

**Всероссийская олимпиада школьников по физике 2023-2024 уч. год.**  
**Муниципальный этап. Калужская область**  
**11 класс.**

**Решения задач и критерии оценки**

*Задания 1-4 разработаны доцентом кафедры физики и математики КГУ им. К.Э. Циолковского М.С. Красиным*

**1. «Камни» 11 (10 баллов). Возможное решение.**

Ответ на первый вопрос: Уравнение скорости первого камня  $\vec{v}_1 = \vec{v}_{01} + \vec{g}t$ , (1)

а второго  $\vec{v}_2 = \vec{v}_{02} + \vec{g}t$ .

Скорость первого относительно второго равна  $\vec{v}_{1\text{отн}2} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2$ , (2)

Поэтому  $\vec{v}_{1\text{отн}2} = \vec{v}_{01} - \vec{v}_{02}$ . (3)

Скорости расположены во взаимно перпендикулярных областях, поэтому

$$v_{1\text{отн}2} = \sqrt{v_{01}^2 + v_{02}^2}, \quad (4)$$

$v_{1\text{отн}2} = \sqrt{20^2 + 15^2} = 25$  (м/с) и она была постоянна всё время, пока камни оба падали, т.е. и через 2 с. (5)

Ответ на второй вопрос: Найдём время падения камней. Уравнения зависимости высоты камней над горизонтом имеют вид  $h_1 = h_0 + v_{01} \cdot \sin\alpha \cdot t - \frac{g}{2}t^2$ , (6)

$$h_2 = h_0 + v_{02} \cdot \sin\beta \cdot t - \frac{g}{2}t^2 \quad (7)$$

В момент падения высота камня становится равной нулю. Поэтому время падения первого камня находим по формуле  $0 = 30 + 20 \cdot \sin 30^\circ \cdot t_1 - 5t_1^2$ , откуда  $t_1 \approx 3,45$  с, а второго  $0 = 30 + 15 \cdot \sin 15^\circ \cdot t_2 - 5t_2^2$ , откуда  $t_2 \approx 2,66$  с.

Значит, через 3 с второй камень уже упадёт на землю, а первый, ещё будет в полёте.

Если ввести координатные оси  $X$  – в направлении горизонтального смещения первого камня,  $Y$  – вертикально, а  $Z$  – в направлении горизонтального смещения второго камня, то расстояние между камнями можно найти по формуле  $s = \sqrt{z_2^2 + x_1^2 + y_1^2}$ , (8)

где  $z_2$  – дальность полёта второго камня за  $t_2 \approx 2,66$  с,  $x_1$  – смещение первого камня по горизонтали за 3 с,  $y_1$  – высота над землёй первого камня через 3 с.

Поскольку дом окружён мягкой травяной поверхностью, то можно считать, что после падения второго камня на такую поверхность он прекращает движение, поэтому дальность полёта второго камня находим по формуле  $z_2 = v_{02} \cdot \cos\beta \cdot t_2 = 15 \cdot \cos 15^\circ \cdot 2,66 = 38,5$  (м) (9)

Смещение первого камня по горизонтали находим по формуле

$$x_1 = v_{01} \cdot \cos\alpha \cdot t_2 = 20 \cdot \cos 30^\circ \cdot 3 = 52,0 \text{ (м)} \quad (10)$$

Высоту первого камня над землёй находим по формуле

$$y_1 = h_0 + v_{01} \cdot \sin\alpha \cdot t - \frac{g}{2}t^2 = 30 + 20 \cdot 0,5 \cdot 3 - 5 \cdot 9 = 15,0 \text{ (м)} \quad (11)$$

$$\text{Получаем } s = \sqrt{38,5^2 + 52^2 + 15^2} \approx 66 \text{ (м)} \quad (12)$$

**1. «Камни» 11 (10 баллов). Рекомендованные критерии оценки:**

**За правильный ответ на первый вопрос ставить 5 баллов, в том числе**

За каждый пункт (1) – (5) ставить 1 балл.

*Примечание:* Если не сделана проверка на возможность прекращения движения камней из-за их падения на землю (в том числе при ответе на второй вопрос), то итоговая оценка за ответ на этот вопрос не должна превышать 4 баллов.

**За правильный ответ на второй вопрос ставить 5 баллов, в том числе,**

За нахождение времени полёта камней ставить 1 балл.

За каждый пункт (9) – (12) ставить 1 балл

*Примечание:* Если расстояние между камнями найдено методом умножения относительной скорости камней на время 3 с (ошибочным для данного случая), то за ответ на второй вопрос ставить не более 2 баллов.

