

12. Диполь. Электрическое поле в диэлектрике и проводнике.

Def. Диполь - система из двух одинаковых по модулю разноименных точечных зарядов $+q$ и $-q$, находящихся на расстоянии l друг от друга.

Диполи в физике:

- небольшие проводящие или диэлектрические тела в электрическом поле
- полярные молекулы

Электрический момент - основная характеристика диполя. Электрический момент - вектор $\vec{p} = q\vec{l}$, направленный от отрицательного заряда к положительного. Будем называть центром диполя середину вектора l

Ex. 1. Найдем потенциал поля в точке на оси диполя на расстоянии r от центра диполя

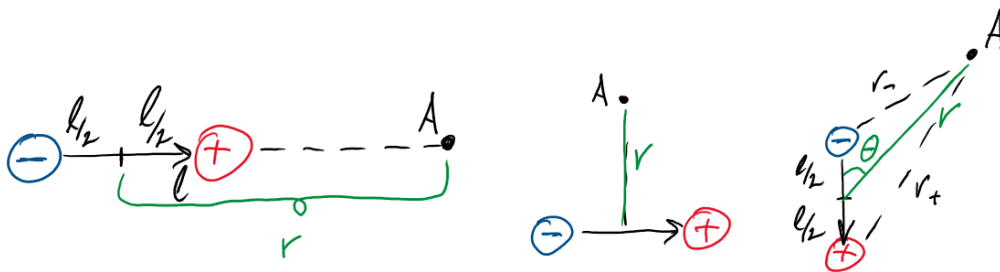
$$\varphi = \varphi_- + \varphi_+ = -\frac{kq}{r_-} + \frac{kq}{r_+} = kq \left(\frac{1}{r - \frac{l}{2}} - \frac{1}{r + \frac{l}{2}} \right) = \frac{kql}{r^2 - \frac{l^2}{4}}$$

Так как $l \ll r$, $\varphi = \frac{kql}{r^2} = \frac{kp}{r^2}$

Ex. 2. Найдем потенциал поля в точке на перпендикуляре, проведенном через середину оси диполя, на расстоянии r от центра

$$\varphi = \varphi_- + \varphi_+ = -\frac{kq}{r_-} + \frac{kq}{r_+} = -\frac{kq}{r'} + \frac{kq}{r'} = 0 \text{ - в силу симметрии}$$

Ex. 3. В общем случае $\varphi = \frac{kp}{r^2} \cdot \cos \theta$, где $\cos \theta$ - острый угол между l и радиус-вектором r из центра диполя в точку



Ex. 4. Найдем напряженность поля в точке на оси на расстоянии r

$$E = E_- - E_+ = \frac{kq}{r_-^2} - \frac{kq}{r_+^2} = \frac{2kqrl}{(r - \frac{l}{2})^2(r + \frac{l}{2})^2}$$

При $l \ll r$ получаем $E = \frac{2kpr}{r^4} = \frac{2kp}{r^3}$

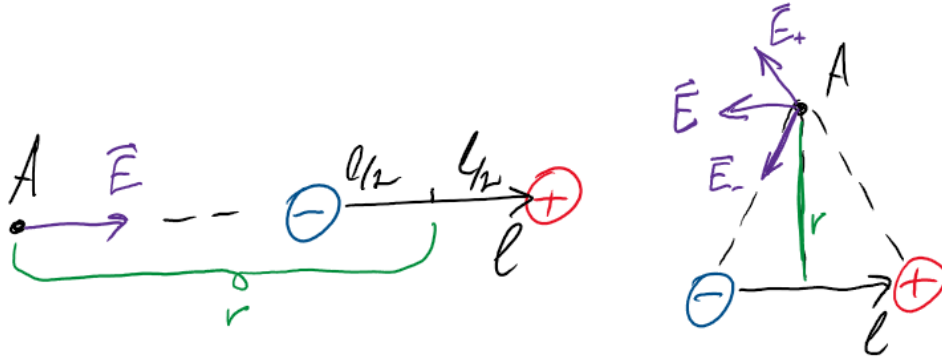
Ex. 5. Найдем напряженность поля в точке на перпендикуляре

По правилу суперпозиции вектор будет направлен влево

$$\vec{E} = \vec{E}_+ + \vec{E}_-$$

$$E = 2E_+ \cos \alpha = \frac{2kq \cos \alpha}{r^2 + \frac{l^2}{4}} = \frac{2kq \frac{l}{2r_+}}{r^2 + \frac{l^2}{4}} \approx \frac{kp}{r^3}$$

