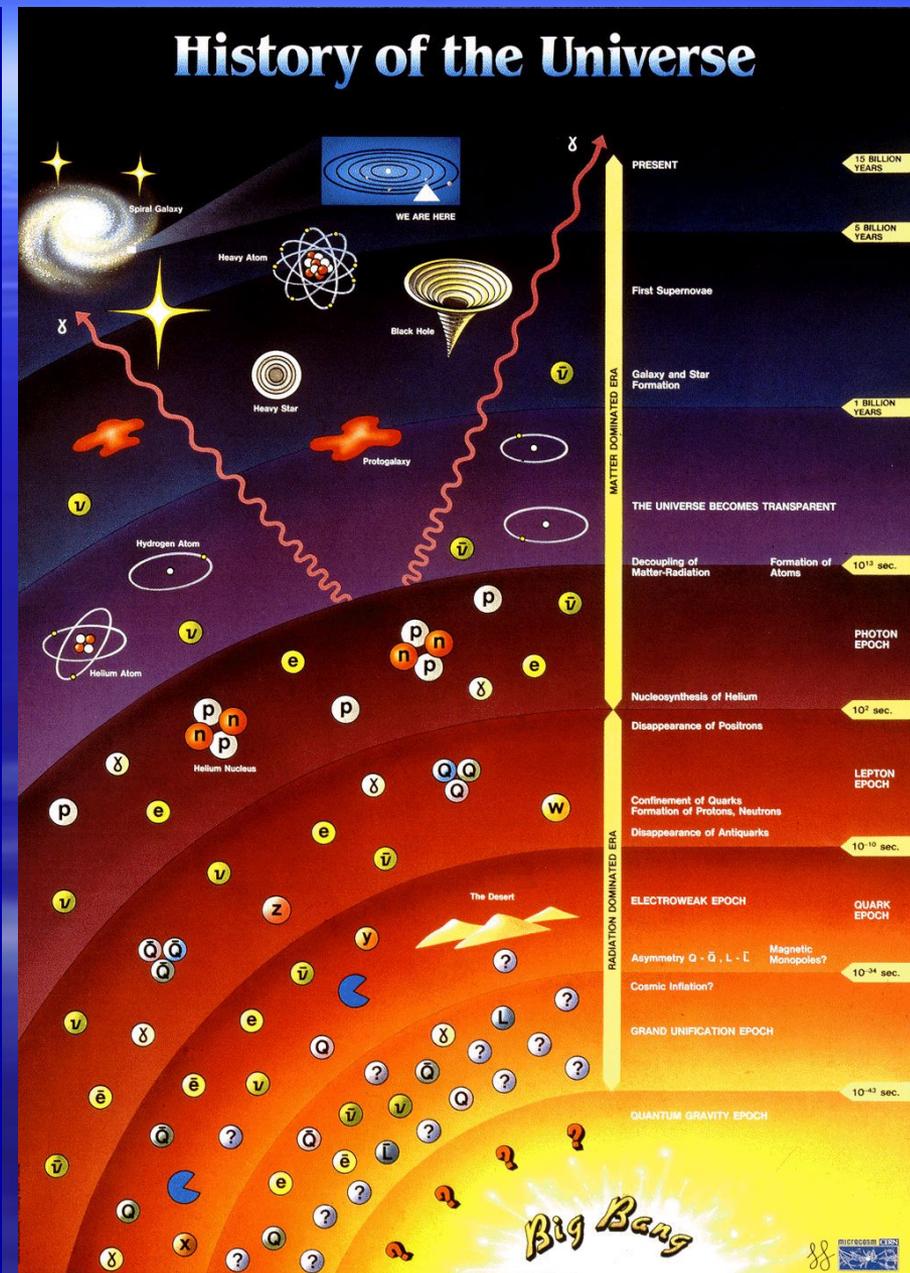


# Формирование и эволюция Солнечной системы



# Эволюция Вселенной

- В результате термоядерных реакций в звёздах были синтезированы элементы от гелия до углерода
- Во время взрывов сверхновых звёзд образовались ещё более тяжёлые элементы, рассеиваясь в пространстве.
- После взрывов вещество сгущалось снова, в результате чего зажигались звёзды следующих поколений, вокруг которых образовывались планетные системы
- Солнечная система построена из элементов, унаследованных от звезд предшествующих поколений: легких ( $H_2$  и He) и более тяжелых



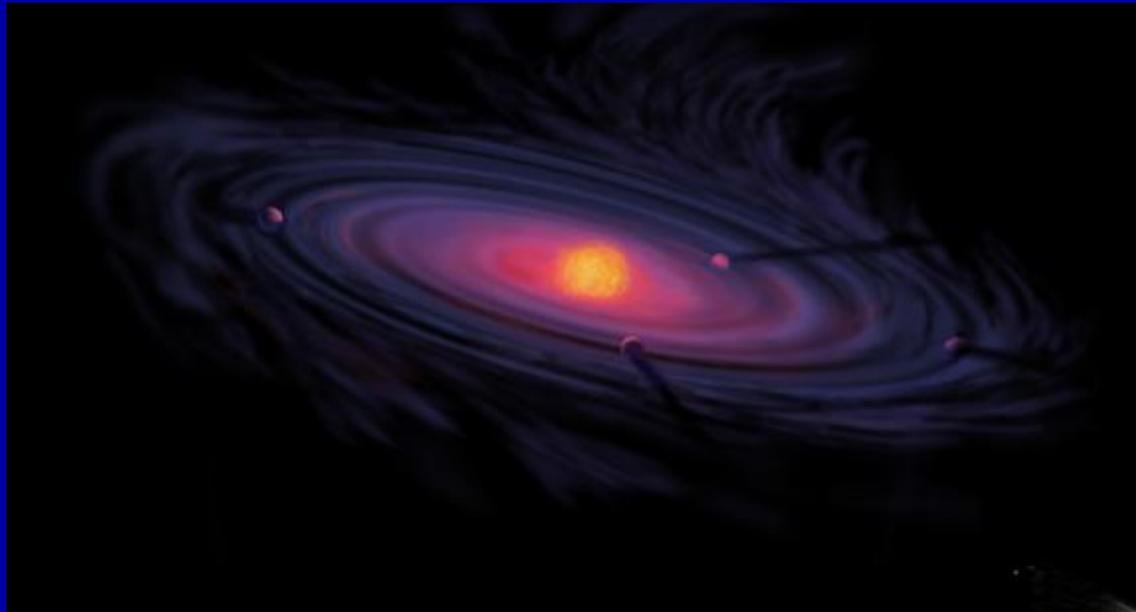
# Формирование и эволюция Солнечной системы



- 1) Формирование - около 4,6 млрд лет назад  
Гравитационный коллапс небольшой части гигантского межзвёздного газопылевого облака. Сжатие - результат воздействия ударной волны от вспыхнувшей на расстоянии нескольких св. лет сверхновой
- 2) Гравитационное сжатие → ↓ размеры газопылевого облака и ↑ скорость его вращения. Центр (большая часть массы), становился всё более горячим. Вращение → формирование протопланетного диска формирование протопланетного диска с горячей, плотной протозвездой в центре

# Протопланетный диск

- В остальных частях диска образуются планеты.



