

Бегунов Михаил Игоревич

Астрономия в ЕГЭ по физике Решения задания №24

Исправленное издание

г. Брянск, 2019

Оглавление

От автора	2
Тема 1. Планеты Солнечной системы (часть 1)	3
Тема 2. Планеты Солнечной системы (часть 2)	11
Тема 3. Спутники планет Солнечной системы	18
Тема 4. Астероиды планет Солнечной системы	24
Тема 5. Звезды. Диаграмма Герцшпрунга-Рассела (часть 1) ...	34
Тема 6. Звезды. Диаграмма Герцшпрунга-Рассела (часть 2) ...	44
Тема 7. Звезды. Диаграмма Герцшпрунга-Рассела (часть 3) ...	50
Справочные данные	56
Ответы к заданиям для самостоятельного решения	57
Литература	58

В августе 2017 года на сайте Федерального Института Педагогических измерений (ФИПИ) был опубликован проект демонстрационного варианта КИМ ЕГЭ 2018 по физике, в котором по сравнению с 2017 годом в первой части добавилось одно задание – задание №24. Это задание с астрономическим содержанием. Уровень сложности – повышенный. В нем на основании данных таблицы или диаграммы требуется выбрать два верных утверждения из пяти предлагаемых. Оно оценивается в 2 балла (по одному баллу за каждый верно выбранный вариант).

Астрономия как учебный предмет после десятилетнего отсутствия только начала возвращаться в школы России, но далеко не везде об этом успели позаботиться. Поэтому одиннадцатиклассники сталкиваются с рядом трудностей.

Это пособие адресовано как самим учащимся 11 класса, которые в 2020 году собираются сдавать Единый Государственный Экзамен по физике, так и их учителям. Оно позволит вам максимально быстро и результативно подготовиться к выполнению этого задания.

Как работать с пособием?

Все задания №24 из ЕГЭ по физике разбиты на основные типы, по каждому из которых изложен необходимый теоретический материал, проведен анализ таблицы или диаграммы, сопровождающей задание. После этого приводится подробное выполнение задания с пояснениями и комментариями.

Для закрепления материала вам предлагается выполнить несколько заданий самостоятельно. Ответы к ним можно найти в конце пособия. Также уделите время вопросам, которые есть в конце некоторых уроков.

По основным темам составлены опорные конспекты (ОК 1, ОК 2, ОК 3 и ОК 4).

Ваши замечания и предложения присылайте по электронной почте по адресу – bmegunov@yandex.ru.

Выделим типы задач, которые встречаются в официальных сборниках ФИПИ и в открытом банке заданий на сайте **fipi.ru**:

- планеты солнечной системы;
- спутники планет солнечной системы;
- астероиды солнечной системы;
- звезды, диаграмма Герцшпрунга-Рассела.

Рассмотрим задания по каждому из этих типов по порядку. Вначале будет произведен подробный анализ таблицы или диаграммы, которая есть в условии, а затем это задание будет выполнено с пояснениями и комментариями. В конце каждого урока имеются задания для самостоятельного решения и вопросы. Ответы к заданиям размещены в конце пособия.

Тема 1. Планеты Солнечной системы (часть 1)

Задание 1. Рассмотрите таблицу, содержащую характеристики планет Солнечной системы.

Таблица 1

Название планеты	Диаметр в районе экватора, км	Период обращения вокруг Солнца	Период вращения вокруг оси	Вторая космическая скорость, км/с	Средняя плотность, г/см ³
Меркурий	4878	87,97 суток	58,6 суток	4,25	5,43
Венера	12 104	224,7 суток	243 суток 0 часов 27 минут	10,36	5,25
Земля	12 756	365,3 суток	23 часа 56 минут	11,18	5,52
Марс	6 794	687 суток	24 часа 37 минут	5,02	3,93
Юпитер	142 800	11 лет 315 суток	9 часов 53,8 минут	59,54	1,33
Сатурн	120 660	29 лет 168 суток	10 часов 38 минут	35,49	0,71
Уран	51 118	84 года 5 суток	17 часов 12 минут	21,29	1,24
Нептун	49 528	164 года 290 суток	16 часов 5 минут	23,71	1,67

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/с².

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

Теоретический материал для анализа таблицы

1. Центром **Солнечной системы** (рис. 1) является звезда Солнце, вокруг которой обращается 8 планет: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун.



Рисунок 1. Солнечная система

Первые четыре планеты – *Меркурий, Венера, Земля и Марс* – из-за близкого расположения к Земле и схожести по своим свойствам называют **планетами Земной группы**. Оставшиеся четыре планеты – *Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун* – **планеты-гиганты** (или газовые гиганты).

2. Диаметр в районе экватора позволяет определить **объем** данной планеты. Если форму планеты принять за шар, то

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3.$$

Если учесть, что радиус есть половина диаметра, тогда

$$V = \frac{\pi d^3}{6}.$$

3. Период обращения вокруг Солнца – это время, за которое планета совершает один полный оборот вокруг Солнца, т.е. это **длительность года** на данной планете.

Следует также принимать во внимание, что период можно рассчитать по формуле

$$T = \frac{2\pi R}{v},$$

где R – радиус траектории, а v – линейная скорость планеты.

4. Период вращения вокруг оси – это время, за которое планета совершает один полный оборот вокруг своей оси. Это время называют **сутками** на данной планете.

5. **Вторая космическая скорость** – это скорость, которую необходимо сообщить телу у поверхности планеты, чтобы оно стало искусственным спутником Солнца. Чтобы найти вторую космическую скорость, надо знать радиус данной планеты и ускорение свободного падения:

$$v_2 = \sqrt{2gR} \text{ или } v_2 = \sqrt{gd}.$$

Отсюда можно найти **ускорение свободного падения**:

$$g = \frac{v_2^2}{d}.$$

Вторая космическая скорость связана с первой. **Первая космическая скорость** – это скорость, которую необходимо сообщить телу у поверхности планеты, чтобы оно стало искусственным спутником этой планеты:

$$v_1 = \sqrt{gR} \text{ или } v_1 = \sqrt{g \frac{d}{2}}.$$

Тогда установим связь между первой и второй космическими скоростями:

$$v_2 = \sqrt{2}v_1.$$

6. **Средняя плотность** – это физическая величина, равная отношению массы планеты к ее объему, т.е.

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

Тогда

$$m = \rho V$$

или

$$m = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3 = \rho \cdot \frac{\pi d^3}{6}.$$

ОК 1. Планеты Солнечной системы

Название планеты	Диаметр в районе экватора, км	Период обращения вокруг Солнца	Период вращения вокруг оси	Вторая космическая скорость, км/с	Средняя плотность, г/см ³
Меркурий	4878	87,97 суток	58,6 суток	4,25	5,43
Венера	12 104	224,7 суток	243 суток 0 часов 27 минут	10,36	5,25
Земля	12 756	365,3 суток	23 часа 56 минут	11,18	5,52
Марс	6 794	687 суток	24 часа 37 минут	5,02	3,93
Юпитер	142 800	11 лет 315 суток	9 часов 53,8 минут	59,54	1,33
Сатурн	120 660	29 лет 168 суток	10 часов 38 минут	35,49	0,71
Уран	51 118	84 года 5 суток	17 часов 12 минут	21,29	1,24
Нептун	49 528	164 года 290 суток	16 часов 5 минут	23,71	1,67

Планеты земной группы

Планеты-гиганты

Сутки

Год

$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{\pi d^3}{6}$

$v_2 = \sqrt{2gR} = \sqrt{gd}$
 $v_2 = \sqrt{2}v_1$

$m = \rho V$

Решение:

1) Меркурианский год равен меркурианским суткам.

Решение: Длительность меркурианского года – 87,97 земных суток. Меркурианские сутки длятся 58,6 земных суток. *Утверждение не является верным.*

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

Решение: Из последнего столбца таблицы видим, что средняя плотность планет гигантов не превышает $1,67 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, при этом наименьшая плотность планет земной группы – $3,93 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

Утверждение является верным.

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

Решение: Первая космическая скорость связана со второй:

$$v_2 = \sqrt{2}v_1,$$

откуда

$$v_1 = \frac{v_2}{\sqrt{2}} = \frac{21,29 \frac{\text{км}}{\text{с}}}{\sqrt{2}} \approx 15,1 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

Утверждение является верным.

4) Ускорение свободного падения на Марсе примерно равно $5,02 \text{ м/с}^2$.

Решение: Ускорение свободного падения найдем как

$$g = \frac{v_2^2}{d} = \frac{\left(5,02 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{6\,794 \cdot 10^3 \text{ м}} \approx 3,71 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Утверждение не является верным.

Обратите внимание: заявленное в утверждении значение ускорения свободного падения совпадает со значением второй космической скорости в таблице. Это весьма подозрительно, и, как правило, такие утверждения не являются верными.

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

Решение: Запишем формулу для расчета массы планеты

$$m = \rho V = \rho \cdot \frac{\pi d^3}{6}.$$

Не будем торопиться подставлять значения плотности и диаметра Венеры и Земли в формулу, сравним их. Из таблицы видно, что и плотность, и диаметр планеты Венера меньше чем у Земли. Следовательно, масса Венеры меньше массы Земли. *Утверждение не является верным.*

Если вы все же сомневаетесь и хотите убедиться в неправильности этого утверждения, воспользуйтесь указанной выше формулой, а затем сравните полученные значения.

Ответ: 23 или 32.

Задания для самостоятельного решения

№1. Рассмотрите таблицу, содержащую характеристики планет Солнечной системы.

Название планеты	Диаметр в районе экватора, км	Период обращения вокруг Солнца	Период вращения вокруг оси	Вторая космическая скорость, км/с	Средняя плотность, г/см ³
Меркурий	4878	87,97 суток	58,6 суток	4,25	5,43
Венера	12 104	224,7 суток	243 суток 0 часов 27 минут	10,36	5,25
Земля	12 756	365,3 суток	23 часа 56 минут	11,18	5,52
Марс	6 794	687 суток	24 часа 37 минут	5,02	3,93
Юпитер	142 800	11 лет 315 суток	9 часов 53,8 минут	59,54	1,33
Сатурн	120 660	29 лет 168 суток	10 часов 38 минут	35,49	0,71
Уран	51 118	84 года 5 суток	17 часов 12 минут	21,29	1,24
Нептун	49 528	164 года 290 суток	16 часов 5 минут	23,71	1,67

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам планет.

1) Первая космическая скорость вблизи Марса составляет примерно 3,55 км/с.

2) Скорость движения Урана по орбите в 2 раза меньше, чем скорость Нептуна.

3) Средняя плотность планет земной группы значительно выше, чем у планет-гигантов.

4) Ускорение свободного падения на Венере примерно равно $10,36 \text{ м/с}^2$.

5) Масса Марса в 2 раза больше массы Земли.

№2. Рассмотрите таблицу, содержащую характеристики планет Солнечной системы.

Название планеты	Диаметр в районе экватора, км	Период обращения вокруг Солнца	Период вращения вокруг оси	Вторая космическая скорость, км/с	Средняя плотность, г/см ³
Меркурий	4878	87,97 суток	58,6 суток	4,25	5,43
Венера	12 104	224,7 суток	243 суток 0 часов 27 минут	10,36	5,25
Земля	12 756	365,3 суток	23 часа 56 минут	11,18	5,52
Марс	6 794	687 суток	24 часа 37 минут	5,02	3,93
Юпитер	142 800	11 лет 315 суток	9 часов 53,8 минут	59,54	1,33
Сатурн	120 660	29 лет 168 суток	10 часов 38 минут	35,49	0,71
Уран	51 118	84 года 5 суток	17 часов 12 минут	21,29	1,24
Нептун	49 528	164 года 290 суток	16 часов 5 минуты	23,71	1,67

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам планет.

- 1) Марс в 2 раза быстрее вращается вокруг своей оси, чем Земля.
- 2) За марсианский год на планете проходит примерно 670 марсианских суток.
- 3) Ускорение свободного падения на Юпитере примерно равно 59,54 м/с².
- 4) Масса Нептуна в 10 раз меньше массы Урана.
- 5) Первая космическая скорость вблизи Венеры составляет примерно 7,33 км/с.

№3. Рассмотрите таблицу, содержащую характеристики планет Солнечной системы.

