

Motor de Stirling con measureLAB



Física

Termodinámica /
Termodinámica

Temperatura y calor

ciencia aplicada

Ingeniería

Energías renovables

Calor



Nivel de dificultad

difícil



Tamaño del grupo

2



Tiempo de preparación

10 minutos



Tiempo de ejecución

20 minutos

Este contenido también se puede encontrar en línea en:



<https://www.curriculab.de/c/6019e39f97f3900003ba87d8>

PHYWE

Información general



Ejecución

PHYWE



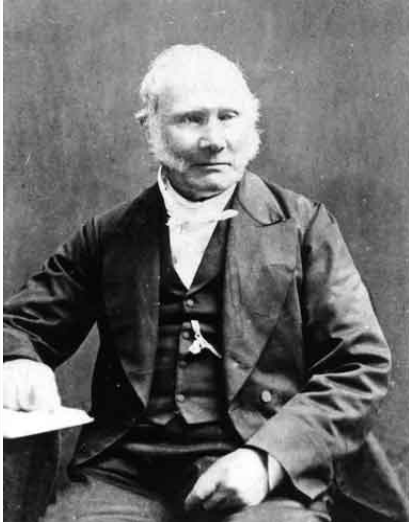
Motor Stirling PHYWE transparente 04372-00

El motor Stirling transparente de PHYWE combina las siguientes características:

- Completamente transparente: todas las partes importantes son visibles
- Medición de todos los datos experimentales a través del módulo USB SmartSense
- Compatible con measureLAB
- Volante grande y transparente.
- Tanto el cilindro como el pistón de desplazamiento son de vidrio resistente al calor.
- Pistón de desplazamiento con 2 piezas de conexión de medición para las mediciones de temperatura.

Ejecución

PHYWE



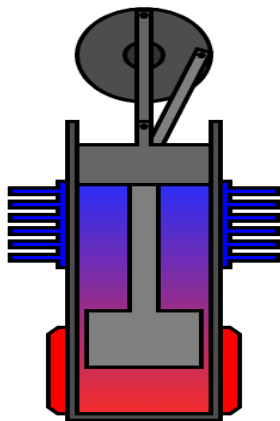
Dr. Robert Stirling

Un motor Stirling es un motor térmico que funciona mediante la compresión y expansión cíclicas del aire a diferentes temperaturas, de manera que se produce una conversión neta de energía térmica en trabajo mecánico. Más concretamente, el motor Stirling es un motor térmico regenerativo de ciclo cerrado con un fluido de trabajo permanentemente gaseoso.

El motor Stirling fue diseñado originalmente por el Dr. Robert Stirling (1790 - 1878).

Ejecución

PHYWE



Principio del motor Stirling

El motor Stirling de PHYWE tiene un solo cilindro, que se encuentra caliente en un extremo y frío en el otro. Un desplazador libre mueve el aire entre los extremos caliente y frío del cilindro. Un pistón de potencia situado en el extremo abierto del cilindro acciona el volante de inercia.

Información adicional (1/2)

PHYWE

Conocimientos

previos



Principio

científico



El ciclo consta de cuatro procesos termodinámicos / círculo de Carnot

- Adición de calor isotérmico (expansión).
- Eliminación del calor isocórico (volumen constante).
- Eliminación isotérmica del calor (compresión).
- Adición de calor isocórico (volumen constante).

En tanto que el círculo Stirling tiene líneas perpendiculares, en aplicaciones reales como el motor Stirling de PHYWE este ciclo es cuasi-elíptico

Información adicional (2/2)

PHYWE

Objetivo de aprendizaje



Aquí será posible aprender sobre:

- La primera y la segunda ley de la termodinámica
- Ciclos reversibles de cambios isocóricos e isotérmicos
- Las leyes de los gases
- Eficiencia
- Los principios de conversión del calor
- Bombas térmicas
- El ciclo de Carnot

Información adicional (2/2)

PHYWE

Principio



El motor Stirling se somete a una carga mediante un medidor de par ajustable, o mediante un generador acoplado. Se observa la frecuencia de rotación y los cambios de temperatura del motor Stirling. La energía y la potencia mecánicas efectivas, así como la potencia eléctrica efectiva, se evalúan en función de la frecuencia de rotación. La cantidad de energía convertida en trabajo por ciclo puede determinarse con la ayuda del pV diagrama.

