

**Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по физике.  
2023-24 учебный год. 9 класс. Максимальный балл – 50.**

**Задача №1**

Колонна из  $n = 11$  велосипедистов длиной  $l_0 = 70$  м выстроилась перед перекрёстком. На разрешающий сигнал светофора колонна тронулась, причём каждый следующий велосипедист стартовал через  $\tau = 2$  с после находящегося перед ним. Определите длину колонны через  $t_1 = 10$  с и  $t_2 = 30$  с после начала движения, если все велосипедисты ехали с одинаковым ускорением  $a = 0,2$  м/с<sup>2</sup>.

*Автор: Антон Петрович Сорокин*

**Возможное решение**

**Вопрос №1.**

Через  $t_1 = 10$  с после начала движения 11-ый велосипедист все еще будет стоять на месте. За 10 с первый велосипедист проедет расстояние  $s_0 = at_1^2 / 2$  (1), численно  $s_0 = 10$  м. Следовательно, через 10 с после начала движения длина колонны будет равной  $l_1 = l_0 + s_0 = 80$  м (2).

**Вопрос №2.**

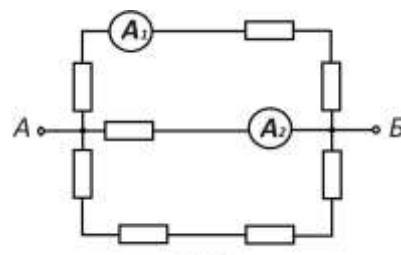
Через  $t_2 = 30$  с после начала движения первый велосипедист проедет расстояние  $s_1 = at_2^2 / 2$  (3), численно  $s_1 = 90$  м, а одиннадцатый –  $s_2 = a(t_2 - 10\tau)^2 / 2$  (4), численно  $s_2 = 10$  м. Длина колонны через 30 с после начала движения  $l_2 = l_0 + s_1 - s_2 = 150$  м (5).

**Критерии оценивания**

№	Критерий	Баллы
1	В решении учтено, что в первом случае через 10 секунд после начала движения последний велосипедист все еще будет стоять на месте	1
2	Записана формула (1) или найдено численное значение пути, пройденного первым велосипедистом в первом случае	2
3	Получен численный ответ на первый вопрос задачи (2)	1
4	Записана формула (3) или найдено численное значение пути, пройденного первым велосипедистом во втором случае	2
5	Записана формула (4) или найдено численное значение пути, пройденного последним велосипедистом во втором случае	2
6	Получен численный ответ на второй вопрос задачи (5)	2

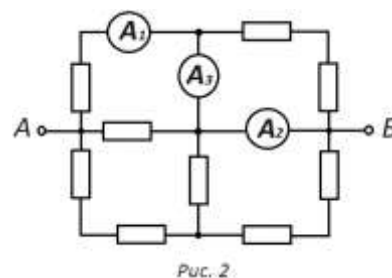
### Задача №2

Восемь одинаковых резисторов (сопротивление каждого из них равно  $R$ ) и два одинаковых амперметра (внутреннее сопротивление каждого из них равно  $R_a = R$ ) соединены в схему, представленную на рисунке 1. К точкам А и Б подключили источник постоянного напряжения. Известно, что показание первого амперметра  $I_1 = 2$  А.



**Вопрос №1:** Определите показание второго амперметра в схеме, представленной на рисунке №1.

В схему, представленную на рисунке 1, добавили еще один такой же амперметр и один такой же резистор. В результате получили схему, изображенную на рисунке 2. Источник постоянного напряжения, подключенный к точкам А и Б, оставили прежним.



**Вопрос №2:** Определите показания всех амперметров в этом случае.

*Автор: Гусев Андрей Владиславович*

#### Возможное решение

**Вопрос №1:** Сопротивление амперметра равно сопротивлению резистора. В результате общее сопротивление участка цепи, где располагается первый амперметр равно  $4R$ . Общее сопротивление участка, где располагается второй амперметр равно  $2R$ . Так как эти участки параллельны друг другу и напряжения на них одинаковые, то токи отличаются в два раза.

Получаем:  $I_2 = 2 \cdot I_1 = 2 \cdot 2 = 4$  А.

**Вопрос №2:** Из-за симметрии схемы через добавленные элементы ток течь не будет.

Получаем, что:  $I_3 = 0$  А.

Кроме того, получаем, что добавленные элементы из схемы 2 можно выкинуть. Это никак не скажется на характеристиках тока, протекающего через остальные элементы.

