02-ENERGÍA Y POTENCIAL ELÉCTRICO

- Dipolo eléctrico.
- Energía potencial eléctrica en un campo uniforme, de cargas puntuales.
- Potencial eléctrico, superficies equipotenciales.
- Conductor eléctrico en condiciones electrostáticas..

Curso Física 2 para Bio-Geociencias (FI253) 2023

Escribir en el chat:

1) Nombre completo

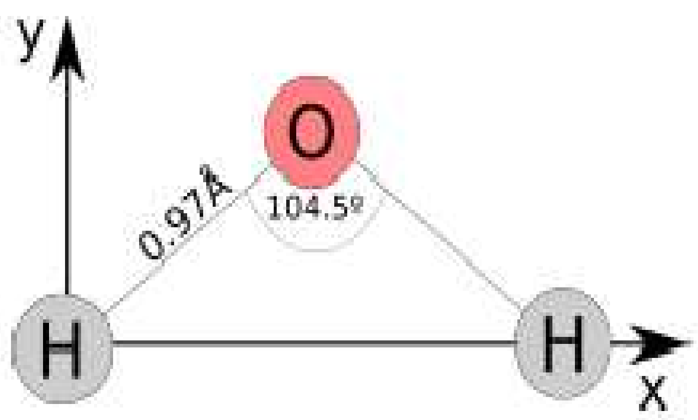
2) Licenciatura.

3) Desde dónde se está conectando, barrio, o localidad/departamento

4) Si pueden conectarse antes de esta clase, para tener un espacio adicional de consultas.

Ejemplo: ejercicio 1.1.2

La molécula de agua (H_2O) está compuesta por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno como se muestra en la figura. El ángulo formado por los enlaces O-H es de 104,5° y la distancia entre el átomo de oxígeno y uno de hidrógeno es de 0,97 Å.



Encuentre la fuerza neta ejercida por los dos átomos de hidrógeno sobre el átomo de oxígeno. Asuma que cada hidrógeno tiene una carga +*e* y el oxígeno una carga -2*e*.

b) Encuentre el campo eléctrico neto causado por los dos átomos de hidrógeno en el punto donde se encuentra el oxígeno (ignore la presencia del oxígeno).

El módulo de la fuerza que uno de los hidrógenos ejerce sobre el átomo de oxígeno, está dado por la ley de Coulomb:

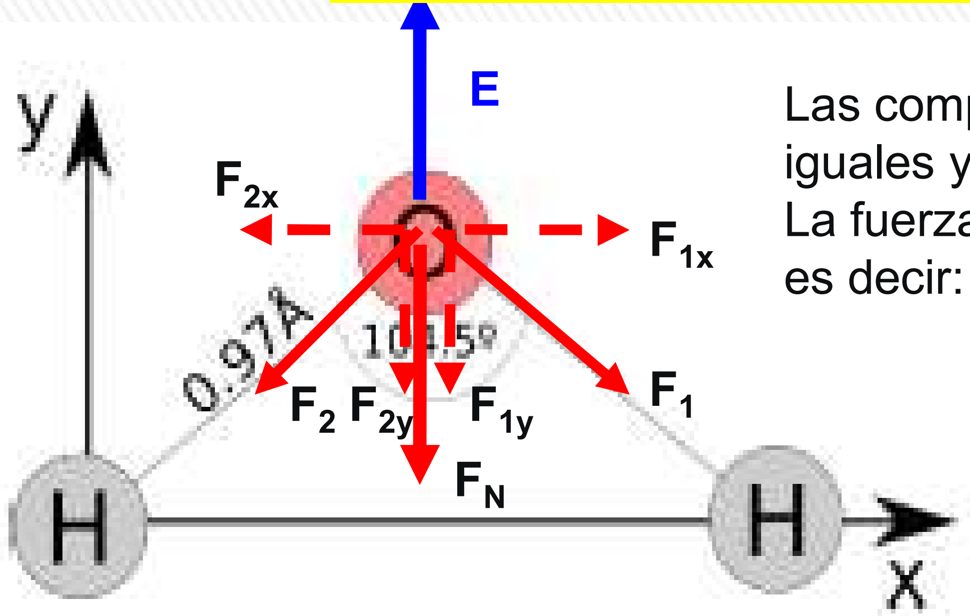
$$F = k_E \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

$$k_E \frac{|-2e||e|}{r^2} = 2k_E \frac{e^2}{r^2}$$

$$F = 2(8{,}988 \times 10^9)\frac{(1{,}602 \times 10^{-19})^2}{(0{,}97 \times 10^{-10})^2} = 4{,}903 \times 10^{-8}\ N$$

La dos fuerzas tienen igual módulo, pero las debemos sumar vectorialmente

Ejemplo: ejercicio 1.1.2



Las componentes horizontales (F_{1x}, F_{2x}) son iguales y opuestas, se cancelan entre sí.
La fuerza neta, será entonces igual a $F_{1y}+F_{2y}$ es decir: $F_N = 2F_{1y} = 2F_1\cos(\theta/2)$

$$F_N = 2F_1\cos(\theta/2) = 2(4{,}903\times10^{-8})\cos(104{,}5°/2) = 6{,}00\times10^{-8}\ N$$

