

**Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по физике.
2024-25 учебный год. 11 класс. Максимальный балл – 50.**

Задача №1

Саша, увидев в Интернете гонки дрегстеров – заднеприводных гоночных автомобилей с мощным двигателем, предназначенных для участия в скоростных соревнованиях по преодолению прямой дистанции. При этом он обратил внимание, что задние колеса автомобиля почти не проскальзывают в процессе разгона.



Саша нашел стандартные характеристики таких автомобилей: расстояние между колесными осями равно L , центр тяжести расположен на высоте h от земли посередине между осями, расстояние между колесами на одной оси равно d , масса автомобиля равна m . Исходя из этих данных ответьте на следующие вопросы:

Вопрос №1. С каким максимальным ускорением может разгоняться автомобиль не переворачиваясь? (Считайте, что задние колеса не проскальзывают относительно дороги.)

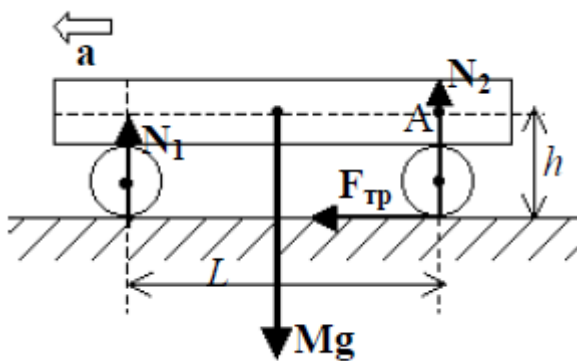
Вопрос №2. При каком минимальном коэффициенте трения между колёсами и асфальтом возможен разгон с ускорением, найденным в первом вопросе?

Автор: Вихарев Николай Михайлович

Возможное решение.

Вопрос 1. Введем систему отсчета, связав ее с землей. Начало координат примем за точку старта, ось Ox направим по направлению ускорения, ось Oy вертикально вверх.

Расставим силы. На автомобиль действуют сила тяжести $m\vec{g}$, приложенная к его центру масс, и силы реакции опоры \vec{N}_1 и \vec{N}_2 на передние и задние колеса соответственно. Кроме того, на задние колеса действует сила трения $\vec{F}_{тр}$, являющаяся силой трения покоя (так как нет проскальзывания) и направленная по направлению движения. Эта сила трения покоя и движет автомобиль вперед. В то же время на переднее колесо не действуют ни сила трения покоя, ни сила трения скольжения, т.к. оно катится без проскальзывания и не приводится во вращение мотором.



Запишем второй закон Ньютона в векторной форме:

$$m \vec{a} = \vec{N}_1 + \vec{N}_2 + m\vec{g} + \vec{F}_{тр}$$

Перейдем к скалярной форме, заменив все векторы их проекциями на оси координат:

На ось Ox : $F_{тр} = ma$, на ось Oy : $N_1 + N_2 - mg = 0$

Перейдем в неинерциальную систему отсчета, связанную с автомобилем. В этой системе отсчета на автомобиль будет действовать сила инерции $\vec{F}_{ин} = -m\vec{a}$, направленная против ускорения и приложенная к центру масс. В этой системе отсчета автомобиль

неподвижен, а значит суммарный момент действующих на него сил равен нулю.

Запишем уравнение моментов относительно т. А, являющейся точкой пересечения проведенной через центр тяжести горизонтали и проведенной через ось заднего колеса вертикали (см. рис.)

$$N_1 L + F_{\text{тр}} h - mg \frac{L}{2} = 0$$

Из данного уравнения видно, что сила трения, а, следовательно, и ускорение автомобиля, будут максимальными, когда сила N_1 минимальна. Ее минимальное значение равно нулю. С учетом этого получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} F_{\text{тр}} = ma_{\text{max}} \\ N_2 - mg = 0 \\ F_{\text{тр}} h - mg \frac{L}{2} = 0 \end{cases}$$

Откуда получим $a_{\text{max}} = \frac{L}{2h} g$.

