

Содержание

1	Список принятых сокращений	2
2	Список формул, которые надо знать наизусть	2
3	Список величин, которые надо знать наизусть	2
4	Замечания	3
5	Вопросы	5
	Вариант 1	5
	Вариант 2	5
	Вариант 3	6
	Вариант 4	6
	Вариант 5	7
	Вариант 6	7
	Вариант 7	8
	Вариант 8	8
	Вариант 9	9
	Вариант 10	9
	Вариант 11	10
	Вариант 12	10
	Вариант 13	11
	Вариант 14	11
	Вариант 15	11
	Вариант 16	12
	Вариант 17	12
	Вариант 18	13
	Вариант 19	13
	Вариант 20	14
	Вариант 21	14
	Вариант 22	15
	Вариант 23	15
	Вариант 24	16
	Вариант 25	16
	Вариант 26	17
	Вариант 27	17
	Вариант 28	18
	Вариант 29	18
	Вариант 30	19
6	Ответы	20
7	Решения	21
8	Дополнительные вопросы	28

Список принятых сокращений

- 1) ГП — главная последовательность.
- 2) БК — белый карлик.
- 3) СС — Солнечная система.
- 4) Пк, кпк — парсек, килопарсек.
- 5) а.е. — астрономическая единица.
- 6) \odot — Солнце, \oplus — Земля.

Список формул, которые надо знать наизусть

$$\text{Объём шара: } V_{\text{шара}} = \frac{4}{3}\pi R^3 \quad (1)$$

$$\text{Первая космическая скорость: } v_I = \sqrt{\frac{GM}{R}} = \sqrt{gR} = \frac{v_{II}}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

$$\text{Вторая космическая скорость: } v_{II} = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{2gR} = \sqrt{2} \cdot v_I \quad (3)$$

$$\text{Ускорение свободного падения: } g = \frac{GM}{R^2} = \frac{v_I^2}{R} = \frac{v_{II}^2}{2R} \quad (4)$$

$$\text{Закон Стефана-Больцмана: } L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \quad (L \text{ — светимость [Вт], } \sigma \text{ — константа}) \quad (5)$$

Достаточно знать, что светимость (количество энергии, излучаемое за единицу времени) пропорциональна площади поверхности (т.е. квадрату радиуса) звезды и четвёртой степени температуры, чтобы сравнивать светимости звёзд: $L \sim R^2 T^4$.

Список величин, которые надо знать наизусть

- 1) Большие полуоси орбит планет, пояс астероидов и пояс Койпера.

Планета	Большая полуось, а.е.
Меркурий	0,39
Венера	0,72
Земля	1,00
Марс	1,52
Пояс астероидов	~1,5 – 3,5
Юпитер	5,20
Сатурн	9,54
Уран	19,19
Нептун	30,52
Пояс Койпера	~30 – 50

- 2) Размеры Земли, Луны, Солнца, диска Млечного пути, солнечной системы.

$$R_{\oplus} = 6371 \text{ км,}$$

$$R_{\text{л}} = 1738 \text{ км,}$$

$$R_{\odot} = 696\,000 \text{ км,}$$

$$R_{\text{МП}} = 100\,000 \text{ св. лет.}$$

Составители заданий хотят, чтобы «радиус солнечной системы» участники экзамена считали равным 40 а.е. (см пункт 3 к ответу на вопрос [13](#) на стр. [23](#)).

- 3) Средние расстояния (большие полуоси орбит) от Земли до Луны $a_{з-л} = 384\,400$ км, от Земли до Солнца $a_{з-с} = 1$ а.е. = $150\,000\,000$ км.
- 4) Скорость света $c = 3 \cdot 10^5$ км/с. Полезно знать, что расстояние от Солнца до Земли свет проходит за 8 минут, т.е. 1 а.е. = $150\,000\,000$ км = 8 св. минут. Тогда до Нептуна 30 а.е. = $30 \cdot 8$ св. мин = 240 св. мин = 4 св. часа.
- 5) Температура «поверхности» Солнца (солнечной фотосферы): $T = 5800$ К.
- 6) Первая космическая для Земли ≈ 8 км/с. У астероидов всегда $v_1 < 1$ км/с, так что если для астероида предлагают первую космическую, сравнимую с земной — этот пункт неверный.

Замечания

- 1) Документ обновлён 16 мая 2019 г. и скачан с lisakov.com/blog/ege-phys2018-astro24/ — там же могут быть доступны и новые версии.
- 2) Вопросы по астрономии из сборника за 2019 год можно найти тут: lisakov.com/blog/ege-phys2019-astro24/.
- 3) Данный документ не проверялся внимательно, так что может содержать опечатки, ошибки и некорректные утверждения. Если заметили — пожалуйста, дайте знать sergey@lisakov.com или в комментариях по ссылке выше.
- 4) Вопросы взяты (иногда с небольшими изменениями) со сборника «ФИПИ. ЕГЭ по физике–2018. 30 вариантов. Под редакцией М.Ю. Демидовой». Субъективная оценка выбора тем вопросов: спектральные классы звёзд — крайне неудачная тема. Субъективная оценка проработанности и корректности вопросов и предлагаемых ответов: низкая степень проработанности и корректности — ошибки в данных, неоднозначные ответы, плохие иллюстрации.
- 5) В кодификаторе ЕГЭ по физике–2018 есть раздел 5.4 (Элементы астрофизики) со следующими подпунктами:
 - 5.4.1 Солнечная система: планеты земной группы и планеты-гиганты, малые тела Солнечной системы.
 - 5.4.2 Звёзды: разнообразие звёздных характеристик и их закономерности. Источники энергии звёзд.
 - 5.4.3 Современные представления о происхождении и эволюции Солнца и звёзд.
 - 5.4.4 Наша Галактика. Другие галактики. Пространственные масштабы наблюдаемой Вселенной.
 - 5.4.5 Современные взгляды на строение и эволюцию Вселенной.
 В этом документе разобраны **только** те вопросы и темы, которые есть в сборнике ФИПИ, т.е. галактики и Вселенная тут не разобраны.
- 6) Так называемая Йеркская классификация по классам светимости — крайне неопределённая штука. Не очень понятно, какие именно граничные значения светимостей будут использоваться при проверке.
- 7) Температуру Солнца лучше брать 5800 К, а не округлять до 6000 К, так как спектральному классу G2 соответствует первое значение.
- 8) К вопросам 3, 4, 19, 20: в реальности наклон оси вращения Меркурия к нормали к плоскости орбиты не 28° , а близок к нулю.
- 9) К вопросам 3, 4, 19, 20: в реальности наклон оси вращения Венеры к нормали к плоскости орбиты не 3° , а 177° . Три градуса соответствуют реальному наклону оси, но неправильно описывают направление вращения Венеры вокруг своей оси.

- 10) К вопросам 3, 4, 19, 20: в реальности наклон оси вращения Юпитера к нормали к плоскости орбиты не $30^{\circ}5'$, а $3,1^{\circ}$.
- 11) К вопросам 3, 4, 19, 20: в реальности наклон оси вращения Урана к нормали к плоскости орбиты не 82° , а 98° . 82 градуса соответствуют реальному наклону оси, но неправильно описывают направление вращения Урана вокруг своей оси.
- 12) К вопросам 1, 2, 17, 18: в реальности период вращения Нептуна вокруг оси не 17 ч 15 мин, а 16 ч.
- 13) К вопросам 5, 6, 11, 12: в сборнике ФИПИ даны разные значения радиуса Капеллы — $23 R_{\odot}$ и $2,5 R_{\odot}$. На самом деле это система из четырёх звёзд с разными радиусами (от 0,5 до 12 солнечных).
- 14) К вопросу 6: Звезда Альдебаран относится к гигантам спектрального класса К, хотя в сборнике ФИПИ (вариант 6, вопрос 24) в этом пункте указан спектральный класс G. Тогда в вопросе останется только 1 правильный вариант.
- 15) К вопросам 9, 10: большая полуось орбиты Аквитании, согласно таблице, больше, чем у Цереры и Паллады, однако период обращения Аквитании меньше, что не согласуется с третьим законом Кеплера. Разница в массах такого влияния не оказывает.
- 16) К вопросам 9, 10, 25, 26: Церера перечислена в таблице с астероидами, однако этот объект с 2006 года классифицирован как карликовая планета.
- 17) К вопросам 15, 16, 29, 30: крайне сомнительная диаграмма, особенно главная последовательность (верх и низ).

