

Департамент образования мэрии города Новосибирска
Муниципальное казенное учреждение дополнительного образования
«Детско-юношеский центр «Планетарий»

И. О. Орлов, Н. Б. Орлова

Астрофизические задачи в ЕГЭ по физике

Методическое пособие

Издательский дом «Вояж»

Новосибирск, 2018

УДК 373.167.1:52(075.3)

ББК 22.6я7+74.262.26я7

О66

Орлов И. О., Орлова Н. Б. Астрономические задачи в ЕГЭ по физике.

Методическое пособие. – Новосибирск : ИД «Вояж», 2018.

Контакты: science@nebo-nsk.ru, тел. (383) 327-06-06

В 2017 году астрономия вернулась в общеобразовательные школы в качестве обязательного предмета в 10-11 классах. Решением Минобрнауки РФ в программу ЕГЭ по физике в 2018 году введена одна задача (№24) по тематике астрономии и астрофизики, в перспективе планируется введение ещё одной задачи по этой тематике. Настоящее пособие предназначено для учеников 10 и 11 классов и их педагогов, желающих качественно подготовиться к решению задач астрофизической тематики в ЕГЭ по физике.

Рецензенты:

- Вибе Дмитрий Зигфридович – д-р физ.-мат. наук, профессор РАН, зав. отделом физики и эволюции звезд Института астрономии РАН
- Лапин Николай Иванович – канд. физ.-мат. наук, начальник научно-исследовательского отдела Нижегородского планетария им. Г. М. Гречко
- Кузьмичева Тамара Юрьевна – учитель физики высшей категории, заслуженный учитель РФ, председатель Ассоциации учителей физики и астрономии Нижегородской области

© МКУ ДО ДЮОЦ «Планетарий», 2018.

© И. О. Орлов, Н. Б. Орлова, 2018.

Подписано в печать 05.05.2018 г. Формат _____. Тираж 100 экз. Заказ № _____

Отпечатано в типографии ООО «Издательский Дом «Вояж»,

г. Новосибирск, ул. Немировича-Данченко, 104; тел. (383) 314-19-40.

Предисловие

В банке заданий ЕГЭ по физике (ФИПИ, 2018 год, <http://ege.fipi.ru/os11/xmodules/qprint/index.php>) представлены 13 задач по тематике, соответствующей направлению «Астрономия и астрофизика». Все задачи подразумевают анализ табличных данных и конструирование выводов на их основе. Суть заданий – используя информацию из таблицы, выбрать из пяти предложенных вариантов ответов два, которые соответствуют действительности. В методическом пособии проведён разбор всех 13 представленных задач с комментариями по поводу выбора правильных вариантов. Для качественной подготовки учащихся по каждой теме также представлен минимальное теоретическое введение, необходимое для понимания темы в рамках требований итоговой аттестации по физике. Большинство элементов теории, используемой в решении приведённых задач, разбирается в рамках школьного курса физики. Исключение составляют лишь астрофизические вопросы, кратко разбираемые в теме 3.

В создании методического пособия приняли активное участие обучающиеся объединения «Олимпиадная подготовка по астрономии» Большого новосибирского планетария и студенты спецкурса «Олимпиадная астрономия» Специализированного учебно-научного центра НГУ. Авторы выражают им свою признательность.

Благодарность за рекомендации по содержанию пособия авторы выражают Анастасии Стрежневой (НГТУ), Дарье Стыпник (СУНЦ НГУ) и Родиону Карвану (СОШ № 210).

Тема 1. Планеты Солнечной системы и их спутники

Солнечная система – это планетарная система, в центре которой находится звезда – Солнце. Помимо звезды и 8 планет, в состав Солнечной системы входит множество космических объектов естественного происхождения: астероиды, кометы, спутники планет. Планеты – космические объекты естественного происхождения, вращающиеся вокруг Солнца, достаточно массивные, чтобы иметь форму, близкую к сферической, и за время своего существования расчистившие окрестности своей орбиты от иных объектов сопоставимых масс и размеров.

Планеты Солнечной системы и их крупные спутники с хорошей степенью точности можно считать сферическими. Объём сферической планеты:

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

На рис. 1 представлено схематическое изображение движения планеты. Углом наклона оси называется угол между осью суточного вращения и перпендикуляром к плоскости орбиты планеты (на рисунке – угол ε).

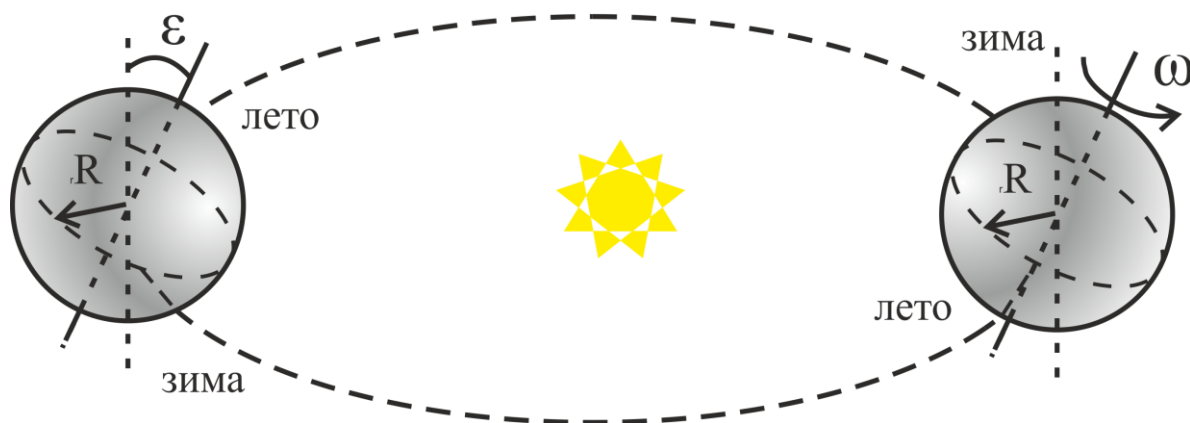


Рисунок 1. Орбитальное и суточное движение планеты.

