

Ensemble élève pour l'étude des lois des gaz parfaits – BEG

Extraits des Fiches de Travaux Pratiques

Phywe (N° de commande : 01159.03 et 01160.03), 1992 et 1993
Auteurs : Wolfgang Spengler et Regina Butt

Expériences réalisables

	Matériel supplémentaire nécessaire (par groupe)	
1. Loi de Boyle-Mariotte (ME4.9)	Statif, seringue, bécher, pied à coulisse, mètre-ruban, eau (accès à un évier)	2
2. Loi de Gay-Lussac (WE2.3)	Statif, bécher, pied à coulisse, mètre-ruban, eau (accès à un évier), bain-marie avec dispositif de chauffe, thermomètre	5
3. Loi de Charles (WE2.4)	Statif, bécher, pied à coulisse, mètre-ruban, eau (accès à un évier), bain-marie avec dispositif de chauffe, thermomètre	7

Remarque : les fiches marquées « E » sont à destination des élèves, tandis que les fiches marquées « P » sont à destination du professeur.

Composition du coffret :	Nombre d'articles contenus dans le coffret	Référence fournisseur
Support tube en verre avec pince	5	PHYWE – 05961-00
Tube verre, droit, 80mm	5	PHYWE – 36701-65
Tube verre, droit, 250mm	10	PHYWE – 36701-68
Bouchon caoutchouc, d 32/26mm, 1 trou	5	PHYWE – 39258-01
Capuchon caoutchouc	10	PHYWE – 02615-03
Erlenmeyer col large DURAN, 100 mL	5	PHYWE – 36428-00
Tuyau de silicone, d.i. 7 mm	10 m	PHYWE – 39296-00

Exercice

Modifier la pression sur un volume d'air enfermé dans un tube en U et mesurer le déplacement des colonnes de liquide qui en résulte.

Matériel

Pied variable	02001.00	1
Tige support 600 mm	02037.00	1
Tige support 250 mm	02031.00	1
Tube en verre 250 mm, 2 pièces	36701.68	(1)
Tube souple en PVC, dia. int. 7 mm	03985.00	2
Support de tube en verre	05961.00	1
Bécher 100 ml, en plastique	36011.01	1
Seringue 20 ml, 1 pièce	02591.03	(1)
Capuchon, 1 pièce	02615.03	(1)
Mesure 2 m	09936.00	1
Pied à coulisse	02011.00	1
Glycérine 250 ml	30084.25	1

Montage

- Monter l'assemblage selon la figure 1 avec le tube en U et le mètre, la longueur du tube doit être d'au moins 1,5 m.
- Fixer le tube en U en haut de la tige support.
- Utiliser un peu de glycérine pour assembler les tubes en verre et le tube souple.
- Remplir le tube en U avec de l'eau à l'aide de la seringue sans piston, jusqu'à ce que les deux tubes en verre soient remplis à moitié.

- Fermer le tube en verre de gauche avec un capuchon.
- Régler le tube en U de façon que le niveau d'eau soit le même dans les deux branches.
- Marquer le niveau d'eau du tube gauche avec un crayon feutre.

Réalisation

- Mesurer la hauteur h de la colonne d'air au-dessus du repère sur le tube de verre gauche (figure 2.1) et noter la valeur.

Baisse de pression dans le volume d'air enfermé:

- Sortir le tube de verre de son support et le descendre progressivement jusqu'au sol.

- Pour chaque hauteur h_1 (distance entre le niveau d'eau et le repère dans le tube de gauche, voir figure 2.1), noter la hauteur h_2 (distance des niveaux dans le tube droit et gauche). Mesurer 6 couples de valeurs et les noter dans le tableau 1.

Augmentation de la pression dans le volume d'air:

- Remettre le tube de verre droit dans sa fixation et sortir le tube gauche.

- Descendre le tube progressivement jusqu'au sol et mesurer 6 couples de valeurs h_1, h_2 comme indiqué sur la figure 2.2.

Avec le pied à coulisse, mesurer le diamètre intérieur des tubes de verre, et noter les valeurs.

Mesurer la pression d'air p_0 ou la demander au professeur. S'il n'est pas disponible, utiliser $p_0 = 1013 \text{ hPa}$.