Se puede estimar la eficiencia del motor Stirling.

Instrucciones de seguridad

PHYWE



◦ Etanol / Alcohol desnaturalizado

Para este experimento aplican las reglas y medidas generales de seguridad para actividades experimentales en la enseñanza de ciencia naturales.

Para las frases H y P, consultar la ficha de datos de seguridad del producto químico correspondiente.

H225: Líquido y vapores altamente inflamables.

H318: Provoca lesiones oculares graves.

P210: Mantener alejado del calor, las superficies calientes, las chispas, las llamas y otras fuentes de ignición. No fumar

Teoría (1/6)

PHYWE

En 1816, Robert Stirling obtuvo la patente de un motor de aire caliente, que hoy se conoce como motor Stirling. En nuestros tiempos, el motor Stirling se utiliza para estudiar el principio de los motores térmicos porque en este caso el proceso de conversión de energía térmica en energía mecánica es especialmente claro y relativamente fácil de entender.

En la actualidad, el motor Stirling se encuentra en una nueva fase de desarrollo debido a sus numerosas ventajas.

Así, por ejemplo, constituye un sistema cerrado, funciona con gran suavidad y puede funcionar con muchas fuentes de calor diferentes, lo que permite tener en cuenta también los aspectos medioambientales.

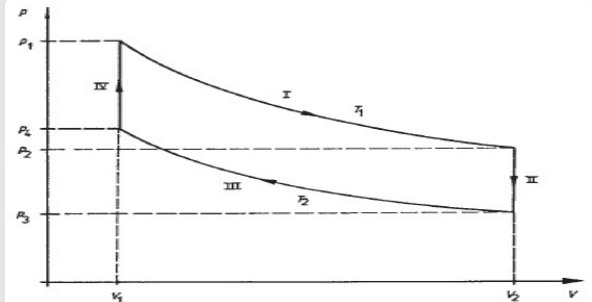


Diagrama pV para el proceso Stirling ideal

Teoría (2/6)

PHYWE

I) Una modificación isotérmica cuando se suministra calor y se produce trabajo: $V_1 \rightarrow V_2; p_1 \rightarrow p_2; T_1 = \text{const.}$

II) Una modificación isocórica cuando el gas se enfría: $T_1 \rightarrow T_2; p_2 \rightarrow p_3; V_2 = \text{const.}$

III) Una modificación isotérmica cuando se produce calor y se suministra trabajo: $V_2 \rightarrow V_1; p_3 \rightarrow p_4; T_2 = \text{const.}$

IV) Una modificación isocórica cuando se suministra calor al sistema: $T_2 \rightarrow T_1; p_4 \rightarrow p_1; V_1 = \text{const.}$

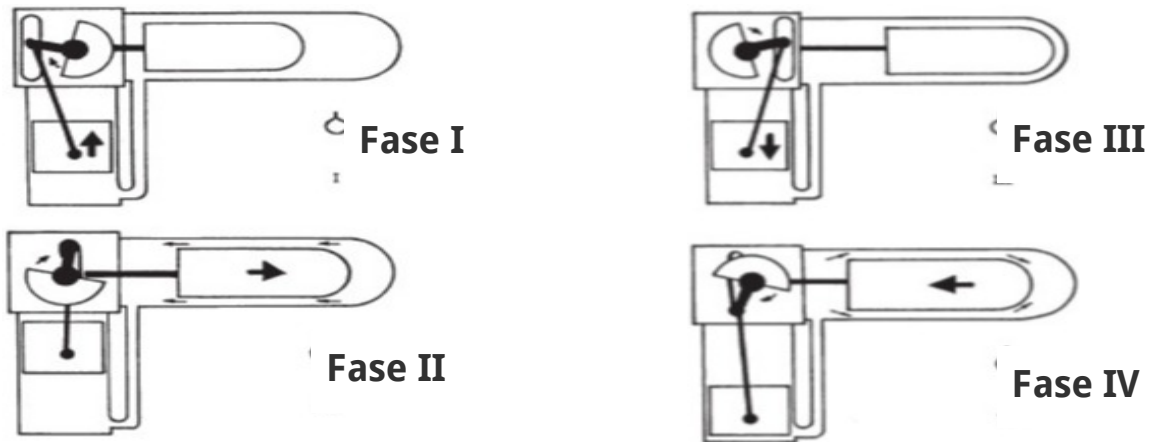
Según la primera ley de la termodinámica, cuando se suministra energía térmica a un sistema aislado, su cantidad es igual a la suma del aumento de energía interna del sistema y el trabajo mecánico suministrado por éste:

$$dQ = dU + pdV$$

Es importante para el ciclo Stirling que la energía térmica producida durante la fase de enfriamiento isocórico se almacene hasta que pueda ser utilizada de nuevo durante la fase de calentamiento isocórico (principio de regeneración).

Teoría (3/6)

PHYWE



Funcionamiento del motor Stirling, Fase I, II, III, IV

Teoría (4/6)

PHYWE

Así, durante la fase IV se absorbe de forma regenerativa la cantidad de energía térmica liberada durante la fase II. Esto significa que sólo se produce un intercambio de energía térmica dentro del motor. El trabajo mecánico sólo se suministra durante las fases I y III. Debido a que la energía interna no se modifica durante los procesos isotérmicos, el trabajo realizado durante estas fases es respectivamente igual a la energía térmica absorbida o liberada.

Desde

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

donde ν es el número de moles que contiene el sistema, y R la constante general de los gases.

La cantidad de trabajo producido durante la fase I es:

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

(negativo, porque se suministra esta cantidad de trabajo).

Por lo tanto, la cantidad de trabajo suministrada durante la fase III es:

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

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

Teoría (5/6)

PHYWE

En consecuencia, la cantidad de trabajo suministrada durante la fase III es

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

$|W_1| > W_3$ porque $T_1 > T_2$

La cantidad total de trabajo viene dada, pues, por la suma de W_1 y W_3 . Esto es igual al área del pV diagrama:

$$W_t = W_1 + W_3$$

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

Sólo parte de esta energía efectiva total W_t se utiliza como trabajo efectivo W_m a través de las cargas exteriores aplicadas al motor. El resto contiene pérdidas dentro del motor Stirling.

El rendimiento térmico máximo de un proceso reversible dentro de un motor térmico es igual a la relación entre la cantidad total de trabajo W_1 y la cantidad de energía térmica suministrada $Q_1 = -W_1$

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

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

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

Carnot descubrió que éste es el rendimiento térmico máximo de cualquier motor térmico, que sólo puede alcanzarse teóricamente. Se observa que el rendimiento aumenta con el incremento de las diferencias de temperatura.

Teoría (6/6)

PHYWE



Sólo una parte de esta energía efectiva total W_t puede utilizarse como trabajo efectivo W_m a través de las cargas exteriores aplicadas al motor.

La parte restante contiene pérdidas dentro del motor Stirling.

El rendimiento térmico máximo de un proceso reversible dentro de un motor térmico, es igual a la relación entre la cantidad total de trabajo $|W_1|$ y la cantidad de energía térmica suministrada $Q_1 = -W_1$

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

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

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

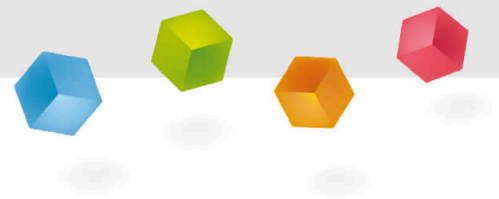
Carnot descubrió que éste es el máximo rendimiento térmico de cualquier motor térmico, que sólo puede alcanzarse teóricamente.

La eficiencia aumenta con el incremento de las diferencias de temperatura.