**2. «Гайка и пластилин» 11 Возможное решение.**

**Метод 1.** Вдавливаем в пластилин гайку (две гайки) так, чтобы сверху гайка оставалась открытой. Аккуратно вытаскиваем гайку (гайки) из пластилина. Заливаем в оставшееся от гайки (гаек) углубление воду из мензурки. Замечаем уровень воды в мензурке. Выливаем воду из пластилина обратно в мензурку. По разности уровней воды в мензурке с учётом цены деления находим объём гайки.

**Способы повышения точности:**

- 1) перед погружением гайки в пластилин смачиваем её водой, чтобы пластилин меньше прилипал;
- 2) при вытаскивании гайки, следим, чтобы объём углубления почти не изменялся
- 3) используем обе гайки
- 4) повторяем опыт несколько раз, каждый раз измеряем объём, затем находим среднее арифметическое этих значений;

**Метод 2.** Лепим из пластилина копию гайки (гаек). Затем из этой копии гайки делаем трубочку, которая сможет поместиться в мензурку. Замечаем начальный объём воды в мензурке. Погружаем в неё пластилин. Замечаем объём воды и пластилина в мензурке. По разности объёмов находим объём пластилина, с помощью которого была создана модель гайки. Считаем его равным объёму гайки.

**Способы повышения точности:**

- 1) делаем из пластилина максимально возможное количество копий, затем слепляем эти копии вместе, делаем из этого пластилина трубочку и опускаем её в мензурку;
- 2) повторяем опыт несколько раз и находим среднее арифметическое значений, полученных в этих опытах;

**2. «Гайка и пластилин» 11 Рекомендуемые критерии оценки.**

Если придуман только один метод (любой, в том числе оригинальный) ставить 3 балла, за каждый следующий метод оценка повышается на 2 балла, Если предлагается использовать несколько гаек или сделать несколько моделей гаек из пластилина, то добавляется по 2 балла.

Если предлагается несколько повторных измерений объёма пластилина и находить среднее арифметическое, то добавляется по 1 баллу

Если указывается на целесообразность смочить водой гайки перед погружением в пластилин, то добавить 1 балл. Если указывается на необходимость контроля за сохранением объёма углубления от гайки, то добавляется 1 балл

**Общая оценка за задачу не должна превышать 10 баллов.**

**3. «Цикл» 11. Возможное решение.**

Ответ 1)

1-2 изотермический процесс. Линию этого процесса на графике можно считать гиперболой, т.к. она проходит через точки с координатами (1;6), (2;3); (3;2); (6;1), следовательно, объём обратно пропорционален давлению, что характерно для изотермического процесса.

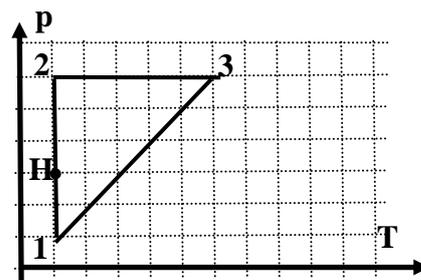
2-3 изобарический процесс. По графику видно, что давление в этом процессе не меняется

3-1 изохорический процесс. По графику видно, что объём в этом процессе не меняется

Ответ 2)

Точка 1 соответствует состоянию с минимальным давлением (это видно из графика) и минимальной температуре, т.к. в процессе 1-2 температура не меняется, в процессе 2-3 увеличивается объём при постоянном давлении, а это возможно только при увеличении температуры, в процессе 1-3 увеличивается давление при постоянном объёме, а это возможно только при увеличении температуры. Поэтому точку 1 изображаем с наименьшими координатами.

В процессе 2-3 возрастает объём в 6 раз при неизменном давлении, значит и температура возрастает в 6 раз, что и отражено на графике.



Проверяем, что линия 3-1 проходит через начало координат, что является признаком изохорного процесса.

Точка Н расположена на участке изотермического процесса. На графике видно, что давление в этой точке в 3 раза больше, чем в точке 1. Это позволяет определить положение точки Н на графике в р-Т координатах.

Ответ 3) Уже отмечалось, что наименьшая температура соответствует участку 1-2. На участке 2-3 давление возрастает в 6 раз при неизменном объёме, значит (согласно уравнению Менделеева-Клапейрона) температура тоже возрастает в 6 раз. Затем на участке 3-1 температура уменьшается. Следовательно, наибольшая температура в 6 раз больше наименьшей. Наименьшая температура равна  $37+273=310$  К, следовательно, наибольшая равна 1860 К.

