

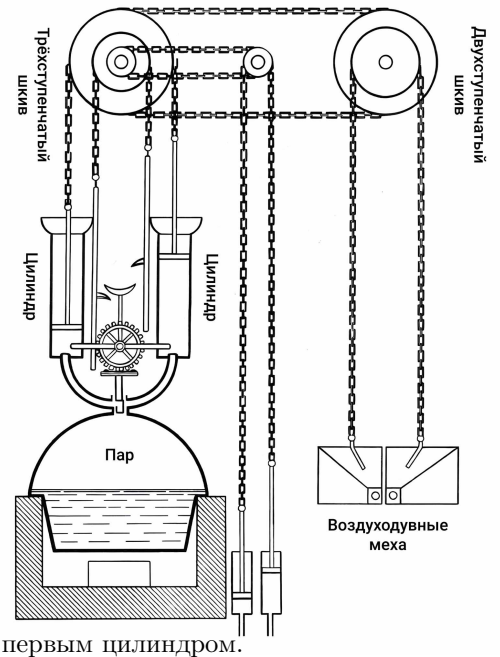
Максимальное количество баллов за олимпиаду — 30

**Задание 1. Вариант 1.** Тепловая машина Ползунова (одна из первых тепловых машин) состоит из двух вертикальных цилиндров, в которых могут перемещаться массивные поршни, нагревателя, генерирующего водяной пар, резервуара с холодной водой, клапанов и системы приводов.

Работает машина следующим образом.

**Первый такт.** В начале такта поршень в одном из цилиндров находится почти у самого дна. Под поршень подают водяной пар при температуре  $t_{\text{п}} = 106 \text{ }^\circ\text{C}$ . При этом поршень медленно поднимается, не совершая никакой полезной работы (цепь не натянута). Подача пара прекращается в тот момент, когда поршень оказывается у верхнего края цилиндра.

**Второй такт.** В цилиндр впрыскивается холодная вода. Пар в цилиндре быстро охлаждается и практически полностью конденсируется. Возникает внешняя сила, которая с постоянной скоростью опускает поршень в исходное положение. В самом конце такта в дне цилиндра открывается отверстие для слива воды. При помощи системы ступенчатых блоков и цепей, которые не проскальзывают по блокам, эта сила может совершать полезную работу, например, качать воздуходувные меха для плавильной печи.



Во втором цилиндре происходят те же процессы, только в противофазе с первым цилиндром.

а) Чему равно давление водяного пара под поршнем в конце первого такта?

Атмосферное давление  $P_0 = 100 \text{ кПа}$ , площадь поперечного сечения поршня  $S = 0.18 \text{ м}^2$ , а масса поршня вместе со штоком  $m = 2.6 \text{ кг}$ . Считайте, что в верхнем положении поршень достигал состояния равновесия, присоединённая к нему цепь не была натянута. Примите  $g = 10 \text{ м/с}^2$ . Ответ выразите в килопаскалях, округлите до сотых.

б) Какую массу водяного пара нужно закачать под поршень в первом такте для поднятия поршня к верхнему краю цилиндра?

Высота поднятия поршня  $h = 3.5 \text{ м}$ , молярная масса водяного пара  $\mu = 18 \text{ г/моль}$ . Считайте, что температура пара в цилиндре равна температуре подаваемого пара. Примите  $R = 8.31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ . Ответ выразите в граммах, округлите до целых.

в) Во втором такте можно считать, что конденсация пара происходит очень быстро. Это значит, что за время конденсации поршень не успевает сместиться из положения равновесия, а также можно пренебречь теплообменом с окружающей средой. Какую минимальную массу холодной воды, взятой при температуре  $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ , необходимо впрыснуть под поршень, чтобы весь водяной пар полностью сконденсировался?

Считайте, что к окончанию процесса конденсации в цилиндре под поршнем практически вся вода оказывается в жидком состоянии при температуре  $t_{\text{к}} = 96 \text{ }^\circ\text{C}$ . Теплообменом с окружающей средой и теплоёмкостями цилиндра и поршня пренебречь. Удельная теплота парообразования воды  $L = 2.3 \text{ МДж/кг}$ , удельная теплоёмкость воды  $c = 4200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$ . Ответ выразите в килограммах, округлите до сотых.

