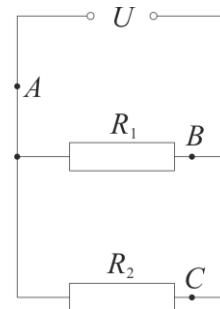


## Задание 2. «Made in China».

Юный экспериментатор Федя с очень большой точностью знает сопротивления резисторов  $R_1$  и  $R_2$ , включенных в схему, как показано на рисунке, причем  $R_2 > R_1$ . Сопротивления подводящих проводов в схеме пренебрежимо малы. Незвестное, но постоянное напряжение на клеммах  $U$  Федя планирует рассчитать по закону Ома для участка цепи, измерив силу тока чувствительным амперметром, который экспериментатор считает идеальным. В какой точке цепи (A, B или C) Феде необходимо подключить измерительный прибор, чтобы рассчитанное им напряжение оказалось «наиболее правильным»?



## Задание 3. Как разгоняется газ?

Цель данной задачи – показать, как газы протекают через сопло реактивного двигателя, почему профиль сопла изменяется не монотонно: сначала сужается, а затем расширяется! Точные расчеты формы сопла и в настоящее время представляют собой невероятно сложную аэродинамическую задачу, поэтому мы ограничимся самыми простыми примерами, показывающими основные физические идеи, лежащие в основе конструирования реактивных двигателей. Поэтому задача содержит много промежуточных вопросов, которые помогут Вам прийти к далекому финишу этой задачи

Подсказки.

1. Процесс, протекающий без теплообмена, называется адиабатическим. Уравнение адиабатического процесса идеального газа имеет вид

$$PV^\gamma = \text{const}, \quad (1)$$

показатель адиабаты  $\gamma$  (для всех газов  $\gamma > 1$ ) и молярную массу газа  $M$  считайте известными.

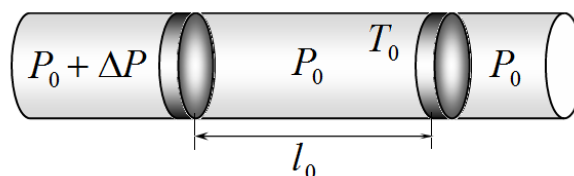
2. Во многих пунктах задачи используйте приближенную формулу

$$(1+x)^\alpha \approx 1+\alpha x \quad (2)$$

справедливую при  $x \ll 1$  и любых  $\alpha$ .

### Часть 1. В цилиндрической трубе.

В очень длинной горизонтальной цилиндрической трубе находятся два легких (массой можно пренебречь) плотно пригнанных поршня, которые могут скользить по трубе без трения. В начальный момент между поршнями находится



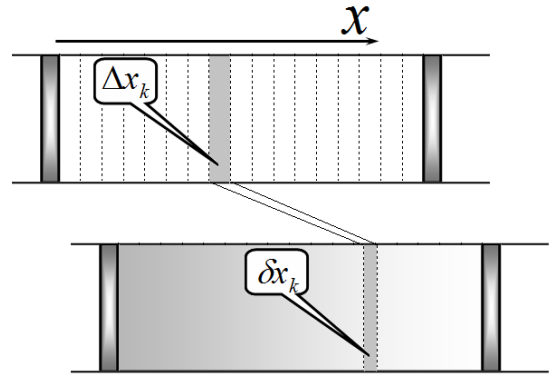
идеальный газ при температуре  $T_0$  и давлении  $P_0$ , расстояние между поршнями равно  $l_0$ . Снаружи от поршней находится газ под давлением  $P_0$ , т.е. система находится в равновесии. Теплопроводностью и теплоемкостью стенок трубы и поршней следует пренебрегать.

В некоторый момент времени слева от поршней давление резко возросло на величину  $\Delta P$  (причем  $\Delta P \ll P_0$ ), поршни и газ между ними пришли в движение. Считайте, что давления снаружи от поршней поддерживаются постоянными.