Вопросы

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	4 878	87,97 суток	58,6 суток	4,25	5,43
Венера	12 104	224,7 суток	243 суток 4 часа	10,36	5,25
Земля	12 756	365,3 суток	23 часа 56 мин	11,18	5,52
Марс	6 794	687 суток	24 часа 37 мин	5,02	3,93
Юпитер	142 800	11 лет 314 суток	9 часов 55 мин	59,54	1,33
Сатурн	119 900	29 лет 168 суток	10 часов 40 мин	35,49	0,71
Уран	51 108	83 года 273 суток	17 часов 14 мин	21,29	1,24
Нептун	49 493	164 года 292 суток	17 часов 15 мин	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 $5,02 \text{ м/с}^2$.
- 5) Масса Венеры в 1,5 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	4 878	87,97 суток	58,6 суток	4,25	5,43
Венера	12 104	224,7 суток	243 суток 4 часа	10,36	5,25
Земля	12 756	365,3 суток	23 часа 56 мин	11,18	5,52
Марс	6 794	687 суток	24 часа 37 мин	5,02	3,93
Юпитер	142 800	11 лет 314 суток	9 часов 55 мин	59,54	1,33
Сатурн	119 900	29 лет 168 суток	10 часов 40 мин	35,49	0,71
Уран	51 108	83 года 273 суток	17 часов 14 мин	21,29	1,24
Нептун	49 493	164 года 292 суток	17 часов 15 мин	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 Марсе примерно равно $10,36 \text{ м/с}^2$.
- 5) Масса Марса в 2 раза меньше массы Земли.

3 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	4 878	28°	2,97	5,43
Венера	0,72	12 104	3°	7,25	5,25
Земля	1,00	12 756	23°27'	7,89	5,52
Марс	1,52	6 794	23°59'	3,55	3,93
Юпитер	5,20	142 800	30°5'	42,1	1,33
Сатурн	9,54	119 900	26°44'	25,0	0,71
Уран	19,19	51 108	82°05'	15,7	1,24
Нептун	30,52	49 493	28°48'	17,5	1,67

*1 а.е. составляет 150 млн км.

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

- 1) Ускорение свободного падения на Сатурне составляет 25,0 м/с².
- 2) На Уране смена времён 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 примерно равно 3,6 м/с².
- 5) На Марсе наблюдается смена времён года.

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/см ³
Меркурий	0,39	4 878	28°	2,97	5,43
Венера	0,72	12 104	3°	7,25	5,25
Земля	1,00	12 756	23°27'	7,89	5,52
Марс	1,52	6 794	23°59'	3,55	3,93
Юпитер	5,20	142 800	30°5'	42,1	1,33
Сатурн	9,54	119 900	26°44'	25,0	0,71
Уран	19,19	51 108	82°05'	15,7	1,24
Нептун	30,52	49 493	28°48'	17,5	1,67

*1 а.е. составляет 150 млн км.

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

- 1) Ускорение свободного падения на Уране составляет 15,7 м/с².
- 2) Ускорение свободного падения на Нептуне составляет около 12,4 м/с².
- 3) На Венере не наблюдается смена времён года.
- 4) Объём Юпитера почти в 3 раза больше объёма Нептуна.
- 5) Чем ближе планета к Солнцу, тем больше её средняя плотность.

5 Рассмотрите таблицу, содержащую сведения о ярких звёздах.

Название звезды	Температура поверхности, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Плотность по отношению к плотности воды
Альдебаран	3600	5,0	45	$5 \cdot 10^{-5}$
ε Возничего	11 000	10,2	3,5	0,33
Капелла	5200	3,3	12	$4 \cdot 10^{-4}$
Ригель	11 200	40	138	$2 \cdot 10^{-5}$
Сириус А	9250	2,1	2,0	0,36
Сириус В	8200	1	$2 \cdot 10^{-2}$	$1,75 \cdot 10^6$
Солнце	5800	1,0	1,0	1,4
α Центавра	5730	1,02	1,2	0,80

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

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

6 Рассмотрите таблицу, содержащую сведения о ярких звёздах.

Название звезды	Температура поверхности, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Плотность по отношению к плотности воды
Альдебаран	3600	5,0	45	$5 \cdot 10^{-5}$
ε Возничего	11 000	10,2	3,5	0,33
Капелла	5200	3,3	12	$4 \cdot 10^{-4}$
Ригель	11 200	40	138	$2 \cdot 10^{-5}$
Сириус А	9250	2,1	2,0	0,36
Сириус В	8200	1	$2 \cdot 10^{-2}$	$1,75 \cdot 10^6$
Солнце	5800	1,0	1,0	1,4
α Центавра	5730	1,02	1,2	0,80

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

- 1) Наше Солнце имеет максимальную массу для звёзд главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга-Рассела.
- 2) Звезда Альдебаран относится к гигантам спектрального класса К.
- 3) Звезда Сириус А относится к звёздам главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга-Рассела.
- 4) Звезда Ригель относится к белым карликам.
- 5) Звезда Сириус В относится к звёздам главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга-Рассела.

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	1737	384,4	3,35	2038	Земля
Фобос	около 12	9,38	2,20	11	Марс
Ио	1815	422,6	3,57	2560	Юпитер
Европа	1569	670,9	2,97	2040	Юпитер
Каллисто	2400	1883	1,86	2420	Юпитер
Титан	2575	1221,9	1,88	2640	Сатурн
Оберон	761	587,0	1,50	770	Уран
Тритон	1350	355,0	2,08	1450	Нептун

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

- 1) Ускорение свободного падения на Обероне равно $7,7 \text{ м/с}^2$.
- 2) Масса Луны меньше массы Ио.
- 3) Объём Титана почти в 2 раза больше объёма Тритона.
- 4) Ио находится дальше от поверхности Юпитера, чем Каллисто.
- 5) Первая космическая скорость для Тритона составляет примерно $1,03 \text{ км/с}$.

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	1737	384,4	3,35	2038	Земля
Фобос	около 12	9,38	2,20	11	Марс
Ио	1815	422,6	3,57	2560	Юпитер
Европа	1569	670,9	2,97	2040	Юпитер
Каллисто	2400	1883	1,86	2420	Юпитер
Титан	2575	1221,9	1,88	2640	Сатурн
Оберон	761	587,0	1,50	770	Уран
Тритон	1350	355,0	2,08	1450	Нептун

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

- 1) Первая космическая скорость для Оберона составляет примерно $0,54 \text{ км/с}$.
- 2) Ускорение свободного падения на Каллисто равно $24,20 \text{ м/с}^2$.
- 3) Масса Тритона меньше массы Европы.
- 4) Оберон находится на таком же расстоянии от поверхности Урана, как и Фобос — от поверхности Марса.
- 5) Объём Оберона в 2 раза меньше объёма Тритона.

9 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	2,37	3,63	0,091	$3,0 \cdot 10^{20}$
Эвномия	136	2,65	4,30	0,185	$8,3 \cdot 10^{18}$
Церера	466	2,78	4,60	0,077	$8,7 \cdot 10^{20}$
Паллада	261	2,78	4,61	0,235	$3,2 \cdot 10^{20}$
Юнона	123	2,68	4,36	0,256	$2,8 \cdot 10^{19}$
Геба	100	2,42	3,76	0,202	$1,4 \cdot 10^{19}$
Аквитания	54	2,79	4,53	0,238	$1,1 \cdot 10^{18}$

*1 а.е. составляет 150 млн км.

** Эксцентриситет орбиты определяется по формуле $e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$, где b — малая полуось, a — большая полуось орбиты. $e = 0$ — окружность, $0 < e < 1$ — эллипс.

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.

