

Двигун Стірлінга з measureLAB



Physics

Thermodynamics

Temperature & Heat

Applied Science

Engineering

Renewable Energy

Heat



Рівень складності

важко



Розмір групи

2



Час підготовки

10 хвилини



Час виконання

20 хвилини

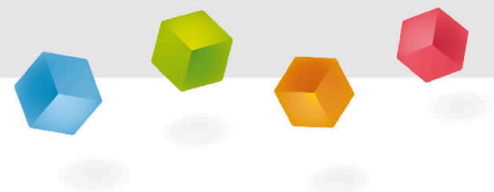
Цей вміст також можна знайти в Інтернеті за адресою:



<https://www.curriculab.de/c/64e0fc10e859cf00029ca856>

PHYWE

Загальна інформація



Опис

PHYWE

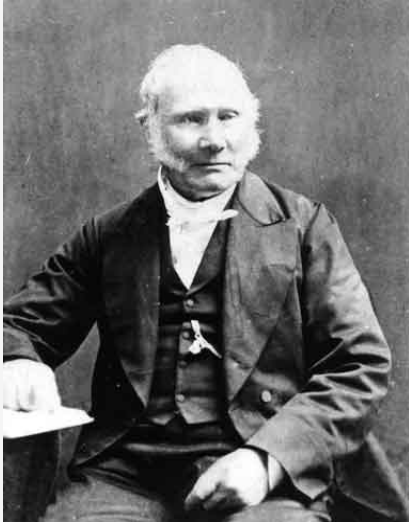


Двигун Стірлінга

Прозорий двигун Стірлінга поєднує в собі такі характеристики:

- Повністю прозорий - видно всі важливі частини
- Вимірювання всіх експериментальних даних через модуль USB SmartSense
- Сумісність із measureLAB
- Велике прозоре махове колесо.
- Циліндр і поршень, що витісняє, виготовлені з термостійкого скла.
- Витісняючий поршень з 2 вимірювальними елементами для вимірювання температури.

Опис

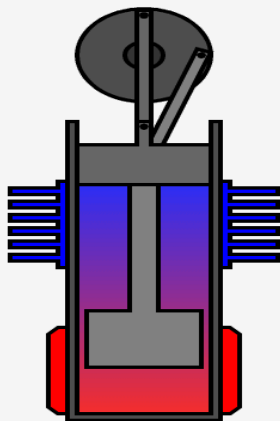


Доктор Роберт

Двигун Стірлінга - це тепловий двигун, який працює за рахунок циклічного стиснення і розширення повітря при різних температурах, таким чином відбувається чисте перетворення теплової енергії в механічну роботу. Більш конкретно, двигун Стірлінга - це рекуперативний тепловий двигун із замкнутим циклом з постійно газоподібним робочим тілом.

Двигун Стірлінга був спочатку розроблений доктором Робертом Стірлінгом (1790 - 1878).

Опис



Двигун Стірлінга PHYWE має тільки один циліндр, гарячий на одному кінці і холодний на іншому. Витіснювач, що нещільно прилягає, шунтує повітря між гарячим і холодним кінцями циліндра. Силовий поршень на відкритому кінці циліндра приводить у рух маховик.

Принцип роботи двигуна Стірлінга

Додаткова інформація (1/3)

PHYWE

Попередні

знання



Принцип



Цикл складається з чотирьох термодинамічних процесів/ коло Карно

- Ізотермічне додавання теплоти (розширення).
- Ізохорне відведення теплоти (постійний об'єм).
- Ізотермічне відведення теплоти (стиснення).
- Ізохорне додавання теплоти (постійний об'єм).

Якщо цикл Стірлінга має перпендикулярні лінії, в реальних додатках, цей цикл є квазіеліптичним.

Додаткова інформація (2/3)

PHYWE

Мета навчання



Учні мають дізнатися поняття про ...

