

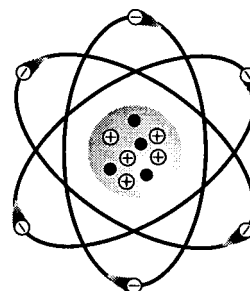
A *eletrostática* estuda os fenômenos relacionados às cargas elétricas em repouso.

Os átomos presentes em qualquer material são formados por *elétrons*, que giram em órbitas bem determinadas em torno do núcleo que, por sua vez, é constituído por *prótons* e *nêutrons*.

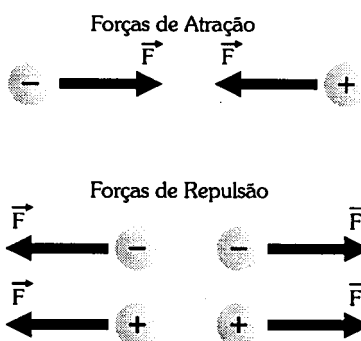
A diferença básica entre esses elementos que formam o átomo está na característica de suas cargas elétricas.

O próton tem carga elétrica positiva, o elétron tem carga elétrica negativa e o nêutron não tem carga elétrica.

Os átomos são, em princípio, eletricamente neutros, pois o número de prótons é igual ao número de elétrons, fazendo com que a carga total positiva anule a carga total negativa.



O princípio fundamental da eletrostática é chamado de *princípio da atração e repulsão*, cujo enunciado é:



"Cargas elétricas de sinais contrários se atraem e de mesmos sinais se repelem."

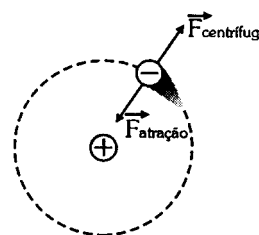
A carga elétrica fundamental é simbolizada pela letra q e sua unidade de medida é o *coulomb* [C].

O *módulo da carga elétrica* de um próton e de um elétron vale:

$$q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

No átomo, os prótons atraem os elétrons das órbitas em direção ao núcleo.

Porém, como os elétrons realizam um movimento circular em torno do núcleo, surgem neles forças centrífugas de mesma intensidade, mas em sentido contrário, anulando as forças de atração, mantendo os elétrons em órbita.

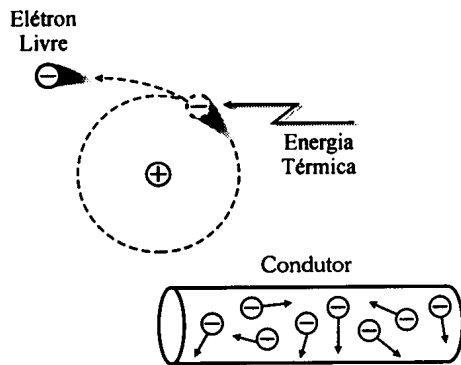


Condutores e Isolantes

Quanto mais afastado do núcleo está um elétron, maior é a sua energia, porém mais fracamente ligado ao átomo ele está.

Os materiais *condutores* são aqueles que conduzem facilmente eletricidade, como o cobre e o alumínio.

Nota: Consulte no Apêndice 1, os tópicos I e II.

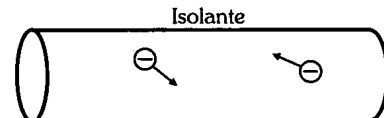


Nos condutores metálicos, os elétrons da última órbita dos átomos estão tão fracamente ligados aos seus núcleos que, à temperatura ambiente, a energia térmica é suficiente para libertá-los dos átomos, tornando-os elétrons livres, cujos movimentos são aleatórios.

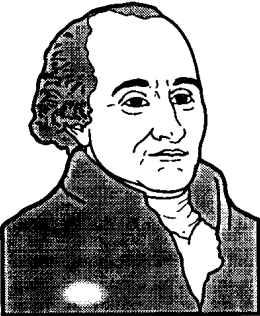
Isso significa que, nos condutores metálicos, a condução da eletricidade dá-se basicamente pela movimentação de elétrons.