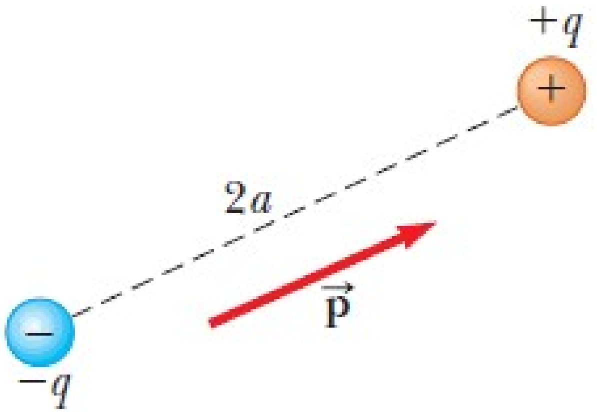
F_N = 6,0×10^{-8} N (vertical hacia abajo)

b) Si conozco la fuerza, puedo calcular el campo como: $\overline{E} = \dfrac{\overline{F}}{q}$

El módulo vale: $E = \dfrac{F}{q} = \dfrac{6{,}00\times10^{-8}\ N}{2\times1{,}602\times10^{-19}} = 1{,}87\times10^{11}\ N/C$

El campo eléctrico entonces vale ***E*** **= 1,9×10^{11} N (vertical hacia arriba)**

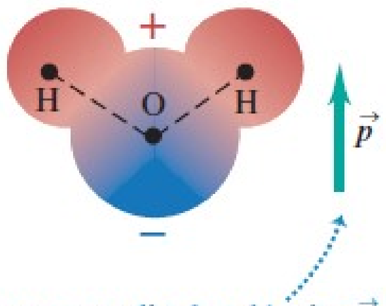
DIPOLO ELÉCTRICO



Un **dipolo eléctrico** está formado por dos cargas de magnitudes iguales (q) y signos opuestos separados por una distancia 2a *(ó l) pequeña.*
El momento del dipolo eléctrico **p** está orientado desde -*q hacia +q y vale:* $p = 2aq = ql$

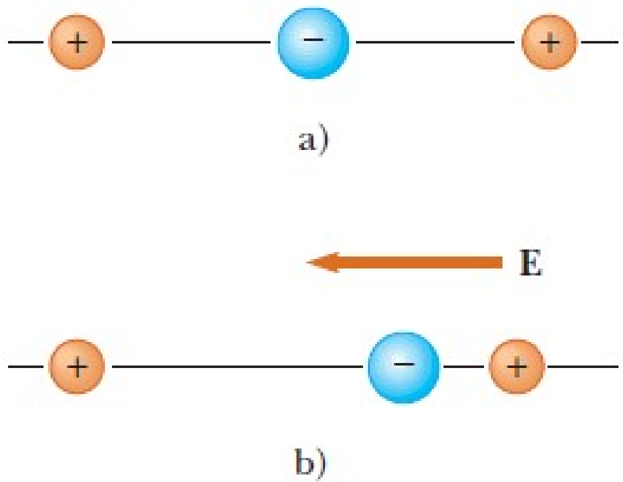
El dipolo eléctrico es un buen modelo de muchas moléculas.
Los átomos y moléculas neutros se comportan como dipolos cuando se colocan en un campo eléctrico externo.
Campo eléctrico de un dipolo: proporcional a *p* y varía como $1/r^3$. (ejercicio 1.1.12)

a) Una molécula de agua, con la carga positiva en color rojo, y la carga negativa en azul



El momento dipolar eléctrico $\vec{p}$ está dirigido del extremo negativo al extremo positivo de la molécula.

Molécula de agua: **dipolo permanente**, separación entre centros de agua l= 4×10^{-11} m

