

Física II

Clase # 1

- Carga eléctrica
- Ley de Coulomb
- Distribución discreta de carga

Este apunte sólo constituye una guía de estudio de los temas desarrollados en el curso. De ninguna manera reemplaza la bibliografía sugerida, la cual deberá ser consultada necesariamente por los alumnos para lograr una visión más detallada de cada temática.

Marcelo S. Nazzarro



Temas del curso

- **Carga eléctrica**
Fuerza eléctrica
Campo eléctrico, y **Potencial** eléctrico
- Movimiento de cargas eléctricas : **corriente**
- Componentes de **circuitos** electrónicos: **baterías**, **resistencias**, **capacitores**.
- Corriente Eléctrica → **Campo magnético**
→ Fuerzas magnéticas sobre cargas en movimiento
- **Campos magnéticos variables** → Campo Eléctrico
- Más componentes de circuitos: **inductores**.
- **Ondas Electromagnéticas** → **La luz**
- Óptica Geométrica.
- Óptica Física.



Ecuaciones de Maxwell

Las ecuaciones básicas del electromagnetismo se conocen como las *Ecuaciones de Maxwell*. En honor al físico escocés James Clerk Maxwell (1831-1879)



1) Ley de Gauss de la electricidad $\longrightarrow \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$

2) Ley de Gauss del magnetismo $\longrightarrow \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$

3) Ley de la inductancia de Faraday $\longrightarrow \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$

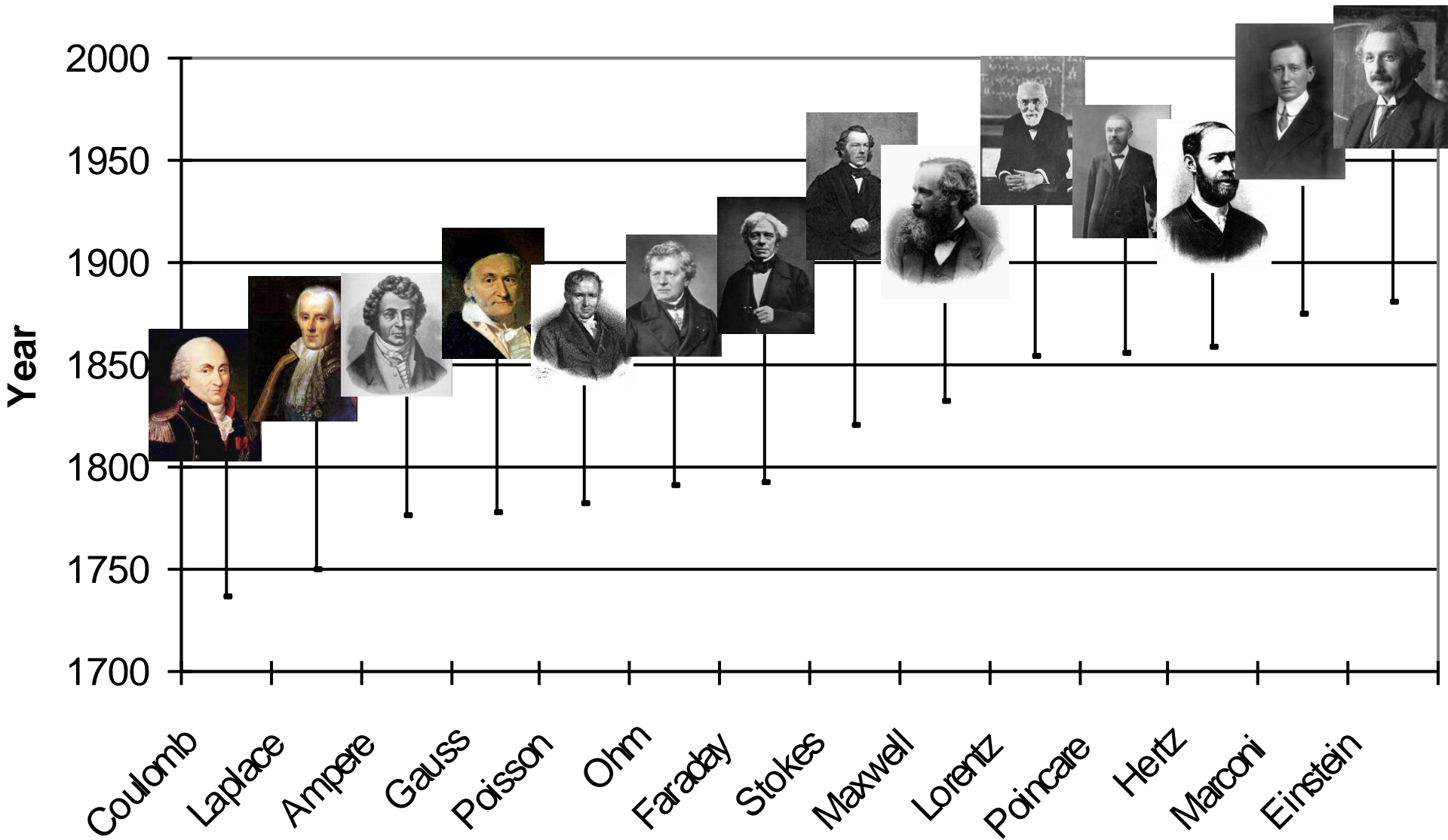
4) Ley de Ampère $\longrightarrow \oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \left(i + \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right)$



*El *Tratado sobre la electricidad y el magnetismo* de Maxwell se publicó en 1873

Cada ecuación es un enunciado de distintos resultados experimentales ...!!

Figuras importantes en la historia del Electromagnetismo



Breve historia de la electricidad 600 a.C.- 1770

> 2000 años !!

600 a.C. Thales de Miletus (630-550 AC) conocía el hecho de que el ámbar, al ser frotado adquiere el poder de atracción sobre algunos objetos. El filósofo Griego Theophrastus (374-287 AC) estableció que otras sustancias tienen este mismo poder. ("*primer estudio científico*" sobre la electricidad).

1600 - La Reina Elizabeth I ordena al Físico Real **Willian Gilbert** (1544-1603) estudiar los imanes para mejorar la exactitud de las Brújulas. **Fué el primero en aplicar el término Electricidad**, del Griego "*elektron*" = *ambar*.

1672 - El Físico Alemán Otto von Guericke - Primera máquina electrostática.

1733 - Francois de Cisternay Du Fay. Identificar dos cargas eléctricas (electricidad vitria y resinosa)

1745 -Botella de Leyden por E. G. Von Kleist y Pieter Van Musschenbroeck. Primer capacitor.

1752 - **Benjamín Franklin** (1706-1790) **demostró la naturaleza eléctrica de los rayos**. Desarrolló la teoría de que la electricidad es un fluido que existe en la materia y su flujo se debe al exceso o defecto del mismo en ella. Inventó el pararrayos y las lentes bifocales.

1766 - El Químico Joseph Priestley propone que . Priestley demostró que no hay campo eléctrico en el interior de una esfera conductora. Priestley descubrió también el oxígeno.

1776 - Charles Agustín de Coulomb (1736-1806) inventó la balanza de torsión con la cual, midió con exactitud la fuerza entre las cargas eléctricas y corroboró que dicha fuerza era proporcional al producto de las cargas individuales e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.



Carga Eléctrica



Carga Eléctrica

Normalmente los objetos que nos rodean no tienen carga neta → son **neutros**.

