

Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике

7 класс, 2020/2021 учебный год  
Длительность 3 часа. Максимум 40 баллов.



**Задача 1. Средняя скорость.** На тренировочном полете самолет, летающий по кругу, проходит первый круг со средней путевой скоростью 300 км/ч и начинает следующий круг. С какой постоянной скоростью он должен пролететь второй круг для того, чтобы эта скорость оказалась в два раза больше средней путевой скорости за два круга?

**Возможное решение:**

Пусть длина одного круга равна  $S$ , а средняя путевая скорость за два круга равна  $V$ . Тогда по определению средней путевой скорости:

$V = S_0 / t_0$ , где  $S_0$  – весь путь, а  $t_0$  – все время движения. (1 балл)

Т.к.  $t_0 = t_1 + t_2$ , то  $V = 2S / (S/V_1 + S/2V)$  (4 балла)

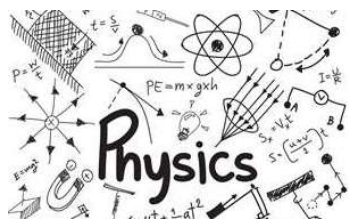
$\Rightarrow V = 4VV_1 / (2V + V_1) \Rightarrow V = 3V_1 / 2 = 450$  км/ч. (4 балла)

Искомая скорость прохождения второго круга равна  $u = 2V = 900$  км/ч. (1 балл)

**Максимум за задачу 10 баллов.**

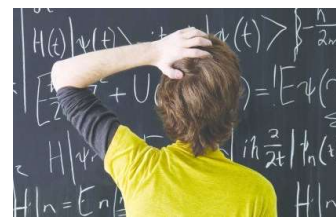
**Примечание:** Выше приводится возможное решение. Допустимы альтернативные решения. В случае альтернативных решений стоит придерживаться следующего общего подхода к проверке данной задачи:

- использование определения средней путевой скорости – 1 балл;
- получение верного выражения для связи между средней путевой скоростью, скоростью на первом круге и скоростью на втором круге – 4 балла;
- получение верного значения для средней путевой скорости – 4 балла;
- получение верного численного ответа для скорости на втором круге – 1 балл.



Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике

7 класс, 2020/2021 учебный год  
Длительность 3 часа. Максимум 40 баллов.



**Задача 2. Красители.** Известные изобретатели Винтик и Шпунтик наладили в Цветочном городе производство красителей. Краситель «муругий» выпускается в форме кубических кристаллов, каждый из которых содержит один миллиард молекул, а краситель «наномуругий» производится в форме кубических кристаллов по 27 молекул в каждом. Экспертная комиссия в составе Знайки и Незнайки решила провести с красителями сравнительные испытания. Для этого один кристалл «муругия» положили в первый стакан воды, а во второй стакан положили кристаллы «наномуругия» такой же общей массы (количество воды в стаканах одинаково). Через одну секунду в воде первого стакана оказалось 6 миллионов молекул красителя. Оцените, сколько молекул красителя через этот же промежуток времени будет в воде второго стакана. При оценке принять, что в раствор переходят только те молекулы, которые находятся на поверхности кристалла. Температуру кристаллов и воды считать одинаковыми.

**Возможное решение:**

Кристалл обычного красителя содержит один миллиард молекул, то есть  $10^9$  молекул. Так как объем пропорционален длине ребра в кубе, то вдоль каждого ребра такого кристалла укладывается 1000 молекул красителя. **(2 балла)**

Площадь поверхности куба  $6a^2$ , поэтому на поверхности кристалла находится  $1000^2 \cdot 6 = 6$  миллионов молекул. **(2 балла)**

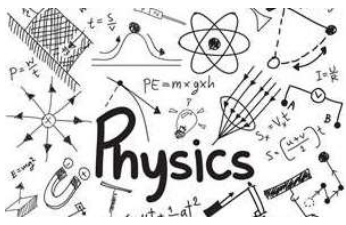
По условию задачи именно столько молекул оказалось в первом стакане за 1 секунду, значит, за это время весь поверхностный слой кристалла растворился. Так как условия растворения одинаковы в обоих стаканах, то и с кристаллов нанокрасителя тоже растворится поверхностный слой молекул. **(2 балла)**

В кристалле нанокрасителя 27 молекул. Значит, на одном его ребре укладывается 3 молекулы, т.е. все молекулы кроме центральной – поверхностные (участник может показать это с помощью рисунка). Поэтому за 1 секунду весь такой кристалл растворяется. **(2 балла)**

Чтобы получить такую же общую массу красителя, как в первом стакане, во второй необходимо положить не один, а много кристаллов ( $N = 10^9/27 = 37\,037\,037$  кристаллов, но вычисление этого количества не является обязательным!!!). При этом все они полностью растворились, значит, во втором стакане окажется **один миллиард молекул** через 1 секунду. **(2 балла).**

**Максимум за задачу 10 баллов.**

*Примечание: Выше приводится возможное решение. Допустимы альтернативные решения.*



Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике

7 класс, 2020/2021 учебный год  
Длительность 3 часа. Максимум 40 баллов.



**Задача 3. На теплоходе.** Во время речной прогулки семиклассник Егор прошел по плывущему параллельно берегу теплоходу от кормы к носу и обратно. Скорость Егора относительно его приятеля Артура, сидящего на берегу, была при этом равна 11,4 м/с и 8,6 м/с соответственно. Рассчитайте, какое расстояние относительно Артура прошел за это время теплоход. Известно, что длина палубы теплохода 70 метров, а скорости Егора относительно палубы и теплохода относительно берега постоянны.

**Возможное решение:**

Теплоход идет по реке с некоторой скоростью  $v_T$  относительно берега. Поэтому скорости Егора относительно берега при ходьбе от кормы к носу  $v_1 = v_T + v_e$  (**2 балла**), а от носа к корме  $v_2 = v_T - v_e$  (**2 балла**), где  $v_e$  – скорость Егора относительно теплохода. Из этих двух уравнений получим, что скорость Егора:  $v_e = (v_1 - v_2)/2 = 1,4$  м/с (**1 балл**), а скорость теплохода  $v_T = (v_1 + v_2)/2 = 10$  м/с (**1 балл**).

Время движения Егора по палубе теплохода туда и обратно:

$$t = 2L/v_e, \text{ где } L=70 \text{ м – длина палубы теплохода. (2 балла)}$$

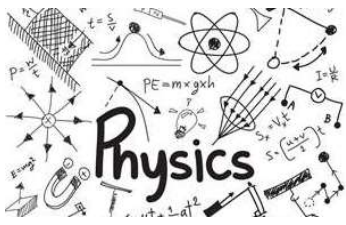
За это время теплоход пройдет относительно Артура, сидящего на берегу, путь

$$S = v_T \cdot t = 2Lv_T/v_e = 1000 \text{ метров. (2 балла)}$$

**Ответ: 1000 метров.**

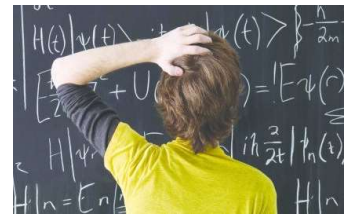
**Максимум за задачу 10 баллов.**

*Примечание: Выше приводится возможное решение. Допустимы альтернативные решения.*



Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике

7 класс, 2020/2021 учебный год  
Длительность 3 часа. Максимум 40 баллов.



**Задача 4. На тот берег.** Однажды Мальчик-с-пальчик, путешествуя по свету, дошел до широкой реки. В реке поперек нее он увидел цепочку камней и решил перебраться через речку, перепрыгивая с камня на камень. Известно, что ширина каждого камня 0,5 метра, расстояние между соседними камнями 1 метр, расстояние между берегом и ближайшим к нему камнем также 1 метр. С берега до первого камня Мальчик-с-пальчик прыгает с горизонтальной скоростью 7 м/с, затем идет к краю камня и прыгает на второй камень. Далее идет к его краю, прыгает на следующий и т.д. Так как мальчик быстро устает, то с каждым прыжком его скорость уменьшается на 0,3 м/с, но время прыжка всегда одинаково и равно 0,2 с. Кроме того известно, что прыжок Мальчик-с-пальчик всегда совершает с края камня (или с края берега), а по камням между прыжками идет с постоянной скоростью 1 м/с. Определите максимальную ширину реки, через которую Мальчик-с-пальчик сможет перебраться описанным способом. Сколько времени ему на это потребуется?

**Возможное решение:**

*Данную задачу участники могут решать самыми разными способами, в том числе и последовательными расчетами каждого прыжка. Любой способ решения, который не содержит физических ошибок и приводит к верному результату, считается верным и оценивается на максимальный балл. Ниже приводятся два возможных (но не единственно возможных!) решения.*

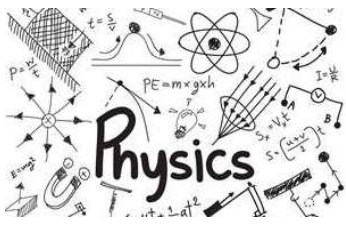
**Способ № 1.**

Будем последовательно рассматривать каждый прыжок.

*Прыжок 1.* Скорость 7 м/с, потраченное время 0,2 секунды, пройденное расстояние 1,4 метра. Так как от берега до камня 1 метр, то мальчик пролетел еще 0,4 метра камня и приземлился за 0,1 метр от края камня. На движение по камню понадобилось 0,1 с.

*Прыжок 2.* Скорость 6,7 м/с, потраченное время 0,2 секунды, пройденное расстояние 1,34 м. Пролетел над камнем  $1,34 - 1 = 0,34$  м, по камню осталось пройти 0,16 м. На движение по камню затрачивается 0,16 с.

*Прыжок 3.* Скорость 6,4 м/с, время прыжка 0,2 с, пролетел расстояние 1,28 м. Над камнем  $1,28 - 1 = 0,28$  м, по камню прошел 0,22 м, потратил 0,22 с.



Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике

7 класс, 2020/2021 учебный год  
Длительность 3 часа. Максимум 40 баллов.



**Прыжок 4.** Скорость 6,1 м/с, время прыжка 0,2 с, пролетел расстояние 1,22 м. Над камнем  $1,22 - 1 = 0,22$  м, по камню 0,28 м., потратил на это 0,28 с.

**Прыжок 5.** Скорость 5,8 м/с, время прыжка 0,2 с, пролетел расстояние 1,16 м, из них над камнем  $1,16 - 1 = 0,16$  м, по камню 0,34 м, потратил на это 0,34 с.

**Прыжок 6.** Скорость 5,5 м/с, время прыжка 0,2 с, пролетел 1,1 метра, из них над камнем  $1,1 - 1 = 0,1$  м, по камню 0,4 м, потратил 0,4 с.

