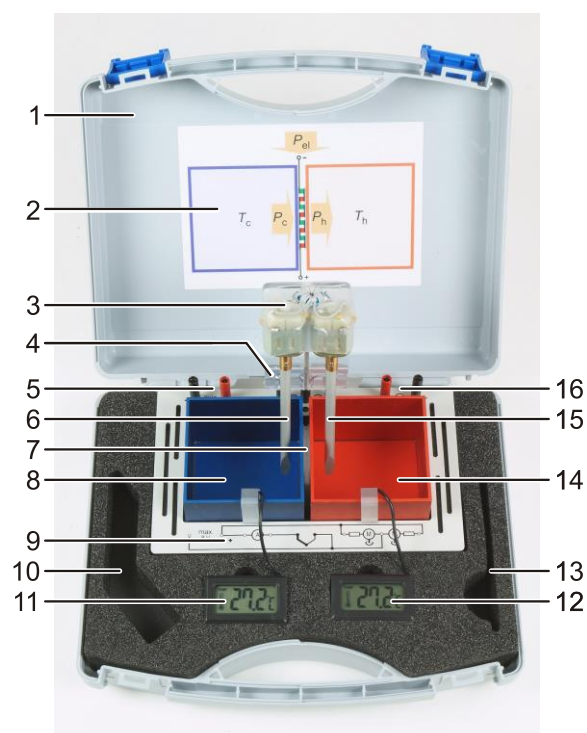


Bomba de calor de Peltier 1020769

Instruções de uso

05/17 TL/JS



- 1 Mala de transporte
- 2 Representação esquemática
- 3 Unidade de agitação
- 4 Conexão para unidade de agitação
- 5 Conexão para alimentação de energia
- 6 Haste de agitação "lado frio"
- 7 Elemento de Peltier
- 8 Reservatório "lado frio"
- 9 Esquema de conexão
- 10 Fenda para unidade de agitação
- 11 Termômetro digital "lado frio"
- 12 Termômetro digital "lado quente"
- 13 Fenda para hastes de agitação
- 14 Reservatório "lado quente"
- 15 Haste de agitação "lado quente"
- 16 Conexão para medição de corrente (corrente de operação pelo elemento de Peltier)

1. Instruções de segurança

Para o uso conforme as determinações, a operação segura da bomba de calor de Peltier é garantida. A segurança não é garantida, entretanto, se o aparelho for operado de forma indevida ou descuidada.

- Somente operar a bomba de calor com tensão contínua entre 5 e 8 V.
- Não operar a bomba de calor seca ou com nível de enchimento baixo demais.
- Deixar secar a bomba de calor após o uso.

2. Descrição

A bomba de calor de Peltier é um modelo funcional com dois recipientes de água de alumínio, que estão termicamente acoplados nas superfícies de um elemento de Peltier. Se passar corrente elétrica pelo elemento de Peltier, haverá transporte de calor entre os recipientes que leva ao resfriamento de um dos lados e ao aquecimento do outro. Em ambos os recipientes de água, um agitador elétrico trata de manter uma distribuição homogênea da temperatura. Dois termômetros digitais indicam as duas temperaturas da água. Como a capacidade do sistema é conhecida, os desempenhos do resfriamento e do aquecimento podem ser determinados e comparados com o desempenho elétrico fornecido.

3. Dados técnicos

Elemento de Peltier:

Tensão de conexão:	5 ... 8 V
Entrada de corrente com 8 V:	
Área:	40 x 40 mm ²
Espessura:	3,7 mm
Coeficiente de Seebeck S :	aprox. 0,04 V/K
Resistência ôhmica R :	aprox. 2,4 Ω
Coeficiente de condução térmica κ :	

Reservatórios de água:

Massa de um reservatório vazio:	105 g
Capacidade térmica de um reservatório vazio:	0,094 J/K
Volume de água:	200 ml
Capacidade térmica do volume de água:	0,836 J/K
Capacidade térmica de um reservatório cheio:	0,930 J/K
Coeficiente de transferência de calor α :	0,7 ... 0,8 W/K
Dimensões totais:	244 x 160 x 70 mm ³
Massa total:	920 g

4. Armazenagem, limpeza, descarte

- Armazenar o aparelho em local limpo, seco e livre de poeira.
- Antes da limpeza, retirar o aparelho da alimentação de energia elétrica.
- Não utilizar produtos ou solventes agressivos para a limpeza.
- Utilizar um pano macio e úmido para a limpeza.
- A embalagem deve ser destacada na estação local de reciclagem.
- Se o aparelho tiver que ser descartado pelo próprio proprietário/usuário, ele não pode ser descartado no lixo doméstico comum. Em caso de utilização em casas particulares, observar as normas vigentes locais de descarte.
- Cumprir as regulações locais vigentes para o descarte de lixo elétrico.

