

**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

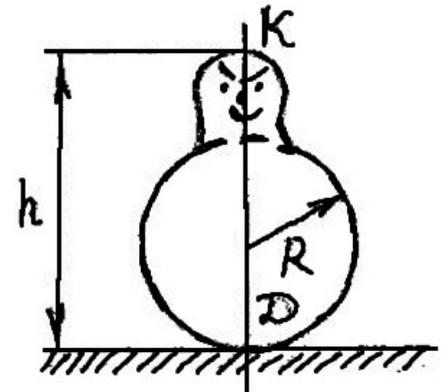
11 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин.

Максимум 50 баллов.

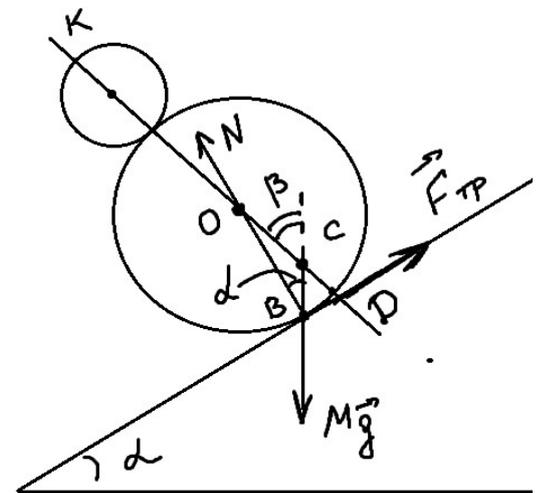


**Задача 1. Неваляшка.** Детская игрушка Неваляшка представляет собой фигуру высотой 21 см и массой 300 г с симметричным распределением массы относительно оси  $KD$  (см. рисунок), причем поверхность нижней части неваляшки есть часть сферы радиусом 6 см. Если Неваляшку поставить на шероховатую плоскую поверхность, наклоненную под углом  $30^\circ$  к горизонту, то неваляшка занимает устойчивое положение равновесия, при котором ее ось  $KD$  отклоняется от вертикали на угол  $45^\circ$  градусов. Какую наименьшую массу пластилина надо прикрепить к макушке неваляшки в точке  $K$ , чтобы она потеряла устойчивость на горизонтальной поверхности стола?



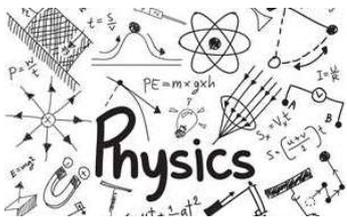
**Возможное решение:**

На неваляшку действуют сила тяжести  $Mg$ , сила трения  $F_{тр}$  и сила нормальной реакции опоры  $N$ . По условию задачи, если неваляшку поставить на шероховатую наклонную плоскость с углом наклона  $30^\circ$ , то неваляшка займет устойчивое положение равновесия, при котором ее ось  $KD$  отклоняется от вертикали на угол  $45^\circ$ . Данная ситуация изображена на рисунке, при этом силы  $N$  и  $F_{тр}$  приложены в точке  $B$  – точке касания игрушки с наклонной плоскостью, а сила тяжести  $Mg$  приложена в центре тяжести неваляшки – в точке  $C$ . Заметим, что центр тяжести должен быть расположен на прямой  $KD$  ниже геометрического центра большой сферы т.  $O$ , образующей нижнюю часть неваляшки. Иначе игрушка перестанет быть неваляшкой.



Так как сила  $N$  перпендикулярна наклонной плоскости, то ее линия действия будет направлена по радиусу большой сферы и проходить через т.  $O$ . Для того чтобы игрушка была в равновесии, линии действия всех трех сил должны пересекаться в одной точке (1). Этой точкой будет т.  $B$ . Таким образом, центр тяжести неваляшки будет на одной вертикали с точкой  $B$ . Из треугольника  $OCB$  по теореме синусов найдем длину отрезка  $OC$ :

$$\frac{OC}{\sin \alpha} = \frac{OB}{\sin(\pi - \beta)}$$



**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

11 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин.

