Астрономия и астрофизика в ЕГЭ 2020 по физике. Теория для решения задания №24

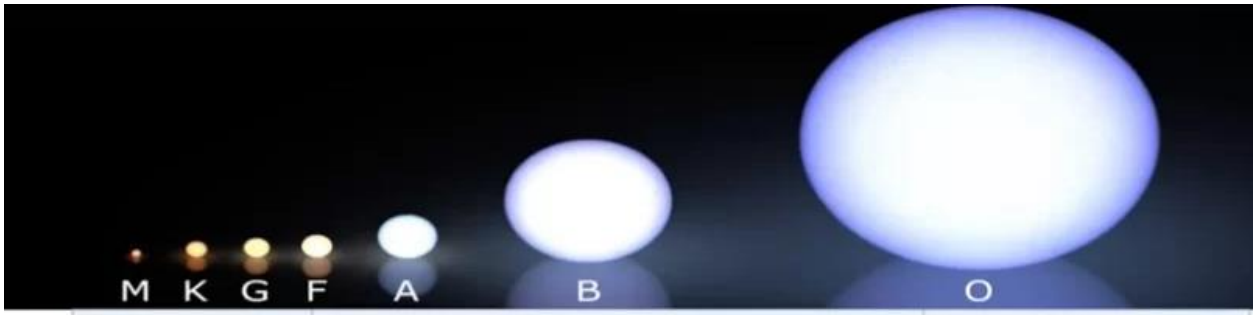
В ЕГЭ по физике появилось новое задание №24. Для его выполнения вам потребуются выучить определенную теорию. В помощь приводятся материалы с примерами решения задач по этому заданию. Читайте (немного теории и практики) и вы с легкостью расправитесь с этим заданием.

Основные типы заданий по астрономии
Все приводимые задания по астрономии можно с достаточной степенью условности разделить на 4-е типа:

- Задание о звездах, здесь все о звездах.
- Задание по планетам Солнечной системы, начиная от Меркурия и кончая Нептуном (Плутон в настоящее время считается малым объектом нашей системы и не относится к планетам).
- Это задание по спутникам нашей Солнечной системы.
- Задание по прочим объектам Солнечной системы: об астероидах, кометах и прочих космических объектах, которые находятся в нашей системе.

Задания о звездах
Для выполнения этого задания достаточно будет знать: понятие о спектральной классификации звезд, распределение звезд по размерам и диаграмму («спектр-светимость»). Рассмотрим более подробно виды классификации звезд.

Спектральная классификация звезд
Согласно этой классификации (рис.1) спектральный класс звезд определяется поверхностной температурой звезды и обозначается определенной буквой (O;B;A;F;G;K;M) – именно в такой последовательности. Класс O – самый высокий класс в иерархии, а класс MM – самый низкий. Чем выше класс, иерархии, тем звезды горячее, больше, ярче. А чем ниже класс, тем, соответственно они холоднее, меньше, тусклее, но такие звезды живут дольше, чем звезды выше классом. Здесь необходимо понять, что температура определяет спектральный класс звезды. Иногда встречаются вопросы про плотность: чем больше звезда, тем более она разряжена.
Для того, чтобы запомнить порядок классификации, можно использовать такой стишок: «Один Высокий Англичанин Финики Жевал Как Морковь»
Кратко о Солнце, звезде нашей Солнечной системы. Оно относится к звездам G – класса, так как имеет температуру 5800 градусов Кельвина. Это соответствует желтому цвету. Все звезды, которые будут иметь температуру выше, будут относиться к классам F, A, B, O, а те, что ниже – к классам K, M.



Класс	Температура, К	Истинный цвет
O	30 000—60 000	голубой
B	10 000—30 000	бело-голубой
A	7500—10 000	белый
F	6000—7500	жёлто-белый
G	5000—6000	жёлтый
K	3500—5000	оранжевый
M	2000—3500	красный

Рис.1. Спектральная классификация звезд

Классификация по размерам

Звезды по размерам делятся на 4-и типа: обычные звезды, то есть средние, которые соизмеримы по размерам с Солнцем, карлики – в сотни раз меньше Солнца и звезды гиганты, эти звезды (гиганты) в десятки раз больше, а также звезды сверхгиганты в сотни раз больше Солнца. Таким образом, надо запомнить, что звезды бывают нормальными, карликами, гигантами и сверхгигантами.

Пример 1

Задание 24. Рассмотрите таблицу, содержащую характеристики звезд по отношению к Солнцу. Выберите два утверждения, которые соответствуют характеристикам звезд

1) Температура поверхности и радиус Бетельгейзе говорят о том, что эта звезда относится к красным сверхгигантам.