Cantidad carga  cantidad carga 

La carga eléctrica es una propiedad física intrínseca de algunas partículas subatómicas que se manifiesta mediante fuerzas de atracción y repulsión entre ellas por la mediación de campos electromagnéticos. La materia cargada eléctricamente es influida por los campos electromagnéticos, siendo a su vez, generadora de ellos. La denominada interacción electromagnética entre carga y campo eléctrico es una de las **cuatro interacciones fundamentales de la física**



Ámbar: Resina petrificada
Los términos **Positivo** y **Negativo** se lo debemos a Franklin (1706-1790). Ámbar =(negativo).
Aunque en ese momento se creía que la electricidad era un fluido.

En un objeto cargado hay un desbalance de carga



Carga negativa: hay un exceso de electrones

Carga positiva: hay un déficit de electrones

La unidad de la carga se denomina Coulomb , C, en SI.



Electricidad estática, carga eléctrica y su conservación

- Franklin observó que cuando se producía cierta cantidad de carga en un cuerpo, con cualquier proceso, una cantidad igual pero de tipo opuesto se producía en otro cuerpo.
 - La carga positiva y negativa deben tratarse algebraicamente, y durante cualquier proceso la cantidad de carga producida es 0 (cero)... **Ley?**

Ley de Conservación de la carga eléctrica

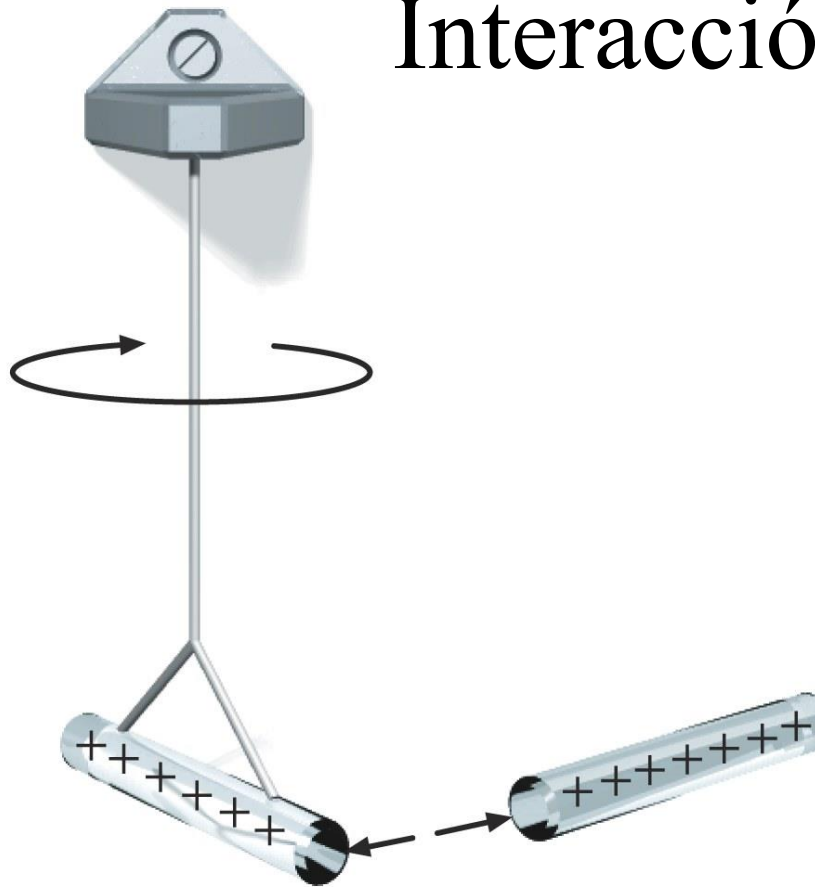
La cantidad de carga neta producida en cualquier proceso es CERO!!

Hasta el momento nunca se ha observado una violación de esta ley !!!

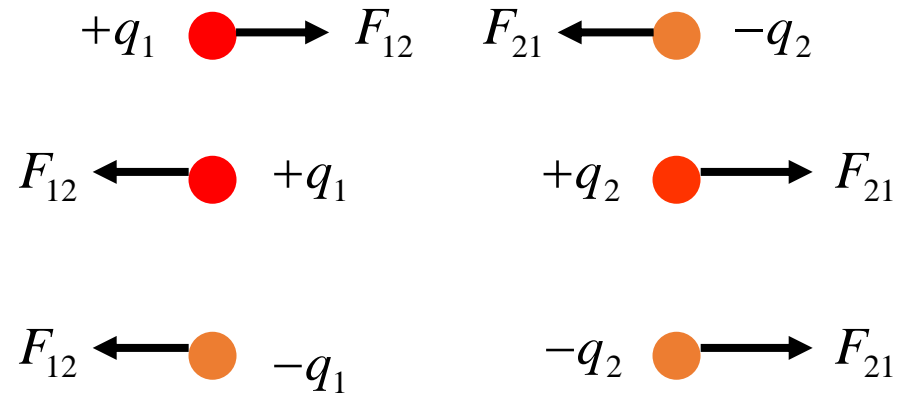
Al igual con lo que ocurre con la conservación de la energía o del momento



Interacción entre cargas



Experimentalmente se puede obtener una ley para las cargas
Cargas de igual signo se repelen y de signo opuesto se atraen



Serie Triboeléctrica*

Cuanto más arriba de la serie triboeléctrica figura un material, mayor es la facilidad que éste tiene para ceder electrones. Análogamente, los materiales que figuran más abajo, son los que mayor afinidad tienen por los electrones.

* La palabra *triboelectricidad* (del griego: tribo = frotar) alude, justamente, a la electrificación por frotamiento.

TABLE 21-1

The Triboelectric Series



+ Positive End of Series
Asbestos
Glass
Nylon
Wool
Lead
Silk
Aluminum
Paper
Cotton
Steel
Hard rubber
Nickel and copper
Brass and silver
Synthetic rubber
Orlon
Saran
Polyethylene
Teflon
Silicone rubber
- Negative End of Series



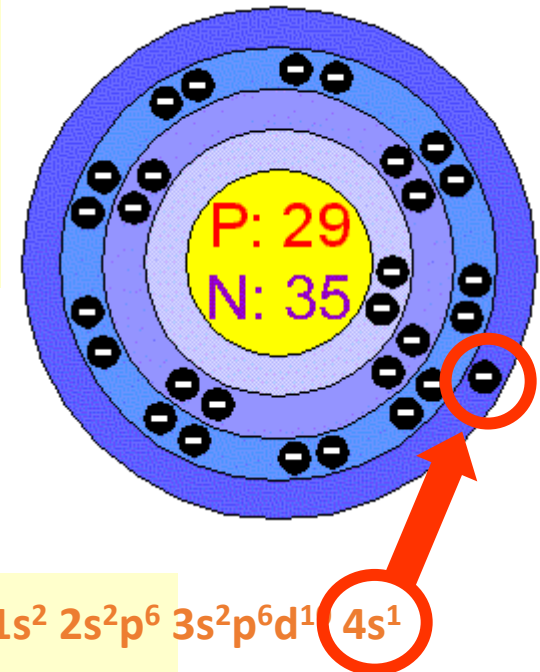
Conductores y Aisladores



Estructura del átomo

- Los átomos son eléctricamente neutros.
- El núcleo del átomo está compuesto por protones (+), y neutrones (sin carga).
- El núcleo está rodeado por una nube de electrones (-).
- N° de protones = N° electrones.
- Por ejemplo, el cobre tiene 29 protones, 35 neutrones, y 29 electrones.