Fig. 1

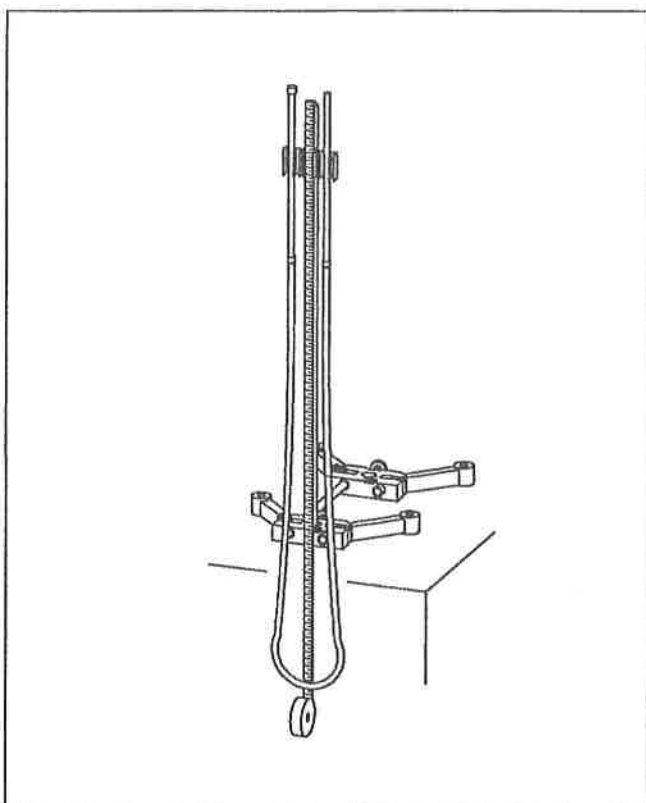
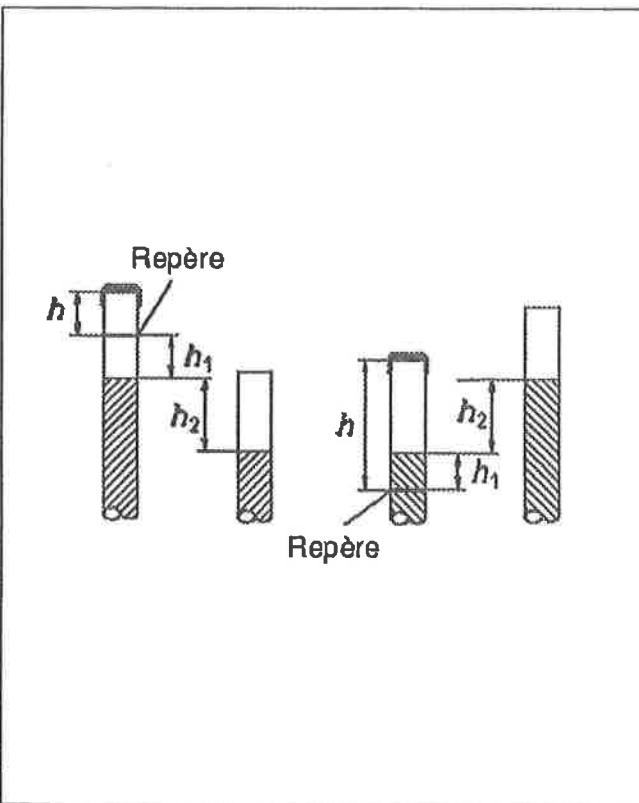


Fig. 2.1
Baisse de pression

Fig. 2.2
Augmentation de pression



Résultats de mesures

$h = \dots\dots\dots$ cm

$d_i = \dots\dots\dots$ mm

$p_0 = \dots\dots\dots$ hPa

Tableau 1, Baisse de pression

h_1/cm	h_2/cm	V/cm^3	p/hPa	$pV/hPa \cdot cm^3$

Tableau 2, Augmentation de pression

h_1/cm	h_2/cm	V/cm^3	p/hPa	$pV/hPa \cdot cm^3$

Exploitation

1. Baisse de pression

1.1 Calculer le volume de gaz enfermé avec les hauteurs $h_1 + h$ selon $V = \pi r^2 (h + h_1)$.

$r^2 = d_i^2/4, \pi = 3,14.$

1.2 Calculer la pression du volume de gaz enfermé avec

$p = p_0 - h_2 \cdot g \cdot \rho$ avec $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ et $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$

