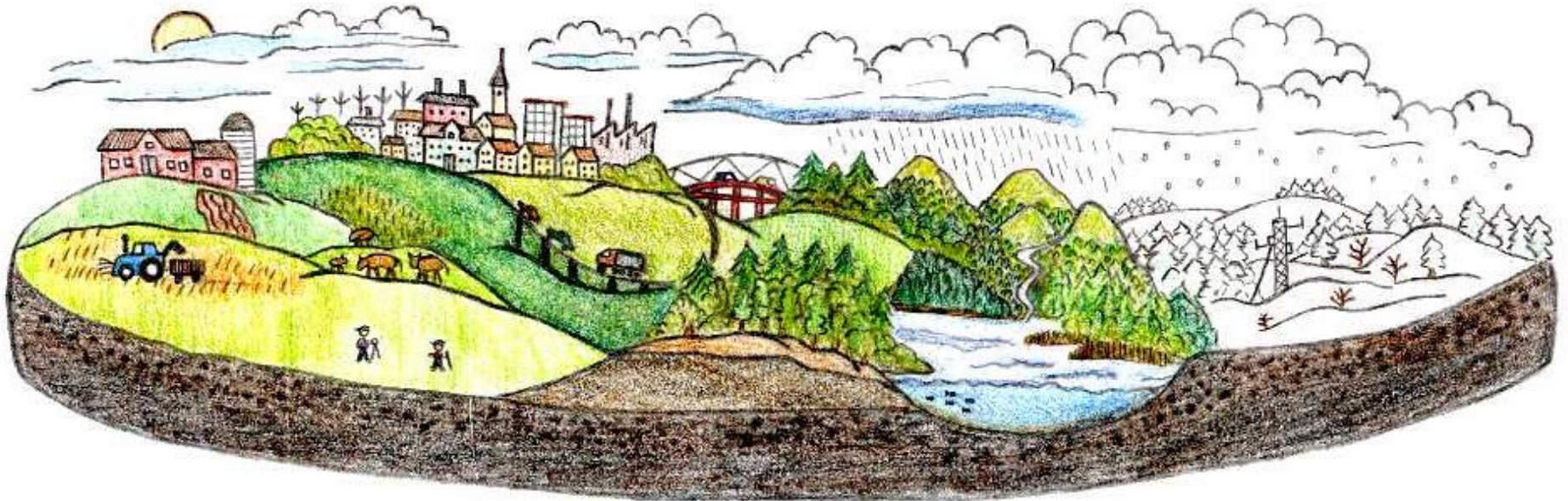


# Bases Físicas del Medio Ambiente

## Campo Eléctrico



# Programa

- **XI. CAMPO ELÉCTRICO.(3h)**
- Carga eléctrica. Conductores. Ley de Coulomb. Campo electrostático. Ley de Gauss. Diferencia de potencial. Campo electrostático y potencial: superficies equipotenciales. Distribución de carga. Capacidad. Condensadores. Energía electrostática de un condensador. Energía del campo electrostático. Dieléctricos.



# Programa

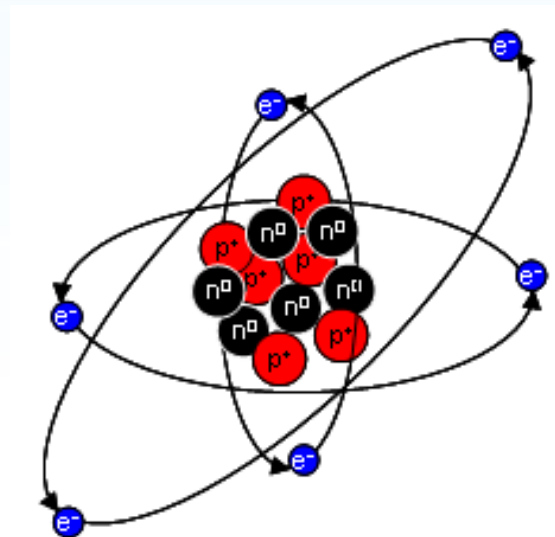
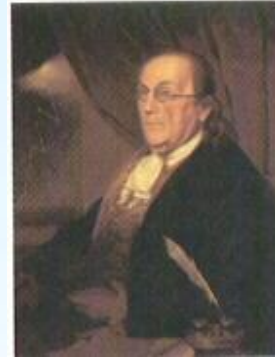
- **XI. CAMPO ELÉCTRICO. (3h)**
- **Carga eléctrica. Conductores. Ley de Coulomb.** Campo electrostático. Ley de Gauss. Diferencia de potencial. Campo electrostático y potencial: superficies equipotenciales. Distribución de carga. Capacidad. Condensadores. Energía electrostática de un condensador. Energía del campo electrostático. Dieléctricos.



# Carga Eléctrica

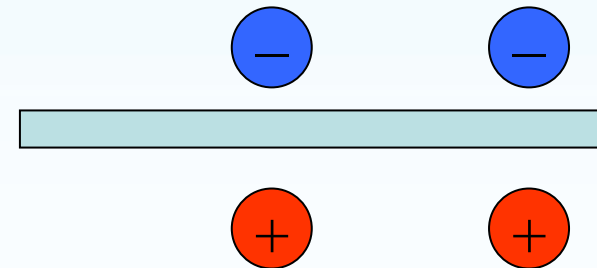
## Propiedad Intrínseca de la Materia

- Tipos de carga (Franklin, 1706-1790)
  - Positiva protones
  - Negativa electrones
  - Neutral neutrones
- Hoy sabemos más sobre su naturaleza
- Los átomos son neutrales, compuestos de
  - Núcleos positivos (fijos)
    - con  $r \sim 10^{-15} \text{ m}$
  - Electrones negativos (móviles)
    - en órbita a distancias de  $r \sim 10^{-10} \text{ m}$



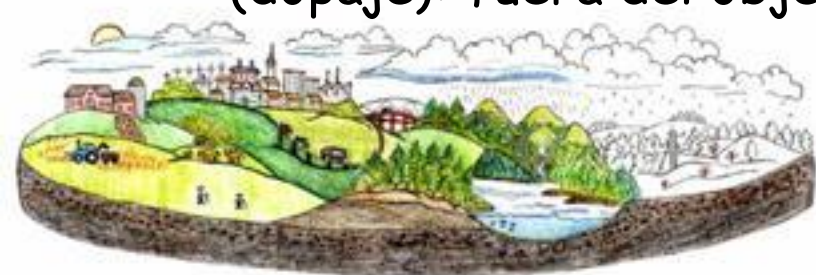
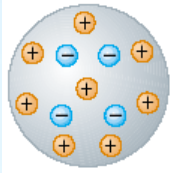
# Propiedades de la Carga Eléctrica

- 1. La carga se conserva
  - Se puede transferir de objeto a objeto
  - No se crea, ni se destruye
- 2. La carga viene en quanta
  - El cargo más pequeño conocido: un electrón (protón)
- 3. Fuerzas de atracción y repulsión:
  - Las cargas **opuestas** se atraen
  - Las cargas del mismo signo se repulsan
  - La fuerza dependen de la distancia
    - (Más tarde)



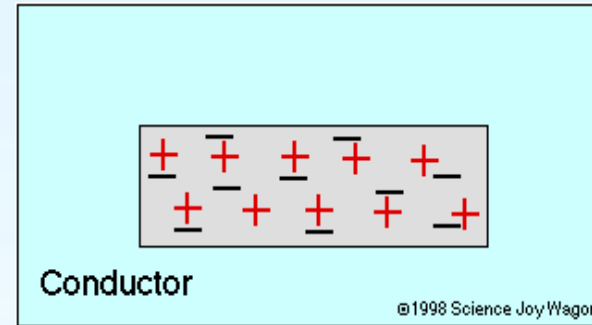
# Cargas positivas y negativas

- Objeto con carga positiva: más protones que electrones
  - No se trata siempre de un protón individual
- Tipos de objetos, según la movilidad de los electrones
  - Conductores : con electrones "libres" ("promiscuos"; no atados a ningún átomo) a moverse dentro de la materia
    - Metales (plomo, cobre, plata) : un átomo suele tener uno o dos electrones externos, débilmente vinculados al núcleo
    - También: disoluciones iónicas, cuerpo humano, etc.
  - Aislantes (vidrio, madera, caucho): tienen cada electrón atado a un átomo concreto. En realidad no existen aislantes perfectos.
  - Semiconductores (silicio, germanio): propiedades eléctricas cambian agregando pequeñas cantidades de otros elementos (dopaje): fuera del objetivo de esta asignatura

