

MIRZO ULUG'BEK NOMIDAGI
O'ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI



N.A.NURMATOV, G'.T.RAXMONOV, R.ALIMOY,
O.Z.SULTONOV, I.X.XAMIDJONOV

ELEKTR VA MAGNETIZM

FANIDAN FIZPRAKTIKUM

026.2
537
E-46

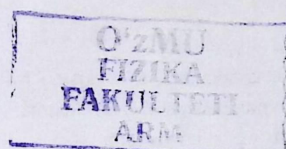
O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

MIRZO ULUG'BEK NOMIDAGI
O'ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI

N.A.NURMATOV, G.T.RAXMONOV, R.ALIMOV,
O.Z.SULTONOV, I.X.XAMIDJONOV

ELEKTR VA MAGNETIZM

FANIDAN FIZPRAKTIKUM



Toshkent – 2021

ANNOTATSIA

Ushbu uslubiy qo'llanma Fizika fakultetining fizika, astronomiya va tibbiyot fizikasi ta'lim yo'nalishlari talabalariga mo'ljallangan bo'lib, unda umumiy fizikaning "Elektr va magnetizm" bo'limiga oid 14 laboratoriya ishlarini o'z ichiga oladi. Uslubiy qo'llanma bakalavriat ta'limi yo'nalishlari davlat ta'lim standartlari talablari asosida tayyorlangan.

АННОТАЦИЯ

Данное учебное пособие является частью курса общей физики по направлению «Электричество и магнетизм» и предназначено для студентов физического факультета по специальностям физика, астрономия и физическая биомедицина. Пособие подготовлено на основе государственных образовательных стандартов для бакалавриата и может быть использовано в качестве учебника по этим специальностям.

ANNOTATION

This textbook is part of the course of general physics in the direction of "Electricity and Magnetism" and is intended for students of the Faculty of Physics in the specialties of physics, astronomy and physical biomedicine. The manual has been prepared on the basis of state educational standards for undergraduate studies and can be used as a textbook for these specialties.

Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy Universiteti Ilmiy-metodik kengashi tomonidan uslubiy qo'llanma sifatida nashrga tavsiya etilgan. (2021 yil 24-avgust bayonnoma № 1)

SO'Z BOSHI

O'zbekiston Respublikasining 2020 yil 23 sentyabrda tasdiqlangan "Ta'lim to'g'risida"gi Qonuni va O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021 yil 19 martdagi "Fizika sohasidagi ta'lim sifatini oshirish va ilmiy tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PQ-5032-sonli va 2019 yil 17 iyundagi "2019-2023 yillarda Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universitetida talab yuqori bo'lgan malakali kadrlar tayyorlash tizimini tubdan takomillashtirish va ilmiy salohiyatini rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PQ-4358-sonli Qarorlari hamda 2019 yil 8 oktyabrda "O'zbekiston Respublikasi oliy ta'lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish konsepciyasini tasdiqlash to'g'risida"gi PF-5847-sonli Farmonidagi ustuvor yo'nalishlar mazmunidan kelib chiqqan holda Respublikamiz oliy ta'lim muassasalarida Fizika, Astronomiya va Tibbiyot fizikasi ta'lim yo'nalishlari bo'yicha tayyorlanayotgan yuqori malakali kadrlarning kasbiy kompetentligini muntazam oshirib borishni talab qiladi.

Respublikamizdagi oliy ta'lim muassasalarida Fizika, Astronomiya va Tibbiyot fizikasi ta'lim yo'nalishlari bo'yicha ta'lim olayotgan talabalarning egallagan nazariy bilimlarini hozirgi zamon yutuqlarini hisobga olgan laboratoriya ishlari bilan mustahkamlash uchun o'zbek tilida va lotin alifbosida yozilgan uslubiy va o'quv qo'llanmalar etishmaydi. Ushbu uslubiy qo'llanma yuqoridagi muammoni hal etishga qaratilgan. Mazkur "Elektr va magnetizm fanidan fizpraktikum" uslubiy qo'llanmada laboratoriya mashg'ulotlarini tashkil etish va laboratoriya ishlarini bajarish tartibi batafsil yozilgan. Uslubiy qo'llanmada 14 ta laboratoriya ishlari to'liq bayon qilingan. Ushbu uslubiy qo'llanmaga kiritilgan ayrim laboratoriya ishlari professor I.Bo'riboev va docent R.Karimovlar tomonidan nashr etilgan "Elektr va magnetizmdan fizpraktikum" o'quv qo'llanmasidan olingan bo'lib, laboratoriya ishlari zamon talabidan kelib chiqib, takomillashtirilgan hamda yangi adabiyotlar va nazorat savollari bilan to'ldirilgan. Ushbu uslubiy qo'llanmaga kiritilgan 7 ta laboratoriya ishlari xorijdan olib kelingan yangi laboratoriya ishlari bo'lib, laboratoriya ishlarini bajarish uchun zarur bo'lgan asbob – uskunalar, mavzu bo'yicha nazariy bilimlar, laboratoriya ishlarini bajarish tartibi, natijalarni qayta

ishlash usullari, tajriba natijalarni hisoblash va talabalar bilimini baholash uchun nazorat savollari bilan to'ldirilgan.

Uslubiy qo'llanmaning so'ngi qismida nazariy materiallar, elektr o'lchov asboblari va ularning hatoliklari, ampermetr va voltmeter yordamida qarshiliklarni o'lchash, shunt va qo'shimcha qarshiliklarni tanlash, potentsiometrik ulash, tajribada olingan natijalarni turli matematik usullarda hisoblash to'liq bayon qilingan. Laboratoriya ishlarini qo'yish, ta'mirlash, saqlash va o'quv jarayoniga tadbqiq etishda qatnashgan umumiy fizika kafedrasining professor-o'qituvchilari va hodimlariga mualliflar o'z minnatdorchiligini bildiradi.

Mualliflar uslubiy qo'llanmaning sifatini yaxshilash bo'yicha bildirilgan fikr va mulohazalarni quyidagi manzilga yuborishinglarni iltimos qiladi. Toshkent shahri. Talabalar shaharchasi. O'zMU. Fizika fakulteti. Umumiy fizika kafedrası.

1. NAZARIY MATERIALLAR

1. VAKUUMDA O'ZGARMAS ELEKTR MAYDONI. KULON QONUNI. GAUSSNING ELEKTROSATIK TEOREMASI

Elektr zaryadi – elektromagnit maydon manbai va ta'sir etish obyekti.

Elektromagnit maydon – zaryadlar orasidagi ta'sirning moddiy tashuvchisi. Elektromagnit maydon tushunchasi yaqindan ta'sir etish konsepsiyasiga mos keladi.

Zarrachaning elektr zaryadi – zarrachaga xos bo'lgan sifat bo'lib, uning elektromagnit ta'sirini xarakterlaydi.

Elementar zaryad – zaryadning eng kichik, bo'linmas qismi bo'lib, SI sistemasida $e \approx 1,60 \cdot 10^{-19}$ C ga teng.

Elektron – elementar manfiy elektr zaryadning stabil (bo'linmas) bo'lgan moddiy tashuvchisi.

Proton – elementar musbat elektr zaryadning moddiy tashuvchisi.

Elektr zaryadining saqlanish qonuni: izolyatsiyalangan sistemani tashkil qilgan barcha jismlardagi zaryadlarning algebraik yig'indisi vaqt o'tishi bilan o'zgarmay qoladi.

Zaryadning relyativ invariantligi: elektr zaryad kattaligi zarra tezligiga bog'liq emas – bu zaryad tashuvchisining yoki o'lchov sistemasi tezligi bo'lishi mumkin.

Nuqtaviy zaryad – zaryadlangan jismning shunday modeliki, bunda uning o'lchamlarini shu zaryad va u bilan ta'sirlashayotgan boshqa zaryad yoki zaryadlangan jismlargacha bo'lgan masofaga nisbatan hisobga olmasa bo'ladi.

