

Física 3

Enrique A. Dalchiele

Instituto de Física

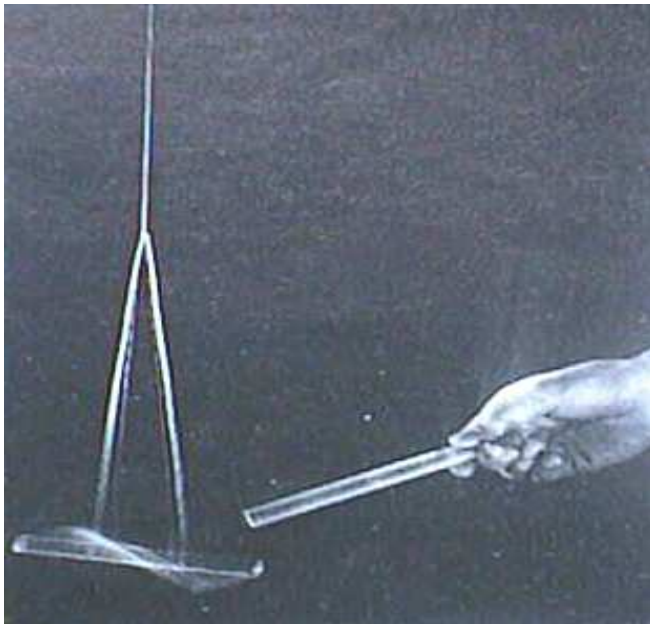
Facultad de Ingeniería

ELECTROMAGNETISMO

INTRODUCCION

CARGA ELECTRICA

La palabra electricidad proviene de la palabra griega “electrón”, que significa “ámbar”. Esta es una resina petrificada de un árbol. Los antiguos sabían que si frotaban una barra de ámbar con un pedazo de paño, el ámbar atraía pequeños pedazos de hojas o cenizas. Un pedazo de caucho duro, una barra de vidrio o una regla de plástico frotados con un paño presentarán también este efecto de ámbar o de electricidad “estática” como la llamamos hoy en día.

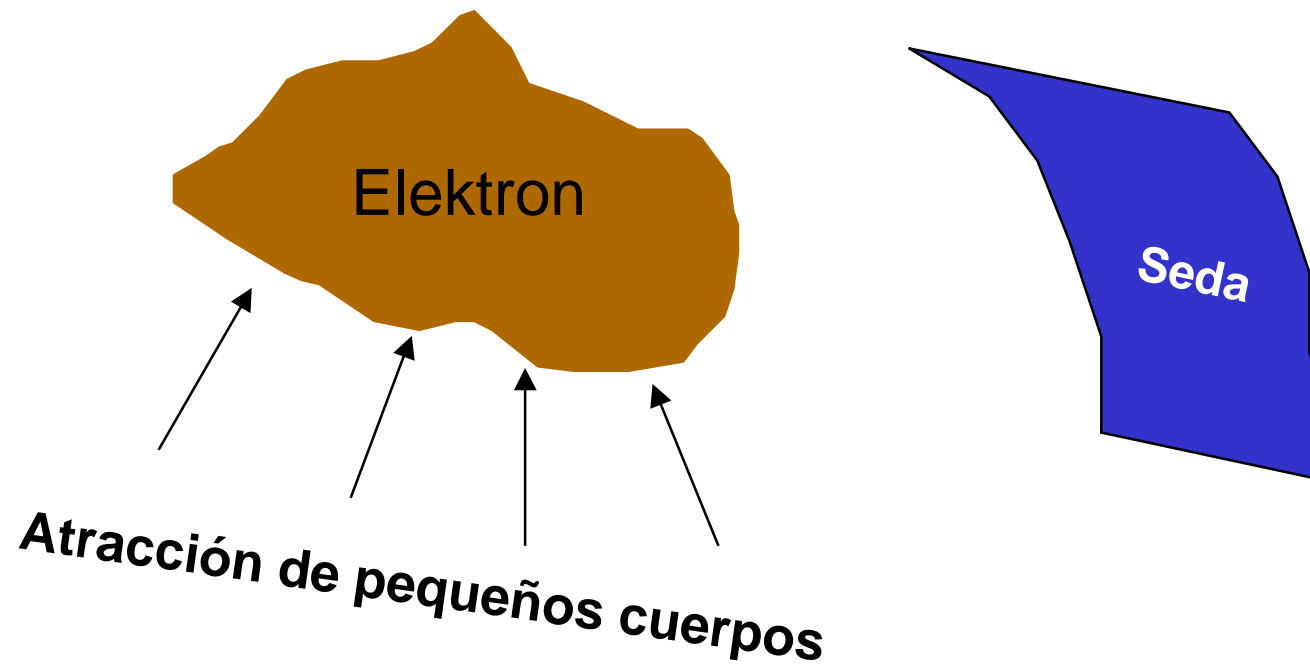


Frotamiento de una regla de plástico

El Ελεκτρον (Elektron)

- Piedra color ámbar que, al frotarla con seda o lana, adquiere una propiedad nueva: la de atraer hilachas, pelusas y cuerpecitos pequeños.

Después de ser frotado



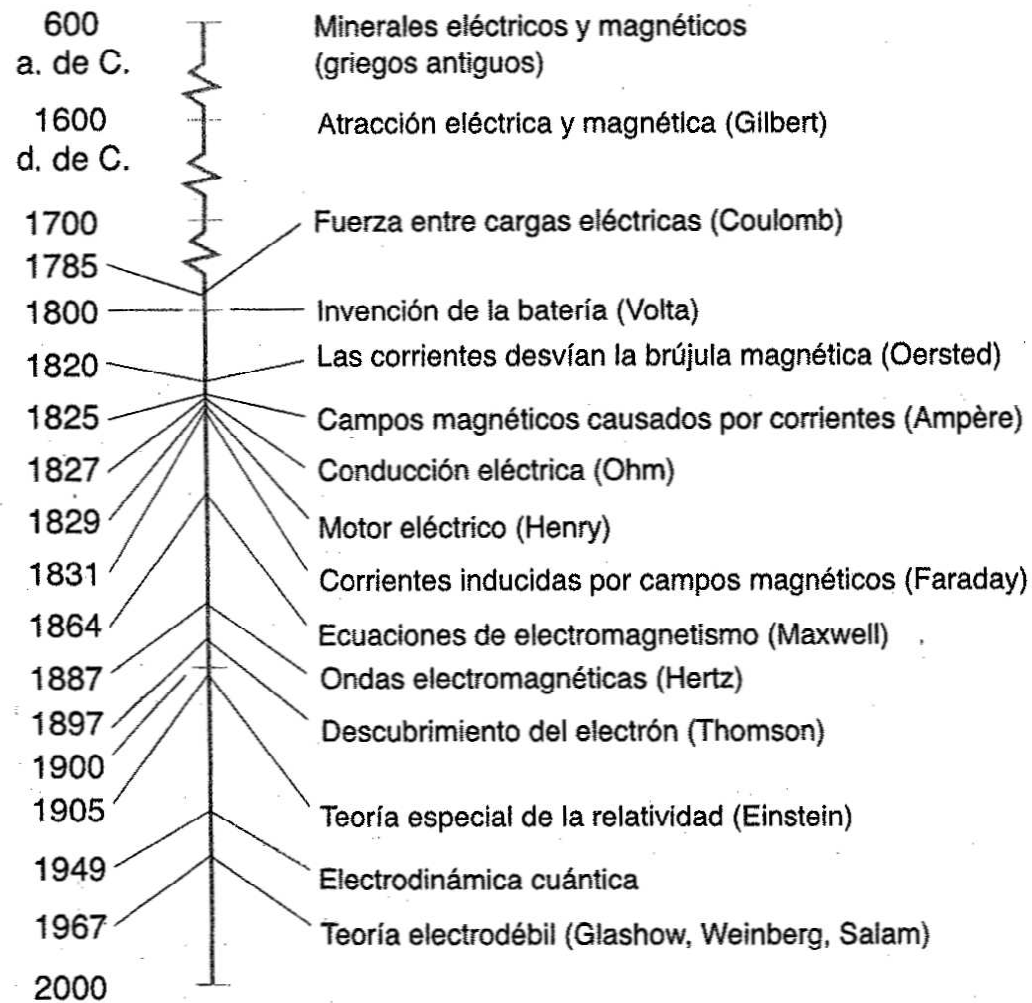


FIGURA 25-1. Cronología de los principales avances en el electromagnetismo.

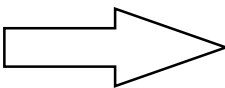
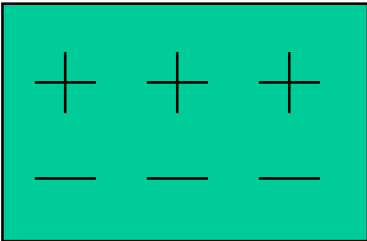

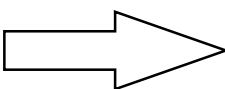
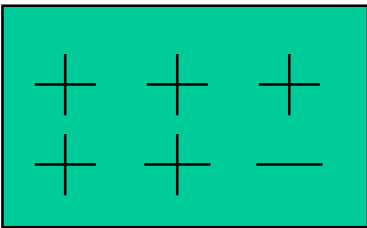
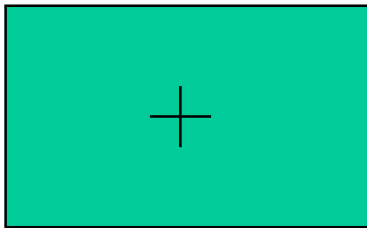
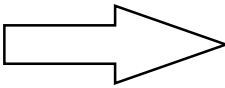
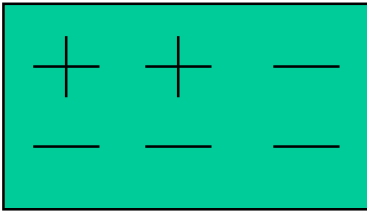
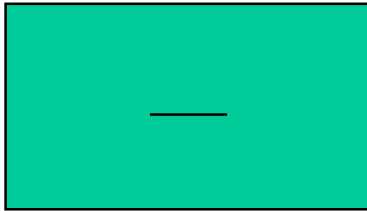
Modelo eléctrico de la materia.

Cualitativo

- La materia estaría constituida por dos tipos de partículas, que denominaremos Cargas.
- Cuando estas partículas se encuentran en igual cantidad, el cuerpo esta Neutro.
- Si ellas se encuentran en distinta cantidad, el cuerpo esta electrizado.
- Las cargas del mismo tipo se repelen entre si y las de distinto tipo se atraen (**en forma cuantitativa Ley de Coulomb**).
- Al frotar dos cuerpos neutros, pero de distinto material, pasa un tipo de carga de uno al otro, quedando ambos electrizados con diferente tipo de carga (**unos pocos electrones de los átomos de un objeto se transfieren al otro; la mayoría de los electrones permanecen inalterados**).
- Al frotar VIDRIO con SEDA, el vidrio adquiere electricidad POSITIVA y la SEDA, electricidad NEGATIVA.

Modelo en imágenes.

Cuerpo NEUTRO y Cuerpo ELECTRIZADO

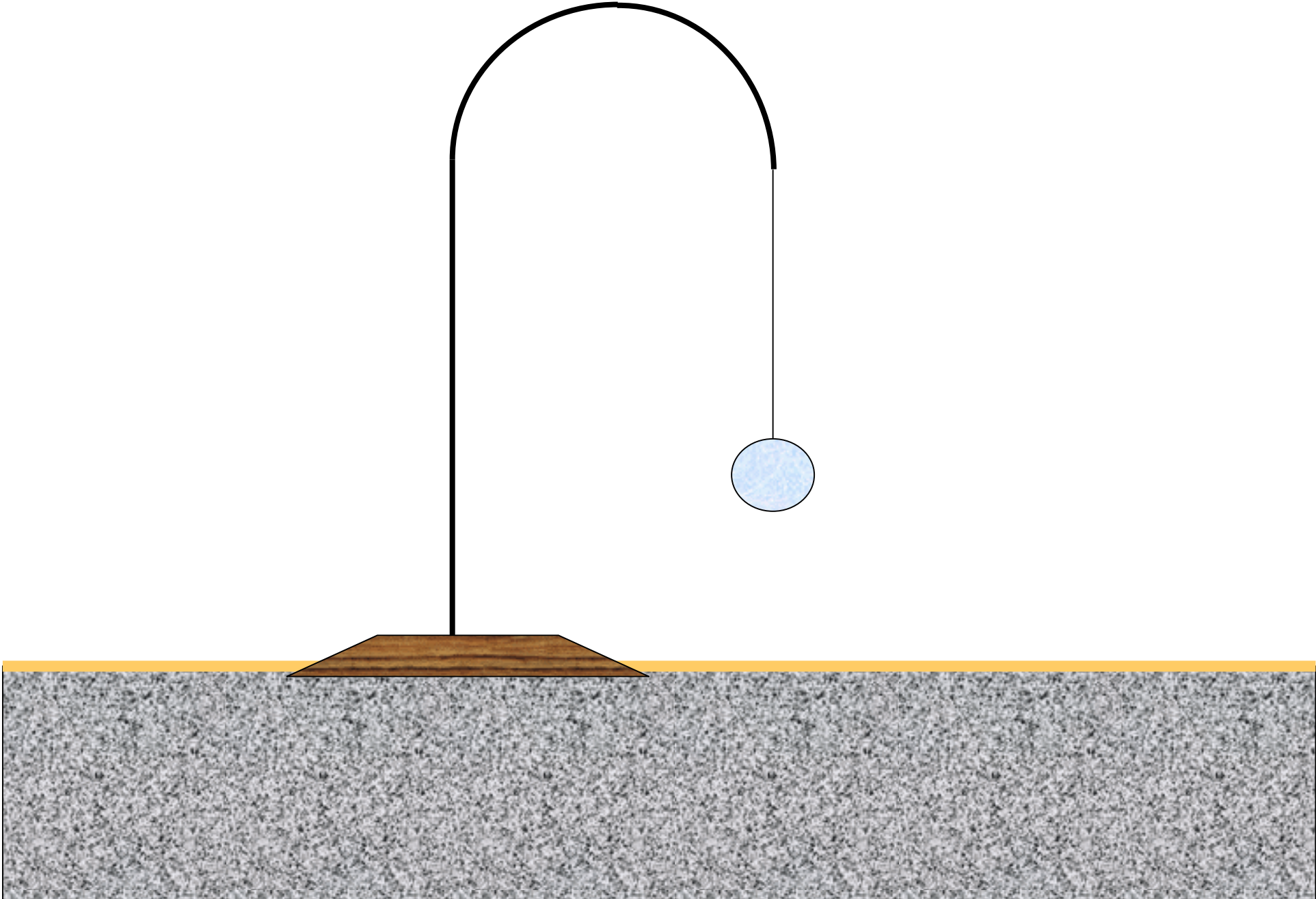
		Cargas	Representación
Cuerpo neutro			
Cuerpo positivo			
Cuerpo negativo			

Repulsiones y atracciones

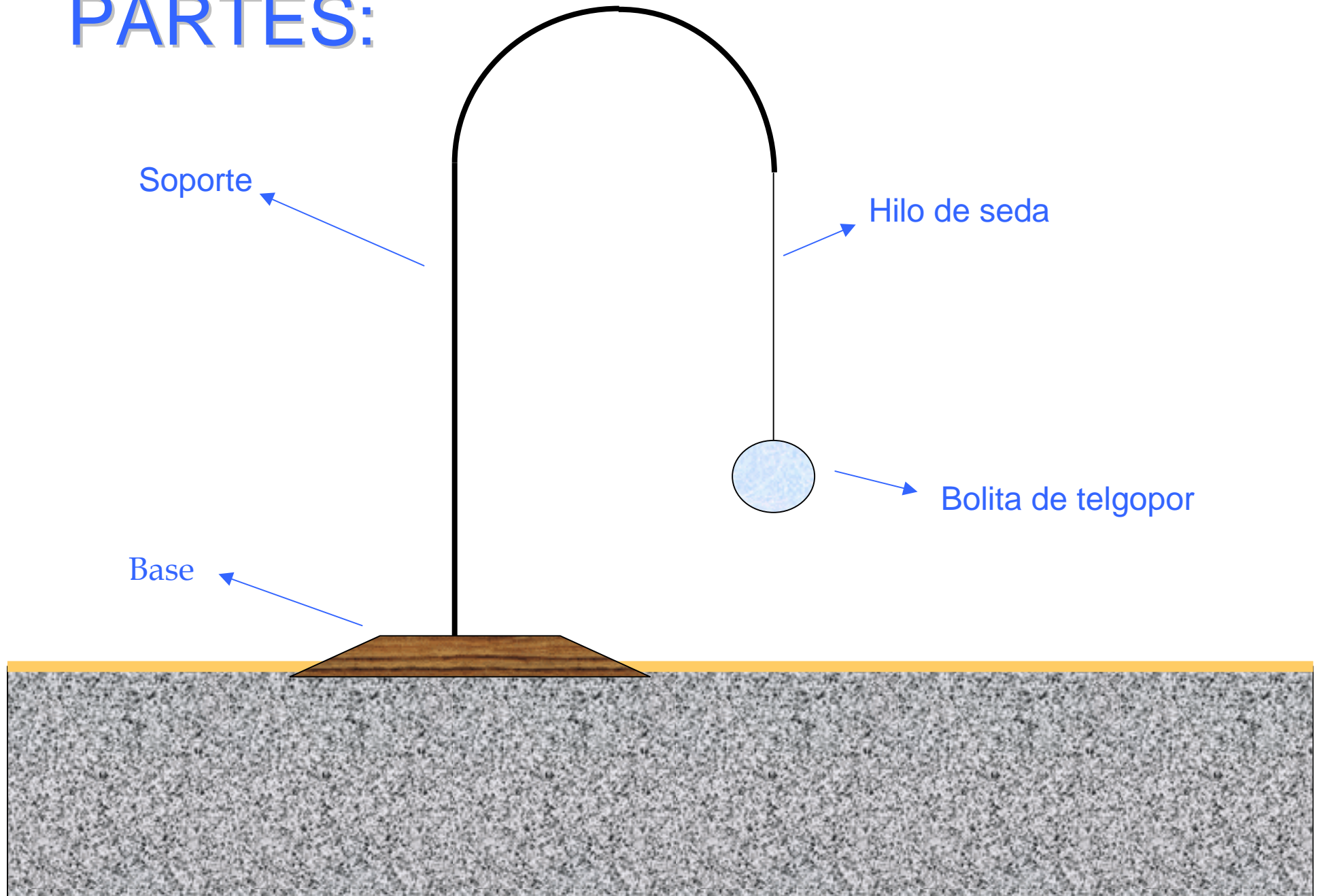


Péndulo electrostático

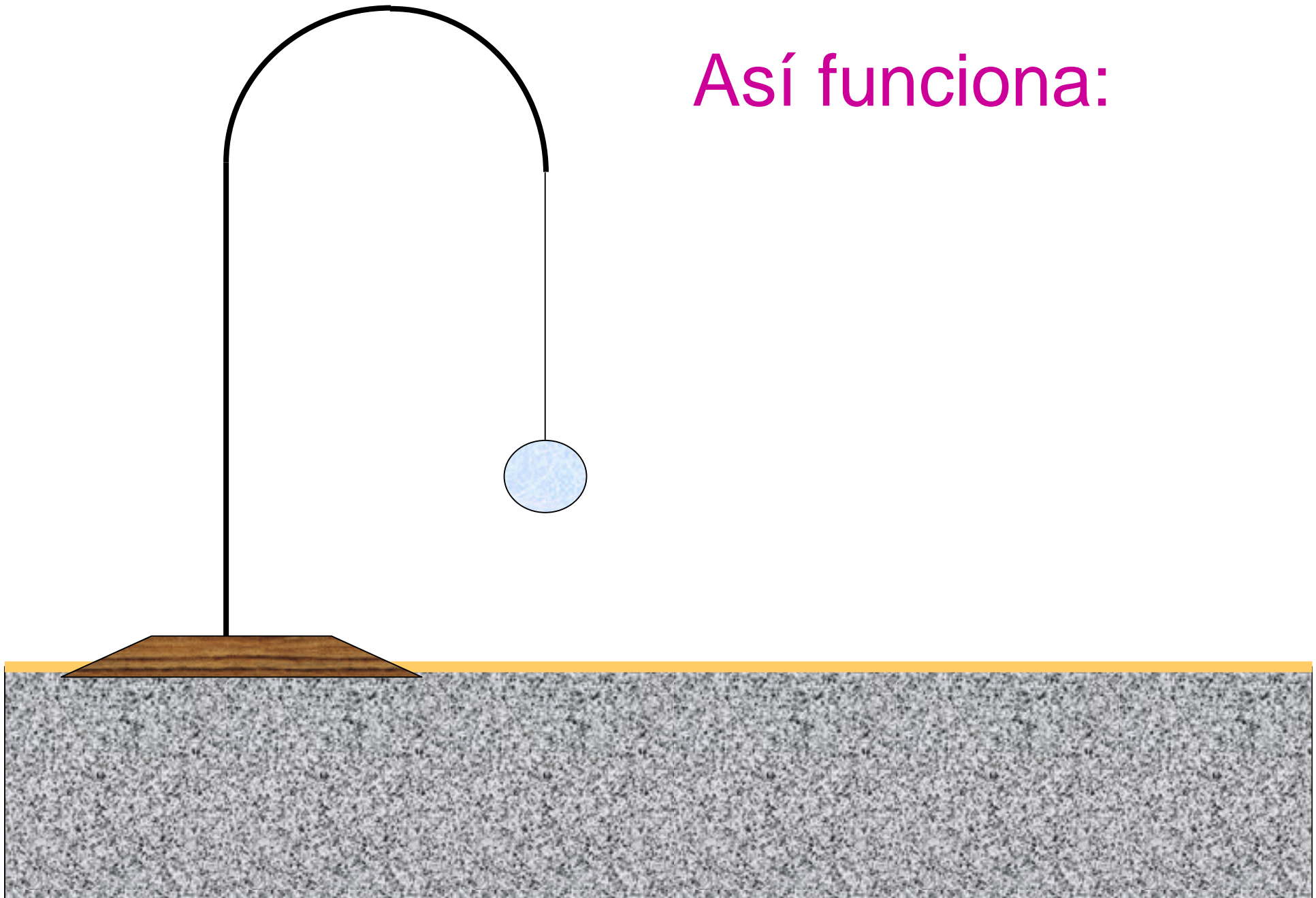




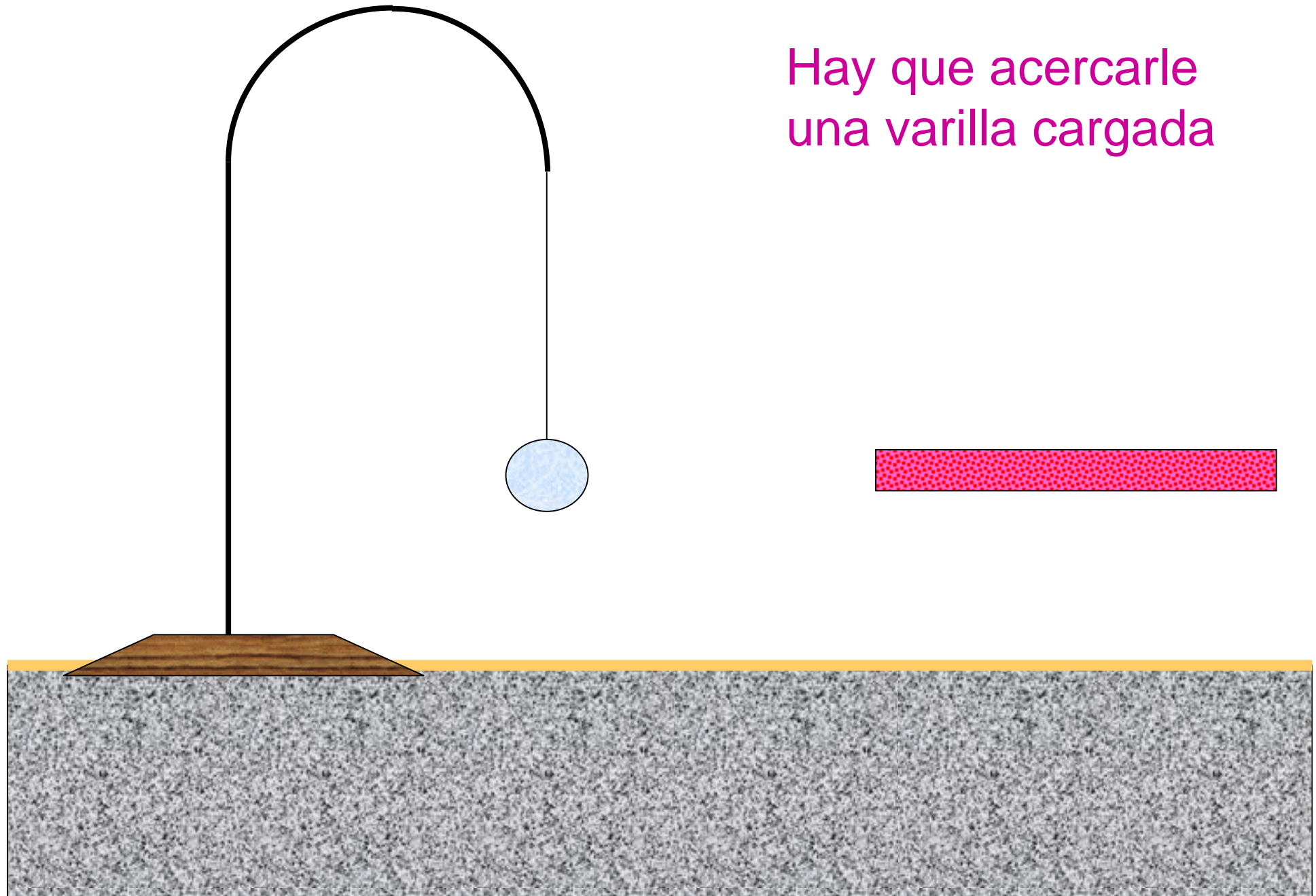
PARTES:



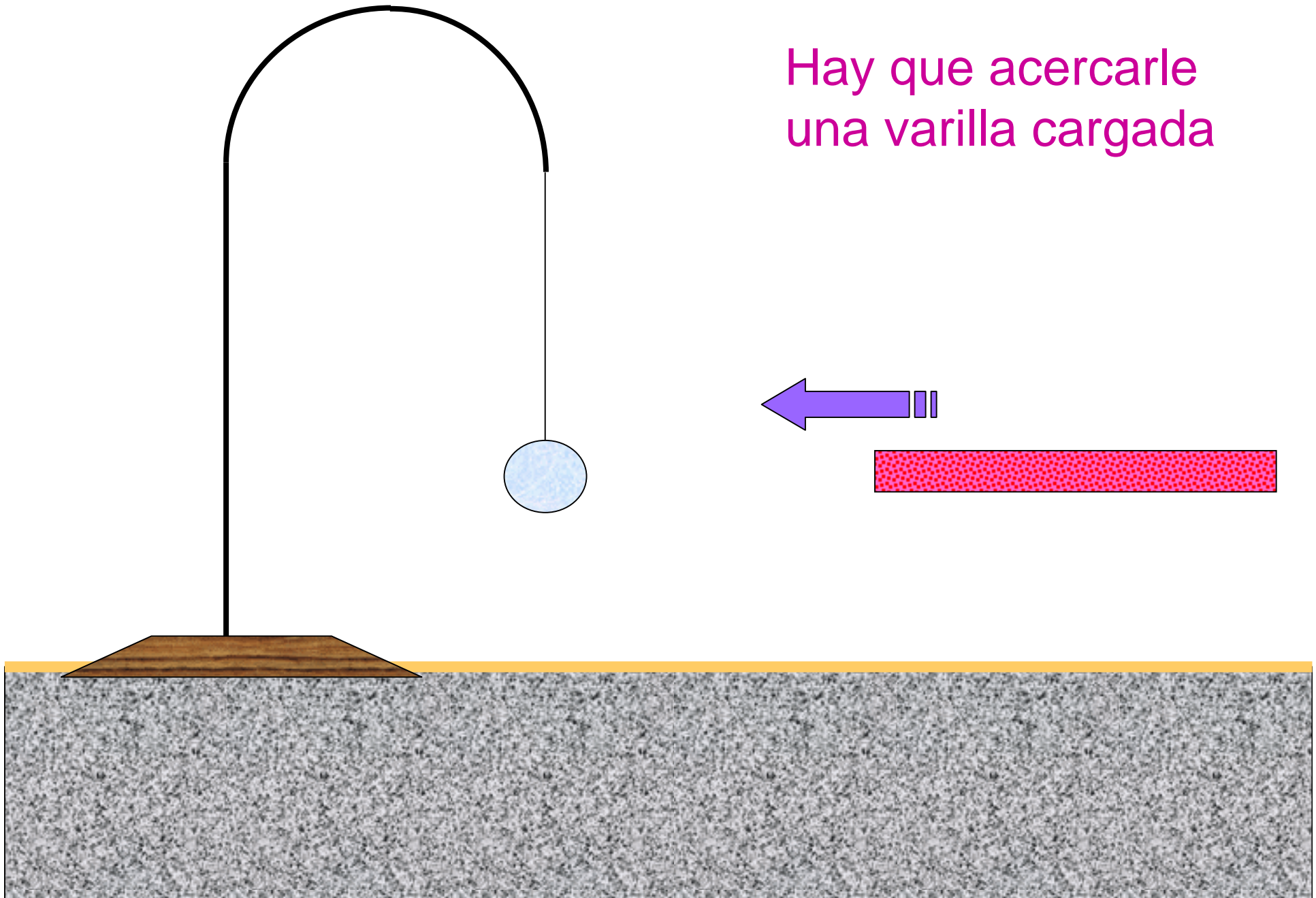
Así funciona:



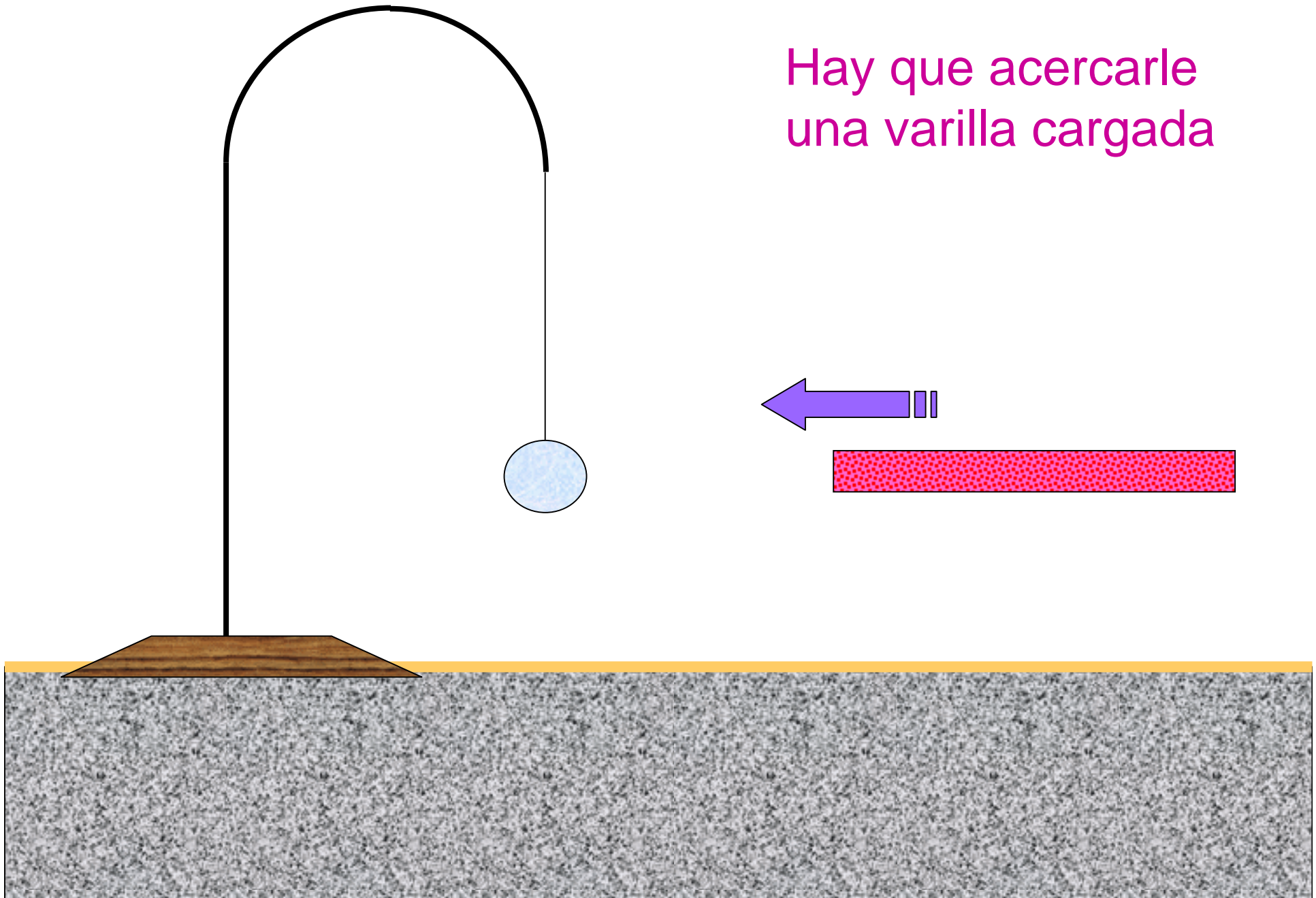
Hay que acercarle
una varilla cargada



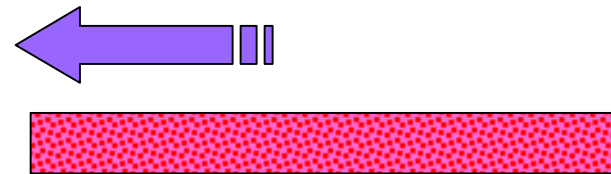
Hay que acercarle
una varilla cargada



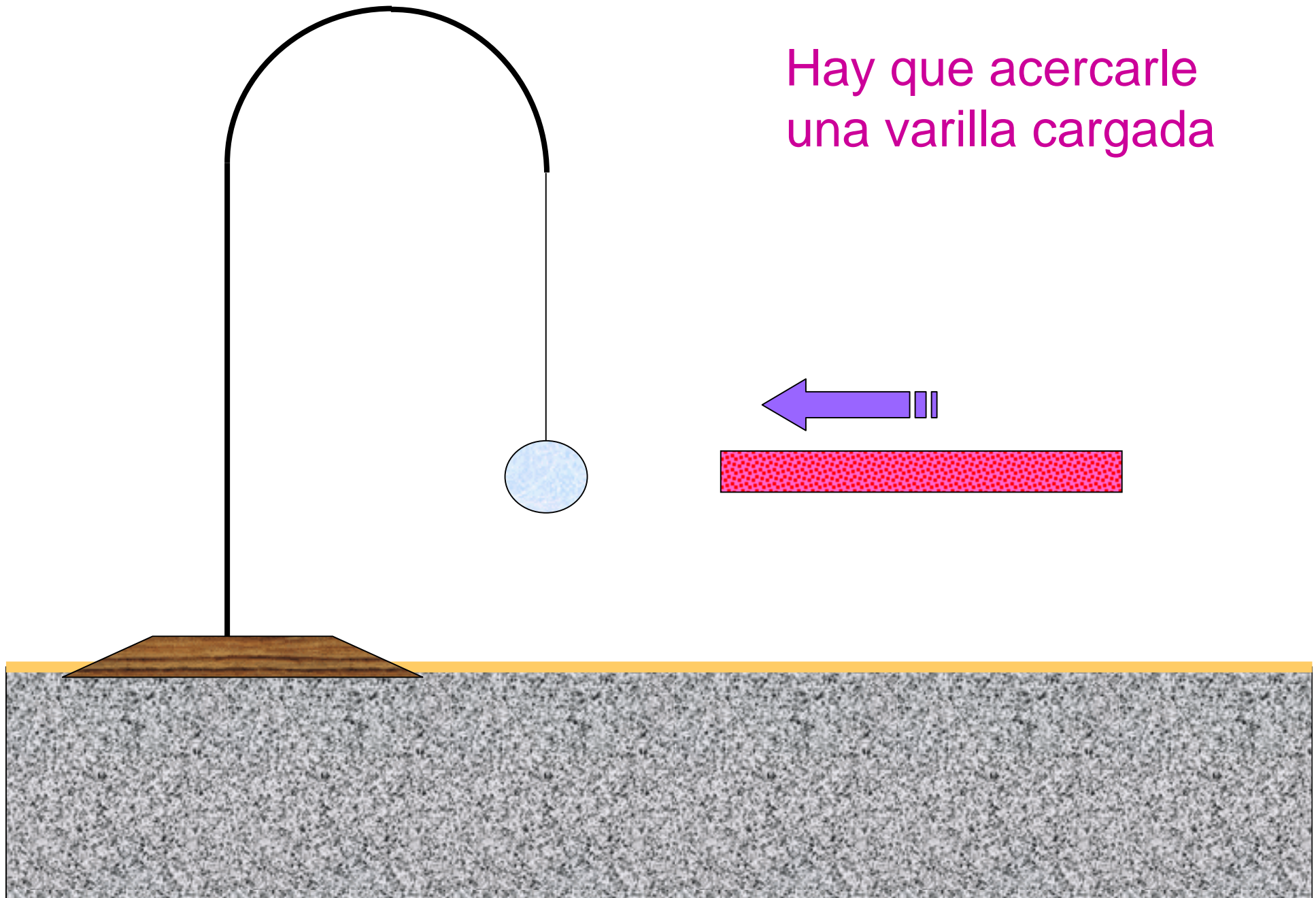
Hay que acercarle
una varilla cargada



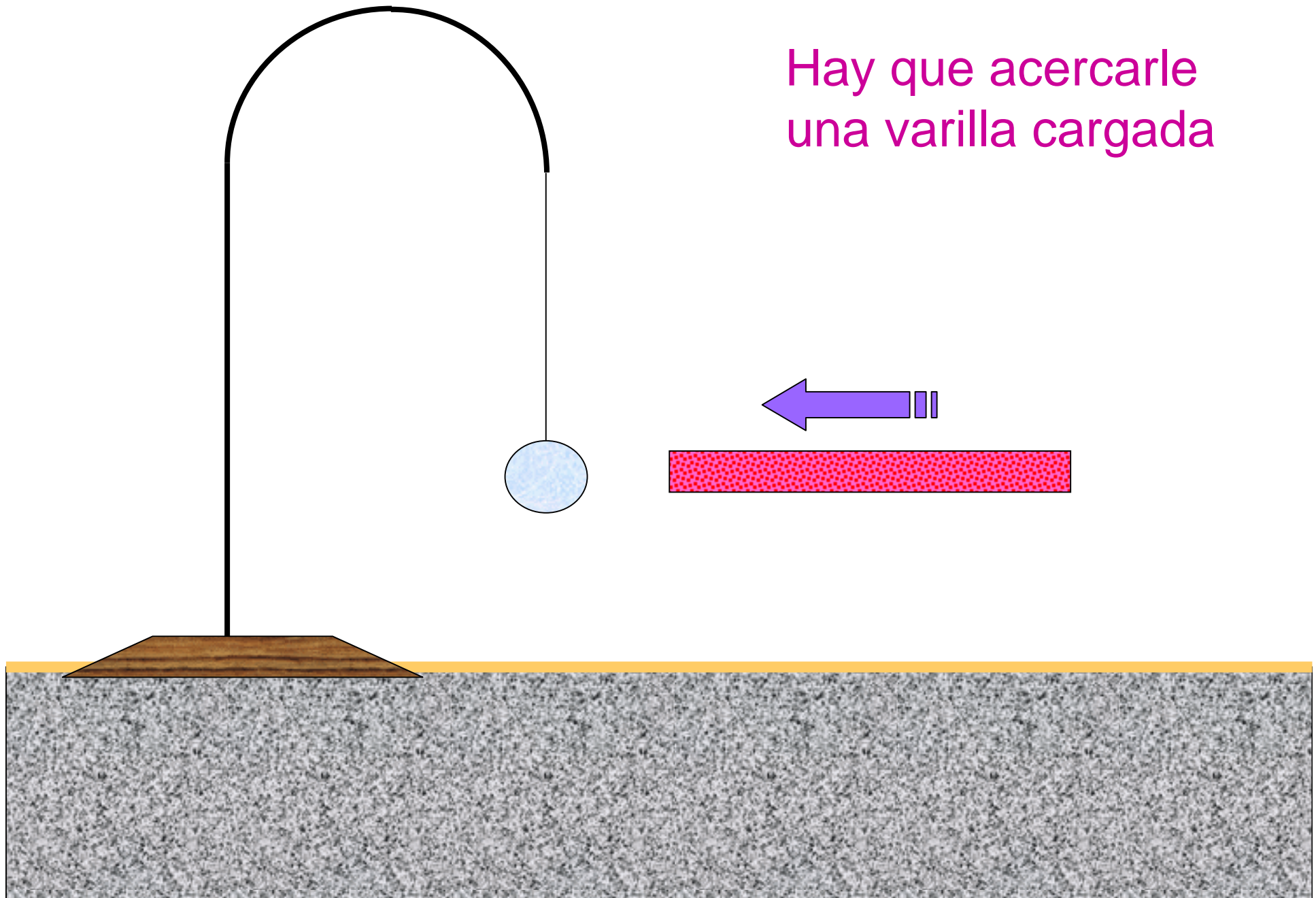
Hay que acercarle
una varilla cargada



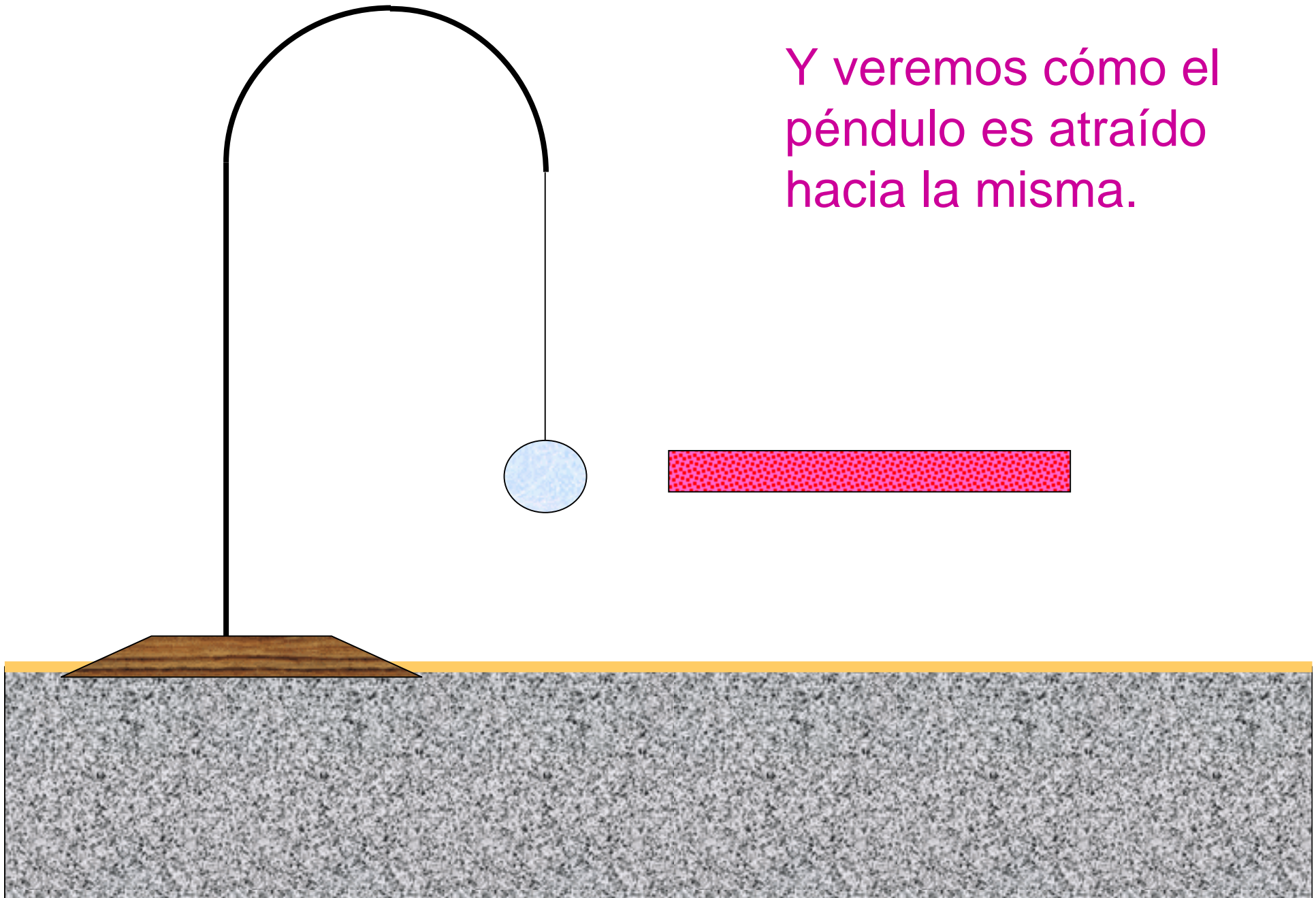
Hay que acercarle
una varilla cargada



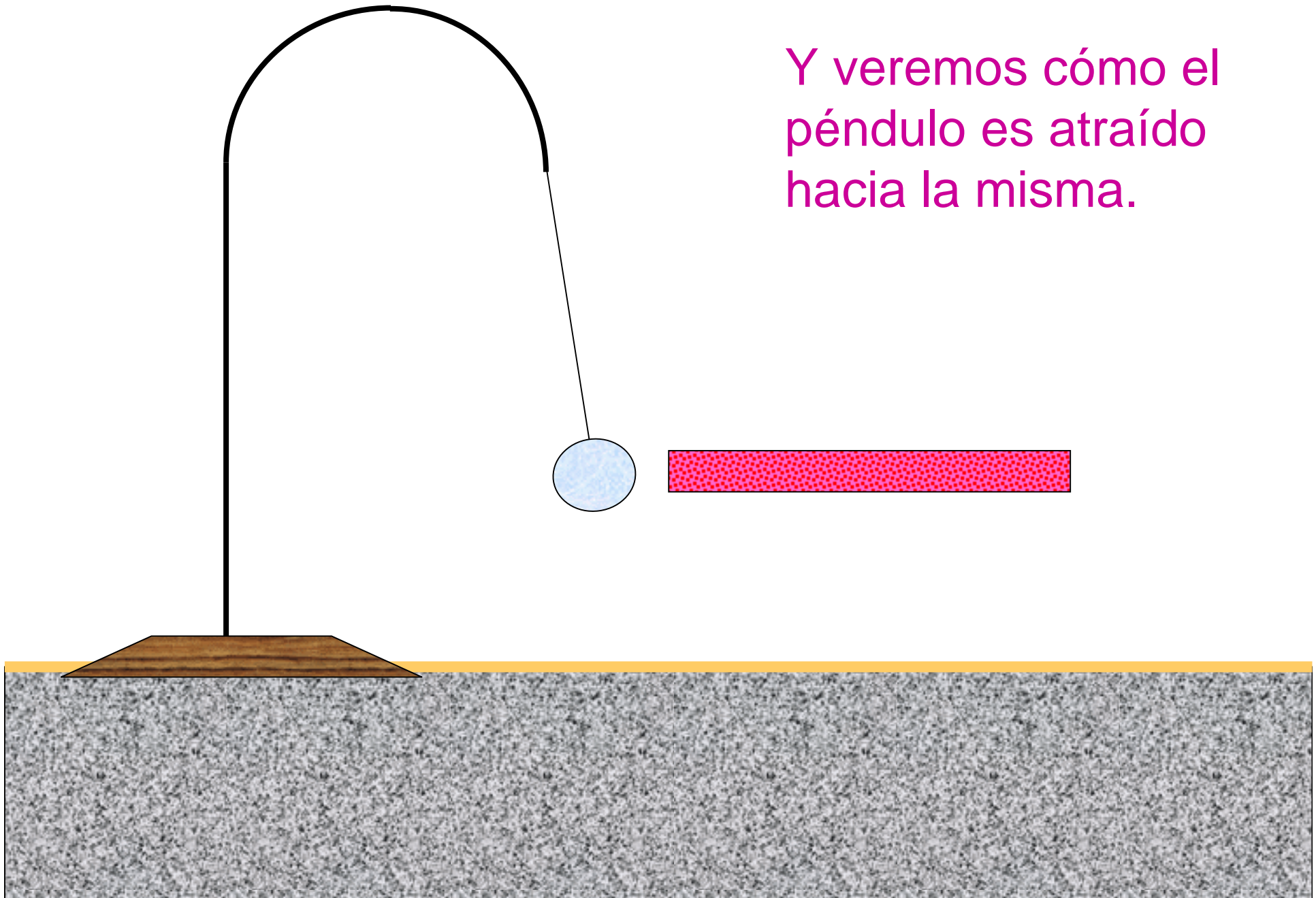
Hay que acercarle
una varilla cargada



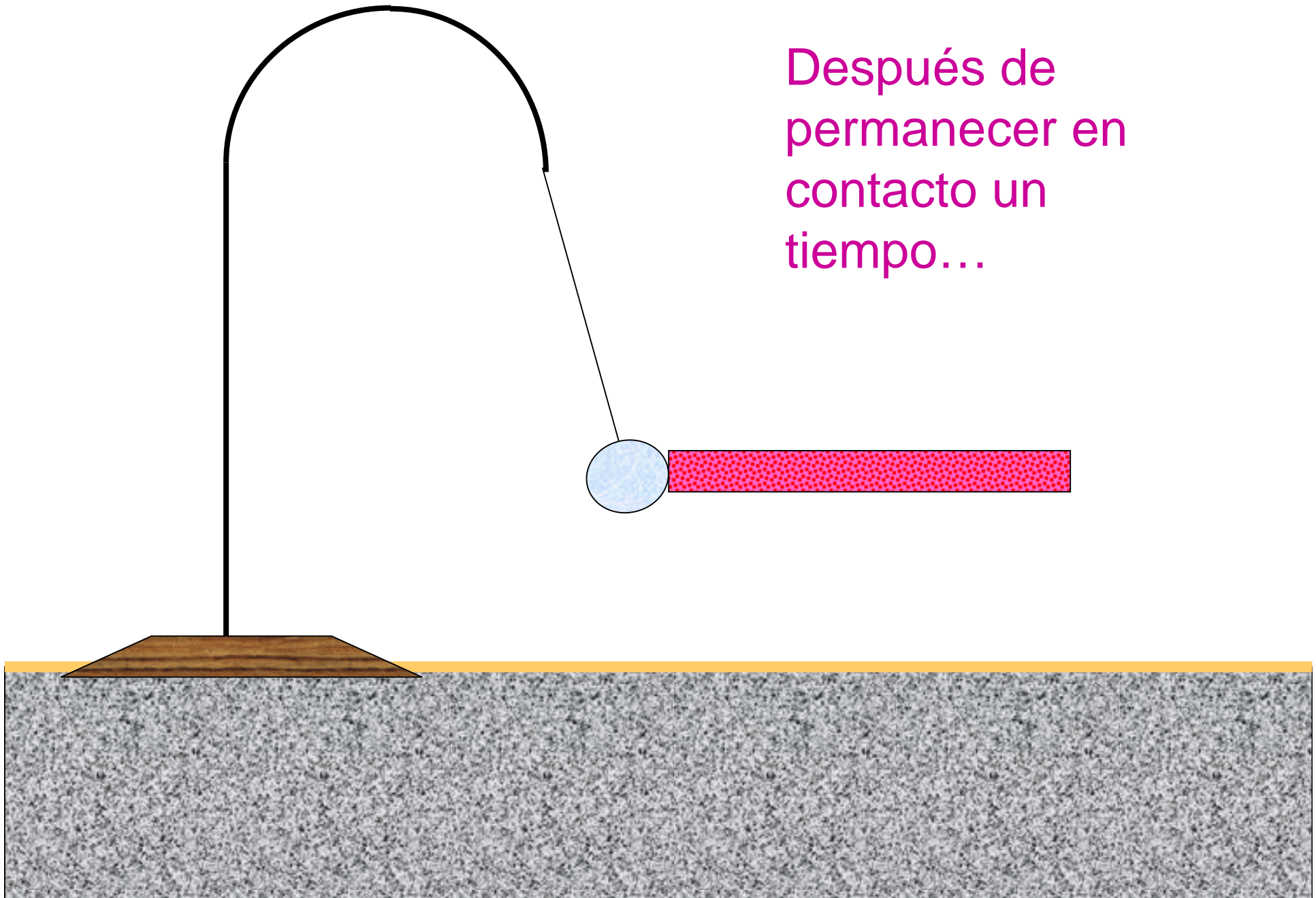
Y veremos cómo el péndulo es atraído hacia la misma.

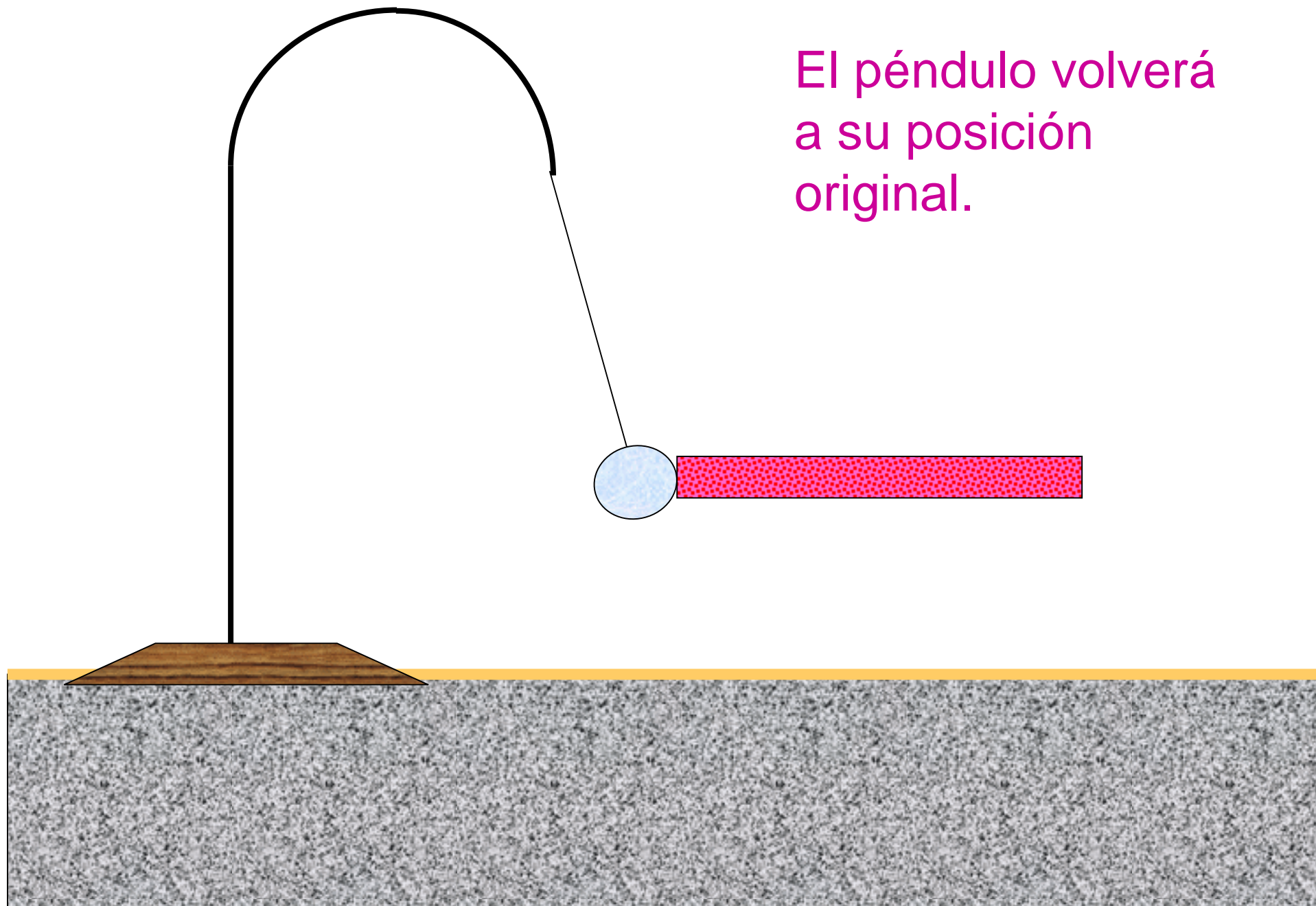


Y veremos cómo el péndulo es atraído hacia la misma.



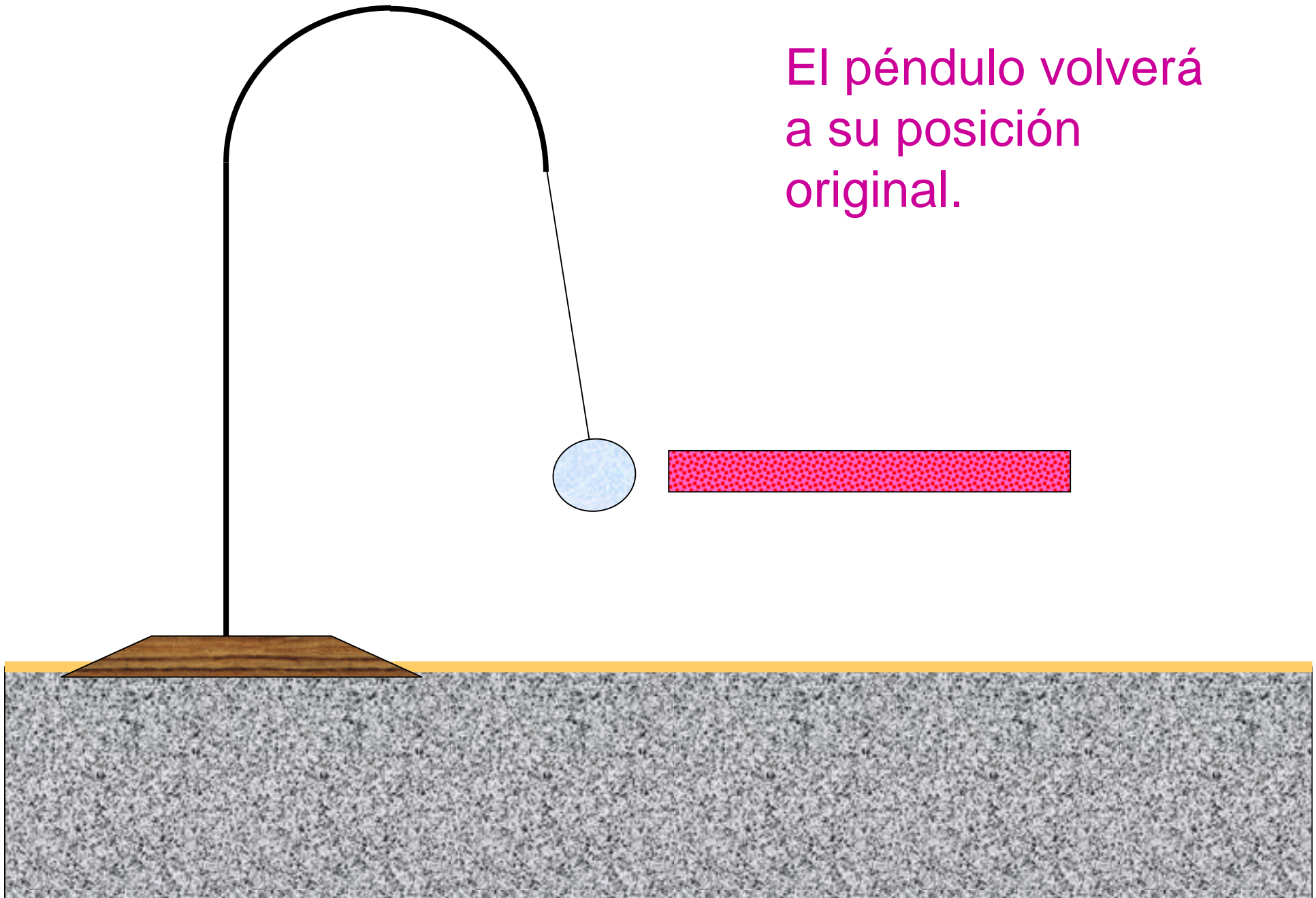
Después de permanecer en contacto un tiempo...



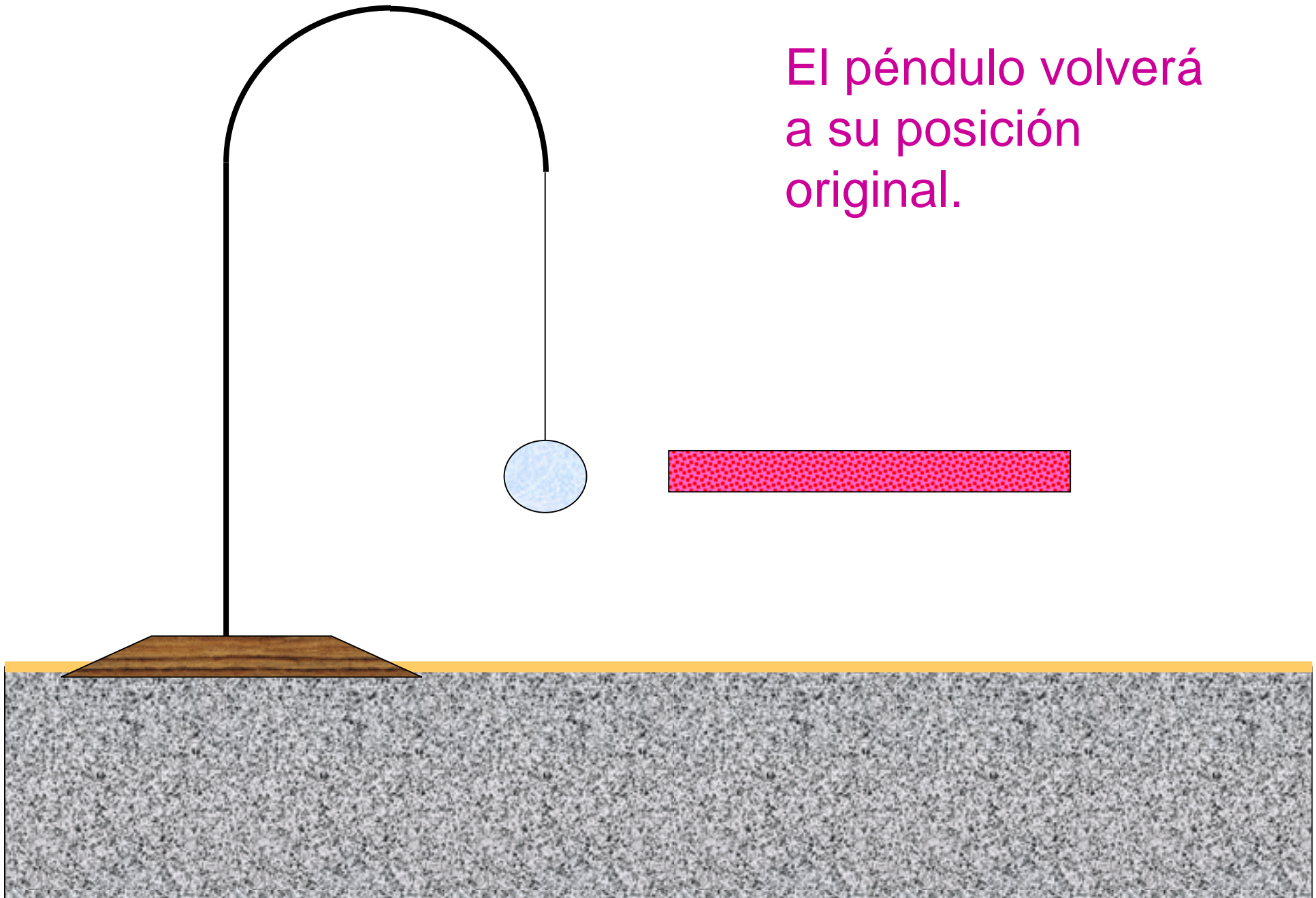


El péndulo volverá
a su posición
original.

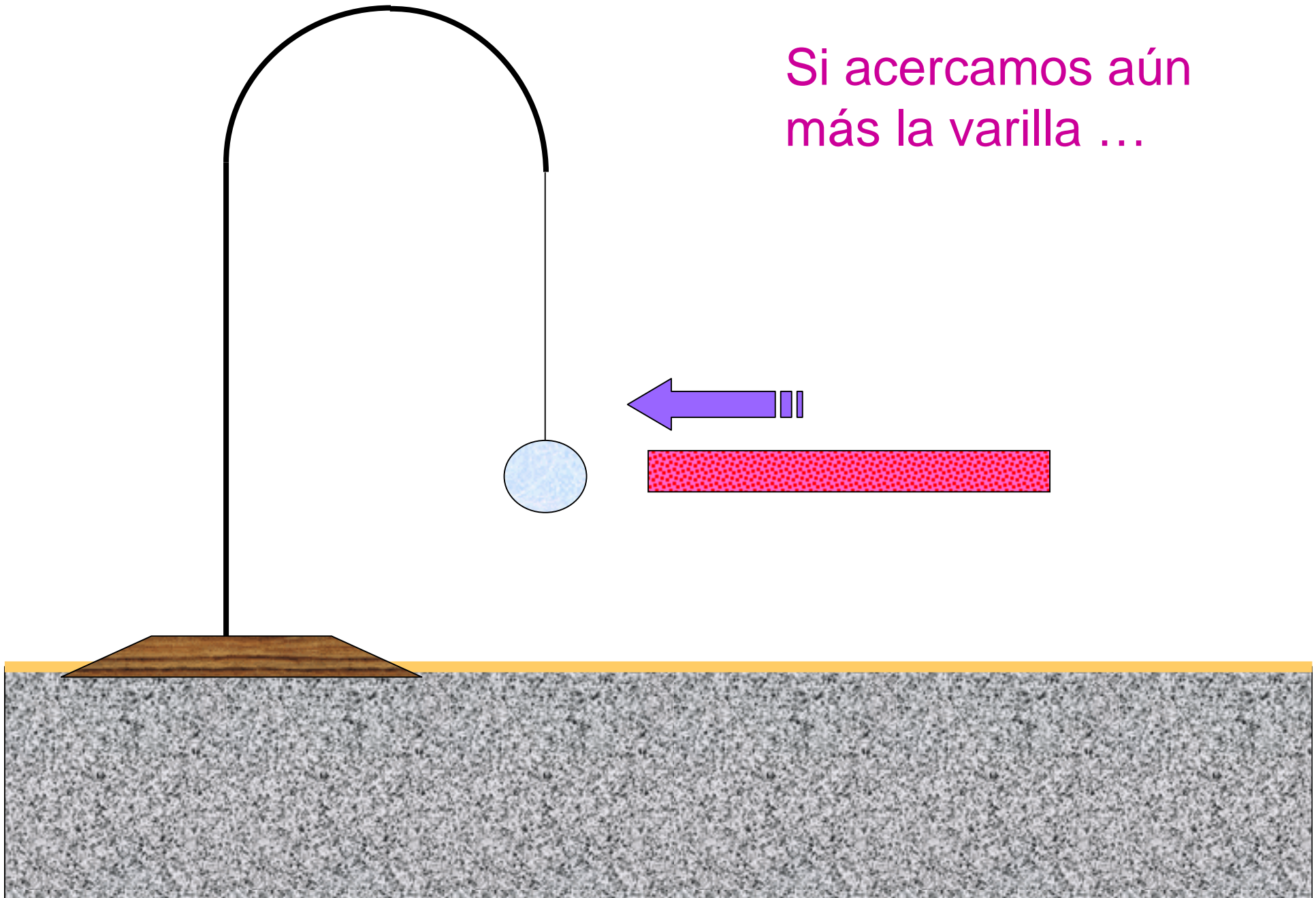
El péndulo volverá a su posición original.



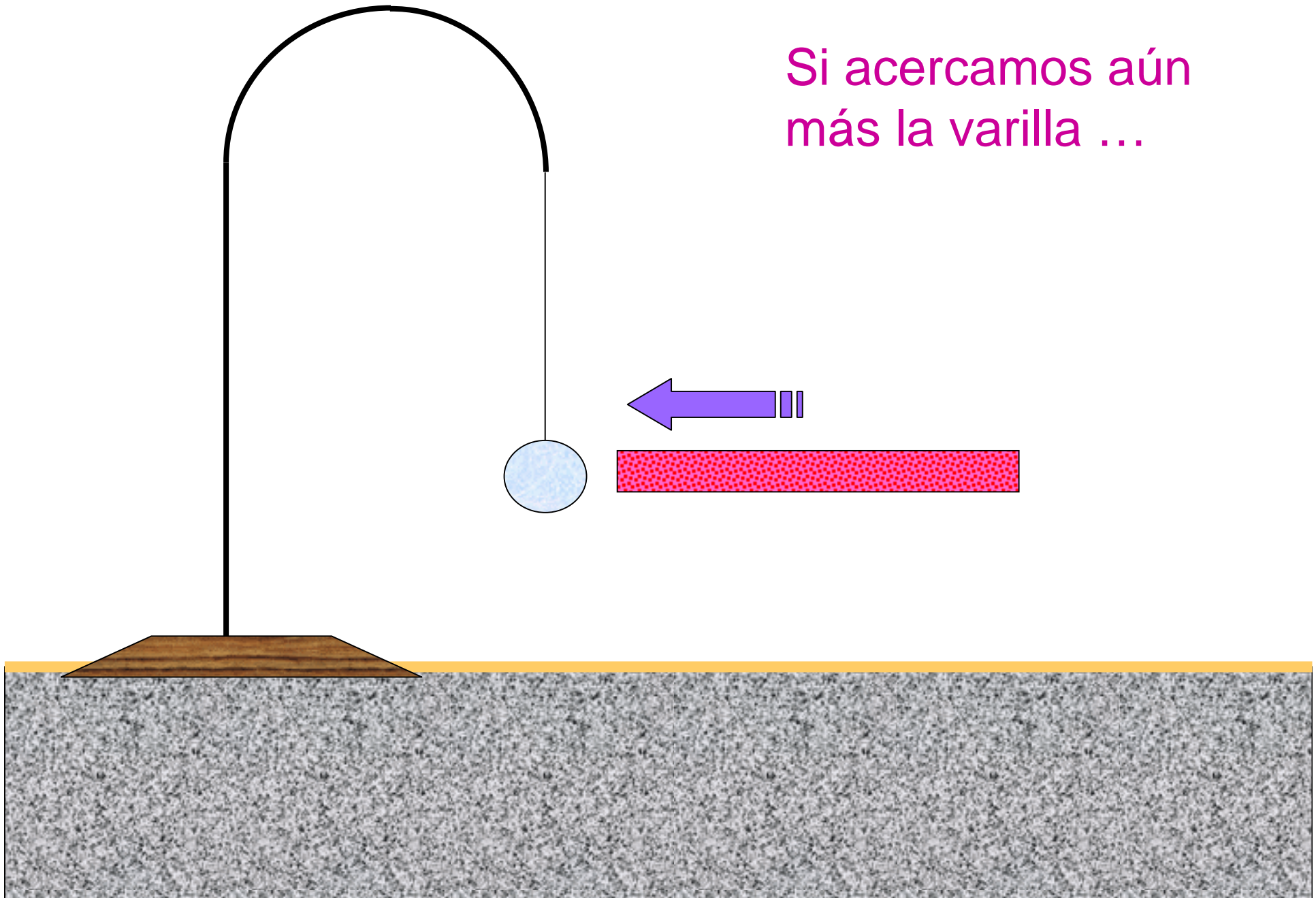
El péndulo volverá a su posición original.



