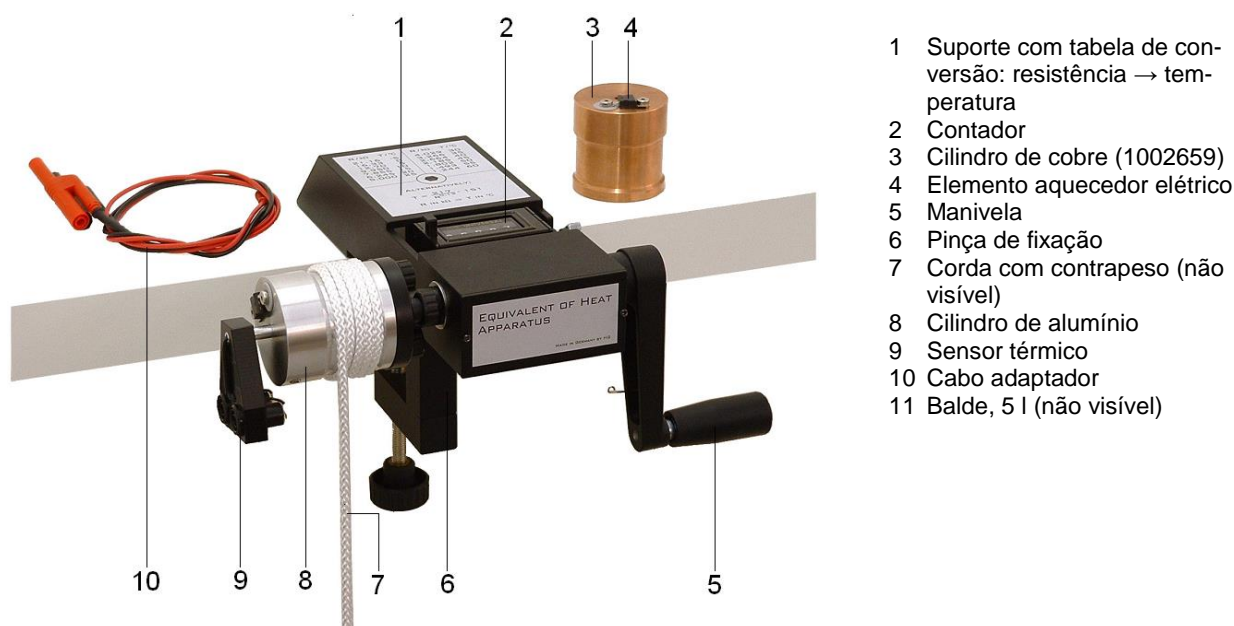


1002658 Aparelho para o equivalente térmico 1002659 Cilindro de cobre

Instruções de operação

12/15 MH/ALF



- 1 Suporte com tabela de conversão: resistência → temperatura
- 2 Contador
- 3 Cilindro de cobre (1002659)
- 4 Elemento aquecedor elétrico
- 5 Manivela
- 6 Pinça de fixação
- 7 Corda com contrapeso (não visível)
- 8 Cilindro de alumínio
- 9 Sensor térmico
- 10 Cabo adaptador
- 11 Balde, 5 l (não visível)

Fig. 1: Componentes

1. Indicações de segurança

Perigo de ferimento! O peso (aprox. 5 kg) que se encontra preso na corda (7) pode ferir alguém se cair.

- Ele deve estar apoiado no chão na hora de fixá-lo, e durante as experiências ele nunca deve ser levantado a mais de uns 10 cm do chão.

Perigo de queimaduras! Durante as experiências, o cilindro de atrito (3 ou 8) é aquecido.

- Deve-se prestar atenção para que a temperatura não ultrapasse os 40°C. A corrente máxima admitida no elemento aquecedor é de 3 A e não deve ser ultrapassada

Perigo de choque elétrico!

- A tensão de saída máxima do aparelho de alimentação elétrica utilizado no aquecimento elétrico não deve passar dos 40 V.

2. Descrição,

Com o aparelho de equivalente térmico pode-se demonstrar a equivalência entre trabalho mecânico de atrito (Nm), energia elétrica (Ws) e calor (J). Os valores obtidos em Nm ou em Ws coincidem até aprox. 2%. Se esta equivalência é tomado como preceito, então pode-se determinar a capacidade térmica do alumínio ou do cobre.