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	2,37	3,63	0,091	$3,0 \cdot 10^{20}$
Эвномия	136	2,65	4,30	0,185	$8,3 \cdot 10^{18}$
Церера	466	2,78	4,60	0,077	$8,7 \cdot 10^{20}$
Паллада	261	2,78	4,61	0,235	$3,2 \cdot 10^{20}$
Юнона	123	2,68	4,36	0,256	$2,8 \cdot 10^{19}$
Геба	100	2,42	3,76	0,202	$1,4 \cdot 10^{19}$
Аквитания	54	2,79	4,53	0,238	$1,1 \cdot 10^{18}$

*1 а.е. составляет 150 млн км.

** Эксцентриситет орбиты определяется по формуле $e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$, где b — малая полуось, a — большая полуось орбиты. $e = 0$ — окружность, $0 < e < 1$ — эллипс.

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

- 1) Вторая космическая скорость для астероида Веста составляет больше 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 сведения о ярких звёздах.

Название звезды	Температура поверхности, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Созвездие, в котором находится звезда
Капелла	5200	3	12	Возничий
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	3600	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, относятся к одному 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.

12 Рассмотрите таблицу, содержащую сведения о ярких звёздах.

Название звезды	Температура поверхности, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Созвездие, в котором находится звезда
Капелла	5200	3	12	Возничий
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	3600	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.

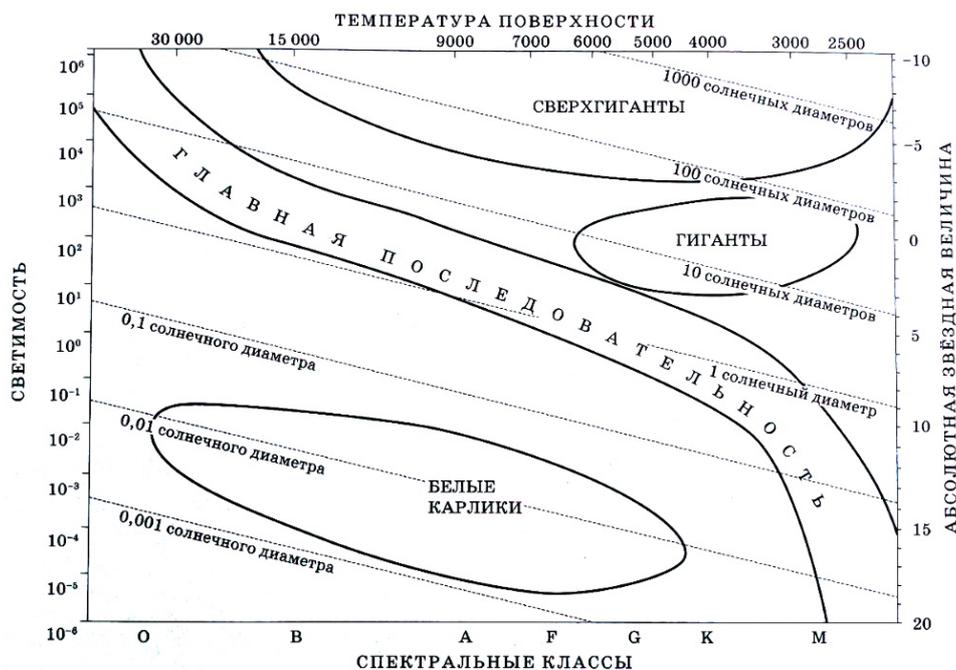
13 Выберите два верных утверждения о пространственных масштабах во Вселенной.

- 1) Расстояние от Земли до Луны 384 400 км.
- 2) Расстояние от Земли до Солнца 300 000 000 км.
- 3) Радиус Солнечной системы примерно 40 астрономических единиц.
- 4) Расстояние от Солнца до ближайшей звезды Проксима Центавра составляет 150 млрд км.
- 5) Диаметр диска Галактики составляет примерно 10 000 световых лет.

14 Выберите два верных утверждения о пространственных масштабах во Вселенной.

- 1) Расстояние от Земли до Луны 20 000 км.
- 2) Расстояние от Земли до Солнца 150 млн км.
- 3) Радиус Солнечной системы примерно 2 световых года.
- 4) Расстояние от Солнца до ближайшей звезды Проксима Центавра составляет 300 000 000 км.
- 5) Диаметр диска Галактики составляет примерно 100 000 световых лет.

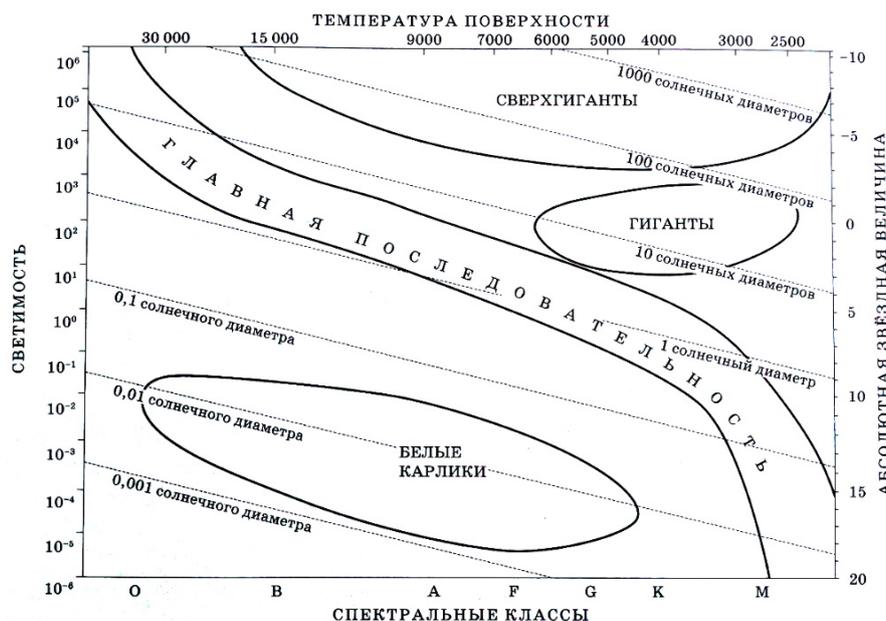
15 На рисунке представлена диаграмма Герцшпрунга – Рассела.



Выберите два утверждения о звездах, которые соответствуют диаграмме.

- 1) Температура поверхности звезд спектрального класса G в 2 раза выше температуры поверхности звезд 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 К и относится к звездам спектрального класса A.
- 5) «Жизненный цикл» звезды спектрального класса K главной последовательности более длительный, чем звезды спектрального класса B главной последовательности.

16 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 $0,02 R_{\odot}$, 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 K и относится к звёздам спектрального класса В.

17 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	4 878	87,97 суток	58,6 суток	4,25	5,43
Венера	12 104	224,7 суток	243 суток 4 часа	10,36	5,25
Земля	12 756	365,3 суток	23 часа 56 мин	11,18	5,52
Марс	6 794	687 суток	24 часа 37 мин	5,02	3,93
Юпитер	142 800	11 лет 314 суток	9 часов 55 мин	59,54	1,33
Сатурн	119 900	29 лет 168 суток	10 часов 40 мин	35,49	0,71
Уран	51 108	83 года 273 суток	17 часов 14 мин	21,29	1,24
Нептун	49 493	164 года 292 суток	17 часов 15 мин	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 $59,54 \text{ м/с}^2$.
- 4) Масса Нептуна в 10 раз меньше массы Урана.
- 5) Первая космическая скорость вблизи Венеры составляет примерно $7,33 \text{ км/с}$.

18 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	4 878	87,97 суток	58,6 суток	4,25	5,43
Венера	12 104	224,7 суток	243 суток 4 часа	10,36	5,25
Земля	12 756	365,3 суток	23 часа 56 мин	11,18	5,52
Марс	6 794	687 суток	24 часа 37 мин	5,02	3,93
Юпитер	142 800	11 лет 314 суток	9 часов 55 мин	59,54	1,33
Сатурн	119 900	29 лет 168 суток	10 часов 40 мин	35,49	0,71
Уран	51 108	83 года 273 суток	17 часов 14 мин	21,29	1,24
Нептун	49 493	164 года 292 суток	17 часов 15 мин	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.

