

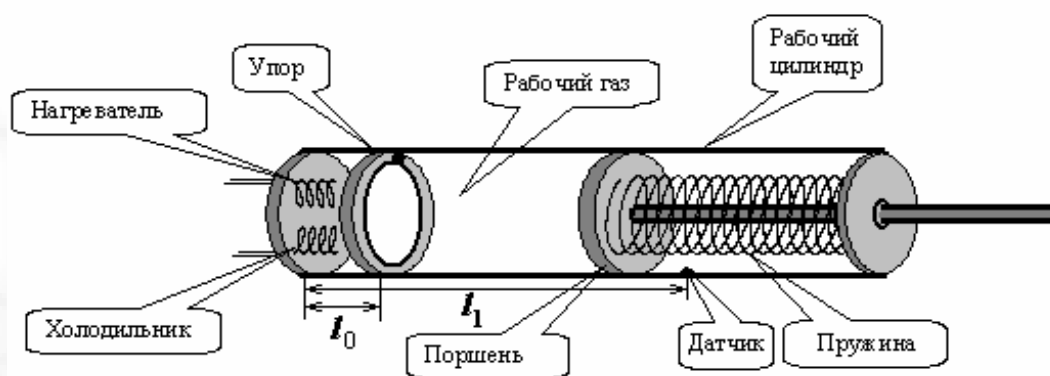
Точечным диполем называется система из двух связанных зарядов, равных по величине и противоположных по знаку, расположенных на малом расстоянии друг от друга.

1.5 Двум небольшим одинаковым шарикам, находящимся на расстоянии h друг от друга, сообщают разноименные электрические заряды, равные по величине. Шарiki начинают сближаться. Время t , через которое шарiki столкнутся, зависит от начального расстояния h между шариками по формуле

$$t = Ch^\lambda$$

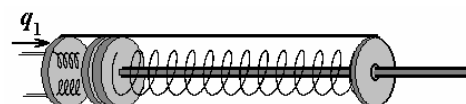
где C - постоянная величина. Докажите справедливость приведенной формулы, определите показатель степени λ .

Задача 11.2 «Тепловой двигатель»



Внутри закрытого с одной стороны *рабочего цилиндра* расположен плотно пригнанный *поршень*, соединенный с помощью стержня с рабочим устройством, (на рисунках не показано). При движении поршня вправо на поршень действует дополнительная сила со стороны рабочего механизма, при его движении влево эта дополнительная сила отсутствует². Между поршнем и основанием цилиндра находится рабочий газ. На расстоянии l_0 от основания цилиндра закреплен кольцевой упор. В основание цилиндра вмонтированы *нагреватель* постоянной мощности q_1 (т.е. сообщаящий газу в единицу времени постоянное количество теплоты q) и *холодильник*, забирающий от газа в единицу времени количество теплоты q_2 , не зависимо от состояния газа. На упоре и в стенке цилиндра на расстоянии $l_1 = ml_0$ от основания цилиндра вмонтированы *датчики*, способные включать и выключать холодильник и нагреватель. Поршень соединен с противоположной стенкой возвращающей *пружиной*. Длина недеформированной пружины равна длине рабочего цилиндра.

Рабочий газ можно считать идеальным двухатомным (его молярная теплоемкость равна $C_V = \frac{5}{2}R$). Теплоемкостью цилиндра и поршня, потерями теплоты в окружающее пространство можно



² На досуге можете подумать о конструкции такого устройства, но «досуг» не оценивается.

пренебречь, также можно пренебречь инерционностью поршня и рабочего устройства.

Началом цикла будем считать состояние, когда поршень доходит до упора, в этот момент включается нагреватель (а холодильник отключается). В этом положении пружина сжата на величину l_0 , и ее сила упругости равна F_0 .

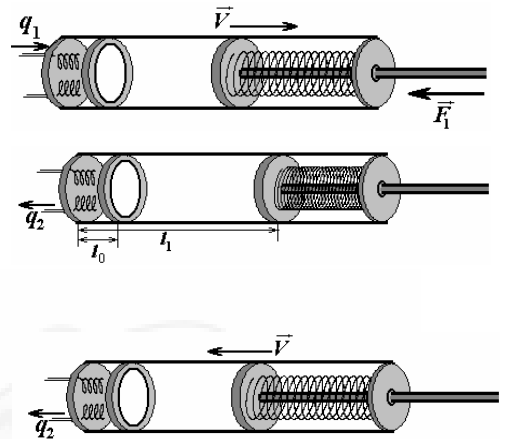
Во время движения поршня вправо на него со стороны рабочего устройства действует постоянная сила $F_1 = nF_0$ (помимо силы упругости пружины).

