

O expoente adiabático do ar

DETERMINAÇÃO DO EXPOENTE ADIABÁTICO C_p/C_v DO AR SEGUNDO RÜCHARDT.

- Medição da duração da oscilação do pistão de alumínio.
- Determinação da pressão de equilíbrio em volume enclausurado de ar.
- Determinação do expoente adiabático do ar e comparação com o valor de literatura.

UE2040200

03/15 UD

FUNDAMENTOS GERAIS

Em uma disposição clássica segundo Rüchardt, o expoente adiabático do ar pode ser determinado a partir das oscilações verticais de um pistão que repousa em tubo com perfil constante sobre volume de ar e o encerra na parte superior. Um deslocamento do pistão do repouso gera uma pressão positiva ou negativa no volume de ar que retorna o pistão ao ponto de repouso. A força de retorno é proporcional ao deslocamento do repouso; portanto, o pistão oscila harmonicamente.

Por não ocorrer troca de calor com o ambiente, as oscilações são conectadas às alterações adiabáticas de estado. Entre a pressão p e o volume V do ar enclausurado, existe a relação

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

O expoente adiabático γ , nisto, é a relação das capacidades térmicas específicas sob pressão constante C_p e volume constante C_v :

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

De (1), conclui-se, para as alterações de pressão e volume Δp e ΔV

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

Através da inserção da área interna de perfil A do tubo, é possível calcular a força de retorno ΔF a partir da alteração da pressão e o deslocamento Δs do pistão em relação ao repouso.

Assim, resulta

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

E, finalmente, como equação de movimento para o pistão oscilante

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

m : massa do pistão

As soluções desta clássica equação de movimento de um oscilador harmônico são oscilações com duração

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

a partir da qual é possível calcular o coeficiente adiabático, se as outras grandezas forem conhecidas.

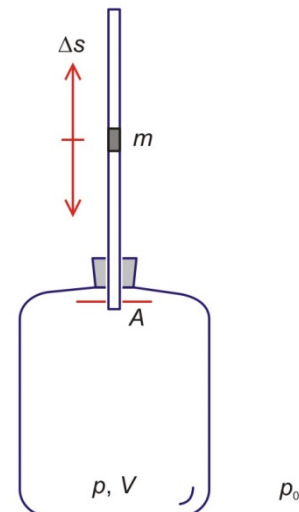


Fig. 1: Representação esquemática da disposição de medição.

Na experiência, coloca-se um tubo de vidro de precisão com pequeno perfil A perpendicularmente no tampão de borracha perfurado de uma garrafa de vidro com grande volume V e permite-se que um cilindro de alumínio adequado com massa conhecida m deslize no tubo de vidro como pistão. O cilindro de alumínio realiza oscilações harmônicas sobre a almofada de ar formada pelo volume de ar enclausurado. A partir da duração da oscilação do cilindro de alumínio, é possível calcular o expoente adiabático.



Fig. 2: Disposição de medição.

LISTA DE APARELHOS

1	garrafa de Mariotte	1002894
1	tubo de oscilação	1002895
1	cronômetro mecânico, 15 min	1003369
1	bomba de vácuo manual	1012856

Adicionalmente recomendados para a medição da pressão externa do ar, diâmetro interno do tubo de oscilação e massa do cilindro de alumínio:

1	barômetro aneroide F	1010232
1	paquímetro, 150 mm	1002601
1	balança eletrônica 200 g	1003433