Os materiais *isolantes* são aqueles que não conduzem eletricidade, como o ar, a borracha e o vidro.

os isolantes, os elétrons da última órbita dos átomos estão fortemente ligados aos seus núcleos, de tal forma que, à temperatura ambiente, apenas alguns elétrons conseguem se libertar.



A existência de poucos elétrons livres praticamente impede a condução de eletricidade em condições normais.



Charles Augustin de Coulomb (1736 – 1806)

Engenheiro militar francês, foi um dos pioneiros da física experimental.

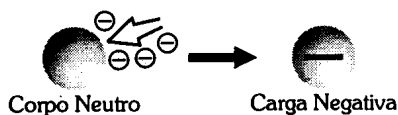
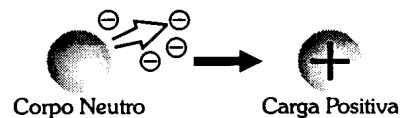
Descobriu a lei da atração e repulsão eletrostática em 1787, estudou os materiais isolantes e diversos outros assuntos relacionados à eletricidade e ao magnetismo, que constam de seu livro “Mémoires sur l’Électricité et sur le Magnetisme” (Memórias sobre a Eletricidade e sobre o Magnetismo).

A unidade de medida de carga elétrica é coulomb, em sua homenagem.

2.2
Eletrização dos Corpos

Podemos eletrizar um corpo com carga Q por meio da ionização dos seus átomos, isto é, retirando ou inserindo elétrons em suas órbitas, tornando-os íons positivos (*cátions*) ou íons negativos (*ânions*).

Retirando elétrons dos átomos de um corpo, ele fica eletrizado positivamente, pois o número de prótons fica maior que o número de elétrons.



Por outro lado, inserindo elétrons nos átomos de um corpo, ele fica eletrizado negativamente, pois o número de elétrons fica maior que o número de prótons.

Assim, a carga Q de um corpo pode ser calculada multiplicando a carga q de um elétron pelo número n de elétrons inseridos ou retirados do corpo:

$$Q = n \cdot q$$

em que:

$q = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ (carga de um elétron)

n positivo = número de elétrons inseridos

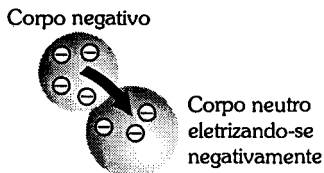
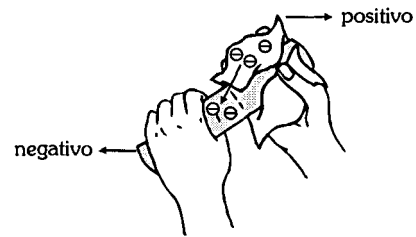
n negativo = número de elétrons retirados

Processos de Eletrização

Os processos básicos de eletrização dos corpos são: atrito, contato e indução.

Eletrização por Atrito

Atritando dois materiais isolantes diferentes, o calor gerado pode ser suficiente para transferir elétrons de um material para o outro, ficando ambos os materiais eletrizados, sendo um positivo (o que cedeu elétrons) e outro negativo (o que recebeu elétrons).



Eletrização por Contato

Se um corpo eletrizado negativamente é colocado em contato com outro neutro, o excesso de elétrons do corpo negativo será transferido para o neutro até que ocorra o *equilíbrio eletrostático*. Assim, o corpo neutro fica eletrizado negativamente.

Obs.: *Equilíbrio eletrostático* não significa que os corpos têm cargas iguais, mas que têm *potenciais elétricos iguais*, conceito esse que será estudado no tópico 2.5.