**Прыжок 7.** Скорость 5,1 м/с, время прыжка 0,2 с, пролетел 1,04 м.

**Прыжок 8.** Скорость 4,8 м/с, время прыжка 0,2 с, пролетает 0,96 м – не допрыгнет.

Итак, мальчик может сделать только 7 прыжков, т.е. седьмой прыжок уже должен быть с крайнего камня на противоположный берег. На прыжки мальчик потратит  $7 \cdot 0,2 = 1,4$  с. Ширина реки  $7 \cdot 1 + 6 \cdot 0,5 = 10$  метров.

По шести камням мальчик шел:  $0,1 + 0,16 + 0,22 + 0,28 + 0,34 + 0,4 = 1,5$  с.

Таким образом, на том берегу он окажется через 2,9 с.

**Ответ: 10 м и 2,9 с.**

**Способ № 2.**

Пусть  $v=7$  м/с – скорость первого прыжка,  $u=1$  м/с – скорость перемещения мальчика по камню,  $\Delta v=0,3$  м/с – уменьшение скорости за один прыжок,  $d=1$  м – расстояние между камнями,  $b=0,5$  м – ширина камня,  $\tau=0,2$  с – время прыжка.

Так как скорость мальчика уменьшается, то на каком-то прыжке он просто не сможет допрыгнуть до следующего камня. На основании этого и определяется максимальная ширина реки.

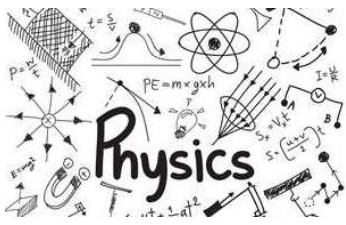
Мальчик не сможет допрыгнуть до следующего камня или берега, когда его скорость станет меньше, чем  $d/\tau = 5$  м/с.

На прыжке под номером  $N$  скорость мальчика станет равна:  $v - \Delta v(N-1)$ , так что можно найти номер прыжка, который станет последним:

$$\begin{aligned} d/\tau &= v - \Delta v(N-1), \quad (1) \\ N &\approx 7,67. \end{aligned}$$

Таким образом, Мальчик-с-пальчик сможет прыгнуть 7 раз, а дальше уже не допрыгнет до берега или следующего камня.





**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

7 класс, 2020/2021 учебный год  
Длительность 3 часа.      Максимум 40 баллов.



За 7 прыжков мальчик переместится на расстояние  $7d + 6b = 10$  м. Так что максимальная ширина реки, которую он сможет преодолеть, равна 10 метров. На прыжки он потратит  $t_1 = 7 \cdot 0,2 = 1,4$  с.

Для ответа на второй вопрос необходимо учесть, что мальчик каждый раз приземляется в разные точки камней, поэтому каждый раз тратит разное время на то, чтобы дойти от места приземления до края камня.

Для камня под номером  $n$  это время определяется так:

$$t_n = \frac{b - ((v - (n - 1)\Delta v)\tau - d)}{u}. \quad (2)$$

Камней у нас всего 6 (раз семь прыжков), так что просуммируем и получим:

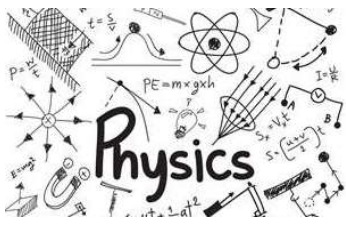
$$t = 6 \frac{b + d - v\tau}{u} + \frac{(1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)\Delta v\tau}{u} = 1,5 \text{ с.}$$

Тогда на то, чтобы перебраться через реку, мальчику понадобится  $T = t + t_1 = 2,9$  с.

**Ответ: 10 м и 2,9 с.**

**Критерии оценивания:**

<b>1 способ:</b>	
Верный анализ каждого из прыжков с расчетом пройденных расстояний и времен перемещения по камням	<b>6 баллов</b>
Определено, сколько всего будет прыжков	<b>1 балл</b>
Определена ширина реки	<b>1 балл</b>
Верно найдено общее время движения	<b>2 балла</b>
<b>2 способ:</b>	
Записано выражение (1) или аналогичное ему	<b>2 балла</b>
Определено число прыжков	<b>2 балла</b>
Определена ширина реки	<b>1 балл</b>
Записано выражение (2) или аналогичное ему	<b>2 балла</b>
Определено время, потраченное на перемещение по камням	<b>2 балла</b>
Определено полное время	<b>1 балл</b>
<b>Итого за задачу: 10 баллов.</b>	

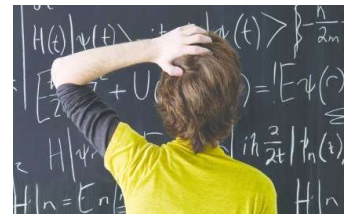


**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

8 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 часа.

Максимум 40 баллов.



**Задача 1. На встречу с другом.** Два друга выехали одновременно на автомобилях навстречу друг другу из городов Альфа и Бета. Расстояние между городами 240 км. График зависимости скорости движения первого автомобиля от времени представлен на рис. 1, второго автомобиля – на рисунке 2.

- 1) Определите, через какое время после начала движения автомобили встретятся на трассе.
- 2) Рассчитайте, за какое время каждый автомобиль проезжает расстояние между городами.

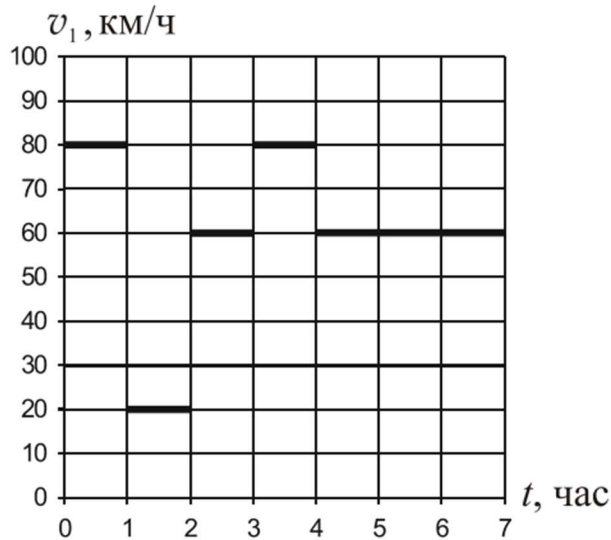


Рис. 1

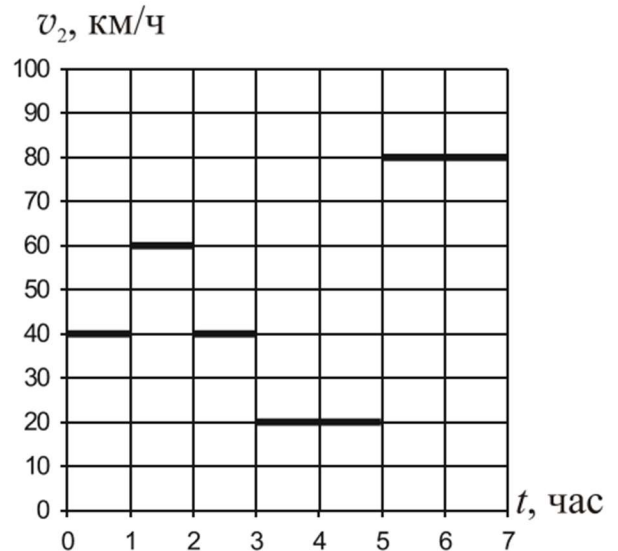


Рис. 2

**Возможное решение:**

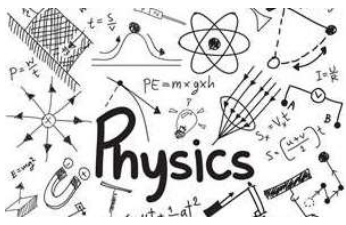
1) По графикам можно определить, что за первый час движения автомобили сближаются со скоростью  $v_1 = 80 + 40 = 120$  км/ч, в итоге расстояние между ними уменьшается и к концу первого часа составит  $l_1 = 120$  км.

Во второй час скорость сближения  $v_2 = 20 + 60 = 80$  км/ч, поэтому к концу второго часа автомобили окажутся на расстоянии  $l_2 = 120 - 80 = 40$  км.

В третий час скорость сближения  $v_3 = 60 + 40 = 100$  км/ч. Так как к началу третьего часа между автомобилями остается 40 км, то на преодоление этого расстояния понадобится  $\Delta t = l_2 / v_3 = 0,4$  часа или 24 минуты.

Поэтому автомобили встретятся через  $t_{\text{в}} = 1 + 1 + 0,4 = 2,4$  часа или через 2 часа 24 минуты.

2) Рассмотрим движение автомобиля, выехавшего из города Альфа. За четыре часа движения он проедет как раз  $L_1 = u_{11}t + u_{12}t + u_{13}t + u_{14}t = 80 + 20 + 60 + 80 = 240$  км, так что время его движения между городами составит ровно  $t_1 = 4$  часа.



**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

8 класс, 2020/2021 учебный год  
Длительность 3 часа. Максимум 40 баллов.



Второй автомобиль за пять часов проедет расстояние

$$L_2 = u_{21}t + u_{22}t + u_{23}t + u_{24}t + u_{25}t = 40 + 60 + 40 + 20 + 20 = 180 \text{ км.}$$

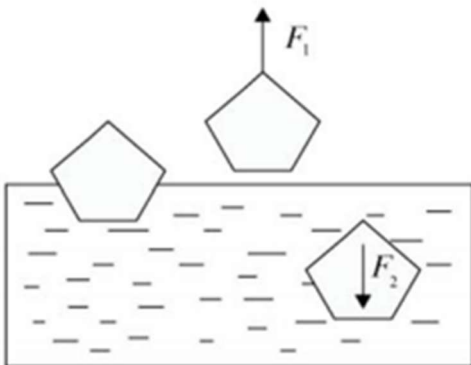
Оставшиеся до второго города 60 км этот автомобиль проедет со скоростью 80 км/ч. На это ему понадобится  $\Delta t_2 = 60/80 = 3/4$  часа или 45 минут. Следовательно, все время его движения между городами:  $t_2 = 5,75$  часа или 5 часов и 45 минут.