Qo'zg'almas zaryad – zaryadi o'zgarmas, o'rtacha tezligi nolga yaqin bo'lgan, cheksiz kichik hajmda joylashgan jismlar sistemasining modeli. Ochig'ini aytganda, qo'zg'almas zaryadlar tabiatda uchramaydi.

Elektrostatik maydon – qo'zg'almas zaryad yoki zaryadlar sistemasi hosil qilgan elektrik maydon. Bunda zaryadlar noelektrik kuchlar yordamida qo'zg'almay turadi deb hisoblanadi. Faqatgina elektrostatik kuchlar yordamida muvozanat hosil qilinishi mumkin emas (**Irnshteyn teoremasi**).

Sinov zaryadi – elektrostatik maydonning xususiyatlarini o'rganish uchun shu maydonga kiritiluvchi nuqtaviy zaryad. Bu zaryad shunchalik

kichik bo'lishi kerakki, elektrostatik maydonni hosil qiluvchi zaryadlar sinov zaryadi ta'sirida joylaridan siljimasliklari kerak va pirovardida, ular hosil qilgan elektrostatik maydon ham o'zgarmay qolishi kerak.

Kulon qonuni: vakuumda joylashgan ikki nuqtaviy qo'zg'almas q_1 va q_2 zaryadlar orasidagi masofa r bo'lganida ular orasidagi o'zaro ta'sir kuchi (SI o'lchov sistemasida) quyidagiga teng bo'ladi

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (1.1)$$

Bu kuchning yo'nalishi zaryadlarni tutashtiruvchi chiziq bo'ylab yo'nalgan bo'ladi (ishorolari bir xil zaryadlar o'zaro itarishadi, har xil ishorali zaryadlar tortishadi). (1.1) formuladagi

$$\epsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \left[\frac{F}{m} \right] = \left[\frac{A \cdot s^4}{kg \cdot m^3} \right]$$

kattalik elektr doimiysi deb ataladi (bu doimiy kattalikning aniq qiymati $\epsilon_0 = \frac{10^7}{4\pi c^2}$, ga teng bo'lib, bu yerda c – yorug'likning vakuumdagi tezligi).

Xalqaro birliklar sistemasida $1/(4\pi\epsilon_0)$ kattalik elektrostatikaning ko'pgina formulalariga kirgani uchun u qisqa ko'rinishda bitta harf bilan belgilanadi:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \frac{m}{F}$$

Elektrostatik maydon kuchlanganligi E – maydonga kiritilgan q sinov zaryadiga ta'sir qiluvchi kuch orqali aniqlanuvchi, shu maydonning asosiy kattaliklaridan biri

$$E = \frac{F}{q} \quad (1.2)$$

Nuqtaviy zaryad q dan r masofa uzoqlikda yotgan nuqtada bu zaryad hosil qiladigan maydon kuchlanganligi vektor kattalik bo'lib, uning son qiymati quyidagicha aniqlanadi

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \quad (1.3)$$

Bu olingan ifodaga **nuqtaviy zaryadning maydon kuchlanganligi** deyiladi (Kulon qonunining maydon nuqtai nazaridan talqini).

Maydon kuch chiziqlari – maydonning ixtiyoriy nuqtasiga o'tkazilgan urinma bilan ustma ust tushuvch vektor chiziqlar. Maydon kuch chiziqlari doim musbat zaryaddan boshlanib manfiy zaryadda tugaydi (ular cheksizlikdan boshlanishlari yoki cheksizlikda tugashlari ham mumkin. Bunda qarama-qarshi ishorali zaryadlar cheksizlikda joylashgan deb faraz qilinadi).

