

TEMA 2: INTERACCIÓN ELÉCTRICA

1- CARGA ELÉCTRICA. FORZAS ELÉCTRICAS. LEI DE COULOMB.

1.1-CARGA ELÉCTRICA

A carga eléctrica dos corpos ten a súa orixe na estrutura atómica da materia. En condicións normais os átomos son neutros porque teñen o mesmo número de electróns que de protóns. Algúns átomos despréndense facilmente dos seus electróns máis externos adquirindo carga positiva e facendo que outros átomos adquiran carga negativa.

A unidade de carga eléctrica no sistema internacional é o Culombio (C), nome debido ao científico que deduciu a expresión da forza eléctrica que estudamos máis abaixo. O Culombio é unha unidade moi grande para cargas en repouso: Así por exemplo, a electrización por fricción dun corpo da lugar só a cargas da orde de nC (nanoculombios).

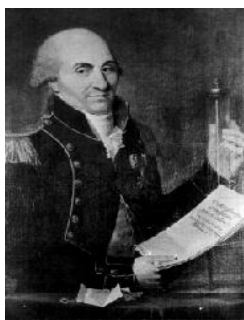
Dado que a carga eléctrica consiste nun exceso ou defecto de electróns, *toda carga eléctrica é múltiplo enteiro dunha unidade elemental que é a carga do electrón*. A carga do electrón foi determinada por Millikan a comezos do século XX (1906) e ten o valor de $-1,6 \cdot 10^{-19} C$

Lei de conservación da carga

“A carga total do universo permanece cte”. Aínda que as partículas cargadas estean en movemento, a súa carga consérvase. (Isto non ocorre coa masa $\Rightarrow$ Teoría da Relatividade)

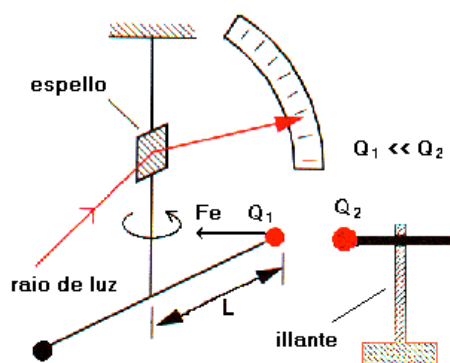
1.2-FORZAS ELÉCTRICAS

Cando temos no espazo cargas eléctricas prodúcense entre elas forzas eléctricas. Entre cargas do mesmo signo as forzas son *repulsivas* e entre cargas de signo contrario son *atractivas*. Trátase, como no caso das forzas gravitatorias, de *interaccións a distancia* e igualmente tamén son *forzas conservativas e centrais* pois a dirección do vector posición e da forza sempre coinciden.



Coulomb, Charles Augustin, (1736 - 1806) foi o primeiro que estudou cuantitativamente a forza eléctrica valéndose para elo dunha balaza de torsión como a de Cavendish e estableceu a súa fórmula.

Facendo experiencias como a da dereita con distintas cargas e distintas distancias de separación determinou que a forza sobre Q_1 era directamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao cadrado da distancia de separación entre as cargas. A súa expresión é:



$$\vec{F} = K \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \vec{u}_r$$

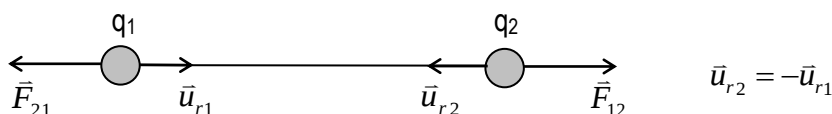
donde q_1 e q_2 poden ser positivas ou negativas

(as cargas póñense sempre co seu signo cando se substitúan nunha fórmula con vectores)

K = cte de proporcionalidade.

Imos ver agora as interaccións entre dúas cargas puntuais do mesmo e distinto signo.

- Para cargas do mesmo signo teremos:



$$\vec{F}_{12} = K \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \vec{u}_{r1}; \quad \vec{F}_{21} = K \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \vec{u}_{r2} = -K \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \vec{u}_{r1} \Rightarrow \boxed{\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}}$$

Se as cargas fosen de signos opostos, $\vec{F}_{21}$ e $\vec{F}_{12}$ terían sentidos opostos aos do caso anterior e serían forzas atractivas pero chegaríamos ao mesmo resultado: $\boxed{\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}}$ Este resultado demostranos que a interacción é *mútua*. Esto ocurría tamén nas forzas gravitatorias pero estas só eran atractivas e as forzas eléctricas poden ser atractivas ou repulsivas.

