

Experiência: Transformações Adiabáticas

Transformações adiabáticas são extremamente importantes em diversas aplicações tecnológicas (motores de combustão, refrigeradores, condicionadores de ar, ...). Quando um gás se expande *adiabaticamente* – isto é, *sem trocar calor com a vizinhança* – ele realiza trabalho sobre a vizinhança, diminuindo sua energia interna e a sua temperatura. Quando é comprimido adiabaticamente, a vizinhança realiza trabalho sobre o gás, aumentando sua energia interna e sua temperatura. Uma transformação adiabática pode ser realizada em uma câmara isolada termicamente ou, também, realizando uma mudança rápida no volume do gás.

Durante a transformação adiabática a pressão p e o volume V se relacionam de acordo com:

$$pV^\gamma = \text{constante}, \quad \gamma = \frac{c_p}{c_v},$$

onde c_p e c_v são os respectivos calores específicos molares a pressão e a volume constantes.

Esta experiência tem por objetivo a determinação da constante γ para o ar através de uma expansão adiabática, utilizando o *método de Clement & Désormes*.

Equipamento

Determinaremos o valor de γ com o auxílio de um recipiente metálico contendo ar. A pressão do ar no interior do recipiente será medida com o auxílio de um manômetro de água. Uma bomba permitirá introduzir mais ar no recipiente, e uma válvula permitirá igualar a pressão no interior do recipiente com a pressão atmosférica.

Procedimento

A introdução rápida do ar no recipiente metálico, com auxílio da bomba, comprime adiabaticamente o ar que já se encontra no interior do recipiente; a saída rápida do ar do recipiente, quando a válvula é aberta, permite que o ar no interior do recipiente se expanda adiabaticamente.

Iniciaremos o experimento igualando a pressão no interior do recipiente com a pressão atmosférica (p_0). A temperatura no interior do recipiente será igual à temperatura ambiente (T_0), pois as paredes do recipiente são de metal, ótimo condutor de calor; se porventura a temperatura fosse diferente, bastaria esperar algum tempo para que o equilíbrio térmico ocorresse. Experimentalmente sabemos que a pressão no interior é igual à pressão atmosférica se as superfícies livres das colunas de água no manômetro estiverem no mesmo nível (vide a figura 1). O ar contido no recipiente estará ocupando o volume V_0 .

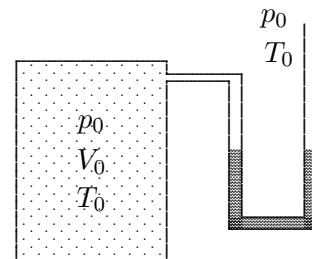


Figura 1.

Em seguida introduziremos ar com auxílio da bomba (não representada na figura), e o sistema atingirá um estado em que a temperatura (T_1) e a pressão (p'_1) terão valores superiores aos valores externos. O ar *inicialmente contido no recipiente* ocupará agora um volume menor (V_1). O sistema se apresentará como na figura 2.

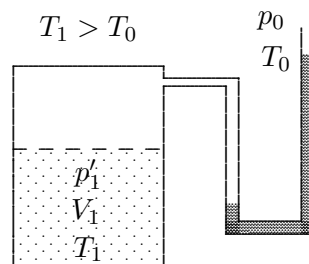


Figura 2.

Aguardaremos algum tempo para que a temperatura no interior do recipiente volte a ser igual à temperatura externa (T_0). Durante este processo a pressão no interior do recipiente diminuirá, atingindo finalmente uma pressão p_1 maior do que a pressão atmosférica (p_0) mas menor do que p'_1 ; o volume permanecerá constante (V_1). Observamos, nesse processo, o desnível entre as colunas de água no manômetro diminuindo, estabilizando-se, finalmente, de acordo com a figura 3.

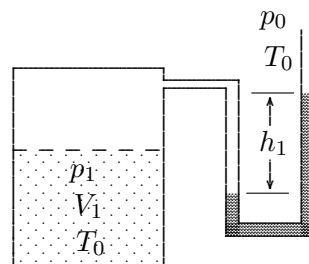


Figura 3.

