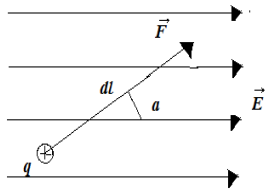


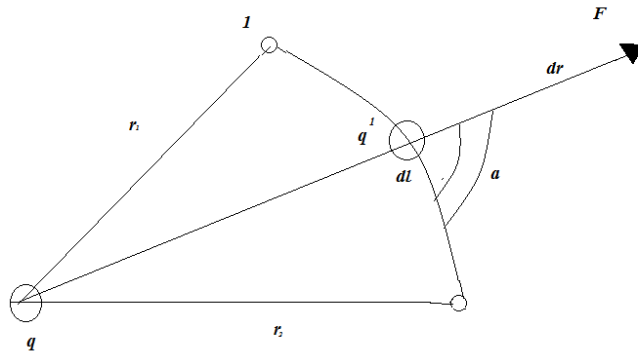
3.4 Электростатикалық өрістің потенциалы. Электр өрісіндегі жұмыс пен энергия. Потенциалдар градиенті

Зарядтарды электростатикалық өріске ауыстырғанда, оларға түсірілетін күштер жұмыс атқарады. Электростатикалық күштердің бір ерекшелігі олардың заряд орын ауыстырғандағы жұмысы, зарядтың қандай жолмен орын ауыстырғандығына байланыссыз, тек зарядтың шамасы мен оның бастапқы және соңғы орнына ғана байланысты болады. Өрістің осы қасиеті оның кез келген нүктесінің **потенциалы** деп аталатын ерекше функциясымен сипатталады. Заряд бір нүктеден екінші нүктеге орын ауыстырғанда істелетін жұмыс сол екі нүктедегі потенциалдар мәндерінің айырмасымен анықталады. Олай болса, зарядтың электростатикалық өрістегі жұмысының энергиясы потенциалдық энергия ($A = E_p$) болып табылады. Зарядтың әртүрлі нүктелеріндегі энергиясы түрліше және ол энергияның мәні өрістің қасиеті мен зарядтың шамасына ғана байланысты болады. Енді бір нүктелік оң заряд біртекті электр өрісінде қозғалып, dl арақашықтыққа F күштің әсерімен орын ауыстырса, онда оның істеген элементар жұмысы $dA = F dl \cos \alpha$. мұндағы: $F = qE$, E - электр өрісінің кернеулігі. Сонд жұмыс: $dA = qEdl \cdot \cos \alpha$, ал толық жұмыс

$$A = \int_0^l qE l \cos \alpha. \quad (3.27)$$



3.7-сурет.



3.8- сурет.

Электростатикалық өріс күштерінің потенциалдығына көз жеткізу үшін қозғалмайтын нүктелік оң q зарядтың өрісіндегі q' нүктелік зарядтың орын ауыстырғанда істеген жұмысын есептейміз. (3. 8 -сурет).

Сонда dl элементар жолдағы істелген жұмыс: $dA = Fdl\cos\alpha = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1q_2^2}{r^2} \cos\alpha$,

мұндағы: $dl \cdot \cos\alpha = dr$ десек, онда

$$dA = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1q'}{r^2} dr.$$

q' зарядтың 1– нүктеден 2 – нүктеге орын ауыстырғандағы жұмысы:

$$A_{12} = \int_{r_1}^{r_2} dA = \frac{q_1q'}{4\pi\varepsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{q_1q'}{4\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right). \quad (3.28)$$

Сонымен, q' зарядтың электр өрісіндегі 1– нүктеден 2 – нүктеге орын ауыстырғандағы істелетін жұмыс орын ауыстыру жолының пішініне байланысты емес, тек қана осы зарядтың бастапқы және соңғы орнына ғана байланысты болады. Демек, q' зарядқа әсер ететін қозғалмайтын q заряд өрісінің күштері потенциалдық болып табылады.

Потенциалдық күштердің тұйықталған L жолдағы жұмысы нөлге тең екенін біз бұрыннан білеміз

$$\oint_L dA = 0 \quad (3.29)$$

Себебі, $dA = qE dl \cos \alpha$. Мұндағы: $E \cos \alpha = E_1$ десек, онда $dA = qE_1 dl$.

Ал $q = \text{const}$ болғандықтан, $\oint_L E_1 dl = 0$. Олай болса, осындай тұйықталған жолдың бойымен нүктелік оң заряд айнала қозғалғанда, электр өрісінің күштері орындайтын жұмыс мына өрнекпен көрсетіледі:

$$\oint_L E_1 dl = 0 \quad (3.30)$$

Осы $\oint_L E_1 dl$ интеграл электростатикалық кернеулік векторының циркуляциясы деп аталады. Электростатикалық өрісте электр күштерінің тұйықталған жолдағы жұмысы, яғни электростатикалық кернеулік векторының циркуляциясы нөлге тең. Механика курсынан потенциалдық өрісте тұрған күштердің потенциалдық (E_p) энергиясы бар екенін және өріс күштерінің есебінен жұмыс істейтінін білеміз. Бір q зарядтық өрістің берілген нүктесіндегі энергиясы E_p болсын. Сонымен, **өрістің берілген нүктесіндегі потенциалы** деп электр өрісінде берілген нүктеге орналасқан зарядтың потенциалдық энергиясының сол зарядқа қатынасымен өлшенетін физикалық шаманы айтамыз. Потенциал өрістің