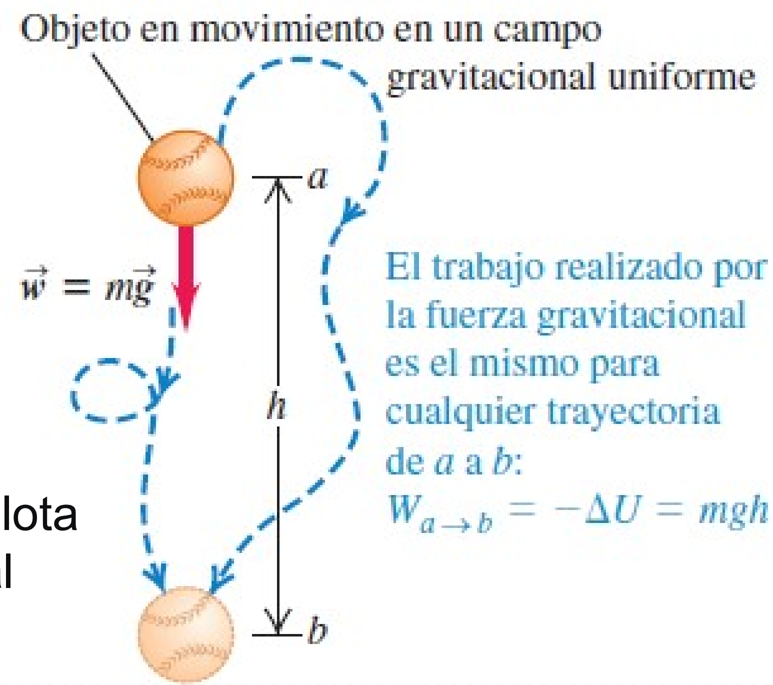


Molécula lineal simétrica no tiene una polarización permanente, pero un campo externo lo puede inducir: **dipolo inducido**

ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA

Sabemos que podemos asociar una energía potencial a fuerzas conservativas. En general si **F** es una fuerza conservativa, el trabajo realizado por **F** se puede expresar en términos de una **energía potencial U**, y se cumple:

$$W_{A\to B} = U_A - U_B = -(U_B - U_A) = -\Delta U$$



Trabajo en un campo gravitatorio uniforme: una pelota se traslada desde el punto ***a***, con energía potencial gravitatoria $U_{ga} = mgh_a$, al punto *b*, con $U_{gb} = mgh_b$.

El trabajo que realiza el peso vale: $W_{a\to b} = mgh = mg(h_a - h_b) = U_{ga} - U_{gb} = -\Delta u_g$

La fuerza eléctrica (coulombiana) es una **fuerza conservativa**, por tanto se le puede asociar una **energía potencial eléctrica**, y el trabajo realizado no depende de la trayectoria, sino que solamente del punto inicial y final.
Cuando una partícula con carga se mueve en un campo eléctrico, este último ejerce una fuerza que efectúa un *trabajo sobre la partícula.*
Este trabajo siempre se puede expresar en términos de la energía potencial eléctrica.

ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA

Energía potencial eléctrica: Dado un campo electrostático ***E*** (coulombiano) y una carga *q*, definimos a la misma como:

$$W_{a\to b} = \int_{r_a}^{r_b} q\bar{\boldsymbol{E}}.d\bar{\boldsymbol{l}} = -\Delta U = -(U_b - U_a) = U_a - U_b$$

El **trabajo que realiza el campo eléctrico** sobre la carga q cuando la misma se traslada desde el punto ***a*** al punto **b**, **es igual al opuesto de la variación de la energía potencial eléctrica (-ΔU)**

Sea *q* positiva o negativa, se aplica la siguiente regla general: ***U aumenta si la carga de prueba q se mueve en el sentido opuesto a la fuerza eléctrica F=qE***;
U disminuye si q se mueve en el mismo sentido que F=qE.

Energía potencial eléctrica de dos cargas puntuales

$$W_{a\to b} = \int_{r_a}^{r_b} \overline{\boldsymbol{F}}.\overline{\boldsymbol{dl}}$$

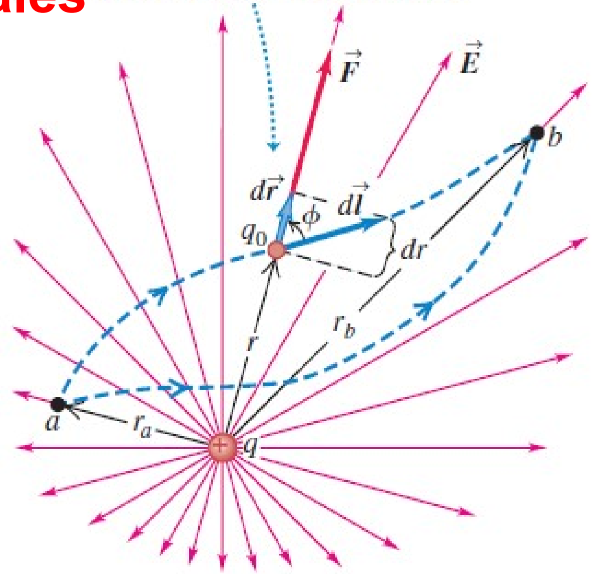
$$W_{a\to b} = \frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b}\right)$$

$$U = \frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

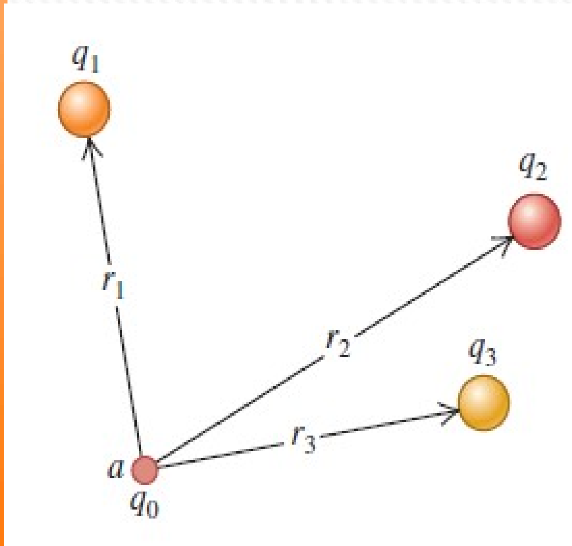
energía potencial eléctrica de dos cargas puntuales *q y q_0*

Independiente de los signos de *q y q_0. La energía* potencial es positiva si las cargas *q y q_0 tienen el mismo signo, y negativa* si tienen signos opuestos, y cero si *están infinitamente* alejadas ($r = \infty$)

La carga de prueba q_0 se desplaza de a a b a lo largo de una trayectoria arbitraria.



ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA



Carga q_0 que se desplaza en una región donde hay un campo **E** creado por varias cargas.
La energía potencial asociada con la carga q_0 en el punto ***a*** *debido a una distribución de cargas* $q_1, q_2, q_3, \ldots$ vale:

$$U = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \frac{q_3}{r_3} + \cdots\right) = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0}\sum_i \frac{q_i}{r_i}$$

INTERPRETACIÓN DE LA ENERGÍA POTENCIAL: *la diferencia de energía potencial U_a - U_b es igual al trabajo que efectúa la fuerza eléctrica cuando la partícula se desplaza de a a b.*

Punto de vista alternativo (equivalente) *U_a - U_b se puede ver como el trabajo que debe efectuar una fuerza externa para desplazar lentamente la partícula desde b hasta a en contra de la fuerza eléctrica.*

POTENCIAL ELÉCTRICO

El **potencial eléctrico** *V se define,* en cualquier punto del campo eléctrico, como **la energía potencial electrostática *U por unidad de carga*** *asociada con una carga de prueba q_0 en ese punto:*

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

Unidad del potencial eléctrico en S.I.: **volt (V)**

1V= 1J/C

El trabajo realizado por unidad de carga por la fuerza eléctrica cuando un cuerpo con carga se desplaza de ***a*** a ***b*** *es igual al potencial* en *a* *(V_a) menos el potencial en b (V_b).*

$$\frac{W_{a\to b}}{q_0} = -\frac{\Delta U}{q_0} = -\left(\frac{U_b}{q_0} - \frac{U_a}{q_0}\right) = -(V_b - V_a) = V_a - V_b$$

La diferencia V_a - V_b *se llama potencial de a con respecto a b;* se abrevia como $V_{ab} = V_a - V_b$

Con frecuencia, se denomina **diferencia de potencial entre *a y b*** *o* **voltaje**

Vab, potencial de a con respecto a b, es igual al trabajo realizado* por la fuerza eléctrica cuando una unidad de carga se desplaza de *a a b.

El instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos puntos se llama *voltímetro.*

POTENCIAL ELÉCTRICO

Potencial eléctrico de una carga puntual:

$$V = \frac{U}{q_0} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}$$

r es la distancia de la carga puntual q al punto en que se evalúa el potencial.
Si q es positiva, el potencial que produce es positivo en todos los puntos; si q es negativa, produce un potencial negativo en todo lugar.
V es igual a cero en *r =∞, una distancia infinita de la carga puntual.*

Potencial debido a un conjunto de cargas puntuales

$$V = \frac{U}{q_0} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_i \frac{q_i}{r_i}$$

Diferencia de potencial eléctrico V_B-V_A: trabajo necesario realizado por un agente externo para mover en equilibrio (a velocidad constante) una carga de prueba q_0 desde el punto A al B, divido el valor de la carga:

$$V_B - V_A = \frac{W_{A-B}^{EXT}}{q_0}$$

Si supongo que el punto A está muy alejado (en el infinito) y la distribución de carga es finita $\Rightarrow V_A = 0$

Interpretación física del potencial eléctrico: potencial eléctrico en un punto del espacio originado por una distribución de carga finita es igual al trabajo necesario que realiza un agente externo para mover una carga unitaria desde el infinito al punto considerado a velocidad constante.

POTENCIAL ELÉCTRICO

Energía potencial eléctrica de un sistema de cargas puntuales- trabajo que realiza un agente externo para formar el sistema de cargas, trayéndolas desde el infinito, a velocidad constante.

$$U_P = W_{\infty - P}^{EXT}$$

$$U = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} q_i V_i$$

V_i potencial en la posición de la carga *i* por todas las demás cargas.

La energía total de una configuración de cargas, es la suma de las energías de cada partícula.

También se puede calcular de la siguiente forma

$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{i<j}\frac{q_i q_j}{r_{ij}}$$

La suma se extiende sobre todos los *pares de cargas; no se permite que i = j (porque* eso sería la interacción de una carga consigo misma), y solo se incluyen términos con *i < j para garantizar que cada par de cargas se tome en cuenta solo una vez.*

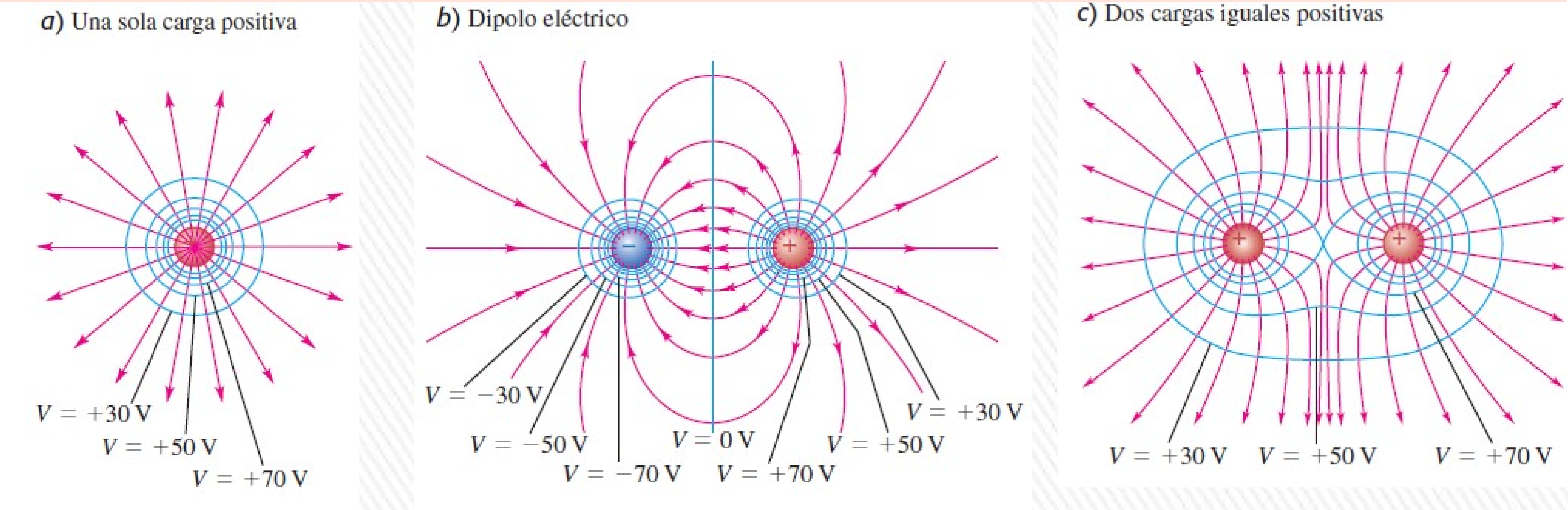
Por ejemplo para 4 cargas q_1, q_2, q_3 y q_4, sería:

$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1 q_2}{r_{12}} + \frac{q_1 q_3}{r_{13}} + \frac{q_1 q_4}{r_{14}} + \frac{q_2 q_3}{r_{23}} + \frac{q_2 q_4}{r_{24}} + \frac{q_3 q_4}{r_{34}}\right)$$

SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES

Superficies con igual *potencial eléctrico* en todos los puntos.
Si una carga q_0 *se desplaza de un punto a otro sobre una s*uperficie equipotencial, su energía potencial *eléctrica* q_0V *permanece constante.*
Ningún punto puede tener dos potenciales diferentes, por lo que las superficies equipotenciales de distintos potenciales nunca se tocan o intersecan.
Las líneas de campo y las superficies equipotenciales siempre son perpendiculares entre sí.

Las superficies equipotenciales reales son tridimensionales.
En cada cruce de una línea equipotencial con una línea de campo, las dos son perpendiculares.



Cálculo del potencial eléctrico a partir del campo eléctrico

Si conocemos el campo eléctrico se puede calcular el potencial eléctrico:

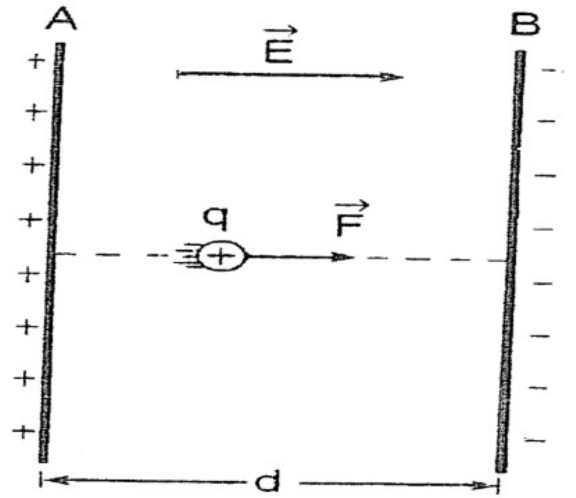
$$W_{a\to b} = \int_a^b \bar{\boldsymbol{F}} \cdot d\bar{\boldsymbol{l}} = \int_a^b q_0 \bar{\mathbf{E}} \cdot d\bar{\boldsymbol{l}}$$

dividiendo entre q_0 *se obtiene:*

$$V_a - V_b = \int_a^b \bar{\boldsymbol{E}} \cdot d\bar{\boldsymbol{l}} = \int_a^b E \cos\phi \, dl$$

