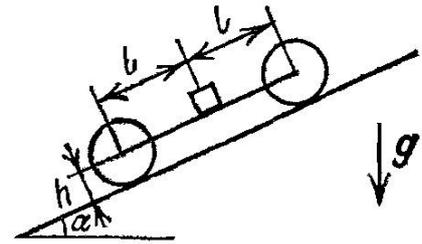


**Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по физике.  
2019-20 учебный год. 11 класс. Максимальный балл – 50.**

**Задача №1.**

Небольшой груз массой  $m = 30$  г закреплен посередине невесомой тележки высоты  $h = 2$  см. Расстояния от него до обеих осей тележки равны  $l = 5$  см. Тележка катится по наклонной плоскости с углом при основании  $\alpha$ . В некоторый момент с помощью тормозных колодок мгновенно останавливают вращение колес тележки. Коэффициент трения скольжения передних (левых) колес о плоскость  $\mu_1 = 0,5$ , задних (правых) –  $\mu_2 = 0,3$ . При каком угле  $\alpha$  тележка начнет двигаться равномерно?



*Автор: Баланов Василий Юрьевич.*

**Возможное решение.**

Запишем 2 закон Ньютона:

$$\vec{N}_1 + \vec{N}_2 + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{тр}1} + \vec{F}_{\text{тр}2} = 0$$

Проведем ось  $x$  вдоль наклонной плоскости, а ось  $y$  перпендикулярно наклонной плоскости.

$$x: F_{\text{тр}1} + F_{\text{тр}2} = mgsina$$

$$y: N_1 + N_2 = mgcosa$$

$$F_{\text{тр}1} = \mu_1 N_1 \text{ и } F_{\text{тр}2} = \mu_2 N_2$$

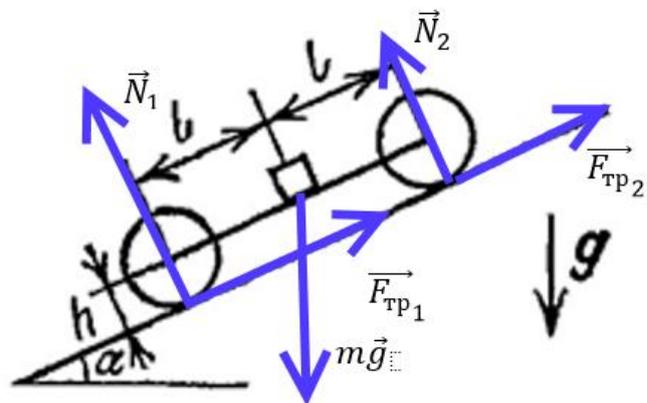
Запишем условие равенства моментов сил относительно центра тяжести

$$(N_1 - N_2)l - (F_{\text{тр}1} + F_{\text{тр}2})h = 0$$

Решая систему уравнений относительно искомого угла получаем:

$$tg\alpha = (\mu_1 + \mu_2) / (2 - (\mu_1 - \mu_2) \frac{h}{l}).$$

Подставляя данные, получим угол  $\alpha \approx 22,6^\circ$

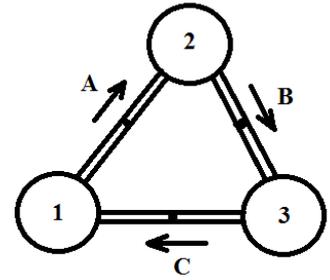


**Критерии оценивания.**

|   |  |          |
|---|--|----------|
| 1 | Рисунок с силами   | 1 балл   |
| 2 | Второй закон Ньютона в проекциях на оси  | 1+1 балл |
| 3 | Формулы для сил трения скольжения $F_{\text{тр}i} = \mu_i N_i$   | 1 балл   |
| 4 | Уравнение для моментов сил   | 2 балла  |
| 5 | Решение системы уравнений и получение выражения для $tg\alpha = (\mu_1 + \mu_2) / (2 - (\mu_1 - \mu_2) \frac{h}{l})$ | 3 балла  |
| 6 | Численный ответ $\alpha \approx 22,6^\circ$  | 1 балл   |

