

**Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по физике.  
2024-25 учебный год. 10 класс. Максимальный балл – 50.**

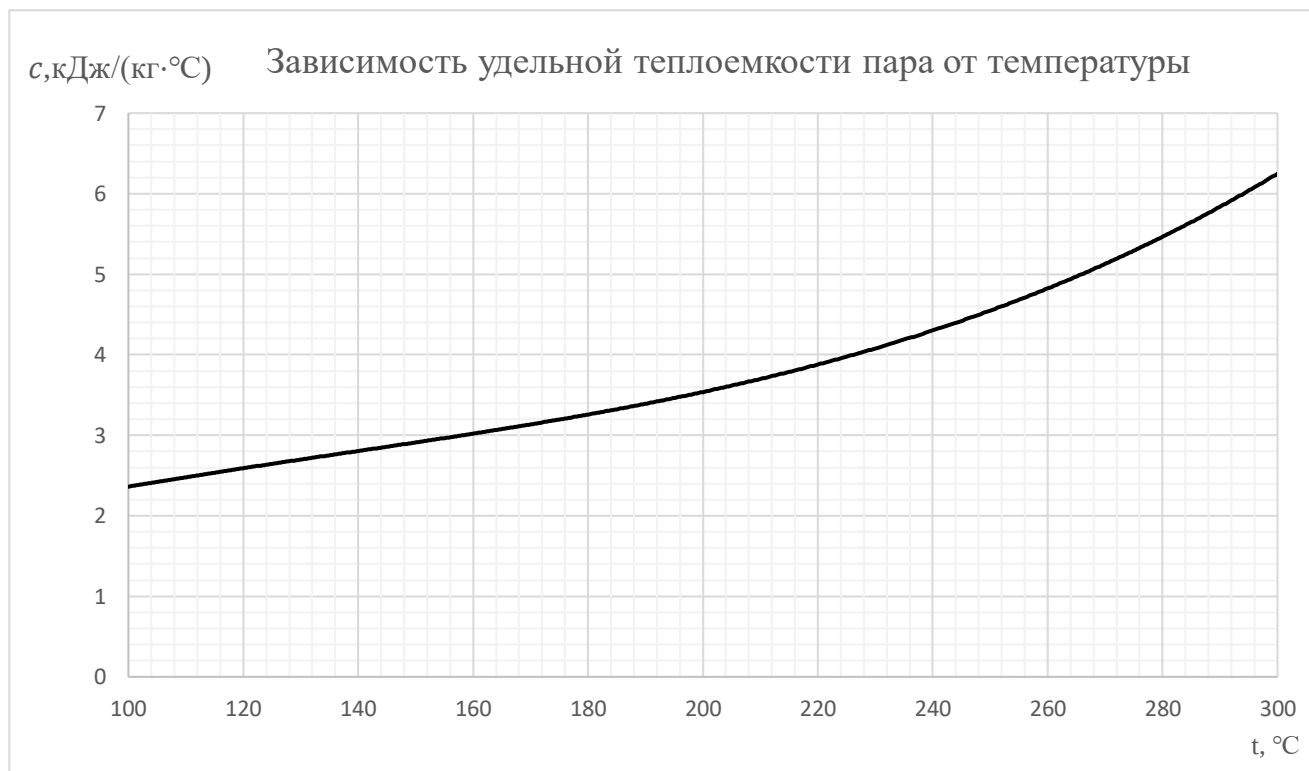
**Задача №1**

Системы безопасности некоторых паропроизводящих установок предполагают быстрое охлаждение и конденсацию перегретого пара путем сброса в емкость с паром куска льда.

**Вопрос №1.** Определите, какую минимальную массу льда  $m_1$  при температуре  $-20^\circ\text{C}$  необходимо запasti, чтобы полностью сконденсировать перегретый до  $300^\circ\text{C}$  водяной пар массой  $10\text{ кг}$ ?

**Вопрос №2.** Определите, какая часть пара  $\beta$  сконденсируется, если при тех же условиях использовать вдвое меньше льда.

