МЕЖЗВЁЗДНАЯ СРЕДА ГАЛАКТИКИ

10-11 класс
УМК Б.А.Воронцова-Вельяминова

Разумов Виктор Николаевич,
учитель МОУ «Большеелховская СОШ»
Лямбирского муниципального района Республики Мордовия

Межзвёздная среда: газ и пыль

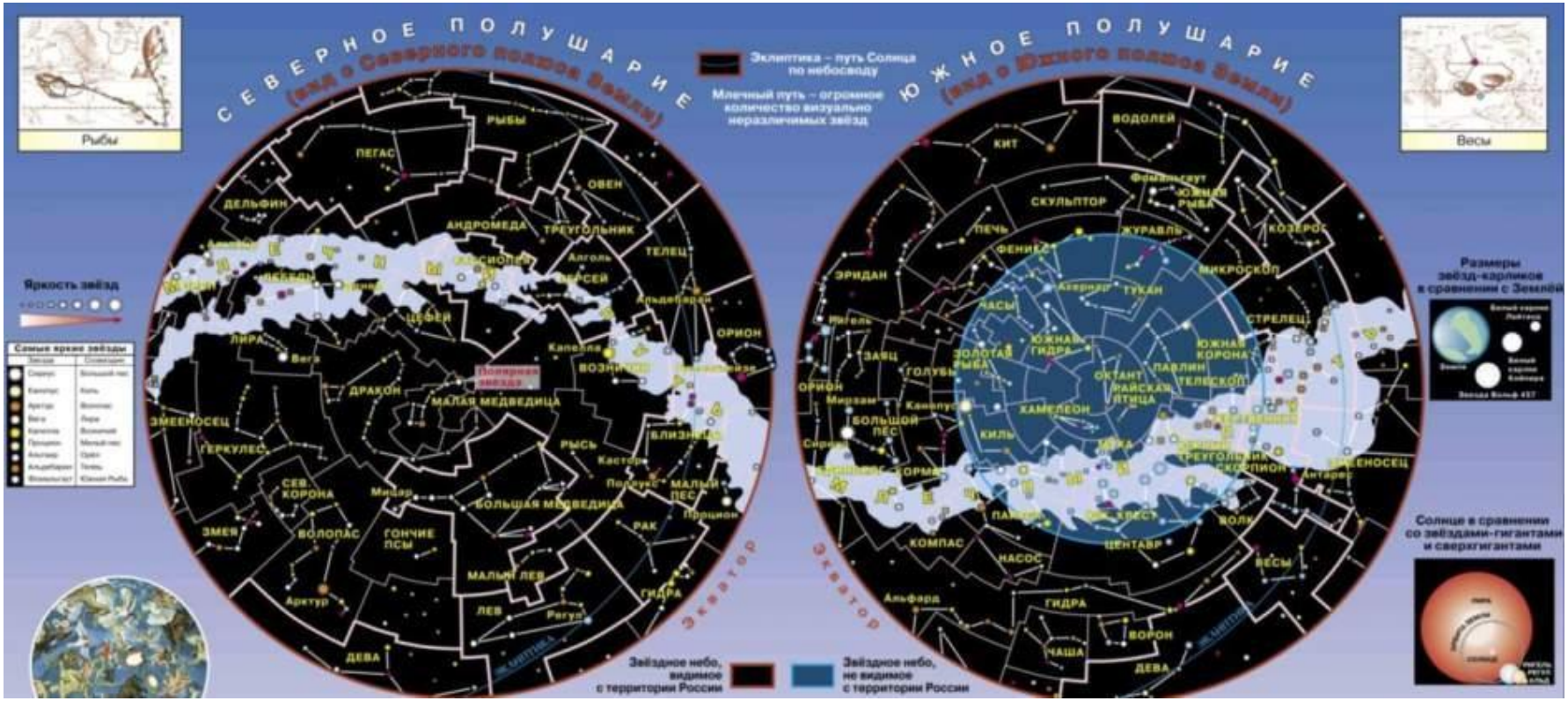
Межзвёздное вещество распределено в объёме Галактики неравномерно.

Основная масса газа и пыли сосредоточена в слое небольшой толщины (около 200–300 пк) вблизи плоскости Млечного Пути.

Местами это вещество сгущается в огромные (диаметром сотни световых лет) облака, которые загораживают от нас расположенные за ними звёзды.

Именно такие облака наблюдаются как тёмные промежутки в Млечном Пути, которые долгое время считались областями, где звёзд нет, а потому через них можно заглянуть за пределы Млечного Пути.

Самое большое и близкое к нам облако вызывает хорошо заметное раздвоение Млечного Пути, которое протянулось от созвездия Орла до созвездия Скорпиона. Оно показано на картах звёздного неба.



Свет звёзд рассеивает и поглощает космическая пыль (графит, силикаты, лёд), частицы которой по своим размерам сравнимы с длиной световой волны.

Частицы такого размера сильнее поглощают более коротковолновое излучение в сине-фиолетовой части спектра; в длинноволновой (красной) его части поглощение слабее, поэтому наряду с ослаблением света далёких объектов наблюдается их покраснение.

Межзвёздная среда

В облаках газовая концентрация составляет несколько десятков атомов на 1 $см^3$.

В пространстве между облаками она в 100 раз меньше, чем в облаках.

Масса пыли составляет всего несколько процентов массы межзвёздного вещества, состоящего в основном из молекулярного водорода с небольшими примесями других газов.

Но даже столь малое содержание пыли при тех огромных расстояниях, которые проходит свет от далёких звёзд, вызывает его значительное ослабление.

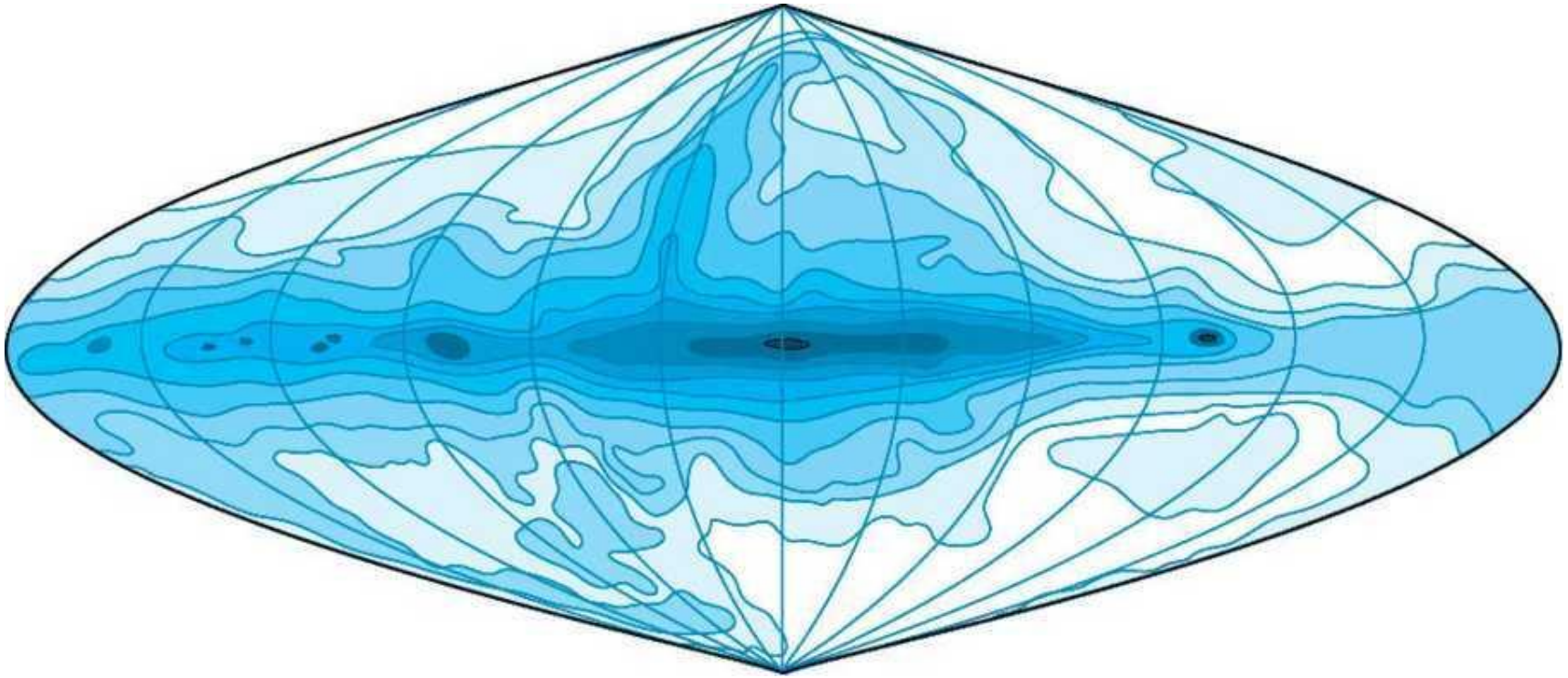
В среднем ослабление света составляет 1,5 звёздной величины на 1000 пк, а в облаках может достигать 30 звёздных величин.

Сквозь такую завесу излучение в оптическом диапазоне практически не проникает, что лишает нас возможности увидеть ядро Галактики, которое можно изучать, только принимая его инфракрасное и радиоизлучение.

Центр Галактики в инфракрасном свете

Более половины межзвёздного вещества в Галактике составляет нейтральный водород, который не светится сам и не поглощает свет.

