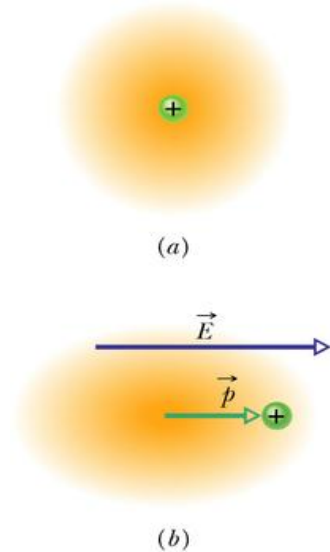


AULA 3 - DIPÓLO ELÉTRICO

Embora os átomos e as moléculas sejam eletricamente neutros, são afetados pelos campos elétricos, pois têm cargas positivas e negativas.

Em alguns átomos ou moléculas, a nuvem de elétron é esfericamente simétrica, e o centro de carga está no centro do átomo, e coincide com a carga positiva. Este átomo ou molécula é **apolar**.



Na presença de um campo elétrico externo, o centro da carga positiva não coincide com o centro da carga negativa. O campo elétrico exerce uma força tanto sobre o núcleo positivo, como na nuvem negativa. As cargas positiva e negativa se separam. Esta distribuição de carga comporta-se como um dipólo elétrico.

O momento de dipólo de um átomo ou molécula apolar num campo elétrico externo é chamado **momento de dipólo induzido**. Se o campo elétrico for não uniforme, haverá uma força elétrica resultante não nula atuando sobre o dipólo: **Esta é a força responsável pela conhecida atração de pequeninos pedaços de papel por um pente carregado.**

Em algumas moléculas o centro das cargas positivas não coincide com o centro das cargas negativas, mesmo na ausência de campos elétricos externos.

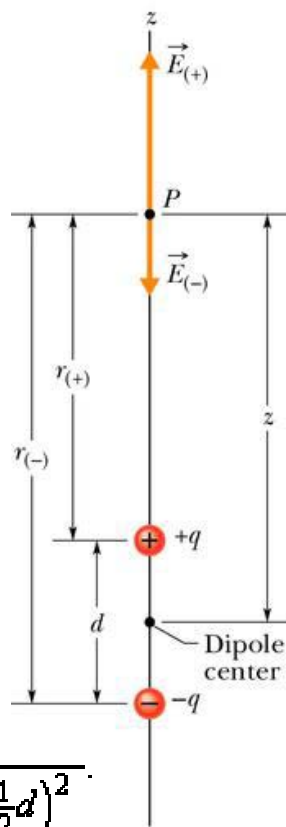
Estas moléculas são chamadas **polares**, e possuem **momento de dipólo permanente**.

O CAMPO ELÉTRICO DEVIDO À UM DIPÓLO ELÉTRICO

A figura abaixo mostra duas partículas carregadas de intensidade de carga q , de sinais contrários, separadas por uma distância d . Esta configuração recebe o nome de **dipólo elétrico**.

Vamos determinar o campo elétrico num ponto P , a uma distância z do ponto médio do centro dipólo. Aplicando o princípio de superposição para campos elétricos

$$\begin{aligned}
 E &= E_{(+)} - E_{(-)} \\
 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r_{(+)}^2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r_{(-)}^2} \\
 &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \left(z - \frac{1}{2}d\right)^2} - \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \left(z + \frac{1}{2}d\right)^2}.
 \end{aligned}$$



Em geral, estamos interessados no efeito elétrico de um dipólo a distâncias que são grandes comparadas com as dimensões do dipólo, isto é, $z \gg d$.

Podemos reescrever o resultado para o campo

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 z^2} \left[\left(1 - \frac{d}{2z}\right)^{-2} - \left(1 + \frac{d}{2z}\right)^{-2} \right] \text{ como}$$

Binomial Theorem

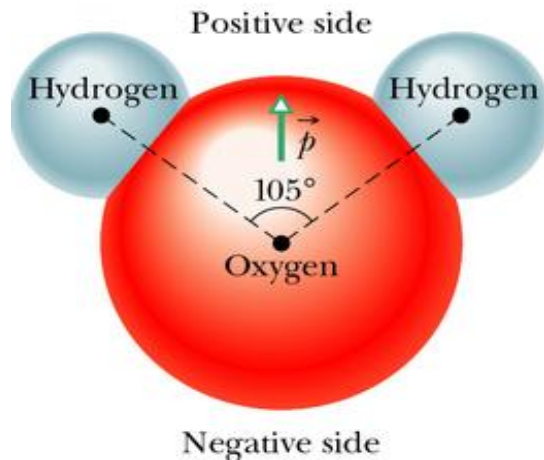
$$(1 + x)^n = 1 + \frac{nx}{1!} + \frac{n(n-1)x^2}{2!} + \dots \quad (x^2 < 1)$$

$$\left[\left(1 + \frac{2d}{2z(1!)} + \dots\right) - \left(1 - \frac{2d}{2z(1!)} + \dots\right) \right]$$

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 z^2} \left[\left(1 + \frac{d}{z} + \dots\right) - \left(1 - \frac{d}{z} + \dots\right) \right]$$

$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{p}{z^3} \quad \text{Como } d/z \ll 1$$

Adotamos como sentido de $p = qd$ o da extremidade negativa para a extremidade positiva.

