

Vitesse du son dans l'air

MESURE DES DUREES DES IMPULSIONS SONORES DANS UN TUBE DE KUNDT.

- Mesure de la durée t d'une impulsion acoustique dans l'air à température ambiante en fonction de l'écart s entre deux sondes microphoniques.
- Confirmation du rapport linéaire entre s et t .
- Mesure de la durée t d'une impulsion acoustique dans l'air à température ambiante en fonction de la température T avec un écart fixe entre deux sondes microphoniques.
- Détermination de la vitesse du son (vitesse de groupe) en fonction de la température.
- Comparaison avec le résultat du théorème de Laplace.

UE1070310

06/16 UD

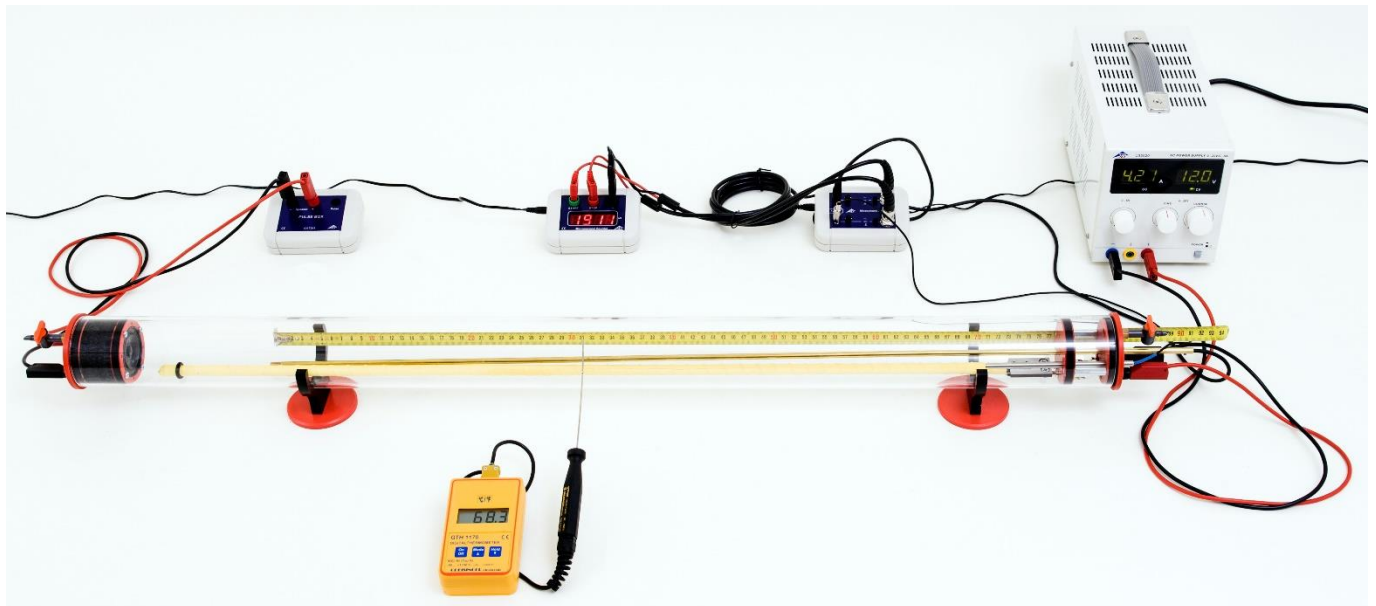


Fig. 1: Agencement de la mesure.

NOTIONS DE BASE GENERALES

Les ondes sonores sont des ondes élastiques se propageant dans des fluides déformables. Leur vitesse dépend des propriétés élastiques du fluide. Dans les gaz simples, ils se propagent exclusivement sous la forme d'ondes longitudinales, la vitesse de groupe coïncidant avec la vitesse de phase.

