Campo elétrico

1.-Fenómenos eletrostáticos

2.-Carga elétrica.

3.-Interación entre cargas elétricas: Lei de Coulomb.

4.-Campo elétrico.Principio de superposición.

5.-O campo elétrico como campo conservativo:

- Enerxía potencial elétrica
- Potencial elétrico

6.-Fluxo de campo elétrico:Teorema de Gauss.

7.-Aplicación do Teorema de Gauss ao calculo de campos elétricos

8.-Estática e dinámica de partículas cargadas baixo a ación de campos elétricos constantes.

Fenómenos eletrostáticos: referencias históricas

- **Tales de Mileto** (hacia o ano 600 denantes da era común), estudou o efeto do ámbar (*ελεκτρον:* élektrón en grego)que, frotado con lá, atraía pequenos fios e mesmo podía provocar a aparición de faiscas (efeto triboelétrico).
- **Plutarco** (século I da era común) describe-o así:

"Hai unha natureza espiritual no ámbar que se emite por medio de condutos ocultos ao fregar a súa superficie, e fai o mesmo que a magnetita"

- Esta confusión entre eletricidade e magnetismo continúa con **William Gilbert** (Inglaterra, 1544-1603) que realiza multiples experimentos con ámbar e imans que descrebe no seu libro titulado "De magnete" , onde segue a tratar o fenómeno elétrico como se fora magnético.

Fenómenos eletrostáticos
(ver vídeo)

- https://www.youtube.com/watch?v=xlEFfSckz54

Carga elétrica

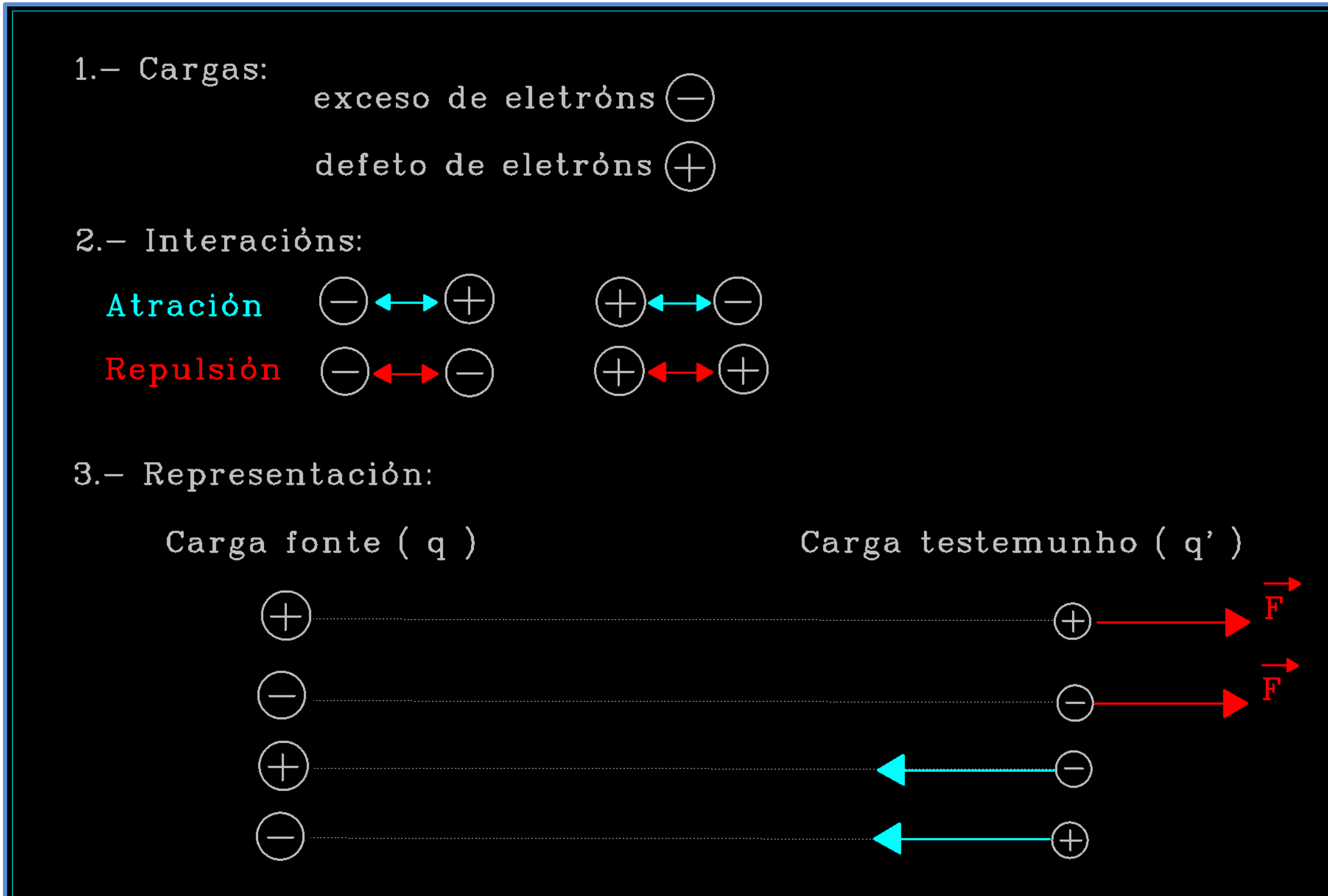
- Defínese **carga elétrica** como a propiedade da materia que sinalamos como causa da interación eletromagnética e do eletromagnetismo.
- A súa unidade no S.I é o Coulomb (C) ou culombio en honor de Charles Augustin de Coulomb (1736-1806) e defínese :

"1 C é a cantidade de carga elétrica que atravesa unha seción de condutor en 1 s cando a intensidade da corrente elétrica é 1 A"

A carga elétrica non é polo tanto unha magnitude fundamental.

- Na atualidade entendemos a orixe da carga elétrica na propia **constitución atómica da materia**, en dita constitución participan partículas sen carga (neutróns), partículas con carga positiva (protóns) e partículas con carga negatíva (eletróns). As dúas primeiras constitúen os núcleos atómicos mentres que a terceira ocupa rexións do espazo (orbitais) arredor do núcleo.
- Carga do eletrón: $-1,6.10^{-19}$ C , carga do protón: $+1,6.10^{-19}$ C

Interación entre cargas elétricas



Interación entre cargas elétricas: Lei de Coulomb

- Por medio dunha balanza de torsión Coulomb foi quen de determinar que entre duas cargas do mesmo signo, a forza de repulsión ven dada por:

$$F = K \cdot \frac{q \cdot q'}{d^2}$$

- Nesa expresión d é a distancia, q e q’ o valor das cargas e a constante K era dependente do medio: $K = \frac{1}{4\pi\varepsilon}$, na que ε=permitividade do medio.

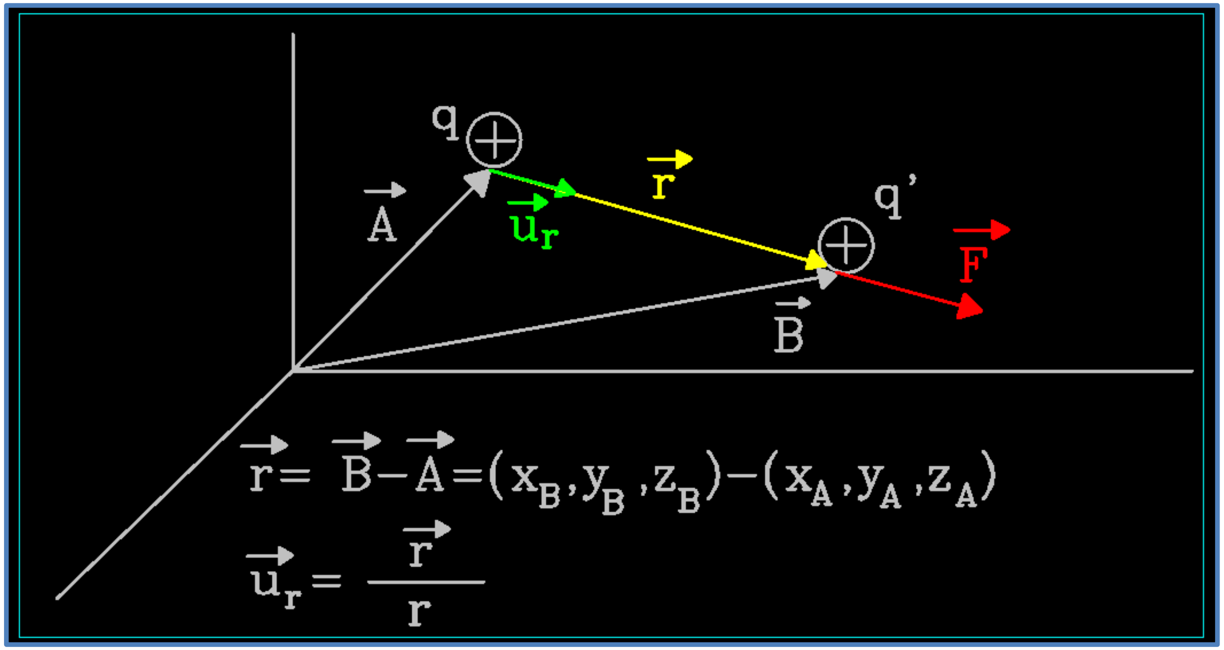
- No vacío ou no ar $\varepsilon_0 = 8{,}85 . 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$

- Polo tanto, no vacío ou no ar: $K = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$

Lei de Coulomb: aplicación vetorial

Supoñamos duas cargas q e q' situadas en dous pontos do espazo A e B, definidos polos vetores de posición $\vec{A}$ e $\vec{B}$. Defíne-se o vetor $\vec{r}$ como o que une os dous pontos.

