3B SCIENTIFIC® PHYSICS

...going one step further

1002658 Dispositif de mesure de l'équivalent de chaleur
1002659 Cylindre en cuivre

Instructions d'utilisation

12/15 MH/ALF

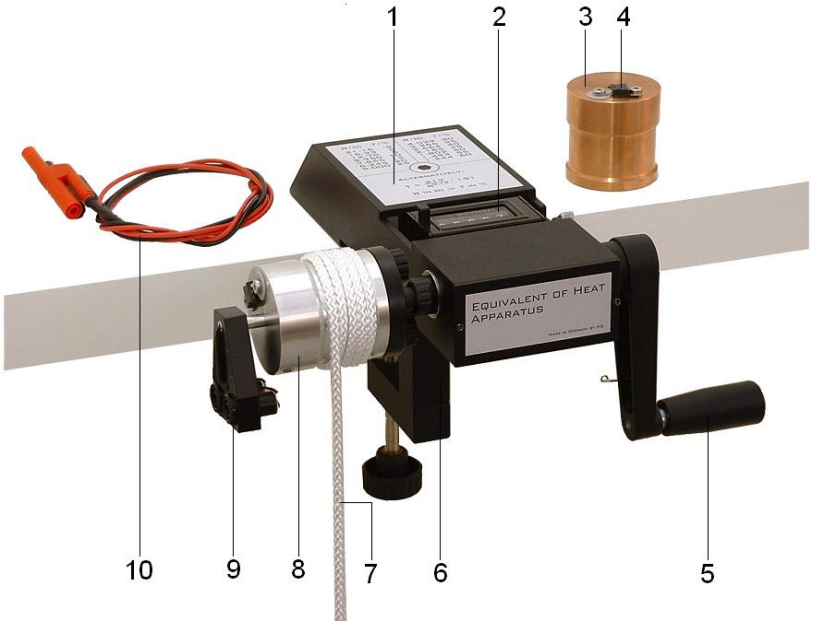

Fig.1: Composants

1 Support avec tableau pour la conversion Résistance → Temperature
2 Compteur
3 Cylindre en cuivre (1002659)
4 Elément chauffant électrique
5 Manivelle
6 Bride de fixation de table
7 Cordon de frottement avec contrepoids (non visible)
8 Cylindre en aluminium
9 Palpeur de température
10 Câble adaptateur
11 Seau de 5 l (non visible)

1. Consignes de sécurité

Risque de blessure ! En tombant, le poids (env. 5 kg) fixé au cordon (7) peut blesser des gens.

- Pour être fixé, il doit reposer sur le sol et ne pas être soulevé de plus de 10 cm pendant les expériences.

Risque de brûlure ! Le cylindre (3 ou 8) est réchauffé pendant les expériences.

- Veiller à ce que la température ne dépasse pas env. 40°C. Le courant maximum admissible dans l'élément chauffant s'élève à 3 A et ne doit pas être dépassé.

Risque de choc électrique !

- La tension de sortie maximale du bloc d'alimentation utilisé lors du réchauffement électrique ne doit pas dépasser 40 V.

2. Description

Ce dispositif de mesure permet d'indiquer l'équivalence du travail de frottement mécanique (Nm), de l'énergie électrique (Ws) et de la chaleur (J). Les valeurs déterminées en Nm et Ws coïncident à env. 2%. Cette équivalence étant sous-entendue, on peut déterminer la capacité thermique spécifique de l'aluminium et du cuivre.

Grâce à la construction robuste avec un compte-tours intégré et un arbre à double roulement à billes, les expériences peuvent être réalisées très simplement. Pour mesurer la température, on utilise une résistance à coefficient de température négatif (NTC), qui est range sûrement dans un boîtier en aluminium. Ce boîtier s'encoche dans le cylindre et ne peut donc pas en ressortir par inadvertance.

3. Caractéristiques techniques

Caractéristiques techniques des cylindres de frottement (approx.):

Diamètre *D*:	48 mm
Hauteur:	50 mm
Cylindre en aluminium:	masse m_A = 250 g, capacité thermique spécifique c_A = 0,86 kJ/kg K,
Cylindre en cuivre:	m_K = 750 g, c_K = 0,41 kJ/kg K
Connexion électrique:	douilles de 2 mm de diamètre, pôle „+“ isolé, pôle „-“ à la masse, une inversion de polarité n'entraîne pas de destruction.

