

11 класс, Экспресс-подготовка к ЕГЭ по физике

Набор задач для самостоятельного решения по занятию 10.

Темы: основы СТО, квантовая физика, элементы астрофизики.

Задача 1 (1 балл) [квант энергии, фотон]

Детектор поглощает свет с длиной волны 330 нм. Поглощаемая мощность составляет 3 нВт. Какое количество фотонов поглощает детектор за 2 секунды? Ответ дайте в миллиардах штук.

Подсказка 1: Энергия одного фотона, согласно формуле Планка, равна

$$E_1 = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \approx 6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

Подсказка 2: Число фотонов можно найти как отношение поглощенной энергии к энергии одного фотона.

Решение:

Энергия одного фотона, согласно формуле Планка, равна $E_1 = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \approx 6 \cdot 10^{-19}$ Дж. Число

фотонов можно найти как отношение поглощенной энергии к энергии одного фотона:

$$N = \frac{P \cdot t}{E_1} = \frac{P \cdot t \cdot \lambda}{hc} \approx 10^{10}, \text{ то есть } 10 \text{ миллиардов.}$$

Ответ: 10.

Задача 2 (2 балла) [квант энергии, фотон, тепловой баланс]

Излучением лазера с длиной волны $\lambda = 660$ нм был за время $\tau \approx 5 \cdot 10^3$ с расплавлен кусок льда массой $m = 400$ г с начальной температурой 0°C , и образовавшаяся вода была нагрета до 100°C . Известно, что за это в время лед и вода в среднем поглощали 40% энергии излучения. Сколько фотонов испускает в секунду этот лазер? Постоянная Планка $h \approx 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, скорость света в вакууме $c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с, удельная теплота плавления льда $L \approx 330$ кДж/кг, удельная теплоемкость воды $C_B \approx 4,2$ кДж/(кг·°C). Значение искомой величины приведите к виду $N \cdot 10^{20} \text{ с}^{-1}$, и в ответе укажите N , округлив до ближайшего целого значения.

Подсказка 1: Энергия одного фотона, согласно формуле Планка, равна

$$E_1 = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \approx 3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

Подсказка 2: Поглощенная льдом и водой за время τ энергия $Q = 0,4E_1 \cdot N \cdot 10^{20} \text{ с}^{-1} \cdot \tau \approx 60N$ кДж.

Решение:

Энергия одного фотона, согласно формуле Планка, равна $E_1 = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \approx 3 \cdot 10^{-19}$ Дж. Таким

образом, поглощенная льдом и водой за время τ энергия $Q = 0,4E_1 \cdot N \cdot 10^{20} \text{ с}^{-1} \cdot \tau \approx 60N$ кДж, и она пошла на плавление льда и нагрев воды. Составим уравнение теплового баланса: $60N$ кДж = $m(L + C_B \Delta t) \approx 300$ кДж, откуда $N \approx 5$.

Ответ: 5.

Задача 3 (3 балла) [фотоэффект, работа выхода, уравнение Эйнштейна для фотоэффекта]

При освещении фотокатода монохроматическим светом с длиной волны λ_0 максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов равна E_0 , а работа выхода электронов для материала

фотокатода равна $3E_0$. Во сколько раз нужно уменьшить длину волны света, чтобы максимальная кинетическая энергия выбитых электронов достигла значения $9E_0$? В качестве ответа укажите $\frac{\lambda_0}{\lambda}$ в виде целого числа.

Подсказка 1: С помощью уравнения Эйнштейна можно связать длину волны света и максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов: $E = h\nu - A = \frac{hc}{\lambda} - A$, то есть $\lambda = \frac{hc}{E + A}$.

Решение:

С помощью уравнения Эйнштейна можно связать длину волны света и максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов: $E = h\nu - A = \frac{hc}{\lambda} - A$, то есть $\lambda = \frac{hc}{E + A}$. Таким образом, при $A = 3E_0$: $\lambda_0 = \frac{hc}{4E_0}$, и тогда $\lambda = \frac{hc}{9E_0 + A} = \frac{hc}{12E_0} = \frac{1}{3}\lambda_0$, то есть $\frac{\lambda_0}{\lambda} = 3$.

