



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

Mécanique | 2013 2

Guten Tag, willkommen zur Vorlesung der allgemeinen Physik an der EPFL. In dieser Lektion habe ich einige elektromagnetische Kräfte und auch verschiedene Modelle für die Reibungskraft eingeführt. Nun möchte ich die Existenz dieser Kräfte anhand von verschiedenen Experimenten aufzeigen. Als erstes sehen wir die durch ein elektrisches Feld oder magnetisches Feld ausgelöste Ablenkung eines Elektronenstrahls. Anschliessend werden wir die Gleitreibung betrachten. Zum Schluss sehen wir noch ein kleines Experiment zur Reibung eines viskosen Fluids, wessen Modelle wir bereits betrachtet haben.

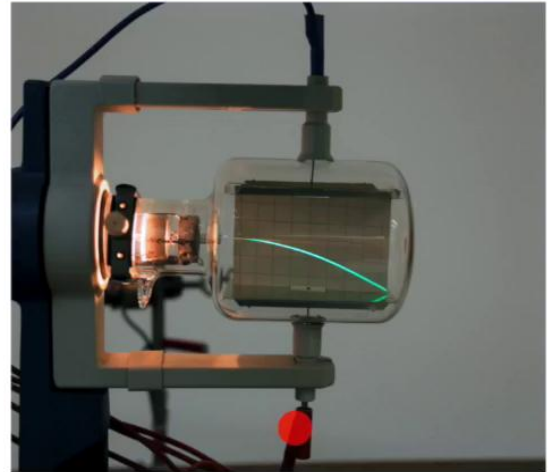
Notes

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

Ich beginne mit der Ablenkung des Elektronenstrahls in einem elektrischen Feld. Dieses Dispositif produziert einen Elektronenstrahl. Der Elektronenstrahl wird durch einen phosphoreszenten Bildschirm visualisiert. Der Elektronenstrahl streift den Bildschirm, weshalb man hier eine grüne Linie erkennen kann. Hier wurde durch zwei Platten ein elektrisches Feld produziert, eine hier und eine da. Die ganze Apparatur befindet sich im Vakuum. Hier seht ihr die elektrischen Verbindungskabel, um hohe Spannungen zu übertragen.

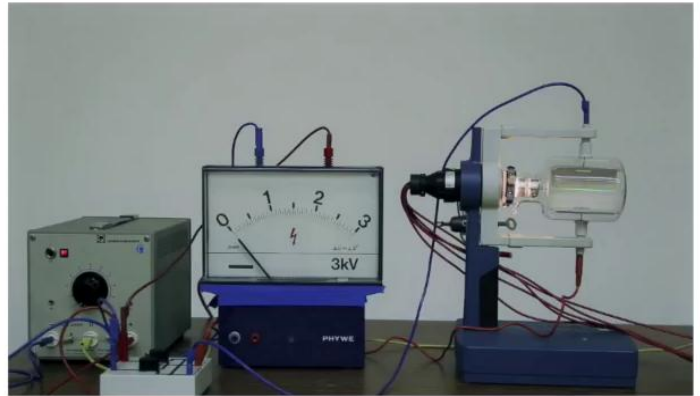
Notes

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

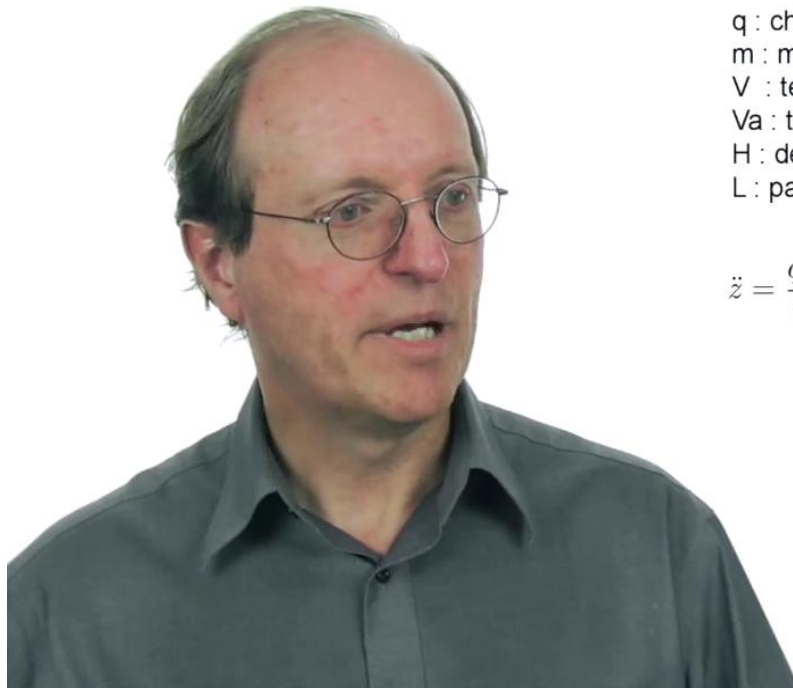
Ich schlage euch nun vor, das Experiment zu betrachten.

