

9 - laboratoriya ishi. Elektrostatik maydonni o'rganish

Ishdan maqsad: Ma'lum shakldagi elektrod o'tkazgich atrofida hosil bo'ladigan elektr maydon tabiatini o'rganish.

Kerakli asbob va buyumlar: o'zgarmas tok manbai, suv solingan vanna, turli shakldagi elektrodlar, potensiometr, voltmeter, galvanometr.

NAZARIY QISM

Har qanday elektr zaryad o'z atrofida elektr maydoni paydo qiladi. Agar zaryad tinch vaziyatda bo'lsa, uning paydo qilgan maydoni elektrostatik maydon deyiladi. Bu maydon yordamida zaryadlar o'zaro ta'sirlashadi. Zaryadlarning o'zaro ta'sirlashish kuchini Kulon qonuni asosida topish mumkin. Kulon qonuni quyidagicha ta'riflanadi: **Vakuumba joylashgan ikkita nuqtaviy q_0 va q zaryadning o'zaro ta'sir kuchi har bir zaryad kattaligiga to'g'ri mutanosib, ular orasidagi masofaning kvadratiga teskari mutanosib bo'lib, uning yo'nalishi zaryadlarni birlashtiruvchi to'g'ri chiziq bilan ustma-ust tushadi.** Halqaro birliklar sistmasi (SI) da Kulon qonuni quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$F = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q_0 \cdot q}{r^2} \quad (1)$$

bu yerda r - zaryadlar orasidagi masofa, q va q_0 - mos holda birinchi va ikkinchi nuqtaviy zaryadlarning miqdorlari, ϵ_0 -elektr doimiysi bo'lib, uning qiymati $\epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$ ga teng. (1) ning vektor ko'rinishdagi ifodasini quyidagicha yozish mumkin:

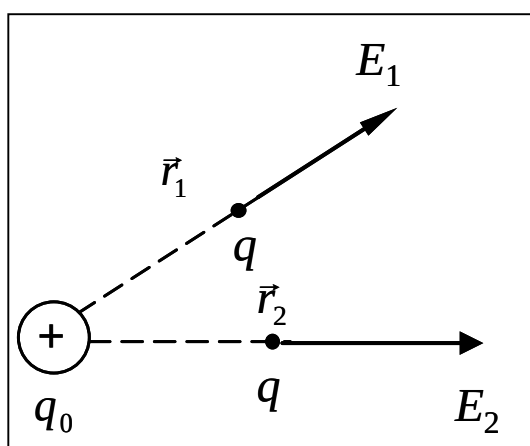
$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 q}{r^2} \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|} \quad (1')$$

Elektrostatik maydonning ta'sir darajasini harakterlash uchun elektr maydon potensiali va maydon kuchlanganligi deb nomlangan fizik kattaliklardan foydalaniladi. Jumladan, elektrostatik maydon kuchlanganligi shu maydonning biror nuqtasiga kiritilgan birlik musbat zaryadga ta'sir qiluvchi kuch miqdori bilan ulchanuvchi kattalikdir, ya'ni

$$\vec{E} = \vec{F} / q \quad (2)$$

Kuchlanganlik vektor kattalik bo'lib, uning yo'nalishi elektr maydonning har bir nuqtasida shu nuqtaga joylashtirilgan musbat sinov zaryadi q ga ta'sir qilayotgan kuch yo'nalishiga mos keladi. (1) formuladan kuch qiymatini (2) ifodaga qo'yib, nuqtaviy q_0 zaryad maydonining shu zaryaddan r_2 va r_1 o'zoqlikdagi nuqtalarda paydo qilgan maydon kuchlanganligini aniqlaymiz (1-rasm). Har bir nuqta uchun maydon kuchlanganligi mos ravishda

$$\vec{E}_1 = \frac{q_0}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r_1^2} \cdot \frac{\vec{r}_1}{|\vec{r}_1|}; \quad \vec{E}_2 = \frac{q_0}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r_2^2} \cdot \frac{\vec{r}_2}{|\vec{r}_2|}; \quad (3) \text{ bo'ladi.}$$

