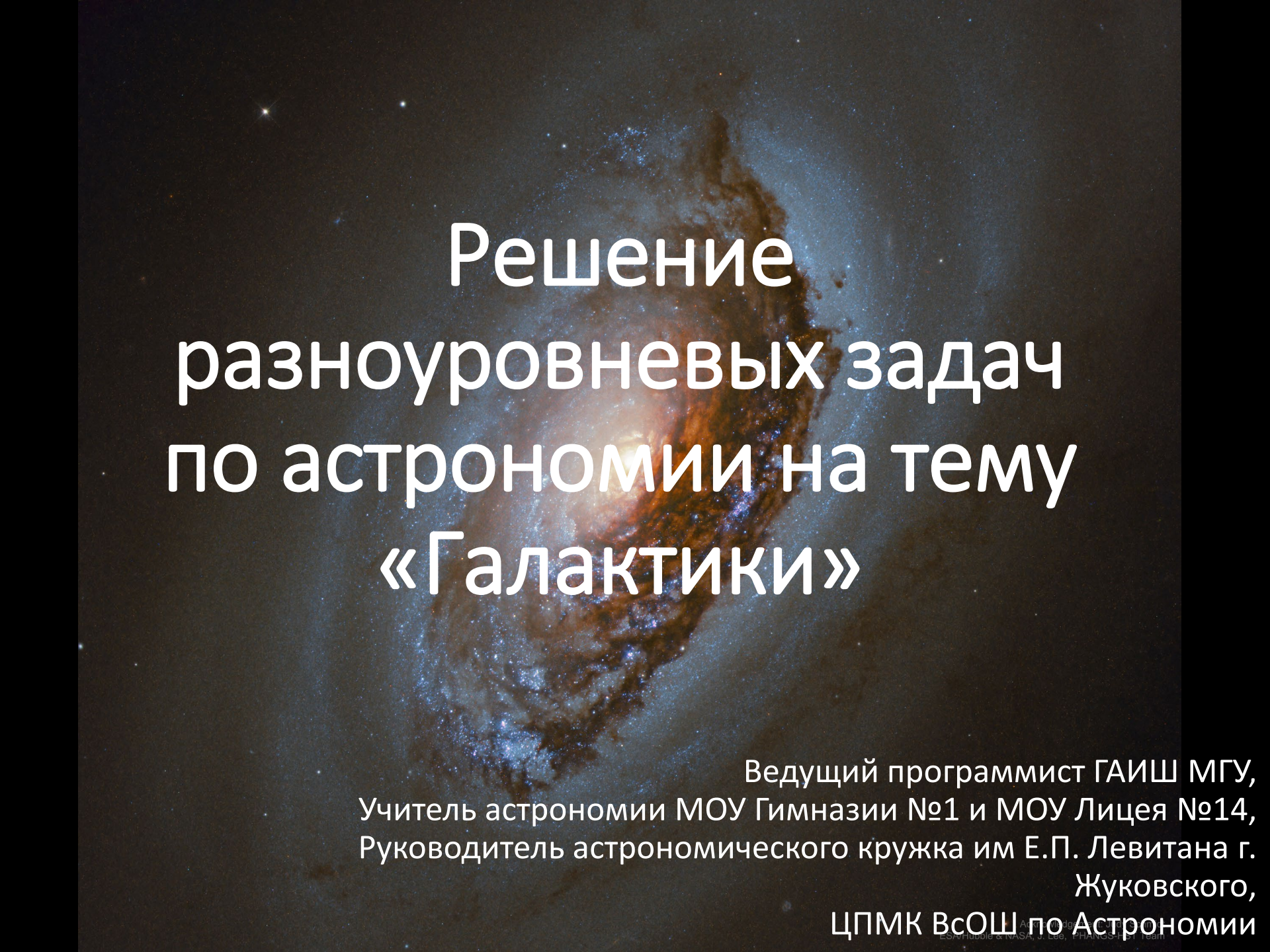




Решение разноуровневых задач по астрономии на тему «Галактики»

Ведущий программист ГАИШ МГУ,
Учитель астрономии МОУ Гимназии №1 и МОУ Лицея №14,
Руководитель астрономического кружка им Е.П. Левитана г.
Жуковского,
ЦПМК ВсОШ по Астрономии

ЗАДАЧНИК (ГОТОВИТСЯ К ВЫПУСКУ)

Авторы:

ТАТАРНИКОВ Андрей Михайлович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга МГУ им. М. В. Ломоносова, автор более 60 научных статей.

Педагог дополнительного образования в Астрономической школе «Вега» г. Железнодорожного. Член ЦПМК Всероссийской олимпиады школьников по астрономии и ПМК Москвы и Московской области.

ТАТАРНИКОВА Анна Александровна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга МГУ им. М. В. Ломоносова, автор более 40 научных статей.

Руководитель кружка «Олимпиадная астрономия» в Москве.

ФАДЕЕВ Евгений Николаевич, младший научный сотрудник Астрокосмического центра Физического института им. П. Н. Лебедева РАН, 9 научных статей. В 2017—2019 гг. — главный тренер команды Москвы на Всероссийской олимпиаде школьников. Член ЦПМК Всероссийской олимпиады школьников по астрономии и ПМК Москвы.



А. М. Татарников,
А. А. Татарникова,
Е. Н. Фадеев
Астрономия. 10—11 кл.
Задачник
(под ред. А. В. Засова,
В. Г. Сурдина)
Формат 70×90 1/16.
Обложка

В издании представлено более 500 задач по курсу астрономии для 10—11 классов, для большей части которых даны ответы. Задачник по содержанию и структуре соответствует учебнику А. В. Засова, В. Г. Сурдина «Астрономия. 10—11 классы». Каждая глава задачника состоит из небольшого теоретического введения, нескольких задач

с подробным решением и ответом и задач для самостоятельного решения, которые представлены на трёх уровнях сложности. Задачник можно использовать как для текущей работы на уроке астрономии, так и для подготовки к решению задачи 24 ЕГЭ по физике.

Задача. Расположите в порядке возрастания следующие величины:

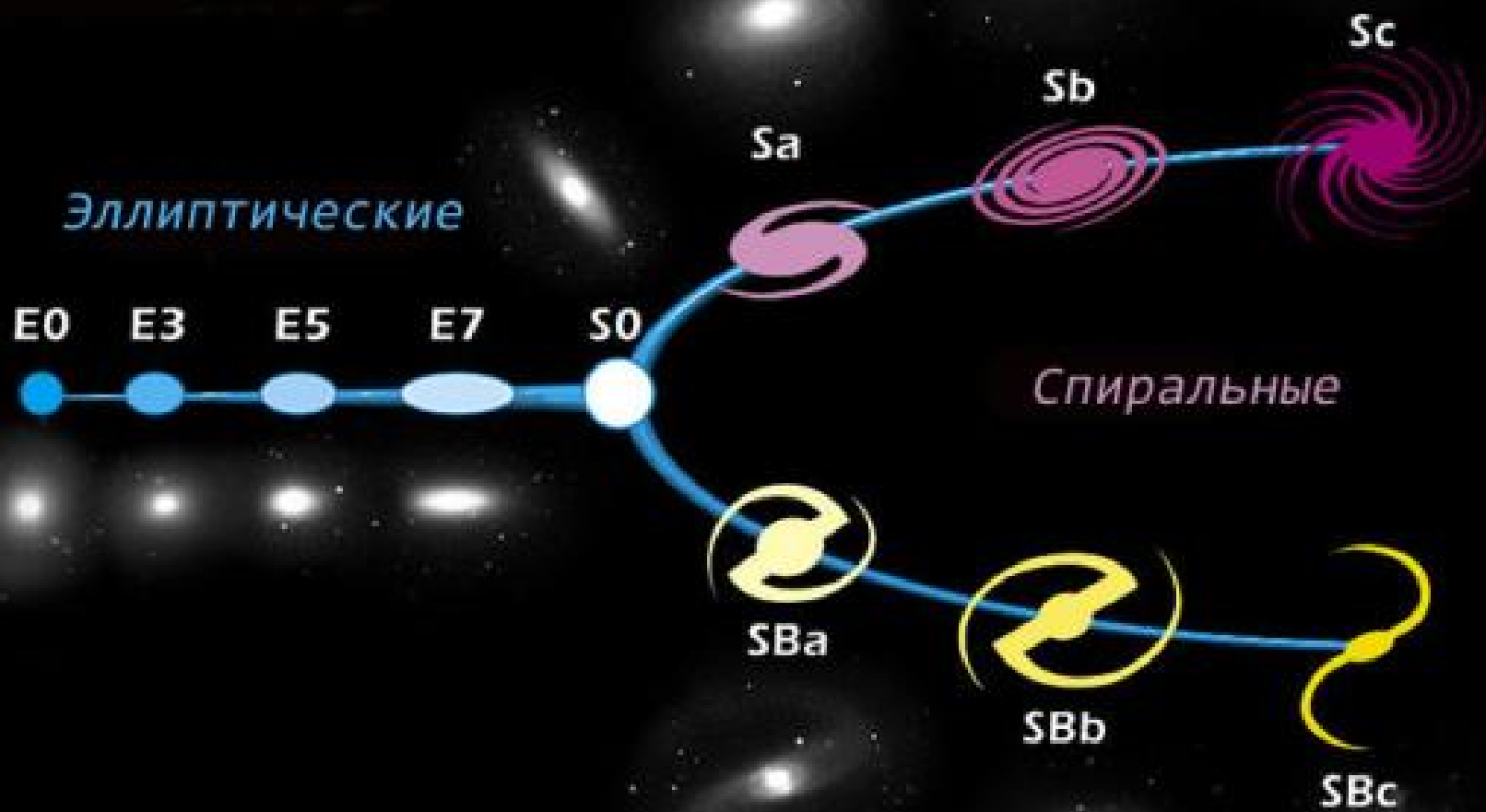
1) 10^{21} см, 2) 5 кпк, 3) расстояние от Солнца до центра Галактики, 4) радиус Галактики, 5) 5×10^{18} м, 6) расстояние от Солнца до Туманности Андромеды, 7) 3000 световых лет.

