

**Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по физике.
2018-19 учебный год. 11 класс. Максимальный балл – 50.**

Задача №1.

В одном отеле висела лампа необычной конструкции (см. фото). Плафоны, массой $m = 1$ кг каждый, укреплены на легкой палочке, подвешенной на нерастяжимых веревках. Чтобы лампы не падали, используется массивный противовес в форме шара. Блоки и веревки легкие, сила трения мала. Все веревки считайте вертикальными.



1) Найдите массу противовеса M .

2) С каким ускорением будут двигаться лампы, если от противовеса отвалится его нижняя половина?

Автор: Воронцов Александр Геннадьевич

Возможное решение

1) Т.к. система симметрична, а веревки и блоки невесомые, то натяжение правой и левой веревки в каждой точке одинаково. Палочка, к которой подвешены лампы, висят на двух веревках, поэтому условие равновесия: $3mg = 2T$.

Груз висит на четырех веревках, поэтому условие равновесия: $Mg = 4T$.

Отсюда находим $M = 6m = 6$ кг.

2) После отрыва части груза, сила натяжения нити поменяется.

Запишем второй закон Ньютона для противовеса в проекции на вертикальную ось, направленную вниз: $\frac{1}{2}M(-a_{\text{п}}) = \frac{1}{2}Mg - 4T'$.

Для ламп: $3ma_{\text{л}} = 3mg - 2T'$.

При перемещении противовеса вверх на некоторое расстояние x лампы опустятся на расстояние $2x$, значит скорость ламп всегда в 2 раза больше скорости противовеса, значит и их ускорения отличаются в 2 раза. $a_{\text{л}} = 2a_{\text{п}}$.

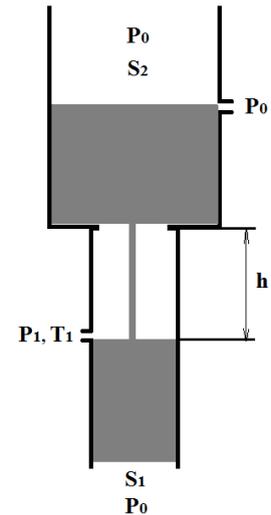
Решая систем уравнений получим: $a_{\text{п}} = \frac{1}{5}g$ (вверх), $a_{\text{л}} = \frac{2}{5}g$ (вниз)

Критерии оценивания

1.	Условие равновесия палочки $3mg = 2T$	1 балл
2.	Условие равновесия противовеса $Mg = 4T$	1 балл
3.	Найдена масса противовеса $M = 6m = 6$ кг	1 балл
4.	2ЗН для противовеса $\frac{1}{2}M(-a_{\text{п}}) = \frac{1}{2}Mg - 4T'$	2 балла
5.	2ЗН для ламп $3ma_{\text{л}} = 3mg - 2T'$	2 балла
6.	Связь ускорений противовеса и ламп $a_{\text{л}} = 2a_{\text{п}}$	2 балла
7.	Найдено ускорение $a_{\text{л}} = \frac{2}{5}g$ (вниз)	1 балл

Задача №2

Два поршня с площадями сечения $S_1 = 5 \text{ см}^2$ и $S_2 = 10 \text{ см}^2$ и суммарной массой $M = 10 \text{ кг}$ соединены тонким стержнем длины $h = 0,2 \text{ м}$. Поршни вставлены в теплоизолированные открытые цилиндры соответствующих размеров, герметично соединенные между собой (см. рисунок.) Когда поршни оказываются в нижнем положении, через клапан в камеру подается нагретый до температуры T_1 идеальный одноатомный газ под давлением P_1 . Т.к. верхний поршень неплотно прилегает к горизонтальной стенке, система приходит в движение. При верхнем положении поршней избыточный газ уходит в атмосферу через верхний клапан. Считая, что при заполнении камеры в ней быстро устанавливается давление P_1 и температура T_1 , ответьте на вопросы задачи.



Атмосферное давление $P_0 = 0,1 \text{ МПа}$, теплоемкостью поршней пренебречь, ускорение свободного падения $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

1. Определите, при каком минимальном давлении P_1 система придет в движение?
2. Какую температуру T будет иметь газ в камере перед выходом, если $P_1 = 0,6 \text{ МПа}$, $T_1 = 450 \text{ К}$, а поршень при подходе к верхней точке движется с пренебрежимо малой скоростью?

