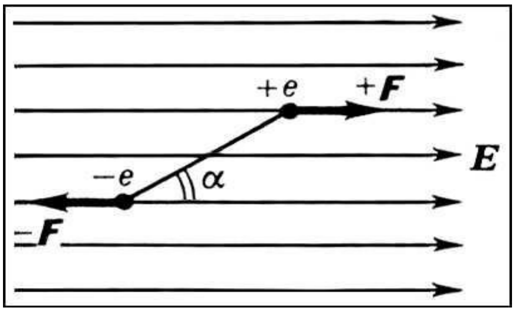
Электрический диполь.
Поведение диполя в электрическом поле.

Электрический диполь(«двойной полюс») - система двух одинаковых по модулю разноимённых точечных зарядов находящихся на фиксированном расстоянии друг от друга. Вектор, направленный от $-q$ к q, называется плечо диполя.

$\vec{p}=q\vec{l}$; $\vec{p}\uparrow\uparrow\vec{l}$; p — дипольный момент; $[p]=Кл\cdot м$

Диполь называется точечным, если характерные размеры пространства, где он находится, значительно больше его плеча.

1. Диполь в однородном поле



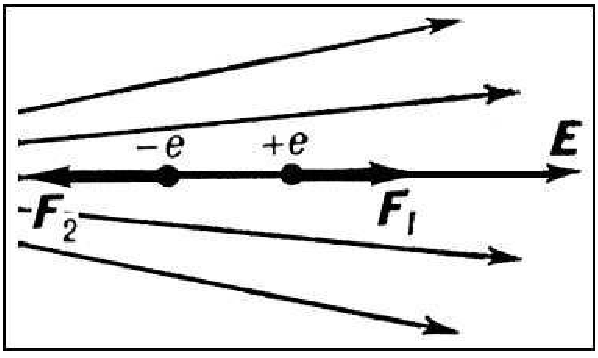
$\vec{p}=q\vec{l}$
$\alpha=(\vec{p}\wedge\vec{E})$
$\vec{F}=q\vec{E}$
$\vec{F}_+=(-q)\vec{E}$
$\vec{F}=-\vec{F}_-$
$F_{развод}=\vec{F}_++\vec{F}_-=0$

Равнодействующая сила равна нулю,
следовательно в целом диполь не меняет своего положения. Однако, на диполь действует момент силы, вычислим момент сил, действующих на диполь, относительно точки **O**.

$\vec{M}=\vec{M}_++\vec{M}_-$
$\vec{M}_+=\left[\frac{\vec{l}}{2}\times\vec{F}_+\right]$
$\vec{M}=\left[\frac{-\vec{l}}{2}\times\vec{F}_-\right]$, $\vec{F}_-=-\vec{F}_+$, $\vec{M}=\left[\frac{\vec{l}}{2}\times\vec{F}_+\right]$
$\vec{M}=[\vec{p}\times\vec{E}]$, $|\vec{M}|=PE\sin\alpha$

Момент сил, действующие на диполь — это момент пары сил, стремящееся развернуть диполь в положение устойчивого равновесия.
Устойчивое равновесие: $M=0\Rightarrow PE\sin\alpha=0\Rightarrow\alpha=0$ $\vec{P}\uparrow\uparrow\vec{E}$
Не устойчивое равновесие: $M=0$, $\alpha=180$

2. Неоднородное электрическое поле



На разные заряды, будут действовать разные силы.

$\vec{F}_+=q\vec{E}_+$; $\vec{F}_-=(-q)\vec{E}_-$
$\vec{E}_-=\vec{E}(r1)$
$\vec{E}_+=\vec{E}(r2)$
$|\vec{E}_+|\neq|\vec{E}_-|$
$\vec{F}=\vec{F}_++\vec{F}_-$ - равнодействующая
$\vec{F}=q\vec{E}(r1)-q\vec{E}(r2)$

F_r — проекция на радиальное направление(на силовую линию)

$$F_r = q\frac{E_r(r2) - E_r(r1)}{(r_2 - r_1)}(r_2 - r_1) = q\frac{\Delta E_r}{\Delta r} l\cos\alpha = ql\frac{\Delta E_r}{\Delta r}\cos\alpha = p\cos\alpha\frac{\Delta E}{\Delta r} = P_r\frac{\Delta E_r}{\Delta r}$$

$$\Delta r = l\cos\alpha$$

$$F_r = P_r\frac{dE_r}{dr} \quad , \quad F_x = P_x\frac{dE_x}{dx}$$

В неоднородном электронном поле на диполь, во первых, действует момент сил, стремящийся развернуть его и во вторых, действует сила, направленная в строну наибольшего возрастания напряженности, величина этой силы пропорциональна быстроте изменения напряженности.

Энергия диполя в электрическом поле

Вычислим работу, совершаемую силами поля при повороте диполя в однородном поле от угла α_1 до угла α_2 .