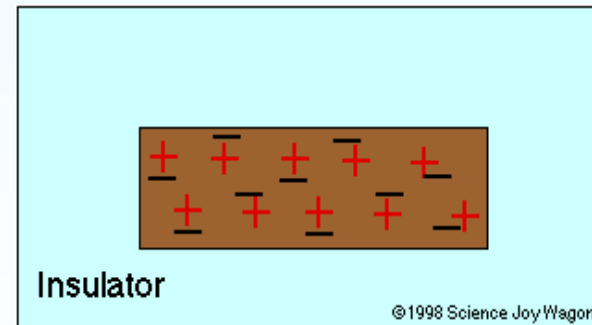


# Conductores y Aislantes (Conductors and Insulators)

Comportamiento de los electrones en un conductor perfecto



Comportamiento de los electrones en un aislante



La gran parte de los materiales se comportan de manera intermedia



# Transferencia de carga

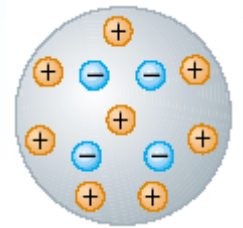
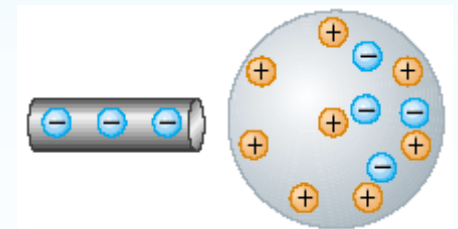
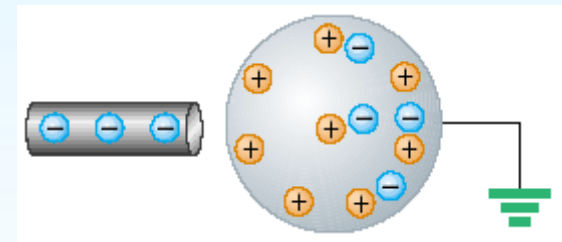
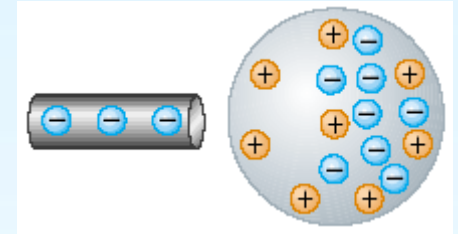
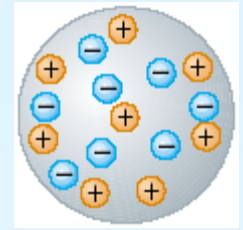
- Frotarse el cabello con un globo
  - Conservación de carga
  - Intercambio de electrones
    - Cabello positivo -----> Globo negativo (ejm)
    - Se atraen
- "Carga por conducción"
- Otro método que funciona sólo para los conductores (estrictamente)





# Inducción de Carga en Conductores

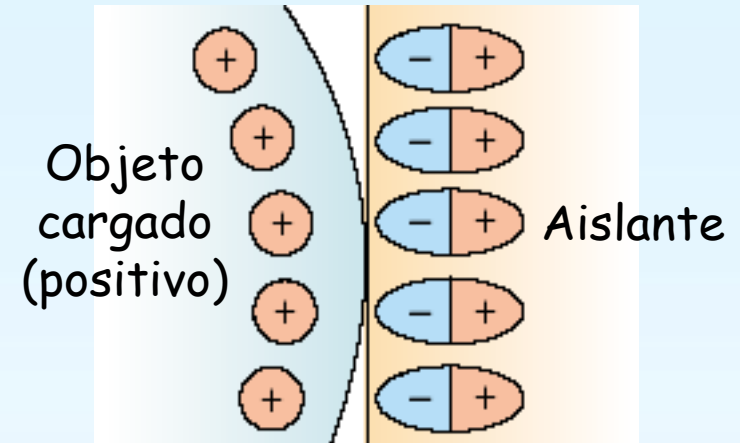
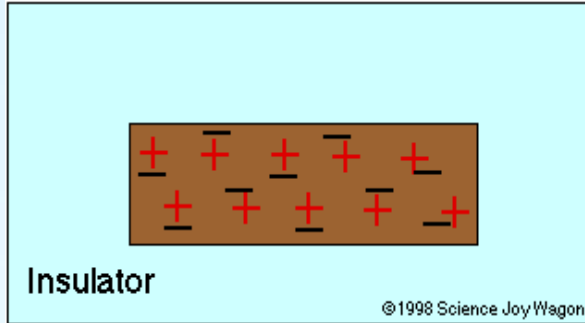
- Empezamos con un conductor
- Acercar una barra con carga negativa
  - Se alargan los electrones
- Conectar el lado negativo a la tierra
  - Se escapan algunos electrones
- Desconectar de la tierra
- Quitar la barra
- El conductor se queda con carga positiva



*Carga por inducción*



# Inducción en Aislantes



- No es que los electrones no se muevan
  - (no se mueven lejos)
  - Reorganización de carga en cada molécula
- Desequilibrio de fuerzas
  - Fuerza de atracción
  - Fuerza de repulsión



Preludio:  
Ley de  
Coulomb



# Preludio a la Ley de Coulomb: Cuantificación de la carga

- La unidad (S.I.): un coulomb (C) es la carga de aproximadamente  $6.24 \times 10^{18}$  electrones o protones
  - 1 cm<sup>3</sup> de Cu contiene  $10^{23}$  electrones libres
    - 1 C puede parecer pequeño
  - Sin embargo, 1 C es una carga sustancial: frotando una varita de vidrio, se puede conseguir una carga de  $10^{-6}$  C

Partícula	Carga (C)	Masa (kg)
Electrón	$-1.6021917 \times 10^{-19}$	$9.1095 \times 10^{-31}$
Protón	$1.6021917 \times 10^{-19}$	$1.67261 \times 10^{-27}$
Neutrón	0	$1.67261 \times 10^{-27}$



# La Ley de Coulomb

- La Fuerza Eléctrica entre dos cargas  $F_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \hat{r}$ 
  - Proporcional al producto de las cargas
  - Proporcional al inverso de la separación, cuadrada
  - Dirección/signo:
    - Atracción si son dos cargas con signos opuestos
    - Repulsión si son del mismo signo
- Fijarse que  $F_{12} = -F_{21}$  (vectores iguales, opuestos)
- Es una fuerza conservativa (como la gravedad)
  - Def : Trabajo  $\neq$  f(camino)
  - (Interés en definir campos de potencial
  - Importancia de "diferencias de potencial"



# La Ley de Coulomb

- La Fuerza Eléctrica entre dos cargas  $F_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \hat{r}$ 
  - A veces se escribe así:  $k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon}$   $F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \hat{r}$
  - Donde  $\epsilon$  es la "permisividad" del medio
  - La permisividad del vacío  $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$ 
    - La constante de Coulomb;  $k_{e0} = 8.9875 \times 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$



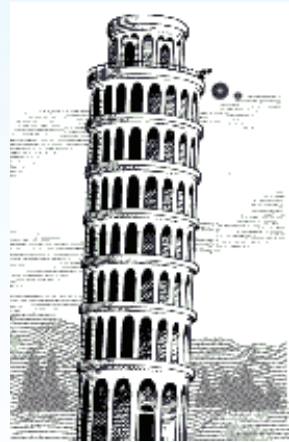
# Programa

- **XI. CAMPO ELÉCTRICO.(3h)**
- Carga eléctrica. Conductores. Ley de Coulomb. **Campo electrostático**. Ley de Gauss. Diferencia de potencial. Campo electrostático y potencial: superficies equipotenciales. Distribución de carga. Capacidad. Condensadores. Energía electrostática de un condensador. Energía del campo electrostático. Dieléctricos.