Удельную теплоемкость льда считайте постоянной и равной  $2100\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ . Удельную теплоемкость воды считайте постоянной и равной  $4180\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ . Удельную теплоту плавления льда считайте равной  $340\text{ кДж}/\text{кг}$ . Удельную теплоту парообразования воды при температуре  $100^\circ\text{C}$  считайте равной  $2250\text{ кДж}/\text{кг}$ . Температура плавления льда –  $0^\circ\text{C}$ . Температура кипения воды –  $100^\circ\text{C}$ . График зависимости удельной теплоемкости водяного пара от температуры приведен на рисунке.



*Автор: Смирнов Андрей Александрович, Карманов Максим Леонидович*

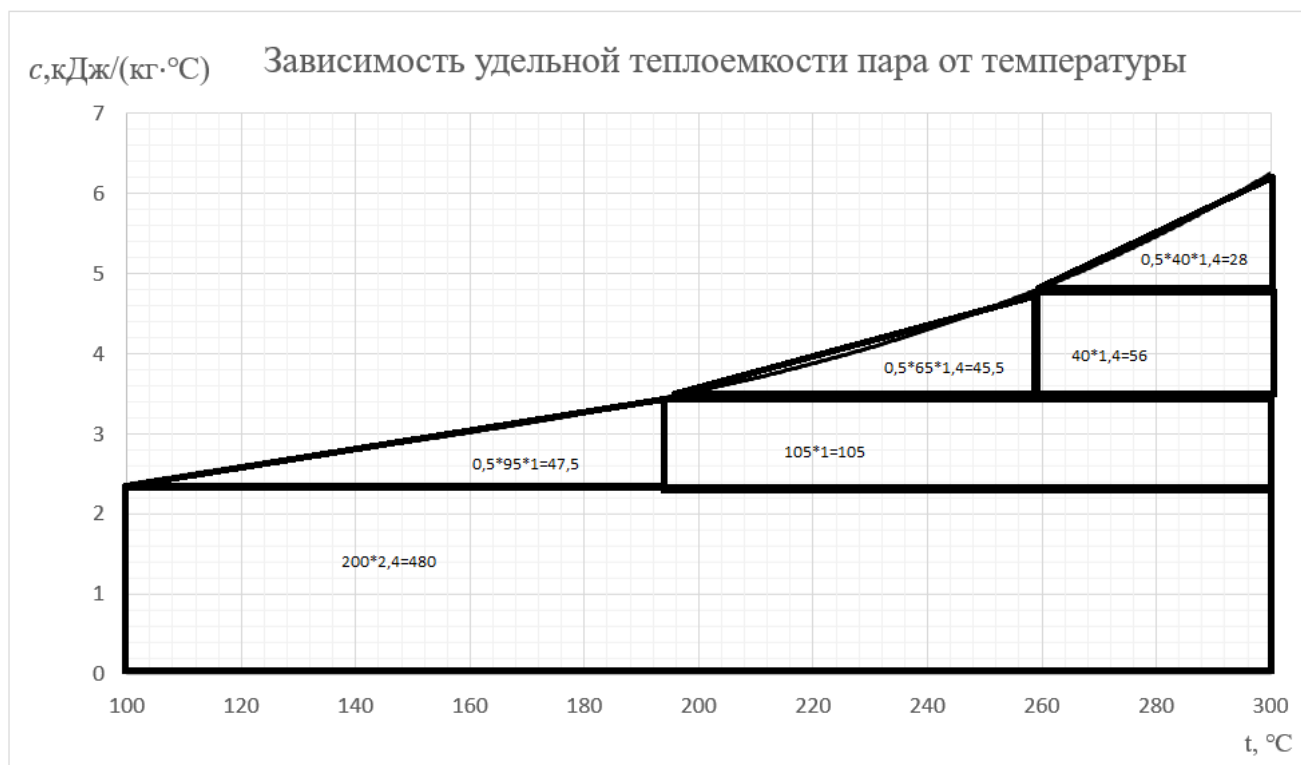
**Возможное решение**

**Вопрос 1.**

Для полной конденсации пара его необходимо охладить до  $100^\circ\text{C}$  и затем сконденсировать. При этом от пара необходимо отвести количество теплоты  $Q_{\text{отв}} = Lm + Q_{\text{остыв пара}}$ . Это тепло пойдет на нагрев льда, его плавление и нагрев образовавшейся воды до  $100^\circ\text{C}$ .  $Q_{\text{нагр}} = c_{\text{л}}m_1 \cdot 20^\circ\text{C} + \lambda m_1 + c_{\text{в}}m_1 \cdot 100^\circ\text{C}$ .