El valor de V_a - V_b *es independiente de la trayectoria seguida de a a b, del mismo* modo que el valor de $W_{a\to b}$ *es independiente de la trayectoria.*

$$V_B - V_A = -\int_A^B \bar{\boldsymbol{E}}.d\bar{\boldsymbol{s}}$$



entonces si el campo eléctrico **E** es uniforme:

$$V_B - V_A = -\bar{\boldsymbol{E}}.\Delta\bar{\boldsymbol{s}}$$

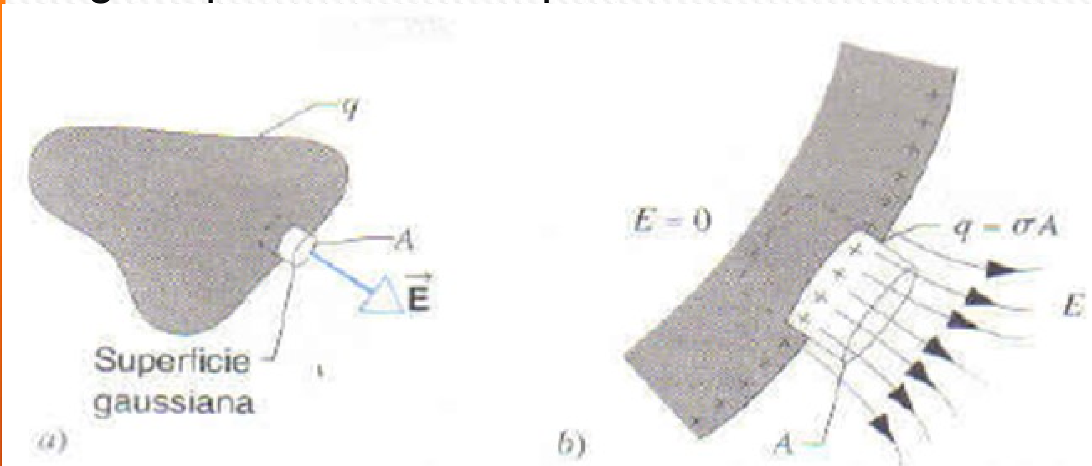
$$|\Delta V| = E.d$$

POTENCIAL DE UNA ESFERA: Se puede probar que el potencial eléctrico de una esfera uniformemente cargada, para puntos exteriores a la misma, es el mismo que crea una carga puntual, de igual carga, colocada en su centro.

CONDUCTOR EN CONDICIONES ELECTROSTÁTICAS

1. En el interior del conductor el campo eléctrico es cero, ya sea el conductor sólido o hueco.
2. Si un conductor aislado (no conectado a tierra) tiene carga, ésta reside en su superficie.

3. El campo eléctrico justo fuera de un conductor con carga es perpendicular a la superficie del conductor y tiene una magnitud **σ/ε_0**, donde σ es la densidad de carga superficial en ese punto.



$$\mathbf{E} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\hat{\mathbf{n}}$$

4.-El volumen completo de un conductor sólido tiene el mismo potencial (es decir es un equipotencial).
5. En un conductor de forma irregular, la densidad de carga superficial es máxima en aquellos puntos donde el radio de curvatura de la superficie es el menor.

PREGUNTA RÁPIDA N° 1

Un protón se mueve desde el punto A hasta el punto B, en el mismo sentido y dirección que un campo eléctrico externo uniforme E.
En este movimiento:

A) El trabajo realizado por el campo eléctrico es positivo y la energía potencial del sistema campo eléctrico-protón aumenta.

B) El trabajo realizado por el campo eléctrico es negativo y la energía potencial del sistema campo eléctrico-protón aumenta.

C) El trabajo realizado por el campo eléctrico es positivo y la energía potencial del sistema campo eléctrico-protón disminuye.

D) El trabajo realizado por el campo eléctrico es negativo y la energía potencial del sistema campo eléctrico-protón disminuye.

E) El trabajo realizado por el campo eléctrico es positivo y la energía potencial del sistema campo eléctrico-protón no cambia.

F) El trabajo realizado por el campo eléctrico es negativo y la energía potencial del sistema campo eléctrico-protón no cambia.

PREGUNTA RÁPIDA N° 2

Una partícula con una carga Q= $5{,}0\times10^{-8}$ C está fija en el origen. Otra partícula con carga q =$-1{,}0\times10^{-8}$ C se mueve desde el punto x= 5,0 cm, en el eje x, al punto y = 5,0 cm en el eje y.