**Критерии оценивания:**

Идея подсчета скорости сближения автомобилей	<b>2 балла</b>
Расчет времени встречи автомобилей	<b>3 балла</b>
Расчет времени движения первого автомобиля	<b>2 балла</b>
Расчет времени движения второго автомобиля	<b>3 балла</b>
<p><i>Участник может не использовать скорость сближения автомобилей, а прийти к времени и месту встречи автомобилей через пошаговый расчет пройденных расстояний. Если расчеты доведены до конца и получено правильное значение времени встречи автомобилей, то за весь этот этап выставляется <b>5 баллов</b>.</i></p>	

**Задача 2. Вынуть и погрузить.** Некоторое тело плавает в масле, будучи частично погруженным. Для того чтобы вынуть его из масла полностью, к нему необходимо приложить силу 10 Н. Чтобы полностью погрузить это тело в масло, нужно приложить к нему силу 30 Н. Определите плотность тела, если плотность масла известна и равна  $800 \text{ кг/м}^3$ .

**Задача 2. Вынуть и погрузить. Возможное решение.**



Запишем условие равновесия для тела в первом случае (тело полностью вынули из воды, поэтому сила Архимеда на него уже не действует):

$$F_1 = mg = \rho g V,$$

где  $m$  – масса тела,  $V$  – его объем,  $\rho$  – плотность.

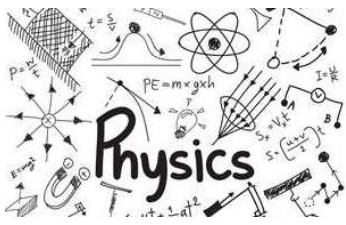
Во втором случае условие равновесия будет выглядеть так:

$$F_2 + mg = F_A = \rho_0 g V.$$

Из этих уравнений можно получить:

$$F_1 + F_2 = \rho_0 g F_1 / \rho g = \rho_0 F_1 / \rho, \text{ тогда } \rho = \rho_0 F_1 / (F_1 + F_2) = 200 \text{ кг/м}^3.$$





Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике

8 класс, 2020/2021 учебный год  
Длительность 3 часа. Максимум 40 баллов.



**Критерии оценивания:**

Записано условие равновесия тела в первом случае	<b>2 балла</b>
Записано условие равновесия тела во втором случае	<b>3 балла</b>
Записано выражение для силы Архимеда	<b>2 балла</b>
Записано выражение для плотности тела	<b>2 балла</b>
Получен численный ответ	<b>1 балл</b>

*За каждое верно выполненное действие баллы складываются. При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл. Максимум за задание – 10 баллов.*

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

**Задача 3. С термометрами что-то не так...**

Восьмиклассник Кирилл для домашних экспериментов самостоятельно изготовил два термометра и решил проверить их работоспособность. Оказалось, что если их поместить в смесь воды и льда, то первый термометр покажет ровно  $-4^{\circ}\text{C}$ , а второй ровно  $+3^{\circ}\text{C}$ . Это показалось Кириллу странным, и он решил провести второй эксперимент, поместив термометры в кипящую воду. Тогда первый показал  $+108^{\circ}\text{C}$ , а второй  $+96^{\circ}\text{C}$ . А вот температуру самого Кирилла оба термометра показывали одинаково. Найдите показания термометров при измерении температуры Кирилла и определите истинную температуру Кирилла. Учтите, что шкалы термометров хоть и разные, но являются линейными, то есть их показания изменяются на одинаковую величину (которая для каждого термометра своя!) при одинаковом изменении температуры.

**Возможное решение:**

Поскольку в условии сказано, что зависимость показаний термометра от температуры линейна, она должна описываться линейной функцией, т.е.

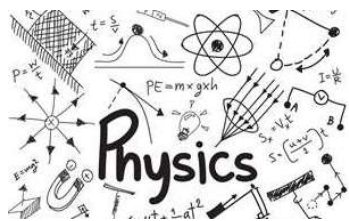
$$T_1 = k_1 T + b_1 \text{ и } T_2 = k_2 T + b_2,$$

где  $k_1, k_2, b_1$  и  $b_2$  – это постоянные коэффициенты, а  $T$  – истинная температура.

Вспользуемся точками, которые определены в условии.

$$-4 = k_1 \cdot 0 + b_1, \text{ поэтому } b_1 = -4^{\circ}\text{C}. \text{ Аналогично } b_2 = 3^{\circ}\text{C}.$$

$$108 = k_1 \cdot 100 - 4, \text{ тогда } k_1 = 1,12. \text{ Аналогично } k_2 = 0,93.$$

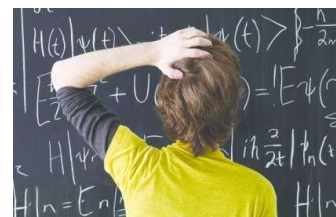


Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике

8 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 часа.

Максимум 40 баллов.



Поскольку при некоторой температуре  $T_0$  показания термометров совпали, то можно записать:  $k_1 T_0 + b_1 = k_2 T_0 + b_2$ , откуда находится температура Кирилла:

$$T_0 = (b_2 - b_1)/(k_1 - k_2) \approx 36,84^\circ\text{C} \approx 36,8^\circ\text{C}.$$

Осталось найти показания термометров:

$$T_1 = T_2 \approx 37,26^\circ\text{C} \approx 37,3^\circ\text{C}.$$

**Критерии оценивания:**

Записано математически, что зависимость показаний градусника от температуры линейна	<b>3 балла</b>
Найдены коэффициенты этой зависимости	<b>3 балла</b>
Найдено значение температуры Кирилла	<b>2 балла</b>
Найдены показания термометров	<b>2 балла</b>

*Участники могут предложить **графический способ** нахождения показаний термометров. Для этого можно построить на одном графике две прямые и получить точку пересечения.*

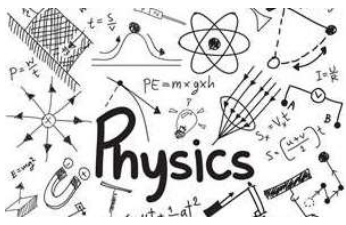
*Также из графиков можно найти коэффициенты прямых.*

*Однако прямые идут близко друг к другу, поэтому точку пересечения и коэффициенты вряд ли удастся найти достаточно точно.*

*Если участник все-таки идет по данному пути решения, то при оценивании работы стоит обращать внимание на саму идею, точность построения, выбор масштаба графиков, точность определения точки пересечения и коэффициентов прямых.*

**Максимум за задание – 10 баллов.**

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



Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике

8 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 часа.

Максимум 40 баллов.



**Задача 4. Сверхлегкий материал.** Современные ученые занимаются созданием сверхлегких материалов. Один из таких материалов представляет собой структуру, состоящую из переплетающихся тонкостенных трубок, заполненных воздухом. Сами трубки сделаны из сплава никеля и фосфора (массовая доля никеля 93%, фосфора 7%). При исследовании материала было определено, что плотность образца составляет  $0,9 \text{ мг/см}^3$ , если не учитывать наличие воздуха внутри трубок. Какова на самом деле плотность этого экспериментального вещества, если все-таки учитывать воздух? При расчетах можно принять, что объем никель-фосфорного сплава равен сумме объемов входящих в его состав никеля и фосфора. Плотность воздуха  $1,2 \text{ мг/см}^3$ , плотность фосфора  $1,85 \text{ г/см}^3$  и плотность никеля  $8,9 \text{ г/см}^3$ .

**Возможное решение:**

Сначала найдем среднюю плотность сплава, из которого сделаны стенки трубок:

$$\rho_{\text{Ni-P}} = \frac{m_{\text{Ni}} + m_{\text{P}}}{V_{\text{Ni}} + V_{\text{P}}} = \frac{m_{\text{Ni}} + m_{\text{P}}}{\frac{m_{\text{Ni}}}{\rho_{\text{Ni}}} + \frac{m_{\text{P}}}{\rho_{\text{P}}}}$$

Так как  $m_{\text{Ni}} = 0,93m$  и  $m_{\text{P}} = 0,07m$ , где  $m = m_{\text{Ni}} + m_{\text{P}}$ , то:

$$\rho_{\text{Ni-P}} = \frac{\rho_{\text{Ni}}\rho_{\text{P}}}{0,93\rho_{\text{Ni}} + 0,07\rho_{\text{P}}} = \frac{8,9 \cdot 1,85}{0,93 \cdot 1,85 + 0,07 \cdot 8,9} = 7,03 \text{ г/см}^3.$$

Теперь запишем формулу для плотности образца без учета массы воздуха:

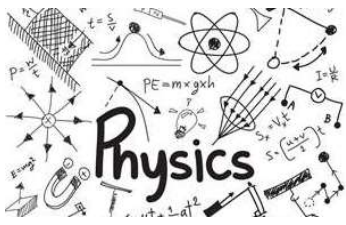
$$\rho_1 = \frac{m}{V_{\text{Ni-P}} + V_0} = \frac{\rho_{\text{Ni-P}}V_{\text{Ni-P}}}{V_{\text{Ni-P}} + V_0}.$$

Отсюда:

$$V_0 = \frac{\rho_{\text{Ni-P}} - \rho_1}{\rho_1} V_{\text{Ni-P}} = 7810 V_{\text{Ni-P}}$$

Таким образом, объем пустот в этом веществе в 7810 раз больше объема стенок трубок.

С учетом воздуха (если в этих пустотах будет воздух):



**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

8 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 часа.

Максимум 40 баллов.



$$\rho_2 = \frac{m + m_B}{V_{Ni-P} + V_0} = \frac{\rho_{Ni-P} V_{Ni-P} + \rho_B V_0}{V_{Ni-P} + V_0} = \frac{\rho_{Ni-P} + 7810 \rho_B}{7811} = \frac{7,03 + 7810 \cdot 0,0012}{7811};$$

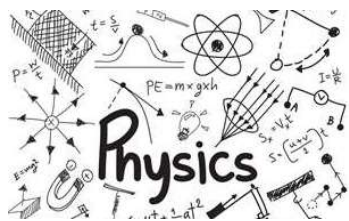
$$\rho_2 = 0,0021 \text{ г/см}^3 = 2,1 \text{ мг/см}^3.$$

**Критерии оценивания:**

Найдена средняя плотность материала стенок	<b>3 балла</b> (2 за идею и формулы, 1 за численный результат)
Найдено отношение объемов пустого пространства и стенок	<b>3 балла</b> (2 за идею и формулы, 1 за численный результат)
Найдена искомая плотность	<b>4 балла</b> (2 за идею и формулы, 2 за верный численный ответ)

*За каждое верно выполненное действие баллы складываются. При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1-2 балла в зависимости от того, насколько отличается полученный ответ от того, который должен быть. **Максимум за задание – 10 баллов.***

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

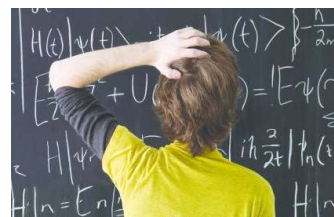


Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике

9 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин.

Максимум 50 баллов.



