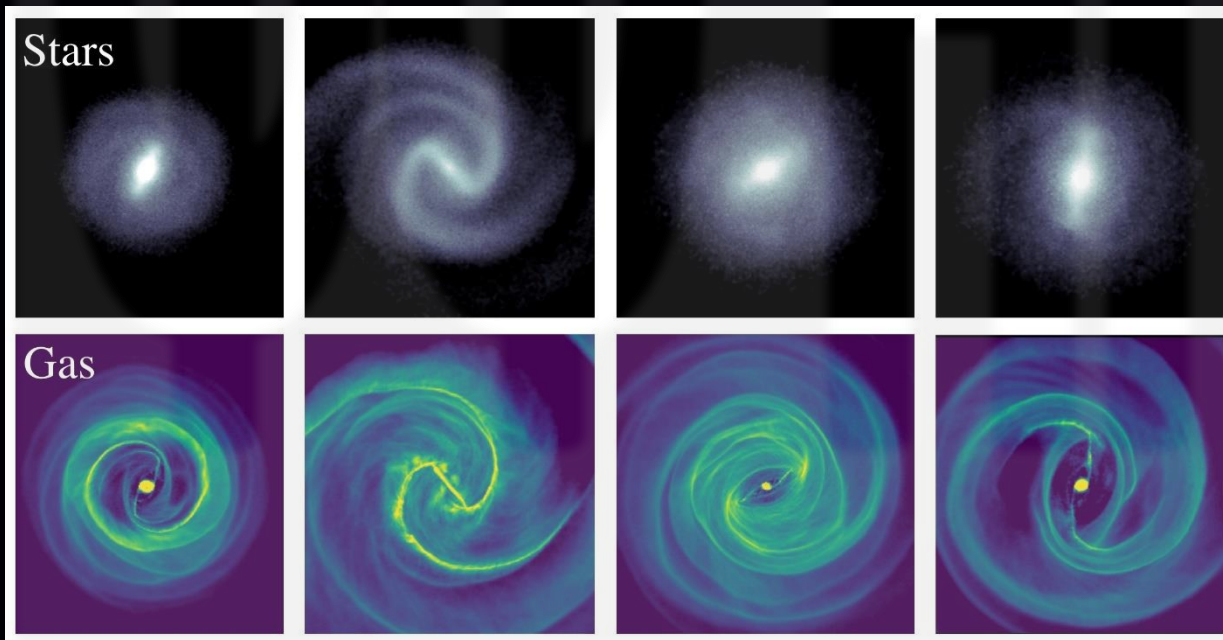
Комбинация этих вариантов с учетом неравномерного распределения массы в галактике может воспроизвести спиральную структуру с баром.

Спирали: моделирование

Даже упрощенное математическое моделирование динамики спиральной галактики согласуется с наблюдениями.



Более детальное (вычислительно-емкое) моделирование способно воспроизвести большое разнообразие деталей.



arXiv:1603.07801

Спирали: звездообразование

Газ догоняет рукав. Уплотнение газа и пыли при «входе» в рукав.



Иницируется процесс звездообразования.



УФ свет молодых массивных звезд с высокой светимостью приводит к возбуждению атомов водорода в газовых облаках.



Наблюдаются излучение газовых облаков в линии H_{α} .

Интенсивность звездообразования в Млечном Пути оценивается в $\sim 2.5 M_{\odot}$ в год.



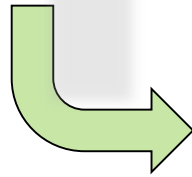
Спирали: звездообразование

NGC 6523, NGC 6526, NGC 6530

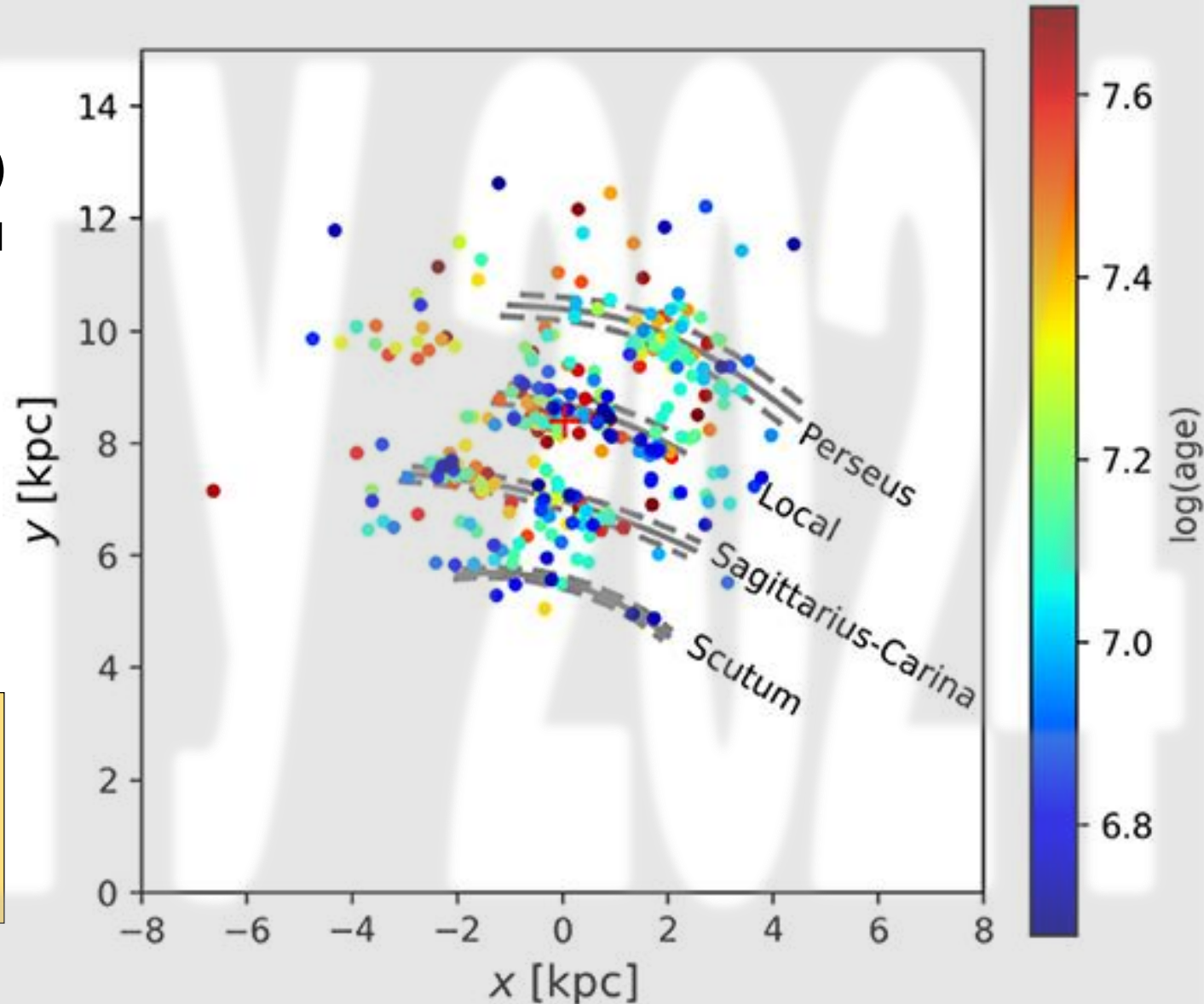
Красный цвет туманности обусловлен излучением водорода в линии H_{α} , $\lambda = 656$ нм.

Спирали: звездообразование

Распределение молодых (<50 Млет) звездных скоплений в окрестности Солнца.



Интенсивность образования звезд в Млечном Пути оценивается в $\sim 2.5 M_{\odot}$ в год.



Вычислительный пример

Исходя из измеренного среднего темпа образования звезд в Галактике равна $n_* \simeq 2.5 M_\odot/\text{год}$, оцените частоту вспышек сверхновых звезд.

Предполагая начальную функцию масс (НФМ) Солпитера, средняя масса звезд $\langle M_* \rangle \simeq 0.6 M_\odot$, найдем среднее число звезд, $N_* \simeq n_*/\langle M_* \rangle \simeq 4.2$ образующихся в год.

Долю звезд с массой $M_* > 10 M_\odot$ найдем из НФМ Солпитера:

$$\xi(M) = \xi_0 \begin{cases} 2M^{-1.3}, & 0.08 M_\odot < M < 0.5 M_\odot \\ M^{-2.3}, & M \geq 0.5 M_\odot \end{cases}$$

$$N_0 = \int \xi(m) dm = 7.91 \xi_0$$

$$N_{10} = \int_{10}^{200} \xi_0 m^{-2.3} dm \simeq 0.038 \xi_0$$

$$f_{10} = \frac{N_{10}}{N_0} \simeq 4.8 \times 10^{-3}$$

$$N_{SN} = N_* f_{10} \simeq 2 \times 10^{-2} \text{ 1/год}$$

С 1006 AD по 1604 AD годы задокументировано 4 сверхновых. За следующие 400 лет – ни одной!

Структура Галактики: балдж

Изображение Галактики в ИК диапазоне (длины волн 1.2 мкм, 2.2 мкм и 3.4 мкм) по данным спутника COBE (спутник для изучения реликтового излучения).



Балдж (bulge – выпуклость, вздутие) – сфероидальное уплотнение из звезд, наблюдаемое в центре спиральных галактик.

Оптическое изображение спиральной галактики NGC 891, видимой с ребра.

Структура Галактики: гало

Галактическое гало – протяженная сфероидальная структура Галактики радиусом до 100 кпк.

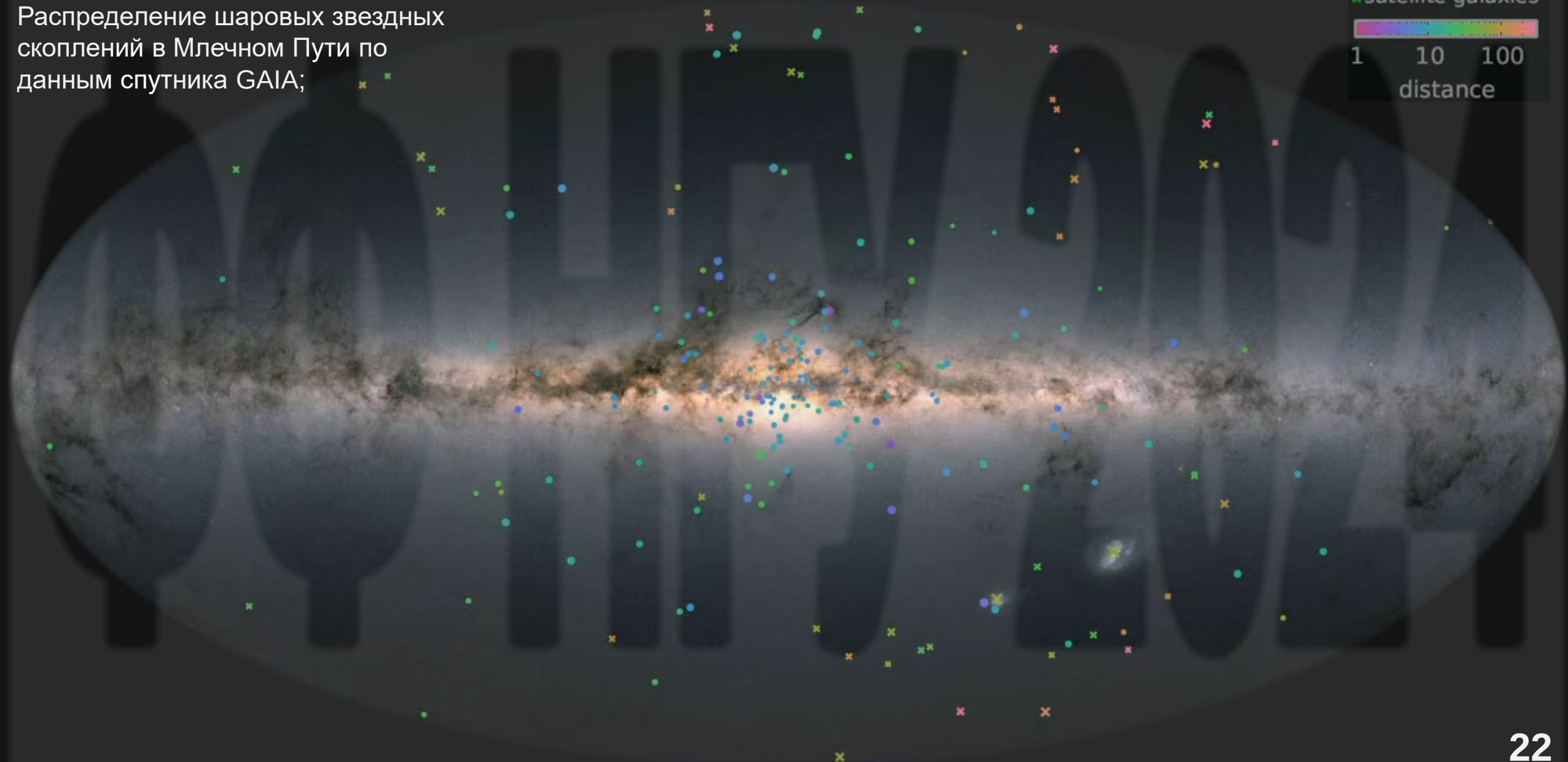
Выделяют несколько компонент гало:

- звездное гало в основном состоит из старых (~12 Глет) звезд низкой металличности (население II);
- гало шаровых звездных скоплений;
- гало горячего газа (корона);
- гало темной материи – самая протяженная компонента, возможно сравнима с расстоянием до ближайших крупных галактик.



