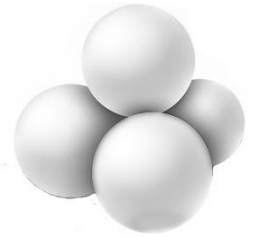


**Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по физике.  
2020-21 учебный год. 11 класс. Максимальный балл – 50.**

**Задача №1.**

Из 4-х одинаковых гладких шаров массы  $m$  и радиуса  $R$  составили правильную пирамиду так, что 3 нижних шара лежат на гладкой горизонтальной плоскости, а верхний расположен над ними, опираясь на них и касаясь их всех. Составив пирамиду, шары отпускают и предоставляют самим себе. Найти ускорения шаров сразу после отпускания.



*Автор: Бедов Кирилл Станиславович*

**Возможное решение.**

Сделаем рисунок. Из симметрии силы взаимодействия между шариками  $N_1, N_2, N_3$  равны по величине, также как и силы реакции горизонтальной плоскости  $N_0$ , ускорения  $a_1, a_2, a_3$  также равны и направлены в горизонтальной плоскости симметрично в разные стороны под углом  $120^\circ$  друг к

другу,  $\sin \alpha = 1/\sqrt{3}$ ,  $\cos \alpha = \sqrt{2/3}$ .

Запишем уравнения динамики в проекции на оси.

Для верхнего шарика на ось  $y$ :

$$ma = mg - 3N \cos \alpha, N = N_1 = N_2 = N_3,$$

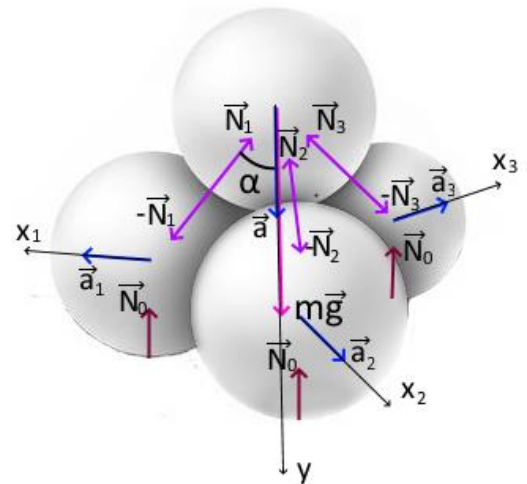
Для нижних шариков на оси  $x_1, x_2, x_3$ :

$$ma_1 = N \sin \alpha.$$

Запишем связь между ускорениями из равенства проекций их на прямую, соединяющую центры шаров:  $a \cos \alpha = a_1 \sin \alpha$ .

Решив получившуюся систему, находим

$$a = \frac{g}{1 + 3 \operatorname{ctg}^2 \alpha}, a_1 = \frac{g \operatorname{ctg} \alpha}{1 + 3 \operatorname{ctg}^2 \alpha}; a = \frac{g}{7}; a_1 = \frac{g\sqrt{2}}{7}$$

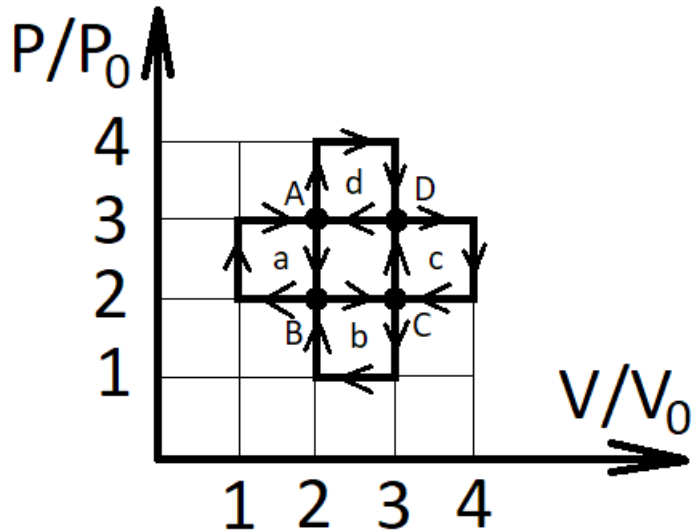


**Критерии оценивания.**

1	Рисунок с силами	1 балл
2	Использование симметрии (равенство сил реакции и ускорений нижних шаров)	2 балла
3	Нахождение $\alpha$	1 балл
4	Уравнения динамики в проекциях	2 балла
5	Связь ускорений	1 балл
6	Решение системы уравнений	2 балла
7	Ответ	1 балл

### Задача №2.

Идеальный одноатомный газ совершает сложный циклический процесс, начинающийся в точке А и состоящий из цикла а, перехода к точке В, цикла b, перехода к точке С, цикла с, перехода к точке D, цикла d и возвращения к точке А.