Ex. 6. В общем случае $E = \frac{kp}{r^3} \sqrt{1 + 3 \cos^2 \theta}$



Ex. 7. Если диполь поместить в однородное поле ($\vec{E} = \text{const}$), то суммарная сила поля на заряды диполя равна 0. Однако, если ось диполя расположена непараллельно линиям напряженности, то возникнет момент пары сил, заставляющий прийти диполь в устойчивое положение

Ex. 8. В неоднородном поле

$$\vec{F} = \vec{F}_+ + \vec{F}_- = q(\vec{E}_- + \vec{E}_+) = q\Delta\vec{E}$$

$$\Delta\vec{E} = \frac{\Delta\vec{E}l}{l} = \frac{\partial\vec{E}}{\partial l}l \implies \vec{F} = p \frac{\partial\vec{E}}{\partial l}$$

Найдем момент сил, действующих на диполь в неоднородном поле:

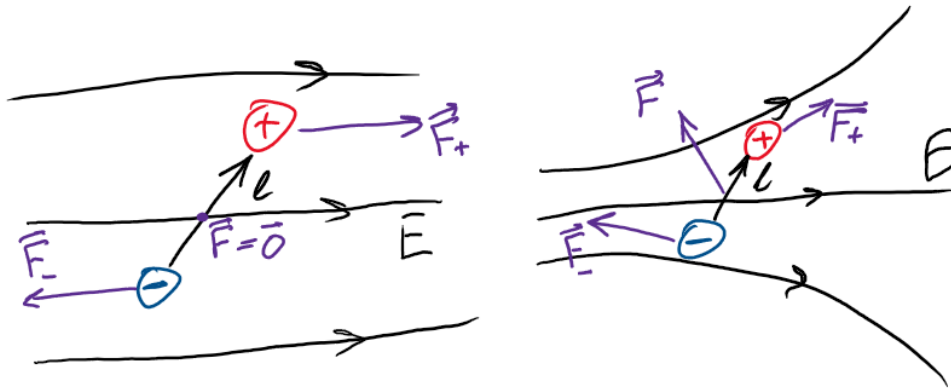
$$\vec{F}_+ = q\vec{E}_+ \quad \vec{F}_- = q\vec{E}_- \quad (|\vec{E}_+| = |\vec{E}_-|)$$

$$\vec{M} = \vec{M}_1 + \vec{M}_2 = [\vec{r}_+ \vec{F}_+] + [\vec{r}_- \vec{F}_-] = [\vec{r}_+ \vec{F}_+] - [\vec{r}_- \vec{F}_+] = [\vec{r}_+ - \vec{r}_-, q\vec{E}] = [\vec{l}, q\vec{E}] = [\vec{p}\vec{E}]$$

$$\vec{M} = [\vec{p}\vec{E}]$$

Если $\vec{p} \uparrow \uparrow \vec{E}$, $\vec{M} = 0$ - устойчивое положение равновесия

Если $\vec{p} \uparrow \downarrow \vec{E}$, $\vec{M} = 0$ - неустойчивое положение



Энергия пары зарядов в поле

$$W = q\varphi_+ - q\varphi_- = q\Delta\varphi \quad W = q \frac{\partial\varphi}{\partial l} l$$

Получаем $\frac{\partial\varphi}{\partial l} = -E_l$

Def. Проводники - тела, в которых имеются свободные заряды, способные свободно перемещаться внутри этих тел, следовательно, проводящие точки

Def. Диэлектрики-изоляторы - вещества, практически не проводящие электрического тока. В диэлектрике нет свободных зарядов, способных перемещаться на значительные расстояния

Def. Полярные молекулы - молекулы, у которых центр «тяжести» отрицательного заряда сдвинут относительно положительного. В отсутствие внешнего электрического поля обладают собственным дипольным моментом

Def. Неполярные молекулы - молекулы, у которых центры положительного и отрицательного зарядов совпадают

Def. Поляризация - физический процесс пространственного разделения зарядов под действием внешнего электрического поля

При внесении неполярного диэлектрика во внешнее электрическое поле внутри каждой молекулы происходит смещение зарядов

В полярном диэлектрике диполи направлены хаотично, поэтому их сумма приблизительно равна нулю. При внесении полярного диэлектрика происходит ориентация дипольных моментов по направлению поля

На поверхности диэлектрика в результате поляризации появляются связанные (поляризационные) заряды. Обозначаются $q_{\text{связ}}, \sigma_{\text{связ}}, q', \sigma'$

Свободные (сторонние) заряды - заряды, которые под действием внешнего поля могут перемещаться по всему объему вещества. Такие заряды по определению не содержатся в диэлектриках.

Обозначаются $q_{\text{своб}}, \sigma_{\text{своб}}, q', \sigma'$