Experimento 7

MEDIDA DA RAZÃO C_p/C_V

1. Introdução

Um importante parâmetro termodinâmico de uma substância é a razão entre seus calores específicos à pressão e a volume constantes, C_p e C_v, respectivamente, denominada de razão γ. Em um sistema físico contendo um gás em que são estabelecidos três estados termodinâmicos distintos e em seqüência, a razão γ para o gás pode ser determinada através de medidas simples, relacionadas apenas com a pressão.

Esse método é empregado neste experimento para a determinação de γ para o ar. A Fig. 1 mostra o sistema físico que será usado, cujos elementos principais são um bulbo de vidro de aproximadamente dois litros, uma seringa e um tubo capilar de vidro com água. O volume do sistema é variado pela compressão, ou expansão, feita com o êmbolo da seringa, e a pressão é medida pela altura, h, da água no capilar.

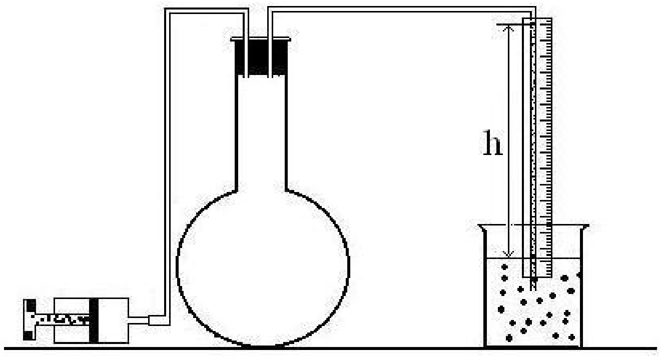

Figura 1. Dispositivo de Clément e Désormes para a medida de γ.

Para obter a relação entre γ e as pressões, considere inicialmente o esquema da Fig. 2, que representa os três estados de equilíbrio do sistema e as transformações entre eles. Nessa figura, os símbolos P, V e T se referem à pressão, volume e temperatura, e os índices 1, 2 e 3 aos estados inicial intermediário e final. A transformação $1 \rightarrow 2$ é *adiabática*, *i. e.*, se processa sem troca de calor com o meio ambiente. Como o isolamento térmico de nosso sistema é precário, consegue-se realizar um processo que é *aproximadamente* adiabático fazendo-se uma transformação rápida de volume, isto é, deslocando-se rapidamente o êmbolo da seringa. Assim não há quase tempo para troca de calor na passagem de um estado para o outro. Na transformação adiabática, demonstra-se que PV^{γ} = constante.

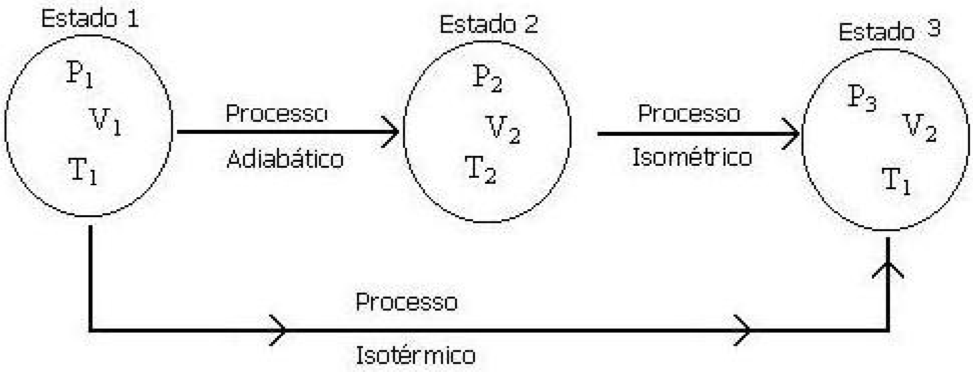

Figura 2. Representação esquemática das transformações entre os estados 1, 2 e 3.

A transformação 2→3, é *isométrica*, ou à volume constante, e durante a mesma a temperatura evolui de T_2 para $T_3 = T_1$, isto é, volta à temperatura ambiente. Finalmente, podemos considerar também a transformação 1→3, que é *isotérmica*.