1.3 Calculer les produits $p \cdot V$ et compléter le tableau 1. Arrondir à un chiffre avant la virgule.

2. Augmentation de la pression

2.1 Calculer $V = \pi r^2 (h - h_1)$.

2.2 Calculer la pression du volume des gaz enfermés avec $p = p_0 + h_2 \cdot g \cdot \rho$.

2.3 Calculer les produits $p \cdot V$ et compléter le tableau 2. Arrondir à un chiffre avant la virgule.

3. Reporter tous les couples de valeur de la pression p et du volume V dans un diagramme (figure 3).

4. Quelle est la forme de la courbe?

Fig. 3

.....

.....

.....

.....

.....

5. Observer les valeurs pour $p \cdot V$ dans les tableaux 1 et 2, que peut-on constater?

.....

.....

.....

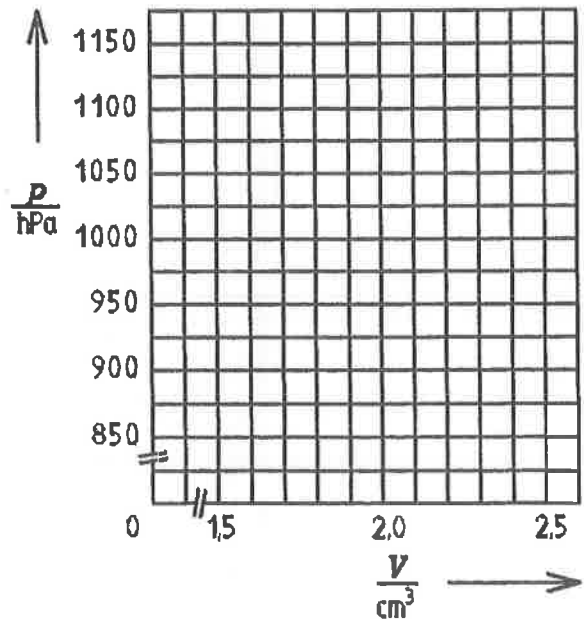
.....

6. Indiquer la relation entre p et V en une formule:

.....

.....

.....



(Quel est le rapport entre pression et volume d'une quantité de gaz enfermé?)

A l'aide d'un tube en U, réalisé avec un tuyau souple et des tubes en verre, les élèves doivent prouver que le produit de pression et de volume est constant pour une quantité de gaz également constante. Pour cela, ils mesurent la différence de hauteur entre les niveaux d'eau pour une baisse ou une augmentation de pression, et ils démontrent la relation par calcul et par représentation graphique.

Remarque

- Il est indispensable d'utiliser toute la hauteur jusqu'au sol dans les deux cas, pour que les changements de volume et de pression soient suffisamment grands afin de pouvoir démontrer réellement la loi de Boyle-Mariotte.
- La pression d'air atmosphérique p_0 doit être lue par les élèves sur un baromètre présent ou être indiqué par le professeur. Si cela n'est pas possible, utiliser la valeur de 1013 hPa.
- La valeur numérique de la pression d'air en hPa et en mbar est la même. L'indication en hPa ou N/m^2 correspond au système SI $1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$.

Résultats de mesures

$h = 8,7 \text{ cm}$; $d_i = 5,4 \text{ mm}$; $p_0 = 998,6 \text{ hPa}$
Tableau 1, Baisse de pression

h_1/cm	h_2/cm	V/cm^3	p/hPa	$pV/\text{hPa} \cdot \text{cm}^3$
0	0	1,99	998,6	1987
0,3	23	2,06	976,0	2010
0,6	57	2,1	929,9	1979
0,8	70	2,17	924	2017
1,0	103	2,22	897,5	1992
1,6	137,7	2,35	863,5	2029