Максимум 50 баллов.



Так как  $OB = R$ , а  $\sin(\pi - \beta) = \sin \beta$ , то  $OC = R \sin \alpha / \sin \beta$ .

Если прикрепить массу  $m$  в точке  $K$ , то на горизонтальной плоскости неваляшка потеряет устойчивость при  $Mg \cdot OC \leq mg(h - R)$ . (2)

Наименьшую массу  $m$  найдем из условия равенства  $M \cdot OC = m \cdot (h - R)$ . С учетом выражения для  $OC$  получим

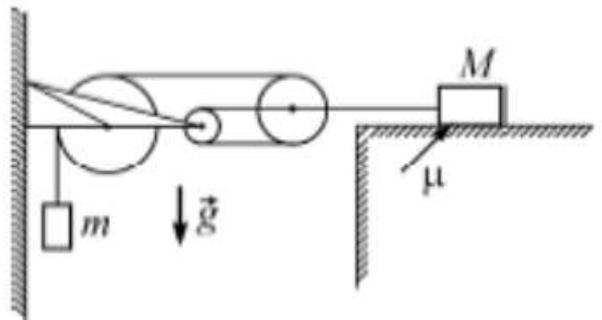
$$m = \frac{MR \sin \alpha}{h - R \sin \beta} = 60\sqrt{2} = 85 \text{ г.}$$

**Критерии оценивания:**

Рисунок с верно проставленными силами	<b>2 балла</b>
Утверждение (1) или аналогичное ему	<b>2 балла</b>
Сформулировано условие (2)	<b>3 балла</b>
Получено верное выражение для массы	<b>2 балла</b>
Получен верный численный ответ	<b>1 балл</b>
<i>Выше приводится возможное решение. Допустимы альтернативные решения. В случае альтернативных решений составляются другие критерии оценивания в зависимости от степени и правильности решения задачи.</i>	
<b>Максимум за задачу 10 баллов</b>	

**Задача 2. Механическая система.**

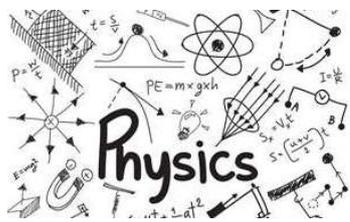
Экспериментатор Глюк обнаружил у себя в архивах чертеж механической системы, включающей в себя грузы массой  $m$  и  $M$ , три невесомых блока и невесомые нерастяжимые нити, причем трения в блоках нет. Груз  $m$  висит вертикально, а груз  $M$  лежит на шероховатой горизонтальной плоскости. Найдите ускорение груза  $m$ , считая, что  $m = 1 \text{ кг}$ ,  $M = 11 \text{ кг}$ ,  $\mu = 0,25$ . Обратите внимание, что конец левой нити прикреплен к оси самого правого блока и к этой же оси прикреплена другая нить, соединенная с грузом  $M$ .



Обратите внимание, что конец левой нити прикреплен к оси самого правого блока и к этой же оси прикреплена другая нить, соединенная с грузом  $M$ .

**Возможное решение:**

Для описания движения данной системы тел выберем неподвижную систему отсчёта, ось  $y$  которой направлена вертикально вниз, куда может двигаться грузик  $m$ , а ось  $x$  по горизонтали справа налево, в направлении возможного движения груза

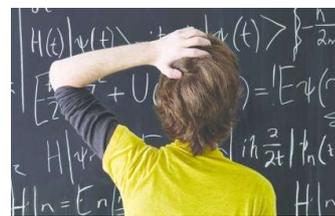


**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

11 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин.

Максимум 50 баллов.



массой  $M$ . Обозначим силу натяжения первой нити через  $T$ , а второй — через  $F$  (см. рисунок).

Тогда в проекциях на выбранные оси координат уравнение движения двух тел системы имеют вид:

$$mg - T = ma_1, \quad F - F_{\text{тр}} = Ma_2.$$

В силу условия задачи можно считать, что сила натяжения вдоль всей первой нити одинакова и равна  $T$ , а сила натяжения второй нити  $F = 3T$  (1), так как для правого блока сумма сил должна быть равна нулю.

