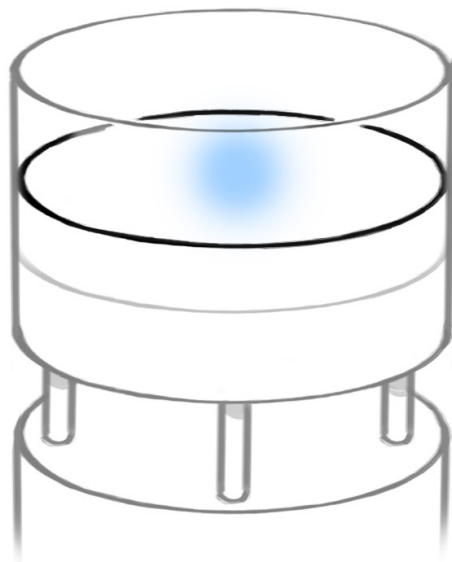
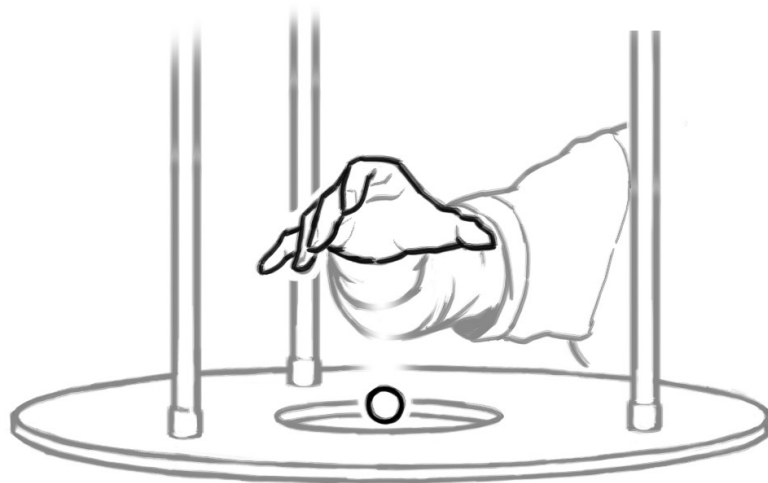




Hüpfende Stahlkugel



Können Sie die Stahlkugel auch schweben lassen?

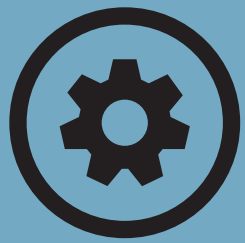


Was tun und beachten:

- *Lassen Sie die kleine Stahlkugel durch den oberen Plexiglasring auf die Stahlplatte fallen. Verfolgen Sie das hörbare Aufprallen.*
- *Was verändert sich, wenn Sie die Kugel aus verschiedenen Höhen fallen lassen?*
- *Blicken Sie auch einmal direkt über die Stahlplatte, kurz bevor die Kugel zur Ruhe kommt.*

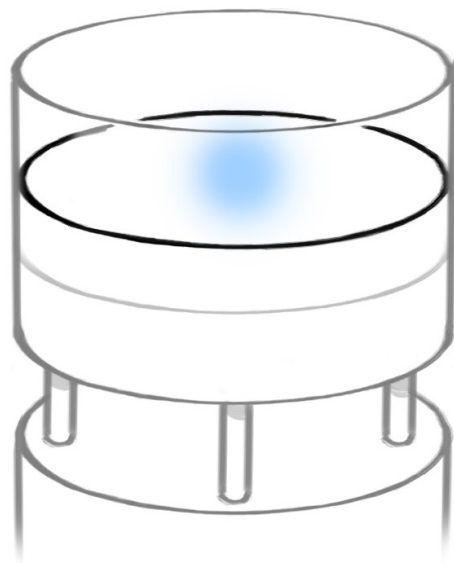
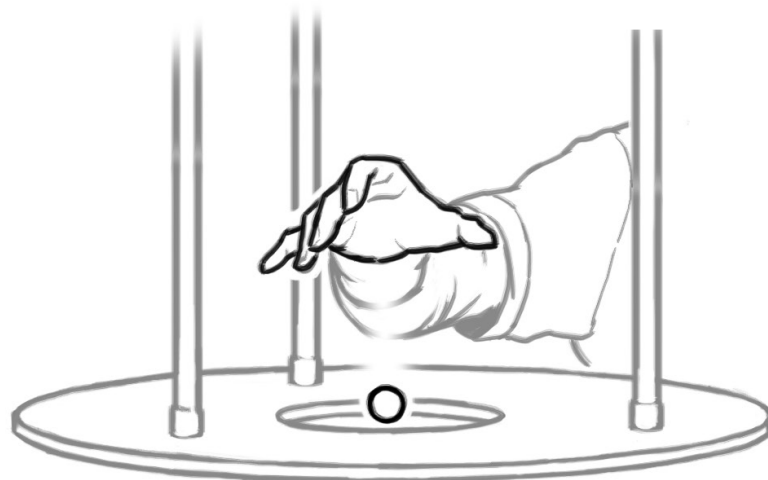
Wer mehr wissen möchte:

lesen Sie den Zusatztext



Hüpfende Stahlkugel

Können Sie die Stahlkugel auch schweben lassen?

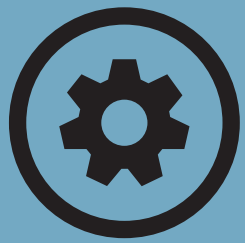


Was tun und beachten:

- *Lassen Sie die kleine Stahlkugel durch den oberen Plexiglasring auf die Stahlplatte fallen. Verfolgen Sie das hörbare Aufprallen.*
- *Was verändert sich, wenn Sie die Kugel aus verschiedenen Höhen fallen lassen?*
- *Blicken Sie auch einmal direkt über die Stahlplatte, kurz bevor die Kugel zur Ruhe kommt.*

Wer mehr wissen möchte:





Hüpfende Stahlkugel

Wer mehr wissen möchte

Wie bei anderen Schwingungsvorgängen verliert die Kugel Energie. Nach jedem Aufprall erreicht sie nicht mehr ganz die vorherige Fallhöhe. Anders als bei sogenannten harmonischen Schwingungen ändert sich dabei auch die Zeit, die die Kugel für eine ganze Periode benötigt. Das liegt daran, dass sie natürlich bei geringerer Fallhöhe weniger Fallzeit braucht – es ist also eher erstaunlich, dass das bei harmonischen Schwingungen anders ist!

Eine Schwingung wird dann harmonisch, wenn die rücktreibende Kraft gleichmässig mit der Auslenkung ansteigt. Das ist zum Beispiel bei Stahlfedern der Fall. Bei Fadenpendeln stimmt es nur bei kleinen Auslenkungen. Die Stahlkugel könnte nur dann harmonisch hüpfen, wenn ihr Gewicht sich mit der Fallhöhe ändern würde!

Wer es (mathematisch) genau wissen möchte:

Die nach dem Stoss erreichte Umkehr-Höhe ist ein Mass für die verbleibende Energie. Andererseits ist die Zeitspanne zwischen zwei aufeinanderfolgenden Stössen proportional zur Quadratwurzel aus dieser Höhe. Somit kann man aus den immer kürzer werdenden Zeitintervallen auf den Energieverlust bei den nicht vollkommen elastischen Stössen schliessen. Die „verlorene“ Energie findet sich wieder in Schwingungs- und Bewegungsenergie der Stahlplatte sowie in geringfügiger Erwärmung.

Beispiel:

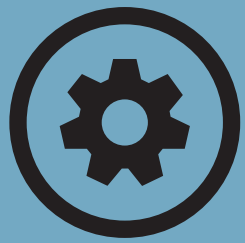
Der Energieverlust bei jedem Stoss ist 19 %. Folglich differieren zwei aufeinanderfolgende Scheitelhöhen um den Faktor $(1 - 0.19)$, also um 0.81. Aufeinanderfolgende Zeitintervalle unterscheiden sich dann um die Wurzel aus 0.81, also um 0.9. Eine mögliche zeitliche Abfolge wäre etwa 1 sec. --> 0.9 sec. --> 0.81 sec. --> 0.729 sec. --> 0.656 sec. usw.

Wichtige Unterscheidung:

Im Gegensatz zu einer Schwingung, bei der sich derselbe Vorgang nach gleichbleibenden Zeitabschnitten (nämlich der Schwingungsdauer) wiederholt, handelt es sich bei diesem Versuch um einen zeitlich nicht-periodischen Vorgang.

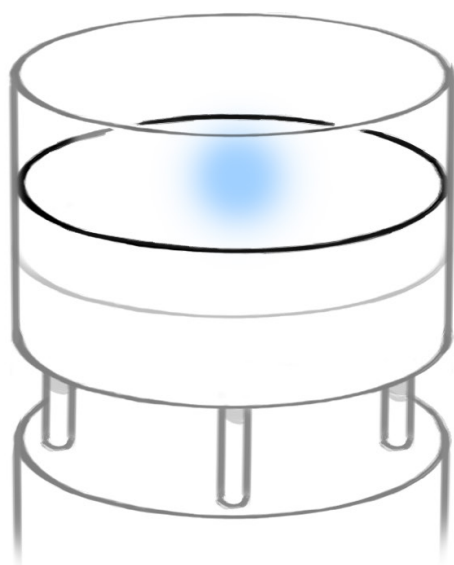
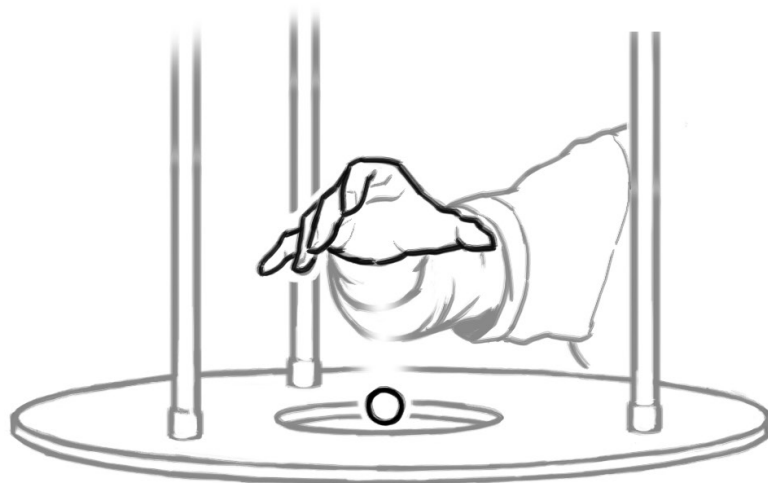
Was tun und beachten:





Bouncing (Steel) Ball

Can you get the steel ball to hover?

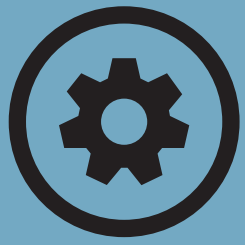


To do and notice:

- *Drop the steel ball bearing through the upper Perspex ring onto the steel plate below and follow the audible bounces.*
- *What changes when you drop the ball from different heights?*
- *Watch carefully directly over the steel plate shortly before the ball comes to rest.*

Want to know more?





Bouncing (Steel) Ball

Want to know more?

As with all collision processes, the ball loses energy at each bounce, so it will not go quite as high after each bounce. It will, therefore, take a shorter time to fall back to the plate, so the time between each bounce gets shorter and shorter, unlike vibrating systems, whose frequency stays the same as they lose energy and eventually stop. Why the difference?

Fixed frequency oscillators have a restoring force proportional to the distance from the undisturbed position. A pendulum behaves in this way to a very good approximation. The bouncing ball, however, has the same force acting on it (its weight) at all times except while it is actually colliding. For a ball to bounce with constant frequency, its weight would have to increase with height!

Would you like a more mathematical explanation?

After each collision with the plate, the height reached is an accurate measure of the remaining energy. It can be shown that the time between successive bounces under gravity is proportional to the square root of the height reached during that interval. This provides the connection between the ever decreasing time between bounces and the energy loss due to the non-elastic collisions with the plate. The “lost” energy is converted into vibrations of the plate, sound and eventually ends up as heat (not much!) in the surroundings.

A worked example:

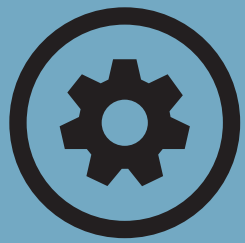
Suppose the energy loss at each bounce is 19%. Two consecutive height reached will be in the ratio of $1:(1 - 0.19)$ or $1:0.81$. So the sequence of times between successive bounces (starting from 125 cm high) will be: 1 sec, --> 0.9 sec. --> 0.81 sec. --> 0.729 sec. --> 0.656 sec., etc.

This is therefore a non-periodic process, and the terms form a geometric series, whose sum to infinity is $1/(1 - 0.9)$, which is 10 sec.

The short period of apparent “hovering” just before the bouncing stops is when the frequency of bouncing is too high to be followed by the eye.

To do and notice:

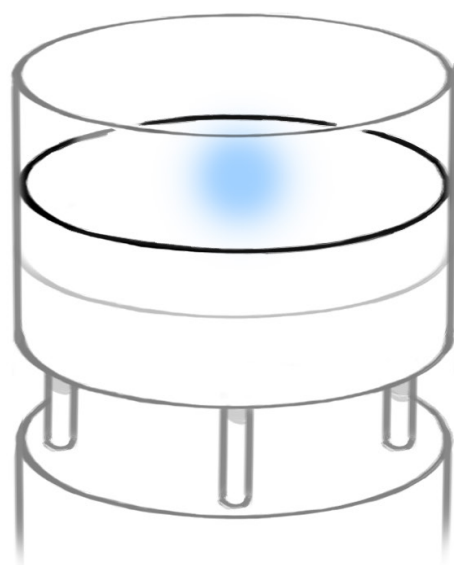
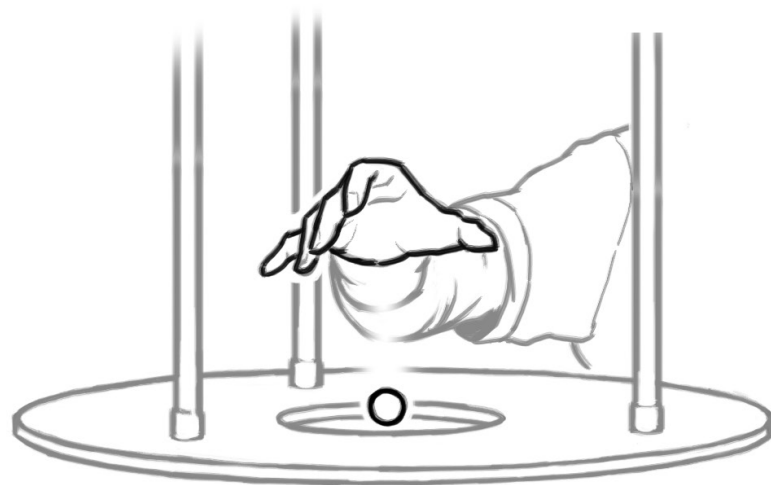




La bille d'acier sautillante



Pouvez-vous aussi faire léviter la bille d'acier?