Ответ: 3.

Задача 4 (3 балла) [фотоэффект, работа выхода, уравнение Эйнштейна для фотоэффекта]

При освещении фотокатода светом от красного лазера регистрируется фототок при различных значениях величины запирающего напряжения. Затем красный лазер заменяют зеленым, мощность которого в десять раз меньше, чем у красного, и измерения повторяются. Выберите два верных утверждения о результатах измерений из приведенных ниже. В качестве ответа задания напишите номера правильных утверждений, не разделяя знаками препинания, например: 13.

- 1) После замены максимальная кинетическая энергия электронов уменьшилась.
- 2) После замены величина запирающего напряжения, при которой фототок исчезает, не изменилась.
- 3) После замены величина фототока при нулевом запирающем напряжении увеличилась.
- 4) После замены величина фототока при нулевом запирающем напряжении уменьшилась.
- 5) После замены максимальная кинетическая энергия электронов увеличилась.
- 6) После замены красная граница фотоэффекта сместилась в область больших частот.

Подсказка 1: частота света зеленого лазера больше, чем у красного.

Подсказка 2: величина фототока пропорциональна интенсивности света, а при изменении частоты она меняется существенно слабее.

Решение:

Сразу отметим, что утверждение 6 очевидно неверное – красная граница фотоэффекта (частота света, ниже которой фотоэффект не наблюдается даже при нулевом запирающем напряжении) есть характеристика материала катода, так как она связана с работой выхода:

$\bar{\nu} = \frac{A}{h}$, и от замены лазера она измениться не может. Для остальных утверждений: частота света зеленого лазера больше, чем у красного, и в соответствии с уравнением Эйнштейна максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов $E = h\nu - A$ во втором случае увеличивается. Вместе с энергией увеличивается и значение тормозящего напряжения, при котором исчезает фототок ($eU = E$). Величина фототока при нулевой величине запирающего напряжения пропорциональна интенсивности света, а при изменении частоты она меняется очень слабо (обычно этим вообще пренебрегают), поэтому во втором случае эта

величина уменьшается (интенсивность падает в десять раз, а частота увеличивается лишь примерно в два раза). Итак, правильны утверждения 4 и 5, остальные – неправильны.

Ответ: 45.

Задача 5 (4 балла) [спектр атома, формула Планка, частоты переходов]

На рисунке 1 представлены энергетические уровни электронной оболочки атома и указаны частоты фотонов, излучаемых или поглощаемых при некоторых переходах между ними. Найти минимальную длину волны фотона, который может быть испущен при переходах между этими уровнями. Известно, что $\nu_{13} = 5 \cdot 10^{15}$ Гц, $\nu_{24} = 3 \cdot 10^{15}$ Гц и $\nu_{32} = 2 \cdot 10^{15}$ Гц. Ответ записать в нанометрах, округлив до целого значения.

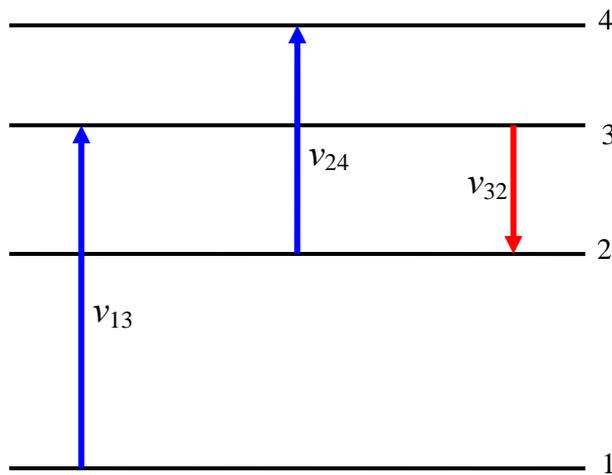


рисунок 1

Подсказка 1: минимальная длина волны отвечает максимальной энергии перехода.

Подсказка 2 поэтому $\lambda_{\min} = \frac{hc}{E_4 - E_1}$.