Superpozitsiya prinsipi: zaryadlar sistemasi hosil qilgan maydon kuchlanganligi E sistemadagi har bir zaryad hosil qilgan maydon kuchlanganliklari $E_1, E_2, \dots$, larning vektor yig'indisiga teng:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots$$

Radius vektorlari r_i , bo'lgan q_i nuqtaviy zaryadlarning radius vektori r bo'lgan nuqtadagi umumiy elektr maydon kuchlanganligi E quyidagiga teng:

$$E(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{r - r_i}{|r - r_i|^3} q_i$$

Zaryadning hajmiy zichligi ρ deb cheksiz kichik dV hajmda joylashgan dq zaryadninig shu hajmga nisbatiga aytiladi:

$$\rho = \frac{dq}{dV}$$

Zaryadning sirtiy zichligi σ deb cheksiz kichik dS yuzada joylashgan dq zaryadninig shu dS yuza nisbatiga deyiladi:

$$\sigma = \frac{dq}{dS}$$

Zaryadning chiziqli zichligi τ deb cheksiz kichik dl uzunlikda joylashgan dq zaryadninig shu dl uzunlik nisbatiga deyiladi:

$$\tau = \frac{dq}{dl}$$

Radius vektori r bo'lgan nuqtada hajmiy zichligi $\rho(r)$ yoki sirtiy zichligi $\sigma(r)$ yoki chiziqli zichligi $\tau(r)$ bo'lgan zaryadlar sistemasi hosil

qilgan natijaviy **elektrostatik maydon kuchlanganligi E** quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\mathbf{r}-\mathbf{r}'}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|^3} dq(\mathbf{r}')$$

bu yerda $dq(\mathbf{r}')$ mos ravishda har bir hol uchun mos ravishda $\rho(\mathbf{r}')dV'$, $\sigma(\mathbf{r}')dS'$ yoki $\tau(\mathbf{r}')dl'$ ga teng bo'ladi.

Elektr dipol – bir biriga yaqin joylashgan, kattaligi bir xil lekin ishoralari turlicha bo'lgan zaryadlar sistemasi. Manfiy zaryaddan musbat zaryadga o'tkazilgan $\mathbf{l}$ vektorga dipolning yelkasi deyiladi.

$$\mathbf{p} = q\mathbf{l} \quad (1.4)$$

Vektor kattalikka dipolning elektr momenti deyiladi.

N zaryadli sistemaning **elektr dipol momenti** deb quyidagi vektorga aytiladi

$$\mathbf{p} = \sum_{i=1}^N q_i \mathbf{r}_i, \quad (1.5)$$

bu erda $\mathbf{r}_i$ – i -zaryadning radius-vektori.

Agar sistemaning to'liq zaryadi nolga teng bo'lsa (elektrik neytral sistema) dipol momentining kattaligi sanoq sistemasining boshi qanday tanlanganligiga bog'liq bo'lmaydi, shuning uchun $\mathbf{r}_i$ radius vektorlar istalgan nuqtadan boshlab hisoblanishi mumkin. Bunday hollarda, sistemadan uzoq masofalarda (dipol o'lchamiga nisbatan ancha katta masofalarda) uning elektr maydoni nuqtaviy zaryad maydoni bilan bir xil bo'ladi (1.4).

S yuza orqali **ixtiyoriy A vektorning oqimi** – yuza orqali integral

$$F = \int \mathbf{A} d\mathbf{S} \quad (1.7)$$

bu erda $d\mathbf{S}$ – moduli bo'yicha S yuzaning dS elementiga teng va yo'nalishi bo'yicha shu yuzaga normal yo'nalgan vektor. Agar yuza yopiq bo'lsa, integral $\oint$ – ko'rinishda yoziladi. Bu holda $d\mathbf{S}$ vektorning yo'nalishi shu nuqtada yuzaga tashqi normal bo'yicha yo'nalgan bo'ladi.

2. ELEKTROSTATIK MAYDONDA BAJARILGAN ISH. POTENSIAL.

Nuqtaviy q zaryadni 1 nuqtadan 2 nuqtaga ko'chirishda **elektrostatik kuchlar bajargan ish** chiziqli integral ko'rinishida quyidagicha ifodalanadi

$$A_{12} = \int_{(L_{12})} q(E dl) \quad (2.1)$$

bu erda L_{12} – zaryadning harakatlanish trayektoriyasi, dl – trayektoriya bo'ylab cheksiz kichik siljish. Agar kontur yopiq bo'lsa integral uchun $\oint$ – belgi ishlatiladi. Bunda konturni aylanib o'tish yo'li tanlab olingan deb taxmin qilinadi.