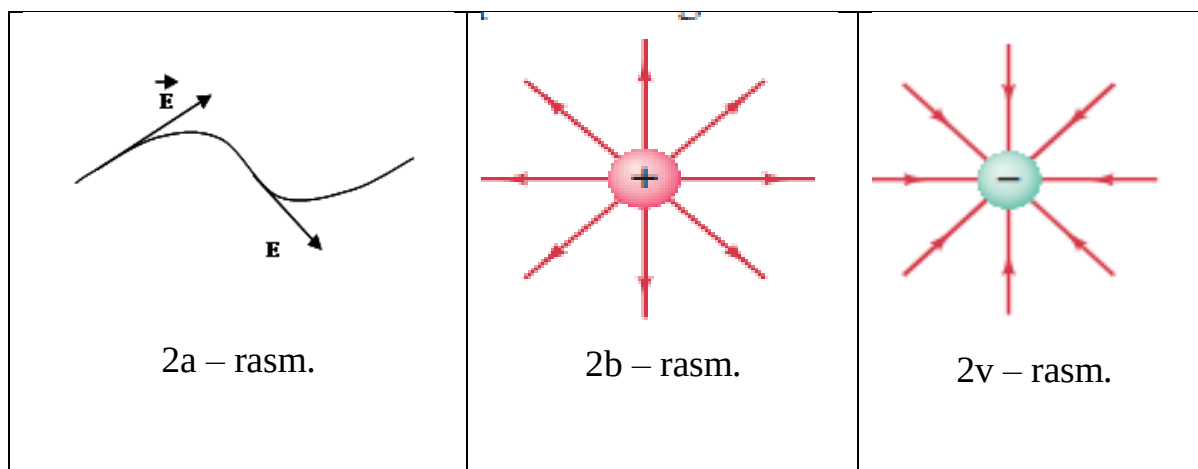


1-rasm

Demak, nuqtaviy q_0 zaryad paydo qilgan elektrostatik maydonning muayyan nuqtadagi kuchlanganligi shu zaryad miqdoriga to'g'ri proporsional, bu nuqta bilan zaryad o'rtasidagi masofa r ning kvadratiga teskari proporsional bo'lar ekan.

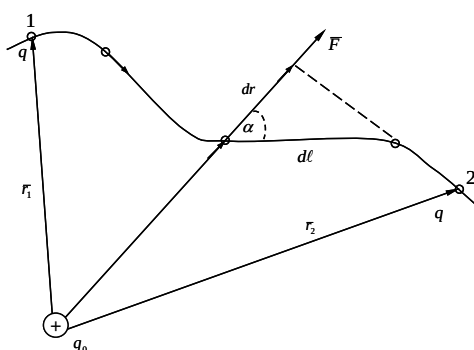
Elektrostatik maydonni har bir nuqta uchun $\vec{E}$ vektorning kattaligi va yo'nalishini ko'rsatish bilan belgilash mumkin. Elektrostatik maydonni grafik metod bilan kuchlanganlik chiziqlari yordamida tasvirlash alohida o'rin tutadi. Elektrostatik maydonning kuchlanganlik chiziqlari shunday tanlanadiki, ularning har bir nuqtasiga o'tkazilgan urinma maydonning shu nuqtadagi kuchlanganlik vektorini bilan ustma-ust tushadigan chiziqlar turkumiga mos kelsin (2a-rasm). Kuchlanganlik vektorini yo'nalishi **musbat zaryaddan chiqadi, manfiy zaryadga tushadi**, deb qabul qilingan. Misol tariqasida (2b-rasm) musbat ishorali, (2v-rasm) manfiy ishorali nuqtaviy kuchlanganlik chiziqlari tasvirlangan. Elektrostatik maydonning ikkinchi asosiy xarakteristikasi maydon potentsiali bo'ladi. Biror nuqtaviy q_0 zaryad paydo qilgan maydonning xoxlagan nuqtasiga ikkinchi q zaryad kiritilgan bo'lsin. Tabiiy-ki, bu zaryadga asosiy q_0 zaryadning maydoni vositasida biror $\vec{F}$ kuch ta'sir qiladi. Shu kuch ta'sirida q zaryad maydonning dastlabki bir nuqtasidan biror trayektoriya bo'ylab ikkinchi nuqtasiga ko'chishi mumkin. Bunda

ma'lum miqdorda A ish bajariladi. Bu ishning kattaligini aniqlash maqsadida q zaryadning ko'chish trayektoriyasini qismlarga bo'lamiz.