Структура Галактики: гало

Распределение шаровых звездных скоплений в Млечном Пути по данным спутника GAIA;



Структура галактики: гало

У некоторых спиральных галактик
гало более выражено.

Вычислительный пример

Оцените температуру газа в гало Галактики, принимая характерный размер гало $R_{\text{гало}} = 15$ кпк, а массу Галактики $M_{\text{МП}} \simeq 2 \times 10^{11} M_{\odot}$.

Предполагая равновесное состояние газа, воспользуемся теоремой вириала. Тогда для кинетической энергии атома водорода можем записать:

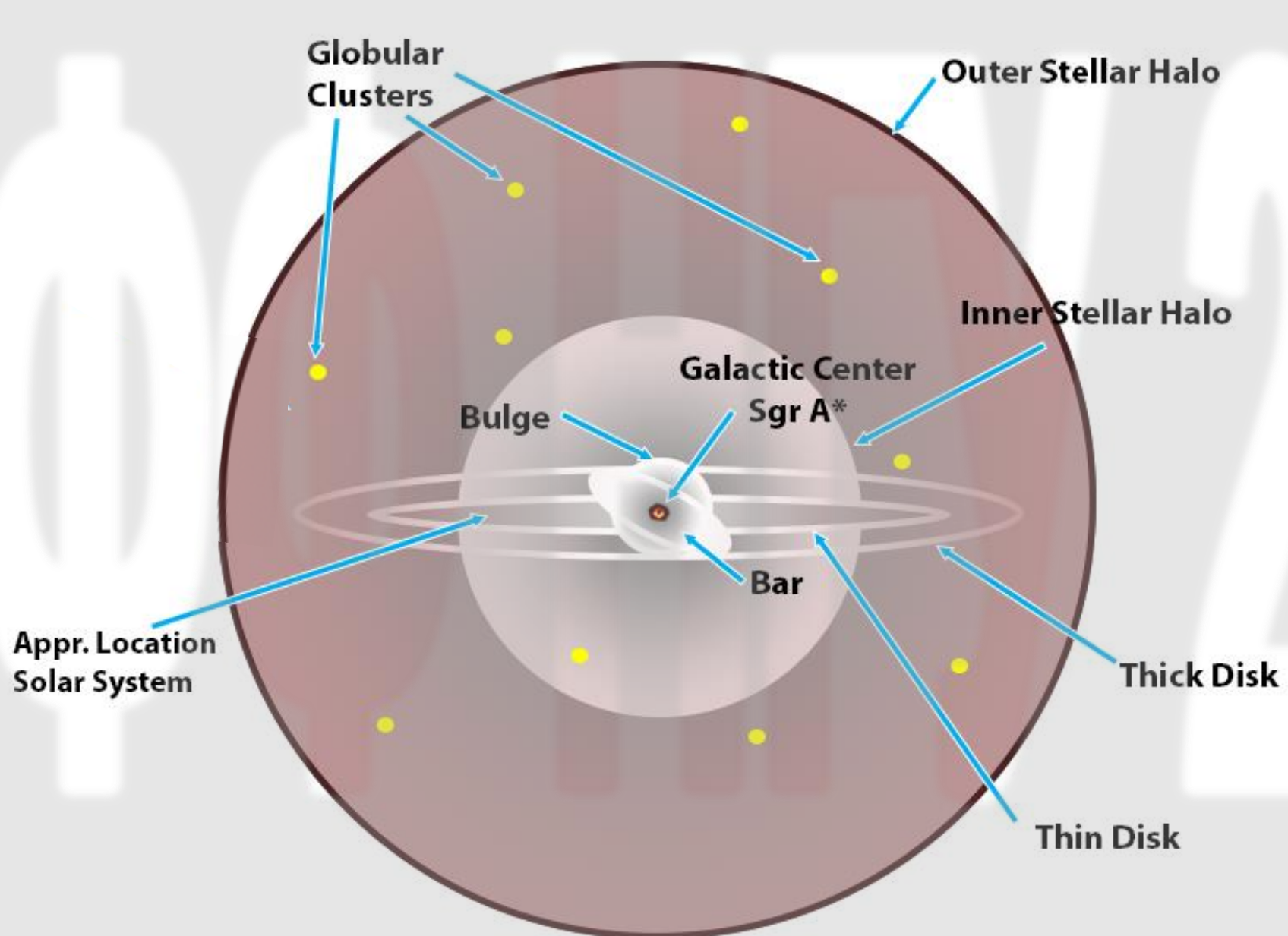
$$E_{\text{к}} = -\frac{E_{\text{п}}}{2} = \frac{GM_{\text{МП}}m_p}{2R_{\text{гало}}} = \frac{3}{2}k_B T$$

Отсюда найдем температуру газа:

$$T = \frac{1}{3} \frac{GM_{\text{МП}}m_p}{k_B R_{\text{гало}}} \simeq 2 \times 10^6 \text{ } ^\circ\text{K}$$

При такой высокой температуре масса Джинса очень большая и коллапс газа с образованием звезд в гало не происходит.

Структура Галактики



Scale Heights:

Bulge: $\sim 0.5-1$ kpc

Bar ~ 5 kpc in length

Thick disk ~ 1 kpc

Thin disk ~ 0.3 kpc

Halo ~ 100 kpc

Inner: ~ 17 kpc

Outer: ~ 97 kpc

Структура Галактики: звездное население

Звезды Галактики, входящие в Галактику разделяют на следующие типы (населения):

Население I — «современные» звезды с металличностью $Z \sim 0.02$ и более.

Население II — старые звезды с металличностью $Z \sim 0.001$. Образовались в то время, когда межзвездная среда еще не была заметно обогащена тяжелыми элементами.

Население III — **гипотетические** «первые» звезды с металличностью $Z \sim 0$. Самое первое поколение звезд, года элементов тяжелее гелия еще не было совсем (ничтожное количество лития).

Конечно, это некоторая идеализация, и существуют звезды с промежуточными значениями металличности. Как правило, измерение доли железа в атмосфере звезды существенно проще, поэтому в качестве меры металличности часто используется величина:

$$[\text{Fe}/\text{H}] \equiv \log_{10} \left[\frac{(N_{\text{Fe}}/N_{\text{H}})_{\text{star}}}{(N_{\text{Fe}}/N_{\text{H}})_{\odot}} \right],$$

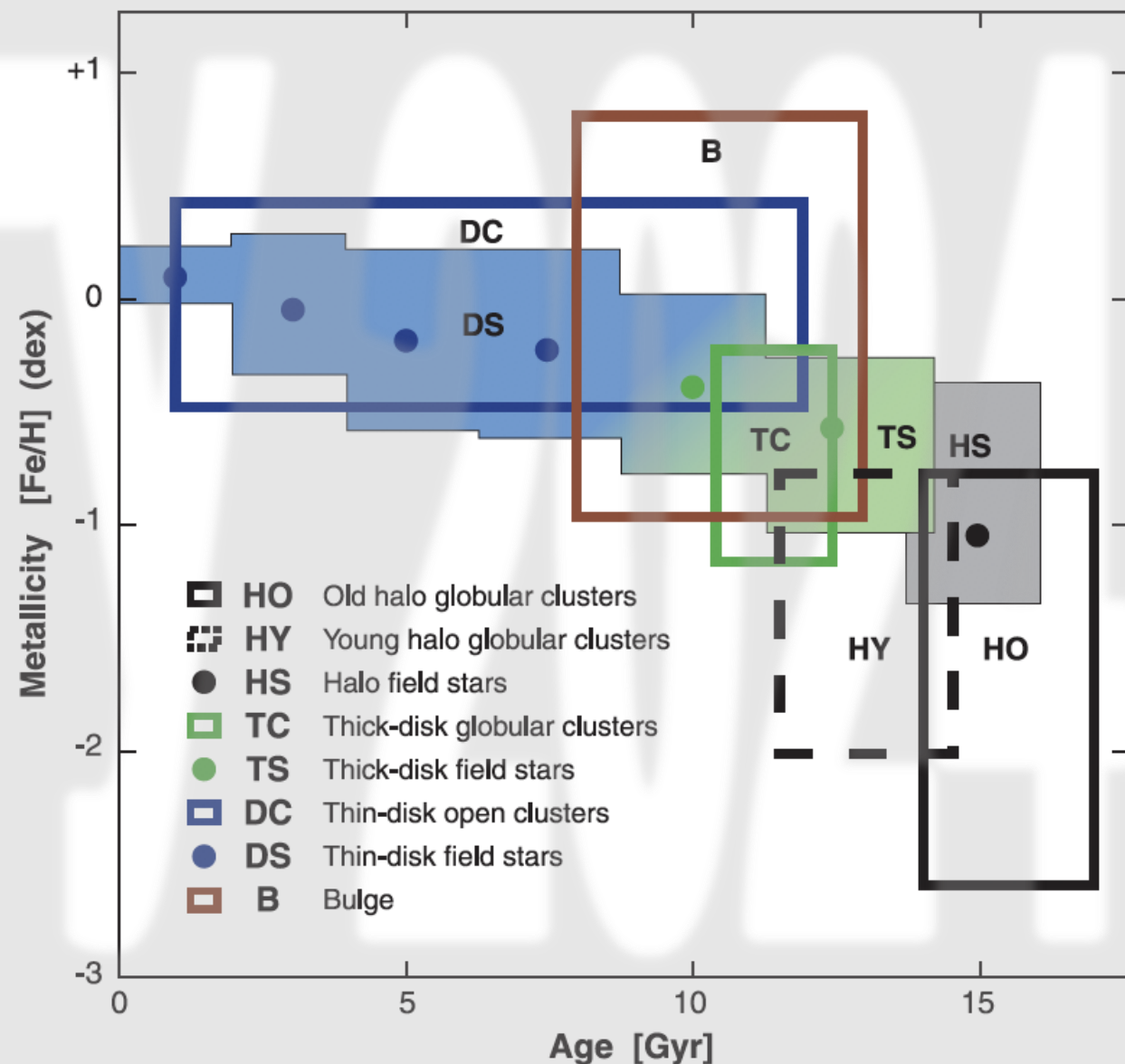
Возраст Галактики

Мы можем достаточно надежно определить возраст различных структур Галактики, но ответ на вопрос о возрасте самой Галактики зависит также от механизма образования Галактики.

По всей видимости, большие галактики образуются путем слияния и поглощения более мелких. Этот процесс идет и в наше время, а на ранних стадиях Вселенной шел очень активно.

Самыми старыми структурами, входящими (сегодня) в состав Галактики, являются шаровые звездные скопления: более 11 Глет.

Вероятно, что по крайней мере некоторые шаровые скопления являются остатками поглощенных галактик.



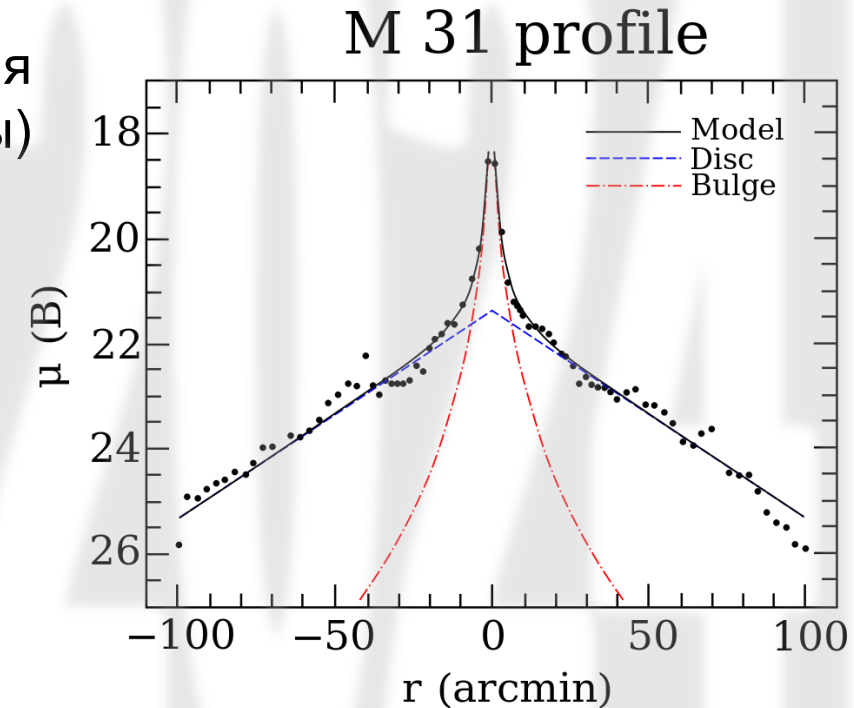
Кривая вращения галактик

Измеряя из наблюдений распределение светящегося вещества в различных структурах МП, можно вычислить потенциал галактики и сравнить результаты с независимыми данными по скоростям вращения звезд и газовых облаков.