Вопрос 2:

Максимальное ускорение достигается тогда, когда передние колёса не давят на дорогу и N_1 равно нулю, а $N_2 = mg$. При минимальном коэффициенте трения на колеса будет действовать максимальная сила трения покоя $F_{\text{тр}} = \mu N_2 = \mu mg$. Учитывая, что $a_{\text{max}} = \frac{F_{\text{тр}}}{m} = \mu g = \frac{L}{2h} g$, получим $\mu_{\text{мин}} = \frac{L}{2h}$. Дальнейшее увеличение ускорения за счёт трения невозможно, так как автомобиль опрокинется назад.

Критерии оценивания.

№	Критерий	Кол-во баллов
1	Правильно расставлены действующие силы (тяжести + две реакции опоры + трение)	0,5+0,5+0,5
2	Указано отсутствие силы трения на переднем колесе	0,5
3	Записан второй закон Ньютона в проекциях на две оси	1+1
4	Записано правило моментов с указанием оси вращения (если получено верное уравнение, но без явного перехода в НИСО и учета силы инерции, то заданный пункт ставится 0 баллов, остальные пункты оцениваются)	2
5	Получено значение максимального ускорения $a_{\text{max}} = \frac{L}{2h} g$	2
6	Получено выражение для коэффициента трения $\mu_{\text{мин}} = \frac{L}{2h}$	2
	ИТОГО	10

Задача №2

Графики циклических процессов, совершаемых над одним молем идеального одноатомного газа, приведены на рис.1 а, б.

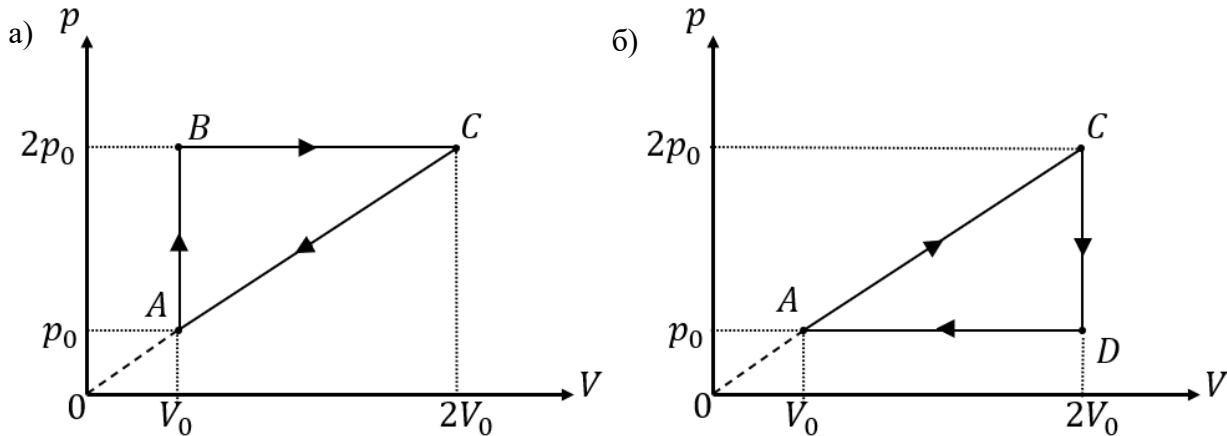


Рисунок 1.

Вопрос №1. Найдите отношение работы, совершаемой газом за цикл ABC, к работе, совершаемой газом за цикл ACD.

Вопрос №2. Найдите отношение количеств теплоты, подведенных к системе за цикл, для этих двух процессов.

Вопрос №3. Найдите отношение КПД процессов.

Автор: Чукавин Андрей Игоревич

Возможное решение.

Вопрос №1: Работа, совершаемая газом за цикл численно равна площади фигуры, ограниченной графиком циклического процесса в координатах p, V . Отсюда находим искомое отношение:

$$\frac{A_{ABC}}{A_{ACD}} = \frac{\frac{1}{2} p_0 V_0}{\frac{1}{2} p_0 V_0} = 1$$

Вопрос №2: Рассмотрим процесс ABC.