Следовательно, схема на рисунке 2 такая же, как и схема на рисунке 1. Получаем, что показания амперметров останутся неизменными:

$I_1 = 2$  А и  $I_2 = 4$  А.

#### Критерии оценивания

№	Критерий	Баллы
1	Сопротивления участков цепи, где располагаются амперметры отличаются в два раза	1
2	Показано, что $I_2 = 2 \cdot I_1$	1
3	Определены показания второго амперметра в первой схеме $I_2 = 4$ А	1
4	Сделан вывод о симметричности схемы на рисунке 2*	2
5	Указано, что показания третьего амперметра во второй схеме $I_3 = 0$ А	1
6	Аргументировано показана эквивалентность схем 1 и 2.*	2
7	Показания первого амперметра во второй схеме $I_1 = 2$ А	1
8	Показания второго амперметра во второй схеме $I_2 = 4$ А	1

\* При решении задачи через правила Кирхгофа, метод узловых потенциалов или иные методы, не использующие симметрию, баллы за пункт 4 ставятся за запись полного набора уравнений, позволяющего решить задачу. Баллы за пункт 6 ставятся в случае решения системы уравнений.

### Задача № 3

Когда из крана идет вода с объемным расходом  $\mu_1=9$  мл/с, то проточный нагреватель нагревает ее от температуры  $20^\circ\text{C}$  до температуры  $t_1$ . Если объемный расход станет  $\mu_2 = 1,08$  дм<sup>3</sup>/мин, то вода будет нагреваться до температуры  $t_2$ . Увеличив мощность нагревателя на 605 Вт при объемном расходе  $\mu_2$ , получим температуру воды  $t_3=1,2t_2$ .

Определите температуру  $t_1$  и мощность нагревателя при этой температуре.

Плотность воды  $1 \text{ г/см}^3$ , а удельная теплоемкость  $4200 \text{ Дж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$ .

*Автор: Баланов Василий Юрьевич*

#### Возможное решение:

Приведем объемные расходы воды к единой размерности и получим, что  $\mu_2=2\mu_1$ , где  $\mu_1 = 9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ , а  $\mu_2 = 18 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$

Запишем уравнения для двух состояний  $P\tau = c \mu_1 \rho(t_1-t)$  - для первого состояния(1), где  $\mu_1 \rho = \Delta m_1$  и  $P\tau = c \mu_2 \rho(t_2-t)$  - для второго состояния(2), где  $\mu_2 \rho = \Delta m_2$ . Приравняем правые части и получим, что  $t_2 = \frac{1}{2}(t_1 + t)$ .

Запишем уравнение для третьего состояния  $(P + \Delta P)\tau = c \mu_2 \rho(t_3-t)$ , где  $t_3 = 1,2t_2$ .

Заменим в этом уравнении  $P\tau$  на  $c \mu_1 \rho(t_1-t)$ , а  $1,2t_2$  на  $1,2 \cdot \frac{1}{2}(t_1 + t)$  и получим  $t_1 = \frac{\Delta P}{0,2c\rho\mu_1} - t \approx 60^\circ\text{C}$ .

Затем подставим значение  $t_1$  в уравнение для первого состояния  $P\tau = c \mu_1 \rho(t_1-t)$  и получим  $P \approx 1512 \text{ Вт}$ .

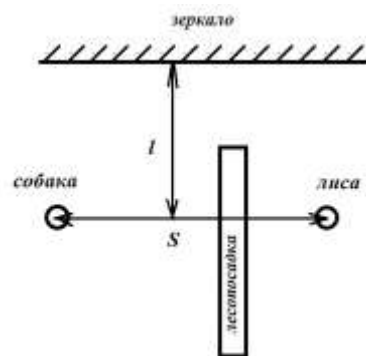
#### Критерии оценивания.

№	Критерий	Баллы
1	Объемные расходы воды приведены к единой размерности	1
2	Учтено, что $\mu_1 \rho = \Delta m_1$ и $\mu_2 \rho = \Delta m_2$ .	1
3	Записано уравнение для 1 состояния $P\tau = c \mu_1 \rho(t_1-t)$	1
4	Записано уравнение для 2 состояния $P\tau = c \mu_2 \rho(t_2-t)$	1
5	Записано уравнение для 3 состояния $(P + \Delta P)\tau = c \mu_2 \rho(t_3-t)$	1
6	Найдена зависимость $t_2 = \frac{1}{2}(t_1 + t)$ .	2
7	Определена температура $t_1$ (формула + число)*	1+1
8	Определена мощность нагревателя при температуре $t_1$ (формула + число)*	0,5+0,5
ИТОГО		10

\* Если численный ответ правильный и получен из верных соображений, то формула автоматически засчитывается.

