

Le coefficient adiabatique de l'air

CALCUL DU COEFFICIENT ADIABATIQUE C_p/C_v DE L'AIR SELON L'EXPÉRIENCE DE RÜCHARDT.

- Mesurer la période d'oscillation du piston en aluminium.
- Déterminer de la pression d'équilibre dans le volume d'air enfermé.
- Déterminer le coefficient adiabatique de l'air et le comparer avec la valeur définie dans la littérature.

UE2040200

03/15 UD

NOTIONS DE BASE GÉNÉRALES

Dans le montage classique de Rüchardt, on peut déterminer le coefficient adiabatique de l'air à partir du mouvement oscillant vertical d'un piston reposant sur un coussin d'air dans un tube en verre de section constante qui empêche l'air de s'échapper. Lorsque le piston est dévié de sa position d'équilibre, cela génère une augmentation ou une diminution de la pression dans le volume d'air enfermé, ce qui renvoie le piston dans sa position d'équilibre. La force de rappel est proportionnelle à la déviation de la position d'équilibre ; dans ce cas, le mouvement du piston est « harmonique ».

Étant donné qu'aucun échange de chaleur n'a lieu avec l'air ambiant, les mouvements oscillants sont associés à des changements d'état adiabatiques. La relation entre la pression p et le volume V de l'air enfermé s'exprime par l'équation suivante :

$$(1) \quad p \cdot V^\gamma = \text{const.}$$

Le coefficient adiabatique γ est le rapport des capacités thermiques spécifiques à une pression constante C_p et à un volume constant C_v :

$$(2) \quad \gamma = \frac{C_p}{C_v}.$$

Compte tenu de la relation (1), l'équation pour les variations de pression et de volume Δp et ΔV est alors :

$$(3) \quad \Delta p + \gamma \cdot \frac{p}{V} \cdot \Delta V = 0.$$

En substituant la surface de la section interne A du tube, on peut calculer la force de rappel ΔF à partir de la variation de pression. De la même manière, la déviation Δs du piston de sa position d'équilibre peut être calculée à partir de la variation du volume d'air.

Il en résulte l'équation suivante :

$$(4) \quad \Delta F = -\gamma \cdot \frac{p}{V} \cdot A^2 \cdot \Delta s = 0$$

L'équation de mouvement du piston oscillant devient alors :

$$(5) \quad m \cdot \frac{d^2 \Delta s}{dt^2} + \gamma \cdot \frac{p}{V} \cdot A^2 \cdot \Delta s = 0.$$

m : masse du piston

Les solutions à cette équation classique du mouvement d'un oscillateur harmonique simple sont des oscillations dont la période est définie par l'équation :

$$(6) \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{1}{\gamma} \cdot \frac{V}{p} \cdot \frac{m}{A^2}},$$

ce qui permet de calculer le coefficient adiabatique si l'on connaît les autres valeurs.

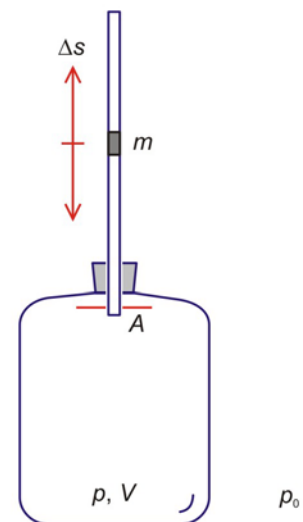


Fig. 1 : Schéma du dispositif de mesure.

Dans le cadre de l'expérience, on utilise un tube en verre de précision de petite section A placé à la verticale dans le bouchon en caoutchouc percé d'un flacon en verre de volume important V et on utilise à titre de piston un cylindre d'aluminium adapté dont la masse m est connue que l'on fait glisser dans le tube en verre. Le piston d'aluminium génère des oscillations harmoniques sur le coussin d'air formé par le volume d'air enfermé. Le coefficient adiabatique se calcule à partir de la période d'oscillation du piston d'aluminium.



Fig. 2 : Dispositif de mesure.

LISTE DES APPAREILS

1	Flacon de Mariotte	1002894
1	Tube à oscillation	1002895
1	Chronomètre mécanique, 15 min	1003369
1	Pompe à vide manuelle	1012856

Recommandé en plus pour la mesure de la pression atmosphérique extérieure, du diamètre intérieur du tube à oscillation et de la masse du piston en aluminium :

1	Baromètre anéroïde F	1010232
1	Pied à coulisse, 150 mm	1002601
1	Balance électronique, 200 g	1003433

RÉALISATION

- Calculer la pression de l'air, le diamètre intérieur du tube à oscillation, la masse du piston en aluminium et le volume du flacon de Mariotte.
- Introduire au préalable l'un des deux bouchons coniques en caoutchouc du tube à oscillation possédant le plus grand diamètre dans l'ouverture conique du bouchon en caoutchouc du flacon de Mariotte en exerçant une légère pression sur ce dernier pour éviter que le piston d'aluminium ne tombe dans le flacon.
- Il est conseillé de doter le flacon de Mariotte d'un tapis en caoutchouc ou quelque chose de similaire pour éviter tout endommagement du flacon ou du piston en aluminium si celui-ci venait quand même à tomber dans le flacon.
- Placer le tube à oscillation sur le flacon de Mariotte et le positionner à la verticale. Si nécessaire, le fixer à un support.
- Raccorder une ouverture du tuyau flexible long (850 mm, diamètre intérieur de 6,5 mm) livré avec la pompe à vide manuelle au robinet à 3 voies du flacon de Mariotte. Fermer le robinet à 3 voies.
- Nettoyer le piston en aluminium avec un chiffon qui ne bouloche pas et un peu de benzène et l'introduire dans le tube à oscillation avec le robinet à 3 voies fermé, en veillant à ne pas le coincer, puis le laisser tomber. Saisir uniquement le piston en aluminium par la poignée pour éviter toute salissure.
- Mesurer la période pour 5 oscillations à l'aide du chronomètre mécanique. Démarrer le chronométrage quand le piston en aluminium est freiné pour la première fois et qu'il se trouve à l'endroit le plus profond. Stopper le chronométrage lorsque le piston en aluminium est parvenu pour la sixième fois au point le plus profond.
- Ouvrir avec précaution le robinet à 3 voies pour permettre au piston en aluminium de glisser lentement sur le bouchon en caoutchouc au fond du tube à oscillation.
- Raccorder la pompe à vide manuelle au flacon de Mariotte à l'aide du robinet à 3 voies du tuyau flexible. Pomper le piston en aluminium vers le haut du tube à oscillation en gardant le robinet ouvert et l'enlever. Ce faisant, veiller à ce que le piston en aluminium ne tombe pas et ne s'endommage pas.
- Retirer complètement le piston en aluminium du tube à oscillation et rétablir ainsi la pression d'air ambiante dans le système. Refermer le robinet à 3 voies et séparer la pompe à vide manuelle du tuyau flexible.
- Réaliser neuf mesures supplémentaires.

Remarque importante : la qualité des mesures est étroitement liée aux conditions suivantes :

- Le tube à oscillation doit être extrêmement propre. Le nettoyer si nécessaire avec du papier de soie.
- Le cylindre en aluminium doit aussi être d'une propreté irréprochable. Les saletés les plus infimes tels que des dépôts de sébum suffisent pour provoquer une friction importante. Nettoyer le cylindre en aluminium avant chaque mesure à l'aide d'un chiffon qui ne bouloche pas et d'une petite quantité de benzène.

- Toute déformation aussi infime soit-elle du piston en aluminium (causée par ex. par la chute du piston) a un impact négatif sur la mesure.
- Le tube à oscillation doit être ajusté à la verticale.
- Les bouchons en caoutchouc doivent être étanches à l'air.
- Il faut apporter un soin particulier à la mesure du temps, étant donné que la période d'oscillation est appliquée de manière quadratique dans l'équation de mesure (8) (cf. Exemple de mesure et Évaluation).
- Le diamètre intérieur du tube à oscillation doit être dimensionné avec une très grande précision car le rayon est appliqué à la puissance 4 dans l'équation de mesure (8) par le biais de la surface de la section interne A .

EXEMPLE DE MESURE ET ÉVALUATION

Pression d'air extérieure p_0 : 1018 mbar

Diamètre intérieur d_i du tube à oscillation : 16 mm

Masse m du piston en aluminium : 15,2 g

Volume V_0 du flacon de Mariotte : 10400 cm³

Temps T_5 pour 5 périodes d'oscillation (10 mesures) :

5,172 s	5,276 s	5,259 s	5,224 s	5,305 s
5,175 s	5,231 s	5,241 s	5,191 s	5,175 s

Moyenne de la durée T_5 résultant de 10 mesures : 5,225 s

Période d'oscillation T : 1,045 s

La pression d'équilibre p résulte de la pression d'air extérieure p_0 et de la pression exercée par le piston en aluminium au repos sur le coussin d'air enfermé :

$$(7) \quad p = p_0 + \frac{m \cdot g}{A}, \quad g : \text{accélération de la chute.}$$

Le volume d'équilibre V correspond au volume V_0 du flacon de Mariotte, étant donné que le volume du tube à oscillation est négligeable.

Le coefficient adiabatique résulte de l'équation (6) :

$$(8) \quad \gamma = \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \cdot \frac{m}{A^2} \cdot \frac{V}{p} = 1,39.$$

La valeur mesurée correspond parfaitement à la valeur théorique $\gamma = 7/5 = 1,4$ pour une molécule à 2 atomes avec 3 degrés de liberté de translation et 2 degrés de liberté de rotation.