Название планеты	Диаметр в районе экватора, км	Период обращения вокруг Солнца	Период вращения вокруг оси	Вторая космическая скорость, км/с	Средняя плотность, г/см ³
Меркурий	4878	87,97 суток	58,6 суток	4,25	5,43
Венера	12 104	224,7 суток	243 суток 0 часов 27 минут	10,36	5,25
Земля	12 756	365,3 суток	23 часа 56 минут	11,18	5,52
Марс	6 794	687 суток	24 часа 37 минут	5,02	3,93
Юпитер	142 800	11 лет 315 суток	9 часов 53,8 минут	59,54	1,33
Сатурн	120 660	29 лет 168 суток	10 часов 38 минут	35,49	0,71
Уран	51 118	84 года 5 суток	17 часов 12 минут	21,29	1,24
Нептун	49 528	164 года 290 суток	16 часов 5 минуты	23,71	1,67

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам планет.

- 1) Юпитер движется по орбите почти в 3 раза быстрее, чем Сатурн.
- 2) Масса Юпитера почти в 3 раза больше массы Урана.
- 3) Первая космическая скорость вблизи Сатурна составляет примерно 25,1 км/с.
- 4) За один юпитерианский год Венера успевает совершить 19 оборотов вокруг Солнца.
- 5) Ускорение свободного падения на Нептуне примерно равно 23,71 м/с².

Вопросы

- 1) Перечислите планеты Солнечной системы. На какие группы они делятся? Назовите планеты, входящие в них.
- 2) Какую величину можно определить по таблице, зная диаметр планеты в районе экватора?
- 3) Что такое период обращения планеты вокруг Солнца? период ее вращения вокруг оси? Какую информацию несут эти величины?
- 4) Что называют первой космической скоростью? второй космической скоростью? По каким формулам они рассчитываются? Как эти величины связаны друг с другом? Как, зная первую или вторую космические скорости, вычислить ускорение свободного падения на данной планете?
- 5) Что такое средняя плотность планеты? Что она позволяет рассчитать?

Тема 2. Планеты Солнечной системы (часть 2)

Задание 2. Рассмотрите таблицу, содержащую характеристики планет Солнечной системы.

Таблица 2

Название планеты	Среднее расстояние от Солнца (в а.е. *)	Диаметр в районе экватора, км	Наклон оси вращения	Первая космическая скорость, км/с	Средняя плотность, г/см ³
Меркурий	0,39	4879	0,6'	3,01	5,43
Венера	0,72	12 104	177°22'	7,33	5,25
Земля	1,00	12 756	23°27'	7,91	5,52
Марс	1,52	6 794	25°11'	3,55	3,93
Юпитер	5,20	142 984	3°08'	42,1	1,33
Сатурн	9,58	120 536	26°44'	25,1	0,71
Уран	19,19	51 118	97°46'	15,1	1,24
Нептун	30,02	49 528	28°19'	16,8	1,67

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам планет.

- 1) Ускорение свободного падения на Сатурне составляет 25,1 м/с².
- 2) На Уране смена времен года происходит 8 раз в течение его оборота вокруг Солнца.
- 3) Масса Юпитера почти в 2 раза больше массы Сатурна.
- 4) Ускорение свободного падения на Меркурии составляет около 3,6 м/с².
- 5) На Марсе наблюдается смена времен года.

Теоретический материал для анализа таблицы

1. Среднее расстояние от Солнца до планет в таблице выражено в **астрономических единицах** (1 а.е. равна среднему расстоянию от Солнца до Земли):

$$1 \text{ а. е.} = 150 \text{ млн км.}$$

Это табличная величина, ее не требуется запоминать, она указана в справочных данных перед КИМом ЕГЭ.

2. Напомним, что зная диаметр в районе экватора, можно определить **объем** данной планеты:

$$V = \frac{\pi d^3}{6}.$$

3. Информация о **наклоне оси** позволяет нам сделать вывод о **смене времен года** на данной планете. Она не наблюдается лишь в том случае, когда этот угол очень мал, т.е. близок к 0, как, например, у Меркурия и Юпитера, или велик, т.е. близок к 180° – у Венеры. На остальных планетах Солнечной системы согласно данной таблице смена времён года наблюдается, и за один оборот вокруг Солнца, т.е. за год на планете, смена сезонов происходит, как и на Земле, 4 раза.

Комментарий: У нашей планеты этот угол равен примерно 23,5°. Из-за такого наклона земной оси (рис. 2) на нашей планете происходит регулярная смена времен года. В летний сезон ось Земли наклонена таким образом, что Северный полюс Земли наклоняется к Солнцу. Регионы северного полушария получают больше солнечных лучей и поэтому там теплее, чем в Южном полушарии. Осенью как Северное полушарие, так и Южное получают равную долю солнечного света. В зимний период Северный полюс наклоняется в сторону от Солнца, и поэтому там холоднее, а в Южном полушарии теплее.

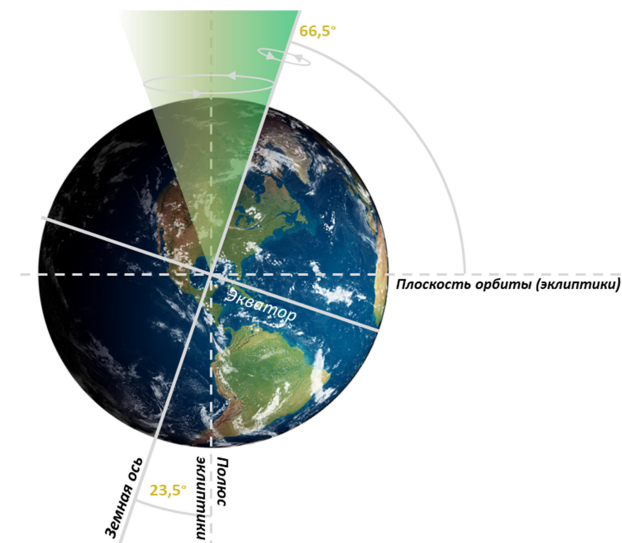


Рисунок 2. Наклон оси вращения Земли

4. **Первая космическая скорость** – это скорость, которую необходимо сообщить телу у поверхности планеты, чтобы оно стало

искусственным спутником планеты. Чтобы найти первую космическую скорость, надо знать радиус данной планеты и ускорение свободного падения

$$v_1 = \sqrt{gR} \text{ или } v_1 = \sqrt{g \frac{d}{2}}.$$

Отсюда можно найти **ускорение свободного падения**:

$$g = \frac{2v_1^2}{d}.$$

Первая космическая скорость связана со второй. **Вторая космическая скорость** – это скорость, которую необходимо сообщить телу у поверхности планеты, чтобы оно стало искусственным спутником Солнца:

$$v_2 = \sqrt{2gR} \text{ или } v_2 = \sqrt{gd}.$$

Тогда установим связь между первой и второй космическими скоростями:

$$v_1 = \frac{v_2}{\sqrt{2}}.$$

5. Напомним, что **средняя плотность** позволяет определить массу планеты

$$m = \rho \cdot \frac{\pi d^3}{6}.$$

Решение:

1) Ускорение свободного падения на Сатурне составляет $25,1 \text{ м/с}^2$.

Решение: Ускорение свободного падения найдем как

$$g = \frac{2v_1^2}{d} = \frac{2 \cdot \left(25,1 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{120\,536 \cdot 10^3 \text{ м}} \approx 10,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Или сразу обращаем внимание, что ускорение свободного падения из этого утверждения совпадает со значением первой космической скоростью на Сатурне.

Утверждение не является верным.

2) На Уране смена времен года происходит 8 раз в течение его оборота вокруг Солнца.

Решение: Судя по наклону оси вращения ($0^\circ \ll 97^\circ 46' \ll 180^\circ$), смена времен года на Уране наблюдается.

Если это происходит, то за один его полный оборот вокруг Солнца, времена года меняют друг друга, как и на Земле, 4 раза.

Утверждение не является верным.

Справка: Обратите внимание на то, что угол наклона оси вращения Урана близок к 90° . Таким образом, если другие планеты можно сравнить с вращающимися волчками, то Уран больше похож на катящийся шар (рис. 3).

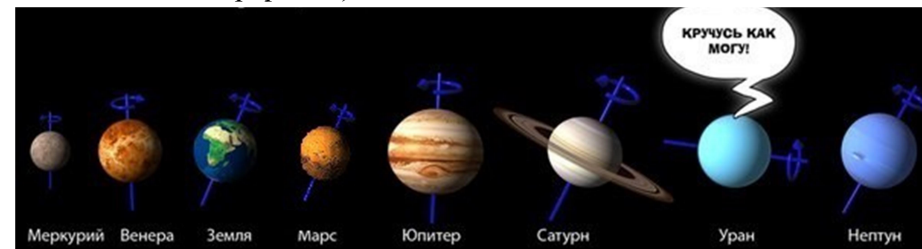


Рисунок 3. Наклон оси вращения планет Солнечной системы

3) Масса Юпитера почти в 2 раза больше массы Сатурна.

Решение: Запишем формулу для расчета массы планеты

$$m = \rho V = \rho \cdot \frac{\pi d^3}{6}.$$

Масса Юпитера:

$$m_{\text{ю}} = \rho_{\text{ю}} \cdot \frac{\pi d_{\text{ю}}^3}{6}.$$

Масса Сатурна:

$$m_{\text{с}} = \rho_{\text{с}} \cdot \frac{\pi d_{\text{с}}^3}{6}.$$

Найдем отношение их масс:

$$\frac{m_{\text{ю}}}{m_{\text{с}}} = \frac{\rho_{\text{ю}} \cdot \frac{\pi d_{\text{ю}}^3}{6}}{\rho_{\text{с}} \cdot \frac{\pi d_{\text{с}}^3}{6}} = \frac{\rho_{\text{ю}} \cdot d_{\text{ю}}^3}{\rho_{\text{с}} \cdot d_{\text{с}}^3} = \frac{\rho_{\text{ю}}}{\rho_{\text{с}}} \cdot \left(\frac{d_{\text{ю}}}{d_{\text{с}}}\right)^3$$

$$\frac{m_{\text{ю}}}{m_{\text{с}}} = \frac{1,33 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}}{0,71 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}} \cdot \left(\frac{142\,984 \text{ км}}{120\,536 \text{ км}}\right)^3 \approx 3,1$$

Следовательно, масса Юпитера больше массы Сатурна более чем в 3 раза.

Утверждение не является верным.

ОК 2. Планеты Солнечной системы

Название планеты	Среднее расстояние от Солнца (в а.е. *)	Диаметр в районе экватора, км	Наклон оси вращения	Первая космическая скорость, км/с	Средняя плотность, г/см³
Меркурий	0,39	4879	0,6' ≈ 0°	3,01	5,43
Венера	0,72	12 104	177°22'	7,33	5,25
Земля	1,00	12 756	23°27'	7,91	5,52
Марс	1,52	6 794	25°11'	3,55	3,93
Юпитер	5,20	142 984	3°08'	42,1	1,33
Сатурн	9,58	120 536	26°44'	25,1	0,71
Уран	19,19	51 118	97°46'	15,1	1,24
Нептун	30,02	49 528	28°19'	16,8	1,67

* 1 а.е. ≈ 150 млн км

Планеты земной группы

Планеты-гиганты

Смена времен года
При малых наклонах оси вращения, как например, на Меркурии, смена времен года на планете не наблюдается. Происходит 4 раза за год.

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{\pi d^3}{6}$$

$$v_1 = \sqrt{gR} = \sqrt{g \frac{d}{2}}$$

$$v_2 = \sqrt{2}v_1 = \sqrt{2gR} = \sqrt{gd}$$

$$m = \rho V$$

4) Ускорение свободного падения на Меркурии составляет около 3,7 м/с².

Решение: Ускорение свободного падения найдем как

$$g = \frac{2v_1^2}{d} = \frac{2 \cdot \left(3,01 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{4\,879 \cdot 10^3 \text{ м}} \approx 3,7 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Утверждение является верным.

5) На Марсе наблюдается смена времен года.

Решение: Наклон оси вращения Марса (0° << 25°11' << 180°) свидетельствует о том, что на нем наблюдается смена времен года.

Утверждение является верным.

Ответ: 45 или 54.

Задания для самостоятельного решения

№4. Рассмотрите таблицу, содержащую характеристики планет Солнечной системы.

