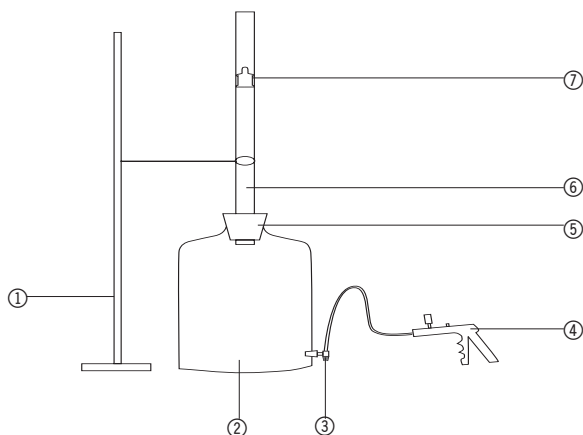


U14328 Tubo de precisão

Instruções para o uso

9/03 ALF



- ① Tripé
- ② Garrafa de Mariotte
- ③ Torneira de 3 vias
- ④ Bomba manual
- ⑤ Tampão
- ⑥ Tubo de precisão
- ⑦ Cilindro de alumínio

O tubo de precisão serve, em associação com a garrafa de Mariotte U14327, para a determinação do expoente adiabático c_p/c_v segundo Rüchardt.

1. Indicações de segurança

- Manusear o tubo de vidro com cuidado. Não submeter a qualquer esforço mecânico. Perigo, eles podem quebrar!
- Garantir uma limpeza extrema tanto do tubo de vidro assim como do cilindro de alumínio, já que mesmo ínfimas impurezas podem levar a um maior atrito.
- Não deixar cair o cilindro de alumínio. Mesmo deformações muito pequenas podem falsear os resultados.

2. Descrição, dados técnicos

O tubo de precisão é fornecido com tampões de borracha em ambas extremidades e um cilindro de alumínio exatamente na sua medida.

Caso se deixar o cilindro deslizar no tubo mantido na vertical e com a extremidade inferior tampada ele descerá lentamente, porque o ar só consegue sair lentamente pelo estreito espaço entre o cilindro e a parede do tubo de vidro. Girando-se o tubo de precisão em 180°, o cilindro comporta-se da mesma forma já que na parte superior do tubo estabelece-se baixa pressão e o ar só pode penetrar no tubo muito lentamente. No terceiro caso, deixa-se o cilindro cair no tubo aberto e tampa-se o ime-

diatamente. O cilindro freia na sua queda e oscila várias vezes para cima e para baixo.

Dimensões: 600 mm x 16 mm \varnothing interno
 Cilindro de alumínio: 15,2 g

2.1 Fornecimento

- 1 Tubo de precisão
- 2 Tampões de borracha
- 1 Cilindro de alumínio

3. Fundamentos teóricos

Símbolos utilizados nas fórmulas:

- m : Massa do cilindro de alumínio
- d : Diâmetro interno do tubo de precisão
- A : Superfície de corte perpendicular do tubo de precisão
- V : Volume do recipiente de medição
- p_L : Pressão do ar
- p : Pressão na garrafa
- g : Aceleração da atração da terra
- n : Número de mol
- R : Constante universal do gás (8,31451 kJ/kmol K)
- T : Temperatura
- T_s : Duração da oscilação
- t : Tempo
- c_p : Calor espec. a pressão constante
- c_v : Calor espec. a volume constante
- χ : c_p/c_v
- ω : Frequência natural

O estado de uma quantidade fechada de um gás ideal pode ser descrito de forma unívoca por meio das grandezas de estado pressão p , Volume V e temperatura T . É válido:

$$pV = nRT \quad (1)$$

Para mudanças de estado sem troca de calor com o ambiente, esta equação pode ser transformada na equação adiabática:

$$pV^\chi = \text{const.} \quad (2)$$

O expoente adiabático χ é a relação da capacidade térmica específica com pressão constante c_p e capacidade térmica específica com volume constante c_v :

$$\chi = \frac{c_p}{c_v} \quad (3)$$

Colocando-se o tubo de vidro na vertical nos tampões de borracha perfurados de uma garrafa de gás com um volume de 10 l e deixando o cilindro de alumínio deslizar no tubo de vidro, este entrará em oscilação harmônica sobre o colchão de ar formado pelo volume de ar enclausurado.

