

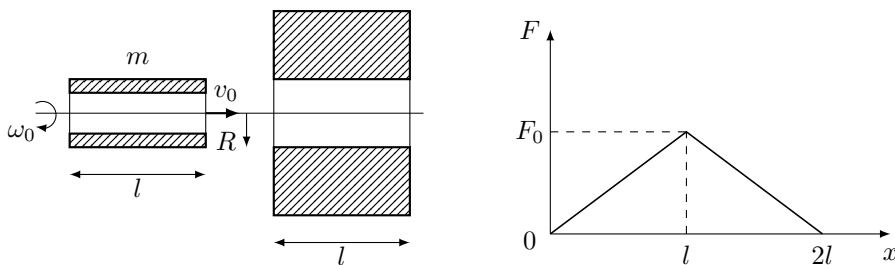
## 11 класс Теоретический тур

### Задача №1. Вращающаяся гильза

Тонкостенная цилиндрическая гильза массы  $m$ , вращающаяся с угловой скоростью  $\omega_0$  вокруг своей оси, влетает со скоростью  $v_0$  в отверстие в стальной плите (рисунок слева). Оси гильзы и отверстия совпадают, внешний радиус гильзы  $R$  равен радиусу отверстия, длина гильзы  $l$  равна толщине плиты.

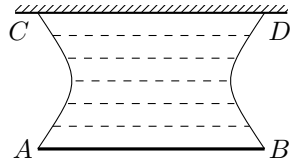
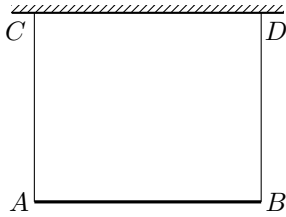
График зависимости силы, которую необходимо прикладывать к невращающейся гильзе, для проталкивания её через отверстие от величины перемещения представлен на рисунке справа. Максимальное значение силы равно  $F_0$ . Эта сила нужна для преодоления силы сухого трения, причем нормальные силы реакции, действующие на участки поверхности гильзы со стороны стен отверстия, не зависят от скорости и угловой скорости гильзы. Поверхности гильзы и отверстия однородны и одинаковы по всей длине. Координата  $x = 0$  отвечает положению гильзы, которая только начала входить в плиту.

1. При каком минимальном значении  $v_0 = v_{\min}$  гильза пролетит через отверстие (начальная угловая скорость  $\omega_0$  всегда одна и та же)?
2. Чему будет равна при этом (при  $v_0 = v_{\min}$ ) угловая скорость  $\omega_1$  вращения гильзы в момент, когда гильза окажется целиком внутри плиты?
3. Через какое время  $\tau$  от момента влета в отверстие при начальной скорости  $v_0 \geq v_{\min}$  гильза окажется внутри плиты целиком?



### Задача №2. Как измерить поверхностное натяжение?

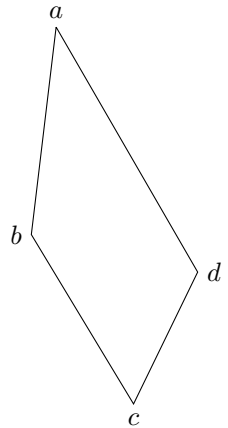
В поле тяжести на двух невесомых нерастяжимых нитях к горизонтальному стержню  $CD$  подвешена планка  $AB$  массы  $m$  длины  $L$ . Нити прикреплены к концам планки и располагаются вертикально (рисунок слева). После погружения системы в неизвестную жидкость и последующего извлечения ее из жидкости в пространстве между нитями, планкой и стержнем сформировалась пленка жидкости, а сама система приобрела вид, представленный на рисунке справа. При этом минимальное расстояние между нитями оказалось равным  $d$ , а расстояние между планкой и стержнем равным  $h$ .



1. Определите коэффициент поверхностного натяжения жидкости  $\sigma$ .
2. Вычислите величину  $\sigma$  при  $L = 10$  см,  $m = 2$  г,  $d = 5$  см,  $h = 8.7$  см.

### Задача №3. Трапеция Лорда Кельвина

В архиве лорда Кельвина была найдена диаграмма циклического процесса, проводимого с постоянным количеством идеального двухатомного газа, представляющая собой в координатах  $pV$  трапецию. От времени чернила выцвели и на рисунке, представленном ниже, осталась видна лишь трапеция. Известно, что теплоёмкость в каждом из процессов  $ab$ ,  $bc$ ,  $cd$ ,  $da$  была постоянна, причём  $C_{bc} = C_{da} > C_{ab} = C_{cd}$ . Также известно, что максимальная температура газа в цикле равна  $T_1 = 400$  К, а температуры пары из точек  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  были одинаковы и равны  $T_2 = 200$  К.



1. Пользуясь только циркулем и линейкой без делений, восстановите положения координатных осей  $pV$ .

*Примечание:* Описывать построение параллельных и перпендикулярных прямых, проходящих через заданную точку, деление отрезка пополам и подобные стандартные геометрические процедуры не обязательно.

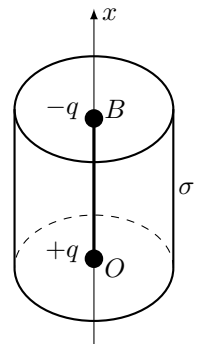
2. Определите температуры  $T_a$ ,  $T_b$ ,  $T_c$ ,  $T_d$  в точках  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  соответственно.
3. Найдите КПД цикла  $\eta$ .

### Задача №4. Цилиндр и нелинейная плотность заряда

Диполь – жесткий стержень длины  $H$  с зарядами  $q$  и  $-q$  на концах – находится на оси тонкостенной цилиндрической трубки радиуса  $R$  и высоты  $H$ . На трубку нанесен заряд с поверхностной плотностью  $\sigma$ , которая зависит от расстояния  $x$  до плоскости нижнего основания по закону

$$\sigma(x) = \sigma_0 \sin^2 \left( \frac{\pi x}{2H} \right),$$

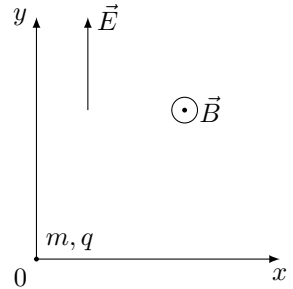
где  $\sigma_0 > 0$ . Найдите направление и величину электростатической силы, действующей на диполь в положении, в котором его



заряды  $q$  и  $-q$  находятся в центре нижнего основания (т.  $O$ ) и в центре верхнего основания (т.  $B$ ) соответственно.

### Задача №5. Движение в скрещенных полях

В скрещенных электрическом и магнитном полях движется маленькая частица массой  $m$  с положительным зарядом  $q$ . Вектор однородного электрического поля с напряжённостью  $E$  направлен вдоль оси  $y$ . Вектор индукции магнитного поля направлен вдоль оси  $z$ , перпендикулярной плоскости  $xy$  (см. рис), а его величина зависит только от координаты  $y$  по закону  $B = \alpha\sqrt{|y|}$ . В начальный момент времени частица расположена в начале координат, а её скорость равна нулю. При дальнейшем движении частица впервые остановилась в момент времени  $t = T$  после начала движения. Силы тяжести нет.



остановилась в момент времени  $t = T$  после начала движения. Силы тяжести нет.

*Примечание:* при малых значениях  $\Delta x$  справедлива формула:

$$\Delta(x^n) = nx^{n-1}\Delta x.$$

1. Определите скорость частицы в момент, когда она направлена вдоль оси  $x$ .
2. Определите радиус кривизны траектории частицы в точке с координатой  $y$ .
3. Изобразите траекторию частицы за время движения  $T$ .
4. На каком расстоянии от точки старта окажется частица через время  $\tau = 3T/2$ ?