

L'appareil sert à démontrer le phénomène de l'attraction universelle et à déterminer la constante de gravitation. Il s'agit d'une balance très sensible avec système de lecture par spot.

1. Description

Le carter métallique rectangulaire est vitré, pour pouvoir observer le système mobile, et muni au-dessous d'une tige de 12 mm de diamètre et au-dessus d'un tube supportant le ruban de torsion. Le tube est muni de la tête de torsion pouvant être réglée et fixée et à laquelle est attaché le ruban de torsion en bronze (25 cm de longueur, 0,01 mm d'épaisseur et 0,15 mm de largeur). Ce ruban porte une suspension en forme de T renversé avec miroir concave (foyer d'environ 30 cm) et deux petites sphères de plomb (de 15 g masse chacune) distantes de 5 cm de l'axe de torsion. Le carter renfermant cette suspension est aussi réduit que possible et porte à sa partie inférieure des cloisons en verre artificiel pour éliminer toute influence des courants d'air.

La suspension est immobilisée à l'aide des deux vis moletées se trouvant au-dessous du carter. Ce blocage est indispensable pendant le transport de l'appareil. Pour une balance fixée à demeure, comme elle est décrite ci-dessous, le blocage après les expéri-

Remarques

1. Les numéros à 5 chiffres entre parenthèses sont les numéros de catalogue des dits appareils.
2. Les lettres CD ... se rapportent aux descriptions des expériences publiées dans la collection «LEYBOLD FICHES D'EXPERIENCES». Paru jusqu'à présent:

	No de Cat.
1 ^{re} série (72 fiches)	599 41
2 ^e série (52 fiches)	599 42
3 ^e série (49 fiches)	599 43

ences n'est nécessaire et indiqué que si on ne peut éviter le maniement de l'appareil par des profanes.

Sous le carter rectangulaire se trouve un support tournant où deux boules de plomb, de 1,5 kg masse chacune, peuvent être placées et approchées des petites sphères sous carter. A cette fin le support tournant doit être fixé à l'aide d'une bague de serrage de façon que les centres des petites et des grosses boules se trouvent dans le même axe.

2. Montage (Fig. 1)

Pour le montage approprié et pour la lecture par spot on a besoin des accessoires suivants:

	No
1 pied, 28 cm de côté	300 01
1 paire de vis calantes	300 06
2 noix LEYBOLD	301 01
1 tige recourbée, longueur: 60 cm	300 52
1 carter de lampe	450 60
1 lampe 6 volts, 30 watts	450 51
1 condenseur à une lentille	460 17

Une cheville est enfoncée dans un mur massif, exempt de vibrations. Le mur et l'endroit prévu pour la cheville doivent être choisis de façon que le mur opposé soit aussi éloigné que possible (au moins 5 m) et convienne au montage d'une échelle graduée sur laquelle se déplace le spot. (Pour une distance intermurale de 5 m, l'échelle doit avoir une longueur d'au moins 0,5 m). La balance de gravitation ne doit pas se trouver à portée des auditeurs.

Le pied (300 01) est fixé sur la cheville en bois à l'aide d'une forte vis à bois passant dans le trou percé au sommet du pied. Les deux vis calantes se trouvant aux extrémités du pied, servent

à la mise en place convenable, afin que la balance, montée à l'aide d'une noix LEYBOLD (301 01) sur la tige recourbée (300 52), soit exactement horizontale.

Le système débloqué doit osciller librement sans toucher aux cloisons en verre artificiel. La noix LEYBOLD servant à la fixation de la balance doit se trouver à une telle distance du pied que le support portant les grosses boules de plomb puisse tourner librement.

La lampe d'éclairage avec condenseur monté et diaphragme à fentes est fixée sur la tige au moyen de la deuxième noix LEYBOLD à une distance d'environ 30 cm de la balance.

La lampe fonctionne sur 6 volts (fournis p.ex. par le transformateur, (562 75) ou le transformateur d'expériences (562 11 / 562 12 / 562 14 / 562 18). Son filament disposé verticalement est projeté sur le miroir de la balance à l'aide du condenseur.

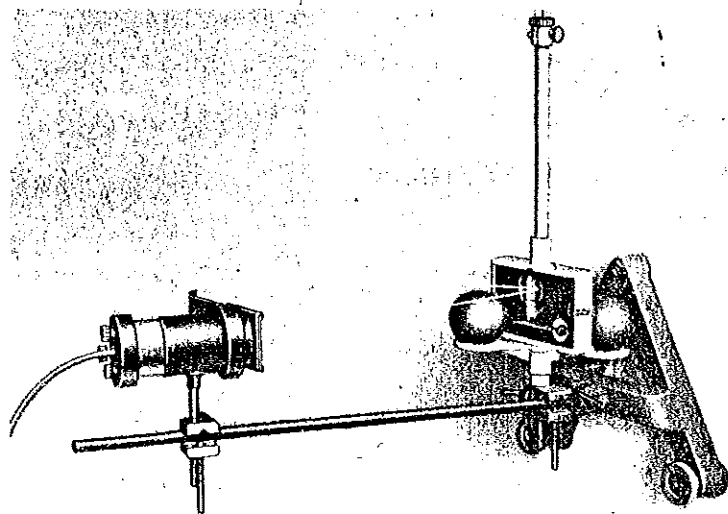
Le diaphragme à fentes glisse devant le condenseur doit être pourvu au milieu d'un mince fil métallique formant un trait. Ce trait est projeté sur le mur opposé à l'aide du miroir concave (dans les appareils anciens à l'aide de la lentille). Pour l'obtention d'une image nette de ce trait on déplace sur la tige la lampe sous carter.

3. Réglage

Le réglage de la balance de gravitation exige quelque temps et patience. Si le système débloqué oscille librement dans son carter, il possèdera bien souvent encore assez d'énergie pour toucher au vitrage, c. a. d. pour que le spot oscille entre deux valeurs extrêmes.

Ces deux valeurs extrêmes ou points de renversement se trouvent largement hors de l'étendue de l'échelle utilisée plus tard. Entre eux, au milieu, doit se trouver le point zéro de la balance bien réglée. Pour cela le ruban de torsion doit être réglé de façon que, après avoir disposé symétriquement ou enlevé les grosses boules de plomb, la suspension s'arrête vers ce point zéro déterminé préalablement entre les points de renversement.

L'amortissement plus rapide du système oscillant s'obtient à l'aide d'un des petits, mais puissants aimants



Balance de gravitation avec dispositifs de suspension et d'éclairage

flottants (510 44). En approchant l'aimant d'une des petites sphères de plomb, il la repousse en raison des propriétés diamagnétiques du plomb. Si une bille vient à heurter une des plaques en verre, on tient l'aimant devant cette plaque jusqu'à ce que le système oscille dans la direction inverse. En mettant ces forces de répulsion plusieurs fois en jeu, on réussira assez vite à amortir la balance.

Si le point de repos devait être fort éloigné du point zéro se trouvant exactement entre les 2 points de renversement, on desserrera un peu la vis moletée supérieure se trouvant sur le côté pour tourner la tête de torsion d'un petit angle vers le point zéro. Puis on fixe la tête de torsion en resserrant la dite vis.

La durée d'oscillation de la balance de gravitation est très grande (≈ 10 min) eu égard aux forces minimes à mesurer ($< 10^{-9}$ N = 10^{-4} mp entre chaque paire de boules). Il faut par conséquent attendre bien des minutes pour le réglage de l'appareil, même lorsque de décrétement logarithmique d'amortissement est de l'ordre de 0,7. Après avoir effectué une mesure on ne peut procéder à une nouvelle qu'après une heure environ.

4. Expériences

1. Détermination de la constante de gravitation d'après la méthode des oscillations

L'expérience commence lorsqu'on s'est bien assuré que la balance se trouve en équilibre dans une des positions extrêmes. Après avoir amené les grandes sphères dans la position symétrique, le système de la balance quitte la première position d'équilibre et se met au repos, après quelques oscillations, dans l'autre position extrême d'équilibre. On repère la position du spot d'abord toutes les 15 secondes puis, au bout de 1 à 2 minutes, seulement toutes les 30 secondes ou toutes les minutes. La représentation graphique, à l'aide des valeurs obtenues, du mouvement du spot fournit la courbe d'un mouvement oscillatoire amorti.

L'angle entre les deux positions extrêmes est α . En tenant compte de la réflexion sur un miroir tournant, on peut écrire:

$$\frac{s}{d} = \frac{S}{2L} = \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha.$$

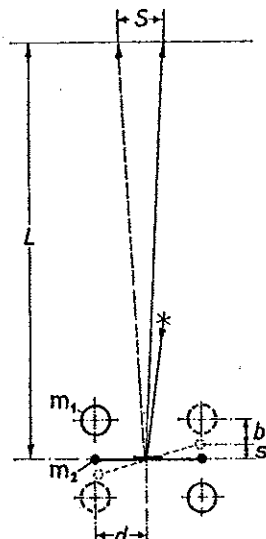


Fig. 2

Dans cette formule:

s = déplacement de la petite sphère à l'extrémité du fléau de la balance

d = distance des petites sphères à l'axe

S = déplacement du spot sur l'écran

L = distance de l'écran au miroir de la balance de torsion.