O valor de K depende do medio físico no que se atopan as cargas. (No campo gravitatorio tiñamos un valor único para G). No baleiro ten un valor de: $K = 8,9874 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2 \approx 9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$. Moitas veces a cte K defínese en función doutra cte que se chama *permitividade dieléctrica do medio ou absoluta*. (ϵ). A relación entrámbalas é:

$K = \frac{1}{4\pi\epsilon}$. ϵ mide a oposición á transmisión da interacción eléctrica no seo dun medio. O valor

mínimo é o do baleiro. No baleiro $\epsilon = \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2$

Chámase *permitividade relativa* dun medio ao cociente entre a súa permitividade absoluta e a permitividade do baleiro. Representase por: $\epsilon_r \Rightarrow \boxed{\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}}$.

Vexamos o valor de ϵ_r para algunhas substancias:

Medio	$\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$ (20°C)
Vidro	5-10
Baquelita	5,5
Plexiglás	3,4
Auga	80,4
Aire (1 atm)	1,00059

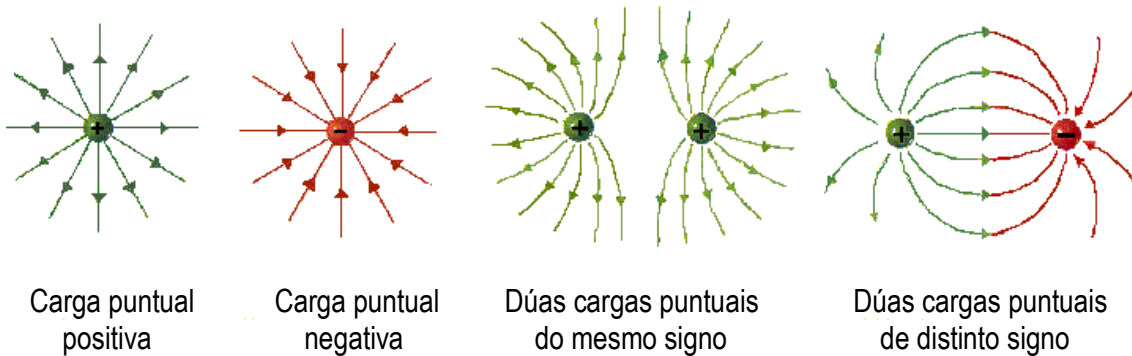
2-CAMPO CREADO POR UNHA CARGA PUNTUAL EN REPOUSO: INTERACCIÓN ELÉCTRICA

Dicimos que nunha zona do espazo existe un campo eléctrico cando ao situar nel unha carga eléctrica, esta experimenta unha forza de tipo eléctrico. O campo eléctrico e o campo gravitatorio represéntanse por **liñas de campo imaxinarias** que son liñas nas cales o vector forza eléctrica (ou o vector campo eléctrico) é tanxente en cada punto a elas.

Para debuxar as liñas de campo situamos nel unha carga eléctrica **positiva** de proba e vemos como é o sentido da forza que experimenta. Características das liñas de campo:

- 1- En cada punto do espazo o vector campo eléctrico (ou o vector forza eléctrica) debe ser tanxente as liñas de campo e ter o mesmo sentido ca estas.
- 2- A *densidade de liñas de campo* (número de liñas que atravesan a unidade de superficie colocada perpendicularmente a estas) é proporcional a intensidade de campo eléctrico $\Rightarrow$ "O campo eléctrico será máis intenso nas zonas onde as liñas de campo estean máis xuntas"
- 3- Como o valor do campo é único en cada punto, *as liñas de campo nunca se cortan*.

Vexamos como serían as liñas de campo cando temos no espazo unha ou dúas cargas creadoras de campo:



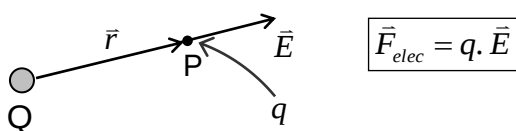
3- ESTUDO DO CAMPO ELÉCTRICO: INTENSIDADE DO CAMPO ELÉCTRICO. PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN.

Defínese a magnitude vectorial *campo eléctrico* que crea unha **carga puntual** Q nun punto P do espazo como a forza que se exerce sobre a unidade de carga positiva colocada nese punto:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{elec}}{q_+}; \quad \vec{F}_{elec} = K \frac{Q \cdot q}{r^2} \vec{u}_r \Rightarrow \vec{E} = \frac{k \frac{Q \cdot q}{r^2}}{q} \vec{u}_r \Rightarrow \vec{E} = K \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r \quad \text{Unidade S.I : N/C}$$

A *intensidade de campo eléctrico* será o módulo do vector campo eléctrico: $E = K \frac{Q}{r^2}$

Polo tanto, a forza eléctrica que actúa sobre unha carga q colocada nun punto do espazo no que existe en campo eléctrico pódese poñer como:

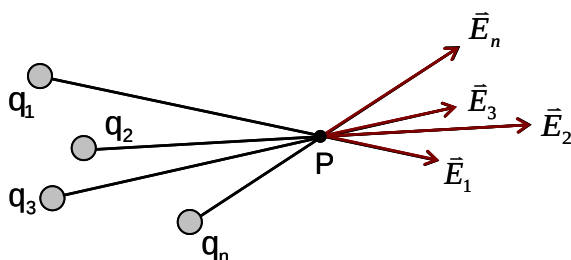


A forza eléctrica sobre a carga q terá o sentido do campo eléctrico ou sentido oposto dependendo do seu signo!!