Ответ 4) Про параметры газа известно очень мало, но работу газа можно найти по площади под графиком. Площадь, ограниченная линией цикла, занимает 15 целых клеточек и 7 неполных, значит, её можно считать равной  $15+0,5\cdot 7=18,5$  клеточек. Учитывая, что работа газа за цикл равна 185 кДж, делаем вывод, что одна клеточка соответствует работе газа в 10 кДж. Работа газа на участке 3-1 равна нулю, т.к. это изохорический процесс. Работу газа в процессе 2-3 находим как площадь фигуры, ограниченной линией графика процесса, осью V и горизонтальными линиями, проецирующими точки 2 и 3 на ось V. Она равна 30 клеткам, значит работа на этом участке равна приблизительно 300 кДж. Эта работа положительная, т.к. объём газа увеличивается. Работу газа на участке 1-2 можно найти также, а можно учесть, что работа за цикл есть сумма работ на каждом участке, значит работа на этом участке равна  $185 \text{ кДж} - 300 \text{ кДж} = -115 \text{ кДж}$ . Работа отрицательна, т.к. объём газа уменьшается.

### 3. «Цикл» 11. Рекомендуемые критерии оценки.

**Ответ на вопрос 1) 3 балла** в случае обоснования, что процесс 1-2 изотермический с указанием на координаты трёх и более точек его линии на графике. **Или 2 балла** в случае правильного указания процессов, но недостаточно аргументированного обоснования. **Или 1 балл** при отсутствии обоснований.

**Ответ на вопрос 2) 3 балла** в случае правильного изображения графиков процессов с учётом масштабов и наличия корректного обоснования. **Или 2 балла** в случае правильного изображения графиков процессов с учётом масштабов, но неудачного обоснования. **Или 1 балл** в случае правильного изображения графиков процессов с учётом масштабов, но при отсутствии обоснований. **Или 1 балл** в случае правильного указания процессов с нарушением масштабов (вне зависимости от наличия обоснований).

**За указание положения точки Н добавить 1 балл** при наличии обоснования её положения. Если обоснования нет, то даже за правильное указание точки Н баллы не начислять.

**Ответ на вопрос 3) 2 балла** в случае обоснования. **Или 1 балл**, если факт увеличения температуры в 6 раз установлен, но не был сделан перевод температуры в кельвины. **Или 1 балл**, если рассуждения и обоснования правильные, но сделана математическая ошибка при подсчёте клеточек и (или) переводе температуры.

**Ответ на вопрос 4) 2 балла** в случае нахождения работы на всех участках. При этом не снижать оценку, если площадь фигуры, ограниченной линиями 1-2-3-1, принята равной 18 или 19 клеточек.

**Или 1 балл,**

- если работа при изотермическом процессе указана со знаком +
- если сделана ошибка при подсчёте площади фигуры ограниченной линиями цикла;
- если при расчёте работ изотермического и изобарического процессов участник ошибочно находил площадь фигуры между соответствующей линией графика и ось р.

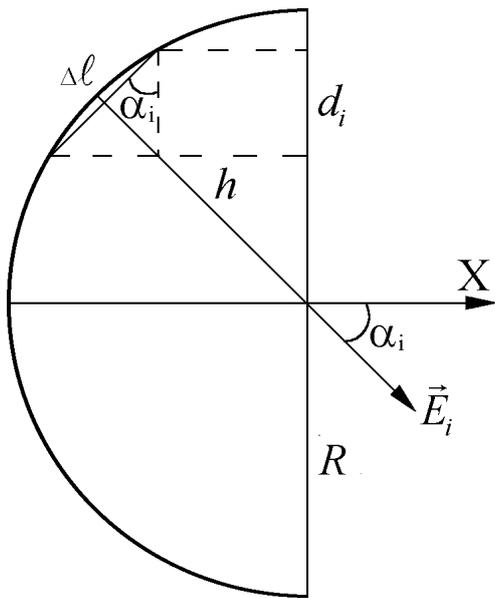
### 4. «Дуга и точка» 11. Возможное решение.