### Задача №2

Три одинаковые сосуда соединены небольшими трубками, внутри которых установлены клапаны. Клапаны пропускают воздух только в направлении указанном стрелками, причем воздух начинает проходить через клапан, когда разница давлений составляет  $\Delta P = 0,02$  МПа. Первоначально газ в сосудах находится при температуре  $T_0 = 300$  К и давлении  $P_0 = 0,1$  МПа. Первый сосуд медленно нагрели до температуры  $T = 600$  К, а затем охладили до первоначальной температуры. Чему стало равно давление в сосуде 2? Температура газа во втором и третьем сосудах поддерживается постоянной и равной  $T_0$ .



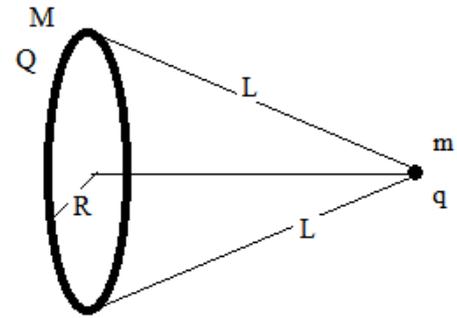
Автор: Воронцов Александр Геннадьевич

#### Возможное решение и критерии оценивания

|   |   |         |
|---|---|---------|
| 1 | Клапан А откроется, т.к. если бы он остался закрытым, то давление в сосуде 1 поднялось бы до $P_1 = P_0 \cdot T/T_0 = 0,2$ МПа. Т.к. $P_1 - P_0 > \Delta P$ , то клапан А откроется.  | 1 балл  |
| 2 | Проверим, откроется ли клапан В. Если он останется закрытым, то условие сохранения количества вещества в сосудах 1 и 2 имеет вид: $\frac{(P_2 + \Delta P)V}{RT} + \frac{P_2 V}{RT_0} = \frac{2P_0 V}{RT_0}$ , где $P_2$ – давление в сосуде 2. Получим, что $P_2 \left(1 + \frac{T}{T_0}\right) = 2P_0 \frac{T}{T_0} - \Delta P$ , откуда $P_2 = 0,127$ МПа. Значит клапан В открывается.   | 2 балла |
| 3 | Найдем давление при открытых клапанах А и В. Условие сохранения количества вещества в сосудах 1, 2 и 3 имеет вид: $\frac{(P_3 + 2\Delta P)V}{RT} + \frac{(P_3 + \Delta P)V}{RT_0} + \frac{P_3 V}{RT_0} = \frac{3P_0 V}{RT_0}$ , где $P_3$ – давление в сосуде 3. Получим, что $P_3 \left(1 + 2\frac{T}{T_0}\right) = 3P_0 \frac{T}{T_0} - 2\Delta P - \Delta P \frac{T}{T_0}$ , откуда $P_3 = 0,104$ МПа, $P_2 = 0,124$ МПа, $P_1 = 0,144$ МПа. | 2 балла |
| 4 | Теперь рассмотрим процесс охлаждения. Если клапан С остается закрытым, то при охлаждении сосуда 1 давление падет в 2 раза и станет равным $P'_1 = P_1/2 = 0,072$ МПа. Давление в сосуде 3 останется $P_3 = 0,104$ МПа. Поэтому при охлаждении сосуда 1, клапан С откроется.   | 1 балл  |
| 5 | Если клапан С открыт, то часть воздуха перейдет из сосуда 3 в сосуд 1, значит давление в третьем сосуде упадет и клапан В останется открытым.   | 1 балл  |
| 6 | Тогда, если конечное давление во втором сосуде $P'_2$ , то $P'_3 = P'_2 - \Delta P$ , $P'_1 = P'_2 - 2\Delta P$ .   | 1 балл  |
| 7 | Найдем окончательное давление $\frac{(P'_2 - 2\Delta P)V}{RT_0} + \frac{(P'_2 - \Delta P)V}{RT_0} + \frac{P'_2 V}{RT_0} = \frac{3P_0 V}{RT_0}$ . Получим $3P'_2 = 3P_0 + 3\Delta P$ , откуда $P'_2 = 0,12$ МПа.   | 2 балла |

