



- Déviation d'un faisceau d'électrons
 - dans un champ électrique
 - dans un champ magnétique
- Frottement sec
- Frottement visqueux

Mécanique | 2013 2

Bonjour. Bienvenue au cours de physique générale de l'EPFL. Dans cette leçon, j'ai introduit quelques forces associées aux effets électromagnétiques et aussi les modèles de forces de frottements. Et maintenant j'aimerais illustrer l'existence de ces forces par quelques expériences. On verra d'abord la déviation d'un faisceau d'électrons sous l'effet d'un champ électrique ou sous l'effet d'un champ d'induction magnétique. On regardera ensuite les frottements dits secs, puis une petite expérience sur les frottements visqueux qu'on a déjà rencontrés et modélisés.

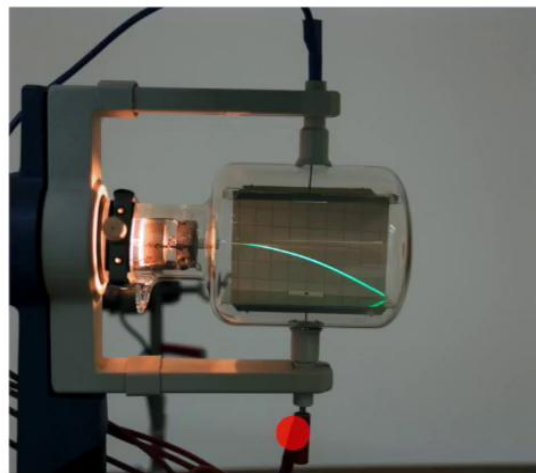
Notes

Summary



0m 04s

Faisceau d'électrons, champ électrique



- Un tube cathodique produit un faisceau d'électrons
- Le faisceau rase la surface d'un écran fluorescent
- Deux plaques en haut et en bas produisent un champ électrique

Mécanique | 2013 3

Je commence avec la déviation dans un champ électrique. Vous avez ici un dispositif qui produit un faisceau d'électrons. Le faisceau d'électrons est visualisé par un écran phosphorescent et le faisceau d'électrons rase l'écran phosphorescent, d'où la trace verte ici. Ici un champ électrique a été produit par deux plaques, une ici, une là. L'ensemble est dans une enceinte à vide. Et vous voyez ici les câbles d'alimentation à haute tension.

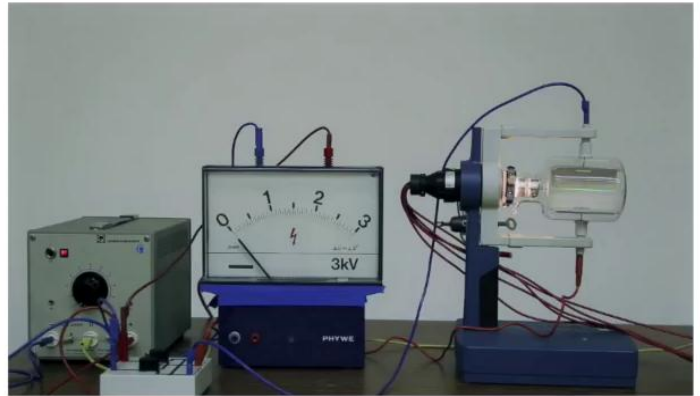
Notes

Summary



0m 43s

Faisceau d'électrons, champ électrique



- La déviation dépend de l'intensité du champ électrique produit par les plaques chargées à la tension indiquée.

Mécanique | 2013 4

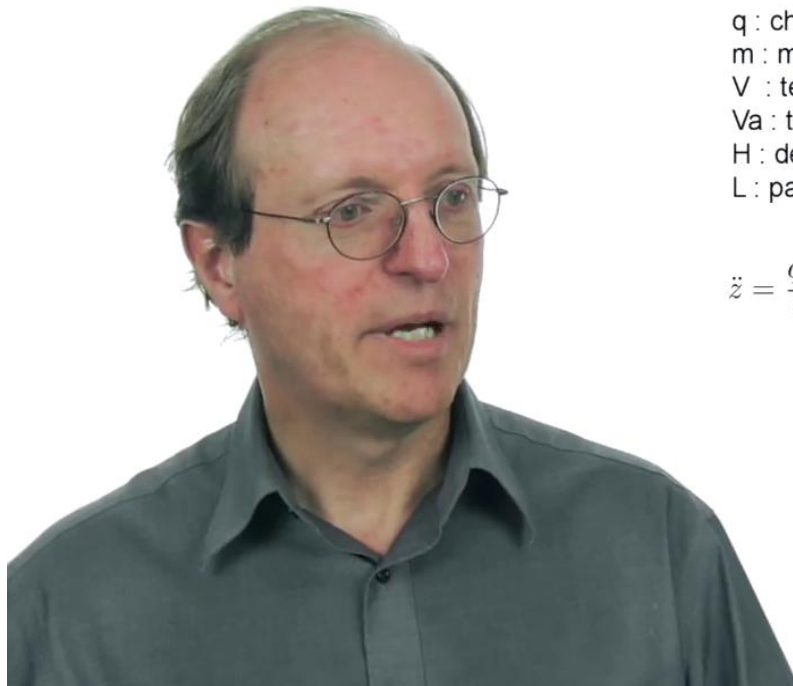
Je vous invite maintenant à regarder l'expérience.

Notes

Summary



1m 25s



q : charge de l'électron
 m : masse de l'électron
 V : tension entre les plaques
 V_a : tension d'accélération
 H : déviation verticale
 L : parcours horizontal dans E présumé uniforme

$$\ddot{z} = \frac{qE}{m} = \frac{q}{m} \frac{V}{D}$$

Mécanique | 2013 7

Je vous propose de faire un calcul d'ordre de grandeur, j'aimerais vous montrer qu'on peut, deviner quelques-uns des paramètres, pour autant qu'on ait un peu d'expérience, comme la vitesse des électrons et en déduire la courbure, ou si vous voulez la déviation du faisceau, lorsque le faisceau ressort des plaques qui imposent le champ électrique. Je vous invite à faire une pause et essayer de résoudre le problème par vous-même. Voici comment je propose d'analyser quantitativement la déviation du faisceau. Je me donne quelques paramètres. La charge de l'électron, q , sa masse, m , la tension aux bornes des plaques du condensateur qui définissent le champ électrique, cette tension je l'appelle V . J'ai aussi une tension d'accélération des électrons dans le tube, la partie du tube qui forme le faisceau, cette tension-là je l'appelle V_a comme tension, a , pour accélération. H je vais appeler H , la déviation verticale et L , le parcours horizontal dans le champ électrique présumé horizontal alors que ce n'est sûrement pas tout à fait le cas. J'écris l'équation du mouvement, j'ai une force qE . J'appelle donc z la coordonnée verticale. J'ai $m\ddot{z}$ point point qui vaut qE .

Notes

Summary



1m 42s



q : charge de l'électron
 m : masse de l'électron
 V : tension entre les plaques
 V_a : tension d'accélération
 H : déviation verticale
 L : parcours horizontal dans E présumé uniforme

$$\ddot{z} = \frac{qE}{m} = \frac{q}{m} \frac{V}{D}$$

$$H = \frac{1}{2} \frac{q}{m} \frac{V}{D} t^2$$

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

$$qV_a = \frac{1}{2}mv^2$$

$$H = \frac{1}{4} \frac{V}{V_a} \frac{L^2}{D}$$

$$V_a \approx 2.5 \text{ kV} \quad V \approx 1.4 \text{ kV}$$

$$L \approx 10 \text{ cm} \quad D \approx 5 \text{ cm}$$

Mécanique | 2013 12

Maintenant le champ électrique je l'écris comme V sur D , où V c'est la tension électrique et D c'est la distance entre les plaques, distance que je ne connais pas très bien, mais on va la deviner à partir de l'image. Cette équation différentielle est facile à résoudre, c'est comme celle de la pesanteur, de la balistique. Je vais appeler H la déviation du faisceau donc j'ai H égal une demie de cette constante fois t carré, où t c'est le temps de parcours à travers la partie du tube qui a un champ électrique. Maintenant ce temps t , je vais l'appeler comme L , la longueur parcourue dans le champ électrique divisée par la vitesse des électrons. Pour calculer la vitesse des électrons, je vais utiliser une considération d'énergie. Je vais dire que l'énergie cinétique des électrons, une demie de mv carré c'est égal à l'énergie électrostatique q fois V_a des électrons qui sortent du canon. Avec ces formules j'obtiens, pour la déviation H , la formule que vous voyez avec le rapport de la tension entre les plaques et de la tension d'accélération des électrons et le rapport L carré sur D , L étant la longueur des plaques, D , l'écart entre les plaques. Maintenant je donne des valeurs expérimentales.

Notes

Summary



3m 22s



q : charge de l'électron
 m : masse de l'électron
 V : tension entre les plaques
 V_a : tension d'accélération
 H : déviation verticale
 L : parcours horizontal dans E présumé uniforme

$$\ddot{z} = \frac{qE}{m} = \frac{q}{m} \frac{V}{D}$$

$$H = \frac{1}{2} \frac{q}{m} \frac{V}{D} t^2$$

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

$$qV_a = \frac{1}{2}mv^2$$

$$H = \frac{1}{4} \frac{V}{V_a} \frac{L^2}{D}$$

$$V_a \approx 2.5 \text{ kV}$$

$$V \approx 1.4 \text{ kV}$$

$$L \approx 10 \text{ cm}$$

$$D \approx 5 \text{ cm}$$

$$H \approx 3 \text{ cm}$$

Mécanique | 2013 13

Pour la longueur des plaques, je l'estime à 10 cm, l'écart je l'estime à 5 cm, la tension d'accélération, je suis allé voir, elle était de l'ordre de 2,5 kV et on a vu la mesure de la tension V : 1,4kV. Avec ces données numériques, je trouve une déviation de 3 cm, ce qui n'est pas loin de ce qu'on a observé.

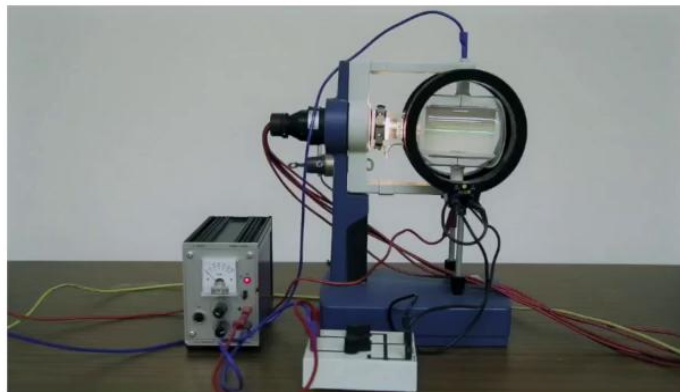
Notes

Summary



4m 56s

Faisceau d'électrons, champ magnétique



- Faisceau d'électrons visible par écran fluorescent
- Bobine (noire) produit un champ d'induction B

Mécanique | 2013 14

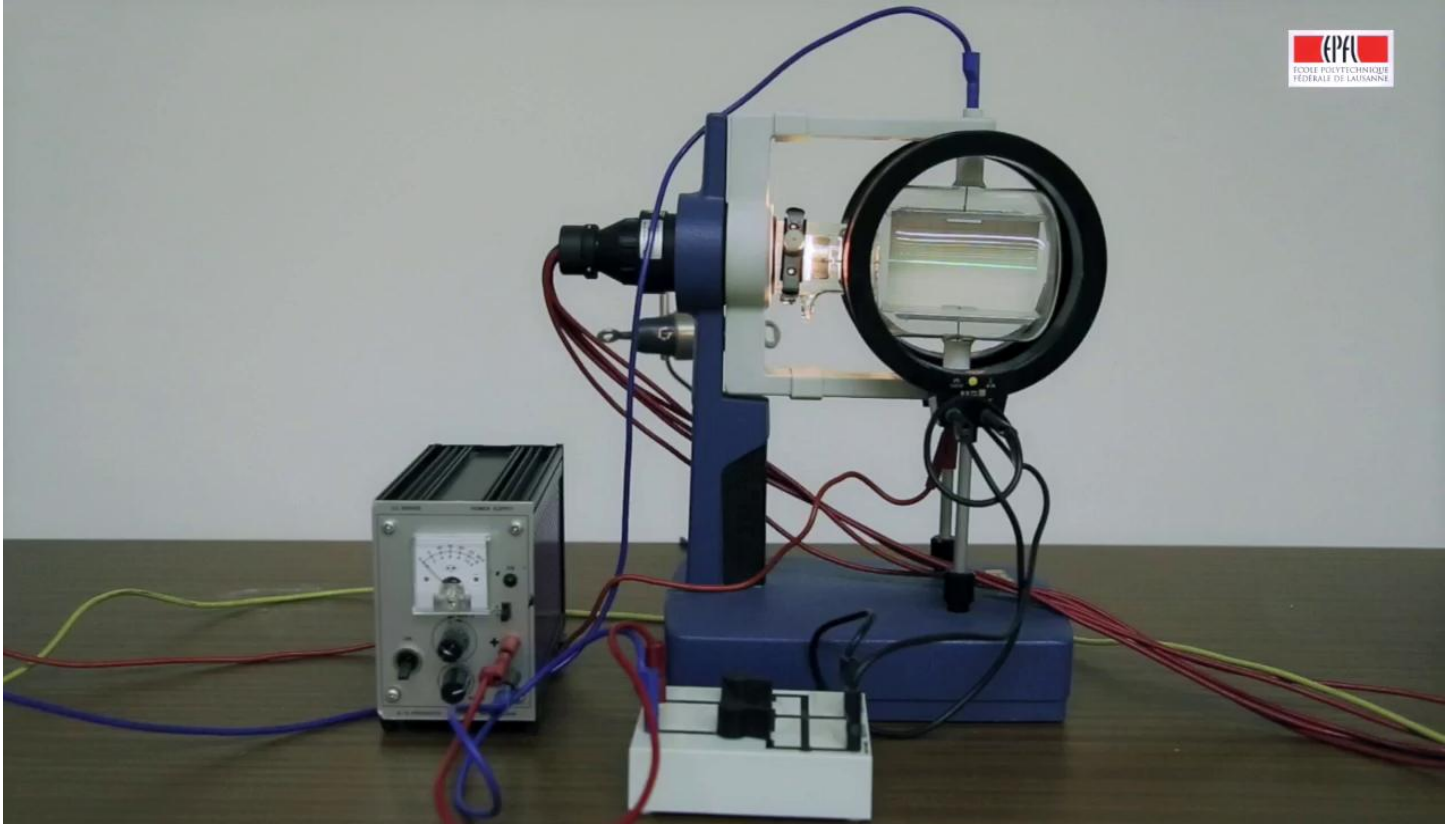
Je passe maintenant à la déviation d'un faisceau d'électrons par un champ magnétique. On a à peu près la même expérience mais cette fois-ci, on a monté sur ce cadre noir, qui apparaît sur l'image. Vous avez monté une bobine de fil et on va alimenter le fil avec un courant. Ce courant va produire un champ magnétique qui est normal, grosso modo normal au plan de l'image. Regardons ce qui se passe.

Notes

Summary



5m 19s



On peut inverser la polarité. Evidemment que la déviation va dans l'autre sens. Voilà. Encore une fois, je vous propose de faire une pause et d'estimer l'ordre de grandeur du champ magnétique, le champ d'induction magnétique B dans cette expérience.

Notes

Summary





On avait trouvé la relation : $r = \frac{v_1}{\omega} = \frac{mv_1}{qB}$

$$qV_a = \frac{1}{2}mv^2 \quad v_1 \approx 7 \cdot 10^7 \text{ m s}^{-1}$$

$$B \approx 8 \text{ mT}$$

Mécanique | 2013 18

Alors voici comment je procède. On avait trouvé la relation entre, pour un électron dans un champ d'induction magnétique uniforme, on avait trouvé le rayon du cercle de la projection de la trajectoire, la trajectoire est une spirale projetée dans le plan normal, au champ B on a un cercle de rayon r qui est donné par la formule indiquée ici. Maintenant, on a cette considération d'énergie qui nous permet de calculer la vitesse des électrons. Je vais encore une fois prendre pour V_a , 15kV. Cela me donne une vitesse de 7 fois 10 puissance 7 mètres par seconde moins 1. Et de là, je déduis avec la formule ci-dessus, je déduis un champ de 8mT, et je peux vous dire que c'est une valeur assez raisonnable.

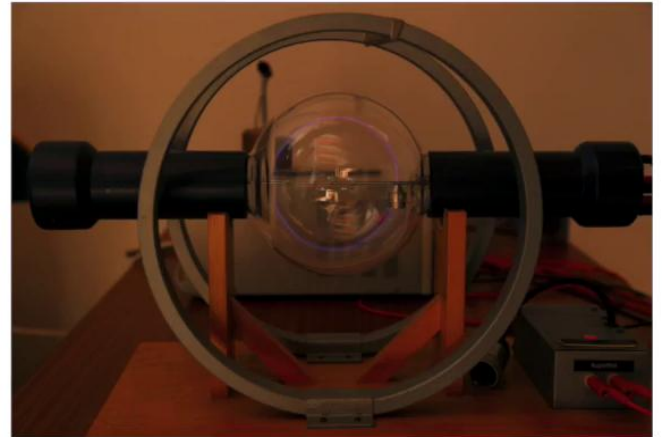
Notes

Summary



6m 30s

Faisceau d'électrons, champ magnétique



- Faisceau d'électron dans un gaz raréfié
- Champ B symétrique : cercle,
- Champ B hors axe de symétrie : spirale

Mécanique | 2013 20

J'aimerais vous montrer la trajectoire en spirale. Pour ce faire, je ne peux pas me contenter d'un écran en phosphore plat. Je voudrais maintenant vous montrer l'expérience avec un tube. Voilà vous avez ici un tube sphérique. Évacué partiellement, il y a un gaz qui est ionisé par le faisceau d'électrons. Vous devriez pouvoir distinguer sur l'image un cercle bleuâtre. En ce moment il y a déjà dans les grands anneaux que vous voyez de côté, il y a un champ, un courant qui passe, qui produit le champ magnétique, qui provoque une déviation du faisceau. La trajectoire est circulaire. On va montrer maintenant un champ inhomogène, en tout cas hors de l'axe, ce qui va permettre de voir la spirale.

Notes

Summary



7m 28s

Faisceau d'électrons, champ magnétique



- Faisceau d'électron dans un gaz raréfié
- Champ B symétrique : cercle,
- Champ B hors axe de symétrie : spirale

Mécanique | 2013 22

Alors là, on doit faire l'obscurité totale. C'est une mesure, c'est une photo qui est difficile à prendre. On a dû attendre 20 secondes pour le temps d'exposition. J'espère que vous voyez une ligne bleue sur votre image. C'est la trajectoire en spirale. Le champ ici n'est pas homogène mais permet de voir le caractère général d'un électron dans un champ magnétique plus ou moins uniforme.

Notes

Summary



8m 22s



- La force au décrochage est proportionnelle à la force de réaction
- La force en glissement est inférieure à la force au décrochage.

Mécanique | 2013 23

On change complètement de sujet. Je passe aux frottements. J'aimerais vous montrer maintenant ce qu'on appelle le frottement sec, c'est le frottement qu'on peut avoir par exemple quand on a un plot en bois qui glisse sur une table sèche. Je vous invite à commencer à regarder la vidéo et vous allez voir ce qui se passe.

Notes

Summary



8m 56s



- La force au décrochage est proportionnelle à la force de réaction
- La force en glissement est inférieure à la force au décrochage.

Mécanique | 2013 23

Voilà, il s'est déjà passé quelque chose d'intéressant. Si je reprends la vidéo au début, vous allez voir que notre dynamomètre indique une force maximum, et après quand le plot glisse, une autre valeur de la force. Ces deux valeurs de la force correspondent au coefficient de frottement statique et au coefficient de frottement cinétique.

Notes

Summary



9m 21s



Regardons encore une fois cette vidéo. Voilà.

Notes

Summary



9m 47s

Frottement sec



- La force au décrochage est proportionnelle à la force de réaction
- La force en glissement est inférieure à la force au décrochage.

Mécanique | 2013 23

Vous voyez que le frottement cinétique est plus petit que la valeur de décrochage qu'on doit atteindre avant que le plot ne bouge. On avait aussi dit que cette force était proportionnelle à la force de réaction, donc si on rajoute un plot par dessus le premier, on doit arriver à deux fois la force. Alors on était à peu près à 0,7 sur cet appareil de mesure, avec deux plots on doit arriver à 1,4. Regardons ce qui se passe.

Notes

Summary



9m 55s



- La force au décrochage est proportionnelle à la force de réaction
- La force en glissement est inférieure à la force au décrochage.

Mécanique | 2013 23

Pas mal. On est à peu près à un 1,4. Et maintenant, je vous propose de mettre trois plots.

Notes

Summary



10m 38s

Frottement sec : glissade-arrêt



- Traction continue : le ressort s'allonge.
- Quand la force de frottement statique atteint le maximum, le plot avance et le ressort se contracte.

Mécanique | 2013 24

Et en effet vers 2,1, ça décroche comme prévu. Donc, maintenant je vais vous montrer une expérience amusante qui illustre ou qui met à profit le fait que le coefficient de frottement statique est plus grand que le coefficient de frottement cinétique. Je vous invite à regarder cette expérience.

Notes

Summary



10m 55s

Frottement sec : glissade-arrêt



- Traction continue : le ressort s'allonge.
- Quand la force de frottement statique atteint le maximum, le plot avance et le ressort se contracte.

Mécanique | 2013 24

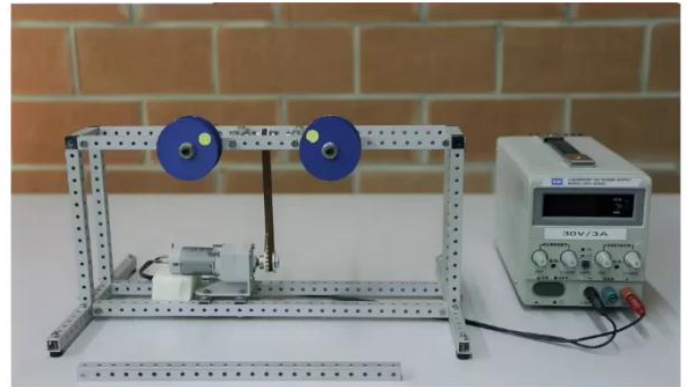
Ce mouvement saccadé vient précisément du fait qu'on a une grosse différence entre le coefficient de frottement statique et le coefficient de frottement cinétique.

Notes

Summary



11m 54s



- Expérience similaire : bâton horizontal soutenu par deux doigts horizontaux. On rapproche les doigts.

Mécanique | 2013 25

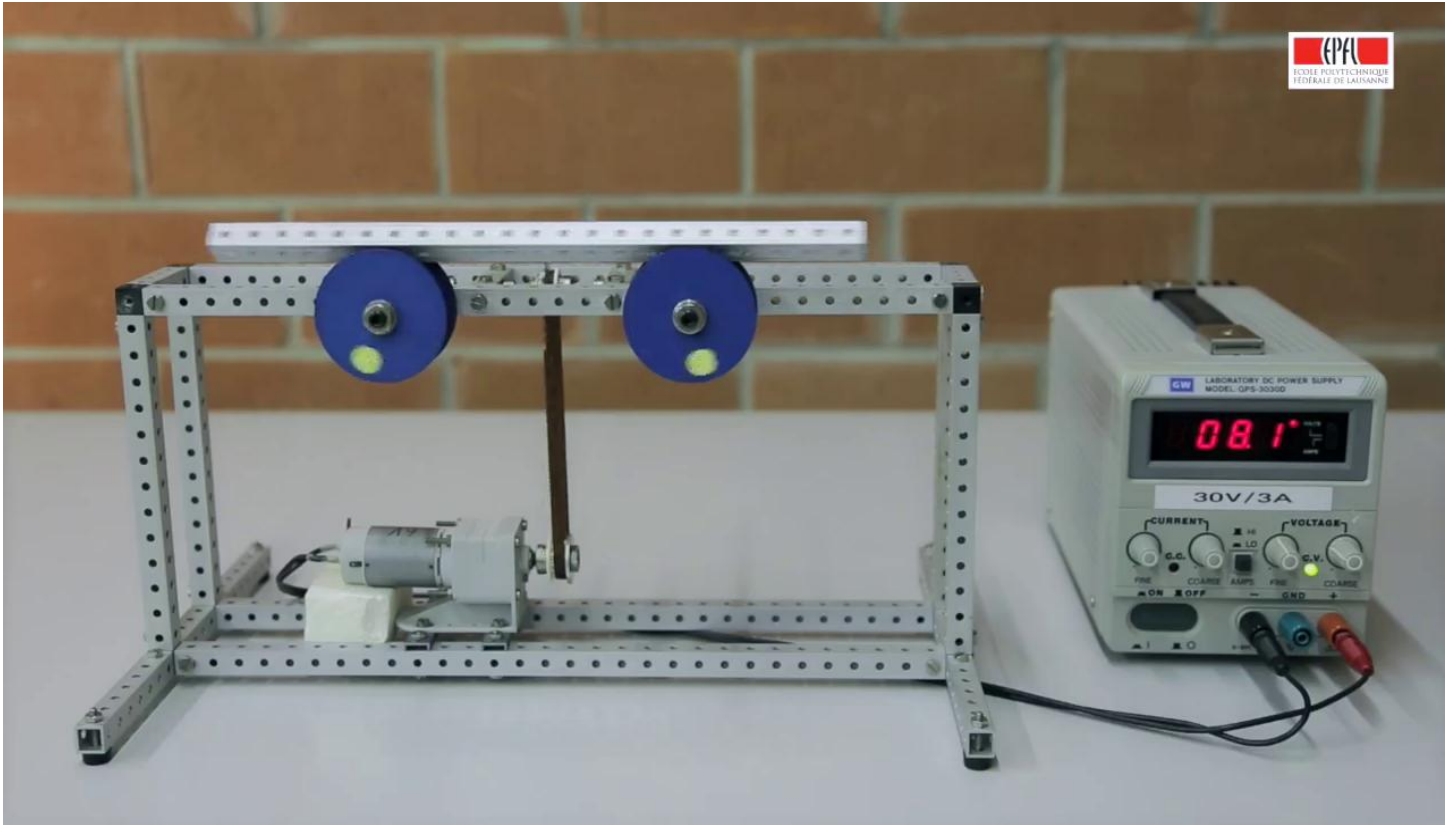
Je vous montre une autre expérience qui met à profit ce phénomène.