Graças à construção robusta com um contador de rotações integrado e um eixo de duplo rolamento, as experiências são tão simples quanto possível de serem realizadas. Para a medição da temperatura, é utilizada uma resistência com coeficiente térmico negativo (NTC), o qual está seguro dentro de uma cápsula de alumínio. A cápsula de alumínio prende no cilindro de atrito, pelo qual ela não pode escorregar involuntariamente.

3. Dados técnicos

Dados técnicos dos cilindros de atrito (dados aproximativos):

Diâmetro D :	48 mm
Altura:	50 mm
Cilindro de alumínio:	massa $m_A = 250$ g, capacidade térmica específica $c_A = 0,86$ kJ/kg K,
Cilindro de cobre:	$m_K = 750$ g, $c_K = 0,41$ kJ/kg K
Conexão elétrica:	tomadas com diâmetro de 2 mm, pólo positivo “+” isolado, pólo negativo “-” na massa, troca de pólos não leva à destruição

4. Utilização

- O aparelho para o equivalente térmico é fixado à mesa de trabalho com uma pinça de fixação. Depois, enrola-se a corda de 4,5 a 5,5 vezes no cilindro de atrito, como indicado na Fig. 1, sendo que o contrapeso deve estar pendurado atrás e a extremidade solta da corda na frente.
- Como contrapeso, pode ser utilizado o balde fornecido, o qual é preenchido com água ou areia, por exemplo, (massa total aprox. 5 kg). A extremidade solta da corda é ligada ao peso que se encontra no chão, sendo que se deve prestar atenção para que o contrapeso com a corda tensa não se encontre a mais do que uns 5 cm do chão. Assim evita-se que o peso suba mais do que 10 cm durante a experiência.
- Se ao acionar a manivela constata-se que a corda foge para a direita e eventualmente não fica na ranhura, então se deve colocar a corda no cilindro de atrito de modo a que a extremidade ligada ao peso esteja à direita e a extremidade com o contrapeso se encontre à esquerda.
- O sensor de temperatura deve ser lubricado com uma gota de óleo (**importante!**) e deve ser logo, como indicado na Fig. 1, introduzido no cilindro de atrito escolhido até que ele encaixe sensivelmente e possa ser levemente girado (se não for introduzido à profundidade suficiente ou profundamente demais, ele não gira livremente). Ambos os contatos do sensor de temperatura são conectados com um aparelho de medição de resistência (multímetro) que deveria ter um display de no mínimo 3 dígitos na faixa de 2 k Ω até 9 k Ω . A conversão da resistência medida em temperatura pode ser efetuada por meio da tabela que se

encontra na última página deste manual ou com a ajuda da seguinte equação:

$$T = \frac{217}{R^{0,13}} - 151 \quad (1)$$

aqui se deve aplicar R em k Ω para se obter a T em $^{\circ}\text{C}$. Esta equação coincide com os dados da tabela do fabricante por resistência NTC na faixa de 10 a 40 $^{\circ}\text{C}$ em $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$.

- Antes de uma experiência, o cilindro de atrito deve ser esfriado em aprox. 5 a 10 $^{\circ}\text{C}$ abaixo da temperatura ambiente. Para tal este pode ser colocado na geladeira ou em água fria, sendo que a perfuração para o sensor de temperatura deve estar para acima e só 2/3 do cilindro devem ser submergidos (dica: se o cilindro de atrito for colocado na água num saco plástico, este não precisará ser secado após o resfriamento).

O aumento da temperatura do cilindro de atrito durante uma experiência não deve passar de uma temperatura de aprox. 5 a 10 $^{\circ}\text{C}$ acima da temperatura ambiente. Quanto mais precisamente coincidirem as diferenças de temperatura (em relação à temperatura ambiente correspondente) no aquecimento e no resfriamento, tanto menor será a troca de calor com o meio ambiente.

