

Adiabatenkoeffizient von Gasen - Gasoszillator nach Flammersfeld



P2320502

Physik

Wärmelehre / Thermodynamik

Kalorimetrie

Chemie

Physikalische Chemie

Thermochemie / Kalorimetrie



Schwierigkeitsgrad

schwer



Gruppengröße

-



Vorbereitungszeit

45+ Minuten



Durchführungszeit

45+ Minuten

This content can also be found online at:

<http://localhost:1337/c/673ca3e9b77f00000281b9c0>

PHYWE

Allgemeine Informationen



Anwendung

PHYWE



Ein Dieselmotor

Die Ausdehnung und Kompression des adiabatischen Prozesses ist in Heiz- und Kühlanlagen und -maschinen zu finden.

- Adiabatische Erwärmung liegt vor, wenn der Druck eines Gases durch die von der Umgebung verrichtete Arbeit erhöht wird.
- Adiabatische Abkühlung liegt vor, wenn der Druck in einem adiabatisch isolierten System abnimmt, so dass es sich ausdehnen kann und dadurch Arbeit an seiner Umgebung verrichtet.

Die technischen Anwendungen des Verfahrens sind in Dieselmotoren und Gasturbinen zu finden.

Sonstige Informationen (1/2)

PHYWE

Vorwissen



Das erste Gesetz der Thermodynamik besagt, dass sich die innere Energie ΔU eines geschlossenen Systems verändert, wenn dem System Wärme Q zugeführt wird oder es Arbeit W an seiner Umgebung verrichtet. Die Änderung der inneren Energie entspricht dabei der zugeführten Wärme minus der geleisteten Arbeit

$$\Delta U = Q - W$$

Prinzip



In einem Präzisionsglasrohr schwingt eine Masse über einem Gasvolumen. Die Schwingung bleibt stabil, da das ausströmende Gas wieder in das System zurückgeführt wird. Aus der Periodendauer einer Schwingung lässt sich der Adiabatenkoeffizient verschiedener Gase bestimmen.

Sonstige Informationen (2/2)

PHYWE

Lernziel



Verständnis des adiabatischen Prozesses eines Systems durch Bestimmung des adiabatischen Koeffizienten χ von Gasen.

Aufgaben



Bestimmen Sie den adiabatischen Koeffizienten χ von Luft, Stickstoff und Kohlendioxid (und auch von Argon, falls vorhanden) aus der Periodendauer der Schwingung T , der Masse m und dem Volumen V des Gases.

Sicherheitshinweise

PHYWE



Für dieses Experiment gelten die allgemeinen Anweisungen für sicheres Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht.

Für die H- und P-Sätze konsultieren Sie bitte das Sicherheitsdatenblatt der jeweiligen Chemikalie.

Kohlenstoffdioxid

H280: Enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren.

P403: An einem gut belüfteten Ort aufbewahren.

Stickstoff

H280: Enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren.

P403: An einem gut belüfteten Ort aufbewahren.

Theorie (1/5)

PHYWE

Um eine stabile, ungedämpfte Schwingung aufrechtzuerhalten, wird das durch den Spalt zwischen dem Präzisionsglasrohr und dem Oszillator entweichende Gas über ein Rohr zurück in das System geleitet. Außerdem befindet sich in der Mitte des Glasrohrs eine kleine Öffnung. Der Oszillator kann sich zunächst unterhalb dieser Öffnung befinden. Durch das in das System zurückströmende Gas baut sich nun ein leichter Überdruck auf, der den Schwinger nach oben drückt. Sobald der Oszillator die Öffnung verlassen hat, entweicht der Überdruck, der Oszillator sinkt und der Vorgang wiederholt sich. Auf diese Weise wird die eigentliche freie Schwingung von einer kleinen, gleichphasigen Anregung überlagert. Schwingt der Körper nun aus der Gleichgewichtslage um den kleinen Abstand x dann p Änderungen durch Δp , und der Ausdruck für die auftretenden Kräfte lautet:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = \pi r^2 \Delta p \quad (1)$$

(m = Masse des Oszillators ; r = Radius des Oszillators ; p = Gasinnendruck)

Theorie (2/5)

PHYWE

$$p = P_L + \frac{mg}{\pi r^2} \quad (2)$$

(g = Beschleunigung durch die Schwerkraft ; P_L = äußerer atmosphärischer Druck)

Da der oszillierende Prozess relativ schnell abläuft, können wir ihn als adiabatisch betrachten und die adiabatische Gleichung aufstellen:

$$p \cdot V^\chi = \text{const}$$

V = Volumen des Gases.

Die Differenzierung ergibt

$$\Delta p = \frac{p\chi\Delta V}{V} \quad (3)$$

Theorie (3/5)

PHYWE

Substitution von (2), mit $\Delta V = \pi r^2 x$ in (1) ergibt die Differentialgleichung des harmonischen Oszillators

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{\chi\pi^2 r^4 p}{mV} x = 0 \quad (3)$$

für die die bekannte Lösung für die Winkelgeschwindigkeit ω ist:

$$\omega = \sqrt{\frac{\chi\pi^2 r^4 p}{mV}} \quad (4)$$

Für die Periodendauer der Schwingung gilt dabei $T = \frac{2\pi}{\omega}$.

Es wird Die Zeit t für eine große Anzahl n von Schwingungen gemessen und zur Berechnung der Periodenzeit T verwendet.

Theorie (4/5)

PHYWE

Einsetzen der Periodendauer in (4) und Umformen nach χ liefert:

$$\chi = \frac{4mV}{T^2 p r^4} \quad (5)$$

Der Adiabatenkoeffizient lässt sich aus der kinetischen Theorie der Gase - unabhängig von der Art des Gases - allein aus der Anzahl der Freiheitsgrade des Gasmoleküls vorhersagen. Die Anzahl der Freiheitsgrade des Gasmoleküls hängt von der Anzahl der Atome ab, aus denen das Molekül aufgebaut ist. Ein einatomiges Gas hat nur 3 Translationsfreiheitsgrade, ein zweiatomiges Gas hat zusätzlich 2 Rotationsfreiheitsgrade, und dreiatomige Gase haben 3 Rotationsfreiheitsgrade und 3 Translationsfreiheitsgrade, also insgesamt 6.

(Die Schwingungsfreiheitsgrade werden bei den betrachteten Temperaturen vernachlässigt).

Theorie (5/5)

PHYWE

Dies bedeutet, dass der Adiabatenkoeffizient nach der kinetischen Theorie der Gase und unabhängig von der Art des Gases durch gegeben ist:

$$\chi = \frac{f+2}{f}$$

Für monoatomare Gase: $f = 3$, $\chi = 1.67$

Für zweiatomige Gase: $f = 5$, $\chi = 1.40$

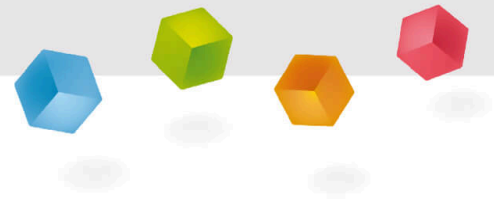
Für triatomische Gase: $f = 6$, $\chi = 1.33$

Material

Position	Material	Art.-Nr.	Menge
1	Gasoszillator nach Flammersfeld	04368-00	1
2	Messzylinder, Boro, hohe Form, 1000 ml	36632-00	1
3	Abklärflasche, Duran®, 1000 ml, SB 29 und NS 19	34175-00	1
4	Luftregler	37003-00	1
5	Cobra SMARTsense Dual Photogate - Doppel-Gabellichtschranke 0 ... ∞ s (Bluetooth + USB)	12945-00	1
6	Bügelmessschraube mit Ratsche	03012-00	1
7	Glasröhrchen, rechtwinklig, 90 x 60 mm	MAU-10030703	1
8	Gummistopfen 17/22, Bohrung 7 mm	39255-01	1
9	Gummistopfen 26/32, Bohrung 7 mm	39258-01	1
10	Gummischlauch, Innen-d = 6 mm, lfd. m	39282-00	2
11	Laufgewichtswaage, OHAUS, 311 g : 10 mg mit 4 Balken	44007-31	1
12	Pumpe für Aquarien, 150 l/h	64566-93	1
13	Präzisions-Barometer, d = 100 mm	87998-00	1
14	Digitale Stoppuhr, 24 h, 1/100 s und 1 s	24025-00	1
15	PHYWE Dreifuß, für 1 Stange, d ≤ 14 mm	02002-55	1
16	Stativstange Edelstahl, l = 500 mm, d = 10 mm	02032-00	1
17	Doppelmuffe EXPERT, für Kreuz-, T- oder Parallelspeisung mit Gelenkschraube	02054-00	2
18	Stativklemme, Spannweite 80 mm mit Stellschraube	37715-01	1
19	Helium & CO ₂ -Druckminderventil	33481-00	1
20	Druckminderventil für N ₂	33483-00	1
21	Kohlenstoffdioxid, 10 l, Stahlflasche	41761-00	1
22	Stickstoff, 10 l, Stahlflasche	41763-00	1
23	Schlauch-Verbinder, di = 3-5/6-10 mm, gerade	47517-01	1
24	Glasröhrchen, d = 8 mm, l = 200 mm, 10 Stück	MAU-16074543	1
25	Gummischlauch, Innen-d = 3 mm, lfd. m	39279-00	1

PHYWE

Aufbau und Durchführung



Aufbau (1/4)

PHYWE



Versuchsaufbau

In der Abbildung links ist der Versuchsaufbau zu sehen. Dieser besteht aus einem Gasoszillator (rechts), einem SMARTsense Dual Photogate, einer 1L Flasche, die mit einer Pumpe verbunden ist. Außerdem ist noch eine Laufgewichtswaage zur Bestimmung der Masse des Oszillators und eine Stoppuhr zur Messung der Zeit abgebildet.

Aufbau (2/4)

PHYWE



Versuchsaufbau

Die Bestimmung des adiabatischen Koeffizienten kann mit verschiedenen Gasen durchgeführt werden.

Luft

Soll Luft verwendet werden, so wird die Flasche (als Puffer) mit der Pumpe verwendet, mit der der erforderliche Druck erzeugt werden kann.

Andere Gase

Wenn andere Gase z.B. Kohlenstoff oder Stickstoff verwendet werden, können diese direkt aus der Stahlflasche entnommen werden und über ein Druckminderventil in den Gasoszillator geleitet werden.

Aufbau (3/4)

PHYWE



Gasoszillator

- Bauen Sie das Stativ wie in der Abbildung links auf und befestigen Sie den Dual Photogate Sensor mit einer Doppelmuffe an die Stange.
- Reinigen Sie das Rohr des Gasoszillators gründlich mit Alkohol und setzen Sie den roten Oszillator vorsichtig ein.
- Richten Sie den Lichtstrahl des Dual Photogates so aus, dass er durch die Mitte des Rohres geht.
- Schalten Sie den Dual Photogate ein und wählen Sie mit den Pfeilen COUNT aus, um die Anzahl der Schwingungen des Oszillators zu bestimmen.



Aufbau (4/4)

PHYWE



Gasoszillator

Messung mit Kohlenstoff oder Stickstoff

- Regeln Sie den Gasdurchfluss mithilfe des Reduzierventils am Gasstahlzylinder und des Luftreglers am Ansauger des Gasoszillators so, dass der Oszillator gleichmäßig um den Spalt schwingt. Nutzen Sie die blauen Ringe als Orientierungshilfe für die richtige Einstellung.
- Wenn der Schwerpunkt der Schwingung deutlich über dem Spalt liegt und die Schwingung deshalb stoppt, weil der Gasdruck leicht abgenommen hat, sollten Sie das Glasrohr erneut reinigen, da sich vermutlich Staub im System angesammelt hat.
- Wenn Sie den Versuch mit Luft durchführen, müssen Sie die Pumpe mit der Flasche entsprechend einstellen, sodass eine stabile Schwingung des Oszillators vorliegt.

Hinweise

PHYWE

- Die Bewegung des Oszillators im Glasrohr kann statische Ladungen erzeugen, die die Messwerte verfälschen. Dieser Effekt kann vermieden werden, indem eine dünne Schicht Graphit auf den Oszillator aufgetragen wird. Am einfachsten ist es, den Oszillator mit der Mine eines weichen Bleistifts abzureiben. Es kann auch von Vorteil sein, das Glasrohr mit einem Antistatikum zu behandeln, z. B. mit einer 3%igen Calciumchloridlösung.
- Wichtig: Der Oszillator ist ein Präzisionsteil und muss entsprechend sorgfältig behandelt werden. Setzen Sie den Oszillator erst nach Einschalten des Glasflusses in das Röhrchen ein und legen Sie die Hand leicht über die Öffnung des Röhrchens, bis eine konstante Amplitude erreicht ist, damit der Oszillator nicht herausgeschleudert wird. Sollte sich der Oszillator am unteren Ende des Rohres verkeilen, entfernen Sie das Glasrohr und lösen Sie den Oszillator vorsichtig mit dem stumpfen Ende eines Bleistifts.
- Es ist ratsam, eine Reihe von Gasen in der Reihenfolge ihrer spezifischen Gewichte zu messen, um sicherzustellen, dass jedes leichtere Gas vollständig aus dem Volumen verdrängt wird.

Durchführung (1/2)

PHYWE



Bestimmung der Masse

- Notieren Sie den Umgebungsdruck P_L mit Hilfe des Präzisionsbarometers.
- Messen Sie die Masse m des Oszillators mit Hilfe der Laufgewichtswaage.
- Messen Sie den Durchmesser $2r$ des Oszillators sorgfältig mit einer Bügelmessschraube mit Ratsche.

Nehmen Sie gegebenenfalls den Mittelwert aus mehreren Messungen an verschiedenen Positionen, da das Ergebnis in erheblichem Maße von der Genauigkeit dieser Messung abhängt.

Durchführung (2/2)

PHYWE



Versuchsaufbau

Bestimmen Sie das Volumen V des Gases nach Beendigung des Versuchs durch das Wiegen:

- Zunächst wird der Glaskolben mit dem leeren Präzisionsrohr gewogen.
- Dann wird er bis zum Schlitz mit Wasser gefüllt und erneut gewogen.
- Bestimmen Sie das Volumen aus der Dichte des Wassers (abhängig von der Wassertemperatur).

Das Volumen kann alternativ auch durch Entleeren des Wassers in einen Messzylinder bestimmt werden.

Auswertung (1/2)

PHYWE

Ergebnisse der Bestimmung der Masse m , des Volumens V , des Umgebungsdrucks P_L und des Radius r :

$$m = 4.59 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$V = 1.14 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$P_L = 99.56 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{ms}^2}$$

$$r = 5.95 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Zehn Messungen, jede mit etwa $n = 300$ Schwingungen, ergab für die adiabatischen Koeffizienten

$$\text{Stickstoff } \chi = 1.39 \pm 0.07$$

$$\text{Kohlendioxid } \chi = 1.28 \pm 0.08$$

$$\text{Luft } \chi = 1.38 \pm 0.08$$

$$(\text{Argon } \chi = 1.62 \pm 0.09)$$

Auswertung (2/2)

PHYWE

Der adiabatische Prozess lässt sich folgendermaßen erklären:

- ☐ der Druck bleibt konstant.
- ☐ das System ist von der Umgebung isoliert.
- ☐ ein Prozess, bei dem keine Wärme in ein System eintritt oder es verlässt.

☒ Siehe

Ergänzen Sie die fehlenden Wörter

Adiabatische Konstante χ für ein Gas hängt von der effektiven Anzahl von in der Molekularbewegung ab.

☒ Siehe

Dia

Ergebnis/Insgesamt

Dia 21: Mehrere Aufgaben

0/3

Gesamtpunktzahl



Lösungen anzeigen



Wiederholung