





- Chute en projection sur la verticale
- Tir sur une table à air
- Mesure de  $g$

Mécanique | 2013 2

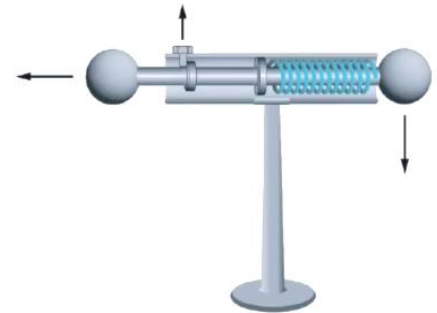
Bonjour, bienvenue au cours de physique générale de l'EPFL. Dans cette leçon, on a vu comment appliquer la mécanique newtonienne à un problème de balistique. Ici, j'aimerais montrer trois expériences de balistique. La première est un montage très simple qui permet de réaliser que le mouvement vertical est, en un sens, indépendant du mouvement horizontal. Donc, la projection du mouvement dans la verticale peut, avec des conditions initiales données, avoir la même allure, quel que soit le mouvement horizontal, donc dans une direction perpendiculaire. Ensuite, j'aimerais examiner un problème amusant de collision entre deux plots sur une table à air inclinée. Et enfin, on va faire une mesure de  $g$  à la verticale, donc dans une chute libre.

Notes

Summary



0m 03s



- Le mécanisme du ressort permet de lâcher les deux boules en même temps.
- Une boule part droit vers le bas. L'autre a une vitesse initiale horizontale.

Mécanique | 2013 3

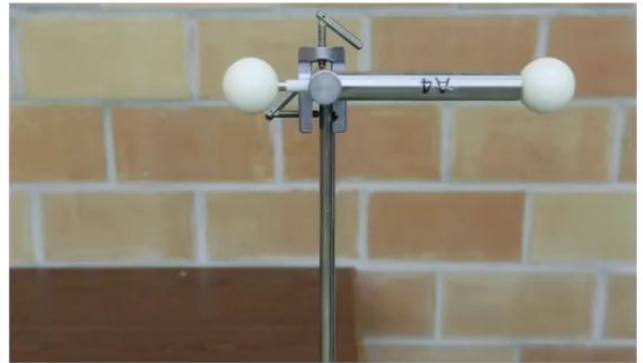
Je commence avec cette première expérience. Vous voyez ici un dispositif avec deux balles que je me propose de laisser tomber. Avec ce piston ici, qui comprime un ressort, et cette vis, je peux relâcher le piston d'un coup qui partira vers la gauche. Donc, cette balle aura une vitesse initiale horizontale alors que celle-là ne l'aura pas. En tout cas, idéalement, elle ne l'aura pas. Vous verrez que dans la réalité, il y a une légère vitesse horizontale. Ce qui est important ici, c'est que la vitesse initiale verticale est nulle dans les deux cas. Et par conséquent, on va avoir le même mouvement vertical. Ça veut dire que le temps de chute en particulier sera le même.

Notes

Summary



0m 58s



- Les deux boules frappent le sol en même temps.

Mécanique | 2013 4

Regardons cette expérience. Voici le dispositif. Le piston est comprimé, la vis est serrée, il y a deux balles, et on va voir le technicien relâcher le piston. Et je vous invite à écouter les balles quand elles frappent le sol.

Notes

Summary



1m 46s



Maintenant, on le fait au ralenti.

[illegible]

## Summary



# Chute et tir balistique



- Autre angle de vue
- Ralenti.

Mécanique | 2013 5

Je vous propose de regarder la même expérience sous un autre angle. Encore une fois, prenez garde au son au moment où la balle frappe le sol.

Notes

Summary



2m 17s





# Chute et tir balistique



- Autre angle de vue
- Ralenti.

Mécanique | 2013 5

On peut s'imaginer reproduire cette expérience pour différentes hauteurs et pour différentes vitesses initiales horizontales, et on verrait que dans la mesure où la vitesse verticale initiale est la même pour les deux balles, les temps de chute restent égaux.

Notes

Summary



2m 46s





- La table à air est inclinée, son bord long reste horizontal.
- Un plot est lâché depuis le haut de la table.
- En même temps, un autre plot est lancé dans la direction du premier.
- Les deux plots entrent en collision.

Mécanique | 2013 6

Je passe maintenant à cette expérience avec une table à air. Vous avez devant vous une table à air. Il faut s'imaginer que les grands côtés sont horizontaux, mais la table est inclinée vers vous. Donc, les petits côtés sont inclinés. Vous avez deux plots sur la table à air. Chaque plot est maintenu en position immobile pour le moment et, à un certain moment, on va déclencher un mécanisme. Le plot de droite va être simplement relâché et il tombera vers nous. Le plot de gauche est éjecté avec une vitesse initiale donnée. Regardons ce qui se passe.

Notes

Summary



3m 05s



Les deux plots entrent en collision. On peut voir ça au ralenti.

Notes

Summary





- La table à air est inclinée, son bord long reste horizontal.
- Un plot est lâché depuis le haut de la table.
- En même temps, un autre plot est lancé dans la direction du premier.
- Les deux plots entrent en collision.

Mécanique | 2013 6

La question que je pose est la suivante : est-ce que les techniciens ont fait un arrangement particulier ? En particulier, est-ce qu'ils ont choisi une vitesse initiale spéciale qui fasse que les deux plots se rencontrent ? Quelle est la condition qui fait que la collision a lieu ? Je vous invite à faire une pause et essayer de résoudre le problème par vous-mêmes. Personnellement, j'ai fait comme ceci.

Notes

Summary



3m 56s



$$\mathbf{r}_1(t) = \frac{1}{2}gt^2 + \mathbf{r}_0$$

$$\mathbf{r}_2(t) = \frac{1}{2}gt^2 + \mathbf{v}_0t$$

Il existe un temps  $t_c$  tel que :

$$\mathbf{r}_1(t_c) = \mathbf{r}_2(t_c)$$

$$\mathbf{v}_0t_c = \mathbf{r}_0$$

Mécanique | 2013 7

J'ai appelé  $\mathbf{r}_1$  le vecteur qui me donne la position du plot 1. C'est le plot de droite. Et ce plot au temps  $t = 0$  a une position particulière que j'ai appelée  $\mathbf{r}_0$ . Le plot de gauche a une position qui est donnée par le vecteur  $\mathbf{r}_2$ . Et  $\mathbf{r}_2$  a une vitesse initiale  $\mathbf{v}_0$  non nulle, mais on va mettre  $\mathbf{r}_2$  au temps  $t = 0$  à l'origine de notre référentiel. Donc, on a ces deux équations horaires. Qu'est-ce que ça veut dire qu'il y a une collision ? Ça veut dire qu'il existe un temps, que j'ai noté  $t_c$ , une valeur particulière de  $t$ , pour laquelle  $\mathbf{r}_1(t)$  et  $\mathbf{r}_2(t)$  sont égaux. C'est la condition que j'ai écrite en dessous. Comme ceci. Et avec ces équations horaires, j'en déduis cette formule-là. Que veut dire cette formule pratiquement ? Dans l'expérience, cette formule veut dire quoi ? Cette formule veut dire que  $\mathbf{r}_0$  et  $\mathbf{v}_0$  sont colinéaires. Ça veut dire que, au fond, la vitesse  $\mathbf{V}_0$  doit viser la position  $\mathbf{r}_0$ . Et on a, à ce moment-là, assuré qu'il existe un temps  $t_c$  où les deux plots vont se rencontrer.

Notes

Summary



4m 33s



- La table à air est inclinée, son bord long reste horizontal.
- Un plot est lâché depuis le haut de la table.
- En même temps, un autre plot est lancé dans la direction du premier.
- Les deux plots entrent en collision.

Mécanique | 2013 8

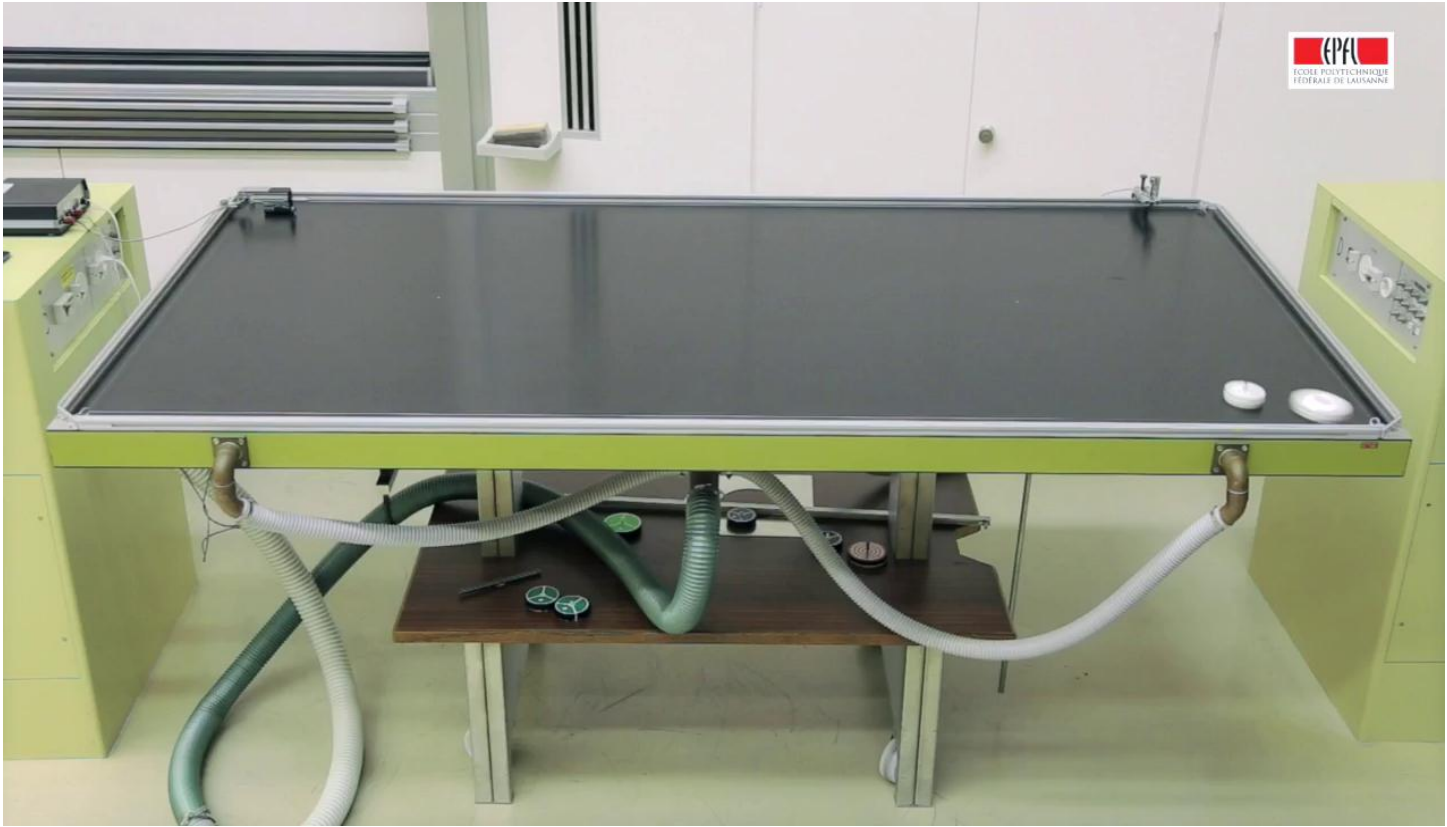
Si notre analyse est correcte, on peut faire l'expérience suivante avec des configurations parfaitement différentes. Ici, vous avez les deux plots qui sont à la même hauteur. Je vous rappelle que la table est inclinée vers vous. Mais la vitesse initiale est telle que le plot de gauche vise le plot de droite. Voyons ce que ça donne.

Notes

Summary



6m 02s



En effet, encore une fois, il y a collision. Voici la vidéo au ralenti. Ça marche.

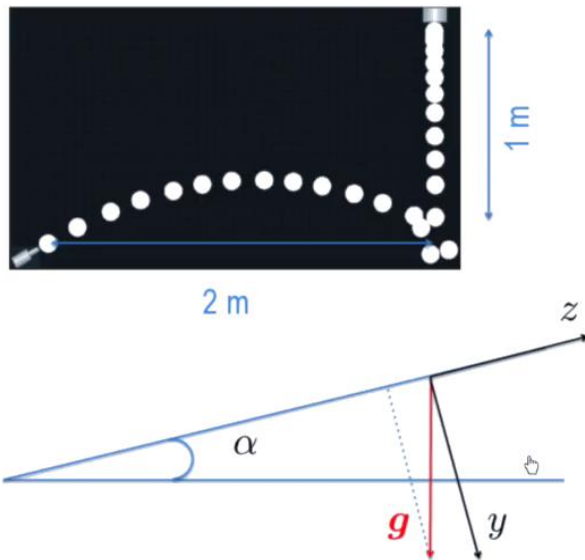
Notes

Summary





# Analyse quantitative d'une expérience



## Données :

Deux points matériels partent en même temps et entrent en collision.

- Temps jusqu' à la collision : 3 secondes
- Table inclinée dans la largeur

Mécanique | 2013 9

Je vous propose maintenant, pour être sûr qu'on ait bien compris et qu'on maîtrise cette dynamique dans le champ de la pesanteur, je vous propose d'analyser cette expérience dans laquelle on a laissé tomber un plot et, en même temps, on a lancé un autre plot dans sa direction. Vous voyez. Ce plot-là part dans la direction du premier. Ils partent en même temps et ils entrent en collision. J'ai indiqué ici des valeurs expérimentales. La table à air sur laquelle l'expérience est faite est inclinée dans ce sens-là. Ce côté-là est horizontal; ce côté-là est incliné. Disons que la collision a lieu après trois secondes. Je vous invite à me calculer l'angle d'inclinaison de la table avec les données que vous avez sous les yeux. Je vous propose de faire une pause et d'essayer de voir comment vous pouvez résoudre ce problème. Voilà comment j'aborde le problème. D'abord, je fais un dessin et je veux dessiner ce plan incliné. J'imagine que je vais me donner un système d'axes. Encore une fois, c'est moi qui choisis les axes. Je vais me donner un axe  $z$  dans la direction de la largeur de la table, donc dans le sens de l'inclinaison. Et je note l'inclinaison ici. Voilà une horizontale.

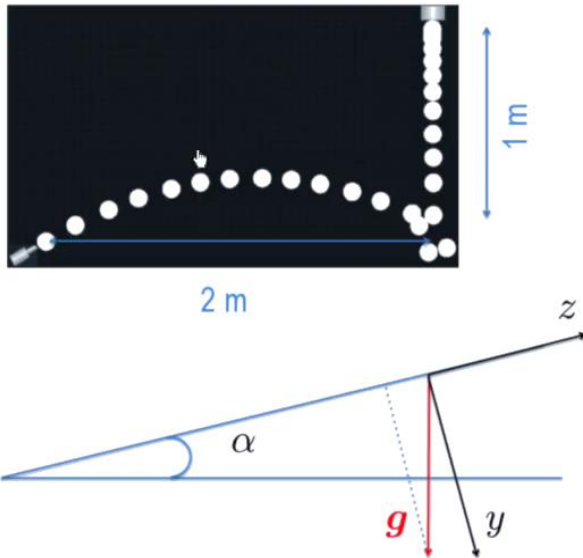
Notes

Summary



6m 39s

# Analyse quantitative d'une expérience



## Données :

Deux points matériels partent en même temps et entrent en collision.

- Temps jusqu' à la collision : 3 secondes
- Table inclinée dans la largeur

$$\sin \alpha = \frac{2H}{gt^2}$$

$$v_{0x} = v \cos \theta$$

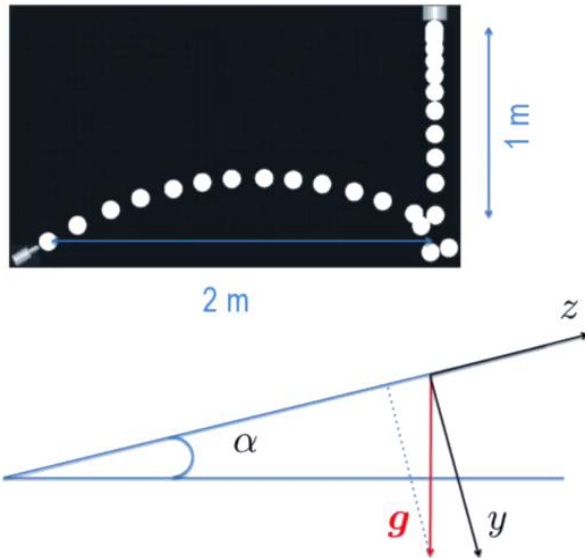
Voilà mon axe  $z$ . Donc la table est dans ce plan-là. Voilà l'angle d'inclinaison que je vais appeler  $\alpha$ .  $g$ , c'est ce qui caractérise la pesanteur. Si je devais dessiner l'axe  $y$ , il serait perpendiculaire à  $z$ . Il serait ici. Donc vous avez ce côté qui est perpendiculaire à ce côté. Celui-ci à celui-là. Donc vous retrouvez l'angle  $\alpha$  là. Et par conséquent, ici aussi. Vous avez donc si je projette la force dans la direction le poids dans la direction de l'axe  $z$ , j'ai une composante de la force dans ce sens-là qui vaut  $g \sin \alpha$ . Donc, dans le plan ou, si vous voulez, le long de l'axe  $z$ , j'ai un mouvement rectiligne uniformément accéléré avec une accélération qui vaut  $g \sin \alpha$  opposée au sens de l'axe  $z$ . Avec les formules qu'on a obtenues tout à l'heure, on peut en conclure que  $\frac{1}{2}gt^2 \times \sin \alpha$ , parce qu'ici on n'a plus  $g$ , on a  $g \times \sin \alpha$ , vaut la distance parcourue où  $t$ , c'est le temps de parcours des 3 secondes. Et puis, si on veut aussi calculer la vitesse d'éjection ici, on sait une chose, c'est que la projection dans la direction  $x$ ... Attention, si  $z$  est dans ce sens-là,  $y$  s'enfonce dans la table,  $x$  est dans le sens du déplacement de ce plot-là. Et  $V_{0x}$ , ça fera  $V_0$  fois le cosinus de l'angle que j'ai ici.

Notes

Summary



# Analyse quantitative d'une expérience



## Données :

Deux points matériels partent en même temps et entrent en collision.

- Temps jusqu' à la collision : 3 secondes
- Table inclinée dans la largeur

$$\sin \alpha = \frac{2H}{gt^2} \quad v_{0x} = v \cos \theta$$

On en déduit :

- Inclinaison : env. 1 degré
- Angle de tir : env. 26 degrés
- Vitesse (module) : env. 0.74 m/s



Ce cosinus, je l'obtiens tout simplement par le fait que j'ai un triangle dont je connais deux cathètes, un de 2 mètres, un de 1 mètre. Je peux en déduire le cosinus. Et quand on fait les calculs, on trouve à peu près cela : l'angle d'inclinaison est de 1 degré, l'angle  $\theta$  de tir est de 26 degrés et le module de la vitesse à peu près 0,74 m/s. Voilà une analyse quantitative d'une petite expérience de balistique.

Notes

Summary





- Une bille métallique est en chute libre.
- Grâce à des capteurs à induction, on peut détecter le passage de la bille.

Mécanique | 2013 10

Maintenant, on va faire une mesure du facteur  $g$  qui caractérise la pesanteur en faisant des mesures sur une chute libre, donc une chute verticale. Nous avons le dispositif que voici. Nous allons faire mesurer le temps de chute pour des distances différentes. Je vous montre une première fois de quoi ça a l'air.

Notes

Summary



11m 04s



- Une bille métallique est en chute libre.
- Grâce à des capteurs à induction, on peut détecter le passage de la bille.

Mécanique | 2013 10

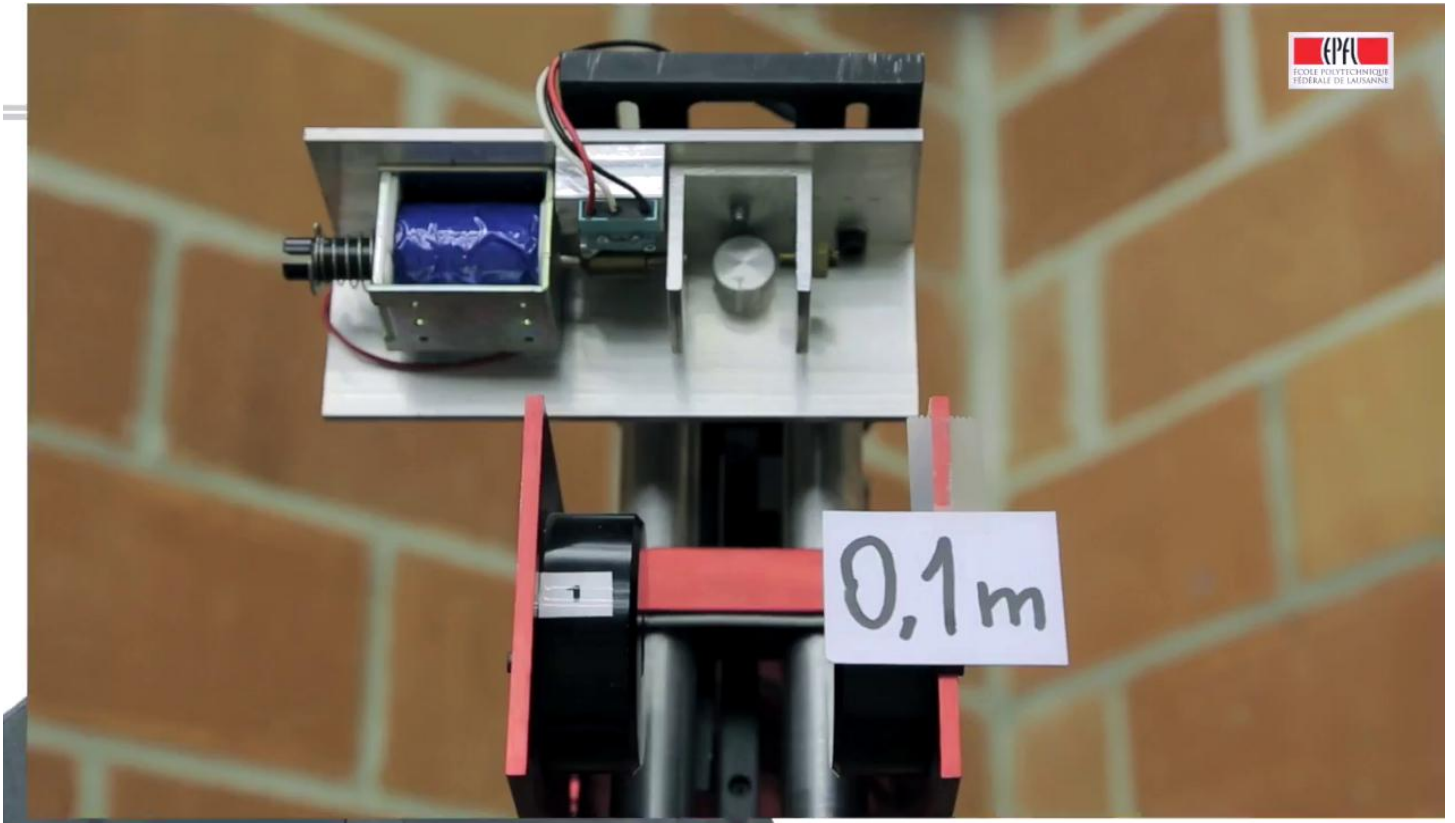
Voilà. On a un mécanisme qui permet de lâcher la bille. Je peux vous montrer le détail de ce mécanisme, comme ceci.

Notes

Summary



11m 33s



Un système électromagnétique relâche la bille et marque exactement le temps où la chute a commencé.

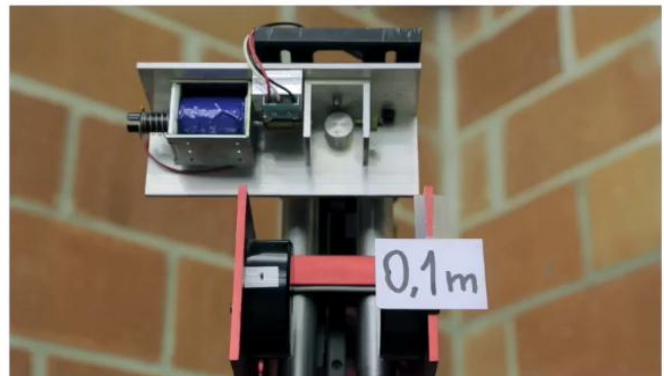
Notes

Summary

11m 47s







- La bille métallique est relâchée électromagnétiquement.

Mécanique | 2013 11

Et maintenant, nous allons faire des mesures de chute pour des distances variées.

Notes

Summary



11m 54s



- Par des essais successifs, on mesure le temps de chute pour des distances données.

Mécanique | 2013 12

Voici la vidéo dans son entier. Vous regardez une série de mesures. Vous avez un display qui vous montre le temps de chute.

Notes

Summary

12m 01s





D'abord, pour 0,1 mètre. Maintenant, pour 0,5 mètre. Pour un mètre. Et pour 1,5 mètre.

Notes

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

Summary

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



# Mouvement vertical



- Par des essais successifs, on mesure le temps de chute pour des distances données.

Mécanique | 2013 12

Maintenant, ce que je vous propose de faire, c'est de prendre ces données numériques et de les analyser. Vous pouvez faire une pause si vous voulez.

Notes

Summary



12m 41s

# Mouvement vertical

x (m)	t (s)	$\frac{2x}{t^2} [\text{ms}^{-2}]$
0.1	0.14	10.2
0.5	0.32	9.8
1	0.45	9.9
1.5	0.55	9.9

Personnellement, j'ai analysé ces mesures en marquant sur une colonne les valeurs de la distance x parcourue en mètres, le temps qu'il a fallu pour parcourir cette distance et j'ai calculé  $2x/t^2$  dans la dernière colonne, ce qui doit valoir g. Et vous trouvez à peu près 9,8, 9,9. Bien sûr, il y a des erreurs dans la mesure, mais essentiellement, voilà notre mesure de g faite sur quelques distances.

Notes

Summary