$\alpha_1 \rightarrow \alpha_2$ ($\alpha_2 < \alpha_1$)

$$A_{1\rightarrow 2} = ?$$

$$A_{1\rightarrow 2} = W_1 - W_2$$

$$dA = (\vec{M}\cdot d\vec{\varphi})$$

$dA = |\vec{M}|\cdot|d\vec{\varphi}|\cos 0 =$, так как $\vec{M}\uparrow\uparrow d\vec{\varphi}$

$= PE\sin\alpha\cdot(-d\alpha)$

$$A_{1\rightarrow 2} = \int_{(.)1}^{(.)2} dA = -\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} PE\sin\alpha\, d\alpha = -PE(-\cos\alpha) = PE\cos\alpha_2 - PE\cos\alpha_1$$

$$A_{1\rightarrow 2} = (-PE\cos\alpha_1) - (-PB\cos\alpha_2)$$

$$W = -(\vec{p}\cdot\vec{E})$$

Работа сил электрического поля при перемещении заряда.
Потенциал, разность потенциалов, потенциал поля точечного заряда.

Рассмотрим электростатическое поле, создаваемое зарядом q . В этом поле переместим заряд q из точки a в точку b . При этом перемещении, сила кулона, действующая на q , совершает работу. Величина работы равна(из механики)

$$A_{A\rightarrow B} = \underbrace{k\frac{Qq}{r_A}}_{W_A} - \underbrace{k\frac{Qq}{r_b}}_{W_B} \quad (*)$$

Пусть электрическое поле создаётся не точечным зарядом, а любым заряженным телом. Это тело можно представить как совокупность точечных зарядов. Электрическое поле создаваемое всем телом, тоже потенциально. Заряд ещё одного поля обладает потенциальной энергией. И при перемещении заряда из точки A в точку B работу можно представить таким образом: $F_{A\rightarrow B} = W_A - W_B$ (**)

Потенциалом электрического поля в некоторой точке называется отношение потенциальной энергии положительного точечного заряда, помещённого в эту точку, к величине заряда.

$\varphi_A = \frac{W_A}{q}$ - потенциал электрического поля в точке A , $q > 0$

Поскольку потенциальная энергия определена с точностью до произвольной постоянной, то и постоянная энергия определена с точностью до произвольной постоянной.

$[\varphi] = \frac{Дж}{Кл} = В$

$W_a = q\varphi_A \Rightarrow A_{A \to B} = q\varphi_A - q\varphi_B$

$A_{A \to B} = q(\varphi_A - \varphi_B)$

$\varphi_A - \varphi_B = U_{AB}$ - разность потенциалов. $[U] = В$

Физический смысл разности потенциалов

$\varphi_A - \varphi_B = A_{A \to B}$, если $q = 1\,Кл$

Разность потенциалов между двумя точками поля, равна работе электрической силы по перемещению заряда в 1 Кл между этими точками.

Физический смысл потенциала

$\varphi_A = A_{A \to B}$, если $q = 1\,Кл$ и $\varphi_B = 0$

Потенциал в данной точке поля равен работе совершаемой электрическим полем при перемещении заряда в 1 Кл из этой точки в точку, потенциал которой принят за 0.

$A = qu$ позволяет ввести внесистемную единицу энергии.

1 эВ — это работа, которую совершает электрически заряд при перемещении одного электрона между точками с разностью потенциалов 1 В.

$1\,эВ = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,Кл \cdot 1\,В = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,Кл \cdot В = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,Дж$

Получим выражение для потенциала создаваемого точечным зарядом

$\varphi_A = ?$

$(*) \quad \Rightarrow W_A = \frac{kQq}{r_A}$

$\varphi_A = \frac{\frac{kQq}{r_A}}{q} = \frac{kQ}{r_a} \Rightarrow \varphi(r) = k\frac{Q}{r}$

Потенциал поля, создаваемого точечного заряда Q в точке A на расстоянии r от Q .

$\varphi(r) \to 0$, при $r \to \infty$, это означает, что потенциал бесконечно удалённой точки принят за ноль.

Энергия, системы, заряды

1. Рассмотрим систему двух точечных зарядов

$n=2$

$W_{12}=k\frac{q_1 q_2}{r_{12}}$, придадим этой формуле симметричный вид

$$W_{12}=\frac{1}{2}\left(q_2\underbrace{\frac{k q_1}{r_{12}}}_{\varphi_{2,1}}+q_1\underbrace{\frac{k q_2}{r_{21}}}_{\varphi_{1,2}}\right)=\frac{1}{2}\left(q_2\varphi_{2,1}+q_1\varphi_{1,2}\right)$$

$\varphi_{1,2}$ — потенциал, создаваемый вторым зарядом в точке, где находится первый

$\varphi_{2,1}$ — потенциал, создаваемый первым зарядом в точке, где находится второй

2)

$n=3$

$$W_{123}=W_{12}+W_{23}+W_{13}=\frac{1}{2}\left(q_1\varphi_{1,2}+q_2\varphi_{3,1}\right)+\frac{1}{2}\left(q_2\varphi_{3,2}+q_3\varphi_{3,2}\right)+\frac{1}{2}\left(q_1\varphi_{1,3}+q_3\varphi_{3,1}\right)=$$

$$=\frac{1}{2}\left(q_1\left(\varphi_{1,2}+\varphi_{1,3}\right)+q_2\left(\varphi_{2,1}+\varphi_{2,3}\right)+q_3\left(\varphi_{3,1}+\varphi_{3,2}\right)\right)=\frac{1}{2}\left(q_1\varphi_{1,23}+q_2\varphi_{2,13}+q_3\varphi_{3,21}\right)$$

3) n **зарядов**

$W_{12..n}=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}q_i\varphi_i$; φ_i — потенциал электрического поля, созданный всеми зарядами, кроме $i-го$, в точке, где находится q_i