На участке А-В: Изохорный процесс $Q_{AB} = \Delta U_{AB} = \frac{3}{2} R(T_B - T_A) = \frac{3}{2} p_0 V_0$. Здесь учтено, что уравнение Менделеева-Клапейрона для одного моля газа даёт $RT_B = 2p_0 V_0$ и $RT_A = p_0 V_0$.

На участке В-С: газ расширяется и совершает положительную работу. С ростом температуры внутренняя энергия увеличивается. Следовательно газ получает тепло: $Q_{BC} = \Delta U_{BC} + A_{BC} = \frac{3}{2} R(T_C - T_B) + 2p_0(2V_0 - V_0) = 3p_0 V_0 + 2p_0 V_0 = 5p_0 V_0$.

На участке С-А: газ сжимается и отдает тепло, а не получает.

$$\text{ИТОГО: } Q_{ABC} = Q_{AB} + Q_{BC} = \frac{13}{2} p_0 V_0$$

Рассмотрим процесс ACD.

На участке А-С: зависимость давления от объёма на участке – линейная. Температура газа при этом возрастает пропорционально квадрату объёма и внутренняя энергия увеличивается: $\Delta U_{AC} = \frac{3}{2} R(T_C - T_A) = \frac{9}{2} p_0 V_0$. При этом газ расширяется и совершает положительную работу. Работу газа удобно найти графически, как площадь, ограниченную отрезком АС, осью объёмов и прямыми $V = V_0$ и $V = 3V_0$. Тогда получаем

$$Q_{AC} = \Delta U_{AC} + A_{AC} = \frac{9}{2} p_0 V_0 + \frac{3}{2} p_0 V_0 = 6p_0 V_0$$

На участке С-D: процесс изохорный, газ не совершает работу $A_{CD} = 0$. Давление газа

уменьшилось, следовательно температура тоже, отсюда $\Delta U_{CD} < 0$, газ теряет энергию, а не получает.

На участке D-A: газ сжимается и отдает тепло, а не получает.

ИТОГО: $Q_{ACB} = Q_{AC} = 6p_0V_0$

Отсюда находим искомое отношение:

$$\frac{Q_{ABC}}{Q_{ACD}} = \frac{6,5p_0V_0}{6p_0V_0} = \frac{13}{12} = 1,08.$$

Вопрос №3:

Коэффициент полезного действия по определению равен отношению работы, совершаемой тепловой машиной за цикл, к величине, получаемой ею энергии.

КПД процесса ABC:

$$\eta_{ABC} = \frac{A_{ABC}}{Q_{ABC}} = \frac{\frac{1}{2}p_0V_0}{\frac{13}{2}p_0V_0} = \frac{1}{13}.$$

КПД процесса ACD:

$$\eta_{ACD} = \frac{A_{ACD}}{Q_{ACD}} = \frac{\frac{1}{2}p_0V_0}{\frac{12}{2}p_0V_0} = \frac{1}{12}.$$

Отсюда находим искомое отношение:

$$\frac{\eta_{ABC}}{\eta_{ACD}} = \frac{12}{13} = 0,92.$$

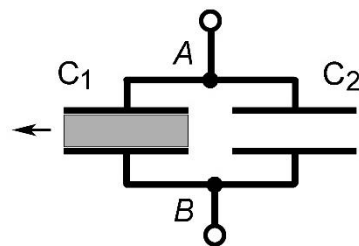
Критерии оценивания.

№	Критерий	Кол-во баллов
1	Верно определено отношение работы, совершаемой газом за цикл ABC к работе, совершаемой газом за цикл ACD + полученное отношение обосновано	1+1
2	Верно проанализирован процесс ABC: определены участки, где газ получает энергию.	0,5
3	Верно проанализирован процесс ACD: определены участки, где газ получает энергию.	0,5
4	Найдено тепло, подведенное на участках AB и BC (или сразу сумма)	1+1
5	Найдено тепло, подведенное на участке AC (изменение внутренней энергии + работа)	0,5+1
6	Верно определено отношение энергий*	1,5
7	Верно определено отношение КПД процессов*	2
	ИТОГО	10

* Если определено обратное отношение (второй цикл к первому), то баллы не снижаются.