- (англ. proplyd, protoplanetary disk) — вращающийся диск) — вращающийся диск плотного газа) — вращающийся диск плотного газа вокруг молодой, недавно сформированной протозвезды) — вращающийся диск плотного газа вокруг молодой, недавно сформированной протозвезды, из которого впоследствии образуются планеты

# Формирование и эволюция Солнечной системы



3) В течение 50 млн лет давление и плотность водорода в течение 50 млн лет давление и плотность водорода в центре протозвезды стали достаточно большими для начала термоядерной реакции.

Температура, скорость реакции, давление и плотность увеличились, пока не было достигнуто гидростатическое равновесие, с тепловой энергией, противостоящей силе гравитационного сжатия.

На этом этапе Солнце стало полноценной звездой главной последовательности – жёлтым карликом.

# Формирование и эволюция Солнечной системы



4) Поскольку Солнце сжигает запасы водородного топлива, выделяющаяся энергия исчерпывается.

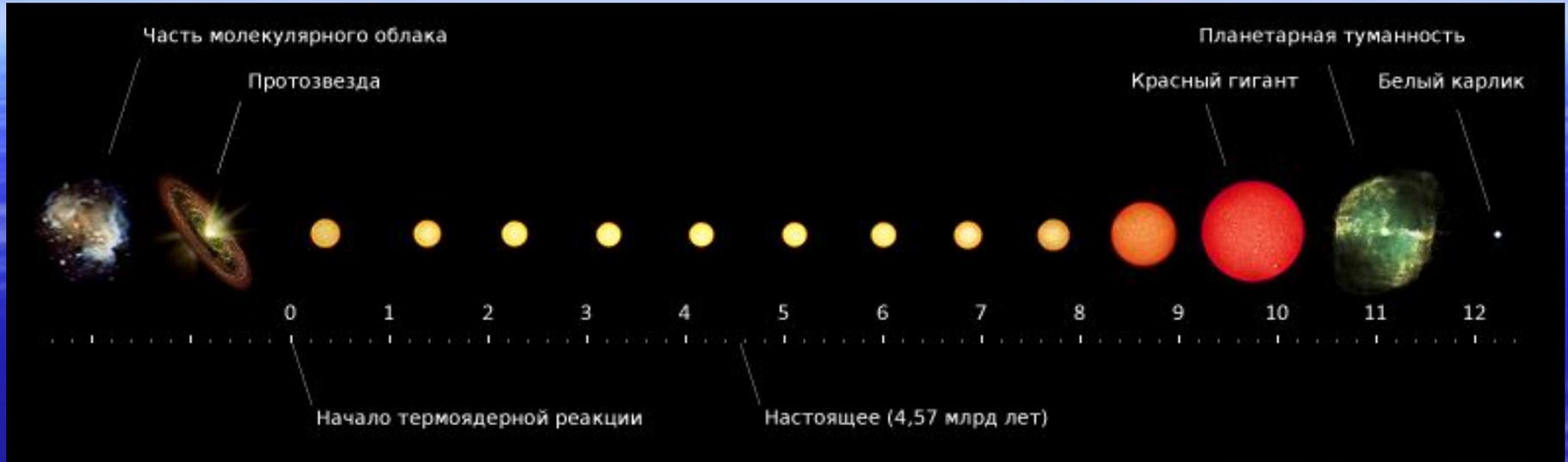
Солнце сжимается.

Это увеличивает давление в его недрах и нагревает ядро, ускоряя сжигание топлива. Солнце становится ярче.

Через приблизительно 5,4 млрд лет с настоящего времени, водород в ядре Солнца будет полностью преобразован в гелий.

В это время внешние слои Солнца расширятся примерно в 260 раз — Солнце станет красным гигантом

# Формирование и эволюция Солнечной системы



- 5) В конечном счёте внешние слои Солнца будут выброшены мощным взрывом в окружающее пространство, образовав планетарную туманность.  
В центре останется лишь небольшое звёздное ядро — белый карлик, необычно плотный объект в половину первоначальной массы Солнца, но размером только с Землю

# Солнечная система

- **Общие характеристики**
- **Возраст**  $4,5682 \pm 0,0006$ 
  - млрд лет
- **Расположение** Местное межзвёздное облако Местное межзвёздное облако, Местный пузырь Местное межзвёздное облако, Местный пузырь, рукав Ориона Местное межзвёздное облако, Местный пузырь, рукав Ориона, Млечный Путь
- **Масса**  $1,0014 M_{\odot}$
- **Ближайшая звезда** Проксима Центавра (4,21-4,24 св.лет)  
Система Альфа Центавра (4,37 св.лет)
- **Ближайшая экзопланета** Альфа Центавра B b



# Окрестности Млечного пути

**ГАЛАКТИЧЕСКАЯ КОРОНА**  
Горячий газ, окружающий Галактику

**ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ ОБЛАКО**  
Влетающий сгусток  
сравнительно свежего газа

**ДИСК ГАЛАКТИКИ**  
Сплоченная система  
звезд, газа  
и пыли

**ПУЗЫРЬ**  
Газ, нагретый  
сверхновыми;  
источник  
«фонтана»

**ОБЛАКО С  
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ  
СКОРОСТЬЮ**  
Остывший газ;  
возвратный поток  
«фонтана»