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

Ich schlage euch vor, die Größenordnungen zu berechnen. Ich möchte euch zeigen, dass man einige der Parameter bestimmen kann. Wenn man ein bisschen Erfahrung hat, kann man die Geschwindigkeit der Elektronen oder auch die Ableitung des Elektronenstrahls berechnen, wenn dieser aus den Platten heraustritt, welche das elektrische Feld erzeugen. Ich schlage euch vor, eine Pause zu machen und zu versuchen, das Problem selbstständig zu lösen. Voilà, ich schlage vor, die Ableitung des Elektronenstrahls quantitativ zu bestimmen. Ich bestimme einige Parameter: Die Ladung q und die Masse m des Elektrons, die Spannung zwischen den beiden Metallplatten, welche das elektrische Feld erzeugen, diese Spannung nenne ich V . Ich habe auch eine Beschleunigungsspannung in der Röhre, welche den Elektronenstrahl formt. Diese Spannung nenne ich V_a , wobei a für die Beschleunigung steht. Die vertikale Ablenkung nenne ich H und L die horizontal zurückgelegte Strecke der Elektronen, auch wenn dies sicherlich nicht exakt ist. Ich notiere die Bewegungsgleichung. Ich habe eine Kraft qE . Die vertikale Koordinate nenne ich z . Ich habe also $m \ddot{z}$, welches gleich qE ist.

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

$$\ddot{z} = \frac{qE}{m} = \frac{q}{m} \frac{V}{D} \quad H = \frac{1}{2} \frac{q}{m} \frac{V}{D} t^2$$

$$t = \frac{L}{v} \quad qV_a = \frac{1}{2} m v^2$$

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

Mécanique | 2013 11

Das elektrische Feld schreibe ich als V durch D , wobei V die Spannung und D die Distanz zwischen den beiden Platten darstellt. Diese Distanz kenne ich nicht sehr genau, wir können sie jedoch anhand des Bildes abschätzen. Diese Differentialgleichung ist einfach zu lösen. Sie ist äquivalent zu jener der Ballistik. Die Ablenkung des Elektronenstrahls nenne ich H . Ich habe also H gleich ein Zweitel dieser Konstante mal t im Quadrat, wobei t die benötigte Zeit für ein Elektron darstellt, um das elektrische Feld zu durchqueren. Diese Zeit t kann als der Quotient der im elektrischen Feld zurückgelegten Distanz L und der Geschwindigkeit der Elektronen dargestellt werden. Um die Geschwindigkeit der Elektronen zu berechnen, werde ich die Energieerhaltung verwenden. Dadurch kann ich die kinetische Energie der Elektronen bestimmen. Ein Zweitel m mal v im Quadrat entspricht der potentiellen Energie, q mal V_a , der Elektronen, welche aus der Kanone austreten. Mit diesen Gleichungen erhalte ich die Ableitung H , welche anhand des Quotienten der Spannung der Platten und der Beschleunigungsspannung und jenem von L im Quadrat durch D ausgedrückt werden kann.

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

L entspricht der Länge der beiden Platten und D repräsentiert die Distanz zwischen diesen. Nun gebe ich euch experimentell bestimmte Grössen. Die Länge der Platten schätze ich als 10 cm und die Distanz zwischen den beiden als 5 cm. Die Beschleunigungsspannung habe ich nachgeschaut. Sie ist ungefähr 2.5 kV. Den Wert der Spannung V haben wir alle gesehen. Sie ist 1.4 kV. Anhand dieser Werte erhalte ich also eine Ablenkung von 3 cm. Dies entspricht in etwa dem, was ich beobachte.