Основная сложность состоит в вычислении количества тепла, которое отдаст пар при остывании до  $100^\circ\text{C}$ , так как его теплоемкость не является постоянной. В таком случае тепло

будет равно площади под графиком. Для упрощения вычисления площади под графиком разобьем эту часть на несколько прямоугольников и треугольников. На рисунке вы можете



видеть разбиение и значения площадей.

Из графика получаем  $Q_{\text{остыв пара}} = 762 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \cdot m$ .

Приравнявая тепло, отданное при остывании и конденсации пара теплу, затраченному на нагрев и плавление льда с последующим нагревом воды, получим:

$$c_{\text{л}} m_1 \cdot 20^\circ\text{C} + \lambda m_1 + c_{\text{в}} m_1 \cdot 100^\circ\text{C} = Lm + 762 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \cdot m$$

$$m_1 = m \frac{L + 762 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}}{c_{\text{л}} \cdot 20^\circ\text{C} + \lambda + c_{\text{в}} \cdot 100^\circ\text{C}} = 10 \frac{2250 + 762}{2,1 \cdot 20 + 340 + 4,18 \cdot 100} = 37,65 \text{ кг.}$$

**Вопрос 2.** Предположим, что при использовании вдвое меньшего количества льда в конце процесса мы получим смесь воды и водяного пара при  $100^\circ\text{C}$ .

В этом случае уравнение теплового баланса будет выглядеть следующим образом:

$$c_{\text{л}} \frac{m_1}{2} \cdot 20^\circ\text{C} + \lambda \frac{m_1}{2} + c_{\text{в}} \frac{m_1}{2} 100^\circ\text{C} = L\beta m + 762 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \cdot m$$

$$\beta = \frac{\frac{m_1}{2} (c_{\text{л}} \cdot 20^\circ\text{C} + \lambda + c_{\text{в}} 100^\circ\text{C}) - 762 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \cdot m}{Lm}$$

$$= \frac{\frac{37,65}{2} (2,1 \cdot 20 + 340 + 4,18 \cdot 100) - 762 \cdot 10}{2250 \cdot 10} = 0,33$$

**Критерии оценивания.**

| № | Критерий                                                                                                                                                                        | Кол-во баллов |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1 | Записано количество тепла, полученное при нагреве и плавлении льда                                                                                                              | 1             |
| 2 | Записано количества тепла, полученное при нагреве образовавшейся из льда воды                                                                                                   | 0,5           |
| 3 | Идея вычисления тепла, отданного паром, как площади под графиком. Если считали среднюю теплоемкость, то 0,5 балла и пункт 4 не оценивать, остальные оценивать.                  | 2             |
| 4 | Правильное значение тепла, отданного паром при остывании до 100°C лежит в интервале от $710 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \cdot m$ до $810 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \cdot m$ | 1             |
| 5 | Записано тепло, отданное при конденсации пара                                                                                                                                   | 0,5           |
| 6 | Определена масса льда в первом вопросе от 34 до 42 кг                                                                                                                           | 2             |
| 7 | Верно составлено УТБ для второго вопроса                                                                                                                                        | 2             |
| 8 | Определено $\beta$ (от 0,27 до 0,39)                                                                                                                                            | 1             |
|   | ИТОГО                                                                                                                                                                           | 10            |

**Задача №2**

На поворотах современных шоссе дорожное полотно имеет наклон. Автомобиль Lada Niva, двигаясь по шоссе, проходит поворот радиусом  $R$ , в котором дорожное полотно образует угол  $\alpha$  с горизонтом. Коэффициент трения колес о дорогу равен  $\mu$  и он мал, так как дорога обледеневшая. Все колеса автомобиля ведущие, а его размеры много меньше радиуса поворота. Сопротивление воздуха не учитывайте.

**Вопрос №1.** При каких скоростях автомобиль Lada Niva сможет пройти поворот так, чтобы траектория его движения лежала в горизонтальной плоскости?

