

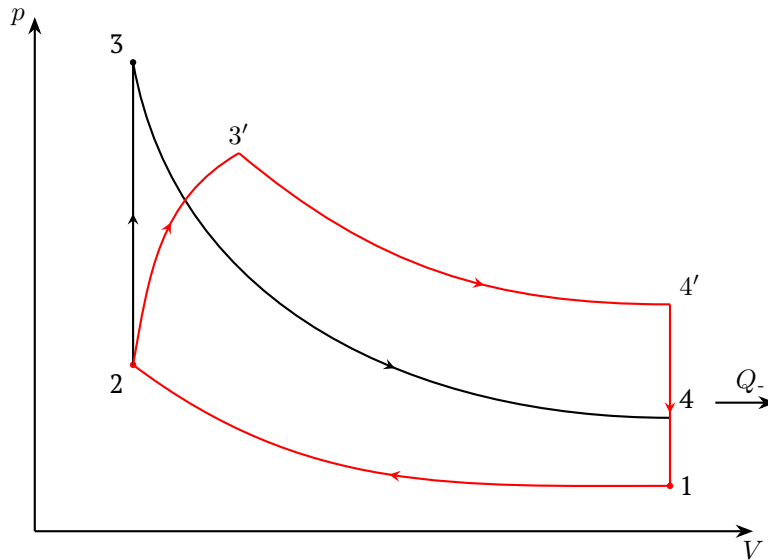
Road to IPhO

Циклы двигателя

Эта задача посвящена исследованию реальных двигателей внутреннего сгорания. Во всей задаче считайте рабочим телом двигателя идеальный газ с показателем адиабаты γ . Все термодинамические процессы считайте квазистатическими.

Часть А. Медленное вращение (3.5 балла)

Цикл Отто – идеальный термодинамический цикл работы поршневого двигателя внутреннего сгорания, предполагающий изохорный подвод теплоты. Назван по имени немецкого конструктора Николауса Отто, построившего в 1876 году первый работоспособный поршневой двигатель внутреннего сгорания, работающий по данному термодинамическому циклу.



Идеальный цикл Отто состоит из четырёх процессов:

- 1–2 адиабатическое сжатие рабочего тела;
- 2–3 изохорное подведение теплоты Q_{in} к рабочему телу за счёт сгорания топлива. На этом участке в камере сгорает топливо двигателя;
- 3–4 адиабатическое расширение рабочего тела;
- 4–1 изохорное охлаждение рабочего тела. При охлаждении от рабочего тела отводится теплота Q_{out} .

Во всей задаче считайте, что количество топлива и продуктов сгорания пренебрежимо мало, по сравнению с количеством воздуха. Поэтому можно считать, что рабочим телом во всем цикле является только идеальный газ с постоянным количеством вещества! В точке с номером i давление, объем и температура обозначаются как p_i , V_i и T_i соответственно. Важной физической характеристикой цикла Отто является **степень сжатия** – отношение максимального и минимального объемов рабочего тела в цикле $n = \frac{V_{max}}{V_{min}}$. На практике эта величина ограничена, ведь при сжатии температура в камере сгорания резко повышается. Превышение некоторой допустимой температуры в камере чревато детонацией.