***as cargas eléctricas colócanse sempre co seu signo. O sentido de F vai depender do signo da carga!!**

PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN

Cando nunha rexión do espazo temos unha *distribución discreta de carga* (cargas puntuais), o campo eléctrico total nun punto P do espazo é igual a suma vectorial de cada un dos campos individuais que crea cada carga por separado:



$$\vec{E}_{total} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$$

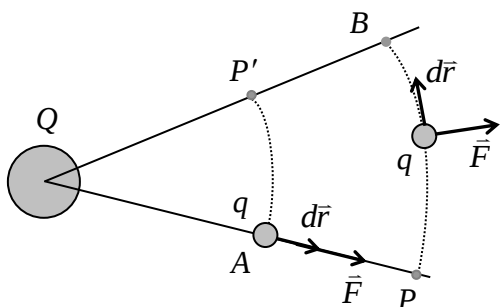
4- ENERXÍA POTENCIAL E POTENCIAL ELÉCTRICOS: RELACIÓN COA INTENSIDADE DE CAMPO.

Como ocorre coa forza gravitatoria, a forza eléctrica é unha forza central e, polo tanto, é conservativa. Isto posibilita que se poida definir unha enerxía potencial eléctrica.

Para obter a súa expresión calcularemos o traballo realizado pola forza eléctrica, posto que este traballo pode expresarse en función da variación da enerxía potencial:

$$W_{A \rightarrow B} = -\Delta E_p \quad * \text{ polo feito de ser conservativa}$$

Consideremos unha carga puntual *positiva* q , situada no campo doutra carga positiva Q fixa, que se despraza dende o punto A ao punto B .



Como a forza eléctrica é conservativa, o traballo para ir de A a B é independente da traxectoria.

Calculamos entón o traballo a través da traxectoria que pasa por A, P e B:

$$* W_{A \rightarrow B} = W_{A \rightarrow P} + W_{P \rightarrow B}$$

$$W_{A \rightarrow P} = \int_A^P \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_A^P F \cdot dr \cdot \cos 0^\circ = \int_A^P K \frac{Q \cdot q}{r^2} dr ;$$

$$W_{A \rightarrow P} = K \cdot Q \cdot q \int_{r_A}^{r_P} \frac{dr}{r^2} = K \cdot Q \cdot q \left(-\frac{1}{r} + cte \right)_{r_A}^{r_P}$$

$$W_{A \rightarrow P} = K \cdot Q \cdot q \left[\left(-\frac{1}{r_P} + cte \right) - \left(-\frac{1}{r_A} + cte \right) \right] = \left(K \frac{Q \cdot q}{r_A} + cte \right) - \left(K \frac{Q \cdot q}{r_B} + cte \right) \quad cte \text{ elimínase}$$

$$W_{A \rightarrow P} = E_{p_A} - E_{p_P} = -\Delta E_p$$

$$\Rightarrow \text{Podemos poñer: } \boxed{E_{p_{elec}} = K \frac{Q \cdot q}{r} + cte}$$

$$W_{P \rightarrow B} = \int_{r_P}^{r_B} \vec{F} \cdot d\vec{r} = 0 \text{ porque } \cos 90^\circ = 0 \text{ . Logo:}$$

$$* W_{A \rightarrow B} = W_{A \rightarrow P} + 0 = E_{p_A} - E_{p_P} \text{ . Como } r_P = r_B \Rightarrow E_{p_P} = E_{p_B} \Rightarrow \boxed{W_{A \rightarrow B} = E_{p_A} - E_{p_B}}$$

“O Traballo só depende da posición inicial e final e non do camiño seguido”

$$E_{p_{elec}} = K \frac{Q \cdot q}{r} + cte \text{ donde } cte \text{ pode tomar calquera valor como xa sabemos.}$$

A constante cte é arbitraria e depende da elección da orixe de Enerxía potencial. Se lle asignamos o valor 0 á Enerxía potencial dos puntos situados a unha distancia infinita da carga que crea o campo ($r \rightarrow \infty$) temos:

$$0 = K \frac{Q \cdot q}{\infty} + cte \Rightarrow 0 = 0 + cte \Rightarrow \boxed{cte = 0}$$

$$\text{Entón quedáanos: } \boxed{E_{p_{elec}} = K \frac{Q \cdot q}{r}} \quad * \text{ Nota: as cargas pónense sempre co seu signo!}$$

4.2 POTENCIAL ELÉCTRICO

Defínese o potencial eléctrico como o traballo que efectúa o campo eléctrico para trasladar a unidade de carga dende o punto A ao punto B :