Selon le théorème de Laplace, les ondes sonores dans les gaz sont considérées comme des modifications adiabatiques

de la pression / de la densité. Pour la vitesse du son, on obtient

$$(1) \quad c = \sqrt{\frac{C_p}{C_v} \cdot \frac{p}{\rho}}$$

p : pression, ρ : densité,
 C_p , C_v : capacités calorifiques du gaz

Pour un gaz idéal de température absolue T :

$$(2) \quad \frac{p}{\rho} = \frac{R \cdot T}{M}$$

$R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{Mol} \cdot \text{K}}$: constante de gaz universelle,

M : masse molaire

Par conséquent, la vitesse du son est égale à

$$(3) \quad c = \sqrt{\frac{C_p}{C_v} \cdot \frac{R \cdot T}{M}}$$

Pour les différences de température ΔT pas trop élevées en comparaison avec une température de référence T_0 , la vitesse du son dépend linéairement du changement de température ΔT :

$$(4) \quad c = \sqrt{\frac{C_p}{C_v} \cdot \frac{R \cdot T_0}{M}} \cdot \left(1 + \frac{\Delta T}{2 \cdot T_0}\right)$$

En choisissant de l'air sec comme gaz idéal, on trouve souvent l'indication suivante pour la vitesse du son :

$$(5) \quad c(T) = \left(331,3 + 0,6 \cdot \frac{\Delta T}{\text{K}}\right) \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$T_0 = 273,15 \text{ K} = 0^\circ\text{C}$$

LISTE DES APPAREILS

1	Tube de Kundt E	1017339 (U8498308)
1	Générateur d'impulsions K	1017341 (U8498281)
1	Sonde microphone, longue	1017342 (U8498282)
1	Sonde microphone, courte	4008308 (U8498307)
1	Amplificateur de microphone @230V	1014520 (U8498283-230)
ou		
1	Amplificateur de microphone @115V	1014521 (U8498283-115)
1	Compteur de microsecondes @230V	1017333 (U8498285-230)
ou		
1	Compteur de microsecondes @115V	1017334 (U8498285-115)
1	Thermoplongeur K	1017340 (U8498280)
2	Cordons HF BNC / douille 4 mm	1002748 (U11257)
1	Alimentation CC 0-20 V, 0-5 A @230V	1003312 (U33020-230)
ou		
1	Alimentation CC 0-20 V, 0-5 A @115V	1003311 (U33020-115)
1	Thermomètre de poche numérique ultra-rapide	1002803 (U11853)
1	Sonde de mesure par immersion NiCr-Ni de type K -65 – 550°C	1002804 (U11854)
1	Paire de cordons de sécurité, 75 cm	1002849 (U13812)

En plus recommandé:

Différents gaz techniques

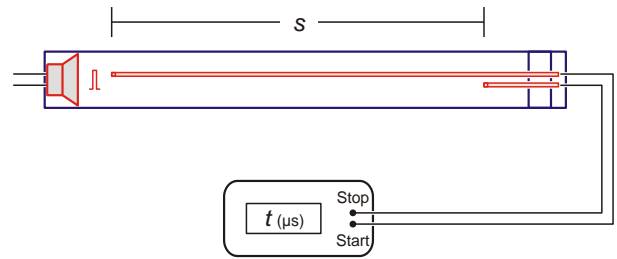


Fig. 2: Représentation schématique du montage expérimental.

MONTAGE

- Mettre le tube acoustique en place à l'aide des pieds (fig. 1).
- Insérer le bouchon avec les douilles de connexion pour le haut-parleur dans le tube acoustique.
- Enficher la cartouche chauffante K dans le bouchon avec les douilles de connexion pour cartouche chauffante et l'insérer dans le tube acoustique.

Note:

Le cas échéant, appliquer un peu de glycérine ou de savon dans les bagues étanches pour faciliter l'insertion.