2) Температура Проциона в 2 раза ниже, чем на поверхности Солнца.

3) Звезды Кастор и Капелла находятся на одинаковом расстоянии от Земли и, следовательно, относятся к одному созвездию.

4) Звезда Вега относится к белым звездам спектрального класса А.

5) Так как массы звезд Вега и Капелла одинаковы, то они относятся к одному и тому же спектральному классу.

Таблица 1. Основные характеристики звезд по сравнению с Солнцем

Наименование звезды	Температура, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Расстояние до звезды (св. год)
Альдебаран	3500	5	4,5	68
Альтаир	8000	1,7	1,7	360
Бетельгейзе	3100	20	900	650
Вега	10600	3	3	27
Капелла	5200	3	2,5	45
Кастор	10400	3	2,5	45
Процион	6900	1,5	2	11
Спика	16800	15	7	160

1. По первому пункту можно сделать вывод, что он правильный. Действительно температура ее составляет 3100 К – это соответствует красному цвету (рис.1), по размеру она в 900 раз больше Солнца, следовательно, Бетельгейзе красный сверхгигант.
2. Пункт 2. Солнце желтая звезда имеющая температуру поверхности 5800 К. Температура Проциона – 6900 К. Ответ явно не правильный, так как температура выше, а не ниже.
3. Пункт 3. Созвездия – это несколько звезд объединенных общим участком на небе, а не находящиеся на одинаковых расстояниях друг от друга или от Земли. Ответ неправильный.
4. Пункт 4.Запомнить какая звезда, к какому классу относится, не имеет смысла, так как это справочная информация. Если вы владеете ее, то быстро решите этот вопрос, если нет, то применяем метод исключения. Этот вопрос первоначально пропускаем и переходим к заключительному вопросу – 5-му.
5. Пункт 5. Масса и спектральный класс не имеют связи, поэтому это утверждение неверно.

Таким образом, переходим к пункту 4 и делаем вывод, что этот ответ правильный. Это мы определили методом исключения явно неправильных ответов.
Правильные ответы: п.п. 1, 4.

Классификация звезд на основе диаграммы Герцшпрунга – Расселла
Известная широко среди астрономов классификация на основе диаграммы Герцшпрунга – Расселла (рис.2). На этой диаграмме показано, что большинство звезд относятся к главной последовательности звезд. Это звезды сравнимые по размеру с Солнцем и могут быть до 10 раз меньше или не более чем в 10 раз больше нашего Солнца. Под главной последовательностью внизу находятся субкарлики – красные звезды малой светимости. Они имеют огромную плотность.

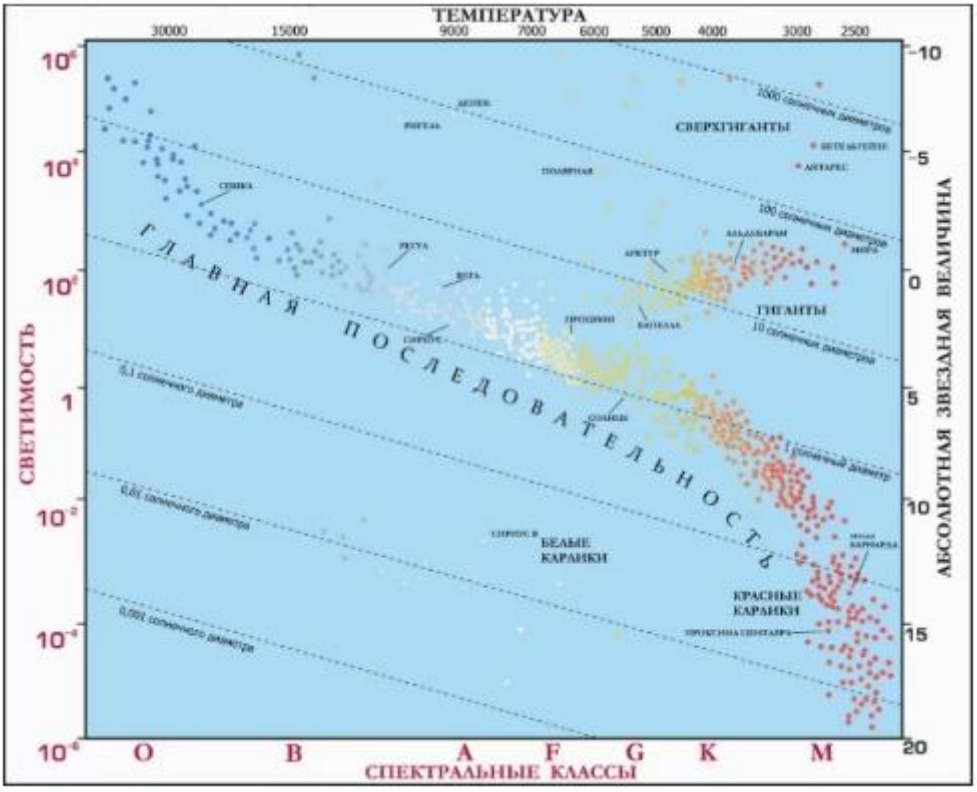


Рис.2. Диаграмма Герцшпрунга – Расселла («спектр – светимость»)