Автор: Воронцов Александр Геннадьевич

Возможное решение

1. Сумма сил давления, действующих на верхний поршень, направлена вверх и равна $(P_1 - P_0)S_2$, на нижний – вниз $(P_1 - P_0)S_1$. Их векторная сумма должна компенсировать силу тяжести поршней. С учетом направлений получим: $(P_1 - P_0)(S_2 - S_1) = Mg$. Получаем, что система придет в движение при давлении большем $P_1 = \frac{Mg}{S_2 - S_1} + P_0 = \frac{10 \cdot 9,8}{5 \cdot 10^{-4}} + 10^5 = 0,3 \text{ МПа}$

2. Так как цилиндры теплоизолированные, то газ совершает работу только за счет изменения внутренней энергии. С учетом того, что в верхней точки поршни останавливаются, работа газа идет только на увеличение потенциальной энергии поршней и работу против сил атмосферного давления. $A = Mgh + P_0 S_2 h - P_0 S_1 h$. Согласно первому началу термодинамики сумма изменения внутренней энергии и работы равна нулю: $Mgh + P_0 S_2 h - P_0 S_1 h + \frac{i}{2} \nu R (T - T_1) = 0$, где T – температура газа в момент, когда поршни достигли верхней точки. Получили $T = T_1 - \frac{2(Mgh + P_0(S_2 - S_1)h)}{i \nu R}$.

Количество газа найдем из начальных условий: $\nu = \frac{P_1 S_1 h}{RT_1}$. Получаем $T = T_1 - \frac{2T_1(Mgh + P_0(S_2 - S_1)h)}{i P_1 S_1 h} = T_1 \left(1 - \frac{2(Mg + P_0(S_2 - S_1))}{i P_1 S_1} \right) = 450 \left(1 - \frac{2(10 \cdot 9,8 + 10^5(5 \cdot 10^{-4}))}{3 \cdot 6 \cdot 10^5 \cdot 5 \cdot 10^{-4}} \right) = 302 \text{ К}$

Критерии оценивания

1.	Правильно найдены силы давления на поршни	1 балл
2.	Записано условие начала подъема поршней $(P_1 - P_0)(S_2 - S_1) = Mg$	1 балл
3.	Получен ответ $P_1 = \frac{Mg}{S_2 - S_1} + P_0 = 0,3 \text{ МПа}$	1 балл
4.	Применено второе начало термодинамики $A + \Delta U = 0$	2 балла
5.	Найдена работа газа $A = Mgh + P_0 S_2 h - P_0 S_1 h$	2 балла
6.	Найдено изменение внутренней энергии $\frac{i}{2} \nu R (T - T_1)$	1 балл
7.	Получен ответ $T = T_1 \left(1 - \frac{2(Mg + P_0(S_2 - S_1))}{i P_1 S_1} \right) = 302 \text{ К}$ (формула + число)	1+1 балла

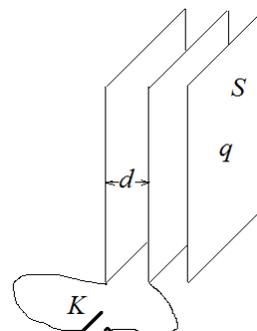
Задача №3

Рассмотрим плоский конденсатор с площадью обкладок S и расстоянием между ними d . Заряд конденсатора равен Q .

1. Определите напряженность электрического поля E между обкладками конденсатора.

2. Заряженный конденсатор запасает в себе энергию. Эта энергия – есть энергия электрического поля, запасенная в объеме конденсатора. Выразите объемную плотность энергии $\rho = \frac{W}{Sd}$, где W – энергия конденсатора как функцию напряженности электрического поля между обкладками.

Три одинаковые пластины расположены параллельно друг другу (см. рис.). Площадь пластин S , расстояние между соседними пластинами – d (d много меньше, чем характерные размеры пластин). Правая пластина заряжена зарядом $+q$, остальные не заряжены. Левую и среднюю пластины соединяют проводником, замыкая ключ K .



3. Какой заряд Δq перетечет через соединяющий пластины проводник?

4. Сколько тепла при этом выделится?

Автор: *Рогальский Юрий Константинович*

Возможно решение

1. Напряжение на конденсаторе $U = \frac{Q}{C} = \frac{Qd}{\varepsilon_0 S}$, тогда напряженность электрического поля

$$E = \frac{U}{d} = \frac{Q}{\varepsilon_0 S}$$

2. Плотность энергии равна $\rho = \frac{W}{Sd} = \frac{Q^2}{2CSd} = \frac{\varepsilon_0 E^2}{2}$.