4. Manipulation

- Le dispositif de mesure de l'équivalent de chaleur est vissé à une plaque de travail stable à l'aide de la bride de fixation. Puis, comme le montre la figure 1, le cordon est placé 4,5 à 5,5 fois autour du cylindre, le contrepoids devant pendre à l'arrière et l'extrémité libre du cordon pendre à l'avant.
- Comme poids, on peut utiliser le seau fourni, rempli d'eau ou de sable, etc. (masse totale d'env. 5 kg). L'extrémité libre du cordon est reliée au poids se trouvant au sol. Lorsque le cordon est tendu, veiller à ce que le contrepoids ne soit pas distant de plus de 5 cm du sol, pour empêcher que le poids ne se soulève de plus de 10 cm pendant l'expérience.
- Si à présent, la manivelle étant actionnée, le cordon va à droite et, le cas échéant, ne reste pas dans sa rainure, il faudra le placer autour du cylinder de telle manière que l'extrémité du cordon avec le poids se trouve à droite et l'extrémité avec le contrepoids à gauche.
- Humidifier le palpeur avec une goutte d'huile (important !) et l'enficher dans le cylindre sélectionné (cf. la figure 1), jusqu'à ce qu'il s'encoche et se laisse tourner facilement (s'il est trop ou pas assez enfoncé, il ne tourne pas correctement). Les deux connexions du palpeur sont reliées à un dispositif de mesure de résistance (multimètre) disposant d'un affichage à au moins trois chiffres dans une gamme entre 2 kΩ et 9 kΩ. La résistance mesurée peut être convertie en température soit à l'aide du tableau de la dernière page de ce manuel d'utilisation, soit avec l'équation suivante:

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

  Dans ce cas, *R* doit être en kΩ pour obtenir *T* en °C. Cette équation coïncide à ± 0,05°C près aux indications du tableau du constructeur de la résistance NTC dans une gamme entre 10°C et 40°C.
- Avant toute expérience, le cylindre doit refroidir à env. 5 - 10°C à température ambiante. A cet effet, on peut le placer au réfrigérateur ou dans de l'eau froide, le trou du palpeur devant être orienté vers le haut et la profondeur de plongée représenter environ 2/3 seulement de la hauteur du cylindre (astuce: si le cylindre est mis dans l'eau dans un sachet plastique, il est inutile de le sécher après son refroidissement).

La température pendant une expérience doit augmenter, jusqu'à ce que la température du cylinder soit supérieure d'env. 5°C - 10°C à la temperature ambiante. Plus les différences de température (avec la température ambiante) coïncident lors du refroidissement et du réchauffement, plus l'échange net de chaleur avec l'environnement est faible.

- Des câbles d'adaptation, qui présentent d'un côté des fiches de 2 mm de diamètre et de l'autre des fiches de laboratoire de 4 mm, servent au réchauffement électrique des cylindres. Pour l'alimentation électrique, utiliser un bloc d'alimentation à limitation de courant et de tension réglable, la tension maximale du bloc ne devant pas dépasser 40 V. Le pôle positif du bloc d'alimentation est relié à la douille isolée (pastille ronde en plastique gris sous la douille) et le pôle négatif à l'autre douille.
- Les éléments chauffants des cylindres de frottement se comportent approximativement comme des résistances ohmiques d'env. 11 Ω;. La capacité maximale de charge est de 36 W, soit une tension max. de 20 V et une intensité d'env. 1,8 A. pour paramétrer un point de fonctionnement, il est recommandé de régler la limite d'intensité sur 1 A et la limite de tension sur 15 V. Ces réglages ne seront plus modifiés, jusqu'à l'essai, le courant sera coupé en arrachant le câble.

5. Entretien

- Fondamentalement, le dispositif ne nécessite aucun entretien. Pour le nettoyer, on peut l'essuyer avec de l'eau et un produit de rinçage. Il est conseillé e ne pas utiliser de solvant. Eviter également de le plonger dans de l'eau.
- Les cylindres doivent être en métal luisant. Si un revêtement devait s'être formé, on l'essuiera avec un produit de nettoyage pour métaux.
- Le cas échéant, le cordon pourra être lavé. Comme remplacement peu coûteux pour le cordon, on peut utiliser une corde tressée en polyamide (disponible dans tout magasin de bricolage).