Планеты вращаются вокруг своей оси. Период времени, за который планета совершает один оборот вокруг своей оси, называется сутками на данной планете. Чем длиннее сутки на планете, то есть чем больше период вращения, тем меньше её угловая скорость вращения (задача 4 п. 3).

Угловая скорость планеты измеряется в радианах в секунду и вычисляется по формуле

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2)$$

Угол наклона оси вращения планеты к перпендикуляру к плоскости её орбиты определяет смену времён года на планете. При малых углах наклона (например, у Меркурия или Юпитера) смена времен года не наблюдается совсем (задача 1 п. 1, задача 2 п. 2), при углах, близких к 90° (Уран) почти везде на планете наблюдается полярная ночь (зима) или полярный день (лето).

Если известна масса планеты M , то можно найти среднюю плотность планеты:

$$\rho = M/V \quad (3)$$

Для вычисления объёма планет Солнечной системы можно использовать формулу для объёма сферы (1). Минимальной плотностью среди всех планет, спутников и астероидов Солнечной системы из-за своей разреженной атмосферы обладает Сатурн, его плотность оценивается в 687 кг/м^3 .

Зная массу планеты M и её радиус R , можно найти ускорение свободного падения на поверхности планеты:

$$g_p = G \cdot \frac{M}{R^2}, \quad (4)$$

где $G = 6.67408 \times 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ с}^{-2} \text{ кг}^{-1}$ – гравитационная постоянная.

Первая космическая скорость – это минимальная скорость, которую необходимо сообщить объекту, чтобы вывести его на круговую орбиту вокруг данной планеты. Первая космическая скорость, также называемая «круговой скоростью», равна

$$V_1 = \sqrt{G \frac{M}{R}} = \sqrt{g_p R} \quad (5)$$

Все тела, обращающиеся вокруг центрального тела по круговым орбитам (например, планеты вокруг Солнца или спутники вокруг планеты), движутся с первой космической скоростью. При расчёте круговой скорости планеты по формуле (5) за M нужно брать массу центрального тела (Солнца), а за R – расстояние от центра Солнца до центра планеты.

Вторая космическая скорость – это минимальная скорость, которую необходимо сообщить объекту, чтобы вывести его на незамкнутую (параболическую) орбиту. На такой орбите объект постепенно уйдёт от центрального тела на бесконечно большое расстояние. Вторая космическая скорость, также называемая «скоростью убегания», считается по формуле

$$V_2 = \sqrt{2G \frac{M}{R}} = \sqrt{2g_p R} = \sqrt{2} \cdot V_1 \quad (6)$$

Стоит запомнить, что вторая космическая скорость больше первой космической скорости в $\sqrt{2} \approx 1,41$ раза.

Среднее расстояние от центра Солнца до орбиты Земли равно 150 млн км. Это расстояние называется астрономической единицей (а.е.) и принято за единицу измерения расстояний в пределах Солнечной системы.

Задачи по теме 1

В первых двух задачах приведена таблица параметров планет:

Название планеты	Среднее расстояние от Солнца (в а.е.)	Диаметр в районе экватора, км	Наклон оси вращения	Первая космическая скорость, км/с
Меркурий	0,39	4879	0,6'	3,01
Венера	0,72	12 104	177°22'	7,33
Земля	1,00	12 756	23°27'	7,91
Марс	1,52	6794	25°11'	3,55
Юпитер	5,20	142 984	3°08'	42,1
Сатурн	9,58	120 536	26°44'	25,1
Уран	19,19	51 118	97°46'	15,1
Нептун	30,02	49 528	28°19'	16,8

Задача №1. Выберите два утверждения, которые соответствуют характеристикам планет.

1) На Марсе не может наблюдаться смена времён года.

Утверждение неверное – смена времён года связана с наклоном оси вращения планеты к оси её орбиты вокруг Солнца; у Марса наклон оси существенный ($25^{\circ}11'$), так что и смена времён года будет также наблюдаться. Смены времен года практически не будет только на Меркурии и на Юпитере.

2) Ускорение свободного падения на Нептуне составляет около $11,4 \text{ м/с}^2$.

Первая космическая скорость может быть посчитана по формуле (5), значит, $g = V^2/R = 16800^2/(49528000/2) = 11,4 \text{ м/с}^2$. Утверждение верное.

3) Объём Марса в 3 раза меньше объёма Венеры.

Из таблицы мы видим, что отношение диаметра Венеры к диаметру Марса равно $12104/6794 = 1,78$. Поскольку объём пропорционален кубу размера (1), объём Марса меньше объёма Венеры примерно в $1,78^3 = 5,65$ раз. Утверждение неверное.

4) Вторая космическая скорость для Меркурия составляет примерно $1,25 \text{ км/с}$.

Утверждение неверное. Вторая космическая скорость в $\sqrt{2}$ раз больше первой космической (6), то есть для Меркурия она никак не меньше 4 км/с .

5) Орбита Венеры находится на расстоянии примерно 108 млн км от Солнца.

Расстояние от Венеры до Солнца равно $0,72 \text{ а.е.}$, а астрономическая единица составляет 150 млн км . Отсюда расстояние равно $0,72 \cdot 150 \text{ млн км} = 108 \text{ млн км}$. Утверждение верное.

Таким образом, **верные варианты: 2 и 5.**

Задача №2. Выберите два утверждения, которые соответствуют характеристикам планет.

1) Ускорение свободного падения на Уране составляет около $15,1 \text{ м/с}^2$.

Первая космическая скорость может быть посчитана по формуле (5), значит, $g = V^2/R = 15100^2/(51118000/2) = 8,92 \text{ м/с}^2$. Утверждение неверное.

2) На Нептуне может наблюдаться смена времён года.

Утверждение верное. Смена времён года связана с наклоном оси планеты; у Нептуна наклон оси существенный ($28^\circ 19'$), так что и смена времён года будет также наблюдаться.

3) Вторая космическая скорость для Марса составляет примерно $5,02 \text{ км/с}$.

Вторая космическая скорость в $\sqrt{2}$ раз больше первой космической, то есть для Марса она составит $3,55 \cdot \sqrt{2} = 5,02 \text{ км/с}$. Утверждение верное.

4) Чем дальше планета располагается от Солнца, тем больше её объём.