# El concepto de un campo

- La fuerza de gravedad  $F_g = G \frac{|m_1| |m_2|}{r^2}$ 
  - Siendo objeto 1 la Tierra
  - Objeto 2 lo que sea\*
- La aceleración ( $g$ ) de objeto 2:  $g = \frac{F_g}{|m_2|} = G \frac{|m_1|}{r^2}$ 
  - Solo depende de distancia de la Tierra
  - Constantes:  $G$ ,  $m_1$  (masa Terrestre)
- Podemos describir la aceleración de cualquier objeto ("2") en función de su posición en el campo gravitacional de la Tierra, independiente de su masa (Galileo)
- Paralelismos entre fuerzas (gravedad, eléctrica)
  - No hace falta ningún contacto entre elementos
  - El campo espacial depende solo en las distancias cuadradas
- Un campo: cualquier magnitud física asociada a cada posición del espacio



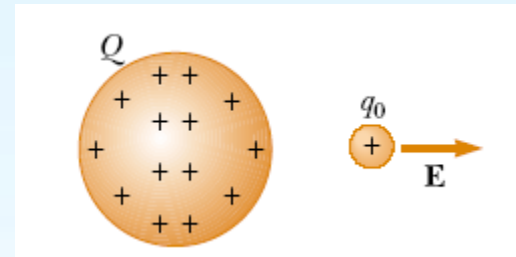
\*Tiene que ser de masa pequeña relativa a la Tierra.  
¡No puede ser el sol!

# El campo eléctrico

- Concepto de un campo - Michael Faraday (1791-1867):

- Si se ubica una **carga de prueba**  $q_0$
- La fuerza que experimenta es  $\vec{F} = q_0 \vec{E}$

- Donde  $\vec{E}$  es el campo eléctrico  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$



- El campo eléctrico es la fuerza que actúa en una carga de prueba *positiva* con  $q_0$ , normalizado por  $q_0$
- Importante:  $\vec{E}$  no dependen en  $q_0$  (la carga de prueba se considera como un *detector* del campo eléctrico)
  - Hipótesis:  $q_0$  es suficientemente pequeño que no altera la distribución de cargas que determina el campo eléctrico





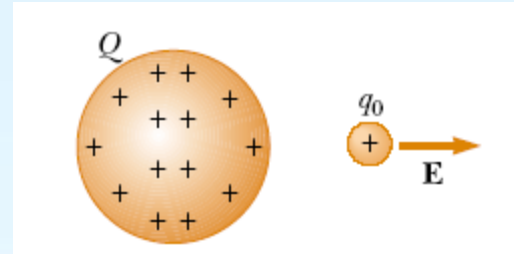
# La fuerza y el campo eléctrico

- El vector  $\vec{E}$ 
  - Tiene unidades (S.I.) de newton/coulomb (N/C)
  - Ayuda a determinar la fuerza eléctrica para cualquiera carga
- En general, si se ubica una carga  $q$  en un campo eléctrico, la fuerza que experimenta es  $\vec{F}_e = q\vec{E}$ 
  - Para  $q > 0$ , la fuerza es en la misma dirección del campo
  - Para  $q < 0$ , la fuerza es en la dirección opuesta
- El campo eléctrico es la fuerza que actúa en una carga de prueba positiva con  $q_0$ , normalizado por  $q_0$



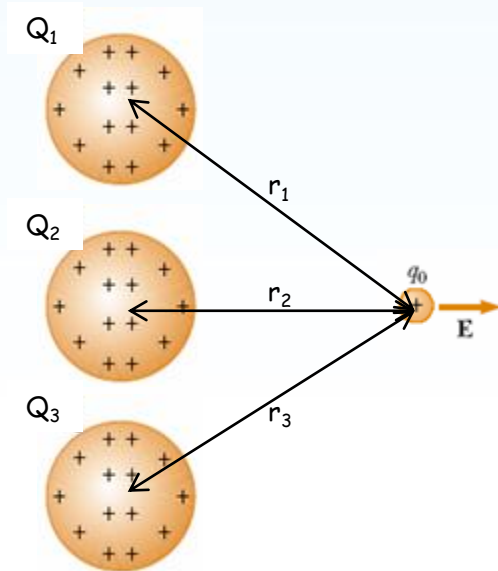
# El campo eléctrico

- La fuerza eléctrica (Coulomb)  $F_e = k_e \frac{Qq_0}{r^2} \hat{r}$ 
  - La carga de fuente  $Q$
  - La carga de prueba  $q_0$
- El campo eléctrico (Faraday)  $E = \frac{F_e}{q_0} = k_e \frac{Q}{r^2} \hat{r}$



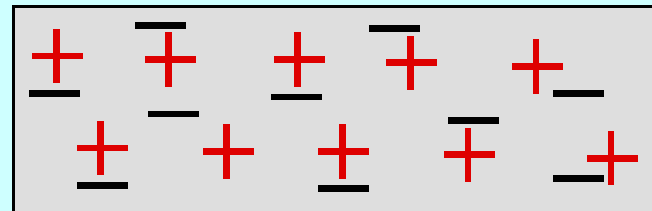
- ¿Qué pasa cuando hay más de una carga de fuente?

$$E \equiv \frac{F_{neta}}{q_0} = k_e \sum_i \frac{Q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$



# El campo eléctrico ( $\vec{E}$ ) en el interior de un conductor

- Conductor : electrones libres a moverse
  - Si los electrones notan una fuerza eléctrica
  - Se moverán "inmediatamente" hasta que ya no hay fuerza ( $F=0$ )
  - Si  $F=0$  entonces  $E=0$
- $E=0$  dentro de un conductor ("Siempre")

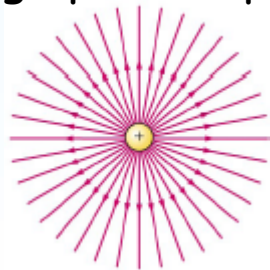


Conductor

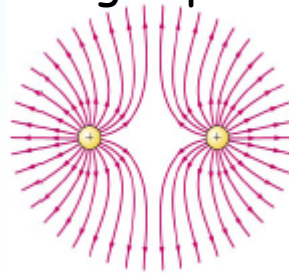
# Líneas de Campo (Faraday)

- Herramienta gráfica: visualización del campo eléctrico
- Se relacionan con el campo eléctrico de manera que:
  - Campo  $E$  tangente a las líneas en todos puntos
  - Número (densidad) de líneas que pasa por una superficie en proporción a la intensidad de  $E$
- La intensidad de  $E$  es superior en la superficie A
- Ejemplos:

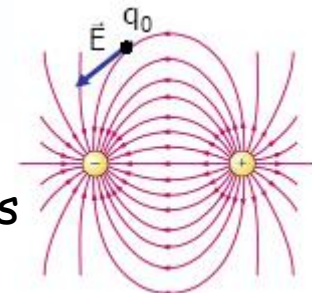
carga puntual positivo



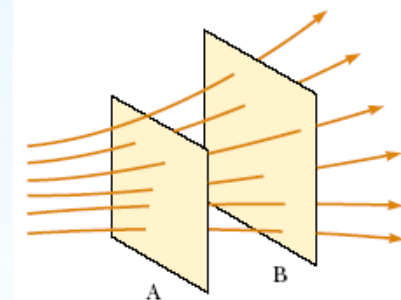
dos cargos positivos



Una carga positiva y otra negativa: líneas de + a -.

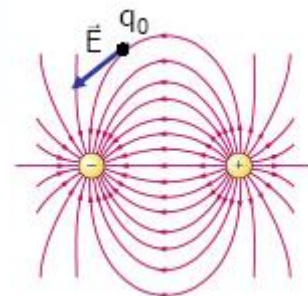
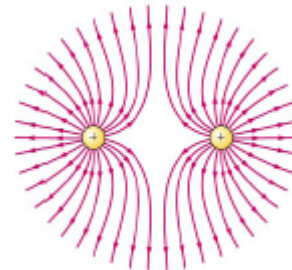
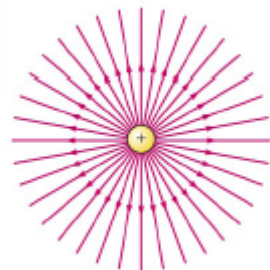


Dipolo: si son iguales con signo opuesto.



# Líneas de Campo (Otras características)

- Las líneas empiezan o terminan sólo en las cargas.
- El número de líneas que abandonan una carga puntual positiva o entran en una carga puntual negativa es proporcional a la carga.
- Las líneas se dibujan simétricamente saliendo o entrando de la carga puntual (según la Ley de Coulomb).
- La densidad de líneas es proporcional al valor del campo.
- No pueden cortarse nunca dos líneas de campo
  - Tiene una dirección única en cualquier punto del espacio ( $F_{neta}$ )
  - Si se cortasen dos líneas, se indicarían dos direcciones de  $E$  en el punto de intersección



# Programa

- **XI. CAMPO ELÉCTRICO.(3h)**
- Carga eléctrica. Conductores. Ley de Coulomb. Campo electrostático. **Ley de Gauss**. Diferencia de potencial. Campo electrostático y potencial: superficies equipotenciales. Distribución de carga. Capacidad. Condensadores. Energía electrostática de un condensador. Energía del campo electrostático. Dieléctricos.

