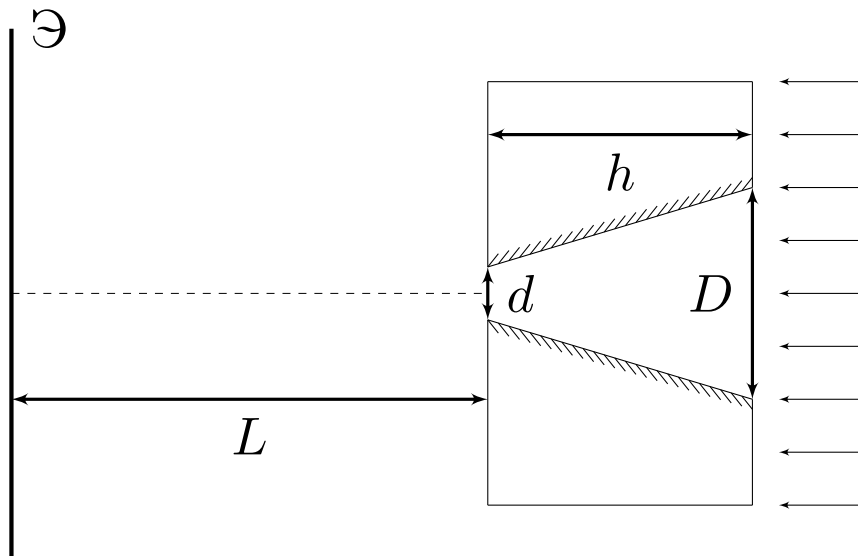


## 11 класс

### Задача №1. Щель Кассини

В непрозрачном плоском слое толщиной  $h$  просверлено отверстие, форма боковой поверхности которого представляет собой усечённый конус с диаметрами оснований  $d$  и  $D$ , ось которого перпендикулярна плоским поверхностям слоя. Боковая поверхность конуса посеребрена и идеально отражает падающий на неё свет. За слоем на расстоянии  $L$  от ближайшей к нему плоской поверхности слоя находится плоский экран.



Система освещается параллельным потоком света, направленным вдоль оси конуса.

Геометрические параметры  $h$ ,  $d$ ,  $D$  и  $L$  связаны соотношениями:  $D \ll h \ll L$ ,  $D = 4d$ .

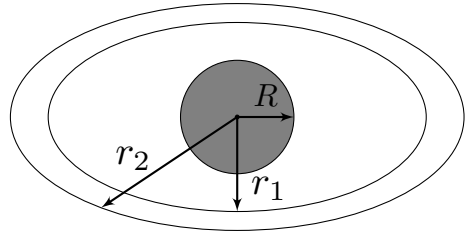
1. Изобразите картину, наблюдаемую на экране. На рисунке укажите все характерные геометрические размеры.

2. Как изменится картина из пункта 1, если между слоем и экраном поместить тонкую собирающую линзу? Фокусное расстояние линзы  $F = L/2$ , главная оптическая ось линзы совпадает с осью конуса, экран расположен в фокальной плоскости линзы.

*Примечание:* все характерные геометрические размеры должны быть выражены через  $d$ ,  $h$  и  $L$ .

### Задача №2. Похоже на Сатурн

По поверхности тонкого плоского непроводящего кольца с внутренним и внешним радиусами  $r_1$  и  $r_2$  соответственно распределён положительный заряд с постоянной поверхностной плотностью  $\sigma$ . Центр непроводящего шара радиусом  $R \ll r_1, r_2$  совпадает с центром кольца. Шар равномерно заряжен по объёму положительным зарядом  $Q$ .



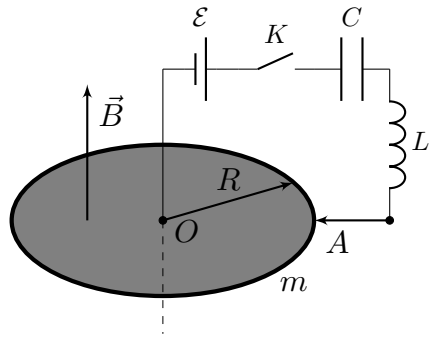
*Примечание:* Ответы на каждый из вопросов задачи должны быть упрощены с учётом приближения  $R \ll r_1, r_2$ .

1. В каких пределах изменяется модуль электрического поля на поверхности шара?

2. При каких значениях  $\sigma$  вектор напряжённости результирующего поля в точках на поверхности шара, удалённых от плоскости кольца на расстояние большее, чем  $0,1 R$ , можно считать направленным вдоль оси вращения системы? Заряд  $Q$  считайте известным.