В (грубом) приближении сферически симметричного распределения массы, скорость вращения звезды (в приближении круговой орбиты) зависит от расстояния до центра Галактики по закону Кеплера:

$$P^2 = \frac{4\pi^2}{G} \frac{r^3}{M(r)}; \quad P = \frac{2\pi r}{V}$$

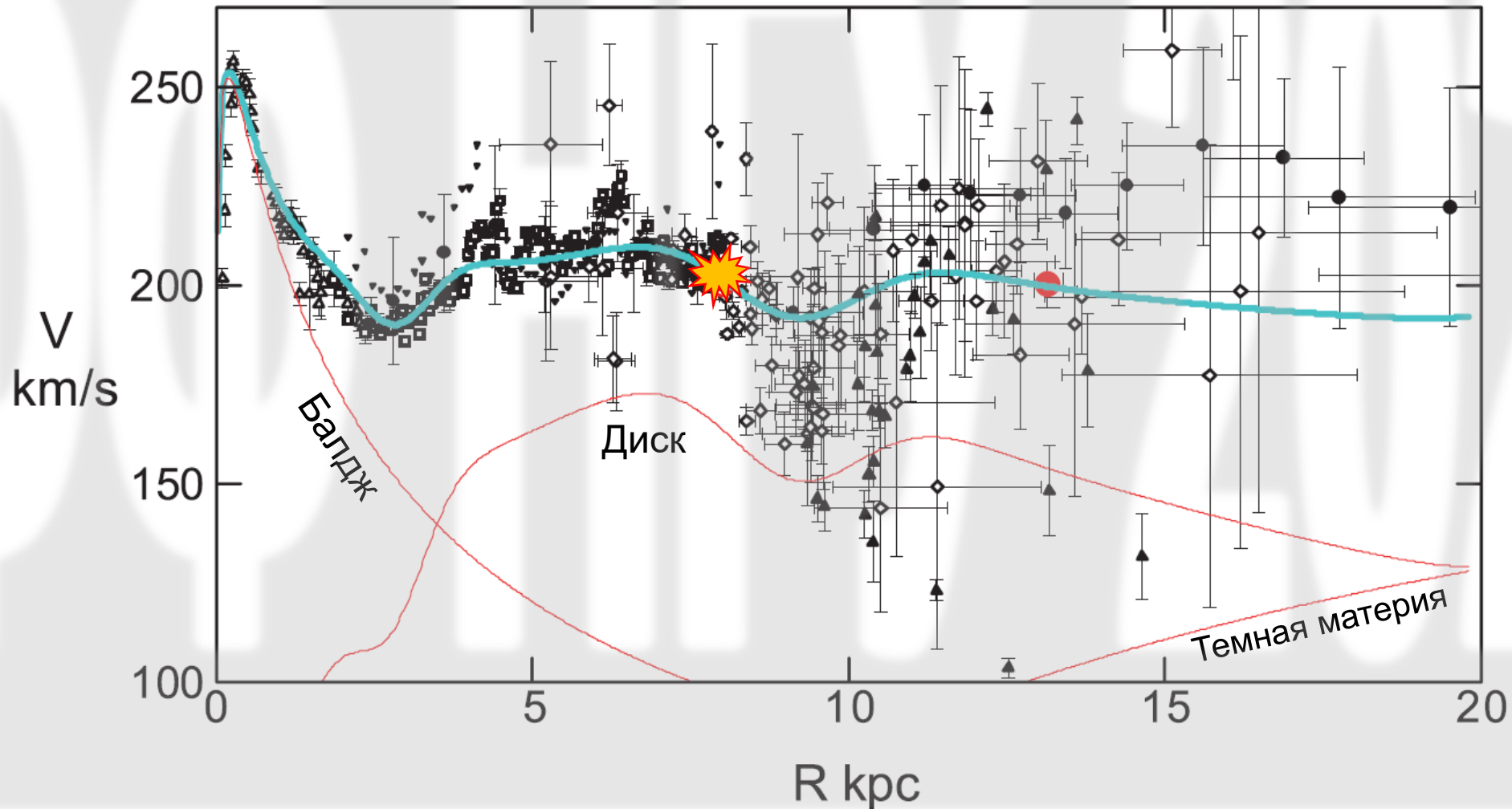
$$V^2 = G \frac{M(r)}{r} \quad M(r) - \text{масса галактики внутри радиуса } r.$$



Для точечной массы в центре $M(r) = M_0 = \text{const}$, скорость падает как $1/\sqrt{r}$. При постоянной плотности вещества $M(r) \sim r^3$, и орбитальная скорость линейно растет с расстоянием.

Кривая вращения Галактики

Измеряя из наблюдений распределение видимого вещества в различных структурах (балдж, диск) МП, можно вычислить потенциал галактики и сравнить результаты с независимыми данными по скоростям вращения звезд и газовых облаков.



Вычислительный пример

Оцените массу внутренней (относительно орбиты Солнца) части Галактики, если измеренная скорость вращения Солнца вокруг центра Галактики равна $V_0 \simeq 200$ км/с, а расстояние до центра $R_0 = 8.0$ кпк.

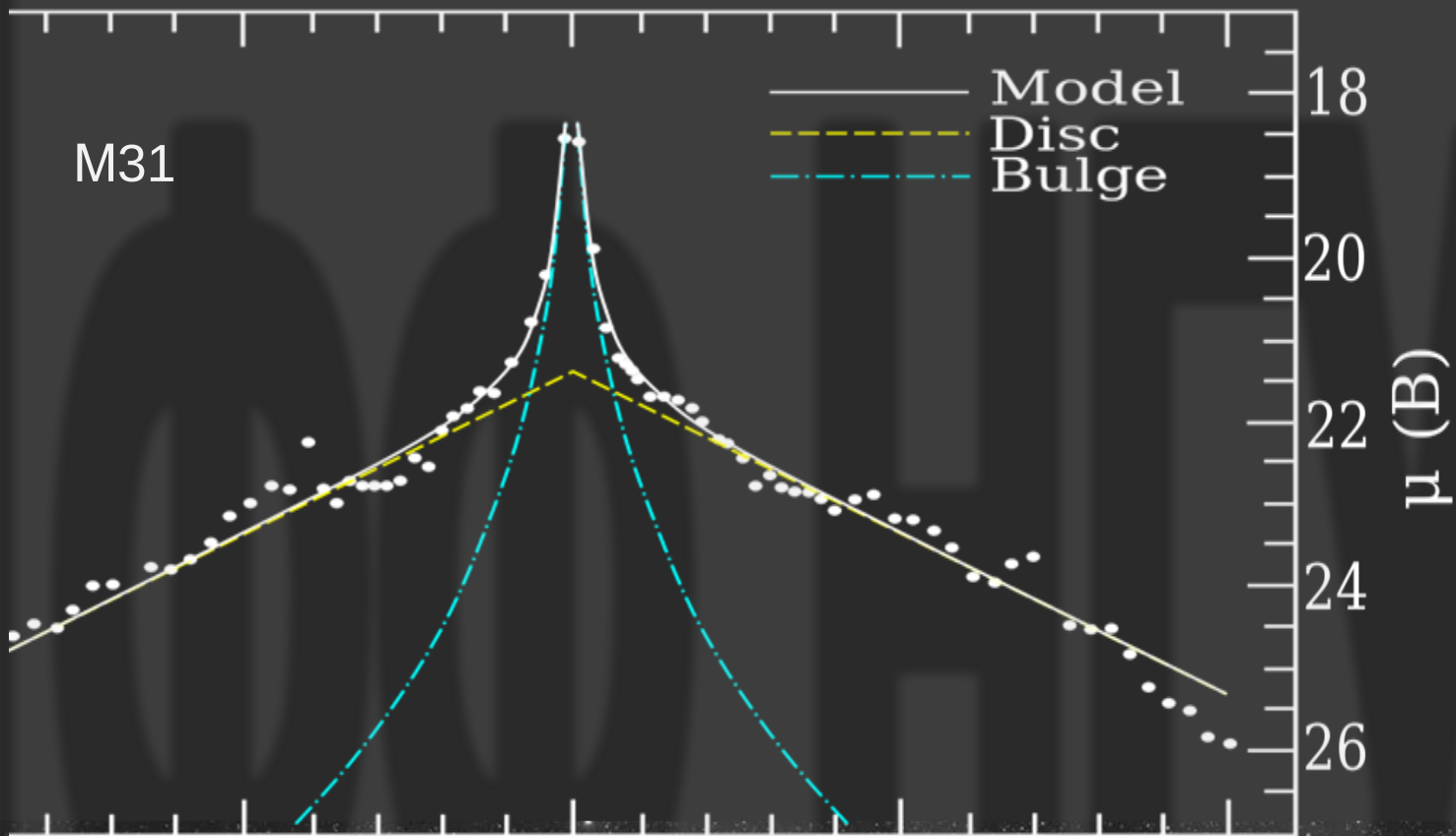
Орбитальный период:

$$P_0 = \frac{2\pi R_0}{V_0} \simeq 250 \text{ Млет}$$

$$M(r) = \frac{4\pi^2}{G} \frac{R_0^3}{P_0^2} = M_{\odot} \left(\frac{R_0}{1 \text{ а. е.}} \right)^3 \left(\frac{1 \text{ год}}{P_0} \right)^2 \simeq 7 \times 10^{10} M_{\odot}$$

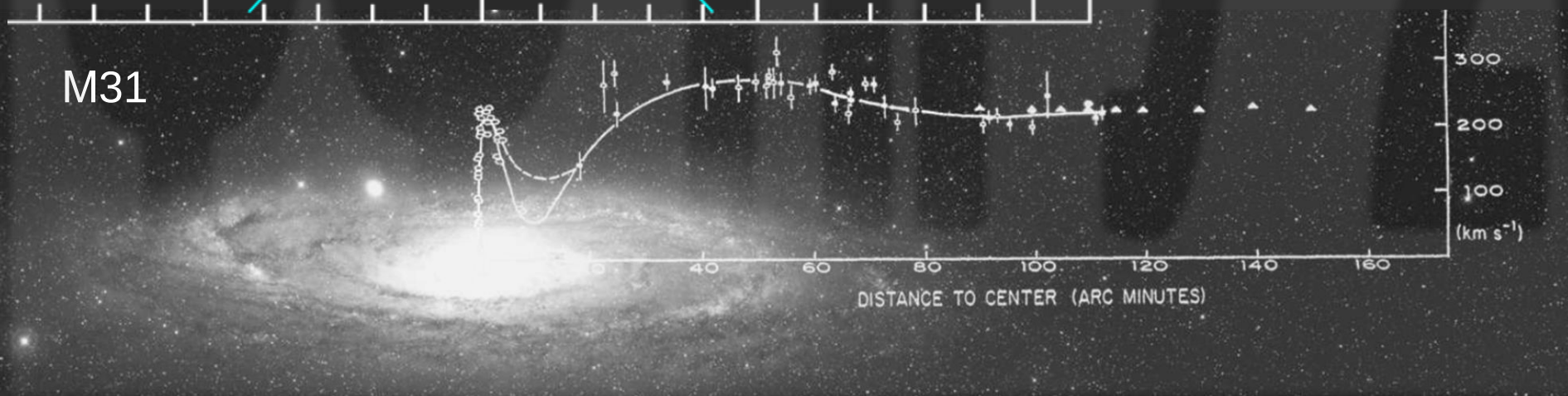
Учитывая, что масса средней звезды примерно равна $\langle M_* \rangle \simeq 0.6 M_{\odot}$, находим, что только во внутренней части Галактики содержится порядка $N_* \simeq 100 \times 10^9$ звезд.

