

## Expansão térmica de corpos sólidos

### DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE EXPANSÃO DE LATÃO, AÇO E VIDRO

- Medição da expansão térmica do comprimento respectivamente de um tubo de latão, de aço e de vidro.
- Determinação dos coeficientes lineares de expansão destes materiais em comparação com os valores de literatura.

UE2010130

03/16 UD



Fig. 1: Disposição de medição.

### FUNDAMENTOS GERAIS

Em um corpo sólido, cada átomo oscila ao redor de sua posição de equilíbrio. A oscilação não é harmônica, pois a energia potencial aumenta mais intensamente quando dois átomos se aproximam da posição de equilíbrio do que quando se afastam um do outro. Com temperatura mais alta e, com isto, maior energia de oscilação, os átomos, portanto, oscilam de forma que a distância média entre dois átomos avizinados seja maior que a

distância do ponto de equilíbrio. Este efeito aumenta com o aumento da temperatura, por isto, o corpo sólido se expande cada vez mais intensamente com o aumento da temperatura. É comum, neste contexto, observar alterações relativas de comprimento e calcular, a partir delas, as alterações de volume.

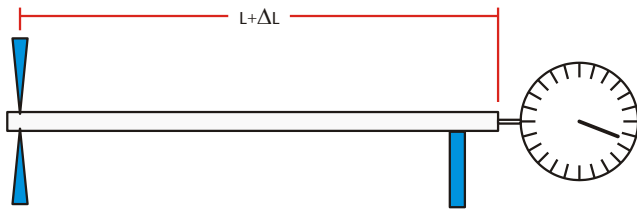


Fig. 2: Representação esquemática da disposição de medição

O coeficiente de expansão linear é definido como

$$(1) \alpha = \frac{1}{L(\vartheta)} \cdot \frac{dL}{d\vartheta}$$

L: Comprimento:

ϑ: Temperatura em °C

Ele é altamente dependente do material e, geralmente, depende pouco da temperatura. Daí se conclui

$$(2) L(\vartheta) = L_0 \cdot \exp(\alpha \cdot \vartheta)$$

$$L_0 = L(0^\circ\text{C})$$

ou seja, com temperaturas não muito altas

$$(3) L(\vartheta) = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \vartheta)$$

Na experiência, são realizadas medições em tubos finos de aço, latão e vidro, através dos quais é passada água quente para o aquecimento. Um termostato circulante provê temperatura constante ajustável da água. Como os tubos estão fixados unilateralmente no aparelho de expansão de comprimento, a expansão do comprimento pode ser lida, por meio do indicador, na outra extremidade perante a temperatura ambiente como temperatura de referência (Fig. 2).

### LISTA DE APARELHOS

- 1 Aparelho de dilatação do comprimento D  
1002977 (U15400)
- 1 Banho e termostato de circulação @230V  
1008654 (U144002-230)
- ou
- 1 Banho e termostato de circulação @115V  
1008653 (U144002-115)
- 1 Relógio de medição com adaptador 1012862 (U8442250)
- 2 Mangueira de silicone, 6 mm 1002622 (U10146)

### MONTAGEM

#### Adaptação do aparelho de expansão de comprimento para indicação em relógio medidor

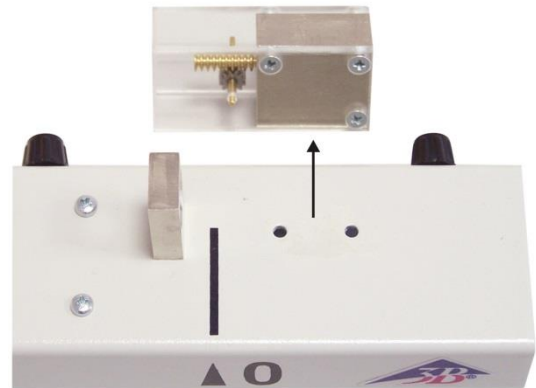


Fig. 3: Retirar a engrenagem para o indicador no aparelho de expansão de comprimento.



Fig. 4: Parafusar o adaptador para o relógio medidor.



Fig. 5: Inserir completamente o relógio medidor no adaptador e fixar com o parafuso de aleta.

#### Inserção dos tubos de teste



Fig. 6: Fixar o suporte com o parafuso borboleta na marcação 600 do aparelho de expansão de comprimento. Colocar o tubo de teste com a extremidade aberta no suporte.



Fig. 7: Colocar o tubo de teste com a extremidade fechada no condutor. Atentar para que o flange aponte para trás.

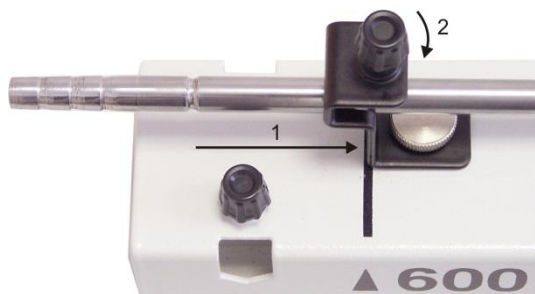


Fig. 8: Empurrar o tubo de teste para a direita até que a ranhura na extremidade aberta apoie no suporte (dica: isto faz com que a ponta de medição seja posta correspondentemente em frente ao relógio medidor). Fixar o tubo de teste no suporte com o parafuso.