Подсказка 3: $E_4 - E_1 = E_4 - E_2 + E_2 - E_3 + E_3 - E_1$.

Решение:

Минимальная длина волны отвечает максимальной энергии перехода, то есть переходу с уровня 4 на уровень 1: $\lambda_{\min} = \frac{hc}{E_4 - E_1}$. Но $E_4 - E_1 = E_4 - E_2 + E_2 - E_3 + E_3 - E_1$. С учетом

того, что $E_n - E_m = h\nu_{nm}$ находим: $\lambda_{\min} = \frac{c}{\nu_{24} + \nu_{13} - \nu_{32}} \approx 50$ нм.

Ответ: 50.

Задача 6 (4 балла) [спектр атома, законы сохранения]

Пусть схема нижних энергетических уровней некоторого атома имеет вид, показанный на рисунке 2. Электрон с кинетической энергией $E_e = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Дж сталкивается с таким атомом, находящимся в состоянии с энергией E_1 . В результате столкновения энергия передается от атома к электрону. Найти скорость электрона после столкновения с атомом. Ответ выразить в км/с, округлив до целого значения.

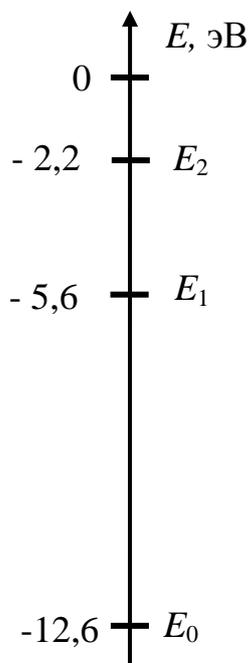


рисунок 2

Подсказка 1: атом должен перейти из состояния с энергией E_1 в состояние с энергией E_0 , так как ниже E_1 других уровней нет.

Подсказка 2: $1 \text{ эВ} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

Подсказка 3: из закона сохранения энергии, конечная кинетическая энергия электрона $E'_e = E_e + E_1 - E_0$.

Решение:

Поскольку энергия передается от атома к электрону, то атом должен перейти из состояния с энергией E_1 в состояние с энергией E_0 , так как ниже E_1 других уровней нет. Из закона сохранения энергии, конечная кинетическая энергия электрона $E'_e = E_e + E_1 - E_0$. Численный подсчет дает: $E'_e = (3,2 \cdot 10^{-19} + 7 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}) \text{ Дж} \approx 1,44 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$. Если электрон нерелятивистский (что в принципе естественно для таких энергий), то его скорость

$$v = \sqrt{\frac{2E'_e}{m}} \approx 1779 \text{ км/с}.$$

Ответ: 1779.

Задача 7 (2 балла) [ядерные реакции, массовое число, зарядовое число]

Определить неизвестное ядро (X), образовавшееся в реакции деления ядра протактиния ${}^1_0n + {}^{228}_{91}\text{Pa} \rightarrow {}^{123}_{50}\text{Sn} + X + {}^4_2\text{He} + 8 {}^1_0n$, вызванном попаданием в него нейтрона. В качестве ответа напишите номер выбранного варианта.

Варианты ответа:

- 1) ${}^{94}_{39}\text{Y}$ 2) ${}^{92}_{39}\text{Y}$ 3) ${}^{94}_{40}\text{Zr}$ 4) ${}^{92}_{40}\text{Zr}$

Подсказка 1: надо использовать уравнения законов сохранения массового и зарядового чисел.

Подсказка 2: для массового числа $1 + 228 = 123 + A_x + 4 + 8 \cdot 1$.

Решение:

Запишем уравнения законов сохранения массового и зарядового чисел:

$$1 + 228 = 123 + A_x + 4 + 8 \cdot 1 \Rightarrow A_x = 94,$$

$$0 + 91 = 50 + Z_x + 2 + 8 \cdot 0 \Rightarrow Z_x = 39.$$

Таким образом (в соответствии с таблицей химических элементов), неизвестное ядро – нестабильный изотоп иттрия: $X = {}^{94}_{39}\text{Y}$.

Ответ: 1.