Realizaremos então a medida da pressão p_1 ; para tanto mediremos o desnível h_1 em milímetros. A pressão será:

$$p_1 = p_0 + \frac{h_1}{13,6} \quad (1)$$

onde p_0 é a pressão atmosférica em *milímetros de Hg*.

Em seguida, abriremos a válvula na parte superior do recipiente (não representada nas figuras) por um pequeno intervalo de tempo, fechando-a tão logo o manômetro mostre que a pressão no interior é igual à atmosférica. Esta expansão, por ser rápida, é *adiabática*. O ar *inicialmente contido no recipiente* passa agora a ocupar um volume V_2 , maior que V_1 ; a temperatura T_2 será então menor do que a externa. O sistema se apresentará de acordo com a figura 4.

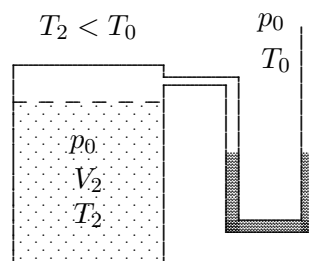


Figura 4.

Sendo a temperatura menor no interior, entrará calor no recipiente, e o sistema se apresentará de acordo com a figura 5, pois quando a temperatura for novamente igual à externa, como o volume V_2 não mais variou (a válvula estava fechada durante a entrada de calor no recipiente), a pressão (p_2), que mediremos, será mais elevada que a atmosférica,

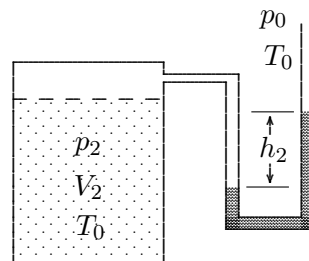


Figura 5.

$$p_2 = p_0 + \frac{h_2}{13,6} \quad (\text{em mm de Hg}). \quad (2)$$

O ar no recipiente nos estados representados pelas figuras 1, 3 e 5 estará sempre à mesma temperatura T_0 ; em um diagrama p versus V , os pontos que representam os três

estados do gás *inicialmente contido no recipiente* estarão sobre a mesma isoterma. Desta forma valem as seguintes relações:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 = p_0 V_0. \quad (3)$$

A transformação que conecta os estados representados pelas figuras 3 e 4 é *adiabática*. Vale, portanto,

$$p_1 V_1^\gamma = p_0 V_2^\gamma. \quad (4)$$

De (4) obtém-se

$$\frac{p_0}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma, \quad (5)$$

ao passo que de (3),

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{p_2}{p_1}, \quad (6)$$

de modo que, substituindo (6) em (5), obtém-se

$$\frac{p_0}{p_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^\gamma. \quad (7)$$

Aplicando o logaritmo à relação (7), isolando γ , usando (1) e (2) e levando em conta que $\frac{h_1}{13,6} \ll p_0$ e $\frac{h_2}{13,6} \ll p_0$, como será verificado experimentalmente, chega-se finalmente a

$$\gamma = \frac{\ln \left(\frac{p_0}{p_1} \right)}{\ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right)} \cong \frac{h_1}{h_1 - h_2}. \quad (8)$$

De (8) constatamos que, medindo-se três pressões ou, para um valor aproximado, duas pressões manométricas, podemos enfim determinar γ . Você deverá medir as pressões p_1 e p_2 realizando a seqüência de operações proposta anteriormente; repita três vezes essas medidas. A pressão atmosférica p_0 será obtida com um barômetro em *milímetros de Hg*.

- Calcule o valor de γ nas três situações e obtenha o valor médio.
- Represente os estados do gás, *inicialmente no interior do recipiente*, correspondentes às figuras 1 a 5 em um diagrama $p \times V$. Conecte estes 5 pontos por curvas que melhor representem as transformações efetuadas com o gás.
- Assinale no diagrama os dois pontos que são utilizados no cálculo da constante γ .
- Discuta seu resultado à luz da Teoria Cinética dos Gases Ideais.

Bibliografia

AXT, R., GUIMARÃES, V. H. *Física experimental I e II*: manual de laboratório. Porto Alegre. 2.ed. Ed. da Universidade-UFRGS, 1991.