

## Элементы астрофизики на ЕГЭ-2020

Данный материал будет полезен сдающим ЕГЭ по физике в 2020 году. Здесь собрана информация, необходимая для решения задачи 24. Максимум за нее можно получить 2 первичных очка, что соответствует 4 итоговым баллам (при результате > 60). В этом году могут попасться две темы: солнечная система и звезды; галактик не будет.

### Справочные материалы (будут доступны на экзамене):

ускорение свободного падения на Земле	$g = 10 \text{ м/с}^2$
гравитационная постоянная	$G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$
1 астрономическая единица	1 а.е. $\approx 150\,000\,000 \text{ км}$
1 световой год	1 св. год $\approx 9,46 \cdot 10^{15} \text{ м}$
1 парсек	1 пк $\approx 3,26 \text{ св. года}$
средний радиус Земли	$R_{\oplus} = 6370 \text{ км}$
радиус Солнца	$R_{\odot} = 6,96 \cdot 10^8 \text{ м}$
температура поверхности Солнца	$T = 6000 \text{ К}$

$\odot$  – обозначение Солнца,  $\oplus$  – обозначение Земли.

### **Солнечная система**

Солнце – центральная (и единственная) звезда солнечной системы. Общая масса солнечной системы равна  $M_{\odot} \sim 2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$ . Масса Солнца составляет ~99,9% от массы всей солнечной системы.

#### Обозначения в формулах:

$v_{1к}$  – первая космическая скорость

$v_{2к}$  – вторая космическая скорость

$g_0$  – ускорение свободного падения на поверхности тела (обычно планета или астероид)

$R$  – радиус тела (иногда средний радиус)

$D$  – диаметр тела (обычно пишут "в районе экватора")

$M$  – масса тела

$\rho$  – плотность тела

$V$  – объем тела

$\omega$  – угловая скорость орбитального движения

$T$  – период орбитального вращения (время одного оборота вокруг Солнца)

$G$  – гравитационная постоянная (см. выше)

Формулы (нужно знать или уметь выводить):

$$v_{1к} = \sqrt{g_0 R} = \sqrt{\frac{GM}{R}} = \frac{v_{2к}}{\sqrt{2}}$$

$$g_0 = \frac{v_{1к}^2}{R} = \frac{v_{1к}^2}{0,5D} = \frac{GM}{R^2} = \frac{GM}{(0,5D)^2}$$

$$v_{2к} = \sqrt{2g_0 R} = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{2} \cdot v_{1к}$$

$$M = \rho V; \quad V = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{\pi}{6} D^3$$

Отношение объемов:  $\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^3 = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3$

Отношение масс:  $\frac{M_1}{M_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \cdot \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^3 = \frac{\rho_1}{\rho_2} \cdot \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3$

$\omega = \frac{2\pi}{T}$  – чем больше период обращения, тем меньше угловая скорость.

При удалении от Солнца период растет, а угловая скорость уменьшается.

Внимательно изучите эту таблицу (ниже): нужно хотя бы примерно представлять себе размеры планет, их массы, радиусы орбит и количество спутников.

Основные характеристики планет Солнечной системы представлены в таблице:

Планета	Диаметр, в диаметрах Земли	Масса, в массах Земли	Радиус орбиты, а. е.	Период обращения, земных лет	Количество спутников
Меркурий	0,382	0,055	0,38	0,241	0
Венера	0,949	0,815	0,72	0,615	0
Земля	1,0	1,0	1,0	1,0	1
Марс	0,53	0,107	1,52	1,88	2
Юпитер	11,2	318	5,20	11,86	69
Сатурн	9,41	95	9,54	29,46	62
Уран	3,98	14,6	19,22	84,01	27
Нептун	3,81	17,2	30,06	164,79	14

Одна астрономическая единица (1 а.е.) – длина большой полуоси Земли (попростому – радиус орбиты Земли, примерно). Для перевода из астрономических единиц в километры необходимо умножить расстояние, выраженное в а.е., на 150 млн км.

Между марсом и Юпитером находится пояс астероидов – примерно 2,2–3,6 а.е. от Солнца. Если у астероида или иного тела (например, Церера – карликовая планета) радиус орбиты (или большая полуось) находится в этом диапазоне, то он принадлежит поясу астероидов.

За орбитой Нептуна находится пояс Койпера – примерно 30–50 а.е. от Солнца. К нему относится Плутон, который с 2006 года перестал считаться планетой.

Сезонность на планетах обусловлена наклоном оси вращения вокруг своей оси по отношению к нормали к плоскости орбиты (а не приближением и удалением от Солнца). Есть у всех планет, кроме Меркурия (угол наклона оси ~ 2'). У остальных планет смена времен года происходит один раз за одно обращение вокруг Солнца.

Почти все планеты вращаются вокруг своей оси в ту же сторону, что и вокруг Солнца. У Венеры ретроградное вращение – в обратную сторону по отношению к вращению всех планет вокруг Солнца. Угол наклона оси вращения Урана ~ 98°, он как бы "лежит на боку".