- Introduire les sondes microphoniques à travers les perforations jusqu'en butée dans le bouchon et dans la rondelle de guidage.
- Fixer la graduation déplaçable dans le support des pieds.
- Brancher le boîtier d'impulsions à la paire de douilles pour alimenter le haut-parleur. Observer la puissance maximale du haut-parleur ($U_{\text{eff}} = 6 \text{ V}$). Régler les sorties sur Trigger, régler le gain pour les deux canaux au centre.
- Brancher le bloc d'alimentation CC aux douilles de connexion pour la cartouche chauffante.
- Brancher la sonde microphone longue à l'entrée du canal A de l'enceinte à microphone et la sonde microphone courte à l'entrée du canal B.
- Brancher la sortie du canal A au moyen du câble d'adaptation BNC / 4 mm à l'entrée Start du compteur microsecondes. (prise 4 mm rouge dans la douille verte, prise 4 mm noire dans la douille de masse noire).
- Brancher la sortie du canal B à l'entrée Stop du compteur. (prise rouge dans la douille rouge, prise noire sur le côté, dans la première prise noire).
- Brancher les blocs d'alimentation enfichable au compteur de microsecondes et au boîtier microphone et les raccorder au secteur.

Note:

En cas d'expériences réalisées avec des gaz techniques, remplir les tubes acoustiques par le biais des raccords de tuyau. Observer l'orientation des robinets en fonction de la densité du gaz.

REALISATION

Durée du son dans l'air à température ambiante

- À l'aide de la graduation déplaçable, régler un écart de 750 mm entre la sonde microphonique longue et la sonde microphonique courte. L'écart correspond juste au parcours du son. Inscrive la valeur dans le Tab. 1.
- Déclencher une impulsion acoustique avec le boîtier à impulsions et lire sur le compteur de microsecondes le temps de propagation acoustique entre la sonde longue et la sonde courte. Le temps correspond juste à la durée du son. Inscrive la valeur dans le tab. 1.

Note:

L'impulsion sonore résulte du mouvement brusque d'une membrane de haut-parleur qui est commandé par une impulsion de tension à flanc raide. La mesure de durée à haute résolution avec le compteur de microsecondes démarre lorsque l'impulsion sonore atteint la sonde microphonique longue et s'arrête lorsque la sonde microphonique courte se situant dans un écart s est atteinte.

- Régler d'autres écarts en retirant successivement la sonde microphonique longue, répéter la mesure et inscrire à chaque fois les valeurs pour le parcours et la durée dans la Tab. 1.

Durée du son dans l'air en fonction de la température

- Régler l'écart fixe $s = 600$ mm entre la sonde microphonique longue et la sonde microphonique courte.
- Brancher la sonde immergée au thermomètre de poche, la faire passer dans le tube acoustique à travers la perforation et la placer au centre du tube.
- À l'aide de la cartouche chauffante qui est branchée au bloc d'alimentation CC, réchauffer l'air dans le tube acoustique à 50 °C.
- Lors du refroidissement à température ambiante par ex. en pas de 50 °C, mesurer la durée du son comme décrit plus haut. Inscrive les valeurs pour la température et la durée du son dans le tab. 2.

Note:

La température ne doit pas dépasser 50°C.

Pendant la phase de refroidissement, la répartition de la température est suffisamment homogène. Aussi suffit-il de mesurer la température à un seul point dans le tube de Kundt.

Une olive de tuyau permet d'introduire d'autres gaz techniques que de l'air dans le tube de Kundt.

EXEMPLE DE MESURE ET EVALUATION

Tab. 1:Parcours s et durée du son t dans l'air à température ambiante

s / mm	$t / \mu\text{s}$
750	2150
600	1720
450	1295
300	858
150	431

Tab. 2:Durée du son t et vitesse du son c dans l'air en fonction de la température T . Parcours $s = 600$ mm.

$T / \text{°C}$	$t / \mu\text{s}$	$c / \text{m/s}$
50,0	1668	359,7
45,0	1681	356,9
40,0	1694	354,2
35,0	1707	351,5
30,0	1720	348,8
26,1	1731	346,6
22,4	1742	344,4

Durée du son dans l'air à température ambiante

- Représenter dans un diagramme les durées mesurées t par rapport aux écarts réglés s (Fig. 3).
- Adapter une droite $t = a \cdot s$ aux points de mesure.

