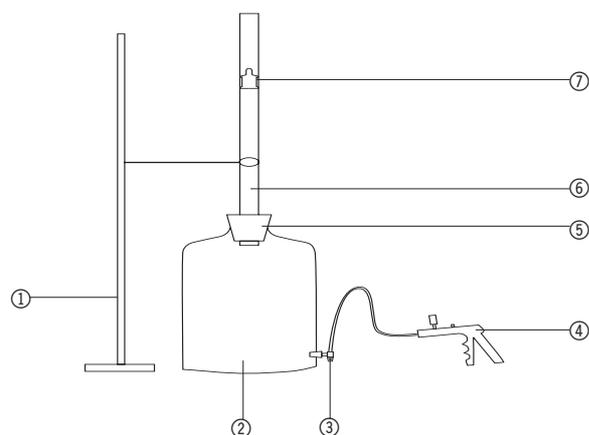


## U14328 Tube de précision

### Instructions d'utilisation

9/03 ALF



- ① Pied
- ② Flacon de Mariotte
- ③ Robinet à trois voies
- ④ Pompe manuelle
- ⑤ Bouchon
- ⑥ Tube de précision
- ⑦ Cylindre en aluminium

En liaison avec le flacon de Mariotte U14327, le tube de précision permet de déterminer l'exposant adiabatique  $c_p/c_v$  d'après Rüchardt.

freiné et oscille plusieurs fois dans le sens vertical.  
 Dimensions : 600 mm x  $\varnothing_{\text{int.}}$  16 mm  
 Cylindre en aluminium : 15,2 g

#### 1. Consignes de sécurité

- Manipuler le tube en verre avec précaution. Ne pas l'exposer à des charges mécaniques. Risque de casse !
- Veiller à une propreté rigoureuse tant du tube en verre que du cylindre en aluminium, car les plus petites impuretés peuvent provoquer un frottement excessif.
- Ne pas laisser tomber le cylindre en aluminium. Une très faible déformation suffit déjà pour influencer l'expérience.

#### 2. Description, caractéristiques techniques

A sa livraison, le tube est obturé des deux côtés par des bouchons en caoutchouc et équipé d'un cylindre en aluminium exactement adapté.

Lorsqu'on le laisse glisser dans le tube tenu verticalement et fermé par le bas, le cylindre descend lentement, car l'air ne peut pénétrer que très lentement à travers une fente étroite entre le cylindre et la paroi en verre. Si l'on tourne le tube à 180°, le cylindre réagit de même, car une dépression apparaît alors dans la partie supérieure du tube et l'air ne peut pénétrer que très lentement. Dans le troisième cas, on laisse le cylindre tomber dans le tube ouvert pour refermer immédiatement ce dernier. Le cylindre est

#### 2.1 Matériel fourni

- 1 tube de précision en verre
- 2 bouchons en caoutchouc
- 1 cylindre en aluminium

#### 3. Notions théoriques

##### Symboles utilisés dans les formules :

- $m$ : Masse du cylindre en aluminium
- $d$ : Diamètre intérieur du tube de précision
- $A$ : Surface de section du tube de précision
- $V$ : Volume du récipient de mesure
- $p_L$ : Pression d'air
- $p$ : Pression dans la bouteille
- $g$ : Accélération de la pesanteur
- $n$ : Indice molaire
- $R$ : Constante universelle du gaz (8,31451 kJ/kmol K)
- $T$ : Température
- $T_s$ : Durée d'une oscillation
- $t$ : Temps
- $c_p$ : Chaleur spéc. à pression constante
- $c_v$ : Chaleur spéc. à volume constant
- $\chi$ :  $c_p/c_v$
- $\omega$ : Fréquence angulaire propre

L'état d'une quantité fermée d'un gaz idéal peut être décrit sans équivoque à l'aide des grandeurs d'état pres-

sion  $p$ , volume  $V$  et température  $T$ . Règle générale :

$$pV = nRT \quad (1)$$

En cas de modification de l'état sans échange thermique avec l'environnement, cette équation peut être transformée dans l'équation adiabatique suivante :

$$pV^\chi = \text{const.} \quad (2)$$

L'exposant adiabatique  $\chi$  est le rapport entre la capacité thermique spécifique à pression constante  $c_p$  et la capacité thermique spécifique à volume constant  $c_v$  :

$$\chi = \frac{c_p}{c_v} \quad (3)$$

Si l'on place le tube verticalement dans la perforation du bouchon en caoutchouc d'un flacon en verre de 10 l et qu'on fait glisser le cylindre en aluminium dans le tube, il produit des oscillations harmoniques sur le coussin d'air formé par le volume d'air fermé.