Unidade S.I: J/C = V

$$\frac{W_{A \rightarrow B}}{q} = \frac{Ep_A - Ep_B}{q} = \frac{K \frac{Q \cdot q}{r_A} - K \frac{Q \cdot q}{r_B}}{q} = K \frac{Q}{r_A} - K \frac{Q}{r_B} = V_A - V_B = -\Delta V \quad \boxed{V = K \frac{Q}{r}}$$

4.3 RELACIÓN ENTRE CAMPO E POTENCIAL

$$W_{A \rightarrow B} = q(V_A - V_B)$$

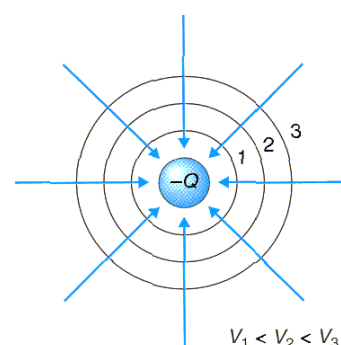
$$V_A - V_B = - \int_{V_A}^{V_B} dV \Rightarrow - \int_{V_A}^{V_B} dV = \frac{W_{A \rightarrow B}}{q} = \frac{\int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r}}{q} = \int_A^B \frac{\vec{F}}{q} \cdot d\vec{r} = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r} \Rightarrow - \int_{V_A}^{V_B} dV = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

Eliminando o signo integral, quedáanos:

$$-dV = \vec{E} \cdot d\vec{r} \Rightarrow \boxed{\vec{E} = -\frac{dV}{d\vec{r}}} \text{ e, se } \vec{E} \text{ é cte: } \boxed{\vec{E} = -\frac{\Delta V}{\Delta \vec{r}}}$$

Esto significa que:

- O sentido de $\vec{E}$ vai sempre cara potenciais decrecentes.
- Ao longo dunha superficie equipotencial $\vec{E}$ permanece cte.
- As liñas de campo son perpendiculares ás superficies equipotenciais.
- Dúas superficies equipotenciais non se poden cortar.



Cando conectamos dous corpos cargados mediante un condutor vaise producir movemento de carga entre eles ata que os dous se atopen ao mesmo potencial (tanto en signo como en número). O sentido do movemento de carga dependerá do tipo de carga que teñan os corpos. Ocorre algo similar ao movemento de fluídos por diferenza de presión, pero neste caso é como se houboese dous fluídos, pois pódense mover tanto cargas + como negativas.

EXERCICIOS

- 1- Unha carga positiva penetra nun campo eléctrico uniforme. Describe o seu movemento se:
 - a) A velocidade inicial ten a dirección e o sentido do campo.
 - b) A velocidade inicial ten sentido oposto ao campo.
 - c) A velocidade inicial forma un certo ángulo co campo.
- 2- Dúas cargas eléctricas, $q_1 = 5 \mu\text{C}$ e $q_2 = -4 \mu\text{C}$, están separadas 30 cm. Colocamos unha terceira carga $q_3 = 2 \mu\text{C}$ sobre o segmento que une q_1 e q_2 e a 10 cm de q_1 . Calcula a forza eléctrica que actúa sobre q_3 .
Sol.: 10,8 N
- 3- Tres cargas iguais de $3 \cdot 10^{-4} \text{ C}$ están situadas no baleiro nos vértices dun cadrado de 1 m de lado. Calcula: a) o campo eléctrico no outro vértice do cadrado; b) a forza eléctrica que experimenta unha carga de $-3 \cdot 10^{-4} \text{ C}$ colocada nese vértice. Resolve primeiro de forma gráfica.
Sol.: a) 0 N/C; b) $1,55 \cdot 10^3 \text{ N}$
- 4- Dúas esferas de 25 g de masa cargadas con idéntica carga eléctrica colgan dos extremos de dous fíos inextensibles e sen masa de 80 cm de lonxitude. Se os fíos están suspendidos do mesmo punto e forman un ángulo de 45° coa vertical, calcula: a) a carga de cada esfera. b) a tensión dos fíos.
Sol.: a) $5,9 \cdot 10^{-6} \text{ C}$; b) 0,35 N

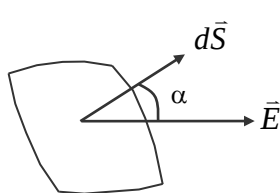
5- TEOREMA DE GAUSS. CAMPO ELÉCTRICO CREADO POR UN ELEMENTO CONTINUO DE CARGA EN REPOUSO: ESFERA, FÍO E PLACA.

5.1-TEOREMA DE GAUSS

Ata agora vimos como calcular o campo eléctrico creado por unha carga puntual ou unha distribución discreta de cargas (varias cargas puntuais) pero o problema xurde cando temos unha distribución continua de carga, como por exemplo un corpo cargado. Para solucionar este problema imos ver primeiro unha nova magnitude que se denomina fluxo eléctrico:

FLUXO ELÉCTRICO.