EXECUÇÃO

- Determinar pressão do ar, diâmetro interno do tubo de oscilação, massa do cilindro de alumínio e volume da garrafa de Mariotte.
- Inserir um dos dois tampões cônicos de borracha do tubo de oscilação com o diâmetro maior à frente na abertura cônica do tampão de borracha da garrafa de Mariotte e apertar levemente. Assim se evita que o cilindro de alumínio caia na garrafa.
- A garrafa de Mariotte deveria ser adicionalmente equipada com um descanso de borracha ou similar, para evitar danos, tanto à garrafa quanto ao cilindro de alumínio, caso o cilindro de alumínio caia, mesmo assim, na garrafa.
- Colocar o tubo de oscilação sobre a garrafa de Mariotte, dispor perpendicularmente, se for o caso, fixar em suporte.
- Conectar uma das aberturas da mangueira comprida (850 mm, 6,5 mm de diâmetro interno) do fornecimento da bomba de vácuo manual na torneira de 3 vias da mangueira de Mariotte. Fechar a torneira de 3 vias.
- Limpar o cilindro de alumínio com um pano livre de fiapos e um pouco de gasolina e inseri-lo reto no tubo de oscilação e deixar cair com a torneira de 3 vias fechada. Segurar o cilindro de alumínio somente no cabo para evitar impurezas.
- Medir o tempo de cinco oscilações com o cronômetro mecânico. Iniciar a medição do tempo no momento em que o cilindro de alumínio for freado pela primeira vez e se encontrar no ponto mais profundo. Parar a medição de tempo no momento em que o cilindro de alumínio tiver alcançado o ponto mais profundo pela sexta vez.
- Abrir a torneira de 3 vias com cuidado, de forma que o cilindro de alumínio possa deslizar lentamente para o tampão de borracha no fundo do tubo de oscilação.
- Conectar a bomba de vácuo manual sobre a mangueira na torneira de 3 vias da garrafa de Mariotte. Bombear o cilindro de alumínio para cima do tubo de oscilação com a torneira aberta e retirá-lo. Atentar para que o cilindro de alumínio não caia e seja danificado.
- Retirar o cilindro de alumínio completamente do tubo de oscilação e restabelecer, assim, a pressão do ar no sistema. Fechar novamente a torneira de 3 vias e separar a bomba de vácuo manual da mangueira.
- Realizar nove outras medições.

Orientação importante: a qualidade das medições depende das condições a seguir:

- O tubo de oscilação precisa estar extremamente limpo. Se for o caso, limpar o tubo de oscilação com papel de seda.
- O cilindro de alumínio também precisa estar extremamente limpo. A menor sujeira, como depósitos de gordura da pele, leva a forte atrito. Por isso, sempre limpar o cilindro de alumínio antes de cada medição com pano livre de fiapos e um pouco de gasolina.

- As menores deformações do cilindro de alumínio (por exemplo, causadas por uma queda) afetam a medição adversamente.
- O tubo de oscilação precisa estar disposto perpendicularmente.
- Todos os tampões de borracha precisam fechar de forma estanque.
- E medição do tempo precisa ser realizada cuidadosamente, pois a duração da oscilação integra a equação de medição (8) ao quadrado (vide exemplo de medição e avaliação).
- O diâmetro interno do tubo de oscilação precisa ser medido de forma muito precisa, pois o raio integra a equação de medição (8) através do perfil interno A à quarta potência.

EXEMPLO DE MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO

Pressão externa do ar p_0 :	1018mbar
Diâmetro interno d_i do tubo de oscilação:	16 mm
Massa m do cilindro de alumínio:	15,2 g
Volume V_0 da garrafa de Mariotte:	10400cm ³

Duração T_5 de 5 períodos de oscilação (10 medições):

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

Valor médio da duração T_5 de 10 medições: 5,225 s

Duração da oscilação T : 1,045 s

A pressão de equilíbrio p resulta da pressão externa do ar p_0 e a pressão que o cilindro de alumínio em repouso exerce sobre o ar enclausurado.

$$(7) \quad p = p_0 + \frac{m \cdot g}{A}, \quad g: \text{aceleração da gravidade.}$$

O volume de equilíbrio V corresponde ao volume V_0 da garrafa de Mariotte, pois o volume do tubo de oscilação pode ser desprezado.

Para a determinação do expoente adiabático, conclui-se de (6):

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

O valor medido corresponde muito bem ao valor teórico $\gamma = 7/5 = 1,4$ para uma molécula de dois átomos com 3 graus de liberdade de translação e 2 de rotação.