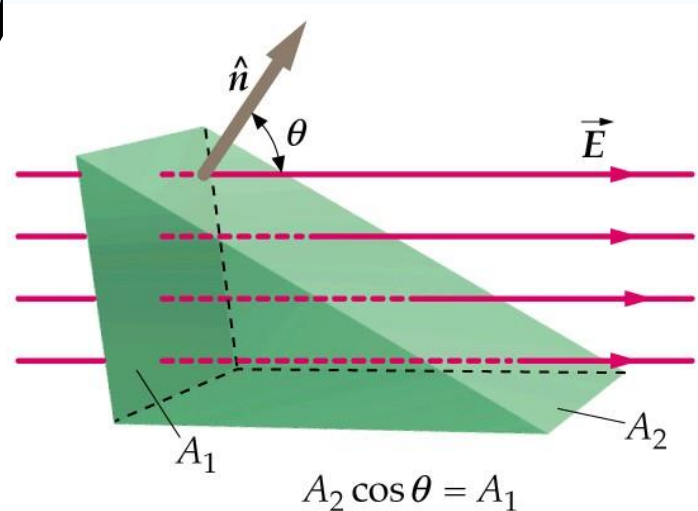
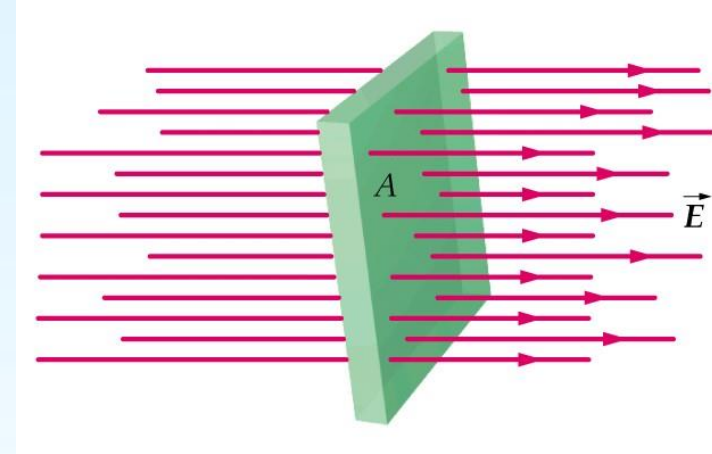


# El flujo eléctrico ( $\phi$ )

- El campo eléctrico ( $\vec{E}$ ) es proporcional al:
  - número de líneas (N)
  - por unidad de área (A)
  - Se trata de una densidad de flujo

- El flujo total 
$$\phi = \vec{E} \cdot \hat{n} A$$
$$= EA \cos \theta$$
$$= E_n A$$

Componente perpendicular a la superficie



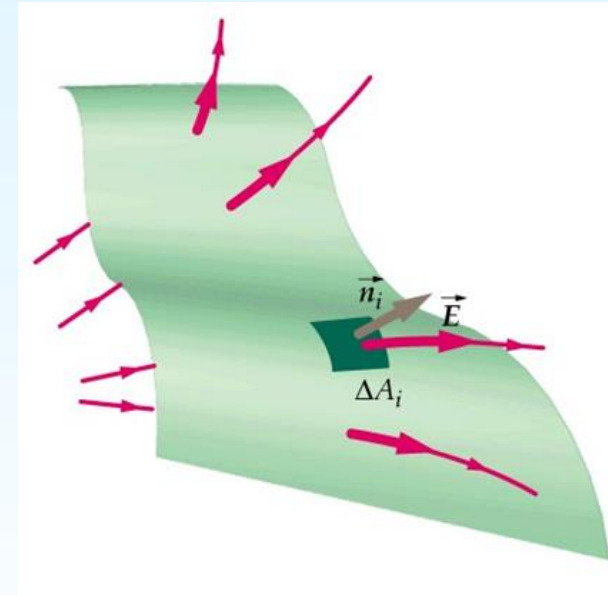
# El flujo eléctrico ( $\Phi$ )

- Para superficies curvas
  - La superficie  $A$  es una suma de pequeños elementos  $\Delta A$

$$\Delta\phi = \vec{E} \cdot \hat{n}_i \Delta A_i$$

$$\phi = \sum_i \Delta\phi_i$$

$$\phi = \int \vec{E} \cdot \hat{n} dA$$



Ahora, acordándonos que las líneas empiezan o terminan sólo en las cargas, vamos a considerar lo que pasa para una superficie cerrada

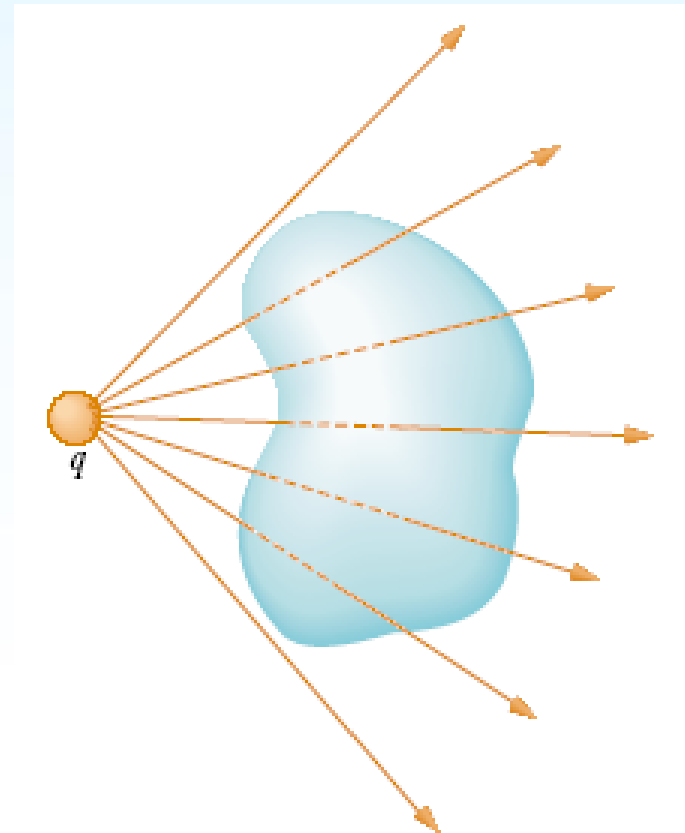




# El flujo eléctrico por una superficie cerrada

$$\phi_{net} = \oint \vec{E} \cdot \hat{n} dA = \oint E_n dA$$

- Recuerdo: las líneas empiezan o terminan sólo en las cargas
- En el dibujo, cada línea que entra la superficie, también sale ( $\phi_{net} = 0$ )
- Consecuencia
  - Para que  $\phi_{net} \neq 0$  ...
  - ... es necesario que la superficie cerrada contenga una carga



# La geometría más sencilla

## Ley de Gauss

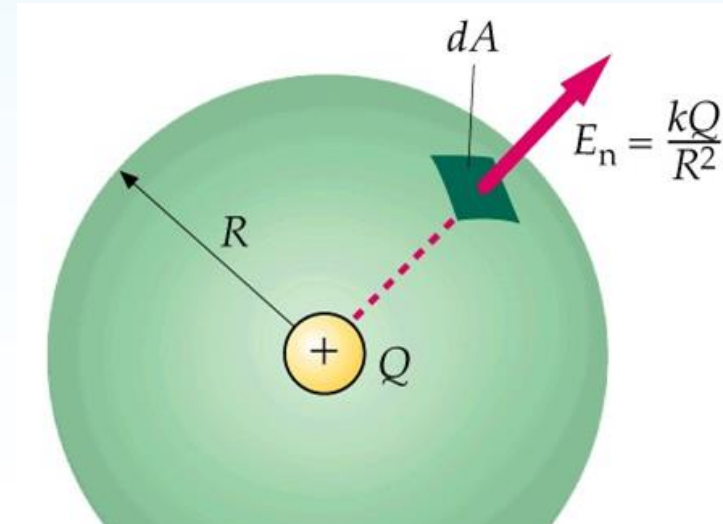
- Carga eléctrica  $Q$  dentro de una esfera de radio  $R$

- El campo eléctrico en cualquier punto de la superficie es  $E = \frac{kQ}{R^2}$  con dirección radial

- $\hat{n}$  es también radial, por lo que  $E\hat{n}$  en cada punto  $E_n = \vec{E} \cdot \hat{n} = \frac{kQ}{R^2}$

- Para determinar el flujo neto ( $\Phi$ ), hay que sumar para toda la superficie  $A=4\pi R^2$

$$\begin{aligned}\Phi_{net} &= \oint \vec{E} \cdot \hat{n} dA = \oint E_n dA \\ &= \oint \frac{kQ}{R^2} dA = \frac{kQ}{R^2} 4\pi R^2 \\ &= 4\pi k Q\end{aligned}$$



El flujo neto saliendo de una superficie cerrada es proporcional a la carga en el interior



# Programa

- **XI. CAMPO ELÉCTRICO. (3h)**
- Carga eléctrica. Conductores. Ley de Coulomb. Campo electrostático. Ley de Gauss. **Diferencia de potencial. Campo electrostático y potencial: superficies equipotenciales.** Distribución de carga. Capacidad. Condensadores. Energía electrostática de un condensador. Energía del campo electrostático. Dieléctricos.