Решение. Выразим все приведённые расстояния в одних единицах, например, в парсеках:

1) 10^{21} см ≈ 325 пк, 2) 5 кпк = 5000 пк, 3) расстояние от Солнца до центра Галактики = 8000 пк, 4) радиус Галактики = 15 000 пк, 5) 5×10^{18} м ≈ 162 пк, 6) расстояние от Солнца до Туманности Андромеды $\approx 700\,000$ пк, 7) 3000 световых лет ≈ 920 пк. Теперь не трудно записать ответ.

Ответ: 5 – 1 – 7 – 2 – 3 – 4 – 6.

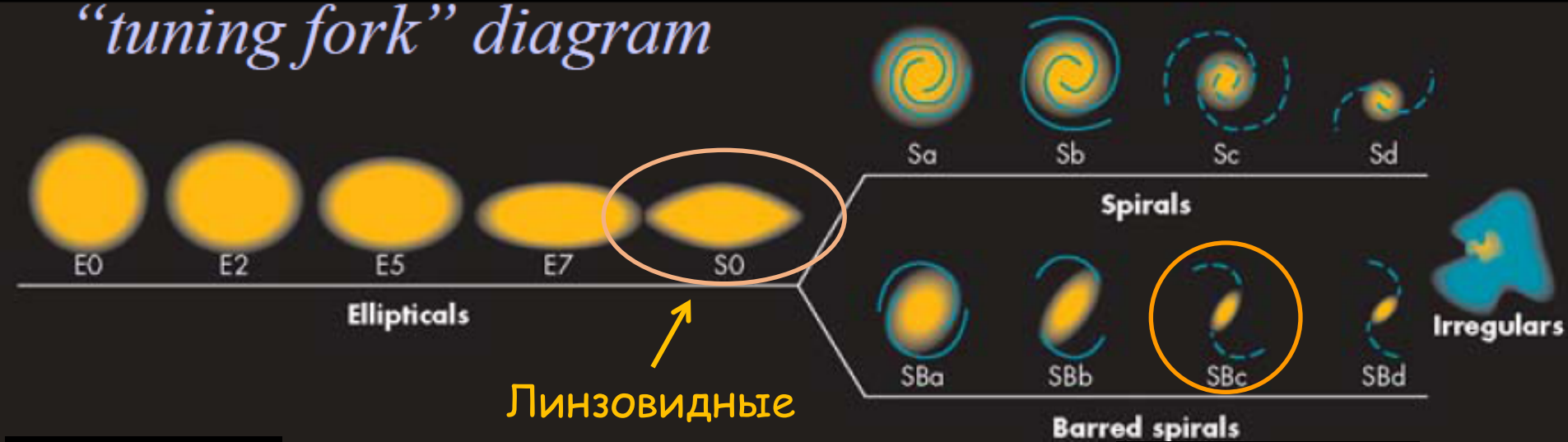
Классификация Эдвина Хаббла



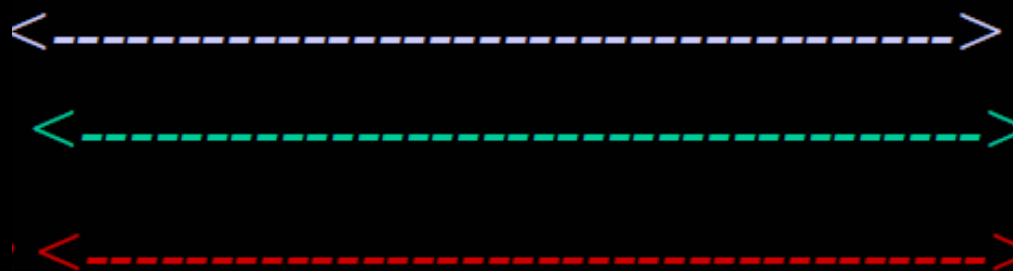
Хаббловская схема классификации галактик по форме и морфологическим типам (1-я половина XX века)

("камертонная" диаграмма)

"tuning fork" diagram



Краснее
Мало газа
Балджи
ярче
Много
старых
звёзд

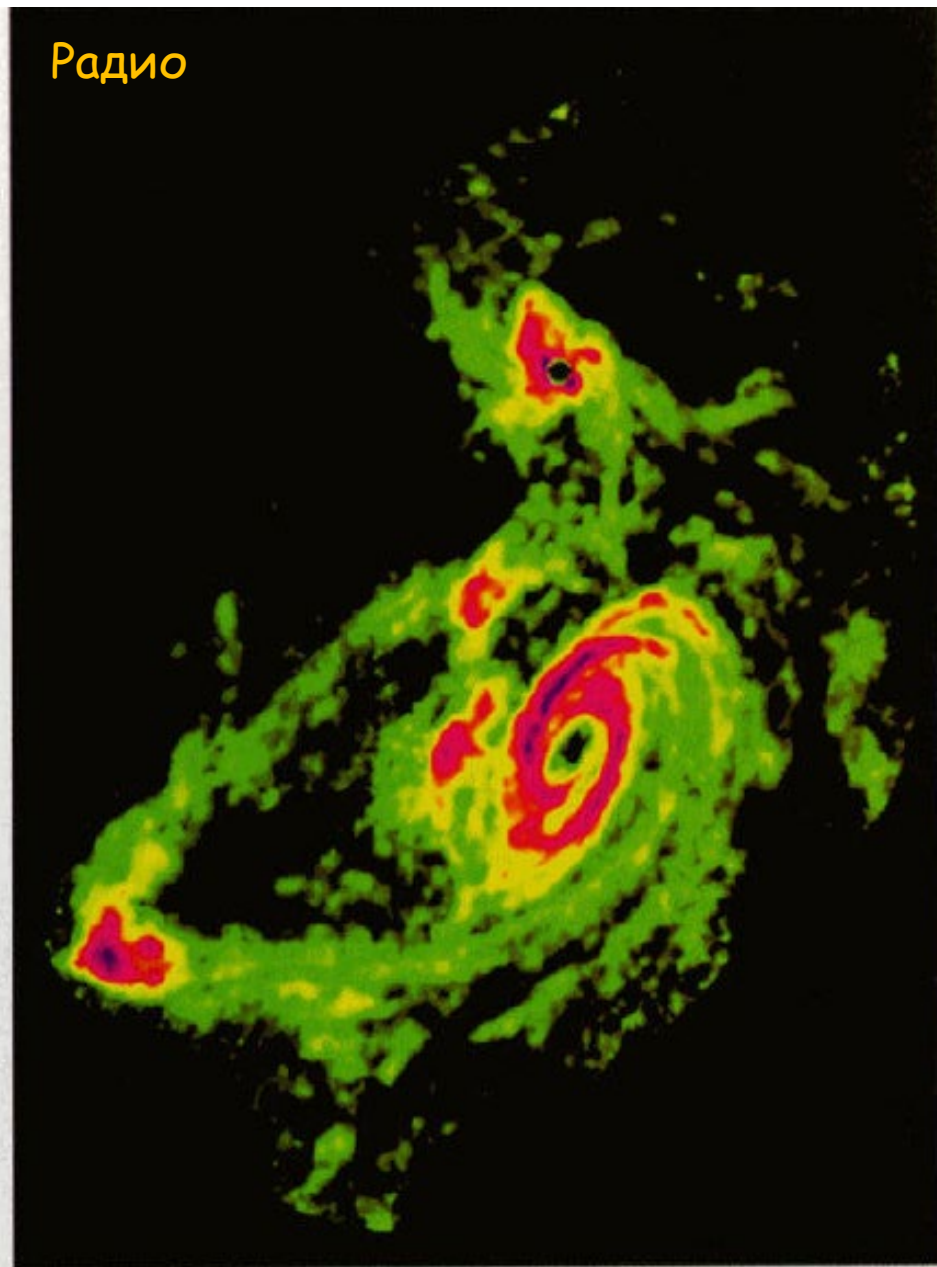


Голубее
Много газа
Балджи
слабее
Много
молодых
звёзд

Оптика



Радио



Группа M81 + M82: Оптика и радио (21 см, нейтральный водород)

0.15 μm NUV

Горячие звёзды

0.4-0.8 μm
Оптика

Звёзды и газ

1.2-2.2 μm

Холодные звёзды
NIR

3.6 μm

Звёзды и пыль

8.0 μm MIR

Пыль в областях звездообразования

24 μm

70 μm

FIR

160 μm

Комплексы пыли и
диффузная пыль в дисках

M51



Эллиптические (M87)

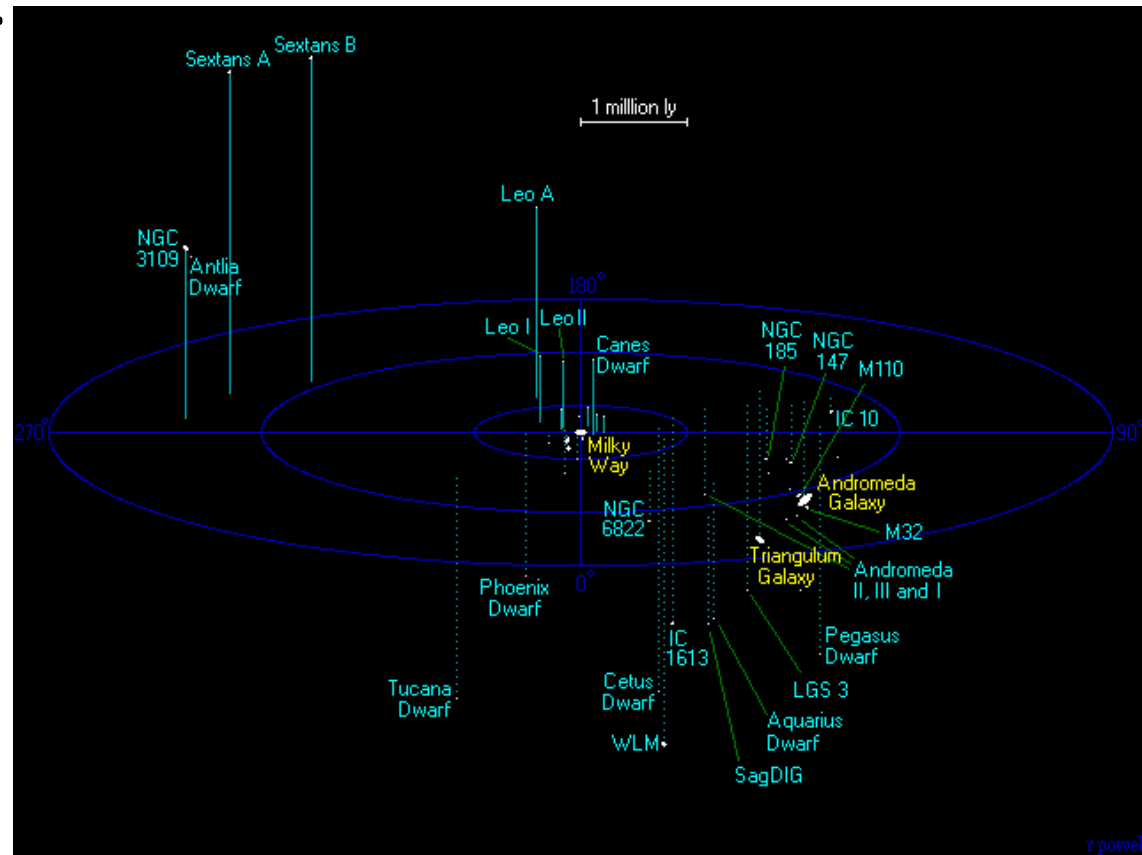


$$E = 10 \times \left(1 - \frac{b}{a}\right)$$

Задача. Расположите в порядке возрастания следующие величины:

1) расстояние от Солнца до центра Галактики, 2) расстояние до Туманности Андромеды, 3) расстояние до Туманности Ориона, 4) радиус Галактики, 5) расстояние от Солнца до Большого Магелланова Облака.

• **Ответ:** 3 – 1 – 4 – 5 – 2.



Задача. Из списка объектов выберите те, которые не могут встретиться в эллиптической галактике: 1) шаровые звёздные скопления, 2) рассеянные звёздные скопления, 3) звёзды главной последовательности, 4) гигантские молекулярные облака, 4) голубые сверхгиганты, 5) красные гиганты, 6) белые карлики.

Ответ: рассеянные звёздные скопления, гигантские молекулярные облака, голубые сверхгиганты.



Задача. Известно, что в 1 см^3 межзвёздного пространства в среднем содержится примерно 1 атом. Какую массу имеет межзвёздное вещество, содержащееся в объёме пространства, равном объёму Земли?

Решение:

$$\begin{aligned} M &= m_p \cdot n \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 \\ &= 1.67 \cdot 10^{-27} \cdot 1 \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \\ &\cdot (6.4 \cdot 10^6)^3 \approx 2 \text{ кг} \end{aligned}$$

Ответ: примерно 2 кг (считаем, что межзвёздное вещество состоит из водорода).



Задача. Какую звёздную величину имела бы галактика подобная нашей при наблюдении с расстояния 50 Мпк?

Решение:

Абсолютная звездная величина Млечного Пути - 21^m . Так как расстояние не очень большое, то можно не учитывать межгалактическое поглощение:

$$\begin{aligned} m &= M - 5 + 5 \lg r \\ &= -21^m - 5 \\ &\quad + 5 \lg 5 \cdot 10^7 \approx 12.5^m \end{aligned}$$

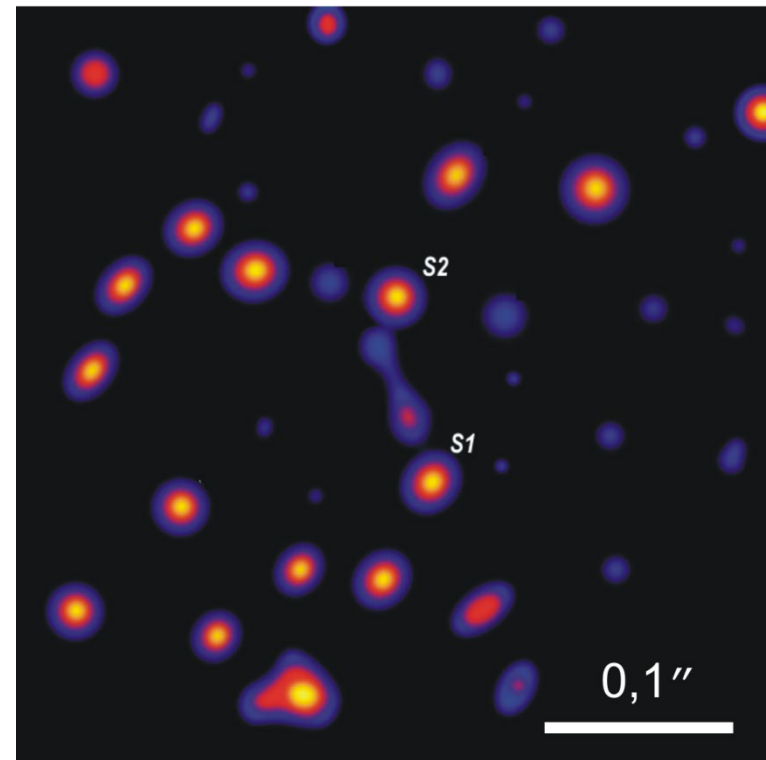
Ответ: 12.5^m .