### Ответ на вопрос 1)

Для случая удаления на расстояние  $100R$ , размерами проволоки можно пренебречь. Поэтому можно применить закон Кулона, согласно которому  $F_1 = k \frac{qq_0}{10000R^2}$

### Ответ на вопрос 2)

Когда заряд окажется в центре окружности проволоку уже нельзя считать материальной точкой. Чтобы можно было воспользоваться законом Кулона, разобьём дугу на  $N$  малых равных частей длиной  $\Delta l = \frac{\pi R}{N}$ . Заряд на каждой части равен  $\Delta q = \frac{q}{\pi R} \cdot \Delta l$ . Напряжённость поля в центре окружности будет равна векторной сумме напряжённостей, создаваемых в этой точке каждым зарядом  $\Delta q$ . Из соображений симметрии делаем вывод, что напряжённость будет направлена вдоль оси симметрии этой полуокружности. Проведём вдоль оси симметрии координатную ось  $X$ . Тогда можно утверждать, что модуль напряжённости будет равен сумме проекций напряжённостей зарядов всех малых участков проволоки.



Заменяем каждый участок дуги соответствующей хордой. Будем считать, что заряд этого участка дуги сосредоточен в центре хорды. Таким образом, от заряженной проволоки перейдем к системе точечных зарядов. Модуль напряжённости поля каждого такого заряда. Проведем апофемы  $h$  к середине каждой хорды. Тогда модуль напряженности поля каждого заряда в центре окружности можно рассчитать по формуле  $E_i = k \frac{\Delta q}{h^2}$ . Проекция вектора напряжённости на ось  $X$  будет равна  $E_{ix} = k \frac{\Delta q}{h^2} \cos \alpha_i$ , где  $\alpha_i$  – угол между осью  $X$  и соответствующим вектором напряжённости. Тогда суммарную напряжённость результирующего поля можно рассчитать по формуле

$$E = \sum_{i=1}^N (k \frac{\Delta q}{h^2} \cos \alpha_i) = \sum_{i=1}^N (k \frac{q \Delta l}{\pi R h^2} \cos \alpha_i)$$

При достаточно большом числе  $N$  длину малой хорды можно считать равной длине дуги  $\Delta l$ , а длину апофемы  $h$  считать равной радиусу  $R$ . Тогда

$$E = \sum_{i=1}^N k \frac{q \Delta l}{\pi R R^2} \cos \alpha_i = k \frac{q}{\pi R R^2} \sum_{i=1}^N (\Delta l \cdot \cos \alpha_i)$$

Из геометрических соображений симметрии можно увидеть, что угол  $\alpha_i$  равен углу между соответствующей хордой и перпендикуляром к оси  $X$  (см рис). Тогда  $\Delta l \cdot \cos \alpha_i = d_i$ , где  $d_i$  – проекция соответствующей хорды на линию, соединяющую концы полуокружности, т.е. на диаметр, перпендикулярный оси  $X$ . Очевидно (см. рисунок), что

$$\sum_{i=1}^N (\Delta l \cdot \cos \alpha_i) = \sum_{i=1}^N d_i = 2R \quad \text{Тогда } E = k \frac{2q}{\pi R^2}$$

Значит, сила взаимодействия заряда и проволоки станет равной  $F_2 = k \frac{2qq_0}{\pi R^2}$

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{k \frac{2qq_0}{\pi R^2}}{k \frac{qq_0}{10000R^2}} = \frac{20000}{\pi} \approx 6400 \text{ раз}$$

#### 4. «Дуга и точка» 11. Рекомендуемые критерии оценки.

**За правильный ответ на первый вопрос** ставить 5 баллов.

Если нет обоснования возможности пренебречь размером проволоки, то ставить 4 балла.

Если в записи закона Кулона расстояние не в квадрате, то ставить 1 балл

**За правильный ответ на второй вопрос** ставить 5 баллов.

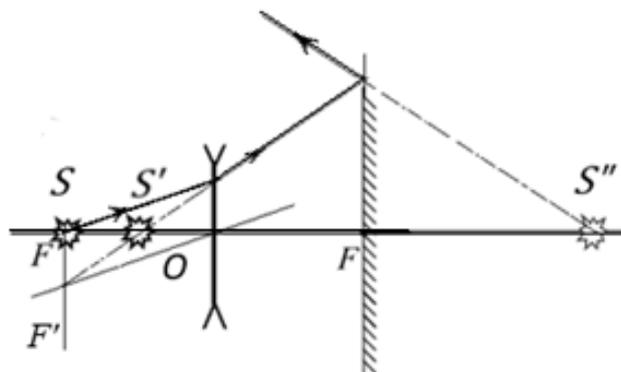
Если решение сделано с помощью интегрирования, то в случае правильного ответа ставить 5 баллов, а в случае ошибочного 1 балл, но если ошибка имела только вычислительный характер, то оценку снизить всего на 1 балл.