Tableau 2, Augmentation de pression

h_1/cm	h_2/cm	V/cm^3	p/hPa	$pV/\text{hPa} \cdot \text{cm}^3$
0,1	30	1,96	1028,0	2014
0,2	48	1,94	1045,6	2028
0,4	70	1,90	1067,2	2027
0,6	102	1,85	1098,6	2032
1,0	152	1,76	1147,7	2019
1,2	157	1,74	1152,6	2005

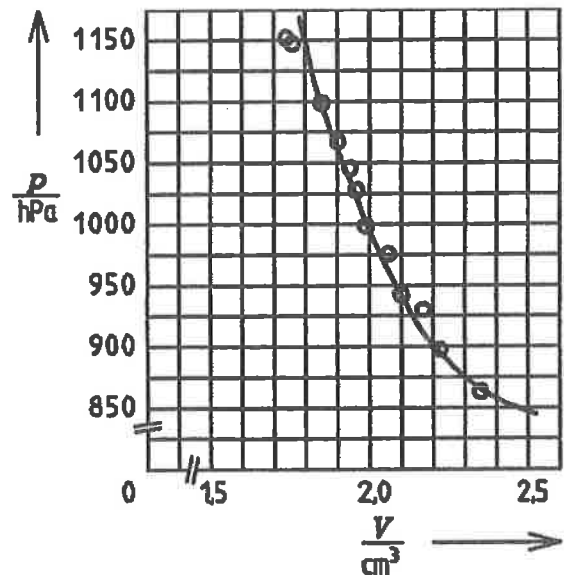
Exploitation

1. Voir tableau 1.
2. Voir tableau 2.
3. Voir figure 3.
4. La courbe est presque une droite, plus précisément: elle est la partie d'une hyperbole: $p = C/V$.
5. Le produit $p \cdot V$ est identique pour toutes les valeurs de mesure, mises à part des légères déviations par des erreurs de mesure de l'ordre de grandeur $\pm 2\%$.
6. $p \cdot V = \text{const.}$

Remarque

Le résultat $p \cdot V$, la loi de Boyle-Mariotte n'est valable que pour $T = \text{const.}$, donc pour une température constante. Dans les conditions d'essai, la température peut être considérée comme constante, les résultats sont valides pour la température ambiante.

Fig. 3



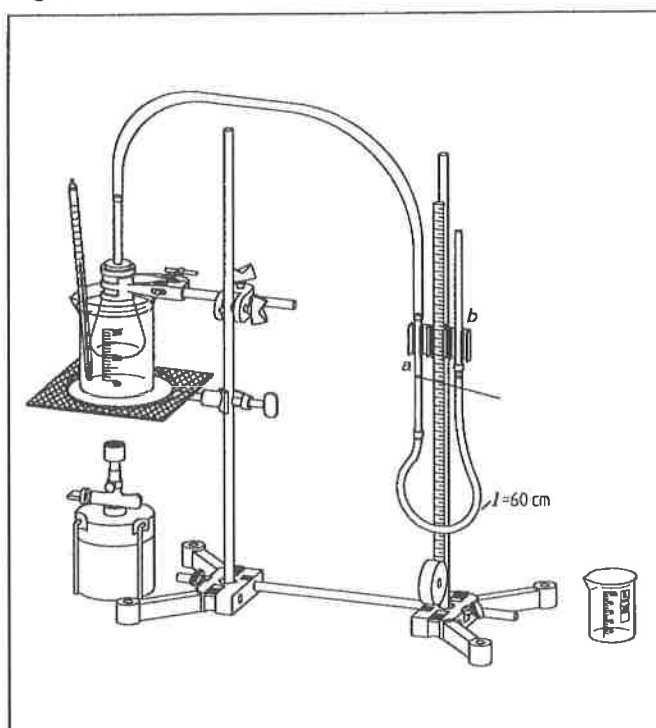
Exercice

Mesurer la dilatation d'un volume d'air lorsque la température augmente sous une pression constante (égale à la pression d'air atmosphérique).