La vitesse du son correspond à la valeur inverse de la pente de droite a :

$$(6) \quad c = \frac{1}{a} = \frac{1}{2,868} \frac{\text{mm}}{\mu\text{s}} = 348,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La valeur correspond très bien à la valeur théorique $c = 346,4 \text{ m/s}$ à $T = 25\text{°C}$.

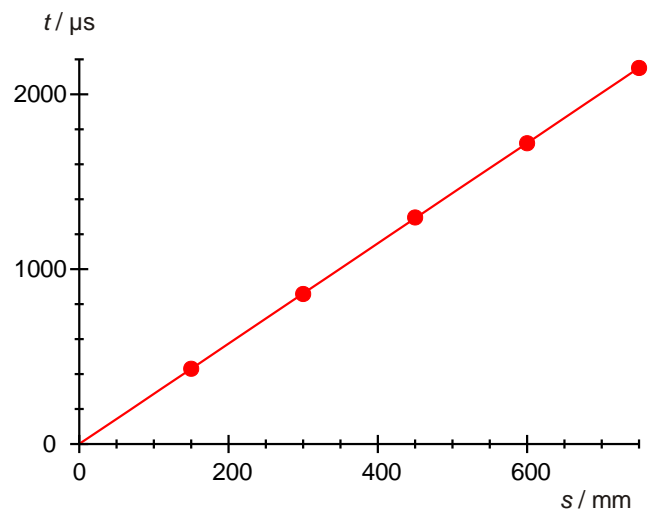


Fig. 3: Durée du son t dans l'air en fonction du parcours s à température ambiante.

Durée du son dans l'air en fonction de la température

- Calculer la vitesse du son pour chaque température à partir du quotient

$$(7) \quad c = \frac{s}{t}$$

du parcours s et de la durée t (Tab. 2) et noter les valeurs dans le tableau 2.

- Représenter dans un diagramme les durées du son c par rapport aux températures T (Fig. 4).
- Calculer le rapport entre la température et la vitesse du son avec les paramètres

$$(8) \quad M = 28,97 \frac{\text{g}}{\text{Mol}} \quad \text{et} \quad \frac{C_p}{C_v} = \frac{7}{5}$$

selon les équations (3) et (5), puis inscrire les valeurs dans le diagramme $c(T)$ (Fig. 4).

Les points de mesure sont bien décrits par l'équation (3) avec les paramètres (8). La description approximative par l'équation (5) présente en revanche une divergence.

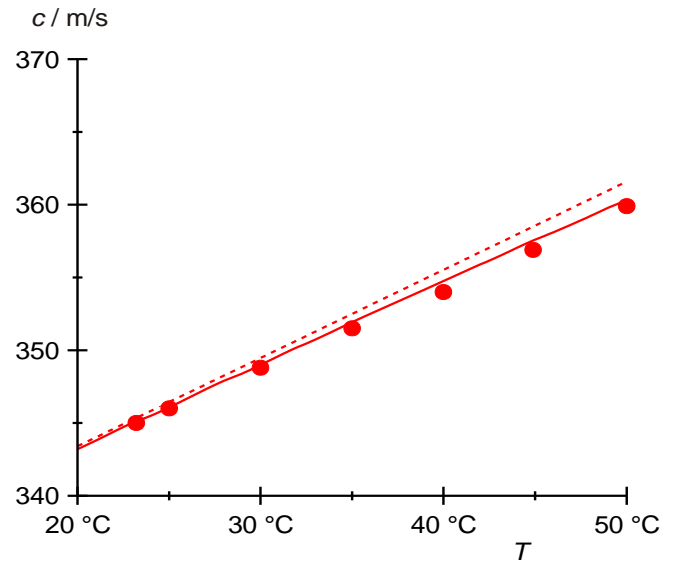


Fig. 4: Vitesse du son c dans l'air en fonction de la température T .

Ligne continue : calculée avec l'équation 3,

Ligne discontinue : calculée avec l'équation 5.