3. Заряд q создает между пластинами поле $E_q = \frac{q}{2\varepsilon_0 S}$, а заряды $+\Delta q$ и $-\Delta q$ между левой и средней пластинами поле $E_{\Delta q} = \frac{\Delta q}{\varepsilon_0 S}$. Результирующее поле между ними быть равно нулю, значит $\Delta q = q/2$.

4. После замыкания ключа энергия поля между левой и средней пластиной обращается в ноль, а поле в остальной части пространства не изменяется (и его энергия тоже). Значит выделившееся тепло равно энергии электрического поля в области между левой и средней пластинами.

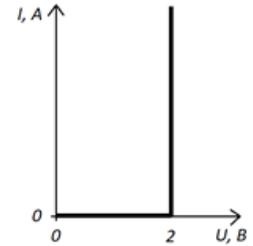
$$Q_{\text{выд}} = \frac{\varepsilon_0 E_q^2}{2} Sd = \frac{q^2 d}{8\varepsilon_0 S}$$

Критерии оценивания

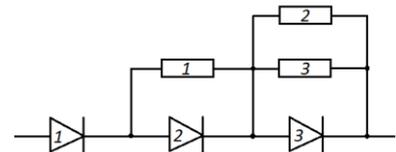
1.	Емкость плоского конденсатора $C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$	1 балл
2.	Напряжение на конденсаторе $U = \frac{Q}{C}$	1 балл
3.	Напряженность поля $E = \frac{U}{d} = \frac{Q}{\varepsilon_0 S}$	1 балл
4.	Плотность энергии $\frac{\varepsilon_0 E^2}{2}$	1 балл
5.	Поле от изначально заряженной пластины $E_q = \frac{q}{2\varepsilon_0 S}$	1 балл
6.	Поле, созданное зарядами $+\Delta q$ и $-\Delta q$ $E_{\Delta q} = \frac{\Delta q}{\varepsilon_0 S}$	1 балл
7.	Поле между соединенными пластинами должно равняться нулю	1 балл
8.	Найден заряд $\Delta q = q/2$	1 балл
9.	Найдено выделившееся тепло $Q = \frac{q^2 d}{8\varepsilon_0 S}$	2 балла

Задача №4

Диод – это нелинейный элемент, который пропускает ток только в одном направлении. Диоды обозначаются на схемах в виде треугольника с палочкой. Вольтамперная характеристика диода представлена на рисунке. При напряжении на диоде менее 2В он не пропускает ток, а при напряжении 2В диод «открывается» и начинает пропускать ток, при этом напряжение на диоде составляет 2В и не зависит от величины протекающего тока.



Из трех таких диодов и трех резисторов сопротивлением $R = 2 \text{ Ом}$ каждый собрали цепь, указанную на рисунке. Нарисуйте вольтамперную характеристику данной цепи (график зависимость тока, протекающего через всю цепь, от напряжения, приложенного к цепи).



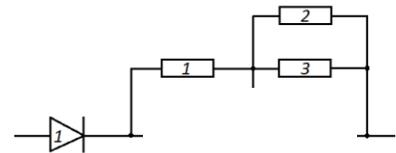
Автор: Гусев Андрей Владиславович

Возможное решение

Для того, чтобы по цепи пошел ток, нужно чтобы ток смог проходить через первый диод. Параллельно остальным диодам подключены резисторы, поэтому ток сможет проходить по цепи даже если диоды 2 и 3 не будут ничего пропускать. Значит при внешнем напряжении до 2В ток по цепи идти не будет.

Если внешнее напряжение станет чуть больше 2В, то по цепи сможет бежать небольшой ток. При этом первый диод будет «открыт» и напряжение на нем составит 2В, а ток будет проходить через него и дальше бежать по резисторам. Соответственно на 2 и 3 диода напряжение будет близким к нулю.

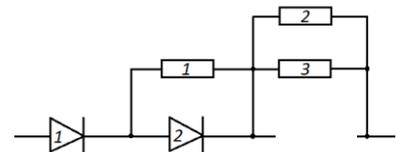
Так как ток по второму и третьему диодам не будет бежать, то их можно убрать из цепи. Получим эквивалентную схему, в которой три резистора в свою очередь можно заменить на один с эквивалентным сопротивлением 3 Ом. Для данной цепи можно записать: $U_{\text{вн}} = 2\text{В} + I * 3 \text{ Ом}$. Соответственно $I = \frac{U_{\text{вн}} - 2\text{В}}{3\text{Ом}}$



Заметим, что на напряжения на втором диоде и первом резисторе одинаковы. Также равны напряжения на третьем диоде и втором и третьем резисторах. Если второй и третий диоды «закрываются», то ток через первый резистор больше тока через второй, значит и напряжение на втором диоде больше, чем на третьем, значит при увеличении внешнего напряжения раньше «откроется» второй диод. Это произойдет, когда напряжение на нем станет 2В, но тогда и на первом резисторе напряжение будет 2В, а значит ток в цепи будет равен 1А. Соответственно ток через второй резистор будет равен 0,5А, а напряжение на нем 1В, соответственно и напряжение на третьем диоде будет 1В. Получается, что второй диод «откроется» при напряжении в цепи $2\text{В} + 2\text{В} + 1\text{В} = 5\text{В}$. При этом ток в цепи будет равен 1А.