**Задача 1. Полеты с ветерком.** Самолет совершает перелет из пункта А в пункт В. Первую часть полета самолет летел со встречным ветром 50 км/ч в течение 3 часов, и при этом он пролетел 1500 км. Затем направление ветра сменилось на противоположное, и вторую часть полета самолет выполнял уже при попутном ветре такой же скорости. Пилот заметил, что за первую часть полета было израсходовано 40% топлива. Определите дальность всего полета, считая, что режим работы двигателей оставался неизменным.

**Возможное решение:**

Сначала рассмотрим первую часть полета. В это время дул встречный ветер со скоростью  $u = 50$  км/ч. Обозначим дальность полета  $L_1 = 1500$  км, а время полета при встречном ветре  $t_1 = 3$  часа. Тогда скорость самолета относительно земли на этой части полета можно найти так:

$$v_1 = L_1/t_1 = 1500/3 = 500 \text{ км/ч.}$$

Скорость самолета относительно воздуха будет:

$$v_{10} = v_1 + u = 500 \text{ км/ч} + 50 \text{ км/ч} = 550 \text{ км/ч.}$$

Если бы ветра не было, то самолет за то же время пролетел бы расстояние

$$L_{10} = v_{10} \cdot t_1 = 550 \cdot 3 = 1650 \text{ км.}$$

Расход топлива зависит от режима работы двигателя самолета, то есть, на 1650 км в безветренную погоду самолет затратил бы те же 40% топлива.

Тогда на остальные 60% топлива в безветренную погоду самолет бы смог пролететь 2475 км и потратил бы на это  $t_2 = 4,5$  часа. Т.е. 60% топлива хватит на 4,5 часов работы двигателя в этом режиме.

Однако самолет эти 4,5 часа (вторую часть пути) летит с попутным ветром, так что его скорость относительно Земли определится как  $v_2 = v_{10} + u = 600$  км/ч, а пролететь он успеет  $L_2 = v_2 \cdot t_2 = 2700$  км.

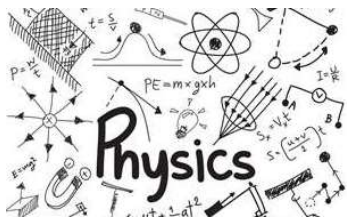
Тогда общая дальность полета  $L = L_1 + L_2 = 1500 + 2700 = 4200$  км.

**Критерии оценивания:**

Найдена скорость самолета относительно земли в первом случае	<b>1 балл</b>
Найдена скорость относительно воздуха при встречном ветре	<b>2 балла</b>
Из анализа расхода топлива найдено время движения самолета на втором участке пути (4,5 часа)	<b>3 балла</b>
Найдена скорость относительно земли во втором случае	<b>2 балла</b>
Найдена общая дальность полета	<b>2 балла</b>

*Выше приводится возможное решение. Допустимы альтернативные решения. В случае*





Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике

9 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин.

Максимум 50 баллов.



*альтернативных решений составляются другие критерии оценивания в зависимости от степени и правильности решения задачи.*

**Максимум за задачу 10 баллов**

**Задача 2. Электричество против льда.**

В Цветочном городе наступила зима, а у Винтика и Шпунтика появились новые темы для исследований. Однажды в поле они обнаружили металлическую цилиндрическую трубу длиной 5 метров, которая была полностью заполнена льдом. Помогите изобретателям вычислить, за какое время можно растопить весь лед в трубе, если подавать на ее концы напряжение 36 В. Диаметр трубы 12 см, удельное сопротивление металла  $2 \cdot 10^{-7}$  Ом·м, толщина стенок 2 мм. Плотность льда  $0,9$  г/см<sup>3</sup>, удельная теплота плавления льда  $3,35 \cdot 10^5$  Дж/кг. Потерями тепла в окружающую среду и нагреванием самой трубы при расчетах можно пренебречь.

**Возможное решение:**

Найдем сопротивление металлической трубы. Площадь поперечного сечения, по которому проходит ток, можно приблизительно вычислить как  $S = 2\pi rh$ , где  $r$  – радиус трубы,  $h$  – толщина ее стенок. Приближение правомерно, так как толщина трубы значительно меньше ее радиуса.

При прохождении электрического тока в трубе будет выделяться количество теплоты, определяемое по закону Джоуля-Ленца:

$Q = U^2 t / R$ , но  $R = \rho l / S = \rho l / 2\pi rh$ , поэтому  $Q = 2\pi rh U^2 t / \rho l$ . Здесь  $t$  – это время протекания тока,  $\rho$  – удельное сопротивление металла.

Это количество теплоты будет затрачено на таяние льда, то есть:

$$Q = \lambda m = \lambda \rho_l V = \lambda \rho_l \pi r^2 l.$$

Здесь мы пренебрегли толщиной стенок трубы по сравнению с ее радиусом. Участник в данной формуле может взять в качестве радиуса ледяного цилиндра разницу  $r-h$  (либо  $r+h$ , если посчитает, что задан внутренний радиус трубы), что нельзя считать ошибкой. При оценивании за это баллы не снимаются.

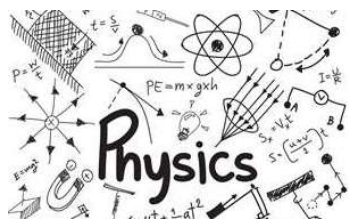
Получаем:

$$\lambda \rho_l \pi r^2 l = 2\pi rh U^2 t / \rho l,$$

откуда искомое время:

$$t = \lambda \rho_l r l^2 \rho / 2 U^2 h.$$

Выполним расчеты, получим (не забыв учесть, что в условии дан диаметр трубы, а не радиус, и плотность льда необходимо перевести в систему СИ):

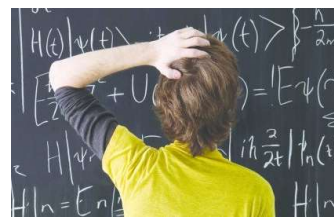


Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике

9 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин.

Максимум 50 баллов.



$$t = 17,45 \text{ с.}$$

**Ответ:** 17,45 с (допускаются другие варианты округления, например 17 или 17,5 секунд).

**Критерии оценивания:**

Получено выражение для сопротивления трубы	<b>2 балла</b>
Получено выражение для количества теплоты, выделившегося в трубе за время $t$	<b>2 балла</b>
Получено выражение для количества теплоты, необходимого для таяния всего льда	<b>3 балла</b>
Получено выражение для времени	<b>1 балл</b>
Получено верное численное значение времени в диапазоне от 17 до 17,5 секунд	<b>2 балла</b>

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

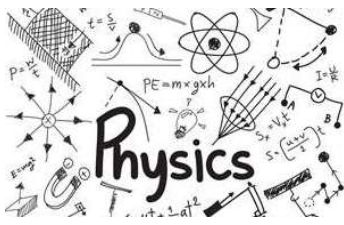
**Максимум за задачу 10 баллов**

*Комментарий для разбора задач: полученное значение времени в значительной степени занижено, поскольку в данной ситуации нельзя пренебрегать потерями тепла в окружающую среду. Поверхность трубы достаточно велика, так что потери тепла сравнимы с количеством теплоты, передаваемым льду. Стоит упомянуть об этом при разборе задачи.*

**Задача 3. Сверхлегкий материал.** Современные ученые занимаются созданием сверхлегких материалов. Один из таких материалов представляет собой структуру, состоящую из переплетающихся тонкостенных трубок, заполненных воздухом. Сами трубки сделаны из сплава никеля и фосфора (массовая доля никеля 93%, фосфора 7%). При исследованиях материала было определено, что плотность образца составляет  $0,9 \text{ мг/см}^3$ , если не учитывать наличие воздуха внутри трубок. Какова на самом деле плотность этого экспериментального вещества, если все-таки учитывать воздух? При расчетах можно принять, что объем никель-фосфорного сплава равен сумме объемов входящих в его состав никеля и фосфора. Плотность воздуха  $1,2 \text{ мг/см}^3$ , плотность фосфора  $1,85 \text{ г/см}^3$  и плотность никеля  $8,9 \text{ г/см}^3$ .

**Возможное решение:**

Сначала найдем среднюю плотность сплава, из которого сделаны стенки трубок:



**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

9 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин.

Максимум 50 баллов.



$$\rho_{\text{Ni-P}} = \frac{m_{\text{Ni}} + m_{\text{P}}}{V_{\text{Ni}} + V_{\text{P}}} = \frac{m_{\text{Ni}} + m_{\text{P}}}{\rho_{\text{Ni}} V_{\text{Ni}} + \rho_{\text{P}} V_{\text{P}}}$$

Так как  $m_{\text{Ni}} = 0,93m$  и  $m_{\text{P}} = 0,07m$ , где  $m = m_{\text{Ni}} + m_{\text{P}}$ , то:

$$\rho_{\text{Ni-P}} = \frac{\rho_{\text{Ni}} \rho_{\text{P}} m}{0,93 \rho_{\text{Ni}} m + 0,07 \rho_{\text{P}} m} = \frac{8,9 \cdot 1,85}{0,93 \cdot 1,85 + 0,07 \cdot 8,9} = 7,03 \text{ г/см}^3.$$

Теперь запишем формулу для плотности образца без учета массы воздуха:

$$\rho_1 = \frac{m}{V_{\text{Ni-P}} + V_0} = \frac{\rho_{\text{Ni-P}} V_{\text{Ni-P}}}{V_{\text{Ni-P}} + V_0}.$$

Отсюда:

$$V_0 = \frac{\rho_{\text{Ni-P}} - \rho_1}{\rho_1} V_{\text{Ni-P}} = 7810 V_{\text{Ni-P}}$$

Таким образом, объем пустот в этом веществе в 7810 раз больше объема стенок трубок.

С учетом воздуха (если в этих пустотах будет воздух):

$$\rho_2 = \frac{m + m_{\text{B}}}{V_{\text{Ni-P}} + V_0} = \frac{\rho_{\text{Ni-P}} V_{\text{Ni-P}} + \rho_{\text{B}} V_0}{V_{\text{Ni-P}} + V_0} = \frac{\rho_{\text{Ni-P}} + 7810 \rho_{\text{B}}}{7811} = \frac{7,03 + 7810 \cdot 0,0012}{7811};$$

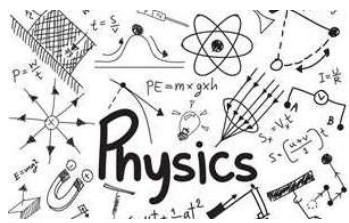
$$\rho_2 = 0,0021 \text{ г/см}^3 = 2,1 \text{ мг/см}^3.$$

**Критерии оценивания:**

Найдена средняя плотность материала стенок	<b>3 балла</b> (2 за идею и формулы, 1 за численный результат)
Найдено отношение объемов пустого пространства и стенок	<b>3 балла</b> (2 за идею и формулы, 1 за численный результат)
Найдена искомая плотность	<b>4 балла</b> (2 за идею и формулы, 2 за верный численный ответ)
<p><i>За каждое верно выполненное действие баллы складываются. При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1-2 балла в зависимости от того, насколько отличается полученный ответ от того, который должен быть. <b>Максимум за задание – 10 баллов.</b></i></p>	

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

**Задача 4. С термометрами что-то не так...**

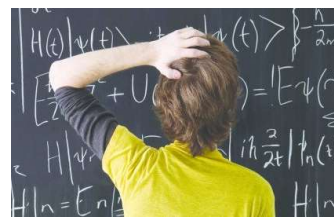


Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике

9 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин.