Cu: Cobre

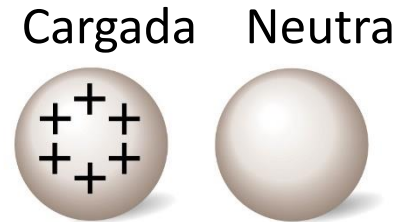


$1s^2 2s^2 p^6 3s^2 p^6 d^1 4s^1$



Conductores y Aisladores

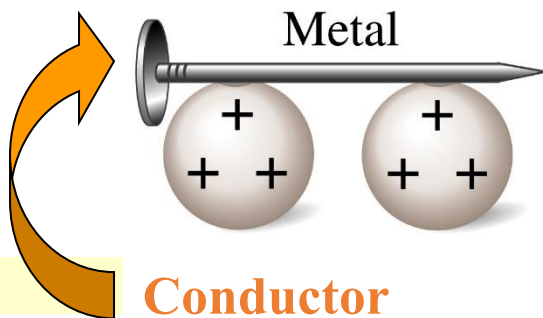
Imaginemos dos esferas de metal una de las cuales está cargada.



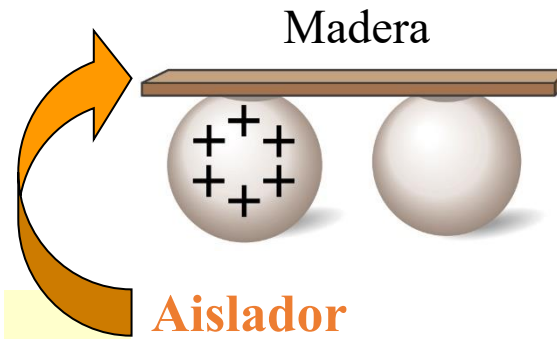
Qué ocurre cuando las conectamos con:

Un objeto metálico?
Algunas de las cargas son transferidas.

Un objeto de madera?
No se transfieren cargas



Conductor



Aislador

Hay un tercer tipo de materiales llamados, **Semiconductores**, como el silicio o el Germanio → Conducen bajo ciertas condiciones



Conductores y Aisladores

El cobre, los metales en general, el agua corriente y el cuerpo humano son ejemplos comunes de **conductores**.

En un conductor típico cada átomo contribuye con un electrón de conducción



$$10^{23} \left[\frac{\text{elec. de conducc.}}{\text{cm}^3} \right]$$

El vidrio, el agua químicamente pura y los plásticos son ejemplos comunes de **aislantes**

En un aislador típico



$$1 \left[\frac{\text{elec. de conducc.}}{\text{cm}^3} \right]$$

En un **semiconductor**, germanio o silicio dopado con impurezas química, la densidad de electrones de conducción disponible se puede controlar en función del voltaje, la luz y la temperatura.

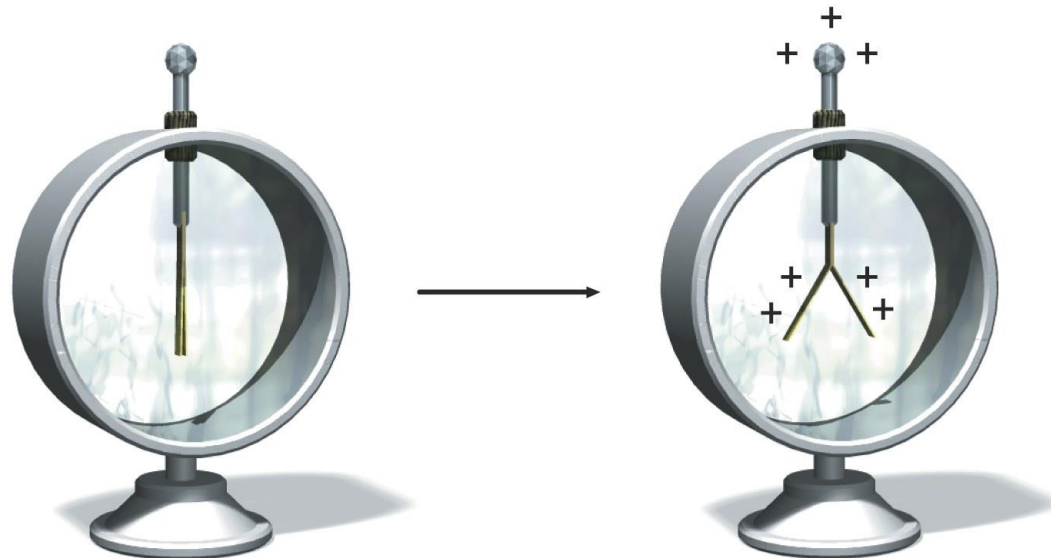
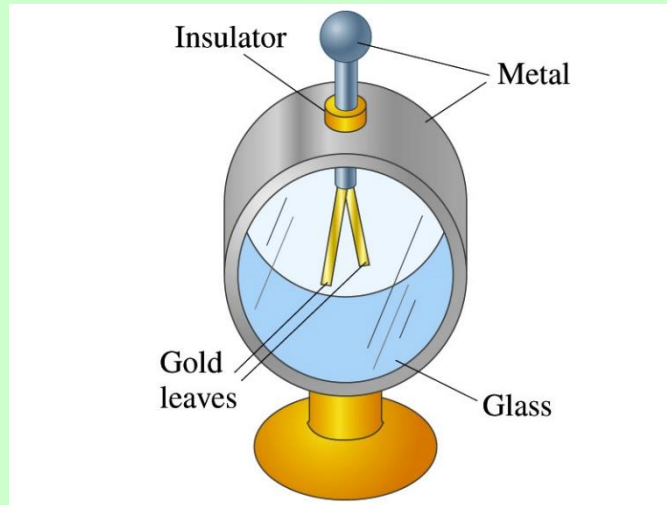
En un semiconductor



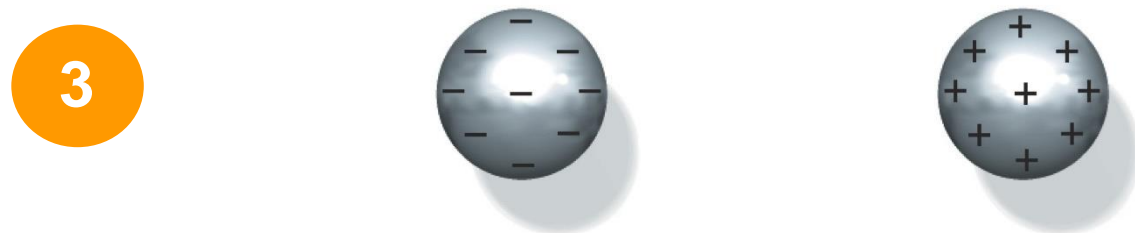
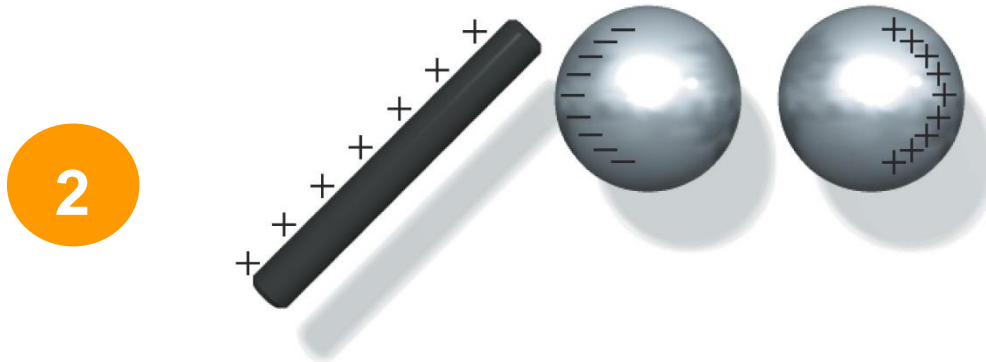
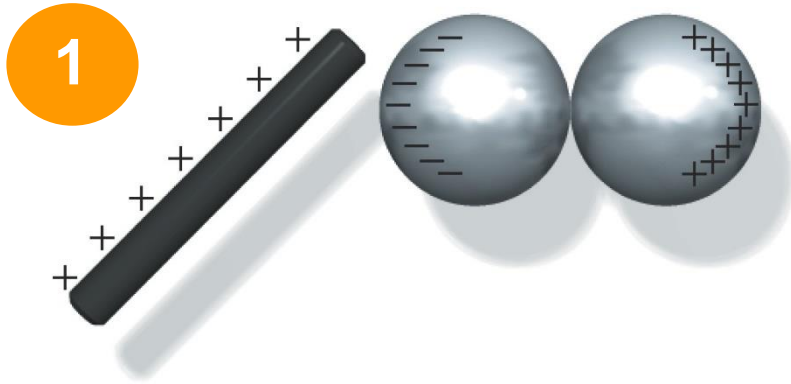
$$\text{entre } 10^{11} \text{ y } 10^{12} \left[\frac{\text{elec. de conducc.}}{\text{cm}^3} \right]$$