1. Какую работу совершает газ в таком цикле?

2. Какое суммарное количество теплоты получает газ за время, когда его объем не меняется?

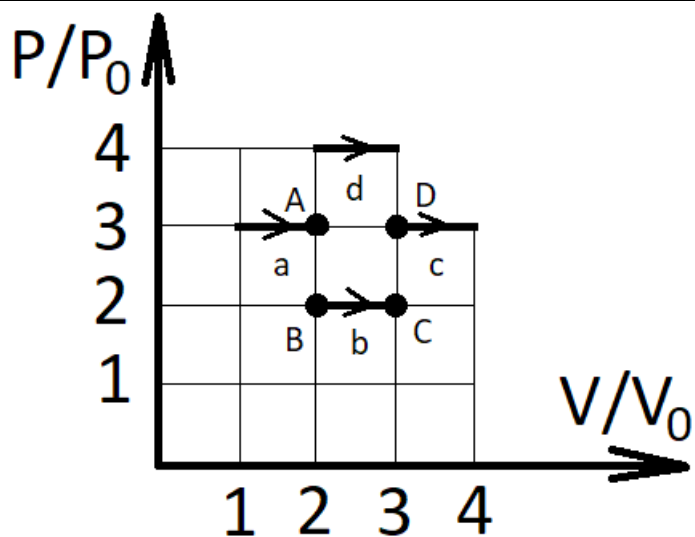
3. Какое суммарное количество теплоты получает газ за время, когда его давление не меняется?

4. Чему равно КПД цикла?

Автор: Воронцов Александр Геннадьевич

### Возможное решение и критерии оценивания.

1	<p>Работа равна площади под графиком (со знаком).                      Работа в каждом из циклов а, b, с, d положительна и равна <math>P_0V_0</math>.                      При переходах между точками А-В-С-D-А работа отрицательна, равна <math>-P_0V_0</math>.                      Суммарная работа <math>3P_0V_0</math>.</p>	<p>2 балла                      1 балл                      1 балл</p>
2	<p>В изохорных процессах система получает тепло при увеличении давления, причем <math>Q = 3/2V\Delta P</math>.</p> <p>Нас интересуют процессы, показанные на рисунке.                      Процесс CD происходит 2 раза (в цикле с и при переходе C-D).                      Искомое количество теплоты равно  <math>Q_v = (3/2 + 2 \cdot (3/2 + 3/2) + 3 \cdot (2 \cdot 3/2)) P_0V_0 = 33/2 P_0V_0</math>.</p> <p>* если не учтено 2-х кратное прохождение процесса CD, то ставится 1 балл</p>	<p>3 балла                      1 балл                      1 балл                      1 балл</p>
3	<p>В изобарных процессах система получает тепло при увеличении объема, причем <math>Q = 5/2 P\Delta V</math>.</p>	3 балла



Нас интересуют процессы, показанные на рисунке

1 балл

Процесс BC происходит 2 раза (в цикле b и при переходе B-C).

1 балл

Нужное количество теплоты равно

$$Q_p = (2 \cdot (2 \cdot 5/2) + 3 \cdot (5/2 + 5/2) + 4 \cdot (5/2)) P_0 V_0 = 35 P_0 V_0.$$

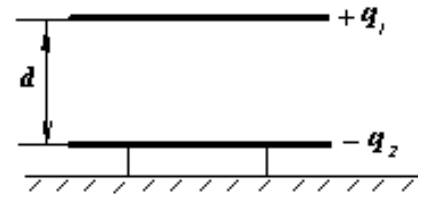
1 балл

\* если не учтено 2-х кратное прохождение процесса BC, то ставится 1 балл

4	Полное количество теплоты, полученное газом $Q = 103/2 P_0 V_0$	1 балл
5	КПД равно $6/103$	1 балл

### Задача №3.

Падающая пластина. Одну из пластин плоского конденсатора, заряженную положительным зарядом  $q_1$ , удерживают на расстоянии  $d$  от другой закрепленной пластины с отрицательным зарядом  $-q_2$ . Площадь каждой пластины  $S$ . Расстояние между пластинами ( $d$ ) много меньше характерного размера пластин.



- 1). Чему равна напряженность электрического поля ( $E$ ) между пластинами?
- 2). С какой силой ( $F$ ) взаимодействуют пластины?
- 3). Верхнюю пластину массой  $M$  отпускают. Какими станут заряды пластин ( $q_1'$  и  $q_2'$ ) после абсолютно упругого отскока?
- 4). Чему будет равна ее скорость ( $v$ ) после абсолютно упругого отскока на прежнее расстояние  $d$ ?