Эксцентриситет – характеристика орбиты, показывающая ее "вытянутость".

$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}, \quad a - \text{большая полуось орбиты, } b - \text{малая полуось.}$$

Чем больше эксцентриситет, тем более вытянута орбита; чем ближе этот параметр к нулю, тем ближе орбита к окружности.

Типичные ловушки:

- Предлагаемое ускорение свободного падения численно совпадает с первой или второй космической скоростью – скорее всего, это неверный ответ.
- Предложенное в ответе значение  $v_{1к}$  получается умножением  $v_{2к}$  на  $\sqrt{2}$ , а не делением, и наоборот – значение  $v_{2к}$  получается делением  $v_{1к}$  на  $\sqrt{2}$ , это неверные варианты, будьте внимательны.
- Первая или вторая космическая скорость сравнивается со скоростью, выраженной в км/с, при вычислениях в СИ значение получается больше, но оно выражено в м/с (например, вариант ответа: "Первая космическая скорость для спутника астероида Геба составляет более 8 км/с", при расчете получится величина 97 м/с, но это меньше, чем 8 км/с).
- Совпадения радиусов орбит или полуосей не свидетельствует о том, что тела движутся по одной орбите друг за другом.

## Звезды. Их эволюция и характеристики.

Эту таблицу нужно поучить (без примеров), хотя бы понимать порядок и крайние значения.

По температуре, цвету и виду спектра все звёзды можно разделить на **спектральные классы**, которые обозначили буквами O, B, A, F, G, K, M.

Класс	Температура, К	Цвет	Примеры
O	30 000–60 000	голубой	Кси Персея
B	10 000–30 000	бело-голубой	Ригель
A	7500–10 000	белый	Сириус
F	6000–7500	жёлто-белый	Процион
G	5000–6000	жёлтый	Солнце
K	3500–5000	оранжевый	Альдебаран
M	2000–3500	красный	Бетельгейзе

Звезды также разделяют на другие категории, связанные со светимостью (энергия, излучаемая всей поверхностью за 1 с), температурой поверхности и размером.

Вот основные группы:

Главная последовательность:

- ~90% звезд, в том числе Солнце;
- плотность сравнима с плотностью Солнца и воды,  $\rho \sim \rho_{\odot} \sim \rho_{\text{воды}}$ .

Красные гиганты:

- Звезды красного цвета;
- Размер в десятки раз превышает размер Солнца,  $R \sim 10 \div 100R_{\odot}$ .

Сверхгиганты:

- Размер в сотни раз превышает размер Солнца,  $R > 100R_{\odot}$ ;
- Плотность намного меньше плотности воды,  $\rho \ll \rho_{\text{воды}}$
- Масса обычно в несколько раз больше массы Солнца.

Белые карлики:

- Размер примерно равен размеру Земли и в сотни раз меньше размера Солнца,  $R \sim R_{\oplus} \sim 0,01R_{\odot}$ ;
- Плотность намного больше плотности воды,  $\rho \gg \rho_{\text{воды}}$
- Масса примерно равна массе Солнца,  $M \sim M_{\odot}$ .

### Нужно знать про Солнце:

- Относится к спектральному классу  $G$ ;
- Принадлежит к звездам главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга-Рассела;
- Имеет температуру поверхности  $T_{\odot} \sim 6000K$ , в недрах миллионы  $K$ .
- Средняя плотность примерно равна плотности воды,  $\rho_{\odot} = 1,4\rho_{\text{воды}}$

Более тяжелые звезды (имеют бóльшую светимость) раньше сходят с главной последовательности!

Если спрашивают о принадлежности звезды к классу  $G$ , то следует сравнить ее параметры с Солнцем – примерно должны совпадать: радиус и масса по порядку, температура  $5000\text{--}6000 K$ .

Есть вопросы насчет длительности жизненного цикла звезды – чем горячее, тем короче жизненный цикл (речь, конечно, про оставшийся). Обычно задаются спектральные классы сравниваемых звезд, соотношение температур их поверхностей можно увидеть на диаграмме Герцшпрунга-Рассела (если дана), но лучше помнить порядок.

Принадлежность звезд к одному созвездию практически ни о чем не говорит (в научном смысле – соотношения расстояний, размеров, классов и т.д.). Для понимания этого достаточно уразуметь, что подобная категоричность возникла у древних людей, смотрящих в небо безо всякого понимания о строении вселенной, и пытающихся хоть как-то систематизировать свой визуальный опыт, описывая его привычными бытовыми формами.

Будьте внимательны к размерности, всё подставляйте в СИ, и получите в СИ (за исключением отношений – при соотношении величин одинаковых размерностей единицы можно не переводить – например, отношение диаметров можно брать в км);

*При подготовке материала (в т.ч. таблицы) использовалось учебно-методическое пособие "Физика ЕГЭ 2018, элементы астрофизики, задание 24", автор Г.С.Безуглова. Данное пособие рекомендую для более детального ознакомления с темой .*

Материал подготовил: Алтухов Д.А., Москва, 2020.