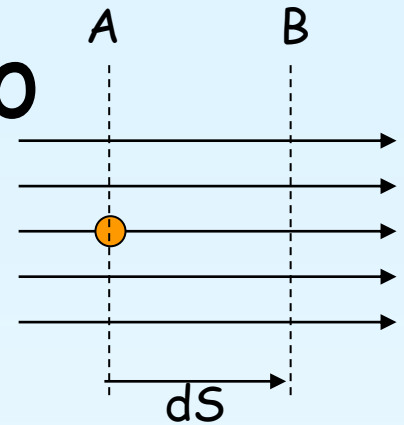


# Trabajo en un campo

- En un campo gravitacional, la energía potencial ( $U=mgh$ ) nos permite definir
  - El trabajo necesario para levantar un objeto desde una altura  $h_1$  hasta  $h_2$   $mg(h_2-h_1)$
  - Representa una diferencia de potencial
- Propiedad de interés
  - No depende del camino seguido
  - Porque gravedad es una fuerza "conservativa"



# Trabajo en un campo electrostático



- La fuerza eléctrica ( $\vec{F} = q_0 \vec{E}$ ) también es conservativa
- Mueve carga de prueba desde el punto A al punto B
  - Trabajo realizado por el campo eléctrico

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{S} = F dS$$

- Realiza trabajo a coste de su energía potencial (U)

$$dU = -F dS = -q_0 E dS$$

- Para movimientos finitos:

$$\Delta U = -q_0 \int \vec{E} d\vec{S}$$

energía potencial

depende de la carga involucrada (inconveniente)



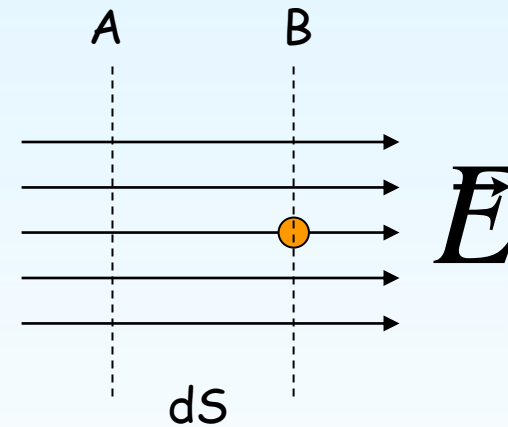
# Energía potencial eléctrica, normalizada por la carga

- Es interesante quitar la dependencia en la carga involucrada

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0} = -\frac{q_0 \int \vec{E} d\vec{S}}{q_0}$$

$$\Delta V = -\int \vec{E} d\vec{S}$$

“Diferencia de potencial eléctrico”



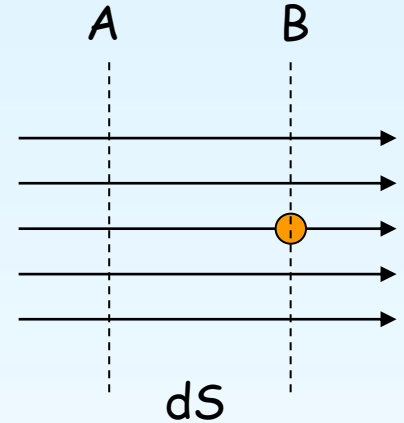
Son las *diferencias* de potencial que pueden realizar trabajo



# Diferencia de potencial eléctrico

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0}$$

"Tensión"  
"Voltaje"



- El trabajo necesario por unidad de carga para mover una carga desde A hasta B *sin aceleración*
- El cambio de energía (J) por por unidad de carga (C) para mover una carga, debida a diferencias del potencial eléctrico
- La unidad de diferencia de potencial  $\Delta V$  en el S.I. es **el voltio** ( $1V=1J/C$ ).



# Unidades del Campo Eléctrico

## Trabajo Eléctrico

- Por su definición original:  $E = \frac{F}{q}$ 
  - Unidades de  $E$ : **N/C**
- Pero a partir de lo anterior:  $\Delta V = -\int E dS \Rightarrow E = \frac{\Delta V}{\Delta S}$ 
  - Unidades de  $E$ : **V/m**
- Por lo cual unas **unidades equivalentes**
- Igualando, tenemos:  $\frac{F}{q} = \frac{\Delta V}{\Delta S} \Rightarrow F \cdot \Delta S = q \Delta V$   
Expresiones de trabajo
- Por eso, los físicos atómicos definen el **electronvoltio** (eV) como el trabajo para mover una partícula por un voltio

$$1 \text{ eV} = (1.60 \times 10^{-19} \text{ C}) (1 \text{ V}) = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Carga de un  
Electrón/protón

Unidad de  
energía





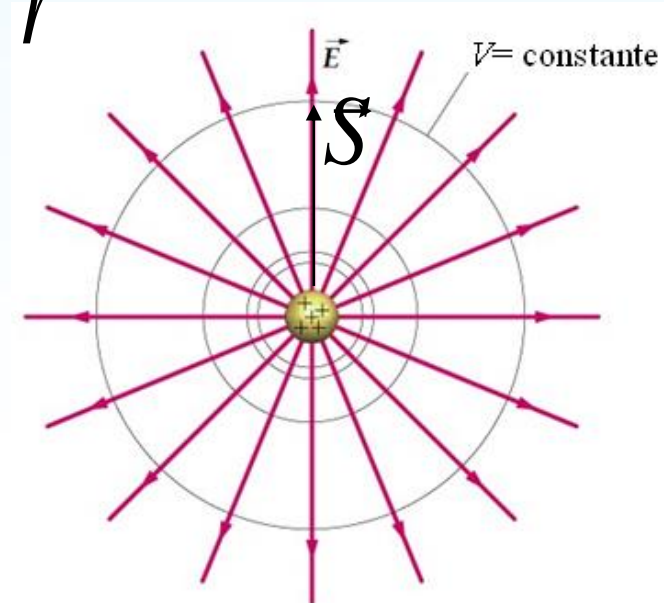
# Superficies equipotenciales

- Una superficie sobre la cual el potencial eléctrico es constante
- Ejemplo: examinamos el potencial producido por una carga puntual  $Q$

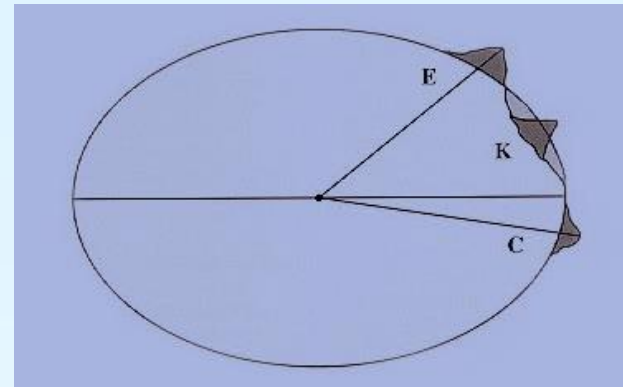
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q_0} = k_e \frac{Q}{r^2} \hat{r}$$

$$\Delta V = -\int \vec{E} d\vec{S} = -Er = k_e \frac{Q}{r}$$

- Las superficies  $r = \text{cte}$  (superficies esféricas concéntricas) son las superficies equipotenciales



# Notación



- Terminología
  - Llamarlo "Tensión" o "Voltaje"
  - Se trata de una *diferencia* de potencial eléctrico
  - Es una cantidad *relativa*
- Es cómo altura; ¿qué montaña es la más alta?
  - Everest: 8,848 m encima del nivel del mar
  - Mauna Kea: > 10,000m encima de su base
  - Chimborazo: 6,384,404 m desde centro de Tierra
- En muchos libros se expresa siempre como  $\Delta V$ 
  - A partir de ahora, podemos usar  $V$
  - Sabiendo que significa diferencia de potencia



# Programa

- **XI. CAMPO ELÉCTRICO.(3h)**
- Carga eléctrica. Conductores. Ley de Coulomb. Campo electrostático. Ley de Gauss. Diferencia de potencial. Campo electrostático y potencial: superficies equipotenciales. **Distribución de carga. Capacidad. Condensadores. Energía electrostática de un condensador.** Energía del campo electrostático. Dieléctricos.