Название планеты	Среднее расстояние от Солнца (в а.е. *)	Диаметр в районе экватора, км	Наклон оси вращения	Первая космическая скорость, км/с	Средняя плотность, г/см³
Меркурий	0,39	4879	0,6'	3,01	5,43
Венера	0,72	12 104	177°22'	7,33	5,25
Земля	1,00	12 756	23°27'	7,91	5,52
Марс	1,52	6 794	25°11'	3,55	3,93
Юпитер	5,20	142 984	3°08'	42,1	1,33
Сатурн	9,58	120 536	26°44'	25,1	0,71
Уран	19,19	51 118	97°46'	15,1	1,24
Нептун	30,02	49 528	28°19'	16,8	1,67

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам планет.

- 1) Ускорение свободного падения на Уране составляет 15,1 м/с².
- 2) Ускорение свободного падения на Нептуне составляет около 11,4 м/с².
- 3) На Венере не наблюдается смена времен года.
- 4) Объем Юпитера почти в 3 раза больше объема Нептуна.
- 5) Чем ближе планета к Солнцу, тем больше ее средняя плотность.

№5. Рассмотрите таблицу, содержащую характеристики планет Солнечной системы.

Название планеты	Среднее расстояние от Солнца (в а.е. *)	Диаметр в районе экватора, км	Наклон оси вращения	Первая космическая скорость, км/с	Средняя плотность, г/см ³
Меркурий	0,39	4879	0,6'	3,01	5,43
Венера	0,72	12 104	177°22'	7,33	5,25
Земля	1,00	12 756	23°27'	7,91	5,52
Марс	1,52	6 794	25°11'	3,55	3,93
Юпитер	5,20	142 984	3°08'	42,1	1,33
Сатурн	9,58	120 536	26°44'	25,1	0,71
Уран	19,19	51 118	97°46'	15,1	1,24
Нептун	30,02	49 528	28°19'	16,8	1,67

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам планет.

- 1) Ускорение свободного падения на Юпитере составляет 42,1 м/с².
- 2) На Сатурне не может наблюдаться смены времён года.
- 3) Орбита Марса находится на расстоянии примерно 228 млн км от Солнца.
- 4) Сатурн имеет самую маленькую массу из всех планет Солнечной системы.
- 5) Ускорение свободного падения на Уране составляет около 8,9 м/с².

№6. Рассмотрите таблицу, содержащую характеристики планет Солнечной системы.

Название планеты	Среднее расстояние от Солнца (в а.е. *)	Диаметр в районе экватора, км	Наклон оси вращения	Первая космическая скорость, км/с	Средняя плотность, г/см ³
Меркурий	0,39	4879	0,6'	3,01	5,43
Венера	0,72	12 104	177°22'	7,33	5,25
Земля	1,00	12 756	23°27'	7,91	5,52
Марс	1,52	6 794	25°11'	3,55	3,93
Юпитер	5,20	142 984	3°08'	42,1	1,33
Сатурн	9,58	120 536	26°44'	25,1	0,71
Уран	19,19	51 118	97°46'	15,1	1,24
Нептун	30,02	49 528	28°19'	16,8	1,67

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам планет.

- 1) Ускорение свободного падения на Венере составляет около 8,9 м/с².
- 2) Ускорение свободного падения на Марсе составляет 3,55 м/с².
- 3) Меркурий приближается к Солнцу на расстояние 39 млн км.
- 4) Орбита Венеры находится на расстоянии примерно 108 млн км от Солнца.
- 5) Чем дальше планета находится от Солнца, тем меньше её средняя плотность.

Вопросы

- 1) Что такое астрономическая единица? Чему равна эта величина?
- 2) Что можно сказать о планете, зная наклон ее оси вращения?
- 3) Как часто на планете происходит смена времен года?

Тема 3. Спутники планет Солнечной системы

Задание. Рассмотрите таблицу, содержащую характеристики некоторых спутников планет Солнечной системы.

Таблица 3

Название спутника	Радиус спутника, км	Радиус орбиты, тыс. км	Средняя плотность, г/см ³	Вторая космическая скорость, м/с	Планета
Луна	1 737	384,4	3,35	2 400	Земля
Фобос	около 12	9,38	2,20	11	Марс
Ио	1 821	421,6	3,57	2 560	Юпитер
Европа	1 561	670,9	2,97	2 025	Юпитер
Каллисто	2 410	1 883	1,86	2 445	Юпитер
Титан	2 575	1 221,8	1,88	2 640	Сатурн
Оберон	761	583,5	1,50	725	Уран
Тритон	1 354	354,8	2,08	1 438	Нептун

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам спутников планет.

- 1) Ускорение свободного падения на Обероне равно 7,25 м/с².
- 2) Масса Луны меньше массы Ио.
- 3) Объем Титана почти в 2 раза больше объема Тритона.
- 4) Ио находится дальше от поверхности Юпитера, чем Каллисто.
- 5) Первая космическая скорость для Тритона составляет примерно 1,02 км/с.

Теоретический материал для анализа таблицы

1. Радиус спутника, если его форму условно принять за шар, позволяет определить **объем**:

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3.$$

2. Радиус орбиты есть не что иное, как расстояние от самого спутника до центра его планеты (или ее поверхности, т.к. размеры планеты во много раз меньше радиуса орбиты, эти расстояния можно считать одинаковыми).

3. Напомним, что **средняя плотность** позволяет рассчитать массу спутника

$$m = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3.$$

4. Зная вторую космическую скорость, можно определить **ускорение свободного падения** на спутнике

$$g = \frac{v_2^2}{2R}$$

или его **первую космическую скорость**

$$v_1 = \frac{v_2}{\sqrt{2}}.$$

Эти формулы были указаны ранее.

Решение:

1) Ускорение свободного падения на Обероне равно 7,25 м/с².

Решение: Ускорение свободного падения найдем как

$$g = \frac{v_2^2}{2R} = \frac{\left(725 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{2 \cdot 761 \cdot 10^3 \text{ м}} \approx 0,35 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Утверждение не является верным.

2) Масса Луны меньше массы Ио.

Решение: Запишем формулу для расчета массы планеты

$$m = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3.$$

Не будем торопиться подставлять значения плотности и радиуса Луны и Ио в формулу, сравним их. Из таблицы видно, что и плотность, и радиус Луны меньше чем у Ио. Следовательно, масса Луны меньше массы Ио. **Утверждение является верным.**

Если вы все же сомневаетесь и хотите убедиться в неправильности этого утверждения, воспользуйтесь указанной выше формулой, а затем сравните полученные значения.

3) Объем Титана почти в 2 раза больше объема Тритона.

Решение: В наших допущениях планеты, а также их спутники имеют форму шара. Тогда объем можно рассчитать по следующей формуле:

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3.$$

Объем Титана:

$$V_{\text{ти}} = \frac{4}{3}\pi R_{\text{ти}}^3.$$

Объем Тритона:

$$V_{\text{тр}} = \frac{4}{3}\pi R_{\text{тр}}^3.$$

Найдем отношение их объемов:

$$\frac{V_{\text{ти}}}{V_{\text{тр}}} = \frac{\frac{4}{3}\pi R_{\text{ти}}^3}{\frac{4}{3}\pi R_{\text{тр}}^3} = \frac{R_{\text{ти}}^3}{R_{\text{тр}}^3} = \left(\frac{R_{\text{ти}}}{R_{\text{тр}}}\right)^3 = \left(\frac{2\,575 \text{ км}}{1\,354 \text{ км}}\right)^3 \approx 6,88$$

Следовательно, объем Титана больше объема Тритона почти в 7 раз.

Утверждение не является верным.

4) Ио находится дальше от поверхности Юпитера, чем Каллисто.

Решение: Сравним радиусы орбит этих спутников Юпитера: у Ио – $R_{\text{ор и}} = 421,6$ тыс км, а у Каллисто – $R_{\text{ор к}} = 1\,883$ тыс км. Очевидно, что Ио находится гораздо ближе к поверхности Юпитера, чем Каллисто:

$$R_{\text{ор и}} < R_{\text{ор к}}.$$

Утверждение не является верным.

5) Первая космическая скорость для Тритона составляет примерно 1,02 км/с.

Решение: Первую космическую скорость рассчитаем по следующей формуле:

$$v_1 = \frac{v_2}{\sqrt{2}}.$$

При подстановке величин не забудьте ответ перевести в км/с:

$$v_1 = \frac{1\,438 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\sqrt{2}} \approx 1017 \frac{\text{м}}{\text{с}} \approx 1,02 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

Утверждение является верным.

Ответ: 25 или 52.

Задания для самостоятельного решения

№7. Рассмотрите таблицу, содержащую характеристики некоторых спутников планет Солнечной системы.

Название спутника	Радиус спутника, км	Радиус орбиты, тыс. км	Средняя плотность, г/см ³	Вторая космическая скорость, м/с	Планета
Луна	1 737	384,4	3,35	2 400	Земля
Фобос	около 12	9,38	2,20	11	Марс
Ио	1 821	421,6	3,57	2 560	Юпитер
Европа	1 561	670,9	2,97	2 025	Юпитер
Каллисто	2 410	1 883	1,86	2 445	Юпитер
Титан	2 575	1 221,8	1,88	2 640	Сатурн
Оберон	761	583,5	1,50	725	Уран
Тритон	1 354	354,8	2,08	1 438	Нептун

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам спутников планет.

1) Первая космическая скорость для Оберона составляет примерно 0,51 км/с.

2) Ускорение свободного падения на Каллисто равно 24,45 м/с².

3) Масса Тритона меньше массы Европы.

4) Оберон находится на таком же расстоянии от поверхности Урана, как и Фобос – от поверхности Марса.

5) Объем Оберона в 2 раза меньше объема Тритона.

№8. Рассмотрите таблицу, содержащую характеристики некоторых спутников планет Солнечной системы.

Название спутника	Радиус спутника, км	Радиус орбиты, тыс. км	Средняя плотность, г/см ³	Вторая космическая скорость, м/с	Планета
Луна	1 737	384,4	3,35	2 400	Земля
Фобос	около 12	9,38	2,20	11	Марс
Ио	1 821	421,6	3,57	2 560	Юпитер
Европа	1 561	670,9	2,97	2 025	Юпитер
Каллисто	2 410	1 883	1,86	2 445	Юпитер
Титан	2 575	1 221,8	1,88	2 640	Сатурн
Оберон	761	583,5	1,50	725	Уран
Тритон	1 354	354,8	2,08	1 438	Нептун

Выберите два утверждения, которые соответствуют характеристикам спутников 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 меньшее его средняя плотность.
- 4) Масса Ио больше массы Луны.
- 5) Ускорение свободного падения на Тритоне равно $143,8 \text{ м/с}^2$.

№9. Рассмотрите таблицу, содержащую характеристики некоторых спутников планет Солнечной системы.

Название спутника	Радиус спутника, км	Радиус орбиты, тыс. км	Средняя плотность, г/см ³	Вторая космическая скорость, м/с	Планета
Луна	1 737	384,4	3,35	2 400	Земля
Фобос	около 12	9,38	2,20	11	Марс
Ио	1 821	421,6	3,57	2 560	Юпитер
Европа	1 561	670,9	2,97	2 025	Юпитер
Каллисто	2 410	1 883	1,86	2 445	Юпитер
Титан	2 575	1 221,8	1,88	2 640	Сатурн
Оберон	761	583,5	1,50	725	Уран
Тритон	1 354	354,8	2,08	1 438	Нептун

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам спутников планет.

- 1) Ускорение свободного падения на Фобосе равно 11 м/с^2 .
- 2) Вторая космическая скорость на Фобосе такая же, как и на Земле.
- 3) Масса Каллисто меньше массы Титана.
- 4) Чем ближе спутник расположен к Солнцу, тем больше его средняя плотность.
- 5) Первая космическая скорость для Луны составляет примерно 1,7 км/с.

Тема 4. Астероиды Солнечной системы

Задание. Рассмотрите таблицу, содержащую характеристики некоторых астероидов Солнечной системы.

Таблица 4

Название астероида	Примерный радиус астероида, км	Большая полуось орбиты, а.е.	Период обращения вокруг Солнца, земных лет	Эксцентриситет орбиты e^*	Масса, кг
Веста	265	2,36	3,63	0,089	$3,0 \cdot 10^{20}$
Эвномия	136	2,65	4,30	0,185	$8,3 \cdot 10^{18}$
Церера	466	2,78	4,60	0,079	$8,7 \cdot 10^{20}$
Паллада	261	2,77	4,62	0,230	$3,2 \cdot 10^{20}$
Юнона	123	2,68	4,36	0,256	$2,8 \cdot 10^{19}$
Геба	100	2,42	3,78	0,202	$1,4 \cdot 10^{19}$
Аквитания	54	2,79	4,53	0,238	$1,1 \cdot 10^{18}$

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам астероидов.