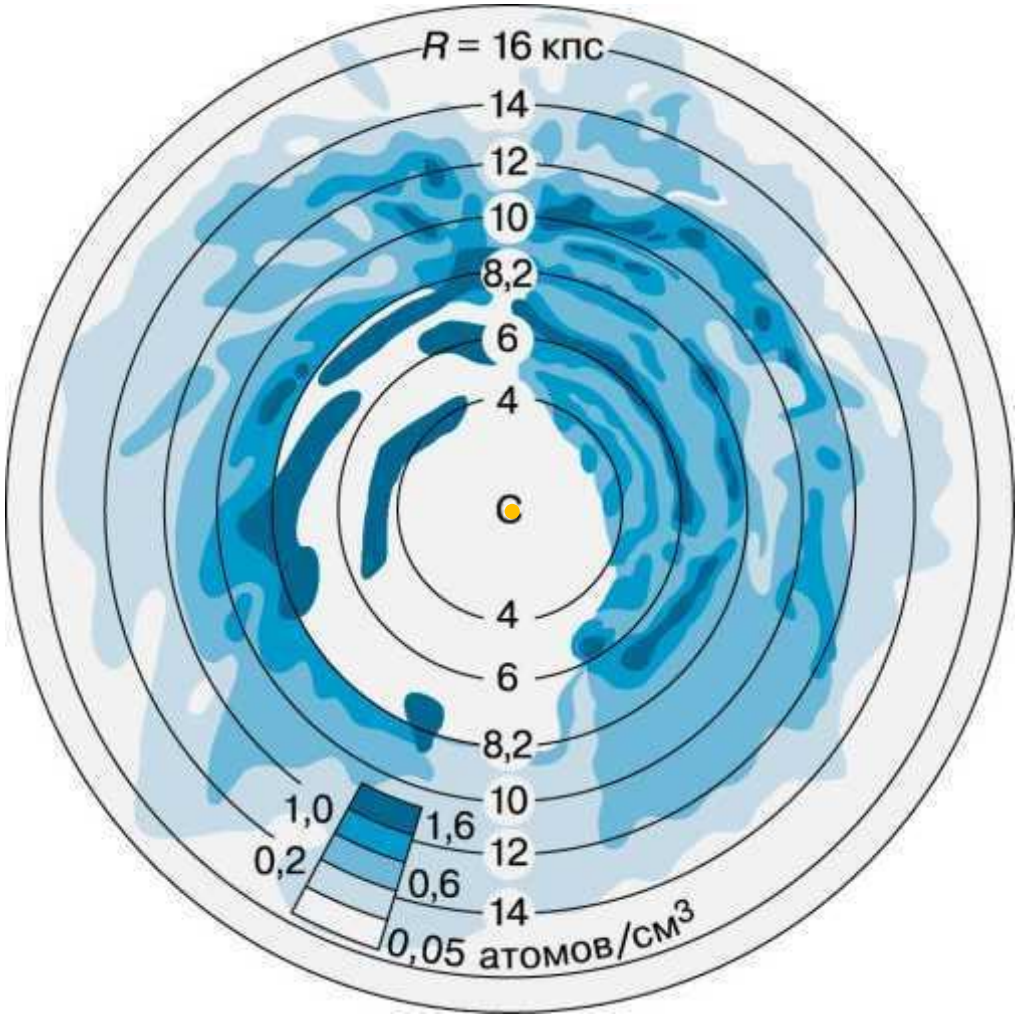
Основной уровень энергии атома водорода имеет два подуровня. При переходе с одного из них на другой происходит испускание кванта с частотой, соответствующей длине волны 21 см. В каждом отдельном атоме такой переход происходит в среднем один раз за 11 млн лет, но благодаря тому, что водород составляет основную массу вещества Галактики, радиоизлучение на волне 21 см оказывается достаточно интенсивным.



Распределение интенсивности радиоизлучения по небу

По радиоизлучению водорода были выявлены спиральные ветви, вдоль которых он сконцентрирован.

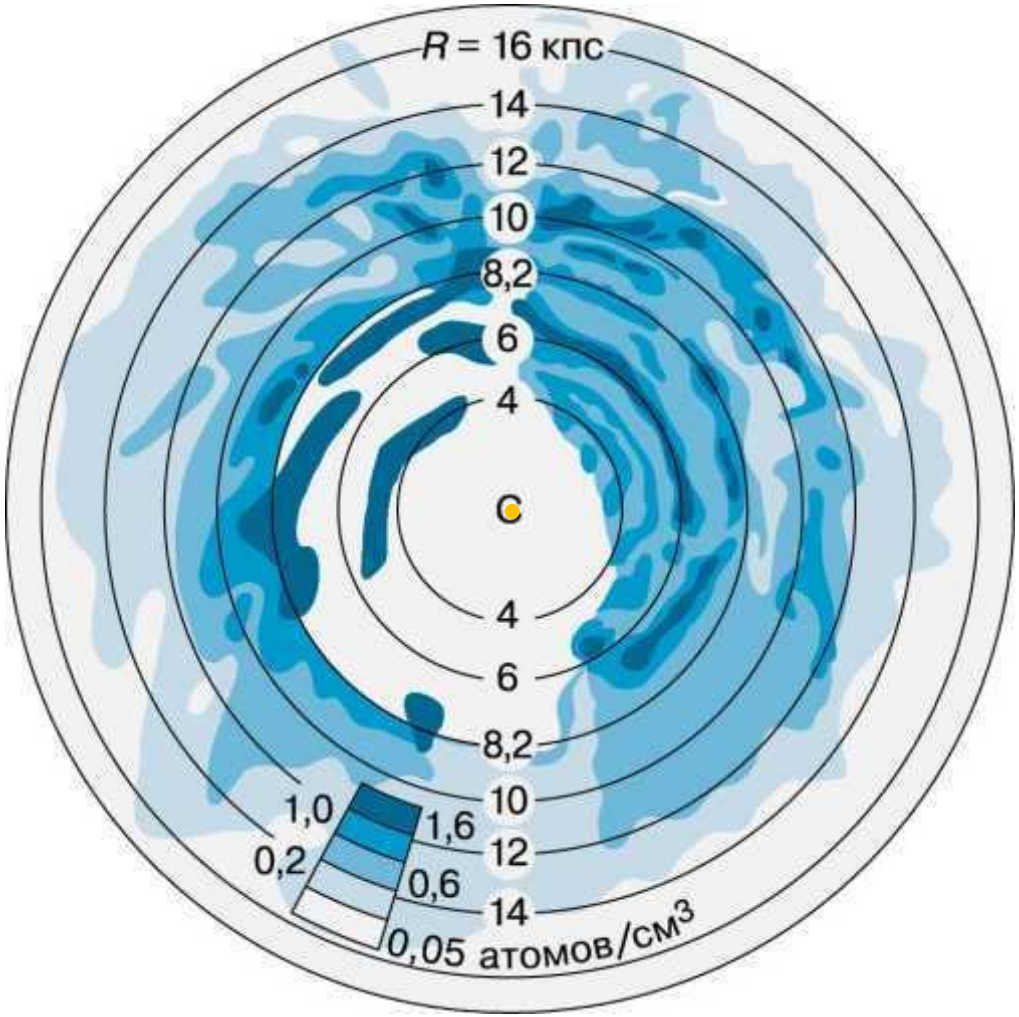
Спиральная структура в галактическом диске прослеживается по другим объектам: горячим звёздам классов О и В, а также светлым туманностям.



Спиральная структура Галактики по радиоизлучению

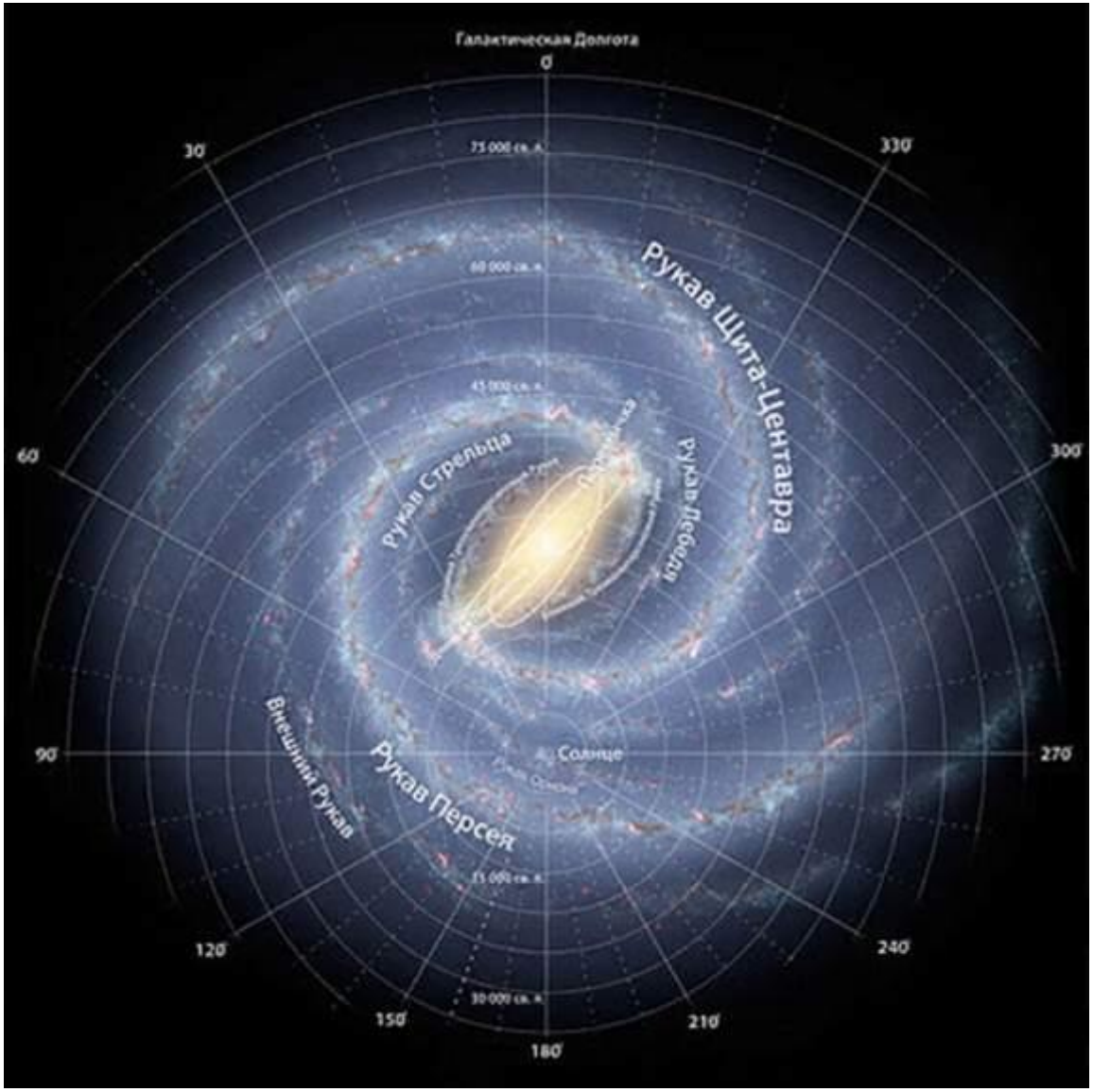
Солнце (С) находится почти посередине между двумя спиральными ветвями, удалёнными от него примерно на 3 тыс. св. лет.

Они названы по имени созвездий, в которых заметны их участки, – рукав Стрельца и рукав Персея.



Спиральная структура Галактики по радиоизлучению

По современным представлениям, спиральные ветви являются волнами плотности, причём движутся они вокруг центра Галактики с постоянной угловой скоростью независимо от звёзд и других объектов.



Физические условия в межзвёздной среде весьма разнообразны, поэтому даже сходные по своей природе и близкие по составу газопылевые облака выглядят по-разному.

Они могут наблюдаться как тёмные туманности, например Конская Голова в созвездии Ориона.

Если поблизости от облака находится достаточно яркая горячая звезда, то пыль, входящая в его состав, отражает свет этой звезды, и облако выглядит как светлая туманность, спектр которой совпадает со спектром звезды.

Эмиссионная туманность Ориона (справа), маленькая пылевая туманность M43 (в центре), голубая отражательная туманность NGC 1977 (слева)

Очень горячие звёзды (с температурой 20 000–30 000 К), которые обладают значительным ультрафиолетовым излучением, вызывают видимое флуоресцентное свечение газов, входящих в состав облака.