Задача 8 (4 балла) [фотоэффект, работа выхода, уравнение Эйнштейна для фотоэффекта]

Металлическая пластина облучается светом, который выбивает из нее электроны. Вылетающие из пластины электроны попадают в однородное электрическое поле напряженностью $E=180\text{В/м}$, причем вектор \vec{E} направлен перпендикулярно поверхности пластины от нее. Максимальное расстояние, на которое фотоэлектроны удаляются от пластины, оказалось равно $s_1=2,0\text{см}$. При увеличении частоты света на 20% это расстояние увеличилось до $s_2=2,8\text{см}$. Найти работу выхода электронов из металла, из которого сделана пластина. Ответ запишите в эВ.

Подсказка 1: В соответствии с уравнением Эйнштейна для фотоэффекта, максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов $W=h\nu - A$.

Подсказка 2: Максимальное расстояние, на которое фотоэлектроны удаляются от пластины соответствует тому, что работа силы $\vec{F}=-e\vec{E}$, действующей на электрон со стороны электрического поля, уменьшает их кинетическую энергию до нуля.

Подсказка 3: Таким образом, $eE \cdot s = W \Rightarrow eEs = h\nu - A$.

Решение:

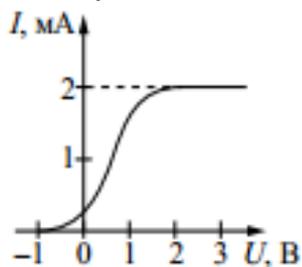
В соответствии с уравнением Эйнштейна для фотоэффекта, максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов $W=h\nu - A$, где ν - частота света, A - искомая работа выхода, а h - постоянная Планка. Изменение кинетической энергии тела всегда равно работе действующих на него сил. Поэтому максимальное расстояние, на которое фотоэлектроны удаляются от пластины соответствует тому, что работа силы $\vec{F}=-e\vec{E}$, действующей на электрон со стороны электрического поля, уменьшает их кинетическую энергию до нуля. Таким образом, $eE \cdot s = W \Rightarrow eEs = h\nu - A$. Запишем такие соотношения для первого и второго опыта и выразим из них работу выхода:

$$\begin{cases} eEs_1 = h\nu_1 - A \\ eEs_2 = 1,2 \cdot h\nu_1 - A \end{cases} \Rightarrow A = eE(5s_2 - 6s_1) = 3,6 \text{ эВ.}$$

Ответ: 3,6.

Задача 9 (4 балла) [фотоэффект, работа выхода, уравнение Эйнштейна для фотоэффекта]

Монохроматическое излучение мощностью $P=0,17\text{Вт}$ падает на поверхность катода вакуумной трубки и выбивает из него электроны, в результате чего в цепи, соединяющей анод и катод трубки, возникает электрический ток. На рисунке приведен график зависимости силы тока в этой цепи от напряжения между анодом и катодом. Известно, что при заданной мощности в среднем один из 25 фотонов, попавших на катод, выбивает электрон. Найдите частоту ν падающего на катод света. Представьте ее в виде $x \cdot 10^{14}$, и в ответе укажите x с точностью до десятых.



Подсказка 1: В этой задаче часть данных нужно извлечь из графика. Как видно, с хорошей точностью мы можем найти величину фототока насыщения и величину запирающего напряжения. Однако для определения частоты света по запирающему напряжению (из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта) нам не хватает данных – неизвестна частота

красной границы фотоэффекта или работа выхода для материала катода. Значит, нужно выразить частоту из фототока насыщения.

Подсказка 2: В режиме насыщения все выбитые светом электроны достигают анода. Поэтому фототок насыщения, равный заряду, перенесенному выбитыми за время t электронами, связан с количеством электронов, выбитых в единицу времени: $I_m = \frac{q}{t} = \frac{N_e e}{t}$.

Подсказка 3: Заданную в условии мощность можно выразить через количество фотонов, попавших в единицу времени на поверхность катода $P = \frac{N_\gamma h\nu}{t}$.