Elektrostatik maydon potensial maydon hisoblanadi: zaryadni yopiq kontur bo'ylab ko'chirishda bajarilgan ish nolga teng bo'ladi. Zaryadni maydonning ixtiyoriy 1- nuqtasidan 2- nuqtasiga ko'chirishda bajarilgan ish trayektoriyaga bog'liq bo'lmay, faqat 1- va 2- nuqtalarning joylashish holatiga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun ishni quyidagicha tasvirlash mumkin

$$A_{12} = q [\varphi(r_1) - \varphi(r_2)], \quad (2.2)$$

bu yerdagi skalyar funksiya $\varphi(r)$ **elektrostatik maydon potentsiali** deb ataladi. Bu funksiya butun fazoda uzluksiz bo'lib, chekli birinchi hosilalarga ega.

Potensial - elektrostatik maydonning energetik xarakteristikasi bo'lib, uni elektrostatik maydondagi q zaryadning $W(r)$ potensial energiyasi orqali aniqlash mumkin

$$\varphi(r) = \frac{W(r)}{q}$$

r nuqtadagi potensial son jihatdan shu nuqtada joylashgan birlik nuqtaviy zaryadning potensial energiyasiga teng.

Faqat ikki nuqta potentsiallarining farqigina fizik ma'noga ega, shuning uchun potensial energiya kabi potensial ham sanoq boshiga bog'liq bo'lgan ixtiyoriy o'zgarmas aniqligida izlanadi.

Potensial normirovkasi – istalgan nuqtada potensialga ma'lum qiymat berib unga aniqlik kiritish. Odatda, normirovkaning ikki qulay turidan biri tanlanadi:

1) agar zaryad fazoda chegaralangan hajmini egallasa, unda cheksizlikdagi nuqta potensial nolga teng deb qabul qilinadi;

2) agar o'tkazuvchi bo'lgan jism qaysidir yo'l bilan yerga ulangan bo'lsa (yerga ulash), unda uning potentsiali yerning potentsialiga teng (yerning potentsialini nolga teng deb hisoblash mumkin) deb hisoblanadi.

Zaryadimiz cheksiz sohalarni egallagan turli modellarda (masalan, zaryadlagan cheksiz tekislik, ip, silindr va h.k.) potentsialning nol nuqtasi ixtiyoriy ravishda tanlanadi va, simmetriya nuqtai nazaridan, natijalarni olish qulayligi bilan belgilanadi.

Nuqtaviy zaryad q potentsiali quyidagiga teng

$$\varphi(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} \quad (2.3)$$

bu erda r – zaryad q bilan kuzatish nuqtasi orasidagi masofa (zaryaddan cheksiz masofada joylashgan nuqtadagi potentsialni nolga teng deb qabul qilamiz).

Nuqtaviy zaryadlar sistemasining potentsiali qaralayotgan nuqtadagi har bir zaryad hosil qilgan maydon potentsiallari yig'indisiga teng bo'ladi (potentsiallar uchun superpozitsiya prinsipi).

$$\varphi(\mathbf{r}) = \sum_i \varphi_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{q_i}{r_i} \quad (2.4)$$

bu erda r_i – potentsial o'lchanayotgan nuqta bilan har bir i - zaryad orasidagi masofa.

Nuqtaviy dipolning maydon potentsiali quyidagicha aniqlanadi

$$\varphi(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mathbf{p} \cdot \mathbf{r}}{r^3} \quad (2.5)$$

(koordinatalar boshi dipol joylashgan nuqtada).