**Автор:** *Тукова Надежда Борисовна*

**Возможное решение**

Рассмотрим ИСО, связанную с полотном дороги. Так как по условию задачи размеры автомобиля и действие воздуха не учитываем (в том числе аэродинамические силы), то второй закон Ньютона в этой СО будет выглядеть:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N}_1 + \vec{F}_{\text{тр}}$$

По условию задачи автомобиль движется в горизонтальной плоскости по дуге окружности радиусом  $R$  с постоянной скоростью. В таком случае его ускорение будет равно центростремительному ускорению и направлено горизонтально к оси вращения. Сила трения может быть направлена вдоль поверхности как к оси вращения, так и от нее. Пусть автомобиль движется с минимально возможной скоростью, тогда сила трения направлена от оси вращения.

Введем горизонтальную ось  $x$ , направленную к оси вращения и ось  $y$ , направленную вертикально вверх, тогда в выбранной СО в проекциях на оси:

$$x: \frac{mv_{\min}^2}{R} = N_1 \cdot \sin\alpha - F_{\text{тр}} \cdot \cos\alpha \quad (1)$$

$$y: 0 = N_1 \cdot \cos\alpha + F_{\text{тр}} \cdot \sin\alpha - mg \quad (2)$$

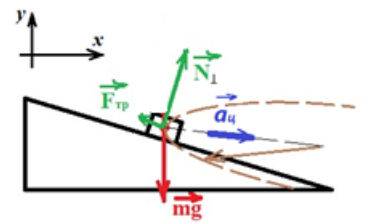
Так как для сухого трения  $F_{\text{тр}} \leq \mu N$ , а мы ищем минимальную скорость, то сила трения достигает своего предельного значения  $F_{\text{тр}} = \mu N$  (3)

$$\text{В результате преобразований получим: } v_{\min} = \sqrt{gR \frac{\sin\alpha - \mu \cos\alpha}{\cos\alpha + \mu \sin\alpha}}$$

Рассмотрим движение автомобиля с максимальной скоростью. В этом случае сила трения изменит направление на противоположное и в уравнениях (1) и (2) знаки перед силой трения изменятся на противоположные. Тогда  $v_{\max} = \sqrt{gR \frac{\sin\alpha + \mu \cos\alpha}{\cos\alpha - \mu \sin\alpha}}$

$$\text{Окончательно получаем: } \sqrt{gR \frac{\sin\alpha - \mu \cos\alpha}{\cos\alpha + \mu \sin\alpha}} < v < \sqrt{gR \frac{\sin\alpha + \mu \cos\alpha}{\cos\alpha - \mu \sin\alpha}}$$

Отметим, что данные ответы справедливы для случая малого трения, при больших коэффициентах трения минимальная граница скорости может обращаться в 0, а максимальная быть сколь угодно большой.



### Критерии оценивания

| № | Критерий                                                                                                                                                                  | Кол-во баллов |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1 | Верно указаны все силы, действующие на автомобиль                                                                                                                         | 1             |
| 2 | Указано, что ускорение автомобиля равно центростремительному $\frac{v^2}{R}$                                                                                              | 1             |
| 3 | Верно записан 2ЗН в проекциях на две оси                                                                                                                                  | 1+1           |
| 4 | Продемонстрировано понимание, что есть два возможных направления силы трения                                                                                              | 1             |
| 5 | Найдена максимальная скорость $\sqrt{gR \frac{\sin\alpha + \mu \cos\alpha}{\cos\alpha - \mu \sin\alpha}}$                                                                 | 2             |
| 6 | Найдена минимальная скорость $\sqrt{gR \frac{\sin\alpha - \mu \cos\alpha}{\cos\alpha + \mu \sin\alpha}}$                                                                  | 2             |
| 7 | Записан ответ $\sqrt{gR \frac{\sin\alpha - \mu \cos\alpha}{\cos\alpha + \mu \sin\alpha}} < v < \sqrt{gR \frac{\sin\alpha + \mu \cos\alpha}{\cos\alpha - \mu \sin\alpha}}$ | 1             |
|   | ИТОГО                                                                                                                                                                     | 10            |

### Задача №3

Абсолютно твердое тело соскальзывает с гладкой наклонной плоскости длиной  $L=5$  м, образующей угол  $\alpha=45^\circ$  с горизонтом, и продолжает двигаться по горизонтальной шероховатой поверхности (рис.1).