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \cdot \frac{q \cdot q'}{r^2} \vec{u}_r = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \cdot \frac{q \cdot q'}{r^3} \vec{r}$$



Campo elétrico

- Analogamente ao caso da forza gravitatoria, para explicar a ación imediata entre duas cargas precisamos do conceito de campo.
- O campo elétrico ($\vec{E}$) é o efeito que crea arredor de sí cada carga e que se deteta só cando aproximamos unha segunda carga. A primeira carga chámase carga creadora (q) e a segunda carga de proba (q').
- O campo elétrico é a forza elétrica por unidade de carga de proba. Como: $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \cdot \frac{q \cdot q'}{r^2} \vec{u}_r$ enton o campo sería:

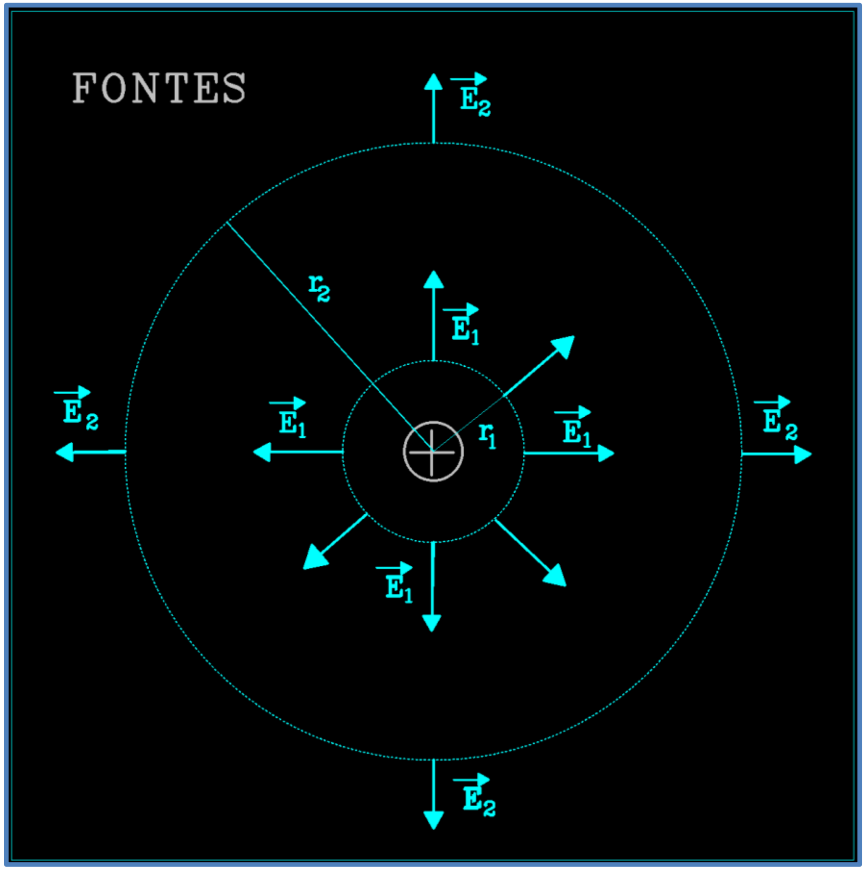
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q'} = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \cdot \frac{q}{r^2} \vec{u}_r$$

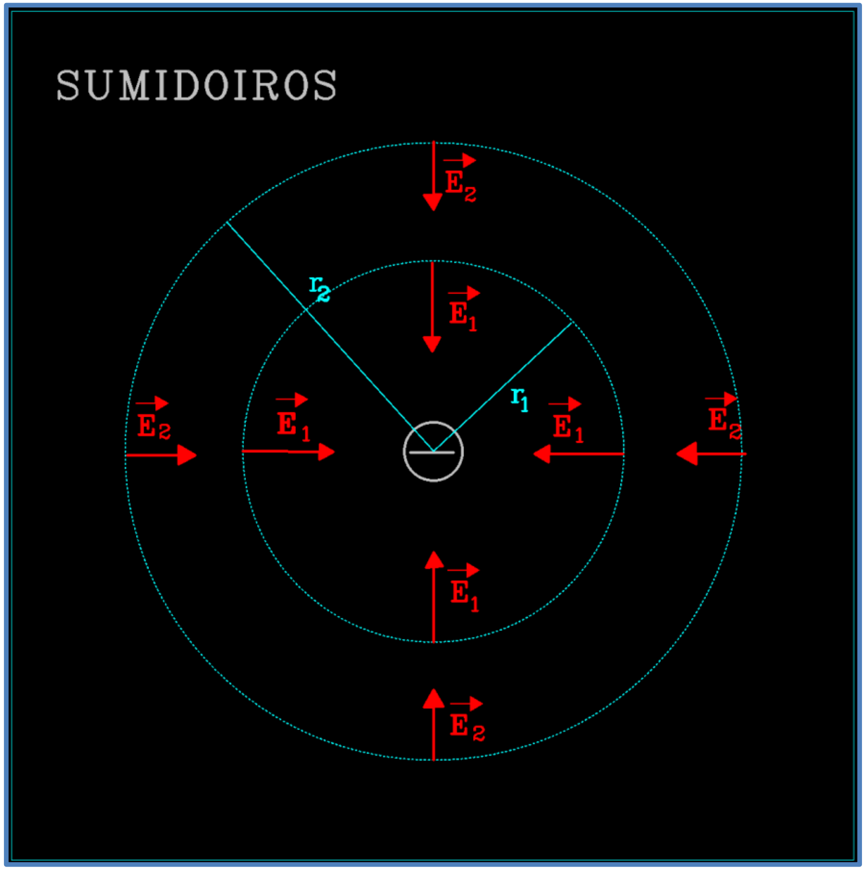
- As súas unidades no S.I serán N/C
- Trátase dunha magnitude vetorial, de carater central e radial.

Campo elétrico arredor de cargas + e -

Arredor de cargas +

Arredor de cargas -





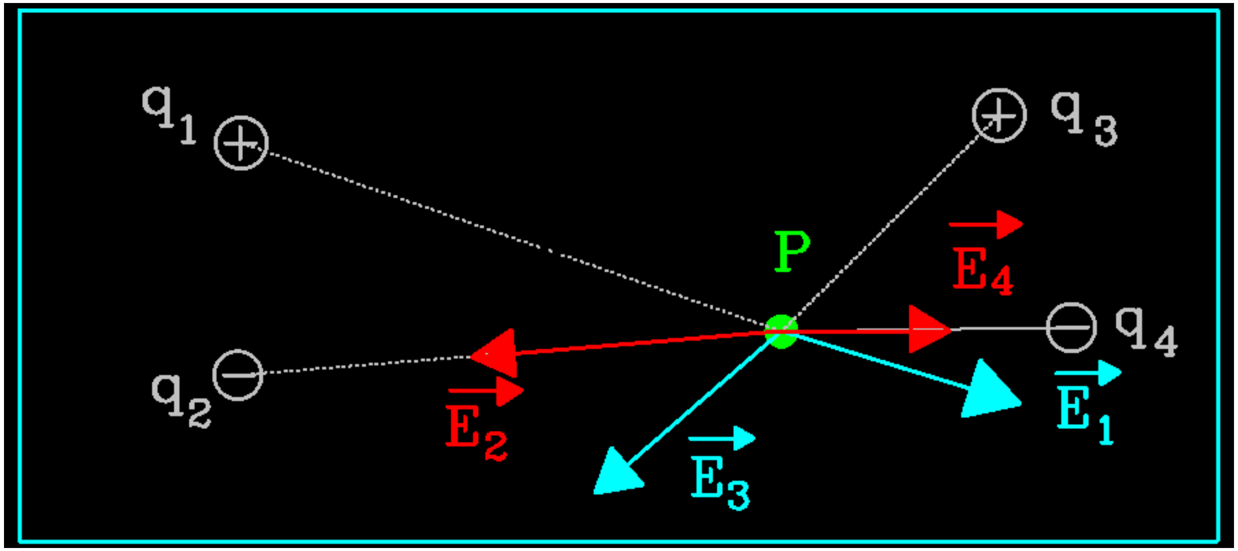
Campo elétrico creado por unha ou varias cargas

1) Campo elétrico creado por unha carga nun ponto.

Seguiremos as pautas do calculo vetorial , atendendo a se a direción coincide ou non con algún dos eixes de referencia e ao signo da carga.

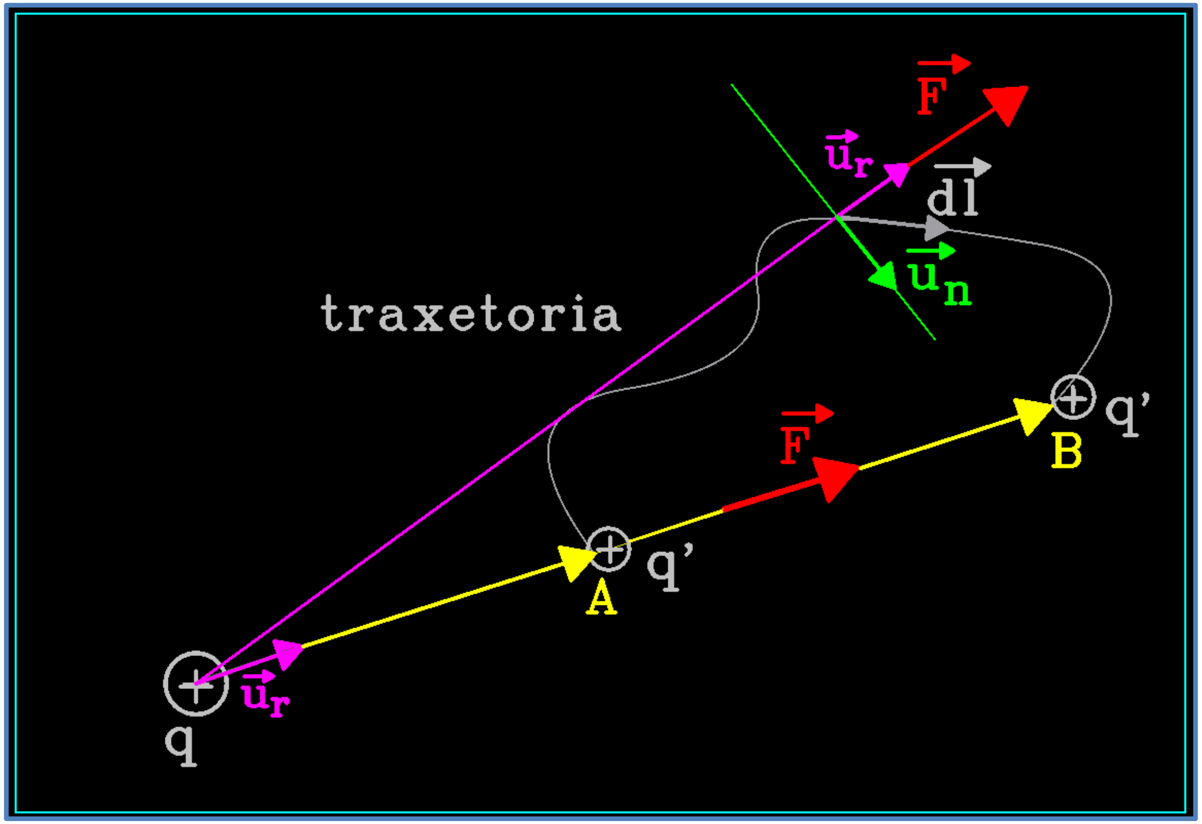
2) Campo elétrico creado por varias cargas nun ponto.

O campo elétrico correspondente a un sistema de varias cargas é a suma vetorial dos campos producidos individualmente por cada carga (principio de superposición) tendo en conta o seu signo.



Enerxía no campo elétrico

- O campo elétrico é un campo de forzas centrais e polo tanto é conservativo.
- Consideremos duas cargas positivas **q** e **q’** e imos estudar o traballo desenvolvido para trasladar **q’** de A a B.