Кривая вращения галактик



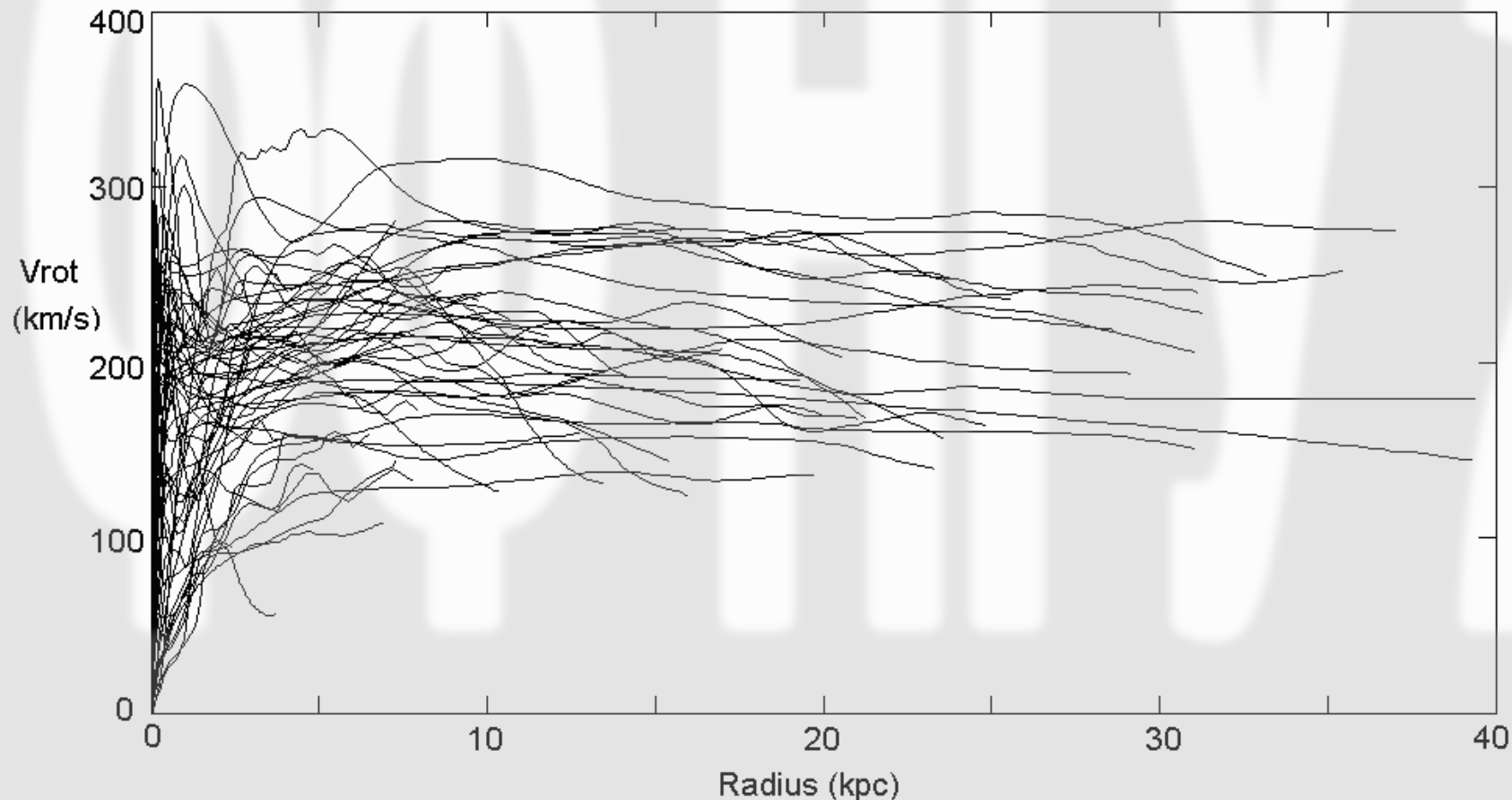
Профиль поверхностной яркости галактики М 31.
(зв. вел. на (уг. сек.)²).

Орбитальная скорость вращения в зависимости от расстояния до центра.



Темная масса

Многочисленные примеры несогласования распределения видимого (светящегося) вещества с результатами измерения скоростей вращения привели к идее существования темной материи, масса которой, согласно анализу орбитальных скоростей, существенно превышает массу видимой материи и имеет гораздо более протяженное распределение по радиусу.

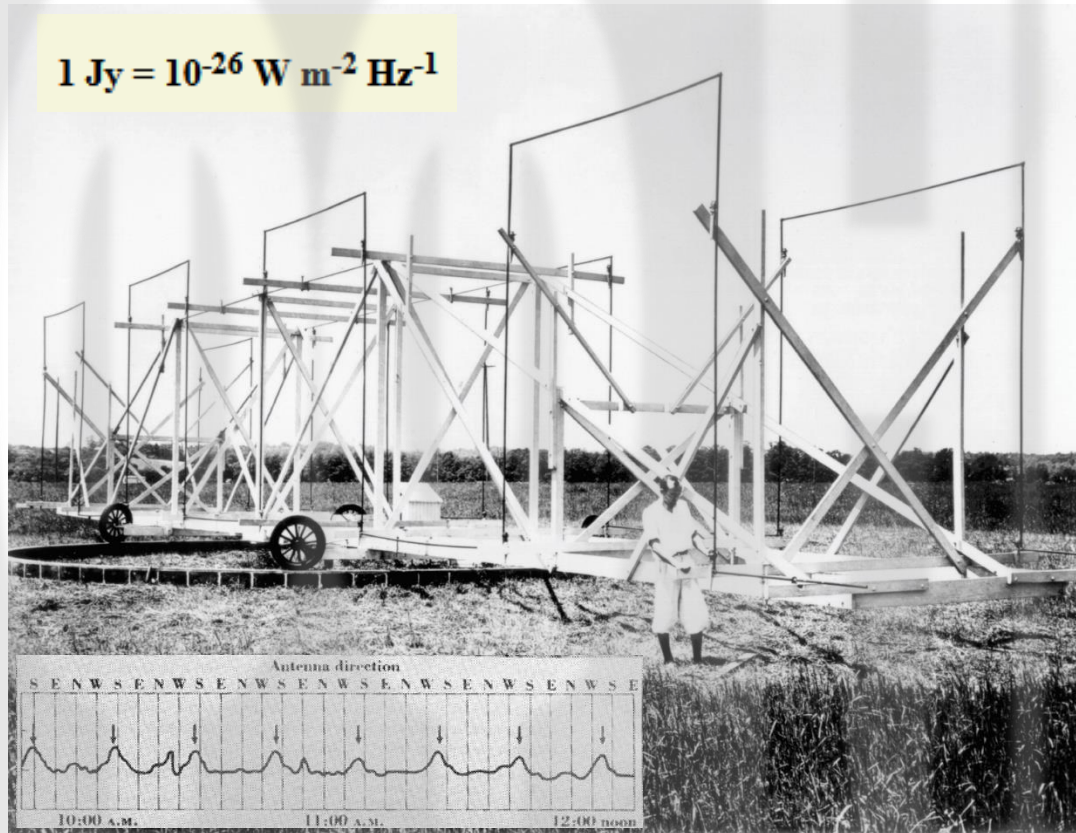


Измеряя скорости вращения множества галактик стало понятно, что эффект не является особенностью конкретного объекта, а носит систематический характер.

Аналогичный эффект был замечен еще в 1930-ые годы Цвикки, при изучении скоростей галактик в скоплениях.

Радиоисточник Sgr A*

В начале 1930-х годов Карлу Янски (Karl Jansky), молодому инженеру компании Bell Laboratories, было поручено выяснить происхождение шумов в трансатлантической линии радиопередач на длине волны 14 м.



**NEW RADIO WAVES
TRACED TO CENTRE
OF THE MILKY WAY**

Mysterious Static, Reported
by K. G. Jansky, Held to
Differ From Cosmic Ray.

DIRECTION IS UNCHANGING

Recorded and Tested for More
Than Year to Identify It as
From Earth's Galaxy.

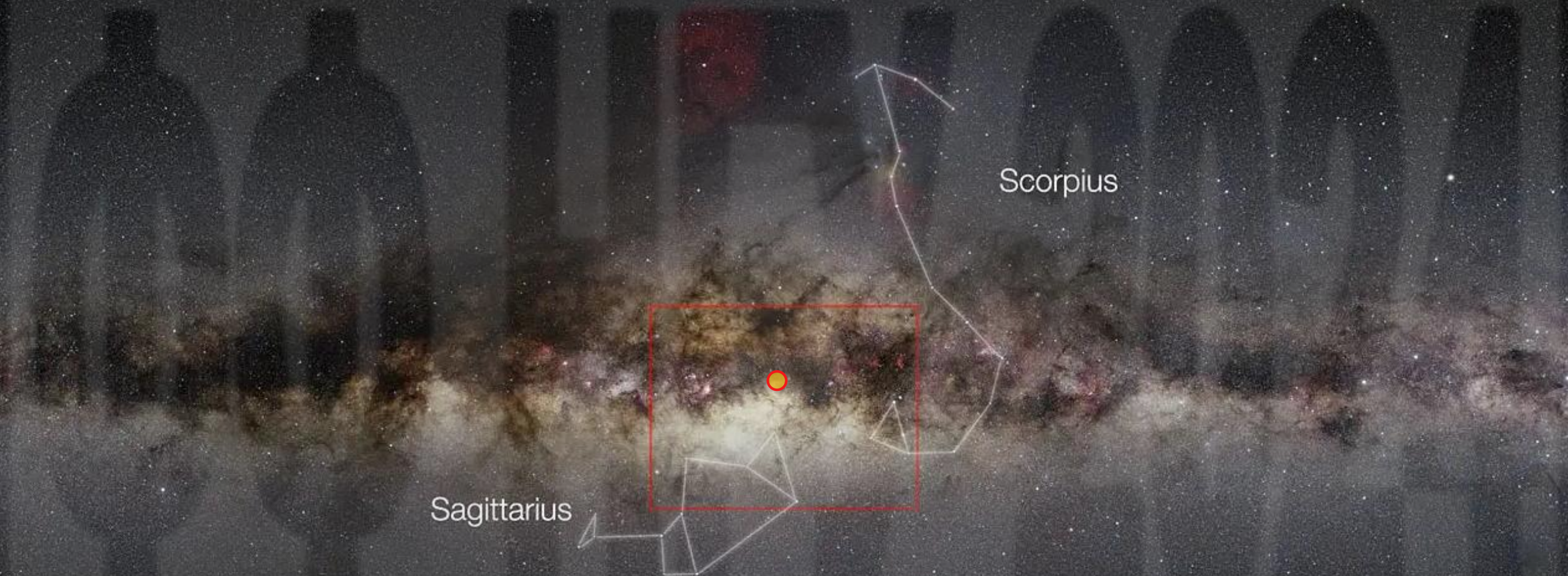
ITS INTENSITY IS LOW

Only Delicate Receiver is Able to
Register—No Evidence of
Interstellar Signaling.

Discovery of mysterious radio
waves which appear to come from
the centre of the Milky Way galaxy
was announced yesterday by the
Bell Telephone Laboratories. The
discovery was made during re-
search studies on static by Karl G.
Jansky of the radio research de-
partment at Holmdel, N. J., and
was described by him in a paper

В результате своих исследований он выяснил, что источник помех имеет внеземное происхождение, а именно – центр нашей галактики Млечный Путь.

Радиоисточник Sgr A*



$$\alpha_{2000}(\text{Sgr A}^*) = 17^{\text{h}}45^{\text{m}}40.0409^{\text{s}}$$

$$\delta_{2000}(\text{Sgr A}^*) = -29^{\circ}00'28.118''$$

Sgr A* – сверхмассивная черная дыра

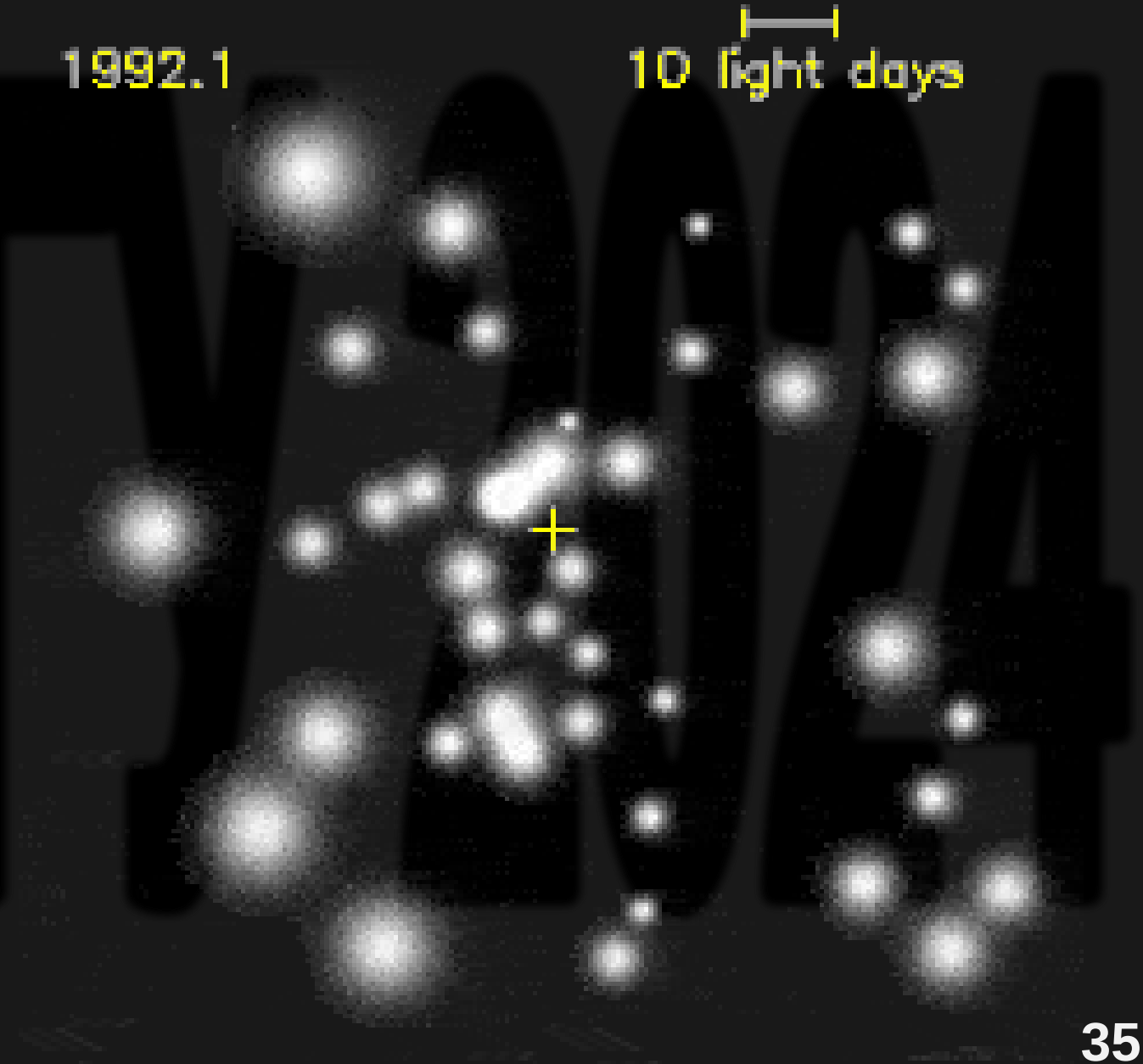
Случай Sgr A* уникален.

