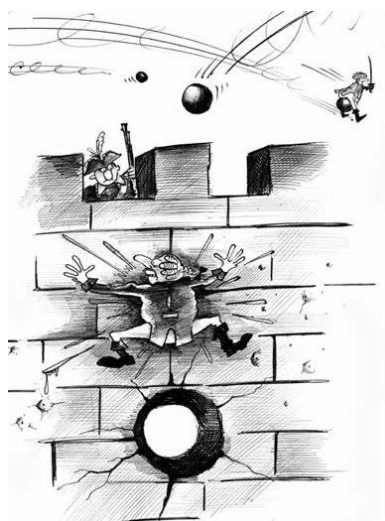




«Физолимп - 2024» второй тур

Уважаемые участники турнира! Мы рады видеть Вас во втором туре, в котором Вам предлагается решить 5 оригинальных физических задач.
Желаем успехов и надеемся увидеть Вас студентами нашего факультета!



Задача 1.

Небольшое тело (материальная точка) массы m может двигаться вдоль оси Ox без трения. Зависимость потенциальной энергии тела от его координаты x описывается функцией

$$U(x) = \frac{k}{8} \left(x - \frac{a^2}{x} \right)^2, \quad (1)$$

где k и a - известные положительные величины.

1. Постройте схематический график зависимости потенциальной энергии тела от его координаты (1) при $x > 0$.
2. Определите координату \bar{x} положения равновесия тела.

В начальный момент времени тело покоится в точке с координатой x_0 ($x_0 > 0$).

3. Определите, в каких пределах будет изменяться координата тела в процессе его движения.
4. Определите период «малых» колебаний тела T_1 , если начальная координата тела x_0 очень мало отличается от координаты положения равновесия $|x_0 - \bar{x}| \ll a$.
5. Определите период «больших» колебаний тела T_2 , если начальная координата тела $x_0 \gg a$.

Подсказка. При необходимости можете использовать приближенную формулу, справедливую при $\xi \ll 1$

$$\frac{1}{1+\xi} \approx 1-\xi.$$



Задача 2.

Один моль идеального газа совершает циклический процесс $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 0$, имеющий форму прямоугольника на диаграмме (P, V) , которая показана на рисунке.

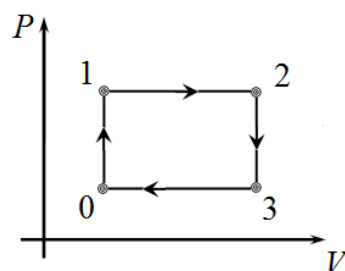
Известно, что работа, совершенная газом за один цикл, равна A .

Температуры газа в состояниях 1 и 3 равны T_1 и T_3 , соответственно.

1. Определите температуру газа T_0 в состоянии 0.

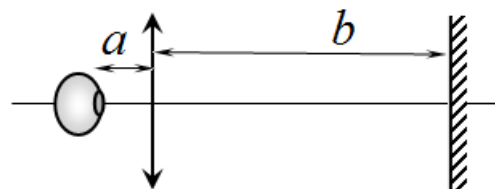
2. Рассчитайте численное значение отношения температур $\frac{T_0}{T_1}$,

если $A = \frac{3}{2}RT_1$ (R - универсальная газовая постоянная); $T_2 = 2T_1$.



Задача 3.

«Очкарик» рассматривает себя в плоском зеркале. Расстояние от зрачка глаза собирающей линзы очков равно $a = 3,0\text{ см}$; расстояние от линзы до зеркала равно $b = 30\text{ см}$; фокусное расстояние линзы равно $F = 25\text{ см}$.



1. Рассчитайте, чему равно расстояние от зрачка до его изображения, которое наблюдает «очкарик».

Примечание. В данной задаче во избежание громоздких формул допускается проведение промежуточных численных расчетов.



Задача 4.

Широко известны опыты с «магдебургскими полушариями», впервые проведенные в 1654 году губернатором города Магдебурга Отто фон Герике. После откачивания воздуха из пространства между двумя медными полушариями две восьмерки лошадей не смогли растянуть эти полушария – сила атмосферного давления воспрепятствовала этому. Этот эксперимент предельно наглядно демонстрирует наличие значительных сил атмосферного давления. Подобные демонстрации проводят до настоящего времени. В данной задаче вам необходимо провести численные оценки некоторых характеристик этого эксперимента.