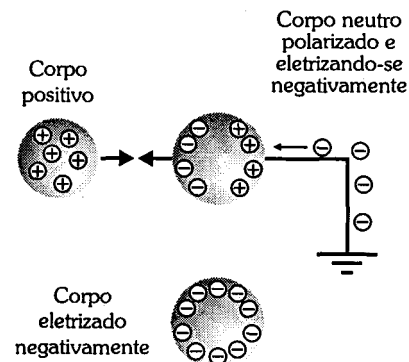
Eletrização por Indução

Aproximando um corpo eletrizado positivamente de um corpo condutor neutro isolado, os seus elétrons livres serão atraídos para a extremidade mais próxima do corpo positivo.

Dessa forma, o corpo neutro fica polarizado, ou seja, com excesso de elétrons numa extremidade (pólo negativo) e falta de elétrons na outra (pólo positivo).

Aterrando o pólo positivo desse corpo, ele atrairá elétrons da Terra, até que essa extremidade fique novamente neutra.

Desfazendo o aterramento e afastando o corpo com carga positiva, o corpo inicialmente neutro fica eletrizado negativamente.



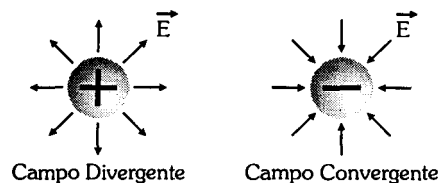
2.3

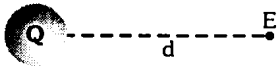
Campo Elétrico

Uma carga cria ao seu redor um *campo elétrico* \vec{E} que pode ser representado por linhas de campo radiais orientadas, uma vez que é uma grandeza vetorial, sendo que a sua unidade de medida é *newton/coulomb* [N/C].

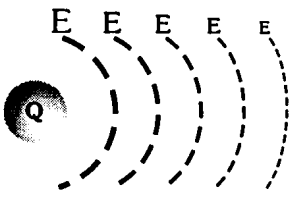
Se a carga é *positiva*, o campo é *divergente*, isto é, as linhas de campo saem da carga.

Se a carga é *negativa*, o campo é *convergente*, isto é, as linhas de campo chegam à carga.





A intensidade E do campo elétrico criado por uma carga Q é diretamente proporcional à intensidade dessa carga e da *constante dielétrica do meio* K , e é inversamente proporcional ao quadrado da distância d entre a carga e o ponto considerado.



O campo diminui com o aumento da distância.

Matematicamente, tem-se:

$$E = \frac{K \cdot Q}{d^2}$$

em que:

$K = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ (no vácuo e no ar)

Q = módulo da carga elétrica, em *coulomb* [C]

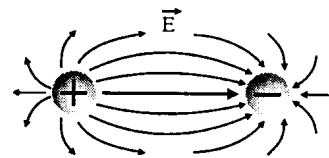
d = distância, em *metro* [m]

Comportamento das Linhas de Campo

Vamos analisar agora como se comportam as linhas de campo em quatro situações diferentes:

Quando duas cargas de *sinais contrários* estão próximas, as linhas de campo divergentes da carga positiva tendem a convergir para a carga negativa. Por isso, a força entre as cargas é de *atração*.

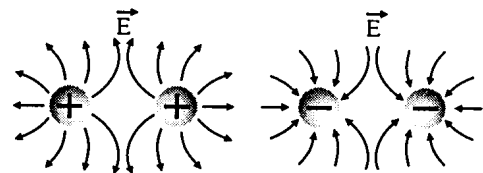
Cargas Diferentes



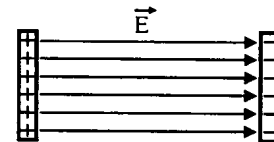
Quando duas cargas de *mesmos sinais* estão próximas, se elas são positivas, as linhas de campo são divergentes para ambas as cargas, e se elas são negativas, as linhas de campo são convergentes para ambas as cargas. Por isso, a força entre elas é de *repulsão*.

