

Comment peser le Soleil ? L'expérience de Cavendish

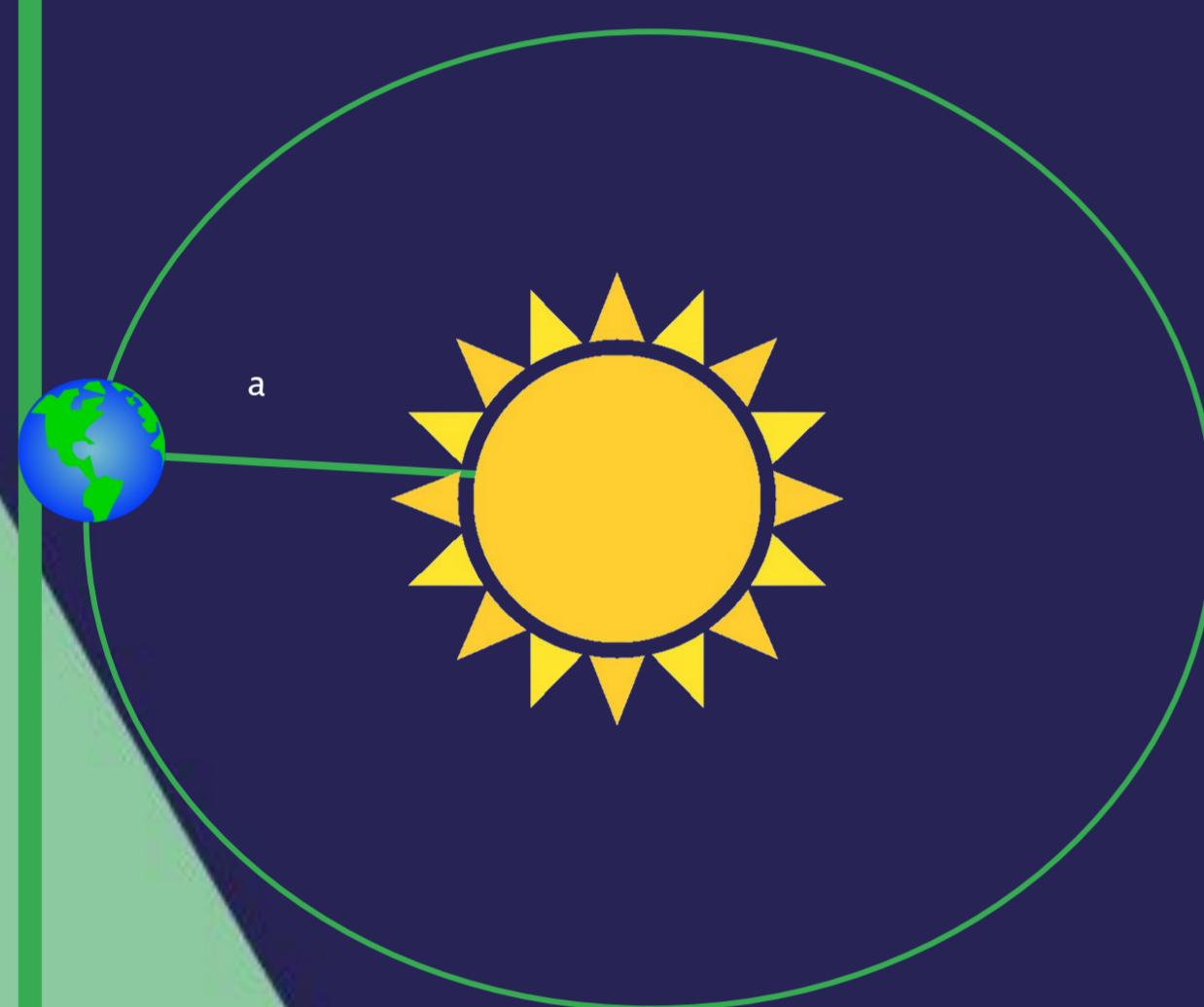
UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES - FACULTÉ DES SCIENCES
DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE

Anifa NTIENJOM AMSETOU, Jaurès KAMGA TCHOUPA, Louis DEPREZ et Rodrigue TCHONANG PIEGANG

Qu'est-ce que G ?

$$\frac{4\pi^2}{G} \frac{a^3}{T^2} = M_{\odot}$$

C'est une formule pour calculer la masse du Soleil !