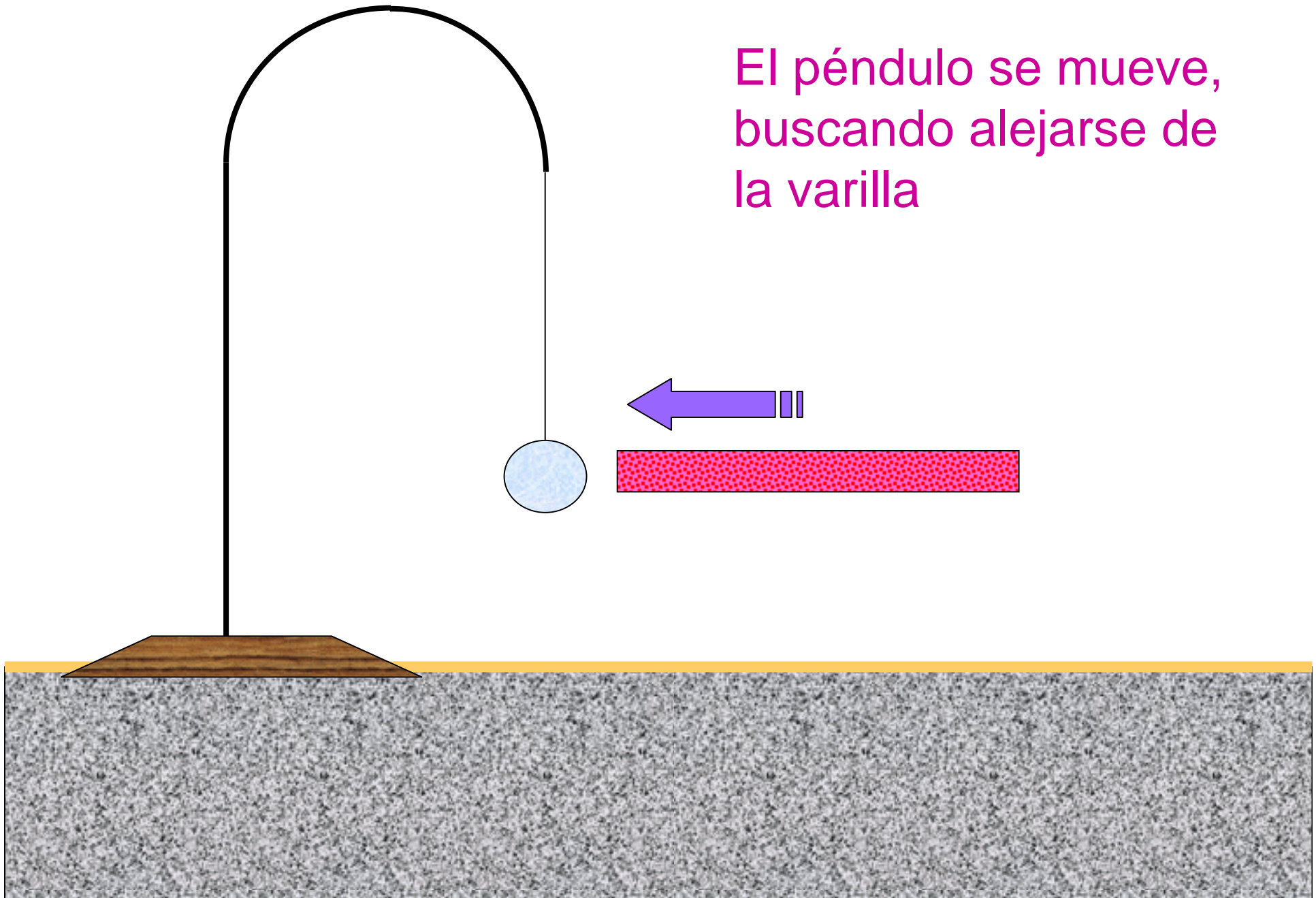
Si acercamos aún
más la varilla ...



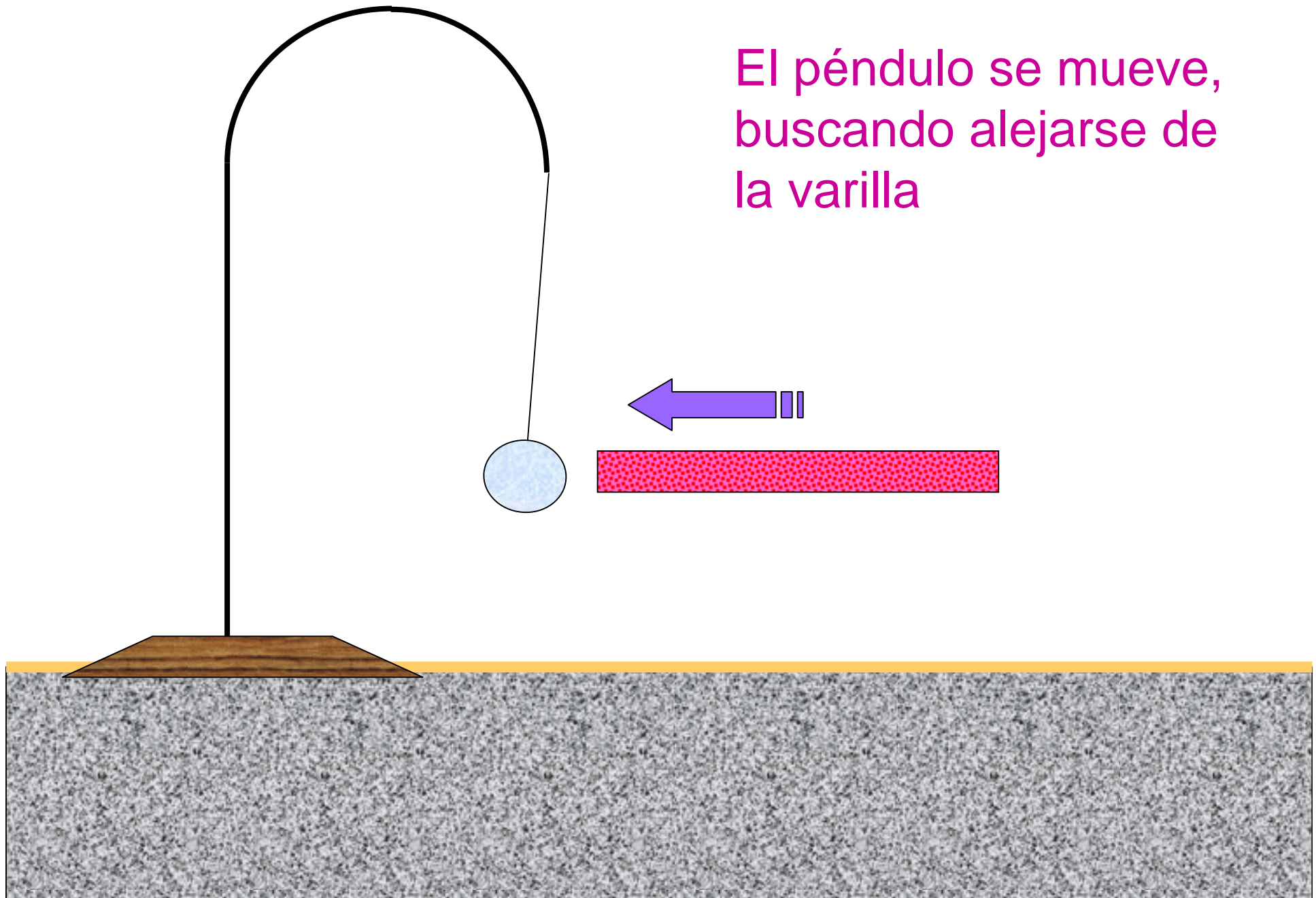
Si acercamos aún
más la varilla ...



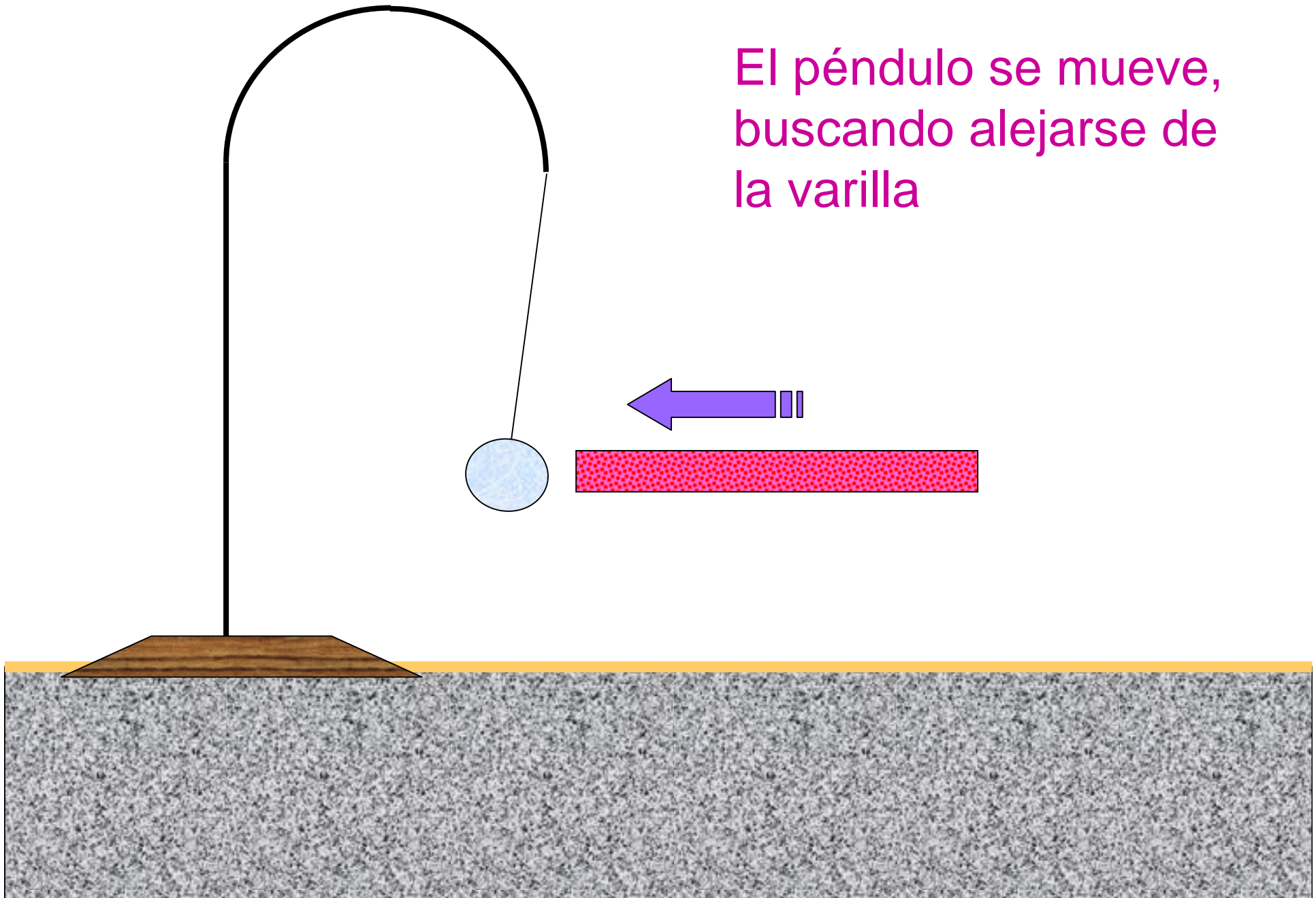
El péndulo se mueve,
buscando alejarse de
la varilla



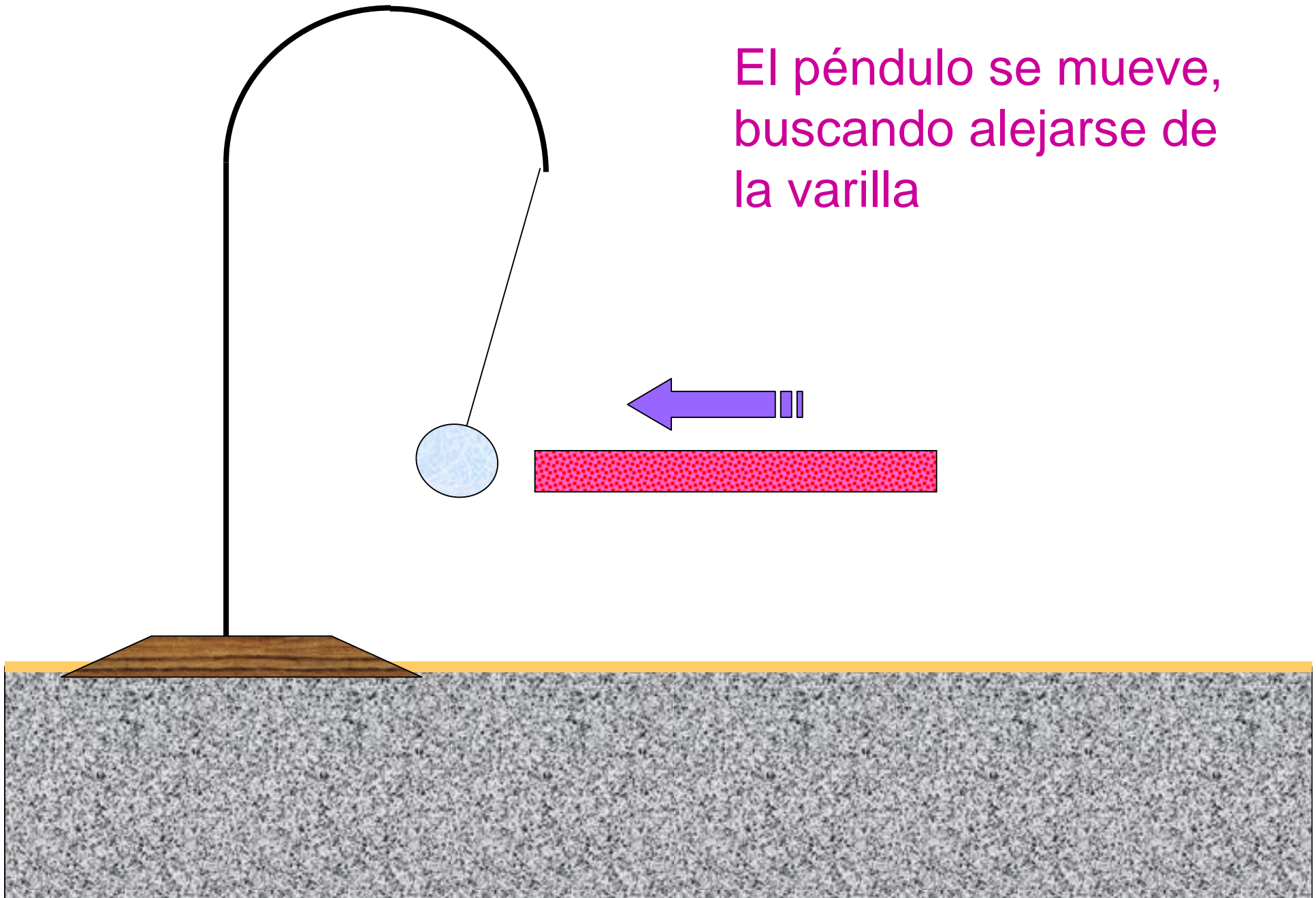
El péndulo se mueve,
buscando alejarse de
la varilla



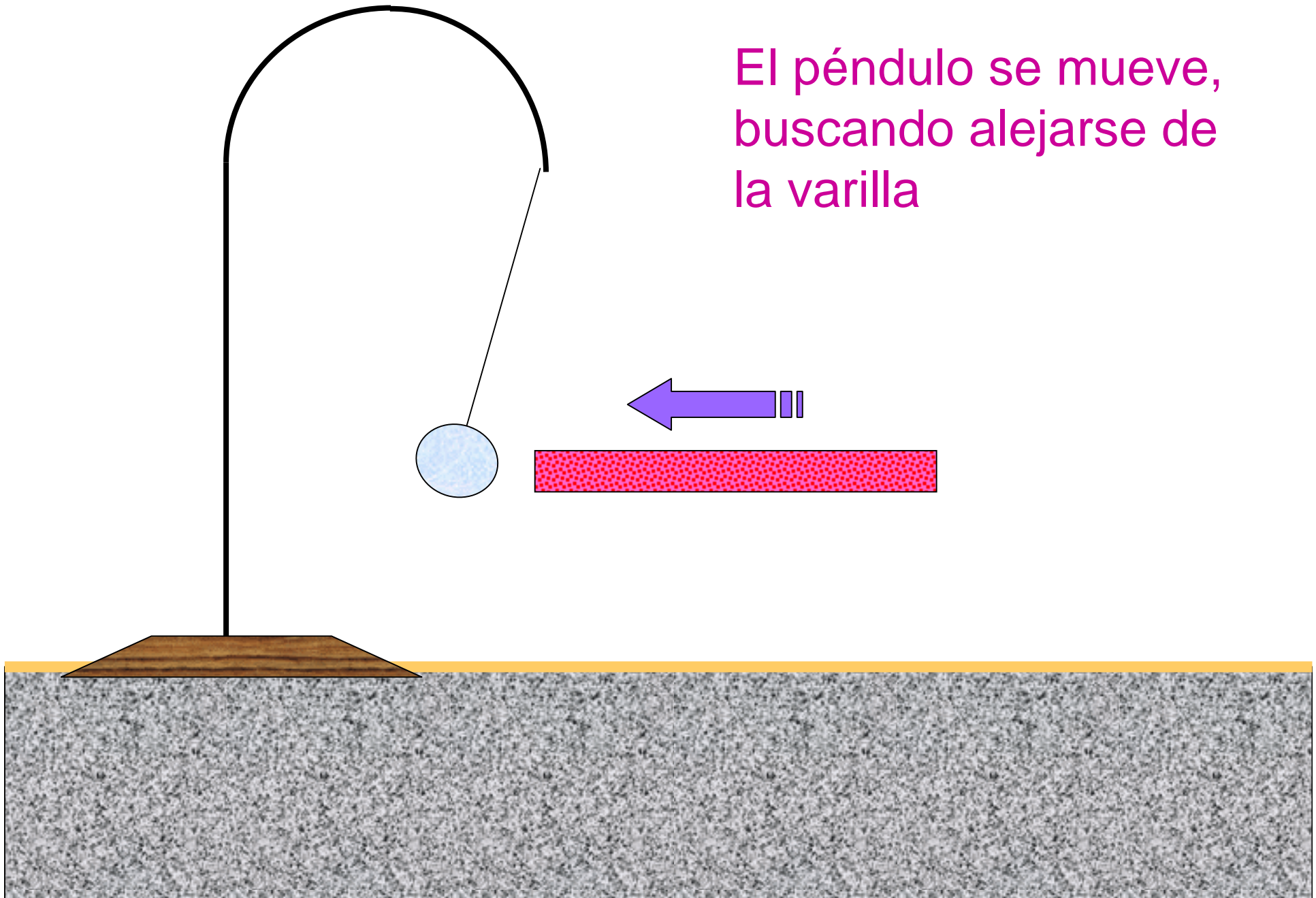
El péndulo se mueve,
buscando alejarse de
la varilla



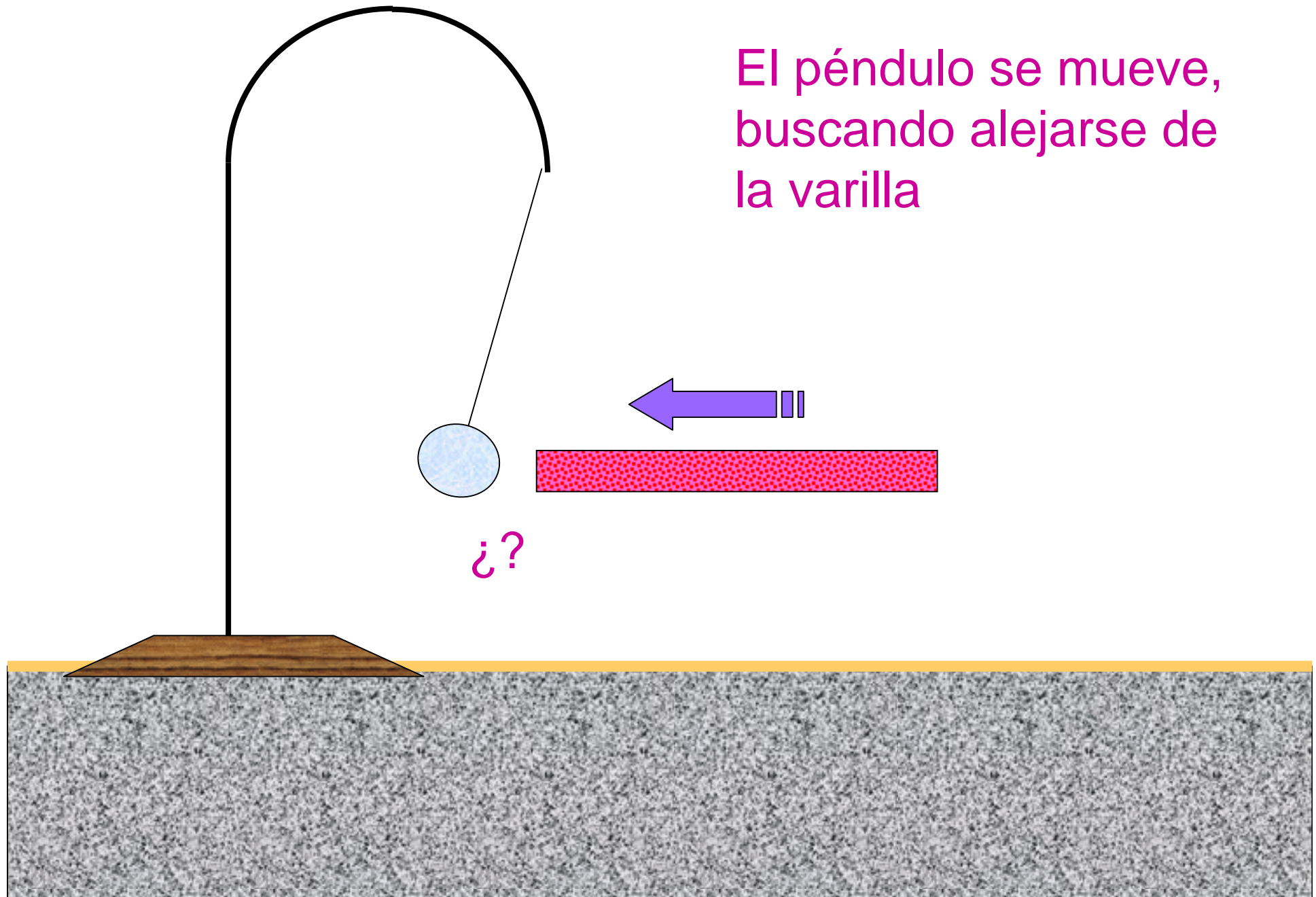
El péndulo se mueve,
buscando alejarse de
la varilla



El péndulo se mueve,
buscando alejarse de
la varilla



El péndulo se mueve,
buscando alejarse de
la varilla



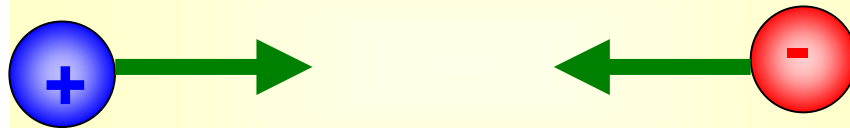
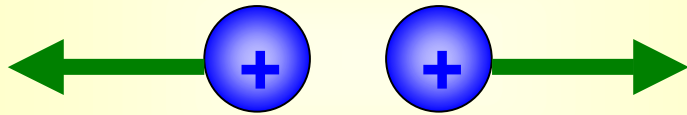
¿por qué ocurre esto?

Recordemos:

- Cargas de igual tipo (signo), se rechazan
- Cargas de distinto tipo, se atraen

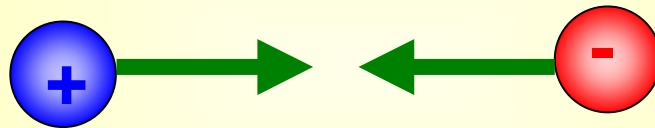
Recordemos:

- Cargas de igual tipo (signo), se rechazan
- Cargas de distinto tipo, se atraen



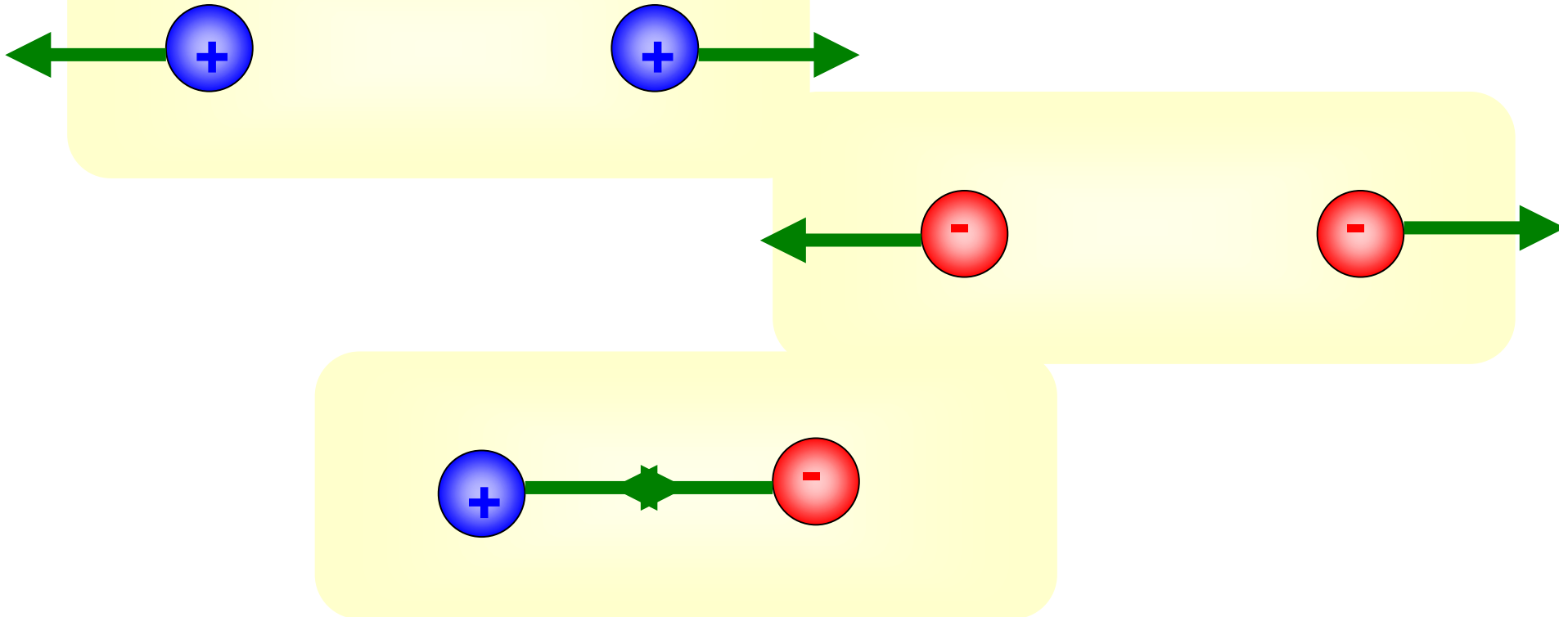
Recordemos:

- Cargas de igual tipo (signo), se rechazan
- Cargas de distinto tipo, se atraen



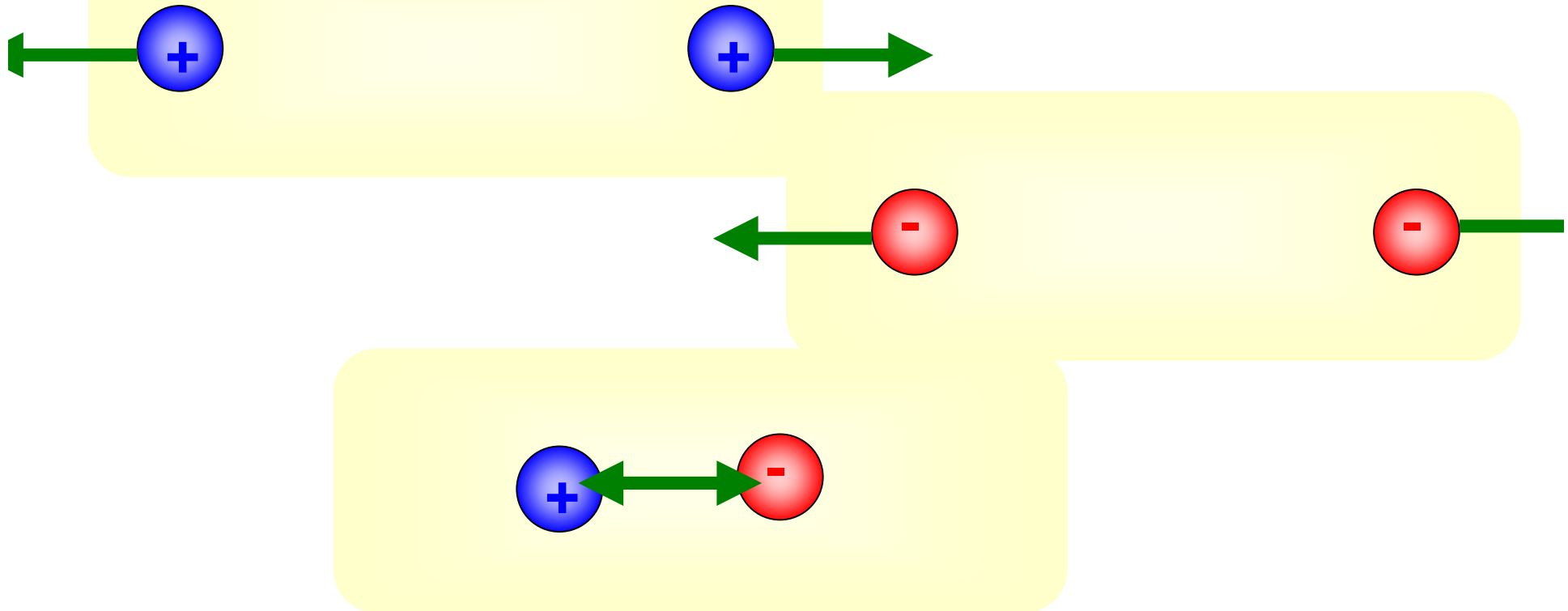
Recordemos:

- Cargas de igual tipo (signo), se rechazan
- Cargas de distinto tipo, se atraen



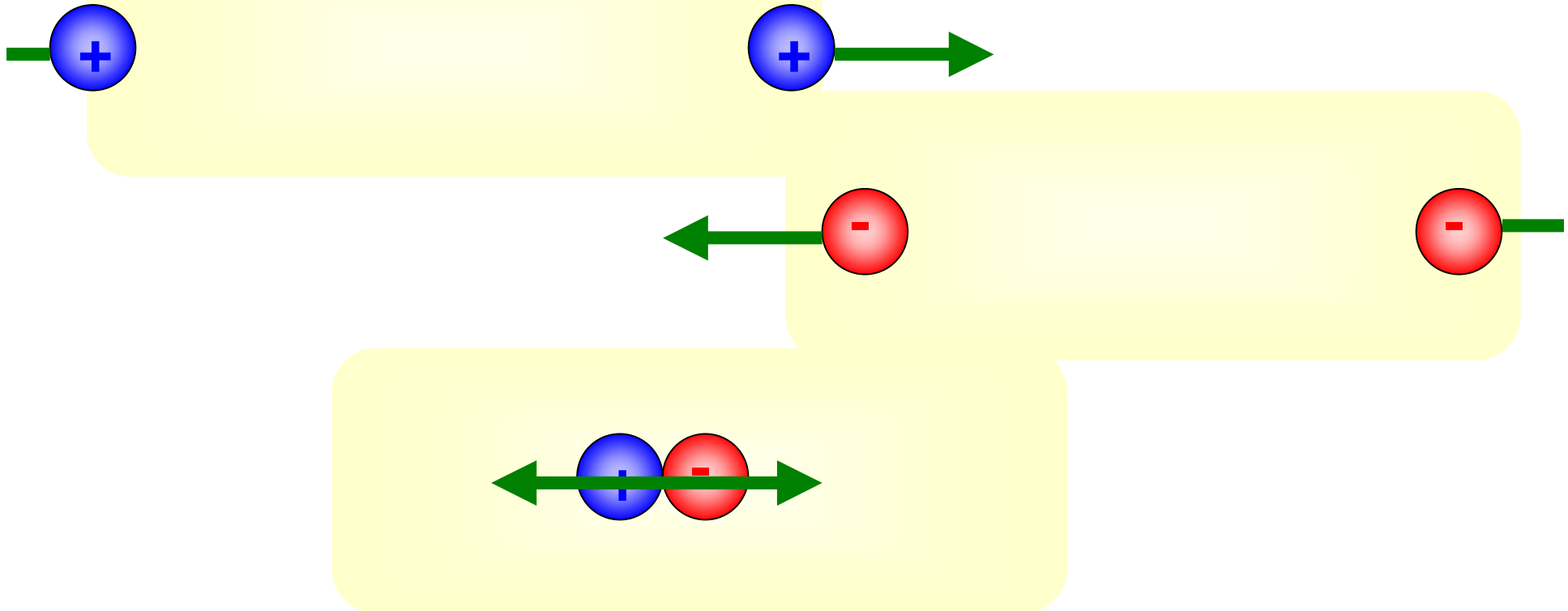
Recordemos:

- Cargas de igual tipo (signo), se rechazan
- Cargas de distinto tipo, se atraen



Recordemos:

- Cargas de igual tipo (signo), se rechazan
- Cargas de distinto tipo, se atraen

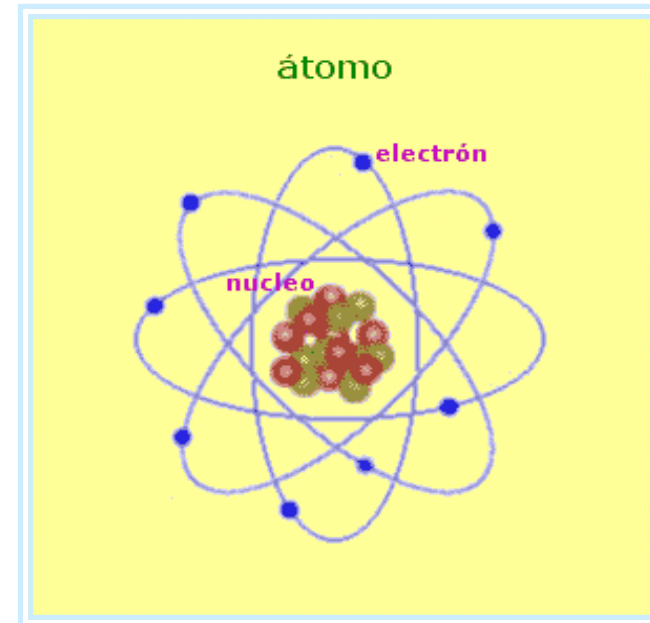


Recordemos:

- Podemos considerar al átomo como un núcleo conteniendo a las partículas con carga positiva (protones) y a los electrones (con carga negativa) orbitando alrededor
- Además los electrones son casi 2000 veces menos masivos que los protones

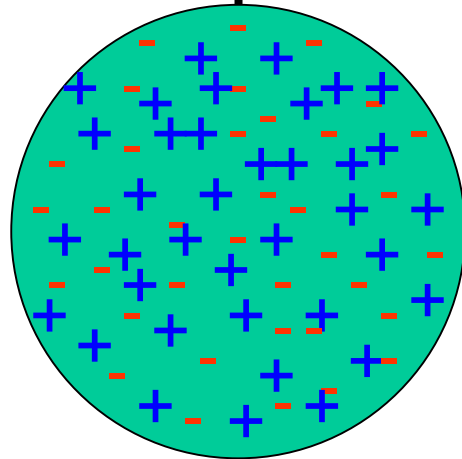
Recordemos:

- Podemos considerar al átomo como un núcleo conteniendo a las partículas con carga positiva (protones) y a los electrones (con carga negativa) orbitando alrededor
- Además los electrones son casi 2000 veces menos masivos que los protones





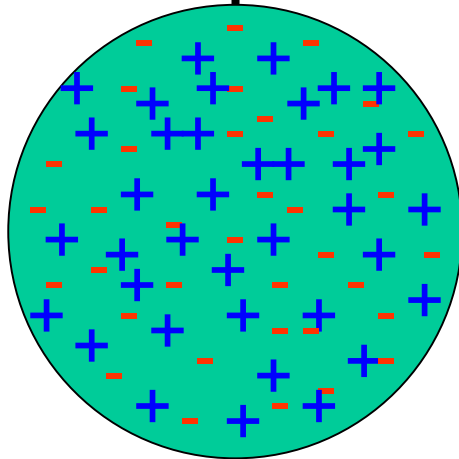
Partamos de un péndulo
electrostático, que en estado
neutro posee el mismo número
de cargas positivas y negativas



(N)



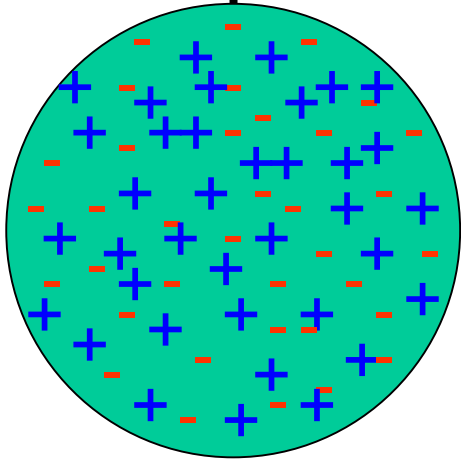
Tomemos también una varilla de acrílico



(N)



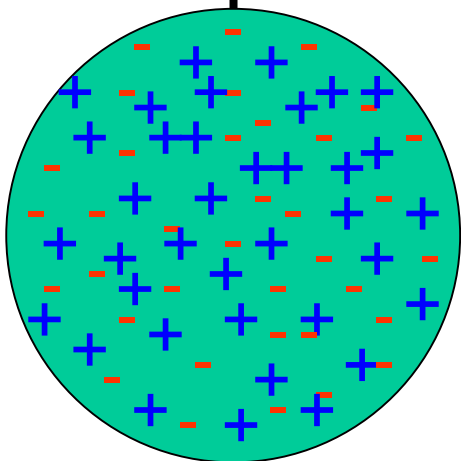
Y si un extremo de la misma fue frotado con un paño, lo habremos cargado negativamente por haber tomado electrones del paño.