энергетикалық қасиетін сипаттайтындықтан скаляр шама болып есептеледі. Өрістегі нүктенің потенциалын φ әрпімен белгілейік

$$\varphi = \frac{E_P}{q} \quad (3.31)$$

Потенциал сан жағынан өрістің берілген нүктесіндегі нүктелік оң зарядтың потенциалдық энергиясына тең. Электр өрісіндегі потенциал ұғымын ғылыми тұрғыда 1828 жылы ағылшын ғалымы Грик (1793–1811) ашқан болатын, бірақ 1846 жылдан бастап В.Голионның еңбектерінің нәтижесінде кеңінен тарала бастады.

Енді q заряд өрісіндегі q' зарядтың 1 және 2 – нүктелеріндегі жұмысын оның потенциалдық энергиясының айырымы түрінде жазсақ

$$A_{12} = \frac{qq'}{4\pi\varepsilon_0 r_1} - \frac{qq'}{4\pi\varepsilon_0 r_2} = E_{P_1} - E_{P_2} \quad (3.32)$$

Бірақ зарядтың шексіздіктегі, яғни $r \rightarrow \infty$, потенциалдық энергиясы нөлге тең болса, онда оның бір r арақашықтықтағы потенциалдық энергиясы

$$E_P = \frac{qq'}{4\pi\varepsilon_0 r_1} \quad (3.33)$$

Атас зарядтардың потенциалдық энергиясы әдетте оң, ал әр атас зарядтардың потенциалдық энергиясы теріс болып есептеледі.

Егер бірнеше q_1, q_2, \dots, q_n нүктелік зарядтар жүйесінен пайда болса, онда зарядтардың осы өрістегі потенциалдық энергиясы зарядтар жүйесінің жеке туғызатын потенциалдық энергияларынң алгебралық

қосындысына тең. Енді нүктелік оң заряд q^1 1–нүктеден 2–нүктеге электростатикалық өріс күштері арқылы орын ауыстырғанда істелген жұмысты оның потенциалдар айырымы арқылы өрнектеледі.

Яғни, өріс күштерінің жұмысы заряд шамасын бастапқы және соңғы нүктелердегі потенциалдар айырымына көбейткенге тең. Осы өрнектен потенциалдар айырымын табуға болады. Бұдан потенциалдар айырымы сан жағынан нүктелік оң зарядты 1–нүктеден 2–нүктеге көшіру үшін кеткен жұмысқа тең болады. Ал бұл жұмыс потенциалдар айырымына тең болады. Егер оң заряд берілген нүктеден электрлік күштер арқылы шексіздікке қашықтатылса, онда (потенциалы нөлге тең жерде). Ал оның потенциалы берілген нүктеден шексіздікке қарай қашықтатқанда орындайтын жұмысына тең; бұдан энергияның өлшемі электронвольт (эВ) деп аталады. 1эВ – электронның бос кеңістіктегі қозғалысы кезінде потенциалдар айырымы ретінде 1В – қа тең шамасы алынады.

Электр өрісінің кернеулік векторының циркуляциясы

Нүктелік q зарядының өрісінде q_0 нүктелік заряды 1 нүктеден 2 нүктеге орын ауыстырғанда электр өрісінің зарядқа әсер еткен күшінің істейтін элементар жұмысы

$$dA = Fdl = Fdl \cos \alpha = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r^2} dl \cos \alpha \quad (3.34)$$

$$\text{мұнда } dr = dl \cos \alpha; \quad dA = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr; \quad (3.35)$$

$$\text{ТОЛЫҚ ЖҰМЫС } A = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{qq_0}{r_1} - \frac{qq_0}{r_2} \right) \quad (3.36)$$

(3.36) формуладан электр өрісінде істелген жұмыстың шамасы жүрілген жолға байланыссыз, тек зарядтың бастапқы және соңғы орындарына тәуелді екендігін көреміз. Олай болса, электростатикалық өріс потенциалды өріс болады. Потенциалды өрісте зарядқа әсер ететін күш консервативтік күш болады.

Формуладан электр өрісінде тұйық контурдың бойымен істелген жұмыс нөлге тең болатынын көреміз

$$\int_L dA = 0 \quad \int_L Edl = 0 \quad \text{бұл интегралды кернеулік векторының циркуляциясы дейміз.}$$

Дөңгелек контурдың бойындағы электр өрісінің кернеулік векторының циркуляциясы әр уақытта нөлге тең болады.

Бұл электр өрісінің кернеулік сызықтарының тұйықталмайтындығын, тек зарядтан басталып, зарядқа аяқталатынын көрсетеді немесе шексізге кететіндігін көреміз.