Matériel

Pied variable	02001.00	1
Tige support, 250 mm	02031.00	1
Tige support, 600 mm	02037.00	2
Noix double	02043.00	1
Support de tube de verre	05961.00	1
Anneau support avec noix	37704.01	1
Grille avec céramique	33287.01	1
Pince universelle	37715.00	1
Tige agitatrice	04404.10	1
Bécher 100 ml, plastique	36011.01	1
Bécher, 400 ml	36014.00	1
Fiole Erlenmeyer, 100 ml, SB29	36428.00	1
Tube en verre, 80 mm, 1 pièce du jeu	36701.65	(1)
Tube en verre, 250 mm, 2 pièces du jeu	36701.68	(1)
Bouchon en caoutchouc SB 29, 1 trou	39258.01	1
Tuyau de silicone transparent, 7 x 1,5	39296.00	1
Thermomètre d'élèves, T100, -10...+110 °C	38005.10	1
Mesure, 2 m	09936.00	1
Brûleur butane	32178.00	1
Cartouche de butane, 1 du lot	32178.01	(1)
Glycérine 250 ml	30084.25	1
Allumettes		
Feutre		
Ciseaux		

Fig. 1



Attention

1. Toujours introduire le thermomètre ou le tube en verre à l'aide d'une goutte de glycérine dans le bouchon en caoutchouc.
2. Pour remplir le manomètre, on utilise le petit bécher. L'eau est plus facile à verser dans le tuyau souple que dans le tube en verre. Il est donc recommandé d'utiliser un petit morceau de tuyau souple placé sur le tube en verre pour faciliter le remplissage.
3. L'anneau et la grille deviennent très chauds lorsqu'on chauffe l'eau.

Montage

- Réaliser le montage selon la figure 1.
- Serrer le mètre dans le support du tube
- Réaliser un manomètre en forme de U avec les deux tubes en verre de 250 mm et un morceau de tuyau souple (d'environ 60 cm). Fixer les deux branches dans le support de tubes à des hauteurs différentes (Fig. 1).
- Remplir le manomètre avec le petit bécher jusqu'à ce que le niveau d'eau dans la branche „b“ soit juste en-dessous du tube en verre (environ 0,5 cm).
- Introduire le petit tube en verre dans le bouchon en caoutchouc et fermer l'Erlenmeyer soigneusement avec ce dernier.
- Placer l'Erlenmeyer dans le bécher et le tenir avec la pince universelle de façon à ce qu'il y entre aussi profondément que possible.
- Remplir ensuite le bécher de 400 ml complètement avec de l'eau.
- Avec le tuyau souple, relier le tube en verre placé dans le bouchon avec la branche „a“ du manomètre (fig. 1).

Réalisation

- Noter la température initiale de l'eau dans le bécher.
- Régler les niveaux d'eau dans les branches „a“ et „b“ à la même hauteur (pression dans l'Erlenmeyer identique à la pression atmosphérique).
- Repérer le niveau dans la branche „a“ avec un feutre.
- Chauffer brièvement l'eau (environ 15 sec.). Enlever le brûleur (la température doit seulement augmenter d'environ 1 °C).
- Agiter soigneusement une à deux minutes jusqu'à ce que la température de l'air dans l'Erlenmeyer soit la même que pour l'eau.
- Noter la température de l'eau dans le tableau.
- Régler le niveau à la même hauteur (abaisser la branche „b“) dans les deux branches du manomètre.
- Mesurer la distance Δl sur la branche „a“ entre le repère et le niveau d'eau. Noter la valeur dans le tableau.
- Chauffer l'air par essais brefs et relever d'autres valeurs Δl en fonction de la température.

(Comment un volume d'air varie-t-il avec la température?)

L'augmentation de la température d'un volume d'air peut conduire à l'augmentation de son volume mais aussi de sa pression.

Dans cet essai, la pression est maintenue constante. Pour ce faire, on règle le niveau d'eau dans les deux branches du manomètre à la même hauteur, avant de lire la variation de volume.

Dans l'exercice complémentaire, on calcule le coefficient de dilatation cubique et on le compare avec la valeur réciproque de la température absolue.