В данной части задачи Вам необходимо определить увеличиться, или уменьшится расстояние между поршнями в процессе их движения.

*Подсказки.*

Мысленно разбейте пространство между поршнями на малые равные промежутки (можно даже считать, что между ними есть тонкие невесомые перегородки) и следите за отдельными порциями газа  $\Delta x_k$  и все характеристики этих порций определяйте как функции их начальных координат  $x$  (не смотря на то, что реальные координаты перегородок изменяются в процессе движения).



1. Процесс установления равновесия в газе между поршнями можно условно разбить на два этапа:

первый: установление равновесного распределения давления, которое происходит практически мгновенно; можно считать, что на этом этапе изменение объема каждой выделенной порции газа происходит адиабатически, т.е. без теплообмена;

второй: установление теплового равновесия посредством теплообмена между отдельными порциями газа; на этом этапе можно пренебречь работой газа над внешними телами.

1.1 Определите установившееся ускорение поршней  $a$  (когда ускорения каждого из поршней будут равны).

1.2 Определите зависимость давления газа между поршнями от координаты  $x$  (напоминаем – это координаты в начальном положении)  $P(x)$

1.3 Найдите зависимость относительной деформации газа от координаты  $x$  на первом этапе установления равновесия..

*Подсказка:* Пусть начальная толщина выделенной порции газа равна  $\Delta x_k$ , а в процессе движения она стала равной  $\delta x_k$ . Тогда относительной деформацией называется

величина  $\varepsilon = \frac{\delta x_k - \Delta x_k}{\Delta x_k}$ . Считайте все деформации малыми  $\varepsilon \ll 1$

1.4 Найдите изменение расстояния между поршнями  $\Delta l_1$  на первом этапе установления равновесия. Уменьшится или увеличится это расстояние по сравнению с  $l_0$ ?

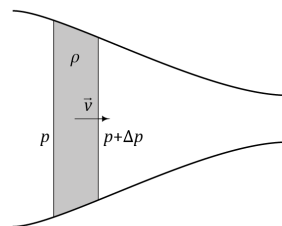
1.5 Найдите распределение температуры газа между поршнями на первом этапе установления равновесия.

1.6 Найдите установившуюся температуру газа между поршнями после установления теплового равновесия.

1.7 Найдите изменение расстояния между поршнями  $\Delta l_2$  после установления теплового равновесия. Уменьшится или увеличится это расстояние по сравнению с  $l_0$ ?

## Часть 2. В сопле переменного сечения.

В реактивном двигателе, газы появляющиеся в результате сгорания топлива проходят через сопло, площадь сечения которого плавно изменяется. Рассмотрим небольшую порцию газа проходящего через сопло. Так как газ проходит через сопло очень быстро, то все процессы, протекающие в нем можно считать адиабатическими.



2.1 Найдите зависимость плотности этой порции газа  $\rho$  от его давления  $p$ , при условии, что на входе в сопло плотность газа равна  $\rho_0$ , а давление  $P_0$ .

2.2 Определите зависимость изменения плотности данной порции газа  $\Delta\rho$  от изменения его давления  $\Delta P$ . Выразите эту зависимость через локальную скорость звука в этом газе, которая определяется по формуле  $c = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}}$

2.3 Определите изменение скорости порции газа  $\Delta v$  при ее малом смещении, если давление при этом изменилось на величину  $\Delta P$ . Выразите эту величину через  $\Delta P$ , плотность газа  $\rho$  и ее скорость  $v$ .

2.4 Выразите изменение скорости порции газа  $\Delta v$  через площадь сечения в данной точке, изменение площади сечения  $\Delta S$ , скорость газа  $v$  и локальную скорость звука  $c$ .

2.5 При прохождении через сопло газ должен разогнаться до скорости, выше локальной скорости звука. Нарисовать качественно форму такого сопла, если в начале скорость  $v_0$  была меньше локальной скорости звука  $c$ . Указать, в какой точке вашего рисунка  $v = c$ .