11 класс

Теоретический тур

Задача №1. Вращающаяся гильза

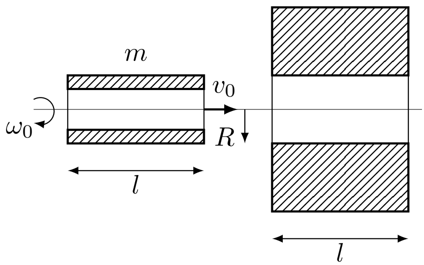
Тонкостенная цилиндрическая гильза массы m, вращающаяся с угловой скоростью ω_0 вокруг своей оси, влетает со скоростью v_0 в отверстие в стальной плите (рисунок слева). Оси гильзы и отверстия совпадают, внешний радиус гильзы R равен радиусу отверстия, длина гильзы l равна толщине плиты.

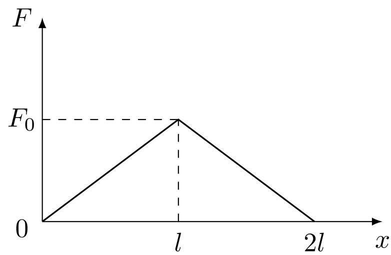
График зависимости силы, которую необходимо прикладывать к невращающейся гильзе, для проталкивания её через отверстие от величины перемещения представлен на рисунке справа. Максимальное значение силы равно F_0. Эта сила нужна для преодоления силы сухого трения, причем нормальные силы реакции, действующие 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 ω_0 всегда одна и та же)?

2. Чему будет равна при этом (при $v_0 = v_{\min}$) угловая скорость ω_1 вращения гильзы в момент, когда гильза окажется целиком внутри плиты?

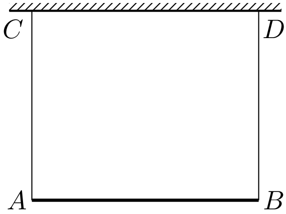
3. Через какое время τ от момента влета в отверстие при начальной скорости $v_0 \geqslant v_{\min}$ гильза окажется внутри плиты целиком?

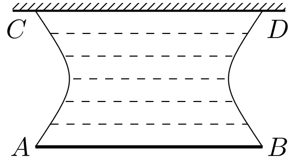




Задача №2. Как измерить поверхностное натяжение?

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.

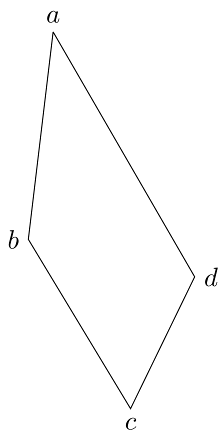




1. Определите коэффициент поверхностного натяжения жидкости σ.
2. Вычислите величину σ при $L = 10$ см, $m = 2$ г, $d = 5$ см, $h = 8.7$ см.

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 некоторой 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.

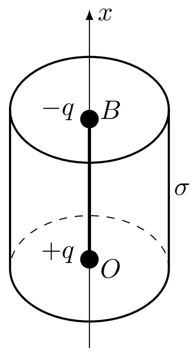
Примечание: Описывать построение параллельных и перпендикулярных прямых, проходящих через заданную точку, деление отрезка пополам и подобные стандартные геометрические процедуры не обязательно.

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

Задача №4. Цилиндр и нелинейная плотность заряда

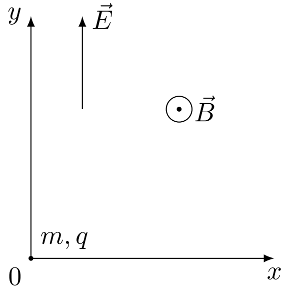
Диполь – жесткий стержень длины H с зарядами q и $-q$ на концах – находится на оси тонкостенной цилиндрической трубки радиуса R и высоты H. На трубку нанесен заряд с поверхностной плотностью σ, которая зависит от расстояния x до плоскости нижнего основания по закону

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



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.

Примечание: при малых значениях Δx 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 $\tau = 3T/2$?