

# Camp Elèctric



*Al final he arribat a la conclusió de que mai no vaig entendre res d'electricitat (Thomas Alba **Edison** )*

*Un somriure costa menys que l'electricitat i dona més llum*

# Índex

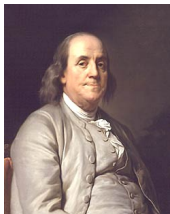
- ❑ Càrrega elèctrica
- ❑ Llei de Coulomb
- ❑ Camp elèctric
- ❑ Potencial elèctric
- ❑ Energia potencial elèctrica
- ❑ Relació camp/potencial

# □ Càrrega Elèctrica. Una mica d'història

700 a.C. , **Tales de Milet**: descobreix que un tros d'amber (en grec, *elektron*) fregat amb pell atreu petits objectes.



1732, **Charles F. du Fay**: va establir que els cossos electritzats poden repel·lir-se o atraure's entre sí.



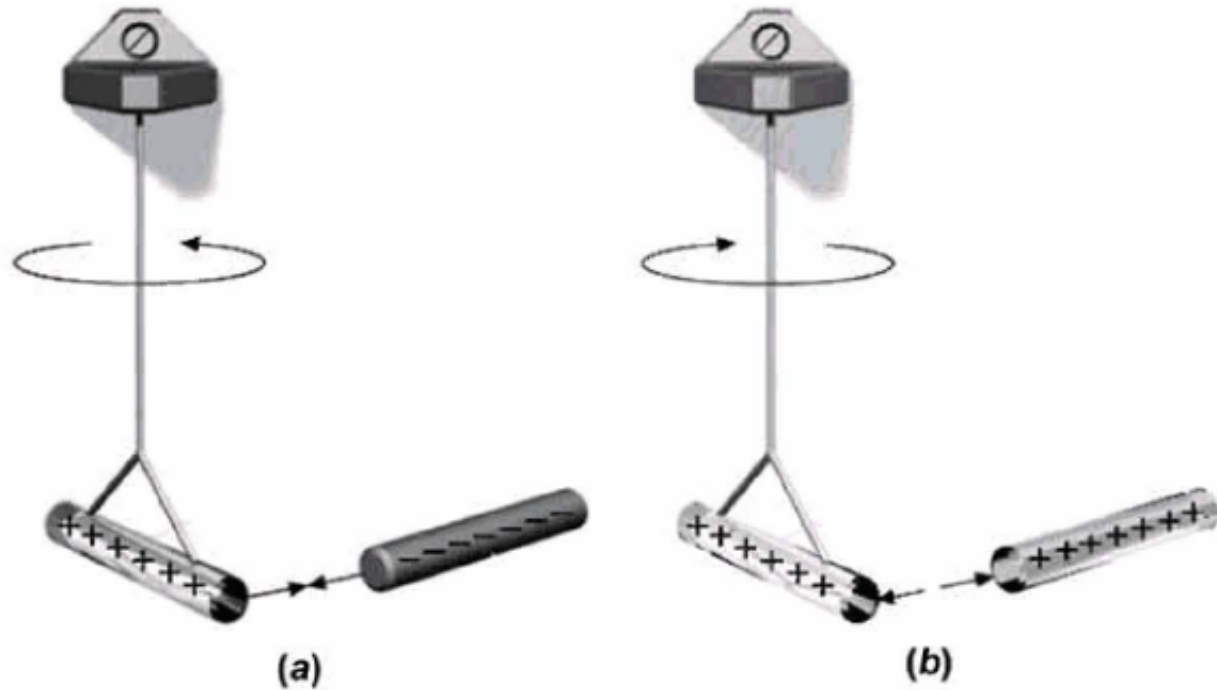
**Benjamin Franklin** ho explica amb la hipòtesis de que hi ha dos tipus d'electricitat, positiva (+) i negativa (-).



Els objectes carregats amb el mateix tipus d'electricitat (càrrega) es repelen, amb diferent tipus s'atreuen



**Figure 22-1** Two plastic rods that have been rubbed with fur repel each other.

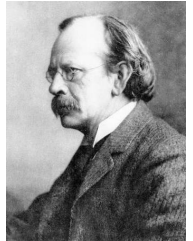


**Figure 22-2** (a) Objects carrying charges of opposite sign attract each other. (b) Objects carrying charges of the same sign repel each other.

Franklin explica que el cos es carrega al passar un fluid elèctric d'un cos a un altre

En qualsevol sistema aïllat la càrrega elèctrica es conserva

1897, **Joseph J. Thomson** descobreix els **electrons** i els **protons** → els cossos es carreguen per una transferència de càrregues



La teoria atòmica explica el procés d'**electrificació**: els àtoms del material (neutres) guanyen o perden electrons per fregament i queden carregats negativament o positivament



La càrrega elèctrica està quantitzada

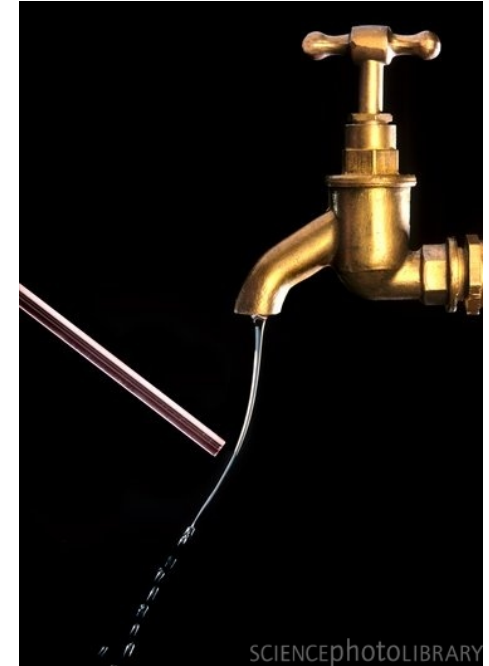
Càrrega elèctrica  $\rightarrow Q \rightarrow N \cdot e$

Unitat de càrrega S.I.  $\rightarrow$  Coulomb (definit a partir de l'Ampere)

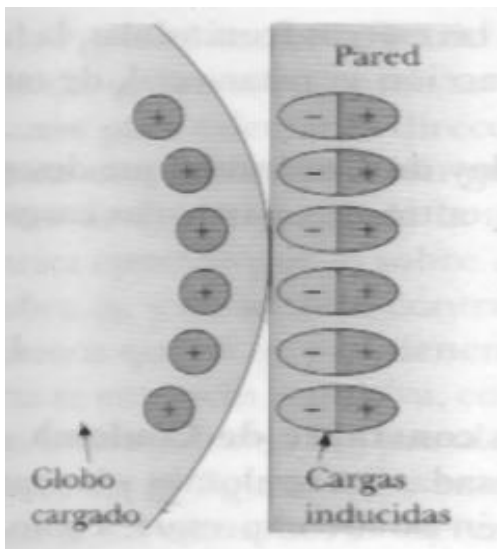
1 Coulomb =  $6,24 \cdot 10^{18}$  electrons

Càrrega 1 electró =  $-e = -1,602 \cdot 10^{-19}$  C

Càrrega 1 protó =  $+e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  C



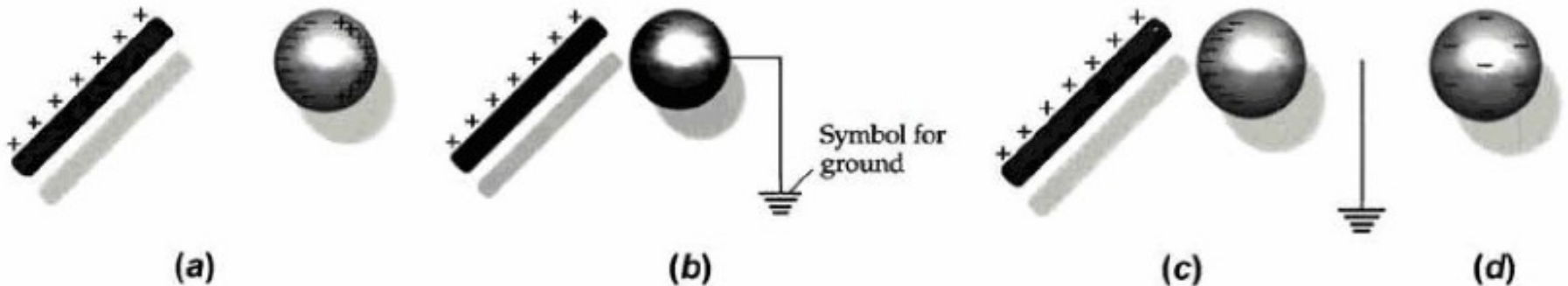
Carrega per inducció: si prenem un globus carregat elèctricament i l'apropem a la paret, que passa?