Максимум 50 баллов.



Восьмиклассник Кирилл для домашних экспериментов самостоятельно изготовил два термометра и решил проверить их работоспособность. Оказалось, что если их поместить в смесь воды и льда, то первый термометр покажет ровно  $-4^{\circ}\text{C}$ , а второй ровно  $+3^{\circ}\text{C}$ . Это показалось Кириллу странным, и он решил провести второй эксперимент, поместив термометры в кипящую воду. Тогда первый показал  $+108^{\circ}\text{C}$ , а второй  $+96^{\circ}\text{C}$ . А вот температуру самого Кирилла оба термометра показывали одинаково. Найдите показания термометров при измерении температуры Кирилла и определите истинную температуру Кирилла. Учтите, что шкалы термометров хоть и разные, но являются линейными, то есть их показания изменяются на одинаковую величину (которая для каждого термометра своя!) при одинаковом изменении температуры.

**Возможное решение:**

Поскольку в условии сказано, что зависимость показаний термометра от температуры линейна, она должна описываться линейной функцией, т.е.

$$T_1 = k_1 T + b_1 \text{ и } T_2 = k_2 T + b_2,$$

где  $k_1, k_2, b_1$  и  $b_2$  – это постоянные коэффициенты, а  $T$  – истинная температура.

Воспользуемся точками, которые определены в условии.

$-4 = k_1 \cdot 0 + b_1$ , поэтому  $b_1 = -4^{\circ}\text{C}$ . Аналогично  $b_2 = 3^{\circ}\text{C}$ .

$108 = k_1 \cdot 100 - 4$ , тогда  $k_1 = 1,12$ . Аналогично  $k_2 = 0,93$ .

Поскольку при некоторой температуре  $T_0$  показания термометров совпали, то можно записать:  $k_1 T_0 + b_1 = k_2 T_0 + b_2$ , откуда находится температура Кирилла:

$$T_0 = (b_2 - b_1)/(k_1 - k_2) \approx 36,84^{\circ}\text{C} \approx 36,8^{\circ}\text{C}.$$

Осталось найти показания термометров:

$$T_1 = T_2 \approx 37,26^{\circ}\text{C} \approx 37,3^{\circ}\text{C}.$$

**Критерии оценивания:**

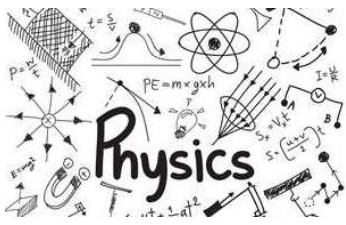
Записано математически, что зависимость показаний градусника от температуры линейна	<b>3 балла</b>
Найдены коэффициенты этой зависимости	<b>3 балла</b>
Найдено значение температуры Кирилла	<b>2 балла</b>
Найдены показания термометров	<b>2 балла</b>

*Участники могут предложить графический способ нахождения показаний термометров. Для этого можно построить на одном графике две прямые и получить точку пересечения.*

*Также из графиков можно найти коэффициенты прямых.*

*Однако прямые идут близко друг к другу, поэтому точку пересечения и коэффициенты*



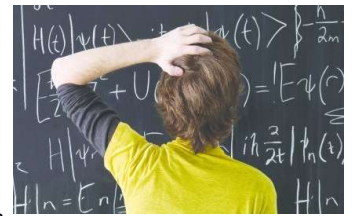


Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике

9 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин.

Максимум 50 баллов.



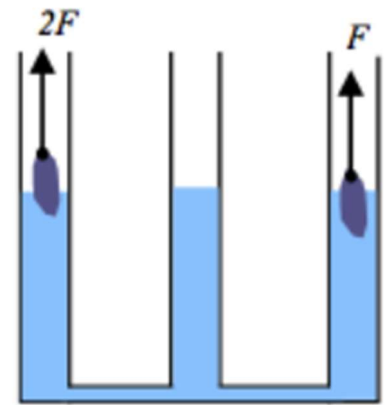
вряд ли удастся найти достаточно точно.

Если участник все-таки идет по данному пути решения, то при оценивании работы стоит обращать внимание на саму идею, точность построения, выбор масштаба графиков, точность определения точки пересечения и коэффициентов прямых.

**Максимум за задание – 10 баллов.**

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

**Задача 5. Сообщающиеся сосуды.** Три одинаковых цилиндрических сосуда, соединенные снизу трубками, частично заполнили водой. Каждый из трех сосудов имеет площадь поперечного сечения  $S = 10 \text{ см}^2$ . В правый и в левый сосуды помещают льдинки, которые удерживают в равновесии за нити, прикладывая к ним вертикально направленные силы  $F = 1 \text{ Н}$  и  $2F$ . В результате теплообмена с водой и с окружающей средой льдинки начинают таять. В течение всего процесса таяния их продолжают удерживать в равновесии. Как и на сколько изменится уровень воды в среднем сосуде после того, как обе льдинки растают? Плотность воды  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ , ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .



**Возможное решение:**

Рассмотрим внешние силы, действующие на содержимое сосудов, в которое включим воду и льдинки. Сила тяжести компенсируется тремя внешними силами  $F$ ,  $2F$  и силой реакции со стороны дна. Последняя, в свою очередь, равна по модулю силе давления на дно со стороны жидкости. Из условия равновесия в начальной ситуации следует:

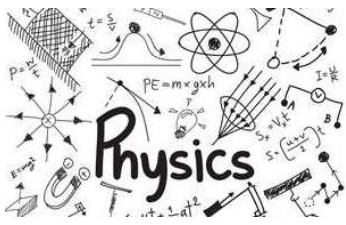
$$F + 2F + 3Spgh_1 = m_{\text{содерж}}g.$$

После таяния льдинок масса содержимого сохраняется, но изменяется уровень и, следовательно, давление воды около дна. Кроме того, перестают действовать силы  $F$  и  $2F$ . Новое условие равновесия примет вид:

$$3Spgh_2 = m_{\text{содерж}}g.$$

Вычитая из первого уравнения второе, получим:





Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике

9 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин. Максимум 50 баллов.

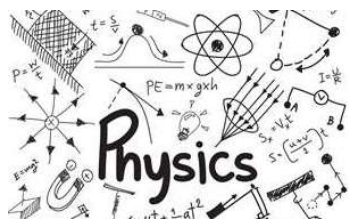


$$\Delta h = h_2 - h_1 = F/\rho g S = 10 \text{ см.}$$

Так как эта величина положительная, то уровень повысится.

**Критерии оценивания:**

Записано условие равновесия содержимого в начальной ситуации	2 балла
Записано условие равновесия содержимого в конечной ситуации	2 балла
Получено выражение для изменения уровня жидкости	2 балла
<i>Если задача решалась через объемы погруженных частей льдинок и изменение объемов при таянии, то за получение верного выражения для изменения уровня жидкости ставится в целом 6 баллов</i>	
Численное значение для изменения уровня	2 балла
Явное указание на повышение уровня	2 балла
<b>Максимум за задачу 10 баллов</b>	

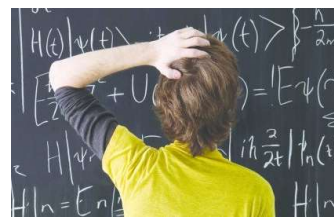


Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике

10 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин

Максимум 50 баллов.



**Задача 1. Полеты с ветерком.** Самолет совершает перелет из пункта А в пункт В. Первую часть полета самолет летел со встречным ветром 50 км/ч в течение 3 часов, и при этом он пролетел 1500 км. Затем направление ветра сменилось на противоположное, и вторую часть полета самолет выполнял уже при попутном ветре такой же скорости. Пилот заметил, что за первую часть полета было израсходовано 40% топлива. Определите дальность всего полета, считая, что режим работы двигателей оставался неизменным.

**Возможное решение:**

Сначала рассмотрим первую часть полета. В это время дул встречный ветер со скоростью  $u = 50$  км/ч. Обозначим дальность полета  $L_1 = 1500$  км, а время полета при встречном ветре  $t_1 = 3$  часа. Тогда скорость самолета относительно земли на этой части полета можно найти так:

$$v_1 = L_1/t_1 = 1500/3 = 500 \text{ км/ч.}$$

Скорость самолета относительно воздуха будет:

$$v_{10} = v_1 + u = 500 \text{ км/ч} + 50 \text{ км/ч} = 550 \text{ км/ч.}$$

Если бы ветра не было, то самолет за то же время пролетел бы расстояние

$$L_{10} = v_{10} \cdot t_1 = 550 \cdot 3 = 1650 \text{ км.}$$

Расход топлива зависит от режима работы двигателя самолета, то есть, на 1650 км в безветренную погоду самолет затратил бы те же 40% топлива.

Тогда на остальные 60% топлива в безветренную погоду самолет бы смог пролететь 2475 км и потратил бы на это  $t_2 = 4,5$  часа. Т.е. 60% топлива хватит на 4,5 часов работы двигателя в этом режиме.

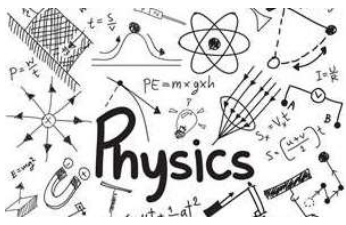
Однако самолет эти 4,5 часа (вторую часть пути) летит с попутным ветром, так что его скорость относительно Земли определится как  $v_2 = v_{10} + u = 600$  км/ч, а пролететь он успеет  $L_2 = v_2 \cdot t_2 = 2700$  км.

Тогда общая дальность полета  $L = L_1 + L_2 = 1500 + 2700 = 4200$  км.