Утверждение неверное. Например, Нептун дальше от Солнца, чем Юпитер, а его радиус (а значит, и объём) существенно меньше.

5) Орбита Юпитера находится на расстоянии примерно 280 млн км от Солнца.

Расстояние от Юпитера до Солнца равно $5,20 \text{ а.е.}$, а астрономическая единица составляет 150 млн км . Отсюда расстояние равно $5,20 \cdot 150 \text{ млн км} = 780 \text{ млн км}$. Утверждение неверное.

Таким образом, **верные варианты: 2 и 3.**

Ещё две задачи на свойства планет предлагают работать с другой таблицей их параметров:

Название планеты	Диаметр в районе экватора, км	Период обращения вокруг Солнца	Период вращения вокруг оси	Вторая космическая скорость, км/с
Меркурий	4878	87,97 суток	58,6 суток	4,25
Венера	12 104	224,7 суток	243 суток 0 часов 27 минут	10,36
Земля	12 756	365,3 суток	23 часа 56 минут	11,18
Марс	6794	687 суток	24 часа 37 минут	5,02
Юпитер	142 800	11 лет 315 суток	9 часов 53,8 минут	59,54
Сатурн	120 660	29 лет 168 суток	10 часов 38 минут	35,49
Уран	51 118	84 года 5 суток	17 часов 12 минут	21,29
Нептун	49 528	164 года 290 суток	16 часов 4 минуты	23,71

Задача № 3. Выберите два утверждения, которые соответствуют характеристикам планет.

1) Первая космическая скорость для спутника Сатурна составляет примерно 50,2 км/с.

Вторая космическая скорость в $\sqrt{2}$ раз больше первой космической, то есть для Сатурна первая космическая скорость составит $35,49/\sqrt{2}=25,1$ км/с. Утверждение неверное.

Примечание. Строго говоря, формулировка вопроса некорректна. «Первая космическая скорость для спутника Сатурна» – это скорость круговой орбиты тела, вращающегося вокруг спутника Сатурна. В задаче же предполагаемое тело должно вращаться вокруг самого Сатурна, так что корректной (хоть и всё ещё неверной) будет формулировка «Первая космическая скорость для Сатурна составляет примерно 50,2 км/с».

2) Ускорение свободного падения на Марсе примерно $3,7 \text{ м/с}^2$.

Вторая космическая скорость может быть посчитана по формуле (6), значит, $g = V^2/(2R) = 5020^2/(2 \cdot 6794000/2) = 3,7 \text{ м/с}^2$. Утверждение верное.

3) Угловая скорость вращения Урана вокруг Солнца больше, чем у Марса.

Утверждение неверное. Период обращения Урана больше, значит, его угловая скорость меньше, чем у Марса. В целом, чем дальше планета от звезды, тем меньше её угловая скорость и тем больше период её обращения (см. формулу 2).

Примечание. Строго говоря, формулировка вопроса некорректна. В астрономическом сообществе принято, что формулировка «вращение планеты» относится к суточному вращению планеты вокруг своей оси, а орбитальное движение описывается понятием «обращение планеты вокруг звезды». Корректная формулировка: «Угловая скорость обращения Урана вокруг Солнца больше, чем у Марса».

4) Первая космическая скорость для спутника Венеры составляет примерно 7,33 км/с.

Вторая космическая скорость в $\sqrt{2}$ раз больше первой космической (см. формулу (6)), то есть для Венеры первая космическая скорость составит $10,36/\sqrt{2}=7,33 \text{ км/с}$. Утверждение верное.

Примечание. Строго говоря, формулировка вопроса некорректна по причинам, изложенным выше для пункта 1 этой же задачи. Корректная формулировка: «Первая космическая скорость для Венеры составляет примерно 7,33 км/с».

5) Объем Марса примерно в 4 раза меньше объема Земли.

По таблице отношение диаметра Земли к диаметру Марса равно $12756/6794 = 1,88$. Поскольку объем пропорционален кубу размера (см. формулу 1), объем Марса меньше объема Земли примерно в $1,88^3 = 6,62$ раза. Утверждение неверное.

Таким образом, **верные варианты: 2 и 4.**

Задача № 4. Выберите два утверждения, которые соответствуют характеристикам планет.

1) Первая космическая скорость для спутника Марса составляет примерно 7,1 км/с.

Вторая космическая скорость в $\sqrt{2}$ раз больше первой космической, то есть для Марса первая космическая скорость составит $5,02/\sqrt{2}=3,55$ км/с. Утверждение неверное.

Примечание. Строго говоря, формулировка вопроса некорректна по причинам, изложенным выше для пункта 1 задачи № 3. Корректная формулировка: «Первая космическая скорость для Марса_составляет примерно 7,1 км/с».

2) За юпитерианский год на планете проходит около 300 юпитерианских суток.

Утверждение очевидно неверное, и даже не нужно напрямую считать отношение продолжительности года к продолжительности суток на Юпитере. Действительно, юпитерианский год – это почти 12 земных лет, и,

соответственно, за юпитерианский год проходит более 4000 земных суток. А поскольку сутки на Юпитере более чем в два раза короче земных суток, то юпитерианских суток за юпитерианский год пройдет в любом случае не менее 8000. (На самом деле 1 юп. год = 10507 юп. суток)

3) Угловая скорость вращения Сатурна вокруг своей оси больше, чем у Меркурия.

Утверждение верное. Период вращения Сатурна вокруг своей оси существенно меньше, чем у Меркурия, то есть его угловая скорость больше.

4) Ускорение свободного падения на Нептуне примерно $23,7 \text{ м/с}^2$.

Вторая космическая скорость может быть посчитана по формуле (6), значит, $g = V^2/(2R) = 23710^2/(2 \cdot 49528000 / 2) = 11,35 \text{ м/с}^2$. Утверждение неверное.

5) Ускорение свободного падения на Юпитере примерно $24,8 \text{ м/с}^2$.

Вторая космическая скорость может быть посчитана по формуле (6), значит, $g = V^2/(2R) = 59540^2/(2 \cdot 142800000 / 2) = 24,8 \text{ м/с}^2$. Утверждение верное.