O fluxo(ϕ) de campo eléctrico ou fluxo eléctrico é unha medida do número de liñas de campo que atravesan unha superficie. A definición xeral é:



$$\phi = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \int_S E \cdot dS \cdot \cos \alpha. \text{ Cando } \vec{E} \text{ é cte} \Rightarrow$$

$$\phi = \vec{E} \cdot \int_S d\vec{S} = \vec{E} \cdot \vec{S} = E \cdot S \cdot \cos \alpha$$

Neste caso temos unha superficie aberta, pero cando temos unha superficie pechada (superficie que envolve un volume), o fluxo que a atravesa simbolízase por :

$$\phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

TEOREMA DE GAUSS.



Johann Carl Friedrich Gauss (* Brunswick, Baixa Saxonia 1777, † Gotinga 1855) destacado matemático, astrónomo e físico alemán, con un amplo rango de contribucións a ciencia. É considerado un dos mellores matemáticos da historia (Príncipe dos matemáticos).

Gauss demostrou que cando temos unha carga pechada dentro dunha superficie, o seu fluxo vale:

$$\phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{\text{pechada}}}{\epsilon} ; \text{ Si estamos no baleiro : } \phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{\text{pechada}}}{\epsilon_0}$$

Vemos que resultado é o mesmo independentemente de cal sexa a superficie pechada empregada e da distribución da carga interior (poden ser cargas puntuais ou contínuas ou unha única carga puntual).

Existe un teorema de Gauss análogo para o campo gravitatorio. A súa expresión é:

$$\phi = \oint_S \vec{g} \cdot d\vec{S} = -4\pi G M_{\text{pechada}}$$

O signo menos débese a que o campo gravitatorio sempre é atractivo e o campo eléctrico depende do signo da carga

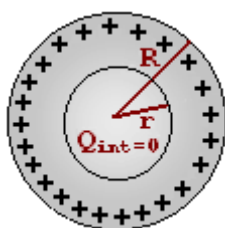
O fluxo a través dunha superficie pechada de calquer carga que sexa exterior a superficie (que non estea dentro) é nulo pois non hai carga pechada no interior.

Unha das aplicacións do teorema de Gauss coñécese como “*Gaiola de Faraday*” que se emprega para illar electrostáticamente determinados dispositivos. Tamén se pode empregar para determinar o campo eléctrico creado por distribucións contínuas de carga en repouso con xeometría sinxela (esfera, fío e placa). Como superficie pechada podemos coller calquera, polo que, en cada caso, colleremos aquela superficie que cumpla que o campo eléctrico sexa cte en tódolos seus puntos para que poida saír fora da integral. Vexamos logo como calculamos estes campos.

5.2-CAMPO CREADO POR UNHA ESFERA CARGADA.

Se temos unha esfera condutora (maciza) cargada cunha certa carga Q , a súa carga estará distribuída na superficie, pois no interior dun conductor cargado non pode haber cargas xa que, de habelas, estarían sometidas a forzas eléctricas ata que acadasen a superficie. Podemos distinguir tres zonas nas que aplicaremos o teorema de Gauss:

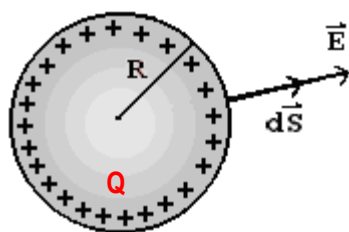
1º Puntos interiores: Para os puntos interiores tomamos como superficie gaussiana unha esfera interior e aplicámoslle o teorema de Gauss:



$$\phi_{\text{int}} = \oint_{S_{\text{int}}} \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon} ; \text{ como } Q_{\text{int}} = 0 \Rightarrow \oint_{S_{\text{int}}} \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0. \text{ Como a superficie interior non é nula, temos que } \boxed{\vec{E} = 0}$$

“Vemos que aquí hai unha diferenza con respecto ao campo gravitatorio. ¿cal é?”

2º Puntos da superficie: Neste caso tomamos como superficie de Gauss a propia superficie da esfera. Aplicando o teorema:

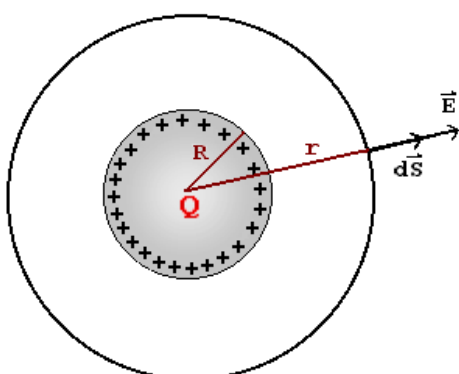


$$\phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \oint_S E \cdot dS \cdot \cos 0 = E \cdot \oint_S dS = E \cdot S = E \cdot 4\pi R^2$$

$$\phi = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon} \Rightarrow E \cdot 4\pi R^2 = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon} \Rightarrow E = \frac{Q}{4\pi R^2 \cdot \epsilon} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q}{R^2} \Rightarrow$$

$$\boxed{E = K \cdot \frac{Q}{R^2}} \Rightarrow \text{“É como se toda a carga estivese no centro da esfera”}$$