6. Réalisation et évaluation des experiences

6.1 Conversion du travail mécanique en chaleur

6.1.1 Réalisation de l'expérience

- Tout d'abord, il s'agit de déterminer les différentes masses:
  Poids principal (par ex. seau d'eau)
  m_H = 5,22 kg
  Contrepoids (sur le cordon de frottement)
  m_G = 0,019 kg
  Cylindre en aluminium m_A = 0,249 kg
- Autres grandeurs devant être mesurées au préalable:
  Température ambiante T_U = 23,2°C
  Diamètre du cylindre sur la surface de frottement D_R = 45,75 mm.
- Une fois refroidi, le cylindre est vissé au support, le palpeur enfiché et le cordon placé autour du cylindre (cf. paragraphe 4). Après quelques minutes, qui doivent s'écouler pour obtenir une repartition homogène de la température, la résistance du palpeur s'élève à R_1 = 8,00 kΩ (conformément à T_1 = 14,60°C d'après l'équation 1).
- Après avoir contrôlé la position zéro du compteur, démarrer l'expérience en tournant la manivelle pour soulever ainsi le poids principal. A présent, le contrepoids redescend sur le sol, ce qui détend légèrement le cordon qui frotte moins contre le cylindre. A présent, le poids principal conserve sa hauteur et devra la garder pendant toute la durée de l'expérience.
- Après n = 460 rotations, conclure l'expérience et lire la résistance: R_2 = 3,99 kΩ (T_2 = 30,26°C).
- Comme la température augmente encore un peu directement après conclusion de l'expérience (homogénéisation de la répartition de la température), on note comme valeur de mesure la résistance maximale qui est atteinte quelques secondes après la fin de l'expérience. Ensuite, la résistance se remet à augmenter, car la temperature du cylindre retombe par l'échange de chaleur avec l'environnement.

6.1.2 Evaluation de l'expérience

Le travail W est défini comme le produit de la force F et du parcours s

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

Lors du frottement, la force

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

(g représente l'accélération de la pesanteur) agit le long du parcours

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

- On utilise les équations 3 et 4 dans l'équation 2 pour obtenir:

$$W = m_A \cdot g \cdot n \cdot \pi \cdot D_R =$$
$$5{,}22 \cdot 9{,}81 \cdot 460 \cdot 3{,}1416 \cdot 0{,}04575 = 3386 \text{ Nm} \qquad (5)$$

La chaleur accumulée dans le cylindre ΔQ résulte de la différence de température (T_2 – T_1) et de la capacité hermique spécifique indiquée au paragraphe 3:

$$\Delta Q = c_A \cdot m_A \cdot (T_2 - T_1) =$$
$$0{,}86 \cdot 0{,}249 \cdot (30{,}26 - 14{,}60) \text{ KJ} = 3353 \text{ J} \qquad (6)$$

Dans cet exemple, l'écart entre le travail et la chaleur ne présente qu'environ 1%. En raison de tolerances inévitables dans la composition du matériau (l'aluminium pur est très mou et ne peut guère être traité mécaniquement, aussi utilise-ton toujours des alliages), la capacité thermique spécifique peut néanmoins varier sensiblement. Il est recommandé de la déterminer individuellement pour chaque cylindre. La méthode la plus simple est un réchauffement électrique, sous-entendu d'avoir une équivalence entre la chaleur et l'énergie électrique.

6.2 Conversion de l'énergie électrique en chaleur

6.2.1 Réalisation de l'expérience

- Une fois refroidi, le cylindre est vissé au support (mêmes conditions qu'au cours de l'expérience sur le frottement) et le palpeur enfiché. Après quelques minutes, qui doivent s'écouler pour obtenir une répartition homogène de la température, la résistance du palpeur s'élève à R_1 = 8,00 kΩ (conformément à T_1 = 14,60°C d'après l'équation 1).
- A présent, le bloc d'alimentation préréglé (cf. paragraphe 4) est branché à l'élément chauffant et un chronomètre démarré. Noter la tension et le courant (affichage sur le bloc d'alimentation): U = 11,4 V; I = 1,0 A
- Après t = 300 s, conclure l'expérience et lire la résistance: R_2 = 3,98 kΩ (T_2 = 30,32 °C)
  On enregistre également la modification (infime) de la tension: U = 11,0 V.

6.2.2 Evaluation de l'expérience

L'énergie électrique E est le produit de la puisance P et du temps t. La puissance est quant à elle le produit de la tension et du courant. On a alors l'équation suivante (Calcul avec la moyenne de tension):

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

Au cours de cette expérience, la chaleur amenée s'élève à $\Delta Q = c_A \cdot m_A \cdot (T_2 - T_1) =$

$$0{,}86 \cdot 0{,}249 \cdot (30{,}32 - 14{,}60) \text{ KJ} = 3366 \text{ J} \qquad (8)$$

Encore une fois, E et ΔQ coïncident très bien.

Rapport entre la résistance et la température avec un palpeur de température

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

© Copyright 2015 3B Scientific GmbH