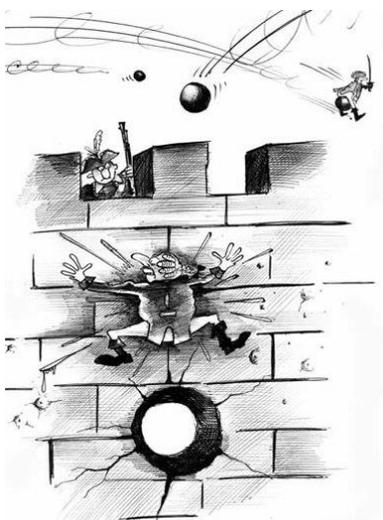




### «Физолимп - 2024» второй тур

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.

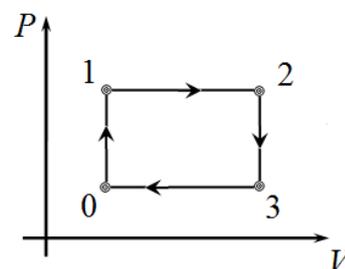
Известно, что работа, совершенная газом за один цикл, равна  $A$ .

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

1. Определите температуру газа  $T_0$  в состоянии 0.

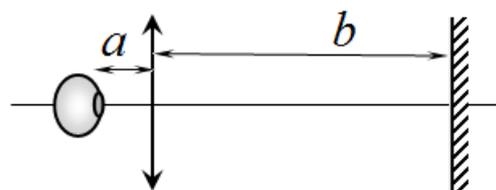
2. Рассчитайте численное значение отношения температур  $\frac{T_0}{T_1}$ ,

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 дал 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.

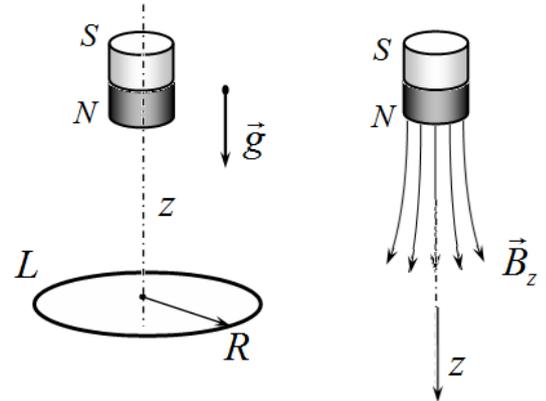
Магнитное поле, создаваемое постоянным магнитом, является постоянным (не зависящим от внешних магнитных полей).

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.