El cambio en la energía potencial eléctrica del sistema vale:

A) $1{,}8\times10^{-4}$ J

B) $-1{,}8\times10^{-4}$ J

C) $9{,}0\times10^{-5}$J

D) $-9{,}0\times10^{-5}$ J

E) $\boxed{0}$

F) $-3{,}3\times10^{-6}$ J

G) Ninguno de los indicados

PREGUNTA RÁPIDA N° 3

Una esfera de cobre tiene una carga de Q= $2{,}00\times10^{-6}$ C y un potencial eléctrico de 500V (se consideran condiciones electrostáticas y que el potencial en el infinito vale 0). Entonces el potencial eléctrico en el centro de la esfera vale:

A) 0,00 V

B) -500 V

C) 500 V

D) Falta información para poder determinarlo (el radio de la esfera)

E) Ninguna de las opciones indicadas.

PREGUNTA RÁPIDA N° 4

Dos esferas conductoras están muy separadas entre sí en relación a sus tamaños.
La esfera A, tiene un radio R y una carga Q, mientras que la esfera B tiene un radio 2R y está descargada.
Si se conectan mediante un cable largo, entonces…

A) ambas esferas tienen el mismo potencial eléctrico.

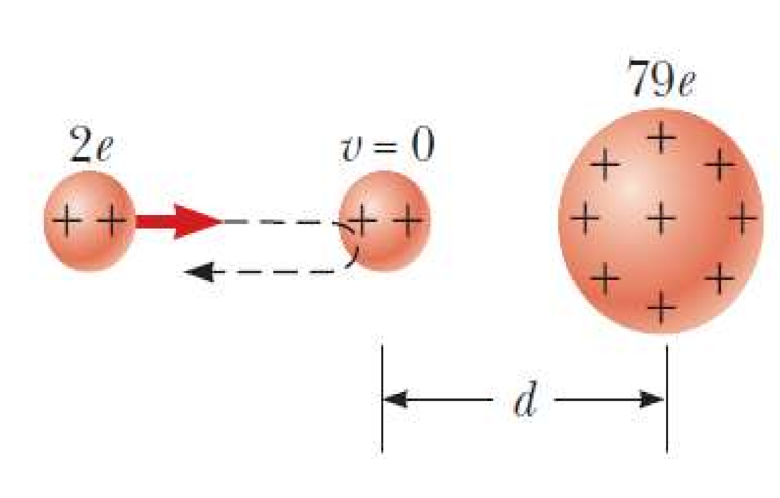
B) la esfera B tiene el doble de potencial eléctrico que la A.

C) la esfera B tiene la mitad de potencial eléctrico que la A.

D) ambas esferas quedan con la misma carga.

E) toda la carga se disipa.

EJEMPLO-Ejercicio 1.2.10



En el famoso experimento de dispersión de Rutherford, que condujo al modelo planetario del átomo, se dispararon partículas alfa (con cargas de 2*e* y masas de $6{,}64 \times 10^{-27}$ kg) hacia un núcleo de oro con carga +79*e*. Una partícula alfa, inicialmente muy lejos del núcleo de oro, se disparó a $2{,}00 \times 10^{7}$ m/s como en la figura. ¿Cuánto se acerca la partícula alfa al núcleo de oro antes de dar la vuelta? Suponga que el núcleo de oro permanece estacionario.

Voy a considerar que la energía del sistema se conserva.
La partícula alfa convertirá su energía cinética en energía potencial eléctrica, lo que determinará el máximo acercamiento al núcleo de oro.
Se supone que la energía potencial eléctrica inicial es nula (está muy alejado) y llega con energía cinética nula (máximo acercamiento).

$$K_{inicial} + U_{inicial} = K_{final} + U_{final}$$

$$K_{inicial} = U_{final}$$

EJEMPLO-Ejercicio 1.2.10

En el famoso experimento de dispersión de Rutherford, que condujo al modelo planetario del átomo, se dispararon partículas alfa (con cargas de 2*e* y masas de $6{,}64 \times 10^{-27}$ kg) hacia un núcleo de oro con carga +79*e*. Una partícula alfa, inicialmente muy lejos del núcleo de oro, se disparó a $2{,}00 \times 10^{7}$ m/s como en la figura. ¿Cuánto se acerca la partícula alfa al núcleo de oro antes de dar la vuelta? Suponga que el núcleo de oro permanece estacionario..

$$\frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r} = \frac{1}{2}mv^2 \qquad r = \frac{q_1 q_2}{2\pi\varepsilon_0 m v^2} = \frac{(2e)(79e)}{2\pi\varepsilon_0 m v^2} = \frac{79e^2}{\pi\varepsilon_0 m v^2}$$

$$r = \frac{79e^2}{\pi\varepsilon_0 m v^2} = \frac{79(1{,}602\times10^{-19})^2}{\pi(8{,}854\times10^{-12})(6{,}64\times10^{-27})(2{,}00\times10^{7})^2} =$$

$$r = \frac{79e^2}{\pi\varepsilon_0 m v^2} = 2{,}74\times10^{-14}\ \text{m}$$

Ejemplo: ejercicio 1.1.4

Un electrón y un protón se colocan separadamente en reposo a medio camino entre dos placas metálicas de cargas
opuestas.

a) ¿Cómo se acelerarán el electrón y el protón?

b) ¿Cuál de las dos partículas adquiere mayor velocidad antes de chocar contra una de las placas?

c) ¿Cuál de las dos partículas adquiere mayor energía cinética antes de chocar contra una de las placas?

b) Como el campo es uniforme, la fuerza y la aceleración serán constantes.

