INSTITUTO DE FÍSICA DA UFBA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA DO ESTADO SÓLIDO
DISCIPLINA: FÍSICA GERAL E EXPERIMENTAL III (FIS 123)

A LEI DE COULOMB

1. INTRODUÇÃO

O estudo da eletricidade e do magnetismo remonta aos gregos antigos e tomou grande impulso no século XVIII, com as contribuições de Franklin, Priestley, Mitchell e Coulomb entre outros. No início do século XIX, Oersted descobriu que os fenômenos elétricos e magnéticos eram da mesma natureza, ao perceber que a agulha de um imã era perturbada quando colocada nas proximidades de um fio percorrido por uma corrente. Já nos meados desse século, Maxwell conseguiu formalizar as leis do eletromagnetismo em quatro equações, cuja importância é a mesma que as leis de Newton estão para a mecânica. Com essas equações se previu a existência das ondas eletromagnéticas bem como se pode determinar a natureza ondulatório-eletromagnética da luz. Dessa forma, a ótica, que era considerada como uma matéria à parte, passou também a se integrar no escopo de estudo da teoria eletromagnética.

Não vamos neste curso nos alongar na parte inicial da eletrostática, uma vez que isso já foi objeto de estudo durante o curso de segundo grau. Consideramos como sabidos fatos como a existência de cargas elétricas positivas e negativas, eletrificação por indução, atração e repulsão de cargas, a unidade de carga no Sistema Internacional (SI) como sendo o Coulomb (C), etc. Iremos, entretanto, reafirmar dois princípios básicos do eletromagnetismo:

a. ***Princípio da conservação de cargas*****:** a carga total (que é a soma algébrica de todas as cargas, sejam elas positivas ou negativas) deve ser conservada. Assim, em um processo de eletrificação de corpos as cargas são transferidas de um corpo ao outro, ao invés de serem criadas ou destruídas. Esse processo torna-se ligeiramente diferente quando da aniquilação de um elétron com um pósitron, gerando radiação gama. Observe que a carga total permanece nula em todo o processo.
b. ***Princípio de quantização de carga.*** Esse princípio afirma que toda a carga é múltiplo inteiro de uma carga elementar e, que é, em módulo, igual à carga do elétron. Não existe um valor de carga menor que e e nem um múltiplo não inteiro desse valor. O valor de e vale 1,602 x 10^{-19} C.

Uma vez estabelecidas estas premissas, iremos então iniciar nosso estudo com:

2. A LEI DE COULOMB

Suponha duas cargas q_1 e q_2 isoladas de qualquer outra distribuição de cargas e campos eletromagnético ou gravitacional. Segundo Coulomb a força que cada carga sofre é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separam. Assim podemos escrever, por exemplo, que a força sobre a carga q_2 exercida pela carga q_1 será:

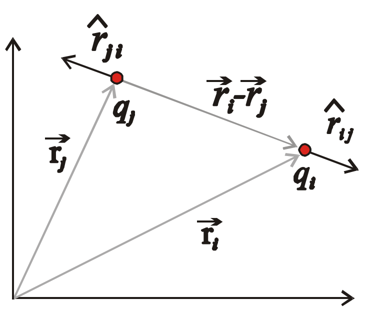
$$F_{21} = \frac{K q_1 q_2}{r_{21}{}^2}$$

Analogamente a força sobre q_1 exercida por q_2 será:

$$F_{12} = \frac{K q_1 q_2}{r_{12}{}^2}$$

onde $r_{12} = r_{21}$ é a distância que separa as cargas. Se as cargas tiverem sinais opostos, a força será atrativa e se os sinais forem iguais, a força será repulsiva. A constante de proporcionalidade K depende do meio onde estão inseridas as cargas e seu valor dependo do sistema de unidades. Assim, se o meio é vácuo e o sistema de unidades é o SI, teremos $K = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_o}$, onde ε_o é a constante permissividade do vácuo e tem valor ε_o = 8,85 x 10^{-12} $C^2/N.m^2$. No sistema CGS o valor de K é simplesmente igual a 1,

A motivação para a busca da lei do inverso do quadrado da distância veio da lei da gravitação e das experiências de Priestley onde se mostrava que uma carga no interior de um condutor oco carregado não sofre nenhuma força, qualquer que seja o valor da carga de prova ou do condutor. Como veremos no capítulo referente ao campo elétrico, esse comportamento só pode ser explicado se a lei do inverso do quadrado for aplicada. De fato, Coulomb, realizando medidas com balança de torção, pode comprovar essa hipótese.



Como sabemos, a força tem natureza vetorial e como tal deve ser assim expressa. Além disso, devemos buscar uma expressão de caráter vetorial que descreva também os fenômenos de atração ou repulsão entre as cargas. Para isso, suponha duas cargas q_i e q_j isoladas. A posição da carga q_i é descrita pelo vetor $\vec{r}_i$, enquanto que aposição de q_j é descrita pelo vetor $\vec{r}_j$.

Observe que a distância entre as cargas é dada por $r_{ij} = \left|\vec{r}_i - \vec{r}_j\right| = r_{ji} = \left|\vec{r}_j - \vec{r}_i\right|$. O vetor unitário que tem a direção da reta que une as cargas e aponta no sentido da carga q_j para a carga q_i é dada por:

$$\hat{r}_{ij} = \frac{\vec{r}_i - \vec{r}_j}{\left|\vec{r}_i - \vec{r}_j\right|}$$

Desta forma, a força sobre a carga q_i exercida por q_j é dada por:

$$\vec{F}_{ij} = \frac{Kq_i q_j (\vec{r}_i - \vec{r}_j)}{\left|\vec{r}_i - \vec{r}_j\right|^3} \quad \text{o que é equivalente a:} \quad \vec{F}_{ij} = \frac{Kq_i q_j}{r_{ij}^2}\hat{r}_{ij}$$

Analogamente a força exercida sobre a carga q_j devido a carga q_i é dada por:

$$\vec{F}_{ji} = \frac{Kq_i q_j (\vec{r}_j - \vec{r}_i)}{\left|\vec{r}_j - \vec{r}_i\right|^3} \qquad \text{ou} \qquad \vec{F}_{ji} = \frac{Kq_i q_j}{r_{ij}^2}\hat{r}_{ji}$$

Podemos ver facilmente destas expressões que $\vec{F}_{ij} = -\vec{F}_{ji}$, o que nada mais é a lei de ação e reação de Newton.

Por fim, vamos estabelecer o princípio da superposição. Seja uma distribuição discreta de cargas q_1, q_2,...q_i,...q_N, onde a localização de cada uma é descrita pelo vetor posição $\vec{r}_1$, $\vec{r}_2 \ldots \vec{r}_i \ldots \vec{r}_N$ respectivamente. Segundo o princípio da superposição, a força sobre a carga q_i, provenientes de outras cargas do sistema, será a soma vetorial das forças individuais que nela atuam. Desta forma, a força sobre essa carga pode ser escrita como:

$$\vec{F}_i = \vec{F}_{i1} + \vec{F}_{i2} + \ldots + \vec{F}_{iN} = \frac{Kq_i q_2}{r_{i2}^2}\hat{r}_{i2} + \frac{Kq_i q_3}{r_{i3}^2}\hat{r}_{i3} + \ldots + \frac{Kq_i q_N}{r_{iN}^2}\hat{r}_{iN}$$

Observe que esta expressão pode ser escrita como:

$$\vec{F}_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{N} \frac{Kq_i q_j}{r_{ij}^2}\hat{r}_{ij}$$

Nesta expressão a carga q_i é uma constante, de modo que a podemos colocar fora do símbolo de somatória, ou seja:

$$\vec{F}_i = q_i \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{N} \frac{Kq_j}{r_{ij}^2} = q_i \vec{E}$$

Note que escrevemos a expressão dentro da somatória como sendo um vetor designado pelo símbolo $\vec{E}$. Na verdade, este vetor representa o campo elétrico provocado pela distribuição de cargas no ponto onde se localiza a carga q_i. Contudo, deixaremos a discussão deste ponto para o próximo capítulo.