Решение:

В этой задаче часть данных нужно извлечь из графика. Как видно, с хорошей точностью мы можем найти величину фототока насыщения $I_m \approx 2 \text{ мА}$ и величину запирающего напряжения $U_3 \approx 1 \text{ В}$. Однако для определения частоты света по запирающему напряжению (из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта) нам не хватает данных – неизвестна частота красной границы фотоэффекта или работа выхода для материала катода. Значит, нужно выразить частоту из фототока насыщения. В режиме насыщения все выбитые светом электроны достигают анода. Поэтому фототок насыщения, равный заряду, перенесенному выбитыми за время t электронами, связан с количеством электронов, выбитых в единицу времени: $I_m = \frac{q}{t} = \frac{N_e e}{t}$. По условию, это количество связано с количеством фотонов,

попавших в единицу времени на поверхность катода: $N_e = \frac{N_\gamma}{25}$. Каждый фотон переносит энергию $E_\gamma = h\nu$, поэтому мощность излучения тоже связана с числом фотонов:

$P = \frac{N_\gamma h\nu}{t} \Rightarrow N_\gamma = \frac{Pt}{h\nu}$. Значит, фототок насыщения $I_m = \frac{e}{t} \frac{Pt}{25h\nu} = \frac{eP}{25h\nu}$. Таким образом,

частота света $\nu = \frac{eP}{25hI_m} \approx 8,7 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$.

Ответ: 8,7.

Задача 10 (4 балла) [радиоактивный распад, активность, уравнение теплового баланса]

Радиоактивный препарат поместили в медный контейнер массой $m = 0,5 \text{ кг}$. Через 1 час после этого температура контейнера увеличилась на 6 К. Известно, что этот препарат испускает α - частицы с энергией $E = 5 \text{ МэВ}$. Найти активность препарата, то есть количество α - распадов за 1 с. Считать, что энергия α - частиц полностью переходит во внутреннюю энергию контейнера. Теплоемкостью препарата и теплообменом с окружающей средой пренебречь. Удельная теплоемкость меди $c = 380 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$. Ответ выразить в единицах $A_0 = 10^9 \text{ с}^{-1}$ (обратных наносекундах), округлив до целого значения.

Подсказка 1: за время t в препарате выделяется количество теплоты $Q = A \cdot Et$, где A - искомая активность препарата.

Подсказка 2: $5 \text{ МэВ} \approx 8 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$.

Подсказка 3: так как все выделившееся тепло идет на нагрев контейнера, то $Q = cm \cdot \Delta T$.

Решение:

За время t в препарате выделяется количество теплоты $Q = A \cdot Et$, где A - искомая активность препарата. Это количество теплоты идет на нагрев контейнера, то есть

$Q = cm \cdot \Delta T$. Значит, $A = \frac{cm\Delta T}{Et} \approx 0,396 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$. Отметим, что энергию α - частицы надо

выразить в Джоулях: $5 \text{ МэВ} \approx 8 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$.

Ответ: 396.

Задача 11 (5 баллов) [радиоактивный распад, активность, период полураспада]

Пациенту ввели внутривенно 2 см^3 раствора, содержащего радиоактивный изотоп ${}_{11}^{24}\text{Na}$. Известно, что активность 1 см^3 этого раствора равна $A_0 = 2000$ распадов в секунду. Период полураспада этого изотопа равен $T \approx 15,3$ часа. Через время $t \approx 7 \text{ ч } 40 \text{ мин}$ у пациента взяли пробу крови объемом $v = 1 \text{ см}^3$. Какова будет активность этой пробы, если общий объем крови пациента $V \approx 6 \text{ л}$? Ответ запишите в распадах в секунду, в виде десятичной дроби, округлив до сотых.

Подсказка 1: Общая активность введенного раствора равна $2A_0$.

Подсказка 2: Активность изотопа, попавшего в кровь пациента, убывает из-за распада части ядер: $A(t) = 2A_0 \cdot 2^{-t/T}$.

Подсказка 3: В пробу крови попадет часть изотопа, пропорциональная объему этой пробы.

Решение:

Общая активность введенного раствора равна $2A_0$. Далее активность изотопа, попавшего в кровь пациента, убывает из-за уменьшения общего числа ядер: $A(t) = 2A_0 \cdot 2^{-t/T}$. Отметим,

что $\frac{t}{T} = \frac{460 \text{ мин}}{918 \text{ мин}} \approx 0,501$. В пробу крови попадет часть изотопа, пропорциональная объему

пробы, поэтому активность пробы $a = \frac{v}{V} A(t) = \frac{2v}{V} A_0 \cdot 2^{-t/T} \approx \frac{\sqrt{2}v}{V} A_0 \approx 0,47$ распадов в секунду.

ОТВЕТ: 0,47.

Задача 12 (3 балла) [элементы астрофизики, планеты и спутники]

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
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

Выберите **все** верные утверждения о характеристиках планет:

- 1) Ускорение свободного падения на Уране составляет около $15,1 \text{ м/с}^2$.
- 2) На Нептуне может наблюдаться смена времён года.
- 3) Вторая космическая скорость для Марса составляет примерно $5,02 \text{ км/с}$.
- 4) Чем дальше планета располагается от Солнца, тем большее её объём.
- 5) Орбита Юпитера находится на расстоянии примерно 280 млн км от Солнца.

В качестве ответа задания напишите номера правильных утверждений, не разделяя знаками препинания, например: 13.

Подсказка 1: Объемы Сатурна, Урана и Нептуна меньше, чем у Юпитера.

Подсказка 2: Смена времен года в первую очередь зависит от угла наклона оси вращения планеты к плоскости орбиты.

Подсказка 3: Вторая космическая скорость для планеты в $\sqrt{2} \approx 1,414$ раз больше первой.

Решение:

В первую очередь отметим, что утверждение **4** явно **неверное** – объемы Сатурна, Урана и Нептуна меньше, чем у Юпитера (видно по диаметру). Утверждение **2** явно **верное** – смена времен года на планетах в основном связана с наклоном оси вращения к плоскости орбиты, а наклон оси вращения Нептуна $28^{\circ}19'$ даже больше, чем у Земли. Разбор остальных вопросов требует количественных оценок. Проверяем их, начиная с более простых. Вторая космическая скорость для планеты в $\sqrt{2} \approx 1,414$ раз больше первой, которая приведена в таблице: для Марса она $3,55 \text{ км/с} \cdot \sqrt{2} \approx 5,02 \text{ км/с}$, то есть утверждение **3** **верно!** Проверим оставшиеся два утверждения: так как $1 \text{ а.е.} \approx 150 \text{ млн.км}$, то среднее расстояние Юпитера от Солнца $150 \text{ млн.км} \cdot 5,20 \approx 780 \text{ млн.км}$ – утверждение **5** **неверно**, ускорение свободного падения связано с первой космической скоростью соотношением

$v_I \approx \sqrt{\frac{2Gm}{d}} \approx \sqrt{g \frac{d}{2}} \Rightarrow g \approx \frac{2v_I^2}{d}$, то есть для Урана $g \approx 8,94 \text{ км/с}$, то есть утверждение **1** тоже **неверно**.

Ответ: 23.

Задача 13 (3 балла) [элементы астрофизики, планеты и спутники]

Рассмотрите таблицу, содержащую характеристики некоторых астероидов Солнечной системы.

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

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

Выберите **все** верные утверждения о характеристикам астероидов:

- 1) Астероид Аквитания вращается по более «вытянутой» орбите, чем астероид Церера.
- 2) Орбита астероида Паллада находится между орбитами Марса и Юпитера.
- 3) Большие полуоси орбит астероидов Эвномия и Юнона примерно одинаковы, следовательно, они движутся практически по одной орбите друг за другом.
- 4) Средняя плотность астероида Веста составляет примерно 300 кг/м^3 .
- 5) Первая космическая скорость для спутника астероида Геба составляет близка к 100 м/с .

В качестве ответа задания напишите номера правильных утверждений, не разделяя знаками препинания, например: 13.

Подсказка 1: «Вытянутость» орбиты определяется ее эксцентриситетом.

Подсказка 2: Пояс астероидов находится между орбитами Марса и Юпитера.

Подсказка 3: Первая космическая скорость $v_I \approx \sqrt{\frac{Gm}{r}}$.

