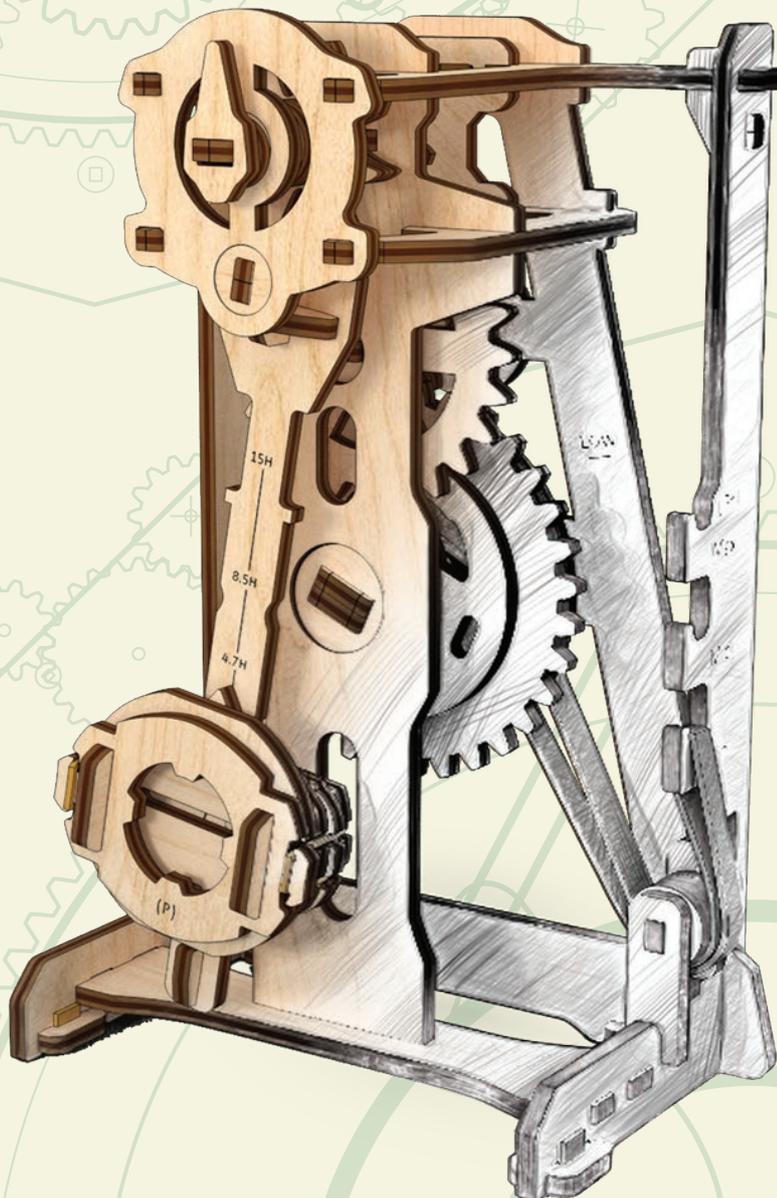


MAQUETTE MÉCANIQUE

LE PENDULE



Le manuel du jeune ingénieur

§1 Introduction



Peter Henlein

Né en 1479 à Nuremberg, Allemagne. Inventeur de la première montre du monde.

Comment un jeune homme mit le monde en branle! —

La vie moderne est virtuellement inconcevable sans horloge ni montre. Assurément, nous nous sommes tous, un jour, posé la question de savoir comment un vieux réveil fonctionnait et il se peut même que nous ayons essayé de démonter et de réparer une montre. Il y a tant de petites vis, d'engrenages et de ressorts à l'intérieur! Démontez une de ces anciennes horloges et vous vous trouverez face à un tas de petites pièces. Mais, quelle est la principale?

Au début du 16^{ème} siècle, un serrurier de Nuremberg, Peter Henlein, créa une montre mue par un mécanisme comprenant un ressort et des engrenages. C'était un appareil très simple et sa précision était vraiment médiocre. La montre avançait et retardait pour plusieurs raisons parmi lesquelles la valeur du ressort et la friction de l'engrenage étaient les principales. Cette montre ne disposait pas d'un échappement, le "cœur" d'une horloge mécanique.

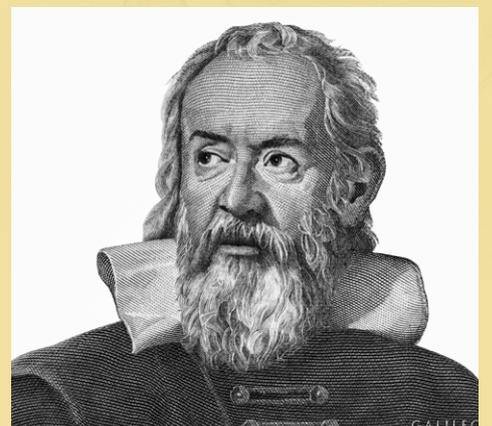
Deux brillants esprits du 17^{ème} siècle, Galileo Galilei (Galilée) et Christiaan Huygens, ont donné un cœur à l'horloge.



Galileo Galilei

Né le 15 février 1564 à Pise, Duché de Florence.

Galileo Galilei, physicien, ingénieur, astronome, philosophe et mathématicien italien, a eu une inestimable influence sur le développement de nombreuses disciplines scientifiques. Il est considéré comme le « père de la science moderne ». Il fut le premier à utiliser un télescope pour observer les corps célestes et il fit un grand nombre de découvertes astronomiques importantes. Galilei est l'un des fondateurs de la physique expérimentale. Il réfuta la théorie géocentrique d'Aristote qui place la Terre au centre de l'univers et il jeta les bases de la mécanique classique.



Christiaan Huygens

Né le 14 avril 1629 à La Haye, République de Hollande.

Christiaan Huygens fut un ingénieur, physicien, mathématicien, astronome et inventeur hollandais. Il fut l'un des premiers associés étrangers de la Société royale de Londres et membre de l'Académie française des sciences qu'il finit par diriger. Huygens est l'un des fondateurs de la mécanique théorique et de la théorie de la probabilité.



§2 Un peu d'histoire

Tout commença avec le pendule qui, croit-on, fut inventé à Pise

En 1584, Galilée, étudiant en médecine de dix-neuf ans, devait assister à la messe en la cathédrale de Pise.

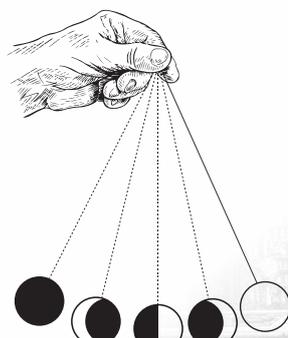
Selon la légende, il fut distrait, un jour, par un curieux phénomène : des grands chandeliers en bronze suspendus au plafond par de longues chaînes se balançaient, poussés par le vent, et chaque oscillation avait la même durée tandis que l'amplitude* diminuait.

A cette époque, il n'existait aucun instrument pour mesurer le temps avec précision. Mais le jeune homme trouva une solution : il estima le temps de l'oscillation par rapport au rythme de son cœur. En comptant les battements de son cœur, le chercheur tira la conclusion que le temps de chaque oscillation restait exactement le même tandis que les oscillations convergeaient et leur amplitude diminuait.

Rentré chez lui, Galilée poursuivit ses recherches et fit osciller toutes sortes d'objets : une clef de porte, des cailloux sur une corde, un encrier vide, des choses avec lesquelles il pouvait simuler les oscillations du chandelier. Le résultat de ses recherches initiales prit la forme d'un pendule très simple : un petit plomb attaché à une corde. Déplacé latéralement puis relâché, le plomb continuait d'osciller un long moment.

Se sentant inspiré, l'inventeur se demanda immédiatement comment la longueur de la corde et le poids du plomb pouvait influencer le temps d'oscillation du pendule. Il augmenta la longueur de la corde et se rendit compte que les oscillations ralentissaient. La fréquence des oscillations d'un pendule avec une corde de 100 cm était d'environ 2 secondes. La longueur de la corde ayant été multipliée par quatre, jusqu'à atteindre 400 cm, la fréquence d'oscillation augmenta jusqu'à 4 secondes. Autrement dit, une corde quatre fois plus longue faisait osciller le pendule deux fois plus longtemps. Avec une longueur de corde multipliée par neuf, la fréquence d'oscillation tripla. Par contre, la longueur de l'amplitude n'eut aucun effet sur les résultats de l'expérience.

Quand Galilée chercha à savoir si le poids du plomb avait une influence sur la fréquence d'oscillation, il obtint un résultat tout à fait inespéré. Un plomb lourd en métal et un bouchon de liège très léger oscillaient à l'unisson. Le poids du plomb n'avait donc aucun effet sur la fréquence d'oscillation.



Arches d'un bâtiment proche de la Tour de Pise (Italie)

* Amplitude – S'agissant des oscillations mécaniques d'un corps, c'est la valeur maximale de déplacement depuis la position d'équilibre.

Ces recherches amenèrent l'inventeur à conclure que l'oscillation du pendule avait toujours la même durée, quelle que soit l'amplitude. C'est ce que l'on connaît aujourd'hui comme la première loi du pendule.

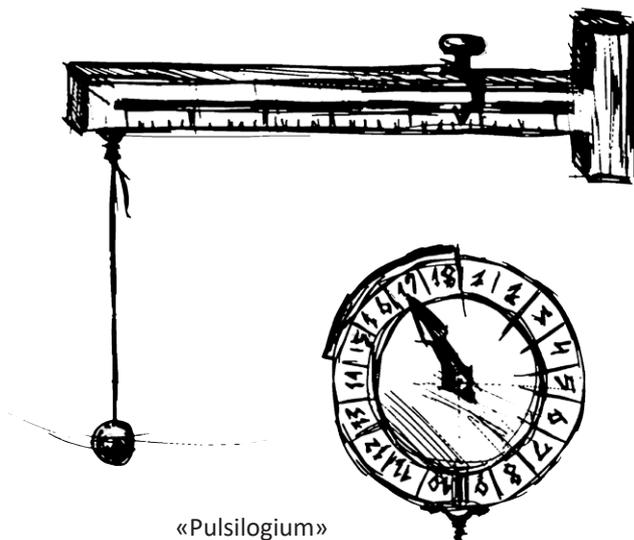
Galilée pensa que son invention pourrait être utile aux médecins pour vérifier le pouls de leurs patients. Il relia un pendule à un compteur très simple et il construisit un appareil qu'il appela «Pulsilogium».

Sa mesure du temps se basait encore sur son propre pouls

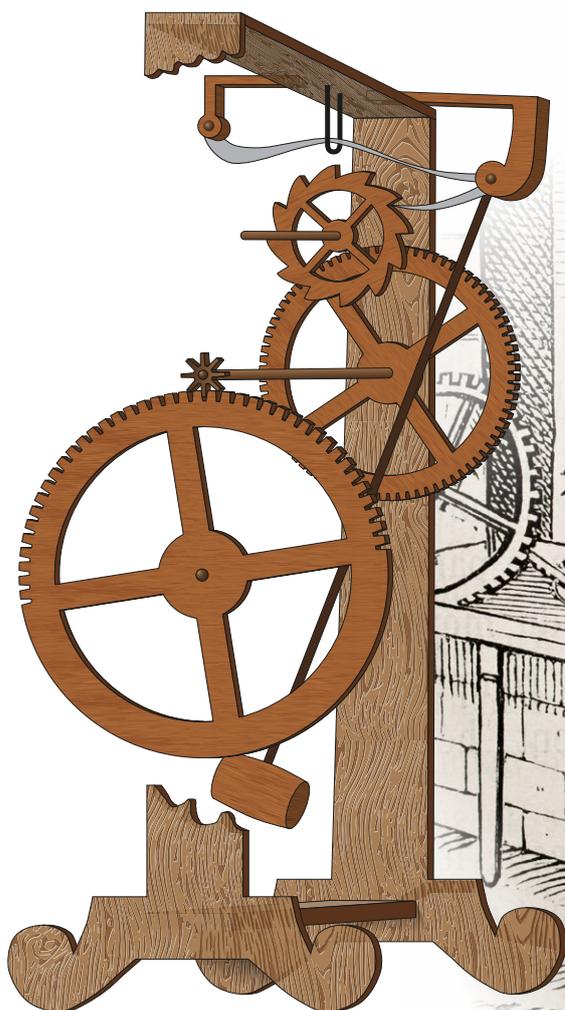
Quant à savoir si le génie scientifique envisagea d'utiliser un pendule pour faire une horloge précise, ça reste un point d'interrogation, car, hélas, il ne se repencha sur le sujet que passés les 70 ans et qu'après avoir perdu la vue.

Le fils de Galilée, Vincenzo, aidé par Viviani, un étudiant du génie, esquaissa un mécanisme d'horlogerie conforme aux théories de son père. On ignore s'ils construisirent un appareil concret, mais le mécanisme d'horlogerie créé plus tard était basé sur cette esquisse.

Comme système d'échappement, Galilée utilisa une roue à rochet et une paire de cliquets courbes fixés au pendule. Sous l'oscillation du pendule, un cliquet s'écarte des dents, laissant tourner la roue jusqu'à ce que l'autre cliquet s'engage entre deux dents. En se plaçant entre les dents, le cliquet transmet une petite impulsion au pendule qui continue à osciller.



«Pulsilogium»



Dessin de l'horloge à pendule de Galilée comportant un mécanisme d'échappement (réalisé vers 1637)





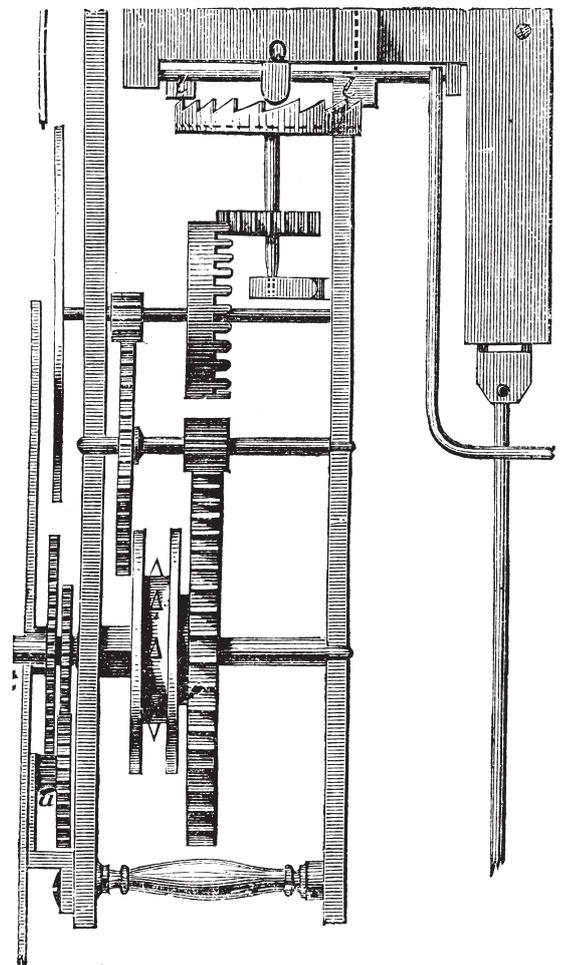
Ancienne horloge avec échappement à ancre

Une grande horloge mécanique merveilleuse !

En 1657, Christiaan Huygens publia un article dans lequel il décrivait sa récente invention : l'horloge à pendule. Les horloges d'Huygens étaient précises et, au cours des 40 années suivantes, le scientifique chercha plusieurs fois à améliorer ses inventions et ses connaissances des propriétés du pendule.

L'horloge d'Huygens comportait un mécanisme du type à verge qui n'était pas aussi universel que celui que Galilée avait suggéré. Concrètement, ce mécanisme ne pouvait fonctionner qu'avec un pendule de grande amplitude oscillatoire.

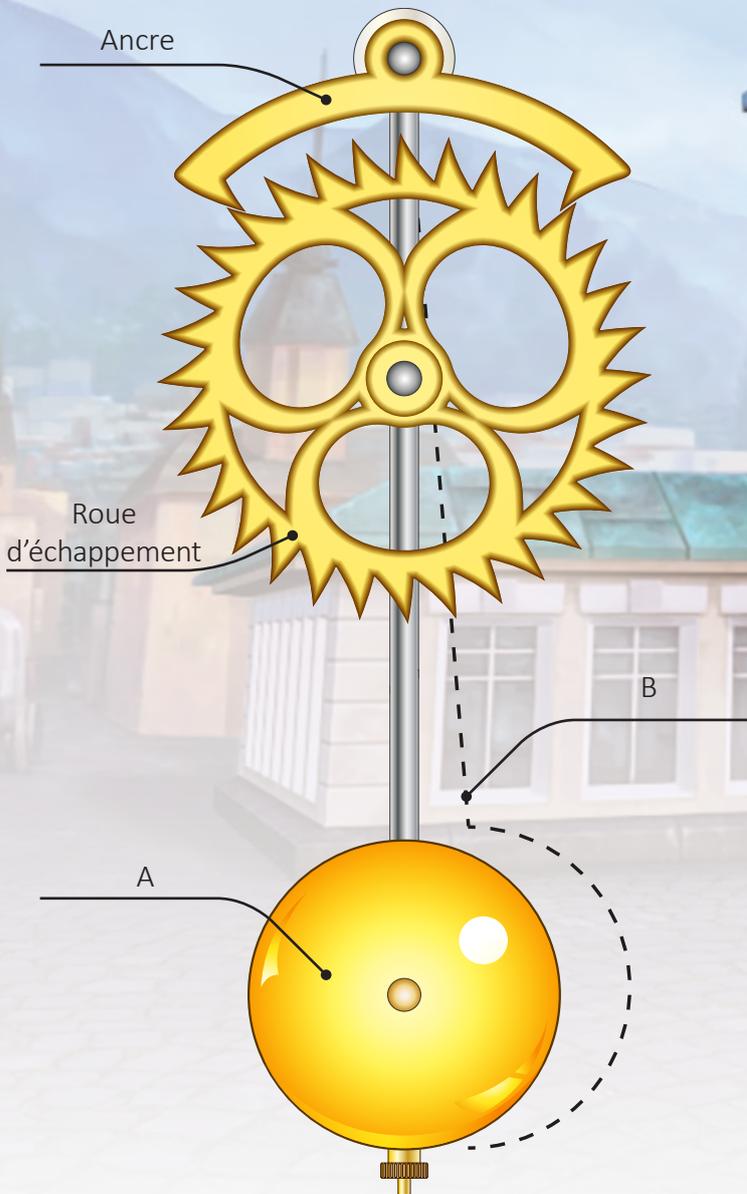
Avec un mécanisme du type à verge, il était virtuellement impossible de garantir le rythme régulier nécessaire de l'horloge à grande amplitude oscillatoire. Il fallait donc un moyen de réduire l'amplitude ; c'est ce que permet l'échappement à ancre.



Échappement à ancre (vue de côté)

L'échappement

La roue d'échappement est solidaire d'un pignon cylindrique portant une chaîne. L'ancre, pièce légèrement arquée fixée à l'extrémité supérieure du pendule, possède deux bras terminés chacun par une palette. Puisque l'ancre se balance avec le pendule, chacune de ses palettes, à tour de rôle, bloque et libère une dent de la roue d'échappement. On croit que l'invention de l'échappement à ancre est imputable à Robert Hooke et date de 1670.



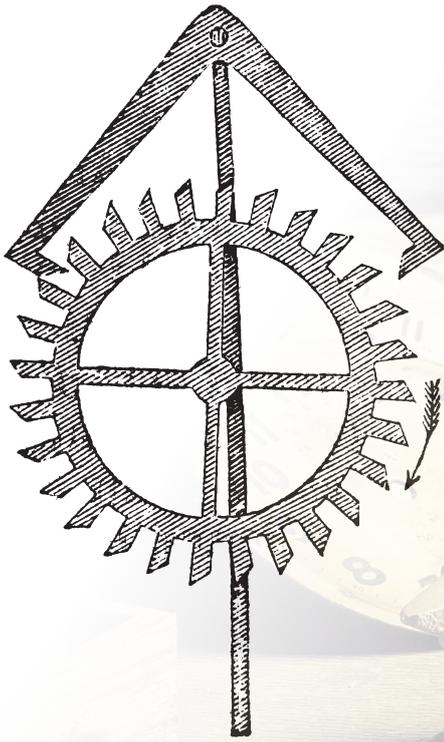
Échappement à ancre (vue de face)



L'ancre ne permet à la roue que de tourner d'un cran par $\frac{1}{2}$ période d'oscillation du pendule. A – ancre du pendule avant le blocage de la roue d'échappement et le déplacement d'un cran. B – ancre du pendule après le blocage de la roue d'échappement et le déplacement d'un cran.

En 1671, l'horloger anglais William Clement fabriqua la première horloge avec échappement à ancre, remettant en question l'antériorité de l'invention de Hooke.

Plus tard, en 1715, George Graham, un autre inventeur, horloger et géophysicien anglais, améliora l'échappement à ancre dont la précision augmenta considérablement (jusqu'à 0,1 seconde). On utilisa le mécanisme de Graham pendant près de 200 ans, jusqu'en 1890.



Bien entendu, George Graham ne fut pas le dernier inventeur qui eut des idées pour améliorer la précision et l'efficacité des horloges. Nombre d'horlogers proposèrent leurs conceptions de ce mécanisme essentiel et plus de 200 échappements à ancre furent inventés tout au long de l'histoire de l'horlogerie.

L'horloge électrique fit son apparition pour la première fois au 19^{ème} siècle. Son pendule était réglé par un circuit électrique. C'est vers la moitié du 20^{ème} siècle que la montre à quartz vit le jour. Elle est munie d'un oscillateur électronique qui produit un signal avec une fréquence très précise et d'un cristal de quartz comme régulateur.



Actuellement, les pendules mécaniques ne peuvent plus concurrencer les horloges électroniques. Toutefois, elles gardent une inestimable valeur esthétique et leur histoire constitue une étape importante dans le développement de la pensée scientifique qui sera toujours source d'inspiration pour les générations futures.

§3

À propos du mécanisme et de son utilisation



Métronome mécanique

Le **métronome** (du grec μέτρον métron «mesure» + νόμος nómos «règle») est un appareil qui produit un signal acoustique ou visuel à intervalles réguliers. Ce sont surtout les musiciens qui l'utilisent pour jouer de leur instrument à une cadence régulière. Récemment, on l'a utilisé aussi lors de concerts, par exemple, pour synchroniser des pré-enregistrements et des instruments électroniques.

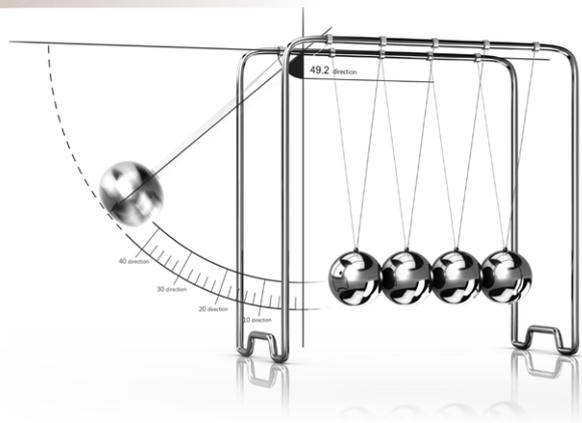
Les "chronomètres musicaux" commencèrent à être employés à la fin du 17ème siècle. Le plus pratique fut le métronome créé au début des années 1800 par l'inventeur, ingénieur et entrepreneur allemand Johann Nepomuk Maelzel. Le deuxième mouvement de la Symphonie n° 8 de Ludwig van Beethoven est, croit-on, une aimable parodie du métronome de Maelzel.

Typiquement, le corps du métronome a une forme pyramidale et un des côtés est prévu pour y loger un pendule avec lentille. La position de la lentille sur le pendule détermine la fréquence des clics du métronome. Plus la lentille se trouve haut sur le pendule, plus basse est la fréquence et vice versa. L'échelle sur la face du métronome indique la fréquence des clics.

Aujourd'hui, outre les mécaniques, nous utilisons aussi des métronomes électroniques qui sont souvent intégrés dans un même boîtier avec des syntoniseurs.

On peut également faire usage de métronomes pour chronométrer des exercices physiques et des expériences scientifiques et même comme instruments musicaux à part entière, comme dans le Poème Symphonique pour 100 métronomes de György Ligeti ou Dead Souls Two movements d'Alfred Schnittke.

Le **pendule de Newton** est un système mécanique appelé ainsi d'après Isaac Newton et qui démontre la conservation de l'énergie et la quantité de mouvement ainsi que la transformation de l'énergie cinétique en énergie potentielle et inversement. Faute d'une force contraire (tension), le système pourrait fonctionner sans arrêt, ce qui est impossible en réalité.



Le **pendule à secondes** est un pendule dont la période est de 2 secondes : une seconde pour l'oscillation dans une direction et une seconde pour l'oscillation de retour. La fréquence d'oscillation est de $\frac{1}{2}$ Hertz*.

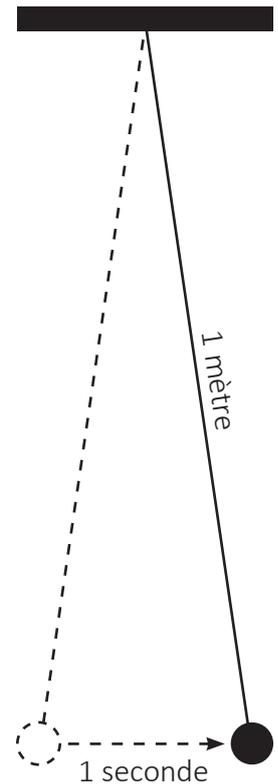
Le poids est suspendu au pivot et il oscille librement. Écarté de sa position d'équilibre, le pendule est sujet à la gravité, la tension et la force élastique.

Dès que le pendule est lâché, la force de retour combinée à la masse du pendule fait que le pendule oscille autour de la position d'équilibre dans un mouvement de va-et-vient.

Le temps nécessaire à la réalisation d'un cycle complet – une oscillation à gauche et une autre à droite – se nomme « période ».

La période dépend de la longueur du pendule et, dans une certaine mesure, de la position du poids (moment d'inertie par rapport au centre de gravité) et l'amplitude (l'oscillation).

Les **horloges mécaniques** sont des horloges qui utilisent un mécanisme de pendule pour mesurer le temps. L'impulsion est fournie par des poids, des ressorts ou une source d'énergie électrique. Pour mesurer le temps, ces horloges utilisent l'inertie d'un système oscillatoire – le pendule, normal ou à ressort, pourvu d'un ressort en spirale comme régulateur d'équilibre (+/-).



* 1 Hz équivaut à une oscillation par seconde

§4

Leçons de physique et de mécanique de la maquette STEM "Le Pendule"

Terminologie et concepts

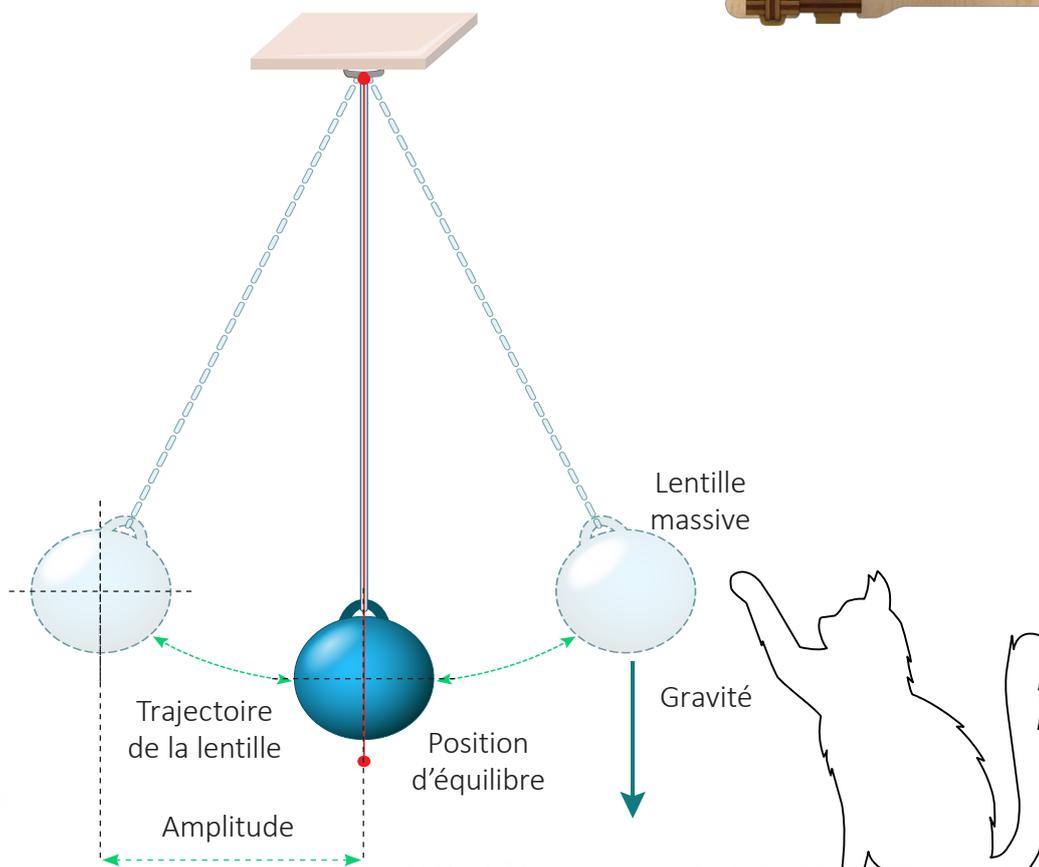
Les **oscillations** sont des mouvements de va-et-vient répétitifs à rythme régulier.