5. Colocação em operação

Adicionalmente necessários:

1 fonte de alimentação DC 20 V, 5 A @230V	1003312
2,5 ... 3,5 A	ou
1 fonte de alimentação DC 20 V, 5 A @115V	1003311
1 multímetro digital	1018832
2 pares de cabos de experiência de segurança	
aprox. 0,2 W/K	1017718

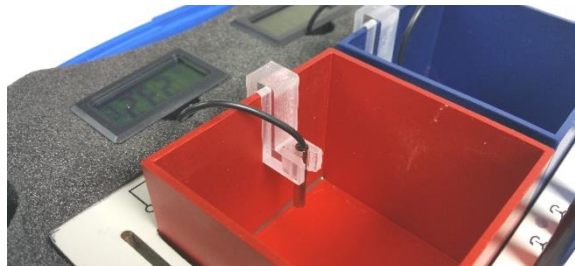


Fig. 1 Disposição dos sensores de temperatura

- Se for o caso, colocar pilhas para operar o termômetro digital.
- Dispor os sensores de temperatura em ambos os reservatórios conforme a Fig. 1.



Fig. 2 Unidade de agitação conectada com hastes de agitação colocadas

- Remover as hastes de agitação e a unidade de agitação das bolsas da maleta de transporte.
- Colocar as hastes de agitação com o acoplamento sobre os eixos do motor.
- Conectar a unidade de agitação do trio de conectores central.

Instrução: a unidade de agitação funciona assim que a tensão de alimentação for aplicada no par esquerdo de conectores. O elemento de Peltier, em contrapartida, somente é ativado pela transposição do par de conectores da direita ou pela conexão de um amperímetro.

- Encher cada um com 200 ml de água.
- Conectar a alimentação de tensão para operar os agitadores e para garantir uma distribuição homogênea da temperatura.

5. Experiências

5.1 Operação simétrica como bomba de calor

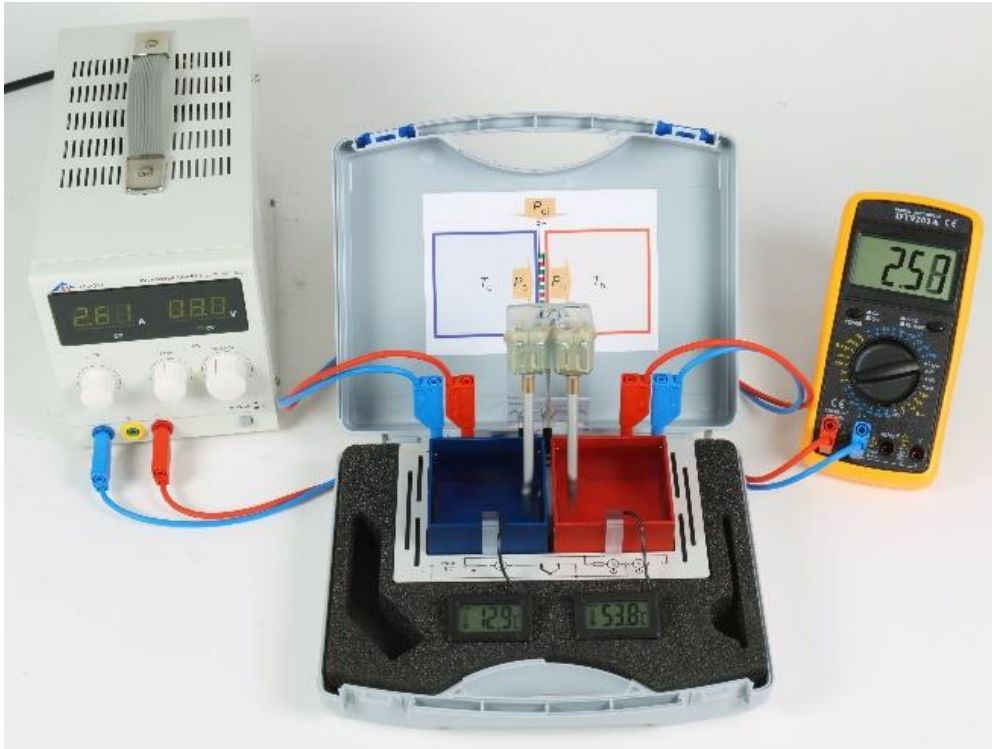


Fig. 3 Montagem da experiência.

