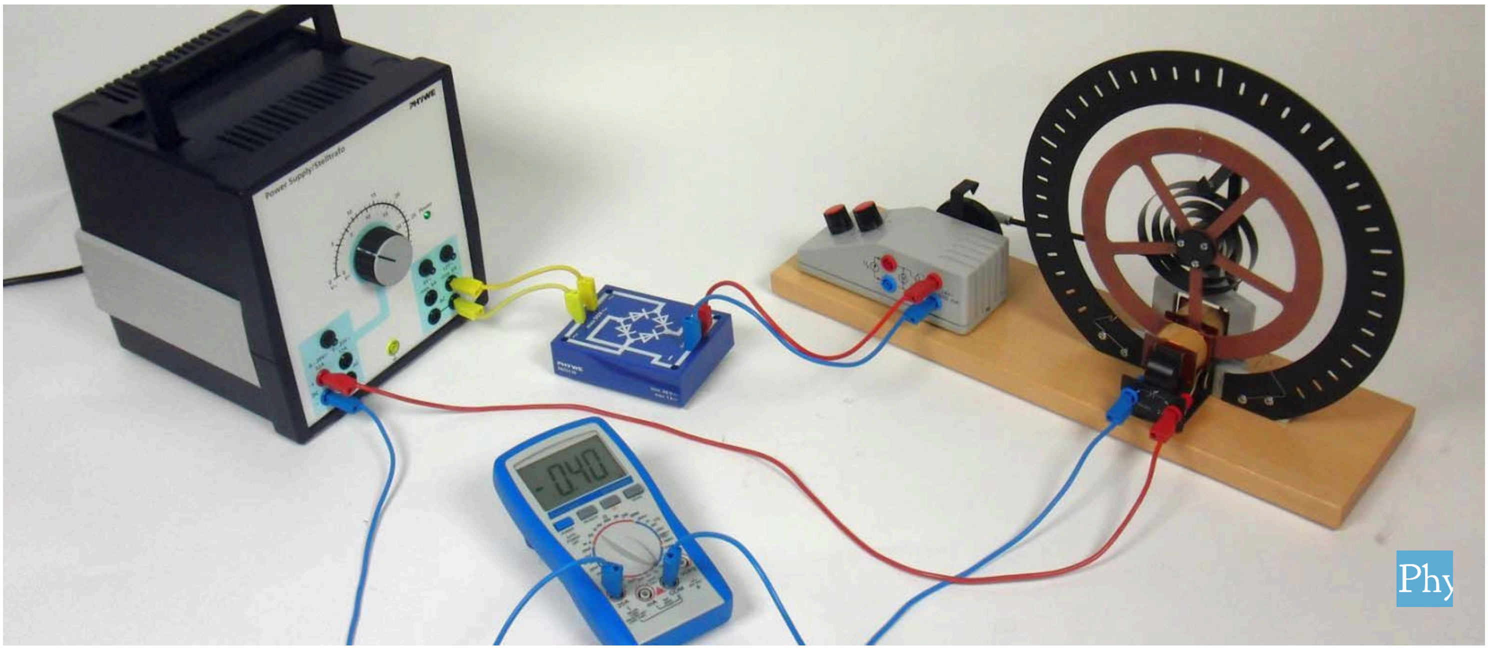
Oscillations forcées / Pendule de Pohl



L'objectif de cette expérience est d'étudier le comportement d'oscillation induit par une oscillation forcée.

Physique > Acoustique > Mouvement ondulatoire

Niveau de difficulté	Taille du groupe	Temps de préparation	Délai d'exécution
moyen	-	-	-

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

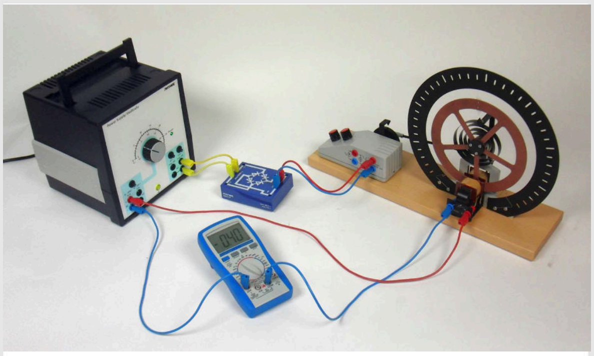
info@phywe.de
www.phywe.de

PHYWE excellence in science

Informations générales

Application

PHYWE excellence in science



Dispositif expérimental

Les oscillations du pendule offrent une première compréhension des systèmes mécaniques proches de l'oscillateur harmonique, qui est fondamental dans la description de nombreux systèmes physiques dans des domaines tels que la physique des particules et la physique de l'état solide.

Cette expérience étudie le comportement d'un système qui est forcé d'osciller. Elle permet de comprendre des phénomènes tels que la résonance.

PHYWE excellence in science

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Autres informations (1/3)

Priorité

Connaissance

Le comportement d'un pendule singulier doit être connu.

Principal

Principe

Si l'on laisse un système oscillant se balancer librement, on observe que la diminution des amplitudes maximales successives dépend fortement de l'amortissement. Si le système oscillant est stimulé à osciller par un couple périodique externe, nous observons qu'à l'état stable, l'amplitude est fonction de la fréquence et de l'amplitude du couple périodique externe et de l'amortissement. Les fréquences caractéristiques de l'oscillation libre ainsi que les courbes de résonance de l'oscillation forcée pour différentes valeurs d'amortissement doivent être déterminées.

Autres informations (2/3)

Objectif

d'apprentissage

L'objectif de cette expérience est d'étudier le comportement d'oscillation induit par une oscillation forcée.

Tâches

Oscillation libre

1. Déterminer la période d'oscillation et la fréquence caractéristique du cas non amorti.
2. Déterminer les périodes d'oscillation et les fréquences caractéristiques correspondantes pour différentes valeurs d'amortissement. Calculer les rapports d'atténuation correspondants, les constantes d'amortissement et les décréments logarithmiques.
3. Réaliser le cas apériodique et le cas rampant.

PHYWE excellence in science
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

Autres informations (3/3)

PHYWE excellence in science

Tâches

Oscillation forcée

1. Déterminer les courbes de résonance et les représenter graphiquement à l'aide des valeurs d'amortissement de A. Déterminer les fréquences de résonance correspondantes et les comparer aux valeurs de fréquence de résonance trouvées précédemment.
2. Observer le déphasage entre le pendule de torsion et le couple externe stimulant pour une petite valeur d'amortissement et pour différentes fréquences de stimulation.

Théorie (1/3)

PHYWE excellence in science

Oscillation libre non amortie et amortie

Dans le cas de couples de vibration de torsion libres et amortis M_1 (ressort en spirale) et M_2 (frein à courants de Foucault) agissent sur le pendule. Nous avons

$M_1 = -D^0\Phi$ et $M_2 = -C\dot{\Phi}$

Φ = angle de rotation. $\dot{\Phi}$ = vitesse angulaire, D^0 = couple par unité d'angle, C = facteur de proportionnalité dépendant du courant qui alimente le frein à courants de Foucault.

Le couple résultant $M_1 = -D^0\Phi - C\dot{\Phi}$

nous conduit à l'équation de mouvement suivante :

$I\ddot{\Phi} + c\dot{\Phi} + D^0\Phi = 0$(1)

PHYWE excellence in science

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Théorie (2/3)

En divisant l'équation (1) par I et en utilisant les abréviations

$\delta = \frac{C}{2I}$ et $\omega_0^2 = \frac{D^0}{I}$

se traduit par $\ddot{\Phi} + 2\delta\Phi + \omega_0^2\Phi = 0$(2)

δ est appelée "constante d'amortissement" et

$\omega_0 = \sqrt{\frac{D^0}{I}}$

$F = m\omega^2 r$

la fréquence caractéristique du système non amorti.

La solution de l'équation différentielle (2) est la suivante

$\Phi(t) = \Phi_0 e^{-\delta t} \cos \omega t$(3)

$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$(4)

Théorie (3/3)

Oscillation forcée

Si le pendule est soumis à un couple périodique $M_a = M_0 \cos \omega_a t$ L'équation (2) se transforme en

$\ddot{\Phi} + 2\delta\dot{\Phi} + \omega_0^2\Phi = F_0 \cos \omega_a t$(7)

où $F_0 = \frac{M_0}{I}$

En régime permanent, la solution de cette équation différentielle est la suivante

$\Phi(t) = \Phi_a \cos(\omega_a t - \alpha$(8)

où

$\Phi_\alpha = \frac{\Phi_0}{\sqrt{\left(1-\left(\frac{\omega\alpha}{\omega_0}\right)^2\right)^2+\left(2\frac{\delta}{\omega_0}\frac{\omega\alpha}{\omega_0}\right)^2}}$(9)

et $\Phi_\alpha = \frac{F_0}{\omega_0^2}$

En outre :

$\tan\alpha = \frac{2\delta\omega_\alpha}{\omega_0^2-\omega_a^2}$(10)

PHYWE excellence in science
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

Equipement

Position	Matériel	No. d'article	Quantité
1	Pendule de torsion selon Pohl	11214-00	1
2		EAK-P-6145	1
3	Chronomètre numérique, 24 h / 0,01 s / 1 s	24025-00	1
4	Fil de connexion, 32 A, 750 mm, rouge	07362-01	2
5	Fil de connexion, 32 A, 750 mm, bleu	07362-04	2

excellence in science
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

PHYWE
excellence in science

Configuration et procédure

Mise en place

PHYWE
excellence in science

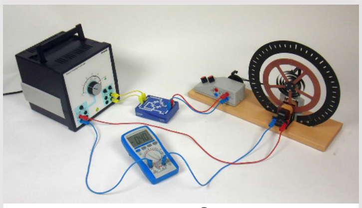


Fig. 1 : Dispositif expérimental

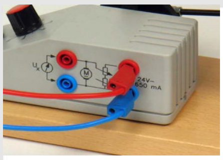


Fig. 3 : Connexion du moteur à courant continu et de l'alimentation électrique.

L'expérience est organisée comme indiqué sur les figures 1 et 2. La sortie CC de l'unité d'alimentation est connectée au frein à courant de Foucault. Le moteur a également besoin d'une tension continue. C'est pourquoi un redresseur est inséré entre la sortie CA (12 V) du bloc d'alimentation et les deux prises de droite du moteur à courant continu (voir Fig. 3). Le courant continu alimente le frein à courant de Foucault, I_B est réglée à l'aide du bouton de réglage de l'alimentation et est indiquée par l'ampèremètre.

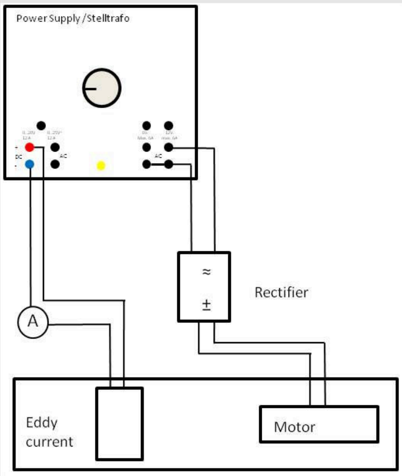


Fig. 2 : Connexion électrique de l'expérience.

PHYWE excellence in science
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

Procédure (1/5)

A. Oscillation libre

1. Déterminer la période d'oscillation et la fréquence caractéristique du cas non amorti.

Pour déterminer la fréquence caractéristique ω_0 du pendule de torsion sans amortissement (I_B = 0),

- dévier complètement le pendule d'un côté,
- mesurer le temps de plusieurs oscillations.

La mesure doit être répétée plusieurs fois et la valeur moyenne de la période caractéristique $\bar{T}_0$ doit être calculée.

Procédure (2/5)

2. Déterminer les périodes d'oscillation et les fréquences caractéristiques correspondantes pour différentes valeurs d'amortissement.

De la même manière, les fréquences caractéristiques des oscillations amorties sont trouvées en utilisant les intensités de courant suivantes pour le frein à courants de Foucault :

$$I_B \sim 0.25\,\mathrm{A},\ \ (\mathrm{U} = 4\,\mathrm{V}), I_B \sim 0.40\,\mathrm{A},\ \ (\mathrm{U} = 6\,\mathrm{V}), I_B \sim 0.55\,\mathrm{A},\ \ (\mathrm{U} = 8\,\mathrm{V}),$$
$$I_B \sim 0.90\,\mathrm{A},\ \ (\mathrm{U} = 12\,\mathrm{V})$$

Pour déterminer les valeurs d'amortissement dans les cas susmentionnés, mesurer les amplitudes maximales unidirectionnelles comme suit :

- dévier complètement le pendule d'un côté,
- observer l'ampleur des amplitudes successives de l'autre côté.

PHYWE excellence in science
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

Procédure (3/5)

PHYWE excellence in science

Il faut d'abord s'assurer que l'aiguille du pendule au repos coïncide avec la position zéro de la balance (voir Fig. 4). Ceci peut être réalisé en tournant le disque excentrique du moteur.