Elles peuvent être mécaniques, électromagnétiques, chimiques, thermodynamiques, etc. Présentes dans une grande variété de disciplines scientifiques, elles ont beaucoup en commun et on les exprime par les mêmes équations.

Pour qu'un corps oscille, il doit être écarté de sa position d'équilibre.

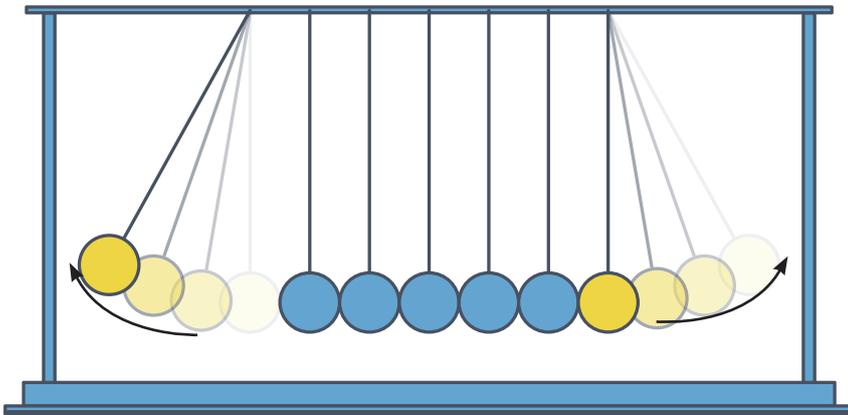
Principaux types d'oscillations:

Oscillations forcées – il s'agit d'oscillations maintenues par une force périodique externe qui compense la perte d'énergie due à la friction dans le système. La force périodique externe est appelée "force oscillante".

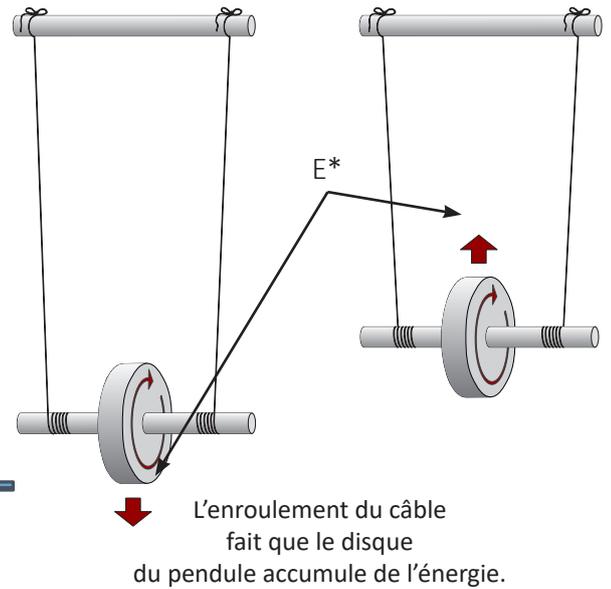


Le chat fait "osciller" le pendule

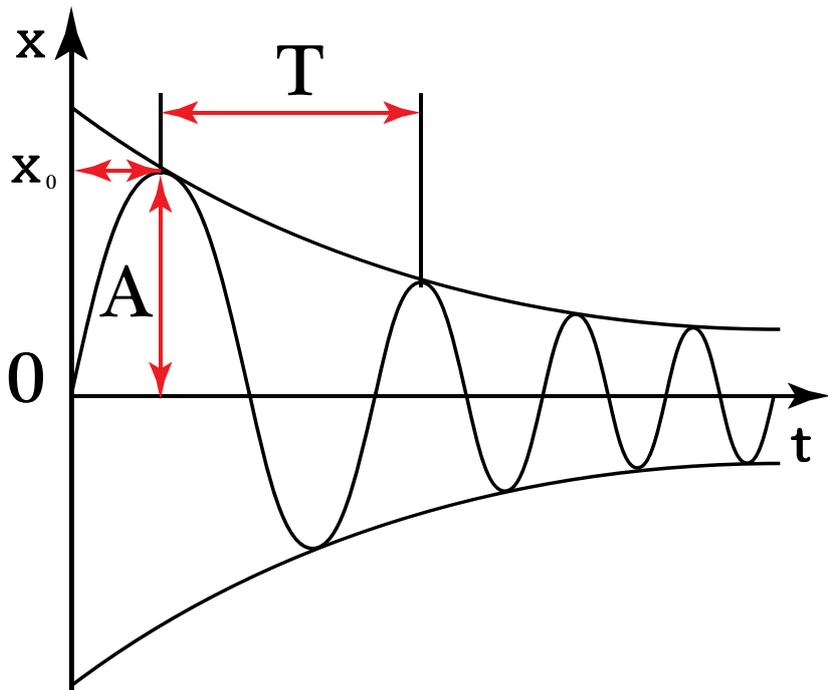
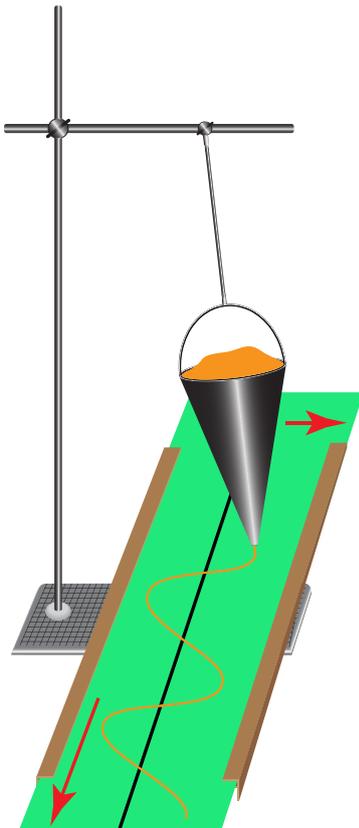
Oscillations libres – ce sont les oscillations d'un corps sans autre intervention extérieure que l'impulsion initiale qui a provoqué le mouvement.



En se déplaçant, la bille accumule de l'énergie



Oscillations amorties – il s'agit d'oscillations dont l'amplitude diminue progressivement et qui, finalement, perdent leur énergie. L'amortissement des oscillations mécaniques libres a lieu lorsque l'énergie mécanique diminue à cause de la friction et des forces antagonistes.



où:

A étant l'amplitude des oscillations

T - la période d'oscillation

t - l'échelle de temps

x_0 - la valeur de l'amplitude

*E – énergie accumulée

Auto-oscillations – ce sont celles qui se produisent sans aucune force extérieure, suite à la capacité du système à générer et réguler l'énergie provenant d'une source permanente.

Un système auto-oscillant comporte trois éléments principaux : la force oscillatoire, la source d'énergie et le dispositif de réaction entre le système et la source. Il peut s'agir de n'importe quel système mécanique capable de générer des auto-oscillations amorties (par exemple, le pendule d'une horloge murale).

La maquette que vous venez de construire est un de ces système auto-oscillants.

Ce genre de système peut être alimenté par l'énergie d'un ressort ou par l'énergie potentielle d'un poids exposé à la gravité.

Dans notre cas, l'énergie est fournie par un élastique tendu.

On caractérise les oscillations dans les termes suivants :

Une oscillation est considérée achevée quand le corps oscillant est revenu à la position initiale et qu'une nouvelle oscillation commence dans la même direction.

Les mouvements oscillatoires sont répétitifs et possèdent les caractéristiques suivantes :

1. une période d'oscillation
2. une fréquence

La période d'oscillation est le temps qu'un corps oscillant met pour effectuer une oscillation complète.

La période d'oscillation est désignée par la lettre "T" et est mesurée en secondes. Elle est donnée par la formule

$$T = \frac{t}{N}$$

où:

t est la durée du mouvement
n est le nombre d'oscillations

La fréquence des oscillations est le nombre d'oscillations complètes réalisées pendant une seconde.

L'unité de mesure de la fréquence est l'Hertz (Hz). La fréquence est notée par lettre grecque ν . On peut la calculer à l'aide de l'équation suivante :

$$\nu = \frac{N}{t}$$

où:

n est le nombre d'oscillations
t est la durée du mouvement

Un Hz équivaut à une oscillation par seconde. En général, le cœur humain bat à la même fréquence. Le mot "herz" (prononcé "hertz") en allemand signifie "cœur".

La période et la fréquence d'oscillation ont un rapport inversement proportionnel:

$$T = \frac{1}{\nu}$$

L'unité de fréquence doit son nom au célèbre physicien allemand Heinrich Hertz (1857 - 1894).



Principaux types d'énergie présents lors des oscillations :

L'amplitude (A) est la dimension de l'oscillation, le déplacement maximum d'un corps oscillant depuis sa position d'équilibre. Voir la figure ci-dessous « Conservation de l'énergie dans un pendule ».

L'énergie (E) est une des principales caractéristiques de la matière, une mesure de son mouvement et sa capacité à produire du travail.

Un corps, quel que soit son état, peut avoir plusieurs types d'énergie, notamment calorifique, mécanique, électrique, chimique ou nucléaire ainsi que de l'énergie potentielle de divers champs physiques (gravitaire, magnétique ou électrique). La somme de tous les types d'énergie d'un corps est son énergie totale.

L'énergie cinétique – E(k) – est l'énergie d'un objet en mouvement. **L'énergie cinétique** de cet objet à l'état de repos est égale à zéro.

L'énergie cinétique E(k) d'un objet dépend de sa masse (m) et de sa vitesse (v).

L'énergie potentielle – E(p) – est l'énergie qu'un objet développe à cause de sa position par rapport à l'une de ses parties ou à d'autres objets. Cela signifie, par exemple, qu'un objet tombant sur le sol depuis une certaine hauteur est capable de produire du travail.

L'énergie potentielle dépend de la hauteur entre la position de l'objet et le plan sur lequel il va tomber.

L'énergie mécanique est la somme des énergies potentielles et cinétiques.

$$E = E_{(k)} + E_{(p)}$$

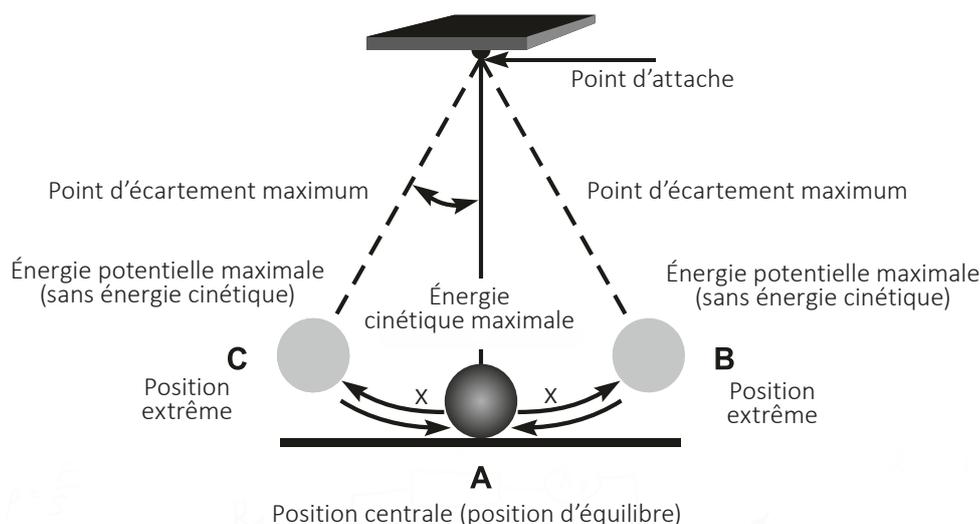
Conservation de l'énergie dans un mouvement oscillatoire

Les oscillations d'un pendule sont provoquées par une impulsion initiale : l'énergie mécanique dérivant du déplacement du poids suspendu au pivot depuis sa position d'équilibre.

Pendant les oscillations du pendule :

- sa vitesse et son énergie cinétique maximales ont lieu quand le pendule passe par son point d'équilibre;
- son énergie potentielle est à son maximum lorsque l'énergie cinétique (la vitesse) est égale à zéro.

Quand le poids est écarté depuis sa position d'équilibre jusqu'au point de déplacement maximum (points C et D), l'énergie cinétique se transforme en énergie potentielle. Lorsque le poids est libéré, il s'efforce de retourner à la position d'équilibre et l'énergie potentielle se convertit alors en énergie cinétique.



Conservation de l'énergie dans un pendule

Déplacement (x) – mouvement de l'objet oscillant depuis sa position d'équilibre pendant un laps de temps présent [m].

§5

Conception technique et principe de fonctionnement

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$
$$P = \rho \frac{dV}{dt}$$

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

L'échappement à ancre (fig. Pendule avec échappement à ancre) est un bon exemple de système auto-oscillant.

La roue d'échappement à dents inclinées (A) est solidaire de la roue dentée (B) qui transmet l'impulsion de l'élastique (C). Le haut du pendule a la forme d'une ancre (D).

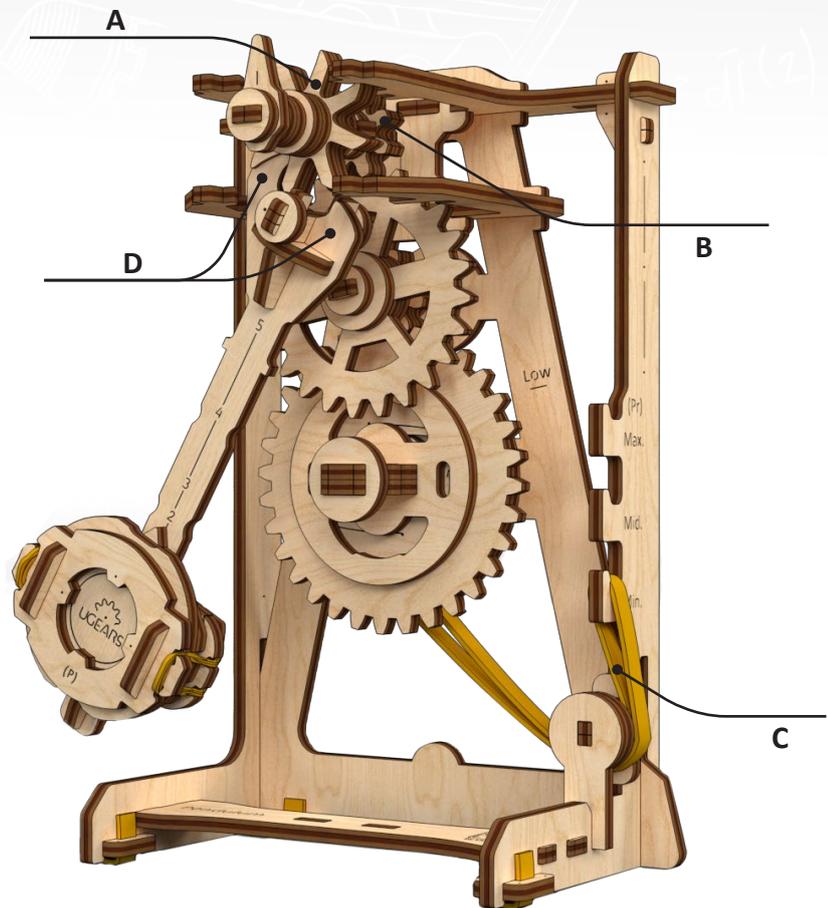
Les horloges murales, de parquet, de tour ou les montres ont un poids comme source d'énergie. Les bracelets-montres et les montres de poche peuvent comporter un ressort qui fournit l'énergie et un balancier (E) - un volant relié à un ressort en spirale - au lieu du pendule. Le balancier produit des oscillations en tournant autour de son axe radial.