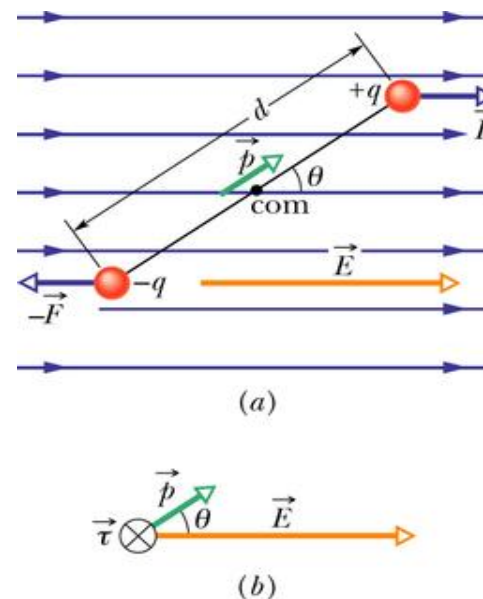


Uma molécula de água é um dipólo elétrico. Na molécula de água os átomos de O e H não estão em linha reta, e fazem um ângulo de 105° . Os 10 elétrons da molécula tendem

a permanecer mais próximo do núcleo de oxigênio do que do núcleo de hidrogênio. Isto faz com que o "lado do O" seja ligeiramente mais negativo do que o "lado do H". O momento de dipólo resultante aponta ao longo do eixo de simetria da molécula.

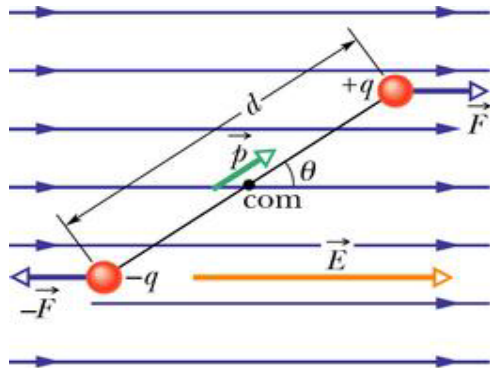
O momento de dipólo da água é o principal responsável pela absorção de energia pelos alimentos colocados num forno microondas.

Como todas as ondas eletromagnéticas, as microondas têm um campo elétrico oscilante que provoca a vibração dos dipólos elétricos. A vibração do momento de dipólo elétrico na molécula de água, em ressonância com o campo elétrico oscilante das microondas, provoca a absorção de energia desta radiação.



Quando uma molécula polar é colocada num campo elétrico externo uniforme, não há força resultante, mas aparece um torque que tende a girar a molécula de modo que o dipólo se alinhe com o campo.

UM DIPÓLO EM UM CAMPO ELÉTRICO



Num campo elétrico uniforme o dipólo sofre a ação de duas forças iguais e opostas que tendem a girar o dipólo, alinhando o momento de dipólo com o campo elétrico. Como o campo elétrico é uniforme, a força resultante sobre o

dipólo é nula, e o centro de massa do dipólo não se move.

No entanto, as forças sobre as extremidades carregadas produzem um torque resultante sobre o dipólo em torno de seu centro de massa. O seu centro de massa está localizado sobre a linha que une as extremidades carregadas, a uma distância x de uma das extremidades, e a uma distância d-x da outra extremidade. A intensidade do torque resultante é

$$\tau = Fx \sin \theta + F(d-x) \sin \theta = Fd \sin \theta = pE \sin \theta.$$

Podemos generalizar, $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$

$$\tau = -pE \sin \theta.$$



A direção do torque é perpendicular à página e o seu sentido é para dentro da página.

Energia potencial de um dipólo elétrico

A energia potencial de um dipólo elétrico pode ser associada com a orientação do dipólo com um campo elétrico.

O dipólo possui energia potencial mínima quando está na sua orientação de equilíbrio, que ocorre quando \vec{p} está alinhado com o campo \vec{E} , e é maior em todas as outras direções.