El globus s'aguanta !



Tenim una altra manera de carregar objectes



**Figure 22-5** Induction via grounding. (a) The free charge on the single conducting sphere is polarized by the positively charged rod, which attracts negative charges on the sphere. (b) When the conductor is grounded by connecting it with a wire to a very large conductor, such as the earth, electrons from the ground neutralize the positive charge on the far face. The conductor is then negatively charged. (c) The negative charge remains if the connection to the ground is broken before the rod is removed. (d) When the rod is removed, the sphere has a uniform negative charge.

## Generadors d'electricitat estàtica

Engraving of the first static electricity generator, designed by German scientist Otto von Guericke (1602-1686).

During 1660-63 Guericke constructed a large ball of sulphur which could be turned on a spindle. As he rubbed his hand on it he noticed that the friction caused it became strongly charged with static electricity. Guericke tried to explain the world and the universe by suggesting that magnetism was the primary force.



A glass sphere (at top centre) could be rotated by means of the handle at lower right. The static was generated by the operator holding their hand against the sphere as it rotated, and it caused an electric discharge glow in the partial vacuum within the sphere.



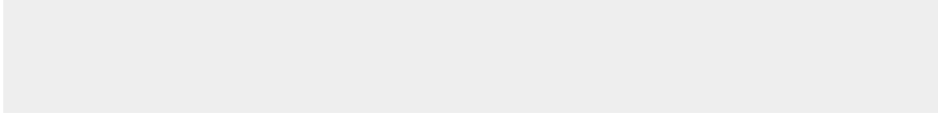


*(Left)* The lightning rod on this building is grounded so that it can conduct electrons from the ground to the positively charged clouds, thus neutralizing them. *(Right)* These fashionable ladies are wearing hats with metal chains that drag along the ground, which were supposed to protect them from lightning.



REPTA!

Tempesta carrega a + 20 nC una bola d'alumini de 20 g, nombre atòmic 13 i massa atòmica 27 g/mol. Calculeu:

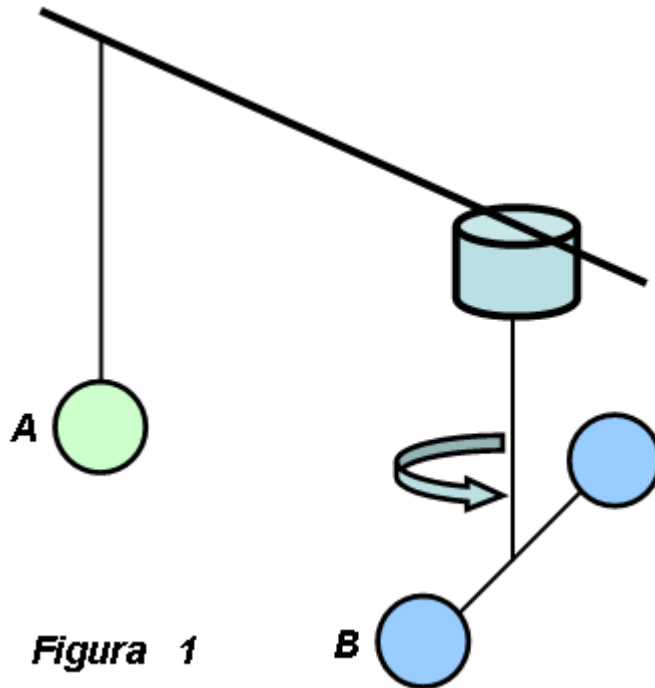


Fenòmens elèctrics

# □ Força Elèctrica. Llei de Coulomb



1785, **Coulomb** va estudiar la força que es produeix entre dues esferes carregades amb una balança de torsió.



Coulomb's torsion balance.

# •Característiques

Descobreix que la força elèctrica té les següents característiques

- a) La direcció és la de la recta que uneix les dues càrregues.
- b) El sentit depèn del signe de les càrregues: càrregues de diferent signe s'atrauen i del mateix signe es repel·leixen.
- c) El mòdul és directament proporcional al producte de les càrregues i inversament proporcional al quadrat de la distància que les separa.
- d) Depèn del medi on es troben les càrregues

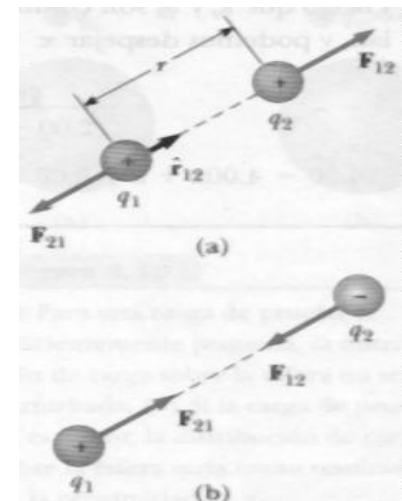
## • Enunciat i expressió matemàtica

La força entre dues càrregues puntuals  $q_1$  i  $q_2$  és directament proporcional al producte de les càrregues elèctriques i inversament proporcional al quadrat de la distància que les separa  $r$ .

Té la direcció de la recta que uneix les dues càrregues i depèn del medi que les envolta. El seu sentit és atractiu si les càrregues són diferents i repulsiu si les càrregues són iguals.

$$\vec{F}_{12} = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}_{12}$$

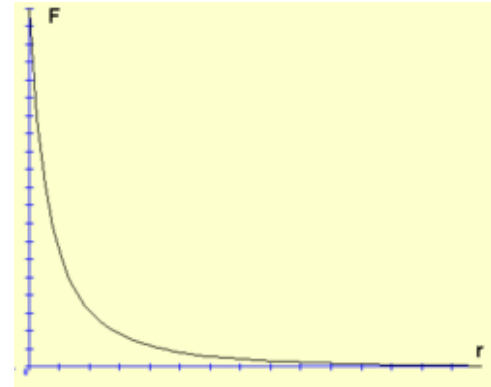
on  $K$  és la constant elèctrica de Coulomb



## • Enunciat i expressió matemàtica

És evident que  $F_{12} = -F_{21}$

i que  $\vec{\|F_{12}\|} = F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \rightarrow$



Dependència del mòdul de la força elèctrica amb la distància entre les càrregues

Per varies càrregues  $\rightarrow$  **Principi de superposició**

La força total exercida sobre una càrrega  $q$  en presència de  $n$  càrregues  $q_1 \dots q_n$  és la suma **vectorial** de cada una de les forces exercida per cada una de les càrregues.

$$\vec{F}_T = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \sum_i K \frac{q \cdot q_i}{r_i^2} \vec{u}_i$$

# • Permittivitat

La constant elèctrica de proporcionalitat descoberta per coulomb depèn del medi

En l'aire i en el buit val 
$$K = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

Es relaciona amb una propietat de cada medi anomenada **Permittivitat**

La **permittivitat**  $\epsilon$  d'un medi és aquella propietat que mesura la disminució de la força elèctrica que sofreix una càrrega elèctrica situada en el medi considerat.