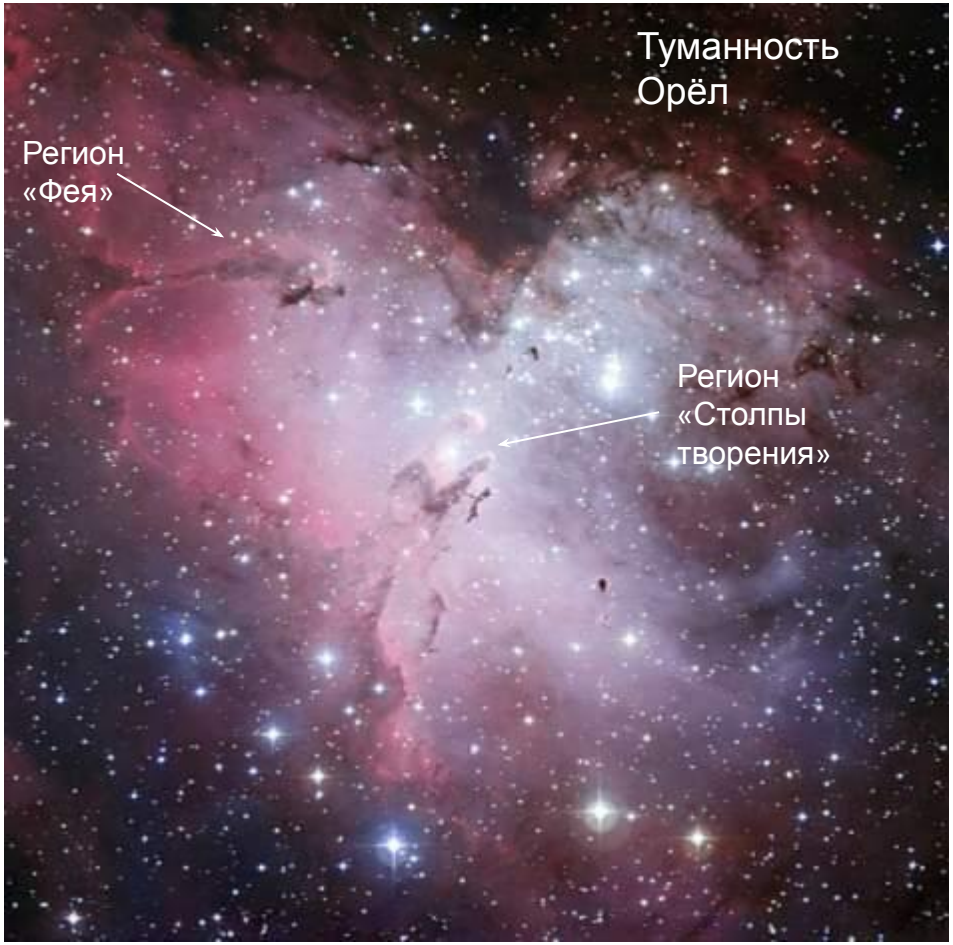
В спектре таких облаков, которые получили название диффузных газовых туманностей, наблюдаются яркие линии водорода, кислорода и других элементов.

Типичным объектом является Большая туманность Ориона, которую можно видеть в хороший бинокль.

На фоне светлых туманностей нередко бывают видны тёмные пятна и прожилки. Так выглядят наиболее плотные и холодные части межзвёздного вещества, получившие название молекулярных облаков.

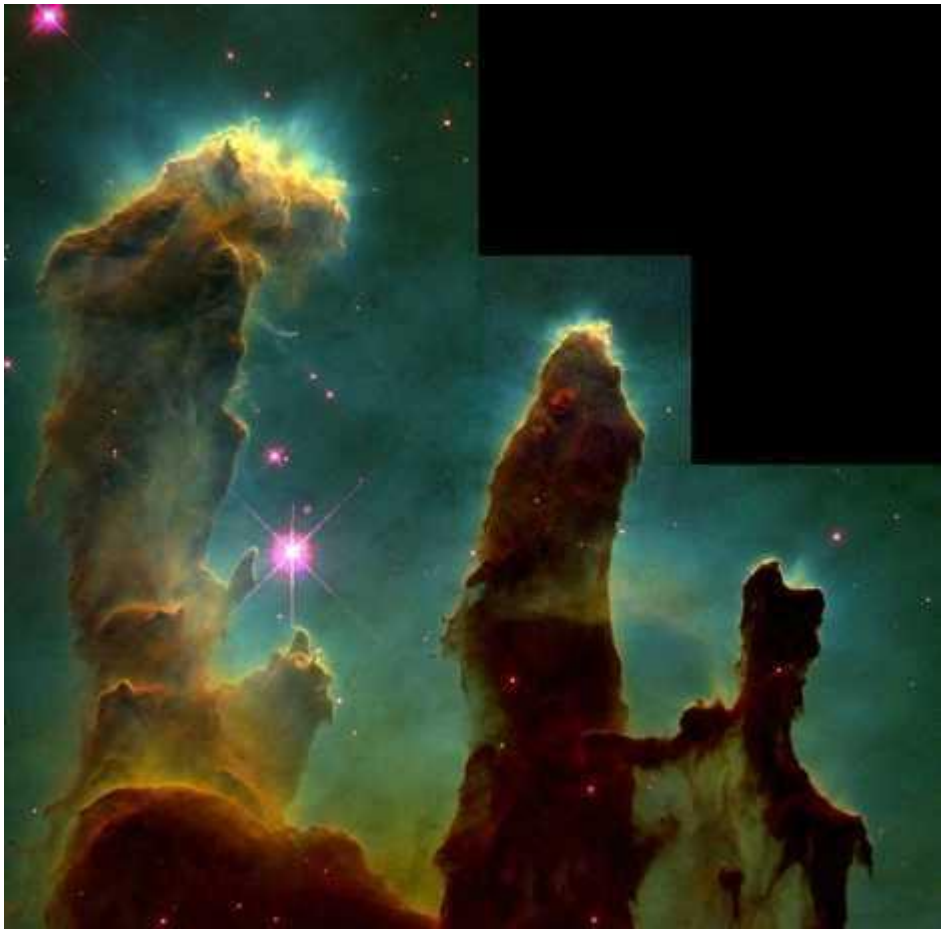
Масса таких облаков может достигать миллиона масс Солнца, а диаметр – 60 пк.

Именно в этих облаках, состоящих в основном из молекулярного водорода и гелия, происходит образование звёзд.



Плотность молекулярных облаков в сотни раз больше плотности облаков атомарного водорода, а температура их всего примерно 10 К (–263 °С).

Именно в таких условиях гравитационные силы могут преодолеть газовое давление и вызвать неудержимое сжатие облака — его коллапс.



Регион «Столпы творения» туманности Орёл – активная область звёздообразования. Тёмные области в туманности - протозвёзды.

Этот процесс может повторяться до тех пор, пока не образуются фрагменты, которые вследствие высокой плотности будут непрозрачными для излучения, и вещество не сможет уносить выделяющееся тепло.

Эти зародыши будущих звёзд принято называть протозвёздами *(от греч. protos — первый)*.

В процессе превращения фрагмента облака в звезду происходит колоссальное изменение физических условий: температура возрастает примерно в 1 млн раз, а плотность увеличивается в 10^{20} раз.

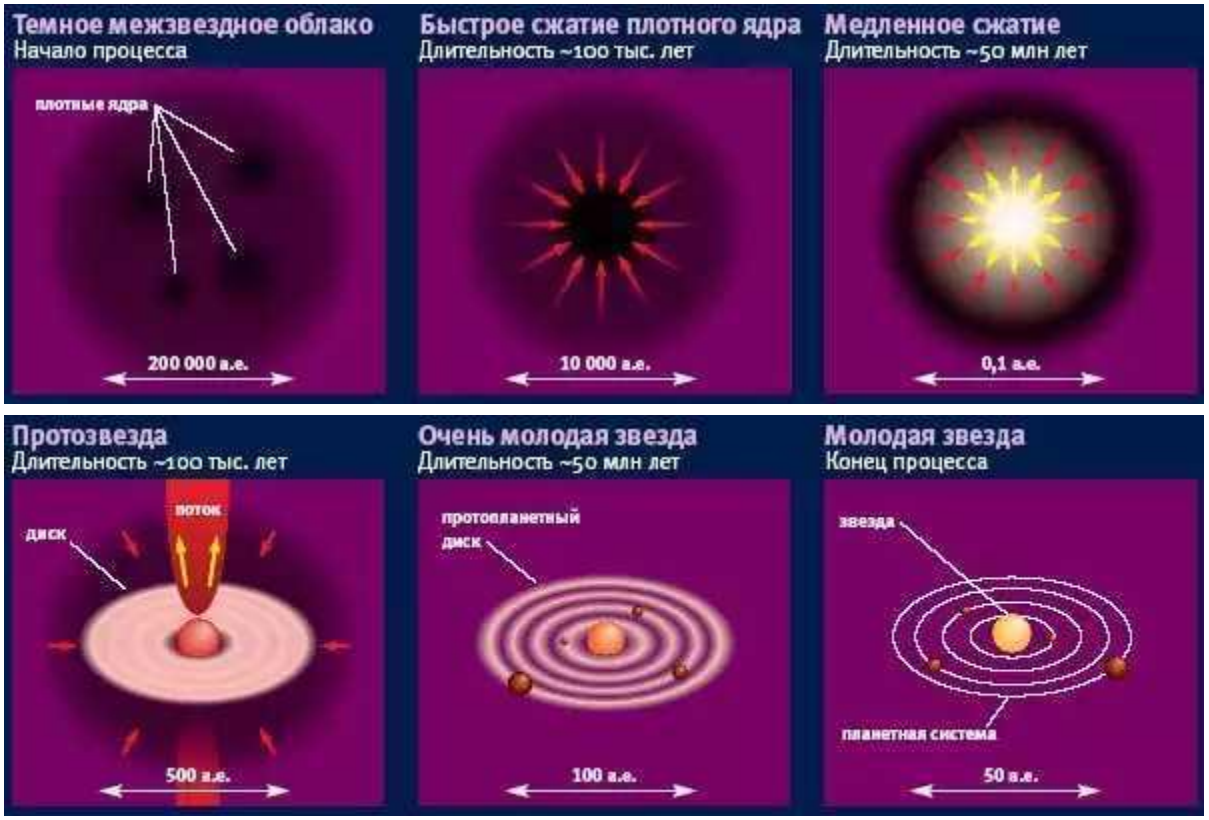
Продолжительность всего процесса по космическим меркам невелика: для такой звезды, как Солнце, она составляет несколько миллионов лет.

Регион «Фея» туманности Орёл

Протозвезда ещё не имеет термоядерных источников энергии, излучая за счёт энергии, выделяющейся при сжатии. На центральную, наиболее плотную часть протозвезды продолжает падать окружающий её газ.

С ростом массы протозвезды растёт температура в её недрах, и когда она достигает нескольких миллионов кельвинов, начинаются термоядерные реакции.

Сжатие прекращается, сила тяжести уравновешена внутренним давлением горячего газа – протозвезда превратилась в звезду.