Таким образом, **верные варианты: 3 и 5.**

В следующих двух задачах представлена таблица параметров некоторых спутников планет Солнечной системы.

Название спутника	Радиус спутника, км	Радиус орбиты, тыс. км	Вторая космическая скорость, м/с	Планета
Луна	1737	384,4	2400	Земля
Фобос	~12	9,38	11	Марс
Ио	1821	421,6	2560	Юпитер
Европа	1561	670,9	2025	Юпитер

Каллисто	2410	1883	2445	Юпитер
Титан	2575	1221,8	2640	Сатурн
Оберон	761	583,5	725	Уран
Тритон	1354	354,8	1438	Нептун

Задача №5. Выберите два утверждения, которые соответствуют характеристикам спутников планет.

1) Первая космическая скорость для спутника Оберона составляет примерно 11 км/с.

Вторая космическая скорость в $\sqrt{2}$ раз больше первой космической, то есть для Оберона первая космическая скорость составит $725/\sqrt{2}=512$ м/с. Утверждение неверное. 11 км/с (точнее – 11,2 км/с) – это вторая космическая скорость для Земли.

Примечание. Строго говоря, формулировка вопроса некорректна по причинам, изложенным выше для пункта 1 задачи № 3. Корректная формулировка: «Первая космическая скорость для Оберона составляет примерно 11 км/с».

2) Ускорение свободного падения на Луне примерно $1,6$ м/с².

Вторая космическая скорость может быть посчитана по формуле (6), значит, $g = V^2/(2R) = 2400^2/(2 \cdot 1737000) = 1,65$ м/с². Утверждение верное.

3) Объём Титана почти в 2 раза больше объёма Тритона.

Утверждение неверное. Из таблицы мы видим, что радиус Титана почти в два раза больше, чем диаметр Тритона. Значит, объём Титана (см. формулу (1)) больше почти в 8 раз (на самом деле – в $(2575/1354)^3 = 6,9$ раз).

4) Орбита Каллисто располагается дальше от поверхности Юпитера, чем орбита Ио.

Утверждение верное. Радиус орбиты Каллисто больше, чем радиус орбиты Ио, соответственно, и от поверхности Юпитера Каллисто дальше.

5) Чем дальше от Солнца располагается спутник планеты, тем меньше его диаметр.

Утверждение неверное. Например, Титан гораздо дальше от Солнца, чем Луна, а его радиус (а значит, и диаметр) существенно больше.

Таким образом, **верные варианты: 2 и 4.**

Задача №6. Выберите два утверждения, которые соответствуют характеристикам спутников планет.

1) Первая космическая скорость для спутника Каллисто составляет примерно 1,7 км/с.

Вторая космическая скорость в $\sqrt{2}$ раз больше первой космической, то есть для Каллисто первая космическая скорость составит $2445/\sqrt{2} = 1728$ м/с \approx 1,7 км/с. Утверждение верное.

Примечание. Строго говоря, формулировка вопроса некорректна по причинам, изложенным выше для пункта 1 задачи № 3. Корректная формулировка: «Первая космическая скорость для Каллисто__составляет примерно 1,7 км/с».

2) Ускорение свободного падения на Европе примерно 20,25 м/с².

Вторая космическая скорость может быть посчитана по формуле (6), значит, $g = V^2/(2R) = 2025^2/(2 \cdot 1651000) = 1,24$ м/с². Утверждение неверное.

3) Орбита Ио располагается ближе к поверхности Юпитера, чем орбита Каллисто.

Утверждение верное. Радиус орбиты Ио существенно меньше, чем радиус орбиты Каллисто, соответственно, и к поверхности Юпитера Ио располагается ближе.

4) Первая космическая скорость для спутника Тритона составляет примерно 2,0 км/с.

Вторая космическая скорость в $\sqrt{2}$ раз больше первой космической, то есть для Оберона первая космическая скорость составит $725/\sqrt{2} = 512$ м/с. Утверждение неверное.

Примечание. Строго говоря, формулировка вопроса некорректна по причинам, изложенным выше для пункта 1 задачи № 3. Корректная формулировка: «Первая космическая скорость для Тритона составляет примерно 2,0 км/с».

5) Объём Луны в 1,5 раза меньше объёма Титана.

Утверждение неверное. Из таблицы мы видим, что радиус Луны примерно в 1,5 раза меньше, чем радиус Титана. Значит, объём Луны (1) будет меньше почти в $1,5^3 \approx 3,4$ раза (на самом деле – в $(2575/1737)^3 = 3,26$ раза).

Таким образом, **верные варианты: 1 и 3.**

Тема 2. Орбитальное движение астероидов

Движение планет и астероидов в Солнечной системе подчиняется законам Кеплера. Каждая планета или астероид в Солнечной системе обращается вокруг Солнца по эллиптической орбите, в одном из фокусов которой находится Солнце.

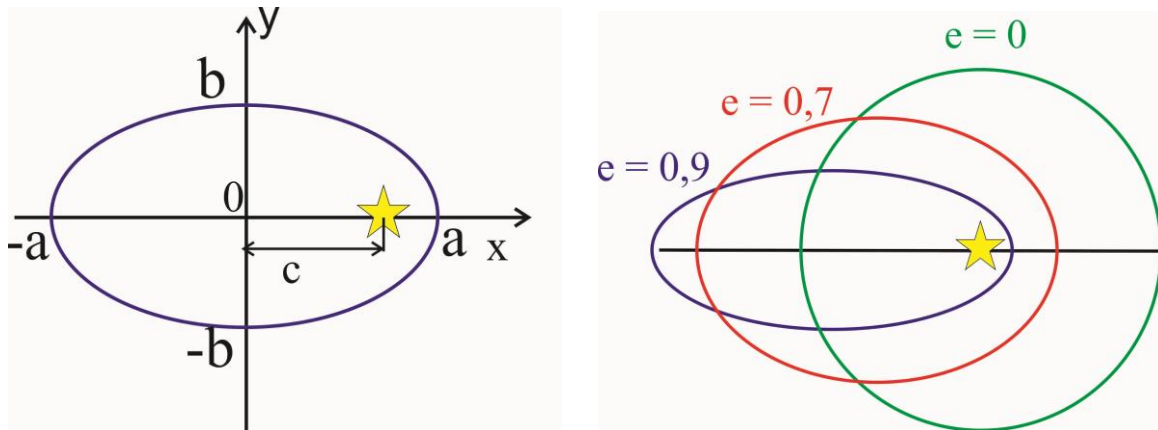


Рисунок 2. Элементы орбиты планеты.