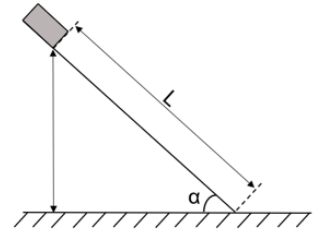


Рисунок 1.

**Вопрос №1.** Определите скорость тела в конце спуска с наклонной плоскости.

Переход с наклонной плоскости на горизонтальную считайте гладким и плавным, то есть модуль скорости тела при прохождении этого перехода не меняется.

Пусть теперь брусок лежит на гладкой треугольной тележке с небольшим упором, которая скатывается без начальной скорости по наклонной плоскости длиной  $L=5$  м таким образом, что брусок при этом располагается горизонтально и покоится относительно тележки (рис.2). В конце спуска тележка ударяется о стенку и брусок с нее соскальзывает на горизонтальный шероховатый участок с коэффициентом трения  $\mu=0,3$ . Упор на тележке не позволяет бруску двигаться влево, но совершенно не препятствует движению бруска вправо.

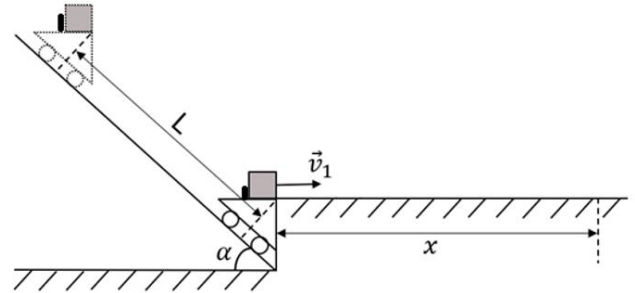


Рисунок 2.

**Вопрос №2.** Какое расстояние  $x$  пройдет тело по горизонтальной поверхности до полной остановки?

Считайте, что удар тележки о стенку абсолютно не упругий, а брусок не подпрыгивает в момент удара.

*Автор: Чукавин Андрей Игоревич*

**Возможное решение.**

**Вопрос №1:**

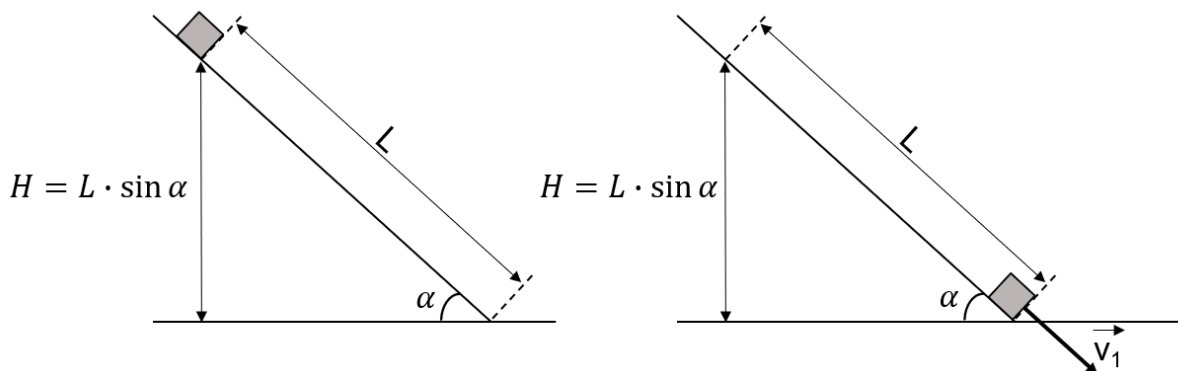


Рисунок 3.