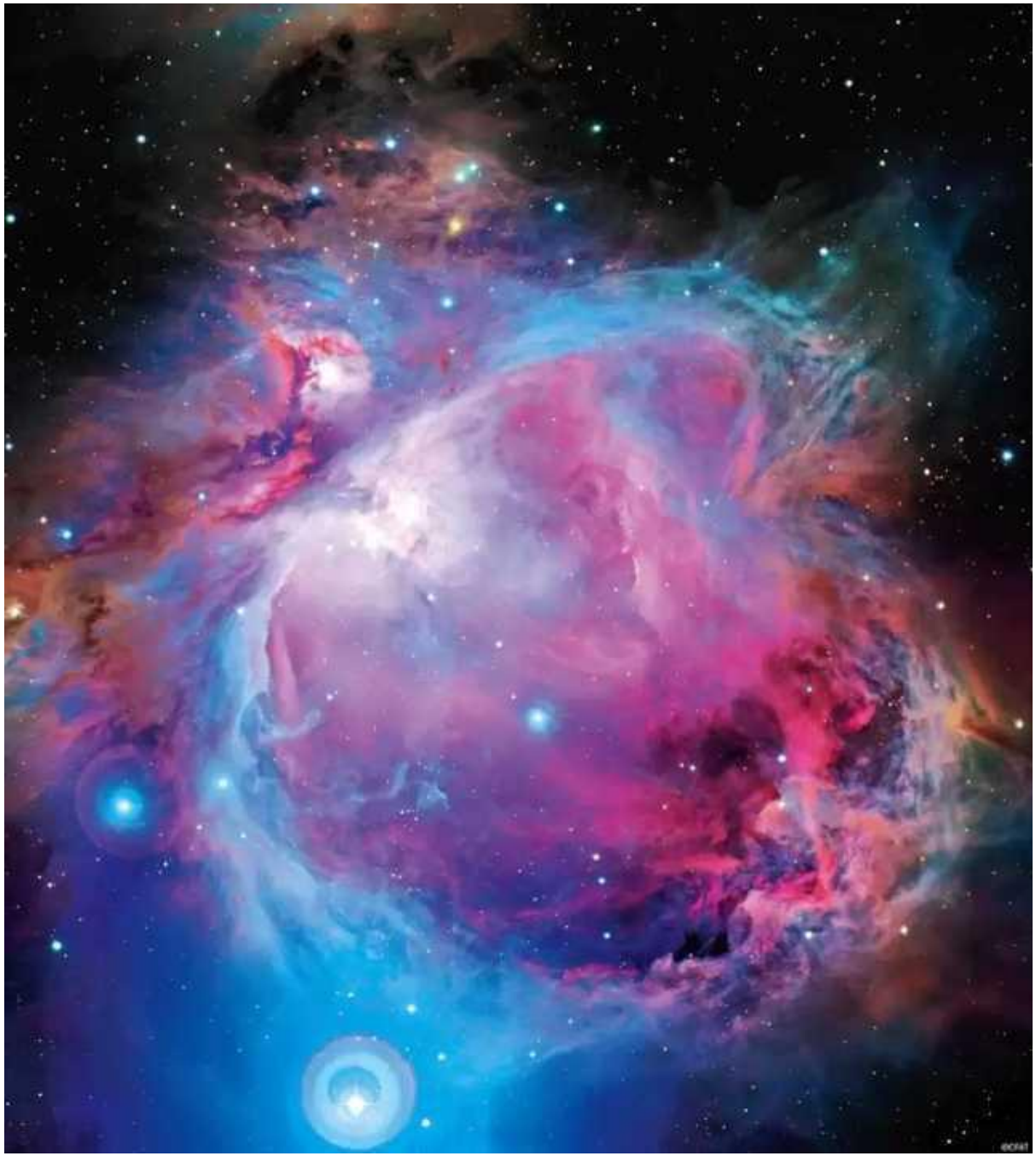
Этапы формирования звезды

Согласно современным представлениям, рождающиеся звёзды на определённом этапе проходят стадию звезды-кокона.

Протозвёзды и очень молодые звёзды обычно окружены газопылевой оболочкой из того вещества, которое ещё не упало на звезду. Эта оболочка делает невозможным наблюдение рождающейся звезды в оптическом диапазоне.

Однако сама оболочка разогревается излучением звезды до температуры 300-600 К и является источником инфракрасного излучения.

Этапы формирования звезды



Излучение звезды нагревает окружающую газовую оболочку и постепенно рассеивает её полностью или частично.

Разлёт остатков облака, разогретых родившимися в нём звёздами, наблюдается в огромном комплексе облаков в Орионе.

Очаг звёздообразования в Орионе является одним из ближайших к Земле и наиболее заметным

Две другие, самые близкие области звёздообразования находятся в тёмных облаках созвездий Тельца и Змееносца.

Молекулярное облако Ро Змееносца – темная туманность, отдаленная от нас на 460 св. лет.

В отдельных случаях от оболочки-кокона остаются газопылевые диски, частицы которых обращаются вокруг звёзд.

Вероятно, из вещества одного из таких дисков около 5 млрд лет тому назад сформировалась наша Земля и все другие тела Солнечной системы.

Иная форма взаимосвязи звёзд и межзвёздного вещества наблюдается в туманностях, которые образуются на определённых этапах эволюции звёзд.

К их числу относятся планетарные туманности - внешние слои звёзд, отделившиеся от них при сжатии ядра и превращении звезды в белого карлика.

Эти оболочки расширяются и в течение нескольких десятков тысяч лет рассеиваются в космическом пространстве.

Туманность NGC 2818 в созвездии Компас

Туманности другого типа образуются при взрывах сверхновых звёзд.

Самая известная из них - Крабовидная туманность в созвездии Тельца.

Она появилась как результат вспышки сверхновой в 1054 г. На этом месте в настоящее время внутри туманности наблюдается пульсар.

Оболочка сверхновой расширяется со скоростью свыше 1000 км/с.

Крабовидная туманность в созвездии Тельца

Состав вещества, теряемого звёздами, отличается от первичного состава межзвёздной среды. В процессе термоядерных реакций в недрах звёзд происходит образование многих химических элементов, а во время вспышек сверхновых образуются даже ядра тяжелее железа.

Потерянный звёздами газ с повышенным содержанием тяжёлых химических элементов меняет состав межзвёздного вещества, из которого впоследствии образуются звёзды.

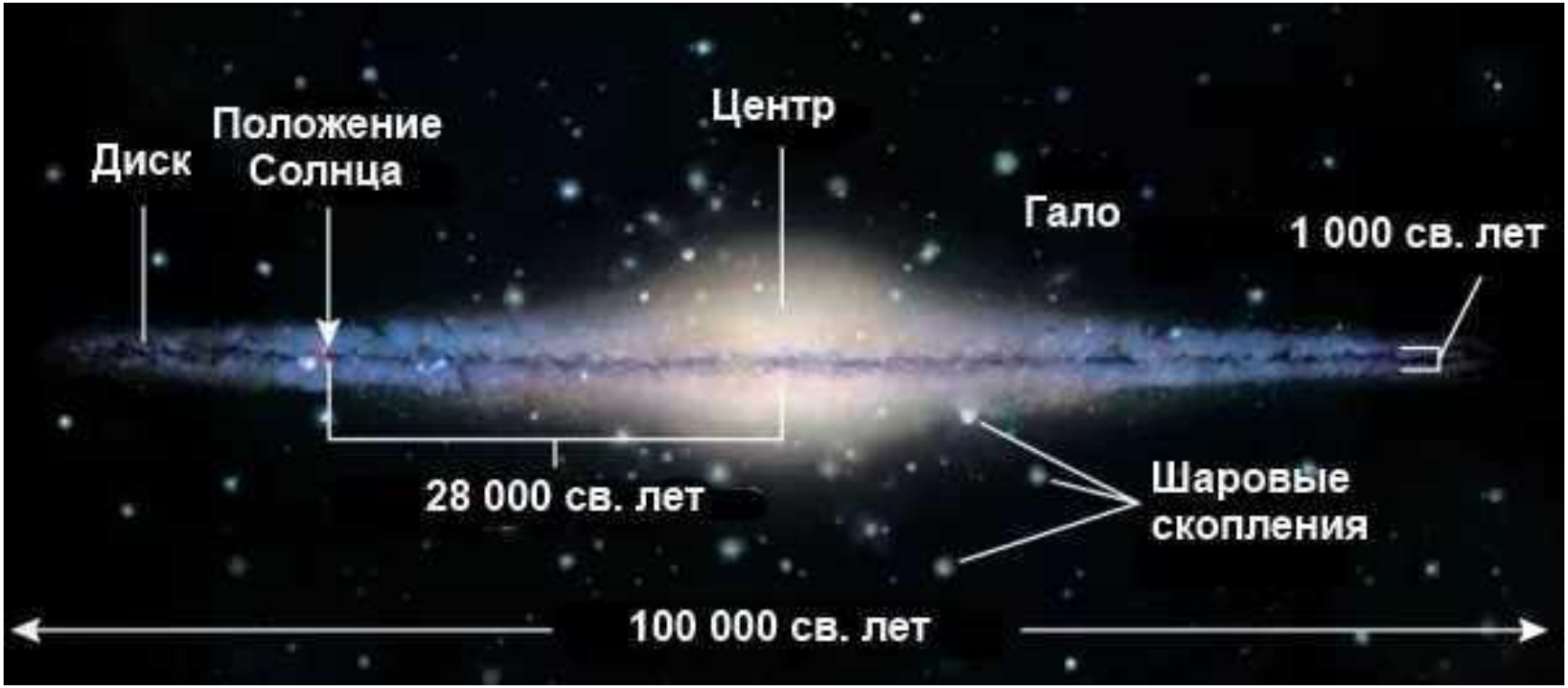
Химический состав звёзд «второго поколения», к числу которых принадлежит, вероятно, и наше Солнце, несколько отличается от состава старых звёзд, образовавшихся ранее.

Эволюция звезды

В настоящее время объекты, имеющие разный возраст, по их распределению в пространстве принято разделять на ряд подсистем, образующих единую звёздную систему - Галактику.