1.-Temos que demostrar:

$$W_{ciclo} = W_{A \to B \to A} = 0$$

2.-Imos calcular:

$$W_{A \to B} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{l}$$

3.-Como xa vimos no campo gravitatorio, só produciran traballo os desprazamentos que sigan a direción radial

4.-O resultado do produto escalar será:

$$\vec{F} \cdot d\vec{r} = F \cdot dr \cdot \cos 0^0 = \\ = F \cdot dr$$

Enerxía no campo elétrico

5.-Resolto o produto escalar, só queda resolver unha integral entre os pontos A e B:

$$W_{A\to B} = \int_A^B F \cdot dr = \int_A^B \frac{1}{4\pi\varepsilon} \cdot \frac{q \cdot q\prime}{r^2} \cdot dr = \frac{q \cdot q\prime}{4\pi\varepsilon} \int_A^B \frac{dr}{r^2} = \frac{q \cdot q\prime}{4\pi\varepsilon} \cdot \left[-\frac{1}{r}\right]_A^B$$

Se consideramos o ar ou o vacío: $K = \frac{1}{4\pi\varepsilon}$ e polo tanto:

$$W_{A\to B} = K \cdot q \cdot q' \left[-\frac{1}{r_B} + \frac{1}{r_A}\right] = -\left[\frac{K \cdot q \cdot q\prime}{r_B} - \frac{K \cdot q \cdot q\prime}{r_A}\right]$$

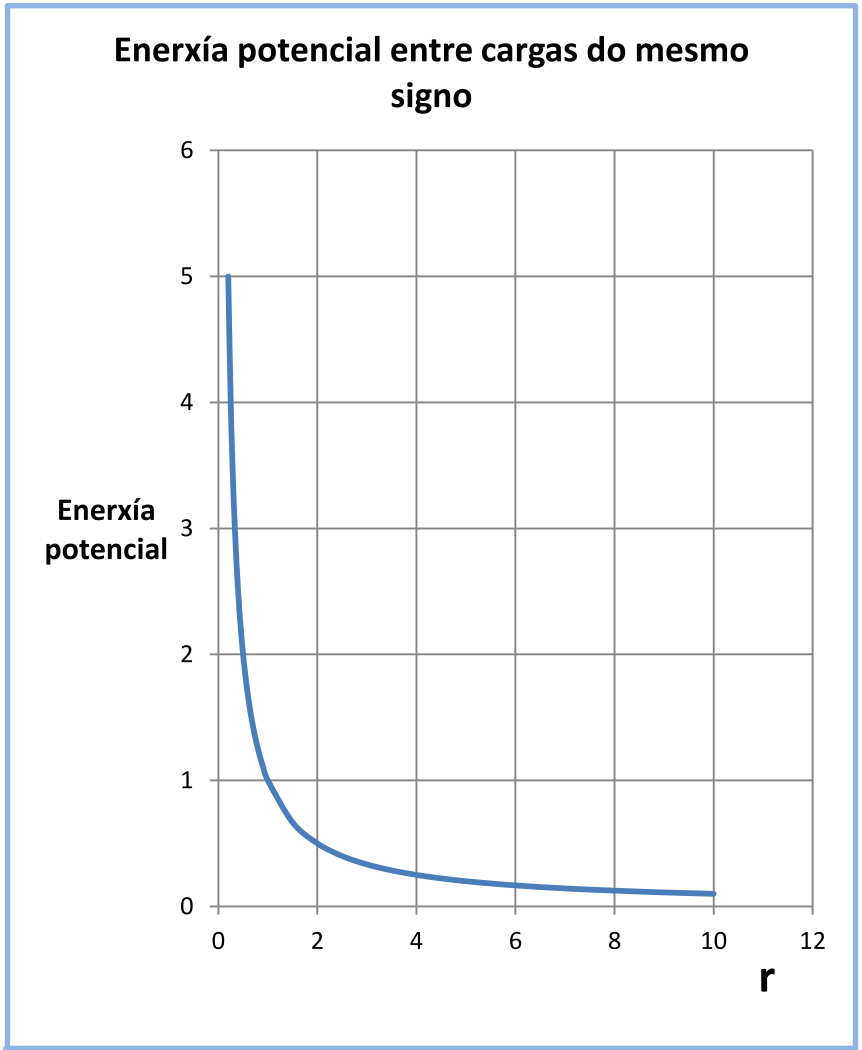
6.-É evidente que $W_{B\to A} = \int_B^A \vec{F} \cdot d\vec{r} = -\left[\frac{K \cdot q \cdot q\prime}{r_A} - \frac{K \cdot q \cdot q\prime}{r_B}\right]$

7.-Polo tanto é un campo conservativo e podemos definir a función enerxía potencial elétrica E_P , unha función que só depende da posición e que viría expresada en Joules: $E_P = K \cdot \frac{q \cdot q\prime}{r}$

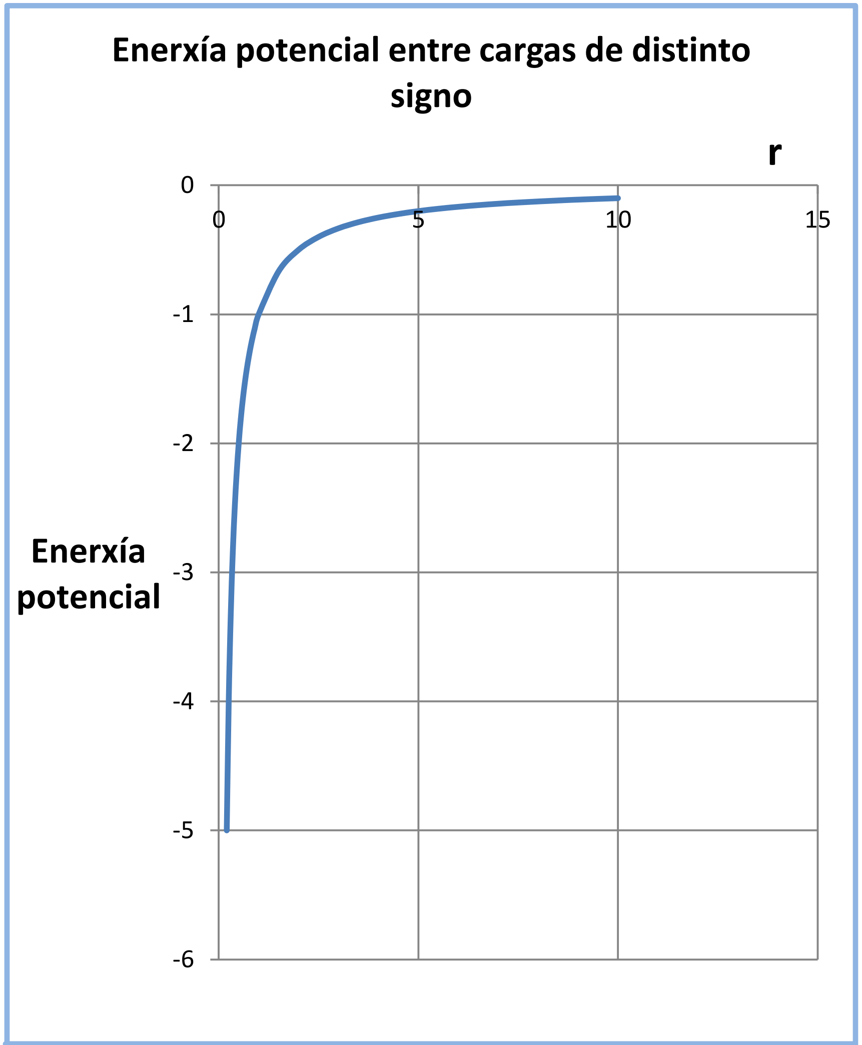
e polo tanto : $W_{A\to B} = -\Delta Ep_A^B = -(Ep_B - Ep_A)$

8.-É evidente que se as duas cargas teñen o mesmo signo, a enerxía potencial é positiva, e se teñen distinto signo, negativa.