Выберем за нулевой уровень потенциальной энергии уровень горизонтальной шероховатой поверхности и запишем закон сохранения энергии:

$$mgL \sin \alpha = \frac{mv^2}{2}$$

где  $m$  – масса тела,  $v$  – скорость тела в конце спуска. Отсюда найдём скорость:

$$v = \sqrt{2gL \sin \alpha}$$

Подставляя численные значения:

$$v = \sqrt{2 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 5 \text{ м} \cdot \sqrt{2}/2} \approx 8,4 \text{ м/с}$$

**Ответ:**  $v \approx 8,4\text{м/с}$

**Вопрос №2:**

Для того чтобы определить, какое расстояние  $x$  пройдёт тело по горизонтальной шероховатой поверхности до полной остановки воспользуемся теоремой об изменении кинетической энергии:

$$A_{\text{тр}} = \Delta E_K$$

где учтено, что на горизонтальном направлении ненулевую работу совершает только сила трения, при этом она совершает отрицательную работу, поскольку сила трения направлена в противоположную сторону относительно перемещения тела, тогда, учитывая, что конечная кинетическая энергия равна нулю (условие остановки):

$$-\mu mgx = 0 - \frac{mv_2^2}{2},$$

где  $v_2$  – скорость бруска после удара.

Так как тележка гладкая, то в момент удара на брусок действуют вертикальные сила реакции опоры со стороны тележки и сила тяжести. В таком случае горизонтальная проекция скорости бруска сохранится. Вертикальная же обратится в ноль, так как по условию брусок не подпрыгивает, а тележка перестала двигаться по вертикали, значит  $v_2 = v \cos \alpha$ .

$$x = \frac{v^2 \cos^2 \alpha}{2\mu g}$$
$$x = \frac{(5,9\text{м/с})^2}{2 \cdot 0,3 \cdot 10\text{м/с}^2} = 5,88\text{м}$$

**Ответ:**  $x \approx 5,88\text{м}$

**Критерии оценивания.**

| № | Критерий                                                                                                                          | Кол-во баллов |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1 | Записан закон сохранения энергии для соскальзывания тела с наклонной плоскости в вопросе №1                                       | 1             |
| 2 | Получено верное выражение для скорости $v$ в вопросе №1 $v = \sqrt{2gL \sin \alpha}$                                              | 2             |
| 3 | Получен верный численный ответ на вопрос №1 $v \approx 8,4\text{м/с}$                                                             | 1             |
| 4 | Указано, что при ударе тележки горизонтальная проекция скорости не изменится и указанное утверждение обосновано                   | 0,5+0,5       |
| 5 | Указано, что вертикальная проекция скорости бруска после удара будет равна нулю и указанное утверждение обосновано                | 0,5+0,5       |
| 6 | Найдена скорость бруска после удара тележки $v_2 = v \cos \alpha$                                                                 | 1             |
| 7 | Записан закон сохранения энергии для движения по горизонтальному участку (теорема об изменении кинетической энергии) в вопросе №2 | 1             |
| 8 | Получено верное выражение для пройденного расстояния в вопросе №2 $x = \frac{v^2 \cos^2 \alpha}{2\mu g}$                          | 1             |
| 9 | Получен верный численный ответ на вопрос №2 $x = 5,88\text{м}$                                                                    | 1             |
|   | ИТОГО                                                                                                                             | 10            |

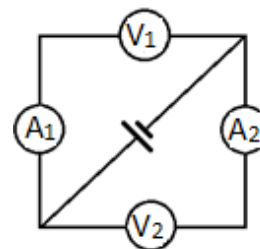
#### Задача №4

Схема состоит из двух разных амперметров и двух одинаковых вольтметров. Источник тока создаёт напряжение 10 В. Первый амперметр показывает силу тока 10 мА, первый вольтметр показывает напряжение 9 В, второй амперметр показывает силу тока 8 мА.

**Вопрос №1.** Какое напряжение покажет второй вольтметр?

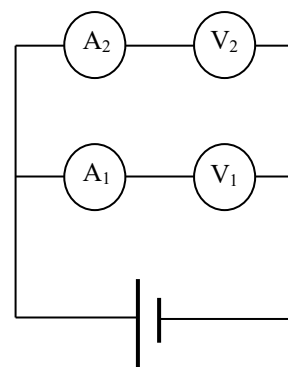
**Вопрос №2.** Каковы сопротивления первого и второго амперметров?