**БОЛЬШОЕ МАГЕЛЛАНОВО  
ОБЛАКО**  
Галактика – спутник  
Млечного Пути

**МАЛОЕ МАГЕЛЛАНОВО ОБЛАКО**  
Галактика – спутник Млечного Пути

**КАРЛИКОВАЯ СФЕРОИДАЛЬНАЯ  
ГАЛАКТИКА В СТРЕЛЬЦЕ**  
Галактика – спутник Млечного Пути

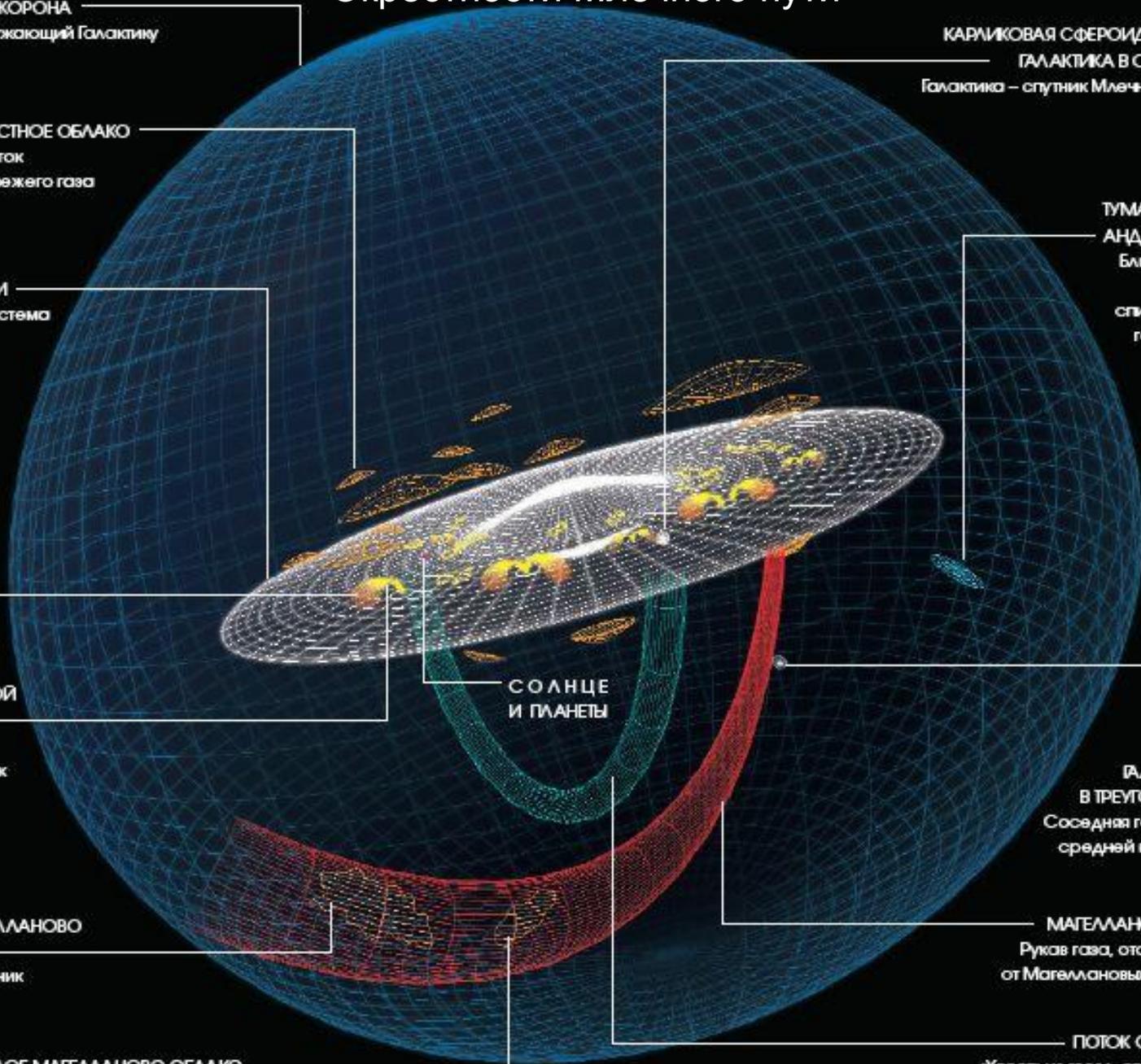
**ТУМАННОСТЬ  
АНДРОМЕДЫ**  
Ближайшая  
крупная  
спиральная  
галактика

**СОЛНЦЕ  
И ПЛАНЕТЫ**

**ГАЛАКТИКА  
В ТРЕУГОЛЬНИКЕ**  
Соседняя галактика  
средней величины

**МАГЕЛЛАНОВ ПОТОК**  
Рукав газа, оторванного  
от Магеллановых Облаков

**ПОТОК СТРЕЛЬЦА**  
«Хвост» из звезд, оторванных  
от карликовой галактики в Стрельце



# Солнечная система

- планетная система, включающая в себя центральную звезду Солнце — и все естественные космические объекты, вращающиеся вокруг неё:
  - планеты планеты и их спутники планеты и их спутники карликовые планеты и их спутники
  - астероиды
  - метеороиды
  - кометы
  - космическая пыль

Солнечная система (масштаб не соблюден)



# Солнце

- По звёздной классификации Солнце — жёлтый карлик По звёздной классификации Солнце — жёлтый карлик класса G2
- Его масса - 332 900 масс Земли
- При термоядерной реакции синтеза в его недрах высвобождается большое количество энергии
- Энергия излучается в пространство Энергия излучается в пространство в основном в виде электромагнитного излучения Энергия излучается в пространство в основном в виде электромагнитного излучения, максимум которого соответствует видимому свету

- Излучение Солнца — основной источник энергии на Земле



- Земля и Солнце (фотомонтаж с сохранением соотношения размеров)



- Солнце в рентгеновских лучах



Зелёный лист растения — источник жизни на Земле благодаря поступлению на Землю энергии Солнца

# Строение Солнца

- **Солнечное ядро** находится в центре Солнца
- **Фотосфера** — это видимая поверхность Солнца, которая и является основным источником излучения.
- **Солнечная корона** - внешние слои атмосферы Солнца
  - имеет очень высокую температуру
  - крайне разрежена
- Земля, так же, как и другие планеты, находятся внутри короны



# Гелиосфера

- Из солнечной короны в окружающее космическое пространство истекает **солнечный ветер** — поток **ионизированных** — поток ионизированных **частиц** — поток ионизированных частиц (в основном **гелиево** — поток ионизированных частиц (в основном гелиево-**водородной** — поток ионизированных частиц (в основном гелиево-водородной **плазм**