Задача №3

Два плоских конденсатора соединены параллельно. Пластины конденсаторов расположены горизонтально. Пространство между пластинами первого конденсатора полностью заполнено диэлектрической пластиной с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 3$. Ёмкость первого конденсатора (вместе с пластиной) $C_1 = 300$ мкФ, второго (без пластины) - $C_2 = 100$ мкФ. После того, как конденсаторы зарядили до разности потенциалов $U_1 = 100$ В и отключили от источника, диэлектрическую пластину из первого конденсатора медленно убирают. Краевые эффекты не учитывайте.



Вопрос №1. На сколько изменится суммарный заряд конденсаторов, если диэлектрическую пластину убрать полностью?

Вопрос №2. На сколько при этом изменится напряжение между точками A и B?

Вопрос №3. На сколько процентов нужно вытащить пластину, чтобы заряды на конденсаторах выровнялись?

Вопрос №4. Какую минимальную работу необходимо совершить, чтобы полностью извлечь диэлектрическую пластину из первого конденсатора? Трением пренебречь.

Автор: Иванов Юрий Владимирович

Возможное решение.

Вопрос №1:

Так как конденсаторы отключены от источников, то заряд системы конденсаторов остается неизменным. В этом случае изменение суммарного заряда конденсаторов будет равно нулю.

Вопрос №2:

Общая (эквивалентная) ёмкость системы конденсаторов до того, как убрали диэлектрическую пластину: $C_{\text{общ.1}} = C_1 + C_2$. Суммарный заряд конденсаторов $q = C_{\text{общ.1}} U_1$. После того, как из первого конденсатора убрали диэлектрическую пластину, его ёмкость стала равной $C'_1 = \frac{C_1}{\varepsilon}$, а общая ёмкость системы $C_{\text{общ.2}} = \frac{C_1}{\varepsilon} + C_2$.

Поскольку суммарный заряд системы остаётся неизменным, то $C_{\text{общ.1}} U_1 = C_{\text{общ.2}} U_2$, где U_2 – напряжение между точками A и B, после того, как извлекли пластину. Тогда $U_2 = \frac{C_{\text{общ.1}}}{C_{\text{общ.2}}} U_1$.

Изменение напряжения между точками A и B: $\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{C_{\text{общ.1}}}{C_{\text{общ.2}}} U_1 - U_1 = \left(\frac{C_{\text{общ.1}}}{C_{\text{общ.2}}} - 1 \right) U_1$.

После преобразований получим в общем виде формулу разности напряжений: $\Delta U = \frac{C_1(\varepsilon - 1)}{C_1 + \varepsilon C_2} U_1$.

После подстановки данных получаем ответ: $\Delta U = 100$ В.

Вопрос №3:

По мере того, как диэлектрическую пластину убирают из конденсатора, его ёмкость уменьшается до значения $C'_1 = \frac{C_1}{\varepsilon}$.

Заряды на конденсаторах, соединённых параллельно, будут равны, если их ёмкости также будут равны. Из условий задачи видно, что ёмкости конденсаторов будут равны, в момент, когда диэлектрическая пластина будет полностью убрана из первого конденсатора. Таким образом, пластину необходимо вытащить на 100%, чтобы заряды на конденсаторах выровнялись.

Вопрос №4:

Минимальная работа A, которую необходимо совершить, чтобы полностью извлечь диэлектрическую пластину, равна изменению электрической энергии системы конденсаторов ΔW : $A = \Delta W$.

Отсюда: $A = \frac{q^2}{2C_{\text{общ.2}}} - \frac{q^2}{2C_{\text{общ.1}}}$. Так как $q = C_{\text{общ.1}} U_1$, то $A = \frac{C_{\text{общ.1}}^2 U_1^2}{2} \left(\frac{1}{C_{\text{общ.2}}} - \frac{1}{C_{\text{общ.1}}} \right)$.