3. Réaliser le cas apériodique et le cas rampant

Pour réaliser le cas apériodique ($I_B \sim$ 2,0 A) et le cas de reptation ($I_B \sim$ 2,3 A) le frein à courant de Foucault est brièvement chargé avec plus de 2,0 A. **Attention**: N'utilisez pas d'intensité de courant supérieure à 2,0 A pour le frein à courant de Foucault pendant plus de quelques minutes.

Fig. 4 : Pointeur du pendule à la position zéro.

Procédure (4/5)

PHYWE excellence in science

B. Oscillation forcée

Pour stimuler le pendule de torsion, la bielle du moteur est fixée au tiers supérieur de la source de stimulation. La fréquence de stimulation ω_α du moteur peut être trouvée en utilisant un chronomètre et en comptant le nombre de tours (par exemple : arrêter le temps de 10 tours).

1. Déterminer les courbes de résonance et les représenter graphiquement en utilisant les valeurs d'amortissement de A.

La mesure commence par de petites fréquences de stimulation ω_α. ω_α est augmentée à l'aide du réglage "grossier" du potentiomètre du moteur. Au voisinage de la valeur maximale ω_α est modifié par petites étapes à l'aide du potentiomètre réglé sur "fine" (voir Fig. 5). Dans tous les cas, les relevés ne doivent être effectués qu'une fois que l'amplitude du pendule est stable. En l'absence d'amortissement ou pour des valeurs d'amortissement très faibles, ω_α doit être choisi de manière à ce que le pendule ne dépasse pas son échelle.

PHYWE excellence in science

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Procédure (5/5)

PHYWE excellence in science

Fig. 5 : Boutons de commande pour régler le potentiomètre du moteur. Bouton supérieur : "grossier" ; bouton inférieur : "fin".

2. Observer le déphasage entre le pendule de torsion et le couple externe stimulant pour une petite valeur d'amortissement et pour différentes fréquences de stimulation.

Choisissez une petite valeur d'amortissement et stimulez le pendule dans un cas avec une fréquence ω_α bien en dessous de la fréquence de résonance et dans l'autre cas bien au-dessus. Observer les déphasages correspondants entre le pendule de torsion et le couple externe. Dans chaque cas, les relevés ne doivent être effectués qu'après avoir établi une amplitude stable du pendule.

PHYWE excellence in science

L'évaluation

PHYWE excellence in science
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

Évaluation (1/6)

PHYWE excellence in science

La valeur moyenne de la période $\bar{t}_0$ et la fréquence caractéristique correspondante ω_0 du pendule de torsion libre et non amorti sont les suivantes

$\bar{T}_0 = (1.817 \pm 0.017)$s ; $\frac{\Delta\bar{T}_0}{\bar{T}_0} = \pm 1$%

et $\bar{\omega}_0 = (3.46 \pm 0.03)$1/s

Évaluation (2/6)

PHYWE excellence in science

Tracer les amplitudes maximales unidirectionnelles successives en fonction du temps. Le temps correspondant est calculé à partir de la fréquence. Voir la figure 6 pour des exemples de résultats. Les rapports d'atténuation correspondants, les constantes d'amortissement K et les décréments logarithmiques Λ sont calculés comme suit :

\L'équation (3) montre que l'amplitude $\Phi(t)$ de l'oscillation amortie a diminué jusqu'à la e-ième partie de l'amplitude initiale Φ_0 après le temps $t = 1/\delta$ s'est écoulé. De plus, l'équation (3) indique que le rapport entre deux amplitudes successives est constant.

$\frac{\Phi_n}{\Phi_{n+1}} = K = e^{\delta T}$ (5)

K est appelé "taux d'amortissement" et T = période d'oscillation et la quantité

$\Lambda = \ln K = \delta T = \ln \frac{\Phi_n}{\Phi_{n+1}}$ (6) est appelé "décrément logarithmique".

PHYWE excellence in science

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Évaluation (3/6)

PHYWE excellence in science

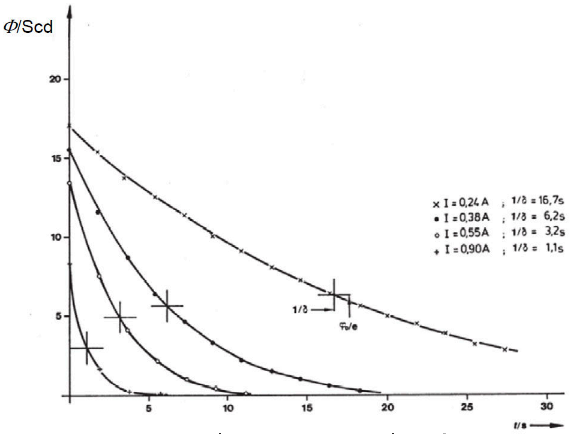


Fig. 6 : Valeurs maximales des amplitudes unidirectionnelles en fonction du temps pour différents amortissements.