(N)



Ese extremo, por lo tanto,
presenta una carga negativa,
que acercaremos a la bolita...



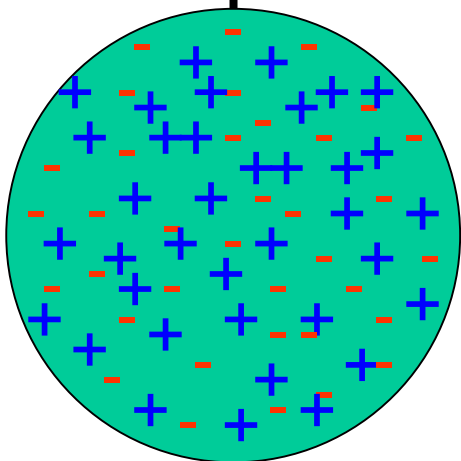
(N)



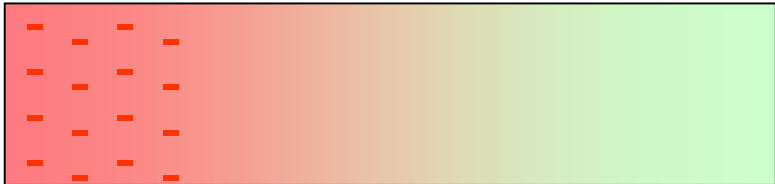
(-)



...de esta manera...



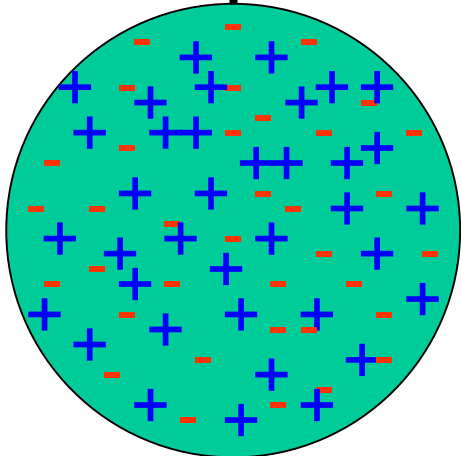
(N)



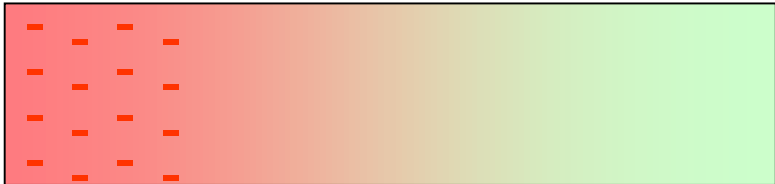
(-)



...afectando a las cargas dentro de la bolita, pues muchos de sus electrones se verán repelidos por la presencia de esta carga que se acerca.



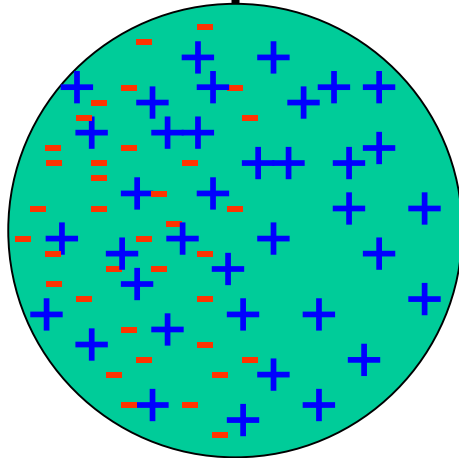
(N)



(-)



...afectando a las cargas dentro de la bolita, pues muchos de sus electrones se verán repelidos por la presencia de esta carga que se acerca.



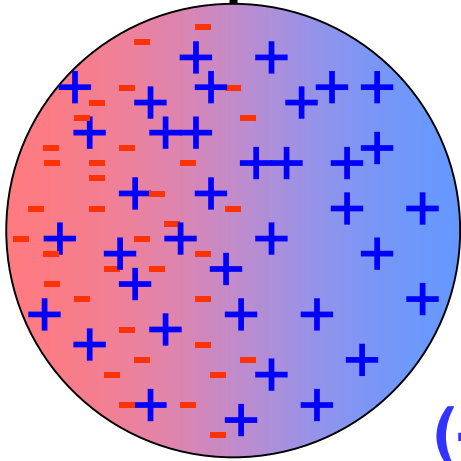
(N)



(-)



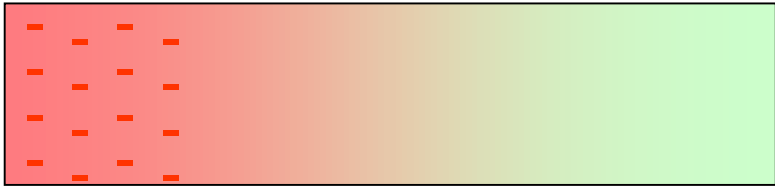
Así la bolita sufre una redistribución de cargas, quedando la zona más cercana a la varilla con carga positiva, y el sector opuesto con carga negativa.



(-)

(+)

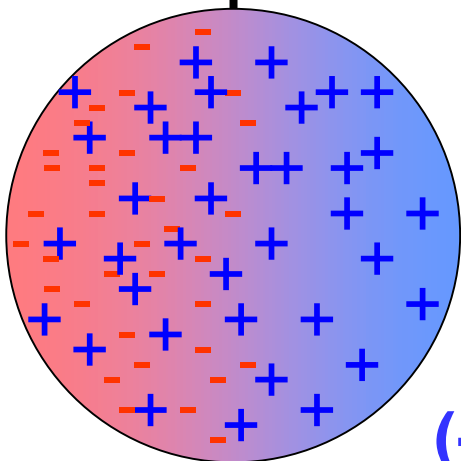
(N)



(-)



La consecuencia de esto es la atracción, resultado de enfrentar cargas de distinto signo.



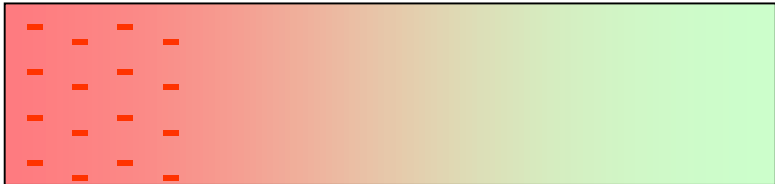
(-)

(N)

(+)

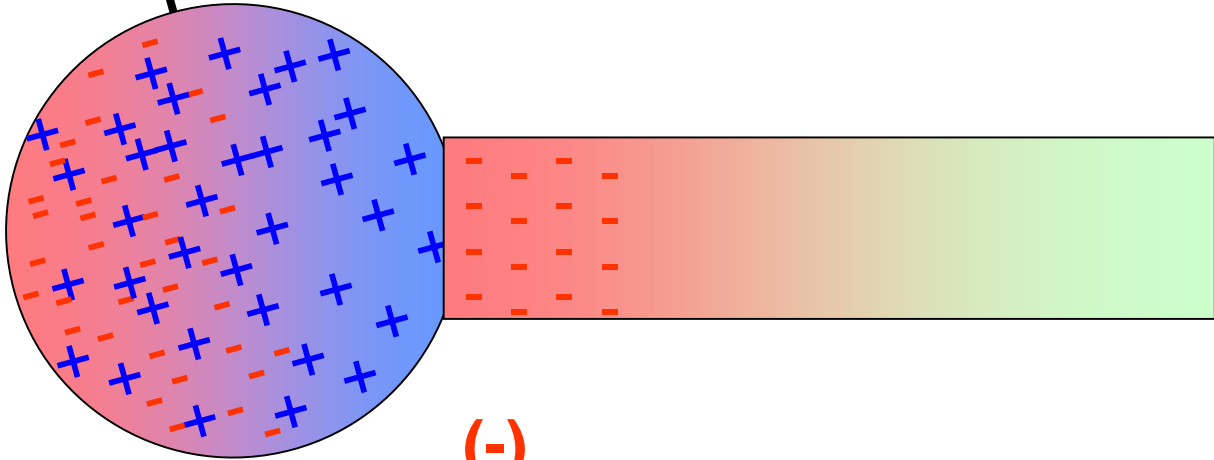


(-)





La bolita entra en contacto con la varilla



(-)

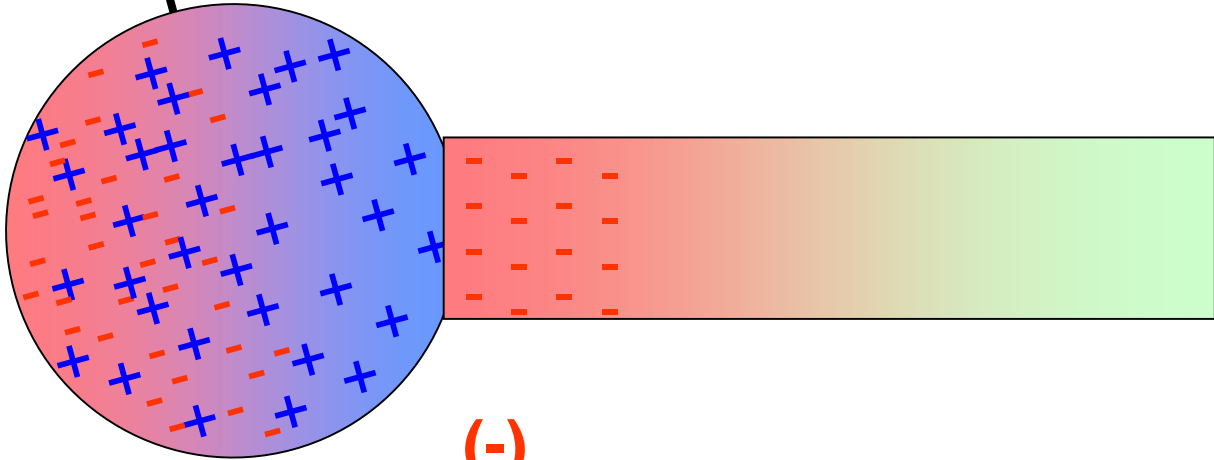
(N)

(+)

(-)



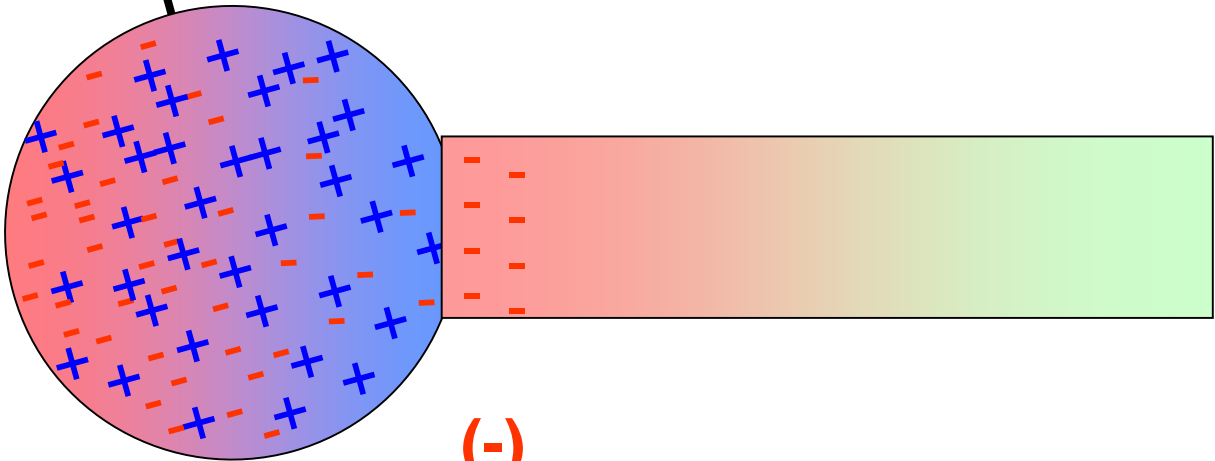
En ese contacto, unos cuantos electrones pasan de la varilla a la bolita para equilibrar las cargas...



(-) (+) (-)
(N)



En ese contacto, unos cuantos electrones pasan de la varilla a la bolita para equilibrar las cargas...

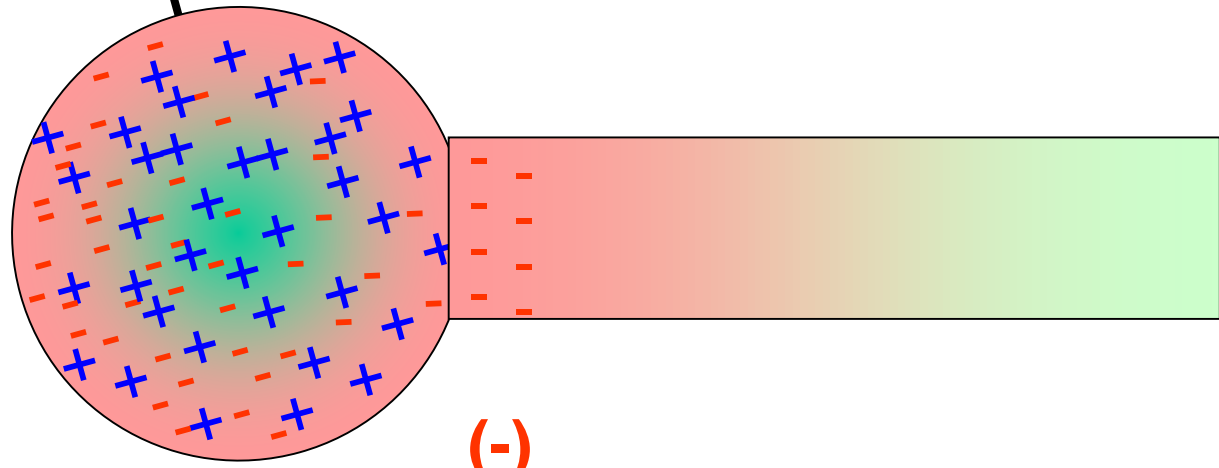


(-)

(-)



... y entonces la bolita se carga negativamente por tener un exceso de electrones...

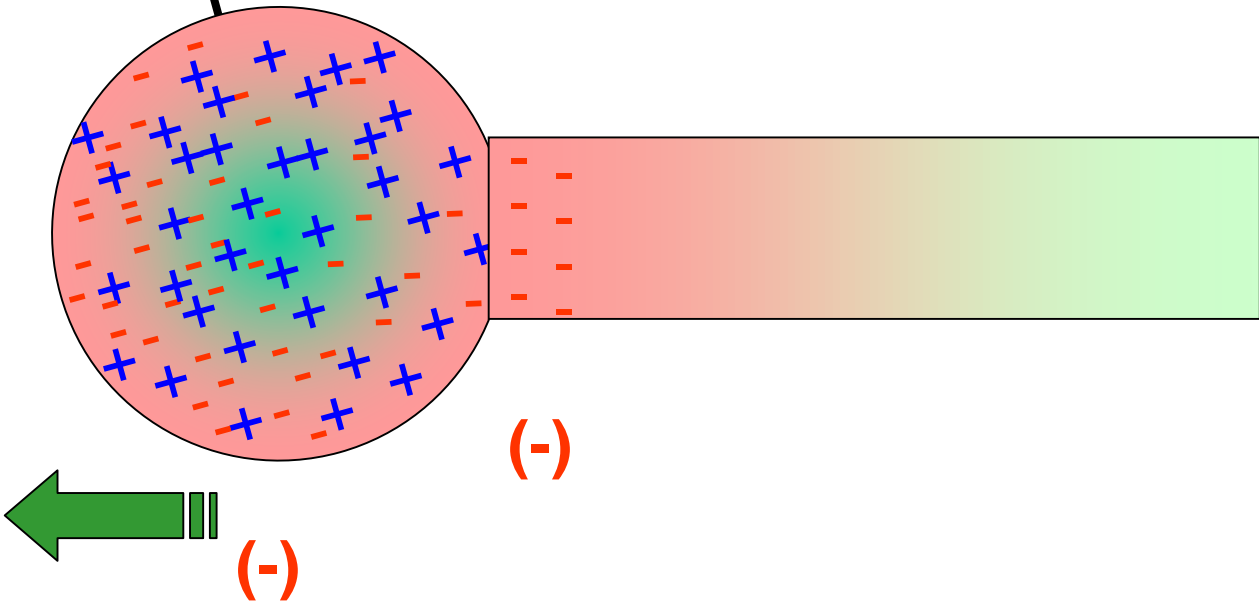


(-)

(-)

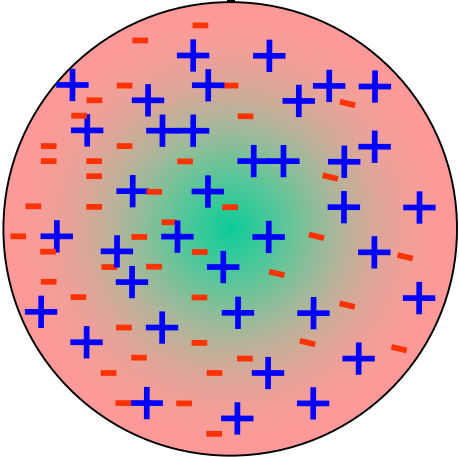


... lo que provoca ahora, que haya repulsión entre ambos.

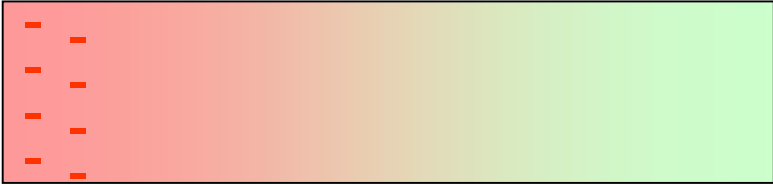




Si queremos repetir la operación:



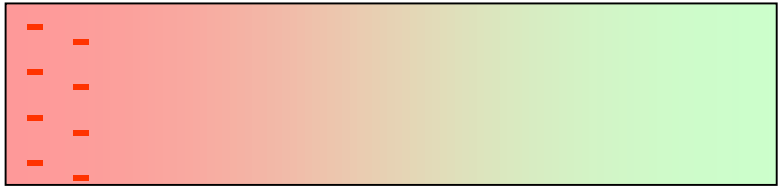
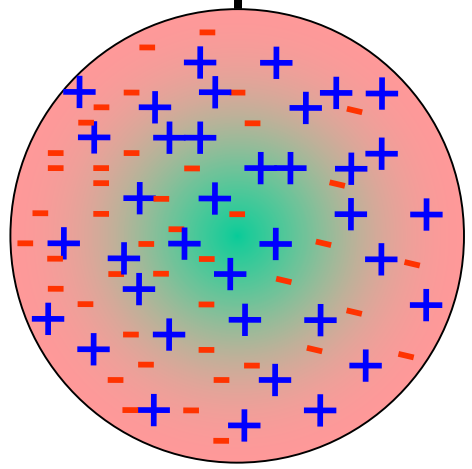
(-)



(-)



Acercar la varilla...

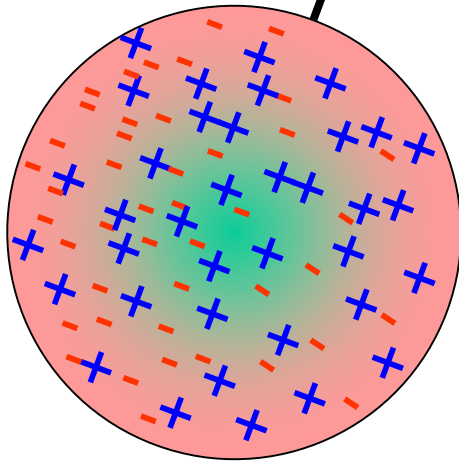


(-)

(-)



...aleja la bolita.

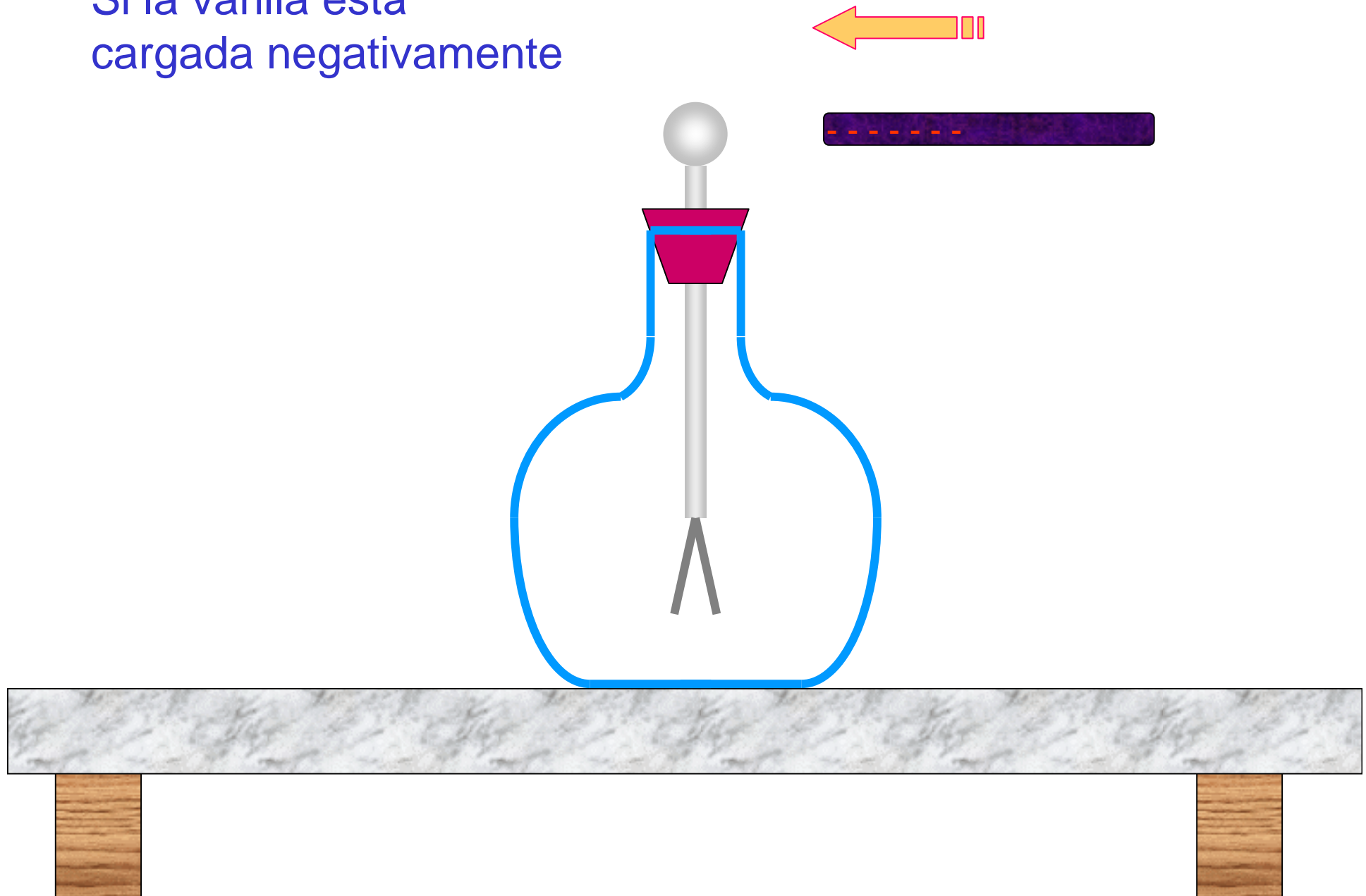


(-)



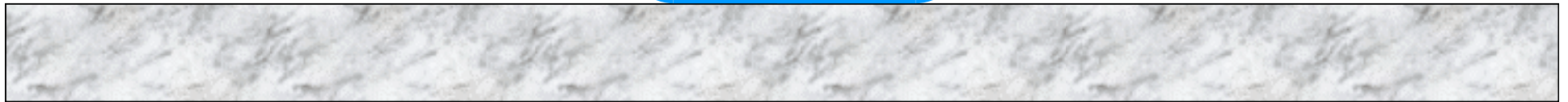
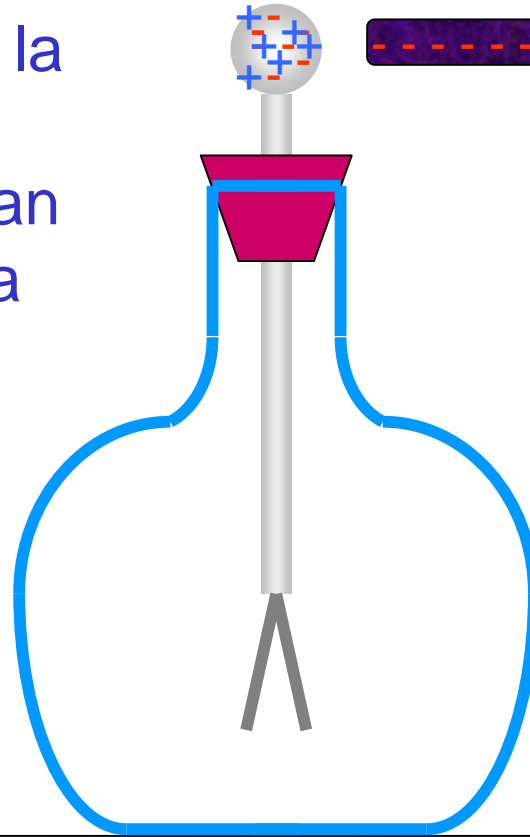
(-)

Si la varilla está cargada negativamente



Si la varilla está
cargada negativamente

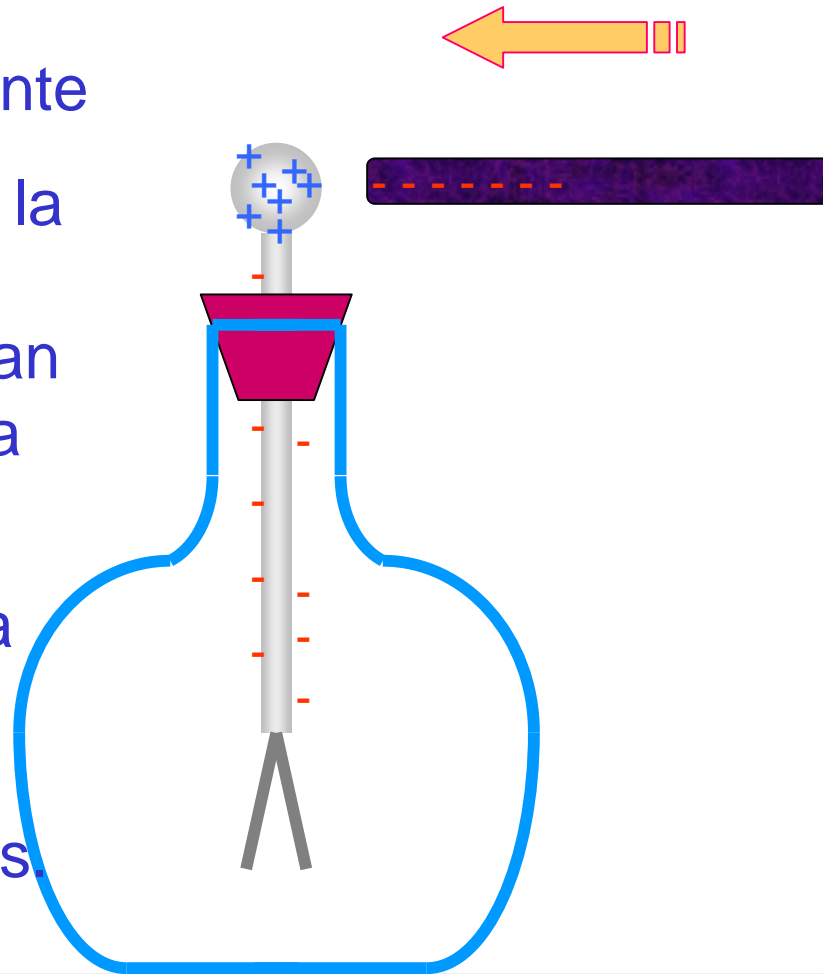
Habrán electrones en la
esferita que serán
repelidos y se alejaran
desplazándose hacia
abajo



Si la varilla está cargada negativamente

Habrán electrones en la esferita que serán repelidos y se alejarán desplazándose hacia abajo

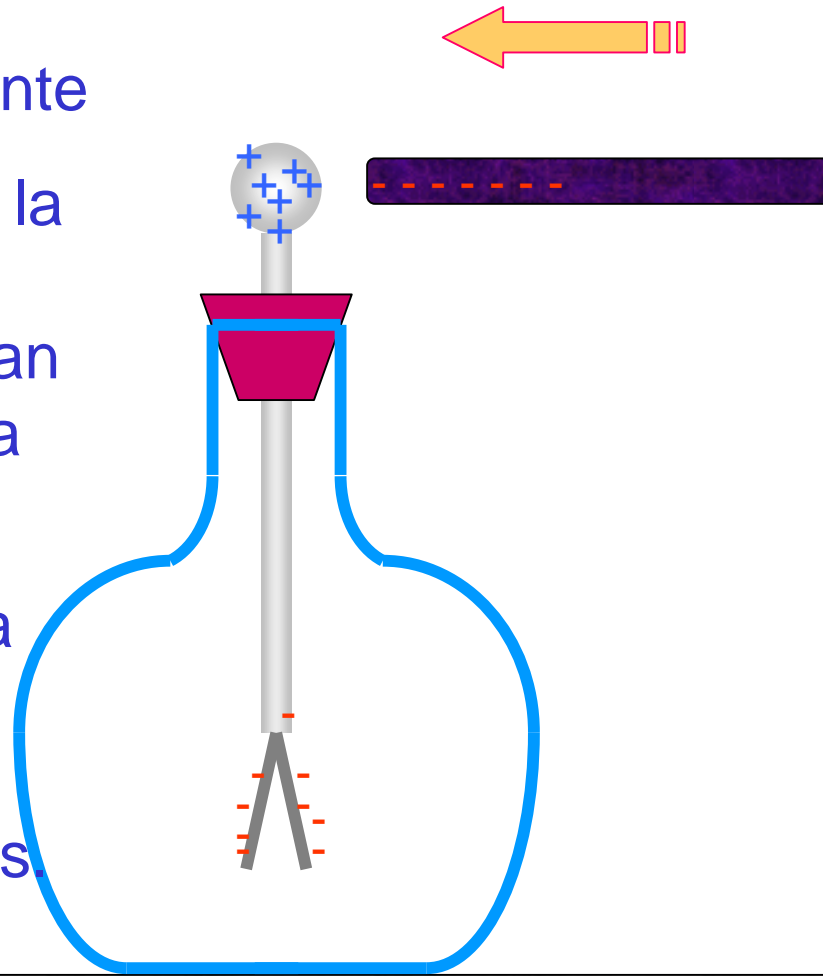
Y al mismo tiempo la esferita se carga positivamente por defecto de electrones.