На рисунке 2 слева изображена эллиптическая орбита планеты, где a – большая полуось, b – малая полуось, в фокусе находится Солнце, c – расстояние от центра эллипса до фокуса. Величина

$$e = \frac{c}{a} \quad (7)$$

называется эксцентриситетом эллипса. Чем больше значение эксцентриситета, тем сильнее орбита отличается от окружности и тем более она «вытянута». При эксцентриситете, равном 1, орбита превращается в незамкнутую – параболу.

Задачи к теме 2.

В задачах приведена таблица с характеристиками некоторых астероидов Солнечной системы:

Название астероида	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	$1,1 \cdot 10^{18}$

Задача №7. Выберите два утверждения, которые соответствуют характеристикам астероидов.

1) Астероид Аквитания вращается по более «вытянутой» орбите, чем астероид Церера.

Утверждение верное. «Вытянутость» орбиты характеризуется её эксцентриситетом (e) – чем он больше, тем более вытянутая орбита. У орбиты Аквитании эксцентриситет больше, чем у Цереры.

Примечание. Строго говоря, формулировка вопроса некорректна по причинам, изложенным выше для пункта 3 задачи № 3. Корректная формулировка: «Астероид Аквитания обращается вокруг Солнца по более «вытянутой» орбите, чем астероид Церера».

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

Утверждение верное. Паллада – крупнейший астероид Главного пояса астероидов, а Главный пояс лежит как раз между орбитами Марса и Юпитера.

3) Большие полуоси орбит астероидов Эвномия и Юнона примерно одинаковы, следовательно, они движутся по одной орбите друг за другом.

Утверждение неверное. Орбита определяется комплексом параметров, не только большой полуосью. В частности, орбиты Эвномии и Юноны сильно отличаются значением эксцентриситета (3). То есть одна существенно более вытянута, чем другая.

4) Средняя плотность астероида Веста составляет примерно 300 кг/м³.

Утверждение неверное. Плотность астероидов превышает 1000 кг/м³. Впрочем, плотность Весты можно посчитать напрямую из данных таблицы.

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3,0 \cdot 10^{20}}{\frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot 265000^3} \approx 3850 \text{ кг/м}^3$$

5) Первая космическая скорость для спутника астероида Геба составляет более 8 км/с.

Утверждение неверное. Первая космическая скорость для любого астероида (5) составляет десятки или сотни метров в секунду. Впрочем, опять же можно посчитать напрямую:

$$V_1 = \sqrt{GM/R} = \sqrt{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 1,4 \cdot 10^{19} / 100000} = 97 \text{ м/с.}$$

Примечание. Строго говоря, формулировка вопроса некорректна по причинам, изложенным выше для пункта 1 задачи № 3. Корректная формулировка: «Первая космическая скорость для астероида Геба составляет более 8 км/с».

Таким образом, **верные варианты: 1 и 2.**

Задача №8. Выберите два утверждения, которые соответствуют характеристикам астероидов.

1) Чем дальше от Солнца располагается орбита астероида, тем больше его масса.

Утверждение неверное. Например, Аквитания дальше от Солнца, чем Веста, но по массе существенно меньше последней.

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

Утверждение неверное. Большая полуось орбиты Земли равна 1,0 а.е., а у Гебы – 2,42 а.е. Их орбиты не совпадают и, соответственно, астероидной опасности для Земли астероид Геба не представляет.

3) Астероид Паллада вращается по более «вытянутой» орбите, чем астероид Веста.

Утверждение верное. «Вытянутость» (эллиптичность, отличие от окружности) орбиты характеризуется её эксцентриситетом (e) – чем он больше, тем более вытянута орбита. У орбиты Паллады эксцентриситет больше, чем у Весты.

Примечание. Строго говоря, формулировка вопроса некорректна по причинам, изложенным выше для пункта 3 задачи № 3. Корректная формулировка: «Астероид Паллада обращается вокруг Солнца по более «вытянутой» орбите, чем астероид Веста».

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

Утверждение верное. Юнона – один из крупнейших астероидов Главного пояса астероидов, а Главный пояс лежит как раз между орбитами Марса и Юпитера.

5) Вторая космическая скорость для астероида Церера составляет более 11 км/с.

Утверждение неверное. Вторая космическая скорость для любого астероида составляет десятки или сотни метров в секунду. Впрочем, можно посчитать напрямую.

$$V_1 = \sqrt{2GM/R} = \sqrt{2 \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 8,7 \cdot 10^{20} / 467000} = 499 \text{ м/с.}$$

Таким образом, **верные варианты: 1 и 2.**

Тема 3. Параметры звёзд и диаграмма Герцшпрунга–Рессела

Звёзды – это массивные небесные объекты, излучающие энергию за счёт протекающих в их ядрах реакций термоядерного синтеза. Энергетические параметры излучения звезды зависят от физических параметров звезды, таких как площадь и температура поверхности (более строго – температура фотосферы звезды; поскольку звёзды не являются твёрдыми или жидкими телами, у них нет чёткой поверхности в полном смысле этого слова). В частности, цвет звезды, определяемый длиной волны максимальной интенсивности излучения, зависит от температуры излучающей поверхности.

По характерной температуре поверхности звёзды разделяются на семь основных спектральных классов, обозначаемых латинскими буквами O, B, A, F, G, K, M. Приведённую ниже таблицу соответствия температур и спектральных классов необходимо знать.

Спектральный класс	Температура поверхности, К	Цвет	Примеры звёзд
O	30000-60000	голубой	сигма Ориона
B	10000-30000	бело-голубой	Ригель
A	7500-10000	белый	Вега, Сириус, Денеб
F	6000-7500	желто-белый	Процион
G	5000-6000	желтый	Солнце, Капелла, альфа Центавра
K	3500-5000	оранжевый	Арктур, Поллукс
M	2000-3500	красный	Бетельгейзе

Последовательность спектральных классов по уменьшению температуры звёзд можно запомнить с помощью мнемонических правил на английском или русском языке (например, “Oh Be A Fine Girl, Kiss Me”, «Один Бритый Англичанин Финики Жевал Как Морковь», «О Борис Александрович, Физики Ждут Конца Мучений» – дань уважения студентам Б. А. Воронцову-Вельяминову).