Où M_{\odot} est la masse du Soleil, (a) est la demi axe de l'ellipse entre les deux corps, (T) la période d'oscillation, et (G) la constante de gravitation universelle -une constante qui décrit l'intensité de la force gravitationnelle

Donc pour déterminer M_{\odot} nous avons juste besoin de connaître:

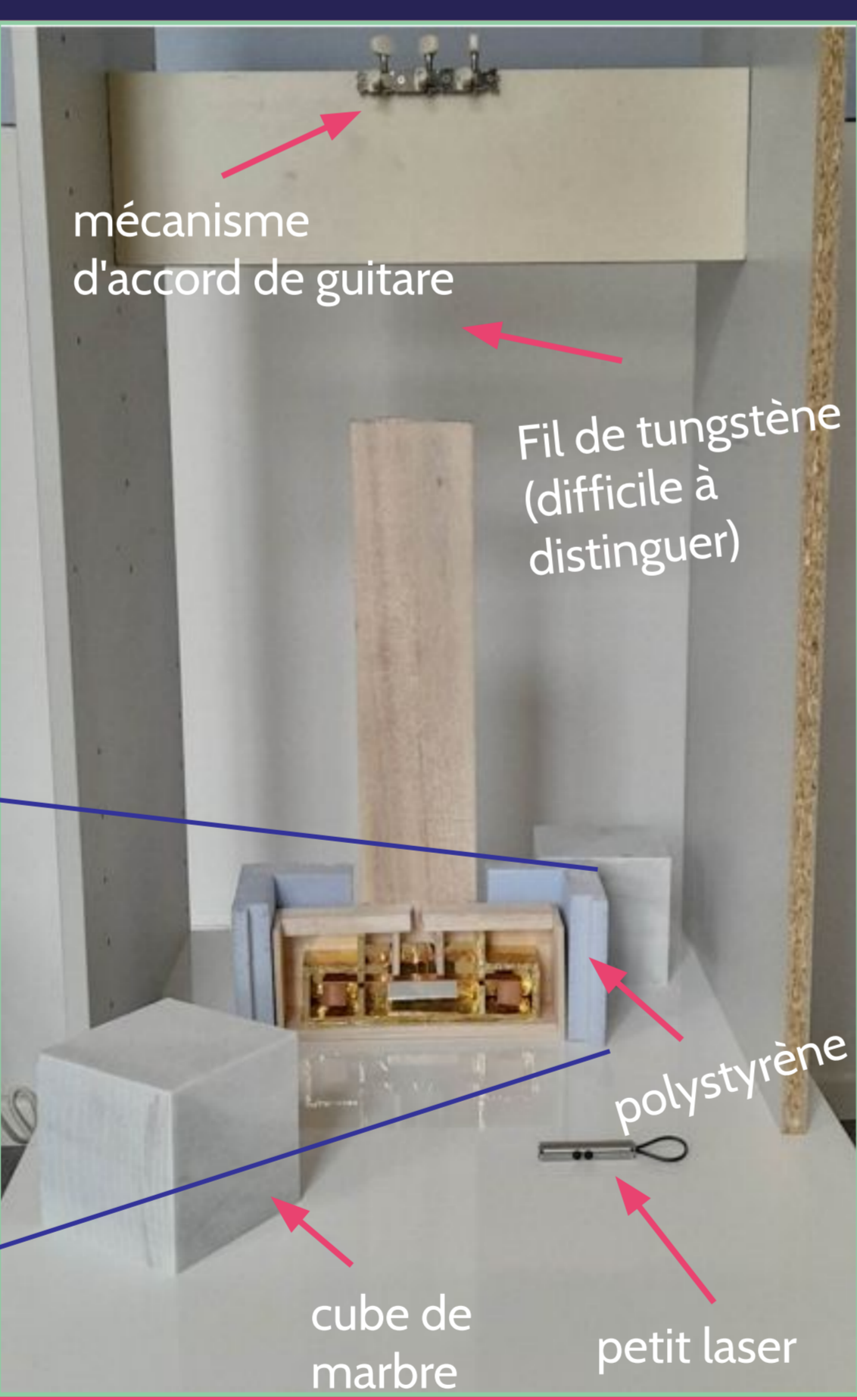
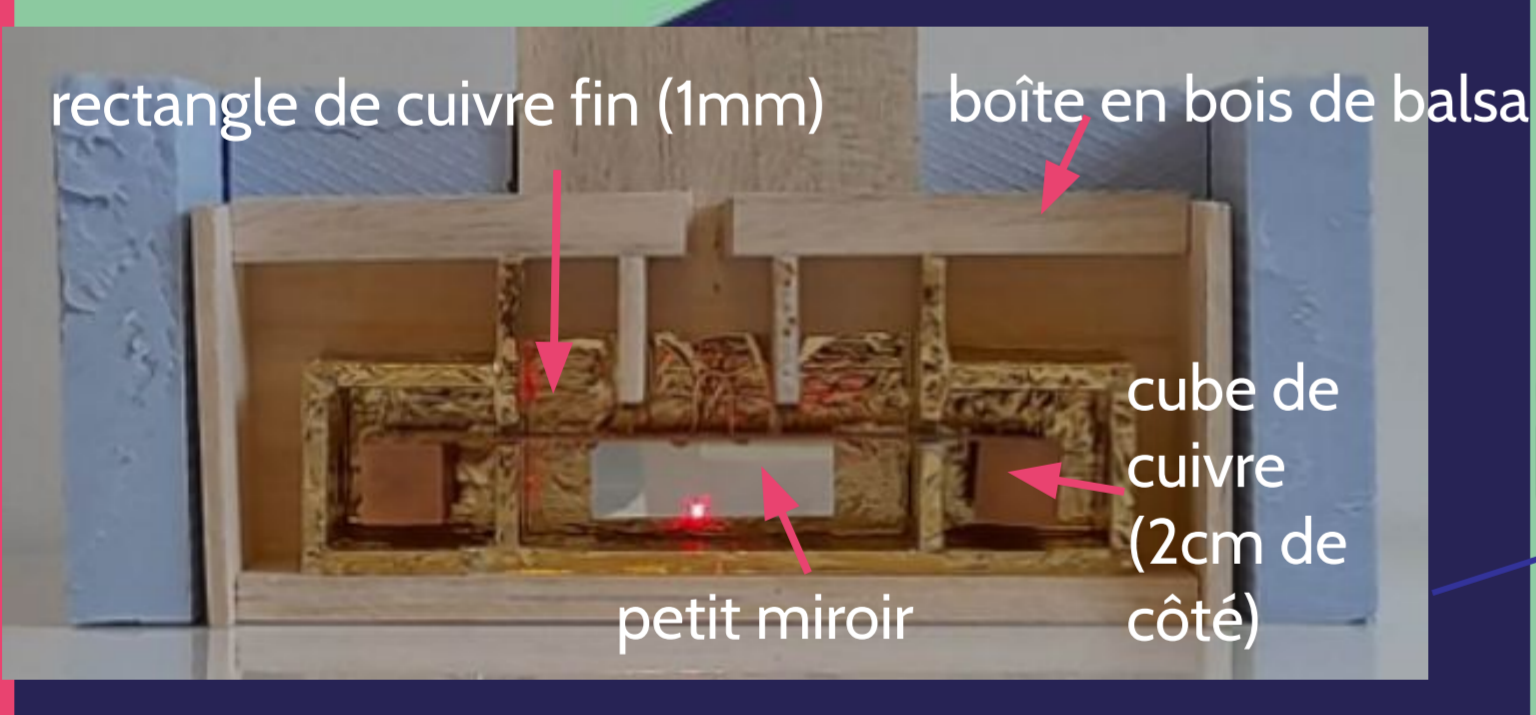
1. la distance Terre-Soleil (a) - environs 150 millions de km (déjà trouvé par Cassini en 1672, voir le dernier rectangle)
2. la période d'oscillation (T), comme nous le savons, est d'un an
3. La constante gravitationnelle G

Cavendish 2.0 - notre version

Notre expérience est essentiellement la même que l'original mais avec "un équipement moderne".

Le télescope a été remplacé par un laser et les m de 160 kg sont remplacées par des masses de 5 kg.

Voici un schéma de l'expérience avec les pièces étiquetées (leur but exact est détaillé dans le rectangle suivant) :



Comment mesurer G ? - L'expérience originale de Cavendish (1798)

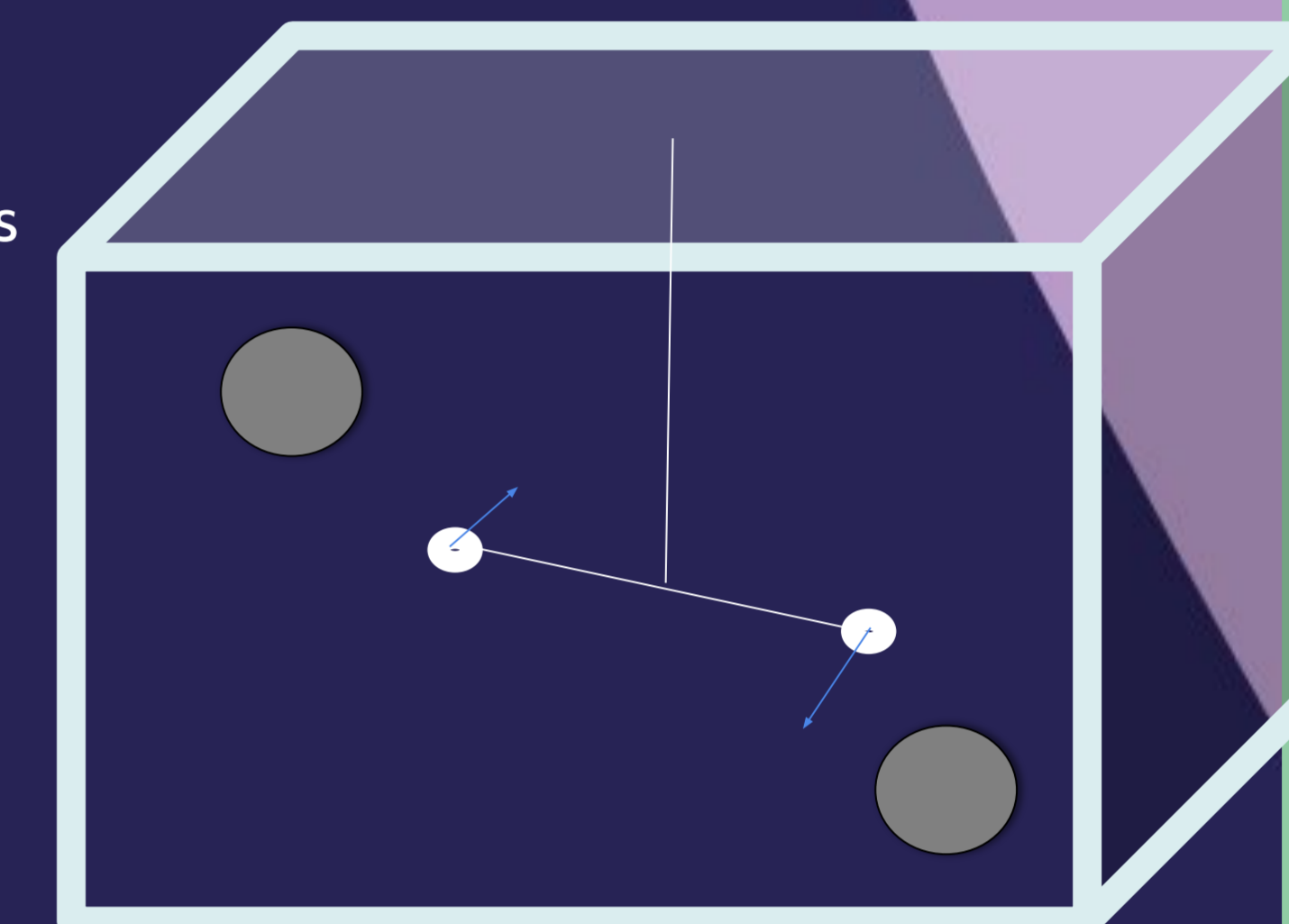
L'expérience proposée par Cavendish en 1798 pour mesurer G est la suivante :

Une tige avec deux petites masses aux extrémités est attachée à une fine corde formant un balancier dit de torsion.

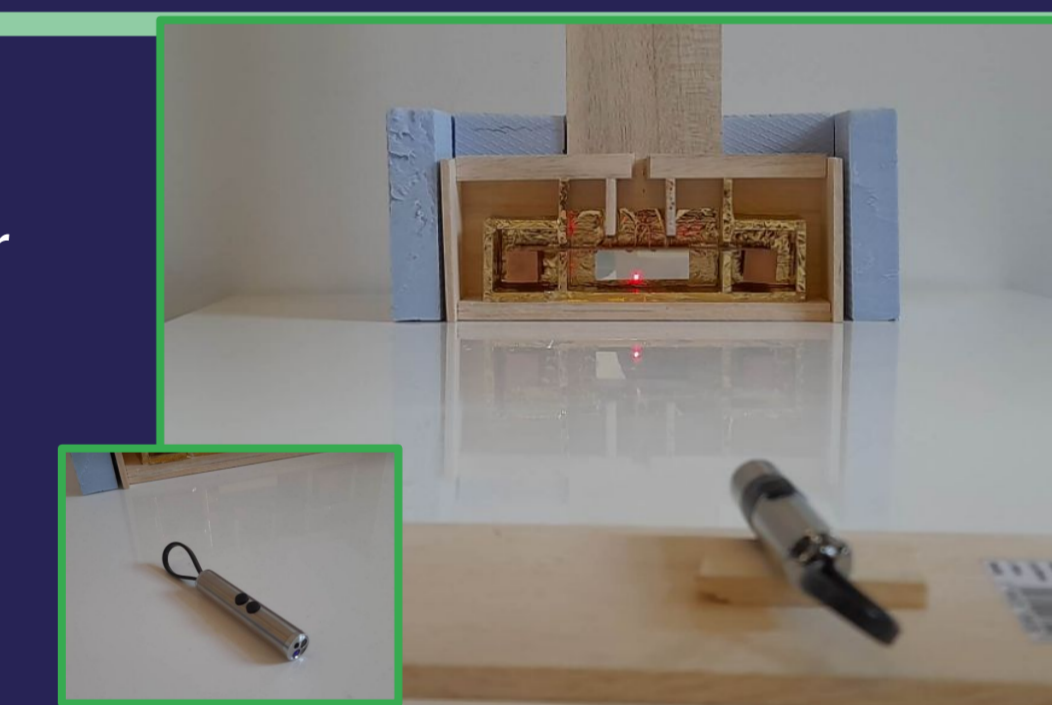
Ensuite, deux "grosses" masses sphériques sont ajoutées au système.

La présence gravitationnelle des sphères massives fait tourner la balance et sur cette base (en particulier l'angle de rotation) on peut en déduire G.

Dans l'expérience originale, Cavendish utilisait des sphères de plomb de 160 kg comme grosses masses et avait utilisé un télescope pour mesurer le faible mouvement de la tige.