- 1) Астероид Геба вращается по более «вытянутой» орбите, чем астероид Веста.
- 2) Большие полуоси орбит астероидов Церера и Паллада 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 Аквитания находится между орбитами Марса и Юпитера.

Теоретический материал для анализа таблицы

1. Напоминаем, что если известен радиус, можно определить **объем** астероида (считаем, что астероиды тоже имеют форму шара):

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3.$$

2. В следующем столбце таблицы представлены значения большой полуоси орбит астероидов, которые выражены в астрономических единицах. И прежде чем разобраться, что мы называем большой полуосью, напомним, что астрономическая

единица равна среднему расстоянию от Земли до Солнца (1 а.е. = 150 млн км).

Поговорим об этом подробнее. Один из главных законов, описывающих движение планет, спутников, астероидов, других объектов Солнечной системы, это первый закон Кеплера.

1^{ый} закон Кеплера: все небесные тела Солнечной системы обращаются по эллиптическим орбитам¹, в одном из фокусов которых находится Солнце.

Приведем пример такой орбиты (рис. 4).

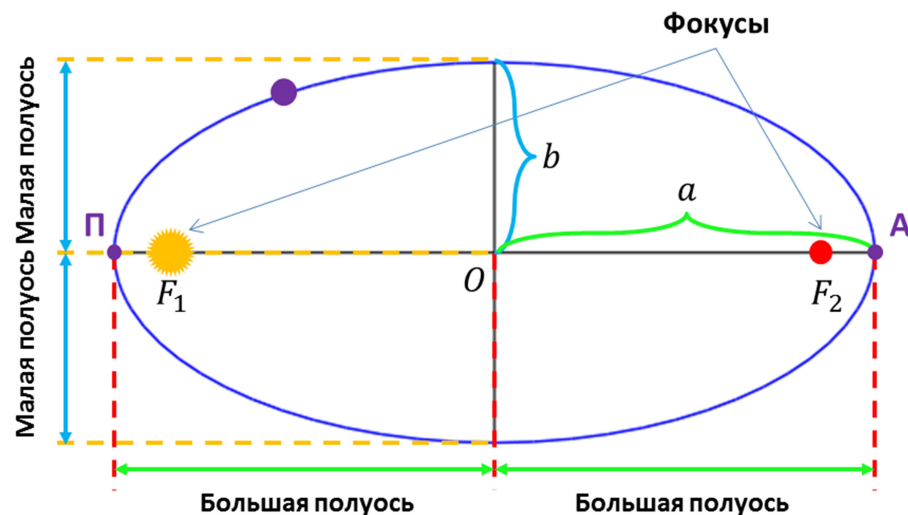


Рисунок 4. Эллиптическая орбита

Центр эллипса обозначим буквой O . У эллипса есть две характерные точки, называемые фокусами, в одном из которых находится Солнце, обозначим их как F_1 и F_2 . Расстояние от центра эллипса до крайней левой или правой точек называют **большой полуосью**, обозначим ее буквой a . Расстояние от точки O до крайних верхней или нижней точек называют **малой полуосью** и обозначают как b .

В таблице, к анализу которой мы приступили, имеется столбец, называемый **эксцентриситет**. Это также характеристика эллипса. Эта величина равна:

$$e = \frac{OF_1}{a} = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}.$$

Эта формула дается в самом задании, поэтому в таблице после названия столбца стоит *.

Эксцентриситет влияет на внешний вид эллипса, на его **вытянутость**. В справочных данных к этому заданию указано, что если $e = 0$, то эллипс представляет собой окружность. В самом деле, если $e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} = 0$, значит $a = b$, и это радиус окружности.

Точно также, если $e = \frac{OF_1}{a} = 0$, то $OF_1 = 0$, значит, фокус и точка O совпадают, т.е. Солнце в этом случае находится в центре окружности.

Но чем эта величина больше

$$0 < e < 1,$$

тем орбита небесного тела будет более **вытянутой**. Этот факт необходимо **запомнить!**

На **рисунке 5** изображены три эллипса: у **красного** $e = 0$, это окружность; у **синего** $e \approx 0,66$; а у **зеленого** $e = 0,8$, этот эллипс самый вытянутый.

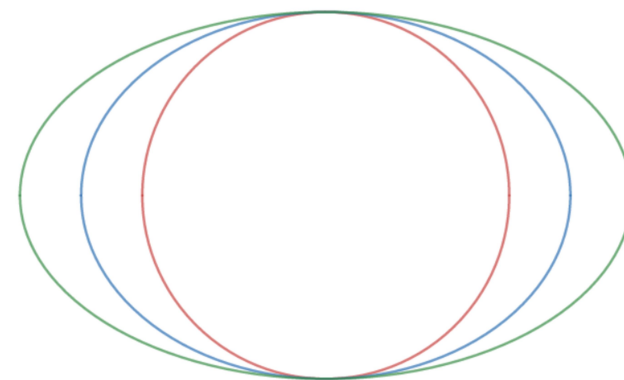


Рисунок 5. Различные эллиптические орбиты

¹ **Эллипс** - это замкнутая плоская кривая, сумма расстояний от каждой точки которой до двух точек F_1 и F_2 равна постоянной величине. Сами точки F_1 и F_2 называют фокусами эллипса.

Однако эксцентриситеты эллиптических орбит астероидов в таблице не такие уж и большие величины, это значит, что большая и малая полуоси почти не отличаются друг от друга

$$a \approx b.$$

Тогда мы приблизительно можем считать, что астероиды движутся по окружностям, в центрах которых находится Солнце. Т.е. большая полуось, значение которой есть в таблице – это **среднее расстояние от астероида до Солнца**.

Также выделим на орбите две точки, самую близкую к Солнцу и самую далекую – это **перигелий** и **афелий** (на рисунке 4 – П и А).

И последнее. Большинство астероидов Солнечной системы находятся между орбитами Марса и Юпитера и образуют т.н. **пояс астероидов**. Важно помнить средние расстояния от Солнца до Марса и Юпитера, т.е. большие полуоси их орбит:

$$a_M = 1,5 \text{ а. е.}$$

...

Пояс астероидов

...

$$a_{Ю} = 5,2 \text{ а. е.}$$

Если большая полуось астероида больше чем у Марса и не превышает этого значения для Юпитера, значит, астероид находится в поясе астероидов.

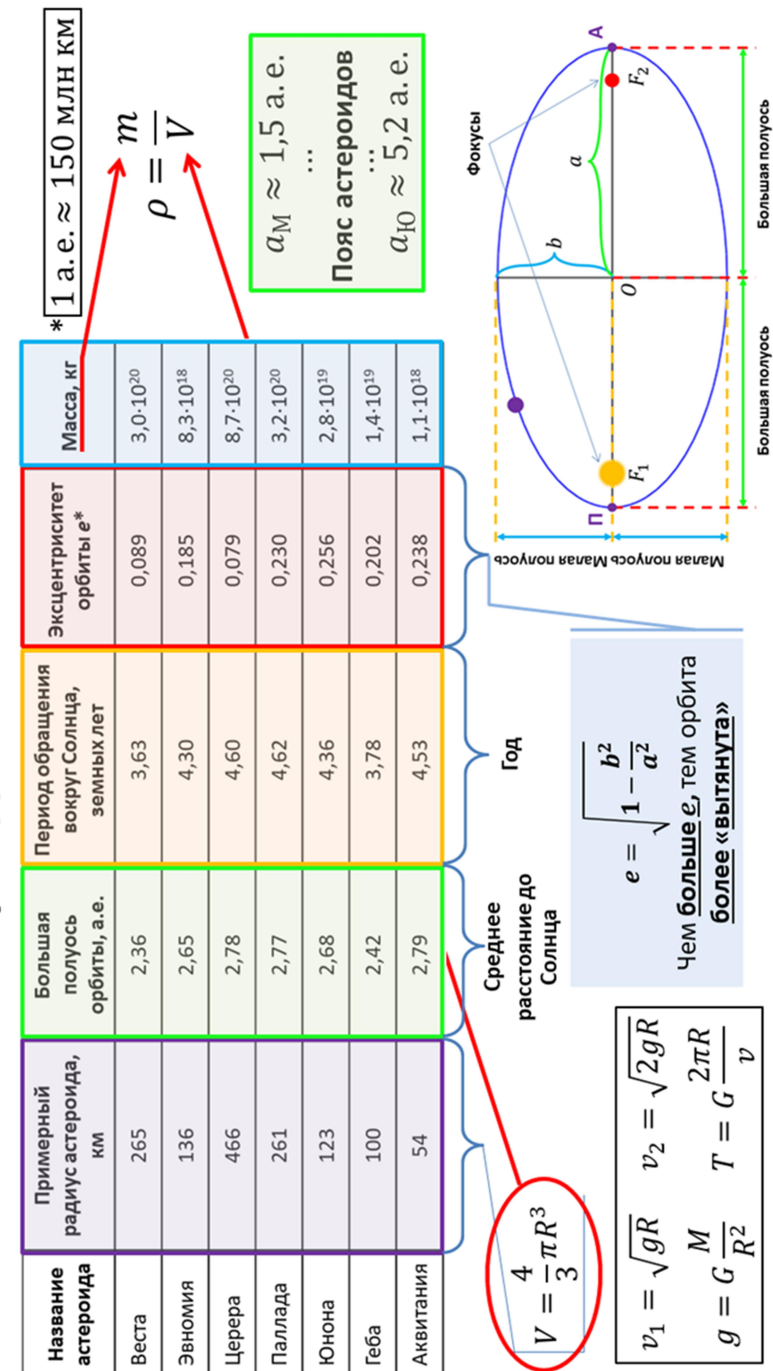
В Солнечной системе есть еще один пояс астероидов – **пояс Койпера**, он находится за орбитой Нептуна (30 – 55 а. е.).

3. Период обращения вокруг Солнца – это время, за которое астероид совершает один полный оборот вокруг Солнца, т.е. это длительность **года** на данном астероиде.

4. Если известны масса и размеры астероида, можно рассчитать его среднюю плотность:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3}{4\pi} \frac{m}{R^3}.$$

ОК 3. Астероиды Солнечной системы



Решение:

1) Астероид Геба вращается по более «вытянутой» орбите, чем астероид Веста.

Решение: Чтобы судить о вытянутости орбиты астероидов, сравним их эксцентриситеты: у Гебы – $e_{\Gamma} = 0,202$, у Весты – $e_{\text{В}} = 0,089$.

Видим, что

$$e_{\Gamma} > e_{\text{В}},$$

следовательно, Геба вращается по более «вытянутой» орбите.

Утверждение является верным.

2) Большие полуоси орбит астероидов Церера и Паллада одинаковы, значит, они движутся по одной орбите друг за другом.

Решение: Равенство значений больших полуосей орбит астероидов вовсе не означает, что эти орбиты совпадают. Например, на рисунке справа (рис. 6) вы видите два совершенно одинаковых эллипса, расположение которых разное.

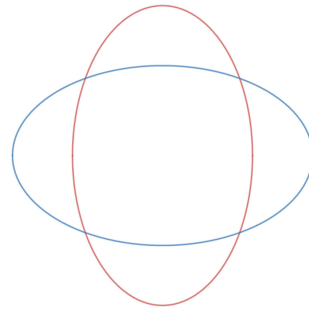


Рисунок 6. Эллиптические орбиты

Более того эксцентриситеты орбит Цереры и Паллады сильно отличаются: $e_{\text{Ц}} = 0,079$, $e_{\text{П}} = 0,230$. Орбита Паллады более вытянутая, в то время как орбита Цереры является почти идеальной окружностью.

Утверждение не является верным.

3) Средняя плотность астероида Церера составляет 400 кг/м^3 .

Решение: Воспользуемся ранее полученной формулой:

$$\rho = \frac{3}{4\pi} \frac{m}{R^3} = \frac{3}{4} \cdot \frac{8,7 \cdot 10^{20} \text{ кг}}{3,14 \cdot (466 \cdot 10^3 \text{ м})^3} \approx 2\,053 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \neq 400 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Утверждение не является верным.

4) Первая космическая скорость для астероида Юнона составляет более 8 км/с .

Решение: В таблице к этому заданию не дается значение второй космической скорости, чтобы ее связать с первой. Поступим иначе. Первая космическая скорость рассчитывается по формуле:

$$v_1 = \sqrt{gR}.$$

Радиус астероида мы знаем. Как найти ускорение свободного падения? Из закона Всемирного тяготения²:

$$g = G \frac{m}{R^2},$$

где $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$ – гравитационная постоянная (табличная величина).