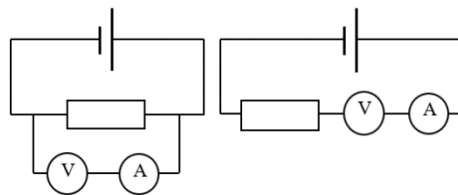
После преобразований получим в общем виде формулу для работы: $A = \frac{U_1^2}{2} \frac{C_1(C_1+C_2)(\varepsilon-1)}{C_1+\varepsilon C_2}$. Постановка данных задачи даёт ответ: $A = 2$ Дж.

Критерии оценивания.

№	Критерий	Кол-во баллов
Вопрос №1		
1	Указан правильный ответ на вопрос 1: суммарный заряд конденсаторов не изменится.	0,5
2	Представлено верное обоснование того, что изменение суммарного заряда конденсаторов будет равно нулю.	0,5
Вопрос №2		
3	Найдена емкость первого конденсатора после извлечения пластины (формула или число)	0,5
4	Записана формула для вычисления эквивалентной емкости или указано, что суммарный заряд на конденсаторах не изменится, а напряжения должны стать равными.	0,5
5	Получено решение для изменения напряжения $\Delta U = \frac{C_1(\varepsilon-1)}{C_1+\varepsilon C_2} U_1$.	1
6	Вычислено верное значение разности напряжения $\Delta U = 100$ В. (Балл ставится и в том случае, если решение в общем виде отсутствует, но имеется верное решение по действиям.)	1
Вопрос №3		
7	Указано, что заряды на конденсаторах будут равны при одинаковых ёмкостях конденсаторов.	1
8	Указан правильный ответ на вопрос 3: пластину необходимо вытащить на 100%, чтобы заряды на конденсаторах выровнялись.	0,5
9	Представлено верное обоснование того, что пластину необходимо вытащить на 100%, чтобы заряды на конденсаторах выровнялись.	0,5
Вопрос №4		
10	Указано, что минимальная работа, которую необходимо совершить, чтобы полностью извлечь диэлектрическую пластину, равна изменению электрической энергии системы конденсаторов.	1
11	Получено решение для нахождения работы: $A = \frac{U_1^2}{2} \frac{C_1(C_1+C_2)(\varepsilon-1)}{C_1+\varepsilon C_2}$.	2
12	Вычислено верное значение работы $A = 2$ Дж. (Балл ставится и в том случае, если решение в общем виде отсутствует, но имеется верное решение по действиям.)	1
ИТОГО		10

Задача №4

К источнику тока с напряжением 10 В подключены резистор, амперметр и вольтметр так, как показано на левом рисунке. При этом вольтметр показывает напряжение 9,5 В, а амперметр силу тока 0,1 А. Сопротивление резистора равно 30 Ом.



Вопрос №1. Что покажут приборы, если их подключить к тому же источнику по схеме, которая изображена на правом рисунке?

Автор: Порошин Олег Владимирович

Возможное решение.

По первой схеме можно определить сопротивления вольтметра и амперметра. Так как приборы подключены последовательно друг к другу, амперметр показывает ток, протекающий и через амперметр и через вольтметр. Исходя из этого, сопротивление вольтметра находится по формуле: $R_v = \frac{U_{V1}}{I_{A1}} = 95 \text{ Ом}$. Напряжение на резисторе в первой схеме равно 10 В. Это напряжение распределяется между вольтметром и амперметром по закону последовательного соединения. Тогда сопротивление амперметра можно найти по формуле: $R_A = \frac{U_0 - U_{V1}}{I_{A1}} = 5 \text{ Ом}$.

Теперь можно перейти ко второй схеме. Здесь все элементы включены последовательно и поэтому амперметр будет показывать общую силу тока в цепи. Эту силу тока можно вычислить по формуле: $I_{A2} = \frac{U_0}{R_0 + R_A + R_V} = \frac{1}{13} \approx 0,08 \text{ А}$. Показания вольтметра вычисляются по закону Ома для участка цепи: $U_{V2} = I_{A2} * R_V = 7,3 \text{ В}$.

Критерии оценивания.

№	Критерий	Кол-во баллов
1	Использование закона Ома $U=IR$	1
2	Понимание того, что ток через последовательно соединенные элементы одинаков.	1
3	Понимание того, что напряжения на последовательно соединенных элементах складываются, а на параллельно соединенных - одинаковы	1+1
4	Определены внутренние сопротивления приборов	1+1
5	Определены показания амперметра во втором случае $I_{A2} = \frac{U_0}{R_0 + R_A + R_V} = 0,08 \text{ А}$ (формула + число)*	1,5+0,5
6	Определены показания вольтметра во втором случае $U_{V2} = I_{A2} * R_V = 7,3 \text{ В}$ (формула + число)*	1,5+0,5
	ИТОГО	10

* если конечная формула в «буквах» не получена, но получен верный численный ответ, то балл за соответствующий пункт ставится полностью.

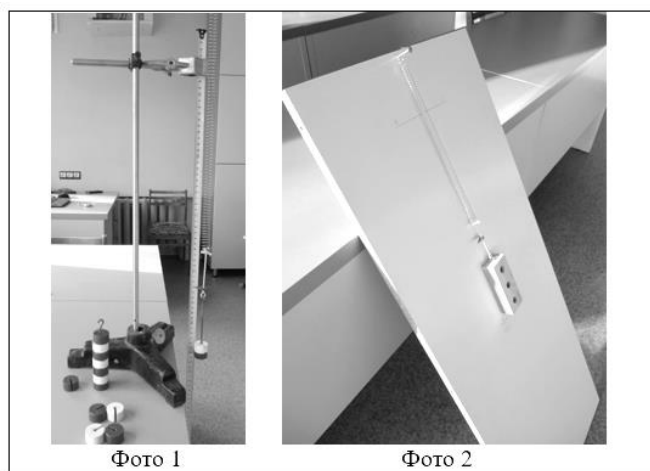
Задача №5

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

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9
m , г	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Δl , см	12	35	48	57	80	92	109	135	162

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

Определив жёсткость пружины, Незнайка решил измерить коэффициент трения скольжения дерева по ламинату и сделал из покрытой ламинатом столешницы наклонную плоскость. Длина наклонной плоскости составила 113 см, а высота 96 см. В верхней части наклонной плоскости Незнайка закрепил эту же пружину, а к другому ее концу прикрепил деревянный брусок массой 95,1 г (фото 2). Из положения, когда пружина не деформирована, брусок без начальной скорости отпускался, и скользил вниз.



Незнайка несколько раз повторил опыт измеряя максимальное удлинение пружины и занося результат в таблицу.

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L_{max} , см	45,2	45,9	46,9	47,5	45,6	47,6	45,5	47,5	46,9	45,4

Появившиеся к этому времени в лаборатории Винтик и Шпунтик помогли Незнайке вычислить коэффициент трения дерева по ламинату.

Вопрос №2: Какое значение получили друзья для коэффициента трения? Погрешность определять не требуется.

