

A lei de Boyle–Mariotte

1 Objectivos

1. Efectuar medições de pressão dum gás.
2. Verificação da lei de Boyle–Mariotte.

2 Introdução

O facto de um gás poder preencher qualquer volume, de acordo com o recipiente onde está encerrado, só é explicável se considerarmos que as forças de atracção entre os átomos ou moléculas constituintes do gás são desprezáveis, e que as moléculas podem dirigir-se em qualquer direcção, independentemente umas das outras. No entanto, só se pode admitir a independência das várias partículas partindo do princípio de que as únicas interacções possíveis entre elas são choques elásticos, isto é, choques onde há conservação de momento linear e de energia cinética. Os gases dizem-se, então, ideais.

É evidente que as partículas constituintes do gás colidem entre elas e com as paredes do recipiente onde estão contidas. Ao colidirem com as paredes do recipiente, elas vão exercer uma força na parede. A força total exercida na parede por unidade de área chamamos pressão. Assim podemos concluir que a pressão exercida por um gás resulta das colisões das partículas constituintes do gás com as paredes do recipiente onde está contido. Um aumento de energia cinética (aumento de temperatura) originará colisões mais intensas e mais frequentes, traduzindo-se numa maior pressão.

Outro modo de aumentar a pressão consiste em diminuir o volume onde está contido o gás, mantendo constante a temperatura. Deste modo, o tempo médio entre colisões das partículas com as paredes diminui, portanto o número de colisões por unidade de tempo—e consequentemente a pressão—aumenta.

Neste trabalho vamos observar a variação do volume V do gás quando se varia a pressão P , mantendo constante a temperatura. Nestas condições é válida a lei de Boyle–Mariotte,

$$PV = C, \quad (1)$$

onde C é uma constante (igual a nRT para um gás ideal).

3 Material

A parte principal do dispositivo que vamos utilizar é constituída por um tubo em U (ver Figura 1). À direita deste tubo, e ligado a ele, existe um cilindro contendo água com um corante. Neste cilindro existe um êmbolo que permite introduzir ou retirar água com corante do tubo em U. A parte da esquerda, com 600 mm de altura, tem, na sua extremidade superior, uma torneira de vidro. A parte da direita tem uma altura de 1,200 m, encontrando-se aberto na parte superior.

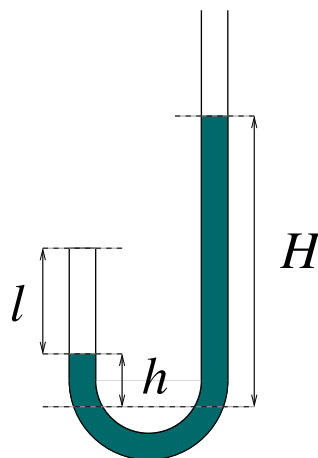


Figura 1: Tubo em U para a verificação da lei de Boyle–Mariotte.

Para introduzir água com corante no tubo em U deverá descer o êmbolo do cilindro, por intermédio do parafuso correspondente. Junto ao tubo em U existem duas escalas. A escala do lado esquerdo permite medir a altura l de ar encerrado na parte esquerda do tubo, altura essa que é proporcional ao volume V , uma vez que a área A da secção do tubo é constante. As variações de pressão deverão ser medidas utilizando a escala do lado direito. Os valores absolutos da pressão exercida no gás encerrado no tubo da esquerda podem ser determinados desde que se conheça a pressão atmosférica e a densidade da água.