Si la varilla está
cargada negativamente

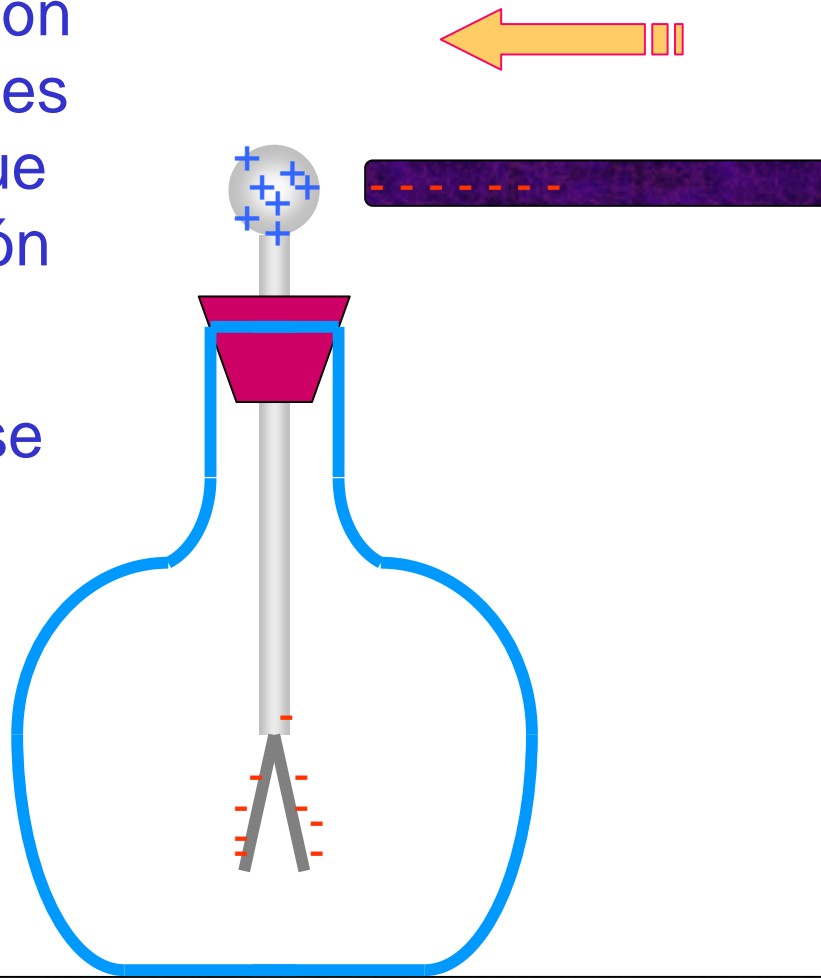
Habrán electrones en la
esferita que serán
repelidos y se alejarán
desplazándose hacia
abajo

Y al mismo tiempo la
esferita se carga
positivamente por
defecto de electrones.



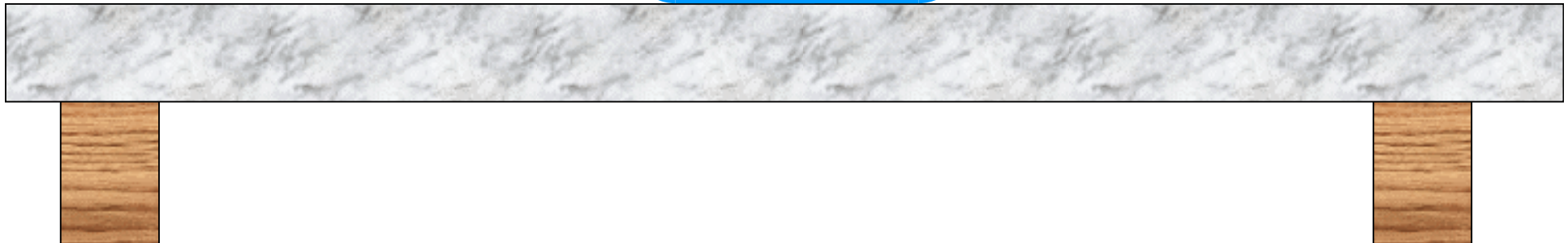
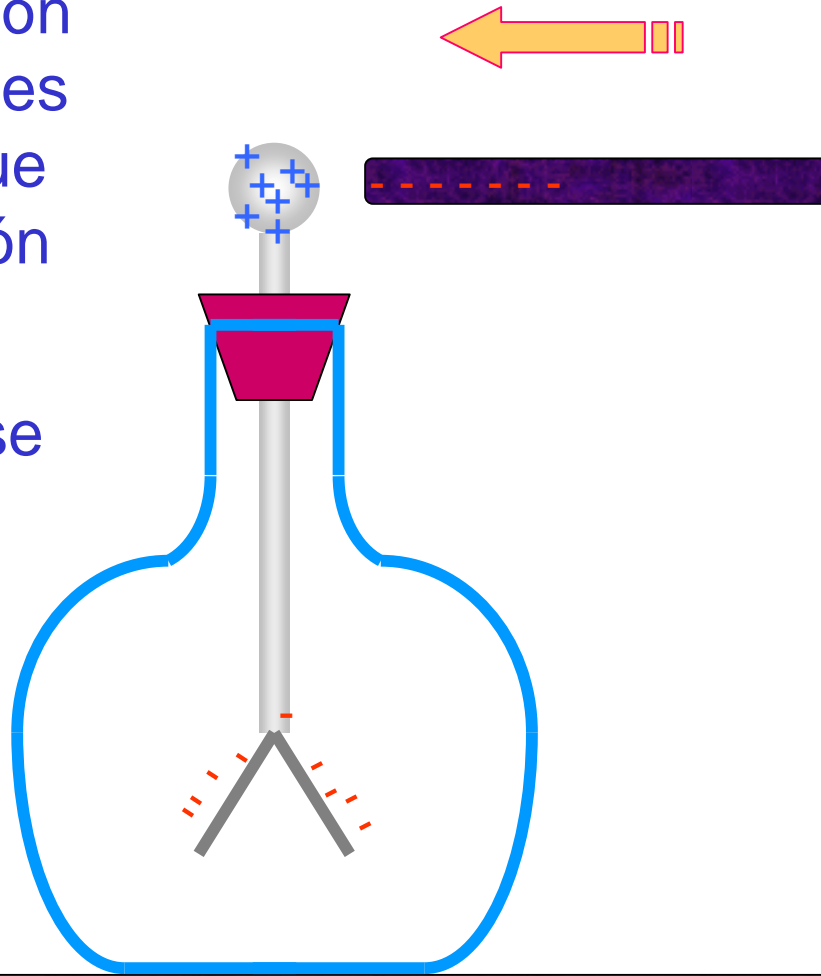
Hay una concentración
excesiva de electrones
en la hojas, por lo que
aparece una repulsión
entre ambas.

Como son livianas,
se levantan

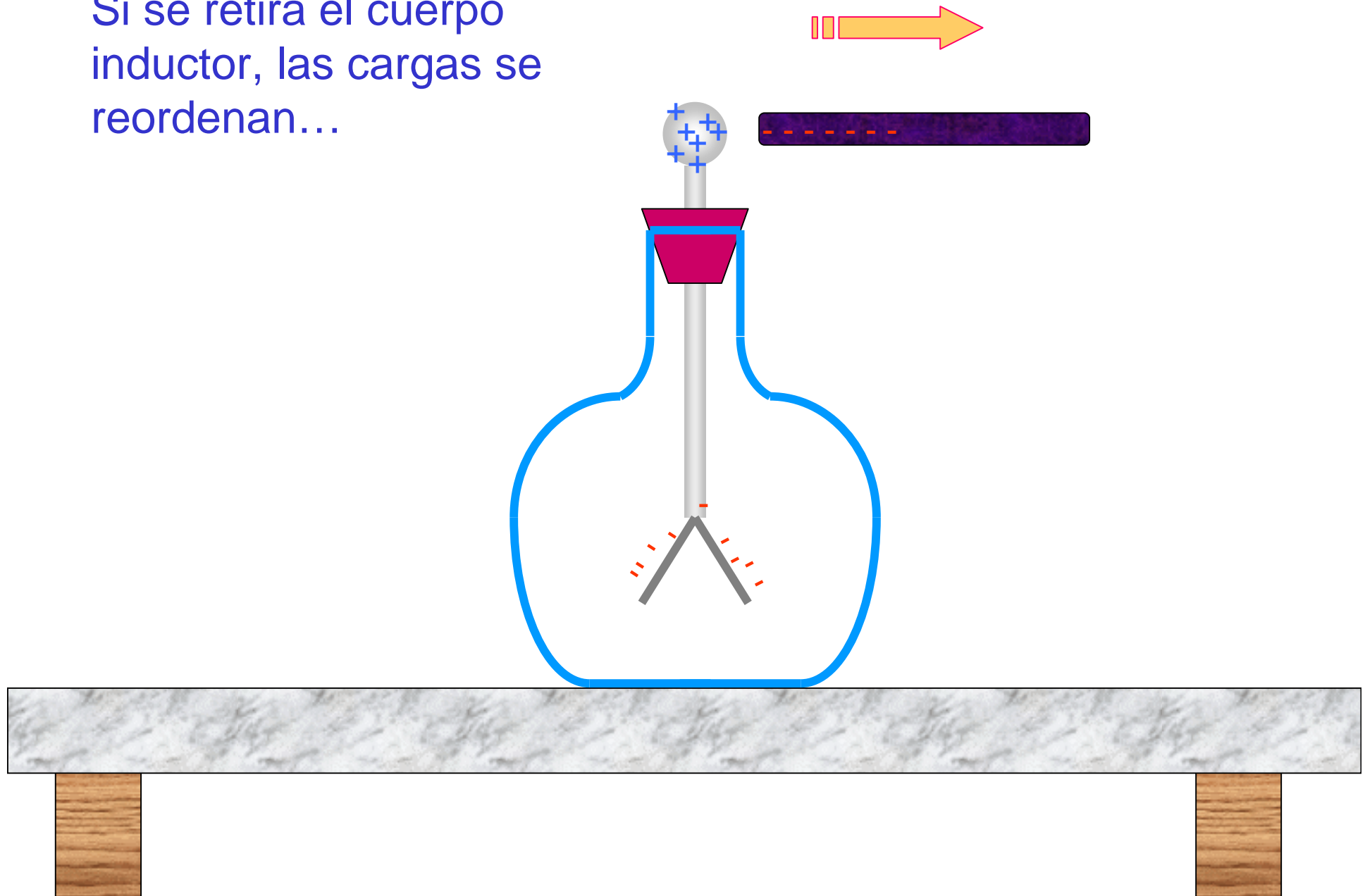


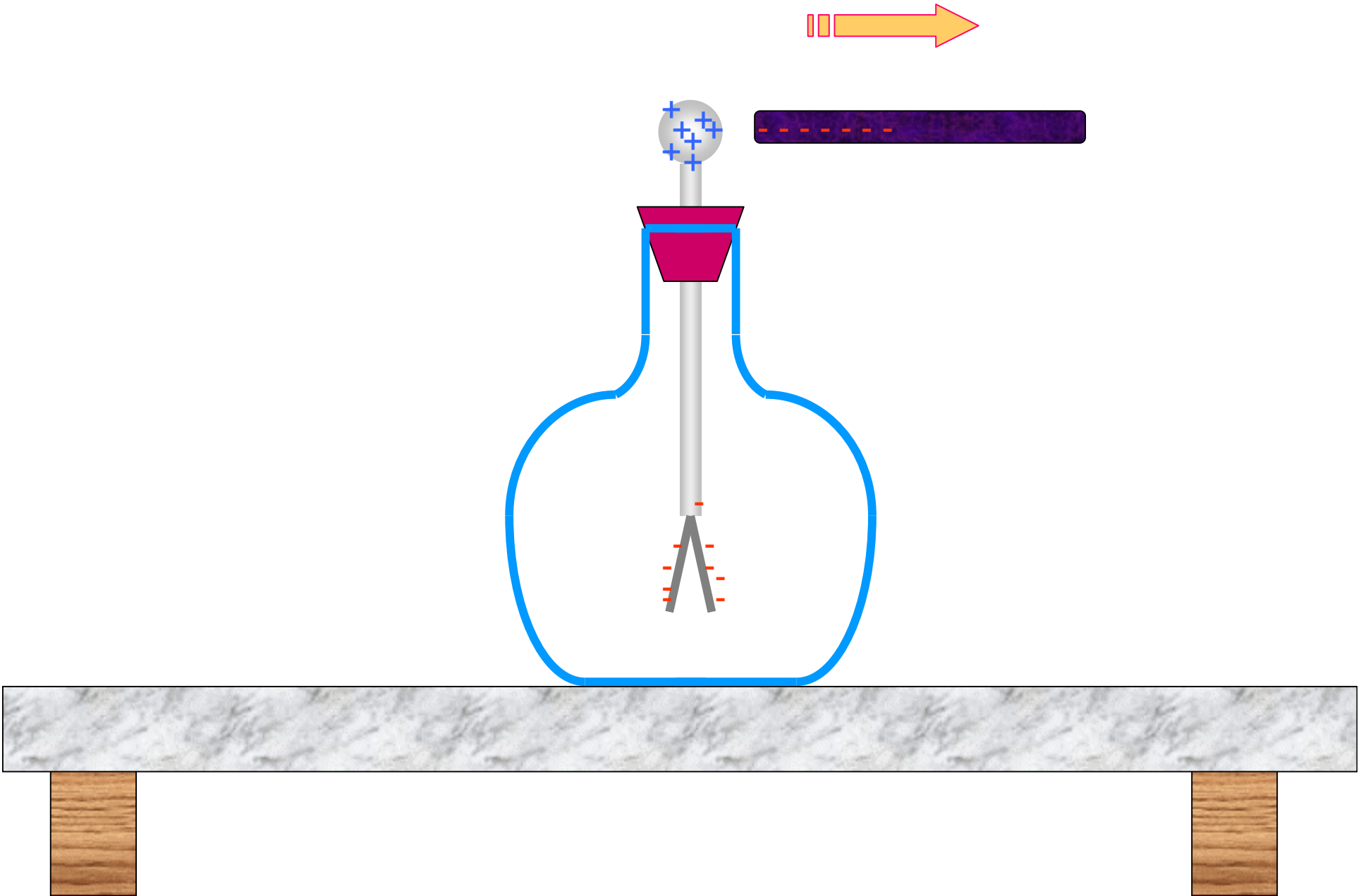
Hay una concentración
excesiva de electrones
en la hojas, por lo que
aparece una repulsión
entre ambas.

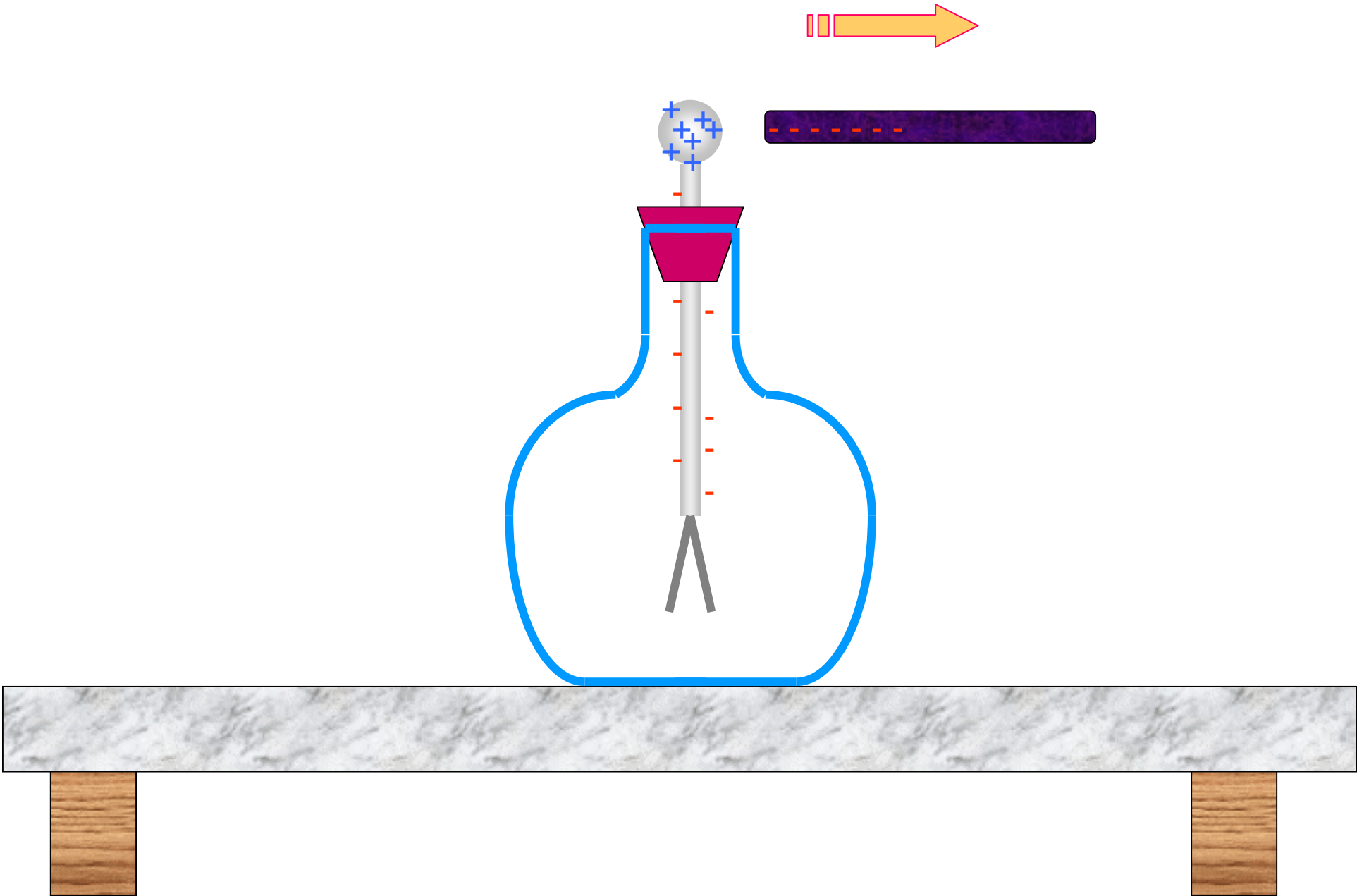
Como son livianas,
se levantan

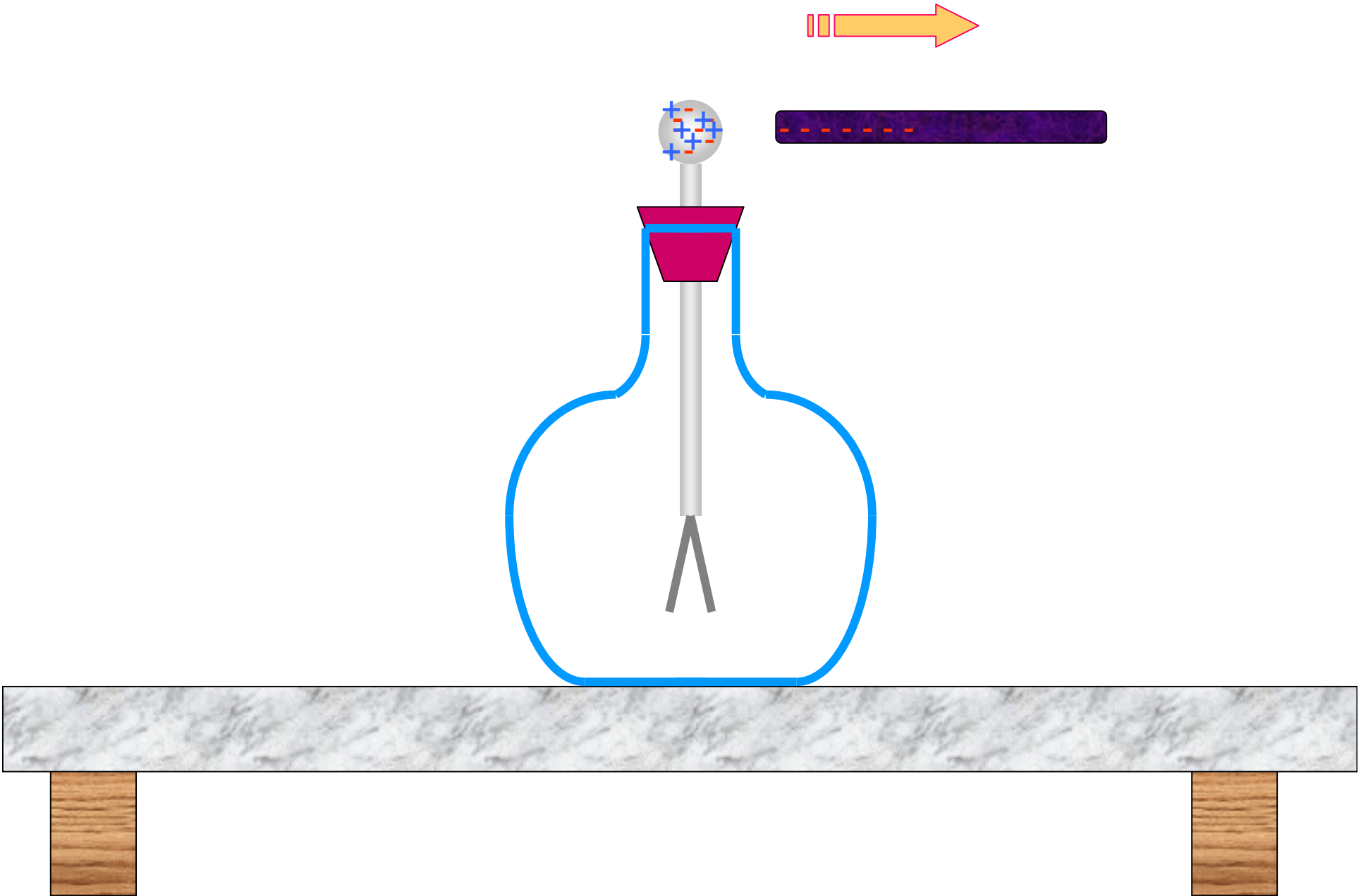


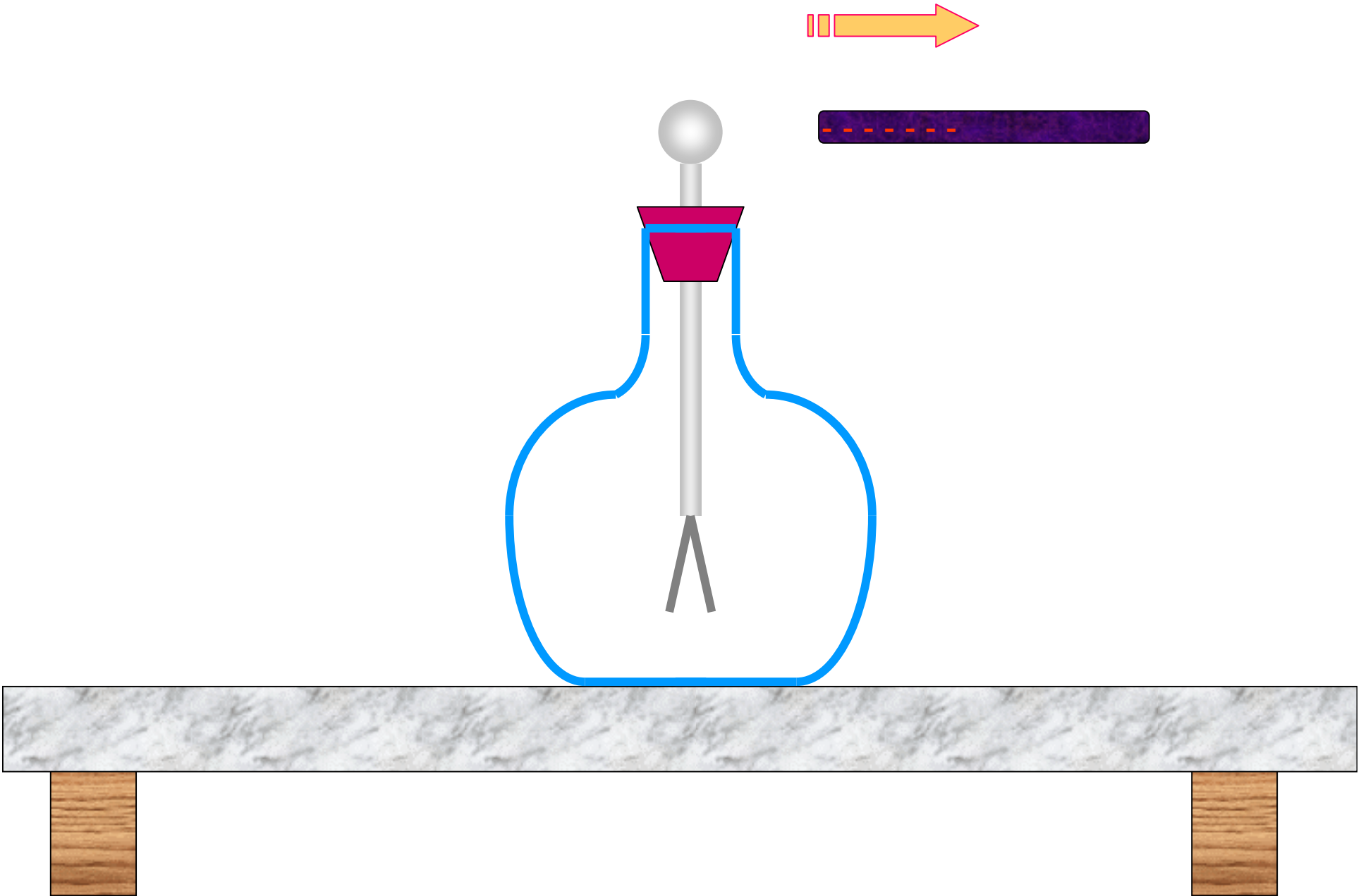
Si se retira el cuerpo inductor, las cargas se reordenan...



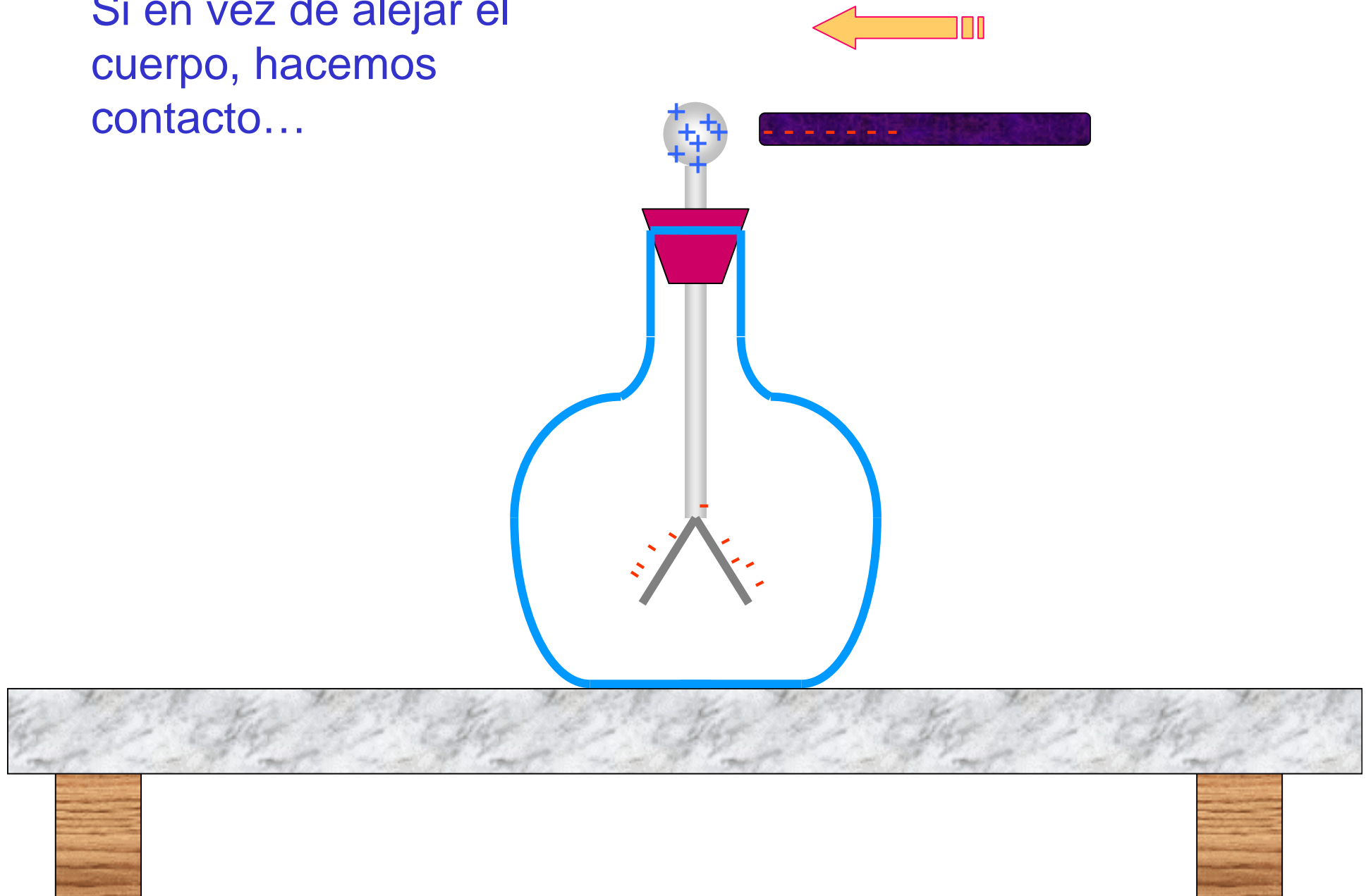




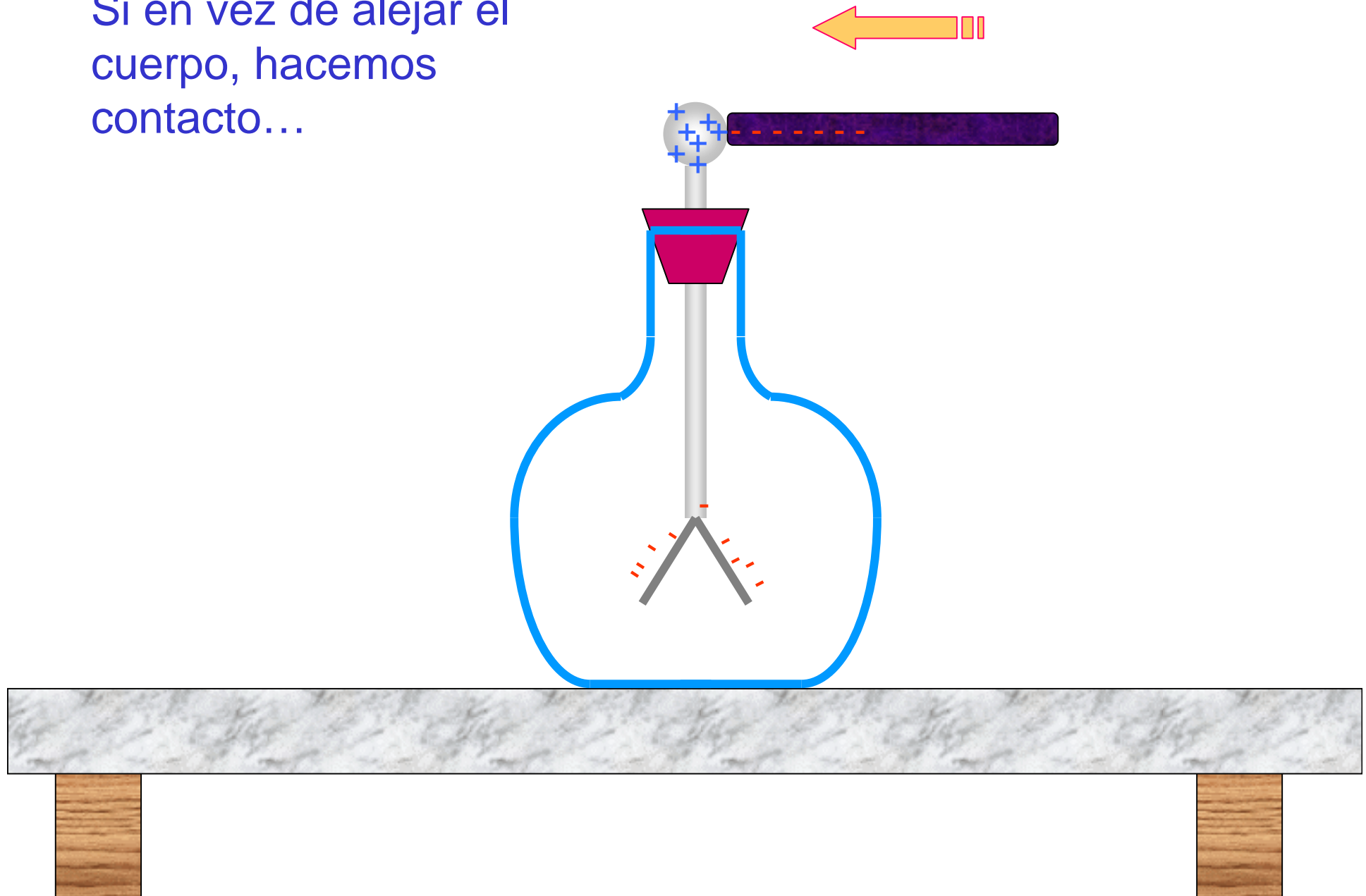




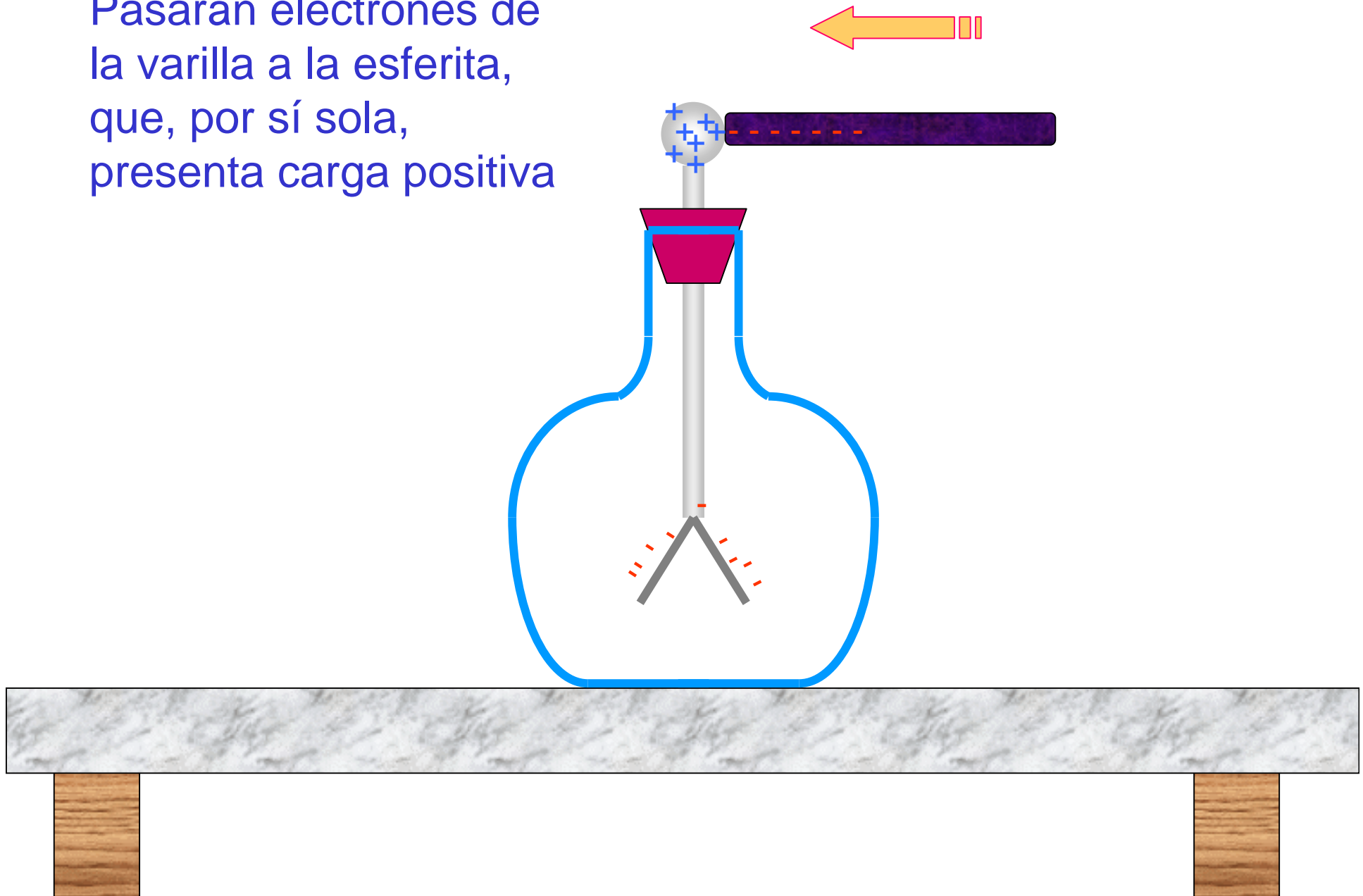
Si en vez de alejar el cuerpo, hacemos contacto...



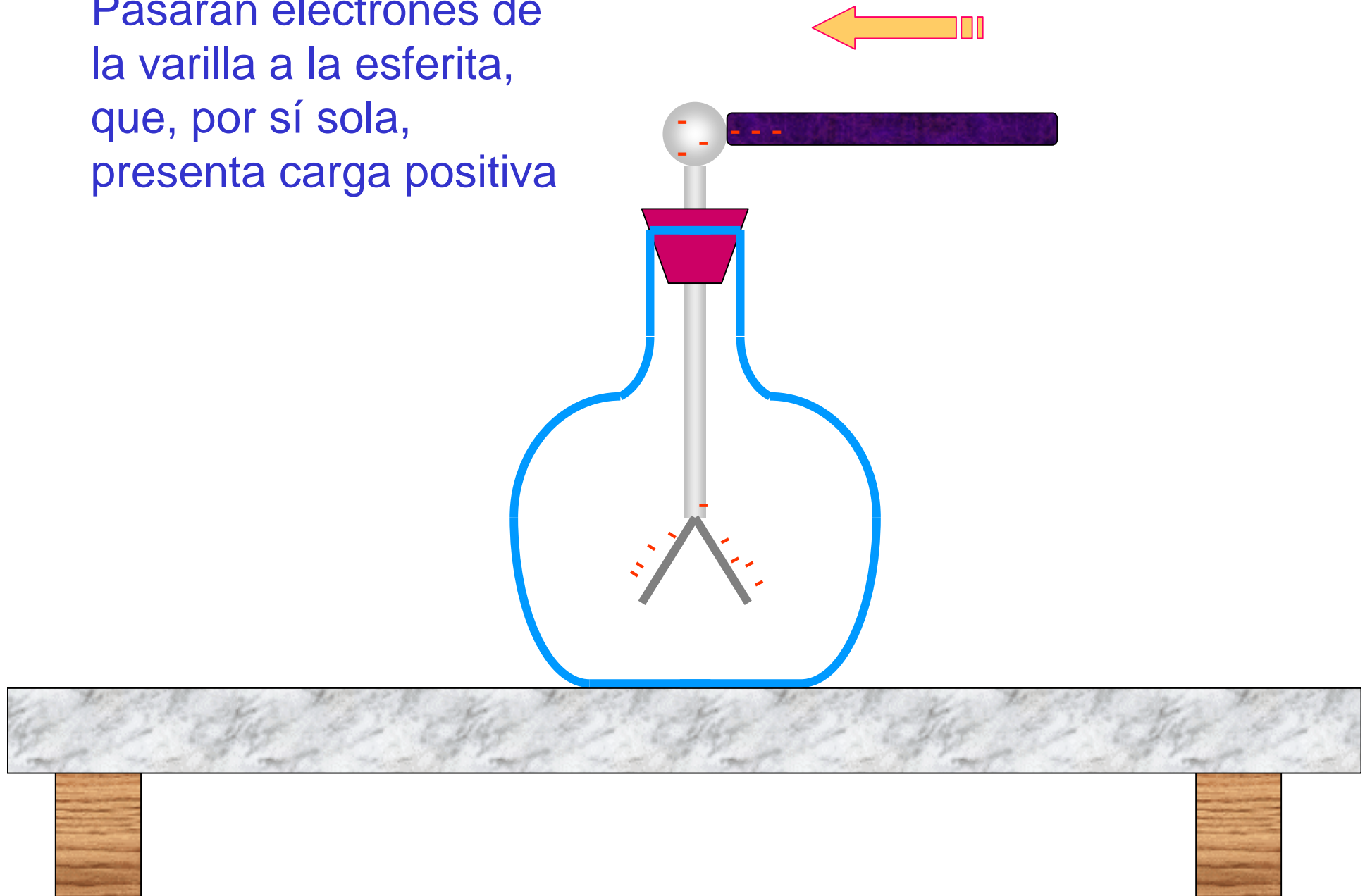
Si en vez de alejar el cuerpo, hacemos contacto...



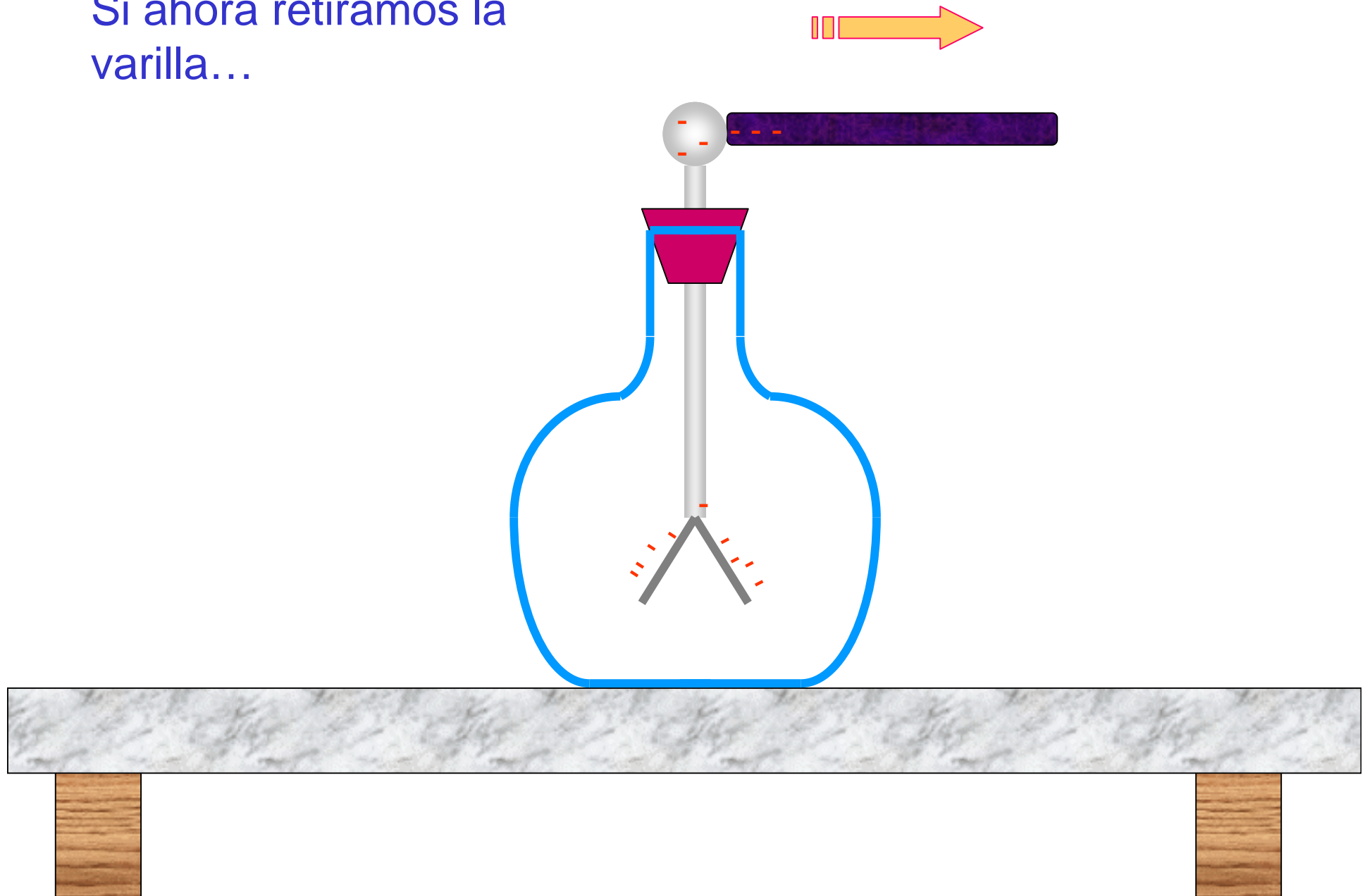
Pasarán electrones de la varilla a la esferita, que, por sí sola, presenta carga positiva



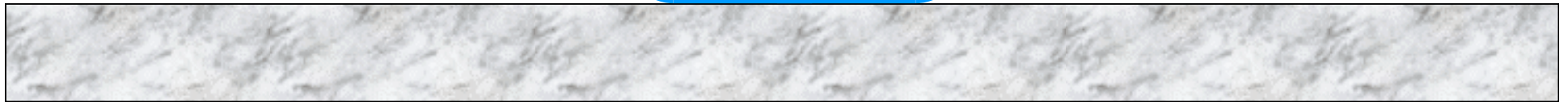
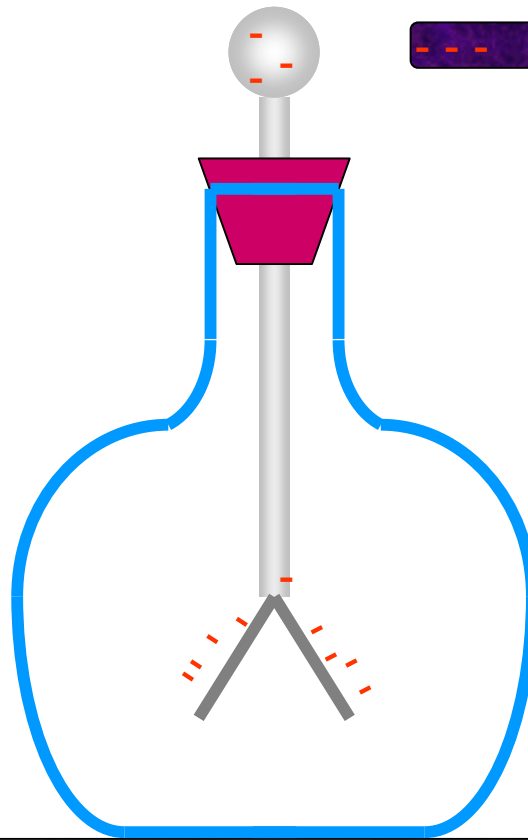
Pasarán electrones de la varilla a la esferita, que, por sí sola, presenta carga positiva



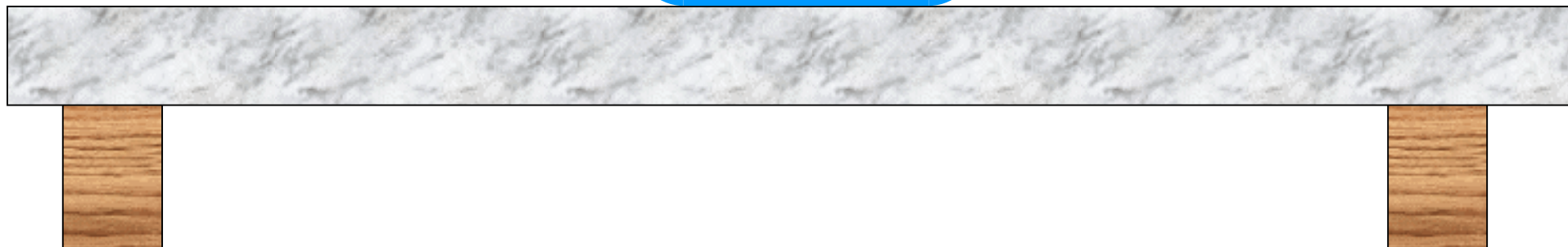
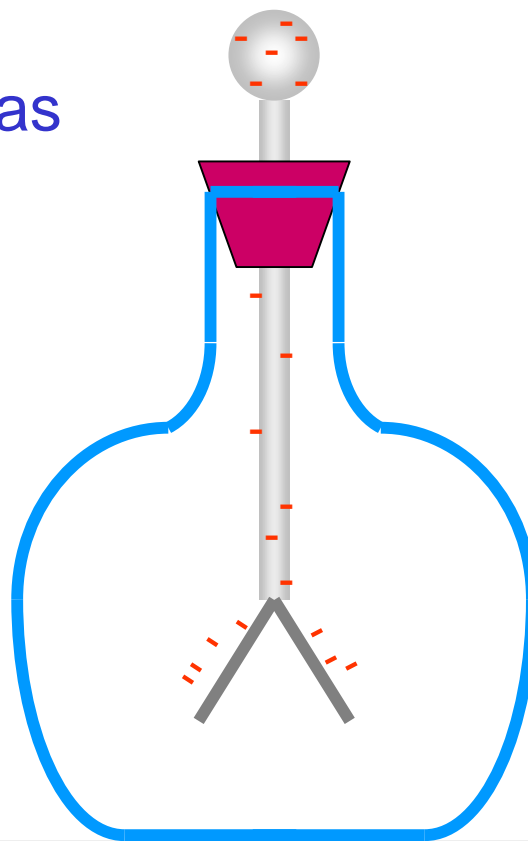
Si ahora retiramos la
varilla...



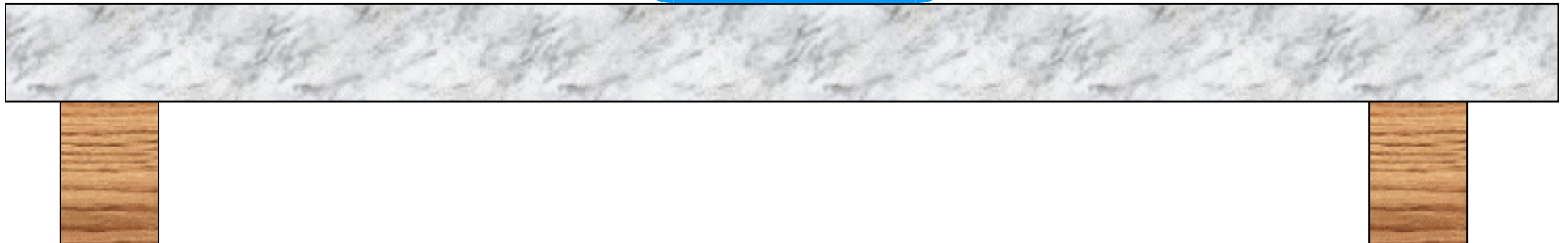
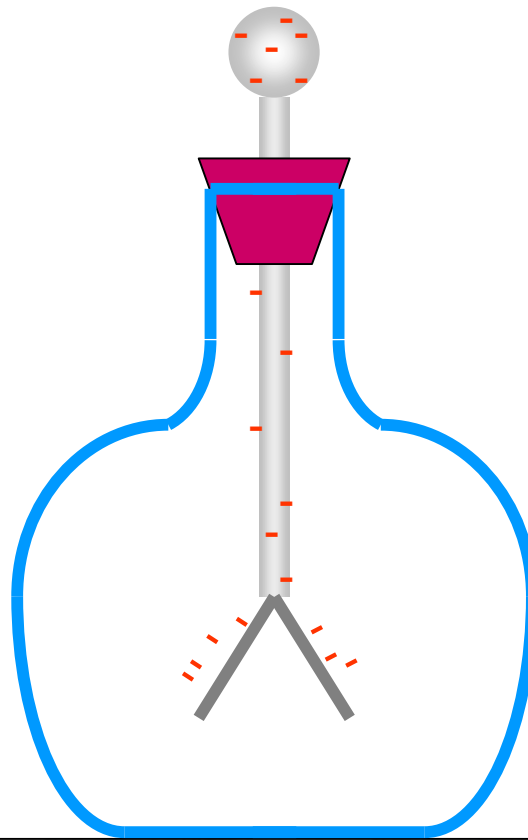
Si ahora retiramos la
varilla...



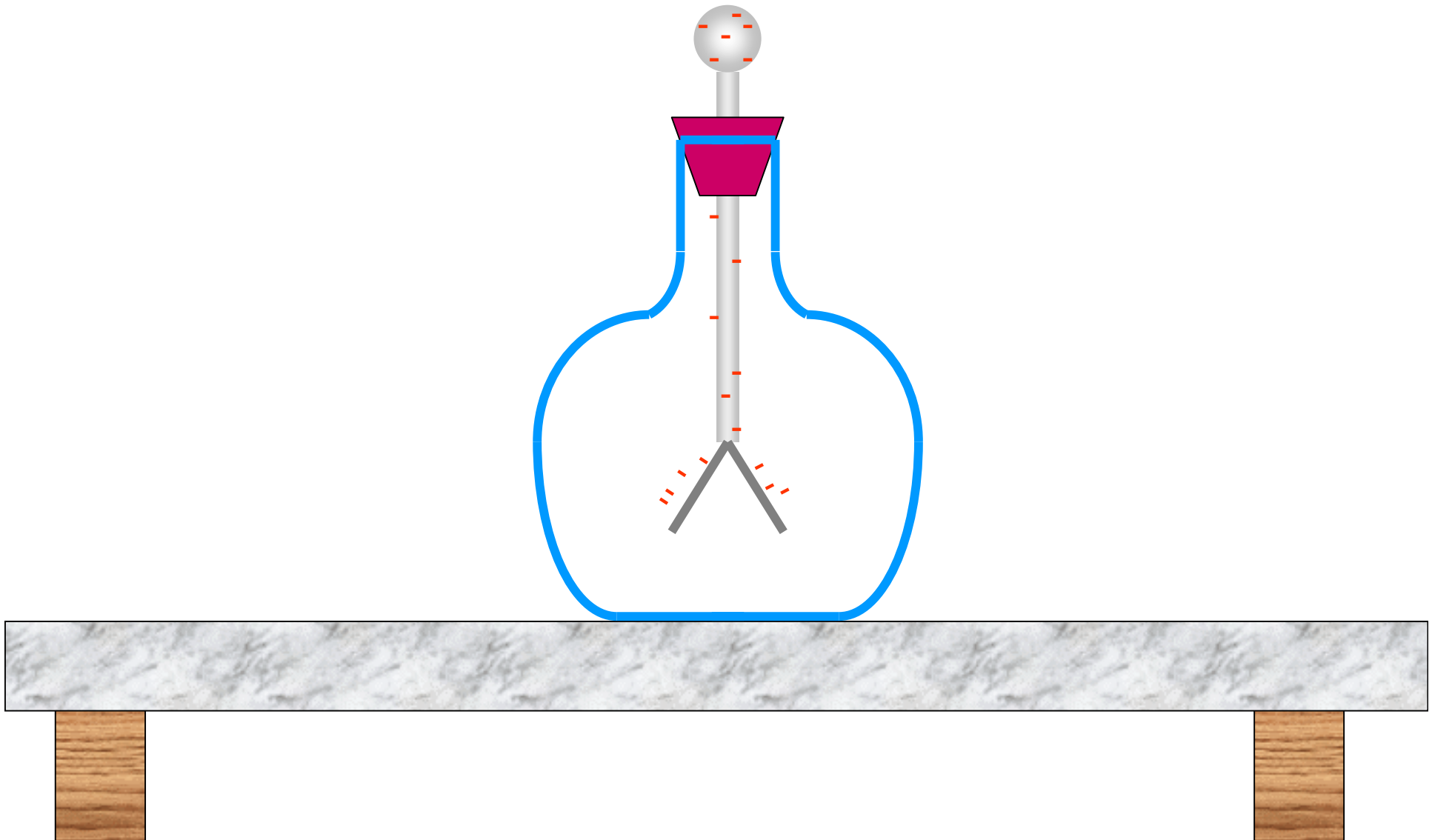
Las cargas se redistribuirán en el electroscopio, concentrándose en las hojuelas, debido al poder de las puntas.



El electroscope quedó
cargado
negativamente.

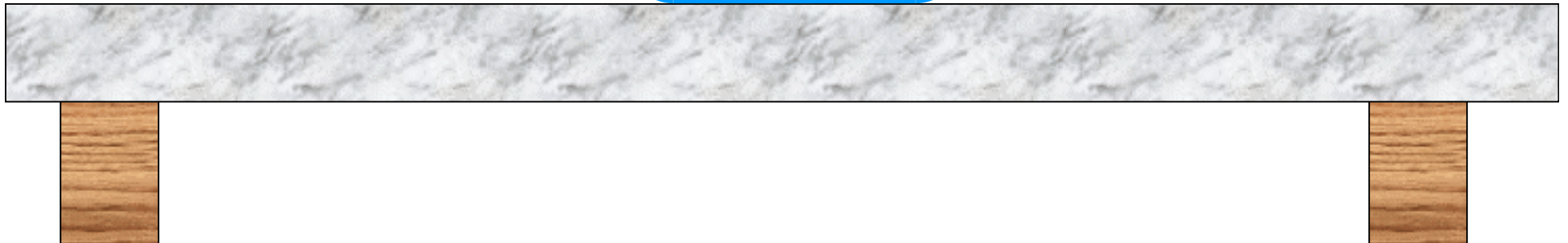
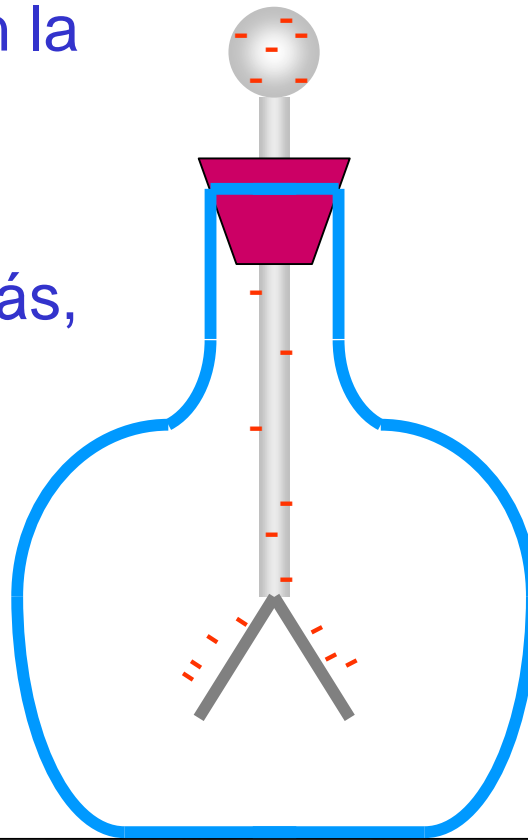


¿Cómo se lo descarga?



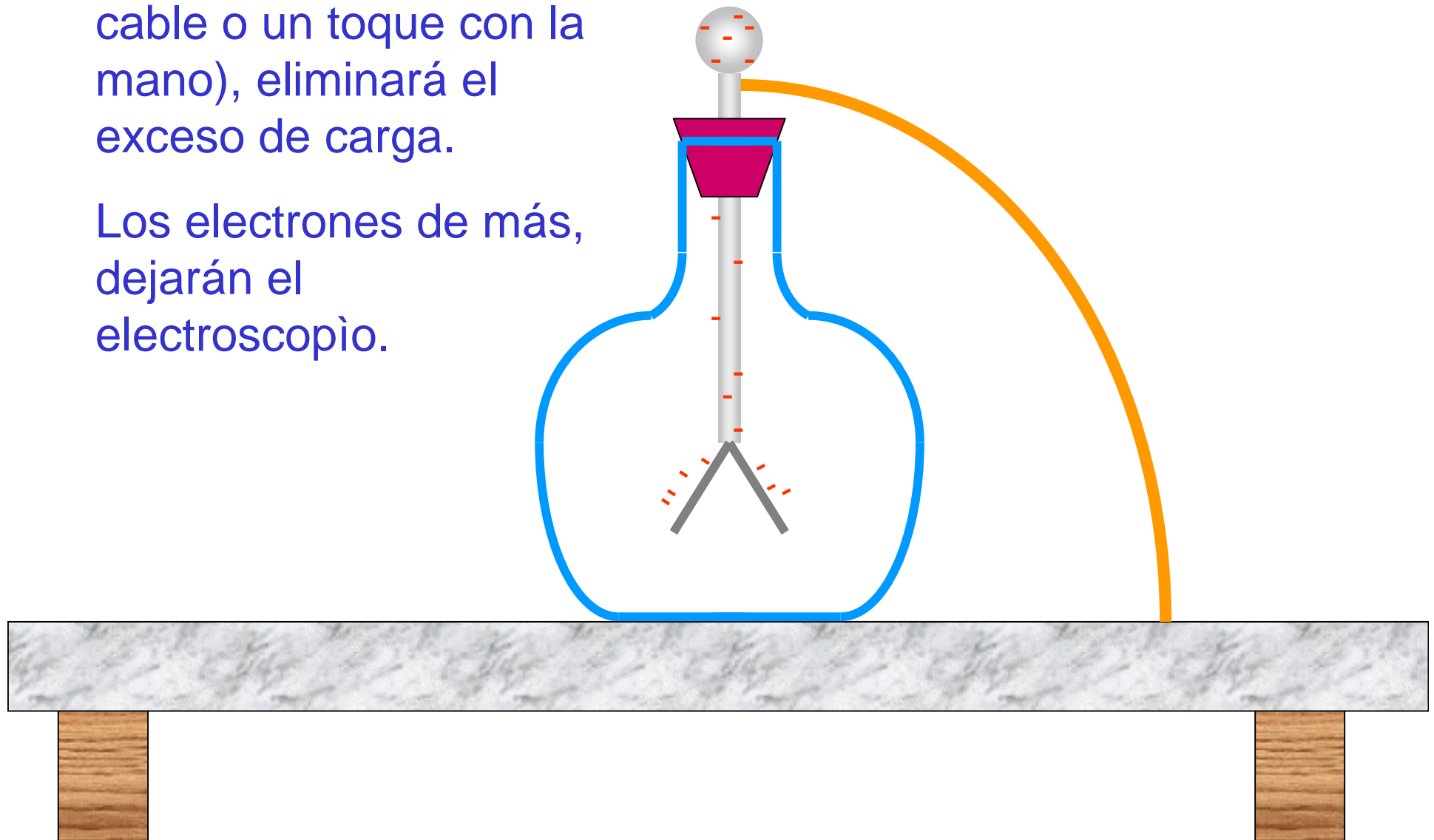
Un simple “contacto a tierra” (por ejemplo un cable o un toque con la mano), eliminará el exceso de carga.

Los electrones de más, dejarán el electroscopio.



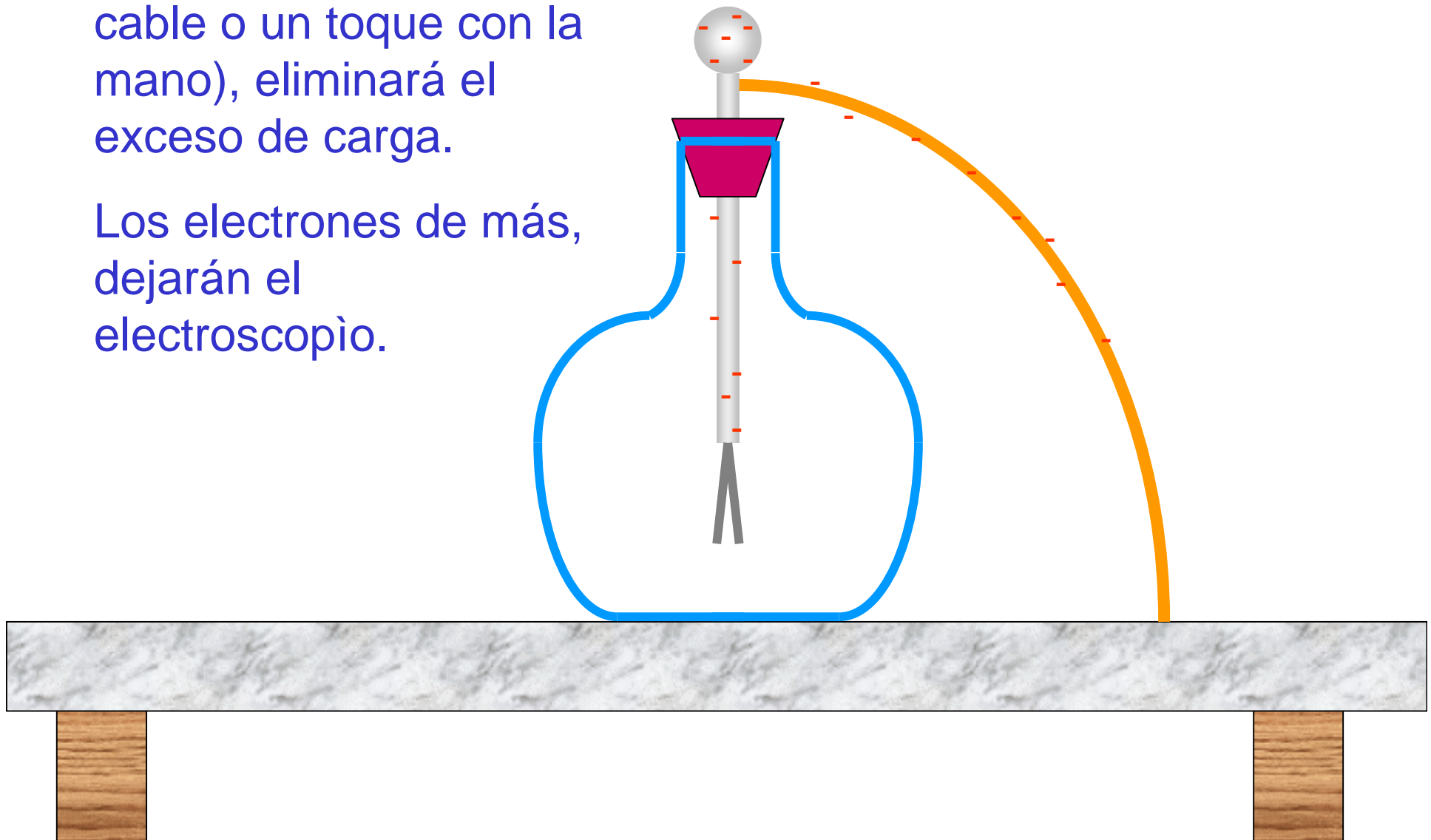
Un simple “contacto a tierra” (por ejemplo un cable o un toque con la mano), eliminará el exceso de carga.

Los electrones de más, dejarán el electroscopio.



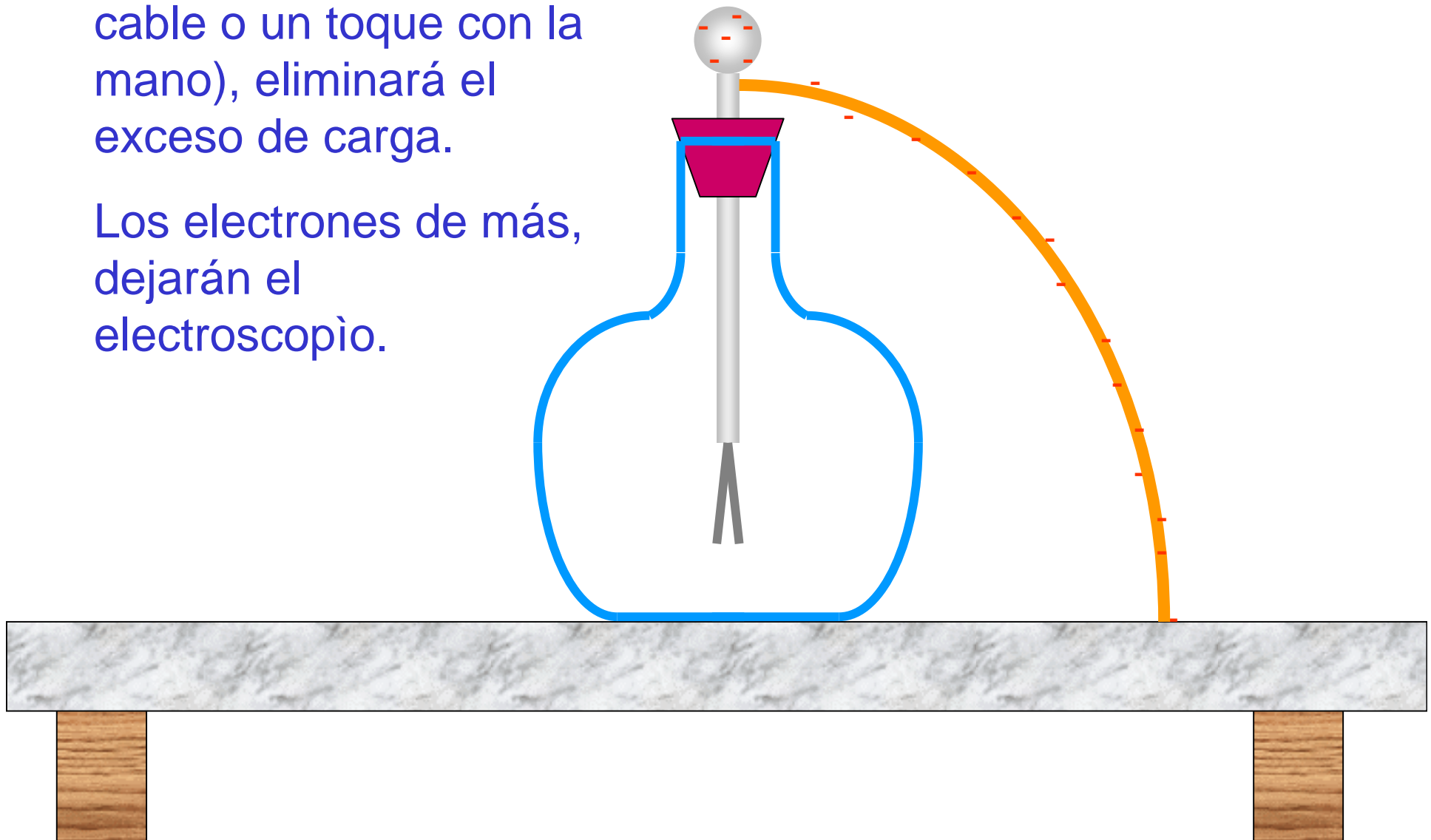
Un simple “contacto a tierra” (por ejemplo un cable o un toque con la mano), eliminará el exceso de carga.

Los electrones de más, dejarán el electroscopio.



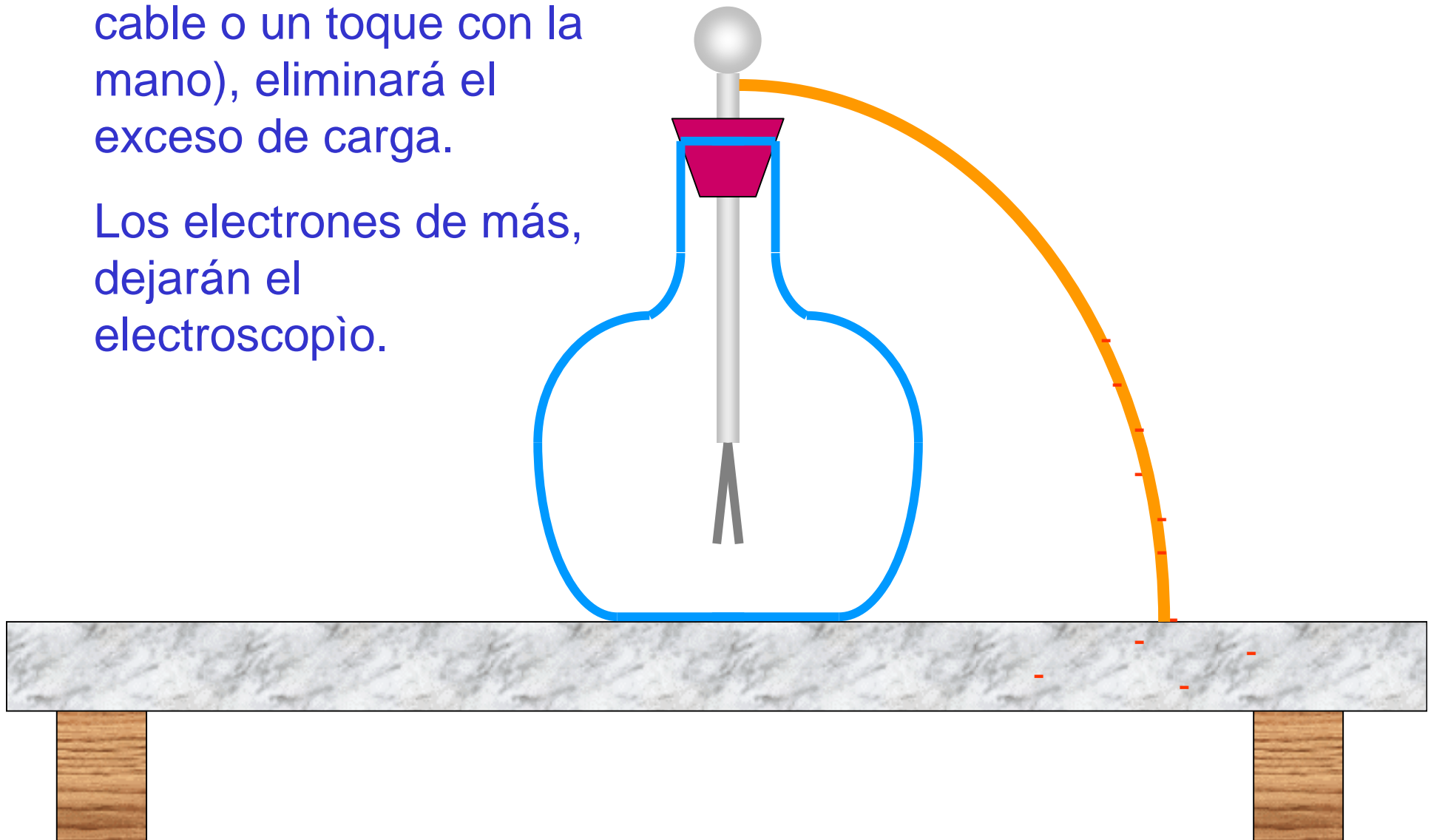
Un simple “contacto a tierra” (por ejemplo un cable o un toque con la mano), eliminará el exceso de carga.

Los electrones de más, dejarán el electroscopio.

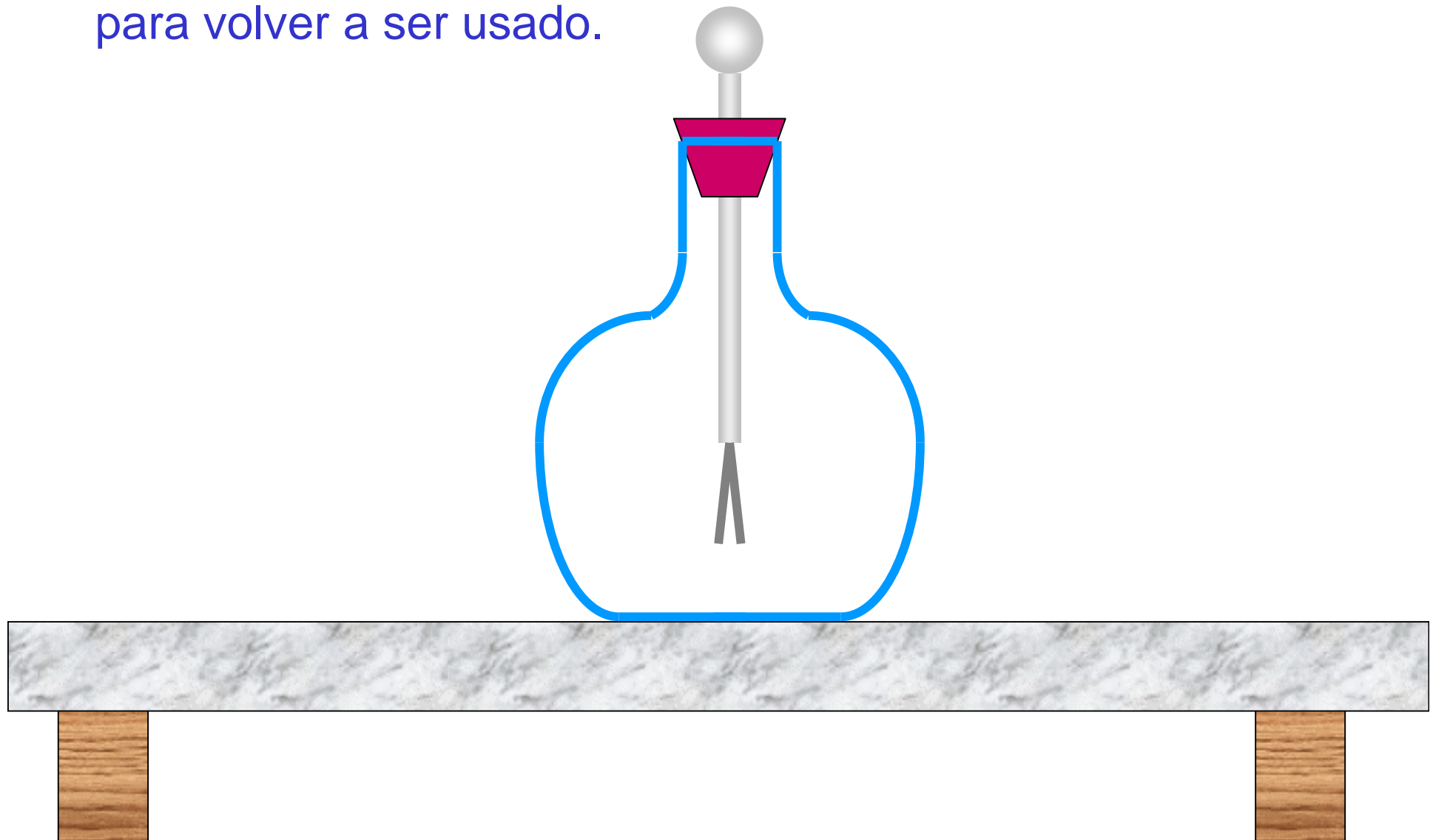


Un simple “contacto a tierra” (por ejemplo un cable o un toque con la mano), eliminará el exceso de carga.

Los electrones de más, dejarán el electroscopio.



El electroscopio vuelve a estar neutro, listo para volver a ser usado.



Recordemos...

- Las cargas del mismo signo se repelen y las de signo contrario se atraen.
- Tendremos en cuenta sólo las cargas que se encuentran en reposo una respecto a la otra, o que se mueven con mucha lentitud, restricción que define el tema de la *electrostática*.

La carga eléctrica está cuantizada

- La carga eléctrica neta de un objeto suele representarse con el símbolo q .
- Es una cantidad escalar.
- Puede ser “+” ó “-”, dependiendo si el objeto tiene una carga neta positiva o negativa.
- La carga eléctrica se mide en coulombs (C).

La carga eléctrica está cuantizada

- Los experimentos demuestran que la carga eléctrica siempre existe sólo en cantidades que son múltiplos de cierta magnitud elemental de carga “ e ”.

- $q = ne$ $n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

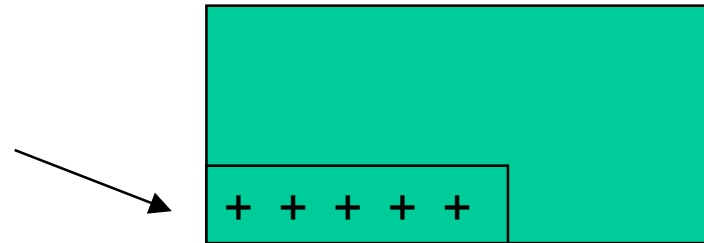
Donde $e = 1.602 \times 10^{-19}$ C.

Es posible obtener un objeto con carga neta de $+10e$ o de $-6e$, pero nunca de $3.87e$, la carga está cuantizada.

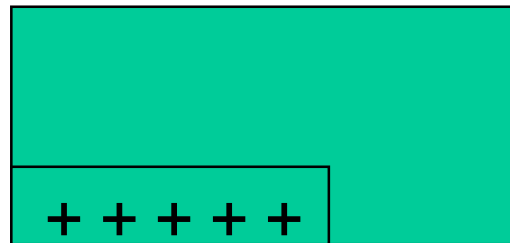
Conductores y aisladores

Conductores y Aisladores

Cuerpo al cual se le colocan cargas en la zona que se indica



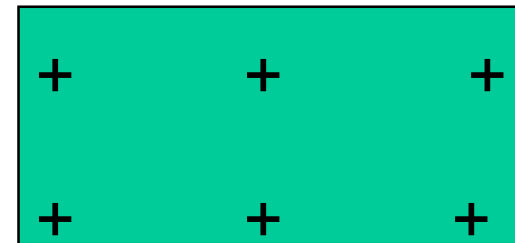
Posibles comportamientos



Las cargas permanecen en el lugar en que se las colocó

Nombre:

AISLADOR

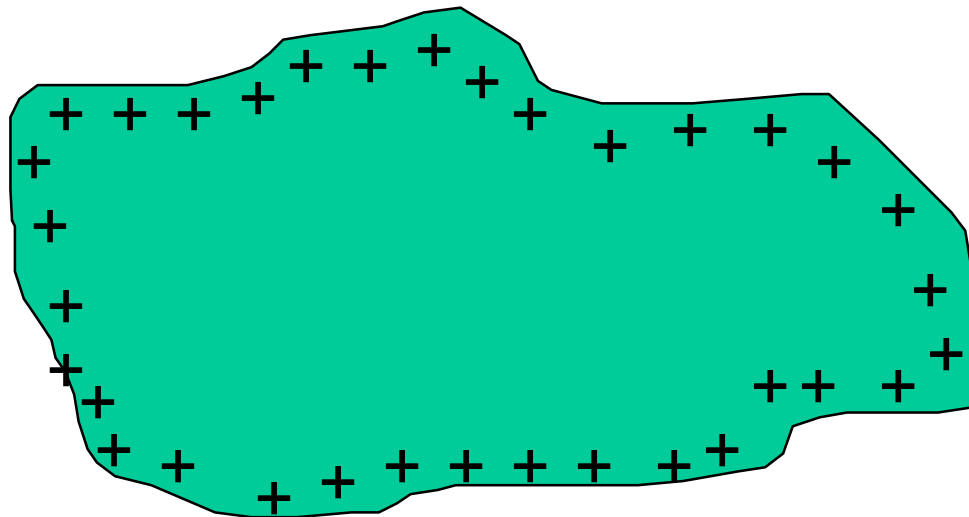


Las cargas se distribuyen en la periferia de todo el cuerpo.

CONDUCTOR

Conductor electrizado

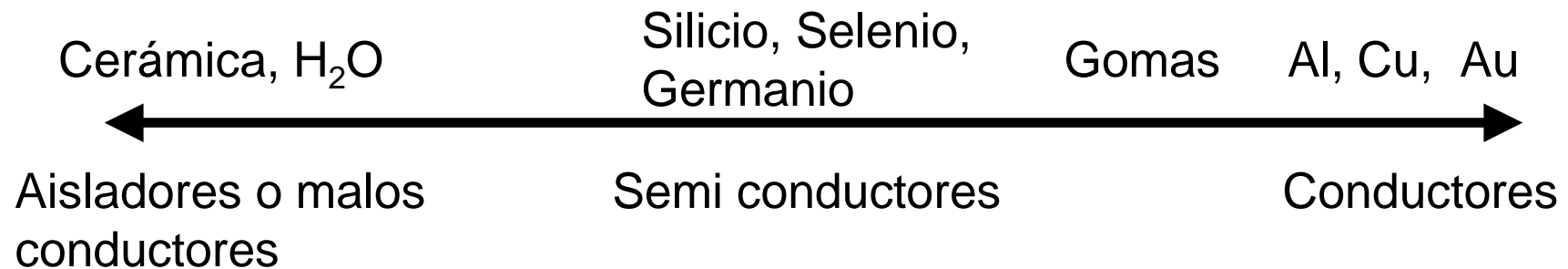
- **Note que en los conductores, el exceso de carga eléctrica se distribuye en los límites del cuerpo.**



Conductores y Aisladores

(Conceptos Relativos)

- **En general, podemos decir que, bajo determinadas condiciones, todos los materiales son, en alguna medida, CONDUCTORES.**
- **Cuando veamos esto desde el punto de vista cuantitativo, podremos asignarle a cada material un número que exprese su capacidad de conducción.**
- **De momento digamos que los materiales, desde este punto de vista, se distribuyen del modo siguiente:**



Conductores y aisladores

- Los átomos aislados de un material conductor contienen electrones no ligados firmemente que podemos desprender con facilidad, dejando un ión con carga positiva.
- *Electrones de conducción*, en el Cu hay unos 10^{23} electrones de conducción por cm^3 .

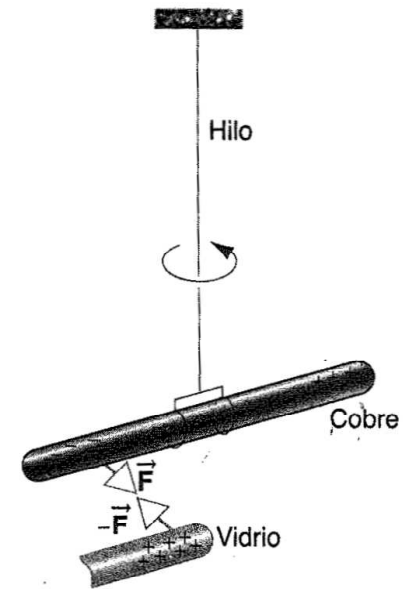


FIGURA 25-4. Una varilla cargada de signo positivo o negativo atrae ambos extremos de una varilla de cobre aislada y sin carga. En este caso los electrones de conducción de la varilla de cobre son atraídos hacia el extremo cercano a ella, dejando el extremo lejano con una carga positiva neta.

Conductores y aisladores

- También es posible tener una fuerza de atracción entre un cuerpo cargado y un aislante no cargado.
- Peine y trozos de papel.
- Polarización, separación de la carga positiva y negativa en un objeto aislado bajo la influencia de un objeto cargado cercano.

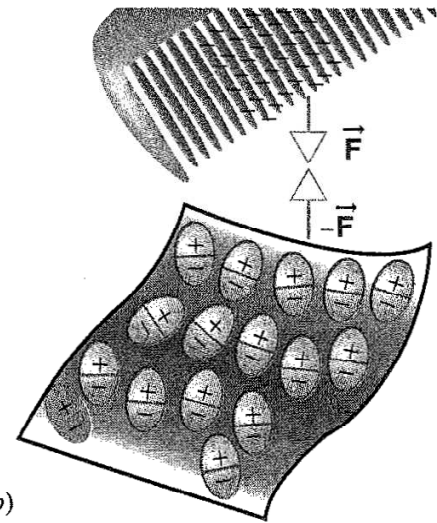
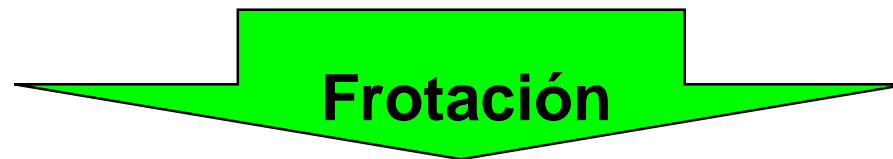
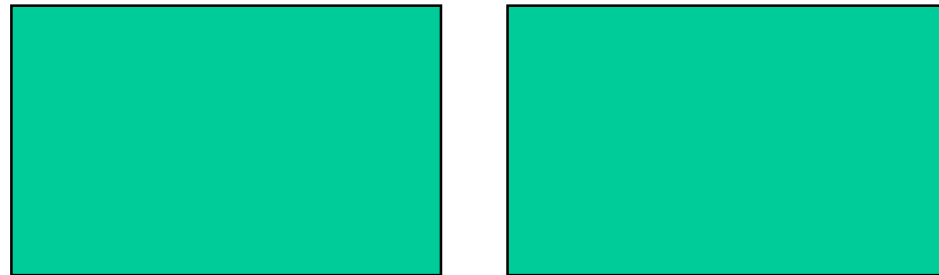


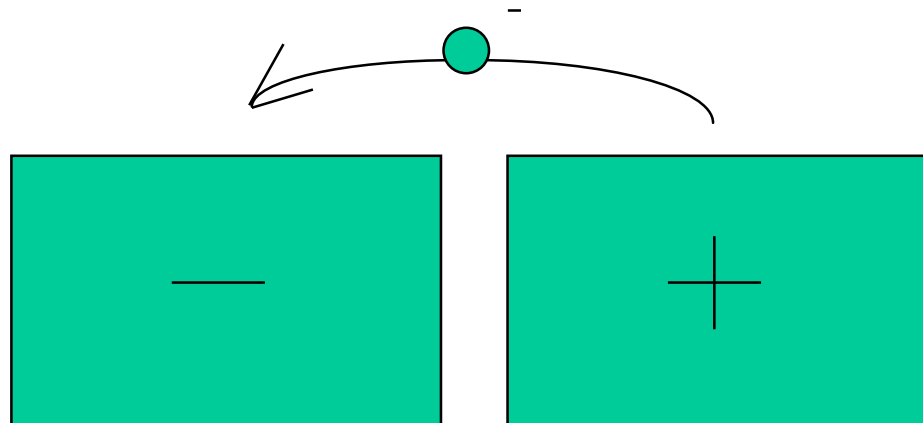
FIGURA 25-5. a) Un peine cargado atrae pedazos no cargados de papel. (b) El peine de carga negativa polariza las cargas de las moléculas, produciendo una fuerza de atracción entre el peine y el papel.

Carga por frotación

**Cuerpos
Neutros**



**Cuerpos
Electrizados**



Cargas Positivas y Negativas

Definición

**Cuerpos
Neutros**

VIDRIO

SEDA

Frotación

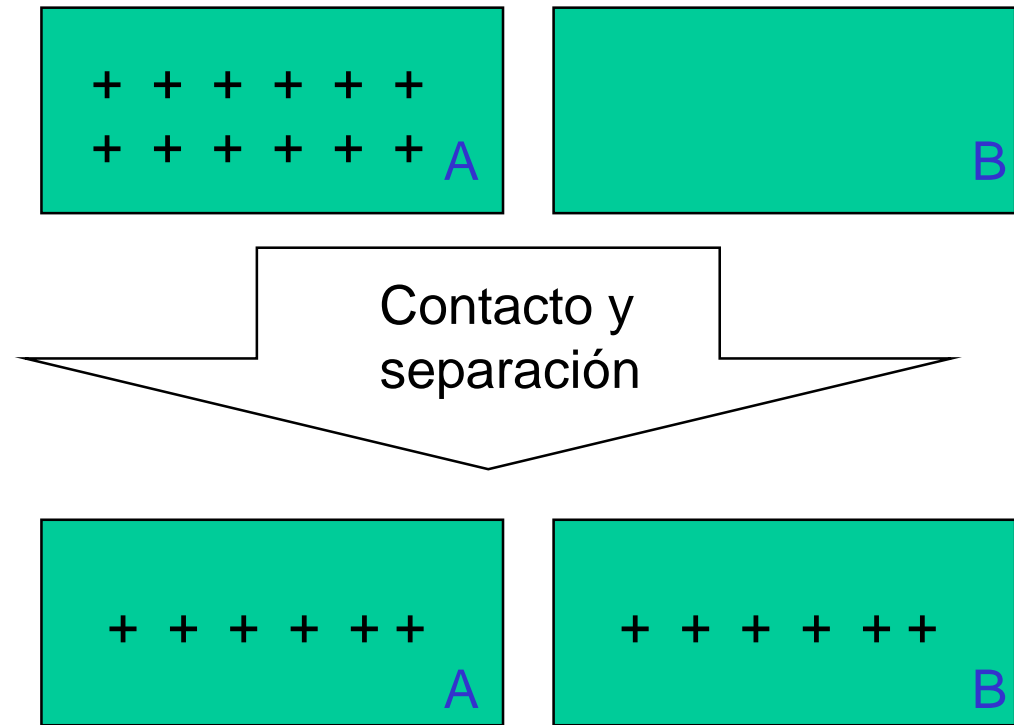
**Cuerpos
Electrizados**

VIDRIO
+

SEDA
—

Carga por contacto.

Cuerpos Conductores:
A, electrizado y **B** Neutro.



Parte de las cargas que posee inicialmente **A**, pasan al cuerpo **B** durante el contacto.

Carga por contacto

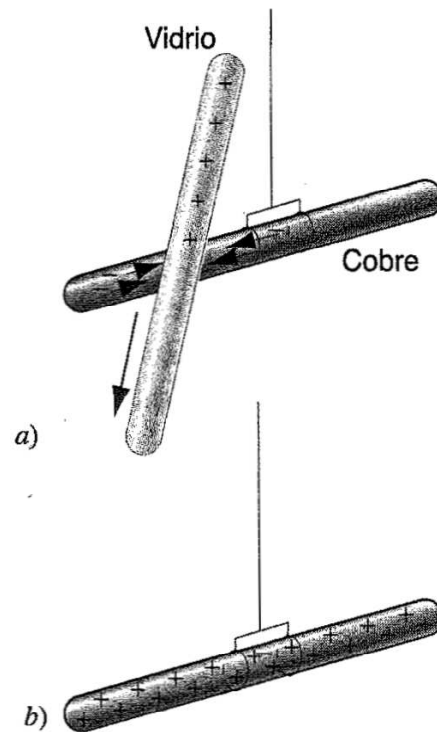
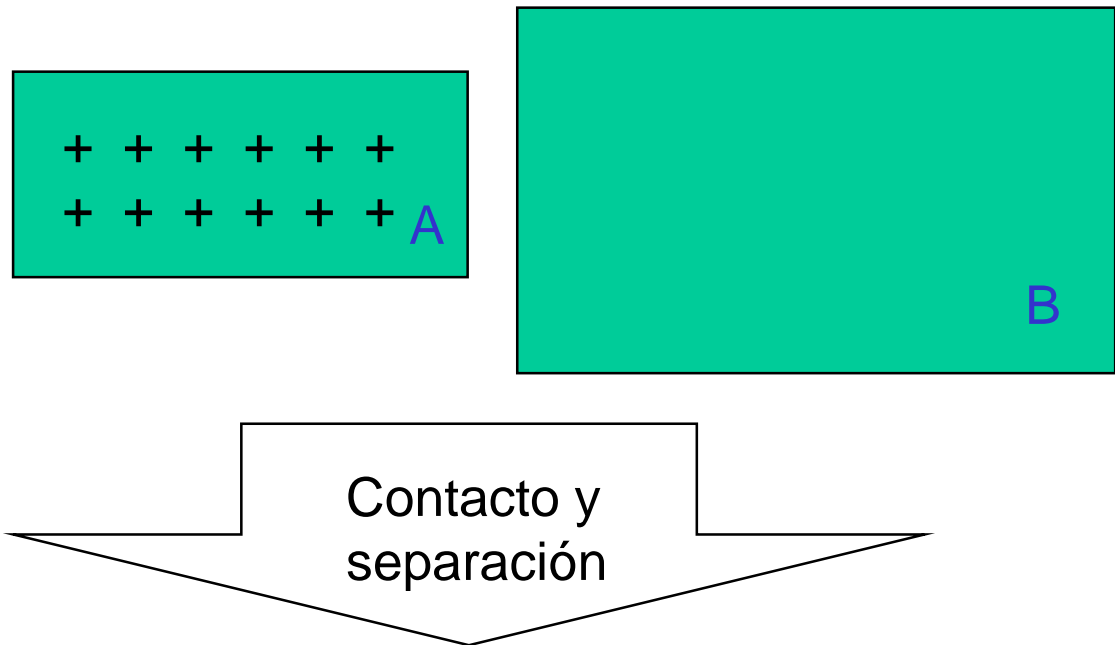


FIGURA 25-6. *a)* Carga por contacto. Los electrones fluyen del cobre para neutralizar las cargas positivas en el punto de contacto con el vidrio. *b)* Carga resultante en el cobre cuando se quita el vidrio.

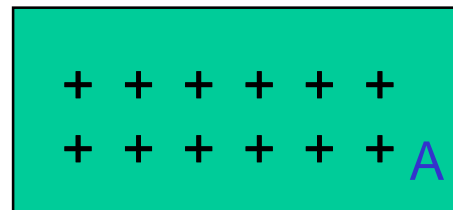
Carga por contacto

- ¿Qué ocurre si el cuerpo B es más grande que A?

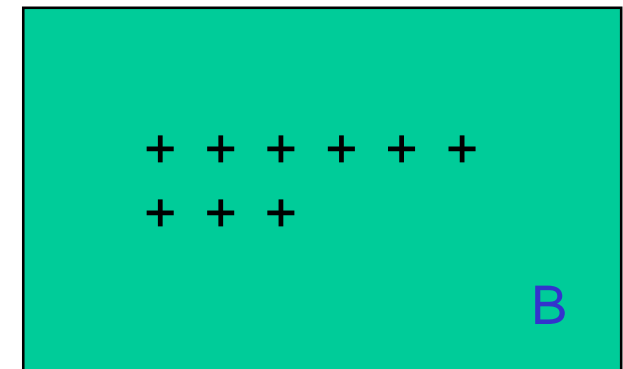
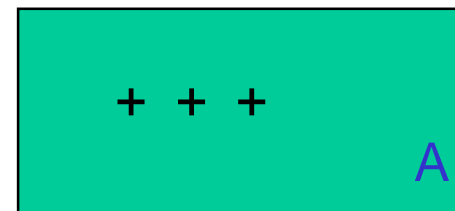
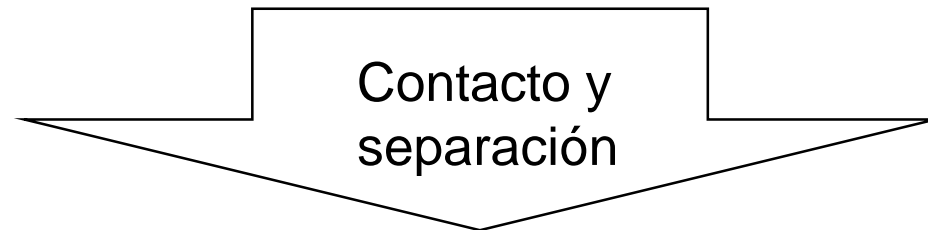


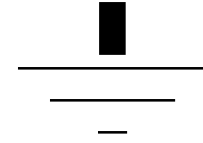
Carga por contacto

1 ¿Qué ocurre si el cuerpo B es más grande que A?



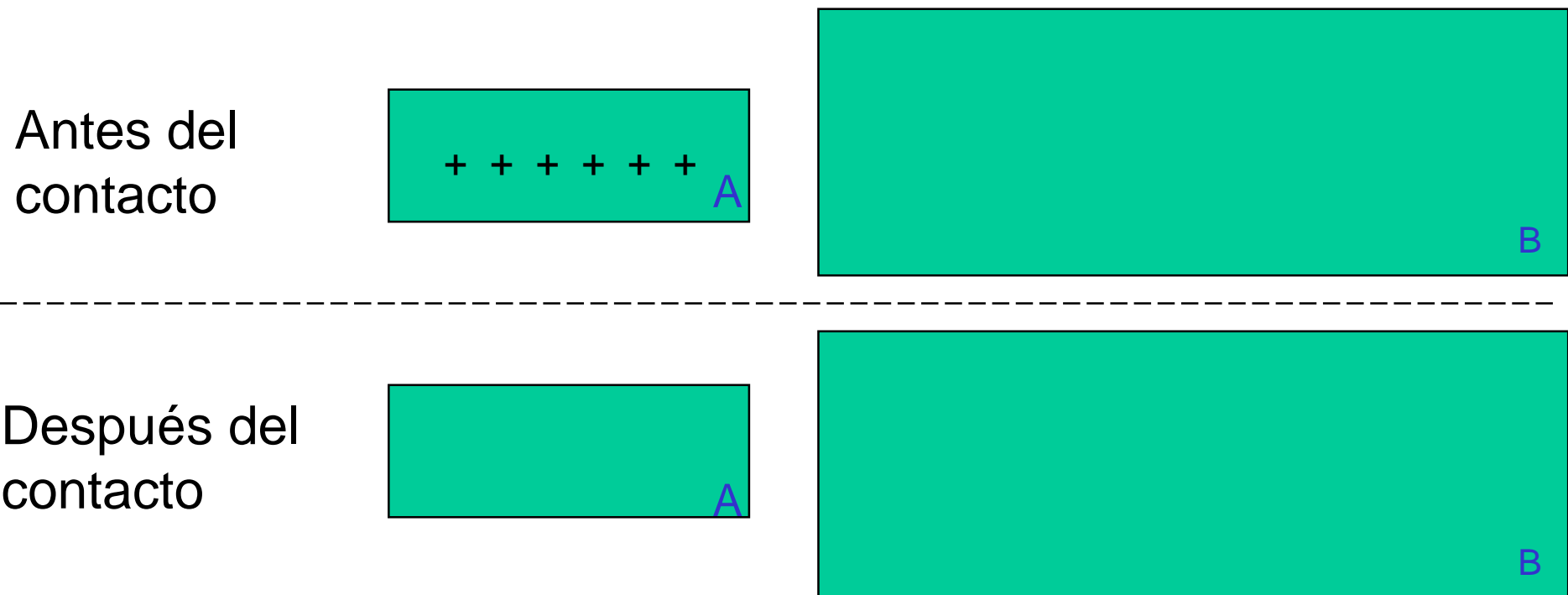
1 ¿Qué ocurrirá si B es infinitamente grande en relación a A?





Conexión a Tierra

Sea un cuerpo **A** electrizado y **B** neutro e infinitamente grande en relación al primero. Ambos conductores.



Carga por inducción

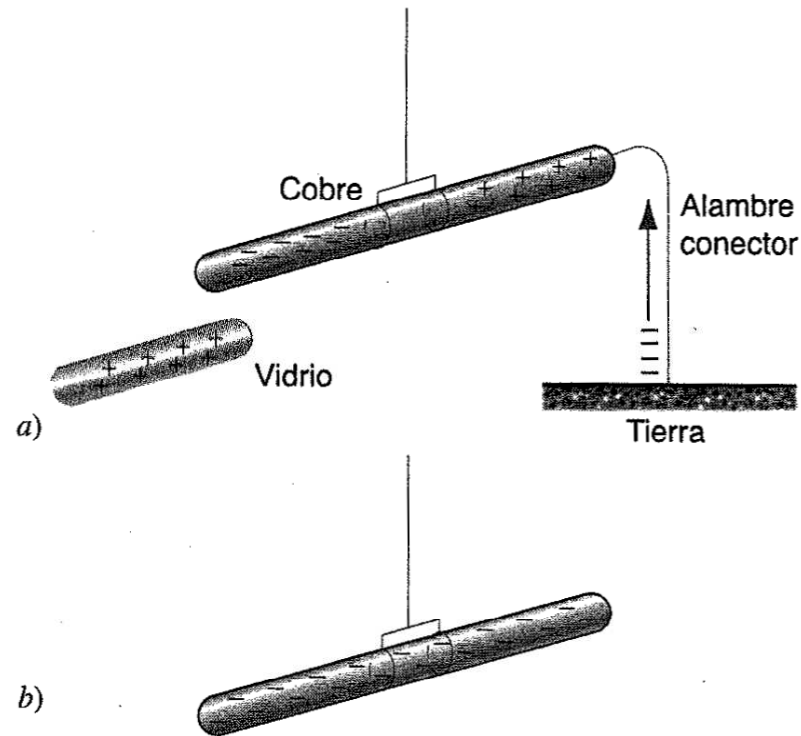


FIGURA 25-7. a) Carga por inducción. Los electrones fluyen de tierra para neutralizar la carga positiva en el extremo opuesto de la varilla de cobre. b) Carga resultante en el cobre cuando se quita el vidrio.