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon}$$

## • Permittivitat Relativa

Definim la **permittivitat relativa** d'un medi com la relació entre la permittivitat del medi i la del buit

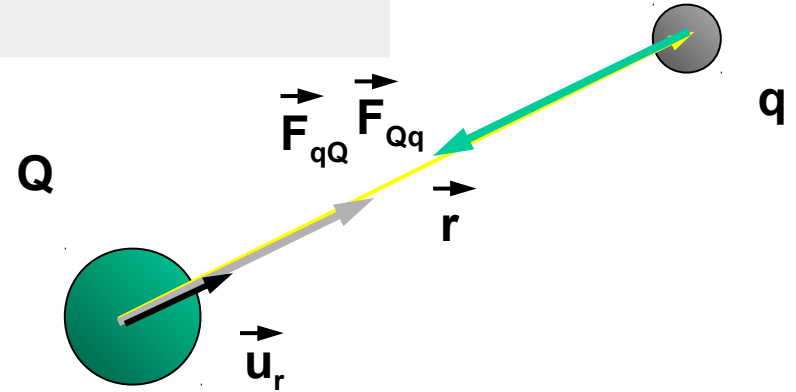
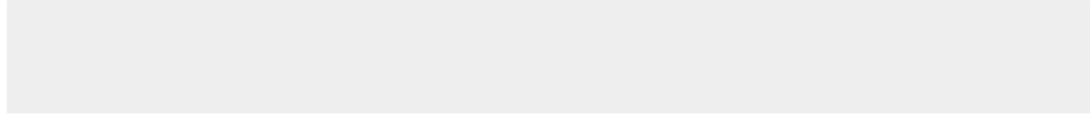
Medi	$\epsilon_r$
Buit	1,000 00
Aire	1,000 54
Ambre	2,7
Paper	3,5
Vidre	8
Etanol	25
Aigua	81
Vapor Aigua	1,007
Mica	6
Medi	$\epsilon_r$

A més permittivitat, menor constant elèctrica  
i menor força entre càrregues





Dues càrregues elèctriques,  $Q = -50 \text{ nC}$  i  $q = 20 \text{ nC}$ , estan separades una distància de 3 cm al buit. Determina, vectorialment:



1a,





REpte!

Tres càrregues iguals de  $2,0 \mu\text{C}$  cadascuna se situen en el buit sobre els vèrtexs d'un triangle rectangle, els catets dels quals mesuren 60 mm i 80 mm.

2a, 3a, 4a



# □ Camp Elèctric

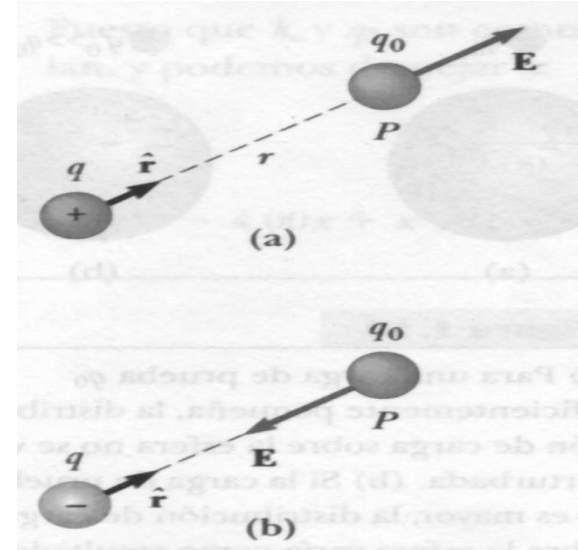
Suposem una càrrega  $q_0$  petita en presència de una altra càrrega  $q$

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



$$\vec{E} = K \frac{q}{r^2} \vec{u}$$

$$[E] = \frac{N}{C} = V \cdot m$$



A partir del camp creat per  $q$  a  $P$  podem calcular la força a la que es sotmesa la càrrega  $q_0$

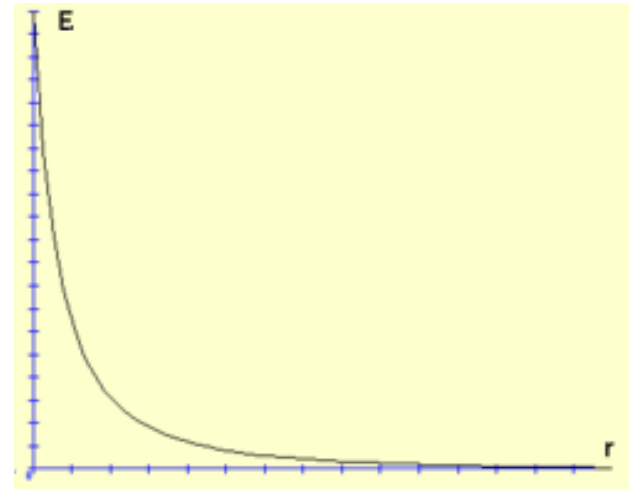
$$\vec{F} = q_0 \vec{E}$$



PREGUNTA  
TRAMPA

Cap a on apunta el camp quan la càrrega que el crea és positiva? I quan és negativa?

És evident que  $\vec{E} = K \frac{q}{r^2} \Rightarrow$



Mòdul del camp elèctric en funció de la distància a la càrrega

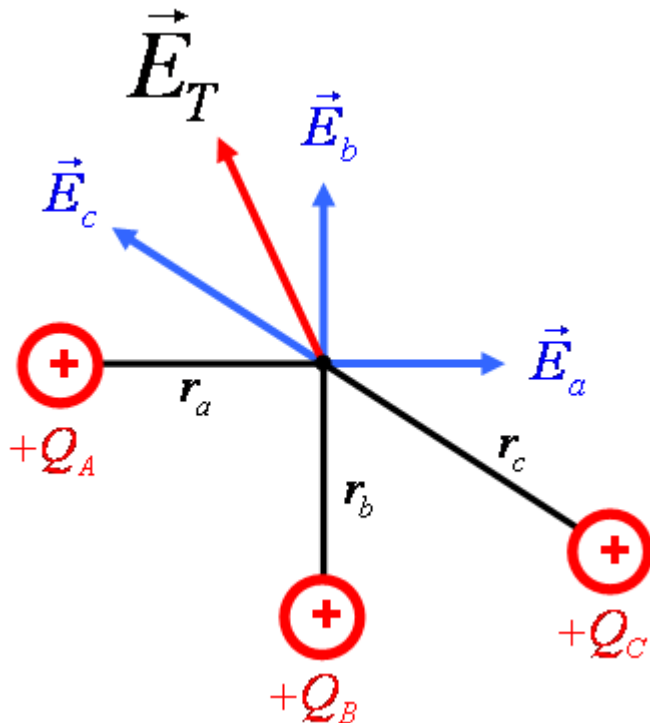
Table 22-1	
Some Electric Fields in Nature	
	$E, \text{N/C}$
In household wires	$10^{-2}$
In radio waves	$10^{-1}$
In the atmosphere	$10^2$
In sunlight	$10^3$
Under a thundercloud	$10^4$
In a lightning bolt	$10^4$
In an X-ray tube	$10^6$
At the electron in a hydrogen atom	$6 \times 10^{11}$
At the surface of a uranium nucleus	$2 \times 10^{21}$



Mòdul d'alguns camps elèctrics

## Per vàries càrregues $\rightarrow$ Principi de superposició

El camp elèctric total creat per  $n$  càrregues  $q_1 \dots q_n$  en un punt de l'espai és la suma **vectorial** dels camps individuals creats per les  $n$  càrregues en aquest punt