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E} = 0$$

Girar o dipólo exige realização de trabalho por algum agente externo. Vamos considerar a energia potencial nula quando $\theta = 90^\circ$, porque simplifica a expressão

$$\Delta U = -W$$

$$U = -W = - \int_{90^\circ}^{\theta} \tau d\theta = \int_{90^\circ}^{\theta} pE \sin \theta d\theta.$$

$$U = -pE \cos \theta.$$

Generalizando,

$$U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$$

A energia potencial é mínima quando $\theta = 0^\circ$ ($U = -pE$) e é máxima quando $\theta = 180^\circ$ ($U = pE$).

APLICAÇÃO: FORNO MICROONDAS



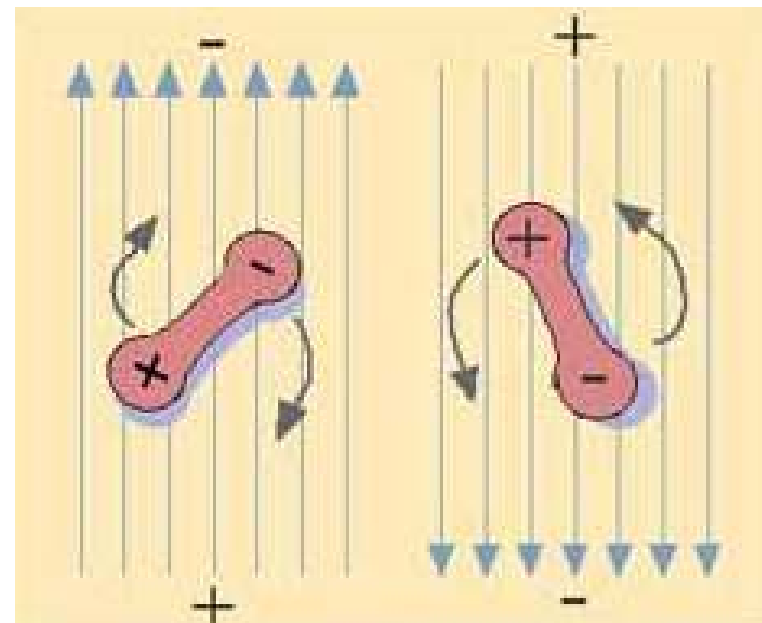
O forno de microondas não fornece calor, ele atua exclusivamente sobre as moléculas de água dos alimentos. Alimentos secos ou recipientes não são aquecidos pelo microondas, embora, com o tempo, o alimento aquecido possa aquecer o recipiente por condução.

As microondas têm alta capacidade de penetração nos alimentos, causando a agitação das moléculas e resultando no calor, que possibilita o cozimento por dentro e não a partir da superfície, como ocorre nos fornos convencionais. Além disso, não fazem vibrar as moléculas de vidro ou plástico, que não se aquecem no interior do forno.

Como as moléculas de água dos alimentos têm uma carga elétrica diferente em seus pólos,

giram com a polaridade variável (direção) do campo elétrico. A fricção entre as moléculas giratórias produz calor e assim cozinha os alimentos.

Os recipientes metálicos não podem ser usados num forno de microondas porque o metal refletirá as ondas, impedindo que cheguem até o alimento.



Campo elétrico: distribuições contínuas de carga.

Em escala microscópica a carga elétrica é quantizada.

Nos casos gerais: a carga total pode ser considerada como distribuída uniformemente no espaço

Densidade de carga elétrica contínua \implies descreve um grande número de cargas elétricas discretas.

Análogo ao caso de se definir uma densidade de massa contínua para se descrever o ar atmosférico.

Em ambos os casos ΔV deve ser suficientemente grande para conter muitas cargas individuais ou moléculas, e, ao mesmo tempo, suficientemente pequena, de modo que $\Delta V \implies dV$.

Vamos descrever a carga elétrica por unidade de volume pela densidade volumétrica

$$\rho = \Delta Q / \Delta V$$

A distribuição de cargas sobre uma superfície é chamada $\sigma \implies$ densidade superficial de carga

$$\sigma = \Delta Q / \Delta S$$

A distribuição de carga ao longo de uma linha \implies densidade linear de cargas

$$\lambda = \Delta Q / \Delta L$$

Como calcular o campo elétrico provocado por diversos tipos de distribuições contínuas de carga?

Como relacionar a Lei de Coulomb à uma distribuição contínua de carga?

Cálculo do campo elétrico usando a Lei de Coulomb \implies campo elétrico dE no ponto P

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2}$$

O campo elétrico de uma distribuição de carga pode ser calculado de maneira direta através da Lei de Coulomb.

Se suficientemente pequena, a distribuição de cargas dq pode ser considerada uma carga puntiforme.

O campo total

$$E = \int dE$$