Объединим формулы и получим, что

$$v_1 = \sqrt{gR} = \sqrt{G \frac{m}{R^2} \cdot R} = \sqrt{G \frac{m}{R}}.$$
$$v_1 = \sqrt{6,7 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2} \cdot \frac{2,8 \cdot 10^{19} \text{ кг}}{123 \cdot 10^3 \text{ м}}} \approx 123 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Утверждение не является верным.

Комментарий: Обратите внимание, что масса и размеры астероидов сравнительно невелики. Значит, их первые космические скорости тоже будут иметь небольшие значения. К примеру, первая космическая скорость Земли $v_1 = 7,9 \text{ км/с}$, а в рассматриваемом нами утверждении говорится, что у Юноны эта скорость еще больше. *Такого быть не может.*

5) Орбита астероида Аквитания находится между орбитами Марса и Юпитера.

Решение: Пояс астероидов, где располагается основная их часть (не принимая во внимание пояс Койпера), лежит между орбитами Марса и Юпитера. На всякий случай сравним значения больших полуосей орбит этих планет и астероида Аквитания:

$$a_{\text{М}} = 1,5 \text{ а.е.} < \underline{a_{\text{А}} = 2,79 \text{ а.е.}} < a_{\text{Ю}} = 5,2 \text{ а.е.}$$

Утверждение является верным.

Ответ: 15 или 51.

² **Закон Всемирного тяготения:** сила гравитационного притяжения двух материальных точек прямо пропорциональна произведению масс этих точек и обратна пропорциональна квадрату расстояния между ними:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}.$$

Открыт И. Ньютоном в 1666 году.

Задания для самостоятельного решения

№10. Рассмотрите таблицу, содержащую характеристики некоторых астероидов Солнечной системы.

Название астероида	Примерный радиус астероида, км	Большая полуось орбиты, а.е.	Период обращения вокруг Солнца, земных лет	Эксцентриситет орбиты e^*	Масса, кг
Веста	265	2,36	3,63	0,089	$3,0 \cdot 10^{20}$
Эвномия	136	2,65	4,30	0,185	$8,3 \cdot 10^{18}$
Церера	466	2,78	4,60	0,079	$8,7 \cdot 10^{20}$
Паллада	261	2,77	4,62	0,230	$3,2 \cdot 10^{20}$
Юнона	123	2,68	4,36	0,256	$2,8 \cdot 10^{19}$
Геба	100	2,42	3,78	0,202	$1,4 \cdot 10^{19}$
Аквитания	54	2,79	4,53	0,238	$1,1 \cdot 10^{18}$

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам астероидов.

1) Вторая космическая скорость для астероида Веста составляет более 11 км/с.

2) Орбита астероида Паллада находится между орбитами Марса и Юпитера.

3) Астероид Юнона вращается по более «вытянутой» орбите, чем астероид Церера.

4) Астероид Геба движется по орбите Земли и представляет астероидную опасность.

5) Средняя плотность астероида Аквитания составляет 700 кг/м^3 .

№11. Рассмотрите таблицу, содержащую характеристики некоторых астероидов Солнечной системы.

Название астероида	Примерный радиус астероида, км	Большая полуось орбиты, а.е.	Период обращения вокруг Солнца, земных лет	Эксцентриситет орбиты e^*	Масса, кг
Веста	265	2,36	3,63	0,089	$3,0 \cdot 10^{20}$
Эвномия	136	2,65	4,30	0,185	$8,3 \cdot 10^{18}$
Церера	466	2,78	4,60	0,079	$8,7 \cdot 10^{20}$
Паллада	261	2,77	4,62	0,230	$3,2 \cdot 10^{20}$
Юнона	123	2,68	4,36	0,256	$2,8 \cdot 10^{19}$
Геба	100	2,42	3,78	0,202	$1,4 \cdot 10^{19}$
Аквитания	54	2,79	4,53	0,238	$1,1 \cdot 10^{18}$

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам астероидов.

1) Астероид Аквитания движется вокруг Солнца между орбитами Юпитера и Сатурна.

2) Чем меньше большая полуось орбиты астероида, тем больше его период обращения вокруг Солнца.

3) Орбита астероида Юнона находится между орбитами Марса и Юпитера.

4) Средняя плотность астероида Эвномия составляет 400 кг/м^3 .

5) Астероид Аквитания вращается по более «вытянутой» орбите, чем астероид Веста.

№12. Рассмотрите таблицу, содержащую характеристики некоторых астероидов Солнечной системы.

Название астероида	Примерный радиус астероида, км	Большая полуось орбиты, а.е.	Период обращения вокруг Солнца, земных лет	Эксцентриситет орбиты e^*	Масса, кг
Веста	265	2,36	3,63	0,089	$3,0 \cdot 10^{20}$
Эвномия	136	2,65	4,30	0,185	$8,3 \cdot 10^{18}$
Церера	466	2,78	4,60	0,079	$8,7 \cdot 10^{20}$
Паллада	261	2,77	4,62	0,230	$3,2 \cdot 10^{20}$
Юнона	123	2,68	4,36	0,256	$2,8 \cdot 10^{19}$
Геба	100	2,42	3,78	0,202	$1,4 \cdot 10^{19}$
Аквитания	54	2,79	4,53	0,238	$1,1 \cdot 10^{18}$

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам астероидов.

1) Средняя плотность астероида Геба составляет 800 кг/м^3 .

2) Орбита астероида Эвномия находится между орбитами Марса и Юпитера.

3) Астероид Веста движется вокруг Солнца между орбитами Земли и Венеры.

4) Астероид Паллада вращается по более «вытянутой» орбите, чем астероид Церера.

5) Большие полуоси орбит астероидов Церера и Паллада одинаковы, значит, они движутся по одной орбите друг за другом.

Вопросы

- 1) Сформулируйте первый закон Кеплера.
- 2) На рисунке 7 изображен эллипс:

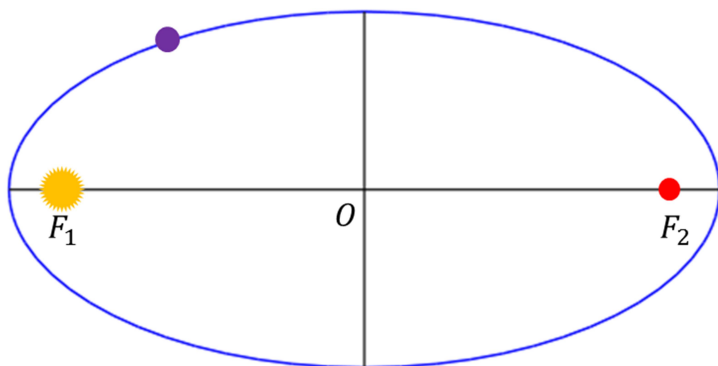


Рисунок 7. Орбита планеты

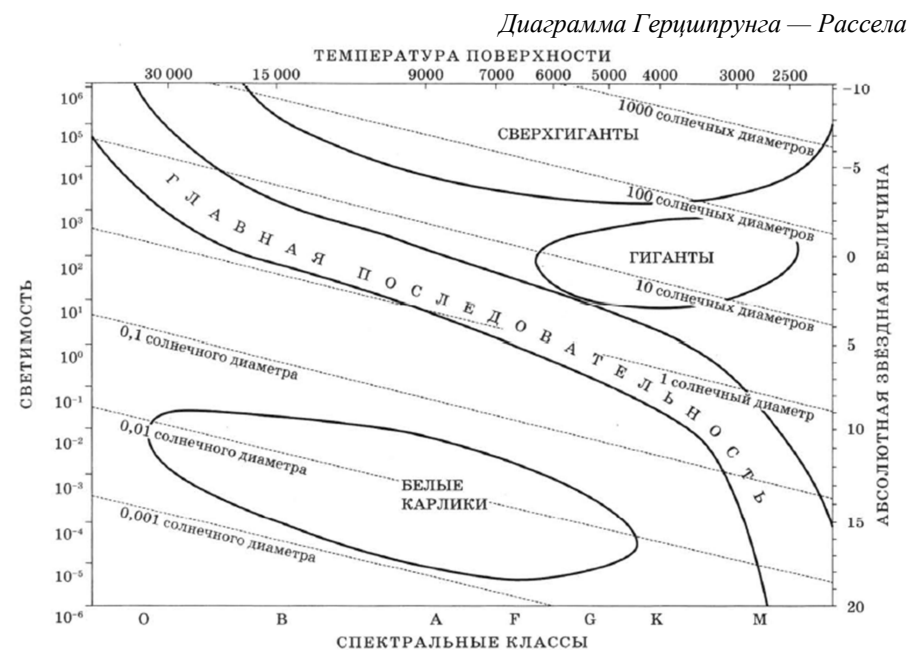
- а. Как называют точки O , F_1 и F_2 ?
- б. Что называют большой полуосью? малой полуосью эллипса?
- в. Что такое эксцентриситет орбиты? Как его можно вычислить?

На что он влияет? Что можно сказать об эллипсе, если $e = 0$? если $0 < e < 1$?

- 3) Если эксцентриситет орбиты астероида мал, какой смысл имеет большая полуось этого эллипса?
- 4) Какую точку орбиты небесного тела называют перигелием? афелием? Где они расположены?
- 5) Что такое пояс астероидов? Где он находится?

Тема 5. Звезды. Диаграмма Герцшпрунга-Рассела (часть 1)

Задание 1. На рисунке представлена диаграмма Герцшпрунга — Рассела.



Выберите **два** утверждения о звёздах, которые соответствуют диаграмме.

- 1) Температура поверхности звёзд спектрального класса G в 2 раза выше температуры поверхности звёзд спектрального класса A.
- 2) Звезда Бетельгейзе относится к сверхгигантам, поскольку её радиус почти в 1000 раз превышает радиус Солнца.
- 3) Плотность белых карликов существенно меньше средней плотности гигантов.
- 4) Звезда Антарес имеет температуру поверхности 3300 K и относится к звёздам спектрального класса A.
- 5) «Жизненный цикл» звезды спектрального класса K главной последовательности более длительный, чем звезды спектрального класса B главной последовательности.

Теоретический материал для анализа диаграммы

Герцшпрунга-Рассела

1. **Звезда** – массивный газовый шар, излучающий свет и удерживаемый в состоянии равновесия силами собственной гравитации и внутренним давлением, в недрах которого происходят (или происходили ранее) реакции термоядерного синтеза.

Диаграмма Герцшпрунга – Рассела показывает зависимость между абсолютной звёздной величиной, светимостью, спектральным классом и температурой поверхности звезды.

2. Звёзды на этой диаграмме образуют хорошо различимые участки, 4 особые зоны (рис. 8): *главная последовательность*, *белые карлики*, *гиганты* и *сверхгиганты*. Это **классы звезд по их размерам**.

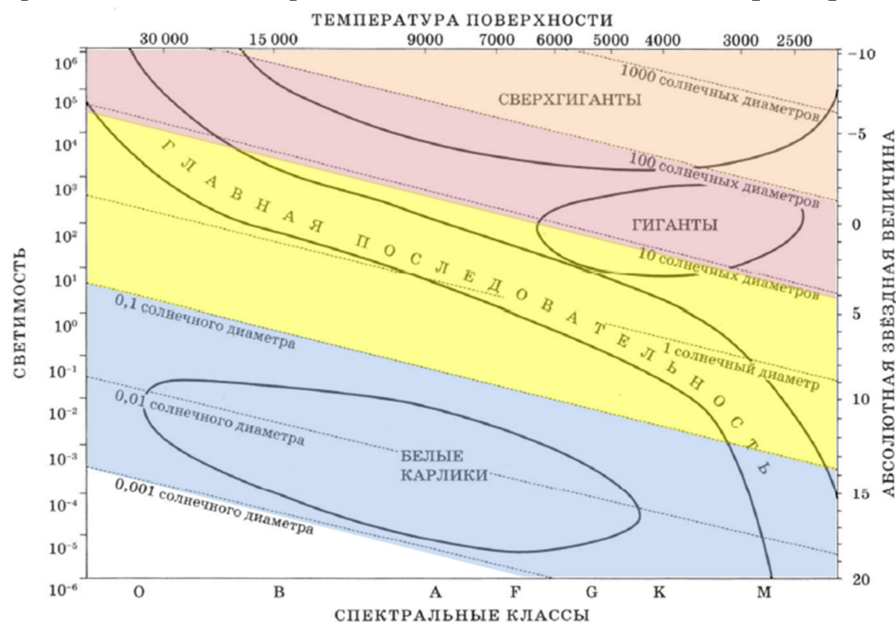


Рисунок 8. Классы звезд по размерам

Основная часть звезд Вселенной, более 90%, относятся в т.н. *главной последовательности*. Мы можем увидеть, что большинство таких звезд имеют размеры большие, чем 0,1 диаметра Солнца и не превышают 10 солнечных диаметров (условное обозначение Солнца – $\odot$):

$$0,1D_{\odot} < D_{\text{г.п.}} < 10D_{\odot}.$$

Следующая область – *звезды гиганты*. Их размеры больше звезд главной последовательности. Из диаграммы мы видим, что диаметр гигантов может быть от 10 до 100 солнечных диаметров:

$$10D_{\odot} < D_{\text{г.}} < 100D_{\odot}.$$

Самые большие звезды нашей Вселенной – это *сверхгиганты*. Их размеры превышают 100 солнечных диаметров:

$$D_{\text{с.г.}} > 100D_{\odot}.$$

В нижней части диаграммы располагается область *белых карликов*. Они имеют достаточно малые размеры:

$$0,001D_{\odot} < D_{\text{б.к.}} < 0,1D_{\odot}.$$

Поэтому, *чтобы определить принадлежность звезды к тому или иному классу, необходимо ее размеры сравнить с размерами Солнца*.