Enerxía no campo elétrico

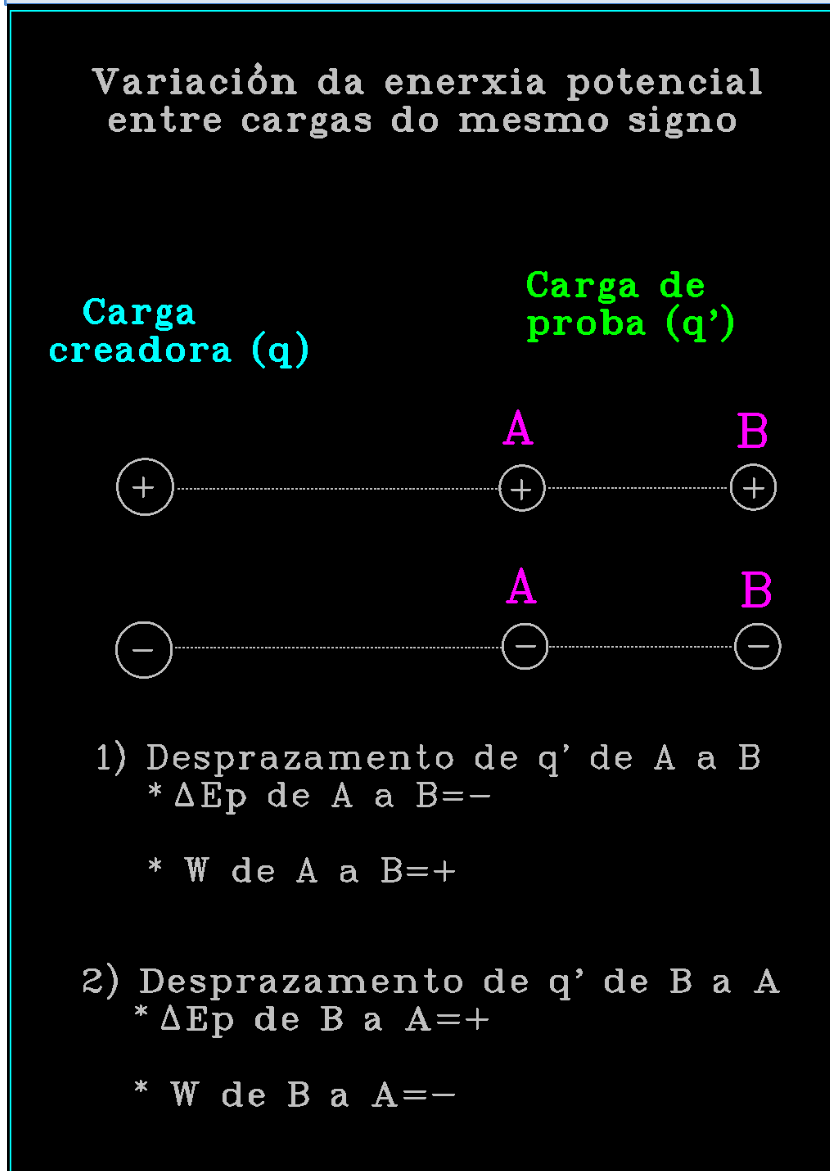


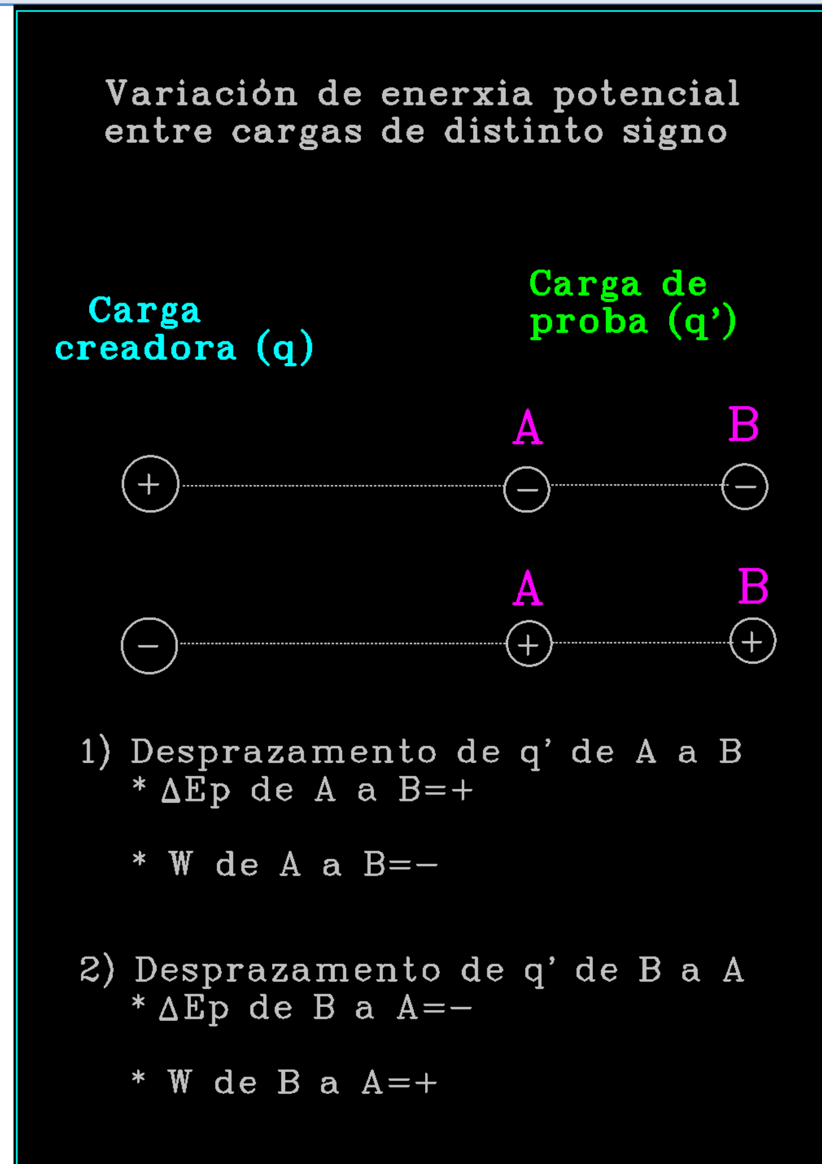
No infinito a enerxía potencial é mínima pois acada o menor valor, valor 0.



No infinito a enerxía potencial é máxima pois acada o maior valor, valor 0.

Enerxía no campo elétrico





Potencial elétrico

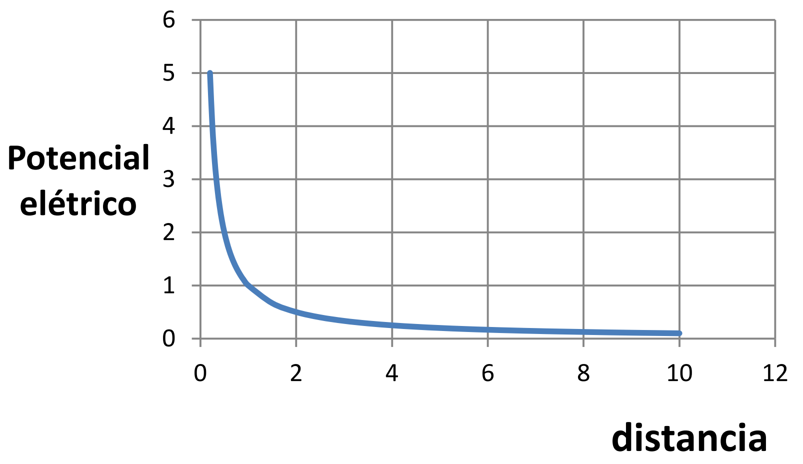
- Defínese potencial elétrico (V) como a enerxía potencial por unidade de carga de proba positiva.
- Como $E_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \cdot \frac{q \cdot q'}{r}$ se q' é + , resulta evidente que o potencial será: $V = \frac{E_P}{q'} = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \cdot \frac{q}{r}$ e se consideramos como medio o ar ou o vacío:

$$V = \frac{E_P}{q'} = K \cdot \frac{q}{r}$$

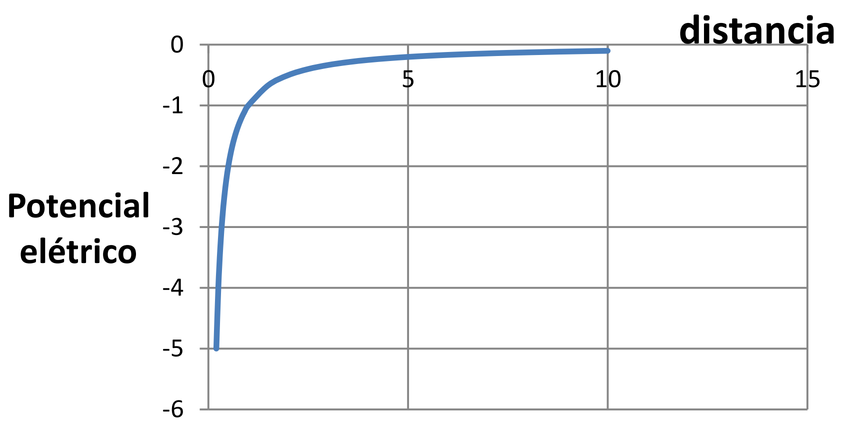
- As súas unidades no S.I serán os $\frac{J}{C} = V\ (Voltio)$
- É, claro, unha magnitude escalar.
- Será positivo (altos potenciais) se está xerado por unha carga positiva, e negativo (baixos potenciais) se está xerado por unha carga negativa.

Potencial elétrico

Potencial elétrico creado por unha carga positiva

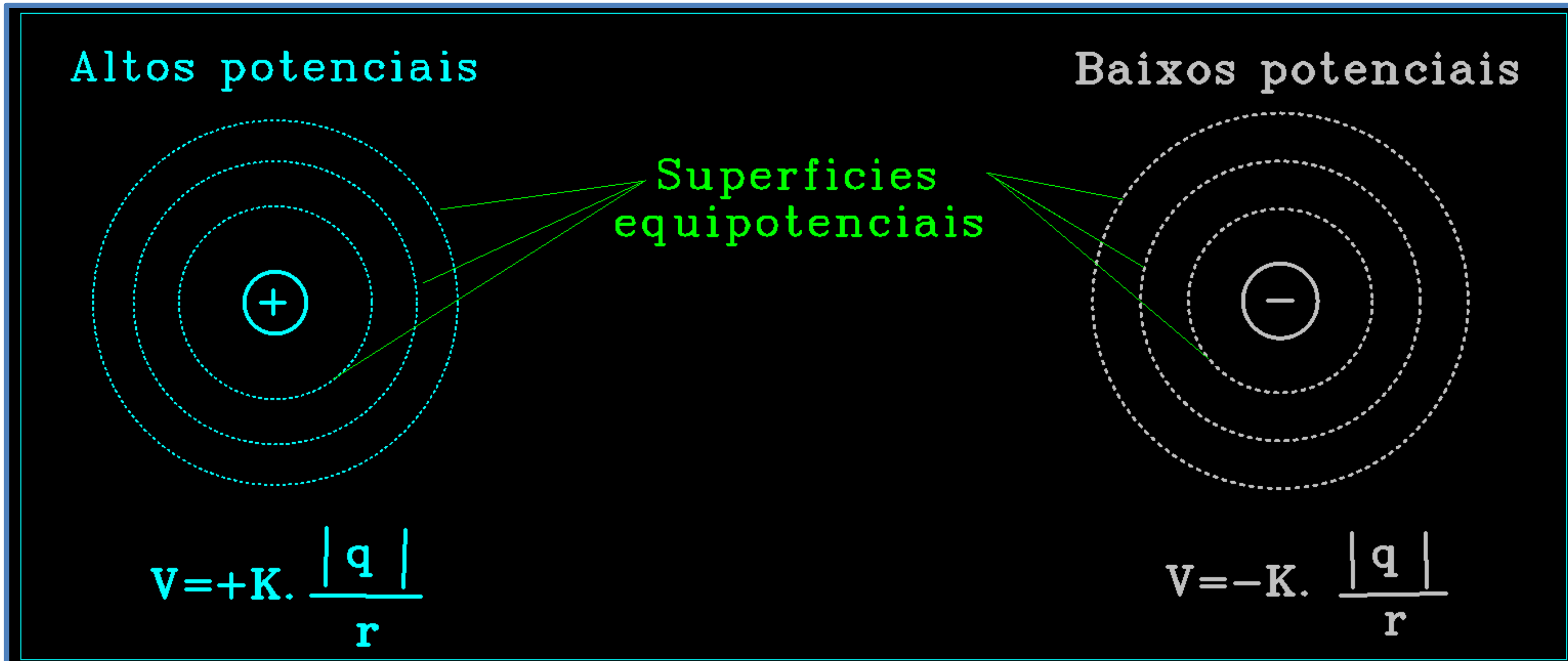


Potencial elétrico creado por unha carga negativa



1) O potencial elétrico arredor dunha carga positiva, é positivo. Cando a distancia é moi grande o valor tende a cero (0), que será o valor mínimo.
2) O potencial elétrico arredor dunha carga negativa, é negativo. Cando a distancia é moi grande o valor tende a cero (0), que será , neste caso, o valor máximo.

Potencial elétrico



1.-A unha distancia dada de cada carga, o potencial acada un valor constante. A esa distancia todos os pontos posuen o mesmo potencial.
2.-Todos os pontos situados a certa distancia da carga, forman unha superficie esférica que chama-mos **superficie equipotencial** .
3.-Unha partícula positiva, moverá-se espontaneamente, dos altos aos baixos potenciais. Unha partícula negatia moverá-se dos baixos aos altos potenciais.

