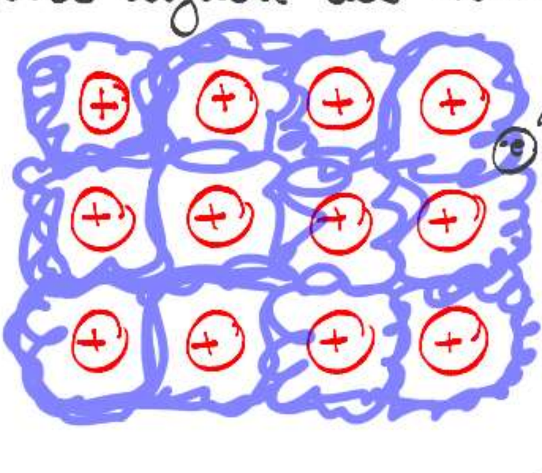
Existe uma enorme variedade de materiais que podem ou não conduzir "eletricidade", essa característica está relacionada com a maior ou menor facilidade de mobilidade das cargas ou portadores de carga num certo meio material. Sabemos do nosso dia-a-dia que um pedaço de metal é bastante condutor e um pedaço de borracha / plástico não é. O intervalo/força de condução depende do tipo de material e da estrutura de ligação molecular que as formam, a geometria molecular também tem papel relevante na condução.

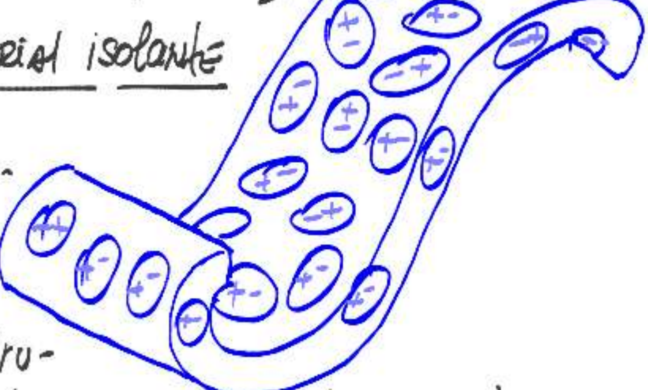
Um material condutor em geral é metálico formando uma rede cristalina como ferro, cobre, alumínio, latão, etc. Nestes materiais o núclo positivo forma uma rede cristalina e os elétrons são "compartilhadas" numa núvem eletiônica pouco ligada aos núcleos.



⟶ No condutor um "mar" de elétrons pouco ligados estão "livres" para participar de processos elétricos, como condução, eletrização, etc. Por hora é bom saber que num condutor carregado, as cargas elétricas se distribuem ao longo de sua superfície.

Por outro lado um material isolante é aquele em que os elétrons estão fortemente ligados ao núcleo/molécula (localizados). Podem formar estruturas cristalinas, mas são em geral sólidos amorfos, ou estruturas poliméricas como exemplo temos o vidro, a borracha, plástico, cerâmica, etc.

material isolante ⟶

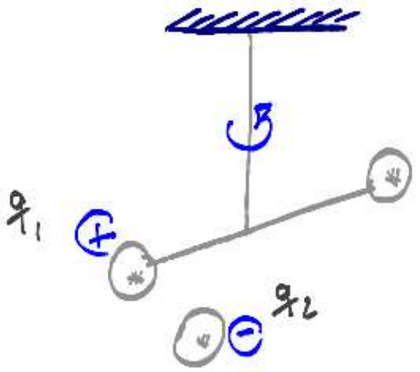


Líquidos também podem ser condutores ou isolantes dependendo de sua composição, ex. Água destilada é isolante, água salgada é condutora, ou seja, presença ou não de íons (portadores de carga).

Existem também materiais semi-condutores como os transistores (LED - Light emission diode) que passam a conduzir cargas depois de algum valor específico de temperatura ou diferença de potencial. Outros materiais sob condições específicas apresentam o fenômeno da supercondutividade, ou seja, os elétrons podem se mover no material sem resistência alguma.

1,6 → A Lei de Coulomb

Agora que temos alguns conceitos básicos disponíveis podemos nos aprofundar na física da Eletrostática. As cargas elétricas existem, e interagem mutuamente; se são do mesmo tipo se repelem, se diferentes se atraem. Coulomb apresentou em 1786 junto com resultados experimentais a forma dessa interação. Ele mediu a força entre esferas carregadas numa balança de torsão.



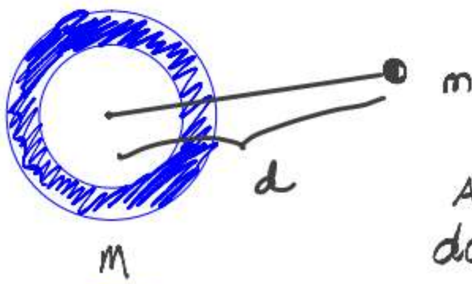
Coulomb então notou que a força entre corpos carregados era diretamente proporcional ao produto das cargas de cada corpo e inversamente proporcional ao inverso do quadrado da distância

$$\boxed{F \propto \frac{q_1 q_2}{d^2}}$$

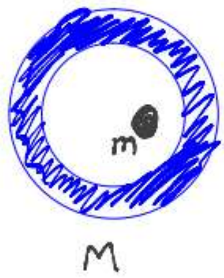
Note que essa relação não era uma extrema surpresa já que a recém descoberta da força gravitacional que agia a distância possuia a mesma dependência. Em realidade 20 anos antes Joseph Priestly realizou um experimento sugerido por Benjamin Franklin e notou que não havia força elétrica quando um corpo carregado era colocado no interior de uma casca esférica carregada, o seja, apresentava o mesmo comportamento que o recém compreendido campo gravitacional.

Força gravitacional $\boxed{\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r}}$, força central

"Teorema das cascas" para o campo gravitacional



→ A ação da força gravitacional de uma casca esférica numa partícula massiva externa (m) é o mesmo que a de uma massa (M) localizada no centro da esfera

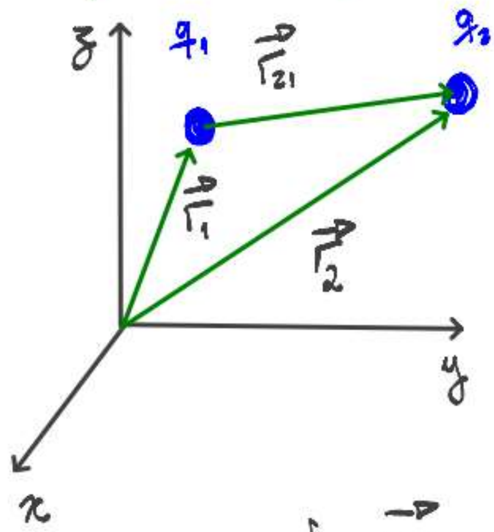


→ Se a massa m estiver no interior da casca esférica nenhuma força resultante não nula atuará na massa. A massa é igualmente atraída por todos os lados

Lei de Gauss para a gravitação $\boxed{\vec{\nabla}\cdot\vec{g} = -4\pi G\rho}$

→ Teremos resultados equivalentes para a eletrostática.

Força entre duas cargas elétricas pontuais q_1 e q_2



$\boxed{\vec{r}_{21} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1}$ $|\vec{r}_{21}| \equiv$ Separação/distância entre as cargas q_1 e q_2

$\hat{r}_{21} = \dfrac{\vec{r}_{21}}{|\vec{r}_{21}|} \equiv$ versor unitário que aponta de q_1 p/ q_2.

Assim temos que a força elétrica entre as cargas é dada pela relação.

$\vec{F}_2 = -\vec{F}_1$ terceira lei de Newton ação/reação.

$$\vec{F}_2 = \frac{K\, q_1 q_2\, \hat{r}_{21}}{|\vec{r}_{21}|^2}$$, força sob a carga q_2

$$\vec{F}_1 = -\frac{K\, q_1 q_2}{|\vec{r}_{21}|^2}\hat{r}_{21}$$, força sob a carga q_1

$K \equiv$ constante, $\vec{r}_1 = x_1\hat{x} + y_1\hat{y} + z_1\hat{z}$, $\vec{r}_2 = x_2\hat{x} + y_2\hat{y} + z_2\hat{z}$

$\vec{r}_{21} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = (x_2 - x_1)\hat{x} + (y_2 - y_1)\hat{y} + (z_2 - z_1)\hat{z}$ //

K= constante eletrostática

O valor e unidade de [K] dependem dos sistemas de unidades utilizados, em eletromagnetismo dois sistemas são principais o cgs (centímetro, grama, segundo) e o SI (Sistema Internacional de unidades - metro, kilograma, segundo). No SI a unidade de carga elétrica é o Coulomb (C). A correta definição de coulomb depende da força magnética (que ainda não abordamos), por hora podemos definir o coulomb como:

→ Duas cargas de 1C cada se repelem mutuamente numa distância de 1m com força de $8,988 \times 10^9 N (Kg.m.s^{-2})$. Assim [K] no SI vale:

$$K = 8,988 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

Para carregar um corpo com 1C de carga são necessários $6,242 \times 10^{18}$ elétrons. Assim cada elétron possui uma carga de $1,602 \times 10^{-19} C$ no SI.

No sistema cgs a força é medida em dinas, e a carga elétrica em esu que são unidades de cargas eletrostáticas.

$$1 N \equiv 10^5 \text{ dinas}$$

$$1 \text{ coulomb} \equiv 2.998 \times 10^9 \text{ esu}$$

$$e = 1,602 \times 10^{-19} C \equiv 4,802 \times 10^{-10} \text{ esu}$$

A definição de esu é tal que $\boxed{K = 1}$, pode facilitar a vida quando equações ficam mais complexas. (Note que a relação de conversão entre um sistema e outro é em certa medida a própria velocidade da luz c).

Por razões históricas (reduz o número de constantes em certos formalismos) K é escrito como:

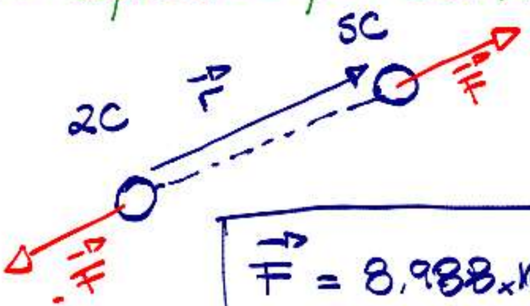
$$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}, \quad \varepsilon_0 \equiv \text{permissividade elétrica do vácuo}$$

$$\boxed{K = 8,988 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}}, \quad \boxed{\varepsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}}$$

ficamos com a lei de Coulomb no SI como:

$$\boxed{\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{|\vec{r}_{21}|^2}\hat{r}_{21}}$$

Exemplo: Qual a força elétrica entre uma carga de 5C e outra de 2C separadas por 10m?

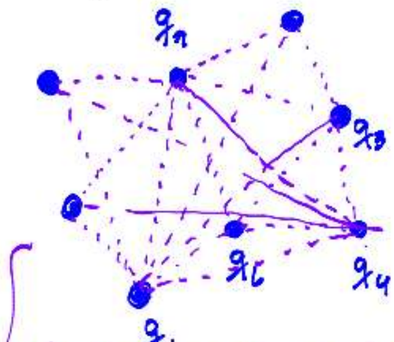


$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}\hat{r}$$

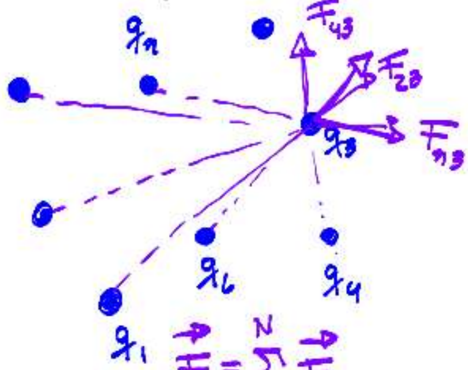
$$\vec{F} = 8{,}988\times10^9 \frac{2C \times 5C}{10^2 m^2}\frac{Nm^2}{C^2}\hat{r}$$

$$\boxed{\vec{F} = 8{,}988\times10^8 N}$$ → força extremamente forte

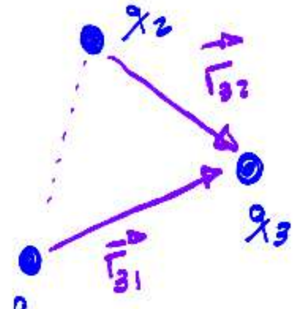
⇒ E se mais cargas elétricas participarem da interação, será que a interação entre duas cargas enfraquece ou fortalece a interação com uma terceira? A resposta experimental é que não, as cargas numa certa distribuição discreta interagem aos pares, e a força resultante sob uma única carga é a soma vetorial das forças parciais. Isso ocorre pq as equações do eletromagnetismo são lineares, a resultante sob uma carga das forças obedece o princípio da superposição.



todo mundo interage com todo mundo



$$\vec{F}_3 = \sum_{n\neq3}^{N}\vec{F}_{n3}$$



$\vec{F}_3 = ?$

A força resultante sob a carga q_3 será:

$$\vec{F}_3 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_3}{r_{31}^2}\hat{r}_{31} + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_2 q_3}{r_{32}^2}\hat{r}_{32}$$

, esse é o princípio da superposição (num primeiro momento)

1.7 → Energia potencial elétrica de um sistema discreto de cargas

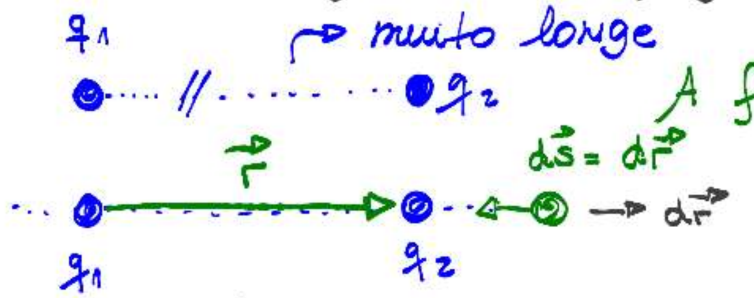
Imagine que possamos aproximar duas cargas positivas, claramente haverá uma força repulsiva entre elas, se pudermos prendê-las no lugar armazenaremos no sistema uma certa quantidade de energia. Essa energia é igual àquela gasta para criar o sistema, ou seja, o trabalho W gasto para montar a distribuição.

Lembre que trabalho de uma força é $\vec{F}\cdot d\vec{s} = dW$ num deslocamento infinitesimal $d\vec{s}$. O trabalho total ao longo do caminho todo é dado pela integral:

$$\boxed{W = -\int_C \vec{F}\cdot d\vec{s}}$$

→ Integral no caminho/linha

Consideremos duas cargas pontuais q_1 e q_2 muito afastadas (a princípio não me interessa quanta energia foi gasta para afastar as cargas). Mantemos a carga q_1 parada fixa e trazemos a carga q_2 à uma distância r_{21} da carga q_1. Quanta energia (trabalho) gastei para montar esse sistema?



A força elétrica em q_2 é dada por

$$\boxed{\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r_{21}^2}\hat{r}_{21}} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}\hat{r},$$

$$W = \int_{\text{infinito}}^{\text{próximo}} -\vec{F}\cdot d\vec{s} = -\int \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}\hat{r}\cdot dr\,\hat{r} = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} q_1 q_2 \int_\infty^{r_{21}} \frac{1}{r'^2}\,dr' = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r'}\Bigg|_\infty^{r_{12}}$$

$$W = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} q_1 q_2 \frac{1}{r}\Bigg|_{r=\infty}^{r=r_{21}} \rightarrow \boxed{W = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{r_{21}}}$$

$\left.\begin{matrix} q_1>0,\ q_2>0 \\ q_1<0,\ q_2<0 \end{matrix}\right\}$ $W>0$

Gastei energia para formar o sistema.

$\left.\begin{matrix} q_1>0,\ q_2<0 \\ q_1<0,\ q_2>0 \end{matrix}\right\}$ $W<0$

Ganhei energia do sistema.