Remarques pour montage et réalisation

1. Le bouchon doit être bien introduit dans l'Erlenmeyer, pour que l'air ne puisse pas s'échapper pendant les mesures.
2. Au début, les deux branches du manomètre doivent être fixées à différentes hauteurs, pour pouvoir régler le niveau d'eau à la même hauteur en déplaçant les branches.
3. Le manomètre doit être rempli lentement pour éviter la formation de bulles d'air : utiliser pour cela le petit bécher. Pour faciliter le remplissage, poser un morceau de tuyau souple sur le tube en verre.
4. Pour obtenir suffisamment de points de mesures, la variation de température ne doit pas dépasser 1 °C : il faut donc chauffer très brièvement.
5. Le contact thermique entre le thermomètre et l'air étant très mauvais, on mesure la température dans l'eau. Ceci nécessite un échange de chaleur suffisant entre l'eau et l'air dans l'Erlenmeyer (remuer et attendre).

Observations et résultats

Température initiale $\vartheta_0 = 24\text{ °C}$

$\vartheta / \text{°C}$	$\Delta l / \text{cm}$	$\Delta \vartheta / \text{°C}$	$\Delta V / \text{cm}^3$
25	1,7	1	0,33
26	4,1	2	0,81
27	6,3	3	1,24
28	8,8	4	1,73
29	10,6	5	2,08
30	12,2	6	2,40
31	14,1	7	2,77
32	15,8	8	3,10

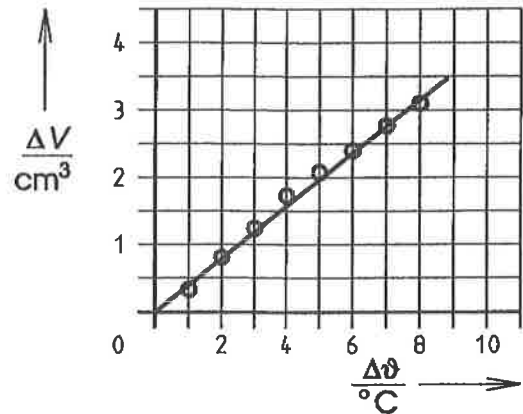


Fig. 2

Exploitation

1. Voir tableau
2. Voir tableau
3. Voir figure 2.
4. Le volume augmente avec la température. La relation mesurée est à peu près linéaire (voir également l'exercice complémentaire).

Exercice complémentaire

1. Volume d'air V_0 dans l'Erlenmeyer
 $V_0 = 126\text{ ml}$
 Le volume compris dans le tuyau n'est pas pris en compte, car celui-ci n'est pas chauffé.
2. Le coefficient de dilatation cubique devrait être calculé d'après la pente de la droite, mais il est également possible d'utiliser la valeur moyenne :
 $\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta \vartheta$
 $\gamma = 3,2 \cdot 10^{-3} / \text{°C}$
3. Température initiale ϑ_0 en Kelvin
 $T_0 = 297\text{ K}$
 $1/T_0 = 3,4 \cdot 10^{-3} / \text{K}$
 Le comportement de l'air en fonction de la température est décrit par l'équation d'état du gaz parfait :
 $p_0 \cdot V_0 / T_0 = p_1 \cdot V_1 / T_1$
 Pour une pression constante ($p_1 = p_0$), on obtient :
 $V_1 - V_0 = (T_1 - T_0) \cdot V_0 / T_0$
 Le coefficient de dilatation cubique est donc identique à la valeur réciproque de la température absolue.
 $\gamma = 1/T_0$

Exercice

Mesurer l'augmentation de la pression d'un volume d'air, si la température augmente et le volume est maintenu constant.