Si la pression  $p$  dans le flacon est égale à la somme de la pression provoquée par la masse du cylindre  $m$  et de la pression d'air extérieure  $p_L$ , le cylindre est en équilibre :

$$p = p_L + \frac{mg}{A} \quad (4)$$

Si le cylindre est dévié de son équilibre sur une portée  $s$ ,  $p$  est modifié de  $\Delta p$  et  $V$  de  $\Delta V$ . Le cylindre en aluminium subit une force de rappel proportionnelle à la déviation. Il produit des oscillations harmoniques sur le coussin d'air qui se trouve sous lui. Comme les oscillations ont lieu relativement rapidement, on peut les décrire par la modification d'état adiabatique. Par la déviation  $dp/dV$  de (2) et la transition à des modifications finies  $\Delta p$  et  $\Delta V$ , on obtient

$$\Delta p = -\chi \frac{p}{V} \Delta V \quad (5)$$

Comme le cylindre se déplace sur  $s$  dans le tube de précision, la modification du volume est

$$\Delta V = As \quad (6)$$

La force de rappel

$$F = A\Delta p = -\chi \frac{pA^2}{V} s \quad (7)$$

entraîne une accélération périodique du cylindre avec la masse  $m$ . D'après le deuxième axiome de Newton, l'équation différentielle suivante s'applique à  $s(t)$  :

$$\frac{d^2s}{dt^2} + \chi \frac{pA^2}{V} s = 0 \quad (8)$$

(8) permet d'obtenir la fréquence angulaire propre  $\omega$  de l'oscillation harmonique

$$\omega = \sqrt{\chi \frac{pA^2}{V}} \quad (9)$$

et, à partir de là, la durée de l'oscillation  $T_s$

$$T_s = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{mV}{\chi pA^2}} \quad (10)$$

Pour déterminer l'exposant adiabatique  $\chi$  :

$$\chi = \frac{4\pi^2 mV}{A^2 p T_s^2} = \frac{64mV}{T_s^2 d^4 p} \quad (11)$$

#### 4. Manipulation

- Déterminer la pression de l'air, le diamètre intérieur du tube de précision, la masse du cylindre en aluminium et le volume du récipient de mesure.
- Placer le tube en verre sur le flacon de Mariotte, l'ajuster verticalement et le fixer sur un pied.
- Le flacon de Mariotte doit être accompagné d'un tapis en caoutchouc ou similaire, pour éviter que ni le flacon ni le cylindre ne soient endommagés si le cylindre tombe dans le flacon.
- Pour simplifier l'expérience, il est recommandé de brancher une pompe manuelle au flacon de Mariotte via un robinet à trois voies. Il est possible ainsi de remonter le cylindre en aluminium dans le tube à l'aide de la pompe et de le retirer, sans être obligé de réajuster à chaque fois le tube.
- Nettoyer le cylindre avec un chiffon non pelucheux et un peu de ligroïne ; ensuite, le robinet étant fermé, introduire le cylindre sans à-coups dans le tube et le laisser glisser. Ne tenir le cylindre qu'à la poignée, pour éviter de le salir.
- A l'aide d'un chronomètre, mesurer dix fois le temps pour cinq oscillations.
- Démarrer la mesure lorsque le cylindre est freiné pour la première fois et se trouve au point le plus bas.

Conclure la mesure lorsque le cylindre a passé pour la sixième fois le point le plus bas.

- Avec la pompe manuelle, le robinet étant ouvert, pomper le cylindre vers le haut. Veiller à ne pas faire tomber le cylindre pour ne pas l'endommager.
- Retirer le cylindre entièrement du tube et rétablir ainsi la pression d'air dans le système. Refermer le robinet.
- Effectuer neuf autres mesures et déterminer la moyenne pour la durée de l'oscillation.
- Effectuer le calcul.

**Remarques générales :**

la qualité des mesures dépend fortement des conditions suivantes :

- Le tube de précision doit être absolument propre. Au besoin, le nettoyer avec du papier de soie.
- Le cylindre en aluminium doit également être absolument propre. D'infimes impuretés, telles des dépôts de gras, provoquent déjà d'importants frottements. Aussi, nettoyer le cylindre avant chaque mesure avec un chiffon non pelucheux et un peu de ligroïne.
- Une déformation infime du cylindre (due par ex. à une chute) suffit déjà pour influencer les mesures.
- Le tube en verre doit être orienté verticalement.
- Tous les bouchons doivent être hermétiques à l'air.
- Comme la durée de l'oscillation est élevée au carré, sa mesure doit être réalisée minutieusement.

### 5. Exemple de mesure

Volume $V$ :	10 400 cm <sup>3</sup>
Masse du cylindre $m$ :	15,2 g
$\varnothing_{\text{int.}}$ du tube $d$ :	16 mm
Pression d'air $p_L$ :	1 018 mbar

Temps  $t$  en secondes pour 5 oscillations :

	5,172
	5,276
	5,259
	5,224
	5,305
	5,175
	5,231
	5,241
	5,191
	<u>5,175</u>
Somme :	52,249

Moyenne : 5,2249

Durée de l'oscillation  $T_s$  : 1,04498 s

On obtient ainsi la formule (11) suivante :

$$\chi = 1,39$$

Valeur relevée dans la littérature :

$$\chi = 1,40$$