Notes

Summary



4m 49s

Faisceau d'électrons, champ magnétique



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

Mécanique | 2013 14

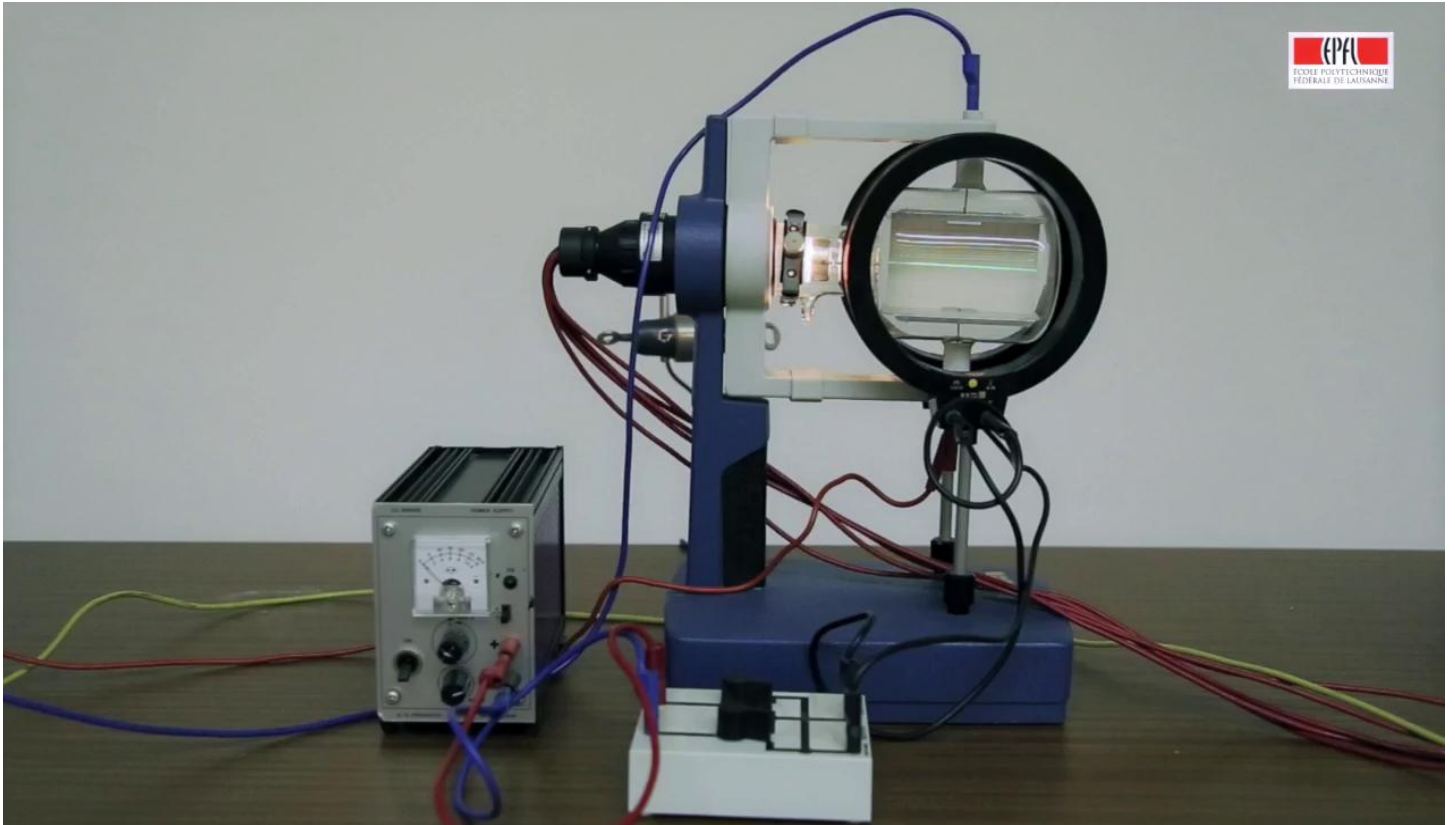
Ich wechsele nun zur Ablenkung eines Elektronenstrahls durch ein magnetisches Feld. Wir haben ungefähr den gleichen Aufbau wie zuvor. Das ganze ist jedoch jetzt in diesem schwarzen Rahmen, welcher auf dem Bild ersichtlich ist. Wir haben eine Spule, durch welche wir ein Strom laufen lassen. Dieser Strom wird ein magnetisches Feld erzeugen, welches ungefähr senkrecht zur Bildebene ist. Betrachtet wir was passiert.