- область околосолнечного пространства, в которой плазма в которой плазма солнечного ветра движется от Солнца с некоторой скоростью



Граница **гелиосферы** ~113-120 а.е

Граница: плазма солнечного ветра – межзвездная плазма

# Относительные размеры объектов

1	46 млрд. световых лет во всех направлениях	Размер видимой Вселенной
2	100 000 св. лет	Диаметр нашей галактики Млечный путь
3	113-120 а.е. 4,5 млрд. км - 30 а.е.	Солнечная система: граница гелиосферы Расстояние от Солнца до самой отдалённой планеты - Нептуна
4	150 млн.км 1 а. е.	Расстояние от Земли до Солнца (большая полуось)
5	13000 км	Диаметр Земли
6	109 диаметров Земли	Диаметр Солнца
7	$3 \cdot 10^{-10}$ м	Размер атома
8	$3 \cdot 10^{-15}$ м	Средний диаметр атомного ядра

# Солнечная система: 8 планет и 5 карликовых планет



Планеты в порядке  
увеличения расстояния от  
Солнца :

1. Меркурий (57,9 млн. км)
2. Венера
3. Земля
4. Марс
5. Юпитер
6. Сатурн
7. Уран
8. Нептун (4,5 млрд. км)

Карликовые планеты:

1. Плутон
2. Церера
3. Хаумеа
4. Макемаке
5. Эрида

# Орбиты планет Солнечной системы

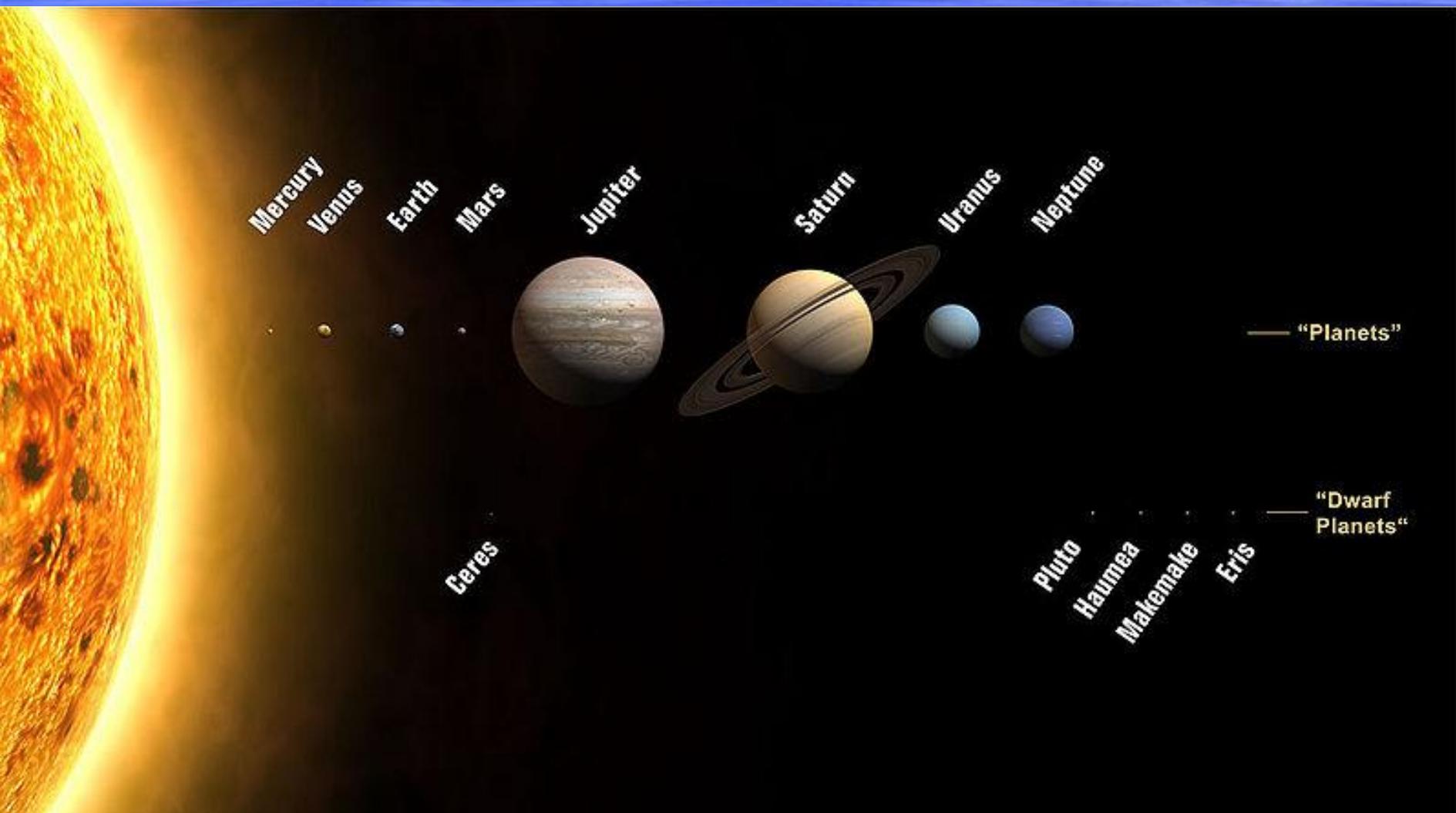
- Планеты движутся в одном направлении в единой плоскости по ~ круговым орбитам.
- Орбиты располагаются в пределах почти плоского диска — плоскости ЭКЛИПТИКИ



# Планеты и Карликовые планеты

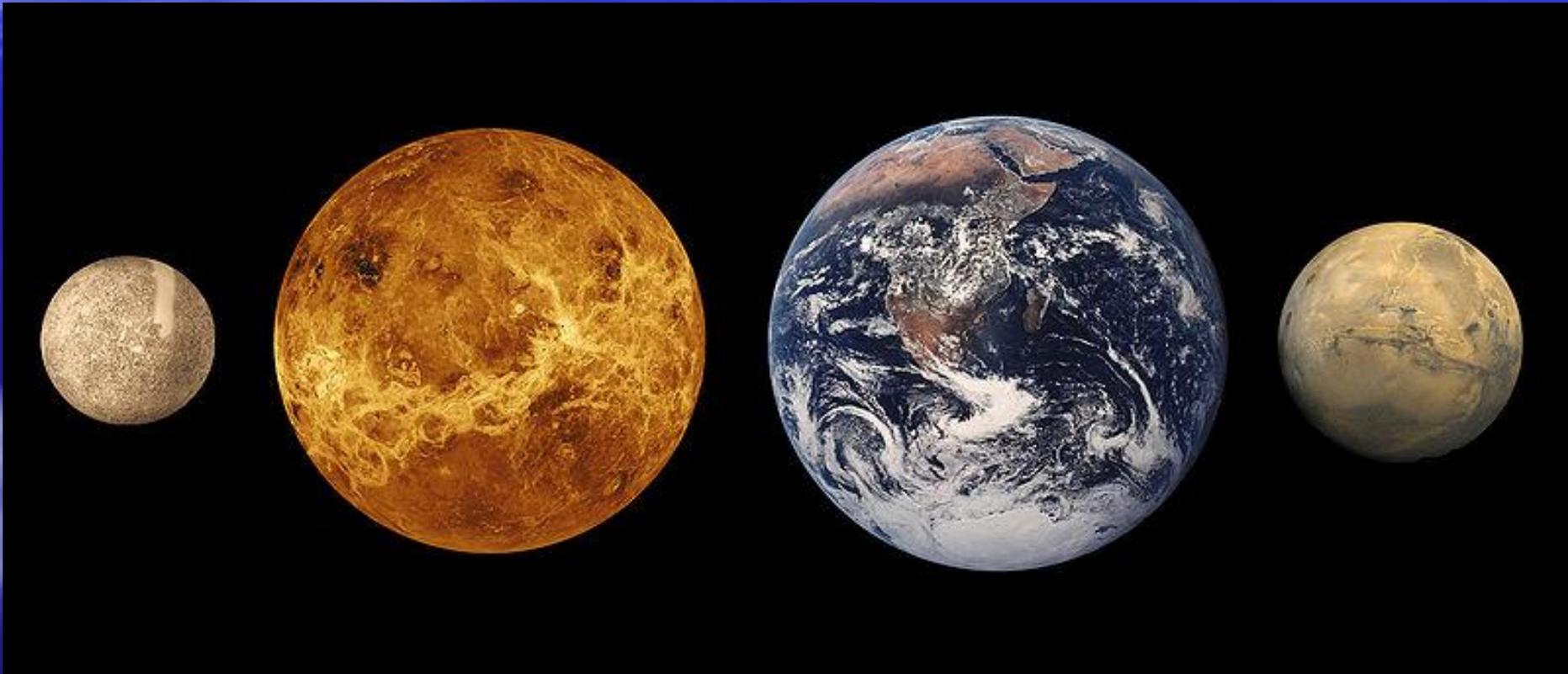
## Солнечной системы

*(размеры для сравнения, расстояния не соблюдены)*



# Землеподобные планеты: Меркурий, Венера, Земля, Марс

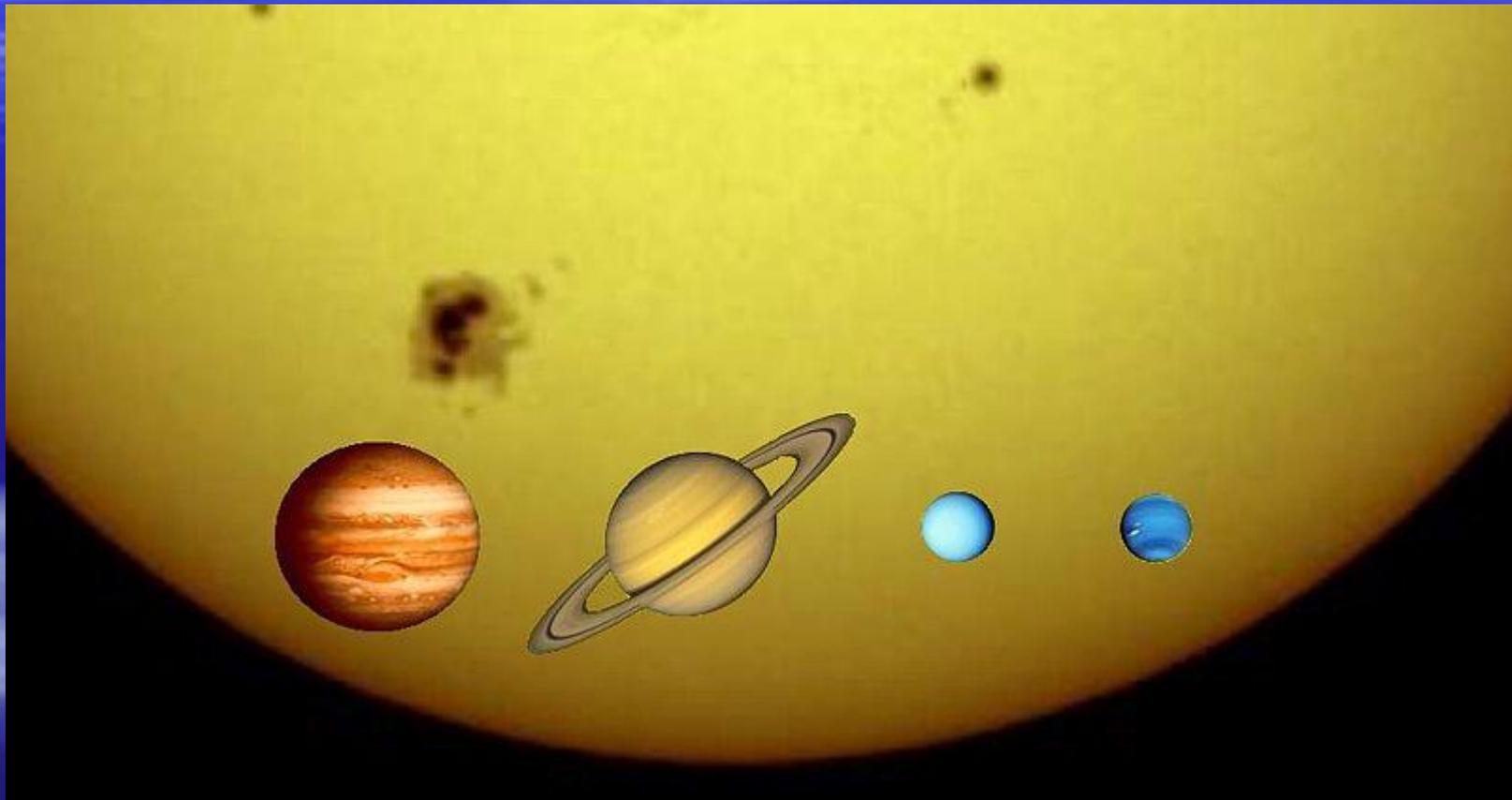
*(размеры для сравнения, расстояния не соблюдены)*



Состоят в основном из силикатов и металлов

# Четыре газовых гиганта: Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун

*(размеры для сравнения, расстояния не соблюдены)*



В значительной степени состоят из водорода В  
значительной степени состоят из водорода и гелия

# Кометы

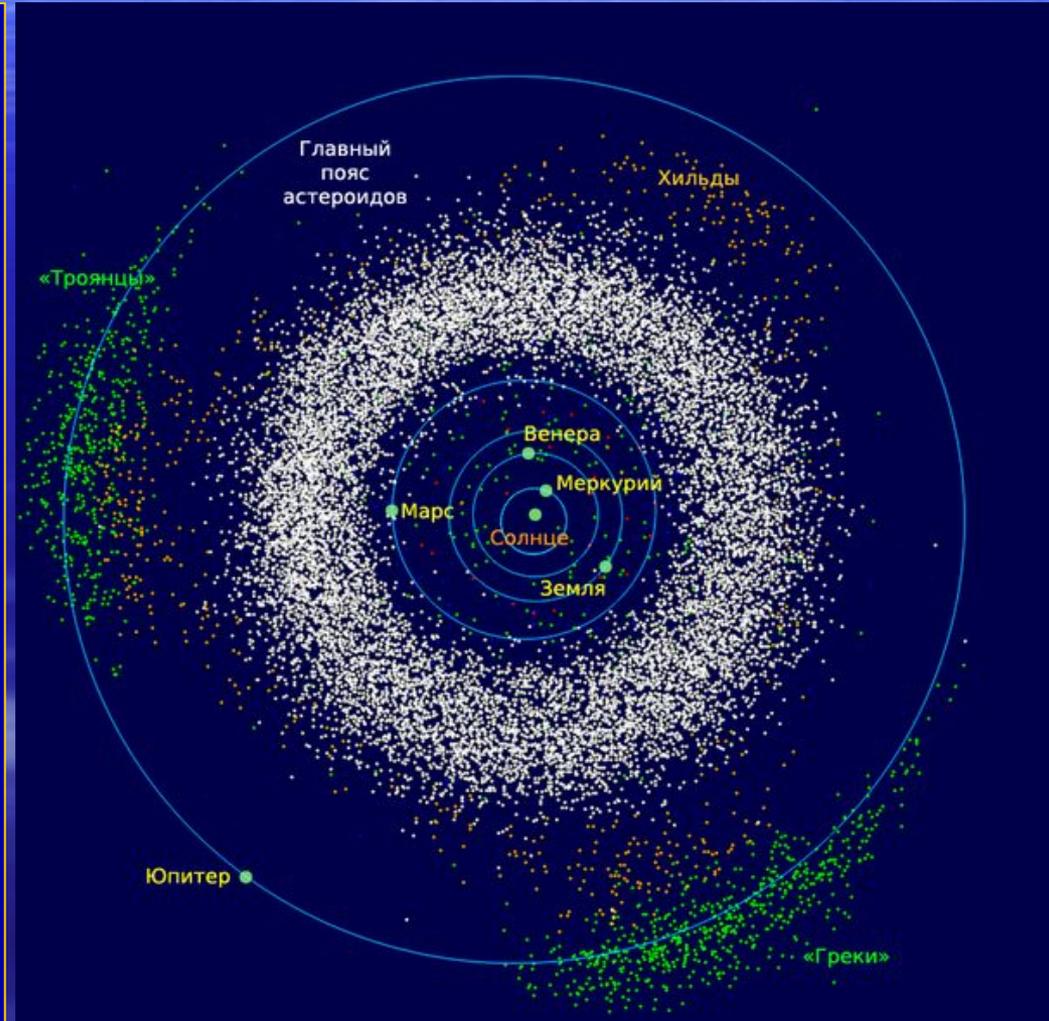
- **Комета** (от др.-греч. κομήτης, komētēs — «волосатый, косматый») — небольшое небесное тело, имеющее туманный вид, обращающееся вокруг Солнца обычно по вытянутым орбитам
- Комета Хейла-Боппа

- Кометы, прибывающие из глубины космоса Кометы, прибывающие из глубины космоса, выглядят как туманные объекты, за которыми тянется хвост
- Ядро кометы представляет собой тело из твёрдых частиц и льда
- Окутано туманной оболочкой - комой
- Потоки солнечных лучей выбивают частицы газа из комы и отбрасывают их назад, вытягивая в длинный дымчатый хвост, который движется за ней