19 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	4 878	28°	2,97	5,43
Венера	0,72	12 104	3°	7,25	5,25
Земля	1,00	12 756	23°27'	7,89	5,52
Марс	1,52	6 794	23°59'	3,55	3,93
Юпитер	5,20	142 800	30°5'	42,1	1,33
Сатурн	9,54	119 900	26°44'	25,0	0,71
Уран	19,19	51 108	82°05'	15,7	1,24
Нептун	30,52	49 493	28°48'	17,5	1,67

*1 а.е. составляет 150 млн км.

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 9,6 м/с².

20 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	4 878	28°	2,97	5,43
Венера	0,72	12 104	3°	7,25	5,25
Земля	1,00	12 756	23°27'	7,89	5,52
Марс	1,52	6 794	23°59'	3,55	3,93
Юпитер	5,20	142 800	30°5'	42,1	1,33
Сатурн	9,54	119 900	26°44'	25,0	0,71
Уран	19,19	51 108	82°05'	15,7	1,24
Нептун	30,52	49 493	28°48'	17,5	1,67

*1 а.е. составляет 150 млн км.

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

- 1) Ускорение свободного падения на Венере составляет около $8,7 \text{ м/с}^2$.
- 2) Ускорение свободного падения на Марсе составляет $3,55 \text{ м/с}^2$.
- 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.

21 Рассмотрите таблицу, содержащую сведения о ярких звёздах.

Название звезды	Температура поверхности, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Плотность по отношению к плотности воды
Альдебаран	3600	5,0	45	$5 \cdot 10^{-5}$
ε Возничего	11 000	10,2	3,5	0,33
Капелла	5200	3,3	12	$4 \cdot 10^{-4}$
Ригель	11 200	40	138	$2 \cdot 10^{-5}$
Сириус А	9250	2,1	2,0	0,36
Сириус В	8200	1	$2 \cdot 10^{-2}$	$1,75 \cdot 10^6$
Солнце	5800	1,0	1,0	1,4
α Центавра	5730	1,02	1,2	0,80

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

- 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 O.

22 Рассмотрите таблицу, содержащую сведения о ярких звёздах.

Название звезды	Температура поверхности, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Плотность по отношению к плотности воды
Альдебаран	3600	5,0	45	$5 \cdot 10^{-5}$
ϵ Возничего	11 000	10,2	3,5	0,33
Капелла	5200	3,3	12	$4 \cdot 10^{-4}$
Ригель	11 200	40	138	$2 \cdot 10^{-5}$
Сириус А	9250	2,1	2,0	0,36
Сириус В	8200	1	$2 \cdot 10^{-2}$	$1,75 \cdot 10^6$
Солнце	5800	1,0	1,0	1,4
α Центавра	5730	1,02	1,2	0,80

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

- 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 M.
- 5) Звезда α Центавра относится к звёздам главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга-Рассела.

23 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	1737	384,4	3,35	2038	Земля
Фобос	около 12	9,38	2,20	11	Марс
Ио	1815	422,6	3,57	2560	Юпитер
Европа	1569	670,9	2,97	2040	Юпитер
Каллисто	2400	1883	1,86	2420	Юпитер
Титан	2575	1221,9	1,88	2640	Сатурн
Оберон	761	587,0	1,50	770	Уран
Тритон	1350	355,0	2,08	1450	Нептун

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 145 м/с².

24 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	1737	384,4	3,35	2038	Земля
Фобос	около 12	9,38	2,20	11	Марс
Ио	1815	422,6	3,57	2560	Юпитер
Европа	1569	670,9	2,97	2040	Юпитер
Каллисто	2400	1883	1,86	2420	Юпитер
Титан	2575	1221,9	1,88	2640	Сатурн
Оберон	761	587,0	1,50	770	Уран
Тритон	1350	355,0	2,08	1450	Нептун

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

- 1) Ускорение свободного падения на Фобосе равно 11 м/с².
- 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 1,44 км/с.

25 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	2,37	3,63	0,091	$3,0 \cdot 10^{20}$
Эвномия	136	2,65	4,30	0,185	$8,3 \cdot 10^{18}$
Церера	466	2,78	4,60	0,077	$8,7 \cdot 10^{20}$
Паллада	261	2,78	4,61	0,235	$3,2 \cdot 10^{20}$
Юнона	123	2,68	4,36	0,256	$2,8 \cdot 10^{19}$
Геба	100	2,42	3,76	0,202	$1,4 \cdot 10^{19}$
Аквитания	54	2,79	4,53	0,238	$1,1 \cdot 10^{18}$

*1 а.е. составляет 150 млн км.

** Эксцентриситет орбиты определяется по формуле $e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$, где b — малая полуось, a — большая полуось орбиты. $e = 0$ — окружность, $0 < e < 1$ — эллипс.

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/м³.
- 5) Астероид Аквитания вращается по более «вытянутой» орбите, чем астероид Веста.

26 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	2,37	3,63	0,091	$3,0 \cdot 10^{20}$
Эвномия	136	2,65	4,30	0,185	$8,3 \cdot 10^{18}$
Церера	466	2,78	4,60	0,077	$8,7 \cdot 10^{20}$
Паллада	261	2,78	4,61	0,235	$3,2 \cdot 10^{20}$
Юнона	123	2,68	4,36	0,256	$2,8 \cdot 10^{19}$
Геба	100	2,42	3,76	0,202	$1,4 \cdot 10^{19}$
Аквитания	54	2,79	4,53	0,238	$1,1 \cdot 10^{18}$

*1 а.е. составляет 150 млн км.

** Эксцентриситет орбиты определяется по формуле $e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$, где b — малая полуось, a — большая полуось орбиты. $e = 0$ — окружность, $0 < e < 1$ — эллипс.

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.

27 Рассмотрите таблицу, содержащую сведения о ярких звёздах.

Название звезды	Температура поверхности, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Созвездие, в котором находится звезда
Капелла	5200	3	12	Возничий
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	3600	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.

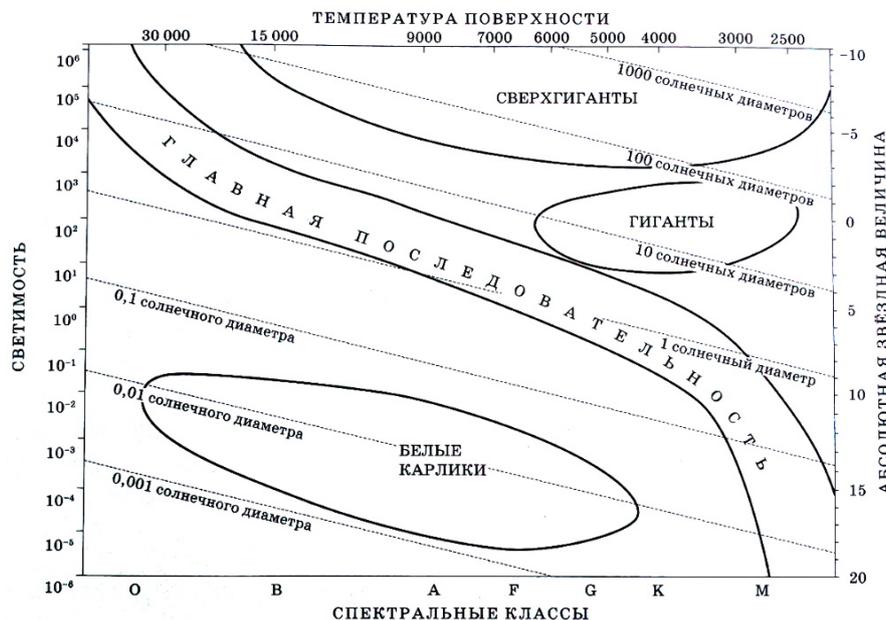
28 Рассмотрите таблицу, содержащую сведения о ярких звёздах.

Название звезды	Температура поверхности, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Созвездие, в котором находится звезда
Капелла	5200	3	12	Возничий
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	3600	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.