Relación entre campo e potencial elétrico

- Aplicando a definición de traballo : $dW = \vec{F} \cdot d\vec{r}$ expresión que, tendo en conta que se trata dun campo conservativo:

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{r} = -dEp \quad (1)$$

- Esta ecuación integrada da como resultado:

$$W_{A \to B} = -\Delta Ep_A^B = -(Ep_B - Ep_A)$$

- Se dividimos a ecuación (1) pola carga de proba, q’, obtemos:

$$\frac{dW}{q'} = \frac{\vec{F} \cdot d\vec{r}}{q'} = \frac{-dEp}{q'}$$

Que trae como resultado que :

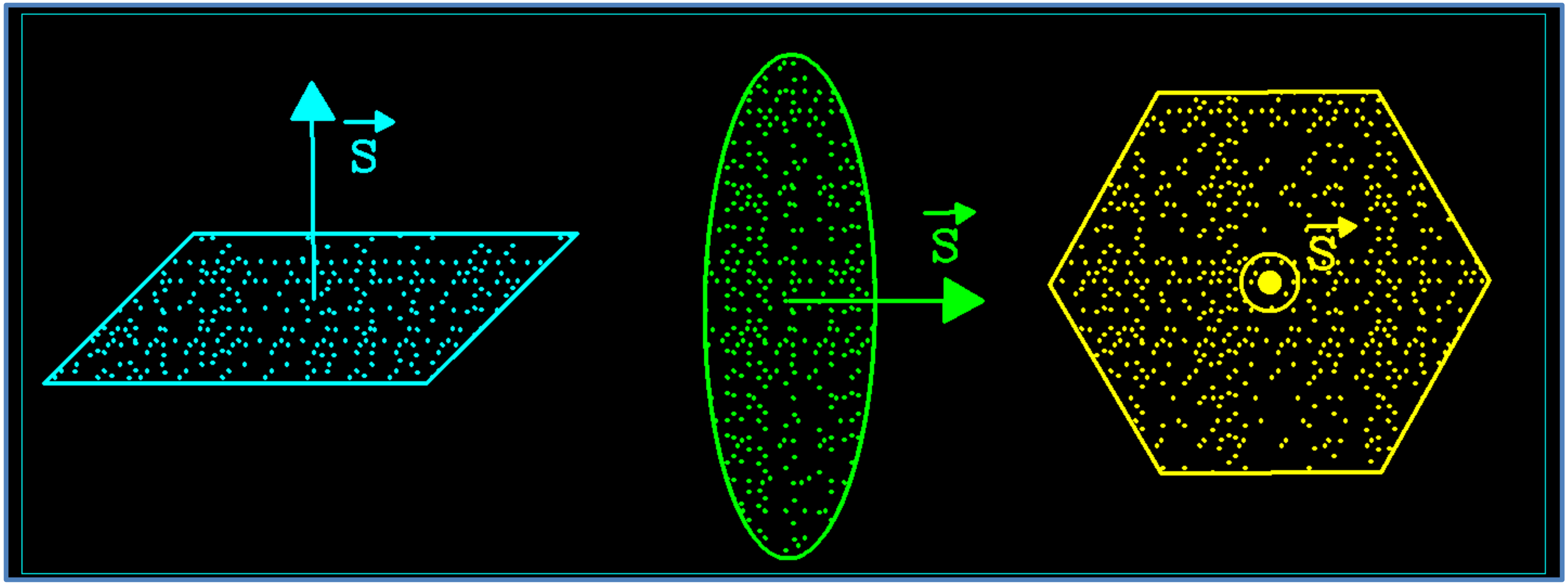
$$\vec{E} \cdot d\vec{r} = -dV$$

Fluxo elétrico

- <u>Vetor superficie</u>:

Dada unha superficie plana, definimos o vetor superficie, $\vec{S}$, como un vetor perpendicular á superficie en calquera dos seus dous sentidos.

- Repasa o Exercicio nº 14 do Tema 0: introdución.

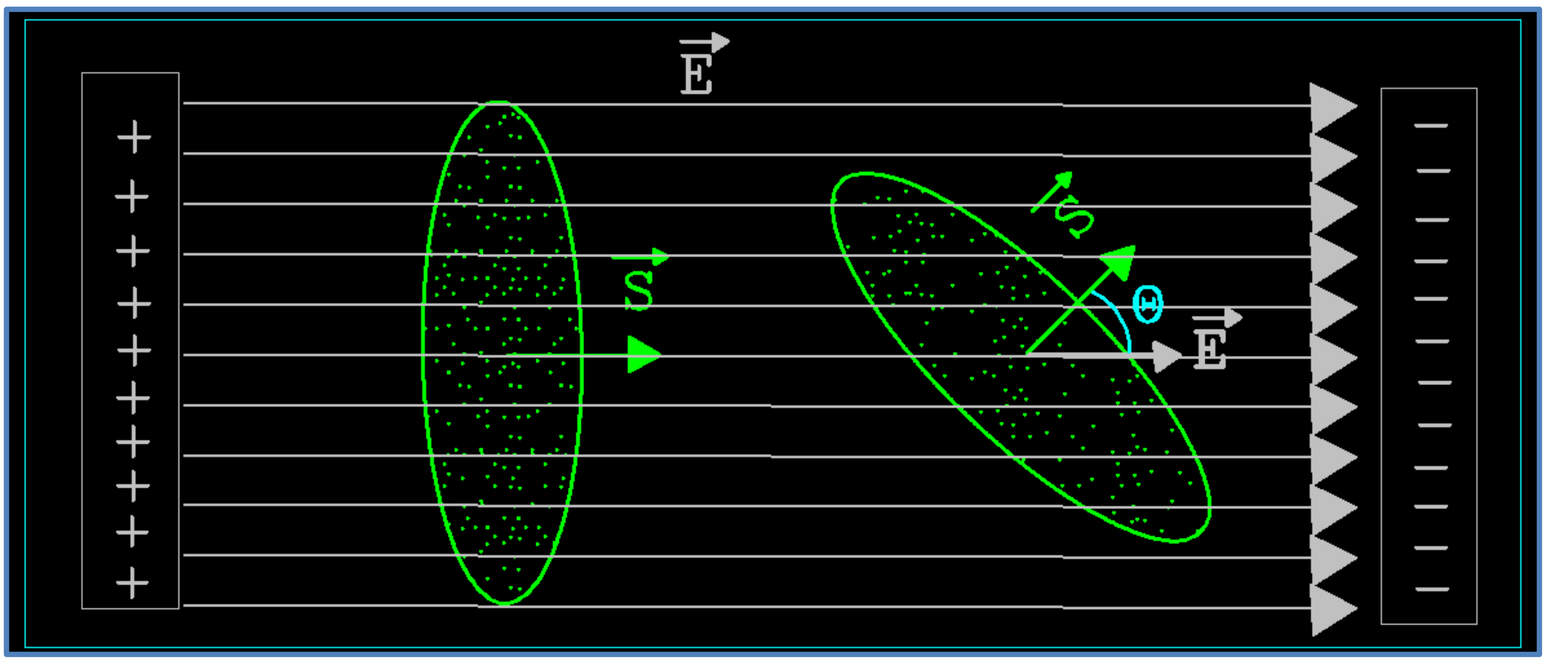


Fluxo elétrico

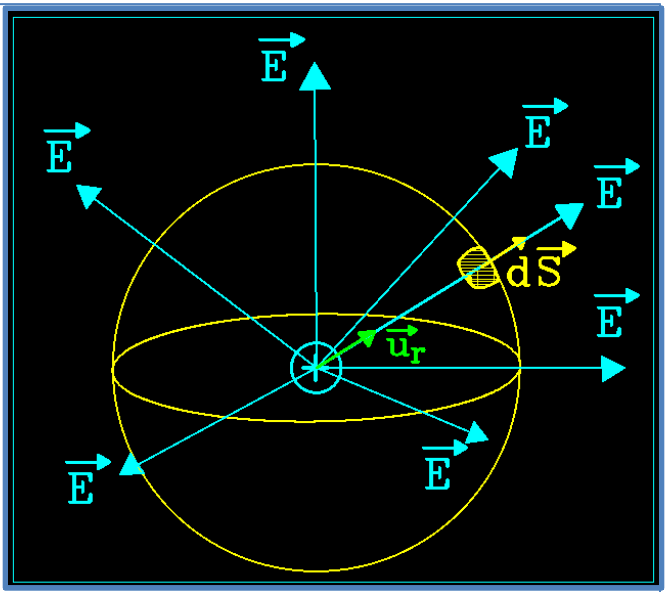
- O fluxo elétrico (ϕ) é unha magnitude que permete determinar o a densidade de liñas de campo elétrico que atravesa unha superficie.
- Fluxo elemental: $d\phi_E = \vec{E} \cdot d\vec{S}$ Unidades S.I: $N.m^2.C^{-1}$=V.m
- Fluxo de campo total a través dunha superficie: $\phi_E = \iint d\phi_E = \iint \vec{E} \cdot d\vec{S}$
- Se a superficie é plana e o campo constante:

$$\phi_E = \vec{E} \cdot \vec{S} = E \cdot S \cdot cos\theta$$

Ver video: https://www.youtube.com/watch?v=_xsN9zDHRcA



Teorema de Gauss



- Supoñamos unha carga positiva +q nun lugar do espazo.
- Imos calcular o fluxo a través dunha superficie esférica que arrodea por completo a carga.
- Calcularemos: $d\phi_E = \vec{E} \cdot d\vec{S}$
- En calquera ponto da superficie esférica o ángulo entre os dous vetores é 0° e polo tanto: $d\phi_E = E \cdot dS$
- Como o raio é R e a carga q o campo elétrico será:$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \cdot \frac{q}{R^2}$
- Integramos:

$$\phi_E = \oint \frac{1}{4\pi\varepsilon} \cdot \frac{q}{R^2} \cdot \mathrm{dS} = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \cdot \frac{q}{R^2} \oint dS = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \cdot \frac{q}{R^2} \cdot 4\pi R^2 = \frac{q}{\varepsilon}$$

- E se o medio fora o vacío ou o ar, o fluxo sería: $\phi_E = \frac{q}{\varepsilon_0}$

Teorema de Gauss

O fluxo a través dunha superficie esférica que arrodea unha carga por completo ven dado por: $\phi_E = \frac{q}{\varepsilon_0}$

1) Depende da carga neta dentro da superficie pechada.
2) Depende do medio (estamos aceitando ar ou vacío)
3) Non depende das dimensións da esfera considerada, é dicer non depende do raio da esfera.
4) A dicer verdade, non depende de que consideremos unha esfera; podemos considerar calquera superficie con tal de que sexa unha superficie pechada que envolva por completo a carga ou as cargas no seu interior.
5) Como $K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ enton tamén podemos escreber:

$$\phi_E = 4 \cdot \pi \cdot K \cdot q$$

Aplicacións doTeorema de Gauss: calculo do campo elétrico creado por distribucións homoxeneas de cargas

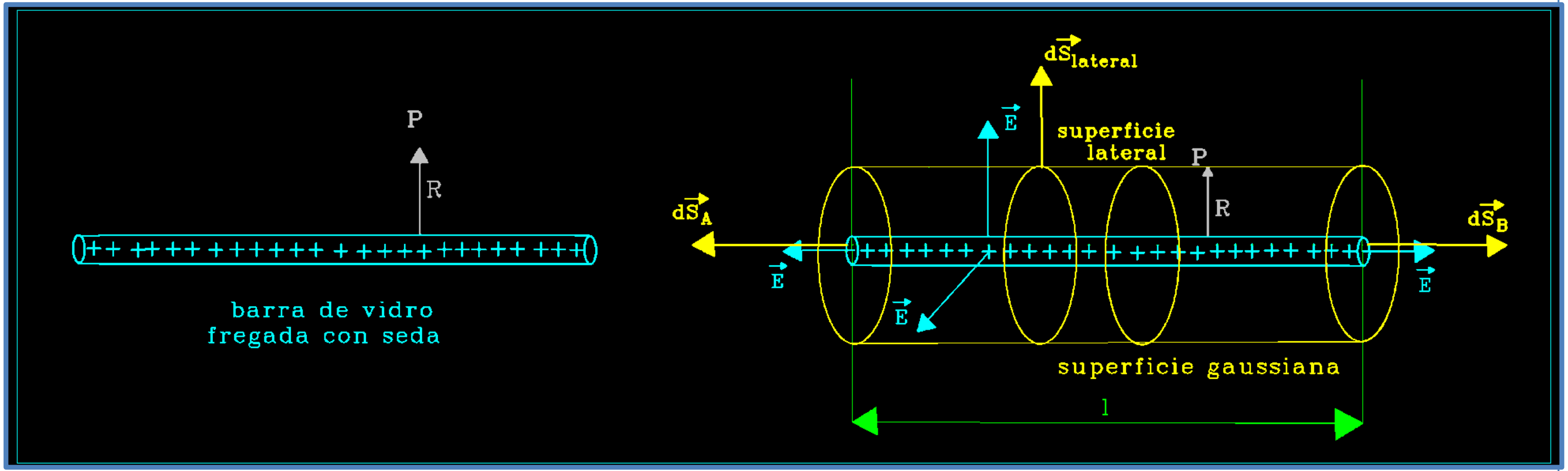
- Ate o momento só calculamos campos elétricos derivados da ación de unha ou varias cargas individuais.
- Porén, como vimos no laboratorio, normalmente cargamos obxectos de diferentes materiais: unha barra de plastico, unha barra de vidro, unha regra de plastico, unha esfera,........
- Para poder calcular o campo elétrico creado por estes obxectos partiremos de:

1) Os materiais son homoxeneos e isótropos e polo tanto teñen as mesmas propiedades químicas e físicas, cargando-se de forma homoxénea.
2) A densidade de carga elétrica para cada material é, polo tanto, constante. En razón das carateristicas xeométricas definimos:

- Densidade lineal (λ), se domina unha dimensión $\lambda = \frac{q_{total}}{lonxitude} = \frac{q}{l}$
- Densidade superficial (σ), se dominan duas dimensións $\sigma = \frac{q_{total}}{Superficie} = \frac{q}{S}$
- Densidade volumétrica (ρ), se dominan tres dimensións, $\rho = \frac{q_{total}}{Volume} = \frac{q}{V}$

1.- Calculo do campo elétrico creado por un sistema lineal de distribución de cargas positivas a unha distancia R

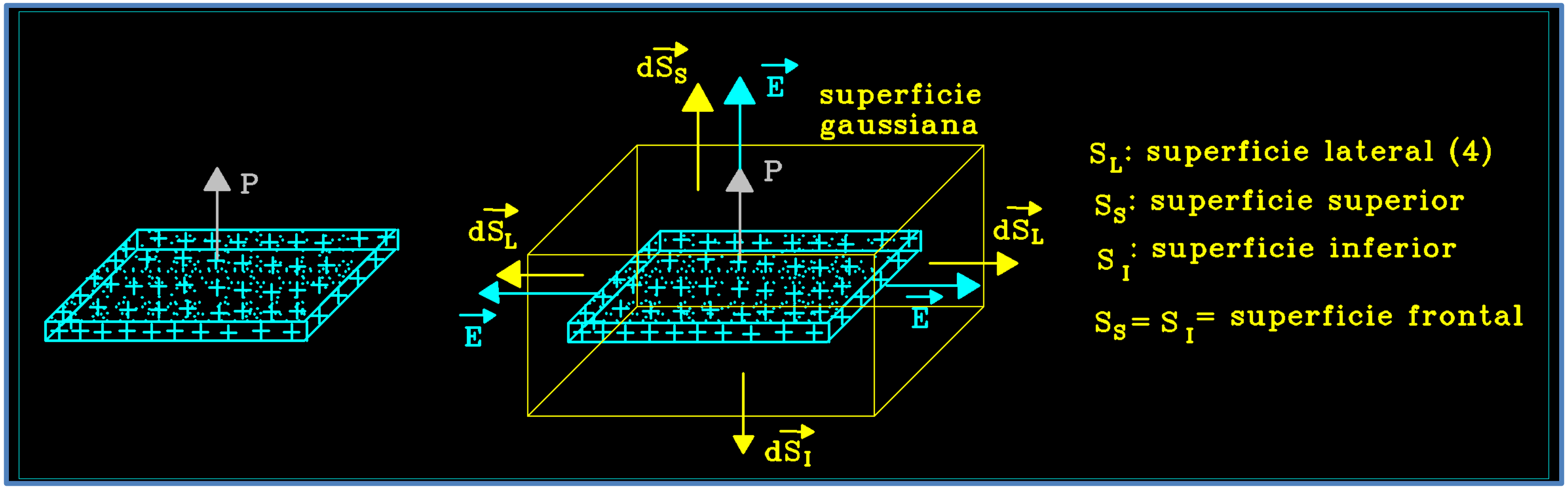
- Tráta-se dunha barra de vidro previamente fregada con seda. Calcularemos o campo no ponto P.



- Debuxamos unha superficie que arrodee por completo á barra pasando por P.
- O fluxo total a través da superficie será: $\phi_E = \phi_A + \phi_B + \phi_{lateral} = \phi_{lateral}$ pois o fluxo por A e B é despreciabel.
- Polo Tanto: $\phi_E = \frac{q}{\varepsilon_0} = \frac{\lambda \cdot l}{\varepsilon_0} = E_{lateral} \cdot S_{lateral} = E \cdot 2 \cdot \pi \cdot R \cdot l$
- E simplificando e despexando E : $E = \frac{\lambda}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot R}$ e tamén: $E = \frac{2 \cdot K \cdot \lambda}{R}$

2.- Calculo do campo elétrico creado por unha superficie que sexa un plano infinito de distribución de cargas positivas a unha distancia R

- Tráta-se dunha placa de vidro previamente fregada con seda. Calcularemos o campo elétrico no ponto P.



- O fluxo total : $\phi_E = \phi_S + \phi_I + 4 \cdot \phi_L \cong \phi_S + \phi_I = 2 \cdot \phi_F = 2 \cdot E \cdot S_F$
- Ademais de acordo con Gauss: $\phi_E = \frac{q}{\varepsilon_0}$
- Polo tanto igualando: $E = \frac{q}{2 \cdot S_F \cdot \varepsilon_0} \rightarrow E = \frac{\sigma}{2 \cdot \epsilon_0}$
- E tamén, se temos en conta que $\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi K}$ tamén: $E = 2 \cdot \pi \cdot K \cdot \sigma$

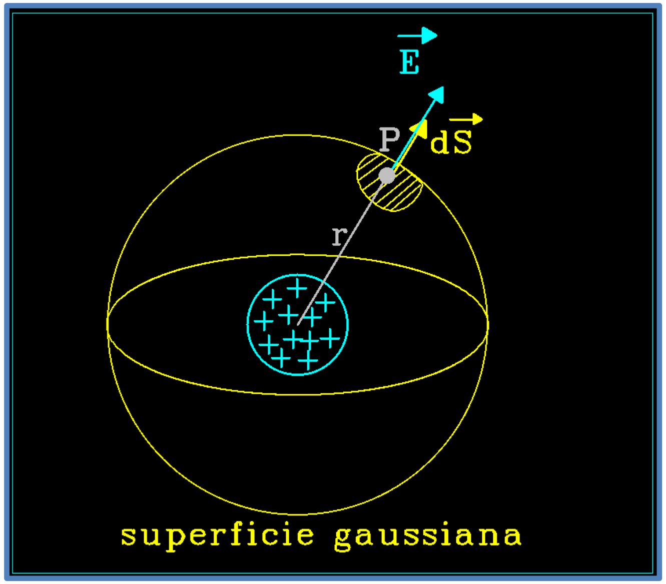
3.- Calculo do campo elétrico creado por unha esfera cargada positivamente a unha distancia r

- Consideremos unha esfera de raio R, cargada positivamente. Imos calcular o campo elétrico a unha distancia r, no ponto P.
- Defíne-se a densidade de carga da esfera: $\rho = \frac{q}{V} \rightarrow q = \rho \cdot V$
- Debuxamos unha superficie gaussiana que pase polo ponto P.
- Agora calculamos o fluxo total a través da superficie:

$$\phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = E \cdot 4 \cdot \pi \cdot r^2$$

- En aplicación do Teorema de Gauss:

$\phi_E = \frac{q}{\varepsilon_0}$ pois é unha superficie pechada

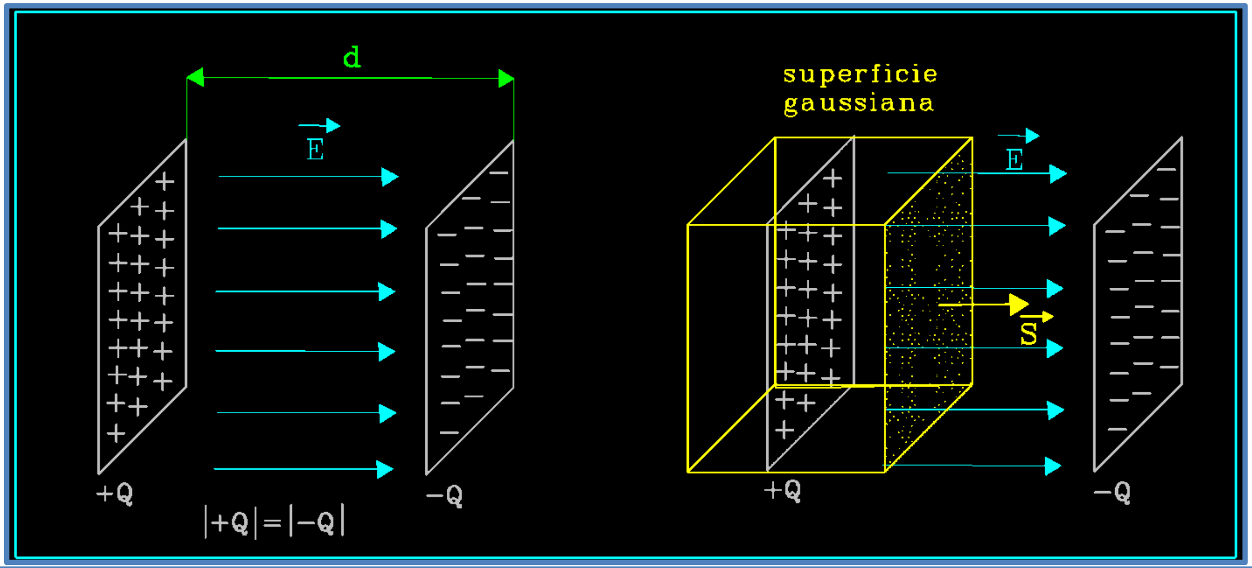


- Podemos igualar e obtemos: $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}$ ou sexa que se comporta como se fora unha carga pontoal.