Cargas Positivas

Cargas Negativas



Quando duas placas paralelas são eletrizadas com cargas de sinais contrários, surge entre elas um *campo elétrico uniforme*, caracterizado por linhas de campo paralelas.



2.4

Força Elétrica

Consideremos uma região submetida a um campo elétrico \vec{E} uniforme.

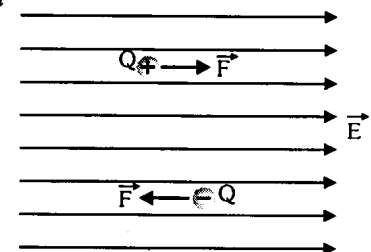
Colocando uma carga Q num ponto dessa região, essa carga ficará sujeita a uma *força* \vec{F} , cuja unidade de medida é *newton* [N] e cujo módulo pode ser calculado por:

$$F = Q \cdot E$$

em que:

Q = módulo da carga elétrica, em *coulomb* [C]

E = módulo do campo elétrico, em *newton/coulomb* [N/C]



Se a carga é *positiva*, a força age no *mesmo sentido* da linha de campo, e se a carga é *negativa*, a força age no *sentido contrário* ao da linha de campo.

Na realidade, essa força que age na carga é de atração ou repulsão entre Q e a carga geradora desse campo elétrico.

Lei de Coulomb

Como decorrência do estudo do campo elétrico gerado por uma carga e da força que surge em outra carga colocada nesse campo, pode-se deduzir a expressão que nos dá o módulo da *força de atração ou de repulsão* entre duas cargas elétricas, devido à interação dos seus campos elétricos.

Essa expressão é denominada *Lei de Coulomb*:

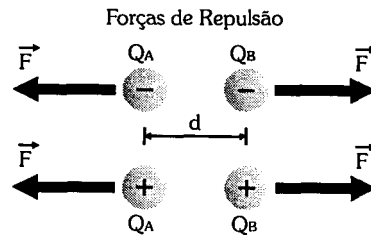
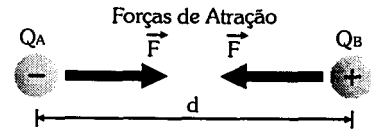
$$F = \frac{K \cdot Q_A \cdot Q_B}{d^2}$$

em que:

$$K = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2 \quad (\text{no vácuo e no ar})$$

$$Q_A \text{ e } Q_B = \text{módulos das cargas, em coulomb [C]}$$

$$d = \text{distância, em metro [m]}$$



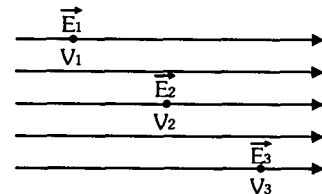
2.5

Potencial Elétrico

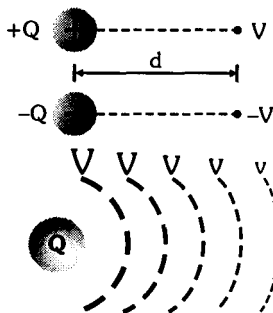
Vimos que numa região submetida a um campo elétrico, uma carga fica sujeita a uma força, fazendo com que ela se movimente.

Isso significa que em cada ponto dessa região existe um *potencial* para a realização de trabalho, independente da carga ali colocada.

O símbolo de potencial elétrico é V e a sua unidade de medida é o *volt [V]*.



Na realidade, esse potencial depende da carga Q geradora do campo elétrico, sendo que, quanto maior a distância d entre o ponto considerado e a carga geradora, menor é o potencial elétrico V .



O módulo do potencial diminui com o aumento da distância.

O potencial elétrico é uma grandeza escalar, podendo ser positivo ou negativo, dependendo de a carga ser positiva ou negativa.