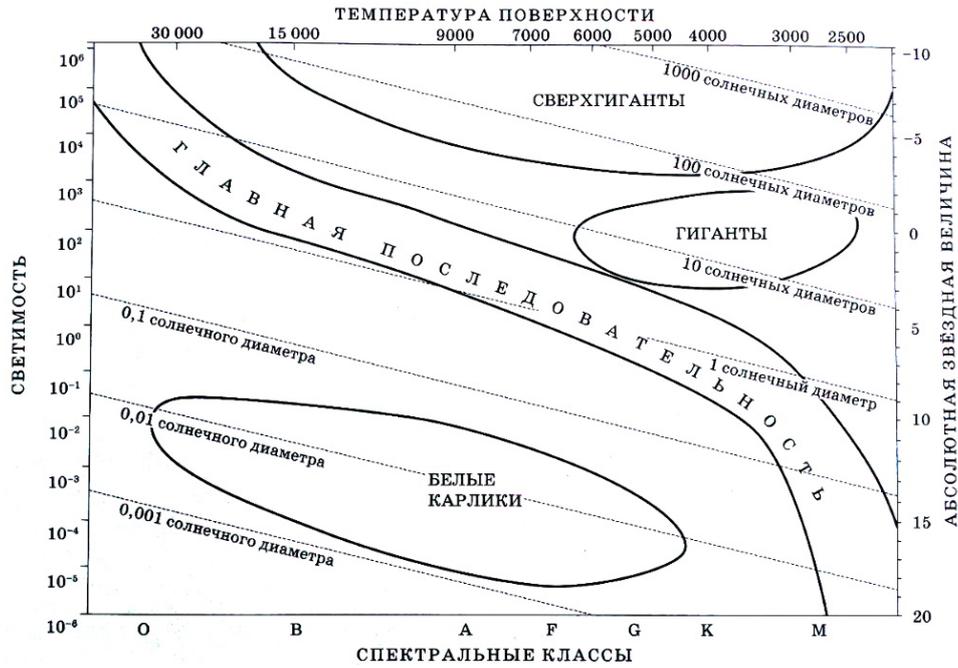
29 На рисунке представлена диаграмма Герцшпрунга – Рассела.



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

- 1) Плотность гигантов существенно меньше средней плотности звёзд главной последовательности.
- 2) Звезда Альтаир, имеющая радиус $1,9 R_{\odot}$, 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.

30 На рисунке представлена диаграмма Герцшпрунга – Рассела.



Выберите два утверждения о звёздах, которые соответствуют диаграмме.

- 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 $0,02 R_{\odot}$, 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 $1,9 R_{\odot}$, относится к звёздам главной последовательности.

ОТВЕТЫ

1	2	3
2	1	3
3	4	5
4	2	3
5	1	3
6	2	3
7	2	5
8	1	3
9	1	5
10	2	3

11	2	4
12	1	3
13	1	3
14	2	5
15	2	5
16	3	4
17	2	5
18	3	4
19	3	5
20	1	4

21	2	4
22	1	5
23	1	4
24	3	5
25	3	5
26	2	4
27	2	3
28	3	5
29	1	3
30	1	5

Решения

- 1
- 1) Неверно: $87,97 \neq 58,6$
 - 2) Верно: планетами-гигантами называют Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун. Последние две планеты иногда называют «ледяными гигантами».
 - 3) Верно: $v_I = v_{II}/\sqrt{2}$
 - 4) Неверно: $g_M = v_{II}^2/D_M \simeq 3,7 \text{ м/с}^2$
 - 5) Неверно: $M_B < M_\oplus$, т.к. $\frac{4}{3}\pi R_B^3 \cdot \rho_B < \frac{4}{3}\pi R_\oplus^3 \cdot \rho_\oplus$; $R_B^3 \rho_B < R_\oplus^3 \rho_\oplus$. Считать не надо, т.к. и $R_B < R_\oplus$, и $\rho_B < \rho_\oplus$.
- 2
- 1) Верно: $v_I = v_{II}/\sqrt{2}$
 - 2) Неверно: Уран ближе к Солнцу, чем Нептун \Leftrightarrow Уран движется *быстрее*.
 - 3) Верно: планеты земной группы — это Меркурий, Венера, Земля, Марс, тела с твёрдой поверхностью и высокой плотностью. Планетами-гигантами называют Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун. Последние две планеты иногда называют «ледяными гигантами».
 - 4) Неверно: $g_M = v_{II}^2/D_M \simeq 3,7 \text{ м/с}^2$
 - 5) Неверно: $\frac{R_3^3 \rho_3}{R_M^3 \rho_M} \neq 2$. Считать это не надо, т.к. при меньшей плотности Марс почти в два раза меньше \Leftrightarrow как минимум в $2^3 = 8$ раз легче.
- 3
- 1) Неверно: $g = v_I^2/R \simeq 10,4 \text{ м/с}^2$
 - 2) Неверно: Периодичность смены сезонов — 1 год.
 - 3) Неверно: $\frac{M_{Ю}}{M_C} = \frac{\rho_{Ю} D_{Ю}^3}{\rho_C D_C^3} \simeq 3,2$.
 - 4) Верно: $g = v_I^2/R$
 - 5) Верно: ось вращения Марса наклонена на $\sim 24^\circ$ к плоскости орбиты.
- 4
- 1) Неверно: $g = v_I^2/R \simeq 9,6 \text{ м/с}^2$
 - 2) Верно: $g = v_I^2/R$
 - 3) Верно: ось вращения Венеры почти перпендикулярна плоскости её орбиты, угол падения солнечных лучей меняется незначительно в течение года. На Венере, однако, чрезвычайно плотная атмосфера, сквозь которую солнечные лучи никогда не доходят до поверхности. Из-за сильнейшего парникового эффекта температура на поверхности планеты может достигать почти 500°C .
 - 4) Неверно: $\frac{V_{Ю}}{V_H} = \frac{D_{Ю}^3}{D_H^3} \simeq 24$ раза.
 - 5) Неверно, очевидно, плотность не меняется монотонно с расстоянием от Солнца.
- 5
- 1) Верно (Сириус В очень маленький и очень плотный).
 - 2) Неверно: к спектральному классу М относят звёзды с температурой от 2000 К до 3500 К.
 - 3) Верно (небольшой радиус при значительной массе, относительно высокая плотность. После схода с главной последовательности такая звезда увеличит свои размеры до сотен R_\odot).
 - 4) Неверно (у Альдебарана большой радиус, низкая плотность и низкая температура поверхности).
 - 5) Неверно (плотность белых карликов около 10^6 г/см^3).

- 6
- 1) Неверно: почти все звёзды, в т.ч. в десятки раз массивнее Солнца, начинают свой жизненный цикл с главной последовательности.
 - 2) Верно: Альдебаран относится к гигантам (класс светимости III) спектрального класса К (температура от 3500 К до 5000 К). Для определения класса светимости светимость Альдебарана можно сравнить с солнечной по [закону Стефана-Больцмана](#):

$$\frac{L_A}{L_\odot} = \frac{R_A^2 T_A^4}{R_\odot^2 T_\odot^4} \approx 780$$

- 3) Верно: небольшой радиус при значительной массе, относительно высокая плотность. После схода с главной последовательности такая звезда увеличит свои размеры до сотен R_\odot .
 - 4) Неверно (у Альдебарана большой радиус, низкая плотность и низкая температура поверхности).
 - 5) Неверно (плотность белых карликов около 10^6 г/см³).
- 7
- 1) Неверно: $g = v_{II}^2/D \approx 0.39$ м/с²
 - 2) Верно: $R_{\text{ио}}^3 \rho_{\text{ио}} > R_{\text{л}}^3 \rho_{\text{л}}$ (можно не считать, т.к. и радиус, и плотность у Луны меньше).
 - 3) Неверно: $\frac{V_{\text{Тиг}}}{V_{\text{Трит}}} = \frac{R_{\text{Тиг}}^3}{R_{\text{Трит}}^3} \approx 7$.
 - 4) Неверно: $422,6 < 1883$.
 - 5) Верно: $v_I = v_{II}/\sqrt{2}$

- 8
- 1) Верно: $v_I = v_{II}/\sqrt{2}$
 - 2) Неверно: $g = v_{II}^2/D \approx 1.22$ м/с²
 - 3) Верно: $R_{\text{т}}^3 \rho_{\text{т}} < R_{\text{е}}^3 \rho_{\text{е}}$ (можно не считать, т.к. и радиус, и плотность у Тритона меньше).
 - 4) Неверно: строго говоря, расстояние между спутником и планетой надо считать как радиус орбиты минус радиус спутника минус радиус планеты. Но здесь эти тонкости не нужны, т.к. Оберон значительно дальше от Урана, чем Фобос от Марса, что видно из колонки «радиус орбиты».
 - 5) Неверно: $\frac{R_{\text{т}}^3}{R_{\text{о}}^3} \approx 5,6$.