Благодаря прямым измерениям нескольких звездных орбит стало возможным точно определить массу центрального объекта.

Кроме того, есть жесткий предел на размер центрального объекта, что важно для обсуждения альтернатив.

1992.1

10 light days



Sgr A* – сверхмассивная черная дыра

Из астрометрических измерений можно полностью восстановить параметры орбиты. Для звезды SO-2 измерено:

период $P = 15.2$ года

эксцентриситет $e = 0.87$

расстояние перицентра $r_p \simeq 120$ а. е.

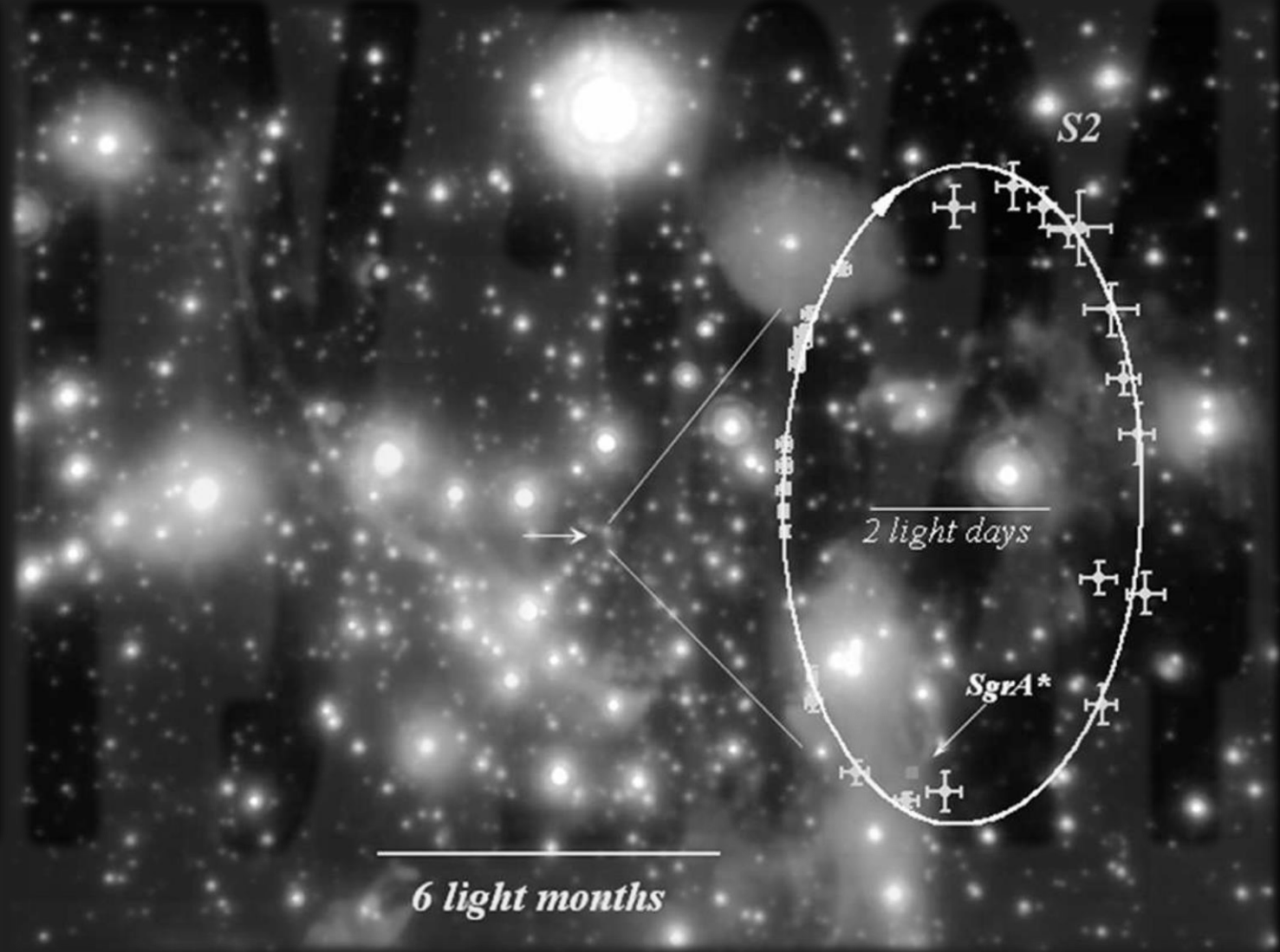
Тогда большая полуось орбиты:

$$a_{S2} = r_p / (1 - e) = 923 \text{ а. е.}$$

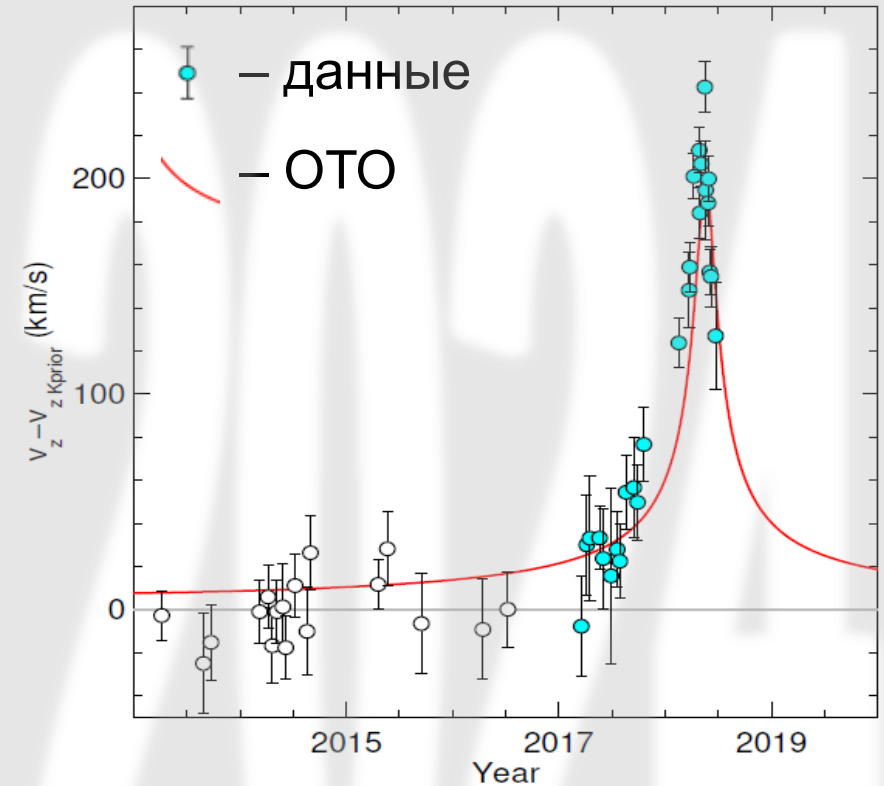
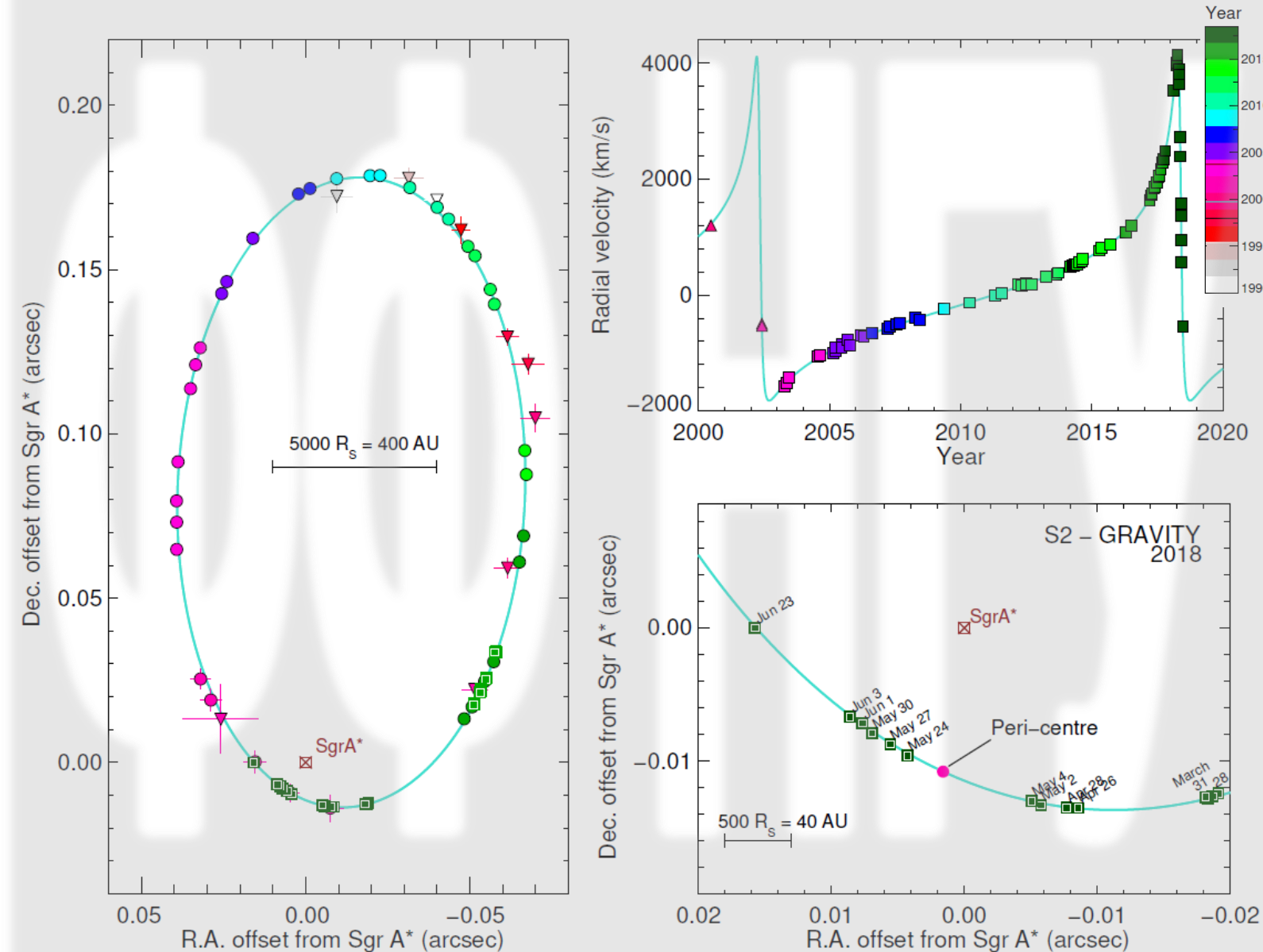
Масса центрального объекта:

$$M = \frac{4\pi^2}{G} \frac{a_{S2}^3}{P_{S2}^2} = M_{\odot} \left(\frac{a_{S2}}{1 \text{ а. е.}} \right)^3 \left(\frac{1 \text{ год}}{P_{S2}} \right)^2$$

$$M_{\text{Sgr A}^*} \simeq 3.4 \times 10^6 M_{\odot}$$



Sgr A* – сверхмассивная черная дыра



Избыточное красное смещение в спектре S2, вызванное сильным гравитационным полем Sgr A*.