Другая классификация связана со спектральными характеристиками, определяемыми размерами звёзд. Выделяются категории сверхгигантов (характерный радиус – более 30 радиусов Солнца, светимость – более 1000 светимостей Солнца), гигантов (характерные радиусы – от 10 до 100 радиусов Солнца, светимости – от 10 до 1000 светимостей Солнца) и карликов (радиус менее 10 радиусов Солнца, светимость меньше 10 солнечных светимостей).

Обе эти классификации хорошо отражаются на диаграмме «цвет – светимость», также называемой диаграммой Герцшпрунга – Рессела или просто Г-Р-диаграммой (рис. 3). Обычно диаграмма строится с двумя горизонтальными и двумя вертикальными осями. По горизонтальным осям откладывается спектральный класс и температура звезды, по вертикальным – светимость (в единицах светимости Солнца) и абсолютная звёздная величина.

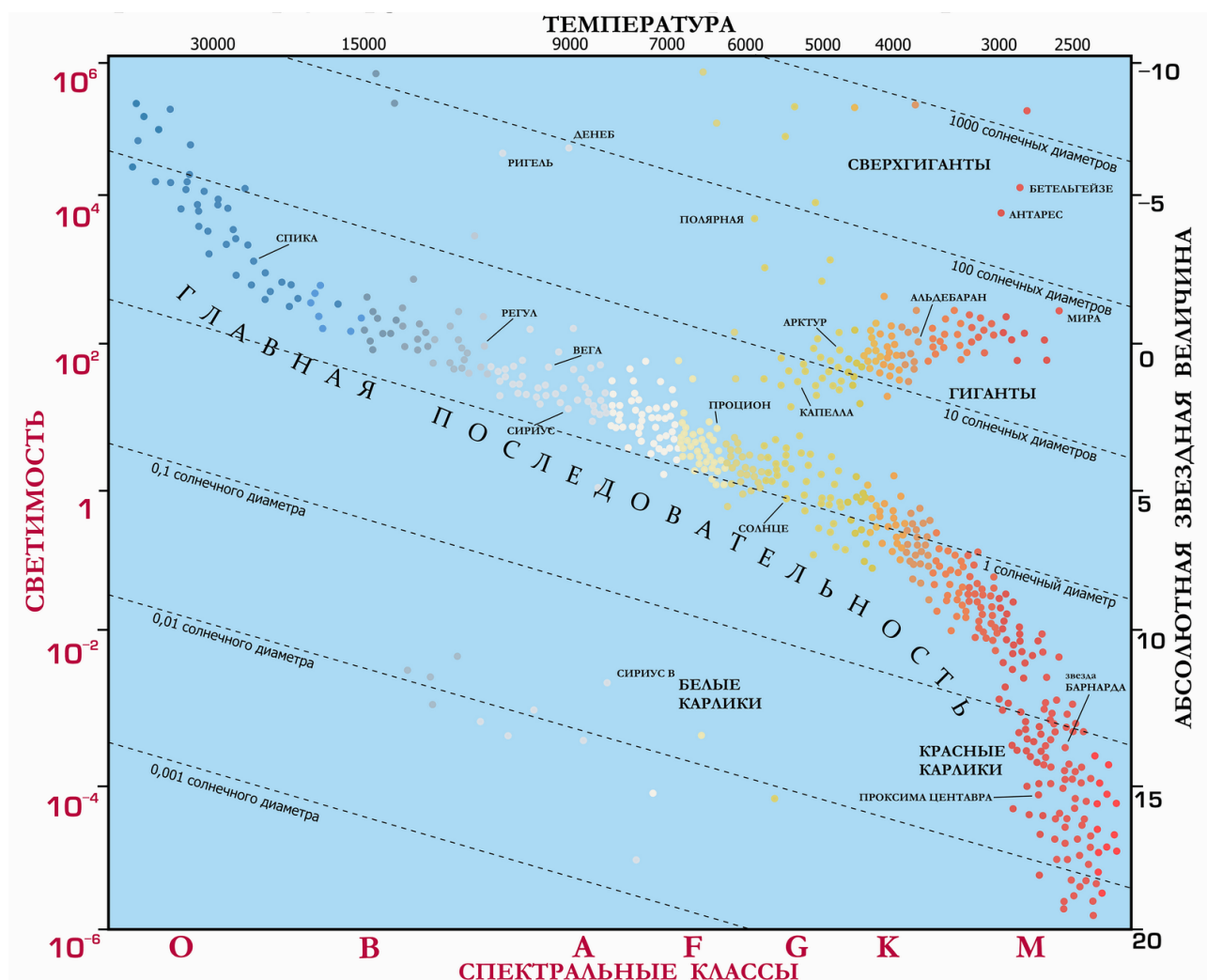


Рисунок 3. Диаграмма Герцшпрунга-Рессела.

Большая часть известных звёзд, в том числе и Солнце, лежит на диаграмме на так называемой Главной последовательности. Отдельно выделяются группы звёзд, образующие области красных гигантов и сверхгигантов (правый верхний угол) и белых карликов (внизу). Звёзды правой нижней части Главной последовательности обычно называются красными карликами, звёзды левой верхней части – голубыми гигантами.

В течение своего жизненного цикла звезда перемещается по диаграмме Герцшпрунга – Рассела по сложным траекториям. Характерное время «жизненного цикла» звезды определяется её начальной массой – чем массивнее звезда, тем быстрее она эволюционирует и тем быстрее завершается её жизненный цикл. Для звёзд главной последовательности также работает правило – чем горячее звезда, тем быстрее она эволюционирует (поскольку горячие звёзды главной последовательности более массивны, чем холодные).