La constante de torsion du fil ne peut être déterminée qu'à l'aide de la période d'oscillation T du mouvement oscillatoire que le système de la balance prend par rotation autour de l'axe du fil:

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{I}{D}.$$

Dans cette équation on a:

$I = 2m_2 d^2$ (moment d'inertie des deux petites sphères)

$$D = \frac{8\pi^2 m_2 d^2}{T^2}.$$

Le moment de couple M agissant sur le système de la balance dans une position extrême par suite de l'attraction des masses est défini par $M = 2Fd$, formule dans laquelle F représente la force d'attraction entre chaque paire de sphères et d la distance, dans la balance, des petites sphères à l'axe ou fil de torsion. L'équilibre est maintenu à ce moment de couple par la torsion du fil à l'angle $\frac{\alpha}{2}$.

$$M = D \frac{\alpha}{2}.$$

Si l'on introduit dans cette équation la grandeur

$$M = 2Fd = 2G \frac{m_1 m_2 d}{b^2}$$

(d'après la loi de la gravitation universelle, $F = G \frac{m_1 m_2}{b^2}$, formule dans laquelle b représente la distance des deux sphères à la position extrême) et la grandeur obtenue plus haut pour D et α , on obtient

$$G = \frac{\pi^2 b^2 d S}{m_1 T^2 L}.$$

Cette formule valant pour la constante de gravitation ne renferme que des grandeurs mesurables. La masse de la petite sphère tombe hors du calcul, ce qui rend sa connaissance inutile.

La valeur trouvée est entachée d'une erreur propre au système, étant donné que la petite sphère est également attirée avec une force beaucoup plus faible par la seconde grosse sphère plus éloignée. La force observée est trop faible de la fraction β :

$$\beta = \frac{b^3}{(b^2 + 4d^2) \sqrt{b^2 + 4d^2}}$$

Pour plus amples détails voir CD 531.51; b.

2. Détermination de la constante de gravitation d'après la méthode d'accélération

Durée de l'observation: 1 minute

L'expérience commence également après s'être assuré que la balance se trouve en équilibre dans une des positions extrêmes. On relève la déviation du spot (S) au bout de 1 minute (t).

L'équilibre initial est détruit par la transposition des sphères, étant donné que le fil est encore tordu dans la direction antérieure en raison de la grande durée d'oscillation et que les grosses sphères attirent les petites dans la direction opposée. Grâce à cet artifice, la force F_0 agissant au début du mouvement entre chaque paire de sphères est deux fois plus grande que l'attraction réciproque, étant donné que la torsion du fil existant tout d'abord encore dans sa totalité correspond à une force de même grandeur

$$F_0 = 2G \frac{m_1 m_2}{b^2}.$$

Sous l'action de cette force F_0 , les deux petites sphères se déplacent de façon accélérée en direction des grosses leur faisant face. Au cours de ce déplacement, le fil de torsion se détend de plus en plus et se tord dans la direction opposée.

Comme on ne considère dans cette méthode que la toute première partie du mouvement, on peut négliger le changement de torsion du fil, le mouvement des sphères est (jusqu'à environ $1/10$ de la durée d'oscillation avec une précision d'environ 5%) encore uniformément accéléré avec l'accélération a_0 . De sorte qu'on a pour cette partie du mouvement

$$m_2 a_0 = 2 G \frac{m_1 m_2}{b^2}.$$

Dans cette formule, toutes les grandeurs sont mesurables, de sorte que la constante de gravitation prend la valeur

$$G = \frac{a_0 b^2}{2 m_1}.$$

En tenant compte de la loi de la réflexion sur un miroir tournant, on peut écrire:

$$\frac{s}{d} = \frac{S}{2L}$$

et

$$a_0 = \frac{2s}{t^2} = \frac{Sd}{t^2 L}.$$

Le correctif indiqué sous 1. s'applique également ici. Pour plus amples détails voir CD 531.51; a.

3. Remarque

La valeur b , c'est-à-dire la distance entre les centres de gravité des sphères — petite et grande — (cf. fig. 2) représente d'une part des valeurs partielles qui peuvent être exactement définies et d'autre part les distances entre la petite et la grande sphère et la paroi en verre. Celles-ci varient un peu d'un appareil à l'autre et d'une expérience à l'autre, c'est pourquoi il faut les évaluer à chaque fois si on veut effectuer un travail exact. En général, il suffit de prendre la valeur approximative de 0,045 m pour b indiquée dans les fiches d'expérience DK 531.51 a et b.