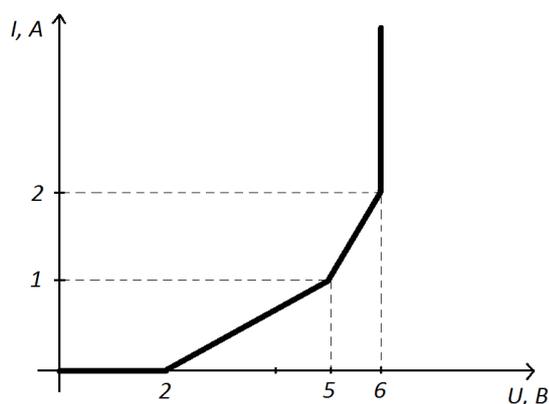
При дальнейшем увеличении напряжения до «открытия» третьего диода эквивалентная схема будет следующей:

Причем второй и третий резистор также можно заменить эквивалентным резистором сопротивлением 1 Ом. С учетом вышеизложенного для данной цепи можно записать $U_{\text{вн}} = 2\text{В} + 2\text{В} + I * 1 \text{ Ом}$. Соответственно $I = \frac{U_{\text{вн}} - 4\text{В}}{1\text{Ом}}$



Чтобы «открылся» третий диод нужно чтобы и на нем напряжение стало 2В. Тогда общее напряжение цепи станет равным соответственно 6В. Так как напряжение на втором диоде равно напряжению на втором и третьем резисторах, то через каждый из них пойдет ток в 1 А. Тогда общий ток в цепи при напряжении в 6В будет равен 2А + ток через третий диод. А ток через третий диод может принимать любое значение больше 0.

Обобщая все написанное выше, построим график вольтамперной характеристики.



Критерии оценивания

1.	Если напряжение $< 2V$, то ток по цепи не идет, так как первый диод закрыт	1 балл
2.	Продемонстрировано понимание течения токов, когда первый диод открыт остальные закрыты	1 балл
3.	Получено выражение $I(U)$ для этого случая $I = \frac{U_{вн} - 2V}{30м}$	1 балл
4.	Показано, что второй диод откроется раньше третьего	1 балл
5.	Найден напряжение цепи, при котором откроется второй диод. 5В	1 балл
6.	Продемонстрировано понимание течения токов, когда закрыт только третий диод	1 балл
7.	Получено выражение $i(U)$ для этого случая $I = \frac{U_{вн} - 4V}{10м}$	1 балл
8.	Найдено напряжение цепи при котором откроется третий диод. 6В	1 балл
9.	Показано, что при напряжении 6В ток по цепи может быть любым большим 2А	1 балл
10.	Построен график ВАХ с отмеченными характерными точками	1 балл

Задача №5

Используя предложенное оборудование, определите

1. Коэффициент трения линейки о линейку.

2. Коэффициент трения скольжения пластмассовой линейки о поверхность бумаги, закрепленной на поверхности стола.

Обратите внимание! Стол в процессе измерений наклонять нельзя. Отрывать лист от поверхности или нарушать его целостность нельзя. Пометки на листе бумаги делать можно, но лист будет только один.

Оборудование: деревянная линейка, пластмассовая линейка, лист бумаги А4 (по требованию), приклеенный скотчем к поверхности стола. Лист бумаги является оборудованием по требованию. Вам выдадут его, когда Вы будете готовы к решению экспериментальной задачи.