Если груз  $M$  сдвинется влево на расстояние  $x$ , то грузик  $m$  за счет укорочения трех горизонтальных участков первой нити сдвинется вниз на расстояние  $3x$ . Поэтому уравнение кинематической связи для ускорений тел имеет вид:  $a_1 = 3a_2$ . При движении данной системы тел если  $a_1 > 0$ , то на груз  $M$  действует сила трения скольжения

$$F_{\text{тр}} = \mu Mg.$$

Подставим в исходную систему уравнений все полученные выражения:

$$T = mg - 3ma_2 \quad \text{и} \quad 3T - \mu Mg = Ma_2.$$

Отсюда:

$$a_2 = (3m - \mu M)g / (9m + M), \quad \text{тогда} \quad a_1 = 3a_2 = 3(3m - \mu M)g / (9m + M) = 0,375 \text{ м/с}^2.$$

Если принять, что  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ , то получим ответ  $a_1 = 0,3675 \text{ м/с}^2$ .

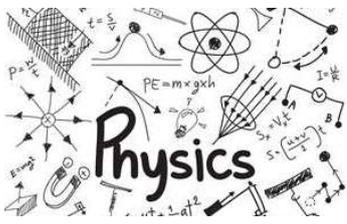
Так как получено положительное значение ускорения, то тела действительно будут двигаться, поэтому предположение о действующей силе трения верно.

**Критерии оценивания:**

Рисунок с верными силами и указанием осей	<b>1 балл</b>
Записан второй закон Ньютона для каждого тела	<b>2 балла (по 1 баллу за каждое уравнение)</b>
Получена связь между $F$ и $T$ (1)	<b>1 балл</b>
Получена (с объяснением!) связь между ускорениями (можно в той или иной форме воспользоваться постоянством длины первой нити и получить связь между ускорениями)	<b>3 балла</b>
Получено верное выражение для ускорения груза	<b>2 балла</b>
Получен верный численный ответ	<b>1 балл</b>

*Выше приводится возможное решение. Допустимы альтернативные решения. В случае альтернативных решений составляются другие критерии оценивания в зависимости от степени и правильности решения задачи.*

**Максимум за задачу 10 баллов**

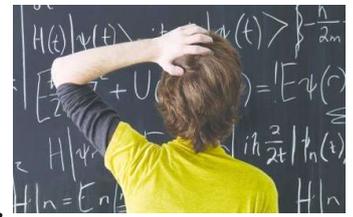


**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

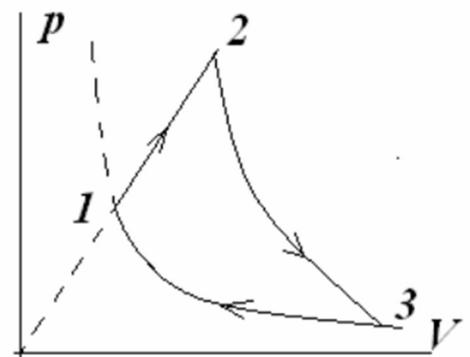
11 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин.

Максимум 50 баллов.



**Задача 3.** В два моля гелия совершили циклический процесс 1-2-3-1 (см. рисунок), в котором участок 2-3 – процесс с постоянной молярной теплоемкостью  $C = R/2$ , участок 3-1 – изотерма. Определите работу, совершенную газом в этом цикле, если количество теплоты, отданное на участке 3-1, равно  $Q$ , а разность максимальной и минимальной температур цикла  $\Delta T$ .



**Возможное решение:**

Работу цикла можно вычислить геометрически как площадь, ограниченную контуром в координатах  $p$ - $V$ .