- 9
- 1) Верно: $e_{\text{т}} > e_{\text{в}}$.
 - 2) Неверно: из-за существенного различия эксцентриситета Церера и Паллада обращаются вокруг Солнца по разным эллипсам.
 - 3) Неверно: $\rho = M/V = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} \approx 2000$ кг/м³.
 - 4) Неверно: $v_I = \sqrt{\frac{GM}{R}} \approx 0,12$ км/с.
 - 5) Верно: все астероиды из таблицы находятся в главном поясе астероидов между орбитами Марса (1,5 а.е) и Юпитера (5,2 а.е.).

- 10
- 1) Неверно: $v_{II} = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \approx 0,39$ км/с.
 - 2) Верно: все астероиды из таблицы находятся в главном поясе астероидов между орбитами Марса (1,5 а.е) и Юпитера (5,2 а.е.).
 - 3) Верно: $e_{\text{ю}} > e_{\text{ц}}$.
 - 4) Неверно: то, что Геба не движется по орбите Земли, ясно из того, что большая полуось её орбиты равна 2,42 а.е. А вот представляет ли она астероидную опасность, зависит от того, пересекает она орбиту Земли или нет. Ближайшее положение Гебы к Солнцу можно найти как

$a - c = a - ae = a(1 - e) = 1,9$ а.е. (см. рис. на стр. 28), что больше большой полуоси земной орбиты, так что опасности нет.

5) Неверно: $\rho = M/V = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} \approx 2000$ кг/м³.

11

- 1) Неверно: созвездие — участок небесной сферы, расстояния до объектов из одного созвездия могут быть различны.
- 2) Верно: Денеб относится к сверхгигантам (класс светимости I). Для определения класса светимости светимость Денеба можно сравнить с солнечной по [закону Стефана-Больцмана](#):

$$\frac{L_{\text{Д}}}{L_{\odot}} = \frac{R_{\text{Д}}^2 T_{\text{Д}}^4}{R_{\odot}^2 T_{\odot}^4} \approx 2 \cdot 10^5$$

- 3) Неверно: принадлежность к спектральному классу определяется температурой, а не массой.
- 4) Верно: Бетельгейзе имеет температуру 3100 К, что попадает в диапазон температур спектрального класса М (2000 К – 3500 К). Цвет таких звёзд — красный.
- 5) Неверно: температура Солнца 5800 К, т.е. ниже, чем у Ригеля.

12

- 1) Верно: Садр имеет температуру 6500 К, что попадает в диапазон температур спектрального класса F (6000 К – 7000 К). Цвет таких звёзд — бело-жёлтый.
- 2) Неверно: созвездие — участок небесной сферы, расстояния объектов из одного созвездия могут быть различны.
- 3) Верно: Бетельгейзе относится к сверхгигантам (класс светимости I). Для определения класса светимости Бетельгейзе можно сравнить с Солнцем по [закону Стефана-Больцмана](#):

$$\frac{L_{\text{Б}}}{L_{\odot}} = \frac{R_{\text{Б}}^2 T_{\text{Б}}^4}{R_{\odot}^2 T_{\odot}^4} \approx 2,7 \cdot 10^4$$

- 4) Неверно: принадлежность к спектральному классу определяется температурой, а не размером.
- 5) Неверно: температура Солнца 5800 К.

13

- 1) Верно: большая полуось Лунной орбиты равна 384 400 км (расстояние между центрами Земли и Луны меняется от 362 до 405 тыс. км.)
- 2) Неверно: расстояние от Земли до Солнца равно 1 а.е. = 150 млн км.
- 3) Верно (по мнению составителей теста). Непонятно, что такое «радиус Солнечной системы». Иногда говорят, что границей СС является гелиопауза (75–90 а.е.). Иногда в качестве границы называют радиус сферы Хилла (около 2 св. лет), где гравитационное влияние Солнца сильнее влияния других звёзд. Что любопытно, именно такой вариант (2 св. года) считается неправильным в вопросе номер 14. Крайне неудачный вопрос.
- 4) Неверно: расстояние от Солнца до Проксимы Центавра составляет 4,2 св. года $\approx 4 \cdot 10^{13}$ км.
- 5) Неверно: диаметр диска Галактики составляет примерно 100 000 световых лет (≈ 30 кпк).

14

- 1) Неверно: большая полуось Лунной орбиты равна 384 400 км (расстояние между центрами Земли и Луны меняется от 362 до 405 тыс. км.)
- 2) Верно: большая полуось земной орбиты равна 1 а.е. = 150 млн км.
- 3) Неверно (по мнению составителей теста): 2 св. года ≈ 126 000 а.е., а радиус Солнечной системы, по мнению составителей теста, равен 40 а.е. Иногда, однако, в качестве границы СС называют радиус сферы Хилла, который как раз составляет около 2 св. лет — до этого расстояния гравитационное влияние Солнца сильнее влияния других звёзд. Крайне неудачный вопрос.

- 4) Неверно: расстояние от Солнца до Проксимы Центавра составляет 4,2 св. года $\approx 4 \cdot 10^{13}$ км.
- 5) Верно: диаметр диска Галактики (если слово галактика пишут с большой буквы, то имеют в виду нашу галактику Млечный Путь) составляет примерно 100 000 световых лет (≈ 30 кпк).

15

- 1) Неверно: к спектральному классу G относят звёзды с температурой 5–6 тыс К, а звёзды класса A имеют температуру 7–10 тыс К.
- 2) Верно: Бетельгейзе — сверхгигант. Формулировка, однако, не вполне корректная. Бетельгейзе сверхгигант не потому, что радиус в 1000 раз больше, чем у Солнца, а из-за светимости, т.к. сверхгигант — это класс светимости. В понятии «сверхгигант» нет прямого указания на размер. Кроме того, в вопросах 11, 12, 26 и 27, радиус Бетельгейзе указан как $900 R_{\odot}$.
- 3) Неверно: БК, будучи проэволюционировавшими ядрами звёзд, значительно плотнее обычных звёзд, в недрах которых ещё идут термоядерные реакции.
- 4) Неверно: звёзды класса A имеют температуру 7–10 тыс К. Температуре 3300 К соответствует красноватый цвет и спектральный класс M.
- 5) Верно: чем больше масса звезды, тем быстрее она сжигает своё топливо. K-звёзды находятся в нижней части ГП, тогда как B-звёзды — в верхней. Светимость на стадии ГП зависит преимущественно от массы звезды, из чего можно заключить, что K-звёзды малой светимости менее массивны, чем яркие B-звёзды.

16

- 1) Неверно: БК, будучи проэволюционировавшими ядрами звёзд, значительно плотнее обычных звёзд, в недрах которых ещё идут термоядерные реакции.
- 2) Неверно: в последовательности O B A F G K M температура монотонно падает от O до M.
- 3) Верно: Сириус B — БК, что ясно из его малого размера. В вопросе, однако, даны линии равного размера, причём линия, соответствующая $0,02 R_{\odot}$, проходит и через зону БК, и через ГП, так что предоставленных данных недостаточно. На самом же деле звёзд главной последовательности такого малого радиуса, по-видимому, не бывает.
- 4) Верно: чем больше масса звезды, тем быстрее она сжигает своё топливо. G-звёзды находятся в средней части ГП, тогда как O-звёзды — в верхней. Светимость на стадии ГП зависит преимущественно от массы звезды, из чего можно заключить, что G-звёзды малой светимости менее массивны, чем яркие O-звёзды.
- 5) Неверно: звёзды класса B имеют температуру 10–28 тыс К. Температуре 4100 К соответствует оранжевый цвет и спектральный класс K.

17

- 1) Неверно: периоды вращения вокруг оси у Земли и Марса не отличаются в 2 раза.
- 2) Верно: поделив $687 \cdot 24$ часа на $24 \frac{37}{60}$ часа, получим примерно 669,8. *Примечание: таким образом мы получим количество звёздных суток в марсианском году. Если бы речь шла о солнечных сутках (чего из вопроса понять нельзя), необходимо было бы воспользоваться формулой $\frac{1}{S} = \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}$, где S — период обращения Марса вокруг Солнца, T_1 — звёздные сутки на Марсе (они и даны в таблице: 24 часа 37 мин), T_2 — солнечные сутки на Марсе. Вычислим отсюда продолжительность солнечных суток ($T_2 = \frac{ST_1}{S-T_1} = 24$ ч 39 мин). Поделив уже на этот период $687 \cdot 24$ часа, получим ответ 668,8 — столько марсианских солнечных суток будет в одном марсианском году. Можно обойтись и без таких вычислений: поскольку направления вращения и обращения у Марса совпадают, то в одном марсианском году звёздных суток будет ровно на одни больше, чем солнечных — так же, как и у Земли.*
- 3) Неверно: $g_{\text{ю}} = v_{\text{II}}^2 / D = 24,82 \text{ м/с}^2$
- 4) Неверно: $\frac{R_{\text{H}}^3 \rho_{\text{H}}}{R_{\text{Y}}^3 \rho_{\text{Y}}} \neq 10$.
Считать это не надо, т.к. видно, что плотности и размеры планет отличаются незначительно.
- 5) Верно: $v_1 = v_{\text{II}} / \sqrt{2}$.

18

- 1) Неверно: из третьего закона Кеплера следует, что $\frac{v_{ю}}{v_c} = \sqrt[3]{\frac{T_c}{T_{ю}}} \approx 1,4$ (см. вывод на стр. 29).
- 2) Неверно: $\frac{R_{ю}^3 \rho_{ю}}{R_{y}^3 \rho_{y}} = 24 \neq 3$.
- 3) Верно: $v_1 = v_{II} / \sqrt{2}$.
- 4) Верно: поделив $(11 \cdot 365,25 + 314)$ на $224,7$, получим $19,3$.
- 5) Неверно: $g_H = v_{II}^2 / D = 11,36 \text{ м/с}^2$.

19

- 1) Неверно: $g_{ю} = v_1^2 / R = 24,8 \text{ м/с}^2$.
- 2) Неверно: у Сатурна заметный наклон оси вращения к плоскости орбиты.
- 3) Верно: $1,52 \text{ а.е.} = 1,52 \cdot 150 \cdot 10^6 \text{ км} = 228 \text{ млн км}$.
- 4) Неверно: у Сатурна плотность в 8 раз меньше земной, зато объём более чем в 1000 раз больше, т.е. Сатурн массивнее Земли.
- 5) Верно: $g_y = v_1^2 / R = 9,6 \text{ м/с}^2$ (на самом деле для Урана $v_1 = 15,06 \text{ км/с}$, тогда $g_y = 8,7 \text{ м/с}^2$).

20

- 1) Верно: $g_B = v_1^2 / R = 8,7 \text{ м/с}^2$.
- 2) Неверно: $g_M = v_1^2 / R = 3,7 \text{ м/с}^2$.
- 3) Неверно: $0,39 \text{ а.е.} = 0,39 \cdot 150 \cdot 10^6 \text{ км} = 58,5 \text{ млн км}$.
- 4) Верно: $0,72 \text{ а.е.} = 0,72 \cdot 150 \cdot 10^6 \text{ км} = 108 \text{ млн км}$.
- 5) Неверно (см. таблицу).

21

- 1) Неверно: у Альдебарана большой радиус и маленькая плотность, т.е. он уже сошёл с ГП.
- 2) Верно: Солнце жёлтый карлик, находящийся на ГП.
- 3) Неверно: Сириус В — БК, т.к. очень маленький и очень плотный.
- 4) Верно: к классу G относят звёзды с температурой 5–6 тыс. К, а из размера и плотности Капеллы видно, что это гигант.
- 5) Неверно: к спектральному классу O относят звёзды с температурой выше 28 тыс. К.

22

- 1) Верно: к классу В относят звёзды с температурой 10–28 тыс. К, а большой размер и малая плотность говорят о том, что Ригель сошёл с ГП и является сверхгигантом. Для определения класса светимости светимость Ригеля можно сравнить с солнечной по [закону Стефана-Больцмана](#):

$$\frac{L_P}{L_{\odot}} = \frac{R_P^2 T_P^4}{R_{\odot}^2 T_{\odot}^4} \approx 264\,000$$

- 2) Неверно: плотность БК около 10^6 г/см^3 .
- 3) Неверно: к классу G относят звёзды с температурой 5–6 тыс. К.
- 4) Неверно: к классу M относят звёзды с температурой 2–3,5 тыс. К.
- 5) Верно: α Центавра — жёлтый карлик, находящийся на ГП.

23

- 1) Верно: $v_1 = v_{II} / \sqrt{2}$.
- 2) Неверно: радиус Земли равен 6371 км.
- 3) Неверно: см., например, Титан–Оберон–Тритон.
- 4) Верно: $R_{ио}^3 \rho_{ио} > R_{л}^3 \rho_{л}$ (можно не считать, т.к. и радиус, и плотность у Луны меньше).
- 5) Неверно: $g_{тр} = GM/R^2 = G \cdot \frac{4}{3}\pi R \cdot \rho = 0,8 \text{ м/с}^2$ (предложенное значение g в 15 раз больше земного, а на всех спутниках в СС g меньше земного).

- 24
- 1) Неверно: $g_{\text{Ф}} = GM/R^2 = G \cdot \frac{4}{3}\pi R \cdot \rho = 0,007 \text{ м/с}^2$ (предложенное значение g больше земного, а на всех спутниках в СС g меньше земного, тем более на мелком Фобосе).
 - 2) Неверно: для Земли $v_{\text{П}} \approx 11,2 \text{ км/с}$ (в тысячу раз больше).
 - 3) Верно: $R_{\text{К}}^3 \rho_{\text{К}} > R_{\text{Т}}^3 \rho_{\text{Т}}$ (можно не считать, т.к. и радиус, и плотность у Каллисто меньше).
 - 4) Неверно: см., например, Титан–Оберон–Тритон.
 - 5) Верно: $v_{\text{I}} = v_{\text{П}}/\sqrt{2}$.

- 25
- 1) Неверно: все астероиды из таблицы находятся в главном поясе астероидов между орбитами Марса (1,5 а.е.) и Юпитера (5,2 а.е.).
 - 2) Неверно: по третьему закону Кеплера $a \sim T^{2/3}$.
 - 3) Верно: все астероиды из таблицы находятся в главном поясе астероидов между орбитами Марса (1,5 а.е.) и Юпитера (5,2 а.е.).
 - 4) Неверно: $\rho = M/V = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} \approx 788 \text{ кг/м}^3$.
 - 5) Верно: $e_{\text{А}} > e_{\text{В}}$.

- 26
- 1) Неверно: $\rho = M/V = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} \approx 3340 \text{ кг/м}^3$.
 - 2) Верно: все астероиды из таблицы находятся в главном поясе астероидов между орбитами Марса (1.5 а.е.) и Юпитера (5.2 а.е.).
 - 3) Неверно: все астероиды из таблицы находятся в главном поясе астероидов между орбитами Марса (1.5 а.е.) и Юпитера (5.2 а.е.). Большая полуось орбиты Венеры — 0,7 а.е., Земли — 1 а.е.
 - 4) Верно: $e_{\text{П}} > e_{\text{Ц}}$.
 - 5) Неверно: из-за существенного различия эксцентриситета Церера и Паллада обращаются вокруг Солнца по разным эллипсам.