Если сказано, что сила взаимодействия увеличится приблизительно в 10000 раз без обоснования, то ставить 1 балл, если с обоснованием, то ставить 2 балла.

### 5. «Линза и зеркало» 11. Возможное решение

1. Построение показано на рисунке.

$S'$  - изображение источника, даваемое линзой,  $S''$  - его отражение в зеркале. Для получения изображения в линзе через ее оптический центр  $O$  проведена произвольно побочная оптическая ось, найден побочный фокус  $F'$  (точка пересечения побочной оси и фокальной плоскости). Луч, выходящий из точки  $S$  параллельно побочной оптической оси, после преломления в линзе идет так, что его продолжение перед линзой пересекает



фокальную плоскость в точке  $F'$  (на рисунке показано пунктиром). На пресечении этого продолжения с главной оптической осью получаем мнимое изображение источника в линзе - точку  $S'$ . Изображение точки  $S'$  в зеркале находим по закону отражения. Оно будет расположено симметрично относительно плоскости зеркала.

2. Из формулы линзы можно найти расстояние от линзы до изображения  $S'$ . Так как линза рассеивающая

$$-\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}. \quad (1)$$

Здесь  $F$  – фокусное расстояние,  $d$  – расстояние от источника до линзы,  $f$  - расстояние от линзы до изображения. Так как источник находится в фокусе, то расстояние от источника до линзы равно фокусному расстоянию  $d = F$ :

$$-\frac{1}{F} = \frac{1}{F} + \frac{1}{f}. \quad (2)$$

Отсюда

$$f = -\frac{F}{2}.$$

Изображение  $S'$  мнимое, находится перед линзой на расстоянии от линзы равном половине фокусного расстояния  $SS' = 0,5F$ . Плоское зеркало находится в фокусе за линзой, следовательно расстояние от  $S'$  до зеркала равно  $0,5F + F = 1,5F$ . Поскольку расстояние от предмета до зеркала равно расстоянию от зеркала до изображения, то

$$S'S'' = 2 \cdot 1,5F = 3F. \quad (3)$$

С учетом, что расстояние  $SS' = 0,5F$

$$SS'' = SS' + S'S'' = 3,5F.$$

Фокусное расстояние находим из оптической силы линзы

$$D = -\frac{1}{F}. \quad (4)$$

$$F = -\frac{1}{D}$$

$$F = -\frac{1}{(-10)} = 0,1 \text{ м.}$$

$$SS'' = 3,5 \cdot 0,1 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см.}$$

##### **5. «Линза и зеркало» 11. Рекомендуемые критерии оценивания**

**Максимальна оценка за полное правильное решение всей задачи– 10 баллов, складывается из оценок за каждую из частей задачи.**

1. За решение **первой части** задачи (построение изображения в оптической системе) **максимальная оценка составляет 5 баллов.** При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: построением верно определены и показаны положения изображений источника в линзе и в зеркале, из рисунка и (или) описания явно виден ход построения – **5 баллов;**

- положения изображений источника в линзе и в зеркале определены и показаны верно, но ход построения из рисунка и (или) описания прослеживается неявно – **4 балла;**

- построено только изображение в линзе – **3 балла;**

- изображение в линзе построено неверно, но положение изображения этой точки в зеркале определено верно – **2 балла;**

- имеются попытки построения, содержащие верные шаги, но они не доведены до конца- **1 балл;**

- нет попыток решения – **0 баллов.**

2. За решение **второй части** задачи (расстояние между источником и его изображением в системе) **максимальная оценка составляет 5 баллов.** При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: соотношения, отражающие физические законы и закономерности (в данном случае – формула тонкой линзы с учетом условия задачи (2), равенство расстояний от зеркала до предмета и до изображения (3), формула оптической силы линзы (4) или эквивалентные им соотношения, полученные из геометрии с учетом правил построения изображений в линзах и зеркалах) записаны или учтены верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен верный числовой ответ– **5 баллов;**

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен ответ, но имеются арифметические ошибки в вычислениях–**4 балла;**

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, но имеется ошибка в математических преобразованиях, приводящих к ответу, или преобразования не завершены – **3 балла;**

- есть понимание физики явлений, но записаны не все соотношения, или в записанных соотношениях имеются физические ошибки, поэтому из них невозможно найти правильное решение –**2 балла;**

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения (или при ошибочном решении)- **1 балл;**

- нет попыток решения – **0 баллов.**