Вычислим работу в процессе 1-2 как площадь под графиком:

$$A_{12} = \frac{1}{2}(p_1 + p_2) \cdot (V_2 - V_1) = \frac{1}{2}(p_1 V_2 + p_2 V_2 - p_1 V_1 - p_2 V_1).$$

Учтем, что на данном участке давление пропорционально объему:  $p = kV$ , тогда:

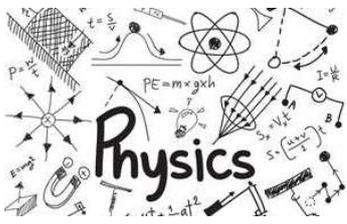
$$A_{12} = \frac{1}{2}(kV_1 V_2 + p_2 V_2 - p_1 V_1 - kV_2 V_1) = \frac{1}{2} \nu R \Delta T.$$

На участке 2-3 процесс происходит при постоянной теплоемкости  $C$ , значит, первое начало термодинамики можно записать в виде:

$$-C \nu \Delta T = \Delta U_{23} + A_{23} = -\frac{3}{2} \nu R \Delta T + A_{23}$$

Здесь учтено, что изменение температуры газа в процессе 2-3 равно  $(-\Delta T)$ . Отсюда получаем:

$$A_{23} = -C \nu \Delta T + \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \left(-\frac{1}{2} + \frac{3}{2}\right) \nu R \Delta T = \nu R \Delta T$$

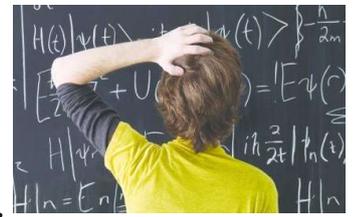


**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

11 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин.

Максимум 50 баллов.



В результате, работа в процессе 1-2-3 определяется суммой:

$$A_{123} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T.$$

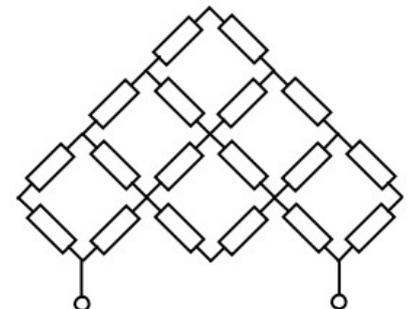
Для определения работы цикла вычтем работу на возвратной изотерме 3-1. Она как раз равна отданной в этом процессе теплоте. Окончательно получаем:

$$A_{1231} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T - Q$$

**Критерии оценивания:**

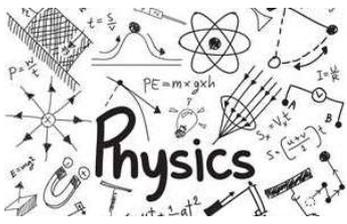
Записано выражение для работы в процессе 1-2 через площадь под графиком	<b>2 балла</b>
Учтена зависимость давления от объема	<b>2 балла</b>
Записано первое начало термодинамики для процесса 2-3	<b>2 балла</b>
Получено выражение для работы в процессе 1-2-3	<b>2 балла</b>
Получено выражение для работы за весь цикл	<b>2 балла</b>
<p><i>Выше приводится возможное решение. Допустимы альтернативные решения. В случае альтернативных решений составляются другие критерии оценивания в зависимости от степени и правильности решения задачи.</i></p> <p><b>Максимум за задачу 10 баллов</b></p>	

**Задача 4. Общее сопротивление.** В схеме на рисунке сопротивления всех резисторов одинаковы и равны R. Найти сопротивление этой схемы.



**Возможное решение:**

Представленная схема симметрична относительно пунктирной линии (см. рисунок) и при отражении относительно нее переходит сама в себя, а полярность меняется на противоположную. Поэтому в элементах, расположенных симметрично относительно этой линии, будут течь одинаковые токи. В частности, одинаковые токи будут течь в резисторах 6 и 11 и в резисторах 7 и 10. Поэтому узел, соединяющий резисторы 6, 7, 10 и 11, можно разделить на два (см. рис. б)), так как в нем не происходит перераспределение токов.

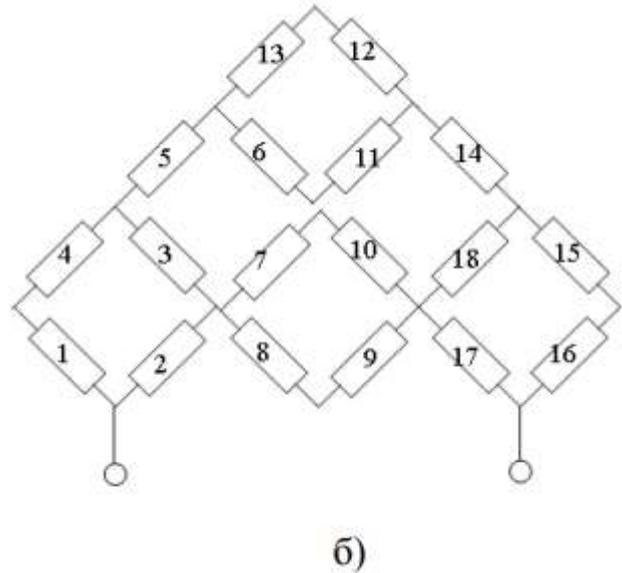
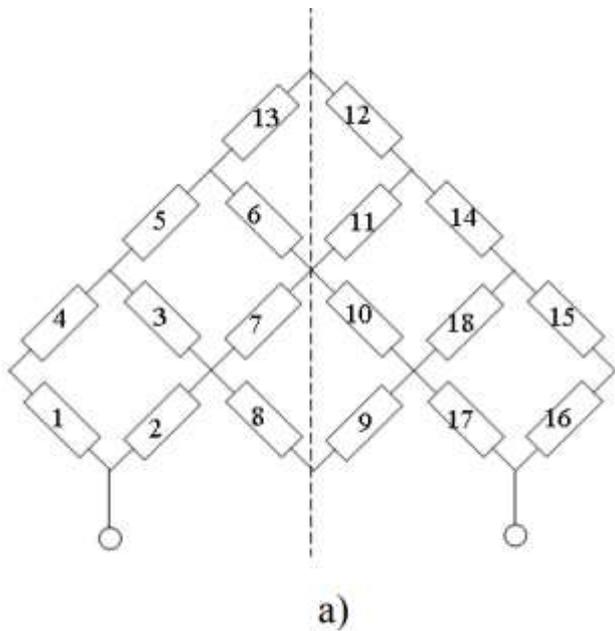
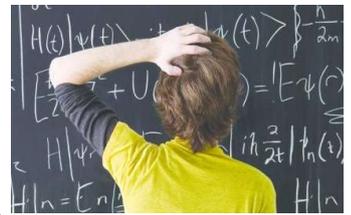


Муниципальный этап  
 Всероссийской олимпиады школьников  
 по физике

11 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин.

Максимум 50 баллов.



Схему, представленную на рисунке б), можно преобразовать, используя законы параллельного и последовательного соединений. Так как сумма токов, входящих в узел, равна сумме токов, вытекающих из узла, токи по элементам будут следующими (см. рис.):

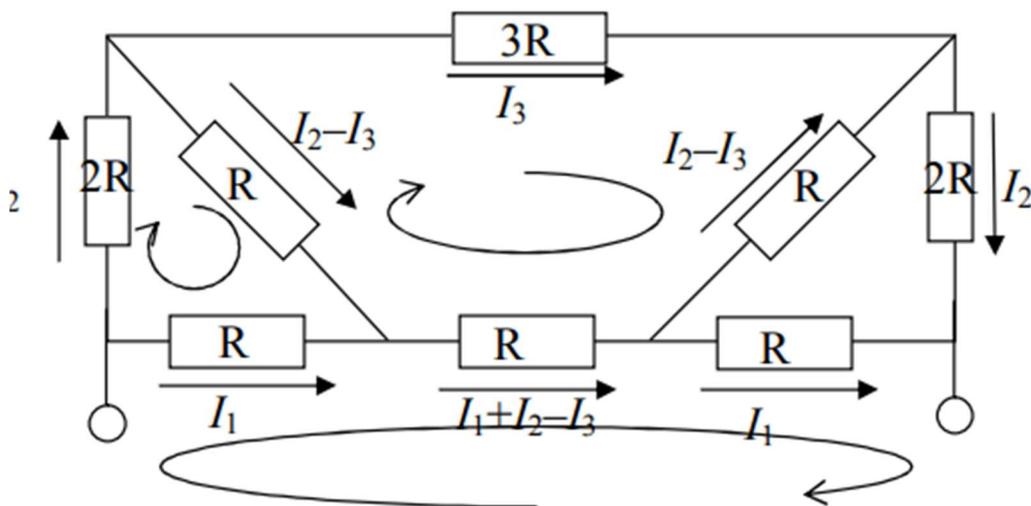
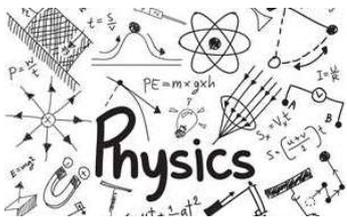


Рис. 2

Тогда, полагая, что к клеммам приложено напряжение  $U$ , можно записать для замкнутых контуров:

$$U = I_1 R + (I_1 + I_2 - I_3) R + I_1 R, \text{ тогда } 3I_1 + I_2 - I_3 = U/R;$$

$$I_2 2R + (I_2 - I_3) R = I_1 R, \text{ тогда } 3I_2 - I_3 = I_1;$$



**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

11 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин.

Максимум 50 баллов.



$$I_3 3R = (I_2 - I_3)R + (I_1 + I_2 - I_3)R + (I_2 - I_3)R, \text{ тогда } 3I_3 = 3I_2 - 3I_3 + I_1.$$

Решая эту систему уравнений, найдем значения токов:

$$I_1 = 15U/46R, \quad I_2 = 7U/46R, \text{ тогда полный ток, текущий через источник, составляет } 11U/23R.$$

Значит, полное сопротивление схемы равно:  $23R/11$ .

**Критерии оценивания:**

Схема сведена к схеме, аналогичной представленной на рис. 2	<b>4 балла</b>
Записана система уравнений, позволяющая найти ток, текущий через источник	<b>3 балла</b>
Получен ответ	<b>3 балла</b>

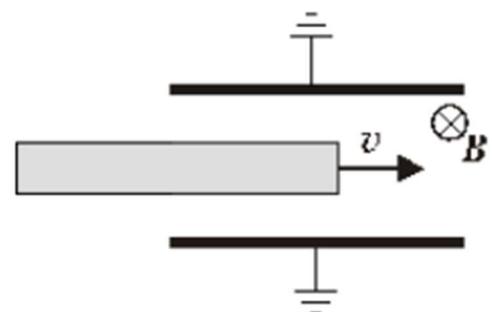
*Приведенное решение не является единственным. Однако любое решение будет включать комбинацию преобразования схемы с использованием симметрии и расчета сопротивления преобразованной схемы с использованием законов Кирхгофа (теоретически, при достаточном терпении первой части можно избежать). При оценке решений баллы за преобразование следует начислять пропорционально степени произошедшего упрощения схемы, используя указанный в решении случай как точку отсчета. При оценке расчета по законам Кирхгофа баллы за составление системы уравнений и ее решение должны быть равны (при этом при неверно составленных уравнениях баллы за решение не начисляются).*

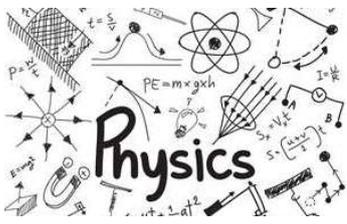
*Не следует требовать слишком подробного обоснования преобразований с использованием симметрии; приведенное в решении обоснование представляет собой пример достаточно подробного для выставления полного балла.*

**Максимум за задачу 10 баллов**

**Задача 5. Конденсатор в магнитном поле.**

В пространстве создано горизонтальное однородное магнитное поле  $B$ , направленное «от нас». В него помещен плоский конденсатор с заземлёнными обкладками так, чтобы поле оказалось параллельно обкладкам. В направлении, перпендикулярном вектору магнитной индукции, сквозь конденсатор пролетает металлическая пластина со скоростью  $v$ . Толщина пластины втрое меньше расстояния между пластинами конденсатора. Найдите плотность зарядов, индуцированных на обкладках в



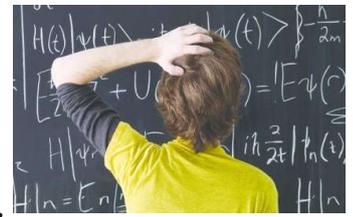


**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

11 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин.

