UNIVERSIDADE DA MADEIRA

TERMODINÂMICA E TEORIA CINÉTICA

T5 - Constante adiabática do ar e fricção no interior dos gases

1. OBJECTIVOS

Determinar a razão $\gamma = C_p/C_v$ para o ar e verificar a existência de fricção no interior dos gases.

2. INTRODUÇÃO TEÓRICA

Quando se comprime rapidamente um gás, ele comporta-se como uma mola e o objecto compressor oscila em torno de uma posição de equilíbrio. Se a frequência de oscilação for bastante rápida para que a compressão e descompressão correspondentes sejam consideradas adiabáticas, pode-se determinar γ.

Considere-se um gás num balão que tem uma rolha (figura 1) através da qual passa um tubo de vidro com um orifício de área A, e que k é a compressibilidade adiabática (ou seja, a variação relativa de volume por unidade de aumento da pressão). Admite-se que a esfera desliza com pouco atrito.

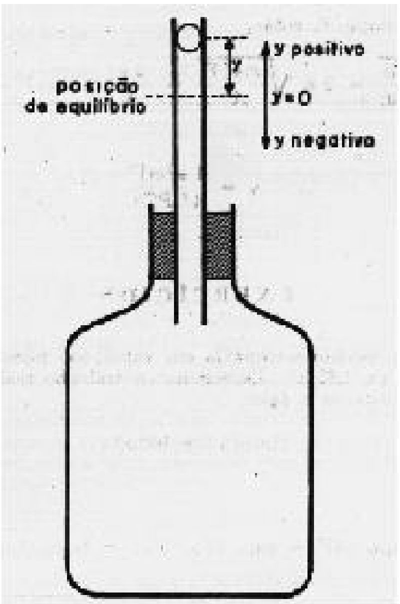

Fig. 1.

Num processo adiabático (em que não há trocas de calor com o exterior), $PV^\gamma = const$ (dedução em anexo), logo

$$d(PV^\gamma) = 0 \tag{2.1}$$

$$V^\gamma dP + \gamma V^{\gamma-1} P dV = 0 \tag{2.2}$$

$$\frac{dV}{dP} = -\frac{V}{\gamma P} \tag{2.3}$$

$$\frac{dV}{dP} = -k_0 V \tag{2.4}$$

onde $k_0 = \frac{1}{\gamma P}$.

A partir de (2.4), obtem-se:

$$dP = -\frac{dV}{k_0 V} = -\frac{Ady}{k_0 V} \tag{2.5}$$

Por outro lado, $dF = AdP$, sendo F a força que comprime o gás.

Logo, tem-se:

$$dF = -\frac{A^2}{k_0 V}dy = -qdy, \tag{2.6}$$

onde $q = \frac{A^2}{k_0 V}$.

Esta força que actua no corpo compressor de massa m, comunicando-lhe uma aceleração $\ddot{y}$. Então

$$m\ddot{y} = -qy. \tag{2.7}$$

O período de oscilação (tempo de uma oscilação completa) é dado por:

$$T_p = 2\pi\sqrt{\frac{m}{q}} = 2\pi\sqrt{\frac{mk_0 V}{A^2}} = \frac{2\pi}{A}\sqrt{mk_0 V} = \frac{2\pi}{A}\sqrt{\frac{mV}{\gamma p}} \tag{2.8}$$

Em equilíbrio, a pressão no interior do balão é dada pela Lei Fundamental da Hidroestática:

$$p = p_0 + \frac{mg}{A} \tag{2.9}$$

Para determinar o γ do gás em estudo, basta calcular

$$\gamma = \frac{4\pi^2 mV}{A^2 p T_p^2} \tag{2.10}$$

No caso desta experiência, o gás utilizado (o ar) é considerado um gás ideal diatómico.

Se retirar ar de um recepiente, o número de moléculas do gás irá diminuir, desta forma o livre percurso médio das moléculas residuais irá aumentar. Nestas condições a esfera de aço irá cair com menor atrito e com isso a sua velocidade irá aumentar. Quanto maior for o livre percurso médio das moléculas, menor é a fricção interna do gás. Logo, se aumentar o livre percurso médio das moléculas no espaço que rodeia a esfera e as paredes de vidro, a fricção entre as paredes do vidro e a esfera irá diminuir drásticamente.

3. MATERIAL NECESSÁRIO

1. Garrafão de vidro
2. Esfera
3. Tubo de vidro
4. Cronómetro
5. Balança
6. Régua
7. Craveira
8. Rolha
9. Rolha com furo no centro
10. Bomba de vácuo

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1. 1^a Parte

1. Monte os materiais de acordo com a figura 1.
2. Coloque a esfera no ponto mais alto do tubo e largue-a.
3. Verifique que a esfera tem um movimento harmónico amortecido.
4. Faça todas as medições necessárias para determinar o valor da constante adiabática do ar.
5. Repita esta experiência as vezes que achar necessárias.
6. Compare o valor experimental com o valor esperado.

4.2. 2^a Parte

1. Tapar um lado do tubo com uma rolha.
2. Inserir a esfera dentro do tubo mantendo o tubo na horizontal.
3. Tapar o outro lado do tubo com uma rolha com um buraco no meio onde esta inserido a bomba de vacuo.
4. Colocar o tubo na vertical e observe o que acontece à velocidade da esfera para 5 pressões diferentes.

5. QUESTIONÁRIO

TURMA: ___________ GRUPO: ___________ DATA: _____________

5.1. 1^a Parte

1. Calcule o valor γ para o gás estudado e compará-lo com o valor da literatura.
2. Qual é o erro associado ao valor de γ calculado?
3. Analise o método experimental utilizado, tentando explicar de que depende o resultado.

5.2. 2^a Parte

1. Represente o tempo de queda em função da pressão.
2. Que conclusões pode retirar do gráfico anterior?

ANEXO

Quando um sistema é isolado termicamente do exterior

$$dQ = 0. \tag{5.1}$$

Pela 1ª Lei da Termodinâmica

$$\begin{aligned} dQ &= dU + PdV = 0 & (5.2) \\ dU &= -PdV & (5.3) \end{aligned}$$

Mas

$$dU = C_v dT \tag{5.4}$$

e

$$P = \frac{RT}{V}. \tag{5.5}$$

Substituindo (5.4) e (5.5) em (5.3), fica

$$\begin{aligned} C_v \frac{dT}{T} &= -R\frac{dV}{V} & (5.6) \\ \ln T &= -\frac{R}{C_v} \ln V + const & (5.7) \end{aligned}$$

Como

$$R = C_p - C_v \qquad \text{(Relação de Mayer)} \tag{5.8}$$

tem-se que

$$\frac{R}{C_v} = \gamma - 1 \tag{5.9}$$

Modificando (5.6) e utilizando (5.9), obtem-se:

$$\begin{aligned} \ln(TV^{\gamma-1}) &= const & (5.10) \\ TV^{\gamma-1} &= const. \quad \text{(Fórmula de Poisson)} & (5.11) \end{aligned}$$

Se tivermos dois estados (T_1, V_1) e (T_2, V_2), vem que

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \tag{5.12}$$

Pela Lei dos Gases Perfeitos

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \tag{5.13}$$

de onde decorre que

$$P_1 V_1^{\gamma} = P_2 V_2^{\gamma}. \tag{5.14}$$