A vous de jouer:

- *Laissez tomber la petite bille en acier à travers l'anneau supérieure en plexiglas sur la plaque en acier. Suivez et écoutez ses rebonds.*
- *Quelles modifications se produisent quand vous laissez tomber la bille depuis différentes hauteurs?*
- *Regardez également directement sur la plaque en acier, peu avant l'immobilisation de la bille.*

Pour en savoir plus:





La bille d'acier sautillante



Pour en savoir plus

Comme pour les autres processus oscillatoires, la bille perd progressivement de son énergie. Après chaque impact, elle n'atteint plus tout à fait sa hauteur précédente. Contrairement aux oscillations dites harmoniques, la durée nécessaire à la bille pour accomplir une période complète se réduit également. En effet, la bille a besoin de moins en moins de temps pour parcourir une distance devenue plus courte – il est d'ailleurs étonnant qu'il en soit autrement pour les oscillations harmoniques!

Une oscillation est dite harmonique quand la force de réaction augmente proportionnellement avec l'amplitude. C'est par exemple le cas pour les ressorts en acier. En revanche, ce principe ne se vérifie que dans les faibles amplitudes pour les pendules à fil. La bille d'acier ne pourrait décrire une oscillation harmonique que si son poids se modifiait en fonction de la hauteur de chute!

Que se passe-t-il exactement (d'un point de vue mathématique)?

La hauteur atteinte par la bille permet de mesurer l'énergie résiduelle. D'autre part, l'intervalle temporel entre deux rebonds successifs est proportionnel à la racine carrée de la hauteur atteinte. Ainsi, des intervalles de temps toujours plus courts démontrent qu'il se produit une perte d'énergie à la différence d'un choc parfaitement élastique. L'énergie «perdue» se transforme en énergie potentielle et cinétique ainsi que dans un léger échauffement de la plaque d'acier.

Exemple:

Si la perte d'énergie pour chaque choc est de 19%, la différence entre deux hauteurs successives est de $(1 - 0.19)$, soit 0.81. Des intervalles temporels successifs se différencient de la racine carrée de 0.81, soit de 0.9. La séquence temporelle suivante est donc envisageable : 1 sec. --> 0.9 sec. --> 0.81 sec. --> 0.729 sec. --> 0.656 sec. etc.

Distinction importante:

Par opposition à une oscillation, dans laquelle le même processus se répète à intervalles temporels réguliers (soit une période), le phénomène constaté lors de cette expérience est non-périodique dans le temps.

A vous de jouer:

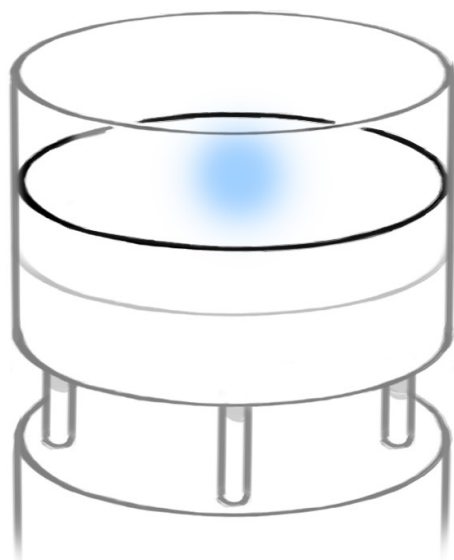
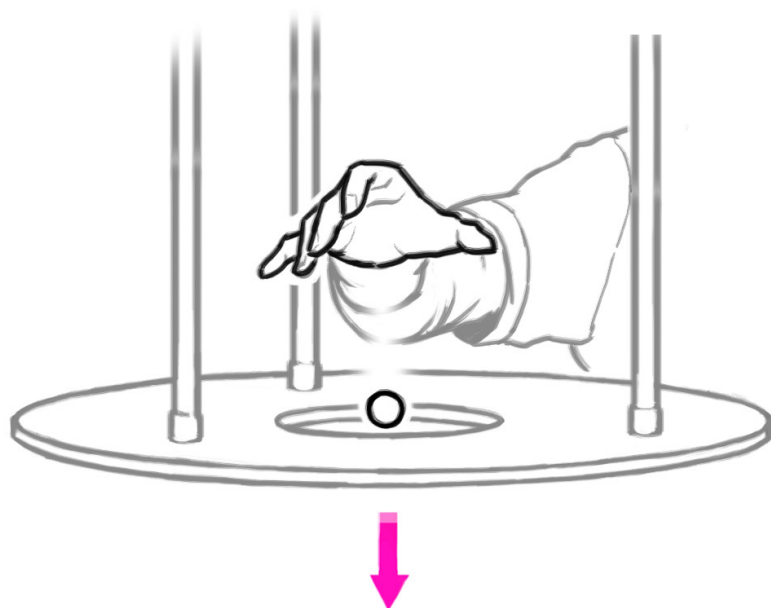