Задача. На рисунке приведено изображение окрестностей центра нашей Галактики, полученное в инфракрасном диапазоне длин волн. Чему равны линейные размеры этой области? Оцените расстояние между звёздами S1 и S2? Это оценка снизу (т.е. расстояние меньше быть не может) или сверху? Выразите ответ в километрах и в световых днях.

$$\bullet \quad l = \alpha \cdot R \Leftrightarrow R \approx \alpha \cdot L$$

Ответ: размеры области равны $5 \cdot 10^{11}$ км, или примерно 19 световых дней; расстояние между звёздами S1 и S2 не меньше $1,25 \cdot 10^{11}$ км, или 4,8 световых дня.

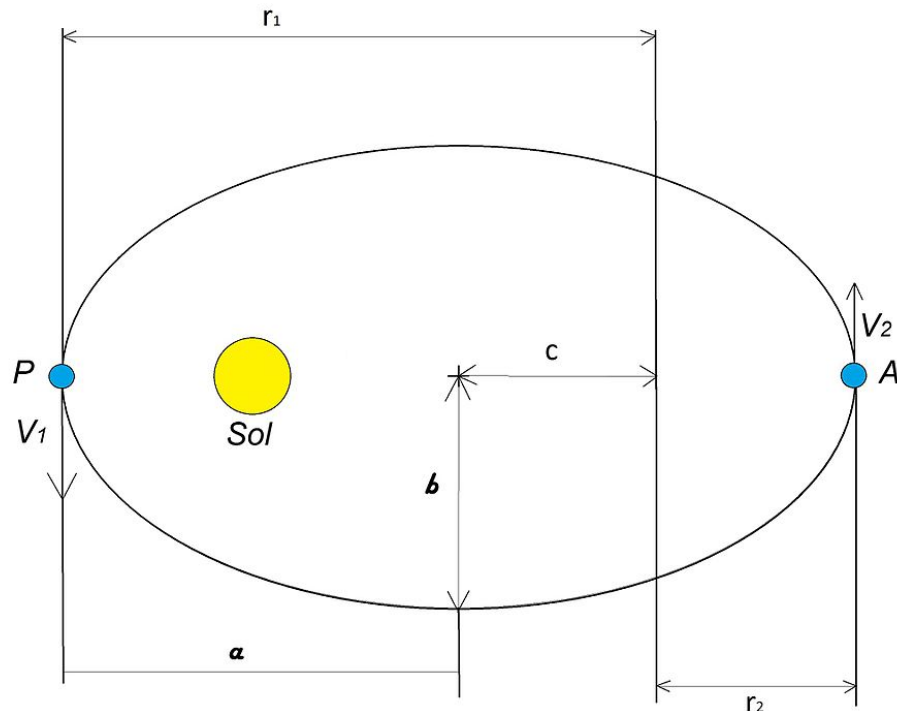


Уточненный третий закон Кеплера

- Произведение суммы масс систем и квадраты периодов обращений планет пропорциональны кубам больших полуосей их эллиптических орбит.

$$\frac{T_1^2(M_1 + m_1)}{T_2^2(M_2 + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

$$\frac{T_1^2(M_1 + m_1)}{a_1^3} = \frac{4\pi^2}{G}$$



Задача. Оцените массу ЧД в центре нашей Галактики, зная, что звезда S2 совершает один оборот вокруг неё за 15.8 лет, а большая полуось её орбиты видна с Земли под углом $0.123''$. Как вы считаете, это оценка снизу (т.е. масса не может быть меньше полученной величины) или сверху? Ответ объясните.

Решение:

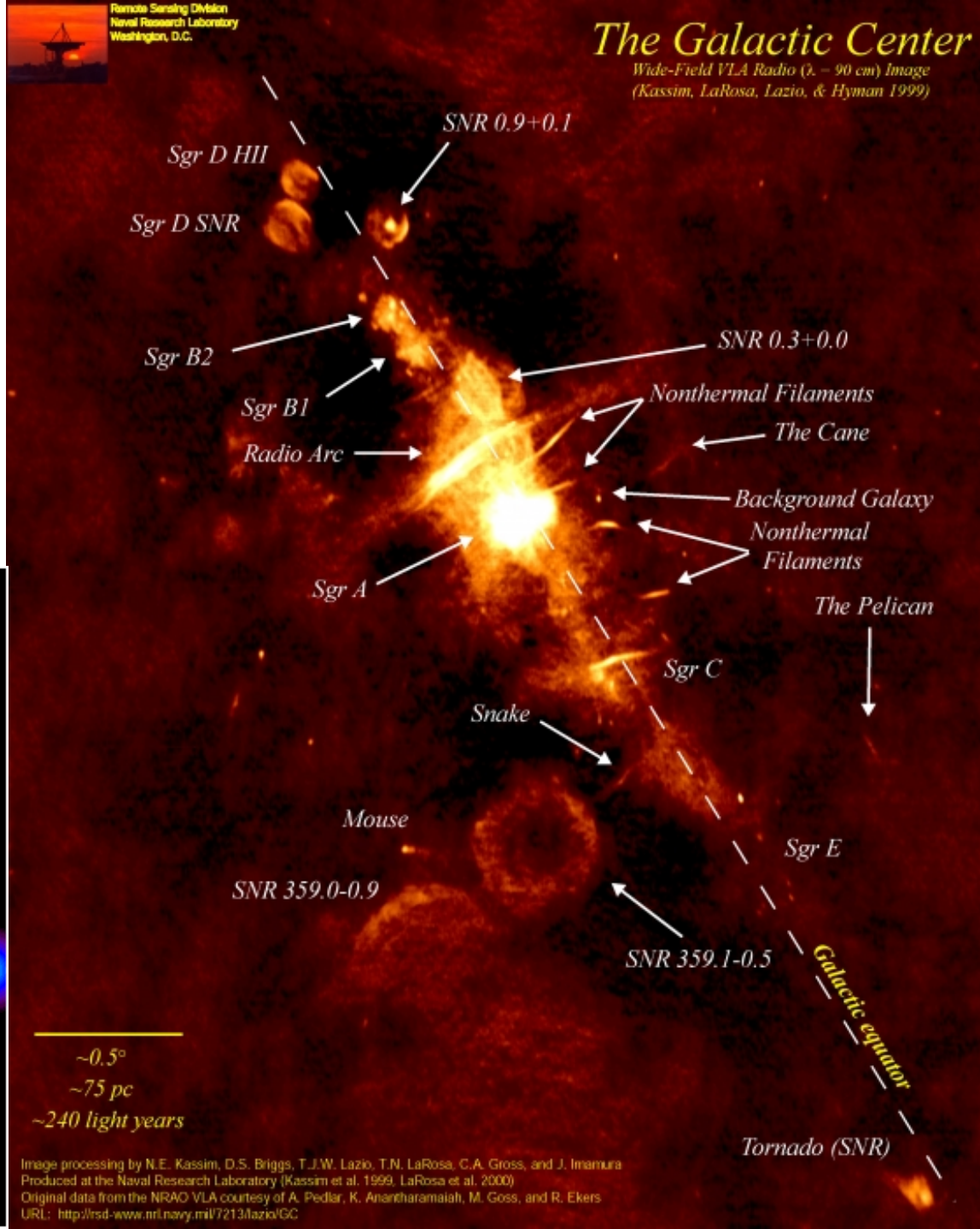
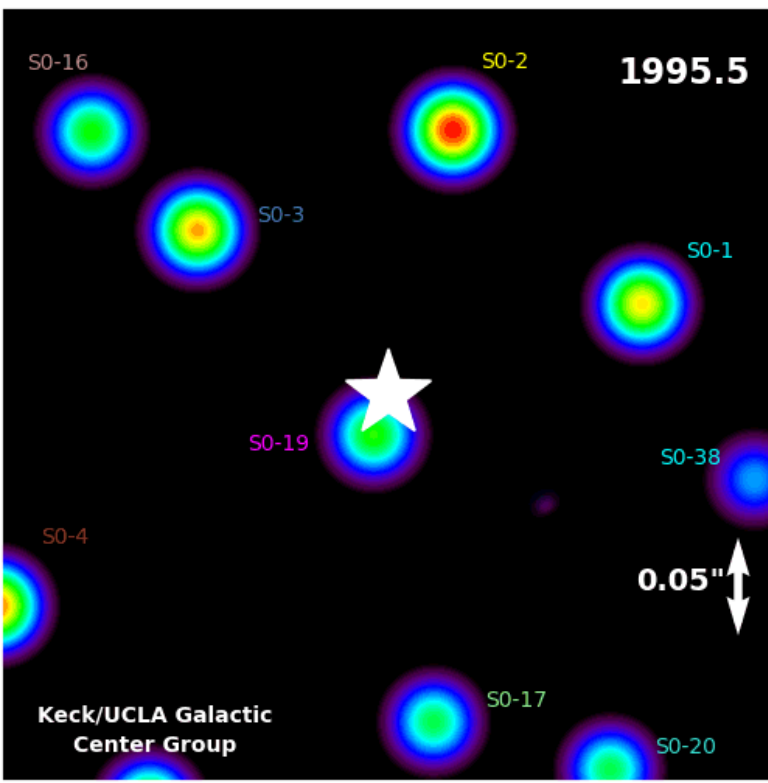
$$a_{S2} = \frac{0.123''}{206265''} \cdot 8.5 \text{ кпк} = 0.005 \text{ пк} \approx 6 \text{ св. дней}$$
$$\frac{M_{BH}}{M_{\text{Солнца}}} = \left(\frac{a_{S2}}{a_{\oplus}} \right)^3 \cdot \left(\frac{T_{\oplus}}{T_{S2}} \right)^2 \approx 4.2 \text{ млн. масс Солнца}$$