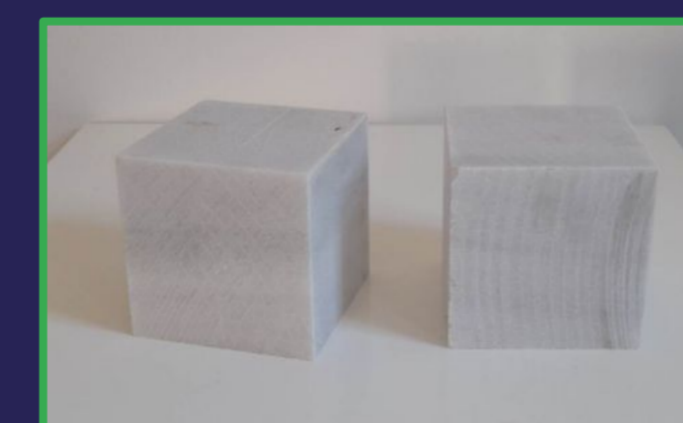


La balance de torsion est très sensible aux gradients de température. Un thème général de notre expérience est l'utilisation de conducteurs thermiques et d'isolateurs pour empêcher que cela ne se produise.



La tige est en cuivre parce que le cuivre est un bon conducteur thermique. Le balancier de torsion est placé dans un caisson en balsa pour éviter les courants d'air.

Le laser se réfléchit sur un miroir collé à la tige de cuivre sur un écran placé derrière, cela nous permet de mesurer l'angle de déviation.



Le rôle de la "sphère massive" est remplacé par des cubes de marbre.



Le fil est une ligne de pêche en tungstène de 0,1 mm d'épaisseur



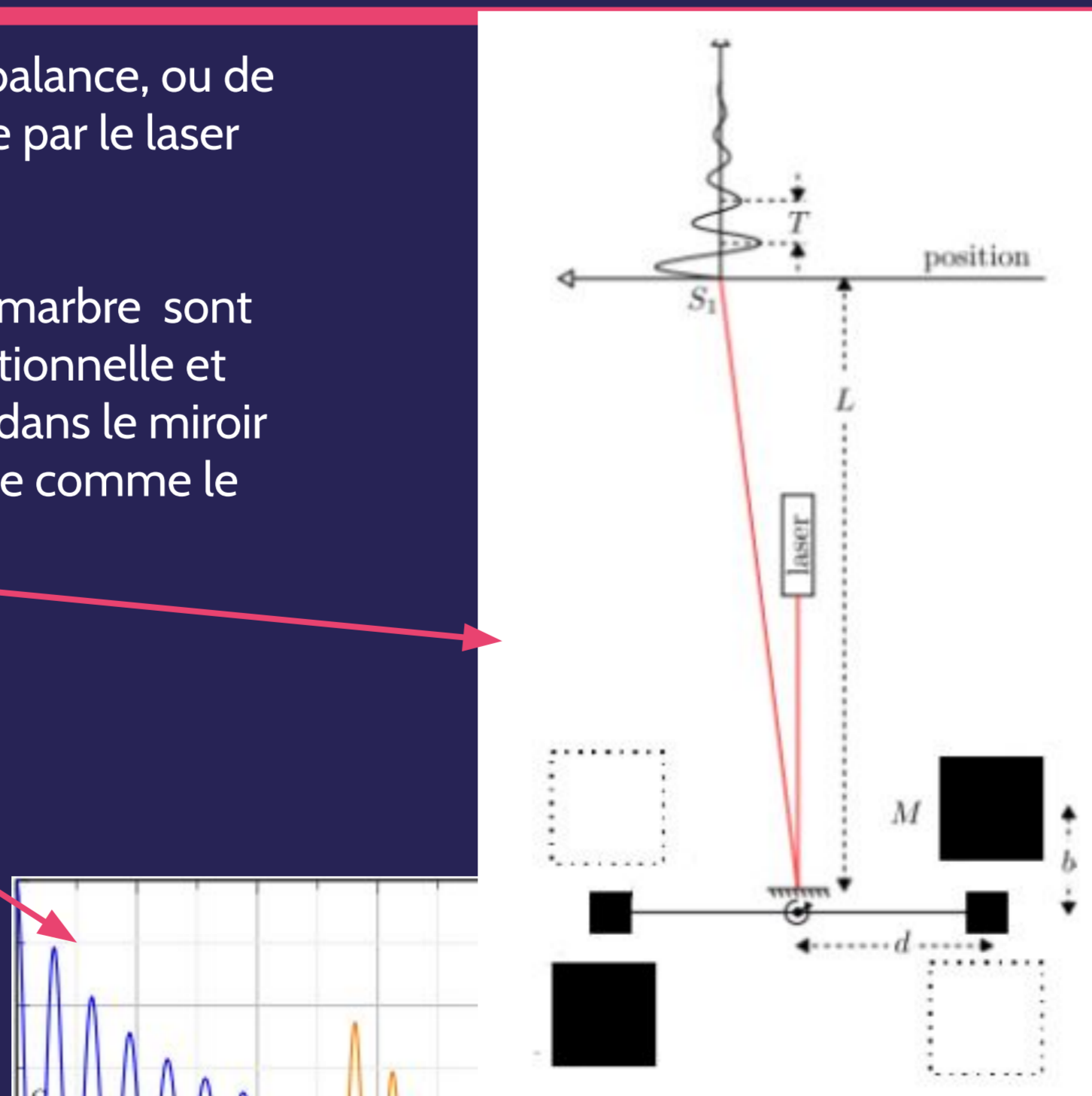
Le mécanisme d'accordage de la guitare nous permet d'ajuster précisément la longueur du fil