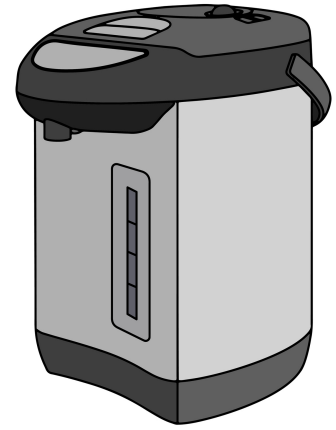
г) Какую полезную работу совершит сила давления на поршень за второй такт? Ответ выразите в килоджоулях, округлите до десятых.

д) На сколько поднимется подвижная часть воздуходувных мехов при опускании поршня, если радиусы двухступенчатого шкива отличаются в  $n = 2.0$  раза? Большие радиусы трёхступенчатого и двухступенчатого шкивов равны. Ответ выразите в метрах, округлите до сотых.

Матрица параметров к вариантам задания 1.

№ варианта	$t_{\text{п}}, \text{ }^\circ\text{C}$	$P_0, \text{ кПа}$	$S, \text{ м}^2$	$m, \text{ кг}$	$h, \text{ м}$	$n$
1	106	100	0.18	2.6	3.5	2.0
2	105	106	0.15	2.0	3.4	2.1
3	104	106.5	0.16	2.1	3.3	2.2
4	103	107	0.17	2.4	3.2	2.3

**Задание 2. Вариант 1.** Термопот — это бытовой электроприбор, объединяющий функции чайника и термоса (чайник-термос). Он кипятит воду и длительное время поддерживает её заданную температуру. Термопот хорошо держит тепло за счёт качественной теплоизоляции его стенок и дна, поэтому можно считать, что потери тепла идут только через крышку термопота. Для поддержания температуры воды в термопote периодически включается электрический нагреватель. Алгоритм работы нагревателя следующий: при остывании воды до температуры на 2 градуса ниже заданной нагреватель включается, нагревает воду до заданной температуры и отключается. Этот процесс периодически повторяется. Можно считать, что вода внутри термопота хорошо перемешивается и её температура во всех точках одинакова.



Если термопот заполнен водой полностью, настроен на поддержание температуры  $91\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а температура окружающего воздуха равна  $t_1 = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то подобный цикл повторяется раз в 21 минуту, из которых 3 минуты нагреватель работает, а оставшееся время выключен. Полная вместимость устройства  $V_0 = 4\text{ л}$ , а площадь внутреннего сечения термопота  $S = 66\text{ см}^2$ .

Известно, что мощность тепловых потерь определяется выражением  $P = \alpha S \Delta T$ , где  $\alpha$  — коэффициент теплопроводности материала, через который тепло уходит в окружающую среду,  $S$  — площадь, через которую происходят потери тепла,  $\Delta T$  — разность температур воды и окружающей среды. Плотность воды  $\rho = 1000\text{ кг/м}^3$ , её удельная теплоёмкость  $c = 4200\text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$ .

а) Температура окружающего воздуха стала равна  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Как при этом изменилась периодичность включения нагревателя?

- Нагреватель стал включаться чаще
- Нагреватель стал включаться реже
- Периодичность включения нагревателя не изменилась
- Недостаточно данных

б) Температура окружающего воздуха стала равна  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Как при этом изменилась продолжительность работы нагревателя (время, в течение которого вода греется) за один цикл и почему?

- Нагреватель стал работать дольше, так как за время, пока нагреватель не работал, вода стала охлаждаться сильнее
- Нагреватель стал работать меньше, так как за время, пока нагреватель не работал, вода стала охлаждаться меньше
- Нагреватель стал работать дольше, так как за время, пока он работает, вода успевает отдавать больше тепла
- Нагреватель стал работать меньше, так как за время, пока он работает, вода успевает отдавать меньше тепла
- Продолжительность работы нагревателя не изменилась, так как за один цикл вода остывает на то же количество градусов и мощность нагревателя также не изменилась
- Недостаточно данных

в) Из термопота перелили в цилиндрический стакан  $V_1 = 450\text{ мл}$  воды. Через какие промежутки времени теперь будет повторяться цикл нагрева оставшейся воды в термопote?

В этом и последующих вопросах считайте, что температура окружающего воздуха  $t_1 = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ответ выразите в минутах, округлите до десятых.

г) За какое время вода в стакане из предыдущего вопроса остынет с  $91\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $89\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

Радиус стакана  $r = 5\text{ см}$ . Стакан заполнен до краёв и закрыт крышкой. Стакан и крышка сделаны из материала, коэффициент теплопроводности которого в 2 раза больше по сравнению с материалом крышки термопота. Потерями тепла через дно стакана пренебречь. Примите  $\pi = 3.14$ . Ответ выразите в секундах, округлите до целых.

д) Термопот вновь заполнен водой полностью, но переведён в режим поддержания температуры  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  и находится в таком режиме уже длительное время. Во сколько раз уменьшилась средняя потребляемая термопотом энергия при поддержании постоянной температуры воды по сравнению с ситуацией, описанной в условии задачи? Ответ округлите до сотых.

е) Аналоги современных термодатчиков существовали давно. Включение и выключение нагрева в подобных устройствах осуществлялось механическим способом с помощью датчика с биметаллической пластиной. В основе работы данного датчика лежит тепловое расширение твёрдых материалов. Разные материалы имеют разный коэффициент теплового расширения, в результате при одинаковом нагреве и начальной длине удлинение у разных материалов оказывалось разным:  $\Delta l = l_0 \cdot \beta \Delta T$ , где  $l_0$  — начальная длина материала,  $\beta$  — коэффициент теплового расширения,  $\Delta T$  — изменение температуры материала. В датчике с биметаллической пластиной концы двух пластин соединялись друг с другом небольшими проставками. При нагреве такая сборка пластин изгибалась и размыкала выключатель, а при остывании обратно распрямлялась и замыкала выключатель. Коэффициент линейного расширения железа  $\beta_{\text{ж}} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , меди —  $\beta_{\text{м}} = 17 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

### Датчик с биметаллической пластиной

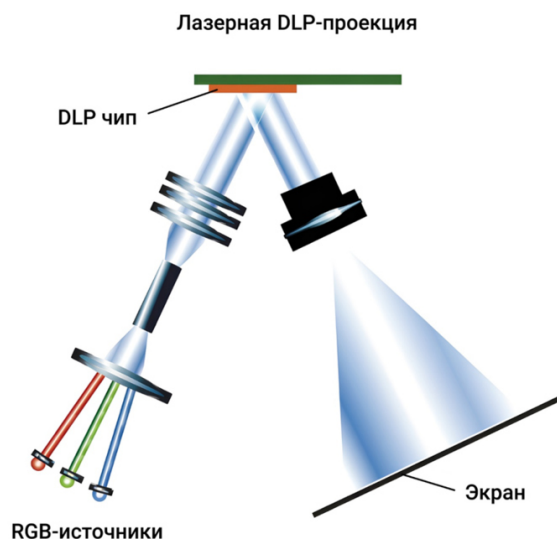
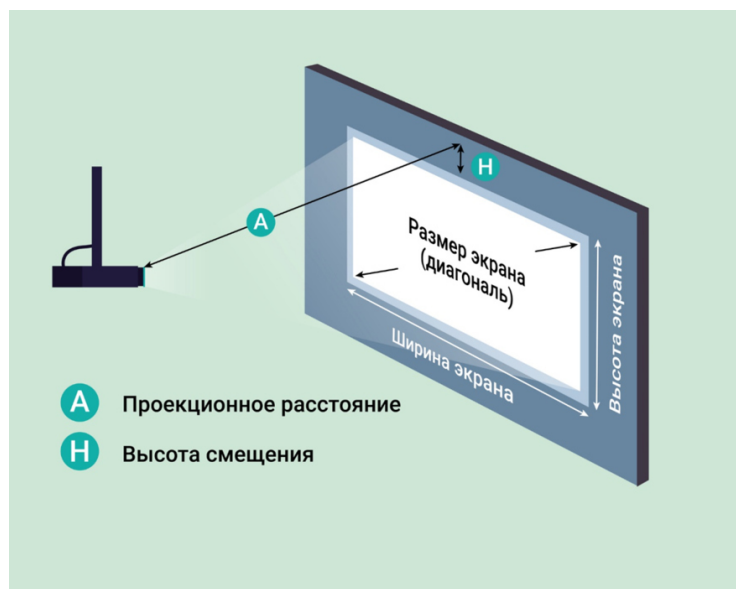


Определите радиус кривизны пластин при температуре  $89^\circ\text{C}$ . Высота проставки  $h = 2$  мм, длина пластин при  $0^\circ\text{C}$  равна 3 см. Считайте, что обе пластины принимают форму дуг окружности с общим центром кривизны. Ответ выразите в сантиметрах, округлите до целых.

**Задание 3. Вариант 1.** Мастер Шпунтик решил сделать домашний кинотеатр. Он купил проектор и внимательно прочитал инструкцию к нему. Оказалось, что оптимальное расположение проектора относительно экрана зависит от оптических характеристик объектива. При этом выделяют следующие основные характеристики проектора:

1. Проекционное расстояние — это расстояние ( $A$ ) от экрана до проектора.
2. Проекционное соотношение — это отношение проекционного расстояния ( $A$ ) к ширине экрана.
3. Сдвиг объектива — это параметр, характеризующий смещение объектива проектора по вертикали относительно верхнего края изображения.

$$\text{Сдвиг объектива} = \frac{\text{Высота экрана} + \text{Высота сдвига (H)}}{\text{Высота экрана}}.$$



У проектора Шпунтика проекционное соотношение составляет 1.4, а сдвиг объектива — 110 %. Внутреннее устройство проектора Шпунтику тоже было известно. Мощная лампа освещает матрицу из крошечных квадратных зеркал. По ширине матрица содержит 1920 зеркал, а по высоте — 1080. Размер самой матрицы — всего 1.65 см по диагонали. Каждое зеркало может поворачиваться так, что свет от него идёт либо в объектив, либо в световую ловушку, где поглощается. Получается, что на матрице можно выставить рисунок из зеркал, который через объектив проецируется на экран. Объектив считайте тонкой линзой.

- а) Чему равно отношение ширины матрицы к её высоте? Ответ округлите до сотых.
- б) Шпунтик хочет получить изображение шириной 120 см. Чему будет равна высота изображения? Ответ выразите в сантиметрах, округлите до целых.
- в) Шпунтик хочет получить изображение шириной 120 см. На каком оптимальном расстоянии от стены нужно расположить проектор? Ответ выразите в сантиметрах, округлите до целых.
- г) Какое увеличение даёт проектор в этом случае? Ответ округлите до целых.
- д) Чему равно фокусное расстояние линзы объектива? Ответ выразите в сантиметрах, округлите до сотых.
- е) Шпунтику изображение показалось маленьким, и он решил увеличить его ширину до 320 см. Отодвинув проектор от стены на нужное расстояние, он понял, что изображение стало слишком тусклым. Во сколько раз нужно увеличить мощность лампы, чтобы яркость изображений в первом и втором случаях была одинакова? Ответ округлите до десятых.

## Матрица параметров к вариантам задания 3.

№ варианта	1	2	3	4
Проек-ое отношение	1.4	1.3	1.4	1.5
Число зеркал по ширине	1920	1920	1280	960
Число зеркал по высоте	1080	1080	720	540
d, см	1.65	1.19	0.84	0.84
Ширина изоб-я, см (пункт б-в)	120	130	140	150
Ширина изоб-я, см (пункт е)	320	330	340	350