Exemples de résultats pour les valeurs d'amortissement caractéristiques :

I [A]	1/δ [s]	δ [1/s]	$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ [1/s]	$K = \frac{\Phi_n}{\Phi_{n+1}}$	Λ
0.25	16.7	0.06	3.46	1.1	0.12
0.4	6.2	0.16	3.45	1.4	0.31
0.55	3.2	0.31	3.44	1.9	0.64
0.9	1.1	0.91	3.34	5.6	1.72

Évaluation (4/6)

PHYWE excellence in science

L'équation (4) n'a de solution réelle que si $\omega_0^2 \geq \delta^2$. Pour $\omega_0^2 = \delta^2$ le pendule revient en un minimum de temps à sa position initiale sans osciller (cas apériodique). Pour $\omega_0^2 \leq \delta^2$ le pendule revient asymptotiquement à sa position initiale (reptation).

PHYWE excellence in science

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Évaluation (5/6)

PHYWE excellence in science

La figure 7 montre les courbes de résonance pour différents amortissements. L'analyse de l'équation (9) met en évidence les éléments suivants, qui sont confirmés par les résultats de la figure 7 :

1. Le plus grand F_0, plus les Φ_α
2. Pour une valeur fixe F_0 nous avons : $\Phi \rightarrow \Phi_{max}$ pour $\omega_\alpha = \omega_0$
3. Le plus grand δ, plus les Φ_α
4. Pour $\delta = 0$ nous trouvons $\Phi_a \rightarrow \infty$ si $\omega_\alpha = \omega_0$

L'évaluation des courbes de la figure 7 conduit, dans cet exemple, à une fréquence de résonance moyenne de $\omega = 3.41$ 1/s, ce qui est très proche de la fréquence de résonance déterminée dans la tâche A1.

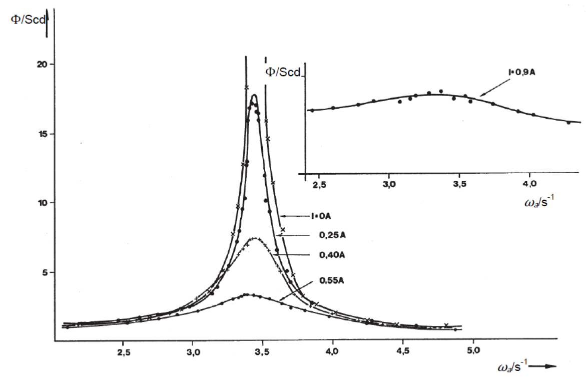


Fig. 7 : Courbes de résonance pour différents amortissements.

Évaluation (6/6)

PHYWE excellence in science

La figure 8 montre la différence de phase de l'oscillation forcée en fonction de la fréquence de stimulation selon l'Eq. (10). Pour les très petites fréquences ω_α la différence de phase est approximativement nulle, c'est-à-dire que le pendule et le couple stimulant sont "en phase".

Si ω_α est beaucoup plus important que ω_0 Le pendule et le couple stimulant sont presque en opposition de phase l'un par rapport à l'autre. Plus l'amortissement est faible, plus le passage de l'état "en phase" à l'état "en opposition de phase" est rapide.

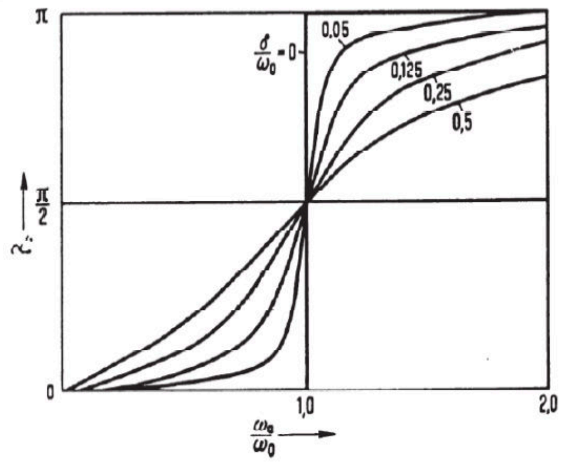


Fig. 8 : Déphasage de l'oscillation forcée pour différents amortissements.

PHYWE excellence in science
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de