- Перший і другий закон термодинаміки
- Оборотні цикли
- Ізохорні та ізотермічні перетворення
- Газові закони
- ККД
- Перетворення теплоти
- Тепловий насос
- Цикл Карно

Додаткова інформація (3/3)

PHYWE

Принцип



На двигун Стірлінга подається навантаження за допомогою торсіометра (регульованого вимірювача крутного моменту або з'єднаного генератора). Спостерігаються зміни частоти обертання і температури двигуна Стірлінга. Ефективна механічна енергія і потужність, а також ефективна електрична потужність оцінюються залежно від частоти обертання. Кількість енергії, перетвореної в роботу за цикл, можна визначити за допомогою pV -діаграми.

Можна обчислити ККД двигуна Стірлінга

Інструкції з техніки безпеки

PHYWE



Етанол / Денатурований спирт

До цього експерименту застосовуються загальні інструкції щодо безпечного проведення експериментів з природничих наук

Правила роботи з небезпечними речовинами наведено у відповідних паспортах безпеки

H225: Сильно займиста рідина і пара.

H318: Викликає серйозні пошкодження очей.

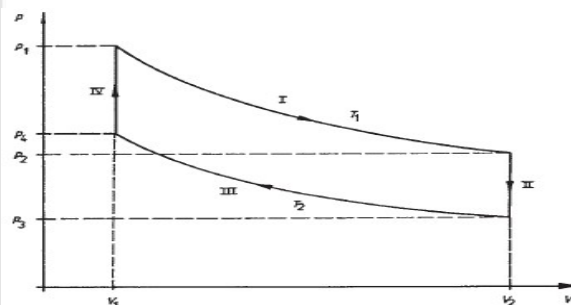
P210: Зберігати подалі від тепла, гарячих поверхонь, іскор, відкритого вогню та інших джерел займання. Не палити

Теорія (1/6)

PHYWE

У 1816 році Роберт Стірлінг отримав патент на двигун гарячого повітря, який сьогодні відомий як двигун Стірлінга. У наш час двигун Стірлінга використовується для вивчення принципу роботи теплових двигунів, оскільки в цьому разі процес перетворення теплової енергії на механічну особливо наочний та відносно простий для розуміння. Наразі двигун Стірлінга переживає новий етап подальшого розвитку завдяки своїм численним перевагам. Так, наприклад, він є закритою системою, працює дуже плавно, та може працювати з різними джерелами тепла, що дає змогу враховувати й екологічні аспекти.

Теоретично, у кожному циклі роботи двигуна є чотири фази (етапи).



pV -діаграма для ідеального процесу Стірлінга

Теорія (2/6)

PHYWE

I) Ізотермічне розширення робочого тіла, коли підводиться тепло і виконується робота:
 $V_1 \rightarrow V_2; p_1 \rightarrow p_2; T_1 = \text{const.}$

II) Ізохорне відведення тепла від робочого тіла до регенератора (охолодження газу):
 $T_1 \rightarrow T_2; p_2 \rightarrow p_3; V_2 = \text{const.}$

III) Ізотермічне стиснення робочого тіла, коли виділяється тепло і виконується робота:
 $V_2 \rightarrow V_1; p_3 \rightarrow p_4; T_2 = \text{const.}$

IV) Ізохорне нагрівання робочого тіла при підведенні тепла до системи: $T_2 \rightarrow T_1; p_4 \rightarrow p_1; V_1 = \text{const.}$