Максимум 50 баллов.



тот момент, когда пластина полностью перекрыла конденсатор. При расчетах краевые эффекты не учитывать.

**Возможное решение:**

На свободные электроны, которые движутся вместе с пластиной, действует сила Лоренца и заставляет смещаться их к ее нижней грани. При этом у верхней грани возникает нескомпенсированный положительный заряд, и внутри образуется электрическое поле с напряженностью  $E_1$ , направленной сверху вниз (см. рисунок).

В итоге достигается динамическое равновесие, при котором сила Лоренца и сила электрического поля внутри пластины равны друг другу по величине:

$$e \cdot E_1 = e \cdot v \cdot B.$$

Поэтому  $E_1 = v \cdot B$ . Обкладки конденсатора по условию заземлены, следовательно, их потенциал одинаков и равен 0. Условие нулевой разности потенциалов между обкладками может быть выполнено только в том случае, если существует электрическое поле  $E_2$  за пределами пластины:

$$E_1 \cdot \frac{d}{3} - E_2 \cdot 2 \frac{d}{3} = 0,$$

где  $d$  — расстояние между обкладками. Отсюда:

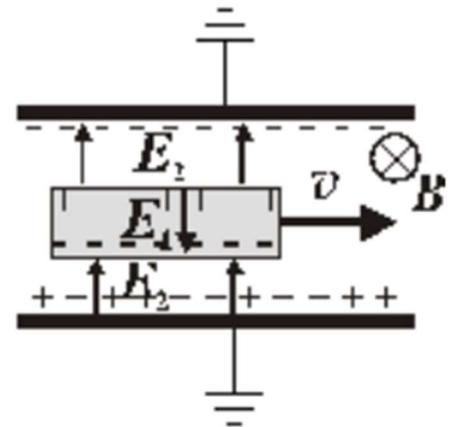
$$E_2 = \frac{E_1}{2} = \frac{v \cdot B}{2}.$$

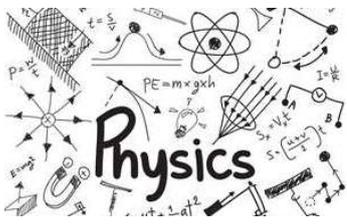
Заряды, наведённые на обкладках конденсатора, должны быть одинаковы по модулю и противоположны по знаку, в противном случае за пределами системы будет существовать электрическое поле, обладающее ненулевой энергией, в то время как всякая система должна стремиться к минимуму потенциальной энергии.

В таком случае поле, создаваемое обкладками, можно рассчитать как поле заряженного конденсатора: напряженность поля  $E_2$  в конденсаторе связана с поверхностной плотностью заряда, индуцированных на его обкладках, известным соотношением:

$$E_2 = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

где  $\epsilon_0$  — электрическая постоянная. В итоге получим, что:





Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике

11 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин.

Максимум 50 баллов.



$$\sigma = \frac{\epsilon_0 \cdot v \cdot B}{2}.$$

**Критерии оценивания:**

Условие равновесия электронов в пластине	2 балла
Идея о наличии поля вне пластины	2 балла
Корректная запись равенства потенциалов обкладок	1 балл
Идея о равенстве абсолютных величин наведенных зарядов	1 балл
Обоснование этой идеи	2 балла
Расчет поля $E_2$	1 балл
Получение верного ответа	1 балл

*Выше приводится возможное решение. Допустимы альтернативные решения. В случае альтернативных решений составляются другие критерии оценивания в зависимости от степени и правильности решения задачи.*

**Максимум за задачу 10 баллов**