Olympiades suisses de physique 2021

Online, 20. Mars 2021

Expérience
Oscillations d'un pendule physique

Durée: 150 minutes
Total 48 points

Matériel autorisé	Calculatrice sans mémoire de formule Matériel pour écrire et dessiner

---

Contenu

Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation
Bärbel und Paul Geissbühler Stiftung
Dectris AG
Deutschschweizerische Physikkommission VSMP / DPK
EMPA - Materials Science & Technology
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
ETH Zurich Department of Physics
Fondation Claude & Giuliana
Ernst Göhner Stiftung, Zug
Hasler Stiftung, Bern
Metrohm Stiftung, Herisau
Neue Kantonsschule Aarau
Novartis
Société Valaisanne de Physique
Swiss Academy of Engineering Sciences SATW
Swiss Academy of Sciences
Swiss Physical Society
Università della Svizzera italiana
Universität Bern FB Physik/Astronomie
Universität Zürich FB Physik Mathematik

Nous avons été aimablement soutenus dans la réalisation de l'expérience par l'atelier de physique de l'Alte Kantonsschule Aarau (M. Pascal Auf der Maur).

La présente expérience est basée sur une expérience de l'Olympiade allemande de physique 2017, et a été adaptée et développée pour nos besoins.

1. Liste du matériel (Vous ne pouvez utiliser que ce matériel pour l’examen expérimental.)

1 baguette
1 bobine avec fil
1 paire de ciseaux
1 règle
1 planche avec du ruban adhésif fort et 2 vis/rondelles
1 Ruban adhésif de bureau
1 Chronomètre, voir https://webuhr.de/stoppuhr/#enabled=0&msec=8818
(ou alternativement le chronomètre de votre smartphone)
3 feuilles de papier millimétré
Calculatrice sans mémoire de formule
Matériel pour écrire et dessiner

2. Théorie

Dans cette expérience, la période d’un pendule physique doit être analysée et l’accélération de la terre g doit en être déduite. Dans cette partie, les différentes formules sont fournies.

Dans un pendule mathématique, une masse ponctuelle m est suspendue à un fil sans masse de longueur l. Pour de petits écartements, il y a la période connue

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \qquad (g\text{: accélération de la gravité}).$$

La masse considérée comme ponctuelle n’apparait pas dans la période.

Dans un pendule physique, la masse m est distribuée dans un corps solide K, et n’est plus ponctuelle. Le corps tourne autour de l’axe A, qui est éloigné du centre de masse S par la distance a (Fig. 1). Soit I_S le moment d’inertie du corps autour du centre de masse. La période d’un pendule physique est

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I_A}{mga}} = 2\pi\sqrt{\frac{I_S + ma^2}{mga}},$$

avec I_A le moment d’inertie autour de l’axe A, on a $I_A = I_S + ma^2$ (théorème de Steiner). Il convient de noter que $a \geq 0$.

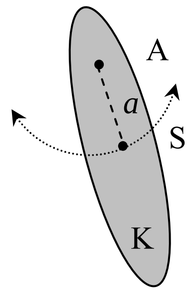

Fig. 1

La fonction $T(a)$ a les propriétés suivantes :

- Pour la limite $a \to 0$, on a $T \to \infty$.
- Pour a très grand, T est approximé par $T \cong 2\pi\sqrt{\frac{ma^2}{mga}} = 2\pi\sqrt{\frac{a}{g}}$,

  c’est le cas limite du pendule mathématique.
  Pour $a \to \infty$, T tend vers ∞.
- Entre les deux cas, la fonction $T(a) = 2\pi\sqrt{\frac{I_S + ma^2}{mga}}$ doit avoir un minimum,

  qui survient à $a_{min} = \sqrt{\frac{I_S}{m}}$ avec la valeur $T_{min} = T(a_{min}) = 2\pi\sqrt{\frac{2a_{min}}{g}}$,

  résolu pour g, $g = \frac{8\pi^2 a_{min}}{T_{min}^2}$: ***g* ne dépend que de *T*$_{min}$ et *a*$_{min}$.**

3. Indications sur le matériel

La planche sert de suspension pour la baguette pour la mesure de l'oscillation. Elle est fixée à la table par les quatre bandes de ruban adhésif fort (Fig. 2 et Fig. 5). Veillez à ce que le ruban soit bien enfoncé dans l'angle entre la planche et la surface de la table (Fig. 3 et 6).

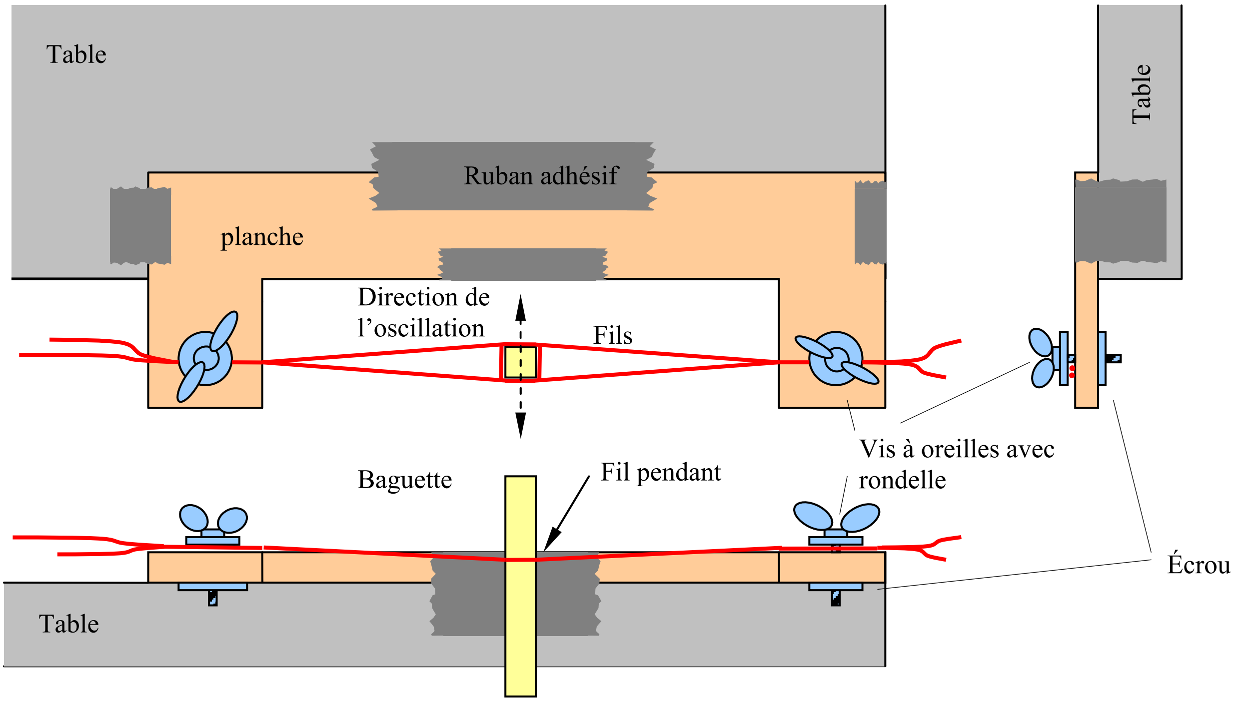

Fig. 2 Vue du dessus (en haut) et vues de côté (en bas et à droite) de la planche

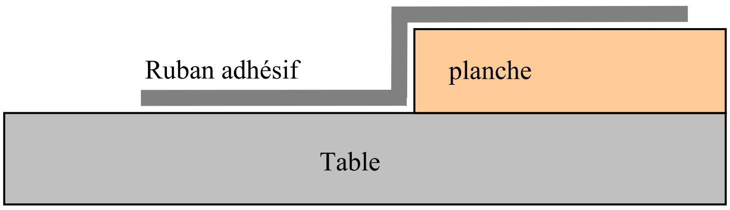

Fig. 3 Ruban adhésif

La fixation de la baguette se fait avec deux fils avec un nœud plat (Fig. 3).

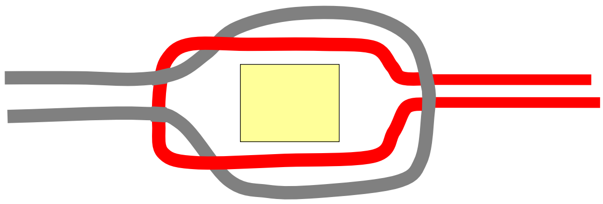

Fig. 4 Noeud plat qui entoure la baguette

Vous obtenez déjà un nœud plat avec la baguette sur la planche. Si vous devez refaire le nœud : vous pouvez d'abord faire la boucle marquée en rouge (sans baguette), et ensuite enfiler le fil gris comme dans la Fig. 3 ! Ne serrez pas encore le nœud, il vous faut encore insérer la baguette !

Les fils sont fixés à la planche avec les deux vis à oreilles/rondelles. Pour cela, le fil doit être tendu puis être coincé entre la planche et la rondelle (Fig. 2). Les deux fils doivent être fixés près l'un de l'autre du même côté de la vis, et doivent être tendus de telle manière que pour **toutes** les mesures, ils ne s'abaissent que de quelques mm.

Le fil a une forme en zigzag après avoir été défait. Si celle-ci vous dérange, le fil peut être étiré autour d'un objet cylindrique en forme du U avec un peu de tension ; en même temps, il faut souffler sur le fil ; avec l'humidité le fil perd sa forme.

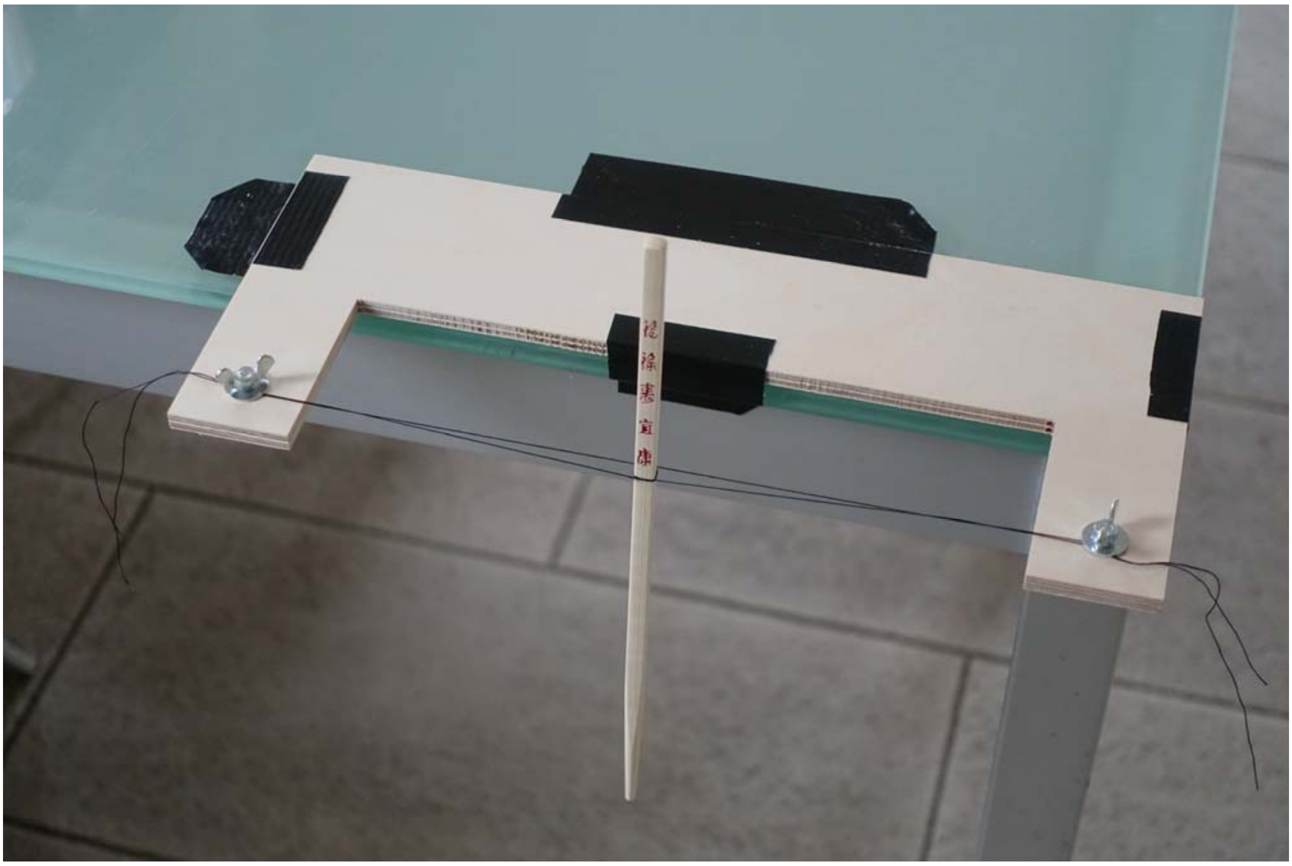

Fig. 5 **Vue générale**

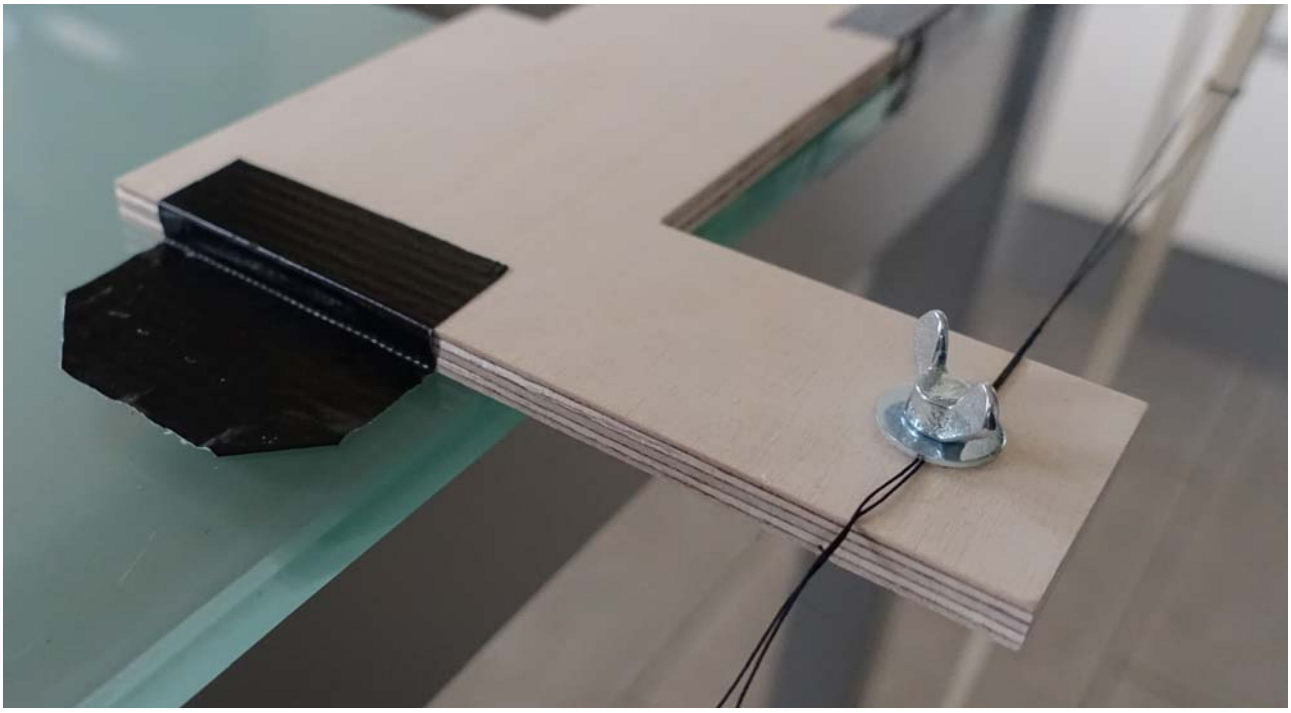

Fig. 6 **Fixation par ruban adhésif (à gauche) et vis à oreilles avec rondelle (à droite)**

4. Mesure et analyse

Remarque préliminaire :
Mesurez la période du pendule pour le plus de points de suspension possible. Ici, le point de suspension est décrit par sa distance d (mesurée depuis l'extrémité épaisse de la bguette). Choisissez à chaque fois Δd = 10 mm pour la distance entre deux points de suspension voisins.

4.1 **[14P]**
Déterminez la période en mesurant 10 périodes d'oscillation. Effectuez cette mesure T_i pour chaque point de suspension 3 fois et déterminez-en la moyenne $\overline{T}_i$. N'utilisez pas de trop grandes amplitudes !

4.2 **[2P]**
Quelles erreurs systématiques pourraient survenir dans cette expérience ? Décrivez-les brièvement.

4.3 **[9P]**
Représentez graphiquement les périodes moyennes en fonction de la distance d.

Le graphe de $T(d)$ a deux minima. La détermination de $d_{\min}$ à partir du graphique n'est possible que de manière imprécise. Pour cela une autre méthode est utilisée : à un minimum (ou un maximum), le graphe d'une fonction a la pente $s = dT/dd = 0$ (respectivement une tangente horizontale). La pente s_i à un point d_i peut être déterminée de la manière suivante