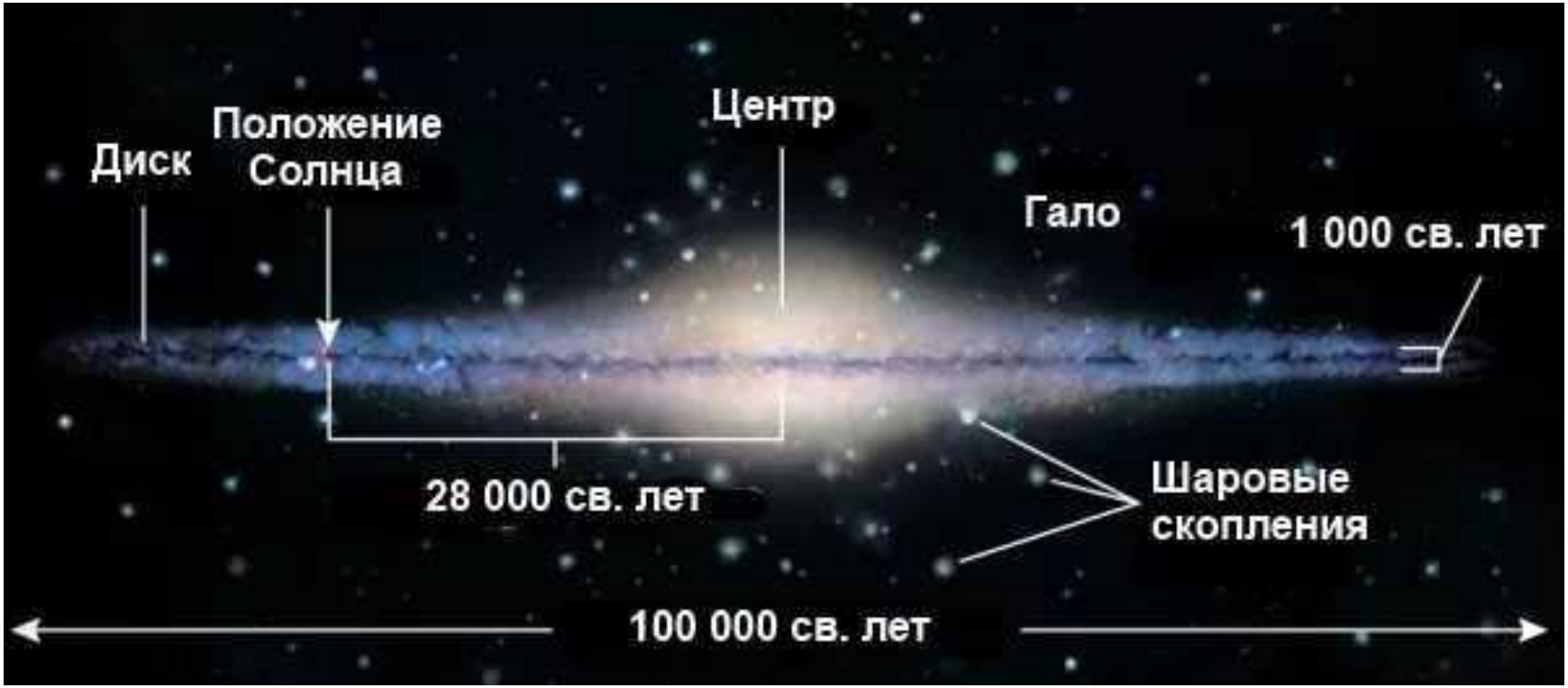
Наиболее чётко выделяются две: плоская (диск) и сферическая (гало).

Изучение ядра нашей Галактики значительно затруднено, поскольку оно скрыто от нас мощными газопылевыми облаками.



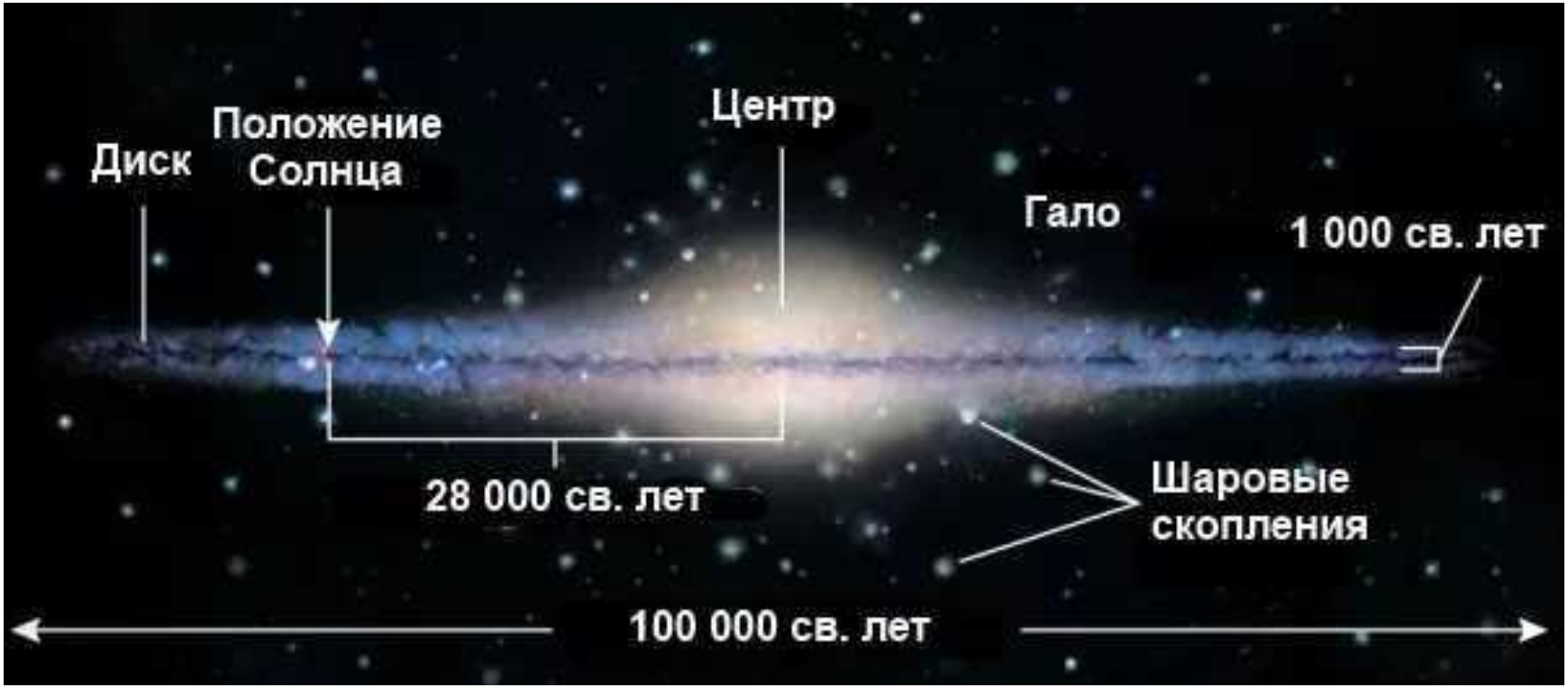
В центральных областях Галактики наблюдается повышенная концентрация звёзд, расстояния между которыми в десятки и сотни раз меньше, чем в окрестностях Солнца.

Так, в самой середине, в области радиусом всего 50 пк, сосредоточены сотни горячих звёзд.



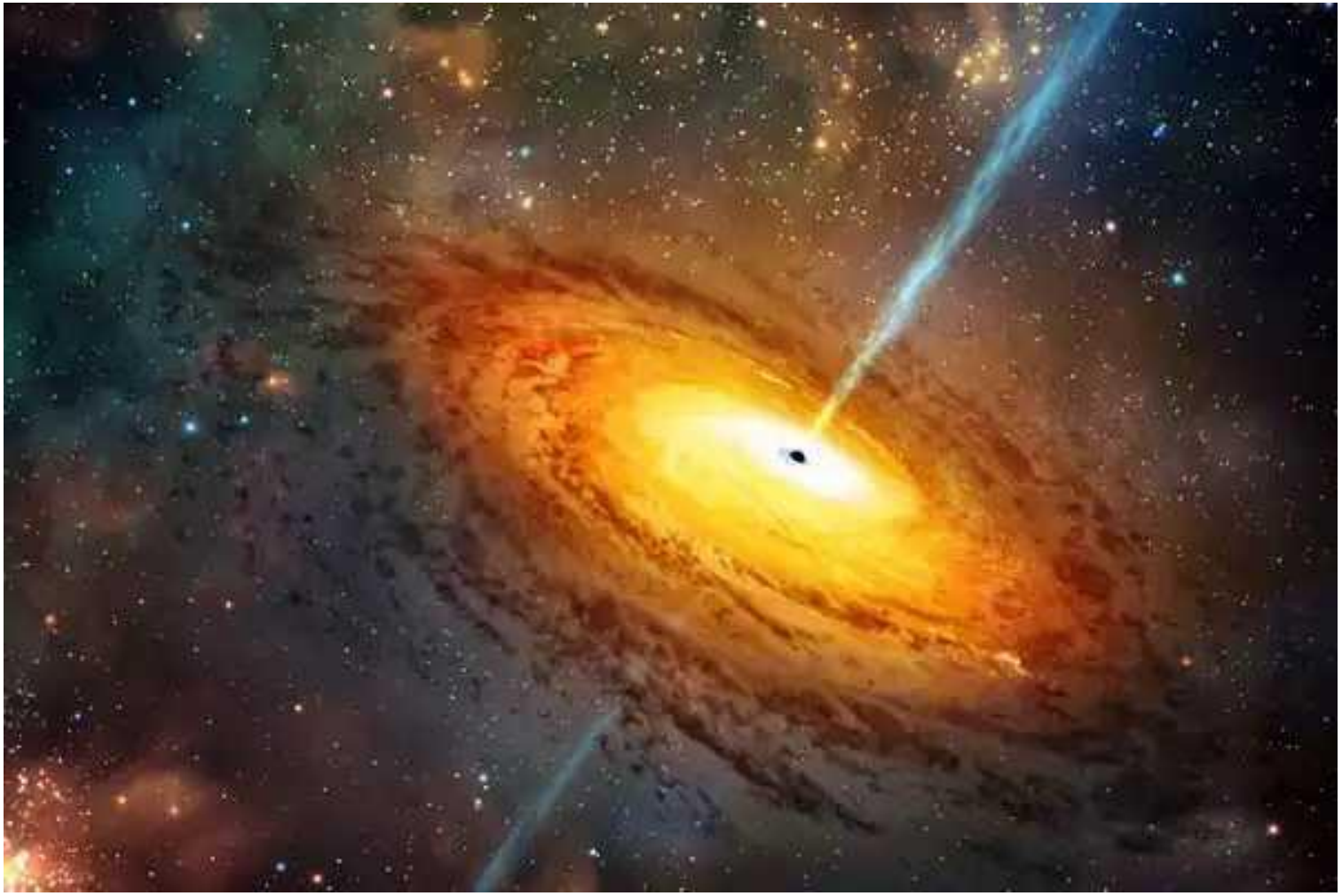
Область размером 10 пк, называемая ядром Галактики, является источником радиоизлучения, внутри которого находятся красные гиганты и отдельные плотные газовые конденсации размером около 0,1 пк.

Два других радиоисточника находятся дальше от центра Галактики и представляют собой молекулярные облака, в которых идёт бурный процесс звёздообразования.



По движению звёзд вокруг центра Галактики было установлено, что здесь в области размером немногим более Солнечной системы сосредоточена масса около 4 млн масс Солнца.

Это означает, что здесь находится сверхмассивная чёрная дыра.