Uzunligi $d\ell$ ga teng bo'lgan har bir elementar yo'lda bajarilgan ishni quyidagicha aniqlaymiz (3-rasm).

$$dA = F \cdot d\ell \cdot \cos \alpha = F \cdot dr \quad (4)$$



3-rasm

Ko'chuvchi zardning dastlabki 1-holatini r_1 – radius vektor bilan, so'nggi 2-holatini r_2 – radius vektor bilan belgilab, q zaryadning 1-holatdan 2-holatga o'tishidagi umumiy bajarilgan ish miqdorini aniqlaymiz. Buning uchun Kulon qonuni formulasidan foydalanib (4) ifodani r_1 va r_2 interval oralig'ida integrallaymiz:

$$A_{12} = \int_1^2 dA = \frac{q_0 \cdot q}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{q_0 \cdot q}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot r_1} - \frac{q_0 \cdot q}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot r_2} \quad (5)$$

Bu ifodani soddalashtirishda q_0 zaryadni qo'zg'almas deb olinadi. (5) formuladan ko'rinadiki, bajarilgan ish q zaryadning maydonda bosib o'tgan yo'liga bog'liq bo'lmay, faqat uning dastlabki va oxirgi holatlari (r_1 va r_2) ga bog'liq ekan. Agar bajarilgan ish o'tilgan yo'l shakliga emas, balki bu zaryadning boshlang'ich va oxirgi vaziyatiga bog'liq bo'lsa, bunday maydon potensial maydon deyiladi. Demak

qo'zg'almas q_0 zaryad hosil qilgan elektrostatik maydon potensial maydon ekan. Bu maydonda q zaryadga ta'sir qiluvchi kuchlar potensial kuchlar deyiladi.

Potensial maydonda joylashgan q zaryad turli 1 va 2 nuqtalarda w_1 va w_2 potensial energiyaga ega bo'ladi. Demak, maydon kuchlari q zaryadning boshlang'ich 1 va oxirigi 2 vaziyatidagi potensial energiya miqdorining o'zgarishi hisobiga ish bajaradi:

$$A_{12} = \frac{q_0 \cdot q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r_1} - \frac{q_0 \cdot q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r_2} = W_1 - W_2 \quad (6)$$

Bu yerda W_1 va W_2 mos ravishda q zaryadning maydonning 1-va 2-nuqtalaridagi potensial energiyasidir:

$$W_1 = \frac{q_0 q}{4\pi\varepsilon_0 r_1}, \quad W_2 = \frac{q_0 q}{4\pi\varepsilon_0 r_2} \quad (7)$$

q zaryad potensial energiyasining shu q_0 zaryad miqdoriga nisbati asosiy zaryad maydonning muayyan nuqtasi uchun o'zgarmas kattalik bo'lib, maydonning shu nuqtasining potentsiali deb ataladi (bu kattalik φ harfi bilan belgilanadi), ya'ni:

$$\varphi = W/q \quad (8)$$

Bu formuladan potensial son jihatdan birlik musbat zaryadning maydondagi muayyan nuqtada potensial energiyasiga teng ekanligi ko'rinadi. Demak maydonning 1 va 2 nuqtalarining potentsiali mos ravishda

$$\varphi_1 = W_1/q \text{ yoki } \varphi_1 = \frac{q_0}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r_1}, \text{ va } \varphi_2 = W_2/q \text{ yoki } \varphi_2 = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0 r_2} \quad (9)$$

ko'rinishga ega bo'ladi. (9) ifoda asosida q zaryadni maydonning bir nuqtasidan ikkinchi nuqtasiga ko'chirishda bajariladigan ish

$$A_{1,2} = q (\varphi_1 - \varphi_2) \quad (10)$$

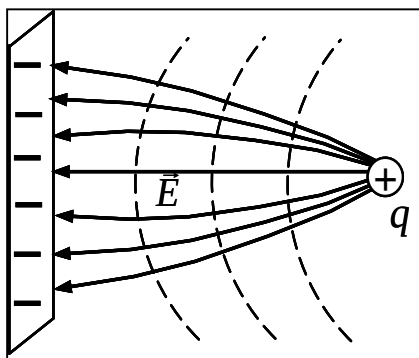
formula bilan aniqlanadi. Xuddi shu zaryadni maydonning biror nuqtasidan cheksizlikka ko'chirishda bajariladigan ish esa