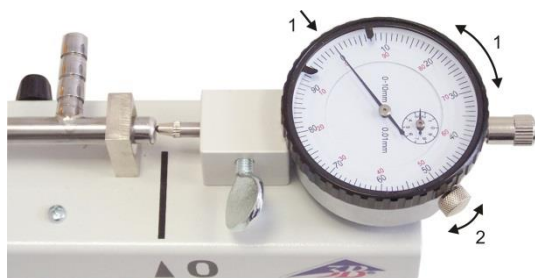


Fig. 9: Girar o anel de escala no medidor até que o 0 da escala corresponda com a posição do ponteiro. Fixar o anel de escala com o parafuso.

### Montagem e ligação do banho/termostato de circulação

#### Orientação de segurança:

Não conectar o termostato à rede antes que o cabeçote de controle esteja corretamente montado na cobertura do banho.

- Seguir as instruções de montagem para a cobertura do banho e montar a ponte no termostato. Para isto, passar o termostato pela abertura redonda da ponte. No lado do invólucro das bombas com a saída da bomba, montar o conjunto de circulação de bombas, incluindo mangueira L, no lado oposto, uma placa cega.
- Pendurar o termostato com a ponte montada no banho e fixar o cabeçote de controle do termostato com o grampo girando o parafuso borboleta na borda do banho.



Fig. 10: Avanço (1) e recuo (2) do conjunto de circulação de bombas.

- Dividir a mangueira de silicone aproximadamente no meio. Conforme mostrado na Fig. 1, com uma metade da mangueira, conectar o avanço do conjunto de circulação de bombas (Fig. 10) à extremidade aberta do tubo de teste e, com a outra metade, conectar o flange do tubo de testes ao retorno do conjunto de circulação de bombas (Fig. 10).

## REALIZAÇÃO

#### Orientação de segurança:

Antes da operação to banho/termostato de circulação, é obrigatório ler com atenção todas as instruções e orientações de segurança no manual de operação do termostato.

- Encher o banho com água descalcificada, de forma que o aquecedor esteja completamente coberto. Colocar a tampa do banho na ponte.
- Conectar o termostato a uma tomada com conector de proteção. Atentar para que as indicações na placa de tipo correspondam à tensão da rede.
- Ligar o termostato com o interruptor no lado frontal.

Será indicada a temperatura atual do banho que corresponde à temperatura ambiente.

- Anotar a temperatura atual do banho na Tab. 1 como temperatura de referência.
- Ajustar as temperaturas-meta em aprox. 4 etapas, esperar respectivamente até que a temperatura de fato atinja a meta e anotar o valor na Tab. 1. Formar a respectiva diferença para a temperatura de referência e também anotar na Tab. 1.
- Para cada temperatura ou diferença de temperatura, ler no relógio de medição a alteração do comprimento relativamente à posição 0 na escala e anotar na Tab. 1.
- Inserir o tubo de teste de latão ou de vidro e repetir a medição. Adaptar a largura das etapas de temperatura, se for o caso. Anotar os valores de medição na Tab. 2 ou Tab. 3.

## EXEMPLO DE MEDIÇÃO

Tab. 1: Expansão térmica do aço,  $\vartheta$ : temperatura ajustada,  $\Delta\vartheta$ : diferença de temperatura,  $\Delta L$ : alteração do comprimento.

$\vartheta / ^\circ\text{C}$	$\Delta\vartheta / ^\circ\text{C}$	$\Delta L / \text{mm}$
21,70	0,00	0,00
25,00	3,30	0,02
29,00	7,30	0,05
33,20	11,50	0,07
37,30	15,60	0,11
41,30	19,60	0,13
44,90	23,20	0,16
48,40	26,70	0,19
52,30	30,60	0,22
56,10	34,40	0,24
60,10	38,40	0,27
64,10	42,40	0,29
68,00	46,30	0,32
72,00	50,30	0,35
76,10	54,40	0,38
80,10	58,40	0,41
84,30	62,60	0,44
87,40	65,70	0,46
91,80	70,10	0,49
95,80	74,10	0,52
98,80	77,10	0,54

Tab. 2: Expansão térmica do latão,  $\vartheta$ : temperatura ajustada,  $\Delta\vartheta$ : diferença de temperatura,  $\Delta L$ : alteração do comprimento.