Matériel

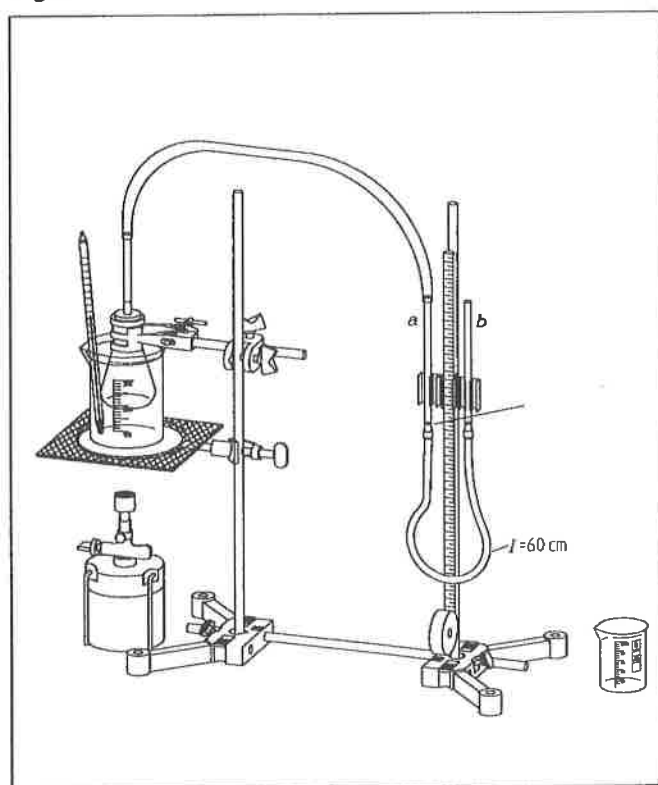
Pied variable	02001.00	1
Tige support, 250 mm	02031.00	1
Tige support, 600 mm	02037.00	2
Noix double	02043.00	1
Support de tube de verre	05961.00	1
Anneau support avec noix	37704.01	1
Grille avec céramique	33287.01	1
Pince universelle	37715.00	1
Tige agitatrice	04404.10	1
Bécher 100 ml, plastique	36011.01	1
Bécher, 400 ml	36014.00	1
Flûte erlenmeyer, 100 ml, SB29	36428.00	1
Tube en verre, 80 mm, 1 pièce du jeu	36701.65	(1)
Tube en verre, 250 mm, 1 pièce du jeu	36701.68	(1)
Bouchon en caoutchouc SB 29, 1 trou	39258.01	1
Tuyau de silicone transparent, 7 x 1,5	39296.00	1
Thermomètre d'élèves, T100, -10...+110 °C	38005.10	1
Mesure, 2 m	09936.00	1
Brûleur butane	32178.00	1
Cartouche de butane, 1 du lot	32178.01	(1)
Glycérine 250 ml	30084.25	1

Allumettes

Ciseaux

Feutre

Fig. 1



Attention !

1. Toujours introduire le thermomètre ou le tube en verre dans le bouchon en caoutchouc avec une goutte de glycérine !
2. Utiliser le petit bécher pour remplir le manomètre. L'eau peut être versée plus facilement dans le tuyau souple que dans le tube en verre : utiliser un petit morceau du tube souple posé sur le tube en verre pour faciliter l'opération.
3. L'anneau et la grille deviennent très chauds lorsqu'on chauffe l'eau !

Montage

- Réaliser le montage selon figure 1.
- Fixer le mètre dans le support de tube.
- Réaliser un manomètre en forme de U avec les deux tubes en verre de 250 mm et un morceau de tuyau souple (60 cm), le fixer dans le support de tubes, les deux branches à la même hauteur (Fig. 1).
- Avec le petit bécher, verser de l'eau dans le manomètre jusqu'à ce que le niveau dans les branches „a” et „b” soit juste à 1 cm.
- Introduire le petit tube en verre dans le bouchon et fermer l'Erlenmeyer soigneusement avec celui-ci.
- Placer l'Erlenmeyer dans le bécher et le tenir avec la pince universelle, de façon à ce qu'il y entre aussi profondément que possible.
- Remplir le bécher complètement avec de l'eau.
- Avec un tuyau souple, relier le tube en verre dans le bouchon avec la branche „a” du manomètre (fig. 1).

Réalisation

- Noter la température initiale ϑ_0 de l'eau dans le bécher.
- Mettre les niveaux dans les branches „a” et „b” à la même hauteur (Pression initiale = pression atmosphérique).
- Repérer le niveau d'eau dans la branche „a” avec un feutre.
- Chauffer l'eau un court instant (environ 15 sec) et enlever le brûleur ensuite (la température ne doit monter que de seulement 1 °C).
- Agiter l'eau environ 1 à 2 min pour que la température de l'air dans l'Erlenmeyer s'approche de celle de l'eau.
- Noter la température de l'eau dans le tableau.
- Abaisser la branche „a” jusqu'à ce que le niveau d'eau soit de nouveau sur le repère.
- Mesurer la distance Δl entre les deux niveaux d'eau dans les branches du manomètre, noter la valeur dans le tableau.
- Continuer de chauffer l'air par étapes successives et relever d'autres valeurs de Δl en fonction de la température.