*Автор: Порошин Олег Владимирович*



#### Возможное решение.

Прежде всего, начертим эквивалентную схему. Теперь видно, что амперметры соединены последовательно с вольтметрами, и находятся на параллельных участках цепи. Из этого следует, что сила тока, которую показывают амперметры, это сила тока, протекающая через вольтметры. Тогда легко найти сопротивление первого вольтметра  $R_v = \frac{U_1}{I_1} = 900 \text{ Ом}$ . Так как сказано, что вольтметры одинаковые, это означает что у них одинаковое сопротивление. Теперь можно вычислить напряжение на втором вольтметре:  $U_2 = R_v \cdot I_2 = 7,2 \text{ В}$ .



Общее напряжение на участке содержащем амперметр и вольтметр равно напряжению источника. Тогда напряжение на амперметре:  $U_A = U_{\text{ист}} - U_v$ .

Таким образом напряжение на первом амперметре – 1 В, а на втором – 2,8 В.

Теперь не трудно вычислить сопротивления амперметров:  $R_A = U_A / I_A$ . Получается, что сопротивление первого амперметра – 100 Ом, второго – 350 Ом.

#### Критерии оценивания.

| № | Критерий                                                                                                                          | Кол-во баллов |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1 | Записан и использован закон Ома для участка цепи                                                                                  | 1             |
| 2 | Записаны и использованы законы последовательного и параллельного соединения                                                       | 1             |
| 3 | Правильно получено сопротивление вольтметра 900 Ом или $R_v = \frac{U_1}{I_1}$ (засчитываются как формула, так и численный ответ) | 2             |
| 4 | Правильно получено значение напряжения на втором вольтметре 2,8 В                                                                 | 2             |
| 5 | Правильно получено сопротивление первого амперметра 100 Ом                                                                        | 2             |
| 6 | Правильно получено сопротивление второго амперметра 350 Ом                                                                        | 2             |
|   | ИТОГО                                                                                                                             | 10            |

### Задача №5

Посетив физическую лабораторию и не застав там друзей, Незнайка решил проверить себя в роли экспериментатора. Он закрепил на штативе один конец пружины и мерную рулетку (фото 1), а ко второму концу пружины стал подвешивать грузики, постепенно увеличивая их массу и измеряя удлинение пружины. Все измерения Незнайка записал в представленную ниже таблицу.



Фото 1

**Вопрос №1.** Помогите Незнайке определить жёсткость пружины, и оцените погрешность полученного результата.

Считайте, что абсолютная погрешность измерения длины рулеткой составляет 1 мм, а абсолютная погрешность измерения массы во всех опытах равна 1 г. Ускорение свободного падения принять равным  $9,8 \text{ м/с}^2$ .