Midiendo carga: El Electroscopio



Carga por inducción



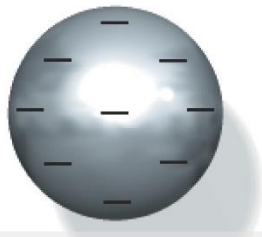
Carga Inducida

Podemos inducir carga neta sobre un objeto metálico conectándolo mediante un conductor a tierra

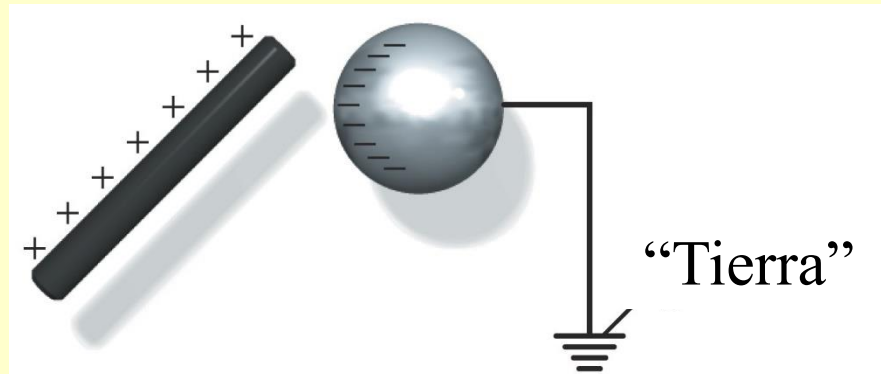


Atracción de un conductor descargado

Las cargas se re-distribuyen rápidamente después que alejamos la barra cargada



“Tierra” = fuente o sumidero de cargas

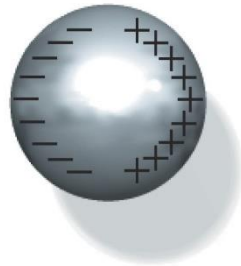
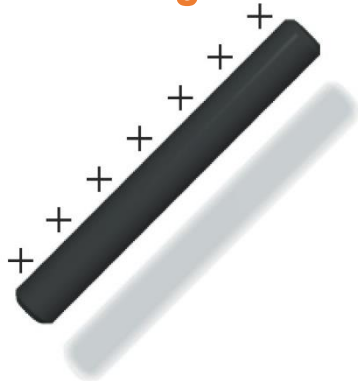


La tierra es muy grande y conductora, la Tierra puede dar y aceptar carga.
La tierra actúa como un reservorio cuasi-infinito de carga.

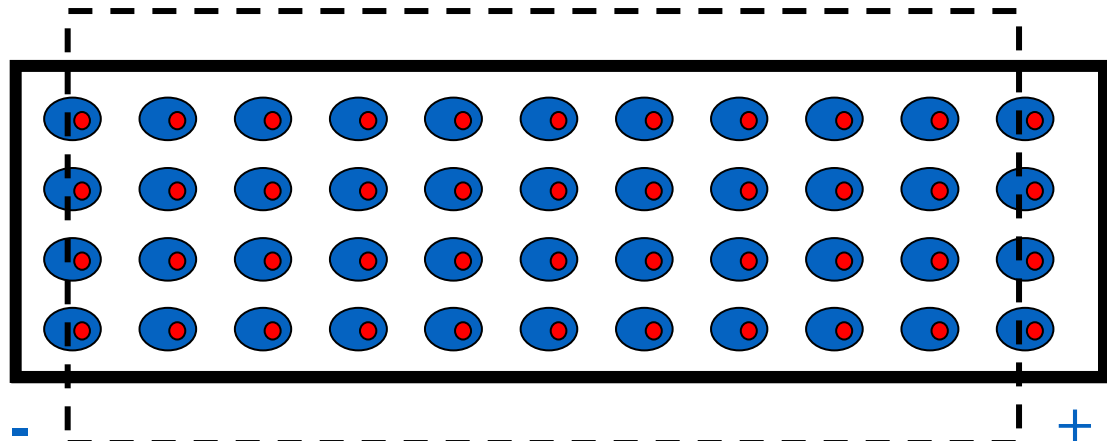
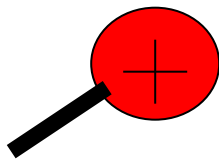
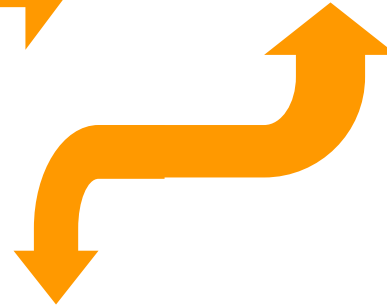


Cargas superficiales inducidas en un aislante

Atracción de un aislante sólido
descargado



No tienen electrones libres !!



La distribución de electrones se modifica al
acercarle una carga externa.



Ley de Coulomb



Ley de Coulomb

Las cargas ejercen fuerzas sobre otras.

Qué factores afectan la magnitud de esta fuerza?

Charles Coulomb se hizo esa pregunta alrededor de 1780.



Coulomb encontró que la fuerza eléctrica es proporcional el producto de las dos cargas

Si duplicamos una de las cargas	→	F se duplica
Si duplicamos ambas cargas	→	F se cuadruplica

Inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre las cargas.

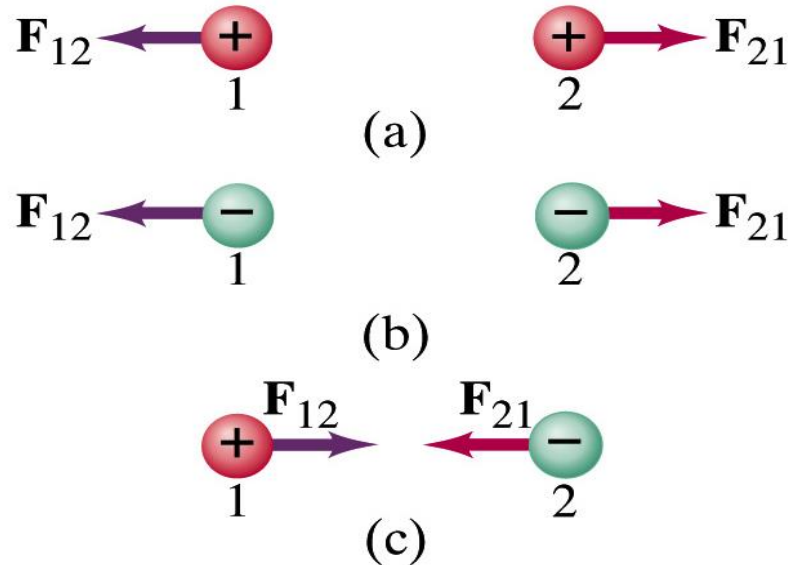
Cargas de igual signo se repelen y de signo opuesto se atraen

Cómo expresar todo esto en una formula?