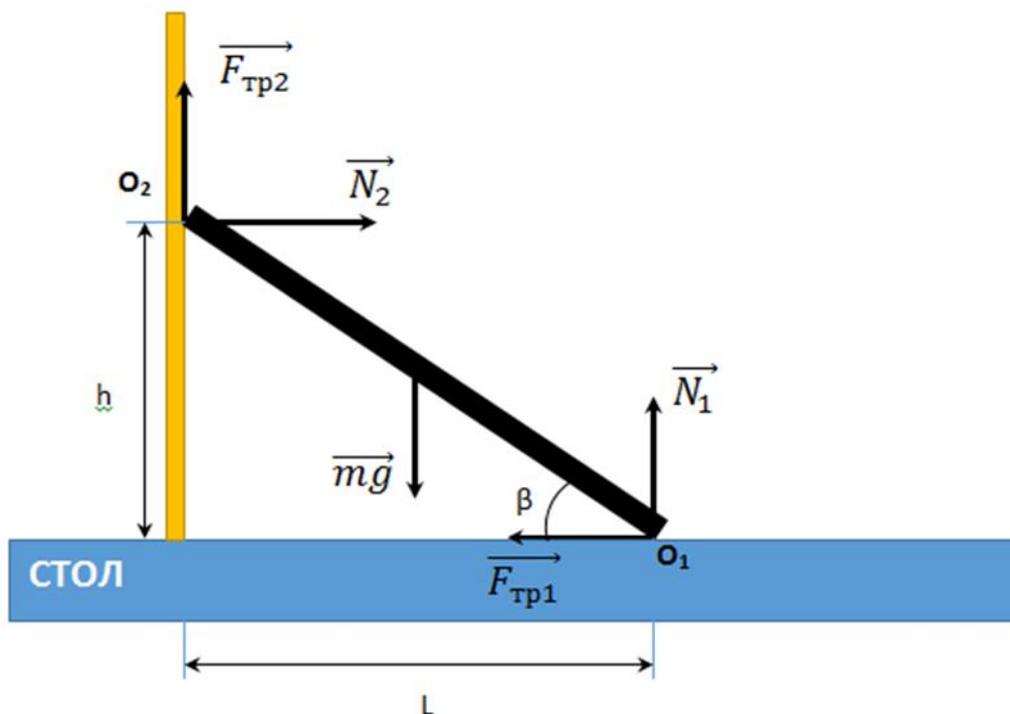
Автор: Фокин Андрей Владимирович

Возможное решение

1. Кладем пластмассовую линейку на деревянную. Изменяя угол наклона деревянной линейки, добиваемся скольжения пластмассовой линейки по поверхности деревянной линейки. Тогда $mg \sin \alpha = F_{тр} = \mu N = \mu mg \cos \alpha$, откуда $\mu = \tan \alpha$, где α – угол наклона деревянной линейки к горизонту.

2. Поставим деревянную линейку вертикально. Приставим к ней пластмассовую линейку и, изменяя ее угол β с горизонтом, добьемся ее скольжения по поверхности бумаги

(см. рисунок). В этом случае: $N_2 = F_{\text{тр}1} = \mu_1 N_1$ и $F_{\text{тр}2} = \mu N_2$, где μ_1 - коэффициент трения пластмассовой линейки о стол.



3. Моменты сил относительно точек O_1 и O_2 должны быть равны нулю:

$$-mg \frac{L}{2} + \mu N_2 L + N_2 h = 0 \text{ и } mg \frac{L}{2} + \mu_1 N_1 h - N_1 L = 0$$

Решая полученную систему уравнений, получим:

$$\mu_1 = \frac{L}{2h + \mu L}$$

4. Погрешность коэффициента трения можно оценить методом границ.

5. Результаты конкретных измерений зависят от использованных линеек, поэтому необходимо перед проверкой провести измерения с использованием Вашего комплекта оборудования.

Критерии оценивания

1.	Идея нахождения коэффициента трения линейки о линейку	1 балл
2.	Результат	1 балл
3.	Идея нахождения коэффициента трения линейки о поверхность бумаги	2 балла
4.	Запись уравнений, необходимых для нахождения коэффициента трения	2 балла
5.	Проведение необходимых измерений	2 балла
6.	Результат	1 балл
7.	Оценка погрешности результата (оценивается при адекватном результате)	1 балл

Рекомендации для организаторов:

Комплект оборудования для учащегося:

1. Линейка деревянная 30-40 см – 1 шт
2. Линейка пластиковая (15-25 см) – 1 шт
3. Лист бумаги А4 – 1 шт

Хотя бы одна поверхность каждой линейки должна быть плоской.

Лист бумаги является оборудованием по требованию. Необходимое количество листов размещают на столе организатора и выдают участнику олимпиады по требованию. Лист прикрепляется к поверхности парты по требованию участника в указанном им месте за уголки скотчем. Замена листа не предусмотрена. Бумагу целесообразно взять из одной пачки.

Для организатора в аудитории нужно дополнительно предусмотреть ножницы и узкий скотч.