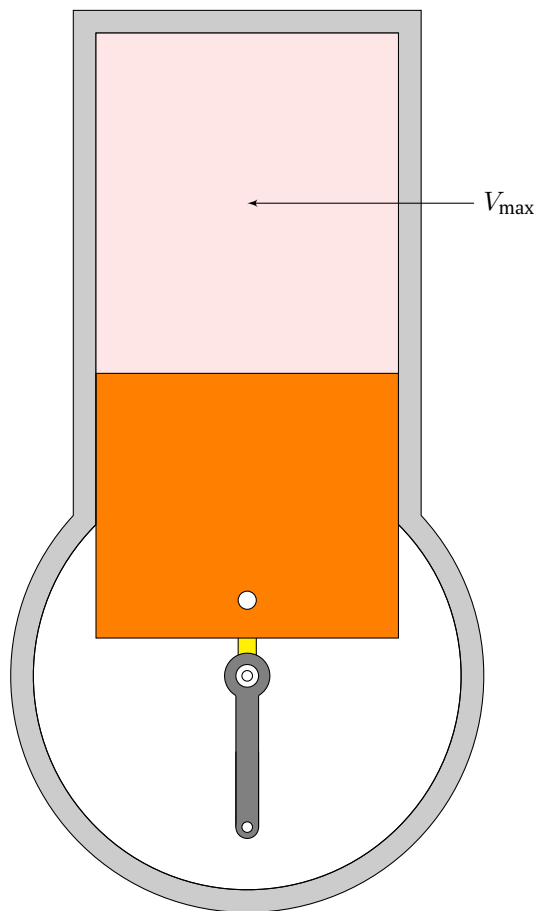
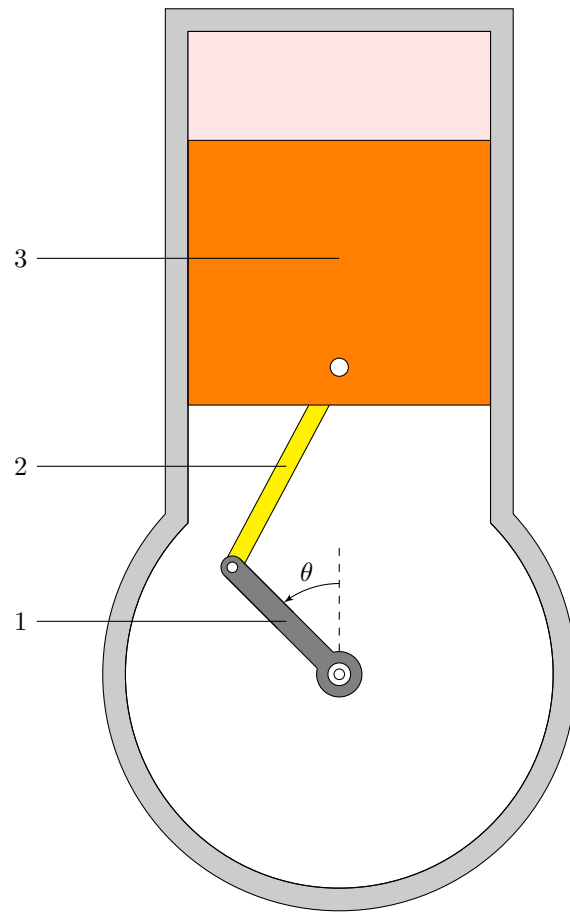
A1 Определите температуру газа T_2 сразу по окончании сжатия. Ответ выразите через T_1 , γ и n . **0.5**

A2 Определите работу A'_{12} , совершенную над газом при адиабатическом сжатии. Ответ выразите через p_2 , V_2 , γ и n . **0.8**

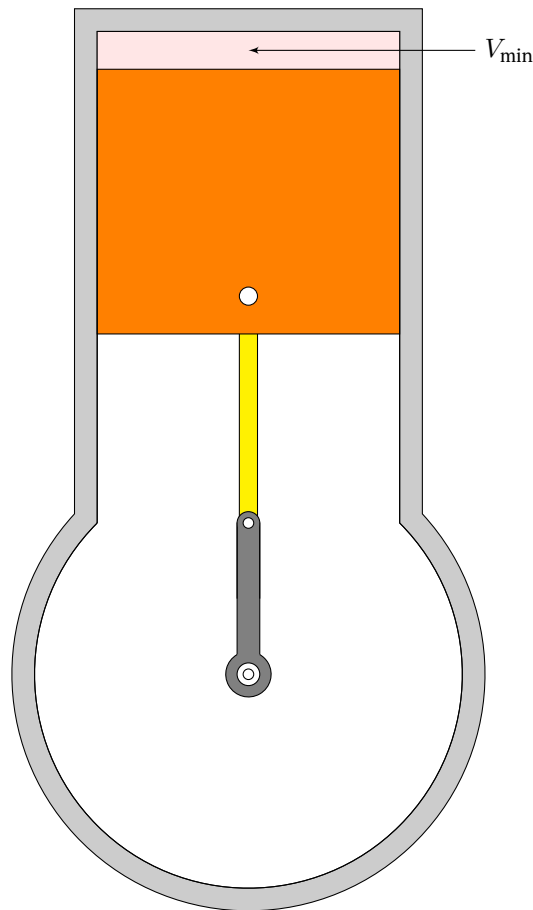
A3 Определите давление газа p_3 сразу после сгорания топлива в камере. Ответ выразите через p_2 , V_2 , γ , n и Q_{in} . **0.7**