arXiv_20180717

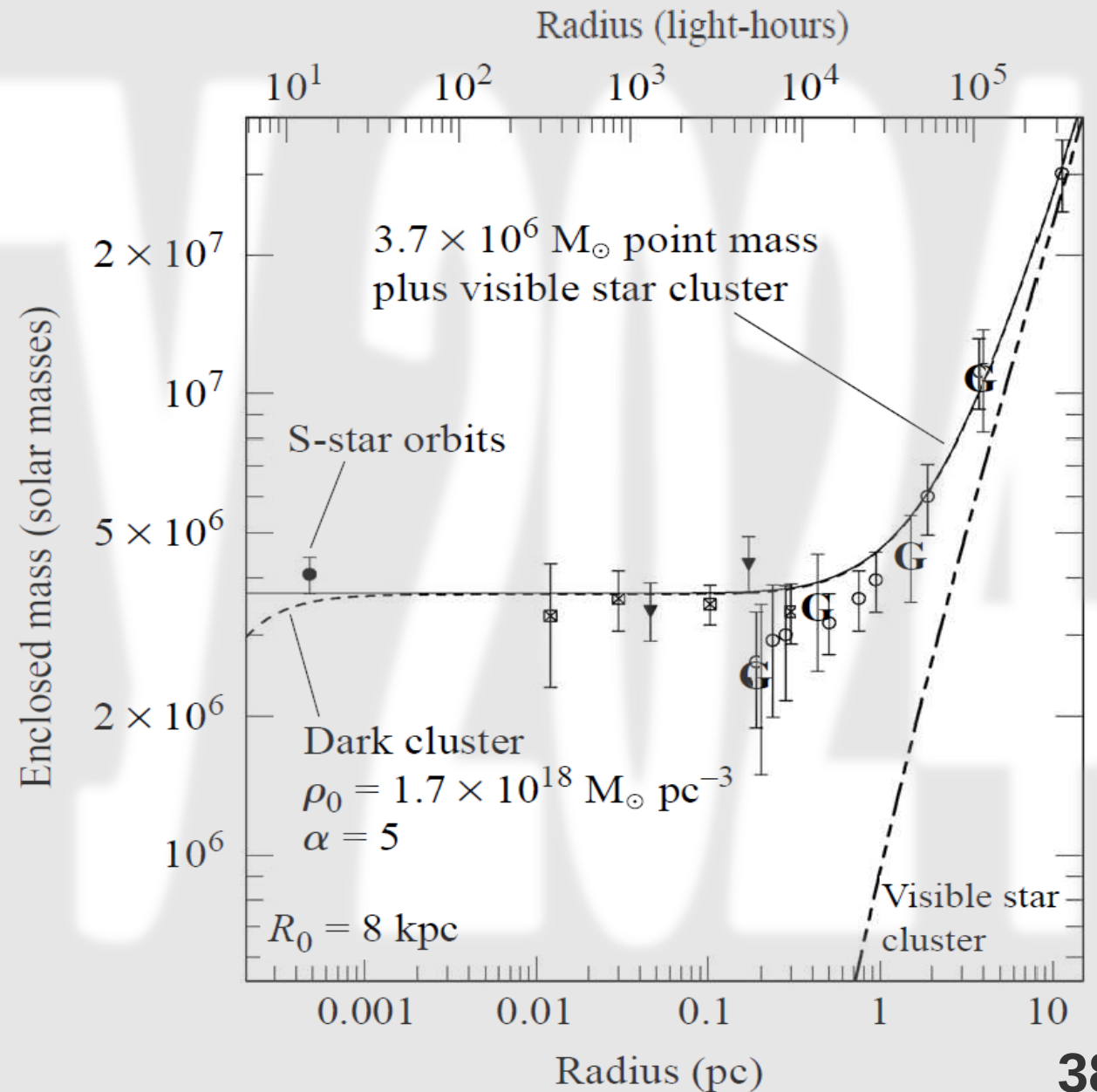
Sgr A* – сверхмассивная черная дыра

Независимые измерения распределения массы от расстояния от центра Галактики по радиальным скоростям звезд и газовых облаков в области с расстоянием < 20 пк.

Распределение по скоростям также согласуется с наличием компактного массивного объекта в центре.

**Сверхмассивная черная дыра –
самое правдоподобное и
консервативное объяснение.**

$$R_{\text{Sgr A}^*}^{\text{Sh}} \simeq 0.08 \text{ а. е.} = 16 R_{\odot}$$



Вычислительный пример

Сравнительно простую (но менее точную) оценку массы центральной ЧД для далеких галактик можно получить из измерения дисперсии (разброса) радиальных скоростей звезд в в ближайшей к ЧД области (центральная часть балджа). Дисперсию скоростей можно измерить из доплеровского уширения линий поглощения в суммарном спектре звезд.

Теорема вириала для звезды вблизи ЧД:

$$\langle E_K \rangle = -\frac{\langle U \rangle}{2}$$

Предполагая сферически симметричное распределение N звезд средней массы m в области радиуса R вокруг ЧД, можем записать:

$$E_{K, \text{кл}} = \frac{1}{2} \sum m_i v_i^2 \simeq \frac{1}{2} m N \frac{\sum v_i^2}{N} = N \frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle = N \langle E_K \rangle; \quad U_{\text{кл}} \simeq -\frac{3}{5} \frac{GM^2}{R} = N \langle U \rangle$$

Поскольку мы наблюдаем только радиальную составляющую скорости, то: $\langle v^2 \rangle = 3 \langle v_r^2 \rangle = 3 \sigma_r^2$.

Подставляя в теорему вириала, получаем:

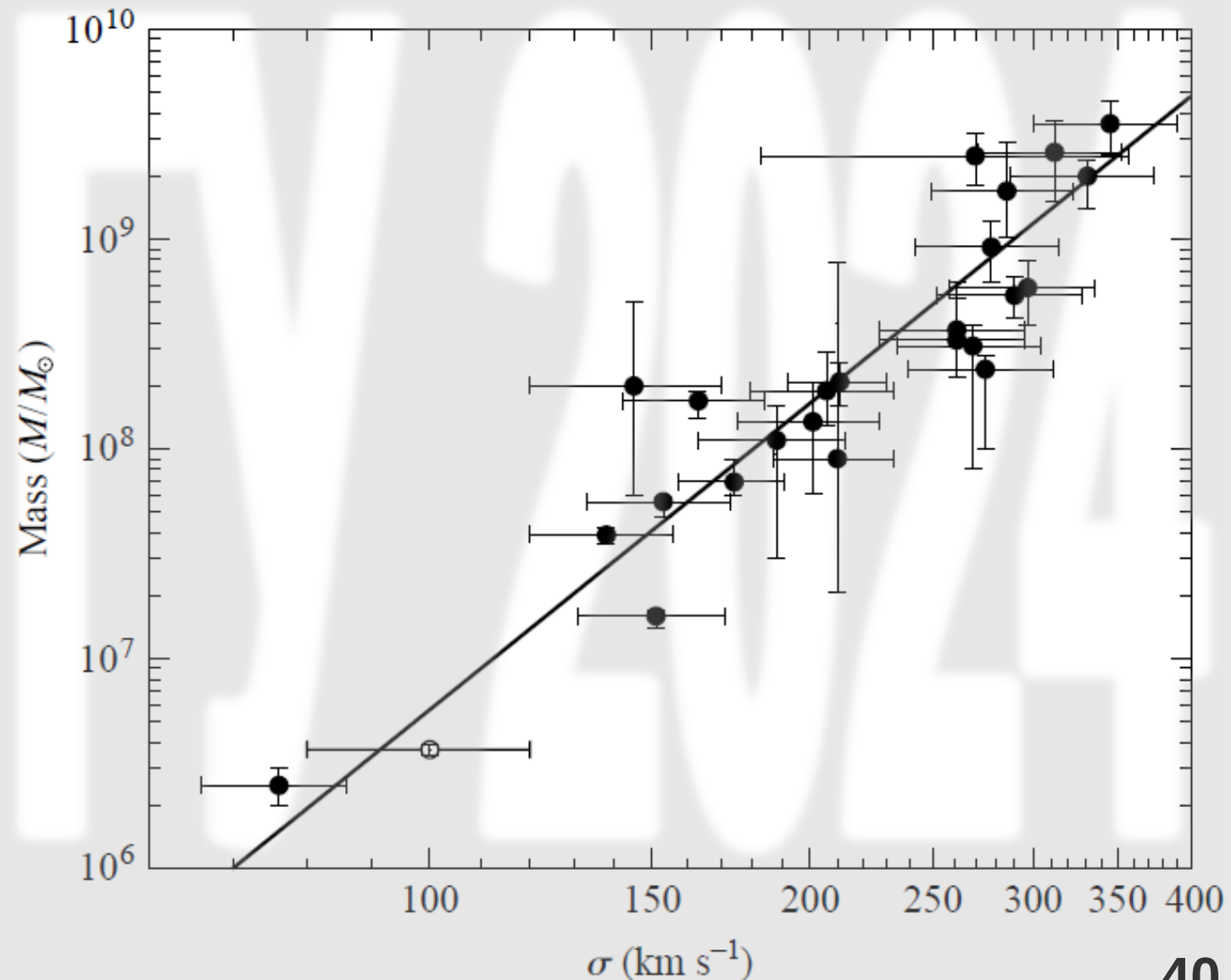
$$M \simeq \frac{5R\sigma_r^2}{G}$$

Вычислительный пример

Критически важным становится выбор области достаточно малого радиуса R , в которой основной вклад в массу вносила бы черная дыра, а не сами звезды. На практике в качестве R берется область «стандартного» размера, тогда

$$M = \alpha \sigma_r^2$$

и коэффициент пропорциональности α определяется из данных, где масса ЧД может быть оценена независимыми методами.



Сверхмассивные черные дыры

Горизонт событий (радиус Шварцшильда):

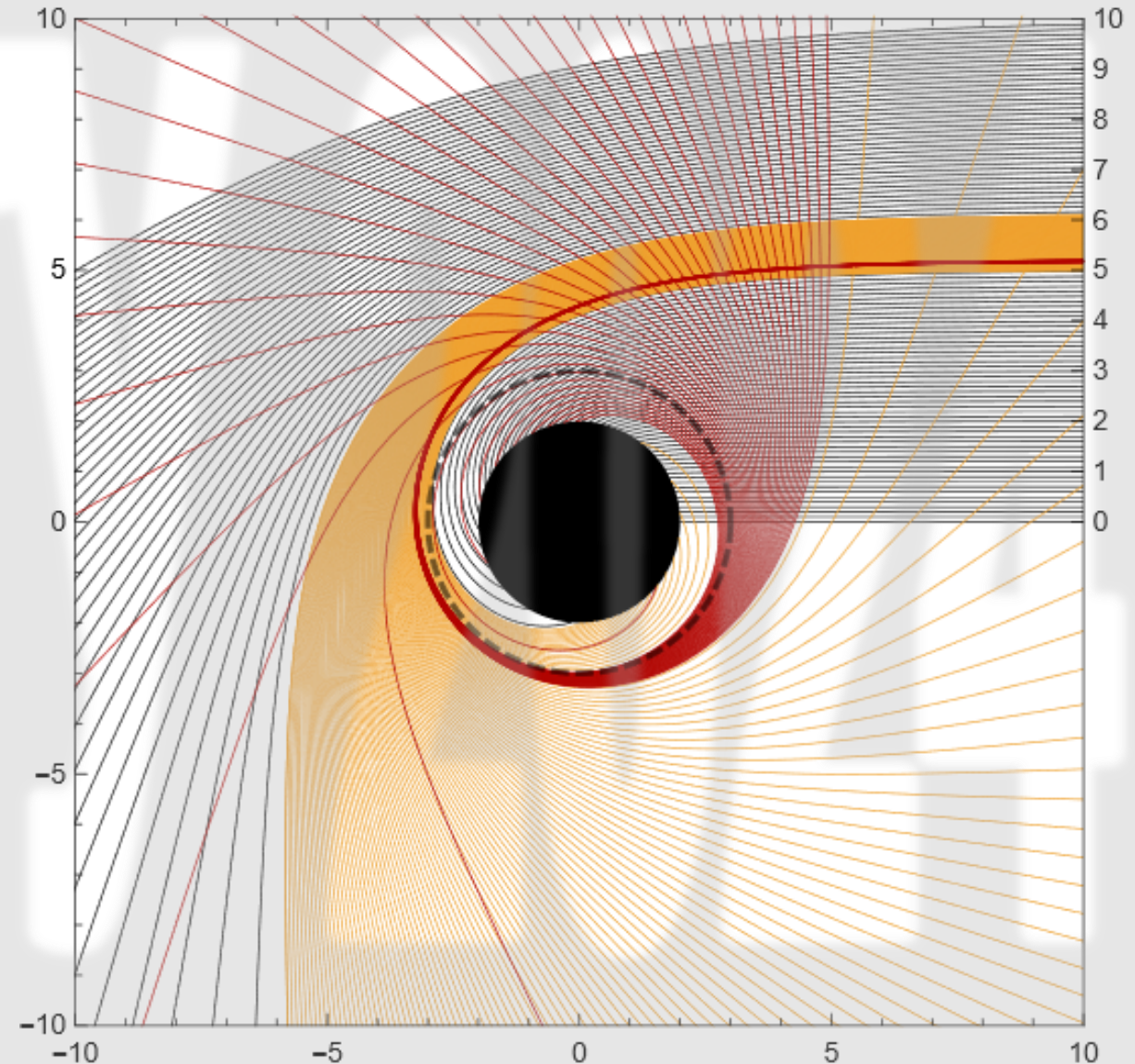
$$R_{\text{Sh}} = \frac{2GM}{c^2}$$

Радиус фотонной сферы – радиус орбиты на которой первая космическая скорость равна скорости света :