Автор: *Рогальский Юрий Константинович*

### Возможное решение и критерии оценивания.

1	1). Поля зарядов обеих пластин между ними направлены в одну сторону $E = \frac{q_1 + q_2}{2S\epsilon_0}.$	2 балла
2	2). Заряд одной пластины находится в поле заряда другой, следовательно, сила $F = \frac{q_1 \cdot q_2}{2S\epsilon_0}.$	3 балла
3	3). При столкновении суммарный заряд пластин поделится поровну: $q_1' = q_2' = (q_1 - q_2)/2.$	1 балл
4	4). В момент, когда верхняя пластина будет пролетать свое первоначальное положение, потенциальная энергия в поле тяжести не изменится, поэтому можно записать закон сохранения энергии $\Delta W = \frac{Mv^2}{2}$ . 1 балл  Поле вне пластин будет таким же, как и в начале. Изменится (станет равным нулю) поле и энергия поля только между пластинами*. Изменение энергии $\Delta W = \frac{\epsilon_0}{2} E^2 \cdot Sd$ 2 балла  * Изменение энергии можно вычислить через работу силы взаимодействия до удара и после: $\Delta W = \frac{q_1 \cdot q_2}{2S\epsilon_0} d + \frac{q_1' \cdot q_2'}{2S\epsilon_0} d.$	3 балла
5	$v = \frac{q_1 + q_2}{2} \sqrt{\frac{d}{\epsilon_0 MS}}$	1 балл

#### Задача №4.

Схема собрана из девяти одинаковых десятиомных резисторов (рисунок 1).

1. Определите общее сопротивление цепи.
2. Как изменится тепловая мощность, выделяющаяся на первом резисторе, если его подключить к точкам А и В вместо всей схемы?

Первый, пятый и девятый резисторы заменили на включенные в прямом направлении туннельные диоды с вольтамперной характеристикой, приведенной на рисунке 2.

3. При каком напряжении между точками А и В сопротивление схемы будет прежним?

4. При каком напряжении на источнике и силе тока в нем сопротивление схемы будет максимальным?

5. Вычислите максимальное сопротивление цепи.

Автор: Степаненко Евгений Николаевич.

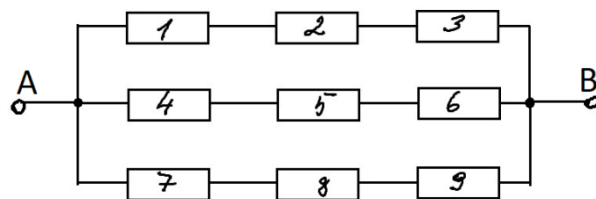


Рис. 1

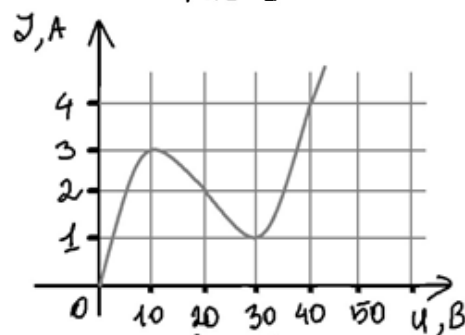


Рис. 2

#### Возможное решение.

1. Первый, второй и третий резистор соединены последовательно их общее сопротивление 30 Ом. Поскольку таких веток 3 и они соединены параллельно, то общее сопротивление цепи составит  $30 \text{ Ом} / 3 = 10 \text{ Ом}$ .

2. Тепловая мощность, выделяющаяся на первом резисторе, если его использовать вместо всей схемы возрастет в 9 раз, поскольку напряжение на нем увеличится в три раза, как и сила тока.

3. Каждый из диодов, находится в отдельной «ветке» и сопротивление всей схемы будет прежним, когда сопротивление диода составит 10 Ом. Это возможно при двух значениях напряжения, подаваемого на диод, при 20 и 40 В. Соответственно, напряжение на схеме должно составлять либо 60 В, либо 120 В.