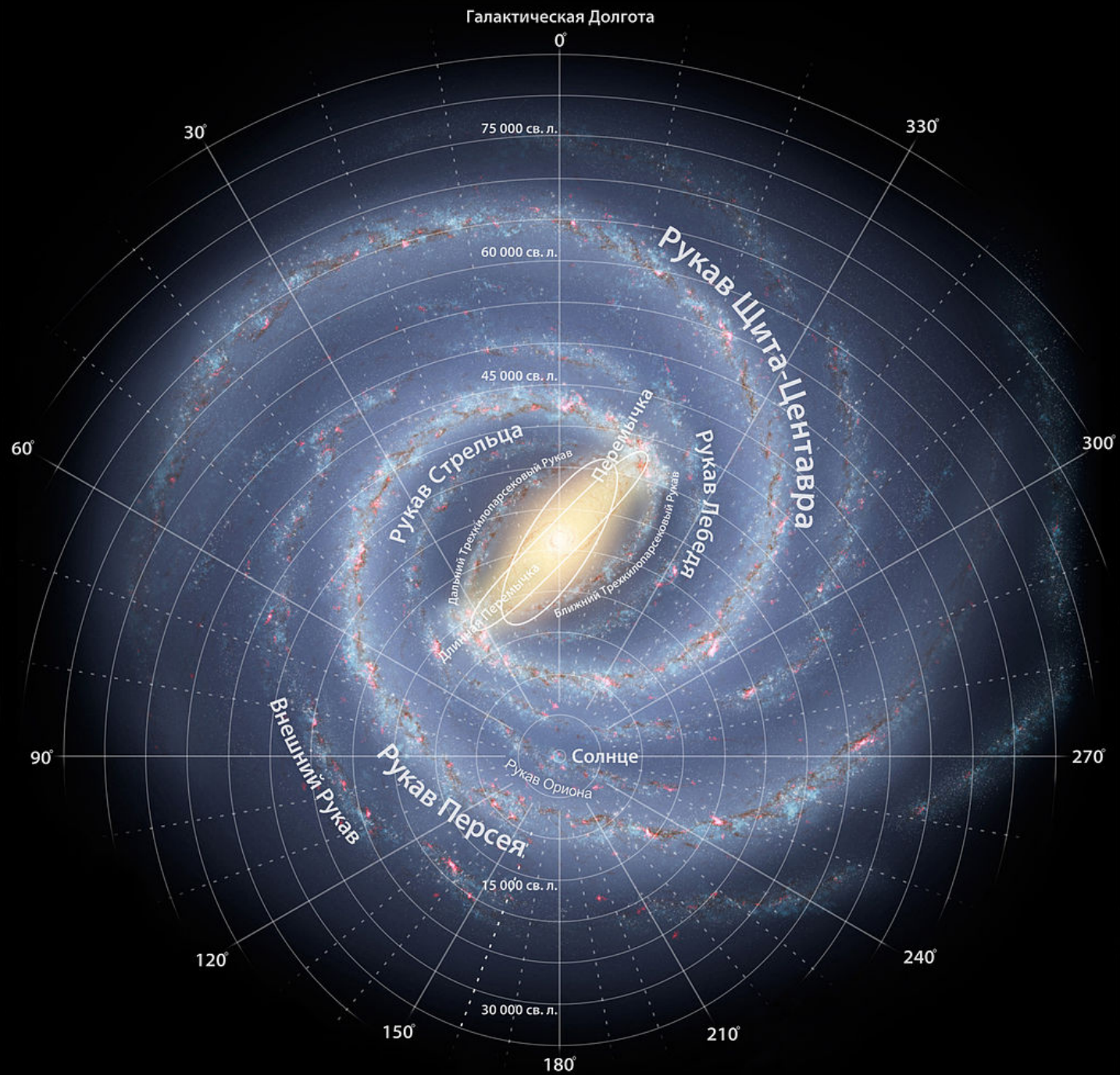
Ответ: 4,2 млн масс Солнца (или $8,4 \cdot 10^{36}$ кг); это оценка массы снизу, т. к. возможно, что плоскость орбиты звезды не перпендикулярна лучу зрения, и мы недооцениваем размер большой полуоси орбиты, т. к. смотрим на ось орбиты под углом.