Над главной последовательностью на этой диаграмме находятся звезды, относящиеся к гигантам и сверхгигантам. Они больше Солнца в сотни раз. На этой диаграмме также указаны спектральные классы звезд, абсолютная звездная величина (М) и светимость в единицах светимости Солнца.

Пример 2

Этот пример на использование диаграммы Герцшпрунга – Расселла. Необходимо использовать диаграмму и выбрать 2-а утверждения ко второму примеру на использование диаграммы Герцшпрунга – Расселла, которые будут правильными.

Выберите два утверждения о звездах, которые соответствуют диаграмме Герцшпрунга-Рассела:

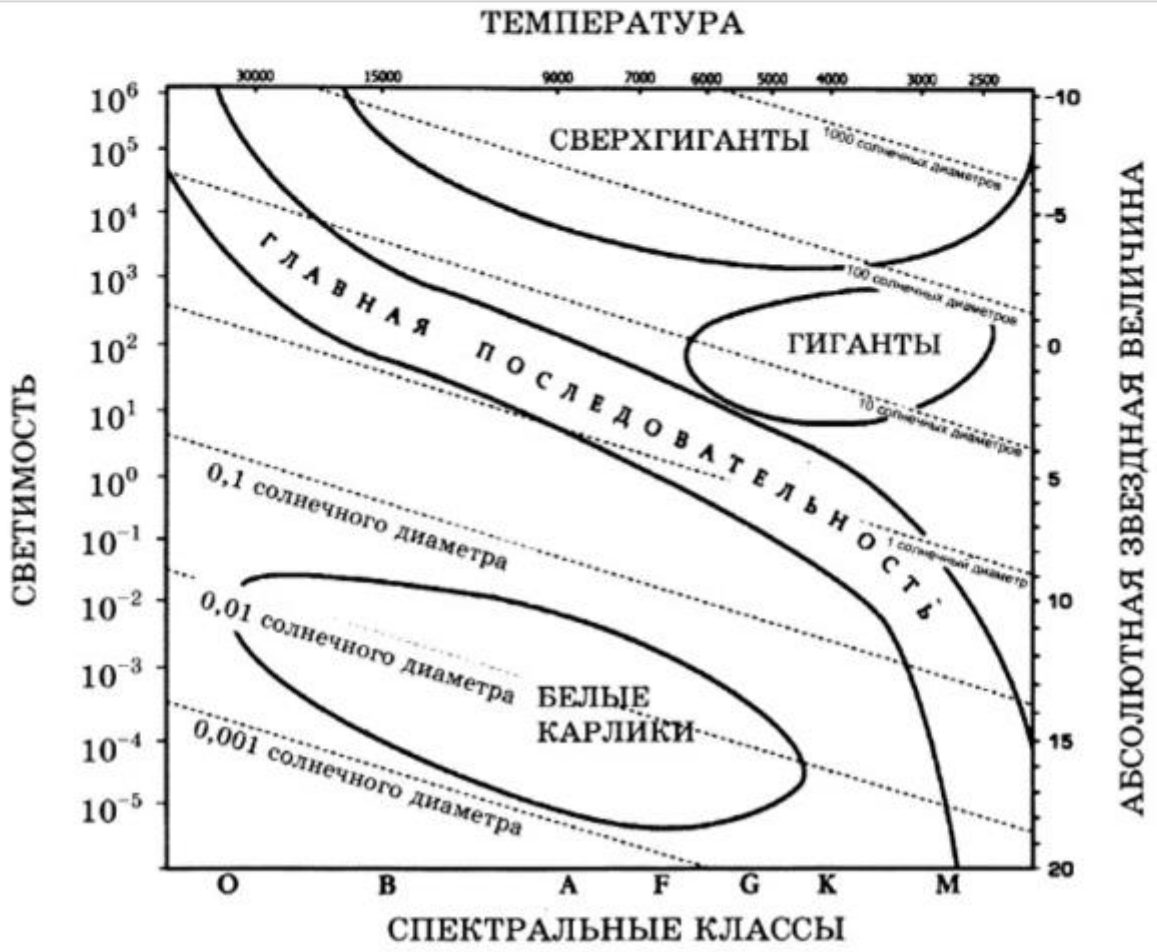
1) Плотность белых карликов существенно меньше средней плотности гигантов.