3º Puntos exteriores: Tomamos como superficie de Gauss unha esfera exterior e concéntrica que conteña o punto onde queremos calcular o campo.



$$\phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \oint_S E \cdot dS \cdot \cos 0 = E \cdot \oint_S dS = E \cdot S = E \cdot 4\pi r^2$$

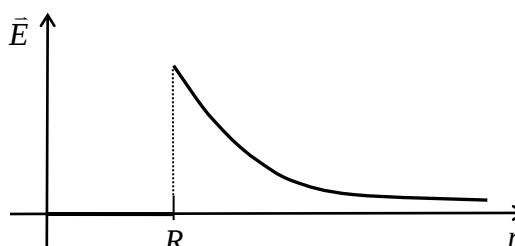
$$\phi = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon} \Rightarrow E \cdot 4\pi r^2 = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon} \Rightarrow E = \frac{Q}{4\pi r^2 \cdot \epsilon} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q}{r^2}$$

$$\boxed{E = K \cdot \frac{Q}{r^2}} \Rightarrow \text{“É como si toda a carga estivese no centro da esfera”}$$

GRÁFICA:

Hai que dicir que se a carga da esfera fose negativa o campo eléctrico tería sentido contrario polo que o fluxo sería negativo, o cal non indicaría que se trata de fluxo entrante.

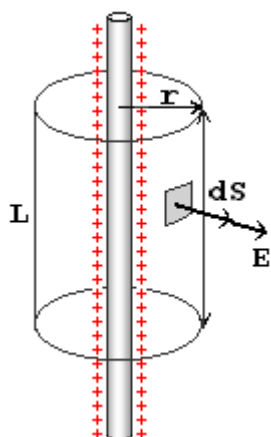
$$\phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \oint_S E \cdot dS \cdot \cos 180^\circ = -E \cdot S$$



5.3-CAMPO CREADO POR UN FÍO CONDUCTOR.

Supoñamos un fío conductor uniformemente cargado e en equilibrio eléctrico. Polo fío non circula corrente, polo que as cargas están en repouso. Como están en repouso, están situadas na superficie do conductor e o campo no seu interior vai ser 0. $\vec{E}_{\text{int}} = 0$

Suporemos que o grosor do fío é desprezable respecto da súa lonxitude. Deste xeito podemos definir unha densidade lineal de carga λ que representa a carga que ten o conductor por unidade de lonxitude. $\lambda = \frac{q}{L}$



Tomamos unha superficie Gaussianna que é un cilindro de radio r (igual ó valor do punto onde queremos calcular o campo) e lonxitude L . O eixo do cilindro coincide co fío. Somentes consideraremos o fluxo que sae pola superficie lateral do cilindro pois nas bases non hai fluxo neto. (por que?)

$$\phi_{\text{lateral}} = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \oint_S E \cdot dS \cdot \cos 0^\circ = E \cdot \oint_S dS = E \cdot S = E \cdot 2\pi r \cdot L$$

Segundo o teorema de Gauss $\phi = \frac{q_{\text{int}}}{\epsilon} \Rightarrow \frac{q}{\epsilon} = E \cdot 2\pi r \cdot L ; \Rightarrow$

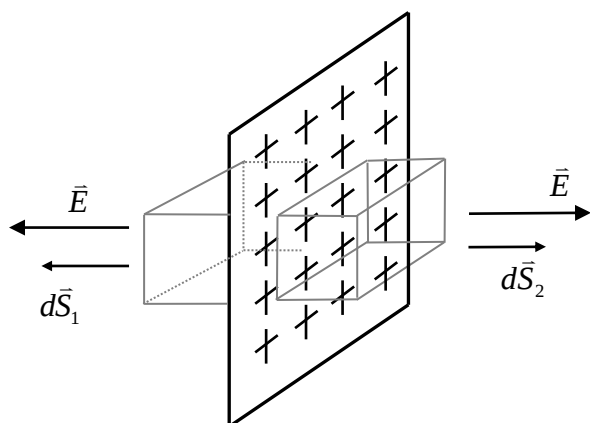
$$E = \frac{q}{2\pi \epsilon \cdot L} \Rightarrow \text{Como } \lambda = \frac{q}{L} \Rightarrow E = \frac{\lambda}{2\pi r \epsilon}$$

Se o fío estivese no baleiro : $E = \frac{\lambda}{2\pi r \epsilon_0}$

5.4-CAMPO CREADO POR UNHA PLACA CARGADA.

