

Двигатель Стирлинга с measureLAB



Физика

Термодинамика

Температура и теплопроводимость

Прикладные науки

Инженерные
специальностиВозобновляемые источники
энергии

Теплота



Уровень сложности



Кол-во учеников



Время подготовки



Время выполнения

тяжелый

2

10 Минут

20 Минут

Этот контент также можно найти в Интернете по адресу:



<https://www.curriculab.de/c/616b1ba9bf955f0003ac7c41>



Общая информация

Описание



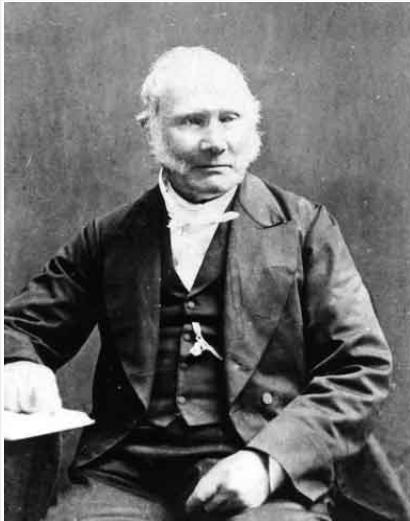
Двигатель Стирлинга

Прозрачный двигатель Стирлинга сочетает в себе следующие характеристики:

- Полностью прозрачный - все важные детали видны
- Измерение всех экспериментальных данных через модуль USB SmartSense
- совместимость с measureLAB
- Большое прозрачное маховое колесо.
- Цилиндр и вытесняющий поршень изготовлены из термостойкого стекла.
- Вытесняющий поршень с 2 измерительными патрубками для измерения температуры

Описание

PHYWE



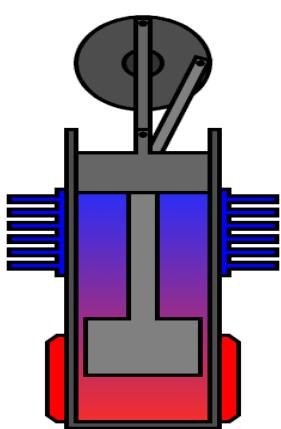
Доктор Роберт

Двигатель Стирлинга - это тепловой двигатель, который приводится в действие за счет циклического сжатия и расширения воздуха при различных температурах, так что происходит чистое преобразование тепловой энергии в механическую работу. В частности, двигатель Стирлинга представляет собой регенеративный тепловой двигатель замкнутого цикла с газообразной рабочей жидкостью.

Двигатель Стирлинга был первоначально разработан доктором Робертом Стирлингом (1790 - 1878).

Описание

PHYWE



Принцип работы двигателя Стерлинга

Двигатель Стирлинга PHYWE имеет только один цилиндр, горячий на одном конце и холодный на другом. Буйковый уровень с неплотной посадкой направляет воздух между горячим и холодным концом цилиндра. Силовой поршень на открытом конце цилиндра приводит в движение маховик.

Дополнительная информация (1/3)



Предварительные знания



Принцип



Цикл состоит из четырех термодинамических процессов / круг Карно

- Изотермический подвод тепла (расширение).
- Изохорный отвод тепла (постоянный объем).
- Изотермический отвод тепла (сжатие).
- Изохорный нагрев (постоянный объем).

Если цикл Стирлинга имеет перпендикулярные линии, в реальных приложениях, этот цикл является квазиэллиптическим.

Дополнительная информация (2/3)



Цель обучения



Получаем понятие о

- Первый и второй закон термодинамики
- Обратимые циклы
- Изохорные и изотермические изменения
- Газовые законы
- КПД
- Преобразование тепла
- Тепловой насос
- Цикл Карно

Дополнительная информация (3/3)



Принцип



На двигатель Стирлинга подается нагрузка с помощью торсиометра. Наблюдаются изменения частоты вращения и температуры двигателя Стирлинга. Эффективная механическая энергия и мощность, а также эффективная электрическая мощность оцениваются в зависимости от частоты вращения. Количество энергии, преобразованной в работу за цикл, можно определить с помощью pV -диаграммы.

Можно вычислить КПД двигателя Стирлинга

Инструкции по технике безопасности



◦ Этанол / Денатурированный спирт

Для этого эксперимента применяются общие инструкции по технике безопасности для проведения экспериментов естественных наук.

Правила работы с опасными веществами приведены в соответствующих паспортах безопасности

H225: Сильно воспламеняющаяся жидкость и пар.