#### Задача №4

Во время охоты собака, находящаяся по одну сторону от лесопосадки, учуяла лису, находившуюся по другую сторону от лесопосадки напротив собаки на расстоянии  $S = 300$  м. Сквозь лесопосадку собака лису не видит. Перпендикулярно линии лесопосадки недалеко от ее края на расстоянии  $l = 100$  м от собаки (и лисы, соответственно) кто-то установил большое плоское зеркало. Лиса и собака одновременно увидели друг друга в зеркале, и началась «погоня». Собака бежит за изображением лисы со скоростью  $v_1 = 45$  км/ч, а лиса со скоростью  $v_2 = 40$  км/ч убегает от изображения собаки. В какой-то момент собака столкнулась с зеркалом.



**Вопрос № 1.** На каком расстоянии от собаки находится в начальный момент изображение лисы?

**Вопрос № 2.** Какое расстояние собака успела пробежать к моменту столкновения с зеркалом?

**Вопрос № 3.** Какое расстояние успеет пробежать лиса к тому моменту, когда собака уткнется в зеркало?

*Автор: Шишкина Анна Федоровна*

#### Возможное решение

##### Вопрос № 1.

Изображение в плоском зеркале находится на таком же расстоянии от зеркала, что и предмет. Таким образом, изображение лисы находится на прямой, перпендикулярной плоскости зеркала и проходящей через лису (см. рисунок, т. С). При этом расстояние от изображения лисы до самой лисы равно  $2l = 200$  м. Тогда расстояние от изображения лисы до собаки находится с помощью теоремы Пифагора:

$$BC = \sqrt{(2l)^2 + S^2} \approx 360,6 \text{ м.}$$

##### Вопрос № 2.

Покажем, что и собака, и лиса во время такой «погони» будут двигаться прямолинейно.

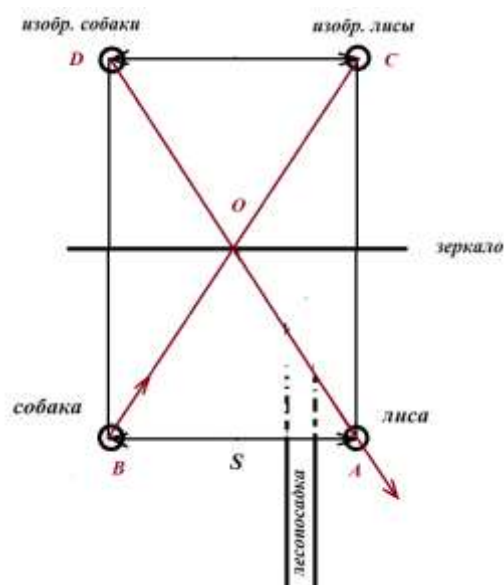
Построим изображения собаки и лисы в зеркале. Пусть собака находилась в т. В, тогда ее изображение находится на таком же расстоянии от зеркала с другой стороны в т. D. Аналогично, если лиса находится в т. А, то ее изображение в т. С.

Собака, увидев изображение лисы, начинает бежать по направлению от В к С, а лиса, увидев изображение собаки, бежит по прямой AD из точки А, удаляясь от зеркала (см. рисунок).

Изображение лисы будет двигаться по прямой ВС из точки С, удаляясь от зеркала, но будет оставаться на той же прямой.

А изображение собаки будет двигаться от т. D в направлении т. А по прямой DA.

Получается, что при таком движении скорости собаки и лисы не будут меняться по



направлению, т.е. движение животных будет прямолинейным, что мы и должны были показать.

В этом случае абсолютно понятно, где собака столкнется с зеркалом – это т. О на рисунке (точка пересечения прямых ВС и AD). Т.е. расстояние, пройденное этой собакой, есть половина отрезка ВС, т.е.  $BO = 180,3$  м.

### **Вопрос № 3.**

Собака движется со скоростью  $v_1 = 45$  км/ч = 12,5 м/с. Поэтому затратит на движение до зеркала  $t = BO/v_1 \approx 14,424$  с. Лиса движется со скоростью  $v_2 = 40$  км/ч  $\approx 11,1$  м/с, так что успеет пробежать  $L = 160,3$  м.