Supoñamos unha placa cargada cunha carga Q . A carga estará uniformemente distribuída por toda a superficie polo que podemos definir unha densidade superficial de carga σ (*sigma*)

definida como: $\sigma = \frac{q}{S}$ Tomamos a superficie Gaussianna (pechada) máis axeitada, calculamos o fluxo elemental a través desa superficie e despois extendémolo a toda a superficie da placa facendo a integral.



Neste caso o fluxo será só o que sae polas superficies elementais $d\vec{S}_1$ e $d\vec{S}_2$.

Logo:

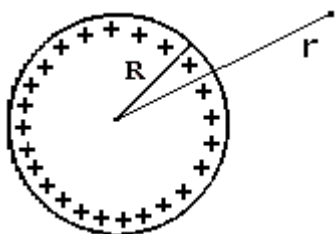
$$\phi_{\text{total}} = \phi_1 + \phi_2 = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S}_1 + \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S}_2 =$$

$E \cdot S_1 + E \cdot S_2$. Como S_1 e S_2 son iguais nos queda: $\phi_{\text{Total}} = 2 \cdot E \cdot S$. Enton:

$$\frac{Q}{\epsilon} = 2 \cdot E \cdot S \Rightarrow E = \frac{Q}{2 \cdot \epsilon \cdot S} \Rightarrow$$

$$E = \frac{\sigma}{2 \cdot \epsilon} \quad \text{No baleiro} \quad E = \frac{\sigma}{2 \cdot \epsilon_0}$$

5.5-POTENCIAL CREADO POR UNHA ESFERA CARGADA



1º Puntos externos: O potencial nun punto externo á esfera é igual ao traballo que fai o campo eléctrico para levar unha carga positiva unidade dende o punto r ata o infinito.

$$\frac{W_{r \rightarrow \infty}}{q} = \int_r^{\infty} \vec{E} \cdot d\vec{r} = \int_r^{\infty} E \cdot dr \cdot \cos 0^\circ = \int_r^{\infty} K \frac{Q}{r^2} \cdot dr =$$

$$KQ \cdot \int_r^{\infty} \frac{dr}{r^2} = KQ \left[-\frac{1}{r} + cte \right]_r^{\infty} = kQ \left[\left(-\frac{1}{\infty} + cte \right) - \left(-\frac{1}{r} + cte \right) \right]$$

$$\frac{1}{\infty} = 0 \Rightarrow \frac{W_{r \rightarrow \infty}}{q} = KQ \left(cte + \frac{1}{r} - cte \right) = K \frac{Q}{r}$$

O potencial coincide co dunha carga puntual Q situada no centro da esfera.

Como $\frac{W_{r \rightarrow \infty}}{q} = V_r - V_\infty \Rightarrow V_r - V_\infty = K \frac{Q}{r}$; Como $V_\infty = 0 \Rightarrow \boxed{V_r = k \frac{Q}{r}}$

2º Puntos da superficie: Neste caso xa podemos intuír que o potencial, igual que acontecía co campo, vai a ser igual ao potencial que crearía a carga Q , comportándose como se fose puntual, situada no centro da esfera.

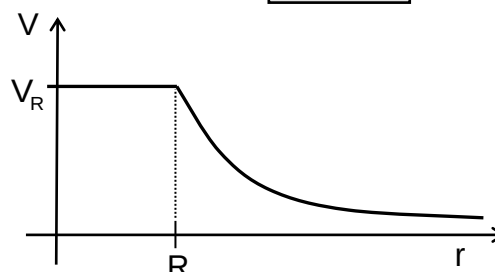
$$\boxed{V_R = K \frac{Q}{R}}$$

3º Puntos interiores: Sabemos que o campo eléctrico no interior da esfera é nulo, $\vec{E} = 0$.

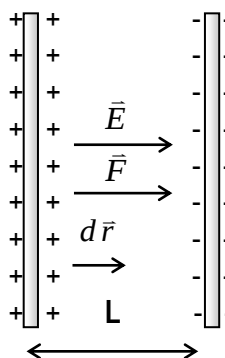
Como $\vec{E} = -\frac{dV}{d\vec{r}} \Rightarrow 0 = -\frac{dV}{d\vec{r}} \Rightarrow 0 = \frac{dV}{d\vec{r}} \Rightarrow V = cte \text{ respecto de } r$. O potencial é constante en tódolos puntos interiores e coincide co valor que ten este na súa superficie:

$$\boxed{V_{\text{int}} = K \frac{Q}{R}}$$

Representando V fronte a r temos a seguinte GRÁFICA:



5.6-CAMPO E POTENCIAL ENTRE DÚAS PLACAS PARALELAS:



So hai campo no interior das placas e este campo é debido a dous campos independentes que coinciden en dirección e sentido no interior das placas. Estes campos corresponden, un á placa positiva e outro á placa negativa. Tendo en conta que as placas son iguais quedáanos

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon} + \frac{\sigma}{2\epsilon} \Rightarrow \boxed{E = \frac{\sigma}{\epsilon}}$$

Para calcular o **potencial** empregamos a relación: $dV = -\vec{E} \cdot d\vec{r} = -E \cdot dr \Rightarrow$ como E é cte podemos escribir: $\Delta V = -E \cdot \Delta r = -E \cdot L$ ou o que é o mesmo: $V_- - V_+ = -E \cdot L$.

O signo menos é debido a que o potencial da placa negativa é negativo. Se facemos a resta ao revés queda: $\boxed{V_+ - V_- = E \cdot L}$

Dúas placas cargadas con cargas opostas constitúen un condensador plano.

EXERCICIOS

- 1- Un protón e un electrón atópanse inicialmente entre as placas dun condensador plano, o protón na placa cargada positivamente e o electrón na cargada negativamente. Comenzan a moverse ao mesmo tempo. ¿Chegarán ao mesmo tempo ás placas opostas?
- 2- Un protón ($m = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg, $q = 1,60 \cdot 10^{-19}$ C) lánzase na dirección X dentro dun campo eléctrico uniforme $E = -4,00 \cdot 10^5 \mathbf{i}$ (N/C). O protón viaxa 10,00 cm antes de deterse. Calcula o tempo que tarda en deterse, en nanosegundos.
- 3- Razona a veracidade ou falsidade das seguintes afirmacións:
 - a) Cando nos alonxamos dunha carga eléctrica negativa o potencial electrostático aumenta pero a intensidade do campo que crea diminúe.
 - b) Nalgún punto P situado no segmento que une dúas cargas eléctricas idénticas, o potencial electrostático anúlase pero non a intensidade do campo electrostático.
- 4- Na orixe de coordenadas hai unha carga $q_1 = 27$ nC e no pto A (4,0) outra carga $q_2 = -3$ nC. Hai algún pto do espazo no que se anule o campo eléctrico? Calcúlao.
- 5- Unha esfera pequena de 100 g e cargada con 10^{-3} C, está suxeita ao extremo dun fío illante, inextensible e de masa desprezable, suspendido do outro extremo fixo.
 - a) Determina a intensidade do campo eléctrico uniforme, dirixido horizontalmente, para que a esfera se atope en repouso e o fío forme un ángulo de 30° coa vertical.
 - b) Calcula a tensión que soporta o fío nas condicións anteriores.
- 6- O campo eléctrico nun punto P, creado por unha carga q situada na orixe, é de 2000 N/C e o potencial eléctrico en P é de 6000 V.
 - a) Determina o valor de q e a distancia do punto P á orixe.
 - b) Traballo realizado ao desprazar outra carga $Q = 1,2 \cdot 10^{-6}$ C desde o pto (3, 0) m ao pto (0, 3) m. Razona por qué non hai que especificar o camiño seguido. $K = 9 \cdot 10^9$ N m² C⁻²
- 7- Dadas dúas cargas eléctricas $q_1 = 100$ μ C situada en A(-3,0) e $q_2 = -50$ μ C situada en B(3,0) (as coordenadas en m), calcula:
 - a) O campo e o potencial en (0,4).
 - b) O traballo necesario para trasladar unha carga de -2 C dende o infinito ata (0,4).
- 8- Dúas cargas eléctricas idénticas de $-3,5$ μ C están situadas nos puntos (1,0) m e (1, -4) m. Determina en que punto (ou puntos) do plano se anula o campo eléctrico. ¿É tamén nulo o potencial eléctrico nese punto (ou puntos)? En caso contrario, determina o seu valor. Sol.: (1, -2) m; $-3,15 \cdot 10^4$ V
- 9- Calcula o traballo necesario para trasladar unha carga de $+1$ C:
 - a) dun punto de potencial -25 V a un punto de potencial $+25$ V;
 - b) entre dous puntos dunha superficie equipotencial. Sol.: a) -50 J; b) 0 J.
- 10- No punto A de coordenadas (0,15) hai unha carga de $-6 \cdot 10^{-5}$ C. Na orixe de coordenadas hai outra de $1,5 \cdot 10^{-4}$ C. Calcula:
 - a) A intensidade do campo eléctrico resultante no punto P de coordenadas (36,0).
 - b) O potencial resultante nese punto. (As coordenadas exprésanse en metros).
- 11- Ao trasladar unha carga q dun punto A ao infinito realízase un traballo de 1,25 J. Se se traslada do punto B ao infinito, realízase un traballo de 4,5 J. a) Calcula o traballo realizado ao desprazar a carga do punto A ó B. ¿Que propiedade do campo eléctrico utilizaches?
b) Se $q = -5$ μ C, calcula o potencial eléctrico nos puntos A e B.

Sol.: a) $-3,25$ J; b) $-2,5 \cdot 10^5$ V, $-9 \cdot 10^5$ V