Uzluksiz taqsimlangan zaryadlarning maydon potentsiali: agar barcha zaryadlar fazoning chegaralangan qismida joylashgan bo'lsa va ularning potentsiali cheksizlikda nolga normirovka qilingan bo'lsa, unda potentsial quyidagicha bo'ladi

$$\varphi(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq(\mathbf{r}')}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|} \quad (2.6)$$

bu erda $\mathbf{r}'$ – dq zaryadning radius-vektori, $\mathbf{r}$ – potensial o'lchanayotgan nuqta bilan $\mathbf{r}'$ nuqtaning cheksiz kichik hajmida joylashgan $dq(\mathbf{r}')$ zaryadiga o'ikazilgan vektor. Integrallash hajm zichligi ρ bo'lgan hamma hajmlar ($dq(\mathbf{r}') = \rho(\mathbf{r}')dV$) bo'yicha, sirt zichligi σ bo'lgan hamma sirtlar ($dq(\mathbf{r}') = \sigma(\mathbf{r}')dS$) bo'yicha va uzunlik zichligi τ bo'lgan hamma chiziqlar ($dq(\mathbf{r}') = \tau(\mathbf{r}')dl$) bo'yicha bajariladi.

Istalgan $\mathbf{A}$ vektorning L berk kontur bo'yicha **sirkulyatsiyasi** deb quyidagi chiziqli integralga aytiladi

$$\oint \mathbf{A} d\mathbf{l} = \oint \mathbf{A} dl \cos(A, d\mathbf{l}) = \oint A_l dl \quad (2.7)$$

A vektorning rotori deb shunday vektor katta'ikka aytiladiki, uning $\vec{n}$ vektorning musbat yo'nalishdagi normaliga bo'lgan proeksiyasi, shu vektorning cheksiz kichik L berk kontur bo'yicha sirkulyasiyasining shu kontur bilan chegaralangan ΔS yuzaga nisbatining limitiga aytiladi

$$\text{rot}_n \mathbf{A} = \lim_{\Delta S} \frac{1}{\Delta S} \oint \mathbf{A} d\mathbf{l} \quad (2.8)$$

$\vec{n}$ normalning musbat yo'nalishi L konturni o'ng parma qoidasiga ko'ra aylanib o'tish bilan mos keladi.

Dekart koordinatalar sistemasida rotorni $\mathbf{i}$, $\mathbf{j}$, $\mathbf{k}$ ortlar bilan vektor ko'paytma ko'rinishda tasvirlash mumkin

$$\text{rot } \mathbf{A} = [\nabla \mathbf{A}] = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ A_x & A_y & A_z \end{vmatrix} \quad (2.9)$$

bu erda ∇ (nabla) ramziy vektor operator. Uning dekart koordinatalar sistemasidagi ko'rinishi quyidagicha:

$$\nabla = \mathbf{i} \frac{\partial}{\partial x} + \mathbf{j} \frac{\partial}{\partial y} + \mathbf{k} \frac{\partial}{\partial z}$$

Stoks formulasi: $\mathbf{A}$ vektorining istalgan L kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi $\mathbf{A}$ vektor rotorining L konturga tutash istalgan yuza orqali o'tgan oqimiga teng:

$$\oint \mathbf{A} d\mathbf{l} = \oint \text{rot} \mathbf{A} d\mathbf{S}. \quad (2.10)$$

$\mathbf{E}$ vektorining sirkulyatsiyasi to'g'risidagi teorema (elektr maydonining potensial xarakterga ega ekanligining integral ta'rifi): istalgan elektrostatik maydonda $\mathbf{E}$ vektorining L berk kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi nolga teng

$$\oint \mathbf{E} d\mathbf{l} = 0. \quad (2.11)$$

Elektrostatik maydonning potensial xarakterga ega ekanligining differensial ta'rifi: istalgan elektrostatik maydonda, istalgan nuqtada

$$\text{rot} \mathbf{E} = 0. \quad (2.12)$$

φ skalyar funksiyaning gradiyenti deb quyidagi vektorga aytiladi

$$\text{grad} \varphi = \nabla \varphi = \mathbf{i} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \mathbf{j} \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \mathbf{k} \frac{\partial \varphi}{\partial z} \quad (2.13)$$

Bu vektorning yo'nalishi $\varphi = \text{const}$ bo'lgan tekislikka perpendikulyar va φ ning oshishi tomonga yo'nalgan bo'lib, moduli φ dan shu yo'nalish bo'yicha olingan hosilaga teng.