Matematicamente:

$$V = \frac{K \cdot Q}{d}$$

em que:

$$K = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2 \quad (\text{no vácuo e no ar})$$

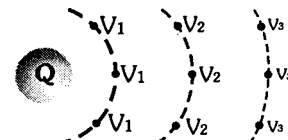
$$Q = \text{valor absoluto da carga elétrica, em coulomb [C]}$$

$$d = \text{distância, em metro [m]}$$

Por essa expressão, vê-se que uma *carga positiva* cria ao seu redor *potenciais positivos* e uma *carga negativa* cria ao seu redor *potenciais negativos*.

Numa superfície em que todos os pontos são equidistantes em relação à carga geradora, os potenciais são iguais.

Nesse caso, elas são denominadas *superfícies equipotenciais*.



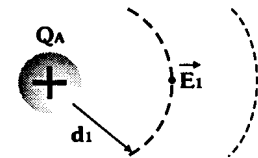
Exercícios Propostos

Eletrização dos Corpos

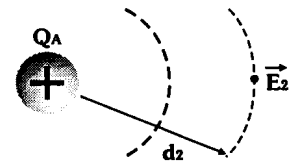
- 2.1) Qual é o número de elétrons retirado de um corpo cuja carga elétrica é $Q = +32\mu C$?
- 2.2) Qual é o número de elétrons inserido num corpo cuja carga elétrica é $Q = -80nC$?
- 2.3) De um corpo neutro foi retirado um milhão de elétrons. Qual é a sua carga elétrica final?
- 2.4) Num corpo eletrizado com carga inicial $Q_i = +1pC$, foi inserido um milhão de elétrons. Qual é a sua carga elétrica final Q_f ?
- 2.5) De um corpo eletrizado com carga inicial $Q_i = -12\mu C$ foram retirados n elétrons, de forma que sua carga final passou a ser $Q_f = +2\mu C$. Quantos elétrons foram retirados desse corpo?
- 2.6) Como se eletriza positivamente um corpo neutro por meio do contato?
- 2.7) Como se eletriza positivamente um corpo neutro por meio da indução?

Campo Elétrico

- 2.8) Uma carga elétrica $Q_A = 20nC$ encontra-se no vácuo. Quais são a intensidade e o sentido do campo elétrico \vec{E}_1 na superfície com raio $d_1 = 1m$ em torno dessa carga?



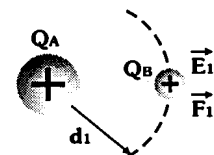
- 2.9) Quais são a intensidade e o sentido do campo elétrico \vec{E}_2 na superfície com raio $d_2 = 2m$ em torno dessa mesma carga?



- 2.10) O que acontece com a intensidade do campo elétrico quando a distância em relação à carga geradora dobra de valor?

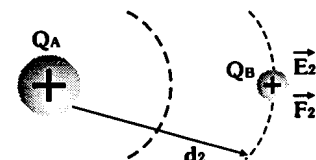
Força Elétrica

- 2.11) No exercício 2.8, consideremos que a carga $Q_A = 20nC$ esteja fixa. Uma carga $Q_B = 10nC$ é colocada num ponto da superfície de raio $d_1 = 1m$, em que o campo é \vec{E}_1 .



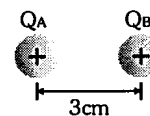
Determine a intensidade e o sentido da força \vec{F}_1 que age na carga Q_B .

- 2.12) Quais são a intensidade e o sentido da força \vec{F}_2 que agirá na carga Q_B , quando ela atingir um ponto da superfície de raio $d_2 = 2m$?

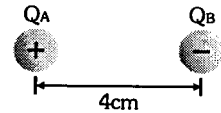


- 2.13) O que acontece com a intensidade da força quando a distância entre as cargas dobra de valor?

- 2.14) Determine a intensidade e o sentido da força \vec{F} entre duas cargas $Q_A = 10\mu C$ e $Q_B = 2nC$, no vácuo, distantes $3cm$ uma da outra.