Notes

Summary



12m 06s



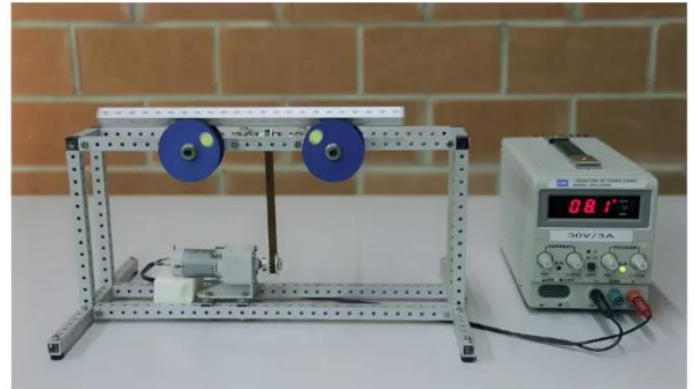
Je crois que le mieux c'est de regarder.

Notes

Summary

12m 11s





- Expérience similaire : bâton horizontal soutenu par deux doigts horizontaux. On rapproche les doigts.

Mécanique | 2013 25

Vous pouvez essayer d'analyser ce mouvement en prenant une baguette, un manche à balai, quelque chose comme ça, que vous tenez entre deux doigts et vous rapprochez les doigts, vous allez voir qu'il y a toujours un doigt qui glisse et un doigt qui est immobile, par rapport à votre bâton ou votre manche à balai. Dans le quizz, il y a un endroit où on calcule la force de réaction d'un support, de deux supports quand on a une poutre qui est posée sur les deux supports. C'est ce genre d'analyse qu'il faut conduire pour comprendre ce qui se passe ici.

Notes

Summary



12m 33s



- Un cylindre tombe dans un tube ouvert à l'air.
- La chute change si l'air doit s'écouler autour du cylindre.

Mécanique | 2013 26

Pour terminer, j'aimerais montrer une expérience qui met en évidence les caractères visqueux de l'air. On va faire tomber un cylindre dans un tube. La première fois avec l'embouchure du tube libre, et la deuxième fois le tube sera bouché, et il faut donc à ce moment-là, que l'air circule le long du cylindre qui est en chute dans le tube et la viscosité fait que la chute est très nettement ralentie.

Notes

Summary



13m 11s



On bouche. Et voilà.

Notes

Summary



13m 49s