**Критерии оценивания:**

Найдена скорость самолета относительно земли в первом случае	1 балл
Найдена скорость относительно воздуха при встречном ветре	2 балла
Из анализа расхода топлива найдено время движения самолета на втором участке пути (4,5 часа)	3 балла
Найдена скорость относительно земли во втором случае	2 балла
Найдена общая дальность полета	2 балла

*Выше приводится возможное решение. Допустимы альтернативные решения. В случае*



**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

10 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин

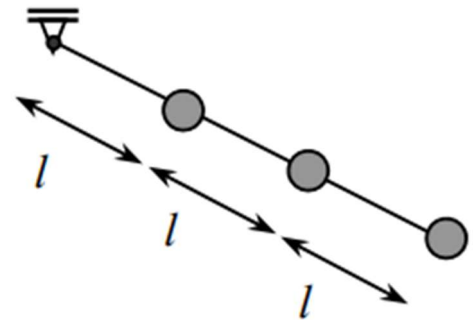
Максимум 50 баллов.



*альтернативных решений составляются другие критерии оценивания в зависимости от степени и правильности решения задачи.*

**Максимум за задачу 10 баллов**

**Задача 2. Шарики на спице.** Экспериментатор Глюк нашел у себя в лаборатории три одинаковых достаточно маленьких шарика и прямую спицу. Из найденного оборудования Глюк собрал экспериментальную установку, показанную на рисунке. При этом один из свободных концов спицы с шариками Глюк шарнирно прикрепил к потолку (см. рисунок). Расстояния между шариками и от шарнира до верхнего шарика равны  $l$ . В начале эксперимента систему приводят в горизонтальное положение и отпускают без толчка (без начальной скорости). Найдите отношение модулей сил натяжения спицы на её свободных участках в момент, когда система проходит положение равновесия. Спицу считать легкой.



**Возможное решение:**

Пусть масса одного шарика равна  $m$ ,  $T_1$  – сила реакции со стороны верхней свободной части спицы, действующая на верхний шарик,  $T_2$  – сила реакции, действующая со стороны средней свободной части спицы на средний шарик,  $T_3$  – сила реакции, действующая со стороны нижней свободной части спицы на нижний шарик.

Пусть в момент, когда система проходит положение равновесия, её угловая скорость равна  $\omega$ . Запишем закон сохранения механической энергии:

$$3mg \cdot 3l = mgl + mg \cdot 2l + m(\omega l)^2/2 + m(\omega \cdot 2l)^2/2 + m(\omega \cdot 3l)^2/2$$

Отсюда можно выразить  $\omega^2 l = 6g/7$ .

Применим второй закон Ньютона для верхнего шарика в момент прохождения системой положения равновесия:

$$T_1 - T_2 - mg = m\omega^2 l = 6mg/7.$$

Для среднего шарика условие равновесия запишется следующим образом:

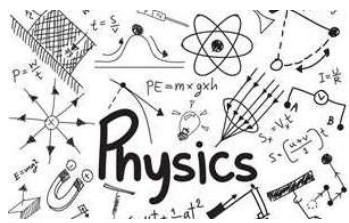
$$T_2 - T_3 - mg = m\omega^2 2l = 12mg/7.$$

Для нижнего получим:

$$T_3 - mg = m\omega^2 3l = 18mg/7.$$

Решая полученную систему уравнений, найдем:

$$T_1 = 57mg/7, T_2 = 44mg/7, T_3 = 25mg/7.$$

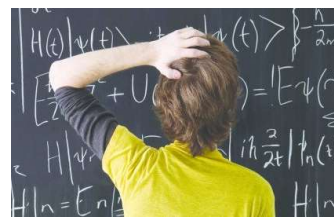


**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

10 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин

Максимум 50 баллов.



откуда окончательно получаем:  $T_1 : T_2 : T_3 = 57 : 44 : 25$ .

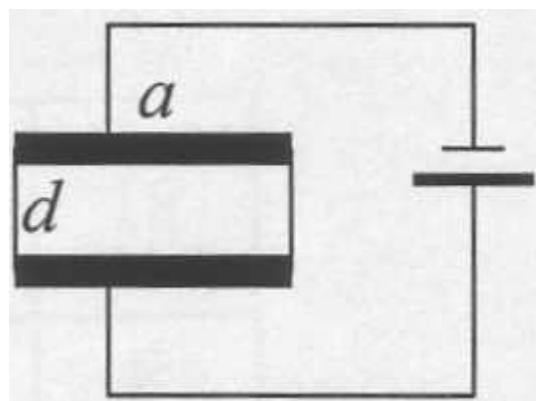
**Критерии оценивания:**

верно записан закон сохранения механической энергии	<b>3 балл</b>
верно записаны условия равновесия для шариков	<b>6 баллов (2 балла за каждое уравнение)</b>
получено верное отношение модулей сил натяжения	<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**

**Задача 3. Нагреватель.** Винтик и Шпунтик изобрели проточный нагреватель воды, схема которого приведена на рисунке. Он состоит из трубы длиной 100 см, поперечное сечение которой – это прямоугольник шириной 20 см и высотой 1 см. У трубы стенки с размерами 100x20 сделаны из металла, а размера 100x1 — из диэлектрика. По трубе прокачивается вода, а ее нагрев осуществляется электрическим током, для чего к



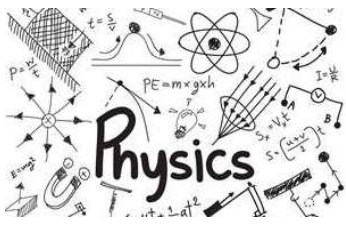
металлическим стенкам прикладывается постоянное напряжение. Определите прикладываемое напряжение, если нагреватель обеспечивает нагрев 600 литров воды в час от 10°C до 60°C. Теплоемкостью трубы и потерями тепла пренебречь. При расчетах используйте следующие характеристики воды: плотность 10<sup>3</sup> кг/м<sup>3</sup>, удельная теплоемкость 4210 Дж/(кг·К), удельное сопротивление 10 Ом·м.

**Возможное решение:**

Ток идет между двумя горизонтальными пластинами и нагревает воду. Рассмотрим небольшой объем воды  $\Delta V = ad\Delta l$ . При прохождении тока в этом объеме выделится тепловая мощность:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{U^2 adl}{\rho_0 d}, \quad (1)$$

где  $\rho_0$  – удельное сопротивление воды.

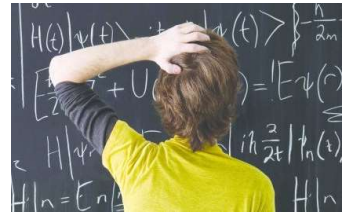


**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

10 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин

Максимум 50 баллов.



Пренебрегая теплопроводностью воды, можно найти энергию, полученную этим объемом за все время прохождения тока через нагреватель, учитывая, что  $t = L/v$ :

$$Q = \frac{U^2 a \Delta l}{\rho_0 d} \cdot \frac{L}{v}, \quad (2)$$

где  $v$  – скорость течения воды. Так как это количество теплоты затрачивается на нагревание, то  $Q = cm\Delta T = c\rho\Delta V\Delta T$ , (3) где  $\rho$  – плотность воды,  $c$  – удельная теплоемкость. При этом температура этого объема увеличилась на:

$$\Delta T = \frac{U^2 a \Delta l}{c\rho\Delta V\rho_0 d} \cdot \frac{L}{v} = \frac{U^2 L}{c\rho\rho_0 d^2 v}. \quad (4)$$

Скорость течения воды связана с ее объемным расходом соотношением:

$$k = adv = \Delta V/\Delta t, \quad (5) \text{ тогда } dv = k/a, \text{ причем } k = 600 \text{ л/ч} = 10 \text{ л/мин} = 1,67 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Используя это и предыдущее выражение, получим:

$$U = \sqrt{\frac{k\rho\rho_0 cd\Delta T}{aL}} = 132,4 \text{ В} \approx 132 \text{ В}.$$

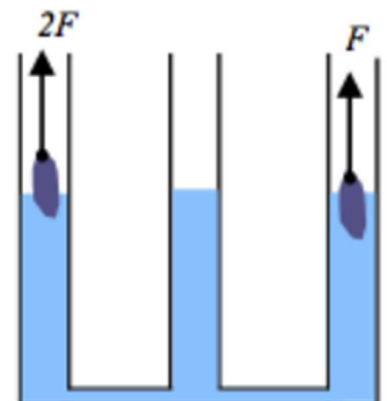
**Критерии оценивания:**

Записана формула для мощности (1)	<b>2 балла</b>
Использована идея, что за счет этого количества теплоты происходит нагрев воды (например, записана формула (3))	<b>2 балла</b>
Получена связь скорости течения воды с ее объемным расходом (5)	<b>2 балла</b>
Получена общая формула для напряжения	<b>2 балла</b>
Получен верный численный ответ	<b>2 балла</b>

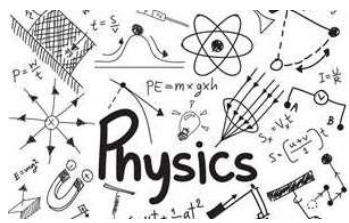
*Выше приводится возможное решение. Допустимы альтернативные решения. В случае альтернативных решений составляются другие критерии оценивания в зависимости от степени и правильности решения задачи.*

**Максимум за задачу 10 баллов**

**Задача 4. Сообщающиеся сосуды.** Три одинаковых цилиндрических сосуда, соединенные снизу трубками, частично заполнили водой. Каждый из трех сосудов имеет площадь поперечного сечения  $S = 10 \text{ см}^2$ . В правый и в левый сосуды помещают льдинки, которые удерживают в равновесии за нити, прикладывая к ним вертикально направленные силы  $F = 1 \text{ Н}$  и  $2F$ . В результате теплообмена





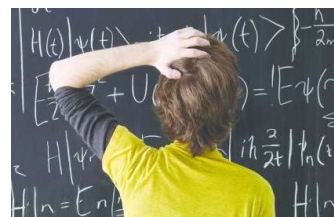


**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

10 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин

Максимум 50 баллов.



с водой и с окружающей средой льдинки начинают таять. В течение всего процесса таяния их продолжают удерживать в равновесии. Как и на сколько изменится уровень воды в среднем сосуде после того, как обе льдинки растают? Плотность воды  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ , ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

**Возможное решение:**

Рассмотрим внешние силы, действующие на содержимое сосудов, в которое включим воду и льдинки. Сила тяжести компенсируется тремя внешними силами  $F$ ,  $2F$  и силой реакции со стороны дна. Последняя, в свою очередь, равна по модулю силе давления на дно со стороны жидкости. Из условия равновесия в начальной ситуации следует:

$$F + 2F + 3Spgh_1 = m_{\text{содерж}}g.$$

После таяния льдинок масса содержимого сохраняется, но изменяется уровень и, следовательно, давление воды около дна. Кроме того, перестают действовать силы  $F$  и  $2F$ . Новое условие равновесия примет вид:

$$3Spgh_2 = m_{\text{содерж}}g.$$

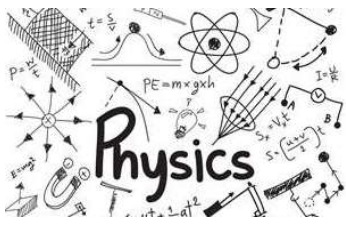
Вычитая из первого уравнения второе, получим:

$$\Delta h = h_2 - h_1 = F/\rho g S = 10 \text{ см.}$$

Так как эта величина положительная, то уровень повысится.