Considerando as transformações 1→2 e 1→3, poderemos estabelecer o seguinte sistema de equações:

$$1 \to 2 : \; P_1 V_1^{\gamma} = P_2 V_2^{\gamma}$$
$$1 \to 3 : \; P_1 V_1 = P_3 V_2$$

a partir do qual se deduz a expressão

$$\ln(P_2/P_1) = \gamma \ln(P_3/P_1) \qquad (1)$$

Em qualquer estado, a pressão do bulbo pode ser definida por

$$P_i = P_0 - \rho\, g\, h_i \qquad (2)$$

onde i = 1, 2 ou 3, e P_0, ρ, g e h_i são, respectivamente, a pressão atmosférica, a densidade da água, a aceleração da gravidade e a altura da água no capilar conforme indicado na Fig. 1.

Substituindo-se a eq. (2) na eq. (1) e lembrando que $\ln(1 + x) \approx x$ para $x \ll 1$, obtem-se

$$h_2 - h_1 = \gamma\,(h_3 - h_1) \qquad (3)$$

Esta última equação é notável pela sua simplicidade. Apesar das variáveis V e T estarem envolvidas no problema, elas não aparecem na expressão final. Outra vantagem da eq. (3) é não depender explicitamente da pressão, uma vez que medidas diretas da pressão são bem mais difíceis de fazer ou requerem equipamentos bem mais complexos que os aqui usados.

2. Objetivo

O objetivo deste experimento é determinar γ para o ar usando a eq. (3).

3. Material

Dispositivo para medida de γ completo, com bulbo, tubo capilar graduado, seringa e bequer com água.

4. Procedimento

Prepare o seu sistema de tal forma que o nível de água fique à meia altura no capilar e que o êmbolo se situe aproximadamente no meio da seringa.

Faça alguns experimentos iniciais para estabelecer os tempos necessários para estabilizar os níveis de água no capilar depois das variações de volume.

As variações de volume do gás devem ser rápidas mas suficientemente lentas para que o nível de água não oscile excessivamente no capilar gerando energia cinética cuja dissipação acarretará aumento de temperatura. Cuidado também para não passar água para o balão.

Através de vários experimentos em que você realiza as seqüências $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$, registre para cada seqüência os valores h_1, h_2 e h_3. Lance esses valores em um gráfico tal que os pontos experimentais possam ser ajustados por uma reta cujo coeficiente angular forneça o valor de γ.

5. Análise dos dados

Interprete o seus resultados analisando primeiramente a distribuição de pontos no gráfico e comparando-a com aquela esperada pela teoria.

A partir do gráfico, deduza o valor de γ e determine seu desvio padrão.

Procure em algum texto de Física o valor de γ esperado para o ar. Seu resultado está de acordo com esse valor? Se há discrepância, quais as possíveis causas?

Se você tivesse feito a experiência com argônio, ao invés de ar, que resultado esperaria para γ? E se fossem N_2 ou O_2? Comente suas respostas.

Explique *exatamente* porque, se no processo adiabático você puxar o êmbolo, a temperatura cai.

Partindo da eq. (1) demonstre que

$$\ln[(1 - x_2)/(1 - x_1)] = \gamma \ln[(1 - x_3)/(1 - x_1)]$$

onde $x_i = \rho\, g\, h_i/P_0$. Explique a seguir porque $\rho\, g\, h_i/P_0 << 1$ e use essa propriedade para chegar à eq (3).

BIBLIOGRAFIA

1. D. Halliday e R, Resnick, *Fundamentos de Física*, Vol. 2, Livros Técnicos e Científicos Editora, 1993, seções 21.8 até 21.11, pp. 214-218.
2. F.W. Sears e M. Zemansky, *Física*, Vol. 2, seções 19.9 à 19.13.
3. I. Estermann (ed.), *Methods of Experimental Physics*, *Vol. 1, Classical Methods*, pp. 272-279.