4 Realização experimental

4.1 Procedimento

1. Abra a torneira, localizada na parte mais elevada do lado esquerdo do tubo em U. A torneira da parte inferior deve ser mantida sempre aberta, de modo a não passar ar para o reservatório existente no lado esquerdo do tubo. Rode o êmbolo para fazer água com corante entrar no tubo em U, mas evite a formação de bolhas de ar. O nível da água deverá ser o mesmo nos dois ramos.
2. Leia a altura da água nos dois ramos do tubo em U, utilizando a escala do lado direito.
3. Feche a torneira existente na parte superior do tubo do lado esquerdo. O volume de ar que se encontra entre a água e a torneira que acabou de fechar estará encerrado no tubo à pressão atmosférica.
4. Desça o êmbolo. O ar no lado esquerdo será comprimido, e a pressão a que ele vai ficar submetido é igual à pressão atmosférica mais a pressão manométrica, traduzida pela

diferença de nível, $H - h$, entre os dois lados do tubo em U e medida na escala do lado direito. Nestas condições é válida a relação

$$P = p_a + (H - h)\rho g, \quad (2)$$

sendo P a pressão do ar no tubo, p_a a pressão atmosférica, H a altura da água no tubo da direita, h a altura da água no tubo da esquerda (ambas as alturas são medidas na escala da direita), ρ a densidade da água e g a aceleração gravítica.

Repare que os valores de $(H - h)$ podem ser positivos ou negativos, pois a pressão a que está submetido o ar pode ser superior ou inferior à pressão atmosférica.

5. Anote o valor l da altura de ar aprisionado no tubo da esquerda, e os valores da altura da água nos dois ramos do manómetro, lida na escala da direita.
6. Movimente o êmbolo do cilindro, de modo a variar a pressão e o volume de ar aprisionado. Anote os valores correspondentes dos níveis da água nos dois lados do tubo em U (faça as duas leituras de H e h , respectivamente, na escala da direita, e a leitura de l na escala da esquerda).
7. Repita o passo anterior até obter, pelo menos, dez volumes diferentes.

4.2 Verificação da lei de Boyle–Mariotte

O volume V do ar fechado no lado esquerdo do tubo não é fácil de determinar. No entanto, podemos admitir que a área de secção A seja uniforme ao longo do tubo. De $PV = C$ e do volume do cilindro de ar $V = Al$ conclui-se que neste caso a lei de Boyle–Mariotte implica

$$Pl = C/A, \quad (3)$$

e é nesta forma que a lei pode ser testada mais facilmente.

A equação (3) pode ser escrita

$$\frac{1}{l} = P \frac{A}{C}, \quad (4)$$

e após substituição da expressão para P da Eq. (2) obtemos

$$\frac{1}{l} = p_a \frac{A}{C} + (H - h)\rho g \frac{A}{C}. \quad (5)$$

Com as definições

$$y \equiv \frac{1}{l}, \quad x \equiv H - h, \quad (6)$$

chegamos a uma relação linear entre os valores de y e x (que correspondem aos valores medidos de l , H e h),

$$y = p_a \frac{A}{C} + \rho g \frac{A}{C} x. \quad (7)$$

A validade desta relação linear depende da validade de lei de Boyle–Mariotte da Eq. (1). Se encontrarmos que os valores medidos (x_i, y_i) caem numa linha reta, podemos concluir que a lei de Boyle–Mariotte é confirmada.

Portanto, faça um gráfico dos pontos medidos (x_i, y_i) , com x na abscissa e y na ordenada, determine a reta que melhor passa pelos pontos através de regressão linear, e inclua esta reta no mesmo gráfico.

A equação da reta tem a forma geral

$$y = a + bx, \quad (8)$$

onde

$$a = p_a \frac{A}{C}, \quad b = \rho g \frac{A}{C}. \quad (9)$$

Com os valores de a e b obtidos pela regressão linear podemos ainda calcular a pressão atmosférica atual p_a . De (9) obtemos

$$p_a = \frac{a}{b} \rho g. \quad (10)$$

No cálculo de p_a utilize para a aceleração gravítica $g = 9.80 \text{ m/s}^2$ e para a densidade da água $\rho = 1.000 \text{ g/cm}^3$. O resultado deve ser dado em unidades SI (cuidado com a conversão!).

Análise de erros: A partir das incertezas σ_a e σ_b que resultam da regressão linear, calcule a incerteza de p_a . Compare também o valor da pressão atmosférica com o valor medido por um observatório meteorológico em Évora na altura da experiência (esta informação está disponível na internet, por exemplo em <http://ipma.pt>).