# Distribución de Carga

- Potencial eléctrico en el punto P

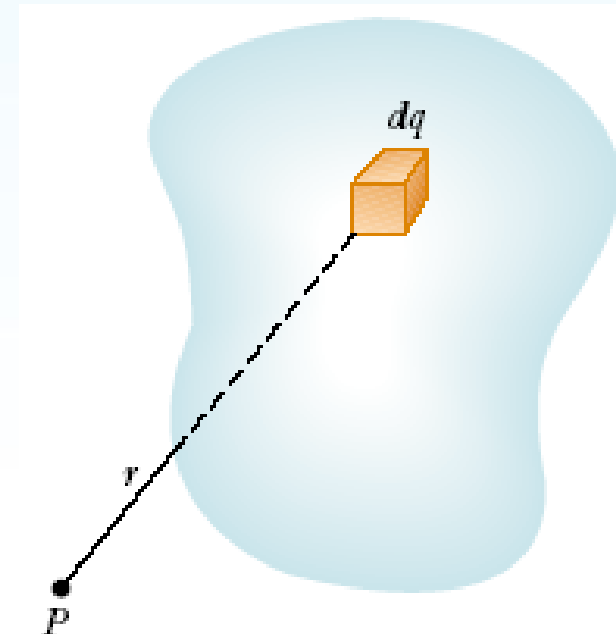
- Potencial debido a un punto solo ( $dq$ )

- Distribución de carga

- Suma de las aportaciones

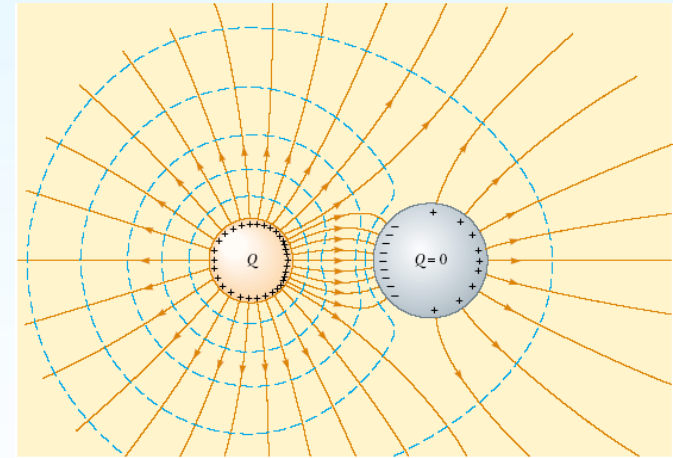
- Hay que conocer la distribución

$$dV = k_e \frac{dq}{r}$$
$$V = k_e \int \frac{dq}{r}$$

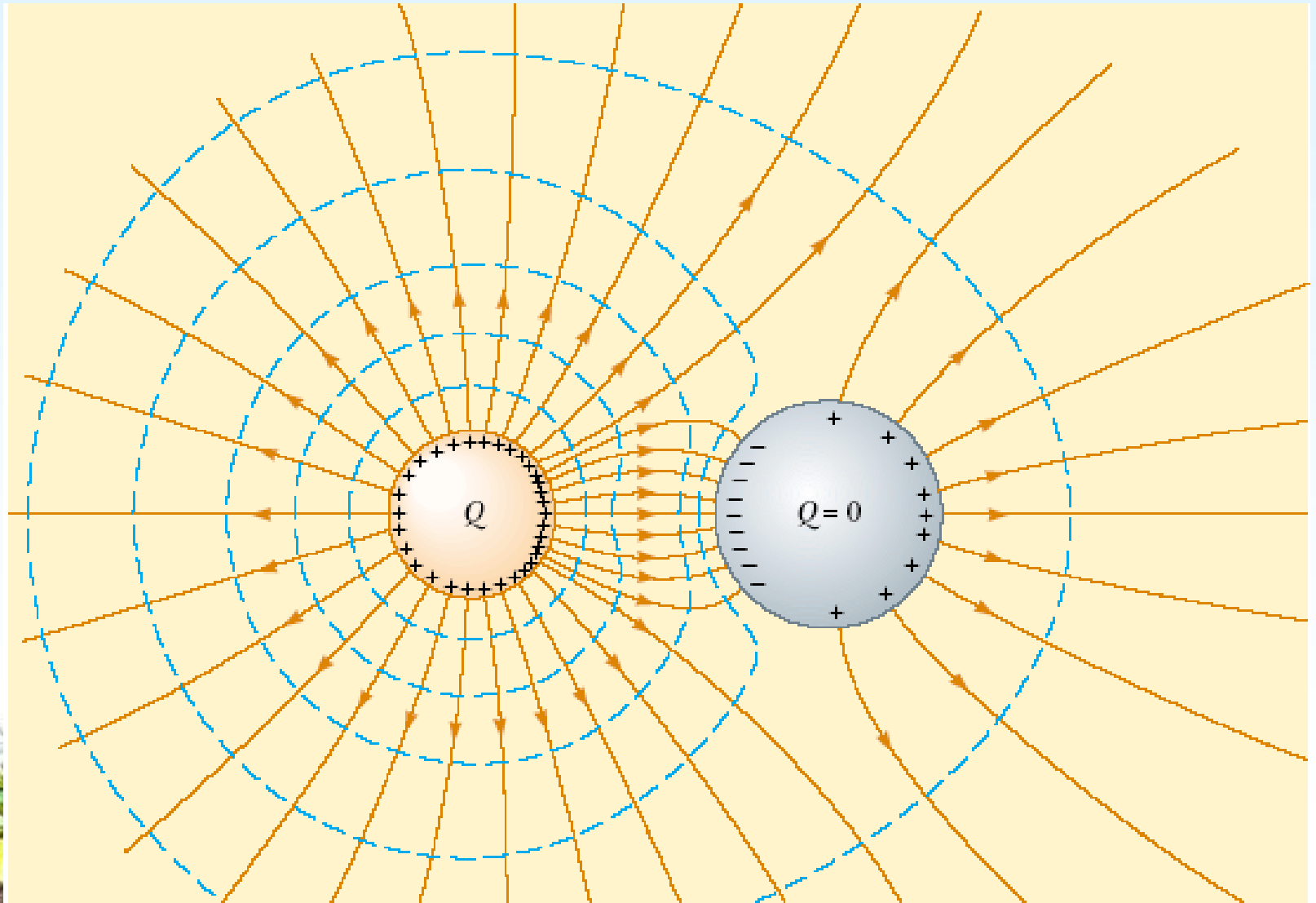


# Distribución de Carga

- En general, dos conductores separados en el espacio no estarán al mismo potencial
- La diferencia de potencial entre ambos depende de
  - Sus formas geométricas
  - Su separación
  - La carga neta en cada uno de ellos.



