

# ВсОШ, 2024/25, заключительный этап, 11 класс, теоретический тур

Всероссийская олимпиада школьников по физике **Условия**

## Задача 1 Два камня

С вершины башни высоты  $h$  с одинаковыми скоростями  $v$ , направленными перпендикулярно одна к другой, под разными углами к горизонту одновременно брошены два камня так, что их движение происходит в одной вертикальной плоскости. Через некоторое время после броска, как раз непосредственно перед падением одного камня на землю, оказалось, что векторы скоростей камней направлены под одинаковыми углами к горизонту.

Определите величину этого угла  $\varphi$  и расстояние между камнями  $l$  в этот момент времени.

Известно, что в начальный момент времени оба камня удаляются от поверхности земли, а непосредственно перед падением одного камня на землю другой камень тоже приближается к поверхности земли. Башня расположена на горизонтальной поверхности. Ускорение свободного падения равно  $g$ . Сопротивление воздуха не учитывайте.

## Задача 2 Цикл, как цикл

В архиве лорда Кельвина нашли записки о цикле, состоящем из четырех последовательно совершаемых классическим идеальным многоатомным газом квазистатических процессов  $1-2$ ,  $2-3$ ,  $3-4$  и  $4-1$ . График цикла оказался утерян, но стало известно, что в процессах  $1-2$  и  $3-4$  на любом малом участке изменение внутренней энергии было точно равно работе газа, а в процессах  $2-3$  и  $4-1$  на любом малом участке изменение внутренней энергии было точно равно работе внешних сил над газом.

Температуры трёх точек цикла были заданы:  $T_1 = T_3 = 2T_0$ ,  $T_4 = T_0$ . В точке 4 давление и объем равны соответственно  $p_4 = p_0$ ,  $V_4 = V_0$ .

1. Чему была равна температура газа  $T_2$  в точке 2?
2. Восстановите график цикла в координатах  $\log_2 \frac{p}{p_0}$  от  $\log_2 \frac{V}{V_0}$ .
3. Определите КПД цикла.

## Задача 3 Электростатическая левитация

Вертикальный полубесконечный сплошной однородный диэлектрический цилиндр радиуса  $R$  заряжен с постоянной по объёму плотностью заряда  $\rho$ . От цилиндра отрезали тонкий диск толщиной  $d$  ( $d \ll R$ ), затем прислонили его обратно и отпустили (см. рис. 1). Диск остался неподвижным, причём оказалось, что единственная сила взаимодействия между диском и цилиндром — это сила электростатического отталкивания, равная по модулю

$$F_0 = \frac{4}{3} \frac{\rho^2 R^3 d}{\varepsilon_0}.$$

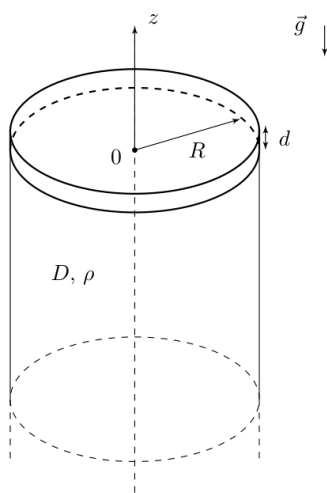


Рис. 1

1. Найдите плотность материала цилиндра  $D$ .
2. Дыску сообщают такую скорость  $v_0$ , направленную вертикально вверх, что он совершает малые колебания, двигаясь поступательно. Определите период этих колебаний.  
Далее от дыска отрезали небольшое кольцо и удалили его. При этом центр дыска остался на оси цилиндра, а новый радиус составляет  $R' = R - \Delta R$ , где  $\Delta R \ll R$ .
3. Определите положение равновесия дыска радиуса  $R'$ . В ответе укажите ширину зазора  $z_0$  между дыском и цилиндром в положении равновесия.
4. Пусть дыск радиуса  $R'$  находится в положении равновесия. Определите период малых колебаний дыска при его поступательном движении вдоль оси цилиндра после сообщения такой же скорости  $v_0$  направленной вертикально вверх. **Если вы не выполнили пункт 3, считайте  $z_0 > 0$  известной величиной.**

*Примечания.* Ускорение свободного падения равно  $g$ . Считайте, что дыск может двигаться только поступательно вдоль оси симметрии системы, а основания дыска горизонтальны. Все силы трения отсутствуют. Любые возможные соударения абсолютно упругие. Гравитационное взаимодействие дыска и цилиндра, магнетизм и электромагнитное излучение не учитывать. Ди-электрик считайте неполяризующимся.

#### Задача 4 Конденсатор Глюка

В самом начале карьеры экспериментатора Глюк увлекался разработкой новых устройств. Одним из них был конденсатор довольно необычной конструкции. На двух поверхностях прямоугольной стеклянной пластинки толщиной  $h = 0,5$  мм было нанесено металлическое покрытие (П), игравшее роль обкладок конденсатора. При этом одна сторона пластинки была покрыта металлом полностью, вторая лишь частично (рис. 2). На свободный от покрытия участок помещалась маленькая капелька проводящей жидкости (К), полностью несмачивающей стекло. Подсоединённый к обкладке с жидкостью проводник раздваивался так, что одна его часть была подсоединена к участку с покрытием, второй конец был погружен в каплю жидкости.

