





- Energie cinétique
- Effet Compton

Mécanique | 2013 4

Bonjour! Bienvenue au cours de physique générale de l'EPFL. Dans cette leçon, j'introduis les bases de la dynamique relativiste. Ici, j'aimerais vous parler d'une expérience qui va tester notre prédiction sur la relation entre l'énergie cinétique et la vitesse d'une particule. Ensuite, je vous illustrerai l'effet Compton, c'est-à-dire la collision inélastique entre un photon et un électron.

Notes

Summary



0m 04s

# Energie cinétique : ordres de grandeurs



$$T = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - mc^2 = mc^2 \left( -1 + \left( 1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-\frac{1}{2}} \right)$$

$$(1 - x)^{-\frac{1}{2}} \approx 1 + \frac{1}{2}x + \frac{3}{8}x^2$$

$$T \approx \frac{1}{2}mv^2 \left( 1 + \frac{3}{2} \frac{\frac{1}{2}mv^2}{mc^2} \right)$$

Déviaton de l'expression classique quand :

$$\frac{1}{2}mv^2 \approx mc^2$$

Mécanique | 2013 10

Alors, commençons avec la question de l'énergie cinétique. Voilà notre formule pour l'énergie cinétique d'expression relativiste et on aimerait voir sa déviation par rapport à la prédiction classique une demie de  $m v$  carré. Pour ce faire, je récris la formule de cette manière et je vais, on sait qu'au premier ordre on obtient une demie de  $m v$  carré. J'aimerais maintenant faire un développement au deuxième ordre. Alors, on peut facilement établir que le développement limité au deuxième ordre 1 moins  $x$  quand  $x$  est petit, 1 moins  $x$  à la puissance moins une demie. Et, comme indiqué ici, quand on utilise ce développement limité pour notre formule de  $T$ , on voit que, au deuxième ordre,  $T$  est corrigé par rapport à la formule une demie de  $m v$  carré, la correction est proportionnelle au coefficient une demie de  $m v$  carré divisé par  $m c$  carré, l'énergie au repos de la particule. Par conséquent, si on veut conduire une expérience qui montre une déviation de la loi une demie de  $m v$  carré, il faut aller à des vitesses telles que une demie de  $m v$  carré soit de l'ordre de  $m c$  carré, comme ceci.

Notes

Summary



0m 35s

# Définition : électron-volt, unité d'énergie

1 eV = 1 électron-volt = l'énergie d'un électron soumis à une tension d'un volt

Multiples :

- MeV
- GeV
- TeV

Charge de l'électron :  $\approx 1.6 \times 10^{-19}$  Coulomb

$$1 \text{ eV} \equiv 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Masse de l'électron :  $m = 0.511 \text{ MeV}/c^2$

Je profite de ces considérations-là pour introduire une unité très utilisée en physique des particules élémentaires, l'électron-volt. Un électron-volt c'est l'énergie d'un électron dans un potentiel de un volt, tout simplement. En général, disons, avec les particules élémentaires, on travaille avec des multiples, ou bien le MeV, méga électron-volt, le giga électron-volt, ou encore le téra électron-volt, dix puissance douze électron-volts. La charge d'un électron c'est environ dix puissance moins 19 Coulomb, donc, un électron-volt, ça fait, un virgule six fois dix puissance moins 19 joules. Voilà la conversion dans une unité qui nous est plus familière. Maintenant, la masse d'un électron, comme on dit, c'est 0,5 MeV, en fait ce qu'on veut dire c'est  $m c^2$  qui vaut 0,5 MeV, ou  $m$  vaut 0,5 MeV par  $c^2$ . En général on dit que la masse de l'électron c'est 0,5 MeV. Si on veut observer une déviation de l'énergie cinétique par rapport à la formule une demi  $m v^2$ , il nous faut une énergie de l'ordre de 0,5 MeV. Donc, il faut accélérer un électron dans une tension de 0,5 mégavolt, et cela, ce n'est pas facile à réaliser. Pour vous montrer comment on pourrait procéder, et pour montrer la difficulté, je vous invite à considérer un générateur de Van der Graaf.