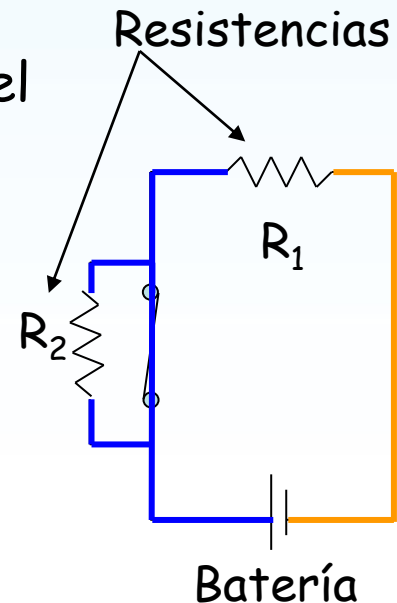
# Distribución de Carga



# Distribución de Carga

- En general, dos conductores separados en el espacio no estarán al mismo potencial
- La diferencia de potencial entre ambos depende de
  - Sus formas geométricas
  - Su separación
  - La carga neta en cada uno de ellos.
- Cuando se ponen en contacto dos conductores
  - La carga situada en ellos se distribuye por sí misma
  - **Transferencia de carga de uno a otro**
  - En equilibrio electrostático el campo eléctrico en el interior de los conductores es cero
  - Ambos conductores tienen el mismo potencial
- 2 conductores en contacto = 1 conductor
  - Conductores 1 y 2

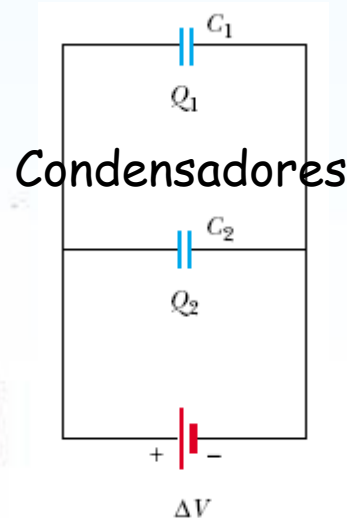
Al cerrar el contacto, la batería y la  $R_1$  están en contacto (y la  $R_2$  no tiene relevancia)



# Condensadores y Capacidad

- Condensador : un tipo de elemento que interviene en los circuitos eléctricos (radio, ordenador, etc.)
  - Almacena y cede carga y energía eléctrica
- Capacidad (C): propiedad que caracteriza las posibilidades de almacenamiento de un condensador
  - Unidades: Faradio (F):  $1 F = 1 C / 1 V$
- Cuantifica la cabida de carga
  - por unidad de voltaje

$$C = \frac{Q}{V}$$





# Condensadores y Capacidad

- El condensador...

- de láminas paralelas

- Recordar (Diap. 18) **dependencia** del campo eléctrico ( $\vec{E}$ ) **en la superficie** (geometría esférica); diferenciar entre:

- Flujo ( $\Phi$ )

- Densidad de flujo ( $\vec{E}$ )

- Geometría plana:

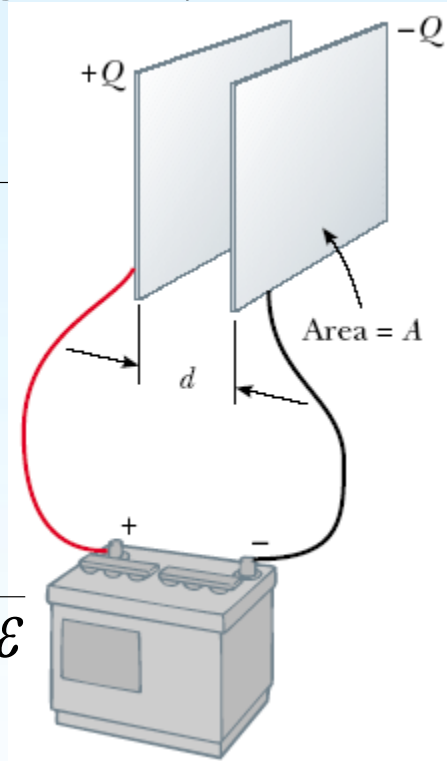
$$\vec{E} = k_e \frac{Q}{r^2} \hat{r} \quad k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon}$$

$$\vec{E} = \frac{Q}{\epsilon A} \hat{n}$$

- Potencial :  $V = \int dV = \int -\vec{E} \cdot d\vec{s} = \int_0^d E dx = \frac{Q}{\epsilon_0 A} d$

Capacidad:  $C = \frac{Q}{V} = \frac{\epsilon_0 A}{d}$

$$C = \frac{Q}{V}$$

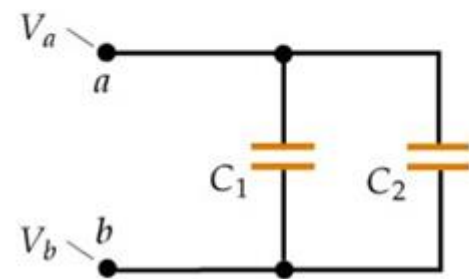
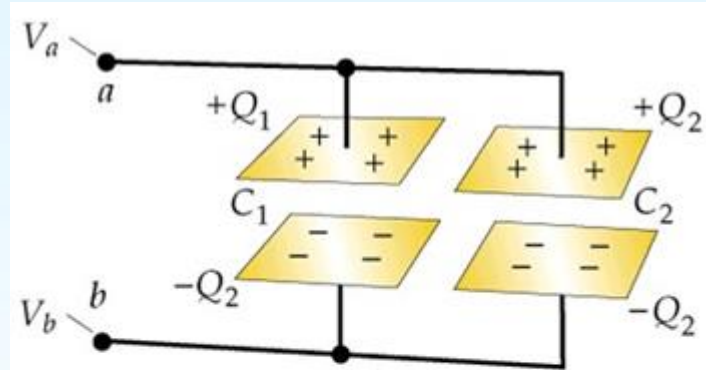


# Condensadores en paralelo

- El efecto de añadir otro condensador
  - Aumentar el área
  - Aumentar la capacidad
    - Más carga ( $Q = Q_1 + Q_2$ )
    - Misma diferencia de potencial (V)

$$Q = Q_1 + Q_2 = C_1V + C_2V = (C_1 + C_2)V$$

$$C_{ef} = \frac{Q}{V} = C_1 + C_2$$



Condensadores en paralelo: la capacidad total es la suma de las capacidades

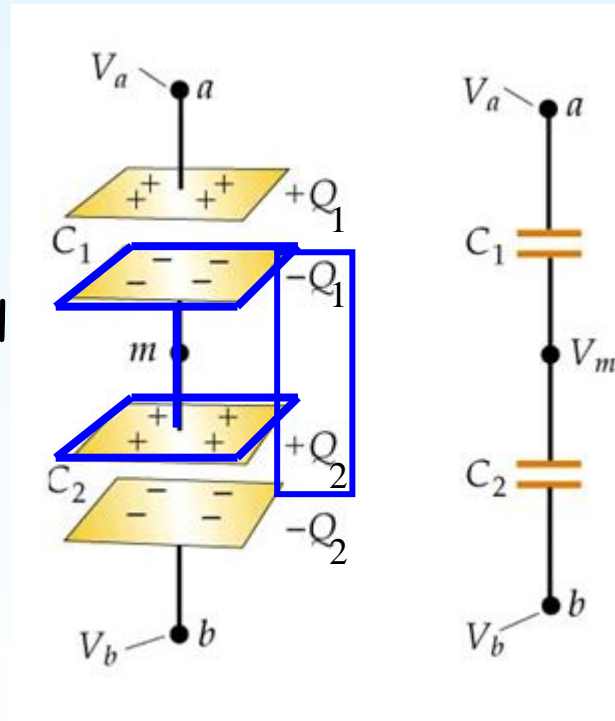


# Condensadores en serie

- El efecto de añadir otro condensador
  - Truco: reconocer un conductor aislado
    - Su carga inicial es cero (cuando  $V_a - V_b = 0$ )
    - Su carga neta se conserva
    - $Q_2 + (-Q_1) = 0$
    - $Q = Q_1 = Q_2$
  - Repartición de la diferencia de potencial

$$V_a - V_m = \frac{Q}{C_1} \quad V_m - V_b = \frac{Q}{C_2}$$

$$V_a - V_b = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} \quad V_a - V_b = \frac{Q}{C_{ef}}$$



Condensadores en serie:

$$\frac{1}{C_{ef}} = \sum_i \frac{1}{C_i}$$



# Energía almacenada por un condensador

- Recuerdo de las unidades:  $1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$
- Diferencia de potencial: energía por unidad de carga

$$dU = V dq$$

- Para un condensador, tenemos  $V = \frac{q}{C}$

- Pues:  $dU = \frac{q}{C} dq$

- Por lo cual, la energía necesaria para cargar un condensador desde  $q=0$  hasta  $q=Q$  es  $\Delta U = \int dU$

$$= \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{1}{C} \int_0^Q q dq = \frac{Q^2}{2C}$$