Que mesure-t-on exactement ? Et comment en déduit-on G ?

Nous mesurons l'angle de déviation de la balance, ou de manière équivalente, la distance parcourue par le laser (S).

Au fur et à mesure que les deux cubes de marbre sont ajoutés, la balance subit l'attraction gravitationnelle et commence à tourner, la réflexion du laser dans le miroir sur un écran placé derrière 'laisse' une trace comme le montre la figure.

Les deux courbes (S vs t, la position de laser en fonction du temps), correspondant au placement différent des cubes, ressemblent à ceci :



La relation précise pour G (sans entrer dans les détails) est :

$$G = \frac{2\pi^2}{T^2} \frac{b^2 d}{M} (S_1 - S_2)$$

La valeur la plus précise de G (mesurée par des expériences beaucoup plus compliquées) est :

$$G = 6.67430 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$$

T - est la période d'oscillation du balancier
b - la distance entre les petits cubes de cuivre et les gros cubes de marbre (la distance entre leurs centres de masse)
d - la longueur du balancier
M - la masse du cube de marbre
L - distance entre le miroir et l'écran sur laquelle le laser frappe
S1, S2 - les positions de la trace laser à l'équilibre 1 et 2 respectivement

La masse du Soleil (et la distance Terre-Soleil)

Cassini (1672)

Giovanni Cassini a été le premier à donner la valeur correcte de la distance Terre-Soleil. Cassini et Richter (son assistant) ont d'abord calculé la distance Terre-Mars, en mesurant l'angle avec Mars à partir de 2 endroits différents sur la Terre (la méthode de triangulation).

Il est possible d'exprimer la distance Terre-Soleil comme un multiple de la distance Terre-Mars. La valeur de Cassini était de 140 millions de km (de Terre-Soleil). La valeur réelle est d'environ 150 millions de km

Alors, calculons la masse du Soleil, on remplace les valeurs numériques de (a), (T), (G) dans :

$$\frac{4\pi^2}{G} \frac{a^3}{T^2} = M_{\odot}$$

On trouve :

$$M_{\odot} \approx 2 \times 10^{30} \text{ kg}$$