$$A_{l, \infty} = q \varphi_1 \quad (11)$$

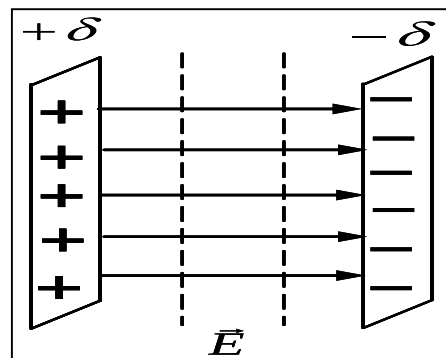
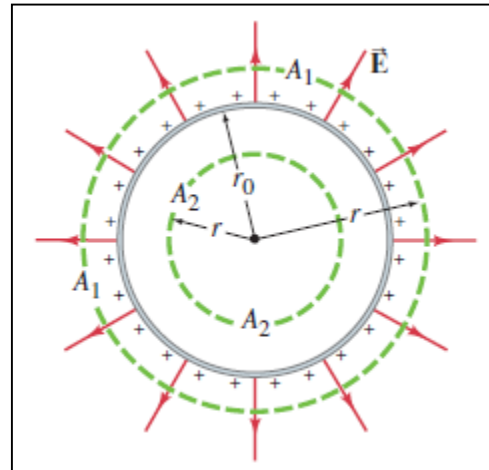
bo'ladi, chunki (9) ifodaga ko'ra $r_2 \rightarrow \infty$ da $\varphi_2 = 0$ (11) ifodani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\varphi_1 = \frac{A_\infty}{q} \quad (12)$$

Bundan potensial son jihatdan maydon kuchlarining birlik musbat zaryadni muayyan nuqtadan cheksizlikka ko'chirishda bajarilgan ishga teng, degan xulosaga kelamiz. SI - sistemasida potensial va potenciallar ayirmasi birligi sifatida **Volt** qabul qilingan. Qiymati bo'yicha 1 Volt shunday nuqtaning potensialiga tengki, 1 Kulon zaryadni cheksizlikdan shu nuqtaga kuchirish uchun 1 Joule ish bajarish kerak: $1 J = 1 Kl \cdot 1 V$ bundan $1 V = 1 J / 1 Kl$. Potensiallari teng bo'lgan nuqtalarning ham maydonning xususiyatini o'rganishdagi ahamiyati kattadir. Bunday nuqtalarning majmuasi **ekvipotensial sirt**ni tashkil qiladi. Ekvipotensial sirt bo'ylab q zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish (10) ifodaga asosan nolga tengdir, chunki $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$. U xolda (4) formulaga asosan trayektoriya bo'limida bajarilgan ish $F dl \cos \alpha$ ham nolga teng bo'ladi. Ammo $F \neq 0$ va $dl \neq 0$ bo'lganligi sababli, faqat $\cos \alpha = 0$ bo'lgandagina bu shart bajariladi. Demak, $\alpha = 90^\circ$ ga teng bo'lishi kerak ekan. Bu kuchlanganlik chiziklari ekvipotensial sirtga hamma vaqt perpendikulyar yo'nalgan ekanligini bildiradi.



4a-rasm



4b-rasm

4a-rasmda manfiy zaryadlangan tekislik va musbat zaryadlangan q nuqtaviy zaryad orasida vujudga kelgan elektr maydon, 4b-rasmda esa qarama-qarshi ishorali zaryadlar bilan zaryadlangan, teng sirtli va o'zaro parallel ikkita yassi plastinka o'rtasida hosil bo'lgan elektrostatik maydon kuch chiziqlari tasvirlangan. Bu rasmlarda punktir chiziqlar orqali ekvipotensial sirtlarning tasviri ham berilgan. Shunday qilib, elektrostatik maydonning har bir nuqtasini maydon kuchlanganligi hamda maydon potentsiali orqali ifodalash mumkin ekan. Endi bu kattaliklar orasidagi o'zaro bog'lanishni ko'raylik. Buning uchun maydonning kuch chizig'i yo'nalishida q zaryadni bir ekvipotensial sirtidan ikkinchi ekvipotensial sirtga ko'chiramiz. Ekvipotensial sirtlar orasidagi potentsiallar farqi $\Delta\varphi$ ga, ular orasidagi eng qisqa masofa esa Δx ga teng bo'lsin. U holda maydon kuchlanganligi E ni Δx masofada o'zgarmas deb hisoblab, q zaryadning shu masofaga ko'chishida bajarilgan ishni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\Delta A = q \cdot E \cdot \Delta x = -\Delta W \quad (13)$$

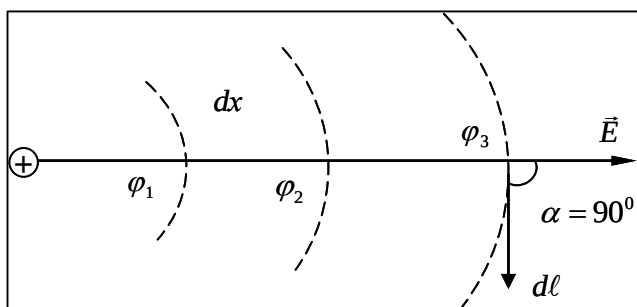
Ikkinchi tomondan, ishni zaryadning potentsial energiyasi kamayishi bilan ham ifodalash mumkin:

$$\Delta A = q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) = q \cdot \Delta\varphi \quad (13')$$

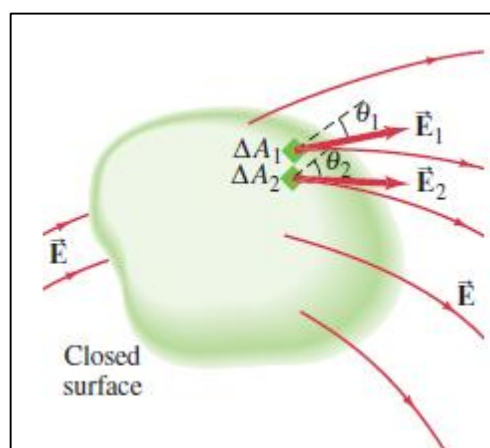
Bu ifodalarni o'zaro tenglashtirib quyidagi tenglikka ega bo'lamiz;

$$E = -\Delta\varphi / \Delta x \quad (14)$$

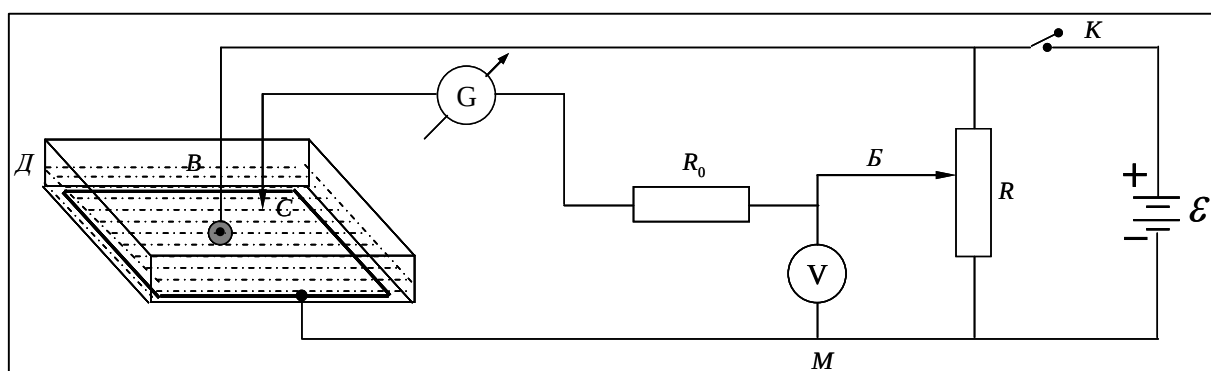
Demak, elektr maydon kuchlanganligi miqdoriy jihatdan maydon kuch chizig'i yo'nalishida olingan uzunlik birligiga to'g'ri keladigan potentsiallar ayirmasiga teng



5-rasm.