### Задача №3

Тонкое проводящее кольцо (масса кольца  $M$ , радиус  $R$ , заряд  $Q$ ) и маленький заряженный шарик (масса которого  $m$ , а заряд  $q$ ) движутся навстречу друг другу (см. рис.). Плоскость кольца все время остается перпендикулярной прямой соединяющей центр кольца и заряженный шарик. В момент, когда кольцо остановилось, расстояние между зарядами на кольце и шариком стало  $L_0$ , а скорость шарика, направлена к центру кольца и равна  $v_0$ .



Определите:

1) скорость центра масс системы в момент, когда расстояние  $L$  между зарядами кольца и шариком будет минимальным;

2) минимальное расстояние между зарядами кольца и шариком.

Влиянием силы тяжести пренебречь.

Автор: Рогальский Юрий Константинович

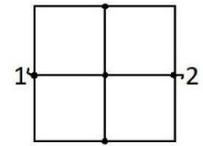
### Возможное решение и критерии оценивания.

|   |  |         |
|---|--|---------|
| 1 | Система кольцо-шарик замкнута, следовательно, скорость центра масс в процессе движения не изменяется.  | 1 балл  |
| 2 | $\vec{v}_{\text{цм}}(M + m) = m\vec{v}_0 \Rightarrow \vec{v}_{\text{цм}} = \vec{v}_0 \frac{m}{M + m}$  | 2 балла |
| 3 | Если скорость шарика не достаточна, чтобы пролететь сквозь кольцо, то минимальное расстояние будет в момент, когда скорости шарика и кольца сравняются (и станут равны скорости центра масс).  | 1 балл  |
| 4 | Из закона сохранения энергии: $\frac{mv_0^2}{2} + \frac{kqQ}{L_0} = \frac{kqQ}{L} + \frac{m^2v_0^2}{2(m+M)}$   | 2 балла |
| 5 | $L_{\text{мин}} = \frac{1}{\frac{1}{L_0} + \frac{Mmv_0^2}{2(m+M)kqQ}}$   | 1 балл  |
| 6 | Минимальная начальная скорость шарика $v_{0\text{мин}}$ , при которой он сможет пролететь сквозь кольцо, находится из условия, что скорости кольца и шарика сравнялись в момент, когда шарик оказался в центре кольца:<br>$\frac{mv_0^2}{2} + \frac{kqQ}{L_0} = \frac{kqQ}{R} + \frac{m^2v_0^2}{2(m+M)}$ | 1 балл  |
| 7 | Откуда $v_{0\text{мин}} = \sqrt{\frac{2kqQ(M+m)}{Mm} \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{L_0} \right)}$  | 1 балл  |
| 8 | Ответ: при $v_0 < v_{0\text{мин}}$ , искомое минимальное расстояние равно $L_{\text{мин}} = \frac{1}{\frac{1}{L_0} + \frac{Mmv_0^2}{2(m+M)kqQ}}$ , при $v_0 > v_{0\text{мин}}$ , минимальное расстояние равно радиусу кольца $R$ .   | 1 балл  |

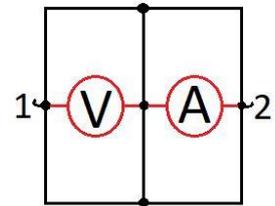
Примечание. Если при ответе на второй вопрос рассмотрен только первый случай, то баллы за пункты 6-8 не ставятся.