- Anotar a temperatura inicial em ambos os recipientes.
- Desligar a alimentação de tensão e conectar o multímetro digital como amperímetro (faixa de medição até 10 A).
- Ligar a alimentação de tensão e ajustar tensão constante entre 6 e 8 V.
- Iniciar o cronômetro.
- Anotar, a cada 30 s, as temperaturas T_c e T_h em ambos os reservatórios, bem como a amperagem I .

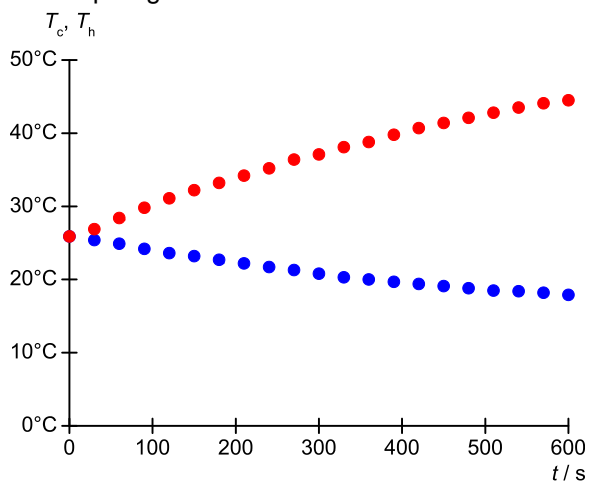


Fig. 4 Curva temporal das temperaturas em ambos os reservatórios na operação simétrica

Avaliações possíveis:

Determinação do desempenho de aquecimento, de resfriamento e elétrico.

Determinação dos coeficientes de desempenho (coefficients of performance)

Dependência da corrente da diferença da temperatura com tensão de alimentação constante.

Determinação da resistência ôhmica e do coeficiente de Seebeck.

Avaliação da curva da temperatura em função do tempo.

Cálculo das parcelas do efeito de Peltier, das perdas de Joule e do refluxo de calor nas curvas de temperatura.

5.2 Medição da curva da temperatura e da tensão térmica após desligamento da bomba de calor



Fig. 5 Montagem da experiência.

- Remover o multímetro como amperímetro, de forma que o fluxo de corrente seja interrompido pelo elemento de Peltier, e utilizar o voltímetro para medição da tensão térmica.
- Continuar operando os agitadores e, para tanto, manter a alimentação de tensão ligada.
- Anotar, a cada 30 s, as temperaturas T_c e T_h em ambos os reservatórios, bem como a tensão térmica U .

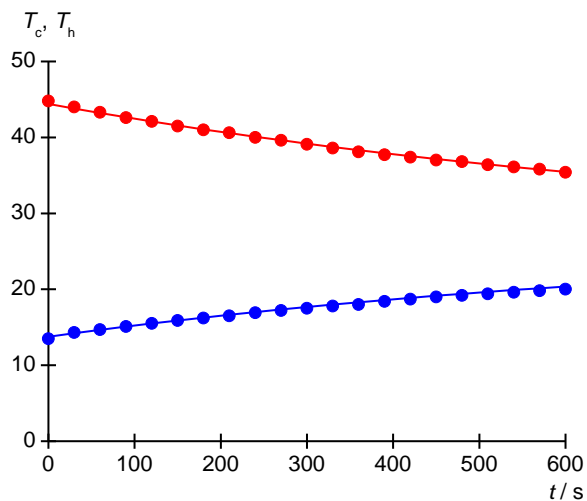


Fig. 6 Curva temporal das temperaturas em ambos os reservatórios após desligamento da bomba de calor

Avaliações possíveis:

Representação da tensão térmica como função da diferença da temperatura.

Determinação do coeficiente de Seebeck.

Representação da média de T_c e T_h em função do tempo e determinação do coeficiente de transferência de calor α .

Representação da diferença de temperatura como função do tempo e determinação do coeficiente de condução térmica κ .

Instrução: para a determinação do coeficiente de condução térmica e do coeficiente de transferência de calor, é imprescindível realizar as medições, na medida do possível, pelo tempo necessário até que a temperatura ambiente tenha sido quase alcançada.

5.3 Operação assimétrica

Na operação assimétrica, o reservatório no lado quente é preenchido com água gelada, para manter a sua temperatura constante. A água no reservatório frio é resfriado a partir de uma temperatura inicial.