Equipo

Posición	Material	Artículo No.	Cantidad
1	MOTOR STIRLING, TRANSPARENTE	04372-00	1
2	UNIDAD DE MOTOR/GENERADOR	04372-01	1
3	MEDIDOR DEL MOMENTO DE GIRO	04372-02	1
4	CHIMENEA PARA MOTOR STIRLING	04372-04	1
5	Módulo de adquisición de datos para motor Stirling	04372-10	1
6	measureLAB, Software para mediciones y evaluaciones	14580-61	1
7	REOSTATO, 330 OHMS, 160 W	06116-03	1
8	Cable de conexión, 32 A, 500 mm, rojo	07361-01	2
9	Cable de conexión, 32 A, 500 mm, azul	07361-04	3
10	Cilindro graduado, plástico, 50 ml	36628-01	1
11	Etanol, disolvente (alcohol desnaturalizado), 1000 ml	31150-70	1
12	Bombilla 4 voltios /0,08 A, zócalo E10	06154-00	5

PHYWE



Montaje y Ejecución

Tareas

PHYWE

Tareas



- Preparación del experimento
- Cálculo de la energía total producida por el motor Stirling
- Evaluación del trabajo mecánico por revolución y cálculo de la potencia mecánica en función de la frecuencia de rotación, con la ayuda del torquímetro.
- Determinación del rendimiento térmico del quemador
- Evaluación de la potencia eléctrica en función de la frecuencia de rotación.
- Evaluación de la eficiencia.

Montaje (1/2)

PHYWE

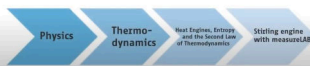
Vídeos para el montaje del experimento

de forma sencilla puedes realizar la configuración siguiendo el vídeo incluido.

[Vídeo 1 haga clic](#)

The Stirling Engine

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

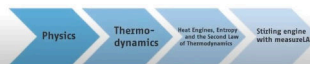


**El motor Stirling:
Cómo montar el módulo de
registro de datos para su uso
con measureLAB**

[Vídeo 2 haga clic](#)

The Stirling Engine

Posibilidades con measureLAB

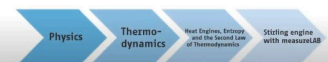


El motor Stirling:

[Vídeo 3: haga clic](#)

The Stirling Engine

Marketing



El motor Stirling:

Montaje (2/2)

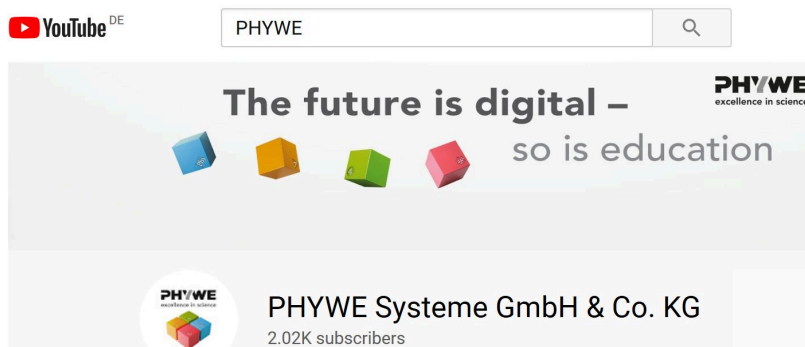
PHYWE

Por favor, suscríbase también al canal PHYWE de YouTube

Así nunca se perderá en el futuro nueva información para fines relevantes

<https://www.youtube.com/c/phywesysteme/featured>

[para suscribirse haga clic aquí](#)