- 27
- 1) Неверно: $T_{\odot} = 5800 \text{ К}$.
 - 2) Верно: к спектральному классу В относят звёзды с температурой 10–28 тыс К, цвет таких звёзд бело-голубой.
 - 3) Верно: Садр относится к сверхгигантам (класс светимости I). Для определения класса светимости светимость Садра можно сравнить с солнечной по [закону Стефана-Больцмана](#):

$$\frac{L_{\text{с}}}{L_{\odot}} = \frac{R_{\text{с}}^2 T_{\text{с}}^4}{R_{\odot}^2 T_{\odot}^4} \approx 10^5$$

- 4) Неверно: созвездие — участок небесной сферы, расстояния объектов из одного созвездия могут быть различны.
 - 5) Неверно: принадлежность к спектральному классу определяется температурой, а не массой.
- 28
- 1) Неверно: созвездие — участок небесной сферы, расстояния объектов из одного созвездия могут быть различны.
 - 2) Неверно: $T_{\odot} = 5800 \text{ К}$.
 - 3) Верно: к спектральному классу В относят звёзды с температурой 10–28 тыс К, цвет таких звёзд бело-голубой.
 - 4) Неверно: принадлежность к спектральному классу определяется температурой, а не размером.
 - 5) Верно: для определения класса светимости светимость Ригеля можно сравнить с солнечной по [закону Стефана-Больцмана](#):

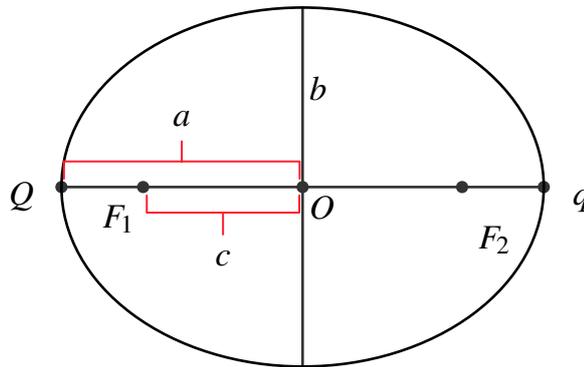
$$\frac{L_{\text{Р}}}{L_{\odot}} = \frac{R_{\text{Р}}^2 T_{\text{Р}}^4}{R_{\odot}^2 T_{\odot}^4} \approx 264\,000$$

- 29**
- 1) Верно: при сходе с ГП размер звезды значительно увеличивается, т.е. плотность уменьшается.
 - 2) Неверно: Альтаир — звезда, находящаяся на ГП.
 - 3) Верно: звёзды класса А имеют температуру 7–10 тыс К, а звёзды класса М 2–3,5 тыс К.
 - 4) Неверно: такие большие звёзды, как Бетельгейзе, являются сверхгигантами.
 - 5) Неверно: чем больше масса звезды, тем быстрее она сжигает своё топливо. G-звёзды находятся в средней части ГП, тогда как В-звёзды — в верхней. Светимость на стадии ГП зависит преимущественно от массы звезды, из чего можно заключить, что G-звёзды малой светимости менее массивны, чем яркие В-звёзды.
- 30**
- 1) Верно: БК, будучи проэволюционировавшими ядрами звёзд, значительно плотнее обычных звёзд, в недрах которых ещё идут термоядерные реакции.
 - 2) Неверно: чем больше масса звезды, тем быстрее она сжигает своё топливо. М-звёзды находятся в нижней части ГП, тогда как О-звёзды — в верхней. Светимость на стадии ГП зависит преимущественно от массы звезды, из чего можно заключить, что М-звёзды малой светимости менее массивны, чем яркие О-звёзды.
 - 3) Неверно: Сириус В — БК, что видно из его размера.
 - 4) Неверно: звёзды класса К имеют температуру 3,5–5 тыс К, а звёзды класса В 10–28 тыс К.
 - 5) Верно: Альтаир — звезда, находящаяся на ГП.

Дополнительные вопросы

Вопросы придуманы составителем этого документа на основе сборника ФИПИ: ЕГЭ по физике 2018.

- 1) Планеты земной группы, планеты-гиганты, порядок планет по удалению от Солнца.
Земной группы: Меркурий, Венера, Земля, Марс.
Планеты-гиганты: Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун. Последние две планеты называют «ледяными гигантами».
Порядок планет: Мы Все Знаем, Мама Юли Села Утром На Пилюли (Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун).
- 2) Самая тяжёлая/лёгкая, большая/маленькая, близкая/далёкая к Солнцу планеты в СС.
Юпитер/Меркурий, Юпитер/Меркурий, Меркурий/Нептун.
- 3) Из-за чего происходит смена времён года?
Наклон оси вращения планеты к плоскости орбиты планеты.
- 4) Нарисуйте эллипс, обозначьте и назовите $a, b, c, e, q, Q, F_1, F_2$.



a — большая полуось, b — малая полуось, c — фокусное расстояние, F — фокусы, Q — перигелий (перигелий, если в F_1 Солнце), q — апоцентр (афелий), $e = \frac{c}{a} = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$ — эксцентриситет эллипса ($0 < e < 1$).

- 5) Сформулируйте третий закон Кеплера.

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 \frac{M_1 + m_1}{M_2 + m_2} = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3$$

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 a^3}{GM}}$$

- 6) Вокруг одной звезды вращаются две планеты. Известны большие полуоси орбит планет a_1 и a_2 . Найти v_1/v_2 .

$$v \sim \frac{a}{T} = \frac{a}{a^{3/2}} = a^{-1/2} = \frac{1}{\sqrt{a}}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{a_2}{a_1}}$$

- 7) Вокруг одной звезды вращаются две планеты. Известны периоды обращения планет вокруг звезды T_1 и T_2 . Найти v_1/v_2 .

$$v \sim \frac{a}{T} = \frac{T^{2/3}}{T} = T^{-1/3} = \frac{1}{\sqrt[3]{T}}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt[3]{\frac{T_2}{T_1}}$$

- 8) Звезда с температурой поверхности 9900 К — скорее звезда спектрального класса А0 или А9?
Спектральный класс А соответствует диапазону температур от 7 до 10 тыс. К. А0 горячее, чем А9, поэтому это звезда класса А0.
- 9) Могут ли звёзды одного радиуса иметь разные массы? Приведите пример.
Да, звёзды в результате эволюции могут значительно увеличивать свой размер, почти не меняя при этом массу.
- 10) Могут ли звёзды одной массы иметь разные спектральные классы?
Да, спектральный класс определяется только температурой поверхности.
- 11) Могут ли звёзды одного радиуса иметь разные спектральные классы? Приведите пример.
Да, спектральный класс определяется только температурой поверхности.
- 12) Что такое созвездие? Могут ли звёзды, находящиеся в разных созвездиях, быть на одинаковом расстоянии от Земли?
Созвездие — участок небесной сферы. Могут.
- 13) Зависимость времени жизни звезды от массы.
Чем больше масса, тем меньше живёт звезда.
- 14) Спектральные классы (названия, температура, цвет, для Солнца).

Класс	Цвет	T, 10 ³ К
О	Голубой	>28
В	Бело-голубой	28–10
А	Белый	10–7
F	Бело-жёлтый	7–6
G	Жёлтый	6–5
К	Оранжевый	5–3,5
М	Оранжево-красный	3,5–2

$T_{B1} > T_{B2} > T_{A1}$. Сп. класс Солнца — G2, иногда пишут G2V, чтобы указать, что класс светимости Солнца — карлик (см. ниже доп. вопрос №15).

- 15) Классы светимости. Значения примерные.

Класс	Название	Абс. зв. величина	L/L_{\odot}
I	Сверхгиганты	–4,7..–10	6300
II	Яркие гиганты	–2,2	630
III	Гиганты	+1,2	28
IV	Субгиганты	+2,7	7
V	Карлики	+4	2
VI	Субкарлики	+5–6	0,5
VII	Белые карлики	+13–15	$5 \cdot 10^{-5}$

- 16) Типичные значения плотности и размера БК.
 $\rho \approx 10^6 \text{ г/см}^3$, $R \approx 0.01 R_{\odot}$.
- 17) Что горячее — сверхгигант класса M2I или красный карлик M2V?
Их температуры одинаковы.