A4 Определите КПД η данного цикла. Ответ выразите через γ и n . Рассчитайте численное значение для $\gamma = 1.4$, $n = 9$. **1.5**

Road to IPhO



Road to IPhO



Часть В. Быстрое вращение (6.5 балла)

На самом деле горение топлива занимает конечное время. Это накладывает ограничение на максимальную мощность, которую способен выдать двигатель. Эта часть задачи посвящена исследованию этой максимальной мощности. Ниже приведена модель исследуемого двигателя.

Двухтактный бензиновый двигатель внутреннего сгорания работает по циклу с подводом тепла при постоянном объеме (цикл Отто). Однако в отличие от идеального цикла, сгорание топлива происходит не мгновенно. Параметры двигателя:

- Радиус коленчатого вала: $R = 50$ мм;
- Длина шатуна: $L = 150$ мм;
- Диаметр цилиндра: $D = 80$ мм;
- Минимальный объем рабочего тела в цикле: $V_{\min} = 100$ см³;
- Рабочее тело – двухатомный идеальный газ.

Коленчатый вал (1) вращается с постоянной угловой скоростью. К его концу прикреплен конец шатуна (2). Другой конец шатуна прикреплен к поршню (3). Этот конец шатуна движется только вдоль оси симметрии цилиндра. Закрепленный конец коленчатого вала расположен на этой же оси. Суммарная теплота, выделяющаяся в процессе горения за цикл, равна Q_{in} . К моменту поворота коленчатого вала на угол θ выделяется теплота горения $Q = \xi(\theta)Q_{in}$, где:

$$\xi(\theta) = \begin{cases} 0, & \theta < 0; \\ \theta/\theta_0, & 0^\circ \leq \theta < \theta_0; \\ 1, & \theta \geq \theta_0. \end{cases}$$

На рисунке ниже на одной диаграмме приведено два цикла: первый – идеальный цикл Отто, описанный в части А задачи. Вторым – цикл, учитывающий немгновенность горения топлива, рассматриваемый в этой части задачи. Здесь участок $3'4'$ соответствует адиабатическому процессу, а $4'1$ – изохорному.

Road to IPhO

B5 Пусть подведенное количество теплоты $Q_{\text{in}} = 1.3$ кДж, $p_1 = 10^5$ Па, $\theta_0 = 20^\circ$. Определите численно давление газа в конце подвода тепла p'_3 . Считайте, что процесс горения происходит при $0 \leq \theta \leq \theta_0$, а также $\theta_0 \ll 1$. **0.5**

B6 Определите, какая теплота Q_- отводится от газа в цикле. Ответ выразите через V_{min} , p'_3 , p_1 , R , D , γ , β и $\theta_0 \ll 1$. **1.0**

B7 Определите численно КПД η_{Otto} идеального цикла Отто, описанного в начале части **B**. **0.5**

B8 Определите численно КПД η' рассмотренного цикла. Рассчитайте разность $\Delta\eta = \eta_{\text{Otto}} - \eta'$ КПД идеального цикла Отто и реального цикла, рассмотренных в части **B**. **0.9**