2) Звезда Канопус относится к сверхгигантам.

3) Температура звёзд спектрального класса G в 3 раза выше температуры звёзд спектрального класса A. Это абсолютно неверно.

4) Солнце относится к спектральному классу B.

5) Звезда Альтаир имеет температуру поверхности 8000 К и относится к звёздам спектрального класса A.



Рассмотрим вопросы по порядку и проанализируем их на правильность.

1. Пункт 1. Белые карлики много меньше гигантов, поэтому их плотность намного больше плотности остальных звезд, включая и гигантов, поэтому это утверждение не верно.
2. Пункт 2. Да, звезда Канопус относится к сверхгигантам, так как имеет размер в 65 раз больше солнечного. Это утверждение правильное.
3. Пункт 3. На диаграмме мы видим, что температура класса A выше G. Да и как мы обсуждали ранее, чем выше класс, тем больше температура, поэтому утверждение верное.
4. Пункт 4. По диаграмме видно, что Солнце относится к спектральному классу G, а не к классу A. То есть утверждение ложное.
5. Пункт 5. На диаграмме видим, что температуре 8000 К соответствует классу A, поэтому данное утверждение правильное.

Правильные ответы: п.п. 2, 5.

Содержание заданий о Солнечной системе

Прежде чем приступать к рассмотрению задания по Солнечной системе вспомним некоторые основные сведения. Вот перечень некоторых фактов, которые необходимо знать:

1. Порядок расположения планет: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун;
2. Самая большая планета Солнечной системы – это Юпитер;
3. Солнечная система содержит 8 планет, которые делятся на две группы. В первую группу входят планеты земной группы – это Меркурий, Венера, Земля, Марс. Во вторую группу входят газовые гиганты: Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун; Логично, что газовые гиганты имеют меньшую плотность, чем твердые;
4. Между Марсом и Юпитером находится пояс астероидов;
5. Практически все планеты обладают спутниками; для Земли – это Луна; не имеют спутников – Венера и Меркурий; Существует множество факторов, влияющих на наличие спутников у планеты, но основным является гравитация, то есть, чем больше масса планеты, тем наиболее вероятно у нее есть спутники. Например, Юпитер самая большая планета Солнечной системы и у него больше всех спутников.
6. Наличие атмосферы. Все планеты Солнечной системы имеют атмосферу, кроме Меркурия.
7. Все планеты вращаются по эллиптическим орбитам; плоскость вращения планеты Земля называется эклиптикой;
8. Один оборот Земля делает за сутки, одно вращение вокруг Солнца – за год;
9. Наклон оси планет к плоскости вращения определяет смену времен года;
10. Последние исследования обнаружили еще один пояс астероидов за Нептуном, а ранее считавшийся планетой Плутон оказался по своим параметрам сравним с большими астероидами этого пояса, поэтому его перестали признавать планетой.

Для того чтобы двигаться дальше, необходимо познакомиться с некоторыми формулами важными при решении заданий по тематике планет. Причем практически все эти формулы известны из курса физики. Вот эти формулы:

$$V = \frac{4}{3} * \pi * R^3 \quad (1)$$

где R – радиус планеты.

Масса планеты

$$M = \rho * V \quad (2)$$

где ρ – плотность планеты.

Ускорение свободного падения для любой планеты, любого тела

$$g = \frac{G * M}{R^2} \quad (3)$$

где M – масса планеты,

R – расстояние от тела до центра планеты, G – гравитационная постоянная,

Первая космическая скорость

$$V_1 = \sqrt{g * R} \quad (4)$$

Вторая космическая скорость

$$V_2 = V_1\sqrt{2} \quad (5)$$

Используя эти формулы можно легко решать задачи посвященные планетам, спутникам.

Пример 3

Задание 24. Рассмотрите таблицу, содержащую характеристики планет Солнечной системы.

Выберите два утверждения, которые соответствуют характеристикам планет.

1)Меркурианский год равен меркурианским суткам.

2) Средняя плотность планет-гигантов значительно ниже, чем у планет земной группы.

3) Первая космическая скорость вблизи Урана составляет примерно 15,1 км/с.

4) Ускорение свободного падения на Марсе примерно равно 5,02 м/с^2.

5) Масса Венеры в 1,5 раза больше массы Земли.