Le système oscillant d'une horloge ou d'une montre est un pendule ou un volant. La source d'énergie est un poids (lentille) ou bien un ressort. En prise avec la roue d'échappement, l'ancre agit comme un dispositif de réaction qui ne laisse tourner la roue qu'une seule dent par demi-période.

La réaction a lieu pendant l'interaction de l'ancre et de la roue d'échappement.

Cela permet à la roue d'avance d'un cran à chaque demi-période. À chaque demi-période d'oscillation du pendule, la dent de la roue d'échappement entraîne l'ancre dans la même direction et transmet une impulsion déterminée qui compense la perte d'énergie à cause de la tension. Partant, l'énergie potentielle d'un poids ou d'un ressort est transmise progressivement au pendule par petites impulsions.

L'usage des systèmes auto-oscillants mécaniques est généralisé et on les retrouve virtuellement partout dans notre vie quotidienne. Les exemples ne manquent pas : turbines à vapeur, moteurs à combustion, sonnettes électriques, instruments de musique à cordes et à vent et même nos cordes vocales lorsque nous parlons ou chantons.



Pendule avec échappement à ancre

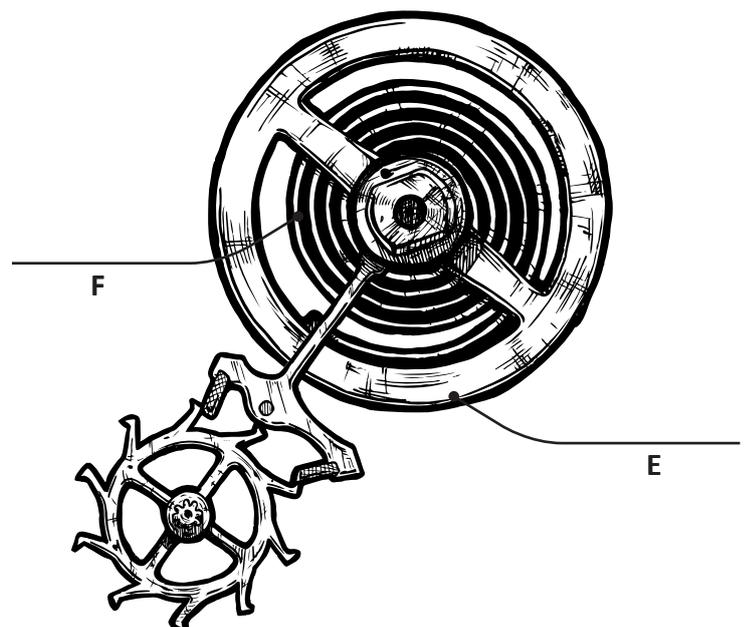


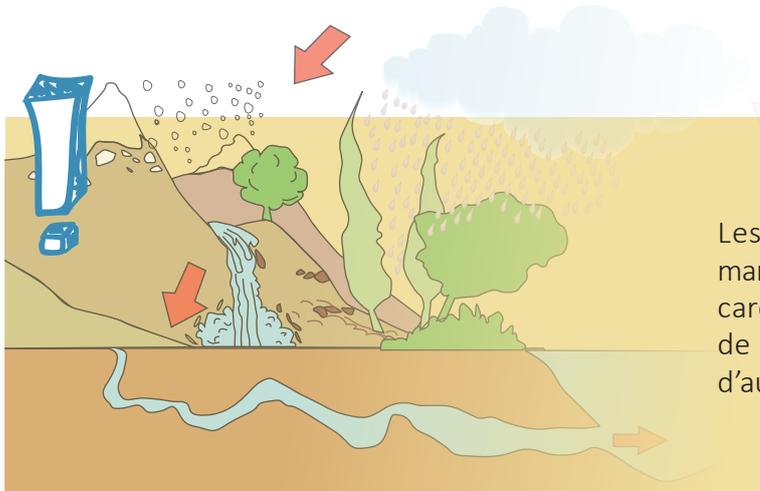
Fig. 4 – Mécanisme d'horlogerie à pendule

CURIOSITÉS



Les oscillations figurent parmi les processus les plus courants dans la nature et la technologie.

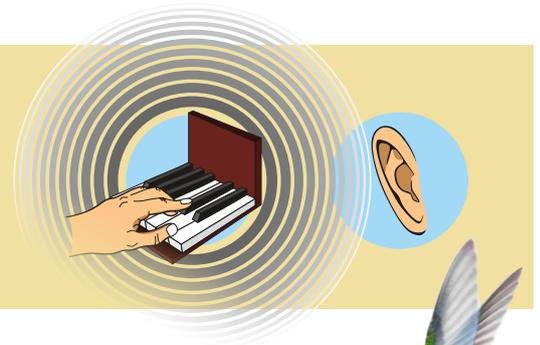
Elles sont présentes dans le battement d'ailes des oiseaux et des papillons, les édifices de grande hauteur et les câbles à haute tension exposés au vent, le pendule de l'horloge et la suspension des véhicules, le niveau de l'eau d'un fleuve et la température du corps humain dans sa lutte contre une infection.



Les mouvements sismiques, les marées hautes et basses, le rythme cardiaque, les cycles de veille et de sommeil, les saisons, et bien d'autres choses encore.



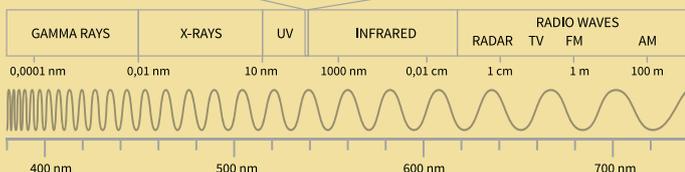
Le son est la vibration de la densité et de la pression de l'air ; les ondes radio sont des altérations de l'intensité des champs électriques et magnétiques. La lumière visible est, elle aussi, un type d'oscillation électromagnétique, mais ayant une longueur d'onde et une fréquence différentes.



VISIBLE SPECTRUM



VISIBLE LIGHT



Même nos trajets de la maison au lieu de travail et retour s'inscrivent dans le cadre des oscillations comprises comme un processus qui se répète avec des durées identiques.

Une des branches de la physique – “la théorie des oscillations” – étudie tous ces phénomènes. Leur connaissance est un devoir incontournable pour les personnes intervenant dans la construction d'avions et de bateaux, les développeurs industriels et logistiques, les fabricants de radios et d'appareils acoustiques.

§6 Travaux pratiques

Réalisez votre propre travail de laboratoire et apprenez comment la période et la fréquence d'un pendule dépendent de la position de son poids. Étudiez l'amplitude, en mesurant l'amplitude, la fréquence et la période d'un pendule. La dépendance de la période d'oscillation de la position de la lentille.

Objectifs : Étudier l'influence de la position du poids (lentille) sur la période d'oscillation. Apprendre à calculer l'amplitude à l'aide de diverses formules. Développer la logique, les connaissances scientifiques et la pensée spatiale.

Matériel : Pendule, chronomètre, bloc-notes et stylo à bille.