$$s_i = \frac{\overline{T}_{i+1} - \overline{T}_{i-1}}{2\Delta d} \qquad (\Delta d: \text{ distance entre les points de mesure}).$$

Comme le dénominateur est constant pour des points de mesure équidistants à la position d_i, et comme nous cherchons $s(d) = 0$, cela suffit si l'on calcule $T_{i+1} - T_{i-1}$.

4.4 **[11P]**
Calculez s_i' pour 5 points autour de chacun des deux minima de T.
Inscrivez sur un graphique les trois valeurs de s_i' les plus proches du zéro de la dérivée. Tracez la meilleure droite possible à travers des trois points, et déterminez ainsi les zéros de s' (respectivement les emplacements des minima de T).

Si vous avez besoin de la valeur $T_{\min} = T(d_{\min})$: utilisez le point de mesure T_i qui se trouve au plus près du zéro de $s(d)$ (les valeurs de T ne change que très peu autour d'un minimum).

4.5 **[12P]**
Calculez à l'aide de ces résultats

a) **la distance d_S du centre de masse depuis le bout épais de la planche, déterminée à partir des résultats de 4.1 et 4.3 (avec justification).**
b) **la distance d_S du centre de masse depuis le bout épais de la planche, déterminée avec une mesure directe (courte description nécessaire).**
c) **à l'aide de la période minimale, l'accélération terrestre g**