Очевидно, что сравнивать можно не только по диаметрам, но и по радиусам.

В справочных данных перед КИМом ЕГЭ появились некоторые астрономические сведения, например, *радиус Солнца*:

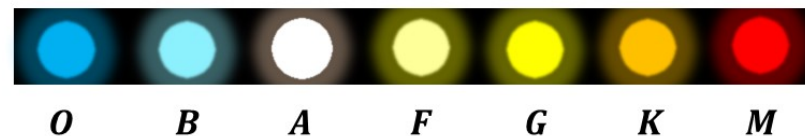
$$R_{\odot} = 6,96 \cdot 10^8 \text{ м.}$$

3. В нижней части диаграммы указаны основные *спектральные классы звезд* – классы звёзд по спектру излучения, в первую очередь, по температуре их поверхности:

O, B, A, F, G, K, M.

О том, *к какому спектральному классу относится та или иная звезда, будем судить о температуре ее поверхности*:

Класс	Температура, К	Цвет поверхности звезды
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



Название спектральных классов можно запомнить, если выучить простую *считалку*: «Один(О) бритый(В) англичанин(А) финики(Ф) жевал(Г) как(К) морковь(М)».

Или английский вариант: «Oh Be A Fine Girl, Kiss Me».

В тех же справочных данных указана **температура поверхности Солнца**:

$$T_{\odot} = 6\,000\text{ К.}$$

Наша звезда относится к звездам спектрального класса G, она является жёлтым карликом.

4. Размеры **белых карликов** невелики, однако это достаточно массивные звезды, значит, они имеют большую плотность. Это **наибольшая плотность** среди всех классов звезд.

Сверхгиганты при таких же или еще меньших массах очень большие звезды. Таким образом, их **плотность будет наименьшей**.

$$\rho_{\text{с.г.}} \ll \rho_{\text{г.п.}} \ll \rho_{\text{б.к.}}$$

5. Из диаграммы Герцшпрунга-Рассела также можно сделать вывод о **длительности «жизненного цикла» звезды**. Чем выше ее температура, тем меньше времени «проживет» звезда. И наоборот, «жизненный цикл» звезды тем больше, чем ее температура ниже.

6. Слева на диаграмме отображается светимость звезд. **Светимость** – это физическая величина, равная энергии, излучаемой с поверхности звезды за 1 с.

Справа указана **абсолютная звездная величина**. Это еще одна энергетическая характеристика звезды.

В заданиях, которые встречаются в ЕГЭ по физике, эта информация **не используется**.

Решение:

1) Температура поверхности звёзд спектрального класса G в 2 раза выше температуры поверхности звёзд спектрального класса A.

Решение: Запишем и сравним средние температуры поверхности звезд, соответствующие спектральным классам G и A: $T_G \approx 5\,500\text{ К}$, $T_A \approx 9\,000\text{ К}$.

Видим, что

$$T_G < T_A.$$

Утверждение не является верным.

2) Звезда Бетельгейзе относится к сверхгигантам, поскольку её радиус почти в 1000 раз превышает радиус Солнца.

Решение: Звезда будет относиться к классу сверхгигантов, если ее радиус превышают 100 солнечных радиусов:

$$R_{\text{с.г.}} > 100R_{\odot}.$$

Радиус звезды Бетельгейзе почти в 1000 раз превышает радиус Солнца, значит она сверхгигант.

Утверждение является верным.

3) Плотность белых карликов существенно меньше средней плотности гигантов.

Решение: Мы установили, что

$$\rho_{\text{с.г.}} \ll \rho_{\text{г.п.}} \ll \rho_{\text{б.к.}}$$

Значит, плотность белых карликов существенно больше средней плотности гигантов.

Утверждение не является верным.

4) Звезда Антарес имеет температуру поверхности 3300 К и относится к звёздам спектрального класса A.

Решение: Ранее уже отмечалось, что средняя температура поверхности звезд спектрального класса A $T_A \approx 9\,000\text{ К}$. Следовательно, Антарес не принадлежит данному спектральному классу, это звезда спектрального класса M.

Утверждение не является верным.

5) «Жизненный цикл» звезды спектрального класса K главной последовательности более длительный, чем звезды спектрального класса B главной последовательности.

Решение: Для того чтобы сравнить длительности жизненных циклов двух звезд, требуется сравнить их температуры. Звезды спектрального класса K имеют среднюю температуру поверхности $T_K \approx 4\,000\text{ К}$, а спектрального класса B – $T_B \approx 15\,000\text{ К}$.

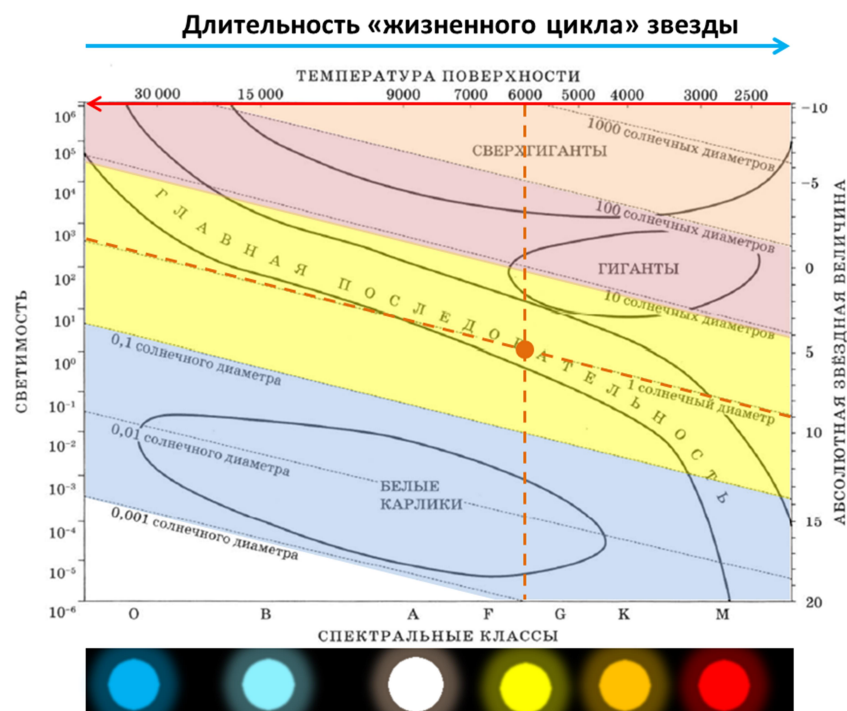
$$T_K < T_B,$$

значит, «жизненный цикл» звезд спектрального класса K более длительный.

Утверждение является верным.

Ответ: 25 или 52.

ОК 4. Звезды. Диаграмма Герцшпрунга-Рассела



Классы звезд по размерам:

1. Сверхгиганты

$$D > 100D_{\odot}$$

2. Гиганты

$$10D_{\odot} < D < 100D_{\odot}$$

3. Главная последовательность

$$0,1D_{\odot} < D < 10D_{\odot}$$

$$(R_{\odot} \approx 7 \cdot 10^8 \text{ м} \quad T_{\odot} \approx 6\,000 \text{ К})$$

4. Белые карлики

$$0,001D_{\odot} < D < 0,1D_{\odot}$$

$$\rho_{\text{СВ.Г.}} \ll \rho_{\text{Г.П.}} \ll \rho_{\text{Б.К.}}$$

Спектральные классы:

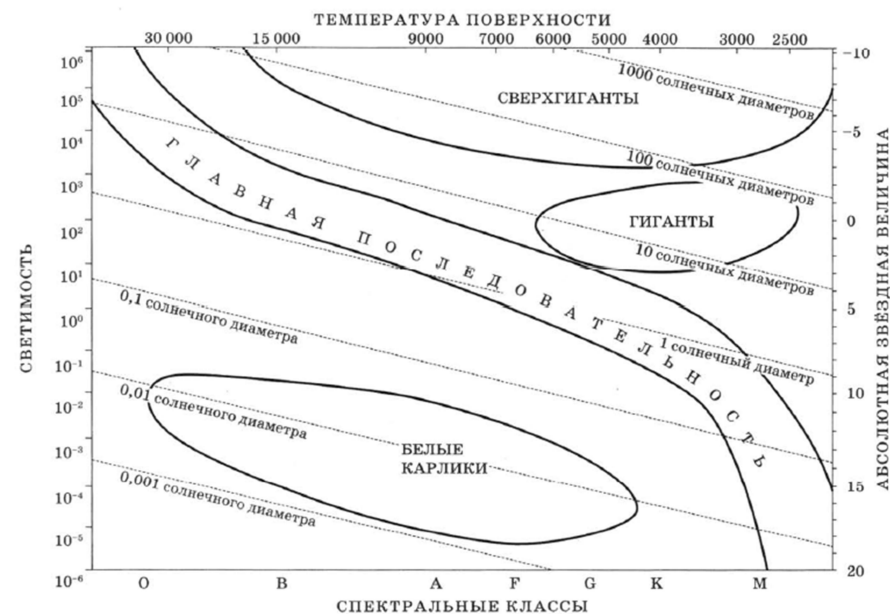
O	30 000 – 60 000 К
B	10 000 – 30 000 К
A	7 500 – 10 000 К
F	6 000 – 7 500 К
G	5 000 – 6 000 К
K	3 500 – 5 000 К
M	2 000 – 3 500 К

ЗАПОМНИ:

Один Бритый Англичанин
Финики Жевал Как Морковь

Задания для самостоятельного решения

№13. На рисунке представлена диаграмма Герцшпрунга — Рассела.



Выберите **два** утверждения о звёздах, которые соответствуют диаграмме.

1) Средняя плотность гигантов существенно больше средней плотности белых карликов.

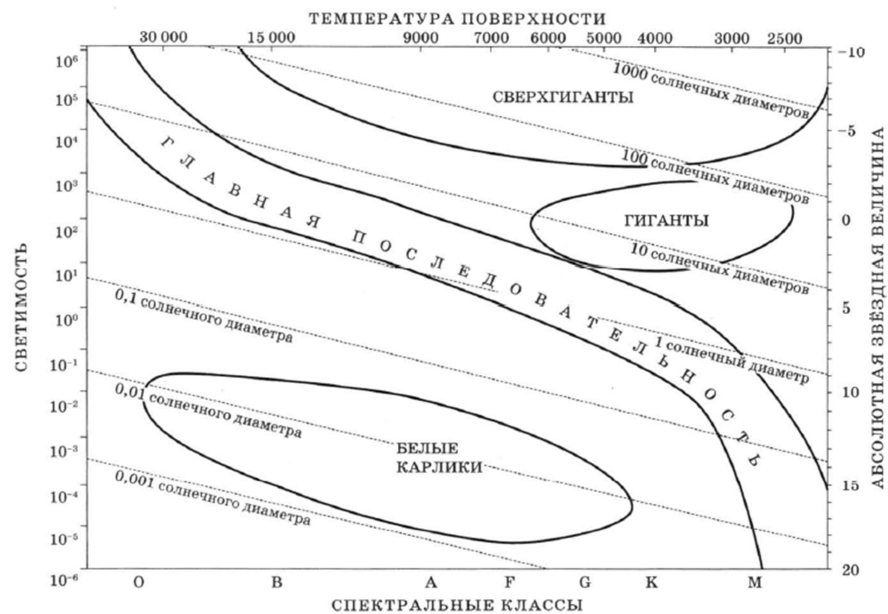
2) Температура поверхности звёзд спектрального класса В ниже температуры поверхности звёзд спектрального класса F.