4.- Calculo do campo elétrico creado entre as placas dun condensador plano

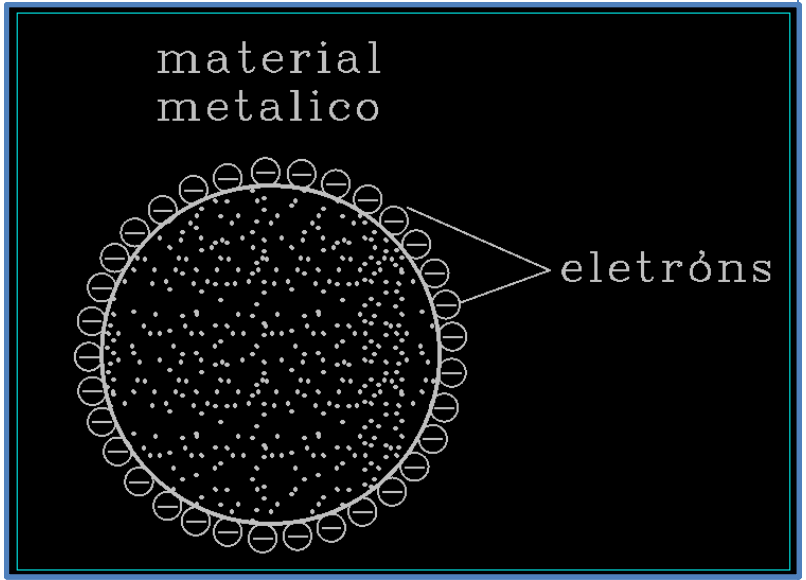
- Un condensador plano está constituído por duas placas metálicas cargadas positiva e negativamente con cargas do mesmo valor absoluto.
- O campo entre as duas placas é homoxéneo e constante.
- Como: $\phi_E = \vec{E} \cdot \vec{S} = E \cdot S = \frac{q}{\varepsilon_0} \rightarrow E = \frac{q}{S \cdot \varepsilon_0} \rightarrow E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$ e $E = 4 \cdot \pi \cdot K \cdot \sigma$
- Para calcular o potencial aplicamos que: $\vec{E} \cdot d\vec{r} = -dV$ e podemos enton obter:

$$V = E.d$$



5.- Calculo do campo elétrico creado por un condutor esférico en equilibrio eletrostático

- **Material condutor** é aquel que ten partículas cargadas (eletróns) con capacidade de movemento. Todos os metais teñen en maior ou menor medida esta cualidade.
- Eses eletróns con capacidade de movemento, ocupan a chamada **banda de condución**.
- Un anaco de metal en equilibrio eletrostático é aquel que non ten correntes eletricas que o atravesen, é dicer que a forza eletrica sobre calquera eletrón é cero (0). Nesas condicións os eletróns livres repélense entre si e separanse situandose nos picos, nos límites do material metálico.



5.- Calculo do campo elétrico creado por un condutor esférico en equilibrio eletrostático

- Para calcular o campo elétrico, imos precisar tres superficies de Gauss: unha interior (r_{int}), outra coincidente dos límites da esfera (R) e outra exterior (r_{ext}).
- No interior o campo elétrico será 0, por canto a carga no interior da primeira esfera é 0.

$$\phi_{Int} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q_{int}}{\varepsilon} = 0$$

- Na superficie da esfera:

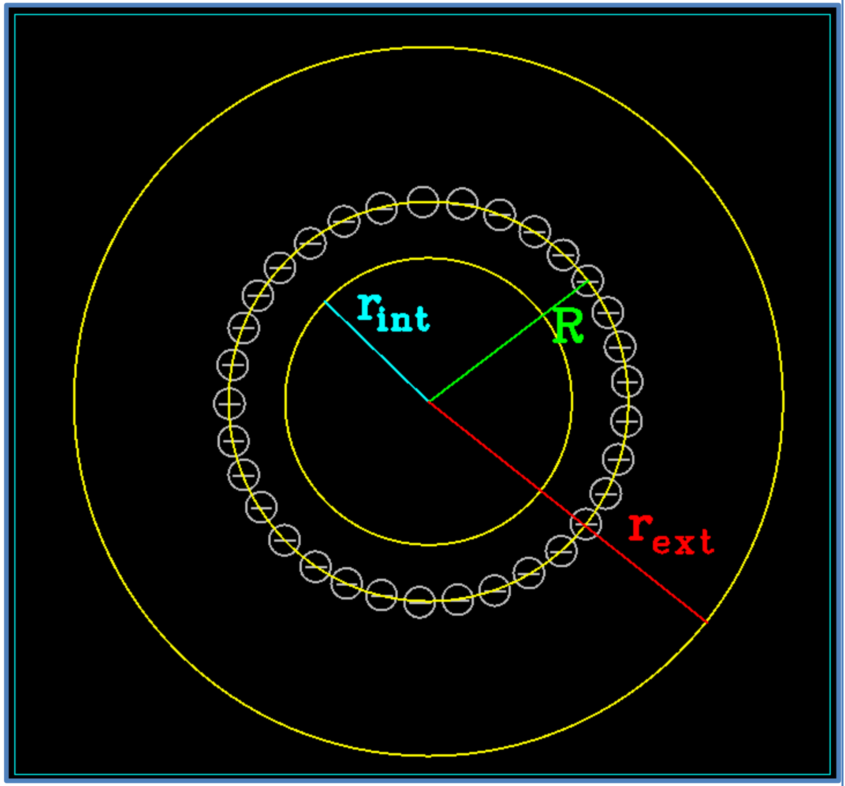
$$\phi_S = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = E \cdot 4 \cdot \pi \cdot R^2 = \frac{Q}{\varepsilon}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{R^2} \rightarrow E = K \cdot \frac{Q}{R^2}$$

- No exterior:

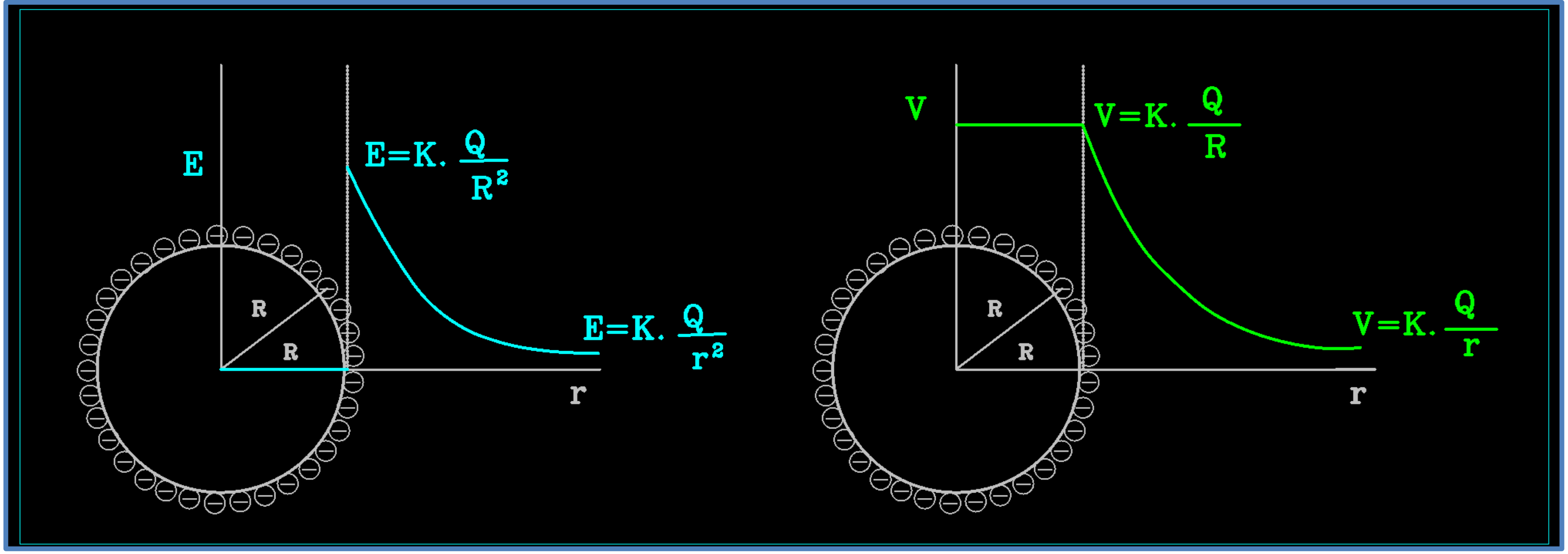
$$\phi_{ext} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = E \cdot 4 \cdot \pi \cdot r^2 = \frac{Q}{\varepsilon}$$

$$E_{ext} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} \rightarrow E_{ext} = K \cdot \frac{Q}{r^2}$$



Campo elétrico e potencial arredor dun condutor esférico en equilibrio eletrostático

- Para calcular o potencial arredor do condutor en equilibrio, recurrimos á integración da ecuación: $-dV = \vec{E} \cdot d\vec{r}$
- No interior como $\vec{E} = 0 \rightarrow dV = 0 \rightarrow V = constante$
- Na superficie: $V = K \cdot \frac{Q}{R}$
- No exterior: $V = K \cdot \frac{Q}{r}$

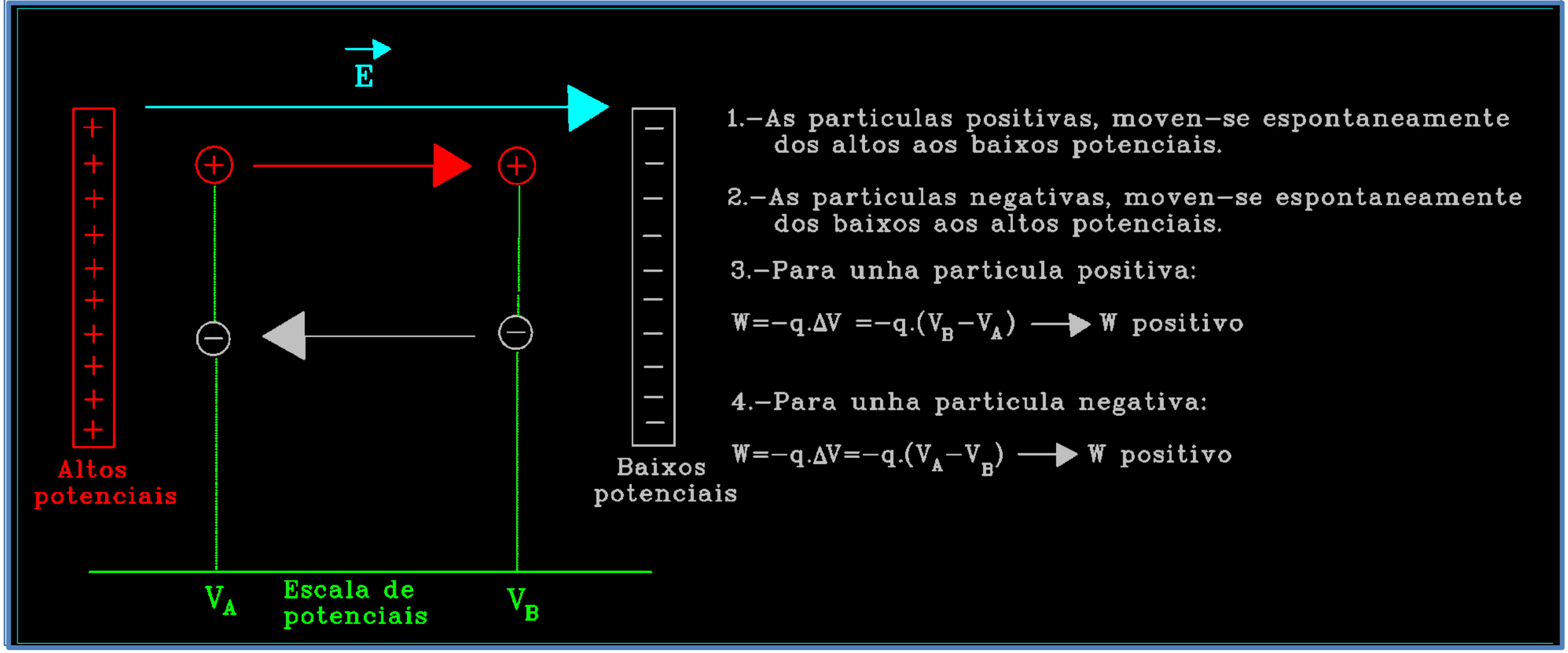


Estatica e dinámica de partículas cargadas no seo do campo elétrico

1.- <u>Movemento de partículas positivas e negativas no seo dun campo elétrico constante.</u>