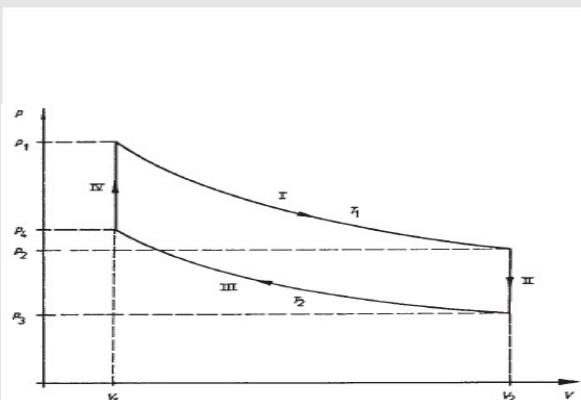
H318: Вызывает серьезные повреждения глаз.

P210: Хранить вдали от тепла, горячих поверхностей, искр, открытого огня и других источников воспламенения. Не курить

Теория (1/6)

В 1816 году Роберт Стирлинг получил патент на двигатель горячего воздуха, который сегодня известен как двигатель Стирлинга. В наше время двигатель Стирлинга используется для изучения принципа работы тепловых двигателей, поскольку в этом случае процесс преобразования тепловой энергии в механическую особенно нагляден и относительно прост для понимания. В настоящее время двигатель Стирлинга переживает новый этап дальнейшего развития благодаря своим многочисленным преимуществам. Так, например, она представляет собой закрытую систему, работает очень плавно, и может работать с различными источниками тепла, что позволяет учитывать и экологические аспекты.

Теоретически, в каждом цикле работы двигателя



pV -диаграмма для идеального процесса Стирлинга

Теория (2/6)

I) Изотермическое расширение рабочего тела, когда подводится тепло и выполняется работа:
 $V_1 \rightarrow V_2; p_1 \rightarrow p_2; T_1 = \text{const.}$

II) Изохорный отвод тепла от рабочего тела к регенератору (охлаждение газа):
 $T_1 \rightarrow T_2; p_2 \rightarrow p_3; V_2 = \text{const.}$

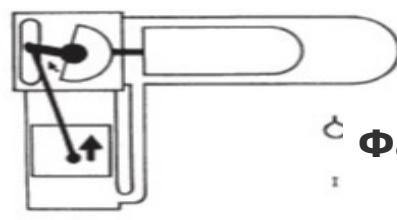
III) Изотермическое сжатие рабочего тела, когда выделяется тепло и выполняется работа:
 $V_2 \rightarrow V_1; p_3 \rightarrow p_4; T_2 = \text{const.}$

IV) Изохорный нагрев рабочего тела при подводе тепла к системе: $T_2 \rightarrow T_1; p_4 \rightarrow p_1; V_1 = \text{const}$

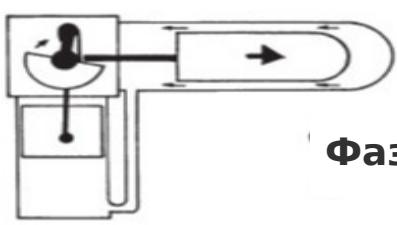
Согласно первому закону термодинамики, когда тепловая энергия подводится к изолированной системе, ее количество равно сумме увеличения внутренней энергии системы и механической работы, совершаемой последней:

$$dQ = dU + pdV$$

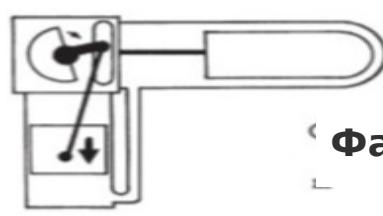
Теория (3/6)



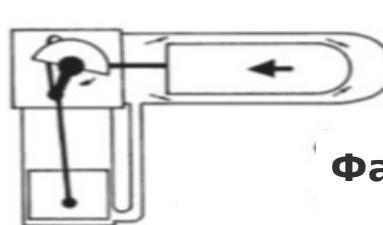
Фаза I



Фаза II



Фаза III



Фаза IV

Принцип работы двигателя Стирлинга, фазы(этапы) I, II, III, IV

Теория (4/6)

Таким образом, во время фазы IV количество тепловой энергии, высвобождаемой во время фазы II, регенерируется. Это означает, что внутри двигателя происходит только обмен тепловой энергией. Механические работы выполняются на этапах I и III. В связи с тем, что внутренняя энергия не изменяется во время изотермических процессов, работа, выполняемая во время этих фаз, соответственно равна поглощенной или выделенной тепловой энергии.

Поскольку

$$p \cdot V = u \cdot R \cdot T$$

Работа, выполненная на этапе I, составляет:

$$W_1 = -n \cdot R \cdot T_1 \cdot \ln(V_2/V_1)$$

(отрицательная, так как это количество теплоты подводится).

Следовательно, работа, выполняемая на этапе III, составляет:

$$W_3 = +\nu \cdot R \cdot T_2 \cdot \ln(V_2/V_1)$$

$|W_1| > W_3$, так как $T_1 > T_2$

Теория (5/6)

Таким образом, полная работа определяется суммой W_1 и W_3 . Это равно площади диаграммы pV .

$$W_t = W_1 + W_3$$

$$W_1 = -\nu \cdot R \cdot (T_1 - T_2) \cdot \ln(V_2/V_1)$$

Максимальный тепловой КПД обратимого процесса в тепловом двигателе равен отношению всей суммарной работы W_1 к количеству подводимой тепловой энергии $Q_1 = -W_1$

$$\eta_{th} = W_t/W_1$$

$$\eta_{th} = \frac{u \cdot R \cdot (T_1 - T_2) \cdot \ln(V_2/V_1)}{u \cdot R \cdot T_1 \cdot \ln(V_2/V_1)}$$

.

$$\eta_{th} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Лишь часть этой полной эффективной энергии W_t используется в качестве эффективной работы W_m через внешние нагрузки, приложенные к двигателю. Остальное - это потери двигателя Стирлинга.

Теория (6/6)

Коэффициент полезного действия (КПД)

Только часть этой полной эффективной энергии W_t используется в качестве эффективной работы W_m через внешние нагрузки, приложенные к двигателю.

Остальное - это потери двигателя Стирлинга.

$$\eta_{th} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Карно установил, что это максимальный тепловой КПД для любого теплового двигателя, который может быть достигнут только теоретически. Видно, что КПД увеличивается с увеличением разности температур.

Оборудование

Позиция	Материал	Пункт №.	Количество
1	Двигатель Стирлинга, прозрачн.	04372-00	1
2	Блок двигатель/ генератор	04372-01	1
3	Торсиометр	04372-02	1
4	Камин для двигателя Стирлинга	04372-04	1
5	Дигитальный модуль для двигателя Стирлинга.	04372-10	1
6	Программное обеспечение "measureLAB"	14580-61	1
7	Реостат, 330 Ом , 160 W	06116-03	1
8	Соединительный проводник, 500 мм, красный	07361-01	2
9	Соединительный проводник, 500 мм, синий	07361-04	3
10	Мерный цилиндр, 50 мл, прозрачный, PP	36628-01	1
11	Денатурат, 1000 мл	31150-70	1
12	Лампа накаливания 4 В/ 0,08 А, Е 10	06154-00	5



Подготовка и выполнение работы

Задачи

PHYWE

Задачи



- Настройка экспериментальной установки
- Расчет общей энергии, производимой двигателем Стерлинга
- Оценка механической работы за один полный цикл и расчет механической мощности в зависимости от частоты вращения
- Определение КПД горелки
- Оценка выходной электрической мощности в зависимости от частоты вращения.
- Оценка КПД двигателя.

Подготовка (1/2)



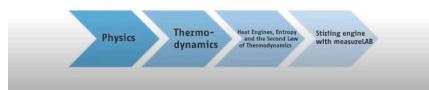
Видео по настройке экспериментальной установки

Вы можете легко выполнить настройку, следуя прилагаемому видео либо открыть видео по этой ссылке

www.youtube.com/watch?v=MudsMYRniKE&t=1s

Видео 1 нажмите

The Stirling Engine
How to use the new digital data logging module for the usage with measureLAB



**Двигатель Стирлинга:
Как смонтировать модуль
регистрации данных для
использования с**

Видео 2 нажмите

The Stirling Engine

Возможности с measureLAB



**Двигатель Стирлинга:
Возможности с measureLAB**

Видео 3 нажмите

The Stirling Engine

Маркетинг



**Двигатель Стирлинга:
Общий обзор**

Подготовка (2/2)



Пожалуйста, подпишитесь также на канал PHYWE на YouTube

Вы никогда не пропустите в будущем новую информацию для соответствующих целей

[чтобы подписаться, просто
нажмите здесь](#)