3) Звезда Сириус В, имеющая радиус $0,02R_{\odot}$, относится к белым карликам.

4) «Жизненный цикл» звезды спектрального класса G главной последовательности более длительный, чем звезды спектрального класса O главной последовательности.

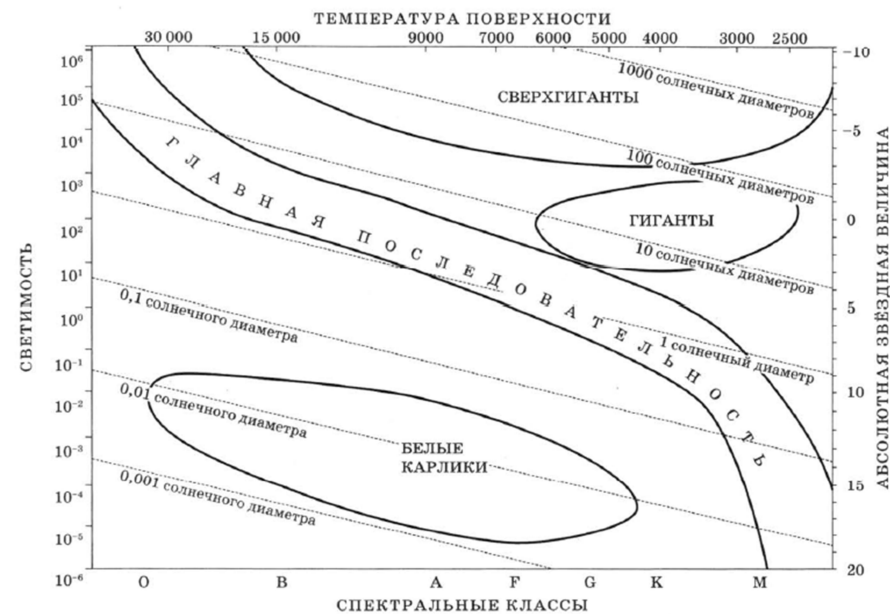
5) Звезда Арктур имеет температуру поверхности 4100 К и относится к звёздам спектрального класса В.

№14. На рисунке представлена диаграмма Герцшпрунга — Рассела.



- 1) Плотность гигантов существенно меньше средней плотности звёзд главной последовательности.
- 2) Звезда Альтаир, имеющая радиус $1,9R_{\odot}$, относится к сверхгигантам.
- 3) Температура поверхности звёзд спектрального класса М ниже температуры поверхности звёзд спектрального класса А.
- 4) Звезда Бетельгейзе относится к голубым звёздам главной последовательности, поскольку её радиус почти в 1000 раз превышает радиус Солнца.
- 5) «Жизненный цикл» звезды спектрального класса В главной последовательности более длительный, чем звезды спектрального класса G главной последовательности.

№15. На рисунке представлена диаграмма Герцшпрунга — Рассела.



- 1) Плотность белых карликов существенно больше средней плотности звёзд главной последовательности.
- 2) «Жизненный цикл» звезды спектрального класса О главной последовательности более длительный, чем звезды спектрального класса М главной последовательности.
- 3) Звезда Сириус В, имеющая радиус $0,02R_{\odot}$, относится к звёздам главной последовательности.
- 4) Температура поверхности звёзд спектрального класса К в 2 раза выше температуры поверхности звёзд спектрального класса В.
- 5) Звезда Альтаир, имеющая радиус $1,9R_{\odot}$, относится к звёздам главной последовательности.

Вопросы:

- 1) Что такое звезда? Какие классы звезд мы выделили?
- 2) Перечислите классы звезд по размерам? Как определить принадлежность звезды к тому или иному классу?

3) Какие спектральные классы звезд вам известны? Как определить принадлежность звезды к тому или иному спектральному классу? Укажите для каждого спектрального класса примерную температуру поверхности звезды и ее цвет.

4) Какая средняя температура поверхности Солнца?

5) Какие звезды имеют самую большую плотность? Плотность каких звезд наименьшая?

6) От чего зависит длительность «жизненного цикла» звезды? Как определить, у какой звезды «жизненный цикл» более длительный?

Тема 6. Звезды. Диаграмма Герцшпрунга-Рассела (часть 2)

Задание 2. Рассмотрите таблицу, содержащую сведения о ярких звездах.

Таблица 5

Название звезды	Температура поверхности, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Плотность по отношению к плотности воды
Альдебаран	3 600	5,0	45	$5 \cdot 10^{-5}$
ε Возничего	11 000	10,2	3,5	0,33
Капелла	5 200	3,3	23	$4 \cdot 10^{-4}$
Ригель	11 200	40	138	$2 \cdot 10^{-5}$
Сириус А	9 250	2,1	2,0	0,36
Сириус В	8 200	1	$2 \cdot 10^{-2}$	$1,75 \cdot 10^6$
Солнце	6 000	1,0	1,0	1,4
α Центавра	5 730	1,02	1,2	0,80

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам звезд.

- 1) Звезда Сириус В относится к белым карликам.
- 2) Звезды Ригель и ε Возничего имеют температуру, соответствующую звездам спектрального класса М.
- 3) Звезда ε Возничего относится к звездам главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга-Рассела.
- 4) Звезда Альдебаран относится к звездам главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга-Рассела.
- 5) Наше Солнце имеет среднюю плотность, сравнимую со средней плотностью белых карликов.

Теоретический материал для анализа таблицы

Отличие этого задания от предыдущего состоит в том, что теперь диаграмма Герцшпрунга-Рассела отсутствует перед вашими глазами. Однако чтобы его выполнить, нужно помнить все те соотношения и выводы, что мы получили из неё.

Еще раз коротко опишем основной теоретический материал.

1. Температура поверхности звезды позволяет нам судить о ее принадлежности к тому или иному **спектральному классу**. Основные

спектральные классы и соответствующие им температуры и цвета представлены в таблице на *странице 36*.

Еще раз подчеркнем, что в таком задании, где диаграмма Герцшпрунга-Рассела не дается, примерные температуры каждого спектрального класса и цвета звезд нужно **помнить!**

2. Зная радиус звезды (он представлен в радиусах Солнца), можно определить к какому **классу по размеру** на диаграмме Герцшпрунга-Рассела эта звезда относится: *звездам главной последовательности, гигантам, сверхгигантам или белым карликам*.

Напомню эти соотношения (*стр. 35–36*):

а) звезды главной последовательности

$$0,1R_{\odot} < R_{г.п.} < 10R_{\odot};$$

б) гиганты

$$10R_{\odot} < R_{г.} < 100R_{\odot};$$

в) сверхгиганты

$$R_{с.г.} > 100R_{\odot};$$

г) белые карлики

$$0,001R_{\odot} < R_{б.к.} < 0,1R_{\odot}.$$

3. **Плотность по отношению к плотности воды** – величина, равная отношению средней плотности звезды к плотности воды. Например, для звезды ϵ Возничего

$$\frac{\rho}{\rho_{\text{воды}}} = 0,33.$$

Вспомним или узнаем из справочных данных, что $\rho_{\text{воды}} = 1000 \text{ кг/м}^3$, тогда средняя плотность ϵ Возничего

$$\rho = 0,33\rho_{\text{воды}} = 0,33 \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 330 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Решение:

1) Звезда Сириус В относится к белым карликам.

Решение: Определяем из таблицы радиус Сириуса В

$$R = 0,02R_{\odot}.$$

Звезда относится к классу белых карликов, если

$$0,001R_{\odot} < R < 0,1R_{\odot}.$$

$$0,001R_{\odot} < \underbrace{(R = 0,02R_{\odot})}_{\text{Сириус В}} < 0,1R_{\odot},$$

следовательно, эта звезда относится к белым карликам.

Утверждение является верным.

2) Звезды Ригель и ϵ Возничего имеют температуру, соответствующую звездам спектрального класса М.

Решение: Выпишем из таблицы температуры звезд: у Ригеля – $T_p = 11\,200 \text{ К}$, у ϵ Возничего – $T_{\epsilon В} = 11\,000 \text{ К}$.

Примерная температура поверхности звезд, соответствующая звездам спектрального класса М $T_M = 3\,000 \text{ К}$, она гораздо ниже температуры Ригеля и ϵ Возничего. Выходит, что они не относятся к данному спектральному классу, это звезды класса В.

Утверждение не является верным.

3) Звезда ϵ Возничего относится к звездам главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга-Рассела.

Решение: Определяем из таблицы радиус ϵ Возничего

$$R = 3,5R_{\odot}.$$

Звезда относится к звездам главной последовательности, если

$$0,1R_{\odot} < R_{г.п.} < 10R_{\odot}.$$

Проверим это условие:

$$0,1R_{\odot} < \underbrace{3,5R_{\odot}}_{\epsilon \text{ Возничего}} < 10R_{\odot},$$

следовательно, эта звезда относится к звездам главной последовательности.

Утверждение является верным.

4) Звезда Альдебаран относится к звездам главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга-Рассела.

Решение: Определяем из таблицы радиус Альдебарана

$$R = 45R_{\odot}.$$

Звезда относится к звездам главной последовательности, если

$$0,1R_{\odot} < R_{г.п.} < 10R_{\odot}.$$

Проверим это условие:

$$0,1R_{\odot} < R_{г.п.} < 10R_{\odot} < \underbrace{45R_{\odot}}_{\text{Альдебаран}},$$

следовательно, эта звезда не относится к звездам главной последовательности.

Утверждение не является верным.

5) Наше Солнце имеет среднюю плотность, сравнимую со средней плотностью белых карликов.

Решение: Из таблицы видно, что средняя плотность Солнца по отношению к плотности воды равна 1,4.

Какой же будет эта величина у белых карликов? Определим для начала, какие же из 8 описанных звезд являются белыми карликами. Вспомним условие:

$$0,001R_{\odot} < R_{\text{б.к.}} < 0,1R_{\odot}.$$

Под него подходит только одна звезда, это ранее упомянутый Сириус В. Его средняя плотность по отношению к плотности воды равна $1,75 \cdot 10^6$.

Очевидно, что плотность Сириуса В гораздо больше плотности Солнца. Так и есть, ведь ранее мы установили, что плотность белых карликов существенно больше плотности звезд главной последовательности, гигантов и тем более сверхгигантов.

Утверждение не является верным.

Ответ: 13 или 31.

Задания для самостоятельного решения

№ 16. Рассмотрите таблицу, содержащую сведения о ярких звездах.

Название звезды	Температура поверхности, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Плотность по отношению к плотности воды
Альдебаран	3 600	5,0	45	$5 \cdot 10^{-5}$
ε Возничего	11 000	10,2	3,5	0,33
Капелла	5 200	3,3	23	$4 \cdot 10^{-4}$
Ригель	11 200	40	138	$2 \cdot 10^{-5}$
Сириус А	9 250	2,1	2,0	0,36
Сириус В	8 200	1	$2 \cdot 10^{-2}$	$1,75 \cdot 10^6$
Солнце	6 000	1,0	1,0	1,4
α Центавра	5 730	1,02	1,2	0,80

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам звезд.

1) Наше Солнце имеет максимальную массу для звезд главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга-Рассела.

2) Звезда Альдебаран относится к гигантам спектрального класса К.

3) Звезда Сириус А относится к звездам главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга-Рассела.

4) Звезда Ригель относится к белым карликам.

5) Звезда Сириус В относится к звездам главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга-Рассела.

№ 17. Рассмотрите таблицу, содержащую сведения о ярких звездах.

Название звезды	Температура поверхности, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Плотность по отношению к плотности воды
Альдебаран	3 600	5,0	45	$5 \cdot 10^{-5}$
ε Возничего	11 000	10,2	3,5	0,33
Капелла	5 200	3,3	23	$4 \cdot 10^{-4}$
Ригель	11 200	40	138	$2 \cdot 10^{-5}$
Сириус А	9 250	2,1	2,0	0,36
Сириус В	8 200	1	$2 \cdot 10^{-2}$	$1,75 \cdot 10^6$
Солнце	6 000	1,0	1,0	1,4
α Центавра	5 730	1,02	1,2	0,80

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам звезд.