$$R_{\text{PS}} = \frac{3}{2} R_{\text{Sh}}$$

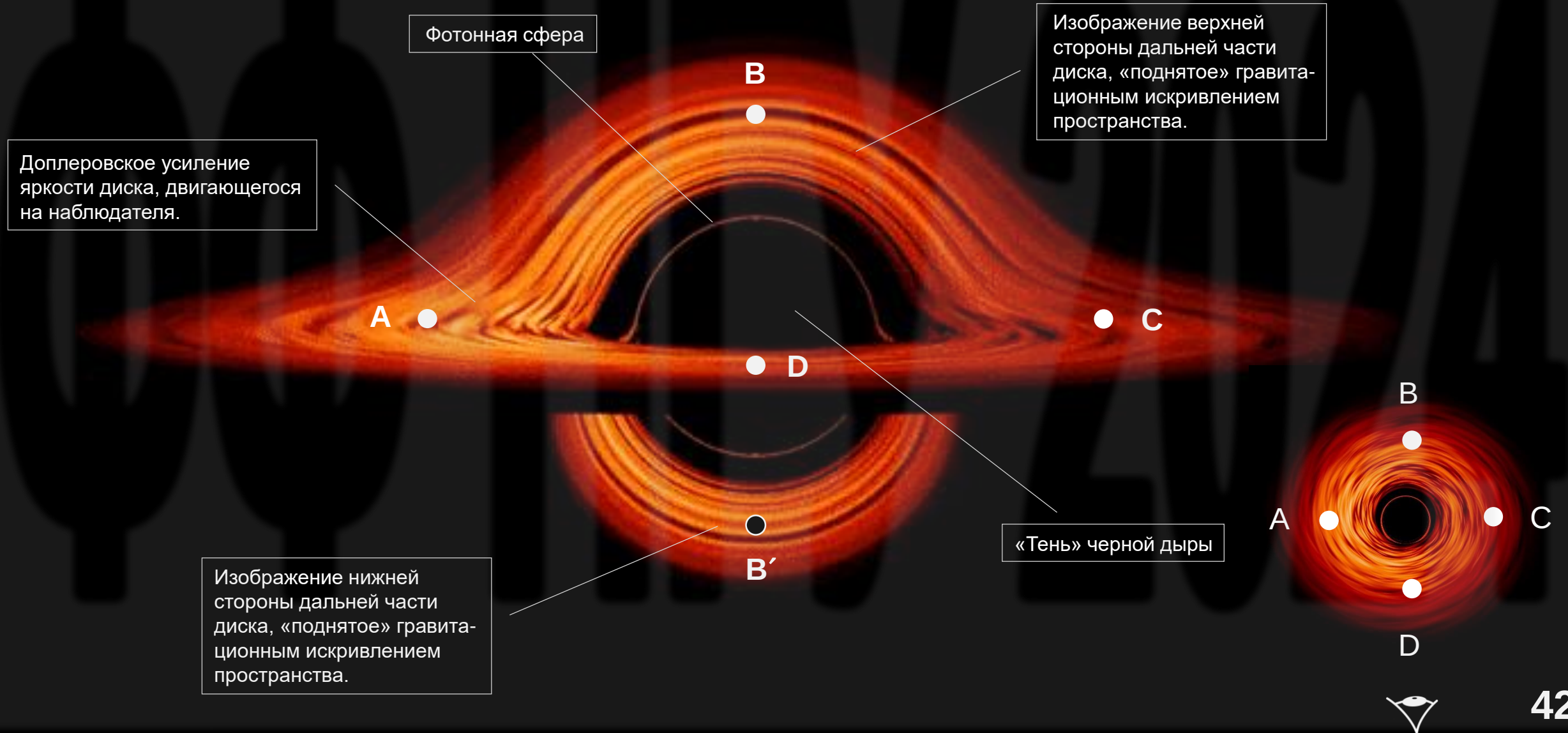
Радиус последней устойчивой круговой орбиты вещества:

$$R_{\text{ISCO}} = 3R_{\text{Sh}}$$



Тень черной дыры

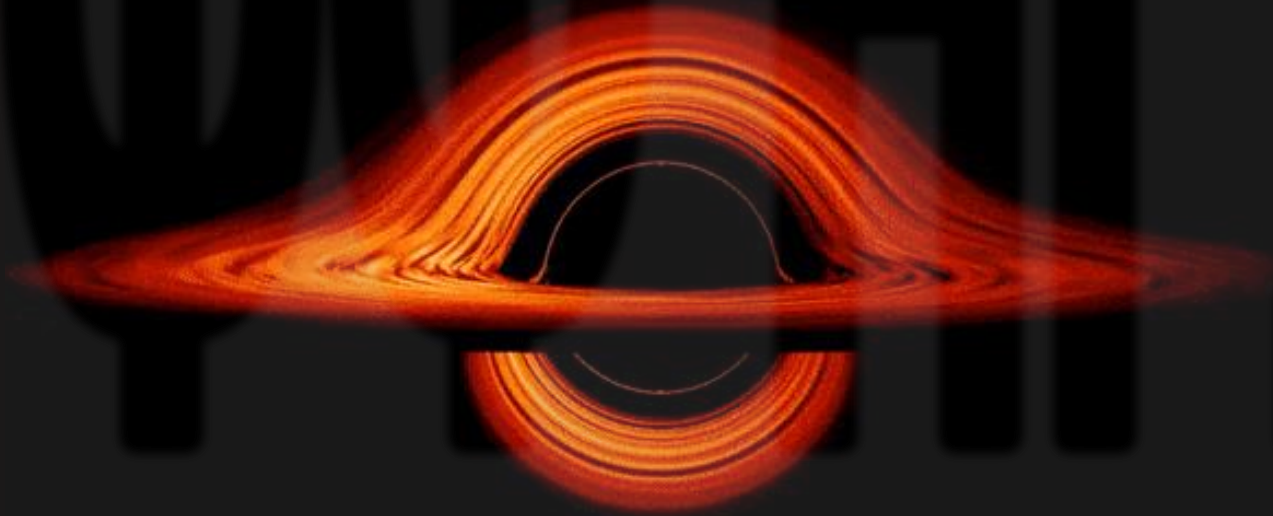
«Прямое» наблюдение черной дыры возможно по излучению аккреционного диска – вещества, падающего в ЧД.



Sgr A* – «прямое» наблюдение

Синтетическое изображение, аккреционного диска черной дыры Sgr A*, восстановленное по результатам радио-интерферометрических измерений «телескопа горизонта событий».

Ожидание...



...реальность



Вычислительный пример

Оцените эффективность энерговыделения при аккреции вещества на сверхмассивную черную дыру в центре Галактики.

Пусть вещество (газ) массы m собирается в аккреционный диск с радиуса последней устойчивой орбиты $3R_{Sh}$. Тогда по теореме вириала $\langle E_K \rangle = -\langle U \rangle / 2$ и половина потенциальной энергии в процессе аккреции должна излучиться:

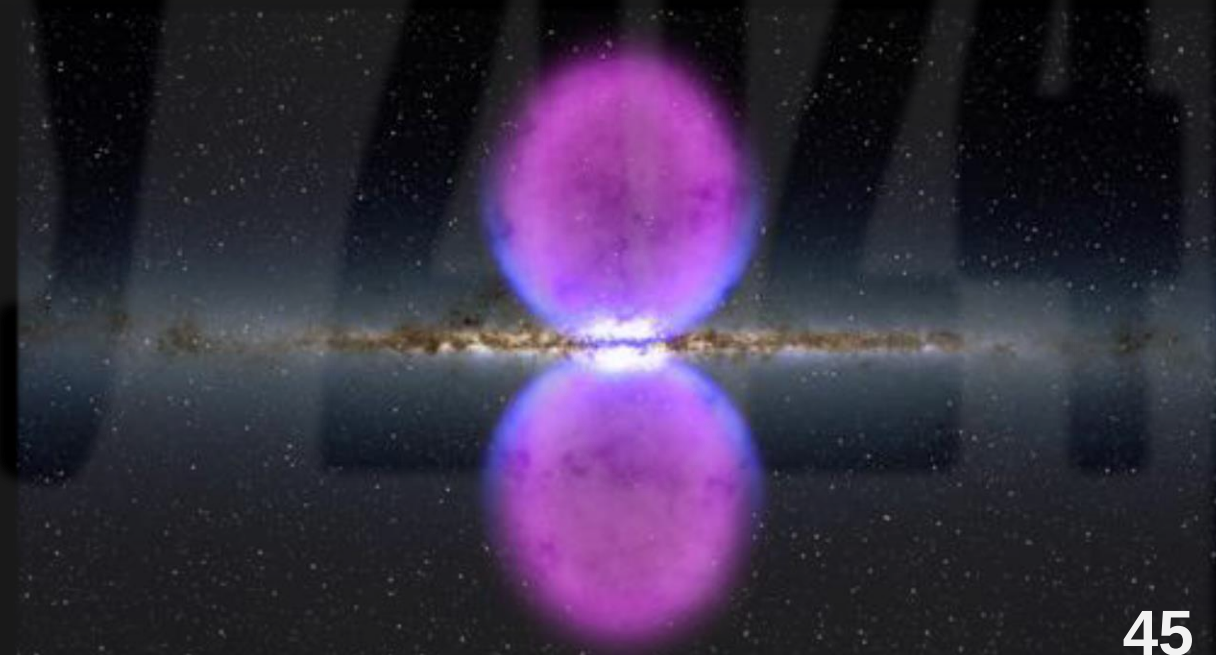
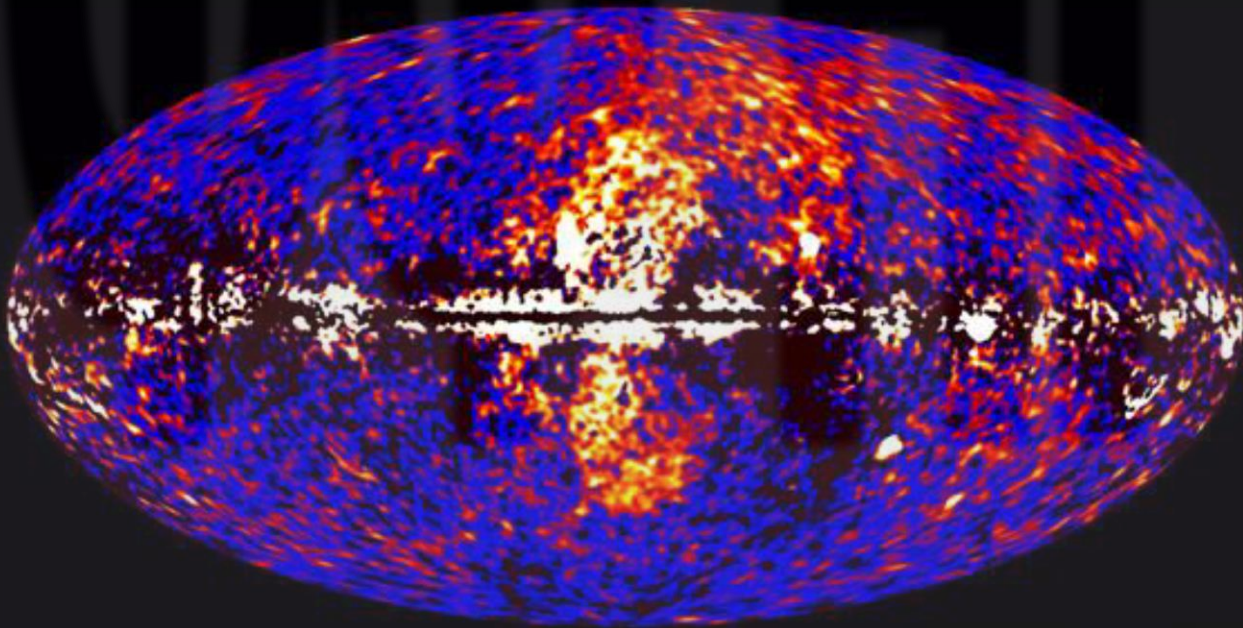
$$E_{\text{изл}} \simeq -\frac{1}{2} \Delta U \simeq \frac{1}{2} \frac{GMm}{3R_{Sh}} = \frac{1}{12} mc^2 \boxed{\frac{2GM}{c^2 R_{Sh}}} \stackrel{=1}{\simeq} 0.10 mc^2$$

То есть излучается ~10% от исходной массы вещества! При термоядерном синтезе гелия из водорода, в энергию переходит лишь 0.7% исходной массы!

«Пузыри» Ферми

Сейчас черная дыра Sgr A* спокойна, но, возможно, так было не всегда.

Рентгеновский спутник Fermi обнаружил гигантские структуры в направлении, перпендикулярном плоскости Галактики. Возраст пузырей от 10 до 100 млн лет. Активность черной дыры?