При достижении датчика, находящегося на

расстоянии l_1 , нагреватель выключается, и включается холодильник.

В исходное положение поршень возвращается действием пружины при работающем холодильнике.

Параметры двигателя $n = 2,0$; $m = 2,0$; $q_1 = q_2 = q$.



Коэффициентом полезного действия будем считать отношение работы, совершенной над рабочим устройством, к количеству теплоты, полученной газом от нагревателя

В ходе решения допускается и рекомендуется выполнение промежуточных численных расчетов.

Часть 1.

В этой части необходимо рассчитать характеристики двигателя в рамках следующих допущений:

- атмосферное давление значительно меньше давления рабочего газа в цикле;
- трение пренебрежимо мало;
- все процессы являются равновесными и обратимыми.

1.1. Изобразите на диаграмме (P, V) изменения состояния рабочего газа за цикл работы двигателя.

1.2. Найдите коэффициент полезного действия двигателя η .

1.3. Найдите среднюю мощность, развиваемую двигателем (ответ выразите через мощность нагревателя q).

Часть 2.

Рассмотрите работу двигателя в рамках следующих допущений:

- сила атмосферного давления на поршень постоянна и равна силе упругости пружины в начальной точке цикла F_0 ;
- трение пренебрежимо мало;
- все процессы являются равновесными и обратимыми.

2.1. Изобразите на диаграмме (P, V) изменения состояния рабочего газа за цикл работы двигателя.

2.2. Найдите коэффициент полезного действия двигателя η .

Часть 3.

Рассмотрите работу двигателя в рамках следующих допущений:

- сила атмосферного давления на поршень постоянна и равна силе упругости пружины в начальной точке цикла F_0 ;
- сила трения, действующая на поршень со стороны стенок, постоянна по модулю и равна $0,10F_0$;
- все газовые процессы являются равновесными и обратимыми.

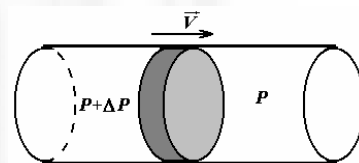
3.1. Изобразите на диаграмме (P, V) изменения состояния рабочего газа за цикл работы двигателя.

3.2. На сколько процентов изменится коэффициент полезного действия устройства из-за наличия трения?

Часть 4

Сейчас вам предстоит оценить влияние неравновесности реально протекающих процессов.

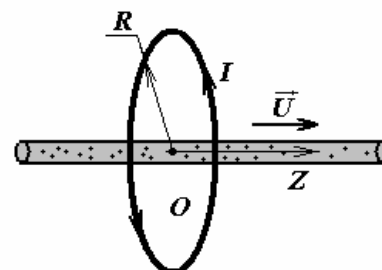
4.1. По очень длинной горизонтальной трубе может двигаться без трения поршень. С обеих сторон поршня находится воздух (средняя молярная масса $M = 29 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$) при температуре $T = 800 \text{ К}$. Давление газа с одной стороны поршня равно $P = 5,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$, а с другой на $\Delta P = 5,0 \cdot 10^2 \text{ Па}$ больше. **Оцените скорость установившегося движения поршня.**



4.2. Оцените, на сколько изменится КПД рассматриваемого двигателя при учете неравновесности процесса расширения, процесс сжатия считайте равновесным. Считайте, что рабочим газом является воздух, средняя температура газа в этом процессе $T = 800 \text{ К}$, среднее давление $P = 5,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Задача 11-3. «Магнитная регулировка»

В данной задаче исследуется возможность управлением течением жидкости с помощью магнитного поля. В качестве жидкости используется растительное масло, смешанное с мелкими железными опилками. Эта смесь протекает по длинной узкой горизонтальной трубке, которая проходит через тонкую кольцевую катушку, по которой пропускают постоянный электрический ток. Ось катушки совпадает с осью трубки.



Параметры устройства: