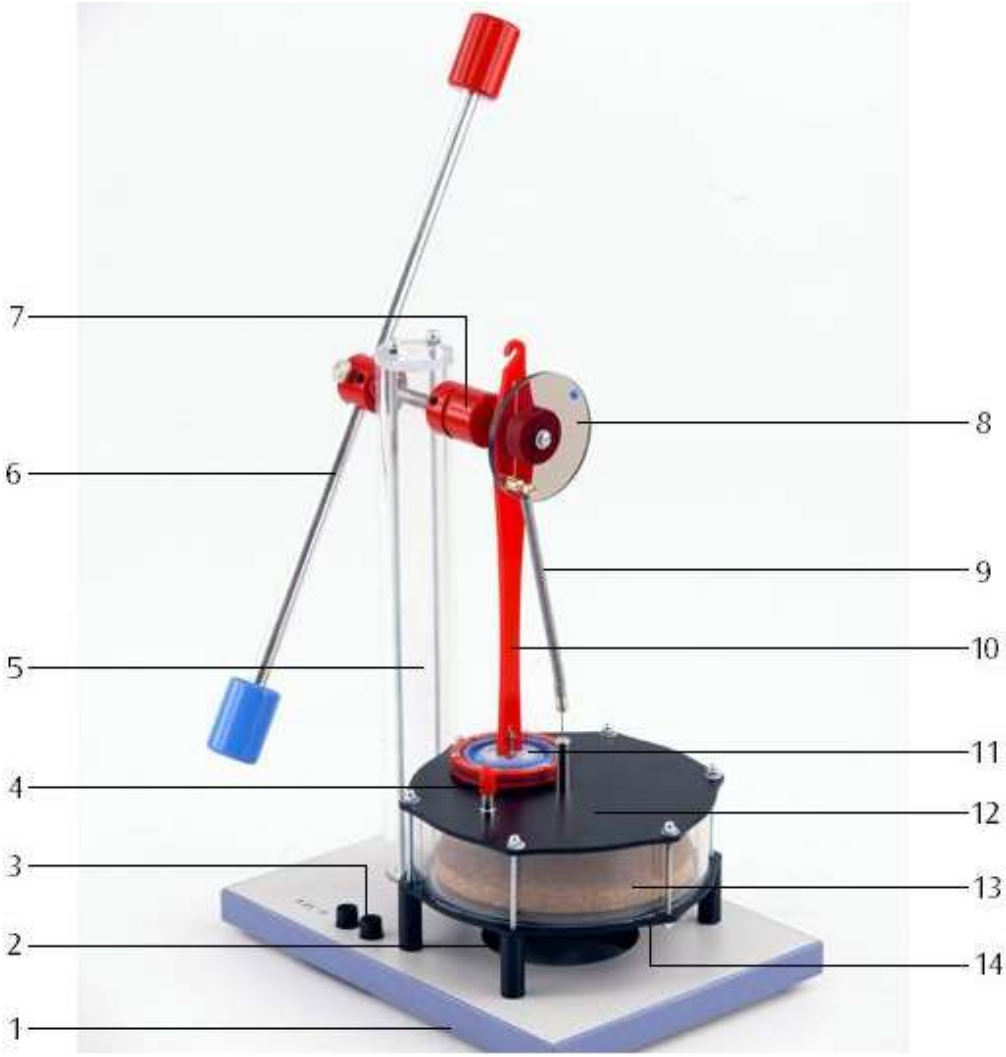
3B SCIENTIFIC® PHYSICS

Stirling-Motor D 1000817

Bedienungsanleitung

11/23 THL/ALF/UD



1 Grundplatte
2 Aussparung für Teelicht
3 Heizplattenanschluss
4 Schlauchanschlussstutzen mit Verschlusskappe
5 Stativsäule
6 Schwungstange mit Massen
7 Exzenter mit Nut
8 Winkelscheibe
9 Zugfeder
10 Pleuel mit Haken
11 Arbeitskolben (Membran)
12 Obere Platte
13 Verdrängerkolben
14 Untere Platte mit elektrischer Heizung

1. Sicherheitshinweise

Beim Arbeiten mit offener Flamme besteht Brand- und Verletzungsgefahr!

- Beim Umgang mit offener Flamme und flüssigem Wachs besondere Vorsicht walten lassen.
- Der Stirling-Motor darf nicht gleichzeitig elektrisch und mit Teelicht beheizt werden. Dies kann zur Beschädigung des Geräts führen.
- Bei Betrieb des Stirling-Motors mit einem Spotlight oder Sonnenlicht ist unbedingt darauf zu achten, dass die roten Kunststoffteile nicht intensiver Wärmestrahlung ausgesetzt werden.

2. Beschreibung

Der Stirling-Motor D ist ein für den Unterricht optimiertes Funktionsmodell zur Demonstration der Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie sowie zur Untersuchung des Stirling'schen Kreisprozesses.

Der Verdrängerkolben bewegt sich diskontinuierlich mit einer Verweilzeit während der Erwärmung und während der Abkühlung des Arbeitsmediums Luft. Dadurch wird der ideale Stirling'sche Kreisprozess besser ausgefahren als dies bei kontinuierlicher Kolbenbewegung der Fall wäre und es wird ein höherer Wirkungsgrad erreicht. Die Steuerung des Verdrängerkolbens erfolgt über die Winkelscheibe. Bei Wärmezufuhr von unten über die Heizplatte oder eine Kerzenflamme eilt der Verdrängerkolben dem Arbeitskolben (Membran) um ca. 100° voraus. Der optimale Winkel ist technisch bedingt drehzahlabhängig.

Zur Wärmezufuhr kann wahlweise eine integrierte elektrische Heizplatte, ein Teelicht oder die gebündelte Wärmestrahlung der Sonne bzw. einer Lampe genutzt werden. Dabei hängt die Drehrichtung davon ab, ob die Wärmezufuhr von oben oder von unten erfolgt.

Zur Aufnahme von pV-Diagrammen kann die Druckmessung im Arbeitszylinder über einen Schlauchanschlussstutzen bewerkstelligt werden und die Volumenbestimmung durch Befestigen eines Fadens am Haken des Pleuels zur Messung des Hubweges des Arbeitskolbens.

3. Lieferumfang

1 Stirling-Motor D 1000817

1 Satz Transportsicherung (Schaumstoffblock, Gummiring und Arretierstab)

4. Zubehör

Ergänzungssatz Stirling-Motor D (1008516)

Der Ergänzungssatz Stirling-Motor D stellt die Zubehörteile bereit, die zum Aufbau der Sensoren nötig sind. Der Satz besteht aus:

1 Auflageplatte für die Montage des Wegaufnehmers (1021534)

1 Rändelschraube zur Befestigung der Auflageplatte auf der Stativsäule

1 Stiel mit Magnetfuß für den Wegaufnehmer

1 Silikonschlauch zum Anschluss des Relativdrucksensors (1021532)

1 Fadenset mit Saugnapf

2 Massestücke mit Haken je 20 g

5. Technische Daten

Heizspannung:	8 – 15 V, 1,5 A
Gasvolumen:	330 cm³ – 345 cm³
Drehzahl:	30 – 100 U/min
Abmessungen ohne Schwungstange:	260×185×330 mm³
Schwungstange:	400 mm
Masse:	2,2 kg

6. Funktionsprinzip

Die Funktionsweise des Stirling-Motors kann vereinfachend in die folgenden vier Takte unterteilt werden:

Wärmezufuhr:

Zur Wärmezufuhr bewegt sich der Verdrängerkolben (P1) aufwärts und verdrängt die Luft nach unten in den geheizten Bereich des Verdrängungszylinders. Temperatur und Druck steigen annähernd isochor an. Der Arbeitskolben befindet sich währenddessen im unteren Totpunkt (siehe Fig. 1). Der Verdrängerkolben läuft dem Arbeitskolben vorraus und erreicht den oberen Totpunkt. Die Luft hat nun das kleinste Volumen, die höchste Temperatur und den höchsten Druck (siehe Fig. 2).

Expansion:

Die erwärmte Luft expandiert annähernd isotherm und treibt den Arbeitskolben (P2) nach oben. Dabei wird mechanische Arbeit über die Kurbelwelle an die Schwungstange abgegeben. Das Luftvolumen wird größer, die Luft nimmt Wärme auf und der Druck verringert sich (siehe Fig. 3).

Wärmeabgabe:

Bei der Wärmeabgabe befindet sich der Arbeitskolben im oberen Totpunkt, während sich der Verdrängerkolben (P1) abwärts bewegt und die Luft in den oberen Bereich des Verdrängungszylinders verdrängt. Die Luft wird abgekühlt und die obere Platte nimmt Wärme auf. Der Verdrängerkolben erreicht den unteren Totpunkt (siehe Fig. 4 und 5).

Kompression:

Die abgekühlte Luft wird isotherm durch den sich nach unten bewegenden Arbeitskolben komprimiert. Die mechanische Arbeit hierfür wird durch die Schwungstange geliefert (siehe Fig. 6).

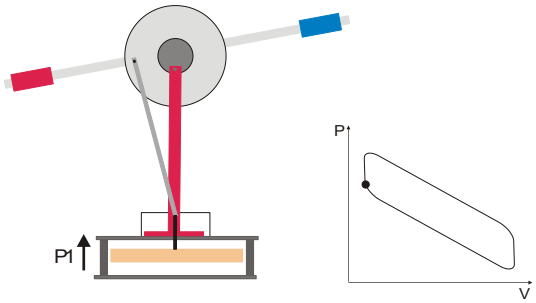


Fig. 1: Wärmezufuhr

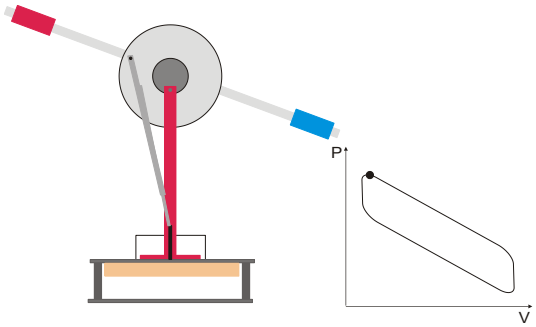


Fig. 2: Wärmezufuhr

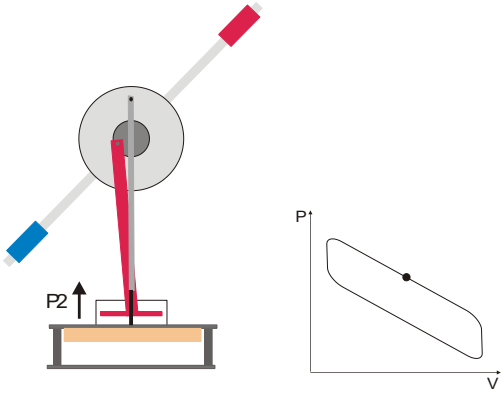


Fig. 3: Expansion

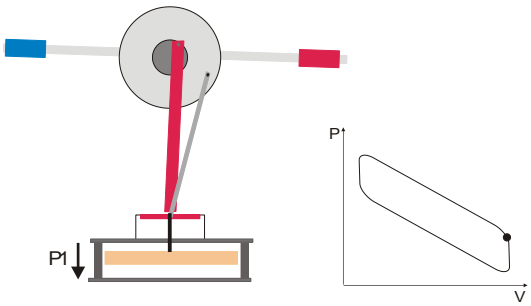


Fig. 4: Wärmeabgabe

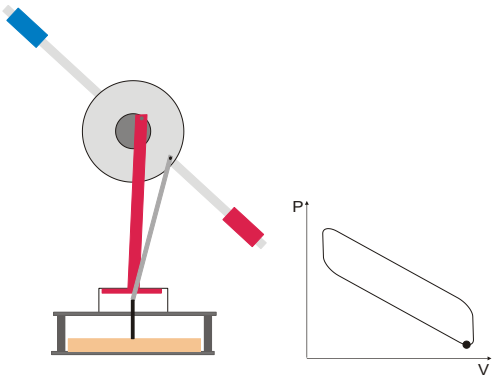


Fig. 5: Wärmeabgabe

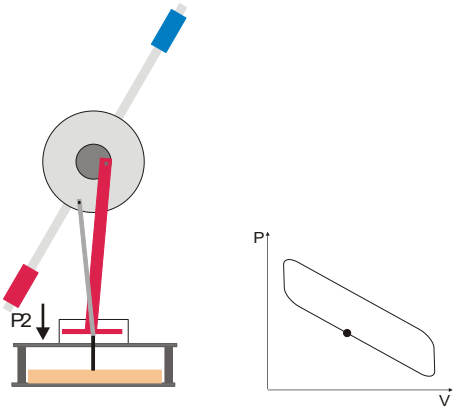


Fig. 6: Kompression

7. Erstinbetriebnahme

Fig. 7: Stirling-Motor in gesichertem Zustand

- Gummiring (3) vom Sicherungshaken (4) für den Verdrängerkolben abnehmen und Haken aus dem Schlauchanschlussstutzen herausziehen.
- Schlauchanschlussstutzen mit roter Verschlusskappe (5) abdichten.
- Schaumstoffblock (2) zwischen Stativsäule und Schwungmasse entnehmen.
- Arretierschraube (1) lösen, Schwungstange horizontal im Gleichgewicht ausrichten und Arretierschraube wieder festziehen.

Der Motor ist damit betriebsbereit.

Der Transport des Stirling-Motors darf nur mit gesichertem Verdrängerkolben erfolgen.

- Dazu Verschlusskappe vom Schlauchanschlussstutzen entfernen, Sicherungshaken wieder einsetzen und mit dem Gummiring sichern.
- Schwungstange arretieren.

8. Bedienung

8.1 Betrieb als Wärmekraftmaschine

8.1.1 Elektrische Heizung

Zur elektrischen Beheizung des Stirling-Motors ist folgendes Netzgerät empfehlenswert:

1 DC-Netzgerät @230 V	1003312
oder	
1 DC-Netzgerät @115 V	1003311

- Netzgerät an das Buchsenpaar anschließen und eine Heizspannung bis 12 V (ca. 1,5 A) einstellen.
- Nach einer Aufheizzeit von ca. 1 bis 2 Minuten Schwungstange mit Drehrichtung im Uhrzeigersinn bei Blickrichtung von vorn auf den Motor anstoßen.
- Falls der Stirling-Motor sich nicht selbständig weiterdreht, den Anstoß nach ca. 1 min wiederholen.

Die Motordrehzahl verhält sich annähernd proportional zur Temperaturdifferenz zwischen oberer Platte und unterer Platte und ist damit weitgehend von der zugeführten Wärme abhängig.

- Heizspannung schrittweise bis auf 8 V reduzieren und Abnahme der Drehzahl beobachten.

8.1.2 Heizung mit einer Kerzenflamme

- Teelicht entzünden und auf eine hitzeresistente Unterlage stellen.
- Stirling-Motor mit seiner zentrischen Aussparung über das Teelicht stellen.
- Einige Minuten abwarten, bis sich die untere Platte erhitzt hat.

- Schwungstange mit Drehrichtung im Uhrzeigersinn bei Blickrichtung von vorn auf den Motor anstoßen.
- Falls der Stirling Motor sich nicht selbständig weiterdreht, den Anstoß nach ca. 1 min wiederholen.

8.1.3 Heizung mit einer Lampe (Spotlight)

- Obere Platte des Stirling-Motors von oben aus einer Entfernung von 1 bis 2 cm einer 60-W-Glühlampe mit eingeschränktem Abstrahlwinkel (Spotlight) bestrahlen. Die untere Platte kühlt in diesem Falle die Luft im Verdrängerzylinder ab.
- Alternativ die obere Platte mit durch einen Hohlspiegel gebündeltes Sonnenlicht beheizen.
- Etwa 8 bis 10 Minuten abwarten, bis sich die obere Platte erhitzt hat.
- Schwungstange mit Drehrichtung gegen den Urzeigerrichtung bei Blickrichtung von vorn auf den Motor anstoßen.
- Falls der Stirling-Motor sich nicht selbständig weiterdreht, den Anstoß nach einiger Zeit wiederholen.

8.2 Aufnahme des pV-Diagramms

Zur Aufnahme des pV-Diagramms sind folgende Geräte zusätzlich erforderlich:

1 Ergänzungssatz Stirling-Motor D	1008516
1 DC-Netzgerät @230 V	1003312
oder	
1 DC-Netzgerät @115 V	1003311
1 Relativdrucksensor FW ±100 hPa	1021532
1 Wegaufnehmer FW	1021534
2 Sensorkabel	1021514
1 Datenlogger	
1 Software	

Weitere Informationen zum digitalen Messen sind auf der Webseite des Produkts im 3B Webshop zu finden

- Relativdrucksensor mit dem Silikonschlauch an den Schlauchanschlussstutzen anschließen.
- Auflageplatte mit der Rändelschraube auf der Stativsäule befestigen.
- Stiel mit Magnetfuß in den Wegaufnehmer schrauben und auf die Auflageplatte platzieren.
- Schraube an der Rolle des Wegaufnehmers lösen. Faden ein Mal um die Rolle legen, aus der Aussparung herausführen und eine Schlaufe um die Schraube legen. Mit der Schraube den Faden fixieren (siehe Fig. 8).
- Das eine Ende des Fadens am Pleuelhaken befestigen, ans andere Ende ein Massestück hängen.
- Einen zweiten Faden mittels des Saugnapfs auf der Grundplatte befestigen. Faden über die Nut im Exzenter legen und das zweite Massestück ans freie Ende hängen.

Dieses Massestück dient als Last und sorgt dafür, dass das pV-Diagramm besser ausgefahren wird.

- Netzgerät an die Heizplatte anschließen und eine Spannung bis 12 V (ca. 1,5 A) einstellen.
- Beide Sensoren an den Datenlogger anschließen.
- Software starten.
- Nach der Aufwärmzeit den Stirling-Motor durch Anstoßen im Uhrzeigersinn starten.
- Messung starten. Daten auswerten.

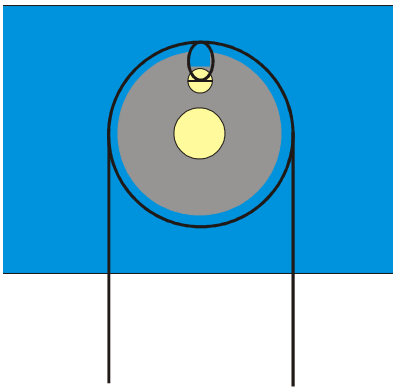


Fig. 8: Schematische Darstellung der Führung des Fadens um die Rolle am Wegaufnehmer