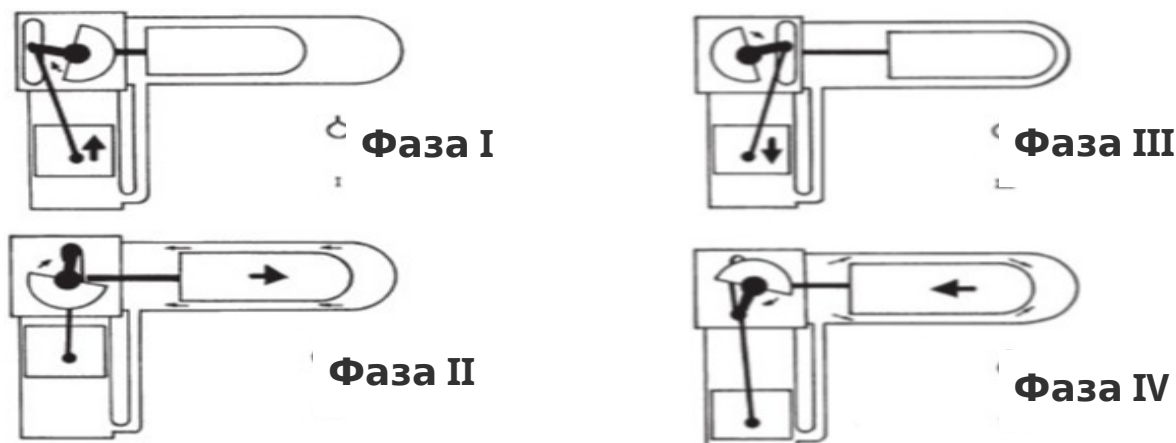
Згідно з першим законом термодинаміки, коли теплову енергію підводять до ізолюваної системи, її кількість дорівнює сумі внутрішньої енергії системи та механічної роботи, яку вона виконує:

$$dQ = dU + pdV$$

Для циклу Стірлінга важливо, щоб теплова енергія, отримана під час фази ізохорного охолодження,

Теорія (3/6)

PHYWE



Принцип роботи двигуна Стірлінга, фази (етапи) I, II, III, IV

Теорія (4/6)

PHYWE

Таким чином, під час фази IV кількість теплової енергії, вивільненої під час фази II, регенеративно поглинається. Це означає, що в двигуні відбувається лише обмін тепловою енергією. Механічна робота лише виконується під час фаз I і III. Через те, що внутрішня енергія не змінюється під час ізотермічних процесів, робота, виконана під час цих фаз, відповідно дорівнює поглинутій або вивільненій тепловій енергії.

Оскільки

$$p \cdot V = \nu \cdot R \cdot T,$$

де ν — число молей, що містяться в системі і

Робота, виконана на етапі I, становить:

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

(від'ємна, тому що це кількість теплоти, що підводиться).

Отже, робота, що виконується на етапі III, становить:

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

$$|W_1| > W_3 \text{ оскільки } T_1 > T_2$$

Теорія (5/6)

PHYWE

Таким чином, повна робота визначається сумою W_1 и W_3 . Це дорівнює площі діаграми pV .

$$W_t = W_1 + W_3$$

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

Лише частина цієї повної ефективної енергії W_t використовується в якості ефективної роботи W_m через зовнішні навантаження, прикладені до двигуна. Решта - це втрати двигуна Стірлінга.

Максимальний тепловий ККД оборотного процесу в тепловому двигуні дорівнює відношенню всієї сумарної роботи W_1 до кількості теплової енергії, що підводиться $Q_1 = -W_1$

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

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

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

Теорія (6/6)

PHYWE

Коэффициент полезного действия (КПД)

Тільки частина цієї повної ефективної енергії W_t може бути використана як ефективна робота W_m через зовнішні навантаження, прикладені до двигуна.

Решта - це втрати двигуна Стірлінга.

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

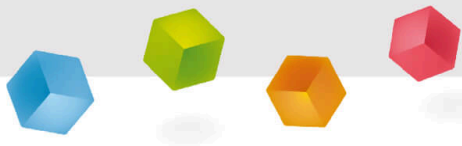
Карно вважав, що це максимальний тепловий ККД для будь-якого теплового двигуна, якого можна досягти лише теоретично. ККД зростає зі збільшенням різниці температур.