Не претендуя на полную историческую достоверность, зададим параметры установки, используя старинную гравюру.

Внутренний диаметр полушарий примем равным $D = 1,0 \text{ м}$; диаметр цилиндра поршневого насоса $d = 20 \text{ см}$; длина этого цилиндра $l = 1,0 \text{ м}$.

Атмосферное давление нормальное $P_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Также примем, что после откачки давление воздуха между полушариями равно одной десятой от атмосферного давления $P_f = \eta P_0$, $\eta = 0,10$. Трением поршня о стенки цилиндра можно пренебречь. Все процессы считать изотермическими.



1. Рассчитайте численные значения объема между полушариями V_0 , и объема цилиндра поршневого насоса V_1 .

В дальнейшем используйте эти обозначения и численные значения.

2. Рассчитайте, какую силу надо приложить к полушариям, чтобы оторвать их друг от друга, если давление между полушариями в 10 раз меньше атмосферного.
3. Какую силу должна приложить каждая лошадь (из двух восьмерок), чтобы разорвать полушария?
4. Рассчитайте, сколько циклов откачки (ходов поршня) надо совершить, что понизит давление между полушариями в 10 раз по сравнению с атмосферным.
5. Оцените, какую работу необходимо совершить, чтобы провести описанную процедуру откачки.



Задача 5.

Магнитная левитация (зависание постоянного магнита в магнитном поле) известна достаточно давно. Она находит широкое применение от различных «игрушек» до поездов на «магнитной подушке». Новый толчок исследований в этой области дало открытие новых высокотемпературных сверхпроводящих материалов. В данной задаче рассматривается упрощенная модель этого явления.

По вертикальной оси закрепленного сверхпроводящего кольца может двигаться небольшой постоянный цилиндрический магнит. Ось магнита всегда совпадает с осью горизонтально расположенного кольца. Радиус кольца равен R , его индуктивность - L . Масса магнита равна m , его положение задается координатой z - расстоянием от магнита до центра неподвижного кольца.

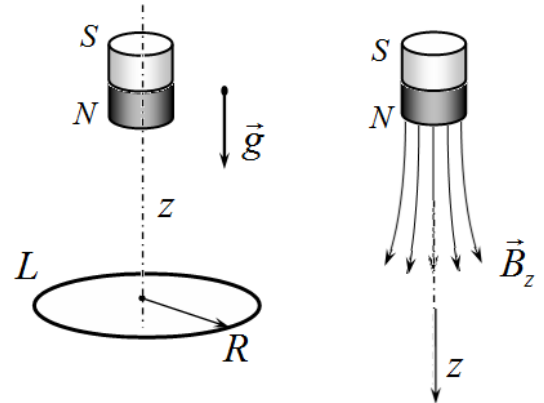
Магнитное поле, создаваемое постоянным магнитом, является постоянным (не зависящим от внешних магнитных полей).

Осевая компонента этого поля на расстояниях z , превышающих радиус магнита a , описывается формулой

$$B_z(z) = B_0 \left(\frac{a}{z} \right)^3, \quad (1)$$

где B_0 - известная постоянная величина. Можно считать, что в пределах площади кольца эта компонента поля остается постоянной.

Изначально магнит находится на оси кольца на большом расстоянии от центра кольца, электрический ток в кольце отсутствует. Затем магнит медленно приближают к центру кольца, и на некотором расстоянии от центра z_0 магнит оказывается в положении равновесия (зависает над кольцом).



1. Кратко опишите, какие процессы, происходящие в данной системе, приводят к тому, что магнит «зависает» в воздухе.
2. Найдите зависимость силы тока $I(z)$ в кольце от положения магнита z .
3. Найдите зависимость магнитной силы $F(z)$, действующей на постоянный магнит, от его положения z .
4. Найдите, на каком расстоянии z_0 от центра кольца магнит сможет находиться в состоянии равновесия.

Пусть изначально магнит находится в центре кольца, при этом электрический ток в кольце отсутствует. Магнит отпускают.

5. Найдите, на каком расстоянии от центра кольца магнит сможет находиться в равновесии в этом случае.

Подсказка. Так как силовые линии магнитного поля замкнуты, то магнитный поток через любую замкнутую поверхность равен нулю.