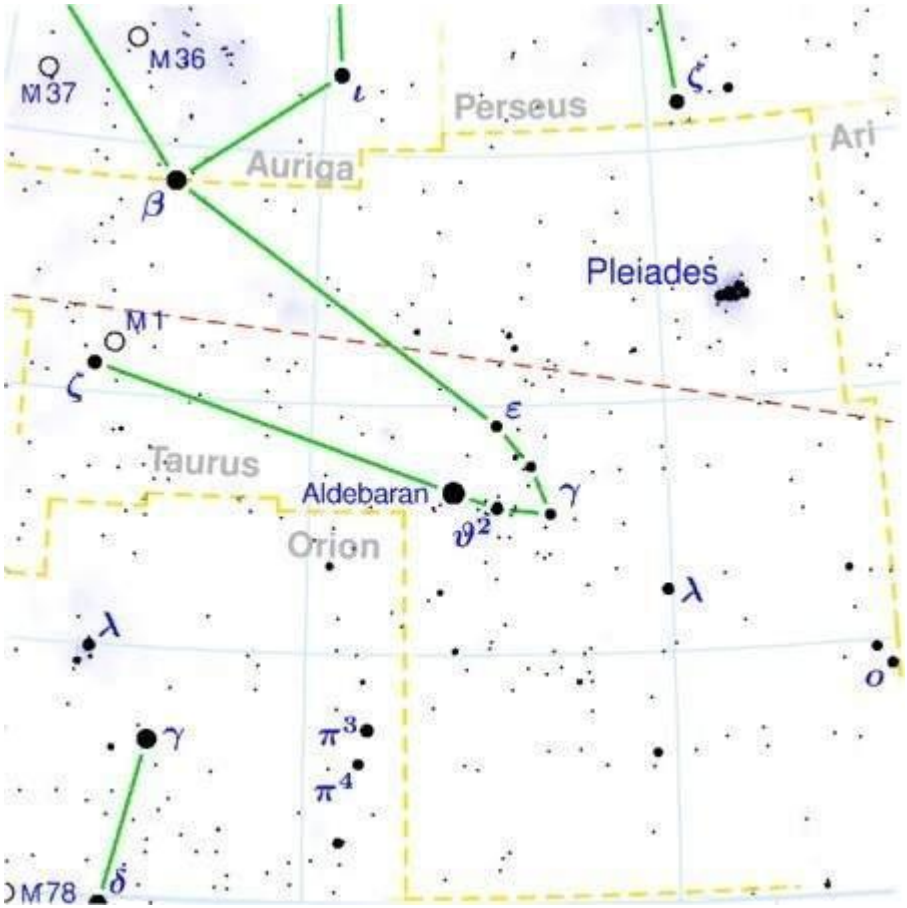


Движение звёзд в Галактике. Её вращение

Долгое время звёзды считались «неподвижными».

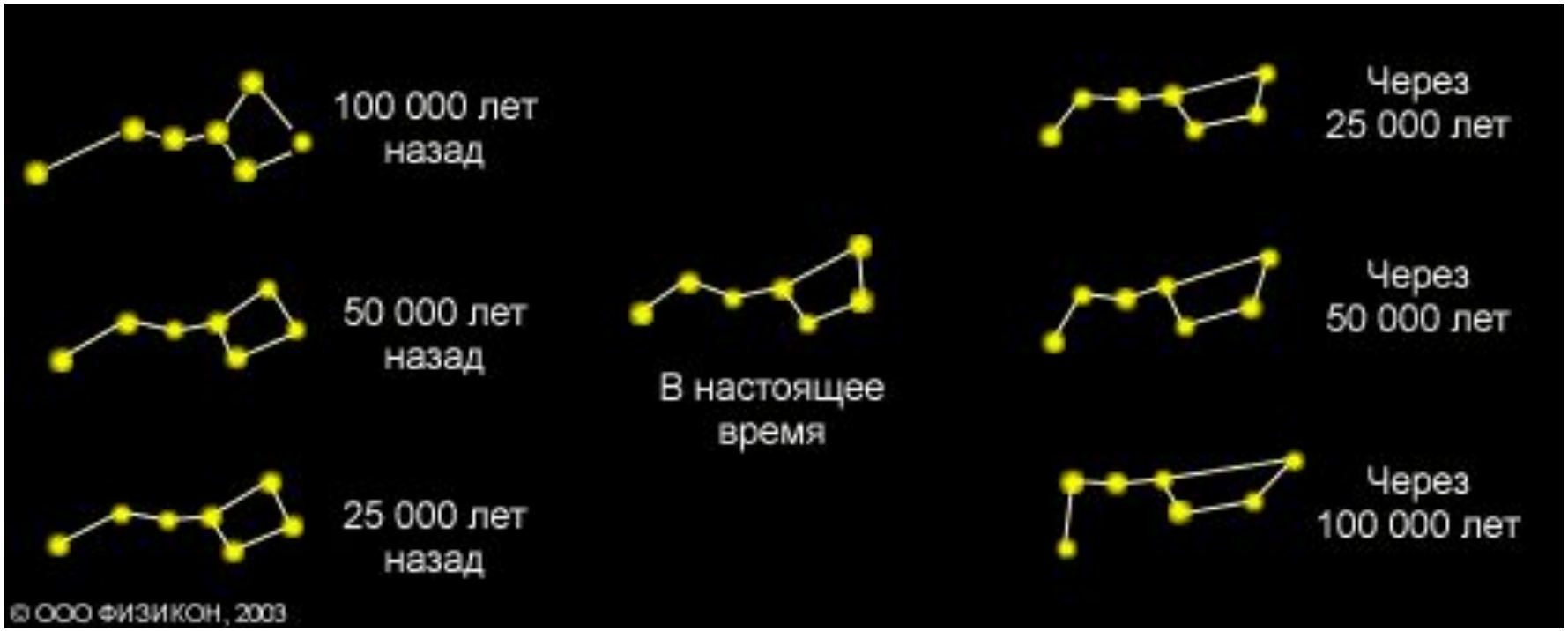
Измеряя взаимное расположение звёзд на небе, астрономы только в начале XVIII в. заметили, что положения некоторых ярких звёзд (Альдебарана, Арктура, Сириуса) относительно соседних слабых звёзд изменились по сравнению с теми, которые были отмечены в древности.

Сравнение размеров Солнца и Альдебарана



Собственным движением звезды называется её видимое угловое смещение за год по отношению к слабым далёким звёздам.

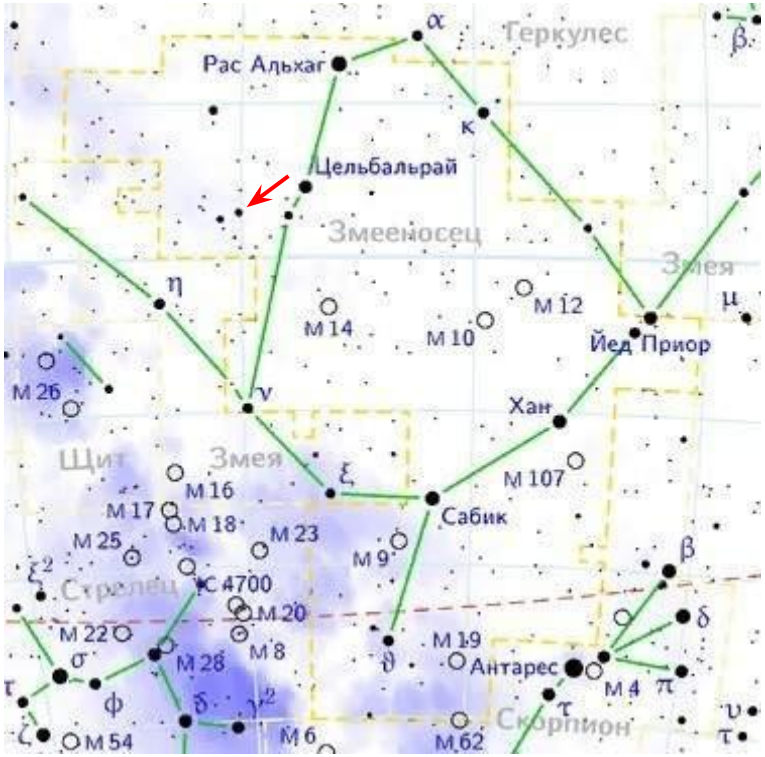
Смещение звёзд на небе в течение года невелико.
Однако на протяжении десятков тысяч лет собственные движения звёзд существенно сказываются на их положении, вследствие чего меняются привычные очертания созвездий.



Изменение вида созвездия Большая Медведица на протяжении 100 тыс. лет

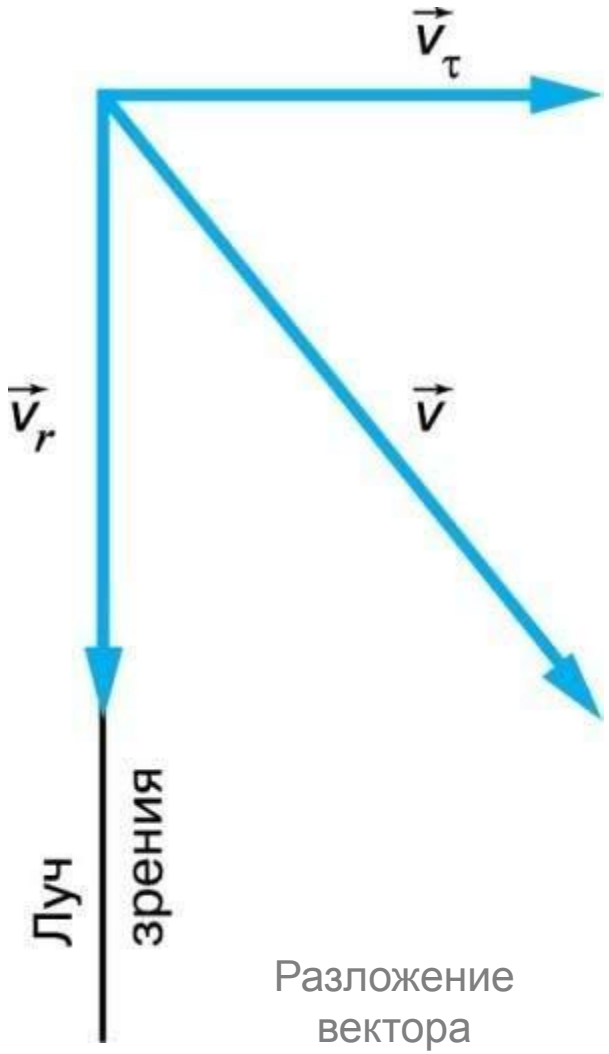
Скорости движения в пространстве у различных звёзд отличаются довольно значительно.

Самая «быстрая» из них, получившая название «летящая звезда Барнарда», за год перемещается по небу на 10,8". Это означает, что 0,5° – угловой диаметр Солнца и Луны – она проходит менее чем за 200 лет.



Собственное движение звезды Барнарда с 1985 по 2005 с интервалом в 5 лет.

Большинство из 300 тыс. звёзд, собственное движение которых измерено, меняют своё положение значительно медленнее – смещение составляет всего лишь сотые и тысячные доли угловой секунды за год.



Разложение вектора скорости звезды

Скорость звезды в пространстве $\vec{v}$ можно представить как векторную сумму двух компонентов, один из которых направлен по лучу зрения, другой – перпендикулярно ему.

Скорость по лучу зрения $(\vec{v}_r)$ непосредственно определяется по эффекту Доплера – смещению линий в спектре звезды.

Компонент скорости по направлению, перпендикулярному лучу зрения $(\vec{v}_\tau)$, можно вычислить только в том случае, если измерить собственное движение звезды и её параллакс, т. е. знать расстояние до неё.

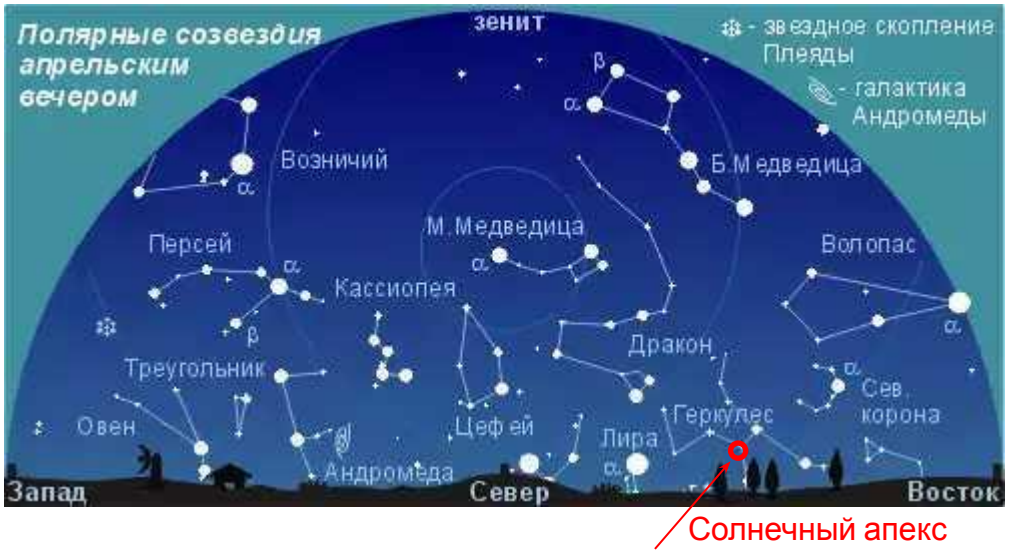
Тогда пространственная скорость звезды будет равна:

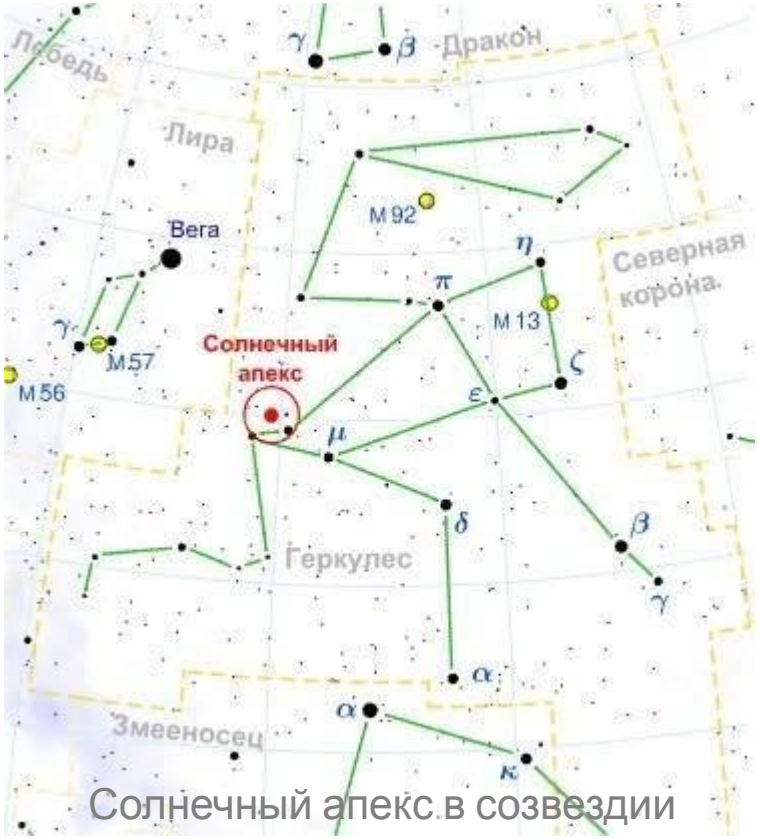
$$\sqrt{v_r^2 + v_\tau^2}\,.$$

Пространственные скорости звёзд относительно Солнца (или Земли) составляют, как правило, десятки километров в секунду.

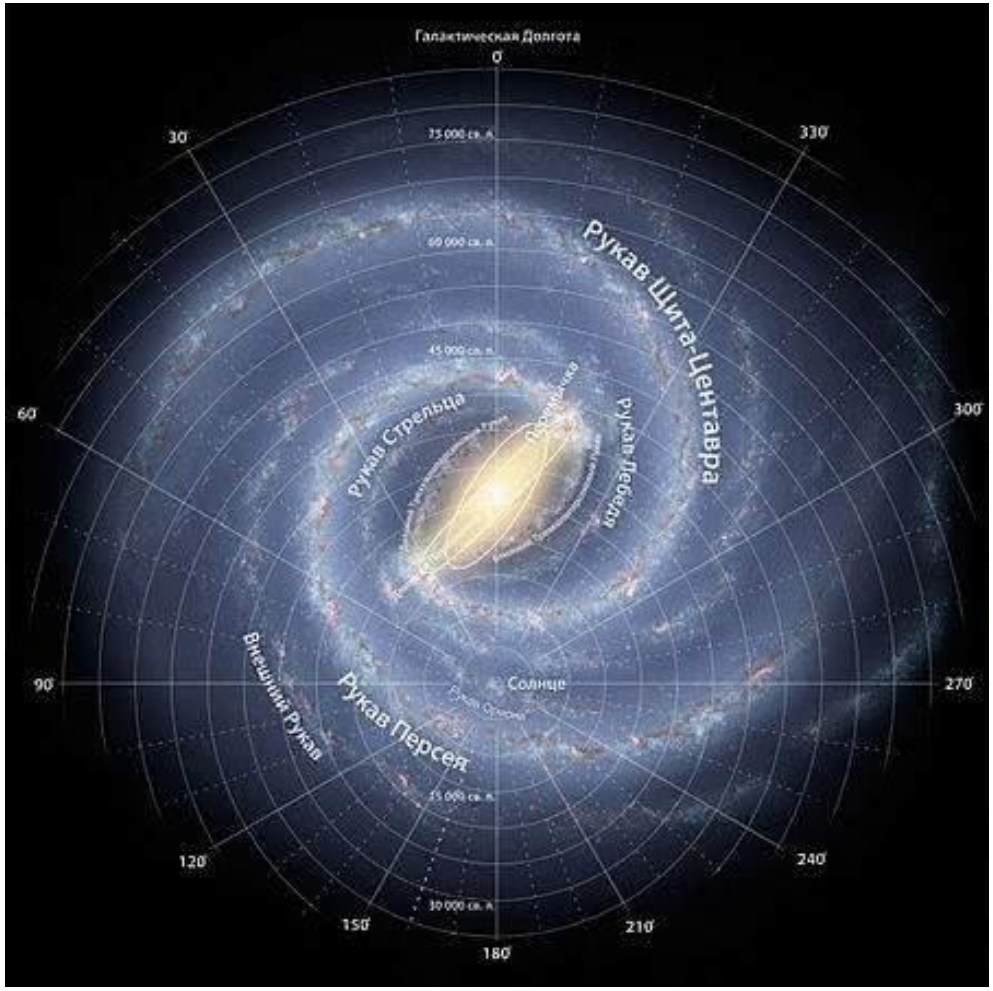
Изучение собственных движений и лучевых скоростей показало, что Солнечная система движется относительно ближайших звёзд со скоростью около 20 км/с в направлении созвездия Геркулеса.

Точка небесной сферы, куда направлена эта скорость, называется апексом Солнца.





Солнечный апекс в созвездии Геркулеса

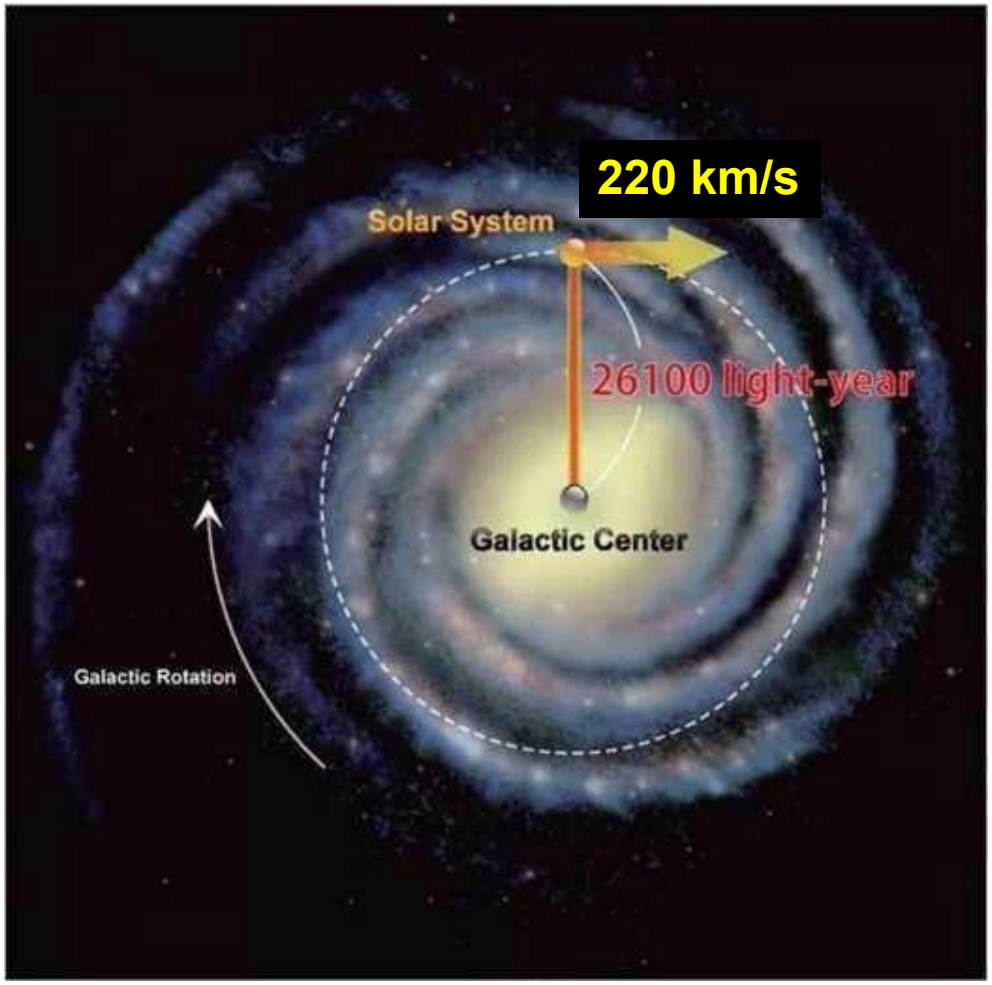


Мле́чный Путь — галактика, в которой находятся Земля, Солнечная система[OBJ] и все отдельные звёзды, видимые невооружённым глазом.

Анализ собственных движений и лучевых скоростей звёзд по всему небу показал, что звёзды движутся вокруг центра Галактики.

Это движение звёзд воспринимается как вращение нашей звёздной системы, которое подчиняется определённой закономерности:

угловая скорость вращения убывает по мере удаления от центра, а линейная возрастает, достигая максимального значения на том расстоянии, на котором находится Солнце, а затем практически остаётся постоянной.