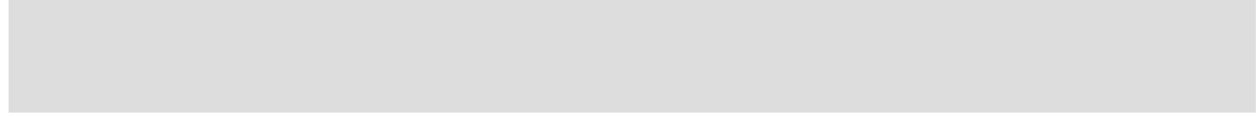


$$\vec{E}_T = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i = \sum_i K \frac{q_i}{r_i^2} \vec{u}_i$$



Duel a Mort

Dues càrregues de  $2,0 \mu\text{C}$  i  $-2,0 \mu\text{C}$  se situen en el buit en els extrems d'un

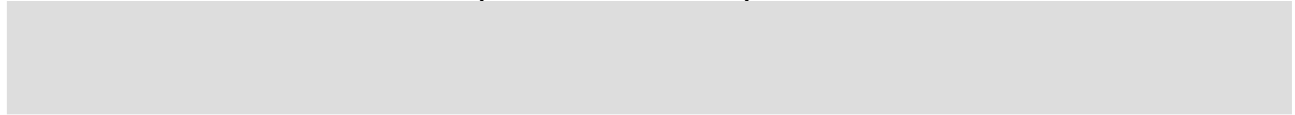


10a



REpte!

El vector intensitat del camp elèctric en un punt situat sobre la mediatriu del



4b, 5a, 6a, 7a, 8a



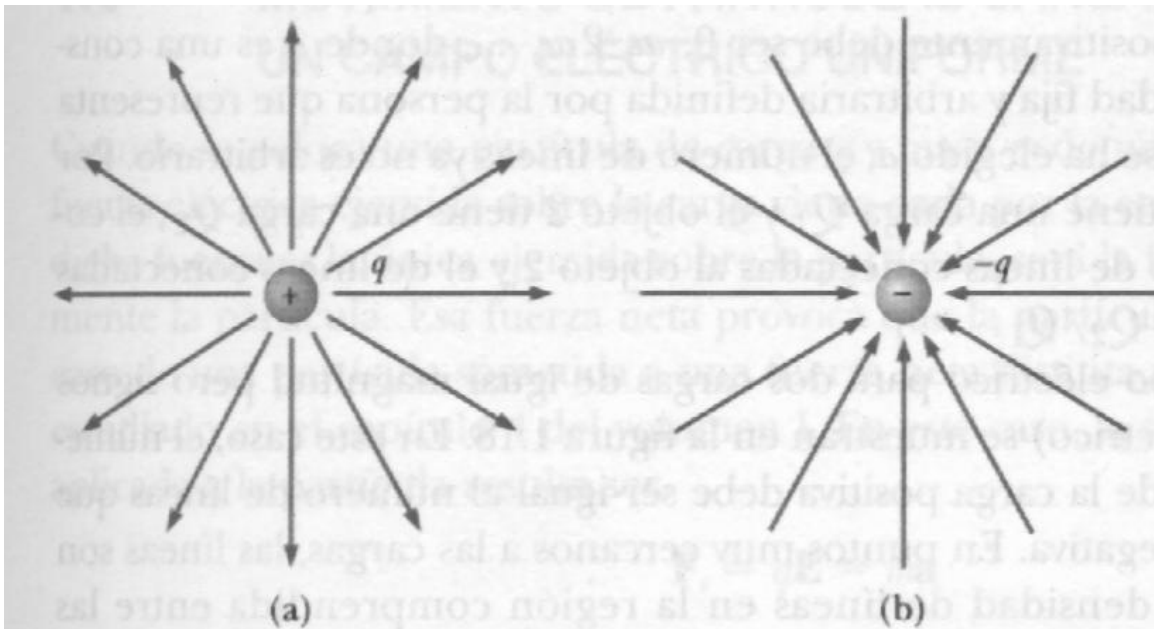
## Camp elèctric. Línies de camp

Les línies de camp surten de les càrregues (+) i entren a les càrregues (-).

El camp és tangent a les línies de camp.

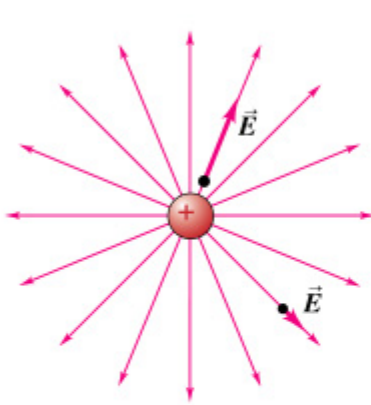
El camp és gran quan les línies de camp estan properes.

Dues línies de camp no es poden tallar mai.

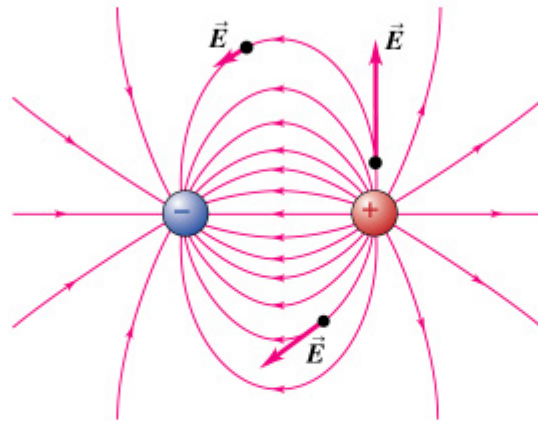


A partir del camp podem calcular la força a la que es sotmesa la càrrega  $q_0$

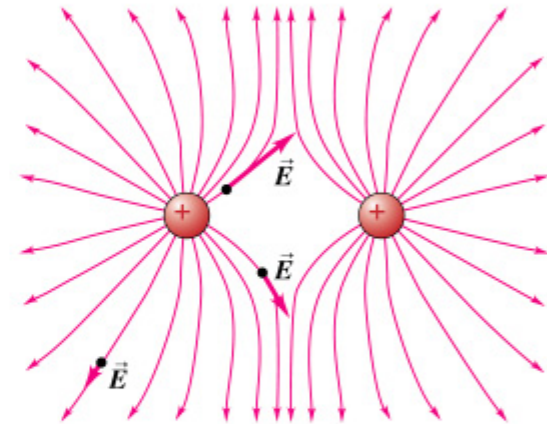
$$F = q_0 E$$



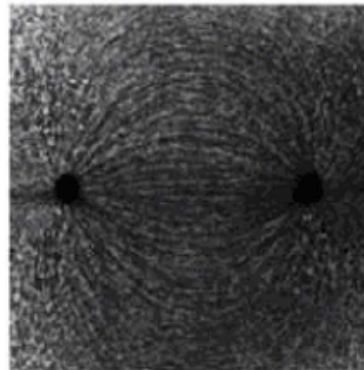
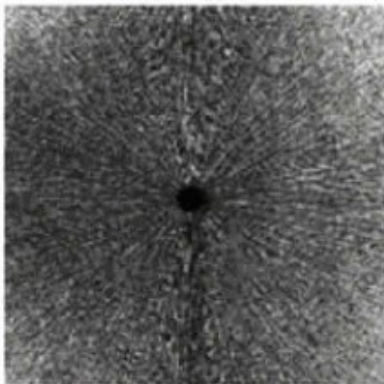
(a) A single positive charge (compare Figure 21.16)



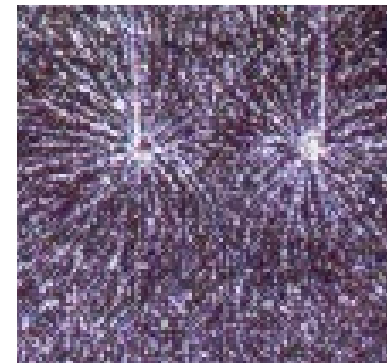
(b) A positive charge and a negative charge of equal magnitude (an electric dipole)



(c) Two equal positive charges

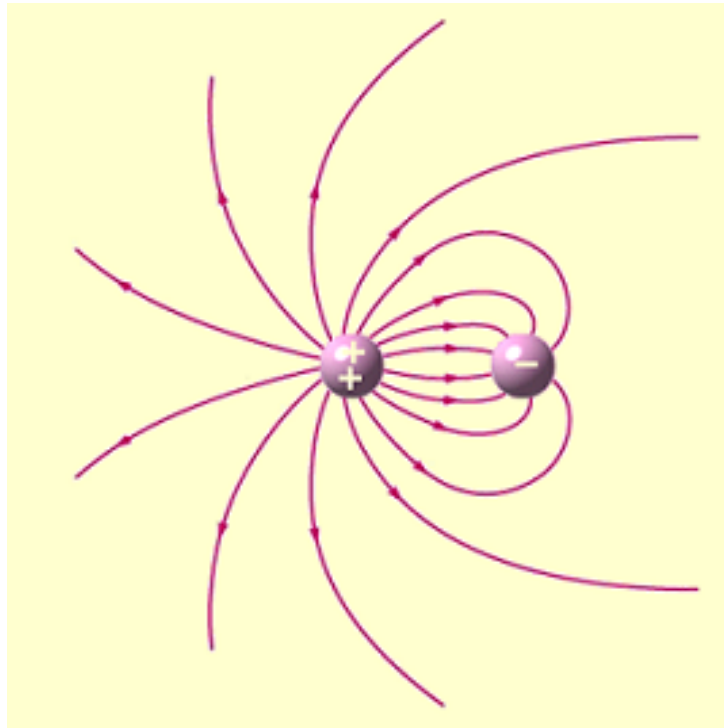


FEIADPB

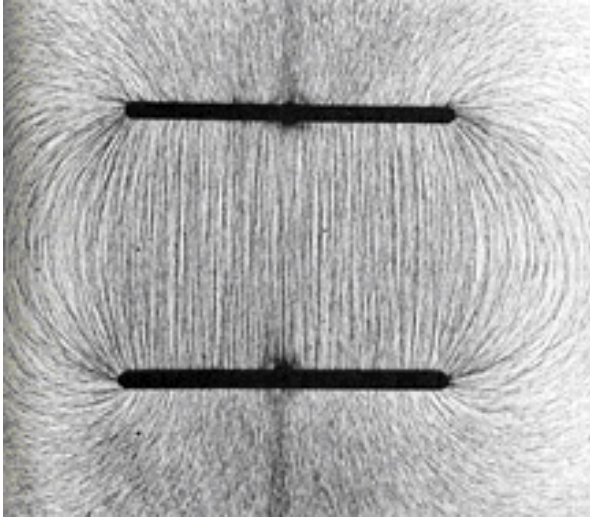




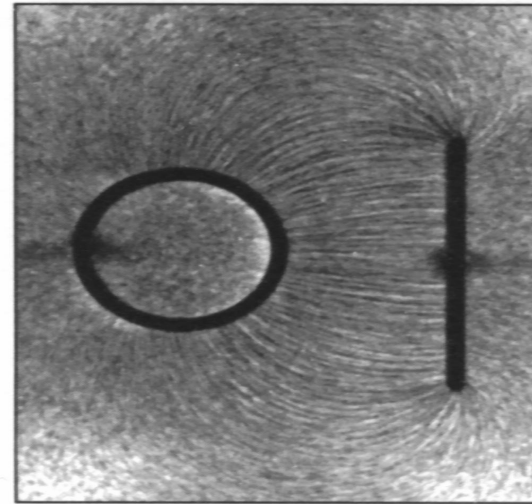
Si el valor de les càrregues no és igual →



## Altres línies de camp amb distribucions de càrregues



Línies de camp produïdes per dues distribucions de càrregues lineals, paral·leles i de signe contrari →  
CONDENSADOR



Línies de camp produïdes per una distribució de càrregues lineal i un anell carregat de signe contrari



REpte!

Un pèndol senzill de 30 cm i 20 g està carregat amb 50 nC i immers en un camp uniforme horitzontal de  $5 \cdot 10^5$  N/C.

9b, 9c



# Potencial Elèctric

Definim el **potencial elèctric** creat per una càrrega puntual  $Q$  en un punt  $A$  com el treball canviat de signe realitzat per la força elèctrica que efectua la càrrega  $Q$  necessari per desplaçar una altra càrrega puntual d'1 C des de l'infinit fins a  $A$ .

$$V_A = - W_{\infty \rightarrow A}^{1C}$$

$$[V] = \text{Volt} = (V) = \frac{J}{C}$$

Prenem l'infinit com a referència de potencial 0

## Potencial elèctric. Expressió analítica

$$V = K \frac{Q}{r}$$

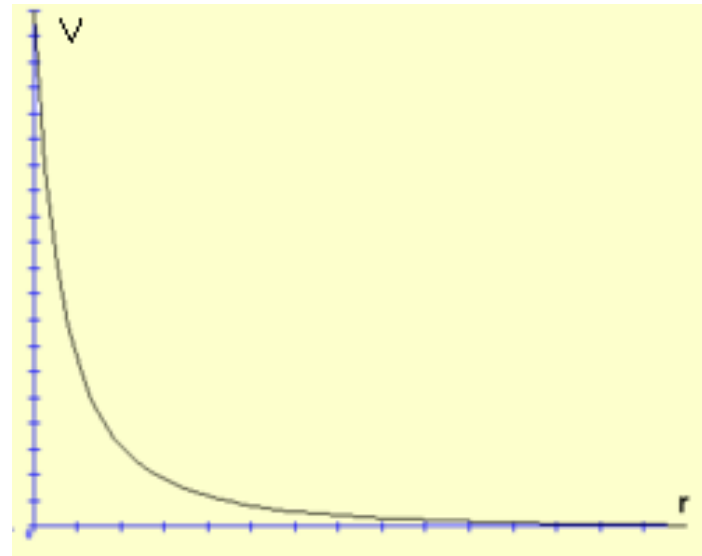
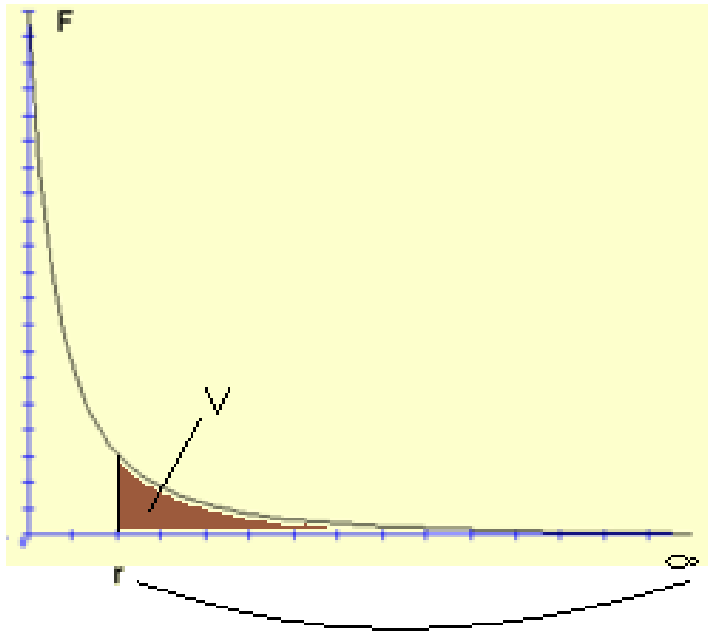
Per vàries càrregues → **Principi de superposició**

El potencial creat per  $n$  càrregues puntuals  $q_1 \dots q_n$  en un punt A és la suma **escalar** dels potencials creats individualment per cada càrrega

$$V_T = \sum_{i=1}^n V_i = \sum_i K \frac{q_i}{r_i}$$

Podem tenir  $V = 0$  fora de l'infinít si les càrregues tenen signes diferents!

Així, el potencial elèctric ( $V$ ) és l'àrea sota la corba del camp ( $E$ ) en funció de la distància ( $r$ )





Duel a Mort

Dues càrregues  $Q_1 = 5,0 \mu\text{C}$  i  $Q_2 = -1,0 \mu\text{C}$  se situen en el buit en els extrems d'un segment d'una recta de 4,0 cm de llargària. Determina:

[Empty grey box for answer]



REPTE!

En el mateix cas que abans calculeu:

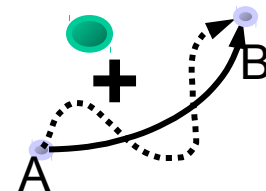
[Empty grey box for answer]

7b, 10b, 11, 12a

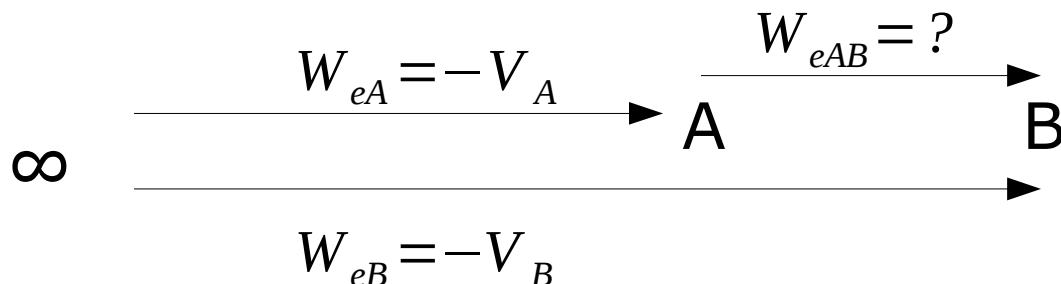


## Potencial elèctric. Diferència de potencial

En presència d'una càrrega podem considerar el potencial a A i el potencial a B



Per definició de potencial →



$$W_{eA} + W_{eAB} = W_{eB} \Rightarrow$$

$$-W_{eBA} = W_{eAB} = W_{eB} - W_{eA} = V_A - V_B$$

La diferència de potencial entre A i B és el treball canviat de signe realitzat per la força elèctrica per desplaçar una càrrega de +1 C des de B fins a A

$$\Delta V = V_A - V_B = -W_{elèctric} = -W_{B \rightarrow A}$$

1C



# Energia Potencial Elèctrica

La força elèctrica és conservativa →

El treball no depèn del camí seguit.

El treball depèn només de les posicions inicial i final.

El treball es 0 en una trajectòria tancada.

Per forces conservatives és pot definir energia potencial (vist a 1r)

Definim la **variació d'energia potencial** d'una partícula sotmesa a una força conservativa com el treball, canviat de signe, fet per la força conservativa sobre la partícula.

$$W = - \Delta E_P$$

Podem definir energia potencial elèctrica (i nova unitat d'energia, el eV)

Definim **la variació d'energia potencial elèctrica** d'una càrrega  $Q'$  en presència d'una càrrega  $Q$  com el treball canviat de signe fet per la força elèctrica de  $Q$  sobre  $Q'$  al passar de la situació inicial a la final

En particular:

- prenem el punt inicial a l'infinit i el final a un cert punt B a distància  $r$
- Considerem energia 0 a l'infinit
- com el treball per moure 1 C és el potencial  $\rightarrow$

$$E_{P_B} = Q' \cdot V_B$$



$$E_P = K \frac{Q \cdot Q'}{r}$$



Duel a Mort

d'hidrogen? I entre els dos protons del nucli d'He?

DADES:  $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  C,  $R_{\text{atom}} \sim 10^{-10}$  m,  $R_{\text{nucli}} \sim 10^{-14}$  m

6b, 10c



Si Q i Q' estan molt separades  $\rightarrow E_P = 0$

Si les apropem fins una distància  $r_A$  el treball fet pel sistema és

$$W_{Sist} = -\Delta E_P = -K \frac{Q \cdot Q'}{r_A} = -Q' V_A = -Q V'_A$$

$$W_{Extern} = \Delta E_P = K \frac{Q \cdot Q'}{r_A} = Q' V_A = Q V'_A$$

Si les allunyem fins una distància  $r_B$  el treball fet pel sistema és

$$W_{Sist} = -\Delta E_P = -Q' \Delta V \quad W_{Extern} = \Delta E_P = Q' \Delta V$$



PREGUNTA  
TRAMPA

Si movem un electró en una zona on la diferència de potencial són 10 V, quin treball cal fer? Quin treball fa el sistema? I en eV?

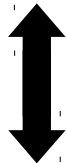
El treball que **cal fer** per moure una càrrega en una diferencia de potencial és la càrrega per la *ddp*



Dues càrregues tendeixen a acostar-se si el treball del sistema és positiu



Les càrregues tendeixen a moure's de manera que disminueixi la seva energia potencial

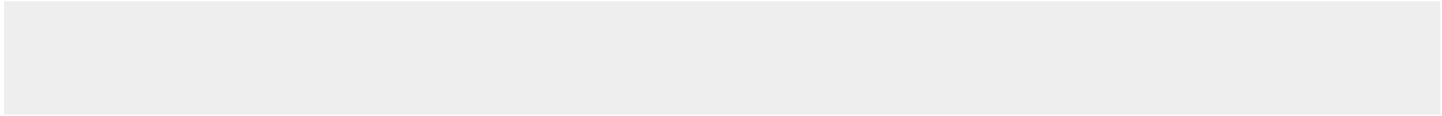


El sistema evoluciona espontàniament cap a una disminució de l'energia potencial



Duel a Mort

Dues càrregues de  $20 \mu\text{C}$  i  $40 \mu\text{C}$  estan separades 10 cm. Si les separem fins 30 cm:



1b, 2b, 3b, 5b



Al igual que amb la força gravitatòria definim

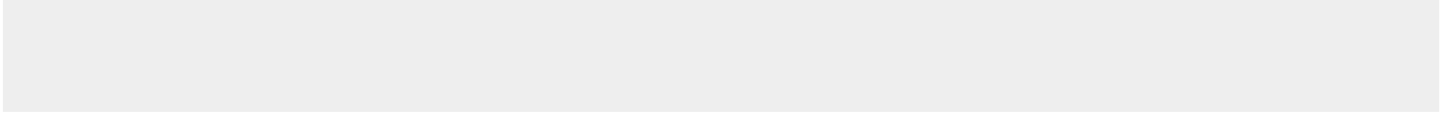
$$E_M = E_C + E_P$$

i apliquem el **Principi de conservació de l'energia**

$$\Delta E_M = W_{fnc}$$



Dues càrregues de  $-40 \mu\text{C}$  i  $60 \mu\text{C}$  i un gram de massa estan separades 5 cm. Si separem la càrrega positiva fins a 20 cm:



6c



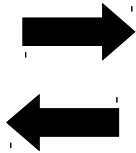


# Relació E/V

Vist fins ara

$$W = \int F dr$$

$$F_e = f(q_1, q_2, r^{-2})$$



$$W = f(q_1, q_2, r^{-1})$$

$$\frac{dW}{dr} = F$$

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



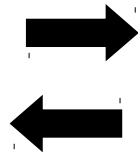
$$F = q \cdot E$$

$$V = \frac{W}{q}$$



$$W = q \cdot V$$

$$V = \int \vec{E} d\vec{r}$$



$$E = f(q_1, r^{-2})$$

$$V = f(q_1, r^{-1})$$

$$\frac{dV}{dr} = E$$

Evident!