1) Звезда Альдебаран относится к звёздам главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга-Рассела.

2) Наше Солнце относится к звёздам главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга-Рассела.

3) Звезда Сириус В относится к сверхгигантам.

4) Звезда Капелла относится к гигантам спектрального класса G.

5) Температура поверхности звёзд Капелла и α Центавра соответствует температурам поверхности звёзд спектрального класса О.

Тема 7. Звезды. Диаграмма Герцшпрунга-Рассела (часть 3)

№ 18. Рассмотрите таблицу, содержащую сведения о ярких звездах.

Название звезды	Температура поверхности, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Плотность по отношению к плотности воды
Альдебаран	3 600	5,0	45	$5 \cdot 10^{-5}$
ε Возничего	11 000	10,2	3,5	0,33
Капелла	5 200	3,3	23	$4 \cdot 10^{-4}$
Ригель	11 200	40	138	$2 \cdot 10^{-5}$
Сириус А	9 250	2,1	2,0	0,36
Сириус В	8 200	1	$2 \cdot 10^{-2}$	$1,75 \cdot 10^6$
Солнце	6 000	1,0	1,0	1,4
α Центавра	5 730	1,02	1,2	0,80

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам звезд.

- 1) Звезда Ригель является сверхгигантом спектрального класса В.
- 2) Звезда Сириус А относится к белым карликам.
- 3) Звёзды Ригель и ε Возничего имеют температуру поверхности, соответствующую жёлтым звёздам спектрального класса G.
- 4) Наше Солнце имеет температуру поверхности, соответствующую красным звёздам спектрального класса М.
- 5) Звезда α Центавра относится к звёздам главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга-Рассела.

Задание 3. Используя таблицу, содержащую сведения о ярких звёздах, выполните задание.

Таблица 6

Название звезды	Температура поверхности, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Созвездие, в котором находится звезда
Капелла	5 200	3	2,5	Возничий
Менкалинан (β Возничего А)	9 350	2,7	2,4	Возничий
Денеб	8 550	21	210	Лебедь
Садр	6 500	12	255	Лебедь
Бетельгейзе	3 100	20	900	Орион
Ригель	11 200	40	138	Орион
Альдебаран	3 500	5	45	Телец
Эльнат	14 000	5	4,2	Телец

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам звёзд.

- 1) Звёзды Капелла и Менкалинан относятся к одному созвездию, значит, находятся на одинаковом расстоянии от Солнца.
- 2) Звезда Денеб является сверхгигантом.
- 3) Звёзды Альдебаран и Эльнат имеют одинаковую массу, значит, они относятся к одному и тому же спектральному классу.
- 4) Звезда Бетельгейзе относится к красным звёздам спектрального класса М.
- 5) Температура на поверхности Ригеля в 2 раза ниже, чем на поверхности Солнца.

Теоретический материал для анализа таблицы

При выполнении задания, содержащего *таблицу 6*, необходимо руководствоваться тем же справочным и теоретическим материалом. Не будем в очередной раз его повторять. Вспомним лишь саму идею:

- 1) Температура поверхности звезды позволяет нам судить о ее принадлежности к тому или иному **спектральному классу**.

2) Зная радиус звезды и сравнив его с радиусом Солнца, можно определить к какому **классу по размеру** на диаграмме Герцшпрунга-Рассела эта звезда относится.

Однако в этой таблице появилась информация о созвездиях, в которых находятся звёзды. **Созвездия** – это участки, на которые разделена небесная сфера для удобства ориентирования на звездном небе.

Например: наиболее яркими звездами созвездия **Малой медведицы** (рис. 9) являются **Полярная звезда** (α), звезды **Кохаб** (β) и **Феркад** (γ).

При этом Полярная звезда расположена от Земли на расстоянии 434 св. года³, Кохаб находится к нам гораздо ближе – на расстоянии 126 св. лет, а Феркад и того дальше первой – на расстоянии 480 св. лет.

Поэтому принадлежность звезд к одному созвездию не свидетельствует об их близком расположении друг к другу. В одном созвездии могут быть и очень близкие, и очень далекие от Земли звёзды, никак друг с другом не связанные. **Помните это!**

Решение:

1) Звёзды Капелла и Менкалинан относятся к одному созвездию, значит, находятся на одинаковом расстоянии от Солнца.

Решение: В этом утверждении речь идет как раз о том, что только было упомянуто. То, что звёзды Капелла и Менкалинан относятся к одному созвездию, вовсе **не значит**, что они находятся на одинаковом расстоянии от Солнца.

Утверждение не является верным.

2) Звезда Денеб является сверхгигантом.

Решение: Определяем из таблицы радиус Денеба

³ **Световой год** (св. год) – единица измерения расстояния в астрономии.

1 св. год $\approx 63\,241$ а.е. $\approx 9,46 \cdot 10^{12}$ км

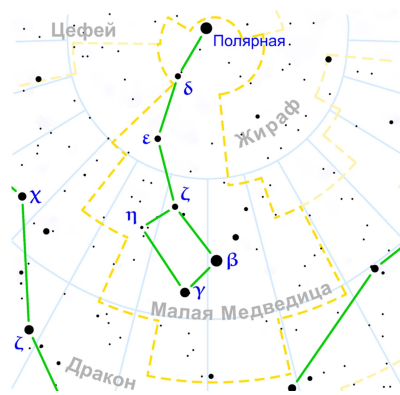


Рисунок 9. Созвездие Малой медведицы

$$R = 210R_{\odot}.$$

Звезда относится к сверхгигантам, если

$$R_{\text{с.г.}} > 100R_{\odot}.$$

Проверим это условие:

$$\underbrace{210R_{\odot}}_{\text{Денеб}} > 100R_{\odot},$$

следовательно, эта звезда относится к звездам-сверхгигантам.

Утверждение является верным.

3) Звёзды Альдебаран и Эльнат имеют одинаковую массу, значит, они относятся к одному и тому же спектральному классу.

Решение: Чтобы судить о принадлежности звезды к определенному спектральному классу, нужно знать температуру ее поверхности, но не массу.

Утверждение не является верным.

4) Звезда Бетельгейзе относится к красным звёздам спектрального класса М.

Решение: Определяем из таблицы температуру поверхности звезды Бетельгейзе

$$T = 3\,100 \text{ К.}$$

Вспомним теперь примерную температуру поверхности звезд, относящихся к спектральному классу М:

$$T_M = 3\,000 \text{ К.}$$

Эти температуры близки друг к другу, следовательно, Бетельгейзе – звезда спектрального класса М. Такие звезды являются красными.

Утверждение является верным.

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

Решение: Находим в таблице температуру поверхности звезды Ригель

$$T = 11\,200 \text{ К.}$$

В таблице нет информации о Солнце, но ранее уже упоминалось, что средняя температура на его поверхности указана в справочных данных перед КИМом ЕГЭ по физике:

$$T_{\odot} = 6\,000 \text{ К.}$$

Видим, что температура Ригеля выше, чем у Солнца.

Утверждение не является верным.

Ответ: 24 или 42.

Задания для самостоятельного решения

№19. Используя таблицу, содержащую сведения о ярких звёздах, выполните задание.

Название звезды	Температура поверхности, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Созвездие, в котором находится звезда
Капелла	5 200	3	2,5	Возничий
Менкалинан (β Возничего A)	9 350	2,7	2,4	Возничий
Денеб	8 550	21	210	Лебедь
Садр	6 500	12	255	Лебедь
Бетельгейзе	3 100	20	900	Орион
Ригель	11 200	40	138	Орион
Альдебаран	3 500	5	45	Телец
Эльнат	14 000	5	4,2	Телец

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам звёзд.

1) Звезда Садр относится к желтоватым звёздам спектрального класса F.

2) Звёзды Денеб и Садр относятся к одному созвездию, значит, находятся на одинаковом расстоянии от Солнца.

3) Звезда Бетельгейзе является сверхгигантом.

4) Звёзды Капелла и Менкалинан имеют почти одинаковые размеры, значит, относятся к одному спектральному классу.

5) Температура на поверхности Альдебарана примерно равна температуре на поверхности Солнца.

№20. Используя таблицу, содержащую сведения о ярких звёздах, выполните задание.

Название звезды	Температура поверхности, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Созвездие, в котором находится звезда
Капелла	5 200	3	2,5	Возничий
Менкалинан (β Возничего A)	9 350	2,7	2,4	Возничий
Денеб	8 550	21	210	Лебедь
Садр	6 500	12	255	Лебедь
Бетельгейзе	3 100	20	900	Орион
Ригель	11 200	40	138	Орион
Альдебаран	3 500	5	45	Телец
Эльнат	14 000	5	4,2	Телец

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам звёзд.

1) Температура на поверхности Бетельгейзе примерно равна температуре на поверхности Солнца.

2) Звезда Ригель относится к бело-голубым звёздам спектрального класса В.

3) Звезда Садр является сверхгигантом.

4) Звёзды Ригель и Бетельгейзе относятся к одному созвездию, значит, находятся на одинаковом расстоянии от Солнца.

5) Звёзды Альдебаран и Эльнат имеют одинаковую массу, значит, они относятся к одному и тому же спектральному классу.

№21. Используя таблицу, содержащую сведения о ярких звёздах, выполните задание.

Название звезды	Температура поверхности, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Созвездие, в котором находится звезда
Капелла	5 200	3	2,5	Возничий
Менкалинан (β Возничего А)	9 350	2,7	2,4	Возничий
Денеб	8 550	21	210	Лебедь
Садр	6 500	12	255	Лебедь
Бетельгейзе	3 100	20	900	Орион
Ригель	11 200	40	138	Орион
Альдебаран	3 500	5	45	Телец
Эльнат	14 000	5	4,2	Телец

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам звёзд.

1) Звёзды Альдебаран и Эльнат относятся к одному созвездию, значит, находятся на одинаковом расстоянии от Солнца.

2) Температура на поверхности звезды Садр в 2 раза выше, чем на поверхности Солнца.

3) Звезда Эльнат относится к бело-голубым звёздам спектрального класса В.

4) Звёзды Капелла и Менкалинан имеют почти одинаковые размеры, значит, относятся к одному спектральному классу.

5) Звезда Ригель является сверхгигантом.

Вопросы

1) Что называют созвездием?

2) Что можно сказать о расстояниях до звезд, входящих в одно и то же созвездие?

Справочные данные

Астрономическая единица

$$1 \text{ а. е.} \approx 150\,000\,000 \text{ км}$$

Световой год

$$1 \text{ св. год} \approx 9,46 \cdot 10^{15} \text{ м}$$

Парсек

$$1 \text{ пк} \approx 3,26 \text{ св. года}$$

Гравитационная постоянная

$$G = 6,7 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$$

Ускорение свободного падения на Земле

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Первая космическая скорость вблизи поверхности Земли

$$v_1 = 7,9 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

Вторая космическая скорость вблизи поверхности Земли

$$v_2 = 11,2 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

Примерный Радиус Земли

$$R_{\oplus} = 6\,370 \text{ км}$$

Примерный Радиус Солнца

$$R_{\odot} = 6,96 \cdot 10^8 \text{ м}$$

Средняя температура на поверхности Солнца

$$T_{\odot} = 6\,000 \text{ К}$$

Плотность воды

$$\rho = 1\,000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Ответы к заданиям для самостоятельного решения

Номер задания	Ответ
1	13 или 31
2	25 или 52
3	34 или 43
4	23 или 32
5	35 или 53
6	14 или 41
7	13 или 31
8	14 или 41
9	35 или 53
10	23 или 32
11	35 или 53
12	24 или 42
13	34 или 43
14	13 или 31
15	15 или 51
16	23 или 32
17	24 или 42
18	15 или 51
19	13 или 31
20	23 или 32
21	35 или 53

Литература

1. Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И.. Курс общей астрономии: учебник. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 560 с.

2. Безуглова Г.С. Физика. ЕГЭ-2018. Раздел «Элементы астрофизики»: учебное пособие. Под ред. Л.М. Монастырского. – Ростов-на-Дону: Легион, 2017. – (ЕГЭ).

3. ЕГЭ. Физика: типовые экзаменационные варианты: 30 вариантов / под ред. М.Ю. Демидовой. – М.: Издательство «Национальное образование», 2018. – 384 с. – (ЕГЭ. ФИПИ – школе).

4. <http://fipi.ru> – официальный сайт Федерального института педагогических измерений

Для заметок

Для заметок