Quando a pressão p na garrafa iguala a soma da pressão originada pela massa do cilindro m e da pressão do ar externo p_L , então o cilindro se encontra em situação de equilíbrio:

$$p = p_L + \frac{mg}{A} \quad (4)$$

Se o cilindro for inclinado para fora do ponto de equilíbrio numa distância s , então p se transforma em Δp e V em ΔV . O cilindro de alumínio é sujeito a uma força de restauração, a qual é proporcional à inclinação. Ele gera oscilações harmônicas sobre o colchão de ar que se encontra debaixo dele. Sendo que o processo oscilatório acontece muito rapidamente, é possível descreve-lo através da modificação adiabática de estado. Por cálculo da derivada dp/dV de (2) e passagem às variações finitas Δp e ΔV obtêm-se

$$\Delta p = -\chi \frac{p}{V} \Delta V \quad (5)$$

Sendo que o cilindro se move numa distância s no tubo de precisão, a variação do volume totaliza

$$\Delta V = As \quad (6)$$

A força contrária

$$F = A\Delta p = -\chi \frac{pA^2}{V} s \quad (7)$$

leva à aceleração periódica do cilindro com a massa m . Conforme ao segundo axioma de Newton é válida a seguinte equação diferencial para $s(t)$

$$\frac{d^2 s}{dt^2} + \chi \frac{pA^2}{V} s = 0 \quad (8)$$

De (8) resulta a frequência natural ω das oscilações harmônicas

$$\omega = \sqrt{\chi \frac{pA^2}{V}} \quad (9)$$

e daí a duração de oscilação T_s

$$T_s = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{mV}{\chi pA^2}} \quad (10)$$

Para a determinação do expoente adiabático χ segue:

$$\chi = \frac{4\pi^2 mV}{A^2 p T_s^2} = \frac{64mV}{T_s^2 d^4 p} \quad (11)$$

4. Utilização

- Determinar a pressão, o diâmetro interno do tubo de precisão, a massa do cilindro de alumínio e o volume do recipiente de medição.
- Colocar o tubo de vidro sobre a garrafa de Mariotte, levar à posição vertical e fixa-los num tripé.
- Na garrafa de Mariotte deveria ser colocada um tapetinho de borracha ou semelhante de forma a evitar a danificação tanto da garrafa como do cilindro quando este cair na garrafa.
- Para simplificar o ensaio, é recomendável a conexão de uma bomba manual com a garrafa de Mariotte pela torneira de 3 vias. O cilindro de alumínio pode desta forma ser elevado no tubo de vidro por bombeamento e assim ser retirado, sem que seja necessário voltar a montar o tubo de vidro para isto.
- Limpar o cilindro de alumínio com um pano que não solte fiapos e um pouco de benzina para a limpeza e logo introduzi-lo no tubo de vidro com a torneira fechada e paralelo ao tubo deixando-o cair. Só pegar no tubo pelo punho de modo a evitar depósitos de impurezas no cilindro.
- Medir 10 vezes com um cronômetro o tempo para cinco oscilações.
- A medição do tempo deve começar quando o cilindro for freiado pela primeira vez e se encontrar no ponto mais baixo. A medição do tempo deve terminar quando o cilindro tiver chegado pela sexta vez no ponto mais baixo.
- Levar o cilindro para cima bombeando por meio da bomba manual e com a torneira aberta. Ao fazê-lo,

prestar atenção para que o cilindro não caia e seja danificado.

- Retirar completamente o cilindro do tubo para assim restabelecer a pressão do ar ambiente no sistema. Voltar a fechar a torneira.
- Efetuar mais nove medições e determinar o valor médio para a duração da oscilação.
- Efetuar o cálculo.

Indicações gerais:

a qualidade das medições depende fortemente das condições seguintes:

- O tubo de precisão deve estar extremamente limpo. Caso seja necessário, limpar o tubo de vidro com papel de seda.
- O cilindro de alumínio também deve estar perfeitamente limpo. Mesmo as mais ínfimas impurezas, como depósitos de gordura dos dedos, levam a forte atrito. Por isso, limpar o cilindro com um pano que não solte fiapos e um pouco de benzina para limpeza antes de cada medição.
- Mesmo as menores deformações do cilindro (por exemplo, resultante de uma queda) prejudicam os resultados.
- O tubo de vidro deve estar colocado em posição vertical.
- Todos os tampões devem ser herméticos ao ar.
- Sendo que o tempo de oscilação integra o resultado ao quadrado, o tempo deve ser medido com muito cuidado.

5. Exemplo de medição

Volume V :	10400 cm ³
Massa m do cilindro:	15,2 g
$\varnothing_{\text{interno}}$ do tubo d :	16 mm
Pressão do ar p_L :	1018 mbar

Tempo t em segundos para 5 oscilações:

5,172
5,276
5,259
5,224
5,305
5,175
5,231
5,241
5,191
5,175

Soma: 52,249

Valor médio: 5,2249

Duração da oscilação T_s : 1,04498 s

Após a aplicação da fórmula (11) obtêm-se:

$$\chi = 1,39$$

Valor teórico:

$$\chi = 1,40$$