Ejecución

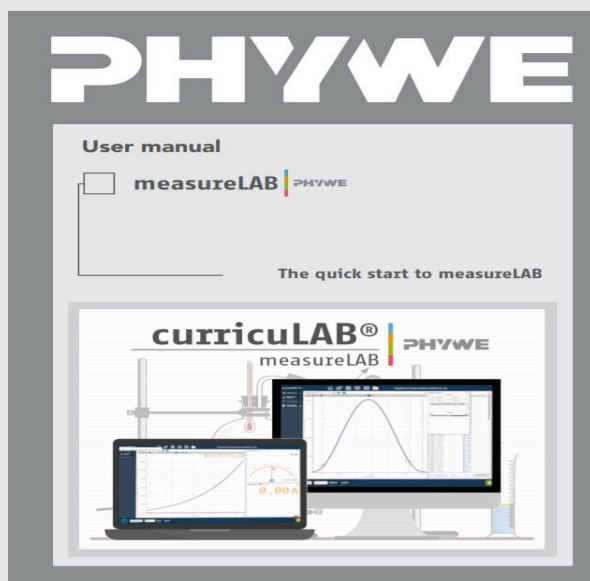
PHYWE

Presentación y dibujo de la pV diagrama

- Conectar el módulo a la PC a través de USB y luego iniciar measureLAB.
- Seleccionar "Inicio Rápido", luego usar el Modo P-V
- La tasa debe ser ajustada a 2 kHz
- Ajustes de la curva: Ancho de línea: 6 Puntos
- Colocar el quemador encendido debajo del cilindro de vidrio y observar la indicación de la temperatura.
- No olvidar la chimenea de cristal.
- Cuando la diferencia de temperatura haya alcanzado aproximadamente 80 K, dar un ligero empujón al volante en el sentido de las agujas del reloj para arrancar el motor.

Manual

PHYWE



Uso de measureLAB

- El uso del software se describe ampliamente en el "Manual del usuario".
- Encontrará este manual pulsando el siguiente botón dentro del software measureLAB



Evaluación (1/X)

PHYWE



Quemador de alcohol, ajustable 32154-00

A continuación se ofrece una estimación de la potencia térmica del quemador (ver foto).

Cantidad de alcohol quemado $\Delta V = 29\text{ml}$

Densidad de alcohol $\rho = 0.83\text{g/ml}$

Esto permite determinar la masa de alcohol quemada por segundo:

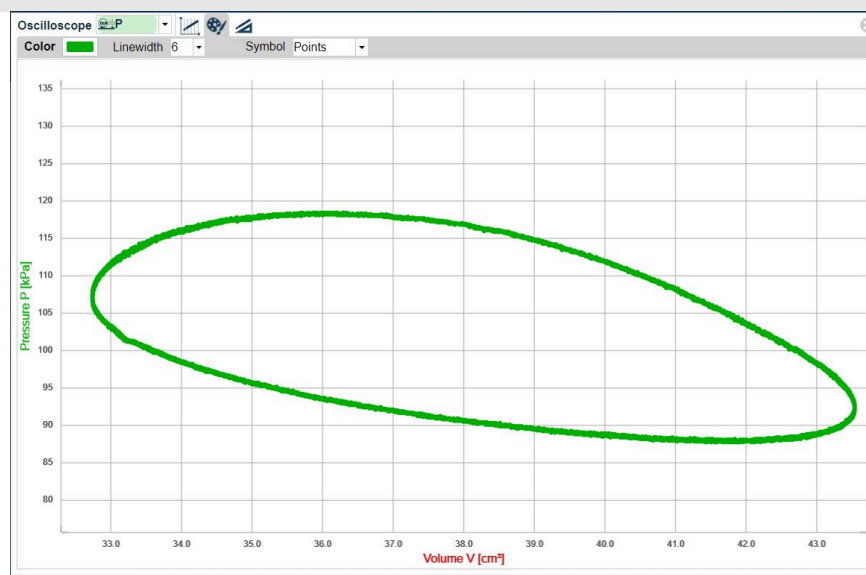
$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = 6.69 \cdot 10^{-3} \text{ g/s}$$

así como la potencia térmica del quemador:

$$P_H = 167\text{W}$$

Evaluación (2/X) -Curva típica de pV del motor

PHYWE



Evaluación (2/X) -Curva típica de pV del motor

PHYWE

Después de registrar la curva pV puede clicar el botón "Herramientas y análisis", determina el uso de la "función de integración" determina el valor de la Integral.

Con esta herramienta se puede determinar la superficie de la curva necesaria para determinar la eficiencia del motor Stirling

Integrate

Calculated integral

243.744

Calculate

Montaje alternativo

PHYWE

Con una fuente de alimentación externa (por ejemplo, fuente de alimentación PHYWE, 230 V, 13506-93), si se suministra corriente continua: 0...12 V, 2 A se puede invertir el ciclo de Carnot alimentando la unidad con 5 - 10 VDC, 1,5 A según la foto mostrada.

Tener en cuenta que la fuente de alimentación no forma parte de los artículos suministrados con el experimento, y tienen que ser comprados por separado.