### Задача №4

К точкам 1 и 2 проволочной сетки, подключен источник постоянного напряжения. Сопротивление одного звена данной сетки  $R=10$  Ом.



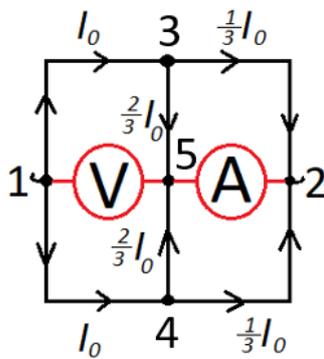
Два звена этой сетки убрали, и вместо них поместили электроизмерительные приборы. Показания идеального вольтметра  $U_V = 20$  В. Определите:



- 1) показания идеального амперметра;
- 2) показания вольтметра, если амперметр заменить идеальным диодом. (Рассмотрите два случая направления диода.)

Автор: Гусев Андрей Владиславович.

### Возможное решение и критерии оценивания.



|   |  |         |
|---|--|---------|
| 1 | По участку 1-5 ток не идет, так как вольтметр идеальный. Схема симметрична относительно оси 1-2, значит ток входящий от источника в узел 1 будет делиться между направлениями 1-3 и 1-4 поровну. Обозначим токи в ветках 1-3 и 1-4 за $I_0$  | 1 балл  |
| 2 | Так как амперметр идеальный, то сопротивление участка 5-2 равно нулю. Значит, для тока, притекающего в узел 3, есть два варианта дальнейшего движения в узел 2: через правый верхний угол или через узел 5 и затем через амперметр. При первом варианте он идет по участку сопротивлением $2R$ , а при втором по участку сопротивлением $R$ . Так как эти участки параллельны, то напряжения на них равны, а сопротивления отличаются в 2 раза, значит и токи будут отличаться в 1/2 раза. По первому маршруту пойдет $\frac{1}{3}I_0$ , а по второму $\frac{2}{3}I_0$ . Аналогично с током, притекающим в узел 4. | 2 балла |
| 3 | Напряжение на вольтметре, равно напряжения на участке 1-3-5, подключенному параллельно вольтметру. $U_V = I_0 \cdot 2R + \frac{2}{3}I_0R$  | 1 балл  |
| 4 | Откуда $I_0 = \frac{3U_V}{8R}$   | 1 балл  |
| 5 | Ток через амперметр равен $I_A = \frac{2}{3}I_0 + \frac{2}{3}I_0 = \frac{1U_V}{2R} = 1A$ и течет слева направо.  | 1 балл  |
| 6 | Если подключить диод так, чтобы он пропускал ток слева направо, то его сопротивление будет равно нулю и ситуация ничем не будет отличаться от случая с амперметром, поэтому и показания вольтметра останутся прежними 20В.   | 1 балл  |
| 7 | Если подключить диод обратной полярностью, то ток по нему не пойдет, а сопротивление участка 2-5 будет бесконечно большим (как и участка 1-5). При этом токи по веткам 3-5 и 4-5 также не пойдут.  | 1 балл  |

|    |  |           |
|----|--|-----------|
| 8  | В этом случае напряжение источника будет поровну делится между вольтметром и диодом.   | 0,5 балла |
| 9  | Найдем напряжение на источнике из исходной схемы. Так как амперметр идеальный, то вольтметр фактически подключен к точкам 1 и 2, то есть измеряет напряжение на источнике. | 1 балл    |
| 10 | Значит напряжение на вольтметре во втором случае будет равно $\frac{1}{2}20 \text{ В} = 10 \text{ В}$  | 0,5 балла |

### Задача №5

Используя предложенное оборудование, определите:

- 1) массу предложенного куска пластилина;
- 2) объем предложенного куска пластилина.

**Оборудование:** кусок пластилина, нить, лист бумаги прямоугольной формы, груз известной массы (масса указана на доске в кабинете), часы с секундной стрелкой (или секундомер).