Таблица 2. Основные характеристики планет Солнечной системы

Название планеты	Диаметр в районе экватора, км	Период обращения вокруг солнца, суток	Период вращения вокруг оси	Вторая космическая скорость, км/с	Средняя плотность, г/см^3
Меркурий	4878	87,97	58,6 суток	4,25	5,43
Венера	12104	224,7	243 суток 3 часа 50 минут	10,36	5,25
Земля	12756	365,3	23 часа 56 минут	11,18	5,52
Марс	6794	687	24 часа 37 минут	5,02	3,93
Юпитер	142800	11 лет 314 суток	9 часов 55,5 минут	59,54	1,33
Сатурн	119900	29 лет 168 суток	10 часов 40 минут	35,49	0,71
Уран	51108	83 года 273 суток	17 часов 14 минут	21,29	1,24
Нептун	49493	164 года 292 суток	17 часов 15 минут	23,71	1,67

Решение:

1. По пункту 1 можно сравнить время обращения вокруг Солнца (меркурианский год) и время вращения вокруг собственной оси (меркурианские сутки). Мы видим, что год равен 87,97 суток, а сутки (меркурианские) равны 58,6 суткам, что значительно меньше. Для измерения принимаются земные сутки. Следовательно, это утверждение не верное.
2. Пункт 2. Сравнивая табличные значения по плотности планет видно, что действительно плотность планет гигантов ниже, чем у Земли. Это правильное утверждение.
3. Пункт 3. Так как нам известна (из справочной таблицы) вторая космическая скорость, то мы легко можем посчитать первую космическую скорость, используя формулу (5). Расчетная скорость равна 15,05, то есть примерно равна 15,1 км/ч, следовательно, данное утверждение правильное.
4. Пункт 4. Используя формулы (5, 3) вычисляем первую космическую скорость для Марса, а затем определяем ускорение свободного падения. Вычисленное значение равно 3,7 м/с. Сравниваем его с табличным значением равным 5,02 и видим, что реальное значение намного меньше. Следовательно, это утверждение неверное.
5. Пункт 5. Этот вопрос совсем простой. Можно воспользоваться формулой (1, 2) и посчитать массу планет. А можно просто посмотреть в таблицу и увидеть, что плотность Земли выше, чем у Венеры, и радиус также у Земли больше, так что и масса будет больше. Таким образом, это утверждение неверное.

Правильные ответы: п.п. 2, 3.

Спутники планет Солнечной системы

Для ответов на вопросы по спутникам, формул, которые мы рассмотрели для планет, будет вполне достаточно. Необходимо также знать хотя бы основные спутники планет. Для Земли – это естественный спутник Луна. Марс имеет два спутника. Венера и Меркурий не имеют спутников. У Юпитера самыми известным являются: Ио, Европа, Ганимед и Каллисто – в порядке удаленности от Юпитера. Кроме того надо помнить, что Сатурн имеет так называемое кольцо, которое содержит множество объектов являющимися спутниками.

Обратите внимание на формулу гравитационного притяжения:

$$F = G * \frac{m * M}{R^2},$$

где $G = 6,67 * 10^{-11}$ – гравитационная постоянная; m – масса первого объекта, например, спутника; M – масса второго объекта, например, планеты; R – расстояние между их центрами; F – сила, с который оба объекта притягиваются друг к другу.

Как видно из формулы, сила гравитационного притяжения обратно пропорциональна расстоянию между объектами. Значит, как правило, чем ближе спутник находится к планете, тем сильнее он притягивается и тем меньше ее период обращения.

Пример 4. Спутники

Название спутника	Радиус спутника, км	Радиус орбиты, тыс. км	Средняя плотность, г/см^3	Вторая космическая скорость, м/с	Планета
Луна	1737	384,4	3,35	2038	Земля
Фобос	около 12	9,38	2,20	11	Марс
Ио	1815	422,6	3,57	2560	Юпитер
Европа	1569	670,9	2,97	2040	Юпитер
Каллисто	2400	1883	1,86	2420	Юпитер
Титан	2575	1221,9	1,88	2640	Сатурн
Оберон	761	587,0	1,50	770	Уран
Тритон	1350	355,0	2,08	1450	Нептун

Задание 24. Рассмотрите и проанализируйте таблицу 5 с основными характеристиками некоторых спутников планет нашей Солнечной системы. Выберите два утверждения, которые правильно описывают спутники планет:

1) Первая космическая скорость для Европы составляет примерно 1,44 км/с.
2) Радиус Титана примерно равен радиусу Земли.
3) Чем дальше спутник расположен от Солнца, тем меньше его средняя плотность.
4) Масса Ио больше массы Луны.
5) Ускорение свободного падения на Тритоне равно 145 м/с^2.