Ley de Coulomb – La Fórmula

$$k = 8.988 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$



La Fuerza de Coulomb es un escalar o un vector? .



Cómo se midió ...?

Joseph Priestley propone en 1766 ,en analogía con la ley de gravitación de Newton, la dependencia de F con la distancia.

Charles Agustín de Coulomb en 1785 realiza una medición cuantitativa utilizando una balanza de torsión inventada por él.

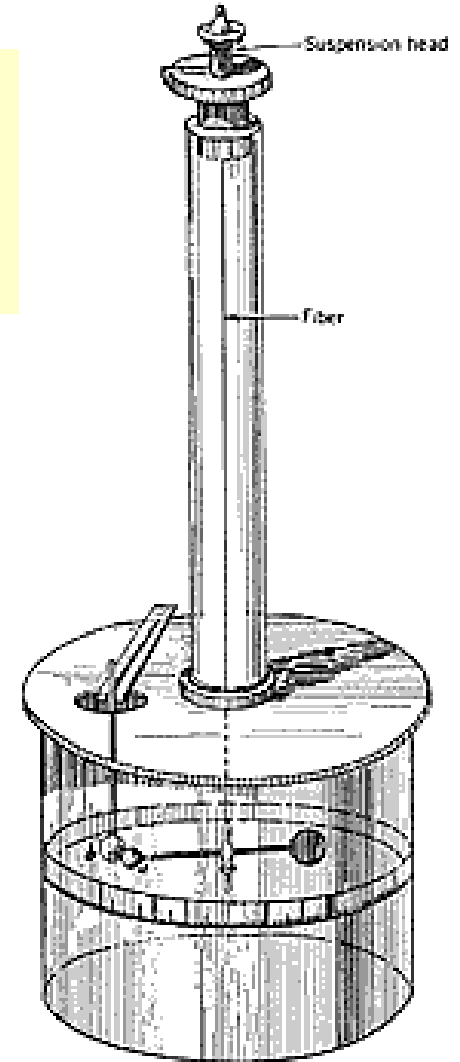
$$+q_1 \quad \bullet \quad \xrightarrow{F_{12}} \quad F_{21} \quad \xleftarrow{\quad} \quad \bullet \quad -q_2$$

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \leftarrow \text{Balanza de torsión}$$

Este método no puede asegura el exponente 2 !!

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{r^{2+\delta}} \quad \text{Pero hay un experimento del año 1971 que aseguran un } \delta < 10^{-16} \quad !!!$$

$$|\vec{F}| = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad k = 8,99 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$$



Coulomb's Torsion Balance
23/35

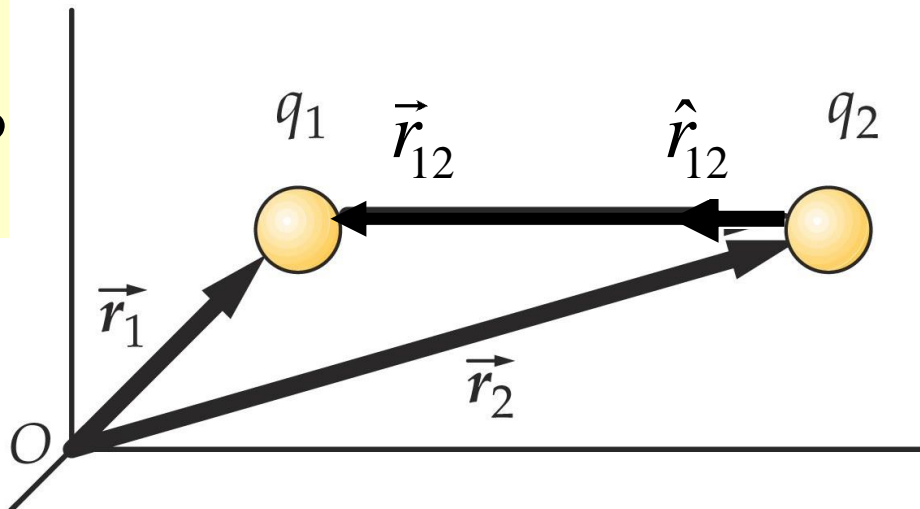
Ley de Coulomb – Expresión vectorial

$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

Ley de Coulomb para la fuerza ejercida sobre q_1 por q_2

$$\hat{r}_{12} = \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}} \quad \text{Vector unitario}$$

donde $\vec{r}_{12} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2$

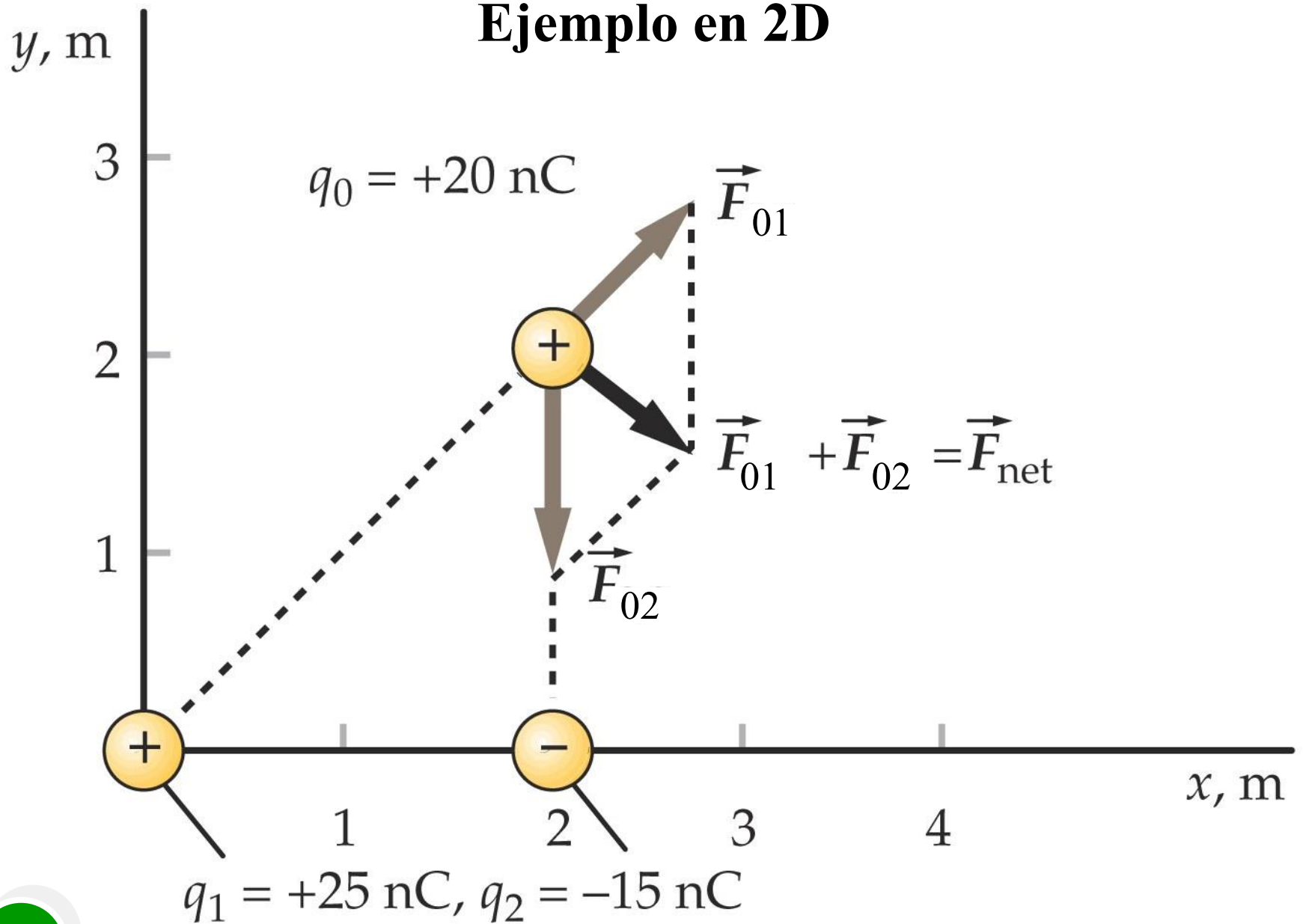


La forma vectorial es muy útil sobre todo cuando queremos aplicar el principio de superposición

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_{14} + \dots + \vec{F}_{1N}$$



Ejemplo en 2D



Fuerza eléctrica y Fuerza gravitacional

• Son similares?

$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}$$

$$\vec{F}_{12} = G \frac{M_1 M_2}{r_{12}^2}$$

• Cuáles es el origen de estas fuerzas?

Cargas: propiedad fundamental de la materia

Masas: propiedad fundamental de la materia

• Qué tienen de similar?

Inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre las fuentes → Ley?

•Cuál es la diferencia?

fuerzas gravitatorias: siempre hay atracción



Carga eléctrica

Un objeto no puede ganar o perder una fracción de carga, si la carga cambia siempre lo hará en un múltiplo entero de e .



Experimento de Robert Millikan (en 1909)

La carga eléctrica está cuantizada

La carga elemental, la carga más pequeña, es la de un electrón: $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

Por ejemplo: No es posible cargar un objeto con una carga de 2.5 e
Protón: $+1e$. Electrón: $-1e$.

En el SI, la carga eléctrica se mide en coulomb (C).

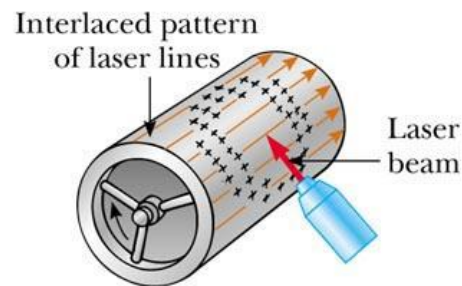
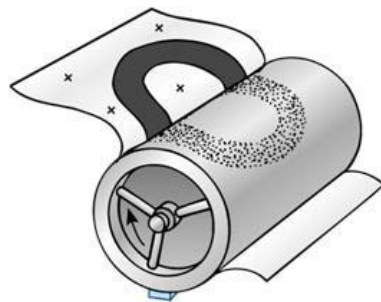
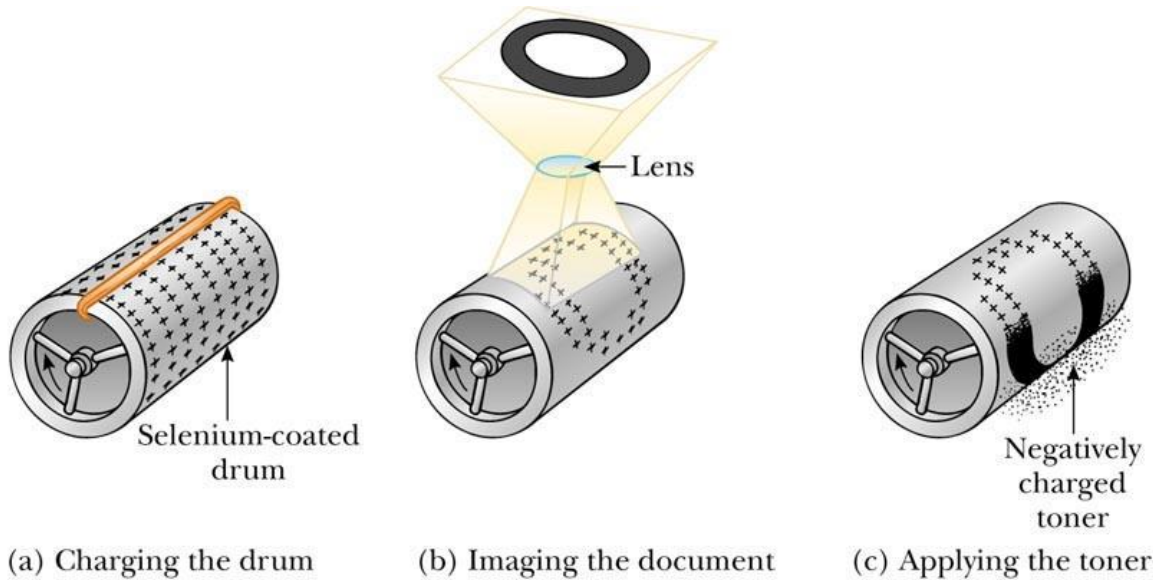
$$|e| = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}.$$



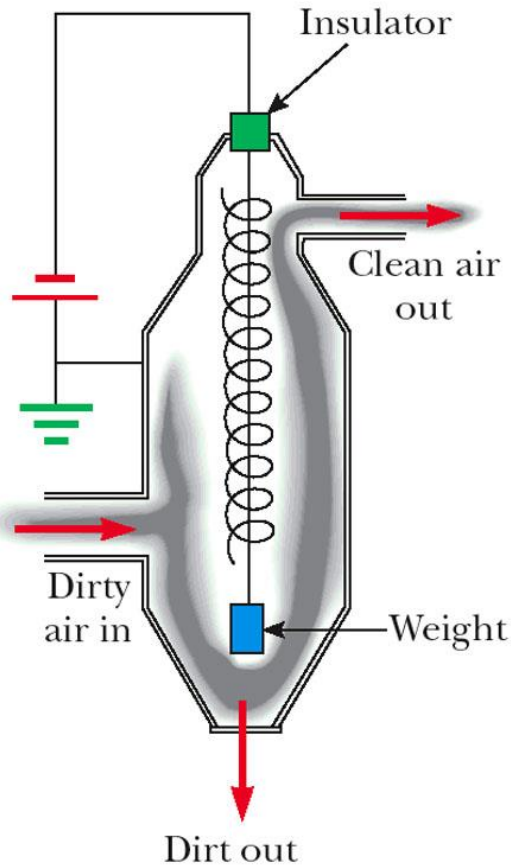
Aplicaciones



La xerografía



Precipitador electrostático

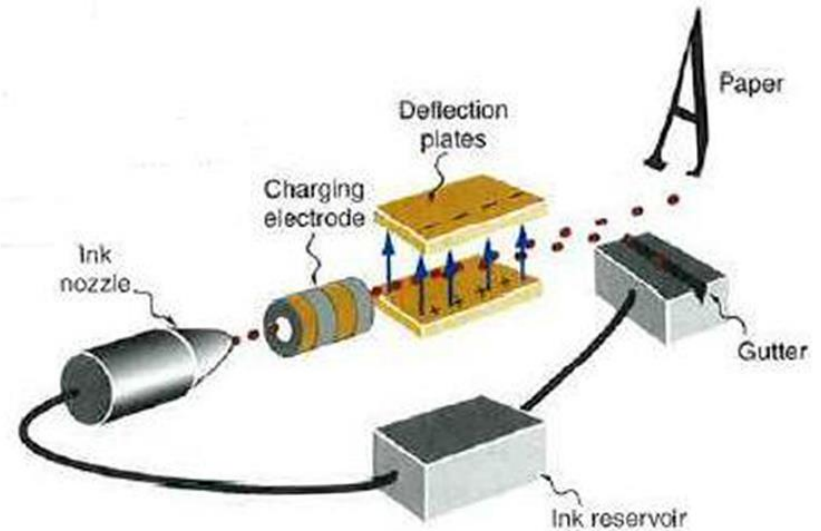


© 2006 Brooks/Cole - Thomson

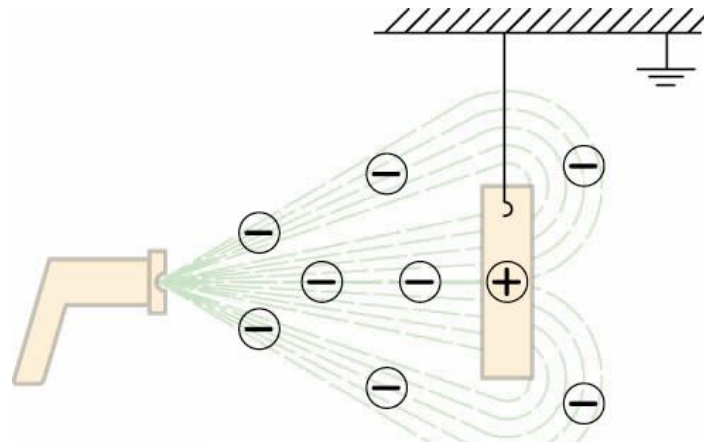


© 2006 Brooks/Cole - Thomson

Impresora ink-jet



Pintura electrostática



Ejemplos



Ejemplo 1

Fuerza eléctrica de un protón sobre un electrón.

Determinar la magnitud de la fuerza eléctrica que ejerce el núcleo de un átomo de hidrógeno ($Q_2=+e$) sobre el electrón. Asumir que el electrón “orbita” al protón a una distancia promedio de $r=0.53\times 10^{-10}\text{m}$.

Usando la Ley de Coulomb

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

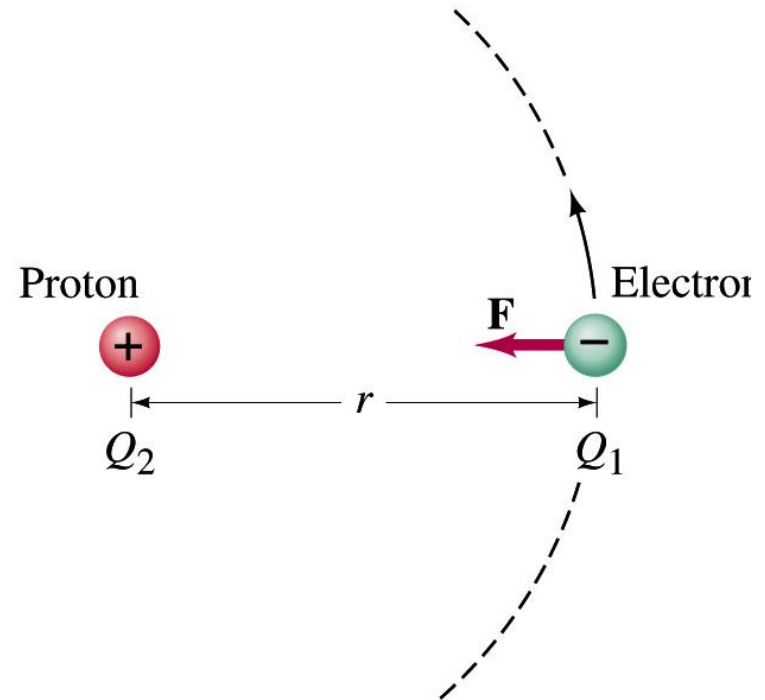
Las cargas involucradas

$$Q_1 = -e = -1.602 \times 10^{-19} \text{ C} \quad Q_2 = +e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Entonces la magnitud de la fuerza es:

$$\begin{aligned} F &= \left| k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \right| = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 \frac{(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})}{(0.53 \times 10^{-10} \text{ m})^2} \\ &= 8.2 \times 10^{-8} \text{ N} \end{aligned}$$

Cuál es la dirección ?Cuál es el sentido?



Ejemplo 2

Cuál carga ejerce la mayor fuerza?

Las dos cargas puntuales positivas, $Q_1=50\mu\text{C}$ y $Q_2=1\mu\text{C}$, y están separadas por una distancia L .



Qué fuerza ejerce Q_2 sobre Q_1 ?

$$F_{12} = k \frac{Q_1 Q_2}{L^2}$$

Qué fuerza ejerce Q_1 sobre Q_2 ?

$$F_{21} = k \frac{Q_2 Q_1}{L^2}$$

Las magnitudes de las dos fuerzas son idénticas !!!

Qué tienen de diferentes?

Cuál es la dirección?

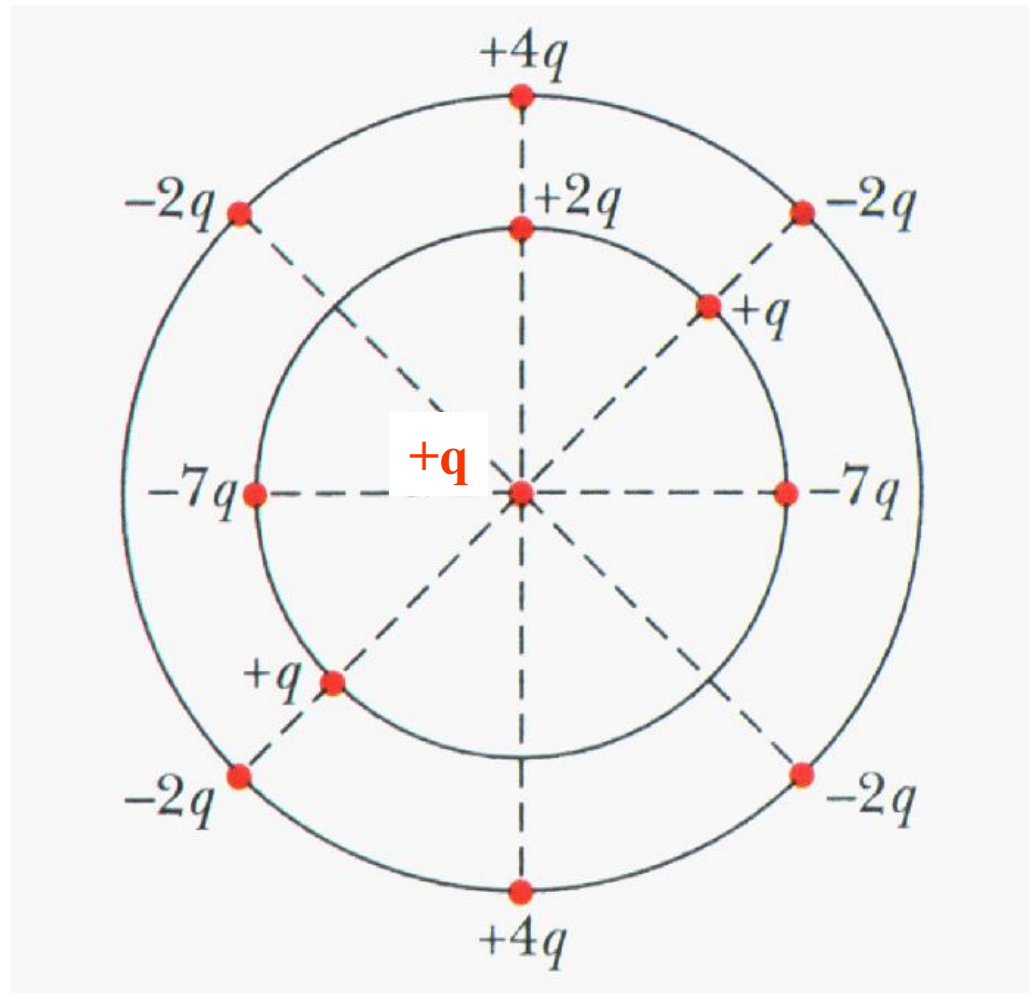
Qué ley nos recuerda?