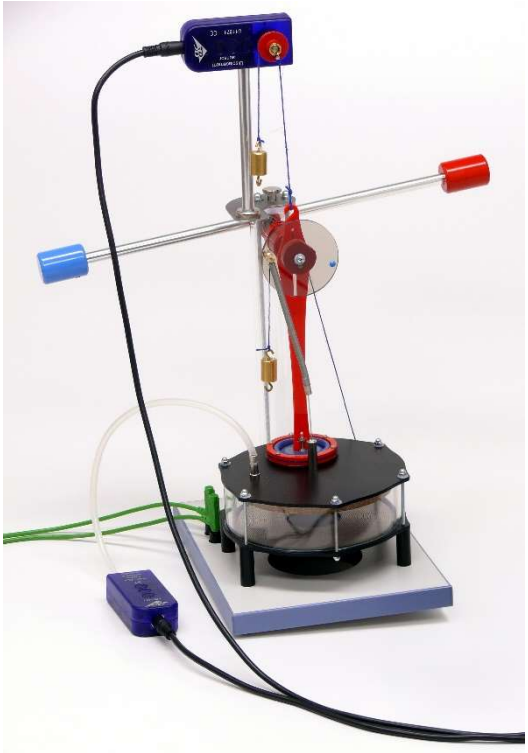


Fig. 9: Stirling-Motor D mit installierten Sensoren zur Aufnahme des pV-Diagramms

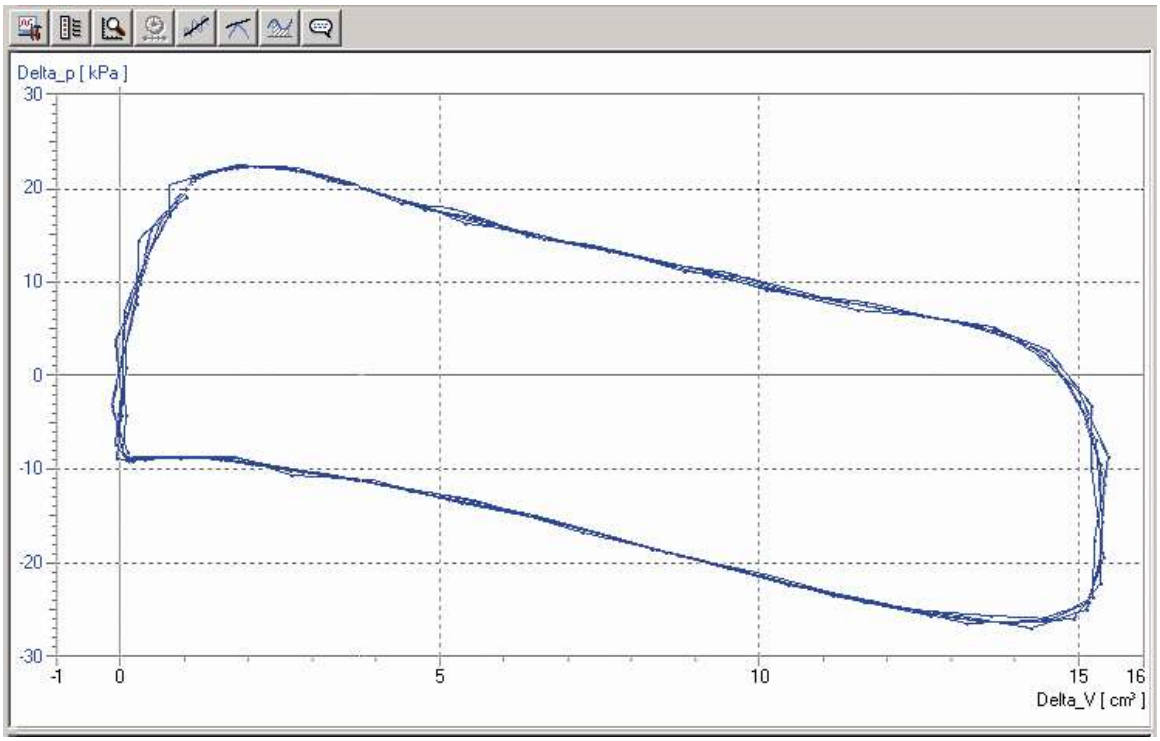


Fig. 10: Druck-Volumen-Diagramm des Stirling-Motors D

© Copyright 2023 3B Scientific GmbH