Notes

Summary



5m 19s



Wir können die Polarität umdrehen. Logischerweise wird der Elektronenstrahl in die andere Richtung abgelenkt. Voilà. Noch einmal schlage ich euch vor, eine Pause zu machen und die Größenordnung des magnetischen Feldes B , respektive des induzierten magnetischen Feldes abzuschätzen.

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

Voilà, so gehe ich vor. Für ein Elektron in einem magnetischen Feld haben wir bereits den Radius der Projektion der Trajektorie bestimmt. Die Trajektorie ist eine Spirale. Die Projektion dieser Spirale auf die zum Magnetfeld normalen Ebene ergibt einen Kreis mit Radius r , welcher durch diesen Term ausgedrückt werden kann. Anhand der Energieerhaltung können wir die Geschwindigkeit der Elektronen berechnen. Ich werde noch einmal 15kV für V_a nehmen. Dies ergibt mir eine Geschwindigkeit von 7 mal 10 hoch 7 Meter pro Sekunden. Anhand dieser Formel hier bestimme ich nun ein Feld von ungefähr 8mT. Ich kann euch bestätigen, dass dies ein vernünftiger Wert ist.

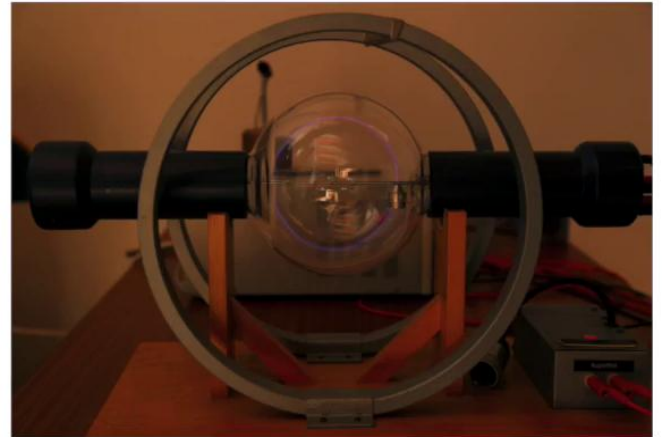
Notes

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

Ich möchte euch die Spirale, respektive die Trajektorie zeigen. Um dies zu machen, kann ich kein phosphorezierenden Bildschirm verwenden. Ich möchte euch nun das Experiment in einer Röhre zeigen. Voilà, hier habt ihr eine sphärische Röhre. In dieser befindet sich ein Gaz, welches durch den Elektronenstrahl ionisiert wird. Auf dem Bildschirm solltet ihr einen blauen Kreis erkennen. Wir haben zwei grosse Schleifen, welche ihr auf der Seite sehen könnt. Der Strom, welcher durch diese Schleifen fließt, erzeugt das magnetische Feld, welches den Elektronenstrahl ablenkt. Die Trajektorie ist kreisförmig. Dieses mal werden wir ein inhomogenes Feld betrachten. Dies wird es uns ermöglichen, die Spirale zu beobachten.

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

Dafür müssen wir alles abdunkeln. Dieses Photo ist sehr schwierig zu machen. Es benötigte eine Belichtungszeit von ungefähr 20 Sekunden. Ich hoffe, dass ihr eine blaue Linie auf dem Bild erkennen könnt. Dies entspricht der spiralförmigen Trajektorie. Das magnetische Feld hier ist nicht homogen. Es ermöglicht jedoch, das Verhalten eines Elektrons in einem mehr oder weniger uniformen magnetischen Feld zu visualisieren.

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

Wir wechseln nun das Thema. Wir betrachten nun die Gleitreibung. Ich möchte euch nun zeigen, was man als Gleitreibung bezeichnet. Ein Beispiel dafür ist die Reibung eines Holzblocks, welcher auf einem trockenen Tisch gleitet. Ich schlage euch vor, dieses Video zu schauen, um zu sehen, was passiert.

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, es ist schon etwas sehr interessantes passiert. Wenn ich das Video noch einmal von Anfang an betrachte, seht ihr, dass der Dynamometer eine maximale Kraft anzeigt und wenn der Block gleitet, zeigt dieser eine kleinere Kraft an. Dies beiden Kräfte entsprechen dem Quotienten zwischen dem Haftreibungs- und Gleitreibungs- koeffizienten.