4. Сопротивление цепи будет максимальным при 30 В, подаваемых на диод, т. к. при этом напряжении его сопротивление 30 Ом. И сопротивление всей схемы  $(30+10+10)/3=16,7 \text{ Ом}$ . Ток через диод при этом составит 1 А, как и через два других резистора в одной «ветке». Напряжение при этом на «ветке» составит  $30\text{В}+1\text{А}\cdot 10 \text{ Ом}+1\text{А}\cdot 10 \text{ Ом} = 50 \text{ В}$ . Следовательно сила тока в цепи при максимальном сопротивлении схемы составит 3 А и напряжении 50 В

#### Критерии оценивания.

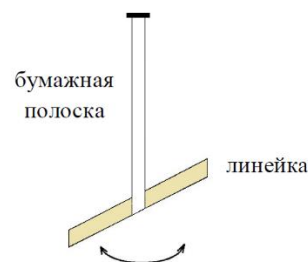
1	Приведен и обоснован ответ на первый вопрос (10 Ом)	1 балл
2	Приведен и обоснован ответ на второй вопрос (Возрастет в 9 раз)	2 балла
3	Ответ на третий вопрос включает в себя: а) обосновано два возможных значения (1 балл) б) верно определено по графику два значения напряжения на резисторе (20В и 40 В) (1 балл) в) дан ответ на вопрос задачи (60В и 120В) (1 балл)  * если рассмотрено только одно значение, то за весь вопрос 1 балл.	3 балла
4	Обоснован ответ на четвертый вопрос (3 А, 50 В)	2 балл
5	Рассчитано максимальное сопротивление схемы (16,7 Ом)	2 балла

### Задача №5.



Кручение — один из видов деформации тела. Возникает в том случае, если нагрузка прикладывается к телу в виде пары сил в его поперечной плоскости. В результате, могут возникнуть, так называемые крутильные колебания, при которых тело поворачивается вокруг оси, проходящей через его центр тяжести.

**Задание:** Используя предложенное оборудование, необходимо исследовать зависимость периода крутильных колебаний линейки, подвешенной на полоске бумаги от ширины полоски (см. рисунок). Известно, что данная зависимость имеет вид  $T \sim S^n$ , где  $n = \text{const}$ . Определите значение  $n$ . Для проверки постройте график этой зависимости в координатах, для которых искомая зависимость является линейной (откладываете по осям  $T$  и  $S^n$ ).



**Указание:** расстояние места крепления до верхнего края линейки возьмите равным 25 сантиметрам.

**Оборудование:** два листа бумаги формата А4, линейка, ножницы, секундомер, скотч.

*Автор: Гусев Андрей Владиславович*

### Возможное решение.

Листы бумаги нарезаются на полоски разной ширины и одинаковой длины.

Полоска закрепляется на краю стола с помощью скотча.

На другом конце полоски закрепляется с помощью скрепок линейка.

Измеряется время  $t$  какого-то количества  $N$  полных колебаний линейки.

Рассчитывается период колебаний  $T = t / N$ .

Подбирается показатель  $n$  (или находится из зависимости  $\ln(T)$  от  $\ln(S)$ )

Строится график  $T$  от  $S^n$ .

### Критерии оценивания.

1	Описана методика проведения эксперимента (рисунок)	1 балла
2	Количество измерений с разными значениями ширины полоски (Использовано не менее 7 разных значений ширины полоски - 3 балла; Использовано не менее 5 разных значений ширины полоски - 2 балла; Использовано менее 5 разных значений ширины полоски - 1 балл)	3 балла
3	Количество измерений для каждой ширины полоски (Для каждой ширины проведено не менее 5 измерений времени колебаний - 2 балла; Для каждой ширины проведено менее 5 измерений - 1 балл)	2 балла
4	Описана методика определения значения $n$ (допускается метод подбора)	2 балла
5	Определено значение $n$ . (Результат близок к теоретическому ( $n = -1$ ) – 3 балла; Результат отличается от теоретического, но обоснован учащимся – 1 балла)	3 балл
6	Построена зависимость $T$ от $S$ в координатах, в которых она будет линейной - оси, подписи – 1 балл, - эксп. точки – 1 балл, - линейная зависимость – 1 балл	3 балла
7	Сделан вывод о правильном определении $n$	1 балл

### **Рекомендации для организаторов**

Комплект оборудования для учащегося:

Лист бумаги формата А4 – 2шт.

Линейка – 1 шт.

Скотч – 1 шт.

Ножницы – 1 шт.

Секундомер – 1 шт.

Особенности подготовки оборудования:

Лист бумаги должен быть плотностью 80 г/м<sup>2</sup>, не мятый. Допускается использовать «черновик», то есть лист, на котором уже было что-то напечатано.

Линейка может быть деревянной или пластиковой. Форма линейки – прямоугольная. Длина 30-40 см.

Скотч узкий шириной 1,5-2,5 см.

Ножницы, которые позволяют хорошо резать бумагу. Канцелярский нож НЕ подойдет, нужны именно ножницы.

Секундомер. Если нет возможности обеспечить участников секундомерами, то можно разрешить им пользоваться секундомерами, встроенными в телефон.