El camp elèctric és la derivada (pendent de la tangent) del potencial respecte la posició

$$E_x = - \frac{dV}{dx}$$

El potencial és la integral (àrea) del camp respecte la posició

$$V = \int E \cdot dr$$

En general, ho aplicarem a  $E = \text{cte} \rightarrow$

$$E = - \frac{\Delta V}{\Delta x}$$



Duel a Mort

Entre dues plaques carregades (condensador) hi ha una diferència de potencial de 500 V i estan separades 1,0 cm. Calcula:



Duel a Mort

Si deixam una càrrega  $q = -2,0 \mu\text{C}$  i  $m = 10^{-9} \text{ kg}$  damunt la placa negativa, quina acceleració adquirirà?



Duel a Mort

Quina velocitat durà en xocar contra

13, 15

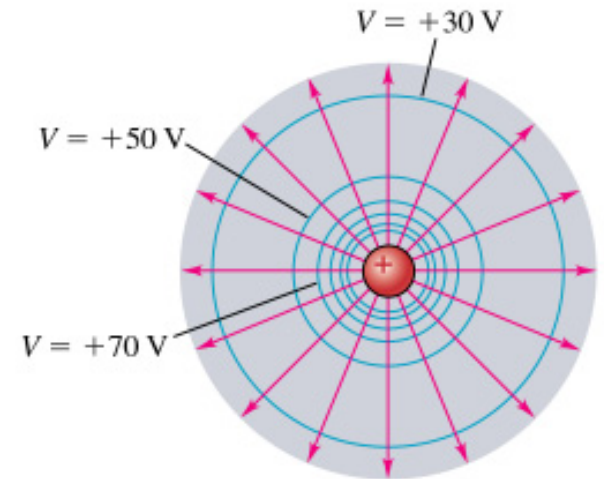


## Relació E/V. Superfícies equipotencials

Definim una **superfície equipotencial** com el conjunt de punts de l'espai en els que el potencial pren el mateix valor

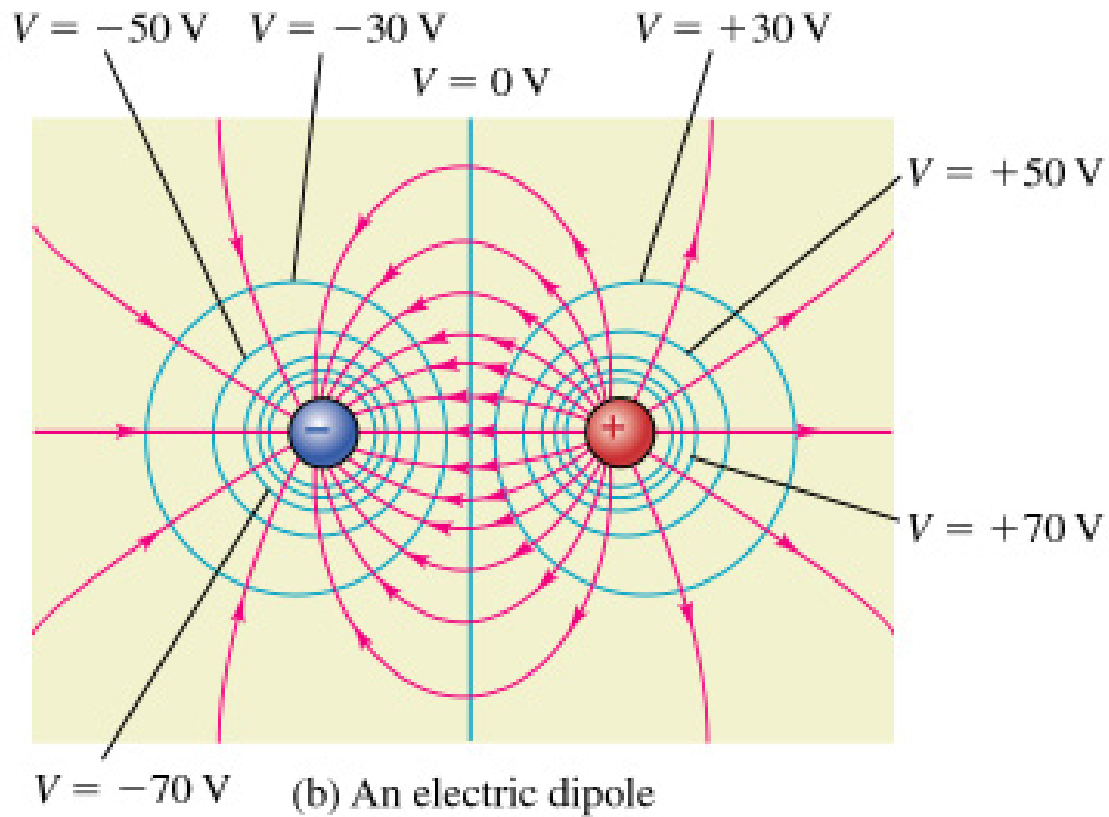
Com  $V=f(q, 1/r)$

Per una càrrega les superfícies equipotencials són esferes concèntriques de radi  $r$

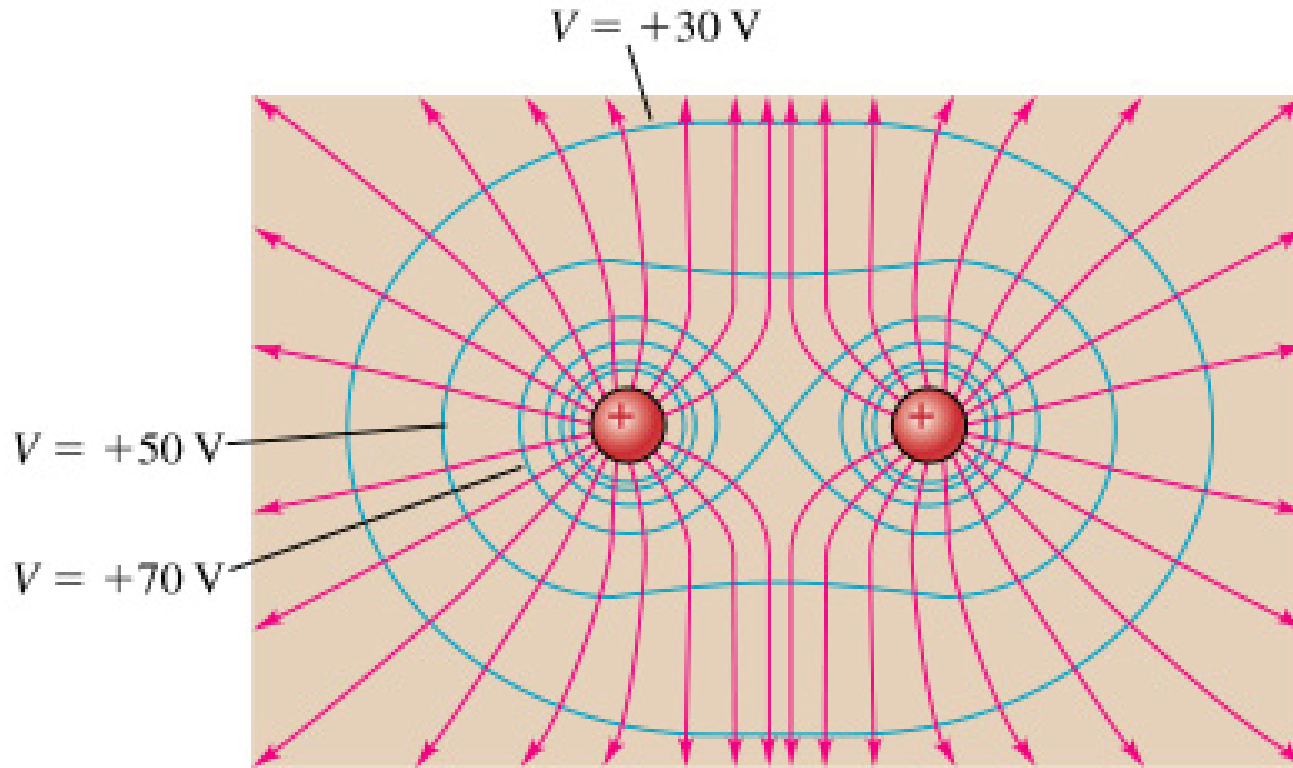


(a) A single positive charge

- Cross sections of equipotential surfaces
- Electric field lines



- Cross sections of equipotential surfaces
- Electric field lines



(c) Two equal positive charges

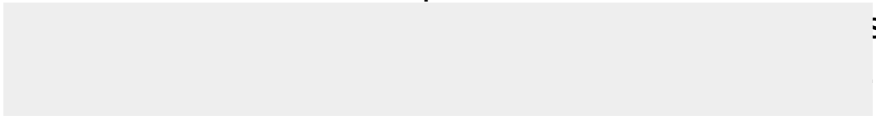
- Cross sections of equipotential surfaces
- Electric field lines



Duel a Mort

Per que es produeixi un llamp que vagi fins Spiderman, Electro ha de generar un camp elèctric de l'ordre de  $10000 \text{ N/C}$  entre ell i l'Spiderman.

Calcula la diferència de potencial necessària si la



## Electro vs Spiderman



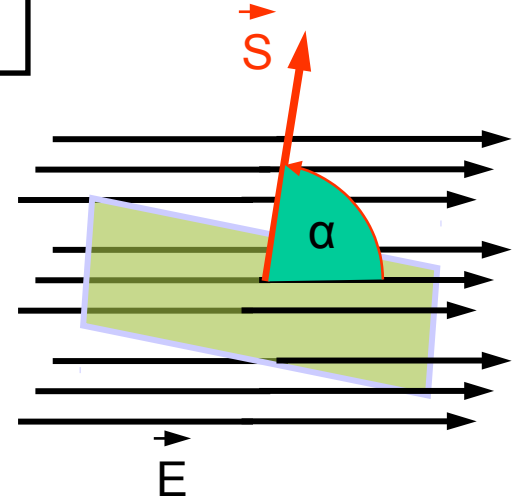


# Llei de Gauss

Es defineix **flux d'un camp elèctric** al producte escalar del vector intensitat del camp elèctric i el vector àrea de la superfície.

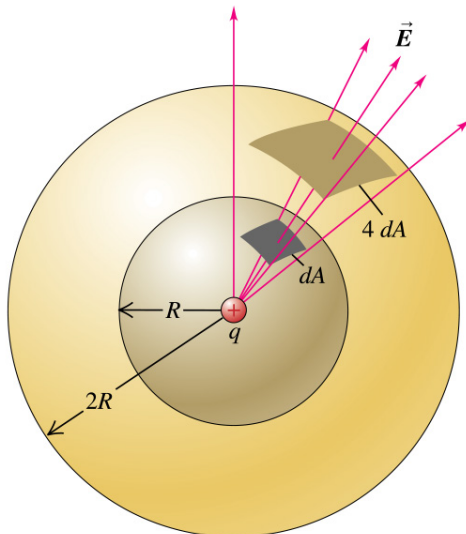
$$\phi_E = E \cdot S = |E| \cdot |S| \cdot \cos \alpha$$

És una manera de quantificar el nombre de línies de força que travessen una superfície.



Gauss (~1800) fa forma modificada de la llei de Coulomb

El flux total que travessa una superfície tancada (superfície gaussiana) és igual a la càrrega total continguda en el seu interior dividida per la constant dielèctrica del buit.



Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley.

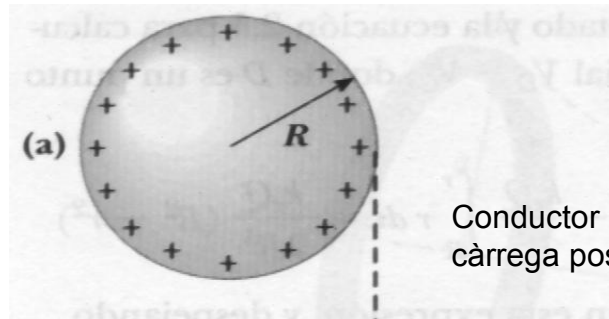
$$\phi_E = \frac{\sum Q}{\epsilon_0}$$

# Conductors carregats

Un **material conductor** és un material que permet el moviment lliure de les càrregues elèctriques



Si carreguem un conductor amb càrrega total  $Q$  les seves càrregues es repelen i es mouen allunyant-se → es disposen a la superfície



Conductor carregat amb càrrega positiva  $Q$

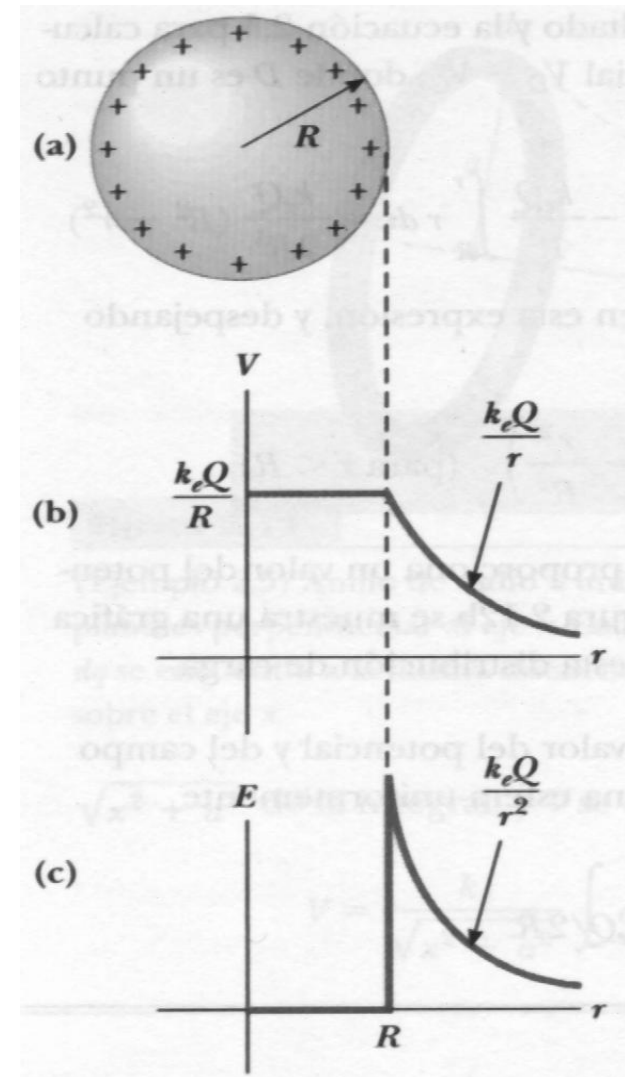
Per Gauss

El camp elèctric és 0 a l'interior del conductor



El potencial és constant a l'interior del conductor

Fora del conductor el camp i el potencial són els corresponents a una càrrega puntual de valor  $Q$



Q3. Una esfera metàl·lica de 10 cm de radi es carrega amb una càrrega positiva de  $10^{-5}$  C. A continuació es connecta a una altra esfera metàl·lica, de 20 cm de radi, inicialment descarregada, i seguidament es desconnecta d'ella. Calculeu la càrrega de cada esfera a la situació final.

Q4. Una esfera conductora de radi 2 cm té una càrrega de  $-3 \mu\text{C}$ .

- Quant val el potencial elèctric creat per l'esfera en un punt que dista 3 cm del centre de l'esfera?
- Quant val el camp elèctric creat per l'esfera en un punt que dista 1 cm del centre de l'esfera?

Dada:  $k = 1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ .

- Quines diferències hi hauria als apartats anteriors si l'esfera carregada fos aïllant?