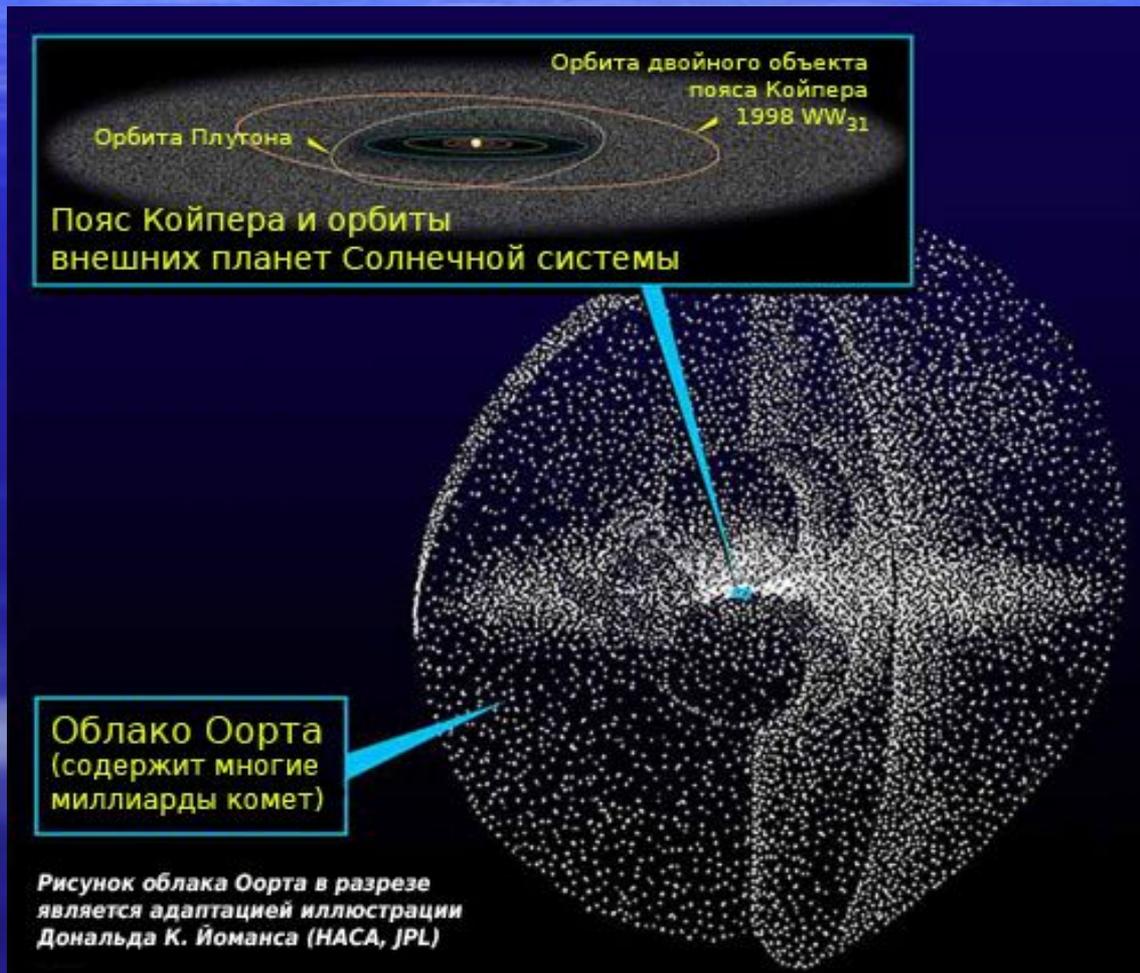
# Пояс астероидов

- Между орбитами Марса и Юпитера располагается кольцо астероидов - **Пояс астероидов**
- Состоит из силикатов и металлов
- **Астероиды** - небесные тела, обращающиеся по орбитам вокруг Солнца, но недостаточно крупные для того, чтобы приобрести круглую форму
- Изображение пояса астероидов и некоторых планет Солнечной системы →



# Пояс Койпера и гипотетическое облако Оорта

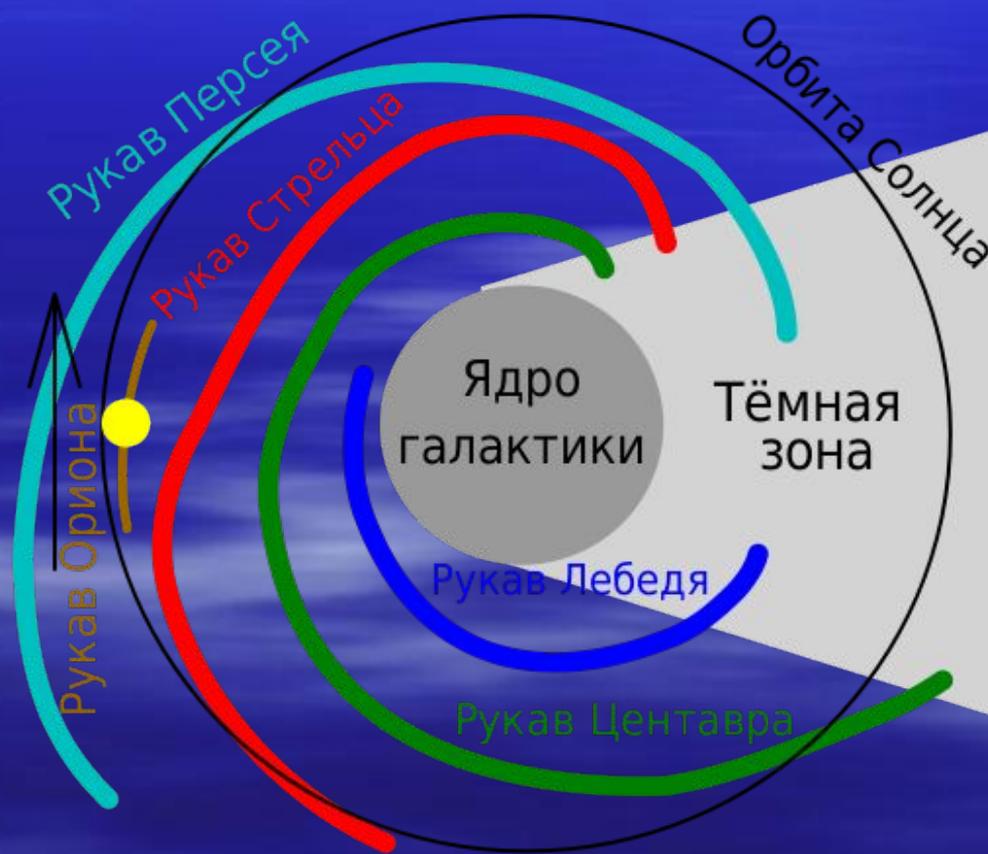
- **Облако Оорта** — сферическое облако ледяных объектов (вплоть до триллиона), служащее источником долгопериодических комет.
- Предполагаемое расстояние до внешних границ от Солнца : от **50 000** до **100 000** а. е.—~световой год.
- **Пояс Койпера** — область реликтов времён образования Солнечной системы, являющейся большим поясом осколков, подобным поясу астероидов, но состоящий в основном из льда.
- Он простирается между **30** и **55 а. е.** от Солнца



# Солнечная система- часть галактики Млечный Путь

- Структура Млечного Пути.  
Солнечная система - жёлтая точка

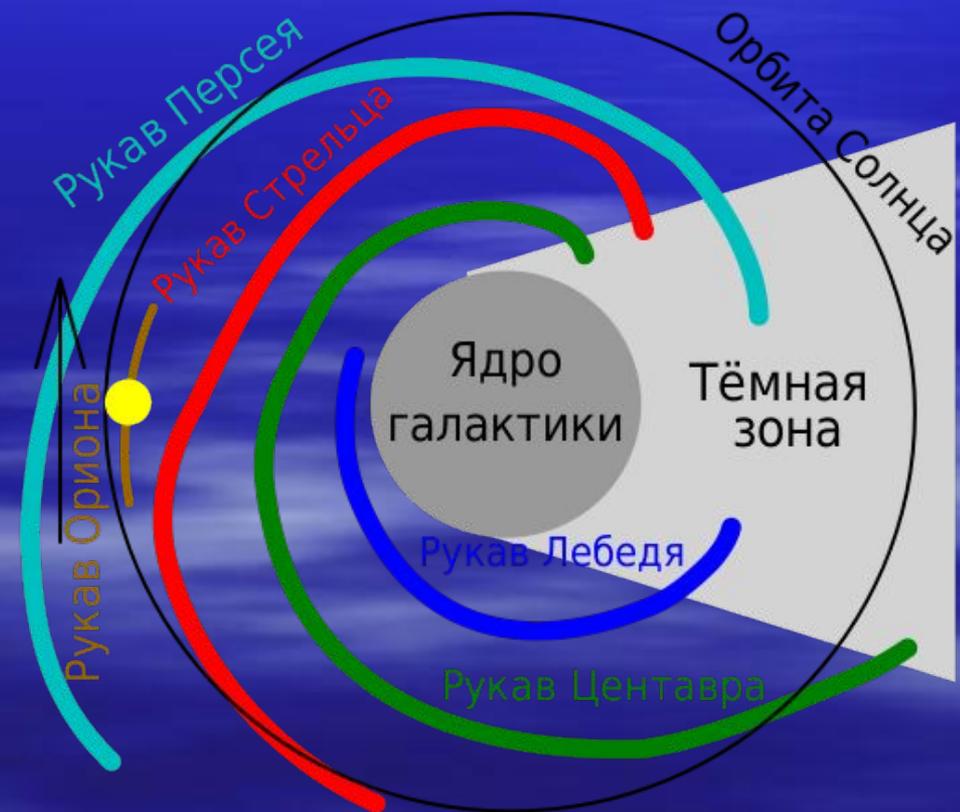
- Млечный Путь — спиральная галактика
- Диаметр -около 100 тысяч световых лет.
- Состоит из приблизительно 200 млрд. звёзд
- Возраст старейшей из известных звёзд 13,2 млрд. лет



# Галактическая орбита

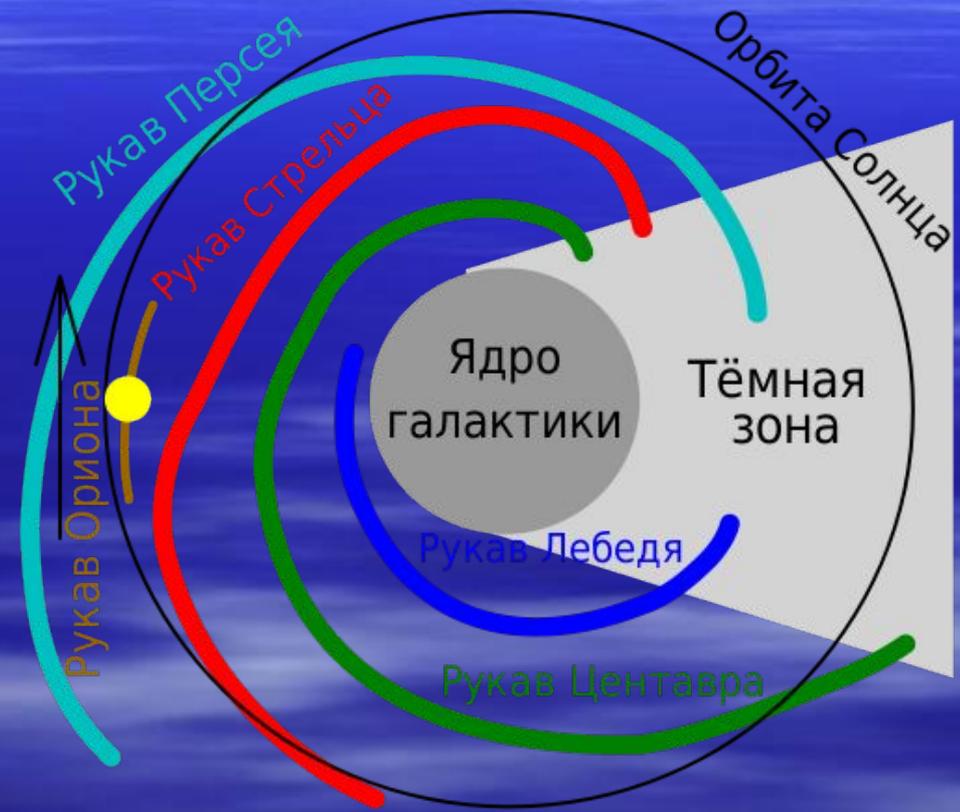
- Структура Млечного Пути.  
Солнечная система - жёлтая точка

- Солнечная система расположена на окраине рукава Ориона Солнечная система расположена на окраине рукава Ориона — одного из галактических рукавов Млечного Пути.
- Солнце вращается вокруг галактического центра по почти круговой орбите со скоростью около **220 км/с**
- Совершает полный оборот за **226 млн лет**.
- Этот промежуток времени называется галактическим годом.



# Местоположение Солнечной системы в галактике -

- вероятно, является фактором эволюции фактором эволюции жизни на Земле:
  - орбита Солнечной системы практически круглая;
  - скорость примерно равна скорости спиральных рукавов, что означает, что она проходит сквозь них чрезвычайно редко
- Это даёт Земле длительные периоды межзвёздной стабильности для развития жизни, так как спиральные рукава обладают значительной концентрацией потенциально опасных сверхновых



# Земля



- Земля образовалась из Солнечной туманности около 4,54 млрд. лет назад, и вскоре после этого приобрела, и вскоре после этого приобрела свой единственный естественный спутник, и вскоре после этого приобрела свой единственный естественный спутник — Луну
- Предполагается, что Луна сформировалась в результате столкновения Земли с объектом массой 10 % от земной (иногда этот объект называют «Тейя»)