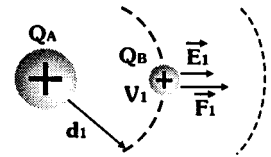


- 2.15) Determinar a intensidade e o sentido da força \vec{F} entre duas cargas $Q_A = 50nC$ e $Q_B = -18\mu C$, no ar, distantes $4cm$ uma da outra.



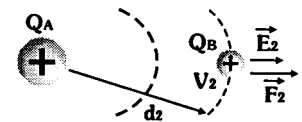
Potencial Elétrico

- 2.16) No exercício 2.8, foi calculado o campo elétrico \vec{E}_1 criado pela carga $Q_A = 20nC$ a uma distância $d_1 = 1m$. No exercício 2.11, foi calculada a força de repulsão \vec{F}_1 que age na carga $Q_B = 10nC$ colocada nessa distância, fazendo com que ela se afaste de Q_A .



Determine o potencial elétrico V_1 criado pela carga Q_A no ponto em que se encontra a carga Q_B .

- 2.17) Determine o potencial elétrico V_2 criado pela mesma carga Q_A num ponto em que $d_2 = 2m$.

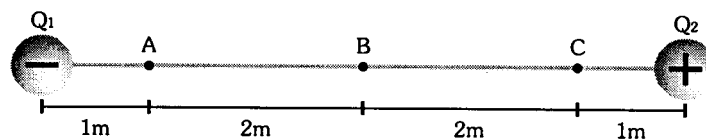


- 2.18) O que acontece com o potencial elétrico quando a distância em relação à carga geradora dobra de valor?

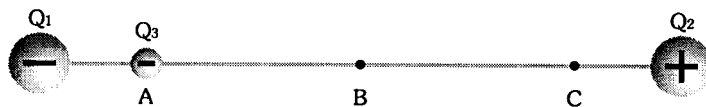
- 2.19) Com base nos exercícios 2.8, 2.9, 2.11, 2.12, 2.16 e 2.17, preencha as lacunas da análise abaixo:

"A carga Q_B _____ (positiva/negativa) colocada em d_1 deslocou-se em direção a d_2 pela força de _____ (atração/repulsão). Esse deslocamento ocorreu no _____ (mesmo sentido/sentido contrário) do campo elétrico. O potencial elétrico criado pela carga positiva Q_A _____ (aumentou/diminuiu) com o aumento da distância. Portanto, uma carga positiva imersa num campo elétrico desloca-se de um potencial _____ (maior/menor) para um potencial _____ (maior/menor)."

- 2.20) Considere o esquema abaixo, formado pelas cargas $Q_1 = -20\mu C$ e $Q_2 = +20\mu C$, fixas, no vácuo, distantes $6m$ uma da outra, e os pontos A , B e C entre essas cargas:



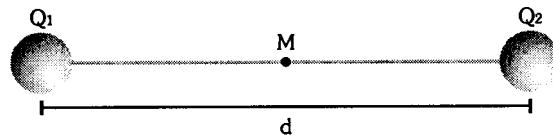
- Determine os campos elétricos resultantes criados por Q_1 e Q_2 nos pontos A , B e C ;
- Determine os potenciais elétricos resultantes criados por Q_1 e Q_2 nos pontos A , B e C ;
- Considere que uma carga negativa $Q_3 = -10\mu C$ tenha sido colocada no ponto A e responda por que e como ela irá se movimentar;



- Determine a força resultante na carga Q_3 quando ela se encontrar nos pontos A , B e C ;
- Complete a frase abaixo referente à análise desse exercício, considerando os potenciais elétricos obtidos no item b :

"Uma carga negativa move-se do potencial _____ para o potencial _____."

2.21) Considere o seguinte esquema eletrostático:



- a) Quais devem ser as características das cargas elétricas Q_1 e Q_2 para que, no ponto médio M , o campo elétrico seja nulo e o potencial elétrico seja diferente de zero?
- b) Quais devem ser as características das cargas elétricas Q_1 e Q_2 para que, no ponto médio M , o potencial e o campo elétrico sejam nulos?