ekan (5-rasm). Manfiy ishora elektr maydon kuchlanganligi vektori E potensialning kamayishi tomoniga yo'nalganligini bildiradi. (14) formulaga asosan maydon kuchlanganligining birligi V/m bo'ladi. Ushbu laboratoriy ishini bajarishdan maqsad turli shakldagi zaryadlangan metall qattiq jismlar–elektrodlar hosil qilgan elektrostatik maydonning potenciallari $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots$ ga teng bo'lgan ekvipotensial sirtlarni aniqlash, shuningdek ekvipotensial sirtlarga tik yo'nalgan maydon kuchlanganligi E ni ham miqdoriy jihatdan ham yo'nalishi bo'yicha tekshirishdan iboratdir. Bu ishini bajarish uchun 6-rasmda ko'rsatilgan elektr sxema yig'iladi. Bu yerda suv solingan vanna, V va D -elektrodlar, S -zond, G -galvanometr, R -potensiometr, V –voltmetr, R_1 -qo'shimcha qarshilik, $\mathcal{E}$ -o'zgarmas tok manbai. K -kalit ulanganda V va D elektrodlar orasida elektr maydon hosil bo'ladi. B elektrodga yaqin nuqtalarda kuchlanganlik chiziqlari zichligi katta, maydon potentsiali ham katta qiymatga ega bo'lib, D elektrodga yaqinlashgan sari u kamayib boradi. C zond potensiometrning B qo'zg'aluvchan kontaktiga ulangan. Bu potensiometrning BM bo'limidagi kuchlanish voltmetr yordamida o'lchanadi. Uning qiymatini B kontakti siljitish orqali o'zgartirish mumkin.



6-rasm

Ishni bajarish tartibi

1. Vannaga D va V elektrodni o'rnatib $0,2 \div 0,5$ cm qalinlikda suv quyiladi.
2. Qo'zg'aluvchan kontakt B ni siljitib V voltmetrda 5 V li kuchlanish hosil qilinadi.
3. Zond yordamida V elektrod atrofida potentsiali 5 V ga teng bo'lgan nuqtalar qidiriladi. (Topilgan nuqtalar orasidagi masofa 1 cm dan ortmasligi kerak). Kontakt egallagan B nuqta bilan S zond ko'rsatgan nuqtalarning

potensiallari teng bo'lganligi sababli shu nuqtalarda galvanometrning ko'rsatishi nolga mos keladi, yani galvanometrdan o'tayotgan tok nolga teng bo'ladi ($I_G = 0$). Qayd qilingan nuqtalarning X, U o'qlariga nisbatan koordinata qiymatlari yozib olinadi. Bu nuqtalarni ixtiyoriy masshtabda millimetrli qog'ozga tushirib, so'ng ularni bir-biri bilan tutashtirilsa potensial qiymati 5V ga teng bo'lgan ekvipotensial sirt chizig'i hosil bo'ladi.

4. **B** kontakti siljitib voltmetrda 3 V, so'ngra 2 V kuchlanish hosil qilinadi. **S** zondni siljitib bu kuchlanishlarga mos keluvchi ekvipotensial sirtlarning chiziqlari aniqlanadi, ya'ni 2 va 3 bandlarda bajarilgan ishlar takrorlanadi.
5. **V** elektrod o'rniga boshqa shakldagi elektrod o'rnatilib tajriba (1,2,3,4 punktlar) takrorlanadi. Topilgan har bir ekvipotensial chiziq nuqtalarining koordinatlari quyidagi jadvalga yoziladi.
6. Potensialning kamayishiga qarab maydon kuchlanganligining yo'nalishi, hamda (14) formula asosida kuchlanganlik qiymati aniqlanadi.

Elektrodning shakli		1-chorak		2-chorak		3-chorak		4-chorak	
		x	Y	-x	y	-x	-y	x	-y
1									
2									
3									

NAZORAT SAVOLLARI

1. Elektr maydonni harakterlovchi fizik kattaliklarni ayting va ularning o'lchamini ko'rsating.
2. Nuqtaviy zaryadlar uchun kuchlanganlik va potensial ifodasini yozing.
3. Elektr maydon kuchlanganligi va potensiali o'zaro qanday bog'langan.
4. Kuch chiziqlari hamda ekvipotensial chiziqlar mazmunini tushuntiring.
5. Elektrosatik maydon kuch chiziqlarining ekvipotensial sirtlarga ekanligining sababi nimada.
6. Ekvipotensial chiziqlar elektrodning shakliga bog'liq bo'ladimi, agar bog'liq bo'lsa uning sababini tushuntiring.
7. Potensial maydon deganda nimani tushunasiz?