- Para o aquecimento elétrico do cilindro encontram-se cabos adaptadores com tomadas de 2 mm de diâmetro de um lado e tomadas comuns de laboratório de 4 mm de diâmetro. Para a alimentação elétrica deve-se utilizar um aparelho de alimentação com limite regulável de tensão e de corrente, sendo que tensão máxima do aparelho de alimentação elétrica não deve passar de 40 V. O pólo positivo do aparelho de alimentação elétrica deve ser conectado com a tomada isolada (reconhecível na plaquinha de plástico redonda cinza abaixo da tomada) e o pólo negativo na outra tomada.
- Os elementos de aquecimento no cilindro de atrito mantêm-se aproximadamente como resistências ôhmicas com cerca de 11 Ω . A capacidade máxima de carga está situada em 36 W, é dizer, em 20 V no máximo e a corrente que se instalará em aprox. 1,8 A. Para a regulação de um ponto de operação recomenda-se, ajustar o limite da corrente exatamente 1 A e o limite da tensão em aproximadamente 15 V. De agora em diante estes ajustes não mais serão modificados; até a experiência a corrente elétrica será simplesmente interrompida por médio do desligamento dos cabos.

5. Manutenção

- Em princípio, o aparelho para o equivalente térmico não requer manutenção. Para a limpeza pode-se utilizar um pano úmido (água com detergente caseiro). Não se deve utilizar solventes. A imersão na água também deve ser evitada.
- Os cilindros de atrito devem estar com o metal limpo. Caso tenha se formado um depósito, este pode ser retirado com um produto de limpeza para metais.
- A corda pode ser lavada caso for necessário. Como alternativa econômica para uma corda de reposto pode-se utilizar uma corda de poli-amida (na loja de materiais).

6. Execução e análise da experiência

6.1 Transformação de trabalho mecânico em calor

6.1.1 Execução da experiência

Primeiro determinam-se as diferentes massas:

peso principal (p. ex. balde com água)

$m_H = 5,22 \text{ kg}$

contrapeso (na corda) $m_G = 0,019 \text{ kg}$

cilindro de alumínio $m_A = 0,249 \text{ kg}$

Outras grandezas que devem ser medidas com antecedência:

temperatura ambiente $T_U = 23,2^\circ\text{C}$

diâmetro do cilindro na superfície de atrito $D_R = 45,75 \text{ mm}$

- Após o esfriamento do cilindro de atrito este é aparafusado no suporte, o sensor de temperatura é colocado e a corda é enrolada no cilindro (comparar parágrafo 4). Após alguns minutos, que devem passar para que a temperatura se distribua de forma homogênea, a resistência do sensor de temperatura é de $R_1 = 8,00 \text{ k}\Omega$ (equivalente a $T_1 = 14,60^\circ\text{C}$ conforme equação 1).
- Após controlar o ponto zero do contador, é iniciada a experiência acionando a manivela e assim é levantado o peso principal do chão. Agora o contrapeso desce ao chão, pelo que a corda se distende levemente e exerce menos atrito sobre o cilindro. O peso principal mantém a sua altura e deveria mantê-la durante toda a duração da experiência.
- Após $n = 460$ rotações a experiência é finalizada e o valor da resistência é lido: $R_2 = 3,99 \text{ k}\Omega$ ($T_2 = 30,26^\circ\text{C}$).
- Já que a temperatura ainda aumenta por uns instantes após o encerramento da experiência

(homogeneização da distribuição da temperatura), anota-se como valor de medição o valor mínimo da medição de resistência obtido vários segundos após ter encerrado a experiência. Depois, a resistência volta a subir, já que por causa da troca de calor com o ambiente, a temperatura do cilindro cai.

6.1.2 Análise da experiência

O trabalho W é definido como produto da força F e o percurso s

$$W = F \cdot s \quad (2)$$

No atrito, age a força

$$F = m_A \cdot g \quad (3)$$

(g é a força de gravidade) ao longo do percurso

$$s = n \cdot \pi \cdot D_R \quad (4)$$

- A aplicação das equações 3 e 4 em 2 produz:

$$W = m_A \cdot g \cdot n \cdot \pi \cdot D_R =$$

$$5,22 \cdot 9,81 \cdot 460 \cdot 3,1416 \cdot 0,04575 = 3386 \text{ Nm} \quad (5)$$