Travaux préliminaires de l'expérience :

Montez le Pendule et placez-le sur une surface plane. Écartez le pendule de sa position d'équilibre. Mesurez le temps et comptez le nombre d'oscillations. Afin de garantir la précision de votre expérience, répétez vos calculs plusieurs fois. Calculez le temps moyen t_c . Vous pouvez déterminer la période d'oscillation en appliquant la formule suivante :

$$T_c = \frac{t_c}{N} \quad (1)$$

Préparation de l'expérience :

Placez le Pendule sur une surface plane. Ajustez la verticalité du poids. Accrochez l'élastique à la position « min » et mettez la lentille du pendule en bas (si vous le souhaitez, vous pouvez insérer une pièce de monnaie dans la lentille).

EXÉCUTION DE L'EXPÉRIENCE

Opération 1 – Établir la période d'oscillation

1. Écartez le pendule 2-3 cm de sa position d'équilibre. Notez le temps que le pendule met pour effectuer 10 oscillations complètes.
2. Répétez cette opération 2 ou 3 fois dans les mêmes conditions.
3. Calculez le temps moyen mis par le pendule pour effectuer 10 oscillations complètes.

$$T_c = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}$$

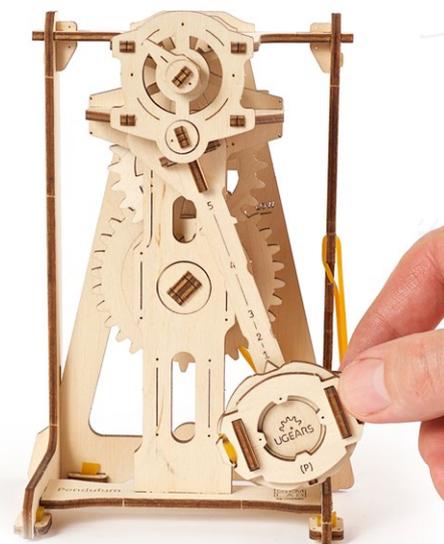
4. Appliquez la formule (1) pour établir la période du pendule.

Opération 2 – Examiner comment la position de la lentille modifie la fréquence d'oscillation

1. Placez la lentille dans une des positions possibles. Calculez le nombre d'oscillations complètes réalisées pendant 10 secondes.
2. Calculez la fréquence à l'aide de la formule suivante :

$$v = \frac{N}{t}$$

3. Répétez l'expérience plusieurs fois en changeant la position de la lentille à chaque fois.
4. Comparez les résultats obtenus.



Собранный маятник



Opération 3 – Répéter l'expérience de l'Opération 2 avec une lentille de poids différent.

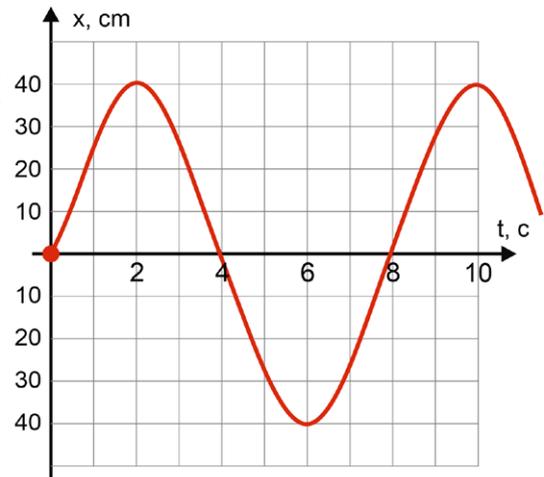


La maquette « Pendule » est un exemple de mécanisme d'échappement à ancre. L'amplitude du pendule est permanente et ne dépend ni de la tension de l'élastique ni de la position de la lentille. Seules la fréquence et la période d'oscillation changent.

Opération 4 – Déterminer l'amplitude et la période à partir du graphique ci-joint.

Choisissez les réponses correctes parmi les valeurs proposées :

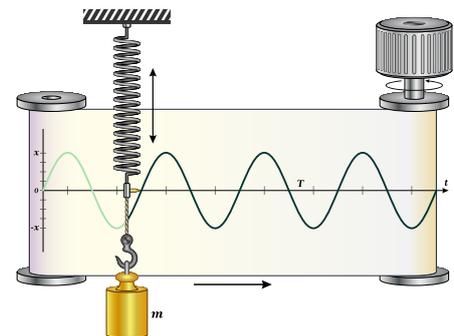
- 1. 10 cm
- 2. 20 cm
- 3. 40 cm
- 4. 2 s
- 5. 4 s
- 6. 6 s
- 7. 8 s
- 8. 10 s



Opération 5 – Quel serait l'effet de l'utilisation d'un poids 4 fois plus lourd sur la période d'un pendule à ressort ?

Choisissez les réponses correctes parmi les valeurs proposées :

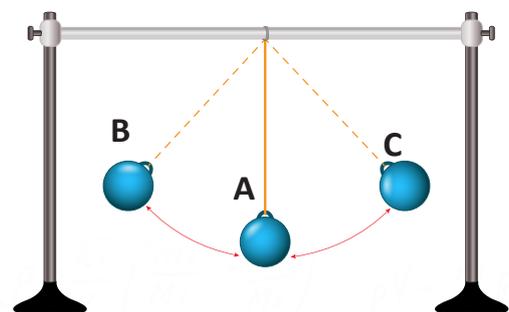
- 1. la multiplier par 2
- 2. la diviser par 2
- 3. la multiplier par 4
- 4. la diviser par 4
- 5. la multiplier par 16
- 6. la diviser par 16



Opération 6 – Dans quelle position du pendule son énergie potentielle est-elle maximale ?

Choisissez les réponses correctes parmi les valeurs proposées :

- 1. AC
- 2. AB
- 3. ABC
- 4. BC



CONCLUSIONS :

Au cours de cette expérience, nous avons appris à mesurer l'amplitude, la période et la fréquence d'oscillation d'un pendule.

Nous avons vérifié que :

- la période et la fréquence ne dépendent pas de l'amplitude ;
- la période et la fréquence ne dépendent pas de la masse de la lentille ;
- la période et la fréquence dépendent de la position de la lentille.

Test de connaissances

1. Les oscillations d'un pendule sont provoquées par ...

- a) la gravité et la force élastique
- b) la tension et la résistance
- c) la gravité et la tension

2. Pour que la convergence des oscillations soit minimale, cette grandeur doit être minimale :

- a) la tension
- b) la gravité
- c) la force élastique

3. Au point d'équilibre du pendule, cette grandeur atteint sa valeur maximale :

- a) la vitesse
- b) l'amplitude
- c) la masse

4. Ce qui explique la convergence des oscillations, c'est ...

- a) la tension
- b) la gravité
- c) le courant

5. L'écart maximum du point d'équilibre est dénommé :

- a) amplitude
- b) période
- c) fréquence d'oscillation

6. A quel endroit l'énergie potentielle du pendule atteint-elle son maximum ?

- a) au point d'écart maximum
- b) au point d'équilibre
- c) elle est identique partout

7. On appelle le temps mis par un pendule pour réaliser une oscillation complète...

- a) la période
- b) la fréquence
- c) l'amplitude

8. Les ondes mécaniques sont...

- a) des oscillations en milieu linéaire
- b) les oscillations d'un pendule
- c) un processus répétitif

9. La période d'oscillation d'un pendule dépend :

- a) de la longueur du pendule
- b) de la masse de la lentille
- c) de la fréquence d'oscillation

10. Qui fut le premier à expérimenter le pendule ?

- a) Galileo Galilei
- b) Christiaan Huygens
- c) Isaac **Newton**

Félicitations ! C'est fait !

Merci de nous avoir accompagnés dans cette aventure ; nous espérons que vous vous êtes amusé et que vous avez appris quelque chose.