1. Пункт 1. Так как нам известна (из справочной таблицы) вторая космическая скорость, то мы легко можем посчитать первую космическую скорость, используя формулу (5), которая связывает первую и вторую космические скорости. Расчетная скорость равна 1,44 км/с, то есть равна скорости приведенной в вопросе, следовательно, данное утверждение правильное. (В таблице скорость приведена в м/с., необходимо перевести в км/с.). Таким образом, вычисленная скорость и скорость в таблице совпадают, следовательно, это утверждение правильное.
2. Пункт 2. Для того чтобы ответить на этот вопрос достаточно одного взгляда на рисунок (см.Рис.3) со сравнительными размерами планет и некоторых основных спутников (самых больших и остальных по размерам). Как видим все без исключения спутники меньше Земли. Правда некоторые из них больше чем Луна, но и только. Следовательно, это утверждение неверное.

3. Пункт 3. Сравнивая плотности спутников, приведенных в таблице и ориентируясь по планетам, как расстоянию до Солнца, мы видим, что связи между этими величинами (плотностью и расстоянием до Солнца) никакой нет. Следовательно, это утверждение неверное.
4. Пункт 4. Этот вопрос связан с плотностью и объемом. Масса – это есть не что иное, как произведение плотности и объема. Объем спутника, так же как и планеты пропорционален кубу ее радиуса. Радиус Ио больше радиуса Луны. Средняя плотность Ио также больше плотности Луны. Следовательно, и масса Ио больше Луны, а не наоборот. Следовательно, это утверждение верное.

5. Пункт 5. Воспользуемся формулами (3) и (5) для определения ускорения свободного падения. U_2 – вторая космическая скорость, которая нам дана в таблице; R – радиус спутника.

$$g = \frac{{U_2}^2}{2 * R},$$

Оно равно примерно 0,779 м/с2, то есть намного меньше табличного. Следовательно, это утверждение неверное.

Рис.3. Размеры планет и некоторых основных спутников

Правильные ответы: п.п. 1, 3.

Астероиды Солнечной системы

В этом задании могут обсуждаться вопросы астероидов, комет и прочих космических объектов, входящих в Солнечную систему. Вспомним, что Солнечная система состоит из 8 планет. Четыре планеты – это планеты земной группы (Меркурий, Земля, Венера и Марс) и 4-ре планеты гиганты (Сатурн, Юпитер, Нептун и Плутон). Между орбитами Марса и Юпитера находятся астероиды главного пояса - примерно от 2.2 а.е. до 3.6 а.е.

Первый закон Кеплера

Рассматриваемые орбиты астероидов представляют собой эллипсы. Эксцентриситет орбиты – это числовая характеристика, которая говорит о «вытянутости» орбиты. (см.Рис.5) Если эксцентриситет равен нулю, то это значит, что орбита – идеальный круг. Эксцентриситет вычисляется по следующей формуле:

$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}},$$

где b — малая полуось, a — большая полуось эллипса. (см.Рис.4)

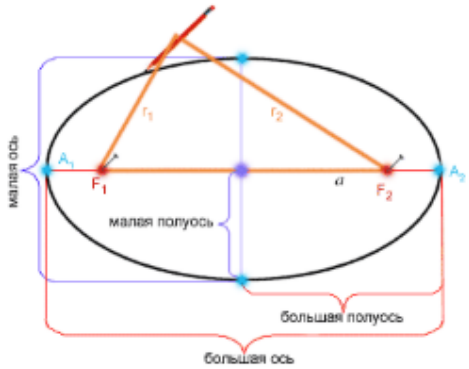


Рис. 4. Малая полуось и большая полуось орбиты

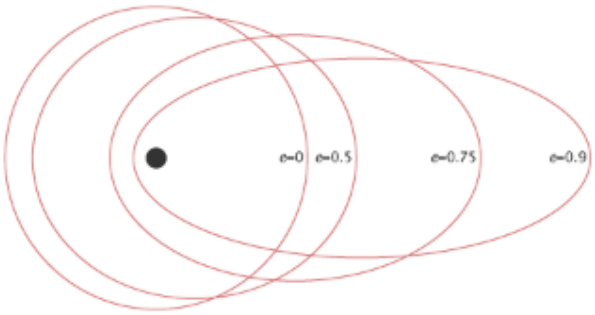


Рис.5. Эксцентриситет орбиты

Плоскость эклиптики – это плоскость, в которой планеты вращаются вокруг Солнца. Дело в том, что некоторые карликовые планеты и астероиды могут вращаться под наклоном к плоскости эклиптики. (см. рис. 6)