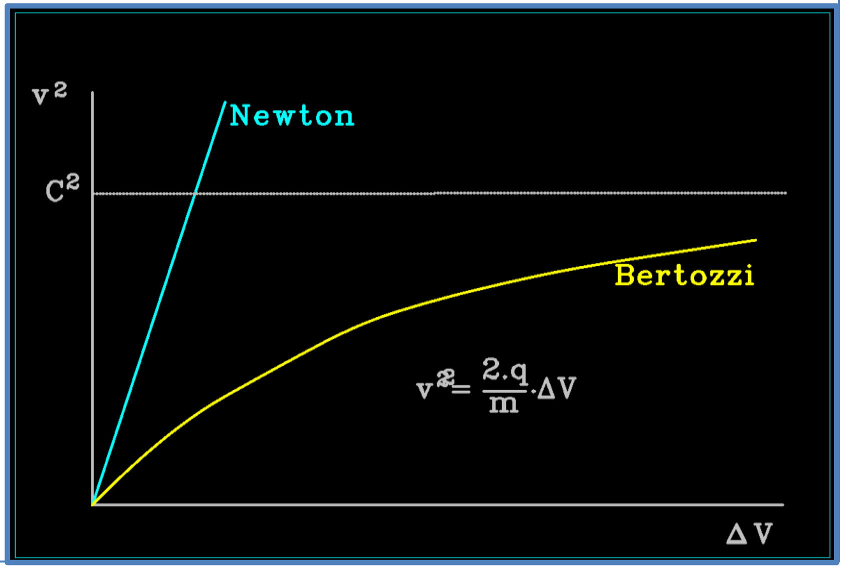
Como o campo elétrico é constante, a forza elétrica tamén o será: $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$ e como $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$, enton : $\vec{a} = \frac{q \cdot \vec{E}}{m}$

As partículas cargadas desprazanse espontaneamente perdendo enerxía potencial e producindo traballo que vaise manifestar no aumento da enerxía cinética.



Estatica e dinámica de partículas cargadas no seo do campo elétrico

- Por unha banda como vimos: $W = q \cdot \Delta V$
- Por outra banda: $W = \Delta E_c = Ec_{final} - Ec_{inicial}$
- Podemos igualar: $\Delta E_c = q \cdot \Delta V \rightarrow Ec_{final} - Ec_{inicial} = q \cdot \Delta V$
- Se inicialmente estaba en repouso $Ec_{inicial}=0$, e se $Ec_f = \frac{1}{2} \cdot \mathrm{m} \cdot v^2$ enton podemos obter que: $v = \sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot \Delta V}{m}}$, que é a velocidade final. Ademais indica, de acordo con Newton, que o aumento da velocidade non ten límite.
- William Bertozzi en 1964, por medio dun acelerador de partículas, comprobou que se representaba o cadrado da velocidade fronte ao voltaxe ,o resultado non era unha liña reta, senon que aparecía unha velocidade límite que era a velocidade da luz confirmando a Teoría da relatividade de Einstein.

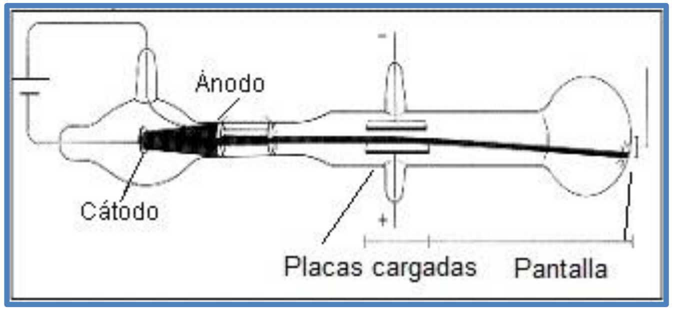


Estatica e dinámica de partículas cargadas no seo do campo elétrico

2.-Desviación de partículas cargadas por medio de campos elétricos.

Cando unha partícula cargada penetra con certa velocidade, nunha rexión do espazo na que existe un campo elétrico perpendicular á súa velocidade, a partícula resulta desviada pola acións da forza elétrica.

Baixo esa premisa Thomson utilizando un tubo de raios catódicos ou tubo de Crookes , ideado por William Crookes.



Basicamente é unha ampola de vidro que ten no seu interior un gas sometido ao vacío.

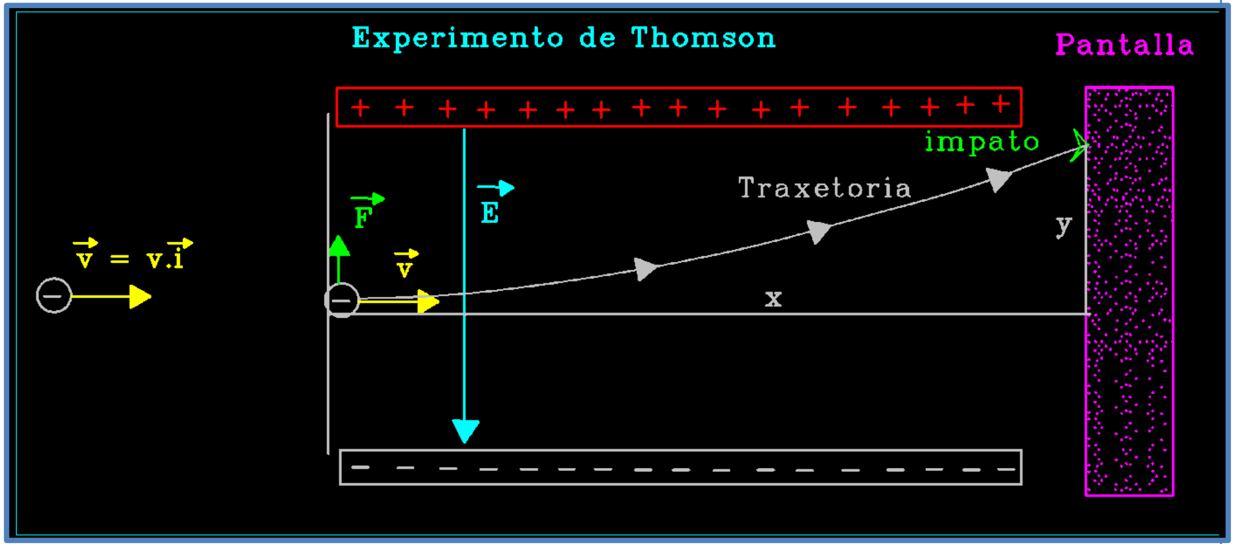
No primeiro circuíto sométe-se ao gas a unha alta diferencia de potencial (decenas de miles de voltios) enton os elétróns adequiren enerxía cinética e ven-se como unha luz verdosa. O feixe de eletróns pasa entre duas placas cargadas que , conetadas a unha segunda fonte, esta de inferior voltaxe, xeneran un campo elétrico que os desvía. Á fin do tubo hai unha pantalla que recolle o feixe de eletróns e permite medir a desviación.

(Sobre o tubo de Crookes ve o video: https://youtu.be/0YK2ndWAJmw)

Estatica e dinámica de partículas cargadas no seo do campo elétrico

- No seguinte debuxo podemos estudar o proceso de calculo:

$\vec{F} = q \cdot \vec{E} = m \cdot \vec{a}$



e polo tanto como xa vimos:

$a = \frac{q \cdot E}{m}$

dirixida no sentido da forza (no debuxo $\vec{j}$) .

A partícula completa unha traxetoria parabólica sometida a dous movementos:

- En X un M.R.U: $v_x = v \rightarrow x = v \cdot t$, de onde podemos obter: $t = \frac{x}{v}$ (1)
- En Y un M.R.U.A: $v_y = a \cdot t$, e $y = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$ (2)

Combinando (1) e (2) obtemos a ecuación da traxetoria: $y = \frac{q \cdot E \cdot x^2}{2 \cdot m \cdot v^2}$

Con esta expresión, medindo X e Y Thomson determinou o cociente q/m para eletrón.

Estatica e dinámica de partículas cargadas no seo do campo elétrico

3.- <u>Resolución do péndulo elétrico.</u>

Xa vimos que un péndulo elétrico, está constituído por unha esfera de masa m, fabricada con material non condutor, pendurada dun fío de masa desprezabel.

Na figura está representada unha partícula cargada negativamente, que no equilibrio estaría sometida as forzas indicadas-

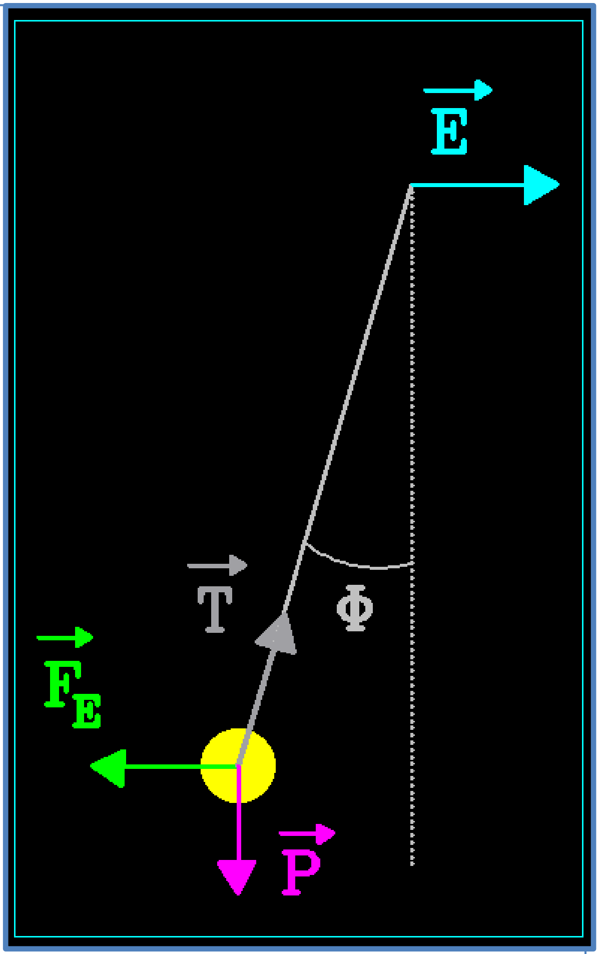
Podemos descompoñer a T segundo X e Y :

$T_x = T \cdot sen\theta = q \cdot E$ (1)

$T_Y = T \cdot cos\theta = P = m \cdot g$ (2)

E dividindo a primeira entre a segunda resulta:

$$tg\theta = \frac{q \cdot E}{m \cdot g}$$



Estatica e dinámica de partículas cargadas no seo do campo elétrico

No caso do péndulo elétrico dobre a situación é análoga.

Se aceitamos que as esferas son perfetamente iguais enton as cargas tamén deben ser identicas.

Descompoñendo forzas:

$$T_x = T \cdot sen\theta = F_E = K \cdot \frac{q \cdot q}{d^2} \text{ (1)}$$

$$T_y = T \cdot cos\theta = P = m \cdot g \text{ (2)}$$

E dividindo (1) entre (2):

$$tg\theta = \frac{K \cdot q^2}{m \cdot g \cdot d^2}$$