Notes

Summary



# Générateur de Van de Graaff



- Charges électriques par triboélectricité
- Hautes tensions électrostatiques

Mécanique | 2013 20

Alors vous voyez ici le schéma de principe, vous avez un ruban d'une matière plastique qui tourne sur des rouleaux et par triboélectricité, il y a des charges qui se dégagent lorsque le plastique se décolle du rouleau. Voilà le dispositif qu'on a les rouleaux, la bande qui passe sur les rouleaux c'est donc cette bande blanche, actionnée par un moteur. On a mis un appareil de mesure. Vous verrez qu'on obtient des kilovolts et pas plus parce que on a des arcs qui se créent.

Notes

Summary



3m 51s

# Générateur de Van de Graaff



- Van der Graaf en opération

Mécanique | 2013 21

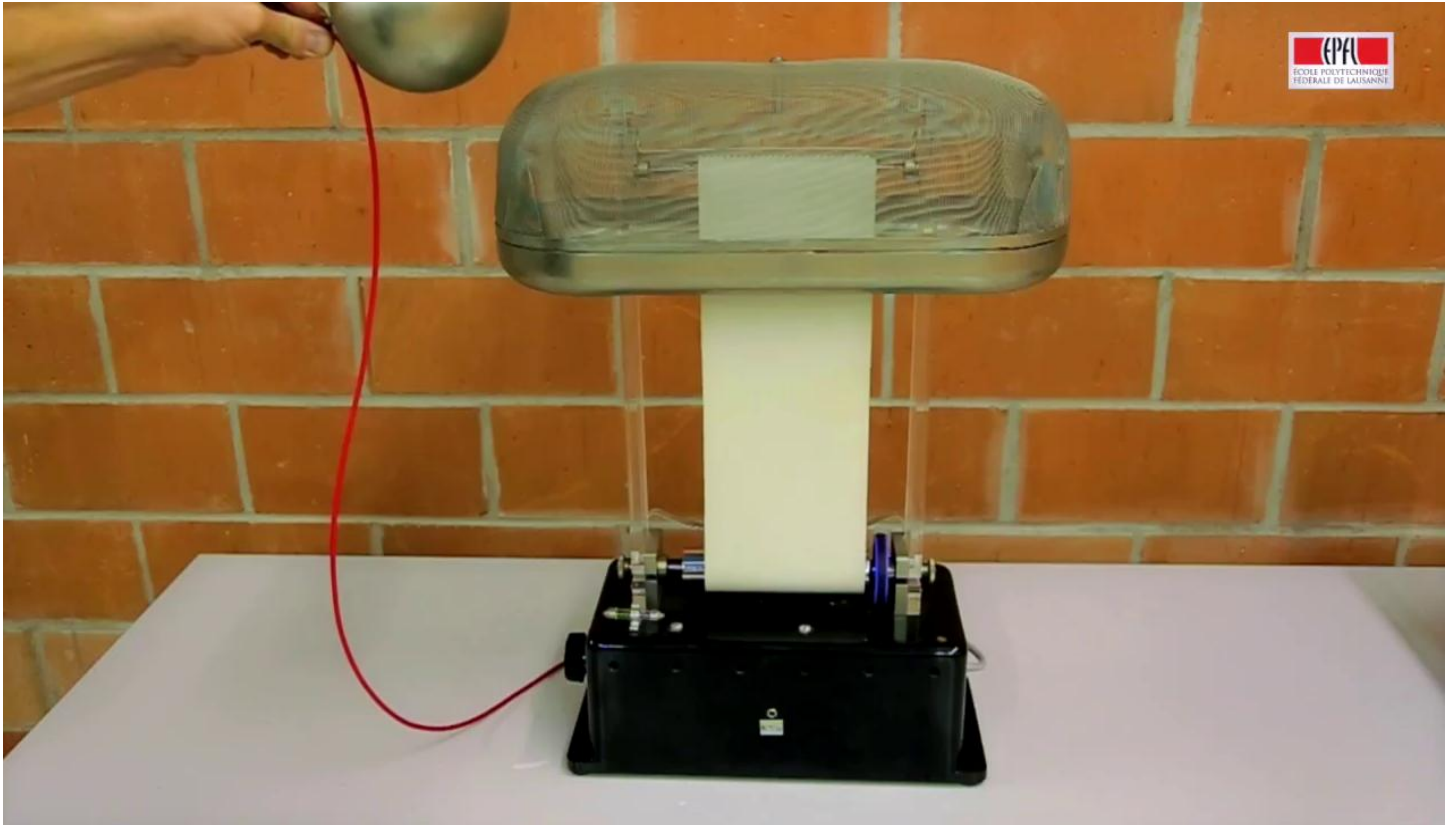
Je vous invite maintenant à regarder la vidéo.

Notes

Summary



4m 29s



Les charges s'accumulent sur le papier, les charges se repoussent, et donc les papiers se repoussent les uns les autres. Et vous observez qu'il y a des claquages parce que la tension est suffisante, suffisamment grande pour faire des arcs. Bien le collecteur, la cage de Faraday, elle se charge et donc on peut la décharger comme ceci.

Notes

Summary



4m 42s



# Van de Graaff pour MégaVolt



- Vue d'ensemble du laboratoire.
- Le caisson blanc contient l'accélérateur.

Mécanique | 2013 22

Si on veut atteindre non pas 25 kilovolts mais deux mégavolts, alors il faut des installations beaucoup plus grosses, comme celles que vous voyez sur cette image, c'est une installation qui se trouve chez nous à l'EPFL, c'est le gros caisson blanc dans le haut de l'image qui contient un générateur de Van der Graaf qui peut atteindre, je crois, deux mégavolts. Vous voyez autour des tables, des tabourets ce qui vous donne une idée de la taille de l'expérience.

Notes

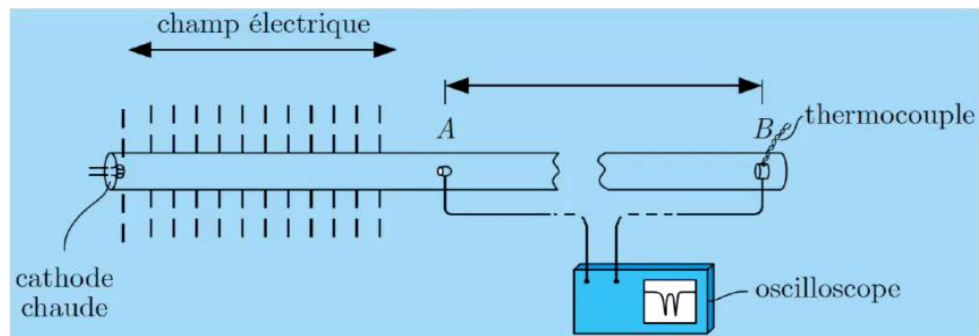
Summary



5m 14s



# Mesure de l'énergie cinétique



- Une cathode émet des électrons.
- Une tension électrique de l'ordre de 1 MégaVolt accélère les électrons.
- En A, le passage d'un électron est détecté.
- En B, le temps de vol de A à B est déterminé.
- En B, l'échauffement donne une mesure de l'énergie cinétique de l'électron incident.

Mécanique | 2013 23

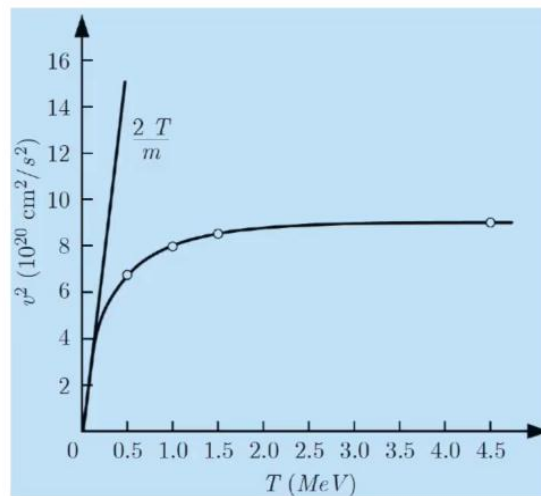
Bon, quelle que soit la façon d'accélérer les électrons, le principe de la mesure de l'énergie cinétique et de la vitesse est illustré sur le schéma suivant. Vous avez ici un dispositif permet d'accélérer les électrons. Les électrons sont produits à une cathode. On va détecter leur passage au point A et au point B, ce qui nous permettra de mesurer le temps de vol entre A et B. On connaît la distance entre A et B, donc on déduit la vitesse. Maintenant, les électrons qui arrivent ici avec une certaine énergie cinétique, ont cette énergie cinétique qui est transformée en échauffement. Il s'agit bien sûr de calibrer, euh, l'énergie cinétique par rapport à l'échauffement. Et l'échauffement va nous donner une mesure de T, l'énergie cinétique.

Notes

Summary



# Mesure de l'énergie cinétique



- Si la relation Newtonnienne entre énergie cinétique et vitesse était valable, on aurait la ligne droite.
- Quand  $v$  approche  $c$ , l'énergie cinétique devient beaucoup plus grande.

Mécanique | 2013 24

On arrive alors à ce genre de résultat, ici vous avez l'énergie cinétique mesurée en fonction du carré de la vitesse. La droite correspond à la prédiction une demie de  $m v$  carré, là vous avez des points de mesure, et vous voyez que, on a en effet une déviation, une déviation notoire par rapport à la prédiction classique dès que on a une énergie cinétique qui est de l'ordre de l'énergie au repos de la particule. Et cette ligne-là, c'est la prédiction relativiste qui est donc pleinement vérifiée.

Notes

Summary

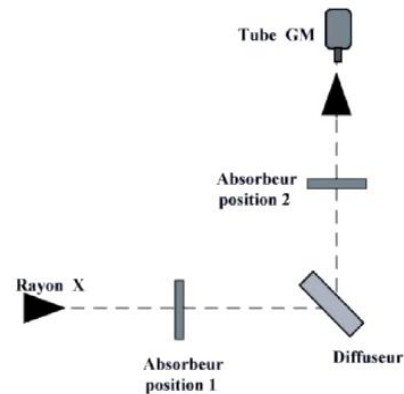


6m 45s

# Effet Compton



## Effet compton



- Rayon X détecté à 90 degrés : collision avec la matière.
- Plus d'absorption en 2 qu'en 1 parce que les rayons X ont perdu de l'énergie.

Mécanique | 2013 25

Je passe maintenant à l'effet Compton. Alors, l'effet, pour l'effet Compton on utilise des rayons X. On a une source de rayons X, on a un matériau diffuseur, lorsque que les rayons X arrivent sur le matériau diffuseur il y a des collisions entre les rayons X et les électrons du matériau. On peut calculer, comme on l'a vu par la, le calcul de collision, euh, qu'il est possible d'avoir des photons qui ressortent à 90 degrés. Ces photons n'ont pas la même énergie, ils ont perdu de l'énergie parce que l'électron, lui, a gagné de l'énergie. Et pour mettre en évidence cette différence d'énergie des photons, on va utiliser un absorbeur. Si on met l'absorbeur avant le diffuseur les rayons X ont une énergie grande. Ils passent facilement à travers l'absorbeur. Après le diffuseur, donc à la position deux, les rayons X ont moins d'énergie, ils passent moins bien à travers l'absorbeur.

Notes

Summary



7m 26s

# Effet Compton



- Rayon X détecté à 90 degrés : collision avec la matière.
- Plus d'absorption en 2 qu'en 1 parce que les rayons X ont perdu de l'énergie.

Mécanique | 2013 26

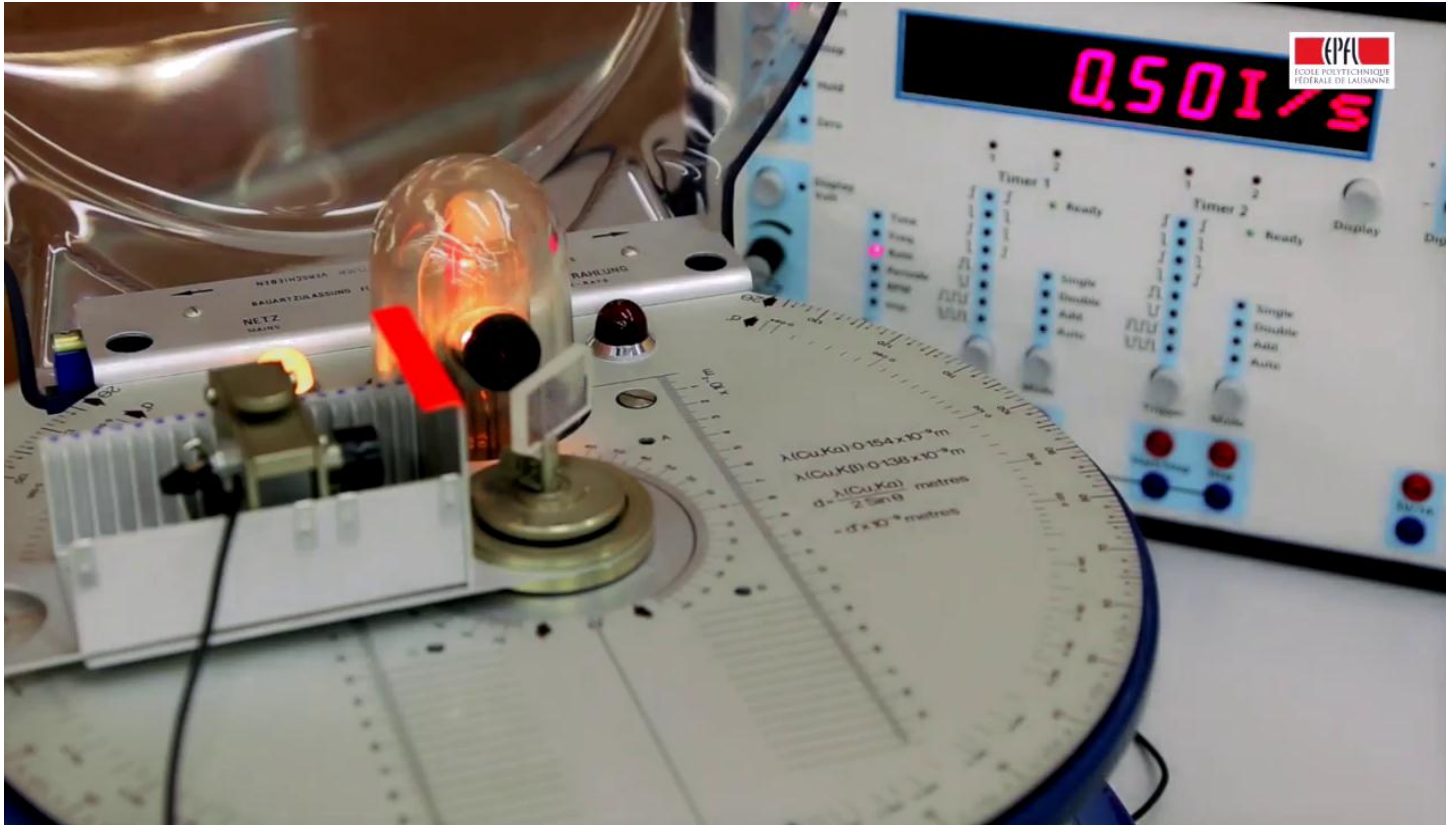
Je vous invite maintenant à regarder la vidéo.

Notes

Summary



8m 39s



Le diffuseur c'est le petit bout de plastique. On ferme, on met la sécurité. Dans cette expérience-là, il n'y a pas d'absorbeur sur le chemin. Vous mettez le, le, la mesure Geiger. Quand on ouvre, la source de rayons X s'arrête. On met maintenant l'absorbeur avant le diffuseur. On a une mesure qui tourne autour d'une valeur de 100. Maintenant on met le diffuseur, l'absorbeur pardon, on met l'absorbeur après le diffuseur. Et le taux de comptage est beaucoup plus petit. C'est ce qu'on avait prévu. Voilà, c'est la fin de cette série de leçons, de 24 leçons.

Notes

Summary



8m 53s

# Effet Compton



- Rayon X détecté à 90 degrés : collision avec la matière.
- Plus d'absorption en 2 qu'en 1 parce que les rayons X ont perdu de l'énergie.

Mécanique | 2013 26

Si vous m'entendez aujourd'hui parce que vous m'avez suivi tout au long de ce cours, je vous félicite pour l'effort énorme que vous avez produit.

Notes

Summary



10m 31s