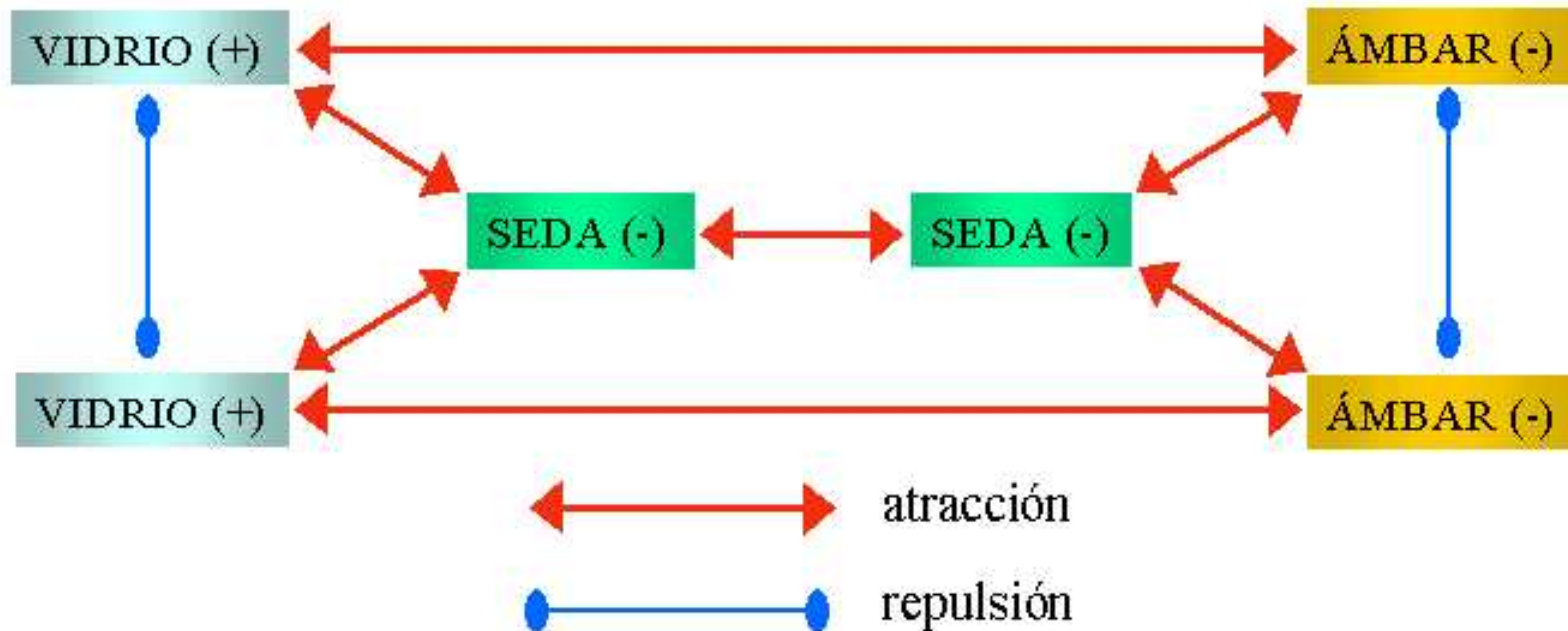


Fenómenos electrostáticos



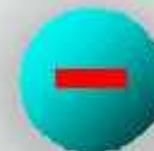
Si dos cuerpos neutros adquieren carga eléctrica por frotamiento mutuo, estas cargas son de signo opuesto

Solo existen cargas positivas y negativas

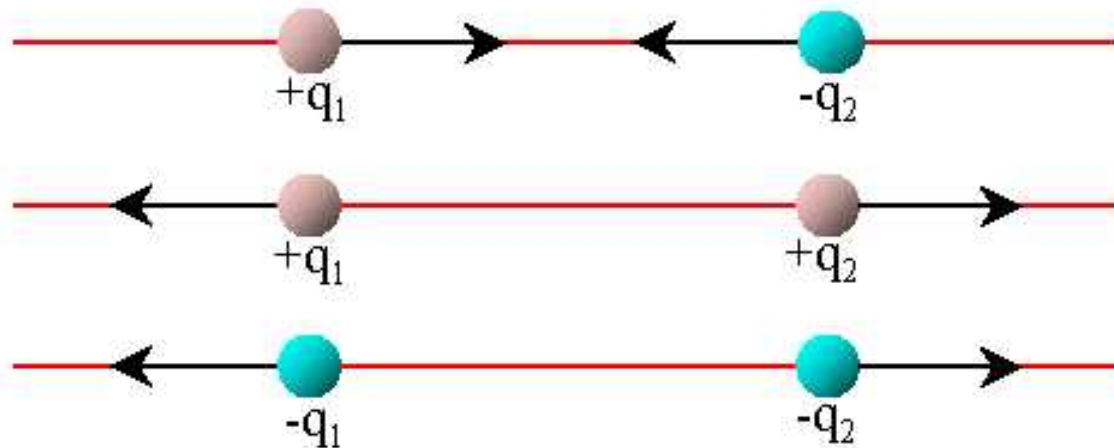
La interacción eléctrica

- Generalmente, la materia no está cargada eléctricamente
- Si átomos de un cuerpo pierden electrones, el cuerpo queda cargado positivamente, y si ganan electrones, el cuerpo queda cargado negativamente
- La unidad natural de carga eléctrica es la carga del electrón. Así cualquier carga positiva o negativa que adquiere un cuerpo debe ser múltiplo de la carga del electrón.
- En el S.I. de unidades, se utiliza un múltiplo llamado culombio (C) que equivale a 6,3 trillones de electrones

$$1 \text{ electrón} = 1 (e) \frac{1}{6,3 \cdot 10^{18}} \left(\frac{C}{e} \right) = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$



La ley de Coulomb



Enunciada en 1785, Coulomb midió cuantitativamente la fuerza de atracción o repulsión que se ejercen mutuamente dos cargas eléctricas

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

Esta expresión matemática sólo es aplicable a cargas puntuales (aquellas cuyo tamaño es muy pequeño en relación a su distancia)

Valor de las constantes k y ϵ

- En el S.I. de unidades, la constante de proporcionalidad k tiene un valor para el vacío:

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad \text{siendo } \epsilon_0 \text{ la constante dieléctrica del vacío}$$

- La unidad de carga es el culombio, que es la carga que deben poseer dos cuerpos para que al separarlos una distancia de 1 m, se repelan con una fuerza de $9 \cdot 10^9$ N. Dado que esta unidad es muy grande, se utilizan submúltiplos de ella:

$$1 \text{ mC} = 10^{-3} \text{ C}$$

$$1 \text{ } \mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C}$$

$$1 \text{ m } \mu\text{C} = 1 \text{ nC} = 10^{-9} \text{ C}$$

$$1 \text{ pC} = 10^{-12} \text{ C}$$

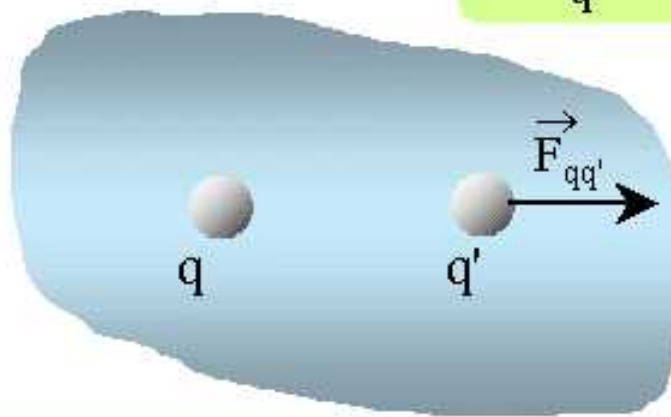
$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N m}^2}$$

- Si el medio no es el vacío: $F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q_1 q_2}{r^2}$ / $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$ / ϵ_r cte dieléctrica relativa

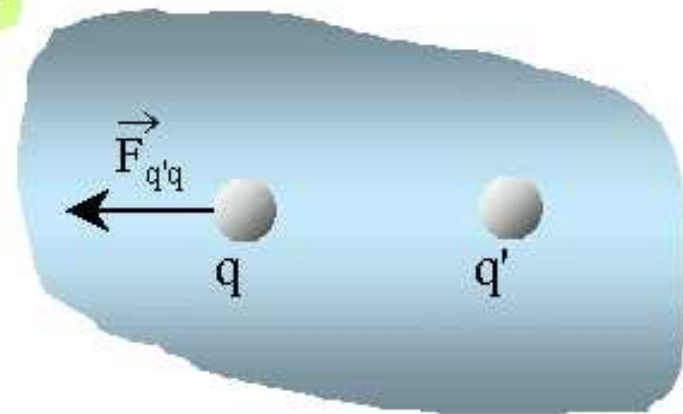
El campo eléctrico

- El espacio que rodea a una carga eléctrica, queda perturbado por la presencia de ésta y se dice que la carga crea un campo eléctrico a su alrededor.
- Las fuerzas aparecen como pares de acción-reacción
- La intensidad del campo es la fuerza que actúa sobre la unidad de carga positiva situada en el punto.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q'} \Rightarrow |\vec{E}| = k \frac{q}{r^2}$$

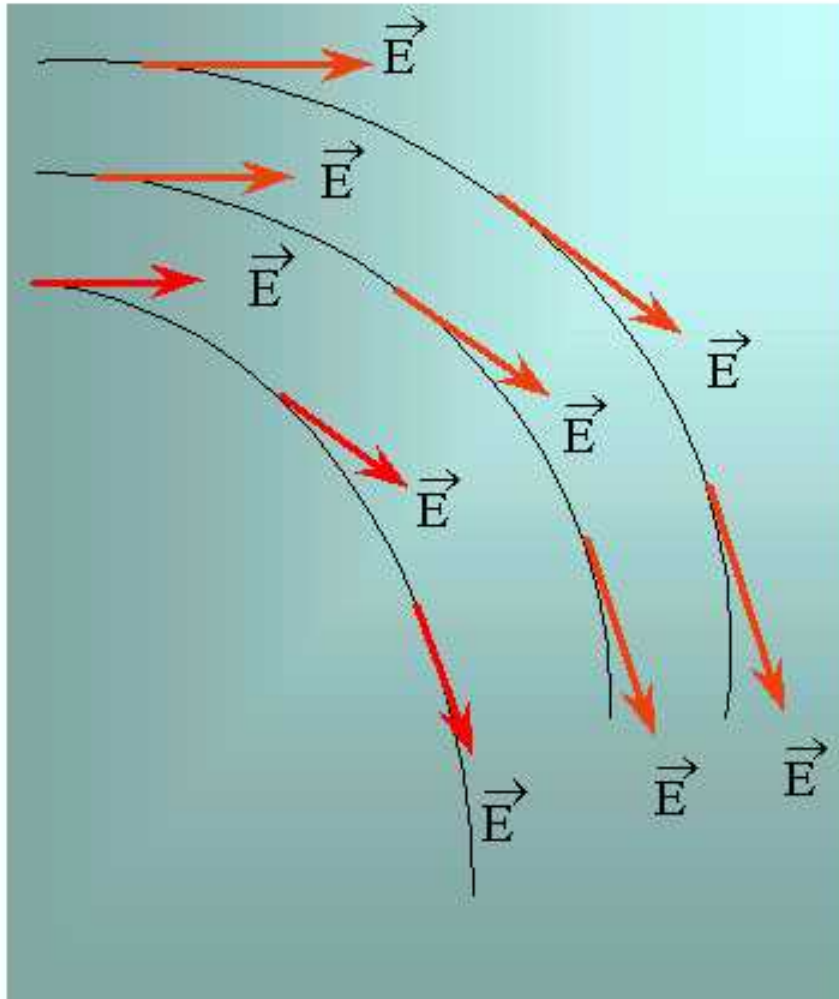


Una carga eléctrica q crea a su alrededor un campo. Otra q' introducida en él experimenta una fuerza



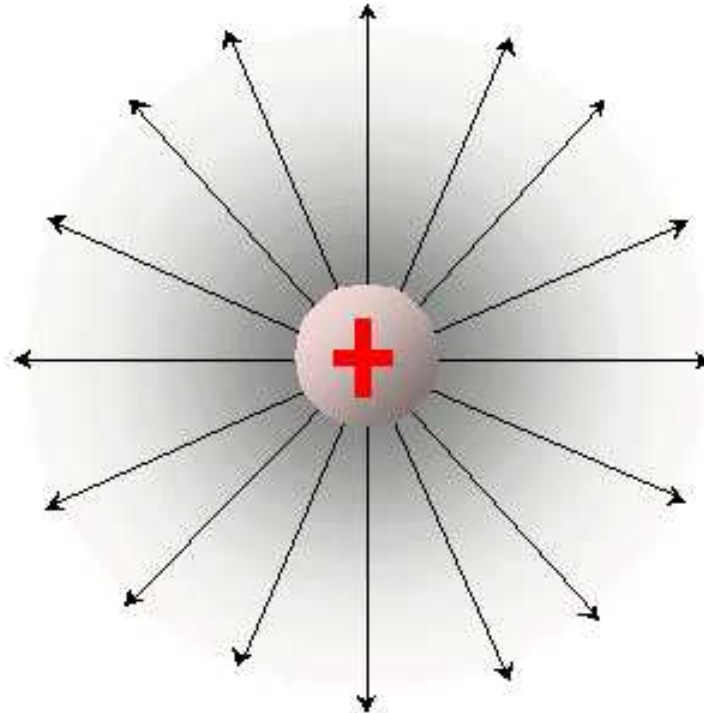
También q' crea un campo. Ahora es q quien experimenta una fuerza igual y de sentido contrario a la anterior

Representación del campo eléctrico



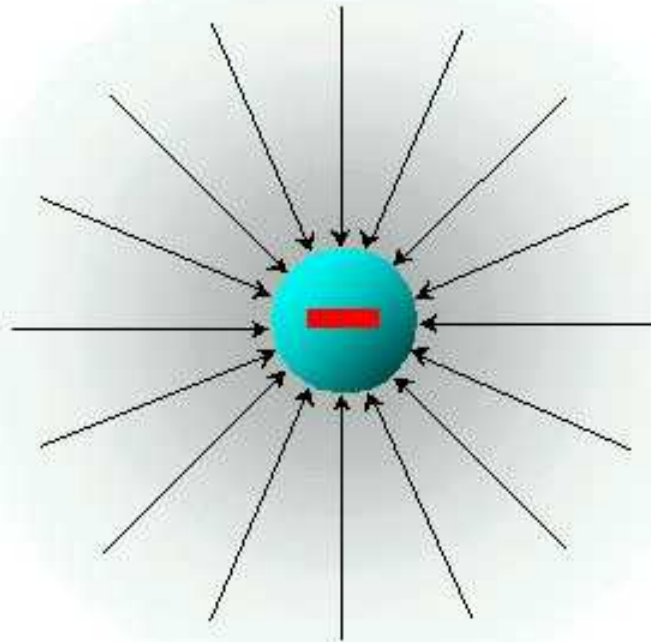
- Las líneas de fuerza de un campo eléctrico son las líneas imaginarias tangentes al vector intensidad de campo en cada punto
- También se define como la trayectoria seguida por una carga puntual positiva abandonada en reposo en un punto del campo
- Dos líneas de fuerza distintas nunca se cortan, ya que en tal caso existirían dos tangentes en ese punto

Líneas de fuerza de un campo eléctrico creado por q^+



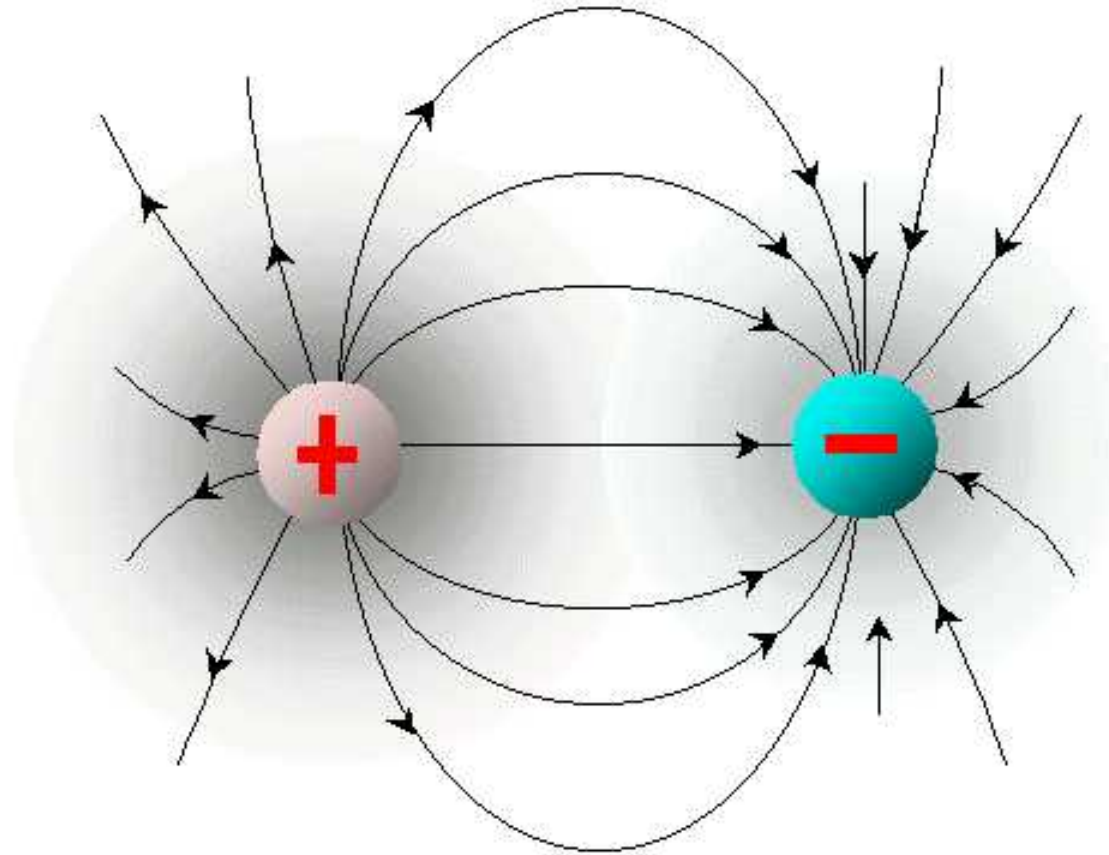
Las líneas de fuerza nacen en las cargas positivas.
Son las llamadas fuentes del campo

Líneas de fuerza de un campo eléctrico creado por q^-



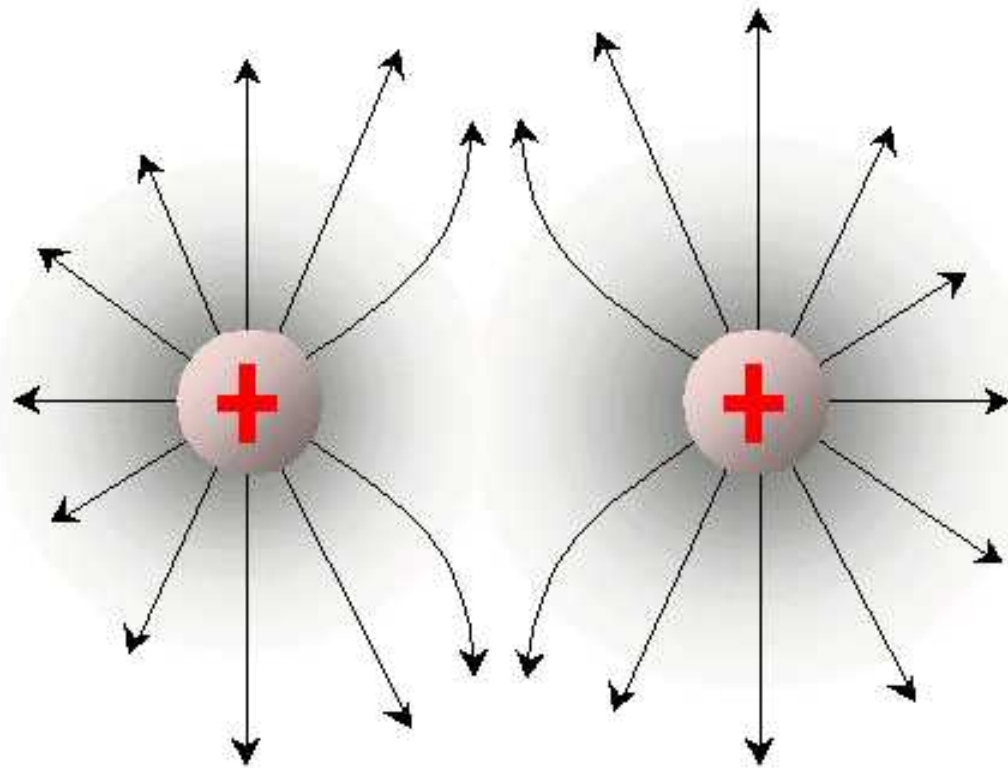
Las líneas de fuerza llegan a las cargas negativas.
Son los llamados sumideros del campo

Líneas de fuerza de un campo eléctrico creado por q^+ y q^-



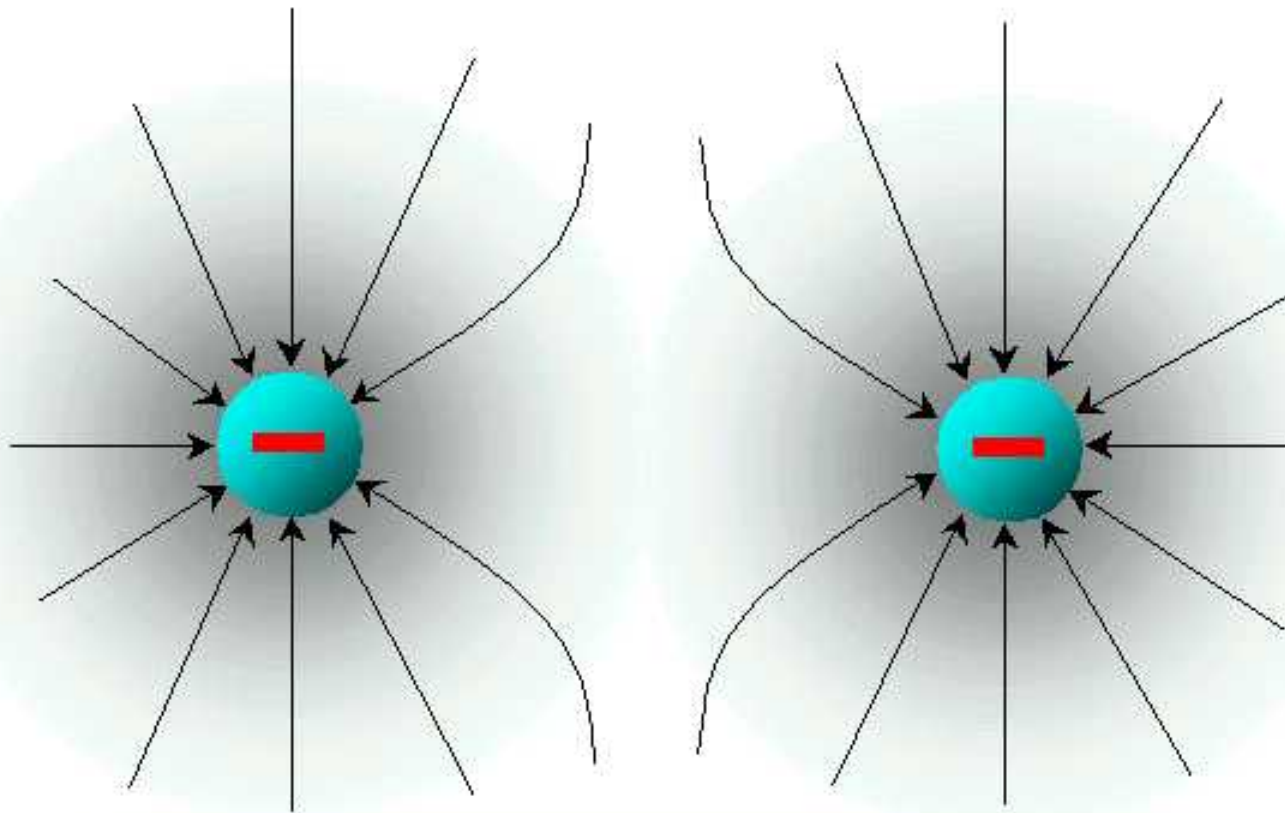
Las líneas de fuerza salen de la carga positiva y llegan a la negativa

Líneas de fuerza de un campo eléctrico creado por q^+ y q^+



Las líneas de fuerza del campo eléctrico creado por dos cargas puntuales del mismo signo, nunca se cortan

Líneas de fuerza de un campo eléctrico creado por q^- y q^-

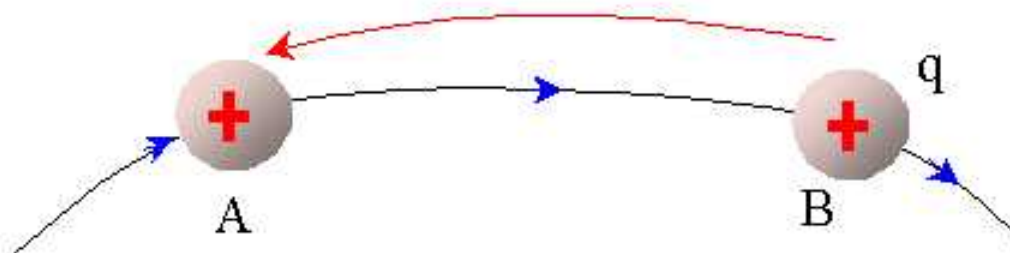


Las líneas de fuerza del campo eléctrico creado por dos cargas puntuales del mismo signo, nunca se cortan

Trabajo realizado al desplazar una carga eléctrica

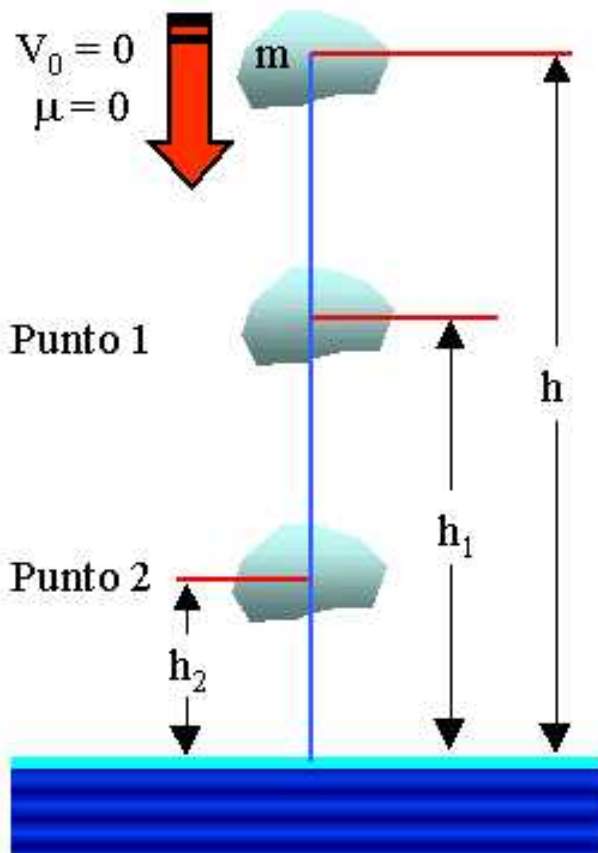


- Una carga eléctrica se mueve espontáneamente desde A hasta B siguiendo una línea de fuerza. El trabajo lo realizan las fuerzas del campo. Se considera positivo



- Ahora obligamos a la carga a moverse desde B hasta A contra las fuerzas del campo. El trabajo lo realizamos nosotros. Se considera negativo

Conservación de la energía mecánica



- Un objeto de masa m cae al vacío desde una altura h . Calculamos la E_c y E_p en dos puntos 1 y 2 del recorrido

- En el punto 1

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= \sqrt{2g(h-h_1)} \\ E_{c1} &= \frac{1}{2} m v_1^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} E_{c1} &= m g (h - h_1) \\ E_{p1} &= m g h_1 \end{aligned}$$

- En el punto 2

$$\left. \begin{aligned} v_2 &= \sqrt{2g(h-h_2)} \\ E_{c2} &= \frac{1}{2} m v_2^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} E_{c2} &= m g (h - h_2) \\ E_{p2} &= m g h_2 \end{aligned}$$

- $\Delta E_c = E_{c2} - E_{c1} = m g (h_1 - h_2)$
 $\Delta E_p = E_{p2} - E_{p1} = m g (h_2 - h_1)$

$$E_{c1} + E_{p1} = E_{c2} + E_{p2}$$

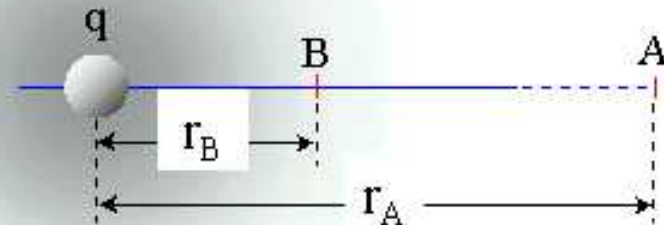
- Si las únicas fuerzas que realizan trabajo sobre un cuerpo son conservativas (como el peso o la fuerza elástica), su energía mecánica se mantiene cte

La energía electrostática y el potencial eléctrico

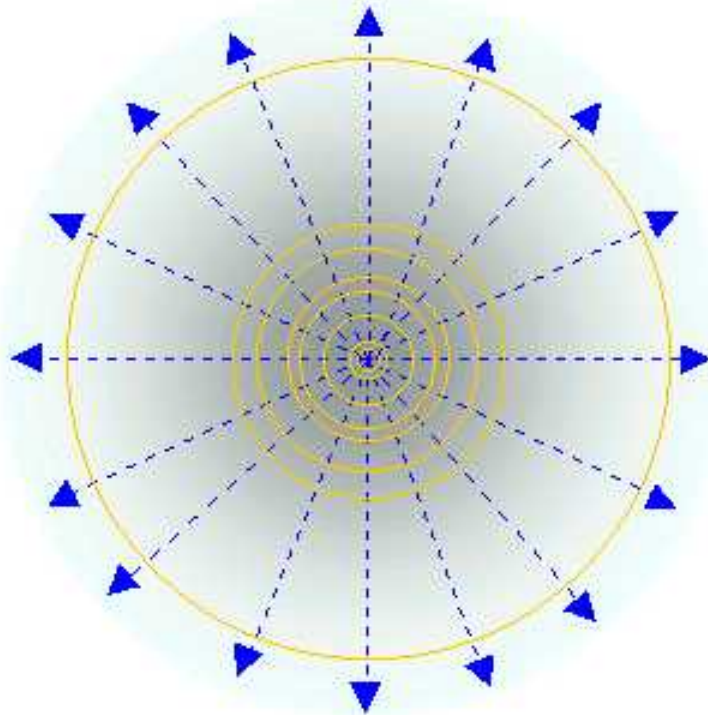
- Cada punto de un campo eléctrico está caracterizado por el vector intensidad de campo y por un número llamado **potencial del punto**
- Si el campo lo crea una carga positiva, los potenciales en sus puntos son positivos, y si lo crea una carga negativa, los potenciales son negativos
- Suponemos un campo eléctrico creado por una carga $+q$ y dos puntos, uno fuera situado en el infinito y otro dentro del campo situado a una distancia r_B
- El trabajo necesario para trasladar una carga $+q'$ desde A hasta B contra las fuerzas del campo es:

$$W = k q q' \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right) \quad \left. \begin{array}{l} \\ r_A \rightarrow \infty \end{array} \right\} \Rightarrow W = k \frac{q q'}{r_B} = V_B q'$$

- El potencial de un punto de un campo eléctrico se define como la energía potencial electrostática por unidad de carga q' situada en el punto $V = E_p/q'$

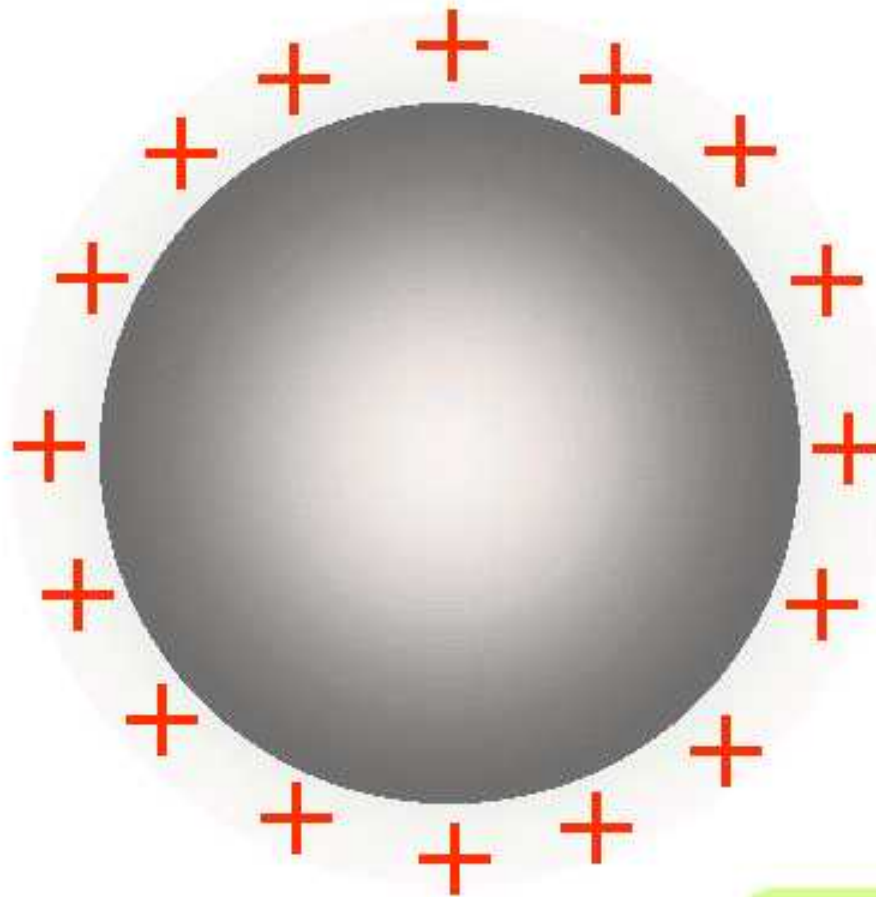


Movimiento de cargas y d.d.p. Superficies equipotenciales



- Es el lugar geométrico de los puntos de un campo eléctrico que tienen el mismo potencial es una superficie llamada superficie equipotencial
- Las superficies equipotenciales son esferas concéntricas tales que:
$$E = \frac{V}{r}$$
- El campo eléctrico se puede medir en N/C y en V/m
- Las cargas eléctricas se pueden mover por una superficie equipotencial sin realizar trabajo.

Distribución de cargas en conductores



- Su superficie adquiere un potencial

$$V = k \frac{Q}{R}$$

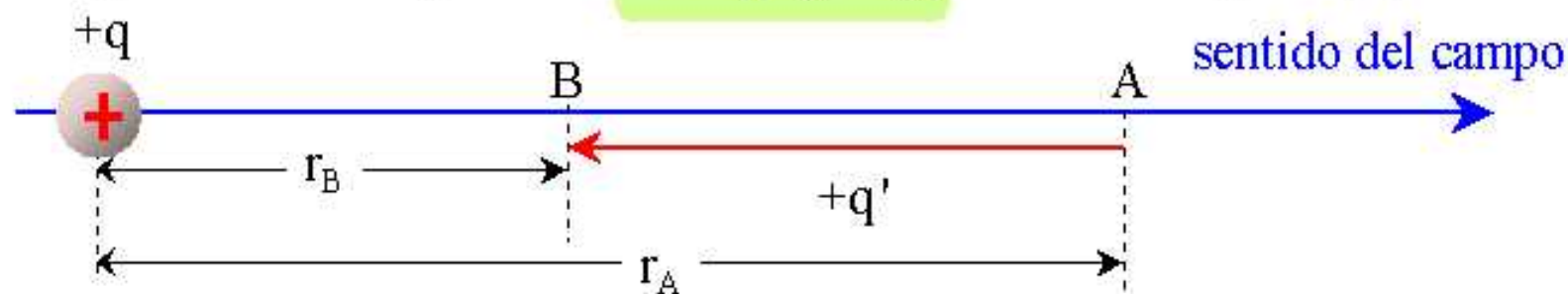
- En el interior de un conductor en equilibrio, no existe carga eléctrica
- En el interior de la esfera, el campo eléctrico es nulo
- Todos los puntos de su superficie están al mismo potencial
- Un conductor esférico de radio R con una carga Q se comporta como una carga puntual para puntos situados a una distancia $r \geq R$.

El potencial eléctrico. Trabajo y diferencia de potencial

- La d.d.p. Entre dos puntos A y B de un campo eléctrico, se define como el trabajo realizado para transportar la unidad de carga positiva desde A hasta B, es decir:

$$V_A - V_B = \frac{W}{q} \quad \text{La d.d.p. se mide en J/C también llamado voltio (V)}$$

- El trabajo eléctrico se expresa así: $W = q (V_A - V_B)$ Se mide en julios (J)



- Sea un campo eléctrico creado por una carga puntual $+q$ y dos puntos A y B cuyas distancias a la carga son r_A y r_B . Vamos a trasladar una carga $+q'$ desde A hasta B

- Su valor será:

$$W = k q q' \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right)$$

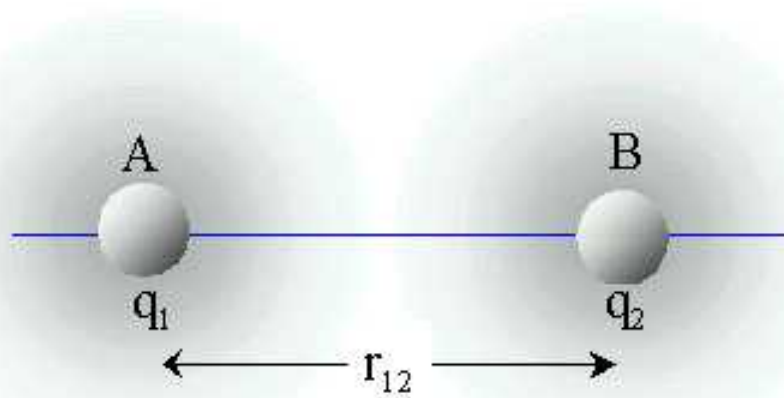
Energía de un conductor dentro de un campo eléctrico

- El campo eléctrico almacena energía en forma de energía potencial electrostática
- Sean dos cargas q_1 y q_2 situadas en los puntos A y B separados una distancia r_{12}
- Situar la primera carga no requiere trabajo por no existir campo eléctrico previo.
- El trabajo realizado para colocar la segunda carga en B es :

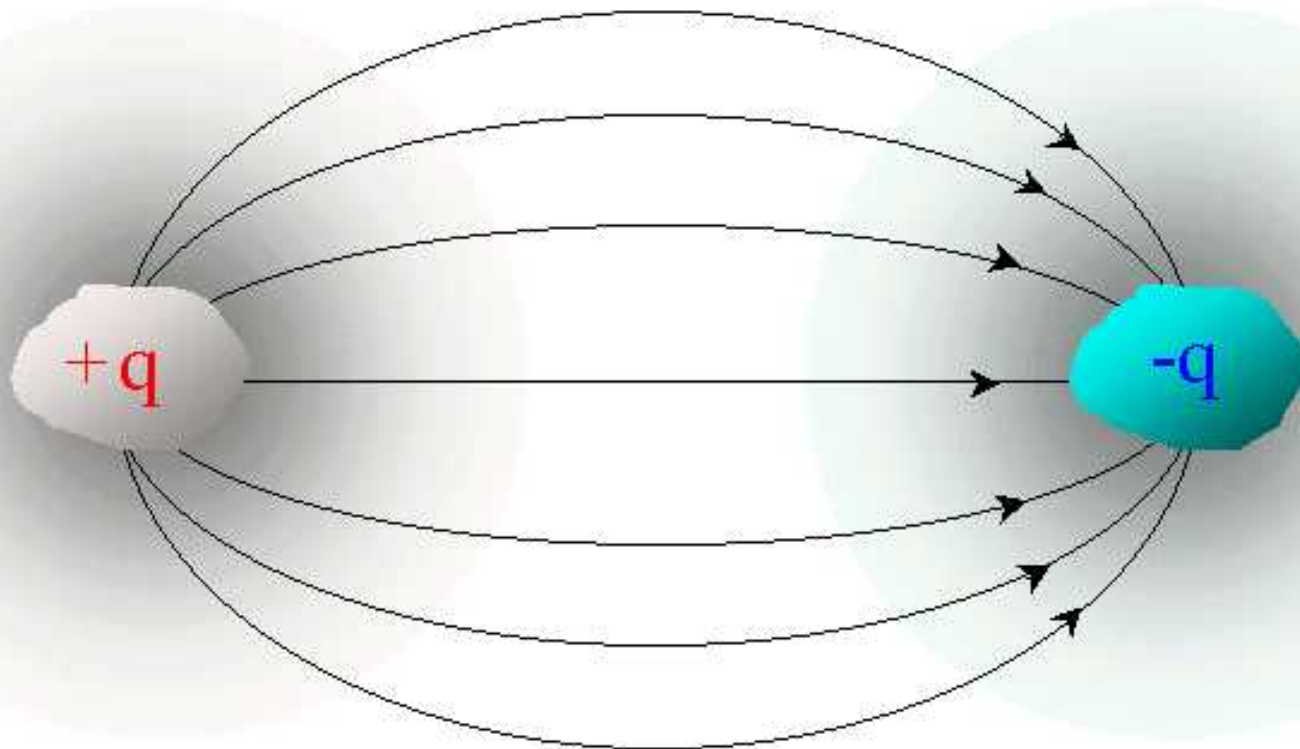
$$W = q_2 V_2 = q_2 k \frac{q_1}{r_{12}} = \frac{1}{2} q_2 k \frac{q_1}{r_{12}} + \frac{1}{2} q_1 k \frac{q_2}{r_{12}} = \frac{1}{2} q_2 V_2 + \frac{1}{2} q_1 V_1$$

- A cada conductor le corresponde una energía:

$$E_p = \frac{1}{2} q V$$



Conductores en influencia total



- Dos conductores cargados están en influencia total si todas las líneas de fuerza que salen del positivo llegan al negativo

Capacidad y condensadores

- La capacidad de un conductor se define como la relación entre la carga que se le comunica y el potencial que adquiere

$$C = \frac{Q}{V} \Rightarrow E_p = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

- La unidad de capacidad en el S.I es el faradio: $1F = 1C/1V$
- Dado un condensador inicialmente descargado, si transportamos carga (+) desde una armadura a otra, se establece una d.d.p. Entre las armaduras que va creciendo y se opone al transporte.
- Cuando adquieren cargas $+Q$ y $-Q$, la d.d.p. será $V_1 - V_2$ de forma que la energía que se utiliza en el proceso se almacena en el campo eléctrico del interior del condensador

$$\text{Energía} = \frac{1}{2} Q (V_1 - V_2) = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

Aplicación al cálculo de la fuerza eléctrica en distintos medios

Dos cargas eléctricas iguales q^+ se encuentran a 1 m de distancia. Indicar si se ejercerán más fuerza estando en el vacío o inmersas en agua

Dato: $\epsilon_{r \text{ agua}} = 80,1$

a) Fuerza eléctrica en el vacío

$$F_{\text{vacío}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q q}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{q^2}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{q^2}{1^2} = 9 \cdot 10^9 q^2 \Rightarrow F_{\text{vacío}} = 9 \cdot 10^9 q^2$$

b) Fuerza eléctrica en el agua

$$F_{\text{agua}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{q q}{r^2} = \frac{9 \cdot 10^9}{80,1} \frac{q^2}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{q^2}{1^2} = 0,11 \cdot 9 \cdot 10^9 q^2$$

$$F_{\text{agua}} = 0,11 \cdot 9 \cdot 10^9 q^2$$

Conclusión

$$F_{\text{vacío}} > F_{\text{agua}}$$

Aplicación al cálculo del potencial eléctrico creado por 2 cargas

Hallar el potencial de un punto de un campo eléctrico creado, en el aire, por dos cargas puntuales de $+2$ y $-3 \mu\text{C}$, situadas a 5 cm de distancia, en un punto que dista 4 cm de la carga positiva y 3 cm de la carga negativa

El potencial total será la suma de los potenciales creados por cada carga en dicho punto, es decir: $V_{\text{total}} = V_1 + V_2$

$$V_1 = k \frac{q_1}{r_1} = 9 \cdot 10^9 \frac{2 \cdot 10^{-6}}{0,04} = 450\,000 \text{ V}$$

$$V_2 = k \frac{q_2}{r_2} = 9 \cdot 10^9 \frac{(-3 \cdot 10^{-6})}{0,03} = -900\,000 \text{ V}$$

$$V_{\text{total}} = 450\,000 + (-900\,000) = -450\,000 \text{ V}$$