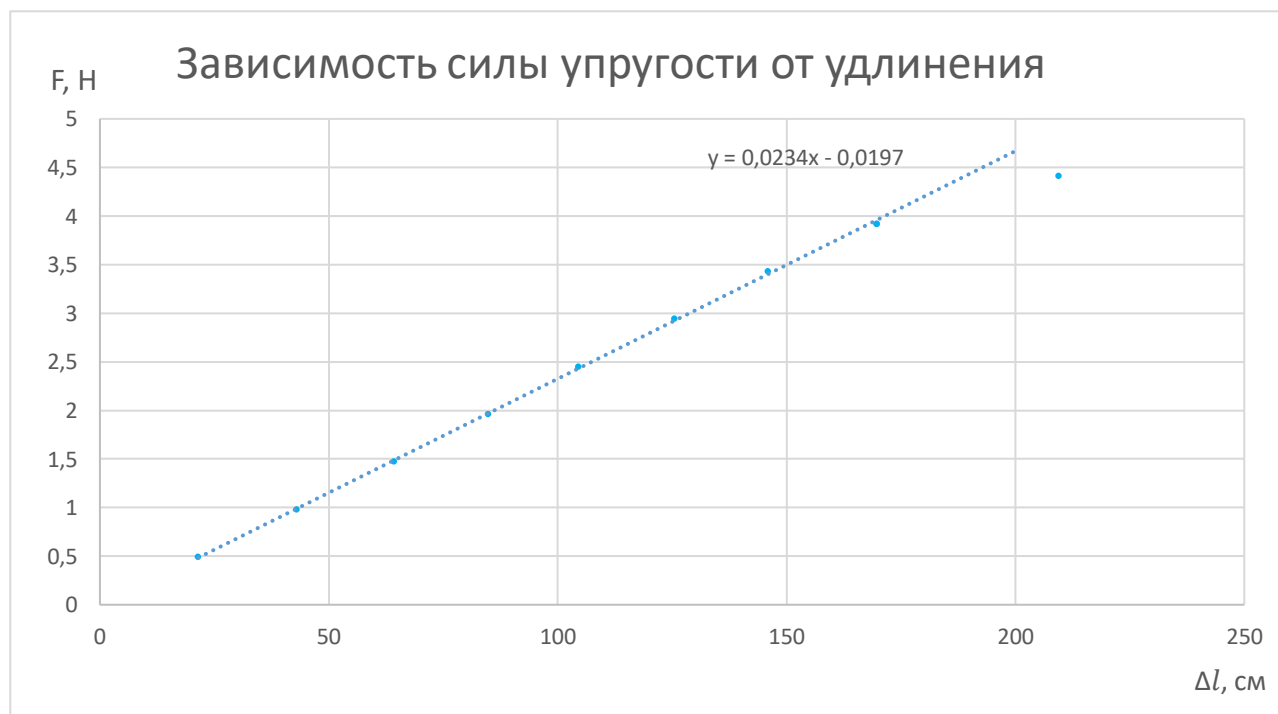
*Автор: Бабичев Сергей Анатольевич*

**Возможное решение.**

**Вопрос №1:**

По данным из таблицы вычислим в каждом опыте силу тяжести грузов, которая равна силе упругости пружины и построим график зависимость силы упругости от удлинения пружины.

| № п/п           | 1    | 2    | 3    | 4    | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
|-----------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $m$ , г         | 50   | 100  | 150  | 200  | 250   | 300   | 350   | 400   | 450   |
| $\Delta l$ , см | 21,5 | 43,0 | 64,3 | 84,8 | 104,5 | 125,5 | 145,9 | 169,7 | 209,5 |
| $F$ , Н         | 0,49 | 0,98 | 1,47 | 1,96 | 2,45  | 2,94  | 3,43  | 3,92  | 4,41  |



Как видно из графика, последняя точка не лежит на прямой, так как при слишком больших деформациях пружины она перестает подчиняться закону Гука. Будем использовать только линейный участок. Определим угловой коэффициент данной прямой, он будет совпадать с коэффициентом жесткости пружины  $k = 0,0234 \frac{\text{Н}}{\text{см}} = 2,34 \text{ Н/м}$ .

Заметим, что кресты погрешностей на графике малы. Погрешность силы  $\Delta F = \Delta mg = 0,01 \text{ Н}$ .

Так как кресты ошибок малы, то построить прямые с максимальным и минимальным углом наклона представляется затруднительным, поэтому погрешность оценим следующим образом:  $\varepsilon_k = \varepsilon_F + \varepsilon_{\Delta l}$ , подставив значения для «среднего» опыта.  $\varepsilon_k = \frac{0,01}{1,96} + \frac{0,1}{84,8} = 0,006$ , тогда  $\Delta k = k \cdot \varepsilon_k = 2,34 \cdot 0,006 = 0,01 \text{ Н/м}$ .

Окончательно получим:  $k = (2,34 \pm 0,01) \text{ Н/м}$ .

#### Критерии оценивания.

| № | Критерий                                                                                                                         | Кол-во баллов |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1 | Из условия равновесия груза на пружине определено значение силы упругости в каждом опыте.                                        | 1             |
| 2 | Правильно построен график зависимости силы упругости от удлинения пружины или для каждого опыта вычислен коэффициент жесткости   | 2             |
| 3 | Отброшены 1 или 2 последние точки                                                                                                | 2             |
| 4 | Коэффициент жесткости определен по угловому коэффициенту из графика или путем усреднения коэффициентов жесткости по всем точкам. | 2             |
| 5 | Значение коэффициента жесткости лежит в интервале от 2,30 до 2,38 Н/м                                                            | 2             |
| 6 | Разумная оценка погрешности. Полученная погрешность попадает в интервал от 0,003 до 0,03 Н/м                                     | 1             |
|   | ИТОГО                                                                                                                            | 10            |