Выданный лист бумаги со всеми отметками сдается вместе с работой!

*Автор: Фокин Андрей Владимирович*

### Возможное решение.

Начнем с определения объема пластилина. Для этого нам нужно узнать его размеры. Чтобы уменьшить число размеров, которые нам необходимо определить, сожмем пластилин и скатаем из него аккуратный шарик. В этом случае нам достаточно определить только его радиус.

Обмотаем полученный шар в разных плоскостях нитью, так, чтобы она огибала шар по наибольшей длине окружности и сосчитаем число оборотов ( $N$ ) (см. рис.). Определим длину куска нити, который ушел на обмотку шарика для этого сделаем из него и груза математический маятник и определим период его колебаний.

Для определения периода колебаний посчитаем время  $t$  20 колебаний, тогда период  $T = t/20$ . С другой стороны  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ , где

$l$  – длина куска нити.  $l = \frac{T^2 g}{4\pi^2}$

С другой стороны:  $\frac{l}{N} = 2\pi R$ , где  $R$  – радиус шара. Отсюда  $R = \frac{T^2 g}{8\pi^3 N}$ .

Найдем объем шара  $V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi \frac{T^6 g^3}{2^9 \pi^9 N^3} = \frac{T^6 g^3}{3 \cdot 2^7 \pi^8 N^3}$ .

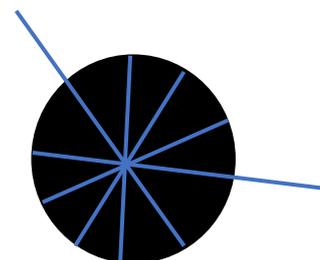
Для определения массы сделаем из выданного листа бумаги рычаг. Для этого согнем его в треугольную балку со стороной 1-2 см для увеличения жесткости и проградуируем при помощи небольшого кусочка нити. Так как при взвешивании нам нужно отношение плеч, то достаточно вычислить их в условных единицах (любой небольшой эталон длинны).

Определим положение центра тяжести полученного рычага, уравновесив его на нити, привязанной примерно к центру. Далее на одну сторону рычага подвешиваем пластилин, на другую груз известной массы и уравниваем систему перемещением груза. Измеряя плечи по нанесенной шкале, используя условие равновесия рычага, определяем массу куска пластилина.

### Критерии оценивания.

Перед проверкой работ учащихся необходимо провести измерения с тем комплектом оборудования, который был выдан на руки учащимся.

| № | Что оценивается  | Балл |
|---|--|------|
| 1 | Идея измерения длины при помощи математического маятника | 1    |
|   | Определение длины нити, используемой для измерений       | 1    |
| 2 | Идея определения объема пластилина                       | 2    |
|   | Необходимые измерения                                    | 1    |
|   | Результат  | 1    |
| 3 | Идея нахождения массы                                    | 2    |
|   | Необходимые измерения                                    | 1    |



|           |   |
|-----------|---|
| Результат | 1 |
|-----------|---|

**Рекомендации для организаторов.**

Комплект оборудования для учащегося:

Кусок пластилина – 1 шт

Груз известной массы – 1 шт

Лист бумаги нестандартного размера – 1 шт

Нить – 1 шт

Секундомер – 1 шт (или часы с секундной стрелкой на аудиторию)

В качестве тела известной массы можно использовать гайку массой 7-15 г. Массу гайки необходимо указать на доске в аудитории, где учащиеся выполняют задания олимпиады.

Масса куска пластилина должна составлять от 0,5 до 2 масс гайки. Форма куска пластилина не принципиальна.

Размер листа бумаги нестандартного размера – 10x15 см, вырезается из бумаги А4. Размер листа бумаги детям не сообщается.

Нить обычная, легко рвущаяся, длиной около 1 м.

Желательно выдать каждому учащемуся секундомер. Если такой возможности нет, то в каждой аудитории должны быть часы с секундной стрелкой, легко различимой с любого рабочего места.