На земном небе звёзды образуют созвездия – характерные фигуры, известные астрономам ещё с древних времён. Созвездия – исключительно видимые объединения звёзд – звёзды одного созвездия обычно никак не связаны друг с другом и могут находиться на колоссальных расстояниях одна от другой. Исключения составляют так называемые двойные и кратные системы из нескольких звёзд, связанных между собой гравитационными силами (например, система альфа Центавра состоит из трёх звёзд).

Задачи к теме 3

В задачах приведена таблица с характеристиками ярких звёзд:

Наименование звезды	Температура, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Созвездие
Менкалинан (β Возничего А)	9350	2,7	2,4	Возничий
Денеб	8550	21	210	Лебедь
Садр	6500	12	255	Лебедь
Бетельгейзе	3100	20	900	Орион
Ригель	11 200	40	138	Орион
Альдебаран	3500	5	45	Телец
Эль-Нат	14 000	5	4,2	Телец

Задача №9. Выберите два утверждения, которые соответствуют характеристикам звёзд

1) Звёзды Альдебаран и Эль-Нат имеют одинаковую массу, следовательно, относятся к одному спектральному классу.

Утверждение неверное. Спектральный класс звезды определяется её цветом и температурой, но не массой.

2) Звезда Ригель является сверхгигантом.

Утверждение верное. Звезда с радиусом, равным 138 радиусам Солнца, является сверхгигантом.

3) Температура поверхности звезды Менкалинан почти в 1,5 раза ниже, чем поверхности Солнца.

Утверждение неверное. Температура поверхности Солнца – примерно 5700 К, так что температура поверхности звезды Менкалинан в 1,7 раз выше.

Температура поверхности Солнца – одна из справочных констант, которую школьники должны запомнить.

4) Звезда Бетельгейзе относится к красным звёздам спектрального класса *M*.

Утверждение верное. Температуры поверхностей звёзд от 2000 до 3500 К соответствуют спектральному классу *M*.

5) Звезды Денеб и Садр относятся к одному созвездию, следовательно, находятся на одинаковом расстоянии от Земли.

Утверждение неверное. Звёзды одного созвездия расположены рядом только на небесной сфере, а в трёхмерном пространстве между ними колоссальные расстояния.

Таким образом, **верные варианты: 2 и 4.**

Второй вариант таблицы со сведениями о ярких звёздах:

Наименование звезды	Температура поверхности, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Средняя плотность по отношению к плотности воды
Альдебаран	3600	5,0	45	$7,7 \cdot 10^{-5}$
ε Возничего В	11 000	10,2	3,5	0,33
Капелла	5200	3,3	23	$4 \cdot 10^{-4}$
Ригель	11 200	40	138	$2 \cdot 10^{-5}$
Сириус А	9250	2,1	2,0	0,36
Сириус В	8200	1,0	0,01	$1,75 \cdot 10^6$
Солнце	6000	1,0	1,0	1,4
α Центавра А	5730	1,02	1,2	0,80

Задача №10. Выберите два утверждения, которые соответствуют характеристикам звёзд

1) Звезда ϵ Возничего В относится к спектральному классу G.

Утверждение неверное. Спектральному классу G соответствуют температуры поверхностей звёзд от 5000 до 6000 К, и, в частности, Солнце.

ϵ Возничего В гораздо горячее и относится к спектральному классу В.

2) Солнце относится к звёздам главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга – Рессела.

Утверждение верное. Солнце – типичная звезда главной последовательности диаграммы Герцшпрунга–Рессела.

3) Звезда Сириус В относится к белым карликам.

Утверждение верное. Звезда с радиусом, равным 0,01 радиуса Солнца, является белым карликом.

4) Звезда Сириус В и наше Солнце имеют одинаковые массы, значит относятся к одному спектральному классу.

Утверждение неверное. Спектральный класс звезды определяется её цветом и температурой, но не массой.

5) Звезда Сириус А является сверхгигантом.

Утверждение неверное. Звезда с радиусом, равным 2 радиусам Солнца, является карликом (как и само наше Солнце).

Таким образом, **верные варианты: 2 и 3.**

Задача №11. Выберите два утверждения, которые соответствуют характеристикам звёзд

1) Температура поверхности Ригеля соответствует температурам звёзд спектрального класса *B*.

Утверждение верное. Температуры поверхностей звёзд от 10000 до 30000 К соответствуют спектральному классу *B*.

2) Звезда Альдебаран относится к белым карликам.

Утверждение неверное. Звезда с радиусом, равным 45 радиусам Солнца, в зависимости от светимости относится к гигантам или сверхгигантам (Альдебаран – красный гигант).

3) Средняя плотность звезды Капелла больше, чем средняя плотность Солнца.

Утверждение неверное. По таблице средняя плотность Солнца существенно больше.

4) Солнце относится к красным звёздам спектрального класса *M*.