Решение:

«Вытянутость» орбиты определяется ее эксцентриситетом, который есть в таблице. Так как у Аквитании $e = 0,238$, что больше, чем у Цереры ($e = 0,079$), то утверждение **1 верно**.

Второе утверждение – «на эрудицию»: полезно помнить, что пояс астероидов находится между орбитами Марса и Юпитера, а все приведенные астероиды относятся к этому поясу.

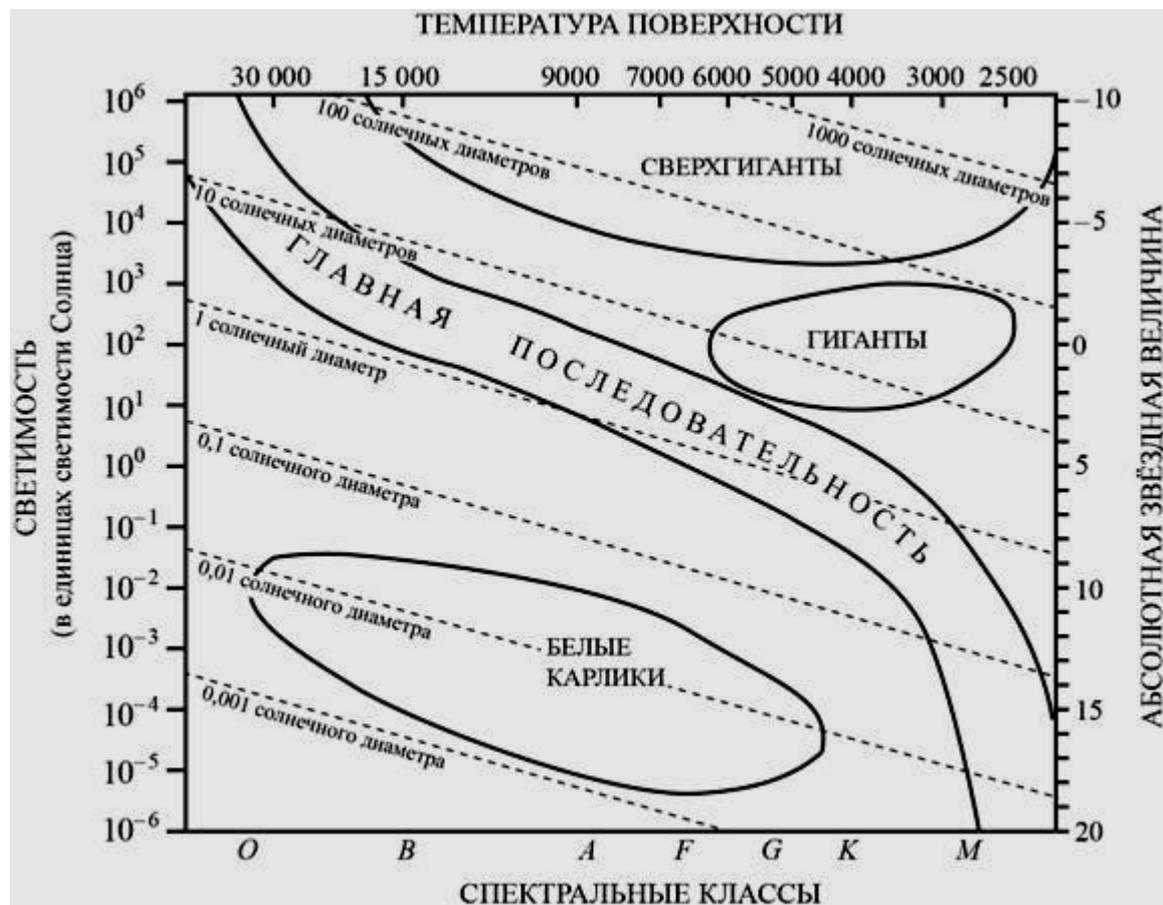
В противном случае нужно вспомнить, что Марс – соседняя с Землей планета, и радиус орбиты примерно в полтора раза больше, чем у Земли (а средний радиус орбиты Земли – это и есть астрономическая единица. А Юпитер относится к большим «внешним» планетам – радиус его орбиты более чем в 5 раз больше земного. Значит, **2 – верное**. Проверяем остальные утверждения. Утверждение **3 – очевидно неверное**: орбиты с одинаковой полуосью не обязаны совпадать, они могут быть повернуты на любой угол по отношению друг к другу и лежать в разных плоскостях. Плотность Весты можно рассчитать по массе и радиусу: она равна примерно 3850 кг/м^3 , и утверждение **4 неверно**, первая космическая