$\vartheta / ^\circ\text{C}$	$\Delta\vartheta / ^\circ\text{C}$	$\Delta L / \text{mm}$
25,3	0,0	0,00
32,9	7,6	0,07
36,2	10,9	0,11
40,9	15,6	0,17
45,1	19,8	0,22
48,8	23,5	0,26
52,6	27,3	0,31
56,6	31,3	0,35
60,6	35,3	0,40
64,4	39,1	0,45
68,3	43,0	0,49
72,7	47,4	0,53
76,1	50,8	0,58
80,3	55,0	0,63
84,1	58,8	0,67
88,4	63,1	0,71
91,9	66,6	0,76
96,2	70,9	0,81
99,5	74,2	0,84

Tab. 3: Expansão térmica do vidro,  $\vartheta$ : temperatura ajustada,  $\Delta\vartheta$ : diferença de temperatura,  $\Delta L$ : alteração do comprimento.

$\vartheta / ^\circ\text{C}$	$\Delta\vartheta / ^\circ\text{C}$	$\Delta L / \text{mm}$
23,8	0,0	0,00
26,8	3,0	0,01
33,2	9,4	0,02
39,2	15,4	0,03
44,9	21,1	0,04
50,8	27,0	0,05
56,4	32,6	0,06
62,7	38,9	0,07
68,1	44,3	0,08
74,8	51,0	0,09
80,4	56,6	0,10
86,3	62,5	0,11
92,2	68,4	0,12
97,9	74,1	0,13

### AVALIAÇÃO

No âmbito de temperatura analisado, vale  $\alpha \cdot \Delta\vartheta \ll 1$ . Ou seja, a equação (3) pode ser modificada

$$(4) \quad \Delta L = L(\vartheta_1) \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta \text{ com } \Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1, L(\vartheta_1) = 600 \text{ mm}$$

Os coeficientes lineares de expansão buscados podem, portanto, ser determinados a partir da inclinação da reta de origem na Fig. 11.

$$(5) \quad \alpha = \frac{a}{L(\vartheta_1)}$$

- Aplicar as alterações de comprimento medidas do latão, aço e vidro (Tab. 1, 2 e 3) contra as diferenças de temperatura e adaptar uma reta respectivamente.
- Determinar os coeficientes de expansão conforme equação (5) a partir das inclinações das retas e anotar na Tab. 4. Orientação: como são observadas alterações de temperatura, a indicação da temperatura em °C é equivalente à indicação da temperatura em K.

Tab. 4: Coeficientes de expansão lineares do latão, aço e vidro determinados a partir da medição, bem como valores de literatura.

Material	$a / \text{mm} \cdot \text{K}^{-1}$	$\alpha / 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$ Medição	$\alpha / 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$ Literatura
Latão	0,0114	19,0	18,5
Aço	0,0070	11,7	11,5
Vidro	0,0018	3,0	3,3

Os coeficientes de expansão determinados a partir da medição conferem com os valores de literatura.

A derivação da equação (3) é, de resto, desnecessária, quando se observa também altas temperaturas. Então,  $\alpha$  se apresenta não como constante, mas dependente da temperatura. Este é – em observação mais precisa – também o caso no âmbito de temperatura analisado aqui. Como as alterações de comprimento são medidas com um resolução de 0,01 mm, uma análise exata de dados mostra, em especial para latão, que os valores de medição não decorrem de forma exatamente linear e que o coeficiente de expansão aumenta levemente com o aumento da temperatura.

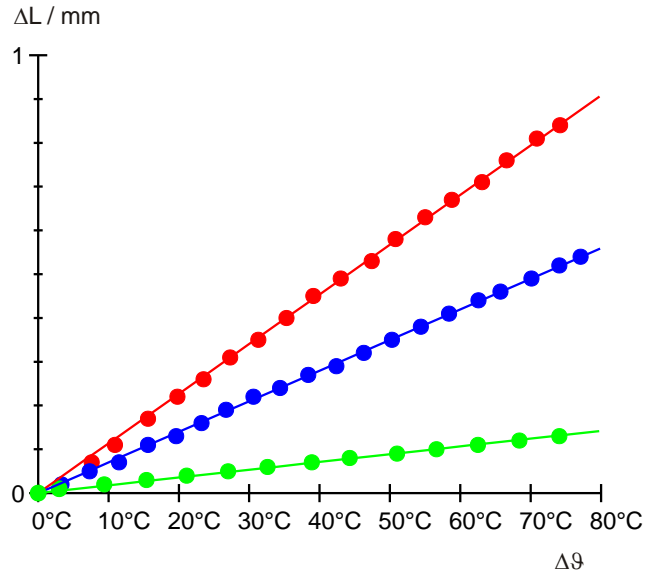


Fig. 11: Alteração do comprimento do latão (vermelho), aço (azul) e vidro (verde) em dependência da diferença da temperatura.

### OBSERVAÇÃO

Se for suficiente analisar a diferença de comprimento entre a temperatura ambiente e a temperatura do vapor de água, pode ser usado, ao invés de um termostato imerso/circulante, um gerador de vapor. A lista de acessórios pertinente é oferecida sob o número UE2010135 (vide Fig. 12).



Fig. 12: Montagem com gerador de vapor