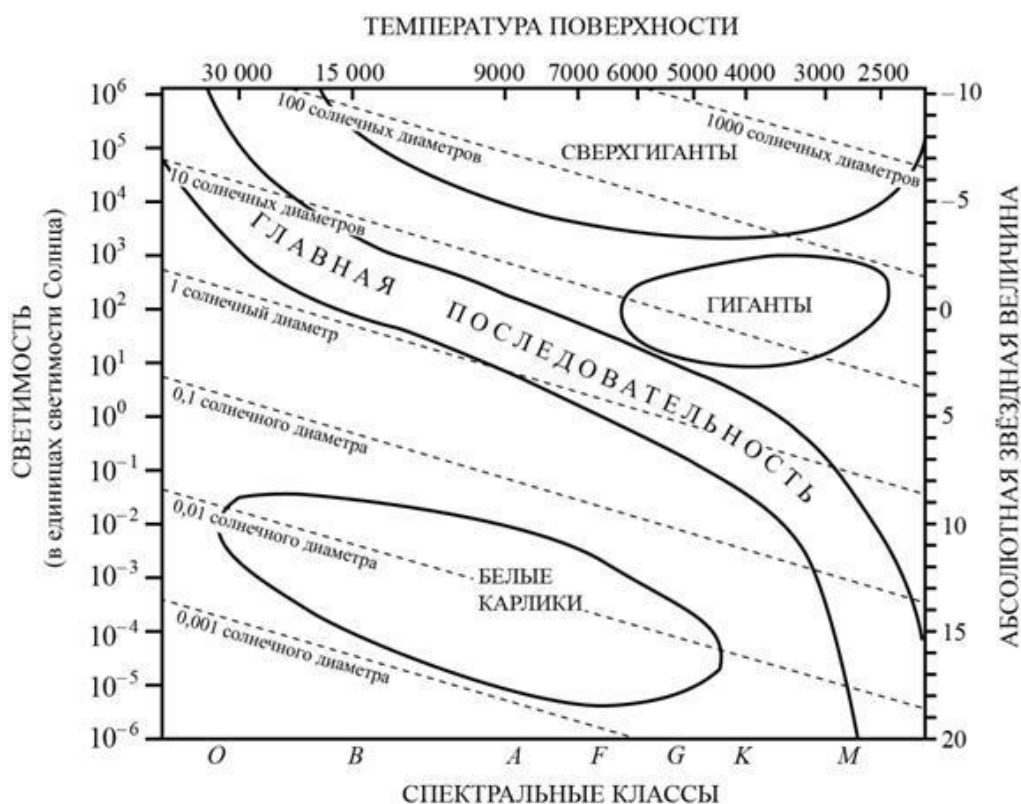
Утверждение неверное. Спектральному классу *M* соответствуют температуры поверхностей звёзд от 2000 до 3500 К. Звёзды с температурой поверхности от 5000 до 6000 К, и, в частности, Солнце, относятся к спектральному классу *G* (жёлтые звёзды).

5) Звезда α Центавра А относится к звёздам главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга – Рассела.

Утверждение верное. α Центавра А, наряду с Солнцем – типичная звезда главной последовательности диаграммы Герцшпрунга–Рассела.

Таким образом, **верные варианты: 1 и 5.**

В двух задачах используется непосредственно приведённая диаграмма «цвет – светимость» (Герцшпрунга – Рассела).



Задача №12. Выберите два утверждения, которые соответствуют диаграмме

1) «Жизненный цикл» звезды спектрального класса *B* главной последовательности более длительный, чем звезды спектрального класса *G* главной последовательности.

Утверждение неверное. Чем горячее звезда главной последовательности, тем меньше у неё продолжительность жизненного цикла.

2) Температура поверхности звёзд спектрального класса *F* ниже температуры звёзд спектрального класса *A*.

Утверждение верное. Непосредственно следует из сопоставления верхней оси (температура) и нижней оси (спектральный класс) диаграммы.

3) Звезда Арктур имеет температуру поверхности 4100 К, следовательно, она относится к звёздам спектрального класса *B*.

Утверждение неверное. Из диаграммы следует, что характерная температура звёзд класса *B* – 15000 К.

4) Радиус звезды Бетельгейзе почти в 1000 раз превышает радиус Солнца, следовательно, она относится к сверхгигантам.

Утверждение верное и напрямую следует из определения сверхгиганта.

5) Средняя плотность сверхгигантов существенно больше средней плотности белых карликов.

Утверждение неверное. Характерный диаметр звезды-сверхгиганта примерно в 10000 раз больше, чем характерный диаметр белого карлика (см. диаграмму), то есть их объёмы отличаются в 10^{12} раз. А их массы не могут отличаться более чем в несколько тысяч раз. Соответственно, средняя плотность сверхгигантов во много раз меньше средней плотности белых карликов.

Таким образом, **верные варианты: 2 и 4.**

Задача № 13. Выберите два утверждения, которые соответствуют диаграмме

1) Температура поверхности звёзд спектрального класса *G* выше температуры звёзд спектрального класса *B*.

Утверждение неверное. Непосредственно следует из сопоставления верхней оси (температура) и нижней оси (спектральный класс) диаграммы.

2) Звезда Альтаир имеет радиус $1,9R_{\odot}$, следовательно, она относится к сверхгигантам.

Утверждение неверное. Звезда с радиусом, равным 1,9 радиуса Солнца, относится к классу карликов, как и наше Солнце.

3) Звезда Антарес А имеет температуру поверхности 3300 К, следовательно, она относится к звёздам спектрального класса А.

Утверждение неверное. Спектральному классу А соответствуют температуры поверхностей звёзд порядка 9000 К. Звёзды с температурой поверхности около 3000 К, и, в частности, Антарес, относятся к спектральному классу М.

4) Средняя плотность белых карликов существенно больше средней плотности звёзд главной последовательности.

Утверждение верное. Массы звёзд главной последовательности и белых карликов сопоставимы, а размеры карликов на несколько порядков меньше. Соответственно, средняя плотность белых карликов существенно больше средней плотности «обычных» звёзд главной последовательности.

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

Утверждение верное. Чем холоднее звезда главной последовательности, тем больше у неё продолжительность жизненного цикла.

Список литературы для самостоятельной подготовки

1. Воронцов-Вельяминов Б. А., Страут Е. К. *Астрономия. Базовый уровень. 11 кл.: учебник. – 2-е изд. – М. : Дрофа, 2015*
2. В. М. Чаругин «Астрономия. 10-11 классы: учебник для общеобразовательных организаций: базовый уровень». – М. : Просвещение, 2018.
3. Вибе А. А., Масликов С. Ю., Орлов И. О., Самусь Н. Н. *Методическое пособие к учебнику В. М. Чаругина «Астрономия. 10-11 классы: учебник для общеобразовательных организаций: базовый уровень» (2018). – Новосибирск : ИД «Вояж», 2017.*
4. Язев С. А. *Лекции о солнечной системе. Учебное пособие. Под ред. В. Г. Сурдина. – СПб.: Лань, 2011.*
5. *Звезды. Редактор-составитель В. Г. Сурдин. – 2-е изд. – М. : Физматлит, 2009. (Астрономия и астрофизика)*

Оглавление

Предисловие	3
Тема 1. Планеты Солнечной системы и их спутники	4
Задачи по теме 1	6
Тема 2. Орбитальное движение астероидов	16
Задачи к теме 2.	17
Тема 3. Параметры звёзд и диаграмма Герцшпрунга–Рессела	21
Задачи к теме 3	24
Список литературы для самостоятельной подготовки	31
Оглавление	1