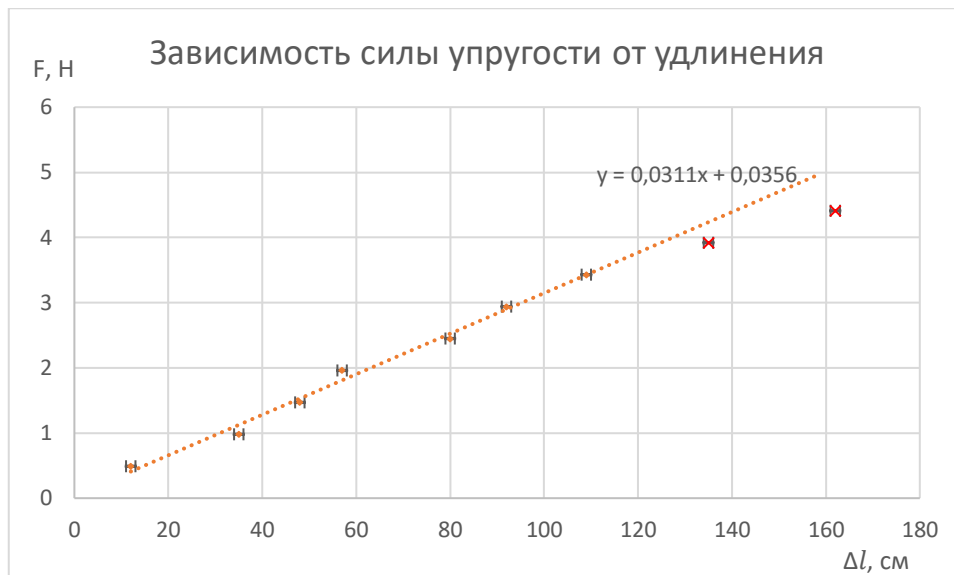
Автор: Бабичев Сергей Анатольевич

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
Δl , см	12	35	48	57	80	92	109	135	162
F , Н	0,49	0,98	1,47	1,96	2,45	2,94	3,43	3,92	4,41



Как видно из графика, последние две точки не лежат 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 $k = 0,0311 \frac{\text{Н}}{\text{см}} = 3,11 \text{ Н/м}$.

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. $\varepsilon_k = \frac{0,01}{1,96} + \frac{1}{57} = 0,02$, тогда $\Delta k = k \cdot \varepsilon_k = 3,11 \cdot 0,02 = 0,06 \text{ Н/м}$.

Окончательно получим: $k = (3,11 \pm 0,06) \text{ Н/м}$.

Вопрос №2:

По данным из таблицы определяется среднее значение максимального удлинения пружины $L_{\text{max ср.}} = 46,4 \text{ см}$.

Распишем силы, действующие на грузик. Вертикально вниз действует сила тяжести, перпендикулярно наклонной плоскости – сила реакции опоры и вдоль наклонной плоскости «вверх» – сила трения и сила упругости пружины. Пусть α – угол наклона плоскости к горизонту. Из условия задачи $\sin(\alpha) = \frac{h}{L}$, где h – высота наклонной плоскости, L – ее длина.

Запишем второй закон Ньютона в проекции на ось, перпендикулярную плоскости. $N = mg \cos(\alpha)$, учитывая, что на брусок действует сила трения скольжения, получим $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg \cos(\alpha)$.

Запишем закон сохранения для движения бруска из состояния когда пружина не деформирована, в состоянии когда она максимально растянута. Скорость в начале и в конце равна нулю, поэтому изменяются только энергия деформации пружины, потенциальная энергия силы тяжести и сила трения совершает работу.

$$\frac{kL_{\text{max}}^2}{2} - mgL_{\text{max}} \sin(\alpha) = -\mu mg \cos(\alpha)L_{\text{max}}$$

$$\text{Откуда } \mu = \frac{mg \sin(\alpha) - \frac{kL_{\text{max}}}{2}}{mg \cos(\alpha)} = \frac{h}{\sqrt{L^2 - h^2}} - \frac{kL_{\text{max}}L}{2mg\sqrt{L^2 - h^2}} = \frac{0,96}{\sqrt{1,13^2 - 0,96^2}} - \frac{3,11 \cdot 0,464 \cdot 1,13}{2 \cdot 0,0951 \cdot 9,8 \sqrt{1,13^2 - 0,96^2}} =$$

0,14

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	1
3	Отброшены 1 или 2 последние точки*	1
4	Коэффициент жесткости определен по угловому коэффициенту из графика или путем усреднения коэффициентов жесткости по всем точкам.	1
5	Значение коэффициента жесткости лежит в интервале от 3,00 до 3,22 Н/м	1
6	Разумная оценка погрешности. Полученная погрешность попадает в интервал от 0,04 до 0,35 Н/м	1
7	Определено среднее значение максимального удлинения пружины $L_{\max \text{ ср.}} = 46,4 \text{ см}$	1
8	Записан закон сохранения энергии и получена формула для расчёта коэффициента трения.	2
9	Значение коэффициента трения лежит в интервале от 0,10 до 0,18	1
	ИТОГО	10