Черная дыра

$$c = \sqrt{\frac{2GM}{R_{BH}}}$$

$$R_{BH} = \frac{2GM}{c^2}$$

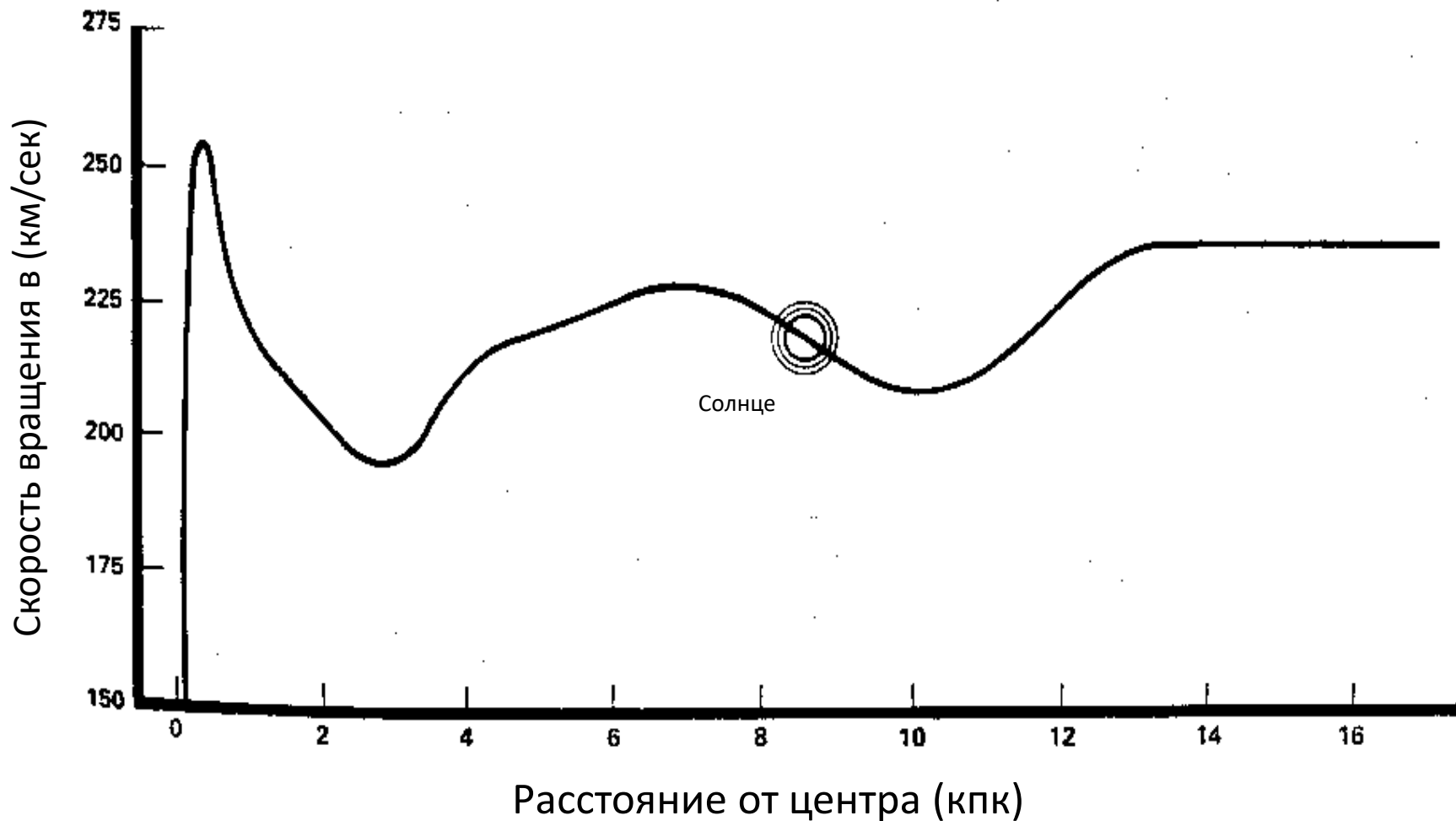


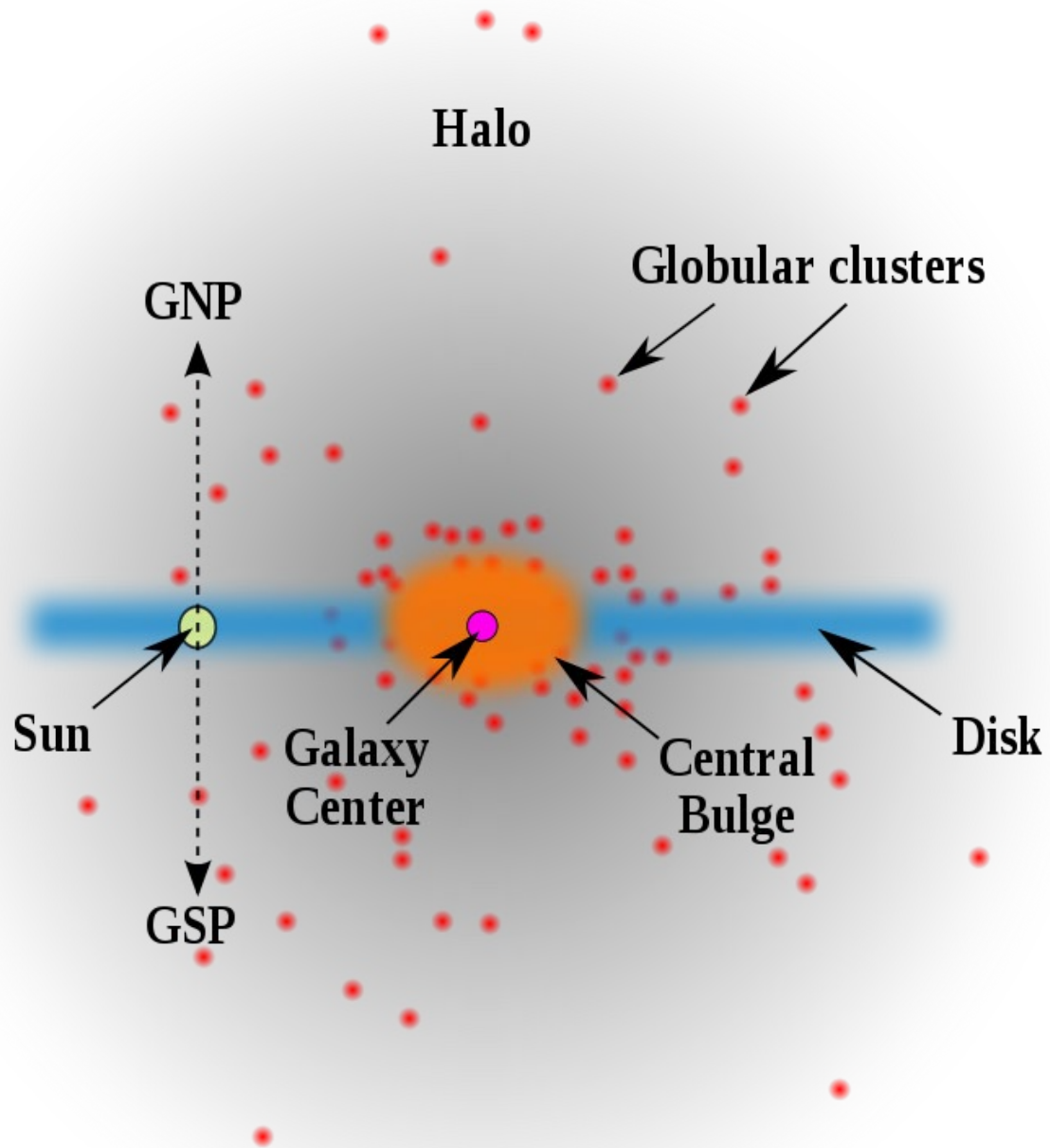


Задача. Пользуясь программой-планетарием Stellarium, выберите из списка созвездия, через которые проходит галактический экватор: Малая Медведица, Лебедь, Орёл, Дракон, Стрелец, Возничий, Персей, Кит, Южный Крест.

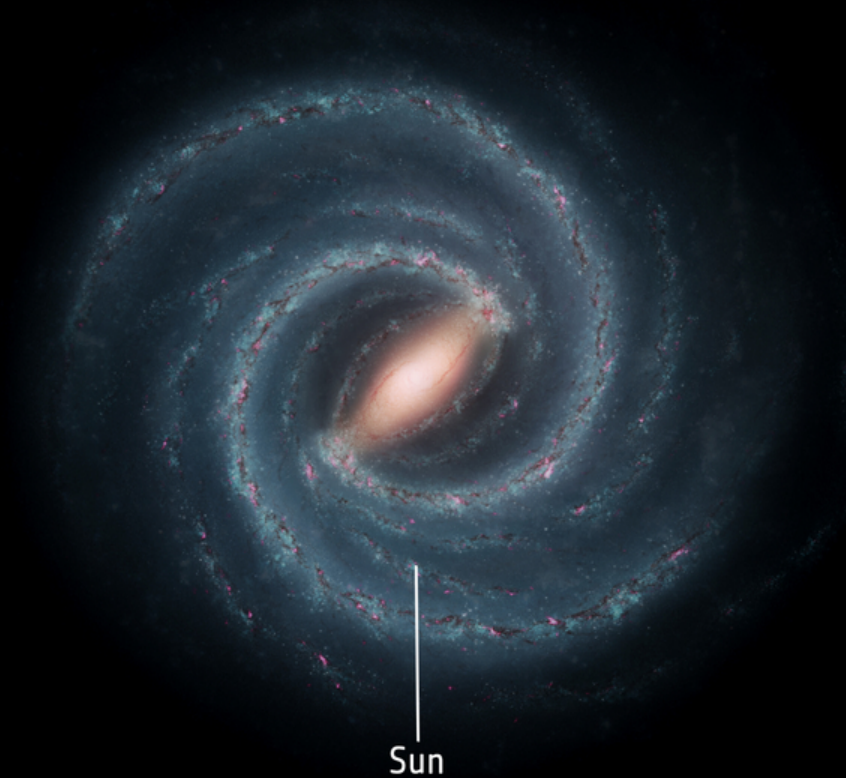
Ответ: Лебедь, Орёл, Стрелец, Возничий, Персей, Южный Крест.

Кривая вращения Галактики

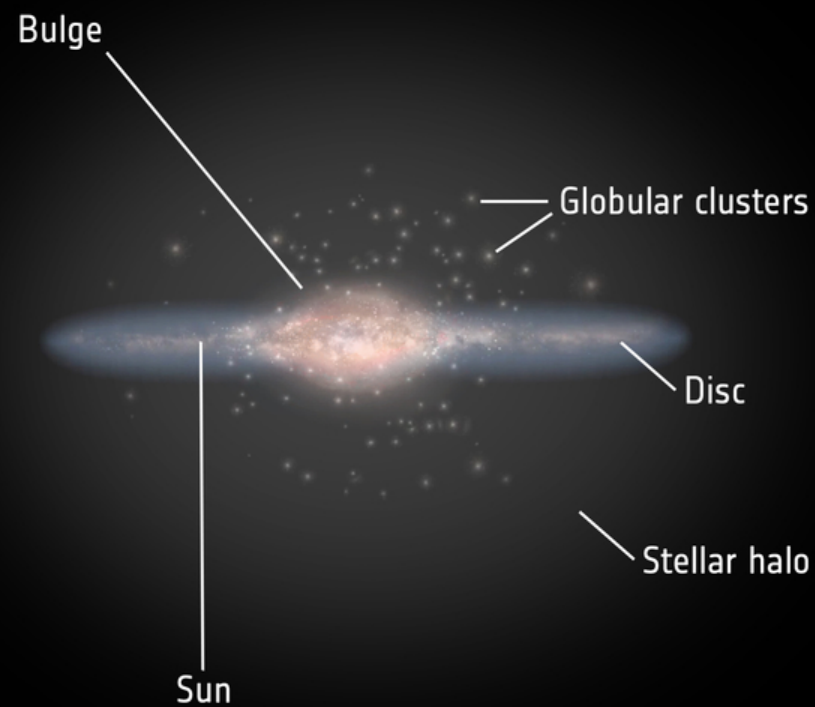




→ ANATOMY OF THE MILKY WAY



www.esa.int



European Space Agency

Задача. Во сколько раз вырастет число галактик, доступных наблюдениям, при переходе наблюдателя с 0,5-метрового телескопа на 1-метровый телескоп? Считать галактики равномерно распределенными в пространстве.