Notes

Summary



9m 21s



Schauen wir noch einmal das Video. Voilà.

Notes

Summary

9m 47s





- 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

Ihr seht, dass die Gleitreibung kleiner ist als die Kraft nötig, um den Block zum Gleiten zu bringen. Wir haben gesehen, dass diese Kraft proportional zur Reaktionskraft ist. Wenn man also einen zweiten Block auf den ersten setzt, müsste man die doppelte Kraft messen. Wir waren bei ungefähr 0.7 auf diesem Messapparat. Mit zwei Blöcken müssten wir 1.4 erhalten. Seht was geschieht.

Notes

Summary



9m 55s

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

Nicht schlecht. Wir sind ungefähr bei 1.4. Ich schlage euch nun vor drei Blöcke zu nehmen.

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

Gegen 2.1 beginnen die Blöcke zu gleiten. Ich werde euch nun ein amüsantes Experiment zeigen, welches aufzeigt, dass der Haftreibungskoeffizient grösser ist als der Gleitreibungskoeffizient ist. Ich schlage euch vor, dieses Experiment zu betrachten.

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

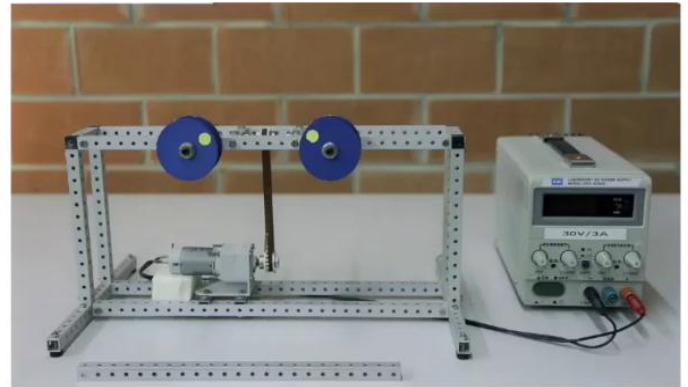
Diese ruckartige Bewegung entspringt dem grossen Unterschied zwischen dem Gleitreibungskoeffizienten und Haftreibungskoeffizienten.

Notes

Summary



11m 54s



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

Mécanique | 2013 25

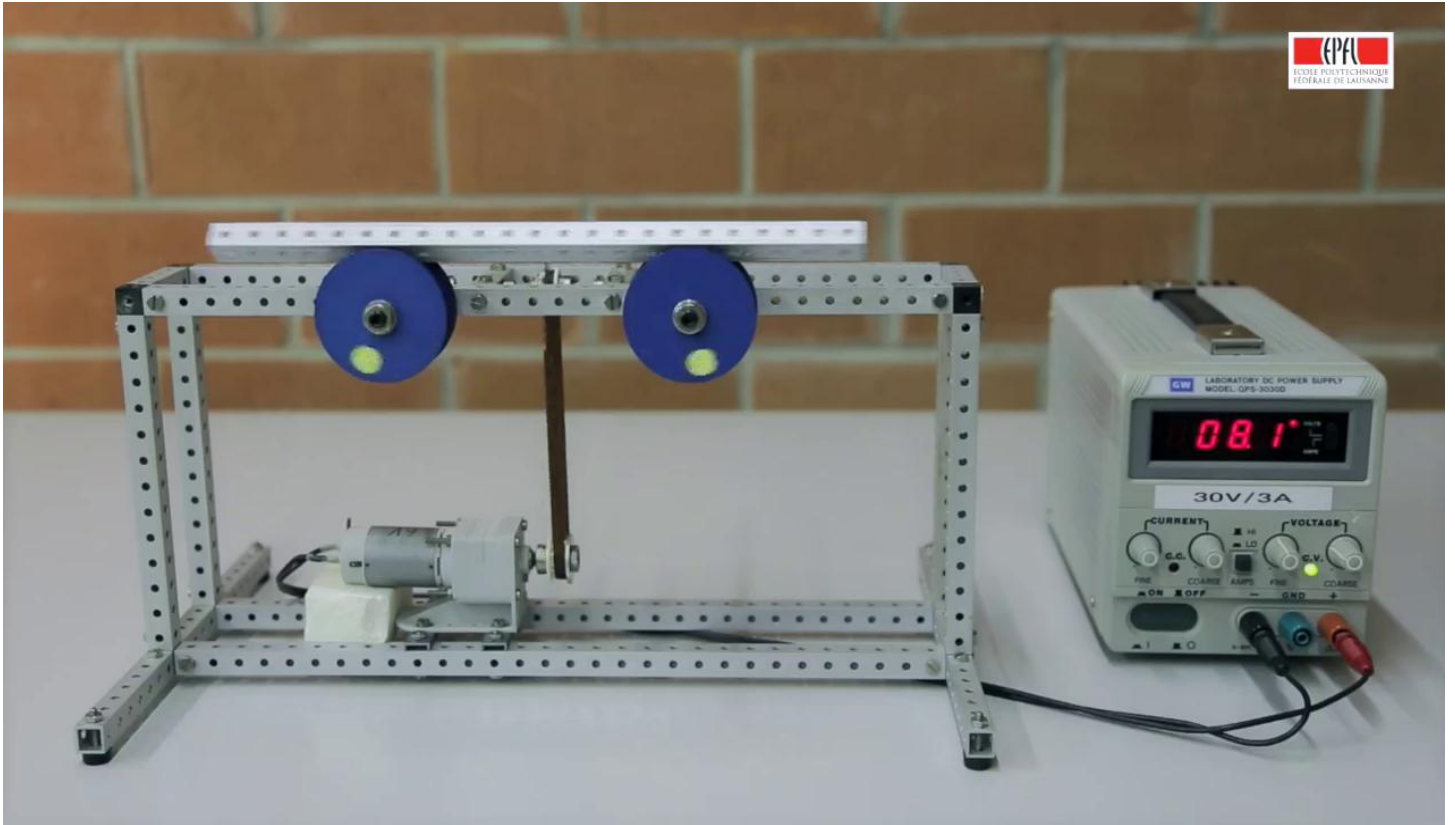
Ich zeuge euch ein anderes Experiment, welche dieses Phänomen aufzeigt.

Notes

Summary



12m 06s

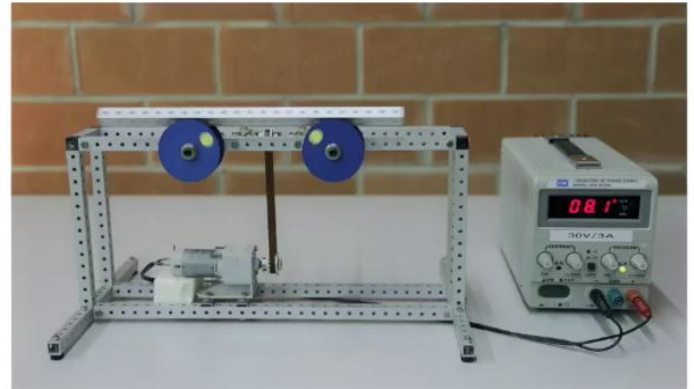


Am besten betrachtet ihr das Experiment.

Notes

Summary





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

Mécanique | 2013 25

Ihr könnt versuchen, diese Bewegung zu analysieren, indem ihr ein Baguette einen Besenstiel oder etwas in dieser Art nehmt, welches ihr auf zwei Finger halten könnt. Wenn ihr die beiden Finger annähert, werdet ihr sehen, dass sich immer ein Finger bewegt und der andere im Bezug auf euren Stab oder Besenstiel immobil bleibt. Im Quiz, gibt es einen Moment, wo man die Reaktionskraft eines Trägers berechnen muss, respektive von zwei Trägern, welche einen Balken stützen. Diese Analyse ermöglicht es, dieses Phänomen zu verstehen.

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

Zum Schluss möchte ich ein Experiment zeigen, welches den viskosen Charakter der Luft aufzeigt. Wir lassen einen Zylinder in eine Röhre fallen. Beim ersten Mal ist die Röhre nicht geschlossen und beim zweiten Mal ist die Röhre geschlossen. Wenn die Röhre geschlossen ist, muss die Luft entlang des Zylinders strömen, welcher im freien Fall innerhalb der Röhre ist. Die Viskosität führt dazu, dass der Zylinder viel langsamer fällt.

Notes

Summary



13m 11s



Wir schliessen. Voilà.

Notes

Summary



13m 49s