PHYWE



The future is digital –



so is education

PHYWE
excellence in science



PHYWE Systeme GmbH & Co. KG

2.02K subscribers

Выполнение работы

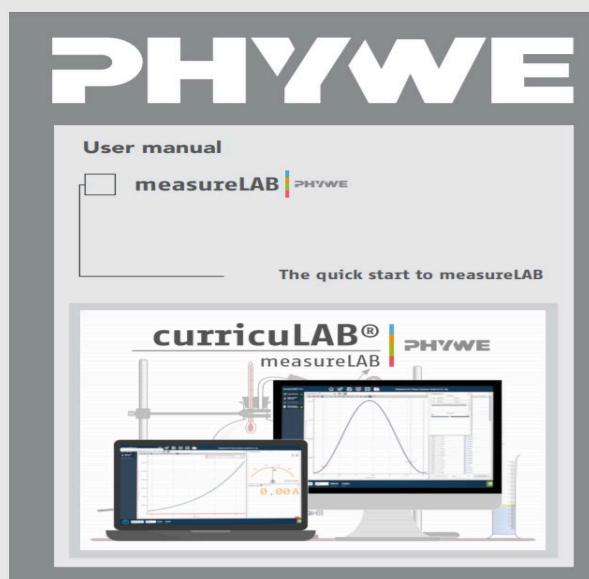
PHYWE

Представление и pV -диаграмма

- Подключите модуль к ПК через USB, а затем запустите measureLAB.
- Выберите "Быстрый старт", затем используйте режим P-V.
- Частота должна быть установлена на 2 кГц
- Настройки кривой: Ширина линии: 6 точек символа
- Поместите зажженную горелку под стеклянный цилиндр и наблюдайте за температурой на дисплее.
- Не забывайте о стеклянной посуде.
- Когда разность температур достигнет примерно 80 K, слегка подтолкните маховик по часовой стрелке, чтобы запустить двигатель.

Руководство

PHYWE



Использование measureLAB

- Использование программного обеспечения подробно описано в "Руководстве пользователя".
- Вы найдете это руководство, нажав следующую кнопку в программе measureLAB



Оценка (1/3)

Спиртовая горелка, регулируемая 32154-
20

Оценка тепловой мощности горелки (см. фото) приведена ниже.

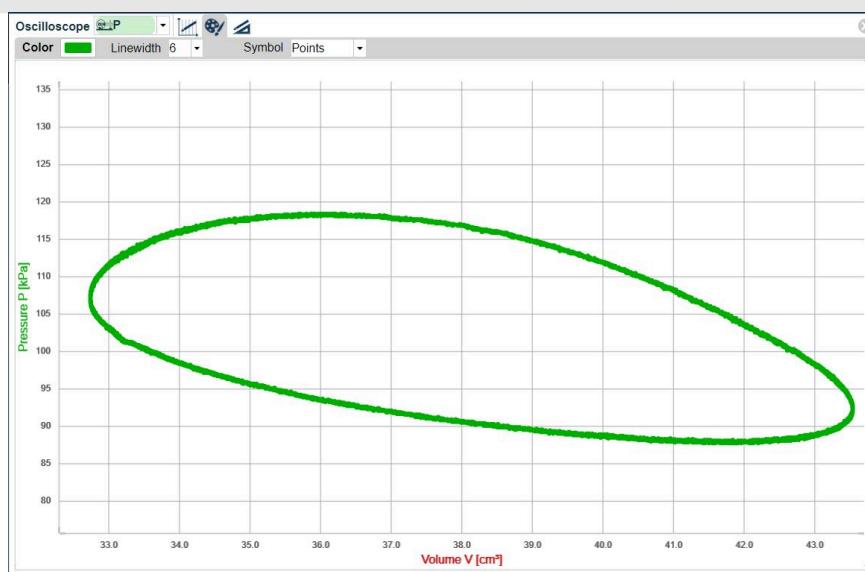
Объем сожженного спирта $\Delta V = 29\text{мл}$

Плотность спирта $\rho = 0.83\text{г/мл}$

Это позволяет определить массу спирта, сжигаемого за секунду:

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = 6.69 \cdot 10^{-3}\text{г/с},$$

а также тепловую мощность горелки: $P_H = 167\text{ Вт.}$

Оценка (2/3) -Типичная pV-диаграмма двигателя

Оценка (3/3) - Типичная кривая рV двигателя

PHYWE

После записи рV-диаграммы Вы можете после нажатия кнопки «Инструменты и анализ» определить с помощью функции «Интегрирование» значение интеграла.

С помощью этого инструмента Вы можете определить площадь поверхности кривой, необходимую для определения КПД двигателя.

Integrate

Calculated integral

243.744

Calculate

Альтернативная установка

PHYWE

Альтернативная экспериментальная установка

С внешним источником питания (например, источник питания PHYWE, 230 В, 13506-93), обеспечивающим постоянный ток: 0...12 В, 2 А, Вы можете инвертировать цикл Карно, подавая на прибор напряжение 5-10 В и постоянный ток 1,5 А согласно представленной фотографии.

Обратите внимание, что источник питания не входит в