**Критерии оценивания:**

Записано условие равновесия содержимого в начальной ситуации	<b>2 балла</b>
Записано условие равновесия содержимого в конечной ситуации	<b>2 балла</b>
Получено выражение для изменения уровня жидкости	<b>2 балла</b>
<i>Если задача решалась через объемы погруженных частей льдинок и изменение объемов при таянии, то за получение верного выражения для изменения уровня жидкости ставится в целом 6 баллов</i>	
Численное значение для изменения уровня	<b>2 балла</b>
Явное указание на повышение уровня	<b>2 балла</b>
<b>Максимум за задачу 10 баллов</b>	



**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

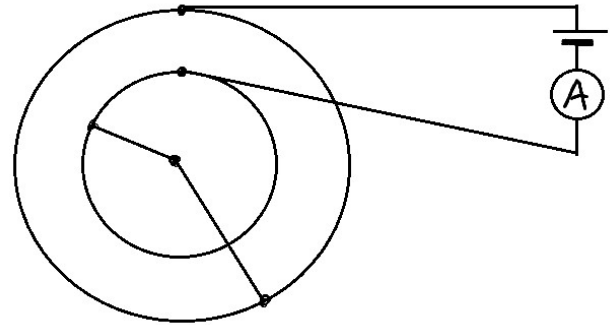
10 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин

Максимум 50 баллов.



**Задача 5. Электрические часы.** Известные изобретатели Винтик и Шпунтик изобрели для жителей Цветочного города уникальные электрические часы. Для этого они взяли одинаковые по толщине и материалу проволоки и сделали из них минутную и часовую стрелку, а также проложили такую же проволоку по окружностям, которые описываются концами стрелок (см. рисунок).



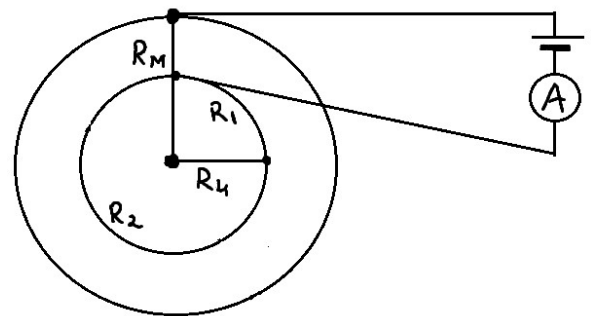
Часовая и минутная стрелки изолированы по всей длине кроме концов и точек крепления к оси. Проволочные окружности не изолированы и к ним в верхних точках подключены последовательно источник напряжения 10 В и амперметр. Жители Цветочного города обнаружили, что в момент, когда часы показывают ровно 3 часа, показания амперметра равны 10 мА. Что увидят они на амперметре, когда часы покажут ровно 6 часов? Амперметр считать идеальным, минутная стрелка в 2 раза длиннее часовой.

**Возможное решение:**

Электрочасы можно представить в виде комбинации последовательного и параллельного соединений, однако суммарное сопротивление в первой и второй ситуации будет разным, поэтому и показания амперметра будут различными.

Обозначим  $R_ч$  и  $R_м$  сопротивления часовой и минутной стрелки.

Часовая стрелка делит свою окружность на два отрезка с сопротивлениями  $R_1$  и  $R_2$ , причем они будут соединены параллельно друг другу. По минутному кольцу ток течь не будет (1).



Так как сопротивление проволоки пропорциональна ее длине (материал и поперечное сечение всех проволок в задачи одинаковы) (2), то  $R_м = 2R_ч$ . Выразим сопротивления  $R_1$  и  $R_2$  через  $R_ч$ . Длина  $l_1 = 2\pi l_ч/4 = \pi l_ч/2$ ,  $l_2 = 3 \cdot 2\pi l_ч/4 = 3\pi l_ч/2$ . Тогда  $R_1 = \pi R_ч/2$  и  $R_2 = 3\pi R_ч/2$ .

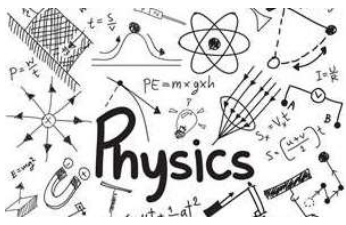
Тогда общее сопротивление цепи в первом случае:

$$R_{03} = R_ч + R_м + R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2) = 3R_ч + (\pi R_ч/2) \cdot (3\pi R_ч/2) / (\pi R_ч/2 + 3\pi R_ч/2) = R_ч (3 + 3\pi/8). \quad (3)$$

По закону Ома:  $R_{03} = U/I = 10/0,01 = 1000 \text{ Ом}$ . Тогда  $R_ч = 239,4 \text{ Ом}$ . (4)

Сопротивление во втором случае:  $R_{06} = R_ч + R_м + R_3 \cdot R_4 / (R_3 + R_4)$ , где  $R_3 = R_4 = \pi R_ч$ , тогда  $R_{06} = R_ч(3 + \pi/2) \approx 1094 \text{ Ом}$ . (5)

Тогда  $I_2 = U/R_{06} = 9,14 \text{ мА}$ .



**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

10 класс, 2020/2021 учебный год

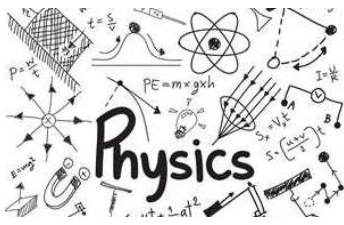
Длительность 3 ч 50 мин

Максимум 50 баллов.



**Критерии оценивания:**

Утверждение (1) или аналогичное ему по смыслу	<b>1 балл</b>
Утверждение (2) словесно или в виде формулы	<b>1 балл</b>
Нахождение общего сопротивления в первом случае (3)	<b>2 балла</b>
Вычисление сопротивления часовой стрелки из закона Ома (4)	<b>2 балл</b>
Нахождение общего сопротивления во втором случае (5)	<b>2 балла</b>
Нахождение показаний амперметра во втором случае (6)	<b>2 балла</b>
<b>Максимум за задачу 10 баллов</b>	



**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

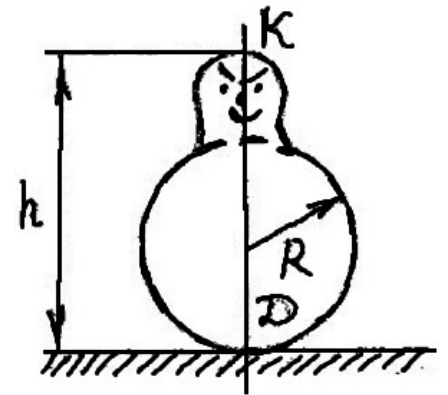
11 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин.

Максимум 50 баллов.

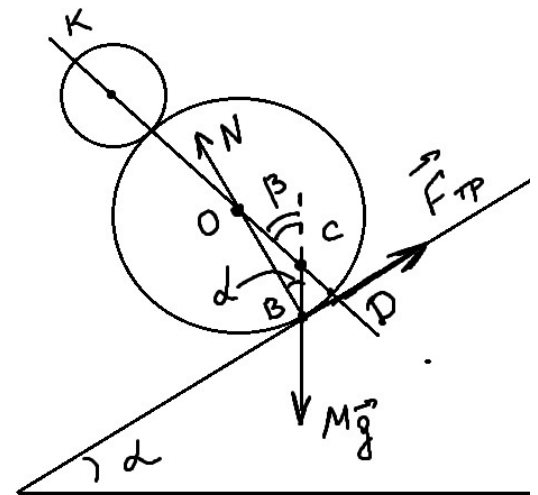


**Задача 1. Неваляшка.** Детская игрушка Неваляшка представляет собой фигуру высотой 21 см и массой 300 г с симметричным распределением массы относительно оси  $KD$  (см. рисунок), причем поверхность нижней части неваляшки есть часть сферы радиусом 6 см. Если Неваляшку поставить на шероховатую плоскую 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?



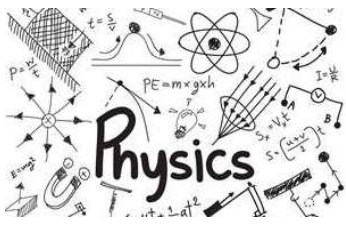
**Возможное решение:**

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  $OC$ :

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

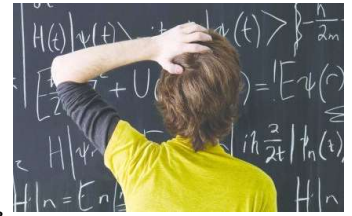


**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

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

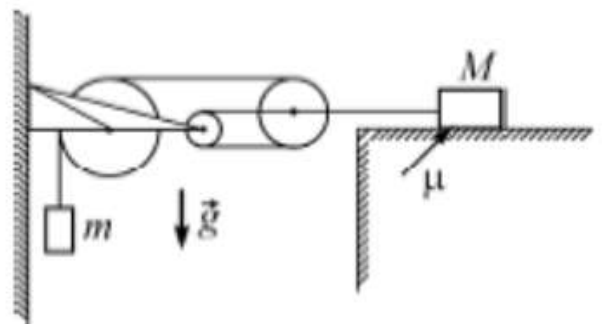
$$m = \frac{MR \sin \alpha}{h - R \sin \beta} = 60\sqrt{2} = 85 \text{ г.}$$

**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  $M$ .

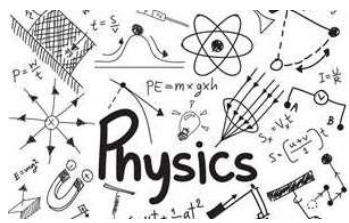


Обратите внимание, что конец левой нити прикреплен к оси самого правого блока и к этой же оси прикреплена другая нить, соединенная с грузом  $M$ .

**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



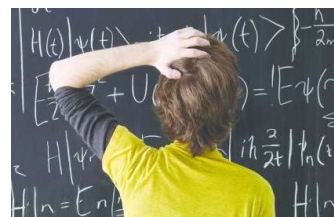


**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

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  $a_1 = 0,3675 \text{ м/с}^2$ .

