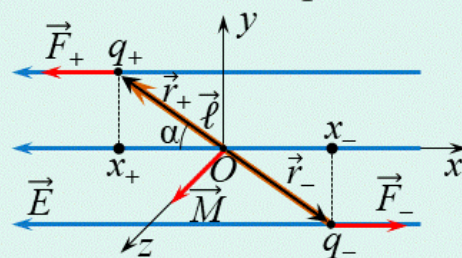




1. Во внешнем однородном электростатическом поле напряженностью  $\vec{E}$  на диполь действует сила

$$\vec{F} = \vec{F}_+ + \vec{F}_- = q_+ \vec{E} + q_- \vec{E} = |q| \vec{E} - |q| \vec{E} = \vec{0},$$

где  $\vec{F}_+$  и  $\vec{F}_-$  – сила, действующая на  $q_+$  и  $q_-$  соответственно.



Суммарный момент  $\vec{M}$  пары сил  $\vec{F}_+$  и  $\vec{F}_-$ :

$$\begin{aligned} \vec{M} &= \vec{M}_+ + \vec{M}_- = [\vec{r}_+, \vec{F}_+] + [\vec{r}_-, \vec{F}_-] = \\ &= \left[ \frac{\vec{\ell}}{2}, q_+ \vec{E} \right] + \left[ -\frac{\vec{\ell}}{2}, q_- \vec{E} \right] = \left[ \frac{|q| \vec{\ell}}{2}, \vec{E} \right] + \left[ \frac{+|q| \vec{\ell}}{2}, \vec{E} \right] = [|q| \vec{\ell}, \vec{E}] = [\vec{p}, \vec{E}], \\ \vec{M} &= [\vec{p}, \vec{E}], \quad M = pE \sin \alpha, \end{aligned} \quad (9.46)$$

где  $\vec{p} = |q| \cdot \vec{\ell}$  – дипольный момент диполя;  $\alpha$  – угол между  $\vec{p}$  и  $\vec{E}$ .

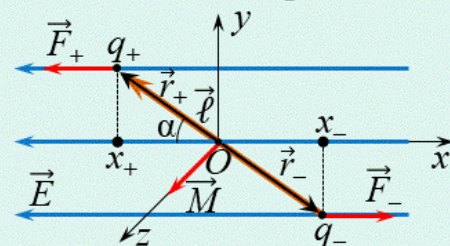
Момент сил  $\vec{M}$  стремится повернуть дипольный момент  $\vec{p}$  диполя в направлении  $\vec{E}$  внешнего поля.

Потенциальная энергия  $W^p$  диполя во внешнем однородном электростатическом поле:

$$W^p = W_+^p + W_-^p =$$

$$= q_+ \varphi_+ + q_- \varphi_- = |q|(\varphi_+ - \varphi_-), \quad (9.47)$$

где  $\varphi_+$  и  $\varphi_-$  – потенциал внешнего поля в точках расположения  $q_+$  и  $q_-$  соответственно.



В однородном электростатическом поле соотношение (9.38) имеет вид:

$$E_x = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta x} = -\frac{\varphi_+ - \varphi_-}{x_+ - x_-} = -\frac{\varphi_+ - \varphi_-}{-\ell \cos \alpha} = \frac{\varphi_+ - \varphi_-}{\ell \cos \alpha}, \quad (9.48)$$

где  $x_+$  и  $x_-$  – координаты точек расположения  $q_+$  и  $q_-$  соответственно.

Из (9.48):  $\varphi_+ - \varphi_- = E_x \ell \cos \alpha = |E_x = -E| = -E \ell \cos \alpha. \quad (9.49)$

(9.49)  $\rightarrow$  в (9.47):

$$W^p = -|q| E \ell \cos \alpha = -p E \cos \alpha = -(\vec{p}, \vec{E}).$$



Потенциальная энергия  $W^p$  диполя во внешнем однородном электростатическом поле напряженностью  $\vec{E}$ :

$$W^p = -(\vec{p}, \vec{E}). \quad (9.50)$$

Из (9.50) следует, что диполь обладает:

- минимальной потенциальной энергией

$$W_{\min}^p = -pE$$

в положении  $\vec{p} \uparrow \uparrow \vec{E}$  (положение устойчивого равновесия);

- максимальной потенциальной энергией

$$W_{\max}^p = pE$$

в положении  $\vec{p} \uparrow \downarrow \vec{E}$  (положение неустойчивого равновесия).

Во всех остальных случаях возникает момент сил (9.46), поворачивающий диполь в положение устойчивого равновесия ( $\vec{p} \uparrow \uparrow \vec{E}$ ).



2. Во внешнем неоднородном электростатическом поле на точечный диполь, как и в случае однородного поля, действует момент сил (9.46) и этот диполь обладает потенциальной энергией (9.50). Однако, действующая при этом на диполь сила  $\vec{F} \neq \vec{0}$ :

$$\begin{aligned}\vec{F} &= \vec{F}_+ + \vec{F}_- = q_+ \vec{E}_+ + q_- \vec{E}_- = \\ &= |q| \vec{E}_+ - |q| \vec{E}_- = |q| (\vec{E}_+ - \vec{E}_-),\end{aligned}$$

где  $\vec{E}_+$  и  $\vec{E}_-$  – напряженность поля в точках нахождения зарядов  $q_+$  и  $q_-$  соответственно.

Для точечного диполя ввиду малости  $\ell$  разность  $\vec{E}_+ - \vec{E}_-$  можно приближенно заменить дифференциалом функции  $\vec{E} = \vec{E}(x, y, z)$ :

$$\vec{E}_+ - \vec{E}_- \approx d\vec{E}(x, y, z) = \frac{\partial \vec{E}}{\partial x} \cdot dx + \frac{\partial \vec{E}}{\partial y} \cdot dy + \frac{\partial \vec{E}}{\partial z} \cdot dz.$$

Т. к.  $\ell$  – мало, то  $dx \approx \ell_x$ ,  $dy \approx \ell_y$ ,  $dz \approx \ell_z$ ,

поэтому

$$\vec{E}_+ - \vec{E}_- \approx \ell_x \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial x} + \ell_y \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial y} + \ell_z \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial z}.$$

