

**Mécanique sur tableaux magnétiques 1000735****Instructions d'utilisation**

06/15 ALF

**1. Description**

Le kit Mécanique - Statique permet de réaliser toutes les expériences fondamentales en matière de statique. La particularité est que tous les montages expérimentaux peuvent être effectués sur un tableau magnétique vertical à l'aide des pièces aimantées. Les puissants aimants garantissent une fixation sûre de toutes les pièces. Grâce à cette technique d'expérimentation, tout matériel de support est superflu et, d'autre part, les pièces peuvent être déplacées aisément. Ce qui permet un montage rapide des expériences et un ajustage simplifié. La disposition verticale et les grandes dimensions de toutes les pièces garantissent une bonne visibilité de toutes les expériences. L'absence de matériel de support entraîne la suppression de toute influence perturbatrice. En outre, le travail au tableau magnétique permet d'apporter des inscriptions direc-

tement sur le montage de l'expérience. D'une part, il est possible - au besoin - de dénommer les composants. D'autre part, on peut inscrire les grandeurs physiques modifiées ou mesurées, par exemple les longueurs et les forces dans leurs positions mutuelles. Enfin, un schéma représentant le principe du montage expérimental peut être placé à côté du montage. Ce schéma peut être réalisé avant le montage, permettant ainsi de réaliser l'expérience d'après lui. Mais il peut également être développé après le montage, les principaux composants de l'expérience étant mis en évidence. Ce système permet par exemple de représenter des forces et des parallélogrammes de forces.

Pour réaliser les expériences, le kit propose en outre un tableau magnétique aux dimensions minimum de 100 cm x 100 cm.

## 2. Matériel fourni

N°	Composant	Quantité
1.	Dynamomètre 5 N	2
2.	Plan incliné à poulie fixe et graphomètre	1
3.	Cylindre 5 N	1
4.	Parallélépipède en aluminium avec 2 crochets 2 N	1
5.	Corps à crochet 1 N	6
6.	Petite poulie	1
7.	Grande poulie	1
8.	Moufle à 2 poulies	1
9.	Levier	1
10.	Barre filetée en acier	1
11.	Contrepoids avec vis de serrage	1
12.	Ressorts cylindriques	3
13.	Disque de centre de gravité	1
14.	Fil à plomb	1
15.	Support	3
16.	Manchons en caoutchouc	3
17.	Crochet en laiton	3
18.	Étrier en laiton	1
19.	Graduation aimantée	1
20.	Flèches aimantées	4
21.	Équerre aimantée	1
22.	Fil en nylon à boucles	4

## 3. Expériences avec le matériel fourni

### Nature d'une force, composition et décomposition de forces

1. Mesure de force avec un dynamomètre à ressort - la force comme grandeur vectorielle
2. Décalage d'une force le long d'une ligne d'action
3. Loi de Hooke
4. Addition de forces avec une ligne d'action commune
5. Action égale réaction
6. Addition de forces de différentes directions - Emploi de dynamomètres
7. Addition de forces de différentes directions - Emploi de corps à crochet
8. Décomposition d'une force en deux composantes verticales superposées
9. Décomposition d'une force en deux forces parallèles

### Centre de gravité et position d'équilibre

10. Lignes de gravité et centre de gravité d'un disque en plastique
11. Positions d'équilibre d'un corps suspendu
12. Positions d'équilibre - Centre de gravité à l'extérieur du levier

### Dispositifs de transformation de la force

13. Équilibre de forces sur un levier à deux bras
14. Équilibre de forces sur un levier à un bras
15. Couple de rotation
16. Forces exercées sur une poulie fixe
17. Forces exercées sur une poulie mobile
18. Forces exercées sur un palan
19. Forces exercées sur un plan incliné - Étude avec le dynamomètre
20. Forces exercées sur un plan incliné - Étude avec des corps à crochet
21. Frottement de glissement - Étude avec un dynamomètre
22. Frottement de glissement - Étude avec des éléments de pesage
23. Frottement par adhérence
24. Frottement de roulement

### Oscillations

25. Durée de période d'un pendule à fil
26. Durée de période d'un oscillateur à ressort vertical
27. Résonance de deux oscillateurs à ressort

## 4. Notes sur quelques éléments de montage

### 1. Dynamomètre à ressort

Le dynamomètre à ressort peut être utilisé dans toutes les positions. Le cas échéant, il suffit de tenir compte du propre poids des fils, crochets, etc. Mais son influence est faible lorsque les forces utilisées sont importantes. Pour atteindre la position zéro de l'aiguille, tournez le disque gradué. Le fil doit être placé sur la poulie dans le sens des aiguilles d'une montre.

### 2. Plan incliné

Le plan incliné peut être aisément fixé au tableau magnétique dans différents angles. Le fil à plomb indique l'angle.

### 3. Moufle à 2 poulies

Le moufle à deux poulies peut être utilisé comme roue mobile. Pour cela, il est utile de

dévisser une poulie. Le montage de l'expérience en est plus clair et le poids massique du moufle réduit.

#### 4. Flèches et équerre aimantées

Les directions des forces et des mouvements peuvent être marquées par les flèches aimantées. Les flèches ayant toutes la même longueur, il est nécessaire toutefois, en cas de forces différentes, de signaler que les flèches ne représentent pas exactement les sommes des forces.

L'équerre aimantée permet de présenter la position du centre de rotation.

### 5. Réalisation des expériences

#### 1. Mesure de force avec un dynamomètre à ressort - la force comme grandeur vectorielle

##### Matériel

1. Dynamomètre
2. Cylindre
3. Parallélépipède en aluminium avec 2 crochets
4. Corps à crochet
5. Crochet en laiton
6. 3 fils à boucles de longueurs différentes

##### Montage de l'expérience

- Placez le dynamomètre dans la partie supérieure du tableau magnétique.
- Puis, attachez-y le fil avec les boucles et, à son extrémité, le crochet en laiton.

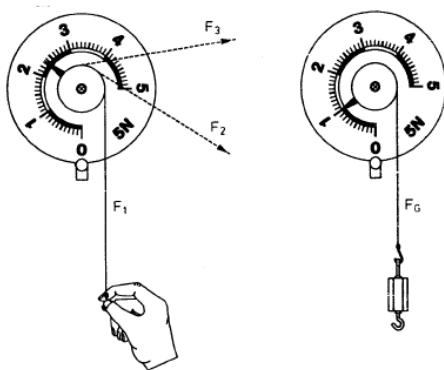


Fig. 1

##### Expérience

- Avec la main, exercez une force toujours plus importante sur le dynamomètre à ressort.

- Faites agir la force successivement dans différentes directions.
- Enfin, accrochez successivement le corps à crochet, le parallélépipède en aluminium et le cylindre au dynamomètre.

##### Résultat

Les forces présentent différentes valeurs et peuvent agir dans différentes directions. La force massique est orientée verticalement vers le bas. Pour être identifiée, une force doit recevoir une valeur et une direction.

#### 2. Décalage d'une force le long d'une ligne d'action

##### Matériel

1. Dynamomètre
2. 3 corps à crochet
3. Crochet en laiton
4. 3 fils à boucles

##### Montage de l'expérience

- Fixez le dynamomètre à ressort dans la partie supérieure du tableau magnétique.
- À son point de mesure, fixez les trois fils à boucles.

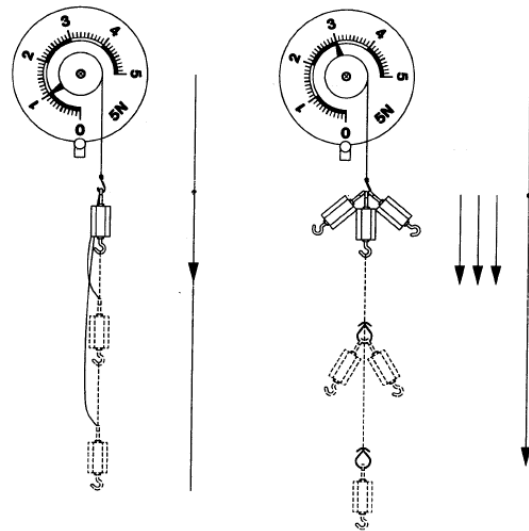


Fig. 2

##### Expérience

- D'abord, accrochez le corps dans le crochet du dynamomètre et déterminez la force indiquée.
- Puis, accrochez ce corps toujours plus bas, pas à pas, d'une boucle à l'autre.
- Ensuite, fixez les trois corps à crochet au dynamomètre.

- Pour terminer, placez d'abord un, puis les deux corps à crochet toujours plus bas, pas à pas, d'une boucle à l'autre.
- Déterminez à chaque fois la force indiquée.

### Résultat

Une force peut être déplacée le long de sa ligne d'action.

### 3. Loi de Hooke

#### Matériel

1. 3 corps à crochet
2. 2 ressorts cylindriques
3. Support
4. Manchon en caoutchouc
5. Graduation aimantée

#### Montage de l'expérience

- Placez la graduation verticalement sur le tableau magnétique.
- Fixez le support à son extrémité supérieure.
- Puis accrochez-y un ressort fixé par un manchon en caoutchouc.

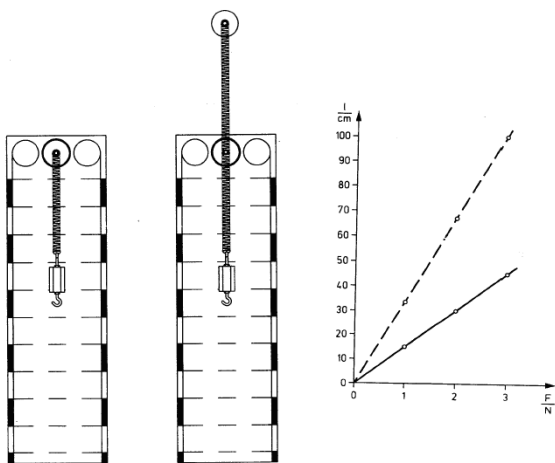


Fig. 3

#### Expérience

- Déterminez la position de l'extrémité inférieure du ressort.
- Puis, fixez un corps à crochet au ressort, déterminez l'allongement et notez la valeur dans le tableau.
- Ensuite, accrochez deux, puis trois corps dans les ressorts et déterminez à chaque fois l'allongement.
- Répétez l'expérience avec deux ressorts accrochés l'un au-dessus de l'autre. Dans ce cas, il est utile de placer le support pour les ressorts au-dessus de la graduation.

- Déterminez à chaque fois l'allongement et notez la force massique dans le tableau.
- L'allongement est représenté dans le graphique en fonction de la force.

### Tableau

Force massique des corps $F_G$ en N	Allongement d'un ressort $\Delta l$ en cm	Allongement de deux ressorts $\Delta l$ en cm
0		
1		
2		
3		

### Résultat

Plus la force agissante est élevée, plus l'allongement est important. La loi de Hooke s'applique :  $\Delta l \sim F$ . L'allongement dû à une certaine force dépend des propriétés du ressort.

### 4. Addition de forces avec une ligne d'action commune

#### Matériel

1. Dynamomètre
2. 5 corps à crochet
3. 2 fils à boucles

#### Montage de l'expérience

- Fixez le dynamomètre à ressort dans la partie supérieure du tableau magnétique.
- Fixez les deux fils à boucles au dynamomètre à ressort.

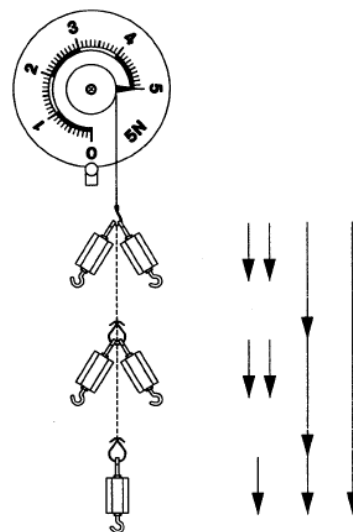


Fig. 4

### Expérience

- Fixez d'abord un corps à crochet au dynamomètre, puis successivement les autres, au choix au dynamomètre ou aux fils.
- En tous les cas, lisez à chaque fois la force indiquée.

### Résultat

Lorsque toutes les forces agissent le long d'une ligne d'action, la force totale est égale à la somme des forces partielles. Le sens de la force totale est identique à celui des forces partielles.

## 5. Action égale réaction

### Matériel

1. 2 dynamomètres
2. Fil à boucles

### Montage de l'expérience

- Placez les deux dynamomètres sur les deux côtés du tableau magnétique, de manière à ce que le fil à boucles court se trouve entre eux. Dans un premier temps, il n'est pas encore tendu.

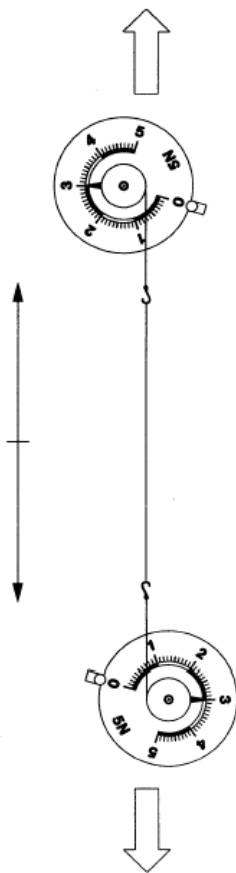


Fig. 5

### Expérience

- Déplacez le dynamomètre de gauche progressivement vers la gauche.

Lorsque le fil est tendu, les deux dynamomètres indiquent une force. Les forces augmentent au fur et à mesure que le dynamomètre est déplacé. En tous les cas, elles sont identiques.

- Ramenez le dynamomètre de gauche dans sa position initiale et déplacez celui de droite progressivement vers l'extérieur.

Lorsque l'écart entre les dynamomètres augmente, les deux forces qui apparaissent sont toujours identiques.

### Résultat

Lorsqu'une force est exercée sur un corps, celui-ci oppose à cette force une force toujours identique, mais contraire. Action égale réaction.

## 6. Addition de forces de différentes directions - Emploi de dynamomètres

### Matériel

1. 2 dynamomètres
2. Ressort
3. Disque de centre de gravité
4. 3 supports
5. 3 manchons en caoutchouc
6. Crochet
7. Fil à boucles

### Montage de l'expérience

- Fixez les deux dynamomètres des deux côtés dans la partie supérieure du tableau magnétique et reliez-les avec un fil à boucles.
- Suspendez le crochet à ce fil.
- Fixez le ressort cylindrique au crochet. Tendez le ressort vers le bas, puis fixez-le dans un support avec un manchon en caoutchouc.
- Mettez un support supplémentaire à l'endroit où se trouve le crochet.
- Fixez le disque de centre de gravité à l'un des supports devant le ressort, de manière à ce que celui-ci soit recouvert et que seul le crochet soit visible avec le support.

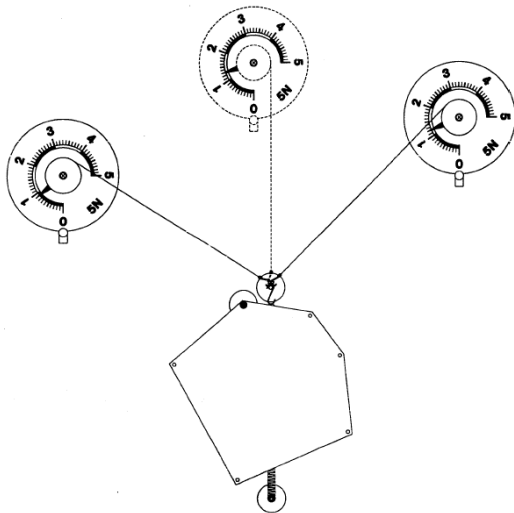


Fig. 6

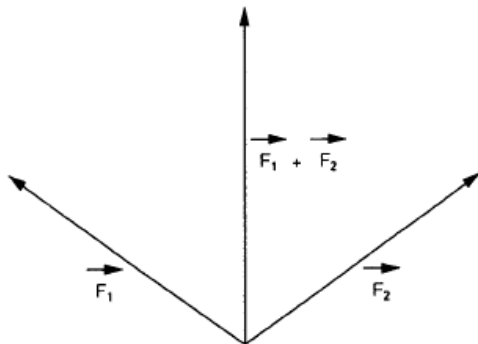


Fig. 6 a

### Expérience

- Déplacez les deux dynamomètres de sorte que le crochet ne soit plus en contact avec le support.

Dans cette position, deux forces, qui sont en équilibre avec la force du ressort, agissent sur le crochet.

- Reproduisez dans le tableau le sens et la valeur des deux forces des dynamomètres.
- Puis, retirez l'un des dynamomètres et accrochez la boucle ainsi libérée au point de mesure du dynamomètre restant.
- À présent, déplacez ce dernier, jusqu'à ce que le crochet ne touche plus le support.

Dans ce cas, la force mise à disposition par le dynamomètre présente le même effet que les deux forces individuelles auparavant.

- Reproduisez également le sens et la valeur de cette force dans le tableau.

Cette force est représentée par la diagonale du parallélogramme de forces.

### Résultat

Lorsque deux forces agissent sur un corps dans différentes directions, elles peuvent être remplacées par une seule force. La valeur et la direction de cette force résultent de la diagonale du parallélogramme.

### 7. Addition de forces de différentes directions - Emploi de corps à crochet

#### Matériel

1. Dynamomètre
2. Grande poulie
3. Petite poulie
4. 6 corps à crochet
5. Ressort cylindrique
6. Disque de centre de gravité
7. 3 supports
8. 3 manchons en caoutchouc
9. Crochet en laiton
10. Fil à boucles long

#### Montage de l'expérience

- Fixez les deux poulies des deux côtés dans la partie supérieure du tableau magnétique.
- Disposez le fil autour des poulies et suspendez 2 corps à crochet dans chaque boucle.
- Fixez le ressort dans la partie inférieure du tableau magnétique à un support avec un manchon.
- Reliez l'autre extrémité du ressort au fil via un crochet.
- Déplacez le support vers le bas, jusqu'à ce que vous obteniez l'angle souhaité entre les deux forces orientées de biais vers le haut.
- Ensuite, placez un support à l'emplacement du crochet, sans que ce dernier ne soit touché.
- Fixez le disque de centre de gravité à un support supplémentaire, de manière à ce qu'il recouvre le ressort et que seul le crochet soit visible avec le support.

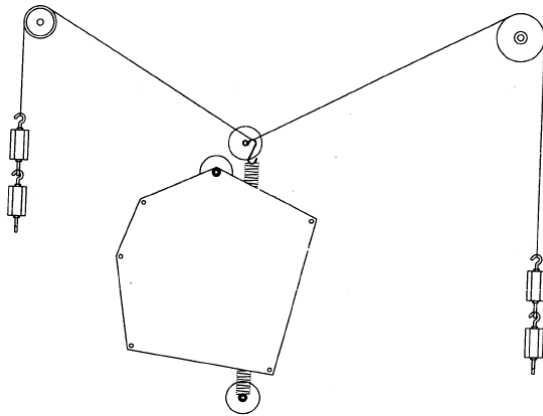


Fig. 7

### Expérience

Les deux corps à crochet exercent une force sur le crochet, de manière à ce que celui-ci reste dans cette position.

- Marquez les deux directions des forces au tableau et notez-les de pointes de flèches de sorte que la longueur des vecteurs corresponde aux forces.

L'objectif est de remplacer ces deux forces par une seule force, de manière à obtenir le même effet.

- Pour cela, remplacez le fil avec le corps à crochet par le dynamomètre. Déplacez celui-ci vers le haut ou vers le côté, de manière à ce que le crochet soit de nouveau suspendu librement.

À présent, le dynamomètre exerce sur le crochet la même force qu'auparavant les deux corps à crochet.

- Esquissez au tableau le sens et la valeur de la force du dynamomètre.

Après avoir retiré le dynamomètre, on observe que la force est égale aux diagonales du parallélogramme de forces résultant des deux forces individuelles.

### Résultat

Lorsque deux forces agissent sur un corps dans différentes directions, elles peuvent être remplacées par une seule force. La valeur et la direction de la diagonale dans le parallélogramme de forces, qui part du point d'attaque des deux forces, correspondent à la somme des deux forces individuelles.

## 8. Décomposition d'une force en deux composantes verticales superposées

### Matériel

1. 2 dynamomètres
2. 5 corps à crochet
3. Poulie
4. Support
5. Manchon en caoutchouc
6. Crochet en laiton
7. 2 fils à boucles

### Montage de l'expérience

- Fixez un dynamomètre à mi-hauteur dans la partie gauche du tableau magnétique, l'autre au milieu de la partie supérieure.
- Reliez les deux dynamomètres par un fil court à boucles.
- Suspendez le crochet en laiton dans ce fil et pourvoyez-le d'un autre fil à boucles.
- Accrochez les 5 éléments de pesage dans la boucle encore libre et placez le fil au-dessus d'une poulie, de manière à ce qu'il tire de biais vers le bas à droite.
- Modifiez la position du dynamomètre supérieur de sorte à obtenir un angle droit entre les deux forces qui partent des dynamomètres.
- À l'emplacement du crochet en laiton, mettez le support de sorte que le crochet ne le touche pas.

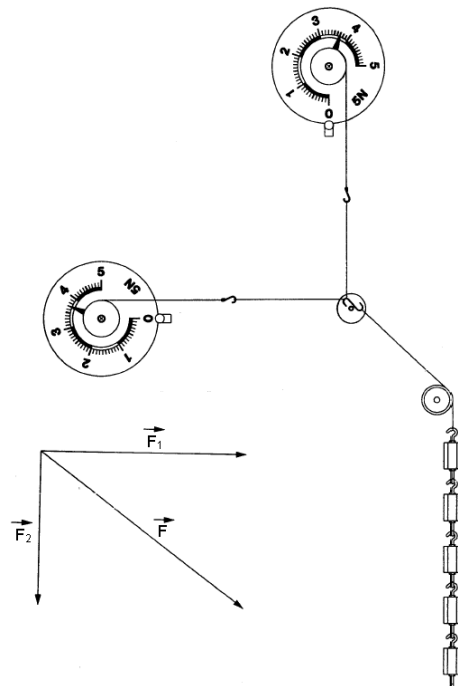


Fig. 8

## Expérience

Les corps à crochet exercent sur le crochet en laiton une force orientée de biais vers le bas. Cette force est décomposée à hauteur du crochet en deux composantes dirigées verticalement l'une vers l'autre. L'une des forces a une orientation verticale, l'autre une orientation horizontale. Les forces indiquées par les dynamomètres indiquent la force contraire des deux composantes de la force décomposée.

- Dans le parallélogramme des forces, inscrivez d'abord la valeur et la direction de la force orientée de biais vers le bas  $F$  des corps à crochet.
- Puis, tracez une ligne horizontale et verticale partant du point de départ de cette force.
- À présent, construisez un parallélogramme dans lequel la force des corps à crochet est représentée par la diagonale dans le rectangle.

La valeur des deux forces partielles émanant du point d'attaque de la force peut être lue dans le parallélogramme. Ces valeurs correspondent à celles indiquées par les deux dynamomètres. Mais la direction des forces partielles agissant sur les dynamomètres est contraire à ces forces partielles, car celles-ci représentent des forces opposées.

## Résultat

Chaque force peut être décomposée en deux forces partielles orientées verticalement l'une vers l'autre. Les valeurs des deux forces partielles correspondent aux longueurs des deux côtés du rectangle dans lequel la force décomposée représente la diagonale. Chacune des deux forces partielles est inférieure à la force décomposée.

## 9. Décomposition d'une force en deux forces parallèles

### Matériel

1. 2 dynamomètres
2. Levier
3. 4 corps à crochet

### Montage de l'expérience

- Fixez les dynamomètres à la même hauteur dans les parties droite et gauche du tableau magnétique.
- Accrochez le levier aux dynamomètres de manière à ce que les points d'attaque de la

force se situent dans le dernier trou extérieur du levier.

- À présent, modifiez la position des dynamomètres de sorte que les forces agissent verticalement vers le haut et que le levier pende horizontalement.

Pour corriger les déviations occasionnées sur les dynamomètres par la force massique du levier, tournez le disque gradué.

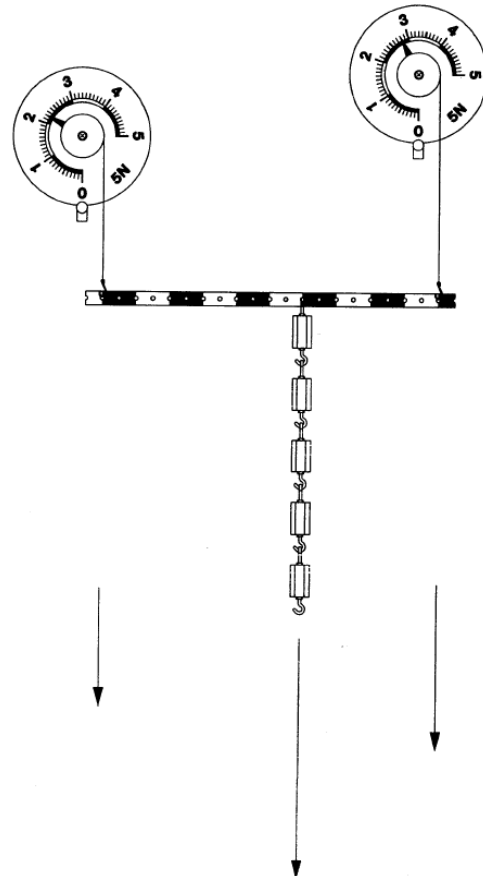


Fig. 9

## Expérience

- Déterminez d'abord la force massique (identique) indiquée par les deux dynamomètres.
- Puis, accrochez les 4 corps reliés entre eux d'abord au milieu du levier et déterminez les forces partielles indiquées par les dynamomètres.
- Ensuite, déplacez progressivement le point de suspension vers l'extérieur et déterminez à chaque fois les forces partielles. Pour cela, avant la lecture, il est nécessaire de réajuster horizontalement le levier en décalant verticalement les dynamomètres.
- Inscrivez les forces partielles  $F_1$  et  $F_2$  et les écarts  $a_1$  et  $a_2$  la valeur dans le tableau.

La somme des forces partielles indiquées par les dynamomètres est égale à la force massique des corps à crochet.



Tableau

Force $F_1$ en N	Force $F_2$ en N	Écart $a_1$ en cm	Écart $a_2$ en cm

### Résultat

Une force peut être décomposée en deux forces partielles parallèles. La somme des forces partielles est égale à la force totale. Le comportement des forces partielles est contraire à celui des écarts des points d'attaque des forces partielles par rapport au point d'attaque de la force totale.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{a_2}{a_1}$$

## 10. Lignes de gravité et centre de gravité d'un disque en plastique

### Matériel

1. Disque de centre de gravité
2. Fil à plomb
3. Support
4. Manchon en caoutchouc

### Montage de l'expérience

- Fixez le support au milieu de la partie supérieure du tableau magnétique et enfichez sur le support le disque de centre de gravité par l'un des trous.
- Puis, fixez le fil à plomb au support et protégez-le avec le manchon en caoutchouc.

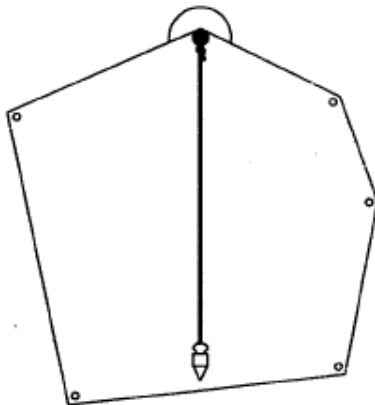


Fig. 10

### Expérience

- Le long du fil à plomb, tracez un trait mince au crayon.
- Puis, accrochez le disque de centre de gravité à l'un des autres trous, fixez de nouveau le fil à plomb au support et tracez un nouveau trait au crayon le long du fil.
- Procédez de la même manière avec les autres trous du disque de centre de gravité.

### Résultat

Toutes les lignes de gravité se coupent au même point. C'est le centre de gravité du disque en plastique.

- Pour le vérifier, retirez le disque du support, placez-le en position horizontale et soutenez-le en son centre de gravité avec un crayon pointu.

Le disque soutenu en son centre de gravité ne modifie pas sa position.

### Note

En vérité, le centre de gravité du disque se situe à l'intérieur. Aussi, lorsqu'il est soutenu au point déterminé, le disque ne reste pas immobile dans chaque position.

## 11. Positions d'équilibre d'un corps suspendu

### Matériel

1. Levier
2. Barre filetée en acier
3. Support
4. Manchon en caoutchouc

### Montage de l'expérience

- Fixez le support au milieu de la partie supérieure du tableau, enfichez le levier dans son trou central et protégez-le avec un manchon en caoutchouc.

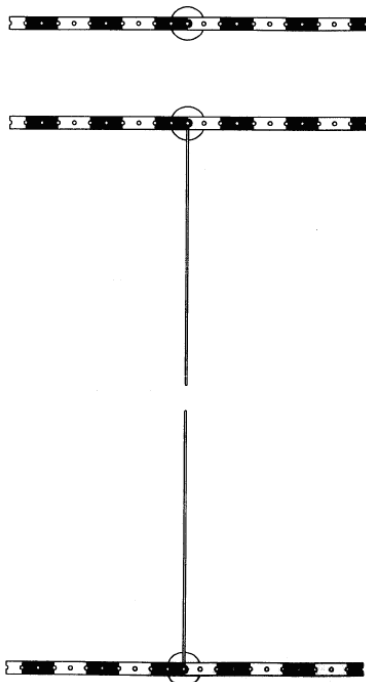


Fig. 11

### Expérience

- Placez le levier dans différentes positions et relâchez-le à chaque fois.
- Puis, fixez la barre filetée en acier dans la partie centrale du levier, de sorte qu'elle soit tournée vers le bas.
- Encore une fois, placez le levier dans différentes positions, la barre se trouvant au-dessous du point de suspension, puis relâchez-le.
- Enfin, tournez le levier à  $180^\circ$ , de telle sorte que la barre en acier soit orientée verticalement vers le haut.
- Relâchez le levier également dans cette position.

### Résultat

Dans le premier cas, le levier est en équilibre indifférent. Il reste immobile dans n'importe quelle position.

Dans le deuxième cas, le levier est en équilibre stable. S'il est dévié de sa position d'équilibre, il retourne toujours dans cette dernière.

Dans le troisième cas, le levier est en équilibre instable. Il ne reste qu'un court instant dans cette position. Tout écart, aussi faible soit-il, l'entraîne dans une position d'équilibre stable.

## 12. Positions d'équilibre - Centre de gravité à l'extérieur du levier

### Matériel

1. Levier
2. Barre filetée en acier
3. Contrepoids avec vis de serrage
4. Fil à plomb
5. Support
6. Manchon en caoutchouc

### Montage de l'expérience

- Vissez la barre filetée en acier au milieu du levier.
- À proximité de l'extrémité inférieure de la barre, fixez le contrepoids avec la vis de serrage.
- Placez le support au milieu de la partie supérieure du tableau magnétique et glissez le fil à plomb sur le support jusqu'à la plaque de base.
- Enfichez le levier par l'un des trous sur le support et fixez-le avec le manchon en caoutchouc.

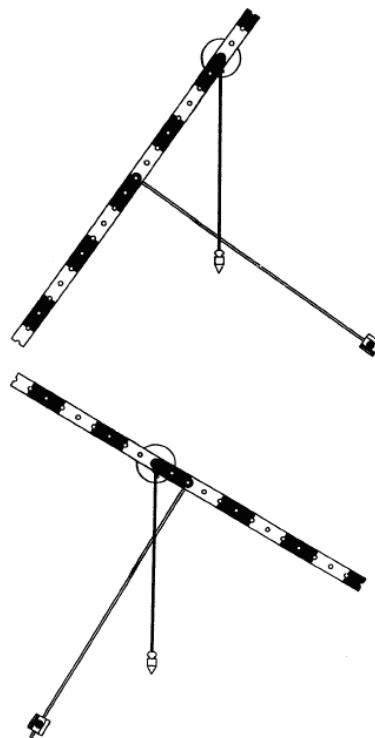


Fig. 12

### Expérience

- Marquez par ex. avec un petit morceau de ruban adhésif l'endroit où le fil coupe la barre filetée.

- Puis, enfichez le levier dans un autre trou du support et déterminez le point d'intersection entre le fil à plomb et la barre en acier.
- Répétez l'expérience avec deux trous qui, vus de la barre en acier, se trouvent de l'autre côté du levier.
- Enfin, retirez le levier et le fil à plomb du support et placez la barre en acier sur un bout du doigt, de sorte que le point de support se situe à l'emplacement marqué de la barre.

### Résultat

Dans tous les cas, le point d'intersection entre le fil à plomb et la barre se situe au même endroit. Ce point se situe à l'extérieur du levier. C'est le centre gravité du montage.

## 13. Équilibre de forces sur un levier à deux bras

### Matériel

1. 6 corps à crochet
2. Levier
3. Barre filetée en acier
4. Contrepoids avec vis de serrage
5. Support
6. Manchon en caoutchouc
7. Équerre aimantée

### Montage de l'expérience

- Fixez le support au milieu de la partie supérieure du tableau, enfichez le levier dans son trou central et fixez-le avec un manchon en caoutchouc.
- Vissez la barre en acier sous le support dans le levier et fixez-y le contrepoids à mi-hauteur.

Plus la masse de compensation est située en hauteur, plus la sensibilité du levier est importante.

- Marquez le centre de rotation du levier à l'aide de l'équerre aimantée.

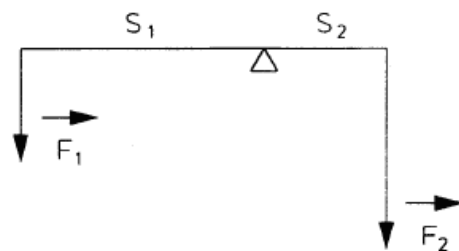
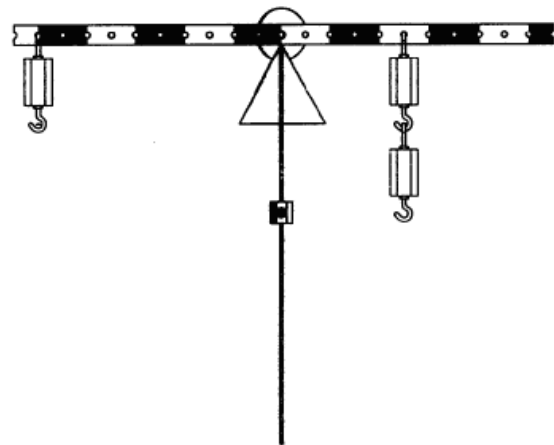


Fig. 13

### Expérience

- Suspendez un corps à crochet dans le trou extérieur gauche du levier.
- Puis, cherchez le trou sur le côté droit du levier dans lequel il faut également suspendre un corps à crochet pour que le levier se trouve en équilibre.
- Les endroits où les forces agissent peuvent être marqués par les flèches représentant les forces.
- Mesurez l'écart entre les deux points d'attaque et le centre de rotation et inscrivez la valeur dans le tableau, de même que les forces massiques des deux corps à crochet.
- Puis, suspendez un autre corps au corps droit et cherchez le trou dans lequel doivent être placés les deux corps pour obtenir un équilibre.
- Inscrivez les forces et les bras dans le tableau.
- À présent, accrochez le corps gauche dans deux trous plus à l'intérieur (8ème trou à compter du centre de rotation).
- Pour établir l'équilibre, placez d'abord un, puis deux et enfin quatre corps à l'endroit correspondant.
- Inscrivez dans le tableau la longueur des bras et la valeur des forces.

Tableau

Bras de levier gauche $s_1$ en cm	Force agissant à gauche $F_1$ en N	Bras de levier droit $s_2$ en cm	Force agissant à droite $F_2$ en N	$F_1 \cdot s_1$ en Ncm	$F_2 \cdot s_2$ en Ncm

### Résultat

Plus la force en action est éloignée du centre de rotation, plus elle doit être faible pour obtenir un équilibre des forces. L'évaluation mathématique résulte du produit de la force et du bras pour les deux bras de levier (les deux dernières colonnes du tableau). On a l'équation suivante :

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2.$$

## 14. Équilibre de forces sur un levier à un bras

### Matériel

1. Dynamomètre
2. 6 corps à crochet
3. Levier
4. Support
5. Manchon en caoutchouc
6. Équerre aimantée

### Montage de l'expérience

- Fixez le support au milieu de la partie supérieure du tableau magnétique.
- Enfichez le levier (dernier trou à gauche) sur le support et accrochez dans le dernier trou à droite le dispositif de mesure du dynamomètre à ressort.
- Fixez le dynamomètre au tableau magnétique de manière à ce que le levier se trouve en position horizontale et que la ligne d'action de la force soit verticale vers le bas.

Pour corriger la déviation du dynamomètre occasionnée par le propre poids du levier, tournez le disque gradué de manière à ce qu'il indique zéro.

- Marquez le centre de rotation du levier à l'aide de l'équerre aimantée.

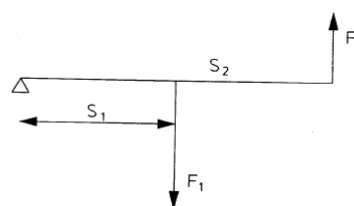
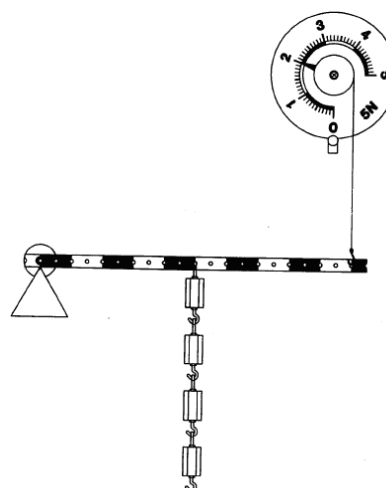


Fig. 14

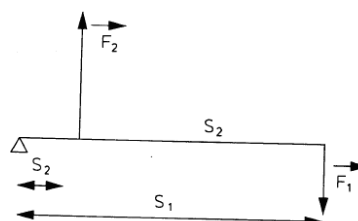
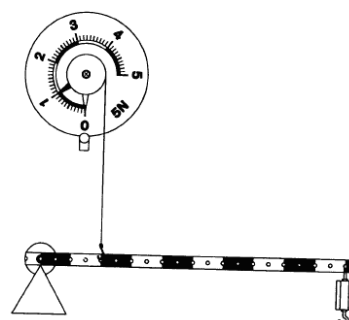


Fig. 14 a

### Expérience

- Suspendez quatre corps ensemble et fixez-les d'abord à mi-longueur du levier.
- Inscrivez dans le tableau la longueur des bras et la valeur des forces.
- Accrochez d'abord les corps dans un trou tourné vers le centre de rotation, puis dans un trou opposé. Inscrivez les valeurs des grandeurs physiques dans le tableau.
- Desserrez le dynamomètre du levier et accrochez-le dans le 4e trou à compter du centre de rotation.

- Le levier doit être horizontal et la ligne d'action orientée verticalement vers le haut.
- Effectuez une nouvelle correction du point zéro du dynamomètre.
- À présent, placez un corps successivement à trois endroits du levier se trouvant à droite du point de mesure de la force.
- Inscrivez les valeurs des grandeurs physiques dans le tableau.

Tableau

Bras de levier $s_1$ en cm	Force agissant vers le bas $F_1$ en N	Bras de levier $s_2$ en cm	Force agissant vers le haut $F_2$ en N	$F_1 \cdot s_1$ en Ncm	$F_2 \cdot s_2$ en Ncm

### Résultat

Plus l'écart entre le point d'attaque de la force et le centre de rotation est important, plus la force doit être faible pour obtenir un équilibre des forces. L'évaluation mathématique résulte du produit du bras de levier et de la force correspondante (les deux dernières colonnes du tableau). Pour le levier à un bras :

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2.$$

## 15. Couple de rotation

### Matériel

1. 2 dynamomètres
2. Levier
3. Support
4. Manchon en caoutchouc
5. Équerre aimantée

### Montage de l'expérience

- Fixez le support au milieu du tableau magnétique.
- Enfichez le levier par son trou central au support et fixez-le avec le manchon en caoutchouc.
- Placez un dynamomètre au-dessus du bras droit du levier, l'autre au-dessous.
- Marquez le centre de rotation du levier à l'aide de l'équerre aimantée.

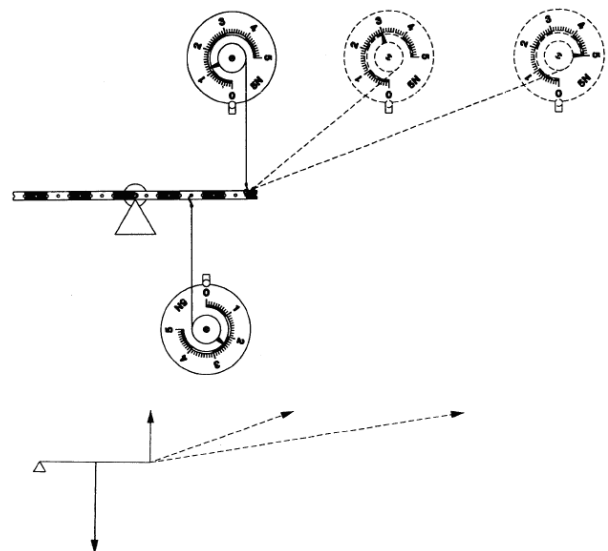


Fig. 15

### Expérience

- Dans un premier temps, accrochez le point de mesure du dynamomètre supérieur dans le dernier trou du levier.
- Accrochez le point de mesure du dynamomètre inférieur dans le cinquième trou du centre de rotation.
- Modifiez la position du dynamomètre de manière à ce que le levier se trouve en position horizontale et que les fils soient orientés verticalement vers le haut ou vers le bas.
- Sur l'un des dynamomètres, réglez une force de quelques newtons.
- Inscrivez dans le tableau l'écart entre le point d'attaque de la force et le centre de rotation du levier ainsi que les forces correspondantes.
- Puis, variez d'abord deux fois le point d'attaque du dynamomètre inférieure, puis le point d'attaque du dynamomètre supérieur.
- Dans tous les cas, réglez une position horizontale du levier et veillez à obtenir des forces verticales.
- Reportez dans le tableau les écarts du centre de rotation et les forces.
- Enfin, modifiez la position du dynamomètre inférieure de sorte que le sens de la force diverge toujours fortement de la verticale sur le levier. Cependant, le levier doit rester en position horizontale.

Tableau

Écart de la 1ère force du centre de rotation $s_1$ en cm	1. Force $F_1$ en N	Écart de la 2e force du centre de rotation $s_2$ en cm	2. Force $F_2$ en N	Couple de rotation 1 $F_1 \cdot s_1$ en Ncm	Couple de rotation 2 $F_2 \cdot s_2$ en Ncm

### Résultat

Pour décrire l'équilibre d'un corps tournant, vous pouvez vous servir du couple de rotation. C'est le produit de l'écart entre le point d'attaque de la force et le centre de rotation et de la force verticale correspondante. En cas d'équilibre, la valeur du couple tournant à droite est égale à celle du couple tournant à gauche.

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2.$$

Plus la force diverge du sens vertical par rapport au bras de levier, plus elle doit être importante pour conserver l'équilibre. Ce résultat confirme qu'il est utile de déterminer le couple de rotation comme produit de l'écart entre le point d'attaque de la force et le centre de rotation et de la force verticale correspondante. Plus la force diverge de ce sens, plus elle doit être importante pour obtenir le même couple de rotation.

## 16. Forces exercées sur une poulie fixe

### Matériel

- 6 corps à crochet
- Grande poulie
- Support
- Manchon en caoutchouc
- Graduation aimantée
- Fil en nylon à boucles

### Montage de l'expérience

- Fixez la graduation verticalement au tableau magnétique.
- Disposez la grande poulie au milieu de l'extrémité supérieure de la graduation.
- Placez le fil sur la poulie. Fixez un corps dans chaque boucle.

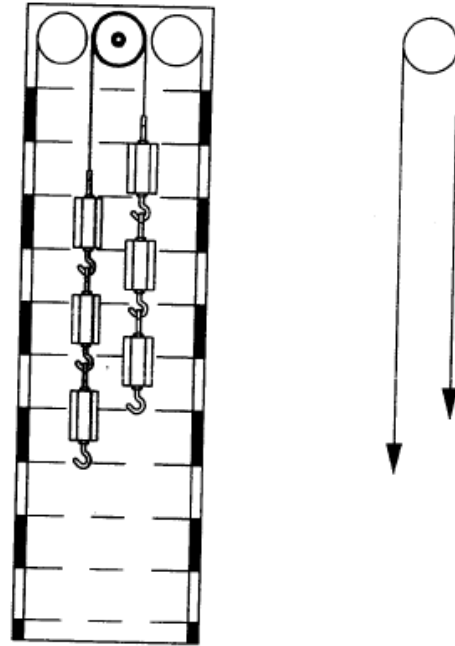


Fig. 16

### Expérience

- Augmentez le nombre de corps d'abord à deux, puis à trois.
- Dans tous les cas, placez les crochets dans différentes positions et observez le comportement du montage.

### Résultat

Dans le cas d'une poulie fixe, l'équilibre est garanti lorsque la même force agit de chaque côté.

## 17. Forces exercées sur une poulie mobile

### Matériel

- Dynamomètre
- Grande poulie
- Moufle à 2 poulies
- 6 corps à crochet
- Contrepoids avec vis de serrage
- Support
- Manchon en caoutchouc
- Graduation aimantée
- Fil en nylon à boucles

### Montage de l'expérience

- Fixez la graduation verticalement au tableau magnétique.
- Fixez le support au milieu de l'extrémité supérieure de la graduation.
- Placez la grande poulie juste au-dessus.

- Suspendez une boucle du fil au support et fixez-la avec le manchon en caoutchouc.
- Puis, faites passer le fil par le bas et accrochez-y le moufle avec les poulies. Ramenez le fil vers le haut et placez-le au-dessus de la poulie fixe sur l'extrémité supérieure de la graduation.
- Accrochez un corps dans la boucle à l'extrémité du fil et chargez le moufle de deux corps.
- Pour compenser la force massique du moufle à poulies, ajoutez au corps le contre-poids avec la vis de serrage et, au besoin, ajoutez un peu de plastiline.

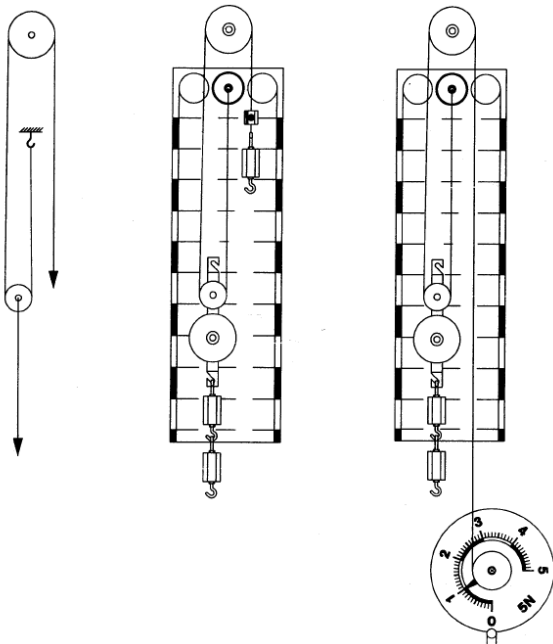


Fig. 17

Fig. 17 a

Fig. 17 b

### Expérience 1

- Disposez le corps dans différentes positions le long de la graduation et relâchez-le à chaque fois.
- Ensuite, accrochez un deuxième corps au moufle et d'autres corps à la boucle, jusqu'à ce que vous obteniez un équilibre.

### Expérience 2

- Remplacez la poulie fixe par un dynamomètre à ressort et accrochez à son point de mesure le fil avec la boucle où s'était trouvé le corps avec le contre-poids doté de la vis de serrage.
- Retirez les corps du moufle.
- D'abord, en tournant le disque gradué, réglez à zéro la déviation de l'aiguille du dynamomètre due au propre poids de la poulie mobile avec le moufle.

- Puis, accrochez successivement les corps au moufle et déterminez à chaque fois la force indiquée par le dynamomètre.

### Résultat

La poulie mobile est en équilibre lorsque la force exercée sur le fil est moitié moins grande que la force de la poulie.

### Note

Pour réaliser les expériences, il est utile de dévisser la grande poulie du moufle. Le montage est alors plus clair et la force massique perturbatrice du moufle réduite.

## 18. Forces exercées sur un palan

### Matériel

1. 6 corps à crochet
2. Petite poulie
3. Grande poulie
4. Moufle à 2 poulies
5. Contre-poids avec vis de serrage
6. Support
7. Manchon en caoutchouc
8. Graduation aimantée
9. Fil en nylon à boucles long

### Montage de l'expérience

- Placez la graduation verticalement sur le tableau magnétique.
- Placez la grande poulie au-dessus du milieu de la graduation, puis, au-dessous, dans la partie supérieure de la graduation, mettez la petite poulie et, plus en dessous encore, le support.
- Disposez une boucle du fil dans le support, fixez-la avec le manchon en caoutchouc, puis faites-la passer sur la petite poulie du moufle. Tenez le moufle de manière à ce que la petite poulie se trouve en haut.
- Ensuite, faites passer le fil par le haut et placez-y la petite poulie, puis de nouveau vers le bas sur la grande poulie du moufle et, enfin, sur la grande poulie.
- Accrochez le contre-poids avec la vis de serrage et, au besoin, ajoutez un peu de plastiline, pour compenser la force massique du moufle.

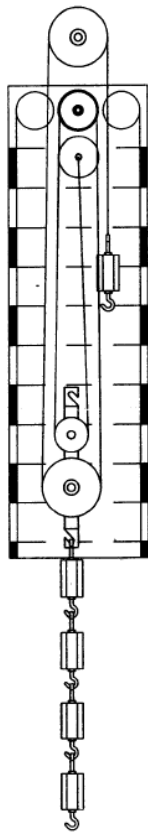


Fig. 18

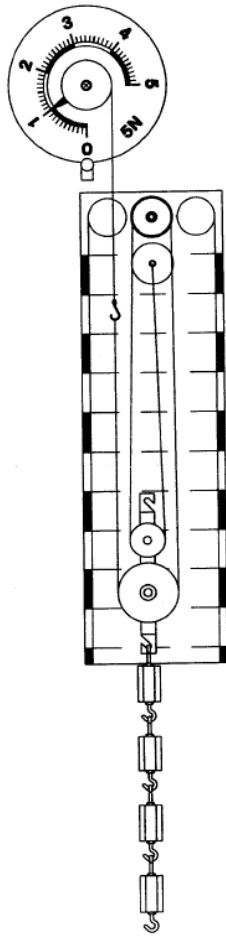


Fig. 18 a

### Expérience

- Accrochez un corps dans la boucle libre.
- Accrochez plusieurs corps au moufle, jusqu'à ce que le palan soit en équilibre.

Montez et descendez le moufle pour vérifier que le palan est en équilibre dans n'importe quelle position.

### Résultat

Le palan avec au total quatre poulies est en équilibre lorsque la force exercée sur le palan est quatre fois plus grande que la force à l'extrémité du fil.

### Note

À la place de la grande poulie supérieure, vous pouvez aussi utiliser un dynamomètre à ressort (fig. 18 b). Il sera placé environ à l'emplacement de la grande poulie, à l'extrémité supérieure du tableau magnétique. Dans ce cas, tournez la graduation pour compenser d'abord la force due au propre poids du moufle. À chaque nouveau corps accroché, la force indiquée augmente de 0,25 N.

## 19. Forces exercées sur un plan incliné - Étude avec le dynamomètre

### Matériel

1. Dynamomètre
2. Plan incliné
3. Cylindre
4. Levier
5. 2 supports
6. Fil à plomb
7. 2 manchons en caoutchouc
8. Fil en nylon à boucles

### Montage de l'expérience

- Placez le plan incliné sur le tableau magnétique vertical et accrochez le fil à plomb à la partie supérieure du graphomètre.
- Dans un premier temps, réglez l'angle par rapport à l'horizontale à  $10^\circ$ .
- Positionnez le cylindre sur le plan, de sorte qu'il se trouve proche du tableau.
- Accrochez le cylindre dans l'une des boucles du fil et faites passer le fil sur la poulie verticalement vers le bas vers le dynamomètre à ressort.
- À partir de l'extrémité inférieure gauche du plan incliné, fixez le levier horizontalement à deux supports dans les 5e et 10e trous à compter de la gauche à l'aide de manchons en caoutchouc.

La hauteur du plan incliné peut donc être déterminée comme écart vertical entre le levier horizontal et l'extrémité inférieure droite du plan incliné.

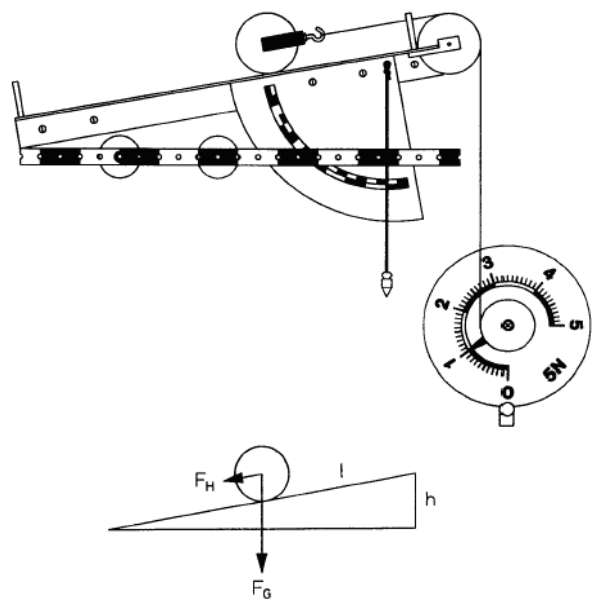


Fig. 19



## Expérience

- Augmentez progressivement de  $10^\circ$  à  $40^\circ$  l'angle entre le plan incliné et le plan horizontal.
- Mesurez à chaque fois la hauteur du plan incliné et la force de porte-à-faux indiquée par le dynamomètre, puis notez les valeurs dans le tableau.

Tableau

Hau- teur $h$ en cm	Lon- gueur $l$ en cm	Force de porte-à- faux $F_H$ en N	Force massique $F_G$ en N	$\frac{h}{l}$	$\frac{F_H}{F_G}$

## Résultat

Plus le plan incliné est élevé, plus la force de porte-à-faux est importante. Pour l'évaluation mathématique, on forme les quotients de la force de porte-à-faux  $F_H$  et de la force massique  $F_G$  ainsi que de la hauteur  $h$  et la longueur  $l$  du plan incliné (les deux dernières colonnes du tableau). La comparaison des quotients confirme :

$$\frac{F_H}{F_G} = \frac{h}{l}$$

## Note

1. Le fil tendu entre la poulie fixe et le dynamomètre à ressort peut également passer horizontalement derrière la poulie ou dans un autre angle quelconque. La seule condition est qu'il se situe à proximité du cylindre parallèlement au plan incliné. L'agencement du fil passant du cylindre au dynamomètre parallèlement au plan incliné est particulièrement compréhensible. Dans ce cas cependant, à chaque modification de l'inclinaison du plan, il faut modifier la position du dynamomètre.

2. Il est également possible d'établir l'équilibre du plan incliné en disposant à l'extrémité du fil, à la place du dynamomètre, des éléments de pesage dont la force massique est égale à la force du porte-à-faux.

3. Dans la mesure où les conditions mathématiques sont données, vous pouvez, à la place de la hauteur et de la longueur, utiliser l'angle dans l'évaluation ( $F_H = F_G \cdot \sin \alpha$ ).

## 20. Forces exercées sur un plan incliné - Étude avec des corps à crochet

### Matériel

1. Plan incliné
2. Cylindre
3. 4 corps à crochet
4. Levier
5. 2 supports
6. Fil à plomb
7. 2 manchons en caoutchouc
8. Fil en nylon à boucles

### Montage de l'expérience

- Placez le plan incliné sur le tableau magnétique vertical et accrochez le fil à plomb à la partie supérieure du graphomètre.
- Dans un premier temps, ajustez le plan incliné à l'horizontale.
- Positionnez le cylindre sur le plan, de sorte qu'il se trouve proche du tableau.
- Accrochez le cylindre dans l'une des boucles du fil et faites passer le fil sur la poulie verticalement vers le bas vers le dynamomètre à ressort.
- Juste sous le plan incliné, fixez le levier horizontalement à deux supports dans les 5e et 10e trous à compter de la gauche à l'aide de manchons en caoutchouc.

La hauteur du plan incliné peut donc être déterminée comme écart vertical entre le levier horizontal et l'extrémité inférieure droite du plan incliné.

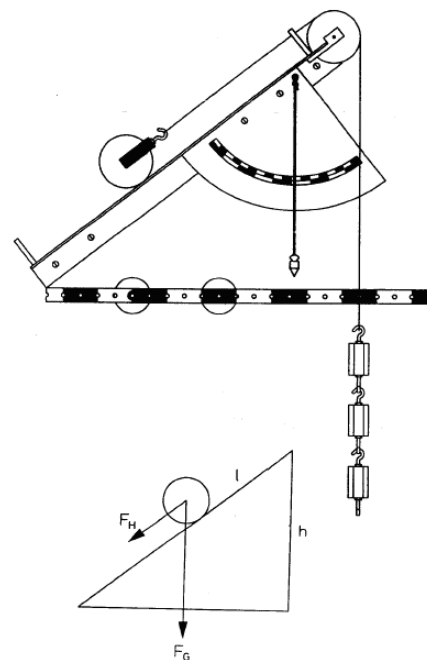


Fig. 20

## Expérience

- Suspendez un corps à crochet dans la deuxième boucle du crochet.
- Dans un premier temps, tenez le cylindre et augmentez l'angle du plan de manière à ce que le corps compense la force du porte-à-faux du cylindre.
- Mesurez la hauteur du plan incliné et notez la valeur dans le tableau avec la longueur du plan, la force massique du cylindre et la force massique du corps .
- Ensuite, fixez deux corps dans la boucle et augmentez l'angle du plan jusqu'à ce que la force des masses compense à nouveau la force du porte-à-faux du cylindre.
- Répétez l'expérience avec trois, puis quatre corps.

Tableau

Hau- teur $h$ en cm	Lon- gueur $l$ en cm	Force de porte- à-faux $F_H$ en N	Force mas- sique corps à crochet $F_G$ en N	$\frac{h}{l}$	$\frac{F_H}{F_G}$

## Résultat

Plus le plan incliné est élevé, plus la force de porte-à-faux est importante. Pour l'évaluation mathématique, on forme les quotients de la force de porte-à-faux  $F_H$  et de la force massique  $F_G$  ainsi que de la hauteur  $h$  et la longueur  $l$  du plan incliné (les deux dernières colonnes du tableau). Les quotients sont identiques :

$$\frac{F_H}{F_G} = \frac{h}{l}$$

## Note

À la place des corps, on peut aussi utiliser une petite balance à plateau très légère. Plusieurs angles quelconques du plan incliné peuvent alors être définis. Pour déterminer alors la force du porte-à-faux, on place des éléments de pesage sur la balance.

## 21. Frottement de glissement - Étude avec un dynamomètre

### Matériel

1. Dynamomètre

2. Plan incliné

3. Parallélépipède en aluminium avec 2 crochets

4. 6 corps à crochet

5. Fil en nylon à boucles

### Montage de l'expérience

- Placez le plan incliné horizontalement sur la partie gauche du tableau magnétique.
- À l'extrémité gauche du plan incliné, placez le parallélépipède en aluminium avec deux crochets, de telle manière qu'il repose du côté large.
- Fixez le fil avec les boucles au crochet. Faites passer le fil sur la poulie fixe, de sorte qu'il soit parallèle au plan incliné.
- Accrochez la deuxième boucle au point de mesure du dynamomètre à ressort.

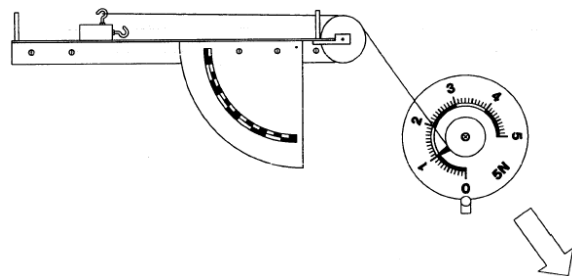


Fig. 21

### Expérience

- Orientez lentement le dynamomètre à l'horizontale ou de biais vers le bas, de sorte que le parallélépipède en aluminium se déplace en un mouvement uniforme.
- Pendant le mouvement, lisez la force de frottement sur le dynamomètre à ressort.
- Ensuite, posez le parallélépipède sur la petite surface de même structure superficielle et répétez l'expérience.

L'application de corps à crochet permet d'augmenter progressivement la force massique effective.

- Ensuite, placez des bandes de différents matériaux (bois, carton, papier, plastique, etc.) sur le plan incliné et répétez l'expérience.

### Résultat

Le frottement de glissement dépend du type de matériaux glissant l'un sur l'autre. Il augmente proportionnellement à la force massique du corps glissant. Il ne dépend pas de la surface frottante.

## Note

Le coefficient du frottement de glissement peut être aisément déterminé. Il suffit de calculer le quotient de la force de frottement de glissement et de la force massique du parallélépipède. Le côté étroit du parallélépipède est recouvert d'une couche en caoutchouc. La comparaison des forces avec les mêmes surfaces de frottement et les différentes natures montre clairement que le frottement dépend du type des matériaux glissant l'un sur l'autre.

## 22. Frottement de glissement - Étude avec des éléments de pesage

### Matériel

1. Plan incliné
2. Parallélépipède en aluminium avec 2 crochets
3. 2 corps à crochet
4. Fil à plomb
5. Fil en nylon à boucles

### Montage de l'expérience

- Fixez le plan incliné avec un petit angle dans la partie supérieure du tableau magnétique.
- Accrochez le fil à plomb sur la partie supérieure du graphomètre.
- À l'extrémité gauche du plan incliné, placez le parallélépipède en aluminium avec deux crochets, de telle manière qu'il repose sur le côté large.
- Suspendez la boucle du fil dans le crochet tourné vers la poulie.
- Faites passer le fil sur la poulie fixe si possible parallèlement au plan incliné et fixez un corps à son autre extrémité.

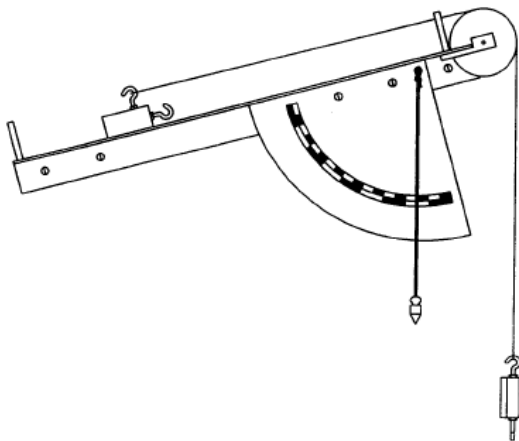


Fig. 22

## Expérience

- Répétez les expériences après avoir disposé différents matériaux (bois, papier, plastique, etc.) sur le plan incliné.
- Réduisez l'angle du plan, de sorte que le parallélépipède en aluminium, après avoir été poussé légèrement, glisse sur le plan à vitesse à peu près constante.
- Comme mesure pour la force requise à ce mouvement, déterminez l'inclinaison du plan.
- Ensuite, posez le parallélépipède sur une très petite surface et répétez l'expérience.
- Enfin, augmentez la force qui presse le parallélépipède sur l'appui en mettant un corps à crochet après l'autre.
- Placez des bandes de différents matériaux (bois, carton, papier, plastique, etc.) sur le plan incliné et répétez l'expérience.

## Résultat

Le frottement de glissement est d'autant plus grand que la force de pression exercée par le corps sur l'appui est importante. Il dépend de la nature des surfaces de glissement. À force massique identique, le frottement de glissement est indépendant de la taille de la surface de glissement.

## Note

1. Vous pouvez déterminer la force de frottement de glissement en observant l'angle que doit présenter le plan pour que le corps puisse remonter le parallélépipède sur le plan. Vous pouvez la déterminer en réglant le plan dans un angle toujours plus raide et en déterminant l'angle où le bloc en aluminium tire le corps vers le haut.

2. On peut aussi se passer du corps et du fil. Placez le parallélépipède en aluminium à l'extrémité supérieure du plan incliné et augmentez l'angle de celui-ci, jusqu'à ce que le bloc en aluminium, après avoir été poussé légèrement, glisse sur le plan à vitesse constante.

3. La modification de l'inclinaison du plan modifie également la force exercée verticalement par le corps sur l'appui. Lorsque le plan est horizontal, cette force est égale à la force massique. Elle diminue au fur et à mesure que diminue l'inclinaison. Lors de l'évaluation, on se basera toutefois sur une force constante. Aussi l'expérience ne permet-elle qu'une estimation des dépendances de la force de frottement.

### 23. Frottement par adhérence

#### Matériel

1. Dynamomètre
2. Plan incliné
3. Parallélépipède en aluminium avec 2 crochets
4. 6 corps à crochet
5. Fil en nylon à boucles

#### Montage de l'expérience

- Fixez le plan incliné horizontalement sur la gauche, dans la partie supérieure du tableau magnétique.
- Placez le parallélépipède en aluminium sur l'extrémité gauche. Fixez le fil à un crochet et faites-le passer sur la poulie fixe, de sorte qu'il soit quasiment parallèle au plan incliné.
- Fixez l'autre extrémité du fil au point de mesure du dynamomètre.

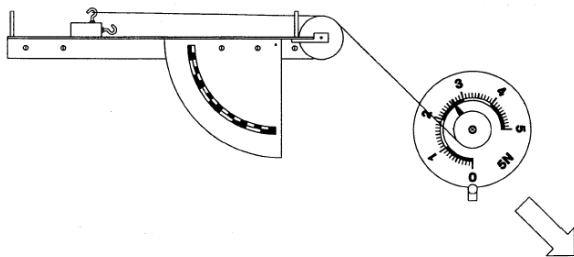


Fig. 23

#### Expérience

- Orientez lentement le dynamomètre à ressort de biais vers le bas à droite. Déterminez la force requise pour mettre le bloc en aluminium en mouvement.
- Posez le parallélépipède sur une très petite surface et répétez l'expérience.
- Enfin, placez des bandes de différents matériaux (bois, métal, carton, plastique, etc.) sur le plan incliné et répétez l'expérience.
- Ensuite, ajoutez successivement plusieurs corps à crochet au bloc en aluminium et déterminez à chaque fois la force nécessaire à la mise en mouvement du bloc.

#### Résultat

Le frottement par adhérence dépend du type de matériaux glissant l'un sur l'autre. Il augmente proportionnellement à la force de pression. À force de pression identique, la force de frottement par adhérence est d'autant plus élevée que la surface de frottement est grande.

Dans tous les cas, la force de frottement par adhérence est supérieure à la force de frotte-

ment de glissement déterminée au cours de l'expérience 21.

#### Note

À la place du dynamomètre à ressort, on peut aussi fixer un corps à crochet à l'extrémité du fil. Pour évaluer les grandeurs de la force de frottement, il suffit alors d'incliner le plan (cf. l'expérience 21). Mais on peut également se passer du fil en choisissant une inclinaison du plan telle que le parallélépipède en aluminium se mette juste à glisser. Les notes 3 de l'expérience 22 s'appliquent également dans ce cas.

### 24. Frottement de roulement

#### Matériel

1. Dynamomètre
2. Plan incliné
3. Cylindre
4. Parallélépipède en aluminium avec 2 crochets
5. 3 corps à crochet
6. Fil en nylon à boucles

#### Montage de l'expérience

- Fixez le plan incliné horizontalement sur la gauche, dans la partie supérieure du tableau magnétique.
- À l'extrémité gauche du plan incliné, placez le cylindre et fixez-y une extrémité du fil.
- Faites passer le fil sur la poulie fixe et fixez-le au dynamomètre à ressort qui se trouve à droite du tableau magnétique, sous le plan.

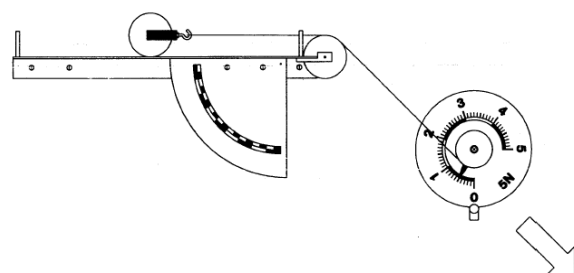


Fig. 24

#### Expérience

- Orientez lentement le dynamomètre à ressort vers le bas à droite. Déterminez la force requise pour maintenir le mouvement du cylindre.
- Puis, remplacez le cylindre par le parallélépipède en aluminium auquel on a fixé trois corps à crochet. Sa force massique correspond alors à celle du cylindre.

- Avec le même agencement, déterminez la force requise pour maintenir un mouvement constant du parallélogramme.

### Résultat

Comparé aux frottements de glissement et par adhérence, le frottement de roulement est sensiblement inférieur.

## 25. Durée de période d'un pendule à fil

### Matériel

1. 3 corps à crochet
2. Support
3. Manchon en caoutchouc
4. Étrier en laiton
5. Graduation aimantée
6. Fil en nylon à boucles long
7. Chronomètre

### Montage de l'expérience

- Fixez la graduation verticalement au tableau magnétique.
- Placez le support sur le cercle central à l'extrémité supérieure de la graduation et pourvoyez son extrémité avant d'un manchon en caoutchouc.
- Placez l'étrier en laiton au-dessus du support.
- Suspendez l'une des boucles du fil à chacune des extrémités et fixez-y un corps à crochet.

La longueur peut être lue directement sur la graduation. L'extrémité supérieure effective du pendule se trouve au milieu de l'étrier en laiton au début de la graduation, l'extrémité inférieure au milieu de l'élément de pesage.

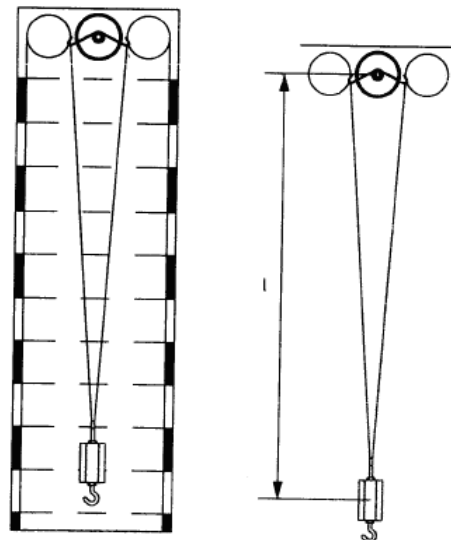


Fig. 25

### Expérience 1

#### Rapport entre la durée de période et la masse du pendule à fil

- Déviez la masse sur le côté, environ jusqu'au bord de la graduation, puis relâchez-la.
- Avec le chronomètre, déterminez la durée pour dix périodes et inscrivez la valeur dans le tableau.
- À la place d'un corps à crochet, fixez au fil d'abord deux, puis trois corps les uns à côté des autres.
- Dans tous les cas, déterminez la durée de période pour dix oscillations.
- Répétez l'étude avec une deuxième longueur de pendule (fil d'une autre longueur).

#### Tableau

Longueur $l$ en cm	Masse $m$ en g	Durée pour 10 périodes $t$ en s	Durée de période $T$ en s

### Résultat

La durée de période d'un pendule à fil ne dépend pas de la masse.

### Expérience 2

#### Rapport entre la durée de période et la longueur du pendule

Comme masse pendulaire, utilisez un corps à crochet. Le pendule doit mesurer environ 50 cm.

- Déviez le corps sur le côté, environ jusqu'au

bord de la graduation, puis relâchez-le. Déterminez la durée pour dix périodes et inscrivez la valeur dans le tableau.

- Réduisez la longueur du pendule à 40 cm. Pour cela, fixez le fil en le nouant sommairement à l'un des côtés de l'étrier en laiton.
- Déterminez la durée pour dix périodes et inscrivez la valeur dans le tableau.
- Ensuite, réduisez progressivement la longueur du pendule.
- Déterminez la durée de période à partir de la durée des dix oscillations.
- Enfin, calculez le carré de la durée de période et notez le résultat dans la dernière colonne.

Tableau

Longueur $l$ en cm	Durée pour 10 périodes $t$ en s	Durée de période $T$ en s	Carré de la durée de période $T^2$ en s <sup>2</sup>

### Résultat

Plus la longueur du pendule à fil est grande, plus la durée de période est longue. On a l'équation suivante :

$$T^2 \sim l$$

### Note

1. Au cours de la première expérience, le centre de gravité se déplace légèrement vers le haut par la suspension de deux ou plusieurs corps. Pour que la longueur du pendule reste inchangée au cours des différentes expériences, placez éventuellement un petit bout de fil de fer (par ex. provenant d'un trombone de bureau) entre le fil et le corps pendulaire.

2. La deuxième expérience peut aussi être utilisée pour confirmer l'équation servant à déterminer la durée d'oscillation d'un pendule à fil :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

La longueur de pendulaire réglée  $l$  et l'accélération de la pesanteur  $g$  permettent de déterminer la durée de période. Dans chaque expérience partielle, elle correspond à la durée de période mesurée.

## 26. Durée de période d'un oscillateur à ressort vertical

### Matériel

1. 3 corps à crochet
2. 3 ressorts cylindriques
3. Support
4. Manchon en caoutchouc
5. Graduation aimantée
6. Chronomètre

### Montage de l'expérience

- Placez la graduation sur le tableau magnétique et un support sur son extrémité supérieure.
- Accrochez le ressort et fixez ce dernier par un manchon en caoutchouc.
- Suspendez un corps à crochet à l'extrémité inférieure du ressort.

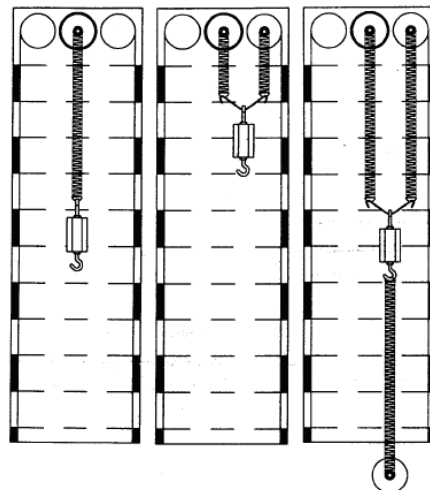


Fig. 26 a

Fig. 26 b

### Expérience 1

#### Rapport entre la durée de période et la masse de l'oscillateur à ressort

- Déviez le corps sur le côté, sur environ cinq centimètres, puis relâchez-le.
- Avec le chronomètre, déterminez la durée pour dix périodes et inscrivez la valeur dans le tableau.
- À la place d'un seul corps à crochet, superposez-en au ressort cylindrique d'abord deux, puis trois.
- Dans tous les cas, déterminez la durée de période pour dix oscillations et notez la valeur dans le tableau.
- Représentez sous forme graphique le carré de la durée de période comme fonction de la masse.

Tableau

Masse $m$ en g	Durée pour 10 périodes $t$ en s	Durée de période $T$ en s	Carré de la durée de période $T^2$ en $s^2$

### Résultat

La durée de période d'un oscillateur à ressort augmente avec la masse. On a l'équation suivante :

$$T^2 \sim m.$$

### Expérience 2

#### Rapport entre la durée de période et la constante du ressort

- Accrochez d'abord un ressort au support et déterminez la position de son extrémité inférieure.
- Puis, accrochez un corps au ressort et déterminez l'allongement de ce dernier.
- Ensuite, superposez deux ressorts au support et déterminez leur allongement lorsqu'un corps est accroché.
- Répétez l'expérience avec trois ressorts.
- Dans les trois cas, calculez le quotient de l'allongement et de la force agissante et notez la valeur dans le tableau.
- Dans le cas d'un seul ressort avec corps, déviez le corps d'environ 5 cm, puis relâchez-le et déterminez la durée pour dix périodes.
- Répétez l'expérience pour les deux autres agencements (deux, puis trois ressorts).
- Inscrivez les durées dans le tableau.
- Représentez sous forme graphique le carré de la durée de période par le quotient de la modification de longueur et de la force.

Tableau

Nom bre de res- sorts	Force $F$ en N	Cons tante du res- sort $k$ en N/cm	Durée pour 10 périodes $t$ en s	Durée de pé- riode $T$ en s	Modifi- cation de lon- gueur $l$ en cm
1	100				
2	100				
3	100				

### Résultat

Le quotient de la force et de l'allongement d'un ressort caractérise sa résistance (constante de ressort  $k = F/l$ ). Plus cette constante est importante, plus la durée de période est courte.

On a l'équation suivante :

$$T^2 \sim \frac{l}{k}$$

### Note

1. Si vous souhaitez déterminer avec précision la proportionnalité entre  $T^2$  et  $l/k$ , vous devez tenir compte des forces massiques des ressorts accrochés et ainsi des modifications de longueurs !

2. Au cours de l'expérience 2, vous pouvez accrocher plusieurs ressorts les uns à côté des autres. La constante de ressort en est ainsi réduite. Pour ajouter deux ressorts, placez deux supports auxquels est fixé un ressort chacun. Reliez l'extrémité inférieure des deux ressorts avec un étrier en laiton auquel sont fixés les corps à crochet (cf. fig. 26 a).

3. Les deux expériences peuvent aussi être utilisées pour confirmer l'équation servant à déterminer la durée de période d'un oscillateur à ressort :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Dans ce cas, insérez la masse  $m$  et la constante de ressort  $k$  dans l'équation et calculez la durée de période. Dans chaque expérience partielle, elle correspond à la durée de période mesurée.

4. Pour modifier la constante de ressort, vous pouvez aussi ajouter au crochet inférieur du corps un ressort cylindrique supplémentaire dont l'extrémité inférieure est fixée à un support supplémentaire (cf. fig. 26 b).

### 27. Résonance de deux oscillateurs à ressort

#### Matériel

1. 4 corps à crochet
2. Levier
3. 2 ressorts cylindriques
4. 2 supports
5. 2 manchons en caoutchouc
6. Graduation aimantée
7. 2 crochets en laiton

#### Montage de l'expérience

- Fixez la graduation verticalement sur le tableau magnétique et placez un support à

- droite et à gauche, à hauteur de son extrémité supérieure.
- Fixez chaque support avec un manchon en caoutchouc et posez le levier à plat par-dessus. Choisissez un écart entre les supports permettant d'utiliser toute la longueur du levier.
- Au milieu du levier, dans un écart de 2 trous, fixez les deux ressorts cylindriques à l'aide des crochets en laiton et accrochez-y 2 corps.

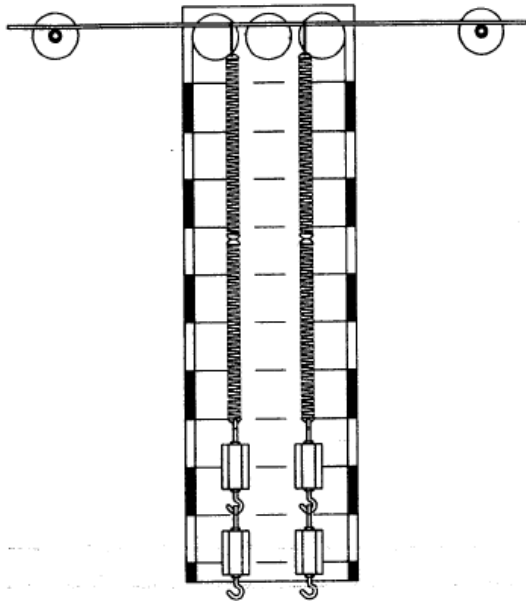


Fig. 27

### Expérience

- Déviez l'extrémité inférieure de l'un des deux ressorts d'environ cinq centimètres, puis relâchez-la.

Lors de l'oscillation, il transmet progressivement son énergie au second oscillateur qui se met à osciller à une amplitude sans cesse croissante. Après un certain temps, le premier oscillateur s'arrête. Puis, l'énergie est retransmise au premier oscillateur.

### Résultat

Lorsque des oscillateurs de même fréquence propre sont reliés entre eux, l'énergie est entièrement transmise à deux reprises d'un oscillateur à l'autre.