6. Avaliação

6.1 Determinação de desempenho de aquecimento, resfriamento e elétrico

Tab. 1: Exemplo de medição

t	T_c	T_h	I	U
0	25,6 °C	25,6 °C	3,2 A	7,62 V
120	23,0 °C	31,2 °C	3,2 A	8,06 V

Desempenho de aquecimento:

$$P_h = C \cdot \frac{dT_h}{dt} = 930 \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot \frac{31,2 - 25,6 \text{ K}}{120 \text{ s}} = 43,4 \text{ W}$$

Desempenho de resfriamento:

$$P_c = C \cdot \frac{dT_c}{dt} = 930 \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot \frac{23,0 - 25,6 \text{ K}}{120 \text{ s}} = -20,2 \text{ W}$$

Desempenho elétrico:

$$P_{el} = U \cdot I = 3,2 \text{ A} \cdot \frac{7,62 + 8,06}{2} \text{ V} = 25,1 \text{ W}$$

Coeficientes de desempenho:

$$\text{COP}_h = \frac{P_h}{P_{el}} = \frac{43,4 \text{ W}}{25,2 \text{ W}} = 1,73$$

$$\text{COP}_c = \frac{P_c}{P_{el}} = \frac{-20,2 \text{ W}}{25,2 \text{ W}} = -0,80$$

$$\text{COP}_h + \text{COP}_c = 0,93$$

Instrução: os coeficientes de desempenho dependem tanto da corrente I quanto da diferença de temperatura ΔT .

6.2 Tensão térmica como função da diferença da temperatura.

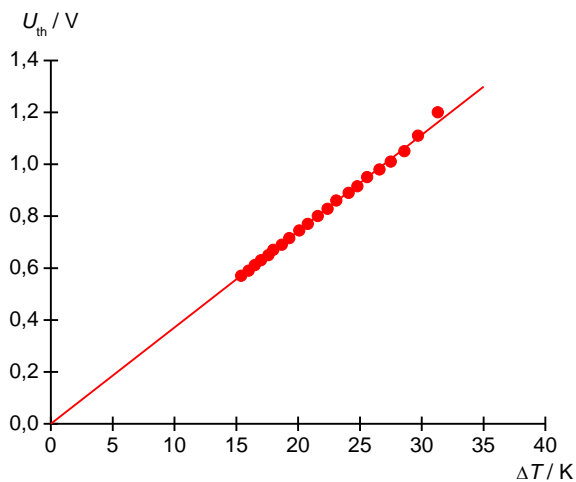


Fig. 7 Tensão térmica medida na fase final como função da diferença da temperatura

A tensão térmica U_{th} entre os dois contatos do elemento de Peltier depende linearmente da diferença de temperatura. Ela pode ser medida quando não houver corrente I :

$$U_{th} = S \cdot (T_h - T_c) = S \cdot \Delta T$$

S : Coeficiente Seebeck do elemento de Peltier

6.3 Tensão operacional como função da diferença da temperatura.

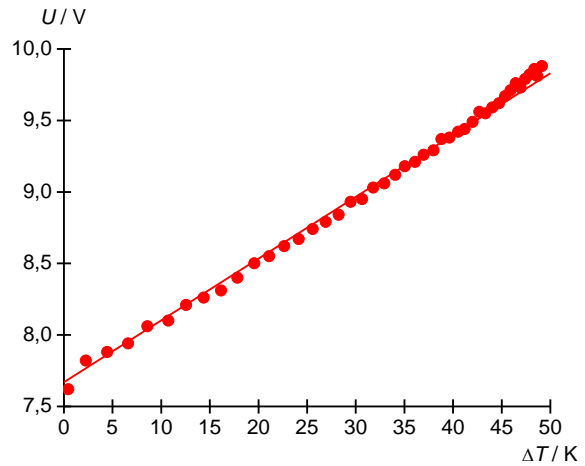


Fig. 8 Tensão operacional medida na fase de bombeamento com corrente de operação constante como função da diferença da temperatura

Para a geração da corrente I , precisa haver, no elemento de Peltier, uma tensão

$$U_0 = R \cdot I + S \cdot \Delta T$$

R : Resistência ôhmica do elemento de Peltier ou o desempenho elétrico

$$P_{el} = U_0 \cdot I = R \cdot I^2 + S \cdot \Delta T \cdot I$$

precisa ser alcançado. Por isto, é determinante se a alimentação de corrente ocorre em "operação de corrente constante" ou em "operação de tensão constante".

6.4 Descrição da curva de temperatura durante a fase de bombeamento e final

Se uma corrente elétrica I flui através do elemento de Peltier, seu lado frio recebe calor Q_c do reservatório acoplado e fornece a seu lado quente calor Q_h ao reservatório acoplado.