### **Критерии оценивания**

№	Критерий	Кол-во баллов
	<i>Вопрос № 1</i>	
1	Описано, где находится изображение лисы в зеркале	2
2	Найдено расстояние	2
	<i>Вопрос № 2</i>	
3	Указано, что и собака, и лиса движутся прямолинейно во время «погони»	1
4	Утверждение в п.3 обосновано	2
5	Найдено расстояние, пройденное собакой	1
	<i>Вопрос № 3</i>	
6	Найдено время движение собаки (численное значение находить не обязательно, достаточно получить формулу)	1
7	Найдено расстояние, пройденное лисой	1
	ИТОГО	10

## Задача №5

**Приборы и материалы:** прозрачный сосуд с водой, шприц 10 мл (без поршня), набор гаек (16 шт.), маленький кусочек пластилина, полоска миллиметровой бумаги, лист миллиметровки для построения графика, скотч и ножницы (выдаются по требованию), салфетки для поддержания чистоты. Плотность воды считать равной  $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

### Задание.

При помощи выданного вам пластилина закройте отверстие для иглы в шприце, чтобы в него не попадала вода. Теперь, накладывая в шприц гайки, заставьте его плавать вертикально. После этого выполните следующие задания:

1. Накладывая в шприц гайки измерьте зависимость глубины погружения шприца в воду от количества гаек. Получите не менее 5 значений.
2. На выданном вам листе миллиметровки постройте график зависимости глубины погружения шприца от количества гаек в нём;
3. При помощи графика определите массу одной гайки. Опишите ход ваших рассуждений;
4. При помощи графика определите массу пустого шприца с пластилином. Опишите ход ваших рассуждений.

*Автор: Порошин Олег Владимирович*

### Возможное решение

Сначала при помощи полоски миллиметровки находим длину окружности шприца. Зная длину окружности можно выразить радиус цилиндрической части шприца, а затем найти его площадь поперечного сечения.

$$L = 2\pi R \text{ отсюда } R = \frac{L}{2\pi} \text{ подставим в формулу площади круга } S = \pi R^2 = \frac{L^2}{4\pi} \quad (1)$$

Теперь разметим полоску миллиметровой бумаги и при помощи скотча наклеим её на шприц, совместив начало отсчёта с нижним краем шприца. По этой шкале можно будет определять глубину погружения шприца в воду.

При помощи пластилина герметизируем на шприце отверстие для иглы и погружаем его таким образом, чтобы шприц плавал почти вертикально.

После этого можно снимать зависимость глубины погружения шприца  $h$  от количества гаек  $n$  в нём. Проводим эксперимент минимум 5 раз с разным количеством гаек. Заносим данные в таблицу.

Прежде чем строить график получим вид зависимости глубины погружения от количества гаек. Запишем условие плавания тел.

$$(M + nm_0)g = \rho_{\text{в}} g S h \quad (2)$$

Где  $M$  – масса шприца с пластилином,  $m_0$  – масса одной гайки,  $n$  – количество гаек в шприце,  $h$  – глубина погружения шприца.

Выразим из этого уравнения  $h$ :

$$h = \frac{M}{\rho_{\text{в}} S} + \frac{m_0}{\rho_{\text{в}} S} n \quad (3)$$

Получаем линейную функцию. Графиком этой функции должна быть прямая.

Строим график по нашим экспериментальным точкам. Проводим через точки прямую. Продолжаем эту прямую до пересечения с осью  $h$ .

Для ответа на второй вопрос нужно найти угловой коэффициент наклона графика по формуле:

$$k = \frac{\Delta h}{\Delta n} \quad (4)$$

Из формулы (3) этот угловой коэффициент равен:

$$k = \frac{m_0}{\rho_{\text{в}} S} \quad (5)$$

Приравниваем (4) и (5) и выражаем массу гайки:

$$m_0 = \frac{\Delta h}{\Delta n} \rho_v S \quad (6)$$

Подставляем в формулу (6) экспериментальные данные и получаем значение массы гайки.

Для ответа на третий вопрос найдём точку пересечения графика с осью  $h_0$ . Эта точка будет равна первому слагаемому в уравнении.

$$h_0 = \frac{M}{\rho_v S}$$

Отсюда можно выразить массу шприца  $M = h_0 \rho_v S \quad (7)$

Подставляем в формулу (7) экспериментальные данные и получаем значение массы шприца.