### Задача №3. Кружатся диски

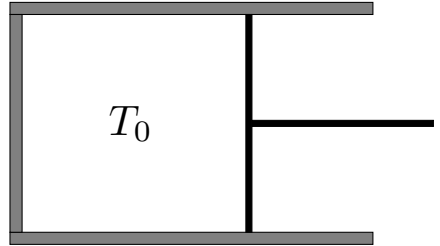
На рисунке показана схема электрической цепи, состоящей из источника с электродвижущей силой  $\mathcal{E}$ , конденсатора ёмкостью  $C$ , катушки индуктивностью  $L$ , ключа  $K$  и металлического диска радиусом  $R$ . Диск может вращаться вокруг своей оси без трения. Диск расположен в однородном магнитном поле с индукцией  $\vec{B}$ , направленном вдоль его оси так, как показано на рисунке. Практически вся масса  $m$  диска сосредоточена в его тонком ободе. Источник соединён с диском в его центре  $O$ , а катушка индуктивности соединена с диском с помощью неподвижного скользящего контакта  $A$ . Омическим сопротивлением контура, по которому течёт ток, и наличием у него индуктивности (дополнительно к  $L$ ) можно пренебречь. Изначально ключ  $K$  разомкнут, диск неподвижен, ток в катушке отсутствует, а конденсатор не заряжен. Ключ  $K$  замыкают.



Определите максимальную угловую скорость диска  $\omega_{\max}$  после замыкания ключа, а также время  $\tau$  после замыкания ключа, через которое угловая скорость диска впервые достигает значения  $\omega_{\max}$ .

### Задача №4. Адиабатическая анизотропия

В горизонтальный цилиндрический сосуд герметично вставлен поршень, перемещающийся с помощью прикреплённой к нему рукоятки. В сосуде находится насыщенный пар воды при температуре  $T_0 = 333$  К. Жидкой фазы воды в сосуде нет.



Водяной пар можно считать идеальным многоатомным газом. Удельная теплота парообразования воды при температуре  $T_0$  равна  $L = 2,36$  МДж/кг и в рамках задачи может считаться не зависящей от температуры. Универсальная газовая постоянная равна  $R = 8,31$  Дж/(моль · К). Молярная масса воды равна  $\mu = 18,0$  г/моль.

Считайте известным, что малые относительные изменения давления насыщенного пара и его абсолютной температуры вблизи значений  $p_0(T_0)$  и  $T_0$  соответственно связаны соотношением  $\varepsilon_p = \Delta p/p_0 = \alpha \varepsilon_T = \alpha \cdot \Delta T/T_0$ , где  $\alpha = 15,3$ .

1. Температуру в сосуде начинают медленно изменять. Объём сосуда изменяется таким образом, что всё вещество в сосуде всё время остаётся в газообразном состоянии, при этом водяной пар всё время является насыщенным.

Чему равна молярная теплоёмкость водяного пара в данном процессе?

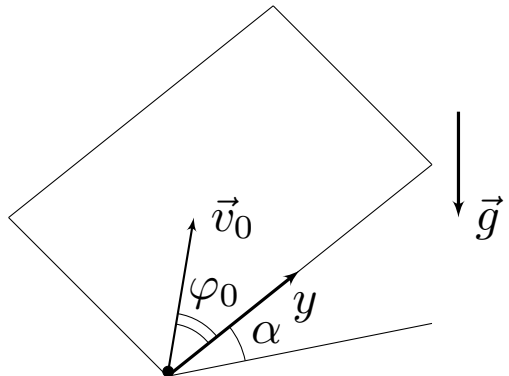
Рассмотрим адиабатически изолированный сосуд.

2. Найдите изменение температуры  $\Delta T_1$  в сосуде при медленном относительном уменьшении его объёма на величину  $\beta = 5\%$ .

3. Найдите изменение температуры  $\Delta T_2$  в сосуде при медленном относительном увеличении его объёма на величину  $\beta = 5\%$ .

### Задача №5. Туда-сюда

На плоской доске, образующей с горизонтом угол  $\alpha = 30,0^\circ$ , находится маленькая шайба. Коэффициент трения между шайбой и доской равен  $\mu = \text{tg } \alpha$ . Вблизи основания доски шайбе сообщают скорость  $v_0 = 8,00$  м/с, и она движется по доске, пока снова не достигнет основания. Основание доски горизонтально. Известно, что в моменты старта и повторного достижения основания доски вектор скорости шайбы образовывал углы  $\varphi_0 = 60,0^\circ$  и



$\varphi_1 = 159,3^\circ$  соответственно с положительным направлением оси  $y$ , направленной вверх по доске (см. рис). Ускорение свободного падения  $g = 9,80 \text{ м/с}^2$ . Шайба не вращается.

*Примечание:* Ответ на каждый из вопросов задачи должен быть как рассчитан, так и выражен аналитически через заданные в условии величины!

1. Определите ускорения шайбы  $a_0$  и  $a_1$  в момент старта и прямо перед повторным достижением основания доски соответственно.

2. Определите скорости шайбы  $u$  и  $v_1$  в верхней точке траектории и прямо перед повторным достижением основания доски соответственно.

3. Определите время  $t$ , через которое шайба повторно достигает основания доски.