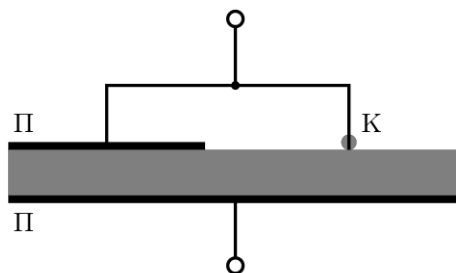


Рис. 2

В одном из экспериментов конденсатор Глюка подключался последовательно с другим конденсатором постоянной ёмкости (опорным) к регулируемому источнику напряжения. Напряжение источника плавно увеличивалось от нулевого значения, при этом исследовалась зависимость напряжения на опорном конденсаторе  $U_C$  от напряжения источника  $U$ . График зависимости состоял из двух линейных участков (рис. 3), при этом напряжение на опорном конденсаторе в точке излома составляло треть от напряжения источника  $U_1$ , соответствующего этой точке.

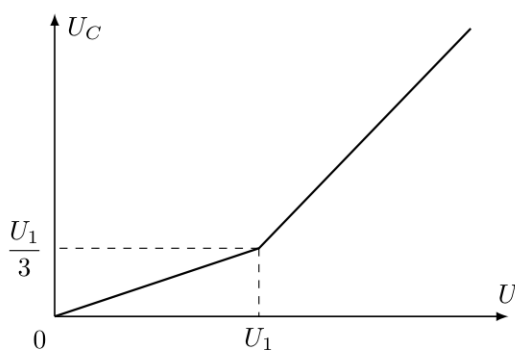


Рис. 3

1. Чему равнялось напряжение на опорном конденсаторе при напряжении источника  $U = 2U_1$ ?
2. Определите коэффициент поверхностного натяжения использованной Глюком жидкости, если  $U_1 = 5,9$  кВ.

Электрическая постоянная равна  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м. Диэлектрическая проницаемость стекла  $\varepsilon = 7$ . Толщина стеклянной пластинки мала по сравнению с её размерами. Коэффициенты поверхностного натяжения жидкости на границе с воздухом и со стеклом одинаковы. Влиянием силы тяжести можно пренебречь.

### Задача 5 Две половинки

На главной оптической оси (ГОО) тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием  $F$  находится точечный монохроматический источник света  $S$  с длиной волны  $\lambda$ . Известно, что диаметр линзы равен  $D$ , причем  $\sqrt{\lambda F} \ll D \ll F$ . Линзу разрезают на две одинаковые половинки (полулинзы), которые смещают параллельно исходным положениям (см. рис. 4) вдоль ГОО. Одна половинка (верхняя) оказывается на расстоянии  $d_1 = 4F/3$  от источника, а другая (нижняя) — на расстоянии  $d_2 = 2F$ .

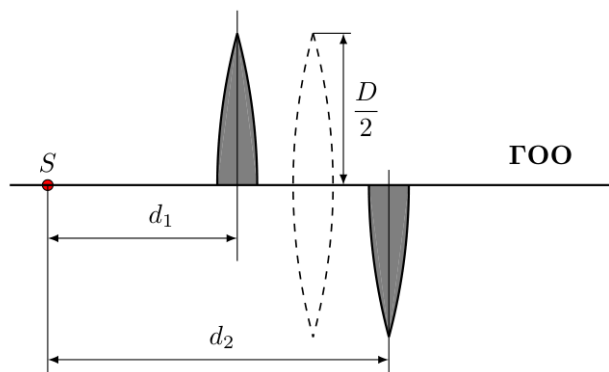


Рис. 4

1. Найдите на каких расстояниях  $l_1$  и  $l_2$  от источника находятся его изображения в верхней и нижней половинках линзы.

Перпендикулярно ГОО размещают экран на некотором расстоянии  $L$  от источника.

2. Опишите картину, которая наблюдается на экране (изобразите ее схематически на рисунке и определите величины существенных характеристик) при  $L_1 = 3F$  и  $L_2 = 6F$ .

3. При каком расстоянии  $L_3 > 2F$  на экране наблюдается изображение в форме круга?

Экран закрепляют на расстоянии  $L_4 = 40F/9$  от источника.

4. Опишите качественно и объясните картину, которая наблюдается на экране, указав все характерные детали.

5. Пройдем из точки пересечения экрана ГОО вверх, до края наблюдаемой картины. Определите, сколько на этом пути окажется интервалов, на которых освещенность экрана будет возрастать? Для расчёта используйте значения:  $F = 4$  м,  $\lambda = 650$  нм,  $D = 5$  см.

Считайте, что исходная линза была идеальной: она обладала свойством таутохронизма (лучи от одного источника, прошедшие через разные ее точки, достигают новой точки пересечения за одинаковое время) и при прохождении через ее фокус фаза световой волны скачком изменялась на  $\pi$ .

Все лучи, не попадающие непосредственно от источника на полулинзы, обрезаются диафрагмами.