O calor ΔQ acumulado no cilindro resulta da diferença de temperatura ($T_2 - T_1$) e a capacidade térmica específica indicada no parágrafo 3 em:

$$\Delta Q = c_A \cdot m_A \cdot (T_2 - T_1) =$$

$$0,86 \cdot 0,249 \cdot (30,26 - 14,60) \text{ KJ} = 3353 \text{ J} \quad (6)$$

Neste exemplo, o desvio entre o trabalho mecânico e o calor não passa de aprox. 1%. Por causa de tolerâncias inevitáveis da composição do alumínio (o alumínio puro é muito mole e é quase impossível de se trabalhar mecanicamente, por isso sempre são utilizadas ligas) a capacidade térmica específica pode variar sensivelmente. Ela deve ser determinada para cada cilindro de atrito individualmente. O modo mais fácil de fazer isto é por meio de aquecimento elétrico e com a premissa da equivalência do calor e da energia elétrica.

6.2 Transformação da energia elétrica em calor

6.2.1 Execução da experiência

- Após o esfriamento do cilindro de atrito, este é aparafusado no suporte (mesmas condições experimentais que na experiência do atrito) e o sensor de temperatura é instalado. Após alguns minutos, que devem passar para que a temperatura se distribua de forma homogênea, a resistência do sensor de temperatura é de $R_1 = 8,00 \text{ k}\Omega$ (equivalente a $T_1 = 14,60^\circ\text{C}$ conforme equação 1).
- Agora o aparelho de alimentação elétrica, que já foi ajustado, (veja parágrafo 4) é conectado ao elemento aquecedor e um cronômetro é

lançado. Tensão e corrente (indicações no aparelho de alimentação) são anotadas:

$$U = 11,4 \text{ V}; I = 1,0 \text{ A}$$

- Depois de $t = 300 \text{ s}$ a experiência é concluída e o valor da resistência é lido:

$$R_2 = 3,98 \text{ k}\Omega \quad (T_2 = 30,32^\circ\text{C})$$

Igualmente capta-se a variação (mínima) da tensão: $U = 11,0 \text{ V}$.

6.2.2 Análise da experiência

A energia elétrica E é o produto da potência P e do tempo t . A potência, é o produto da tensão e da corrente. Portanto, é válido (cálculo com o valor médio da tensão):

$$E = U \cdot I \cdot t = 11,2 \cdot 1,0 \cdot 300 = 3360 \text{ Ws} \quad (7)$$

Nesta experiência, o calor aportado é de

$$\Delta Q = c_A \cdot m_A \cdot (T_2 - T_1) = 0,86 \cdot 0,249 \cdot (30,32 - 14,60) \text{ KJ} = 3366 \text{ J} \quad (8)$$

Também aqui, a coincidência entre E e ΔQ muito boa.