# Programa

- **XI. CAMPO ELÉCTRICO.(3h)**
- Carga eléctrica. Conductores. Ley de Coulomb. Campo electrostático. Ley de Gauss. Diferencia de potencial. Campo electrostático y potencial: superficies equipotenciales. Distribución de carga. Capacidad. Condensadores. Energía electrostática de un condensador. **Energía del campo electrostático. Dieléctricos.**



# Energía del campo electrostático

$$dE = \frac{dq}{\epsilon_0 A}$$

- Al cargar un condensador por un incremento  $dq$ , se crea un campo eléctrico
- El trabajo ( $W$ ) para transferir una carga adicional ( $dq$ ) es el producto de

$$dq = \epsilon_0 A dE$$

- la fuerza ( $F = E dq$ )
  - por la distancia  $d$
- $$dW = dq E d \quad dW = (\epsilon_0 A d) E dE$$

- Entonces el trabajo para aumentar  $E=0$  hasta  $E=E_0$  es

$$W = \int dW = (\epsilon_0 A d) \int_0^{E_0} E dE$$

$$= \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2 A d$$

Energía potencial electrostática  $U = \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2 A d$

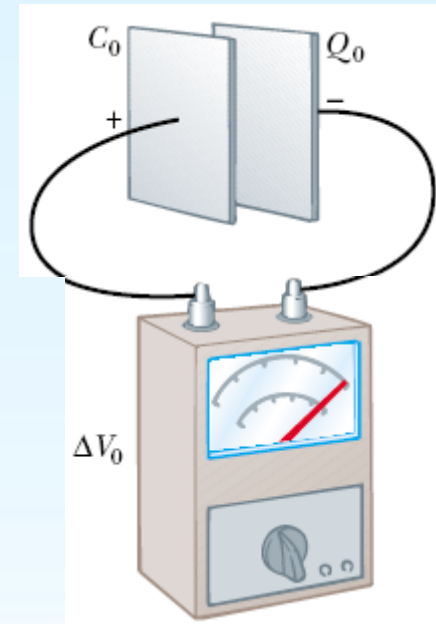


# Dieléctricos

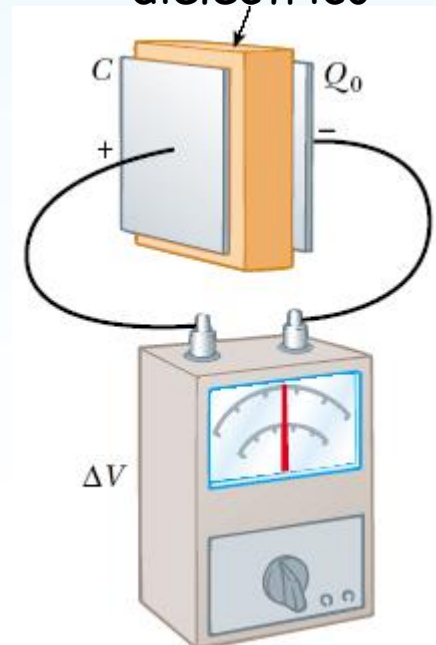
- Material no conductor (madera, caucho,...)
  - Cuando ocupa el espacio entre dos conductores
  - La capacidad aumenta en un factor  $\kappa$ 
    - Característico del dieléctrico
    - "Constante dieléctrica" del material
- Experimentalmente
  - Empezamos con un condensador ( $C_0$ ) con carga ( $Q_0$ )
  - Medimos la diferencia de potencial ( $V_0$ )
  - Al introducir un dieléctrico entre las placas
    - Disminuye la diferencia de potencial ( $V=V_0/\kappa$ )
    - La carga ( $Q_0$ ) se conserva
    - Incrementa también la capacidad

$$C_0 = \frac{Q}{V_0}$$

$$C = \frac{Q_0}{V} = \kappa C_0$$



dieléctrico



$\Delta V$

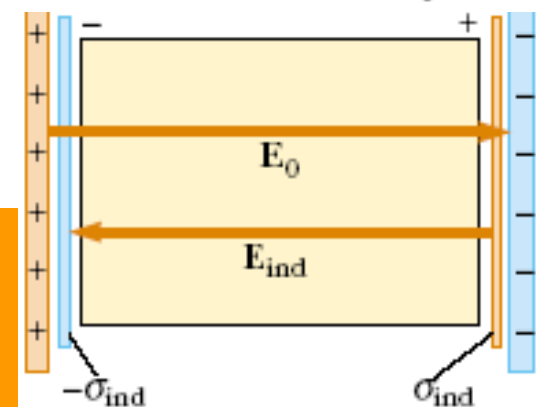
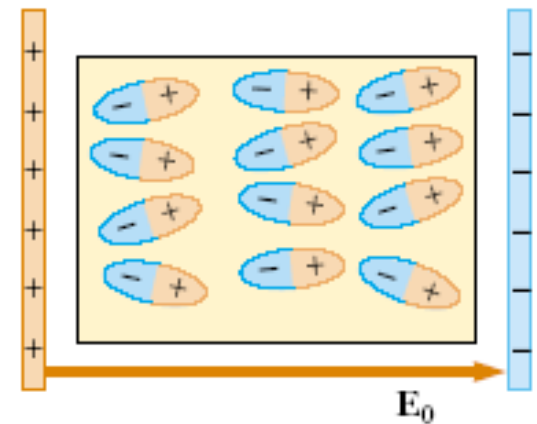
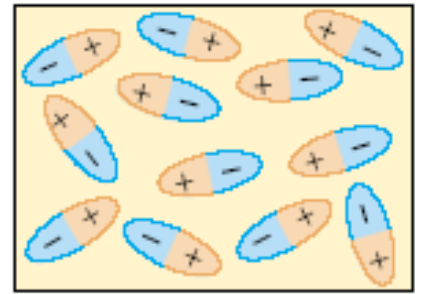


# Dieléctricos: modelo sencillo de cómo funcionan

- Empezamos con unos moléculas con
  - Orientaciones aleatorias
  - Cargas asimétricas
- Al aplicar un campo eléctrico ( $E_0$ )
  - Las moléculas se orientan
  - Distribución de carga no aleatoria
    - Más carga negativa a la izquierda
    - Más carga positiva a la derecha
- La nueva distribución afecta el  $E$ 
  - Igual que un par de placas ( $\sigma_{ind}$ )
  - "Campo inducido"  $E_{ind}$

$$E = E_0 + E_{ind}$$

El dieléctrico actúa para reducir el campo eléctrico





# Para los condensadores de láminas paralelas

- En ausencia de un dieléctrico
- Para incrementar  $C$ , solo hay que reducir  $d$ 
  - Pero en la práctica, si reducimos  $d$  demasiado
  - Se produce una ruptura del dieléctrico
  - Descarga violenta (chispa, o arco)
- Dos ventajas de un dieléctrico
  - Aumenta la capacidad
  - Mayor resistencia a la ruptura que el aire

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

$$C = \kappa \frac{\epsilon_0 A}{d}$$



# Dielectric materials

Resistencia a la ruptura

Material	Constante dieléctrica ( $\kappa$ )	( $10^6$ V/m)
Air (dry)	1.000 59	3
Bakelite	4.9	24
Fused quartz	3.78	8
Mylar	3.2	7
Neoprene rubber	6.7	12
Nylon	3.4	14
Paper	3.7	16
Paraffin-impregnated paper	3.5	11
Polystyrene	2.56	24
Polyvinyl chloride	3.4	40
Porcelain	6	12
Pyrex glass	5.6	14
Silicone oil	2.5	15
Strontium titanate	233	8
Teflon	2.1	60
Vacuum	1.000 00	—
Water	80	—



# Conceptos/Ecuaciones a Dominar

- Conceptos básicos

- Carga: conservación y transferencia; conductores y Aislantes

- Ley de Coulomb

$$\vec{F}_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \hat{r}$$

- El Campo eléctrico

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

- Líneas de campo; Flujo eléctrico

- Ley de Gauss  $\phi_{net} = \oint \vec{E} \cdot \hat{n} dA = \oint E_n dA$

- Energía en un campo electrostático

- Trabajo y energía Potencial

$$\Delta U = -q_0 \int \vec{E} d\vec{s}$$

- Diferencia de Potencial

$$\Delta V = - \int \vec{E} d\vec{s} = \frac{\Delta U}{q_0}$$

- Condensadores y capacidad

- Energía almacenada

- Dieléctricas

$$U = \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2 A d$$



**Fin**