Обладнання

PHYWE

Позиція	Матеріал	Пункт №.	Кількість
1	Двигун Стірлінга, прозорий.	04372-00	1
2	Блок двигун/генератор	04372-01	1
3	Торсіометр	04372-02	1
4	Камін для двигуна Стірлінга	04372-04	1
5	Дигітальний модуль для двигуна Стірлінга.	04372-10	1
6	Програмне забезпечення "measureLAB"	14580-61	1
7	Реостат, 330 Ом, 1,0 А	06116-03	1
8	З'єднувальний провідник, 500 мм, червоний	07361-01	2
9	З'єднувальний провідник, 500 мм, синій	07361-04	3
10	Мірний циліндр, 50 мл, прозорий, PP	36628-01	1
11	Етанол (метиловий спирт)	31150-70	1
12	Лампа розжарювання 1 Р/0 08 А Е 10	06154-00	5

PHYWE



Підготовка та виконання роботи

Завдання

PHYWE

Завдання



- Налаштування експериментальної установки
- Розрахунок повної енергії, виробленої двигуном Стерлінга
- Оцінка механічної роботи за один повний цикл і розрахунок механічної потужності залежно від частоти обертання
- Визначення ККД пального
- Оцінка вихідної електричної потужності залежно від частоти обертання.
- Оцінка ККД двигуна.

Підготовка (1/2)

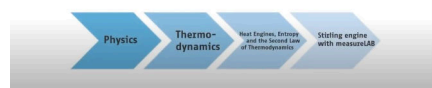
PHYWE

Відео з налаштування експериментальної установки

Ви можете легко і просто виконати налаштування, слідуючи відео, що додається.

[Відео 1 натисніть](#)

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

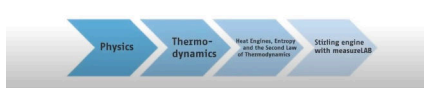


Двигун Стірлінга:
Як встановити модуль реєстрації даних для використання з measureLAB

[Відео 2 натисніть](#)

The Stirling Engine

Можливості з measureLAB

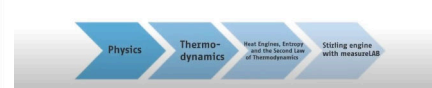


Двигун Стірлінга:
Можливості з measureLAB

[Відео 3 натисніть](#)

The Stirling Engine

Маркетинг



Двигун Стірлінга:
Загальний огляд

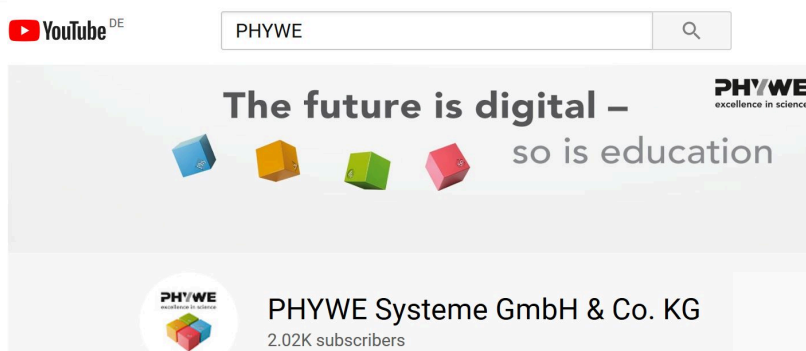
Підготовка (2/2)

PHYWE

Будь ласка, підпишіться також на канал PHYWE на YouTube

Ви ніколи не пропустите в майбутньому нову інформацію для відповідних цілей

<https://www.youtube.com/c/phywesysteme/featured> [щоб підписатися, просто натисніть](#)