Relação entre resistência e temperatura no sensor de temperatura

R / kΩ	T / °C	R / kΩ	T / °C	R / kΩ	T / °C	R / kΩ	T / °C	R / kΩ	T / °C
7,86	14,97	6,78	18,19	5,70	22,05	4,62	26,84	3,54	33,10
7,84	15,03	6,76	18,26	5,68	22,13	4,60	26,94	3,52	33,24
7,82	15,08	6,74	18,32	5,66	22,21	4,58	27,04	3,50	33,38
7,80	15,14	6,72	18,39	5,64	22,29	4,56	27,14	3,48	33,51
7,78	15,19	6,70	18,45	5,62	22,37	4,54	27,24	3,46	33,65
7,76	15,25	6,68	18,52	5,60	22,45	4,52	27,35	3,44	33,79
7,74	15,31	6,66	18,58	5,58	22,53	4,50	27,45	3,42	33,93
7,72	15,36	6,64	18,65	5,56	22,61	4,48	27,55	3,40	34,07
7,70	15,42	6,62	18,72	5,54	22,69	4,46	27,66	3,38	34,22
7,68	15,47	6,60	18,78	5,52	22,77	4,44	27,76	3,36	34,36
7,66	15,53	6,58	18,85	5,50	22,85	4,42	27,87	3,34	34,50
7,64	15,59	6,56	18,92	5,48	22,94	4,40	27,97	3,32	34,65
7,62	15,64	6,54	18,99	5,46	23,02	4,38	28,08	3,30	34,79
7,60	15,70	6,52	19,05	5,44	23,10	4,36	28,18	3,28	34,94
7,58	15,76	6,50	19,12	5,42	23,19	4,34	28,29	3,26	35,09
7,56	15,81	6,48	19,19	5,40	23,27	4,32	28,40	3,24	35,24
7,54	15,87	6,46	19,26	5,38	23,35	4,30	28,51	3,22	35,39
7,52	15,93	6,44	19,33	5,36	23,44	4,28	28,62	3,20	35,54
7,50	15,99	6,42	19,40	5,34	23,52	4,26	28,72	3,18	35,69
7,48	16,05	6,40	19,46	5,32	23,61	4,24	28,83	3,16	35,84
7,46	16,10	6,38	19,53	5,30	23,69	4,22	28,95	3,14	36,00
7,44	16,16	6,36	19,60	5,28	23,78	4,20	29,06	3,12	36,15
7,42	16,22	6,34	19,67	5,26	23,87	4,18	29,17	3,10	36,31
7,40	16,28	6,32	19,74	5,24	23,95	4,16	29,28	3,08	36,47
7,38	16,34	6,30	19,81	5,22	24,04	4,14	29,39	3,06	36,63
7,36	16,40	6,28	19,88	5,20	24,13	4,12	29,51	3,04	36,79
7,34	16,46	6,26	19,95	5,18	24,21	4,10	29,62	3,02	36,95
7,32	16,52	6,24	20,03	5,16	24,30	4,08	29,74	3,00	37,11
7,30	16,57	6,22	20,10	5,14	24,39	4,06	29,85	2,98	37,28
7,28	16,63	6,20	20,17	5,12	24,48	4,04	29,97	2,96	37,44
7,26	16,69	6,18	20,24	5,10	24,57	4,02	30,09	2,94	37,61
7,24	16,75	6,16	20,31	5,08	24,66	4,00	30,20	2,92	37,78
7,22	16,81	6,14	20,39	5,06	24,75	3,98	30,32	2,90	37,94
7,20	16,88	6,12	20,46	5,04	24,84	3,96	30,44	2,88	38,11
7,18	16,94	6,10	20,53	5,02	24,93	3,94	30,56	2,86	38,29
7,16	17,00	6,08	20,60	5,00	25,02	3,92	30,68	2,84	38,46
7,14	17,06	6,06	20,68	4,98	25,11	3,90	30,80	2,82	38,63
7,12	17,12	6,04	20,75	4,96	25,21	3,88	30,92	2,80	38,81
7,10	17,18	6,02	20,83	4,94	25,30	3,86	31,04	2,78	38,99
7,08	17,24	6,00	20,90	4,92	25,39	3,84	31,17	2,76	39,17
7,06	17,30	5,98	20,97	4,90	25,48	3,82	31,29	2,74	39,35
7,04	17,37	5,96	21,05	4,88	25,58	3,80	31,42	2,72	39,53
7,02	17,43	5,94	21,12	4,86	25,67	3,78	31,54	2,70	39,71
7,00	17,49	5,92	21,20	4,84	25,77	3,76	31,67	2,68	39,90
6,98	17,55	5,90	21,28	4,82	25,86	3,74	31,79	2,66	40,08
6,96	17,62	5,88	21,35	4,80	25,96	3,72	31,92	2,64	40,27
6,94	17,68	5,86	21,43	4,78	26,05	3,70	32,05	2,62	40,46
6,92	17,74	5,84	21,50	4,76	26,15	3,68	32,18	2,60	40,65
6,90	17,81	5,82	21,58	4,74	26,25	3,66	32,31	2,58	40,84
6,88	17,87	5,80	21,66	4,72	26,34	3,64	32,44	2,56	41,04
6,86	17,93	5,78	21,74	4,70	26,44	3,62	32,57	2,54	41,23
6,84	18,00	5,76	21,81	4,68	26,54	3,60	32,70	2,52	41,43
6,82	18,06	5,74	21,89	4,66	26,64	3,58	32,84	2,50	41,63
6,80	18,13	5,72	21,97	4,64	26,74	3,56	32,97	2,48	41,83