Ley de Coulomb

Medición de la fuerza

Charles A. Coulomb (1736 -1806), físico francés investigó las fuerzas eléctricas alrededor del año 1780, utilizando una balanza de torsión muy similar a la CAVENDISH



Fig. 9 Charles Agustín Coulomb

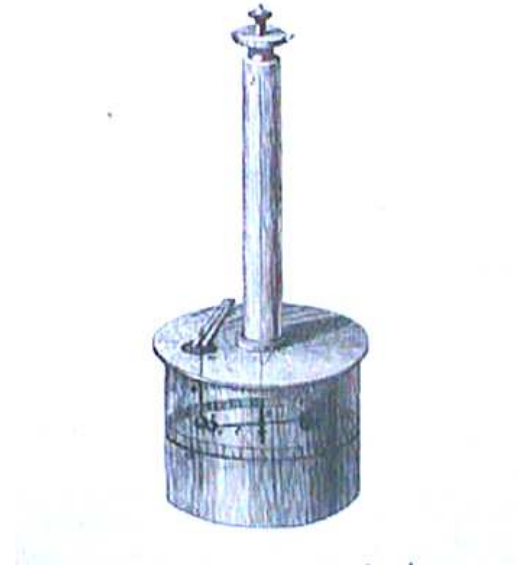
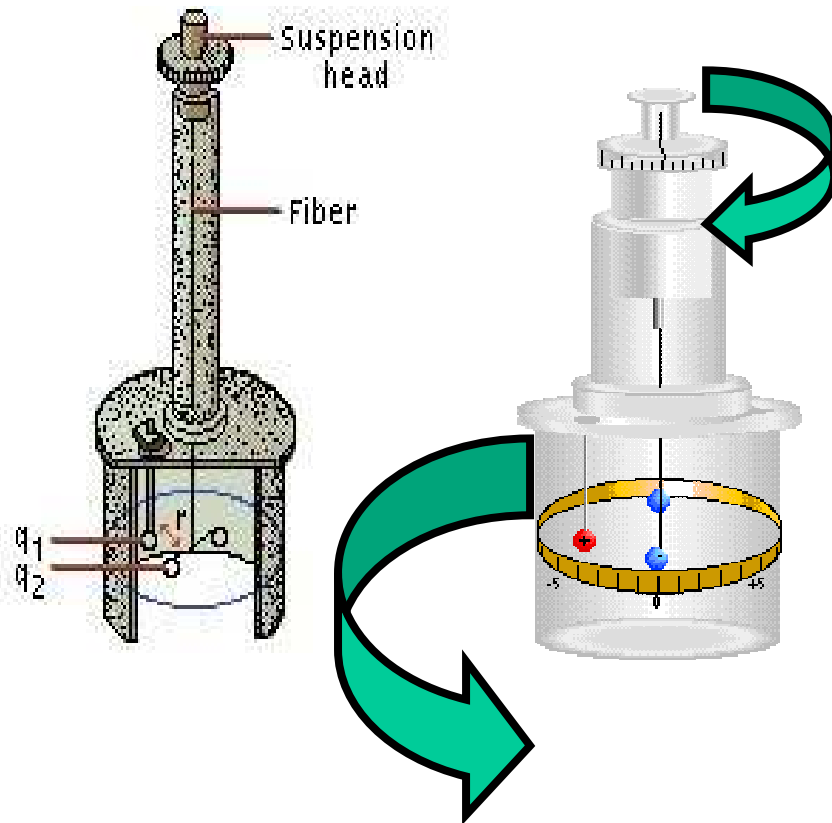


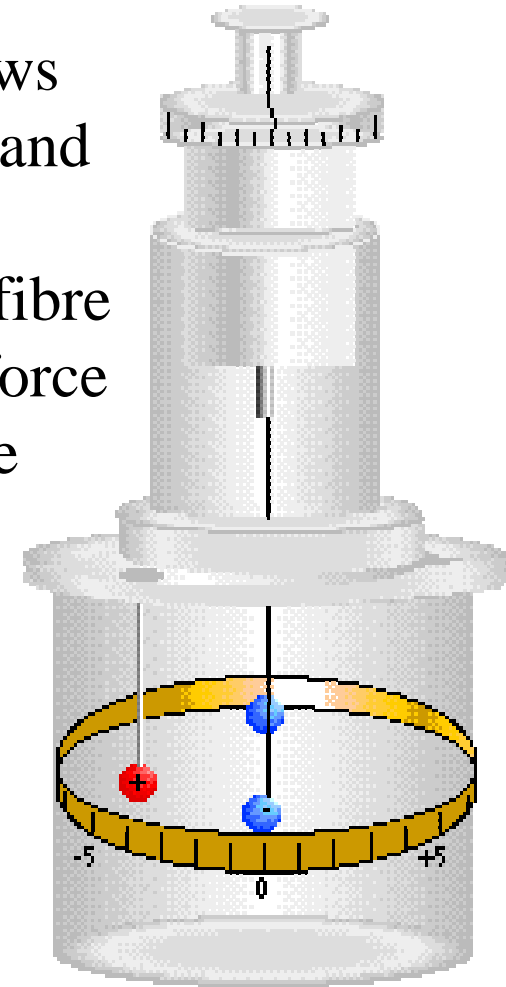
Fig.10 Balanza de torsión

como la de la Fig. 10 empleada en los primeros estudios experimentales de la electrostática.

Balanza de torsión de Coulomb



This dial allows you to adjust and measure the torque in the fibre and thus the force restraining the charge



This scale allows you to read the separation of the charges

a) ¿Cómo depende de la cantidad de carga?

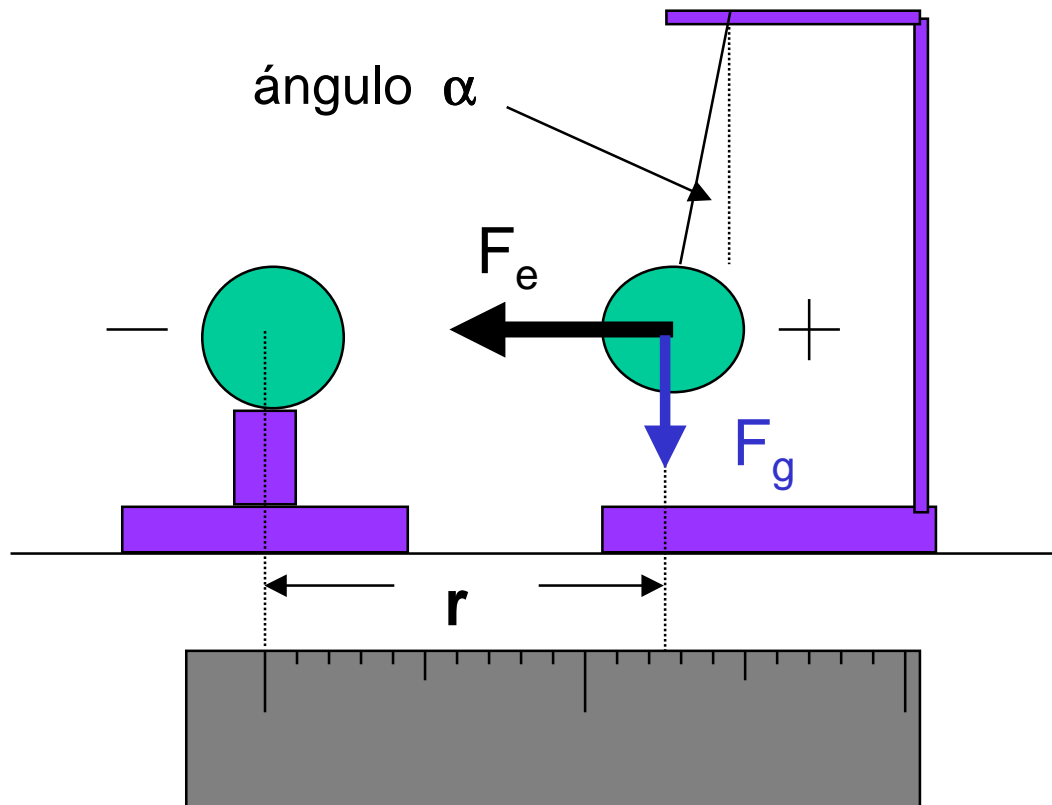


Es decir, lógicamente se deduce que, las fuerzas eléctricas son directamente proporcionales al producto de las cargas; es decir

$$F_e = K_1 q_A q_B \text{ (} K_1 \text{ es una constante de proporcionalidad)}$$

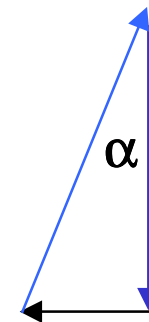
b) ¿Cómo depende de la distancia?

Para responder a esto la lógica no es suficiente: se requiere de un experimento. **Coulomb** realizó algo como:

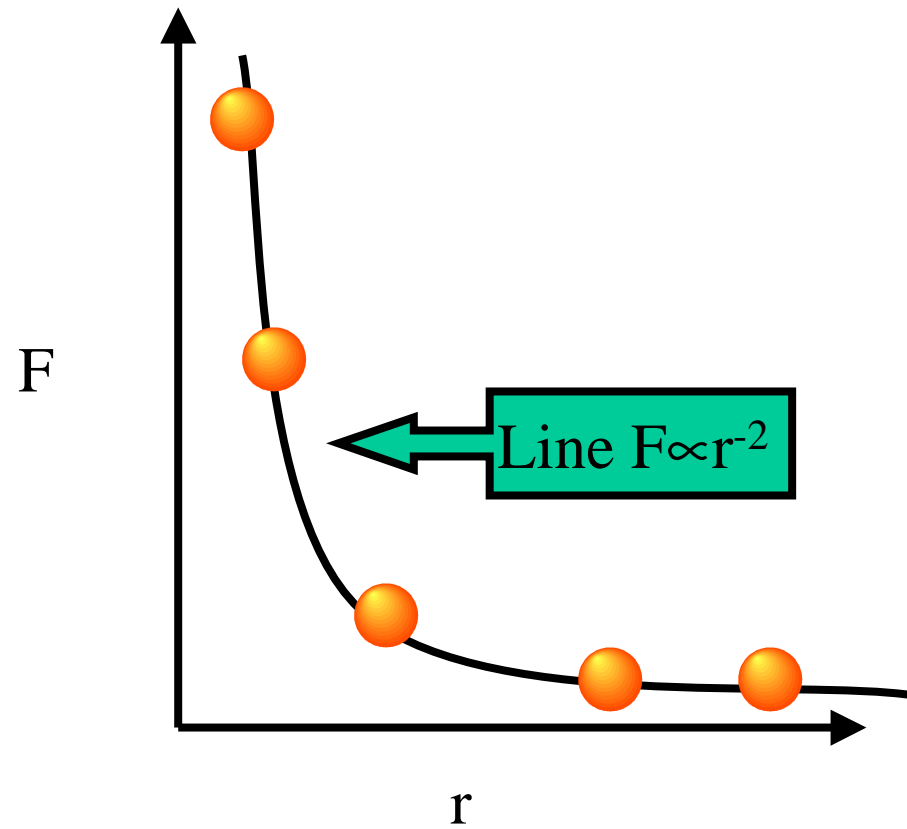
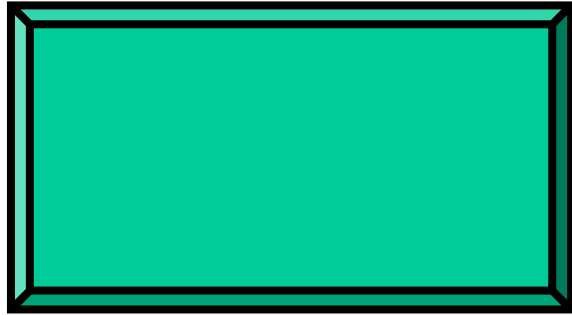


$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_e}{F_g}$$

Como podemos conocer $F_g = mg$ y medir α , conocemos F_e



Experimentos de Coulomb



Ley de Coulomb

- Coulomb determined
 - Force is attractive if charges are opposite sign
 - Force proportional to the product of the charges q_1 and q_2 along the lines joining them
 - Force inversly proportional square of the distance
- I.e.
 - $|F_{12}| \propto |Q_1| |Q_2| / r_{12}^2$
 - or
 - $|F_{12}| = k |Q_1| |Q_2| / r_{12}^2$

Ley de Coulomb

- Units of constant can be determined from Coulomb's Law
- Colomb (and others since) have determined this constant which (in a vacuum) in SI units is
 - $k = 8.987.5 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$
- k is normally expressed as $k = 1/4\pi\epsilon_0$
 - where ϵ_0 is the permittivity of free space

Ley de Coulomb

The equation for the magnitude of the Coulomb force between two point charges Q_1 and Q_2 in a vacuum is given by

$$|\mathbf{F}_{12}| = \frac{|Q_1 Q_2|}{4\pi\epsilon_0 r_{12}^2}$$

where

$|Q_1|$ is the magnitude of the charge Q_1 in coulombs (C)

$|Q_2|$ is the magnitude of the charge Q_2 in coulombs (C)

\mathbf{F}_{12} is the electrical force acting on the charge Q_1 due to charge Q_2 in newtons (N)

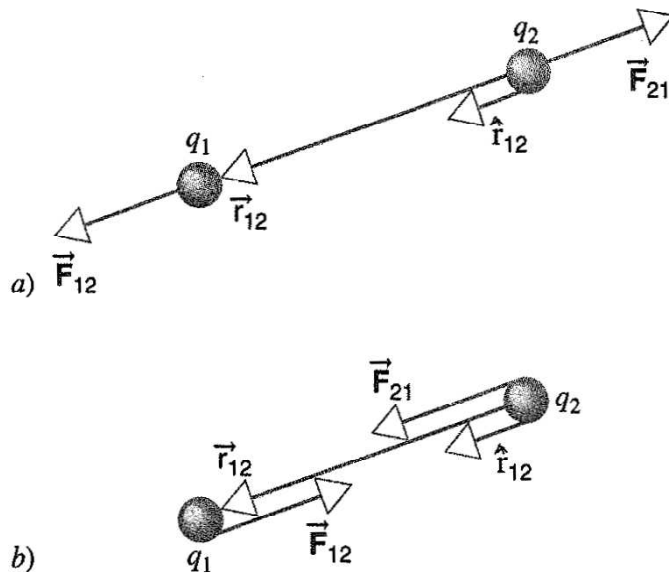
r_{12} is the distance between the point charges Q_1 and Q_2 in metres (m)

ϵ_0 is the permittivity of free space in $\text{C}^2 \text{N}^{-1} \text{m}^{-2}$

$\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ is the Coulomb constant in $\text{N m}^2 \text{C}^{-2}$.

The direction of the force \mathbf{F}_{12} is determined by the sign of the charges; the force is attractive if the charges have opposite signs, and repulsive if the charges have the same sign.

Forma vectorial de la Ley de Coulomb

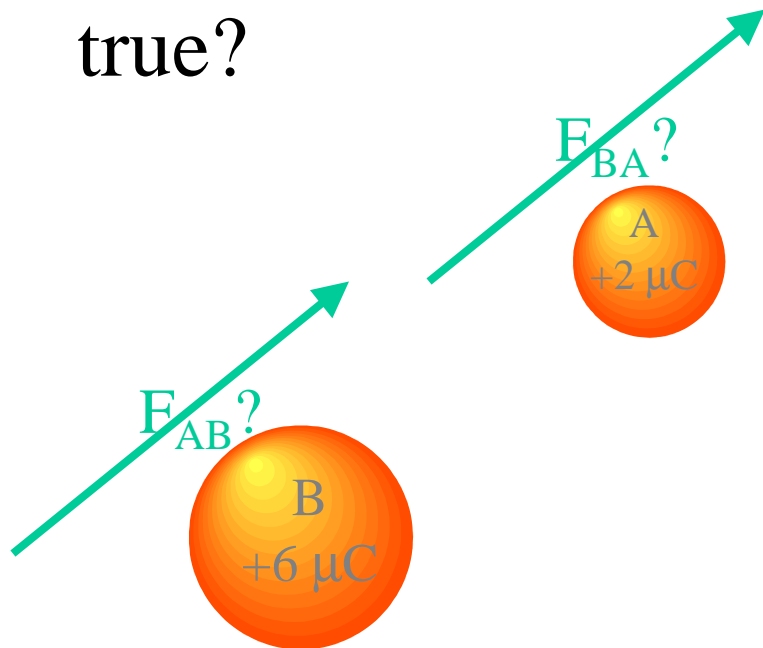


$$\vec{F}_{12} = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r_{12}^2} \hat{r}_{12},$$

FIGURA 25-9. a) Dos cargas puntuales q_1 y q_2 del mismo signo ejercen fuerzas iguales y opuestas de repulsión una sobre otra. El vector \vec{r}_{12} sitúa q_1 en relación con q_2 , y el vector unitario \hat{r}_{12} señala en la dirección de \vec{r}_{12} . Nótese que \vec{F}_{12} es paralelo a \vec{r}_{12} . b) Ahora las dos cargas tienen signos opuestos y la fuerza es de atracción. Adviértase que \vec{F}_{12} es antiparalela a \vec{r}_{12} .

Quiz

Object A has a charge of $+2 \mu\text{C}$ and Object B has a charge of $+6 \mu\text{C}$. Which statement is true?



- **A:** $\mathbf{F}_{AB} = -3\mathbf{F}_{BA}$
- **B:** $\mathbf{F}_{AB} = -\mathbf{F}_{BA}$
- **C:** $3\mathbf{F}_{AB} = -\mathbf{F}_{BA}$
- **D:** $\mathbf{F}_{AB} = 12\mathbf{F}_{BA}$

Coulomb vs Newton

Coulomb's Law vs Newton's Law of Gravity

$$\mathbf{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{|\mathbf{r}_{12}|^2} \hat{\mathbf{r}}_{12}$$

- Attractive or repulsive
- $1/r^2$
- very strong
- only relevant relatively local scales

$$\mathbf{F}_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{|\mathbf{r}_{12}|^2} \hat{\mathbf{r}}_{12}$$

- Always attractive
- $1/r^2$
- very weak
- important on very large scales, planets, the Universe

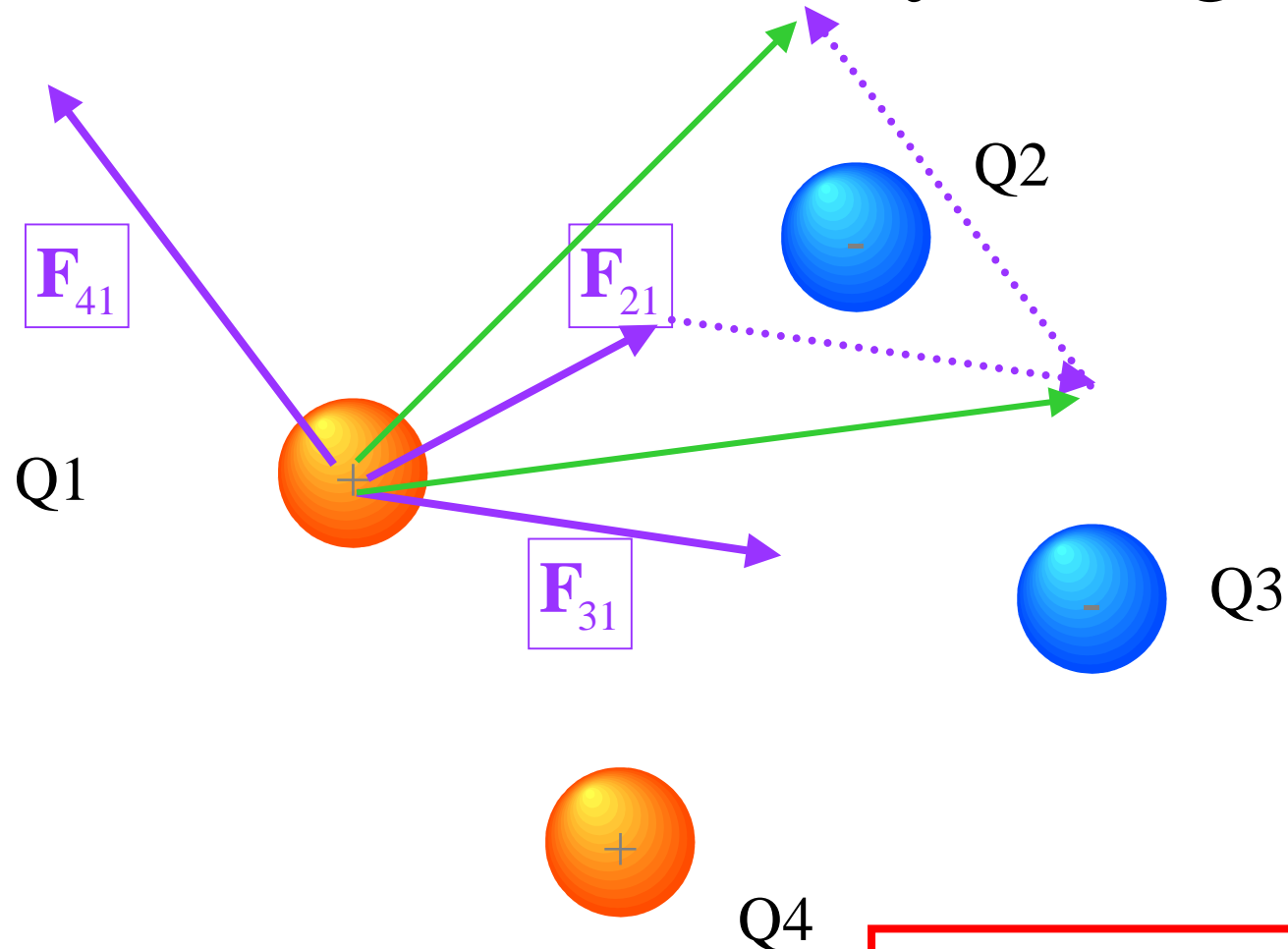
$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \gg -Gm^2$$

Two spheres

Ley de Coulomb. Sistema de cargas

Principio de Superposición

Force from many charges



$$\mathbf{F}_1 = \mathbf{F}_{21} + \mathbf{F}_{31} + \mathbf{F}_{41}$$

Ley de Coulomb. Sistema de cargas

- **Principio de superposición de fuerzas:** La fuerza neta ejercida sobre una carga es la suma **vectorial** de las fuerzas individuales ejercidas sobre dicha carga por cada una de las cargas del sistema.

Cargas discretas

$$\vec{F}_{Total} = \sum_i \vec{F}_i = \sum_i k \frac{q_i q_0}{r_i^3} \vec{r}_i$$

Distribución continua de carga

$$\vec{F}_{Total} = \int d\vec{F} = \int k \frac{q_0}{r^3} \vec{r} dq$$

Distribuciones continuas de carga

- Hasta ahora hemos visto cálculo de las fuerzas debido a cargas puntuales.
- En muchas aplicaciones las fuerzas son ejercidas por objetos cargados: varillas, placas o sólidos.
- Supondremos que los objetos son aislantes y que la carga se esparce por su superficie o volúmen formando una *distribución continua de carga*.

Distribuciones continuas de carga

- La ley de Coulomb se aplica sólo a las cargas puntuales; así que no podemos emplearla para calcular la fuerza que una varilla cargada ejerce sobre otra.
- Se podría considerar que están cubiertas por cargas puntuales y calcular con la L. C. la fuerza ejercida por las cargas de una varilla sobre las cargas de la otra varilla, MUY COMPLICADO!!!!

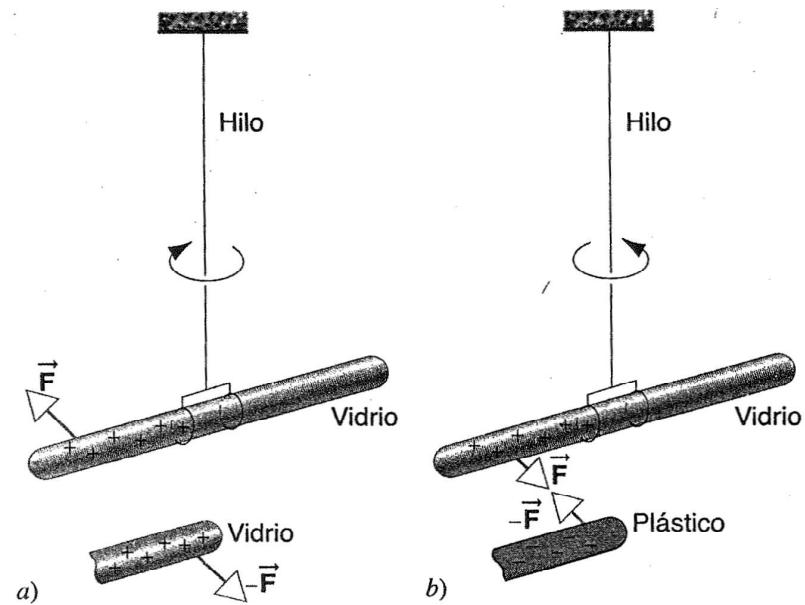


FIGURA 25-2. a) Dos varillas de la misma carga se repelen.
b) Dos varillas de carga opuesta se atraen.

Distribuciones continuas de carga

- Objeto con carga neta q , lo dividimos en muchos elementos pequeños dq .
- Cada uno posee cierta longitud, superficie o volúmen (según que consideremos cargas que se distribuyen en 1D, 2D o 3D).
- Expresamos $dq=f(\text{tamaño del elemento, densidad de carga})$.

Distribuciones continuas de carga

- **Densidad de carga:** describe como se distribuye las cargas en la longitud, superficie o volúmen.
- Si la varilla presenta una **carga uniforme** de modo que una carga total q se distribuya uniformemente por su longitud L , entonces

$$dq = \lambda dx$$

$$dq = \sigma dA$$

$$dq = \rho dV$$

$$\lambda = q / L$$

Idem superficie y volumen:

$$\sigma = q / A$$

$$\rho = q / V$$

Distribuciones continuas de carga

El procedimiento con que se calcula la fuerza que este tipo de distribución ejerce sobre una carga puntual es:

- ❑ Se supone que la distribución continua está dividida en muchos elementos pequeños de carga.
- ❑ Se selecciona un elemento arbitrario y se expresa su carga dq a partir de las ecuaciones anteriores, según que se distribuya en línea, en una superficie o un volumen.
- ❑ Por ser dq infinitesimalmente pequeña, se la trata como una carga puntual.

Distribuciones continuas de carga

- Se expresa la magnitud del elemento de fuerza dF ejercido por la carga dq sobre la carga q_0 en función de la L.C.:

$$dF = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|dq||q_0|}{r^2}$$

donde r es la distancia entre dq y q_0 .

- Se tiene en cuenta los signos y la ubicación de dq y q_0 para determinar la dirección del elemento de fuerza $d\mathbf{F}$.

Distribuciones continuas de carga

- Luego se calcula la **fuerza total**, sumando todos sus elementos infinitesimales, que implica la integral:

$$\vec{F} = \int d\vec{F}$$

Tener en cuenta elementos de simetría, etc..

Línea con carga uniforme

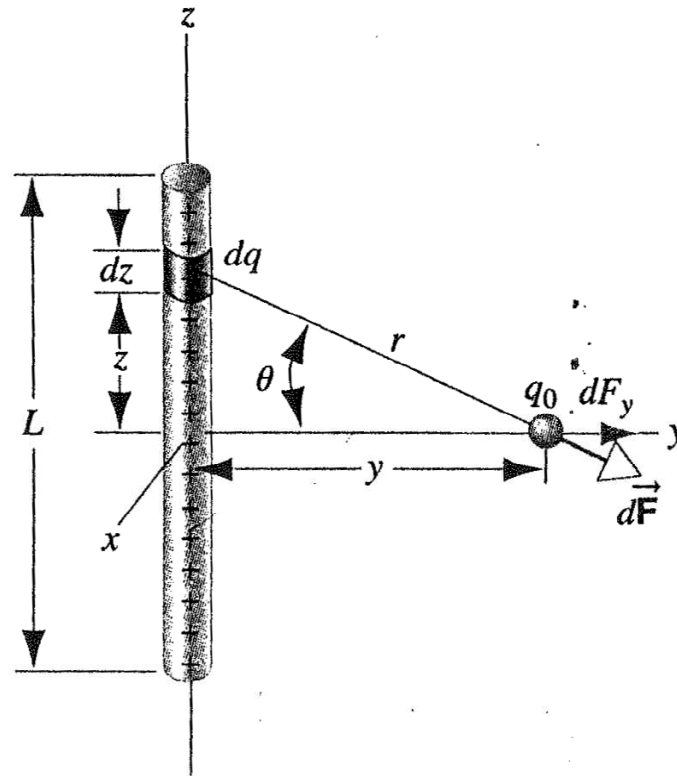


FIGURA 25-11. Varilla cargada uniformemente. Para calcular la fuerza ejercida sobre la carga puntual q_0 , se supone que la varilla consta de muchos elementos individuales de carga, como dq .

Anillo con carga

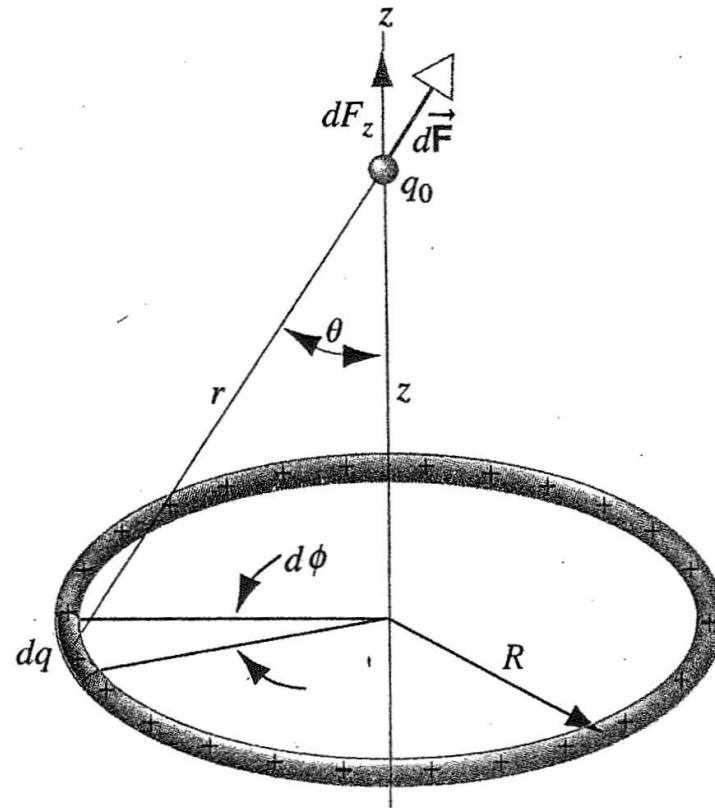
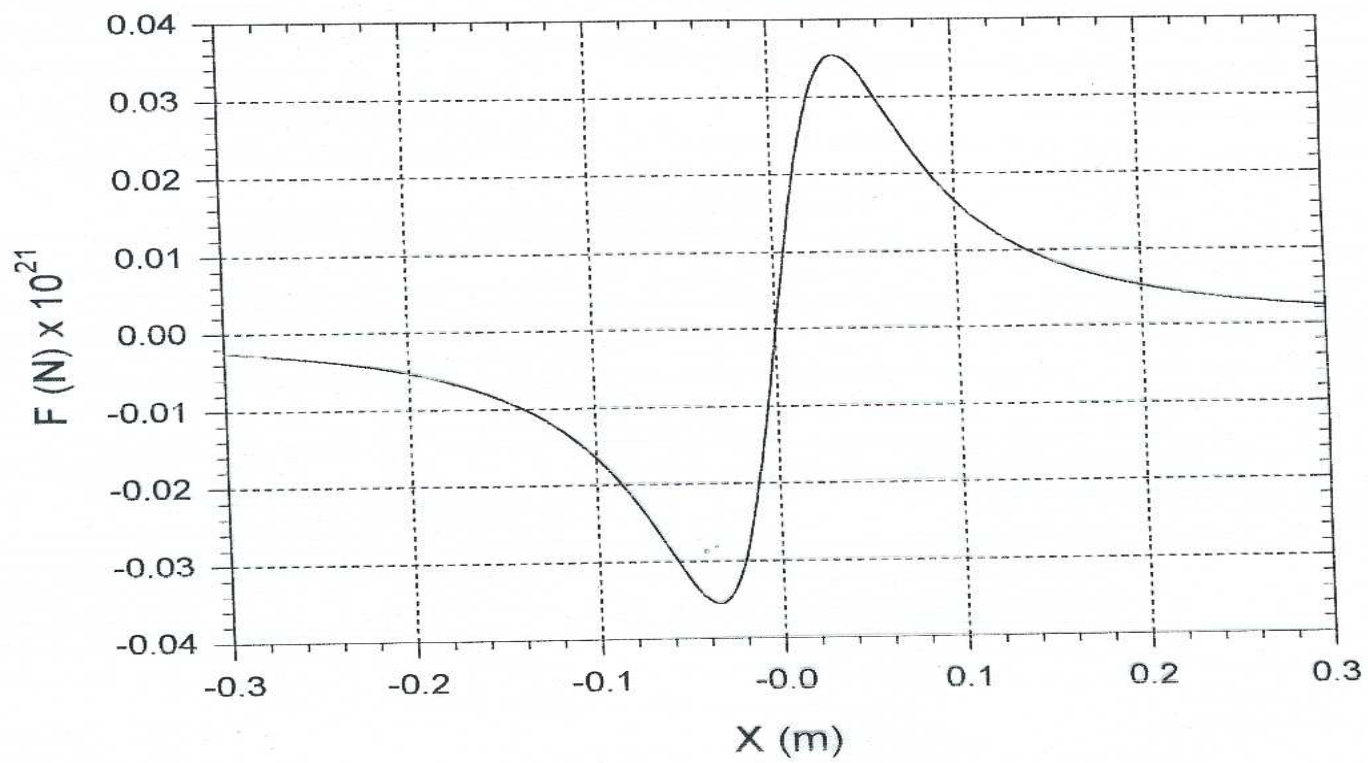


FIGURA 25-12. Anillo cargado uniformemente. Para calcular la fuerza ejercida sobre una carga puntual q_0 , se supone que el anillo consta de muchos elementos individuales de carga, como dq .

Fuerza entre anillo cargado y carga puntual



Disco con carga

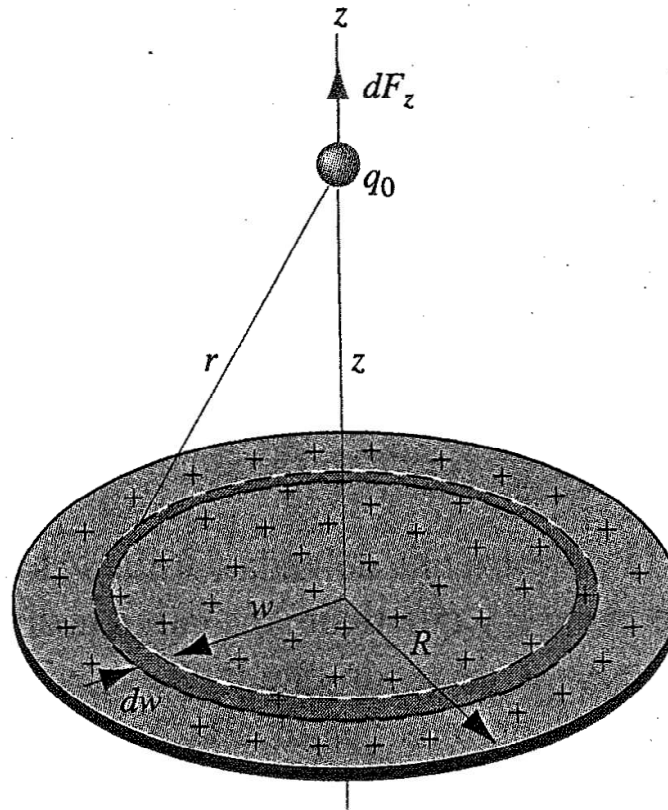


FIGURA 25-13. Disco circular que porta una densidad de carga superficial uniforme. La fuerza ejercida sobre una carga puntual q_0 se calcula dividiendo el disco en delgados anillos circulares.

Cascarón esférico delgado

- Un cascarón esférico de carga uniforme **no ejerce fuerza electrostática sobre una carga puntual ubicada en cualquier parte del interior del cascarón.**
- Un cascarón esférico uniformemente cargado **ejerce fuerza electrostática sobre una carga puntual ubicada fuera de dicho cascarón, como si la carga entera del cascarón estuviese concentrada en una carga puntual en su centro.**