Para os desempenhos pertinentes, vale

$$P_h = \frac{dQ_h}{dt} = S \cdot I \cdot T_h + \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2 - \kappa \cdot (T_h - T_c)$$

$$P_c = \frac{dQ_c}{dt} = -S \cdot I \cdot T_c + \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2 + \kappa \cdot (T_h - T_c)$$

S : Coeficiente de Seebeck,

R : Resistência ôhmica,

κ : Coeficiente de condução térmica

Nisto, o respectivo primeiro termo descreve o efeito Peltier, o segundo termo, as perdas ôhmicas, que é transmitida como calor de Joule a ambos os reservatórios e o terceiro termo descreve a condução "retorno" do calor pelo elemento de Peltier.

Na prática, a transferência de calor ao ambiente ou a absorção de calor do ambiente precisa ser considerada. Em boa aproximação, vale

$$P_{h \rightarrow 0} = \frac{dQ_{h \rightarrow 0}}{dt} = \alpha \cdot (T_h - T_0)$$

$$P_{c \rightarrow 0} = \frac{dQ_{c \rightarrow 0}}{dt} = \alpha \cdot (T_c - T_0)$$

T_0 : Temperatura ambiente,
 α : Coeficiente de transmissão de calor

A transmissão e absorção de calor se faz perceptível como alteração da temperatura dos reservatórios acoplados. No total, valem as equações diferenciais

$$C \cdot \frac{dT_h}{dt} =$$

$$S \cdot I \cdot T_h + \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2 - \kappa \cdot (T_h - T_c) - \alpha \cdot (T_h - T_0)$$

$$C \cdot \frac{dT_c}{dt} =$$

$$-S \cdot I \cdot T_c + \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2 + \kappa \cdot (T_h - T_c) - \alpha \cdot (T_c - T_0)$$

Fase inicial:

Se o sistema iniciar em ambos os reservatórios com temperatura ambiente, a condução do calor e a transmissão de calor ainda não têm importância na fase inicial. Portanto, para a fase inicial, vale:

$$C \cdot \frac{dT_h}{dt} = S \cdot I \cdot T_h + \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2$$

$$C \cdot \frac{dT_c}{dt} = -S \cdot I \cdot T_c + \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2$$

Em caso de inversão de polaridade da corrente, os papéis dos reservatórios se invertem. A temperatura do reservatório da direita é reduzida e a temperatura do reservatório da esquerda aumenta.

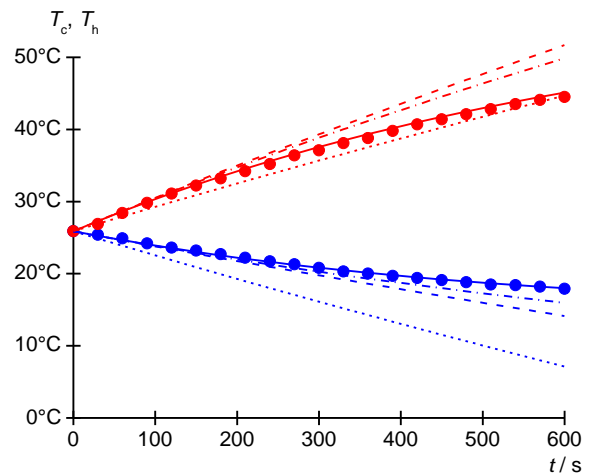


Fig. 9 Curva de temperatura medida e calculada na fase de bombeamento

- - - -: Influência do efeito Peltier
- - - -: Influência do efeito Peltier e calor de Joule
- . . . -: Consideração da condução térmica
- : Consideração da condução térmica e da transferência de calor ao ambiente

Fase final:

Se o fluxo de corrente for interrompido e, com isto, o desempenho de bombeamento do elemento de Peltier é desligado, as temperaturas em ambos os reservatórios relaxam contra a temperatura ambiente.

Matematicamente, vale

$$C \cdot \frac{dT_h}{dt} = -\kappa \cdot (T_h - T_c) - \alpha \cdot (T_h - T_0)$$

$$C \cdot \frac{dT_c}{dt} = +\kappa \cdot (T_h - T_c) - \alpha \cdot (T_c - T_0)$$

Ou, reformulado,

$$C \cdot \frac{d\Delta T}{dt} = -(2 \cdot \kappa + \alpha) \cdot \Delta T \quad \text{com } \Delta T = T_h - T_c$$

$$C \cdot \frac{dT_m}{dt} = -\alpha \cdot (T_m - T_0) \quad \text{com } T_m = \frac{T_h + T_c}{2}$$

Para a determinação dos coeficientes κ e α , tem sentido considerar o relaxamento da diferença de temperatura ΔT e o valor médio T_m .