Biglia d'acciaio saltellante



Riuscite a far levitare la biglia?



Che cosa fare:

- *Fate cadere la biglia d'acciaio attraverso l'anello di plexiglas sulla piastra d'acciaio. Ascoltate il rumore che produce.*
- *Cosa succede se fate cadere la biglia da altezze diverse?*
- *Provate a trguardare direttamente la piastra d'acciaio poco prima che la biglia si fermi.*

Vuole saperne di più?





Biglia d'acciaio saltellante



Vuole saperne di più?

Come nel caso di altri processi di oscillazione, anche in questo caso la biglia perde a poco a poco energia: dopo ogni rimbalzo essa non raggiunge più l'altezza da cui era caduta in precedenza. Qui però, a differenza di quanto accade nel caso delle cosiddette oscillazioni armoniche, varia anche il tempo impiegato dalla biglia per un periodo completo. Ciò è dovuto al fatto che, naturalmente, per cadere da un'altezza inferiore la biglia impiega un tempo più breve. Semmai è sorprendente che le cose stiano altrimenti nel caso delle oscillazioni armoniche!

Un'oscillazione diventa armonica se la forza di richiamo aumenta uniformemente insieme all'ampiezza dell'oscillazione: questo vale in particolar modo nel caso delle molle d'acciaio. Nel caso dei pendoli sospesi a un filo, invece, ciò vale solo nel caso di oscillazioni d'ampiezza ridotta. La biglia d'acciaio potrebbe oscillare con un'oscillazione armonica soltanto se il suo peso variasse a seconda dell'altezza da cui cade!

Per chi vuole saperne (matematicamente) qualcosa di più:

La quota di ricaduta, raggiunta dopo il rimbalzo, costituisce una misura dell'energia rimanente. D'altra parte il periodo di tempo tra due rimbalzi successivi è proporzionale alla radice quadrata di quest'altezza. Perciò, a partire dagli intervalli di tempo sempre più brevi, si possono ricavare precise informazioni sulla perdita di energia provocata dai rimbalzi non perfettamente elastici. L'energia „perduta“ la ritroviamo nell'energia di oscillazione e nell'energia cinetica della piastra d'acciaio nonché in una trascurabile quantità di calore prodotto dall'attrito.

Esempio:

La dissipazione di energia in ogni rimbalzo è del 19%. Di conseguenza le quote raggiunte in due rimbalzi successivi differiscono di un fattore $(1-0,19)$ pari cioè a 0,81. Gli intervalli di tempo differiscono dunque della radice di 0,81, vale a dire di 0,9. Una possibile successione temporale sarebbe quindi 1 secondo --> 0,9 secondi --> 0,81 secondi --> 0,729 secondi --> 0,656 secondi ecc.

Una importante distinzione:

A differenza di quello che accade in un'oscillazione, in cui lo stesso processo si ripete dopo intervalli di tempo sempre uguali (vale a dire la durata dell'oscillazione), in questo esperimento si tratta di un processo non periodico nel tempo.

Che cosa fare:

