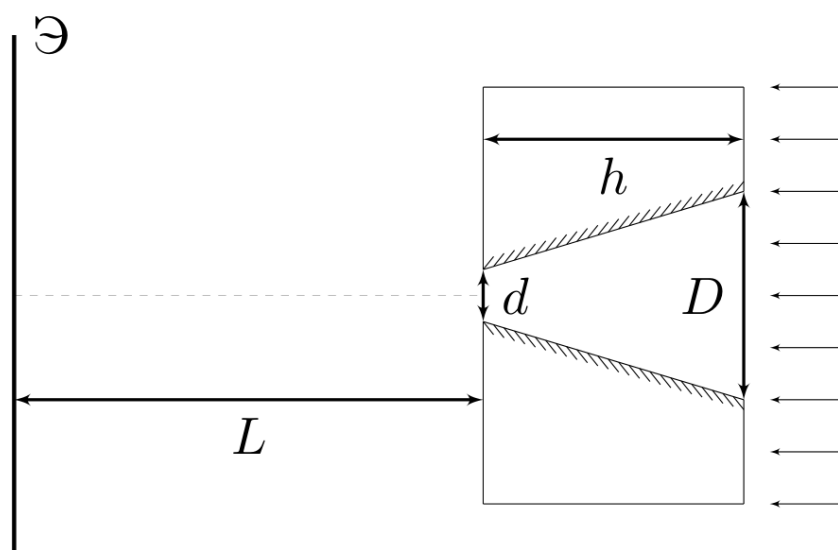


ВсОШ, 2022/23, заключительный этап, 11 класс, теоретический тур

Всероссийская олимпиада школьников по физике [Условия и ответы](#)

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: $D \ll h \ll L$, $D = 4d$.

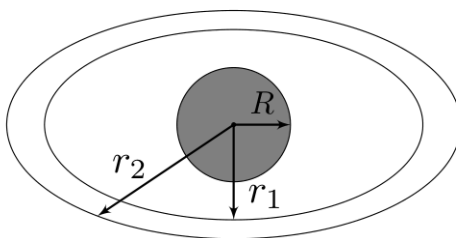
1. Изобразите картину, наблюдаемую на экране. На рисунке укажите все характерные геометрические размеры.
2. Как изменится картина из пункта 1, если между слоем и экраном поместить тонкую собирающую линзу? Фокусное расстояние линзы $F = L/2$, главная оптическая ось линзы совпадает с осью конуса, экран расположен в фокальной плоскости линзы.

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

Ответ

1) центральное пятно диаметром d , кольцо ширины d с радиусом средней линии $R_1 = 3dL/h$ и кольцо ширины $d/2$ с радиусом внешней границы $R_2 = 6dL/h$; 2) пятно превращается в «точку», кольца — в «окружности» радиусами $R'_1 = 3dL/(2h)$ и $R'_2 = 3dL/h$.

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 σ . Центр непроводящего шара радиусом $R \ll r_1, r_2$ совпадает с центром кольца. Шар равномерно заряжен по объёму положительным зарядом Q .

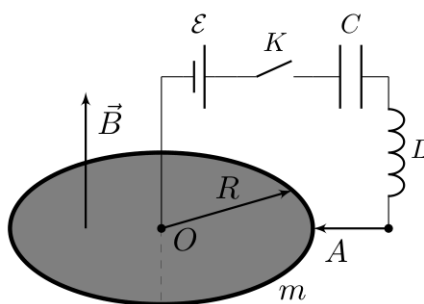
Примечание: Ответы на каждый из вопросов задачи должны быть упрощены с учётом приближения $R \ll r_1, r_2$.

1. В каких пределах изменяется модуль электрического поля на поверхности шара?
2. При каких значениях σ 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.

Ответ

$$1) \left| \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2} - \frac{\sigma R}{4\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \right| \leq E \leq \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2} + \frac{\sigma R}{2\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right); \quad 2) \sigma = \frac{Q r_1 r_2}{R^3 (r_2 - r_1)}.$$

Задача 3 Кружатся диски



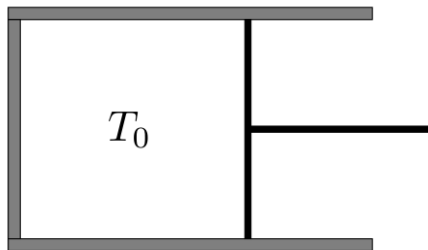
На рисунке показана схема электрической цепи, состоящей из источника с электродвижущей силой $\mathcal{E}$, конденсатора ёмкостью C , катушки индуктивностью L , ключа K и металлического диска радиусом R . Диск может вращаться вокруг своей оси без трения. Диск расположен в однородном магнитном поле с 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 τ после замыкания ключа, через которое угловая скорость диска впервые достигает значения $\omega_{\max}$.

Ответ

$$\omega_{\max} = \frac{4BC\varepsilon}{4m + B^2R^2C}; \quad \tau = \pi / \sqrt{\frac{1}{LC} + \frac{B^2R^2}{4mL}}.$$

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?

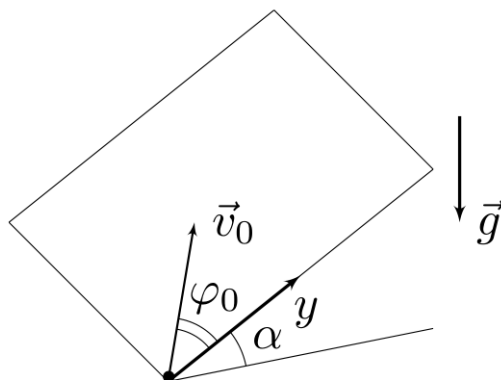
Рассмотрим адиабатически изолированный сосуд.

2. Найдите изменение температуры ΔT_1 в сосуде при медленном относительном уменьшении его объёма на величину $\beta = 5\%$.
3. Найдите изменение температуры ΔT_2 в сосуде при медленном относительном увеличении его объёма на величину $\beta = 5\%$.

Ответ

$$1) C_{\text{нас}} = R(4 - \alpha) \approx -93,9 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}); \quad 2) \Delta T_1 = \beta T_0 / 3 \approx 5,6 \text{ К}; \quad 3) \Delta T_2 = -T_0 \cdot \frac{\beta}{\alpha - 1 + (4 - \alpha)RT_0/(\mu L)} \approx -1,2 \text{ К}.$$

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 $\mu = \operatorname{tg} \alpha$. 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 $g = 9,80$ м/с². 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.

Ответ

$$1) a_0 = 2g \sin \alpha \cos(\varphi_0/2) \approx 8,49 \text{ м/с}^2, a_1 = 2g \sin \alpha \cos(\varphi_1/2) \approx 1,76 \text{ м/с}^2; \quad 2) u = v_0(1 - \cos \varphi_0) \approx 4,00 \text{ м/с}, v_1 = \frac{v_0(1 - \cos \varphi_0)}{1 - \cos \varphi_1} \approx 2,07 \text{ м/с}; \quad 3) t = \frac{v_0}{2g \sin \alpha(1 - \cos \varphi_0)} \left(1 - \left(\frac{1 - \cos \varphi_0}{1 - \cos \varphi_1} \right)^2 \right) \approx 1,52 \text{ с.}$$