Виконання роботи

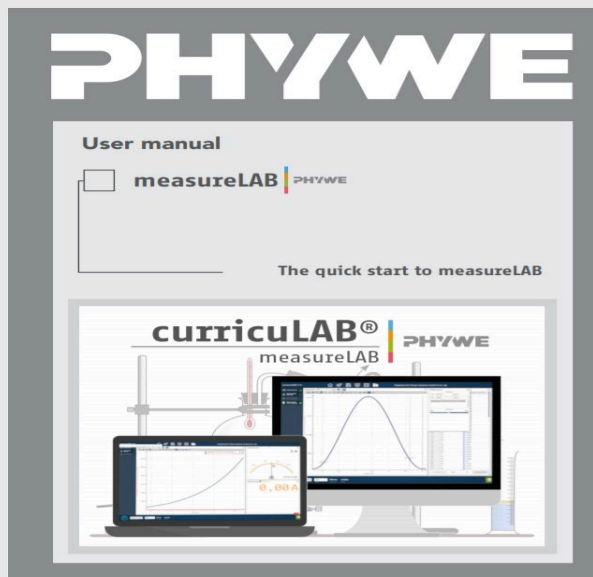
PHYWE

Побудова pV -діаграми

- Підключіть модуль до ПК через USB, а потім запустіть measureLAB.
- Виберіть "Швидкий старт", а потім використовуйте режим $P - V$.
- Частота має бути встановлена на 2 кГц
- Налаштування кривої: Ширина лінії: 6 символних точок
- Помістіть запалений палик під скляний циліндр і спостерігайте за температурою на дисплеї.
- Не забувайте про скляний посуд.
- Коли різниця температур досягне приблизно 80 K, злегка підштовхніть маховик за годинниковою стрілкою, щоб запустити двигун.

Керівництво

PHYWE



Використання measureLAB

- Використання програмного забезпечення докладно описано в "Посібнику користувача".
- Ви знайдете цей посібник, натиснувши таку кнопку в програмі measureLAB



Оцінка (1/3)

PHYWE



Спиртовий палик, регульований 32154-
00

Оцінку теплової потужності палика (див. фото) наведено нижче.

Об'єм спаленого спирту $\Delta V = 29 \text{ мл}$

Густина спирту $\rho = 0.83 \text{ г/мл}$

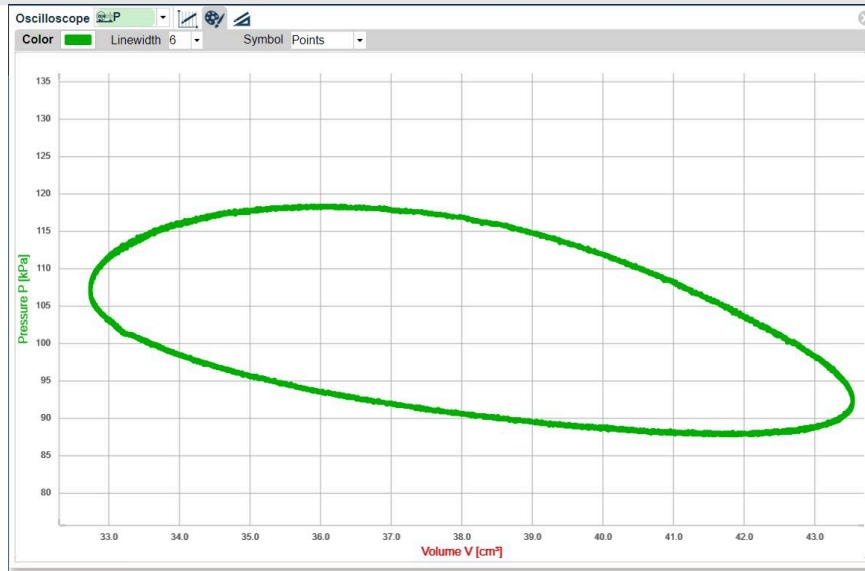
Це дає змогу визначити масу спирту, що спалюється за секунду:

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

, а також теплову потужність палика:
 $P_H = 167 \text{ Вт}$.

Оцінка (2/3) - Типова pV-діаграма двигуна Стірлінга PHYWE

PHYWE



Оцінка (3/3) - Типова pV-діаграма двигуна

PHYWE

Після запису pV-діаграми Ви можете натисканням кнопки "Інструменти та аналіз" та кнопки "Функція інтегрування" визначити значення інтеграла.

За допомогою цього інструменту Ви можете визначити площу поверхні кривої, необхідну для визначення ККД двигуна Стірлінга

Integrate ✕

Calculated integral

243.744

Calculate

Альтернативна установка

PHYWE

Альтернативна експериментальна установка

За допомогою зовнішнього джерела живлення (наприклад, блок живлення PHYWE, 230 V, 13506-93) постійного струму: 0...12 V, 2 A можна інвертувати цикл Карно, подаючи на пристрій 5 - 10 V постійного струму, 1,5 A, як показано на фото.

Зверніть увагу, що блок живлення не входить до комплекту поставки