Como parten del reposo entonces la rapidez final será: $v = a.t$ y

$$d = \frac{1}{2}at^2 \qquad t = \sqrt{\frac{2d}{a}} \qquad v = a.t = a\sqrt{\frac{2d}{a}} = \sqrt{2ad}$$

Como recorren la misma distancia y la aceleración del electrón es mayor, entonces la velocidad final del electrón será también mayor.

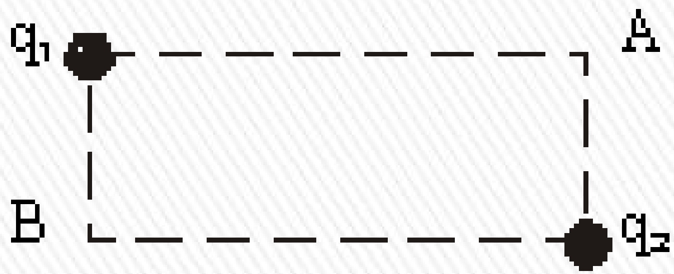
c) Por el teorema trabajo-energía, la variación de la energía cinética es igual al trabajo neto.

Como las magnitudes de las fuerzas y los desplazamientos son iguales, el trabajo sobre cada partícula será igual.

Por tanto la variación de la energía cinética será igual y como parten del reposo, las energías cinéticas finales son iguales.

EJEMPLO-Ejercicio 1.2.1

En el rectángulo mostrado en la figura, los lados tienen una longitud de *a* = 5,0 cm y *l* = 15 cm, q_1 = - 5,0 μC y q_2 = +2,0 μC.
a) ¿Cuánto trabajo externo se requiere para mover a una tercera carga q_3 = +3,0 μC desde B hasta A a lo largo de una diagonal del rectángulo?
b) En este proceso, ¿se convierte el trabajo externo en energía potencial electrostática o viceversa?



El trabajo que debe realizar un agente externo es igual y opuesto al que realiza el campo eléctrico:

$$W_{A\to B}^{campo\ E} = -W_{A\to B}^{Ext.} = W_{B\to A}^{Ext.}$$

Por lo tanto:

$$W_{B\to A}^{Ext.} = U_A - U_B = q_3(V_A - V_B)$$

$$V_A = k_E\frac{q_1}{l} + k_E\frac{q_2}{a} = k_E\left(\frac{q_1}{l} + \frac{q_2}{a}\right)$$

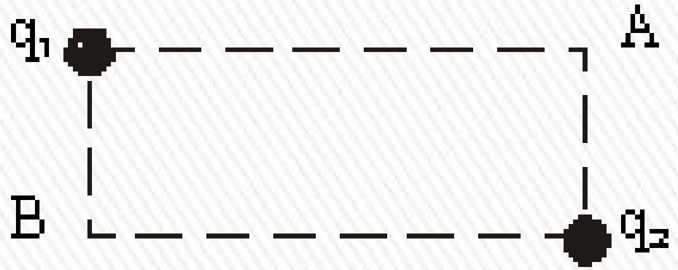
$$V_A = (8,988\times 10^9)\left(\frac{-5,00\times 10^{-6}}{0,150} + \frac{2,00\times 10^{-6}}{0,0500}\right) = \textbf{59.920 V}$$

EJEMPLO-Ejercicio 1.2.1

En el rectángulo mostrado en la figura, los lados tienen una longitud de *a* = 5,0 cm y *l* = 15 cm, q_1 = - 5,0 μC y q_2 = +2,0 μC.

a) ¿Cuánto trabajo externo se requiere para mover a una tercera carga q_3 = +3,0 μC desde B hasta A a lo largo de una diagonal del rectángulo?

b) En este proceso, ¿se convierte el trabajo externo en energía potencial electrostática o viceversa?



$$V_B = k_E \frac{q_1}{a} + k_E \frac{q_2}{l} = k_E \left(\frac{q_1}{a} + \frac{q_2}{l}\right)$$

$$V_B = (8,988 \times 10^9)\left(\frac{-5,00 \times 10^{-6}}{0,0500} + \frac{2,00 \times 10^{-6}}{0,150}\right)$$ -778.960 V

$$W_{B\to A}^{Ext.} = q_3(V_A - V_B) = (3,00 \times 10^{-6})(59920 - (-778960) = 2,5166\, J$$

$$W_{B\to A}^{Ext.} = 2,52\, J$$

b) El agente externo realiza trabajo positivo, llevando una carga positiva q_3 desde un punto de menor potencial a otro de mayor potencial, por tanto se convierte trabajo en energía potencial