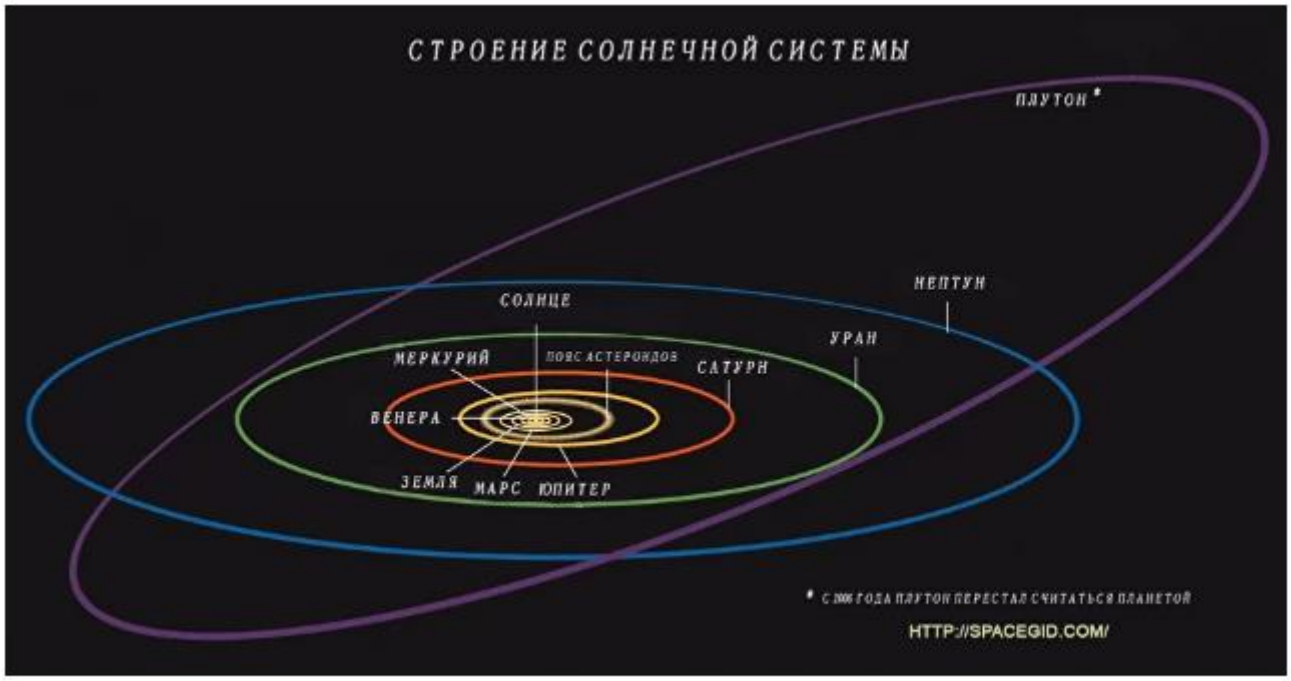


Рис. 4. Солнечная система. Наклон к плоскости эклиптики

Иногда в задача речь идет не про угол наклона, а про высоту, на которую при вращении поднимается объект над плоскостью эклиптики. Для расчёта этой высоты используется формула:

$$H = (a + e * a) * \sin i,$$

a – большая полуось, e – эксцентриситет, i – угол между плоскостью вращения объекта и плоскостью эклиптики.

Пример 5. Астероиды

1) Астероид Геба вращается по более «вытянутой» орбите, чем астероид Веста.
2) Большие полуоси орбит астероидов Церера и Палада одинаковы, значит, они движутся по одной орбите друг за другом.
3) Средняя плотность астероида Церера составляет 400 кг/м^3.
4) Первая космическая скорость для астероида Юнона составляет более 8 км/с.
5) Орбита астероида Акситания находится между орбитами Марса и Юпитера.

Название астероида	Примерный радиус астероида, км	Большая полуось орбиты, а.е.	Период обращения вокруг Солнца, земных лет	Эксцентриситет орбиты, e	Масса, кг
Веста	265	2,37	3,63	0,091	$2,59*10^{20}$
Эвномия	136	2,65	4,30	0,185	$3,34*10^{19}$
Церера	466	2,78	4,60	0,077	$9,39*10^{20}$
Палада	261	2,78	4,61	0,235	$2,11*10^{20}$
Юнона	123	2,68	4,36	0,256	$2,82*10^{19}$
Геба	100	2,42	3,76	0,202	$1,37*10^{19}$
Аквитания	54	2,79	4,53	0,238	$1,06*10^{18}$

Задание 24. Рассмотрите и проанализируйте таблицу 6 с основными характеристиками некоторых астероидов нашей Солнечной системы. Выберите два утверждения, которые правильно описывают спутники планет:

1. Пункт 1. Для того чтобы ответить на этот вопрос необходимо сравнить их эксцентриситеты. Да, это так, как эксцентриситет астероида Геба больше чем астероида Веста. Следовательно, это утверждение верно.
2. Пункт 2. Кроме самой орбиты, которая характеризуется малой и большой полуосями, необходимо учитывать также и наклон орбиты астероидов, а они могут быть различными. Следовательно, это утверждение неверное.
3. Пункт 3. Среднюю плотность Цереры можно рассчитать, используя формулы (1) и (2). Это простые формулы, по которым мы определяем объем астероида, а затем плотность. Плотность расчетная получается равной 2210кг/м32210кг/м3, что сильно разница с табличными данными. Следовательно, это утверждение верно.
4. Пункт 4. Здесь необходимо вспомнить первую космическую скорость для Земли, которая равна 8 км/с, а все астероиды, которые меньше Земли имеют эту скорость меньше. Следовательно, это утверждение не верное.
5. Пункт 5. Все рассматриваемые астероиды находятся между орбитами Марса и Юпитера, следовательно, это утверждение верно.

Правильные ответы: п.п. 1, 5.

Пояс Койпера

В заключение несколько слов о поясе Койпера. (См.Рис.7) Пояс Койпера представляет собой дискообразную область, которая расположена за орбитой Нептуна на расстоянии от 30 до 100 АЕ от нашего Солнца. Представляет собой большое количество маленьких ледяных тел.

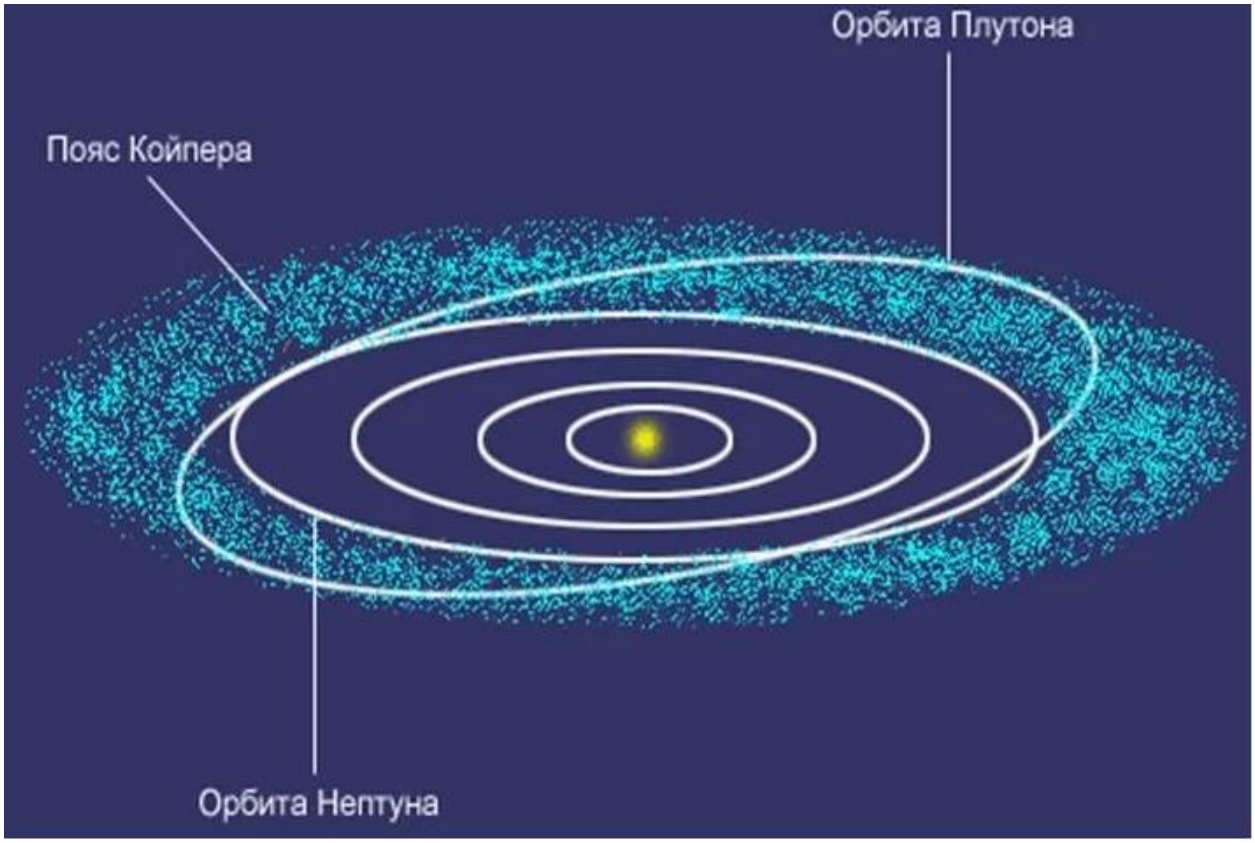


Рис.7. Пояс Койпера