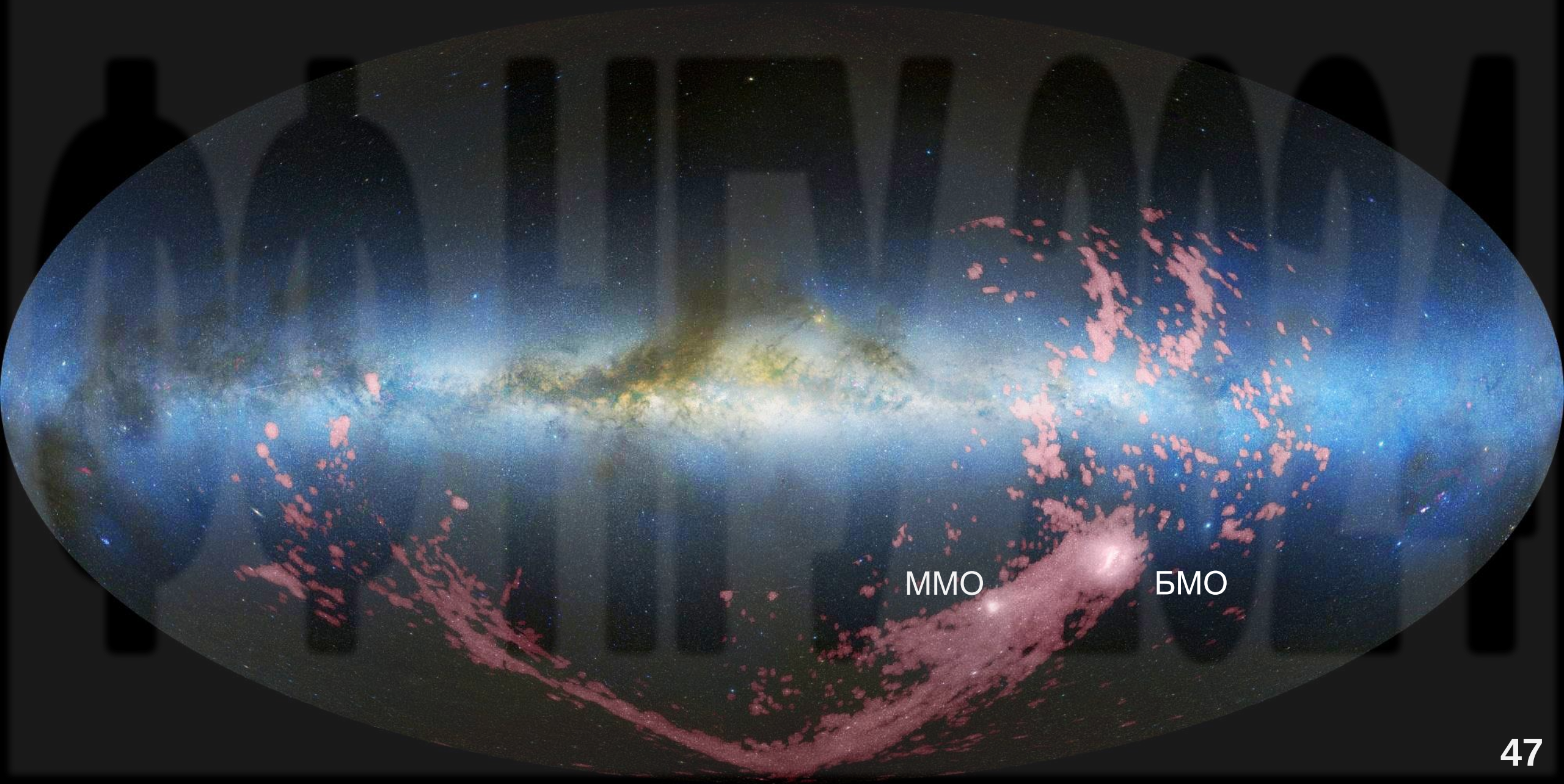


Структура Галактики: спутники

Магеллановы облака – карликовые галактики-спутники Млечного Пути. В настоящее время идет их активное взаимодействие с нашей галактикой и разрушение приливными силами. Измерения спутника GAIA позволяют проследить историю взаимодействия...



Структура Галактики: Магелланов поток



ММО

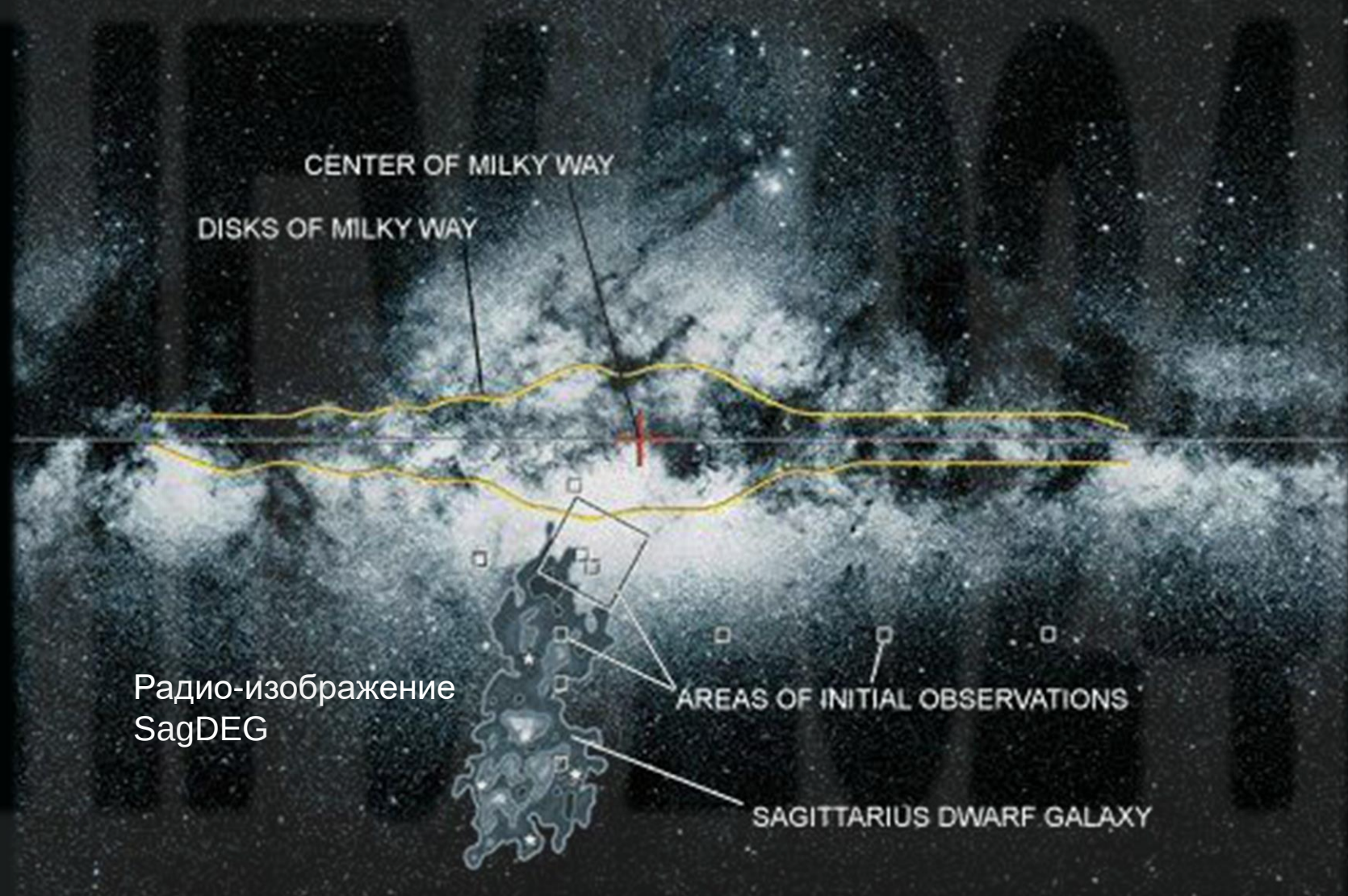
БМО

Структура Галактики: спутники

Галактика спутник SagDEG (карликовая эллиптическая галактика в Стрельце) находится на противоположной стороне Млечного Пути вблизи его плоскости и открыта в 1994 году. Вероятно, что давно известное шаровое скопление M54 принадлежало этой галактике, а, возможно, была ее ядром. Известно еще три ШС, которые, предположительно, связаны с SagDEG.

SagDEG расположена на расстоянии около 15-20 кпк от центра МП.

SagDEG – Sagittarius Dwarf Elliptical Galaxy



Структура Галактики: спутники

Sagittarius dwarf galaxy
↓



Milky Way

8 billion years ago



5.7 billion years ago
First Sagittarius passage



3 billion years ago



1.9 billion years ago
Second Sagittarius passage



1 billion years ago
Third Sagittarius passage



Current situation

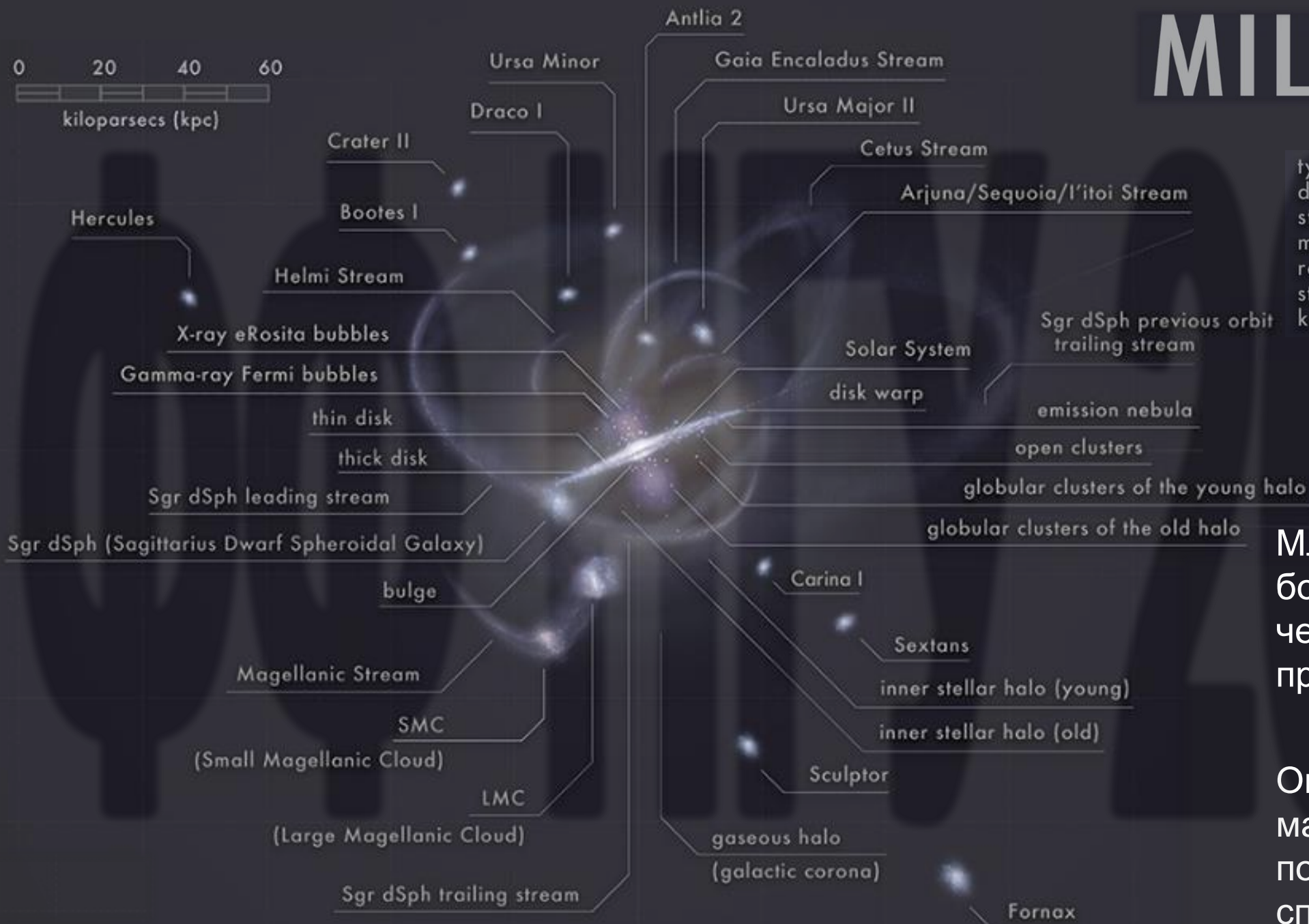
Структура Галактики: спутники

Помимо М54, возможно, что гигантское шаровое скопление ω Кентавра (в южном полушарии) также является остатком (ядром) эллиптической галактики, поглощенной Млечным Путем.

В настоящее время известно несколько десятков карликовых галактик-спутников Млечного Пути. Из-за очень малой поверхностной яркости, обнаружение даже ближайших карликовых галактик сильно затруднено.



MILKY WAY



type barred spiral galaxy Sbc
disk size ~ 185 kly
stars 100–400 billion
mass 1.5 trillion $M_{\odot}$
rotation period 220–360 Myr
star formation rate ~ 2.5 /yr
known satellite galaxies 59

Млечный Путь – гораздо более сложная динамическая структура, чем представлялось ранее.

Огромный объем информации об эволюции МП поступает из измерений спутника GAIA.