Решение:

$$E \sim D^2$$
$$E \sim R^{-2}$$

Следовательно телескоп соберет в 4 раза больше света и позволит те же галактики увидеть с расстояния в корень раз дальше т.е. в 2 раза

Соответственно наблюдаемый объем увеличится $\sim R^3$, т.е в 8 раз

Ответ: в 8 раз.

Задача. Одно из шаровых звёздных скоплений находится в настоящее время в перигентре своей орбиты на расстоянии 7.5 кпк от центра Галактики. Чему равно расстояние до этого скопления в апоцентре, если эксцентриситет его орбиты равен 0.1? Сколько оборотов оно успело совершить вокруг центра Галактики за свою жизнь?

Решение:

$$Q = a(1 + e) = \frac{q}{1 - e} (1 + e) = q \frac{1 + e}{1 - e} = 7.5 \frac{1 + 0.1}{1 - 0.1} \\ \approx 9.2 \text{ кпк и } a = 8.35 \text{ кпк}$$

Так же необходимо найти период по уточненному 3-му закону Кеплера

$$T_{\text{ШС}} = T_{\text{Земли}} \cdot \left(\frac{M_{\text{Солнца}}}{M_{\text{Млечного пути}}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{a_{\text{ШС}}}{a_{\text{Земли}}} \right)^{\frac{3}{2}} \\ = 1 \cdot 10^{-\frac{14}{2}} \cdot (8.35 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^6)^{\frac{3}{2}} \approx 216 \text{ млн лет}$$

Ответ: 9.2 кпк; 60-70 оборотов.

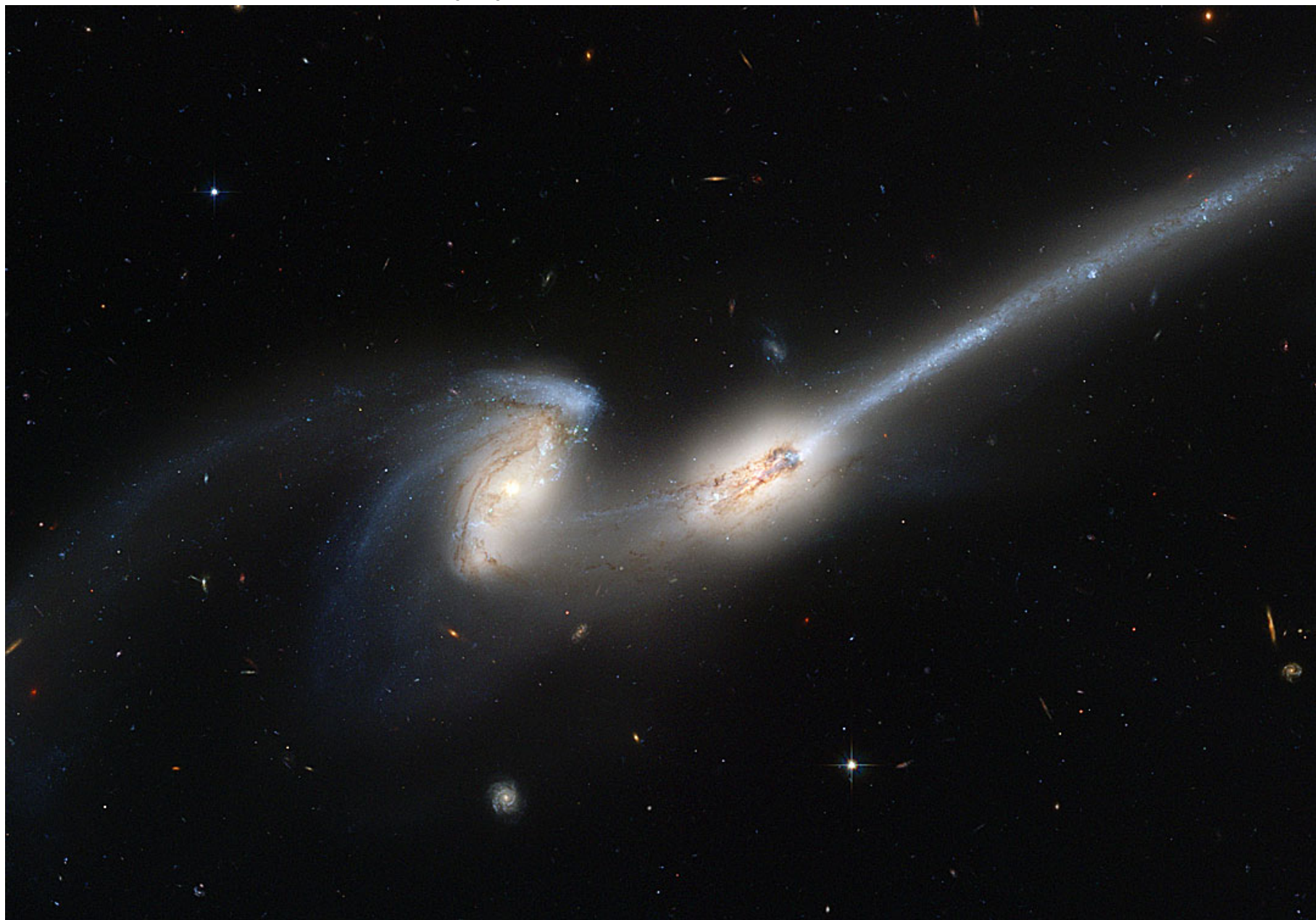
Задача. Средняя концентрация молекул в молекулярных облаках 1000 см^{-3} . Какова была бы масса диска Галактики, если бы весь его объём заполняли молекулярные облака? Сравните с массой Галактики.

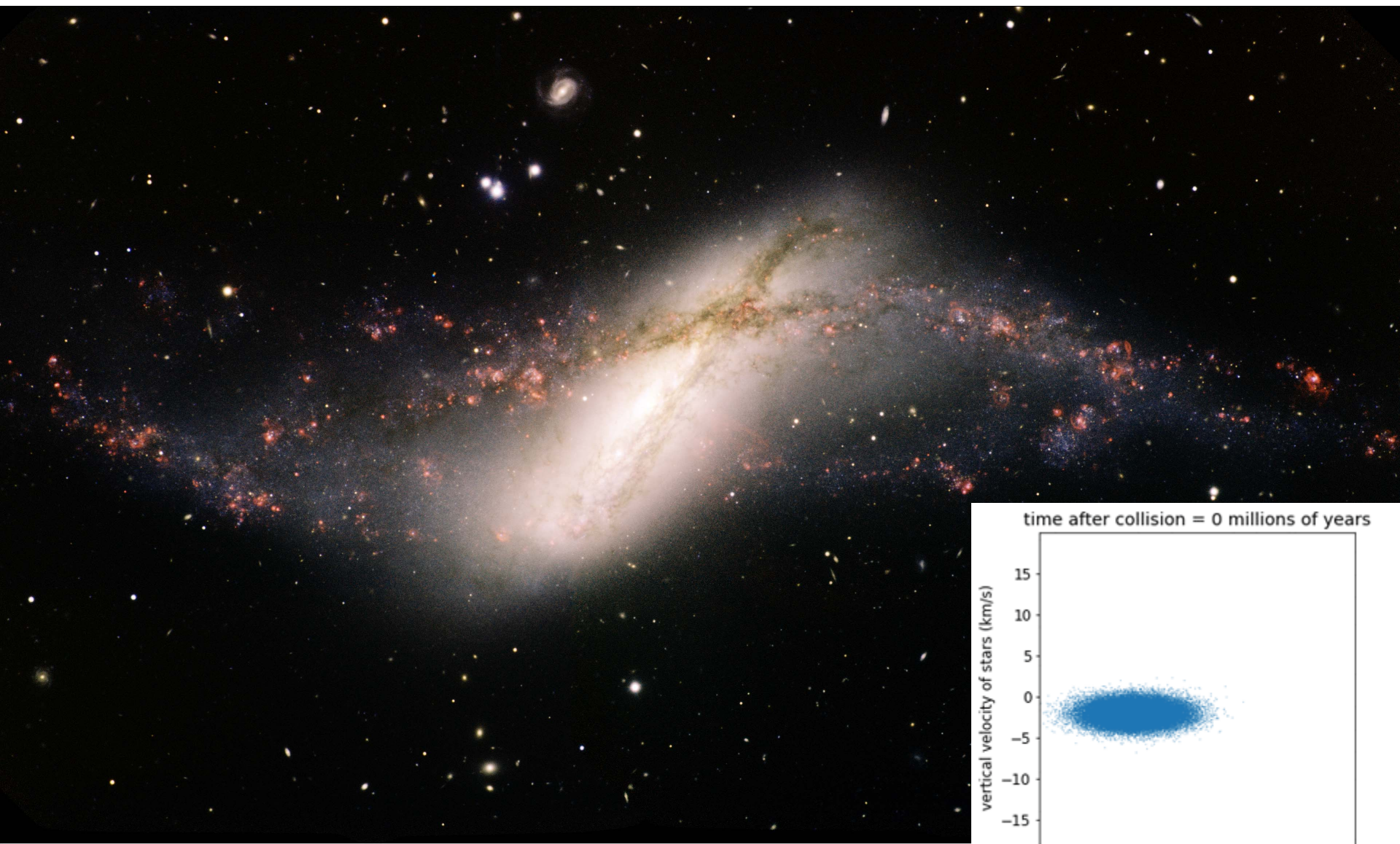
Решение: Форма диск. Толщина 300 пк, диаметр 35 кпк. Следовательно полная масса:

$$\begin{aligned} M_{\text{Газа}} &= n \cdot m_{\text{H}_2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \\ &= 1 \cdot 2 \cdot 1.67 \cdot 10^{-27} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (3.5 \cdot 10^3 \cdot 206265)^2 \cdot 300 \\ &\cdot 206265 \approx 2 \cdot 10^{13} M_{\odot} \end{aligned}$$

Ответ: $2 \cdot 10^{13} M_{\odot}$; масса Галактики в 40 раз меньше.

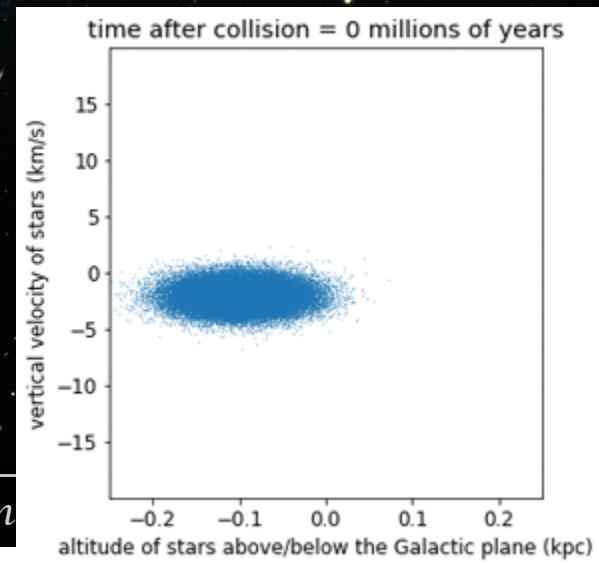
Взаимодействие галактик



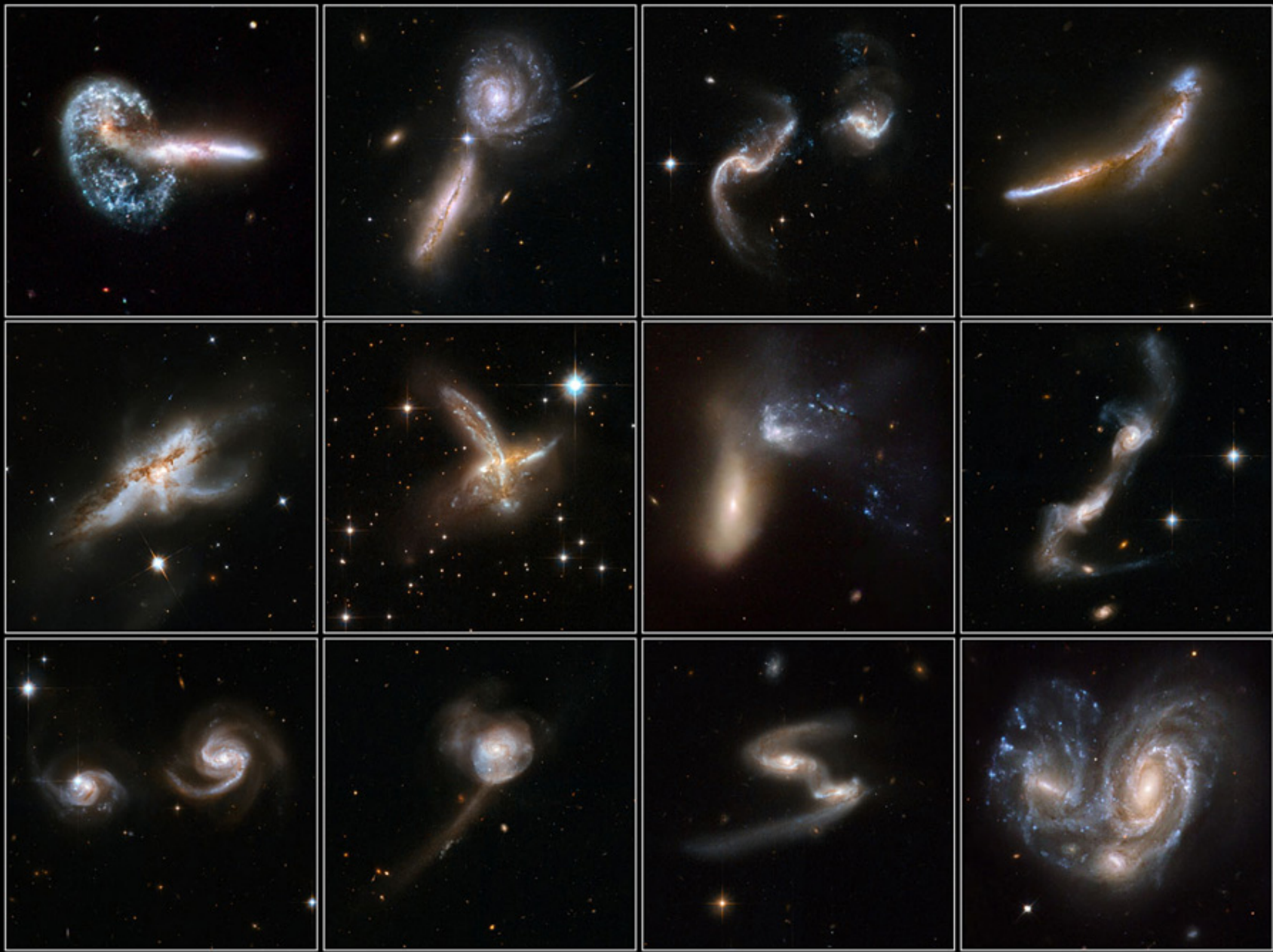


Credit: Gemini Observatory / AURA

Gemini







NGC 5643

Спасибо за внимание!

Ссылки

- Группа задач Астрономических олимпиад в контакте в документах есть задачи олимпиад разных уровней с решениями в разделе Ресурсы - <https://vk.com/astroolympiads>
- Сайт ВсОШ по Астрономии с архивами задач и результатами – <http://www.astroolymp.ru/>
- Сайт Московской Астрономической олимпиады <http://mosastro.olimpiada.ru>
- Сайт Санкт-Петербургской астрономической олимпиады <http://school.astro.spbu.ru/?q=olymp>
- Фотоальбом НАСА - <https://photojournal.jpl.nasa.gov/>
- Проект карта Вселенной на разных масштабах - <http://www.atlasoftheuniverse.com/>
- Виртуальный планетарий- <https://celestiaproject.net/ru/>
- Виртуальный планетарий - <http://www.stellarium.org/>
- Задачи и Упражнения по Общей Астрономии - <http://www.astronet.ru/db/msg/1175352/node1.html>