Ejemplo 3

Utilizando la simetría ...

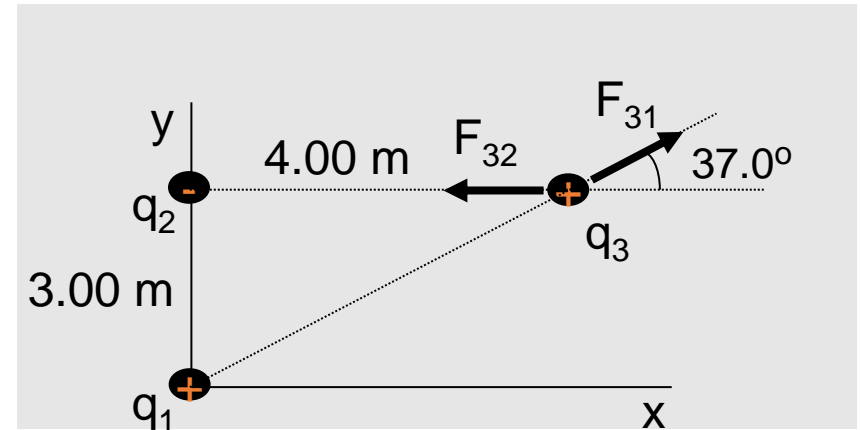
Cuál es la fuerza neta sobre la carga $+q$ ubicada en el centro?



Ejemplo 4

Cuál es la fuerza neta sobre la carga q_3 ?

Datos: $q_1=6 \text{ nC}$, $q_2= 2\text{nC}$ y $q_3=5 \text{ nC}$



$$F_{32} = k \frac{|q_3||q_2|}{r^2} = 8.99 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \frac{(5.00 \times 10^{-9} \text{ C})(2.00 \times 10^{-9} \text{ C})}{(4.00 \text{ m})^2} = 5.62 \times 10^{-9} \text{ N}$$

$$F_{31} = k \frac{|q_3||q_1|}{r^2} = 8.99 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \frac{(5.00 \times 10^{-9} \text{ C})(6.00 \times 10^{-9} \text{ C})}{(5.00 \text{ m})^2} = 1.08 \times 10^{-8} \text{ N}$$

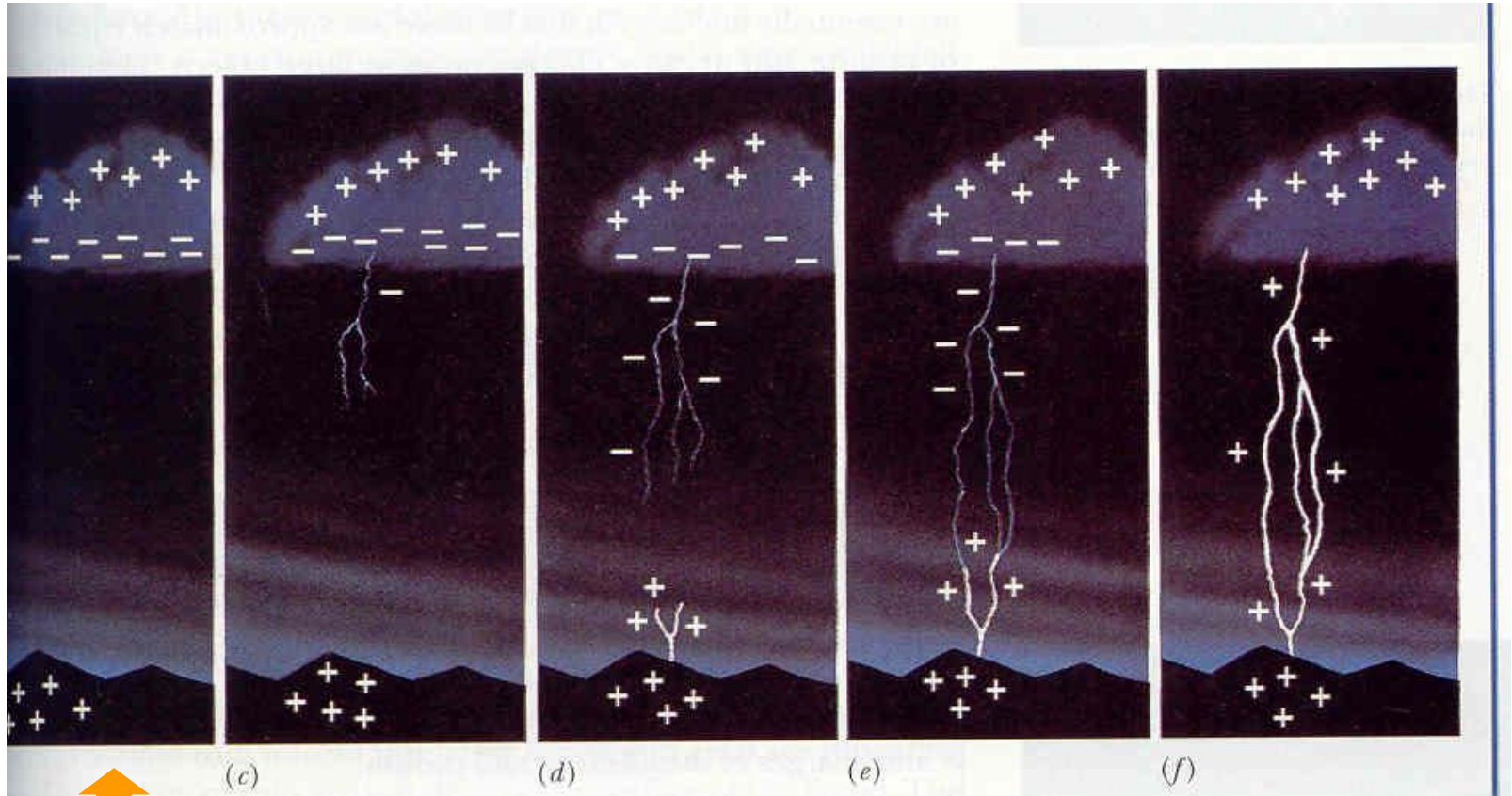
$$F_x = F_{32} + F_{31} \cos 37.0^\circ = 3.01 \times 10^{-9} \text{ N}$$

$$F_y = F_{31} \sin 37.0^\circ = 6.50 \times 10^{-9} \text{ N}$$

$$|F| = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = 7.16 \times 10^{-9} \text{ N}$$

$$\theta = 65.2^\circ$$

Rayos



Separación de cargas