(Comment la pression d'un volume d'air évolue-t-elle si sa température augmente?)

L'augmentation de la température d'un volume d'air défini peut conduire à une augmentation du volume, mais aussi à une augmentation de la pression.

Dans cet essai, on maintient le volume constant. Le niveau initial de l'eau dans la branche „a“ est repéré et le niveau d'eau réglé sur cette marque avant la lecture de la pression.

Dans l'exercice complémentaire, on calcule le coefficient de tension-pression qui est comparé ensuite avec la valeur réciproque de la température absolue.

Remarques pour montage et réalisation

1. Le bouchon doit être posé fermement sur l'Erlenmeyer pour que l'air ne puisse s'échapper lors des mesures.
2. Au début, les branches du manomètre doivent se trouver à la même hauteur, elles sont fixées en bas des tubes en verre.
3. Le manomètre doit être rempli lentement pour éviter la formation de bulles d'air. Pour faciliter l'opération, monter un petit morceau de tube souple sur les tubes et utiliser un petit bécher.
4. Pour obtenir un nombre suffisant de valeurs de mesures, l'augmentation de la température doit être d'environ 1°C, il ne faut donc chauffer que très brièvement.
5. Le contact thermique entre le thermomètre et l'air étant mauvais, on mesure la température de l'eau. Ceci nécessite un échange de chaleur complet entre l'eau et l'air dans l'Erlenmeyer (remuer et attendre).

Observations et résultats

Température initiale $\vartheta_0 = 23^\circ\text{C}$

$\vartheta / ^\circ\text{C}$	$\Delta l / \text{cm}$	$\Delta \vartheta / ^\circ\text{C}$	$\Delta p / \text{hPa}$
24	3,1	1	3,1
25	6,9	2	6,9
26	10,3	3	10,3
27	12,5	4	12,5
28	15,6	5	15,6

Exploitation

1. Voir tableau
2. Voir tableau
3. Voir fig. 2
4. La pression augmente avec la température. Leur relation est à peu près linéaire (voir également exercice complémentaire).

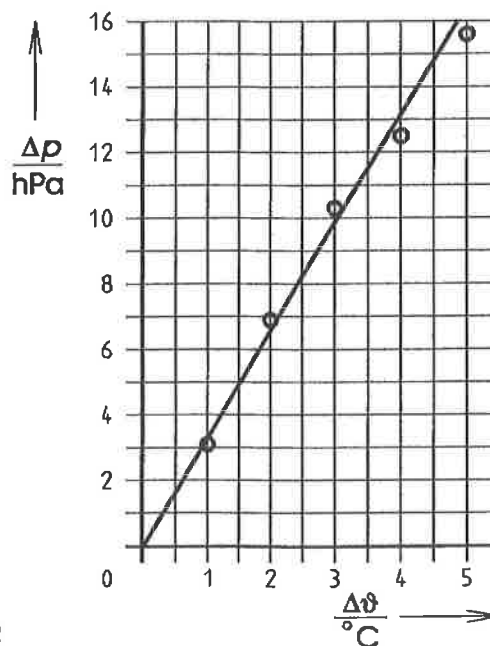


Fig. 2

Exercice complémentaire

1. $p_0 = 1013 \text{ hPa}$
2. Le coefficient tension-pression devrait être calculé à partir de la pente de la droite, mais on peut également utiliser la valeur moyenne.

$$\Delta p = \beta \cdot p_0 \cdot \Delta \vartheta$$

$$\beta = 3,2 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$$
3. Le comportement de l'air pour une augmentation de la température est décrit par l'équation d'état du gaz parfait.
 $T_0 = 296 \text{ K}$
 $1/T_0 = 3,4 \cdot 10^{-3} / \text{K}$
 Pour un volume constant ($V_1 = V_0$), on obtient :

$$p_1 - p_0 = (T_1 - T_0) \cdot p_0 / T_0$$

 Le coefficient de tension-pression est donc égal à la valeur réciproque de la température absolue.

$$\beta = 1/T_0$$