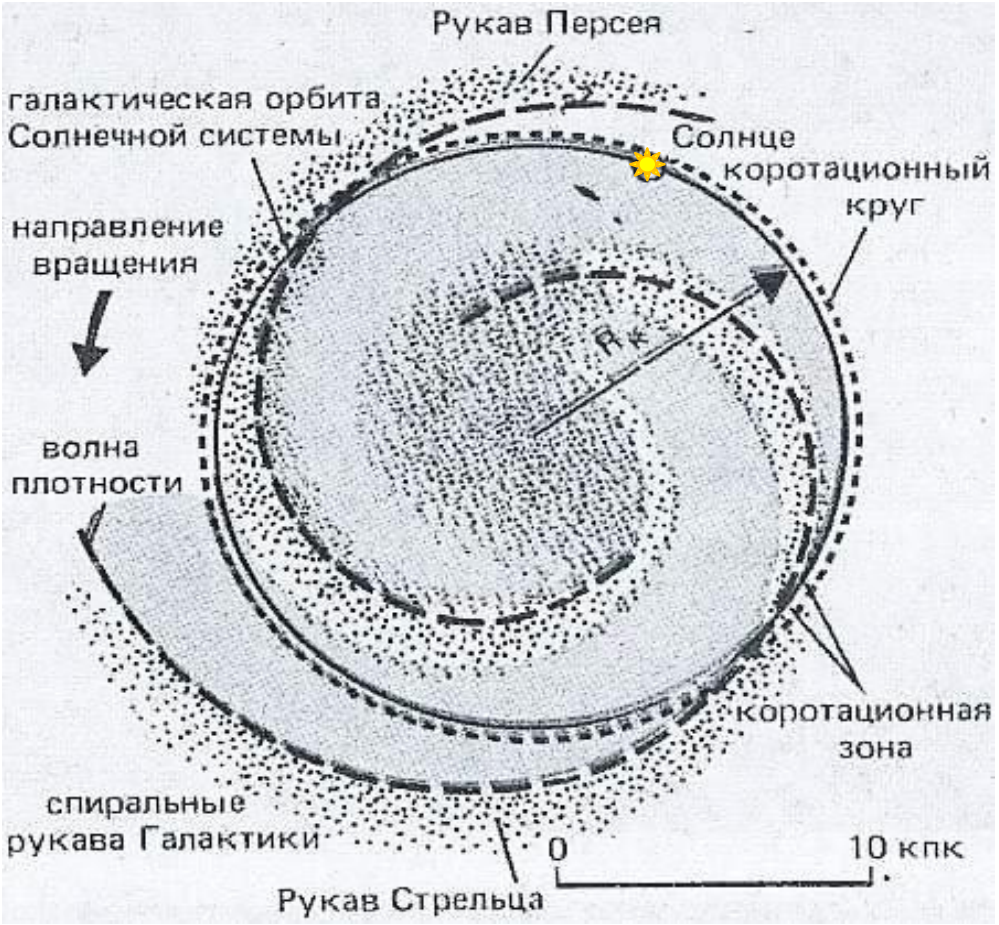
Звёзды, газ и другие объекты, составляющие галактический диск, движутся по орбитам, близким к круговым.

Солнце вместе с близлежащими звёздами обращается вокруг центра Галактики со скоростью около 220 км/с, совершая один оборот примерно за 220 млн лет.

Расстояние от Солнца до центра Галактики составляет 23–28 тыс. св. лет (7–9 тыс. пк).

Скорость обращения Солнца практически совпадает со скоростью, с которой на данном расстоянии от центра Галактики движется волна уплотнения, формирующая спиральные рукава.

Эта область Галактики получила название коротационной окружности (от англ. *corotation* – совместное вращение).

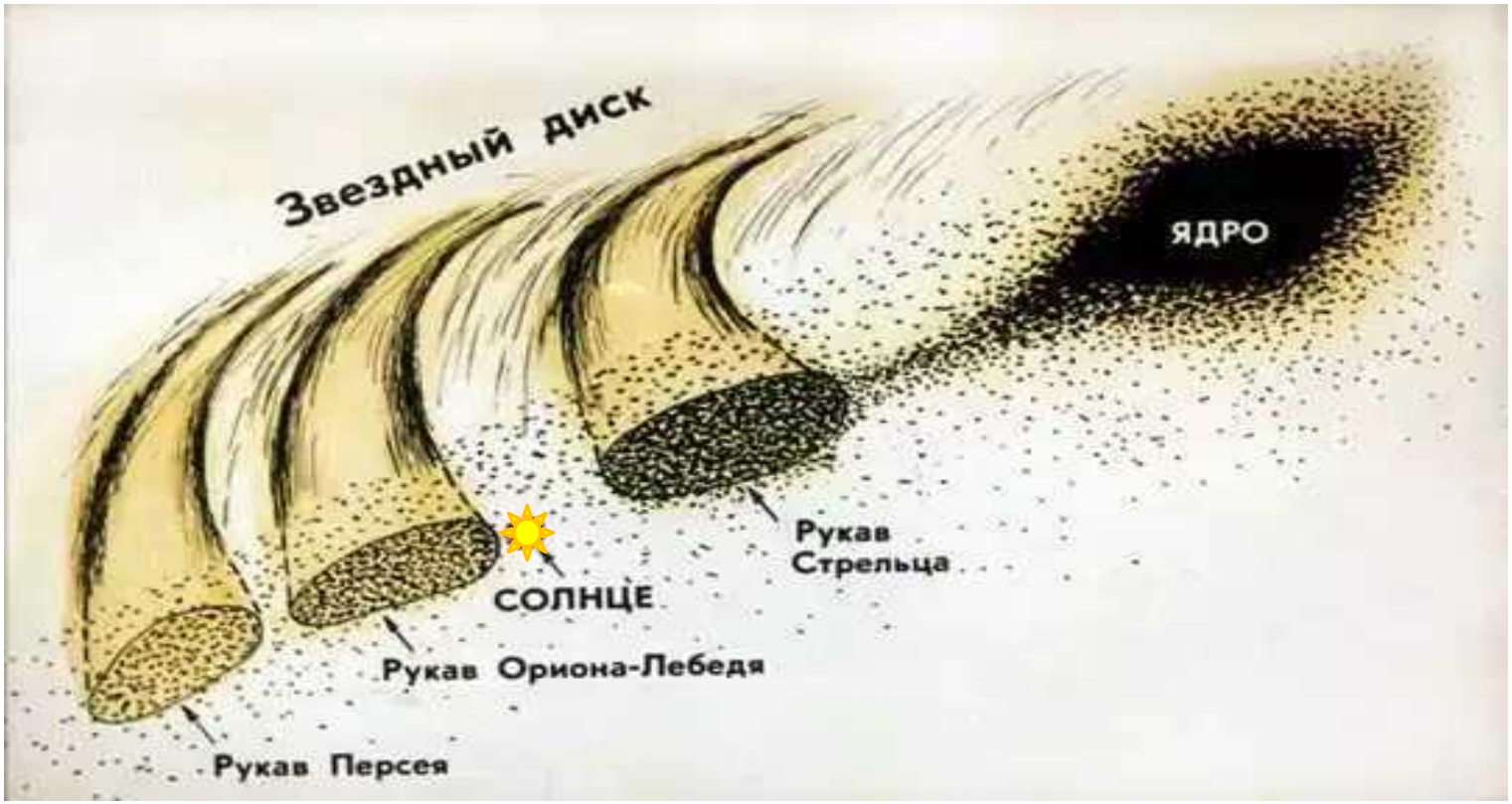


Солнце и другие звёзды находятся в привилегированном положении.

Все остальные звёзды периодически попадают внутрь спиральных рукавов, поскольку их линейные скорости не совпадают со скоростью обращения волны уплотнения вокруг центра Галактики.

Наша планета и вся Солнечная система не испытывают на себе катастрофического влияния тех бурных процессов, которые происходят внутри спиральных рукавов.

Стабильность условий, в которых возникла и миллиарды лет существует Солнечная система, может рассматриваться как один из важнейших факторов, обусловивших происхождение и развитие жизни на Земле.



Вопросы (с.186-187)

3. Как проявляет себя межзвёздная среда? Каков её состав?

4. Какие источники радиоизлучения известны в нашей Галактике?

Домашнее задание

1) § 25 (п.3-4).

2) Упражнение 20 (с.187).

Звезда, находящаяся на расстоянии 10 пк, приближается к нам со скоростью 100 км/с. Как изменится это расстояние за 100 лет?

- Воронцов-Вельяминов Б.А. Астрономия. Базовый уровень. 11 кл. : учебник/ Б.А. Воронцов-Вельяминов, Е.К.Страут. - М.: Дрофа, 2013. – 238с
- CD-ROM «Библиотека электронных наглядных пособий «Астрономия, 9-10 классы». ООО «Физикон». 2003
- https://img3.goodfon.ru/original/1366x768/1/2c/vselennaia-tumannost-galaktiki-zvezdy-svet-ngc-7822.jpg
- https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6c/Barnard2005.gif
- https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/84/Aldebaran-Sun_comparison-ru.svg/300px-Aldebaran-Sun_comparison-ru.svg.png
- https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a1/Taurus_constellation_map.png/450px-Taurus_constellation_map.png
- http://astrometric.sai.msu.ru/stump/images/apr_n.gif
- https://image.jimcdn.com/app/cms/image/transf/none/path/s6ef30bbe03d0511b/image/ic9486e0e28a27654/version/1420042631/image.jpg
- http://tropojuiskaniy.ru/wp-content/uploads/2014/11/Пять1.jpg
- https://avatars.mds.yandex.net/get-pdb/38069/0aeb3ded-a5c6-4c3d-b6bc-8e76d84f5230/s800
- https://drofa-ventana.ru/upload/iblock/085/08559fe192def2f506d9543d034b46d8.jpg
- http://www.nnre.ru/astronomija_i_kosmos/azbuka_zvezdnogo_neba_chast_2/_138.jpg
- http://spacegid.com/wp-content/uploads/2014/11/Snimok-tumannosti-Konskaya-golova-ot-Jay-GaBany-1024x1024.jpg
- https://avatars.mds.yandex.net/get-pdb/33827/a0d07c34-3888-44a8-8adf-c665ac7de361/s1200
- https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2b/Eagle_Nebula_from_ESO.jpg/800px-Eagle_Nebula_from_ESO.jpg
- https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b2/Eagle_nebula_pillars.jpg/225px-Eagle_nebula_pillars.jpg
- https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c9/Eaglefairy_hst_big.jpg/375px-Eaglefairy_hst_big.jpg
- http://www.vokrugsveta.ru/img/cmn/2008/02/13/011.jpg
- http://www.vokrugsveta.ru/img/cmn/2008/02/13/012.jpg
- http://originof.ru/media/img/1/74s.jpg
- http://spacegid.com/wp-content/uploads/2012/12/Tumannost-Oriona.jpg
- http://v-kosmose.com/wp-content/uploads/2014/07/Rho-Ophiuchi-Cloud-Complex.jpg
- http://o-kosmose.net/wp-content/uploads/2013/11/E%60volyutsiya-zvezd.jpg
- http://v-kosmose.com/wp-content/uploads/2015/07/Diametr-Mlechnogo-Puti.jpg
- http://www.letsintern.com/blog/wp-content/uploads/2017/04/Figure-1.jpg