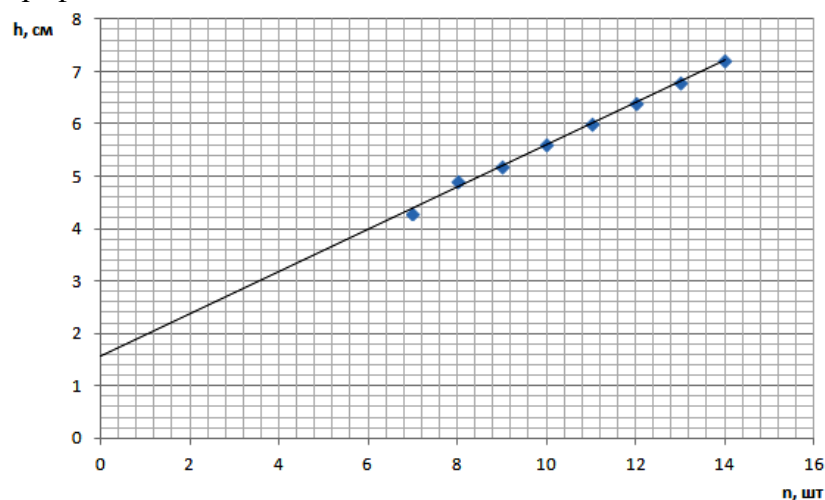
Экспериментальные данные.

Площадь поперечного сечения цилиндрической части шприца:  $2,55 \text{ см}^2$ .

Таблица данных

№	$n$ , шт.	$h$ , см
1	7	4,3
2	8	4,9
3	9	5,2
4	10	5,6
5	11	6
6	12	6,4
7	13	6,8
8	14	7,2

График



Масса гайки, полученная по результату эксперимента:  $m_0 = 1,02 \text{ г}$

Истинная масса гайки (измеренная на весах):  $m_0 = 1 \text{ г}$ .

Погрешность эксперимента около 2 %

Масса шприца, полученная по результатам эксперимента:  $M = 4 \text{ г}$

Истинная масса шприца (измеренная на весах):  $M = 3,9 \text{ г}$

Погрешность эксперимента около 1%

**Обратите внимание**, что данные результаты получены автором на своём оборудовании. Перед началом проверки необходимо непосредственно измерить массу

гайки и массу шприца и рассчитать диапазон значений, в которые должны попадать участники по тем процентам, которые указаны в критериях.

### Критерии оценивания

№	Критерии	Баллы
1	<b>Таблица с экспериментальными данными.</b>	<b>2</b>
1.1	Пять и более измерений	2
1.2	Три или четыре измерения	1
2	<b>Построение графика</b>	<b>2</b>
2.1	Подписаны оси с единицами измерения	0,5
2.2	Масштаб кратный 1, 2 или 5	0,5
2.3	Точки соответствуют экспериментальным данным	0,5
2.4	График проведён в виде прямой	0,5
3	<b>Определение массы гайки</b>	<b>4</b>
3.1	Записана формула для условия равновесия шприца с гайками	0,5
3.2	Получена функция зависимости глубины погружения от количества гаек	0,5
3.3	Указано, что масса гайки входит в угловой коэффициент	0,5
3.4	По графику найдено значение углового коэффициента	0,5
3.5	Получено значение массы гайки*. В пределах 10% - полный балл. В пределах 15% - половина балла за этот пункт	2
4	<b>Определение массы шприца</b>	<b>3</b>
4.1	Указано, что масса шприца входит в значение точки пересечения с осью высот	0,5
4.2	Из графика получено значение этой точки	0,5
4.3	Получено значение массы шприца**. В пределах 10% - полный балл. В пределах 15% - половина балла за этот пункт	2

\*Если масса гайки получена при помощи решения системы уравнений баллы за пункты 3.3 и 3.4 не ставятся.

\*\*Если масса шприца получена при помощи решения системы уравнений баллы за пункты 4.1 и 4.2 не ставятся.

### Рекомендации организаторам

Для проведения эксперимента потребуется следующее оборудование:

- Шприц 10 мл (необходимо приобрести шприцы с плоскими поршнями). Учащемуся выдается только корпус шприца без иглы и поршня;
- Гайки М5 стандартные (не увеличенные, без пресс-шайбы) из расчёта 16 штук на каждого участника;
- Прозрачный сосуд (пластиковый стакан, обрезанная бутылка и т.п.). Важно, чтобы в сосуд можно было бы налить воды высотой не менее 10 см и ещё оставалось бы не менее 3 см до края;
- Полоска миллиметровой бумаги шириной 0,5 см, длиной 10 см;
- Небольшой кусок пластилина 1-2 г на каждого участника;
- Скотч узкий 1 рулон на аудиторию;
- Ножницы 1 штука на аудиторию;
- Салфетки;
- Лист миллиметровой бумаги для построения графика А5.

### Рекомендации по проведению работы

- На столе у дежурного должны быть: скотч, ножницы и вода. Всё это дежурный должен выдавать участникам по мере необходимости.