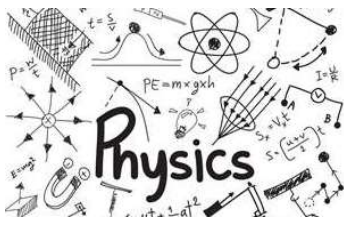
Так как получено положительное значение ускорения, то тела действительно будут двигаться, поэтому предположение о действующей силе трения верно.

**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**

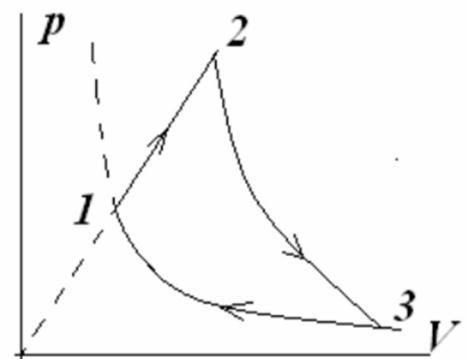
11 класс, 2020/2021 учебный год

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:

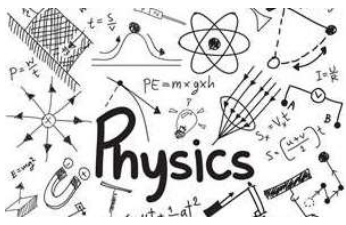
$$A_{12} = \frac{1}{2}(kV_1 V_2 + p_2 V_2 - p_1 V_1 - kV_2 V_1) = \frac{1}{2} \nu R \Delta T.$$

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:

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

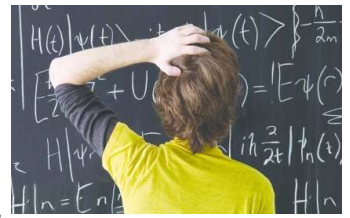


**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

11 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 ч 50 мин.

Максимум 50 баллов.



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

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

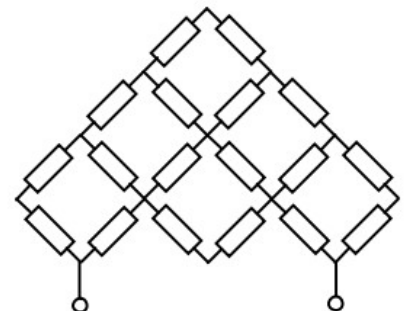
Для определения работы цикла вычтем работу на возвратной изотерме 3-1. Она как раз равна отданной в этом процессе теплоте. Окончательно получаем:

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

**Критерии оценивания:**

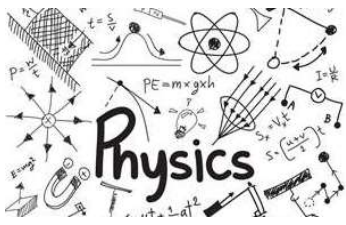
Записано выражение для работы в процессе 1-2 через площадь под графиком	<b>2 балла</b>
Учтена зависимость давления от объема	<b>2 балла</b>
Записано первое начало термодинамики для процесса 2-3	<b>2 балла</b>
Получено выражение для работы в процессе 1-2-3	<b>2 балла</b>
Получено выражение для работы за весь цикл	<b>2 балла</b>
<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 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.

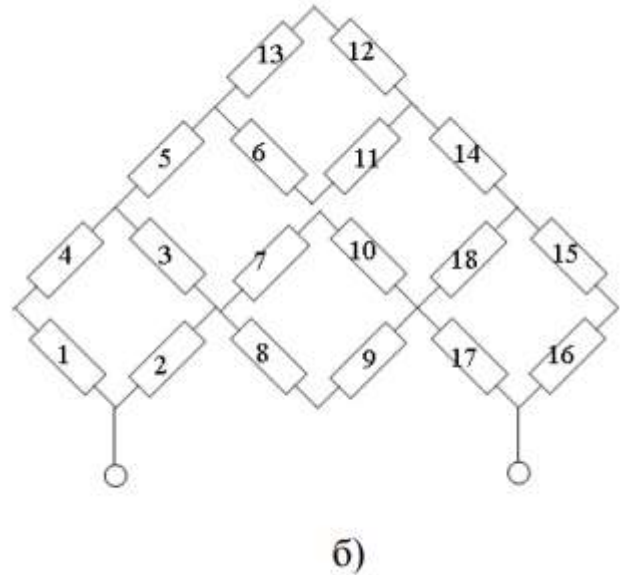
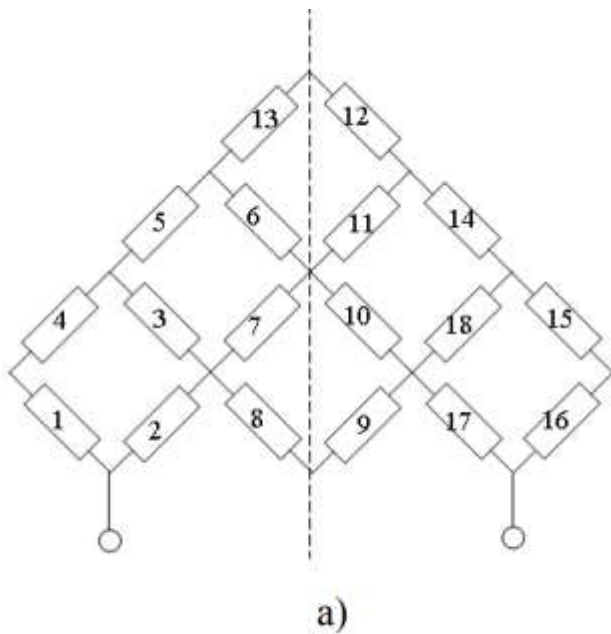
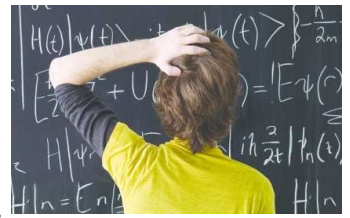


**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

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.):

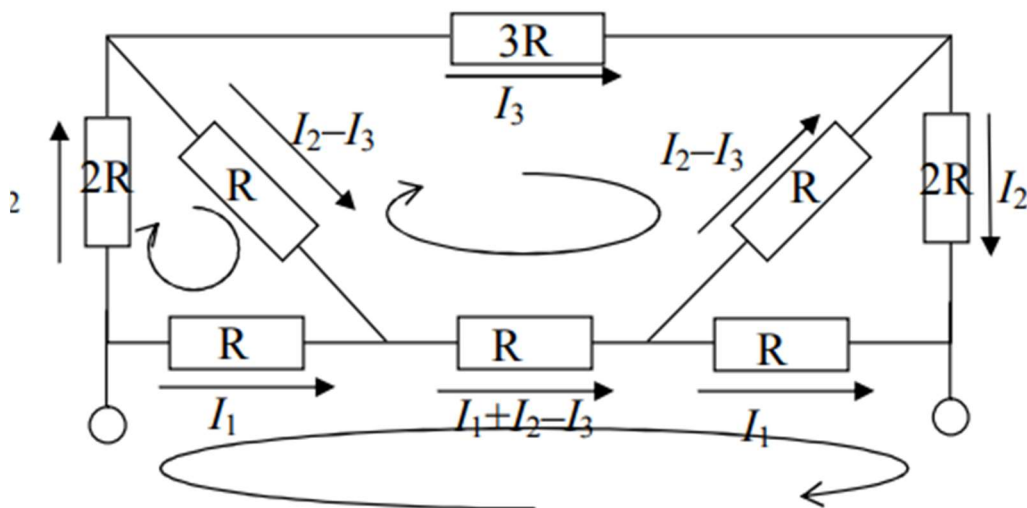


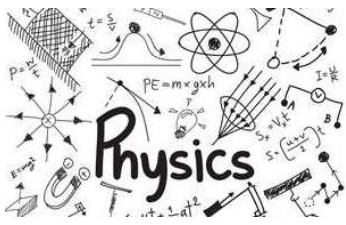
Рис. 2

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>

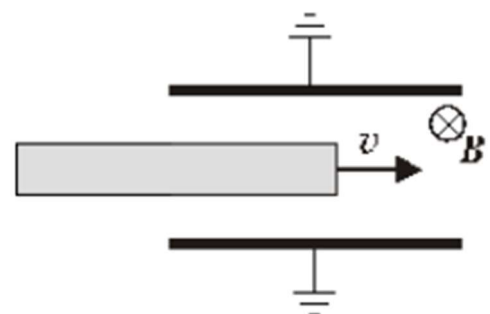
*Приведенное решение не является единственным. Однако любое решение будет включать комбинацию преобразования схемы с использованием симметрии и расчета сопротивления преобразованной схемы с использованием законов Кирхгофа (теоретически, при достаточном терпении первой части можно избежать). При оценке 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.*

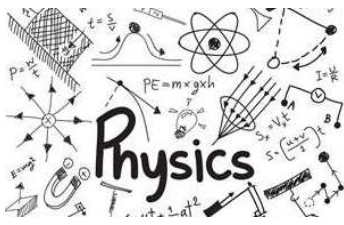
**Максимум за задачу 10 баллов**

**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:

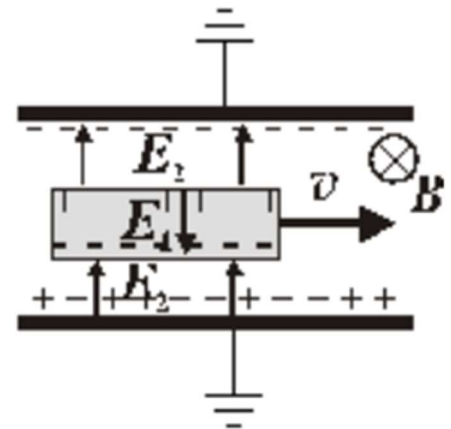
$$E_2 = \frac{E_1}{2} = \frac{v \cdot B}{2}.$$

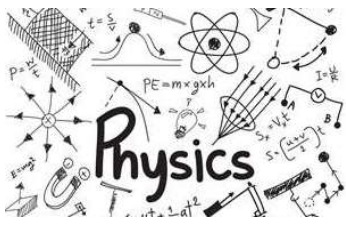
Заряды, наведённые на обкладках конденсатора, должны быть одинаковы по модулю и противоположны по знаку, в противном случае за пределами системы будет существовать электрическое поле, обладающее ненулевой энергией, в то время как всякая система должна стремиться к минимуму потенциальной энергии.

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:



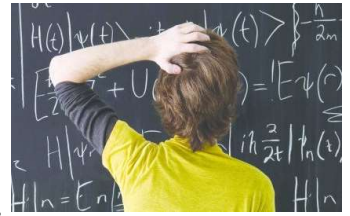


Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике

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**