скорость для Гебы – тоже: $v_I \approx \sqrt{\frac{Gm}{r}} \approx 97 \text{ м/с}$, и утверждение **5 верно**.

Ответ: 125.

Задача 14 (4 балла) [элементы астрофизики, звезды, диаграмма Герцшпрунга-Рассела]

На рисунке представлена диаграмма Герцшпрунга – Рассела.



Выберите **все** утверждения о звездах, которые соответствуют диаграмме:

- 1) «Жизненный цикл» звезды спектрального класса B главной последовательности более длительный, чем звезды спектрального класса G главной последовательности.
- 2) Температура поверхности звезд спектрального класса F ниже температуры звезд спектрального класса A .
- 3) Звезда Арктур имеет температуру поверхности 4100 К, следовательно, она относится к звездам спектрального класса B .
- 4) Радиус звезды Бетельгейзе почти в 1000 раз превышает радиус Солнца, следовательно, она относится к сверхгигантам.
- 5) Средняя плотность сверхгигантов существенно больше средней плотности белых карликов.

В качестве ответа задания напишите номера правильных утверждений, не разделяя знаками препинания, например: 13.

Подсказка 1: Простого взгляда на диаграмму достаточно, чтобы удостовериться, что звезда с размером в 1000 с лишним раз больше солнечного обязательно относится к сверхгигантам.

Подсказка 2: На диаграмме задана четкая связь между температурами и спектральными классами.

Подсказка 3: Длительность «жизненного цикла» звезды определяется ее типом (у сверхгигантов и звезд главной последовательности цикл состоит из разных этапов) и скоростью потери энергии, то есть светимостью. У звезд одного типа соотношение светимостей связано с соотношением температур (у более горячих звезд светимость выше).

Решение:

Обычно в заданиях этого типа лучше начинать с наиболее очевидных утверждений. В заданном пакете это утверждение 4 – простого взгляда на диаграмму достаточно, чтобы удостовериться, что звезда с размером в 1000 с лишним раз больше солнечного обязательно относится к сверхгигантам. Утверждение **4** – **верное**. Также просто проверяется и утверждения 2 и 3 – на диаграмме задана четкая связь между температурами и спектральными классами. Посмотрев на шкалы «спектральный класс» и «температура», видим что утверждение **2** – **верное**, а утверждение **3** – **неверное**. Теперь проведем анализ и остальных (несколько более сложных) утверждений.

Длительность «жизненного цикла» звезды определяется ее типом (у сверхгигантов и звезд главной последовательности цикл состоит из разных этапов) и скоростью потери энергии, то есть светимостью. У звезд одного типа соотношение светимостей связано с соотношением температур (у более горячих звезд светимость выше), поэтому на главной последовательности более холодные звезды живут дольше. Как видно из диаграммы, звезды спектрального класса B главной последовательности имеют более высокие температуры, чем звезды спектрального класса G главной последовательности. Поэтому их жизненный цикл короче – утверждение **1** **неверно**.

Белый карлики, как видно из диаграммы, имеют радиусы в среднем в 10^4 степени раз меньше, чем у сверхгигантов, поэтому при равной плотности их массы были бы меньше в 10^{12} раз, но таких различий в массах звезд не бывает, так что плотности белых карликов должны быть заметно выше плотностей сверхгигантов. При наличии достаточной эрудиции можно вспомнить, что белые карлики – одни из самых плотных звезд (более плотными объектами являются только нейтронные звезды и темные массивные «сверхкомпактные» объекты типа гипотетических «черных дыр», но их не видно в оптическом диапазоне). Конечно, утверждение **5** **неверно** – верным является противоположное утверждение.

Ответ: 24.