Ikki muhim matematik ayniyat:

$$\text{Istalgan } \mathbf{A}(\mathbf{r}) \text{ vektor funksiya uchun } \text{div rot } \mathbf{A} \equiv 0; \quad (2.14)$$

$$\text{Istalgan } \varphi(\mathbf{r}) \text{ skalyar funksiya uchun } \text{rot grad } \varphi \equiv 0 \quad (2.15)$$

Ekvipotensial sirtlar — potentsiallari bir xil bo'lgan nuqtalardan tashkil topgan sirtlardir. Maydon kuchlanganlik chiziqlari ekvipotensial sirtlarga perpendikulyar bo'lib, potensial kamayishi tomoniga yo'nalgan bo'ladi.

Maydon potensialning maydon kuchlanganligi bilan bog'lanishi

$$\mathbf{E} = -\text{grad} \varphi. \quad (2.16)$$

Teskari operatsiya — potentsiallar farqi $\Delta \varphi_1$ ni ma'lum kuchlanganlik $\mathbf{E}$ orqali aniqlash

$$\varphi_2 - \varphi_1 = - \int_{(1)}^{(2)} E dl. \quad (2.17)$$

bu erda integrallash 1- va 2- nuqtalarni tutashtiruvchi istalgan trayektoriya bo'ylab amalga oshiriladi.

Potensial uchun differensial tenglama (Puasson tenglamasi)

$$\Delta\varphi = - \frac{\rho}{\varepsilon_0} \quad (2.18)$$

bu erda Δ – Laplas operatori. Dekart koordinatalar sistemasida Laplas operatori hamma koordinatalar bo'yicha ikkinchi tartibli hosilalarning yig'indisi sifatida keladi:

$$\Delta \equiv \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (2.19)$$

Sferik koordinatalar sistemasida (r, ϑ, φ) Laplas operatori quyidagi ko'rinishni oladi

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \left(\frac{1}{\sin^2 \vartheta} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2}{\partial \vartheta^2} + \cot \vartheta \frac{\partial}{\partial \vartheta} \right) \quad (2.20)$$

Zaryadlar bo'lmagan sohalarida Puasson tenglamasi Laplas tenglamasiga aylanadi:

$$\Delta\varphi = 0. \quad (2.21)$$

3. ELEKTR MAYDONIDA O'TKAZGICHLAR.

ELEKTR SIG'IMI

O'tkazgichlar - bu shunday material jismlarki, tashqi elektr maydoni ta'sirida ularda zaryadlarning tartibli harakati, elektr toki, hosil bo'ladi. O'tkazgich ichida elektr zaryadlar makroskopik masofalarga ko'chishi mumkin (bunday zaryadlar **erkin zaryadlar** deb ataladi).

O'tkazgich ichida elektrostatik muvozanat paytida elektr maydoni bo'lmaydi ($E=0$), demak $\text{div} E = 0$ ifodasi o'rinlidir. Buning ma'nosi shuki, o'tkazgichning istalgan cheksiz kichik hajmida musbat va manfiy zaryadlarning soni bir xil bo'ladi, ya'ni umumiy hajmiy zaryad zichligi ρ nolga tengdir (1 bob (1.11) qarang).

Agar o'tkazgich zaryadlangan bo'lsa yoki tashqi elektr maydoniga joylashtirilsa, elektr zaryadlar o'tkazgichning tashqi yuzasida σ sirt zaryad

zichligi bilan taqsimlanadi. Bu o'tkazgich ichida maydon kuchlanganligi nolga tengligini ta'minlaydi.

Elektrostatik induksiya – o'tkazgich tashqi elektr maydoniga joylashtirilganida, uning yuzasidagi zaryadlarning qayta taqsimlanish hodisasi. Istalgan tashqi maydonda o'tkazgich yuzasidagi zaryadlar shunday taqsimlanadiki, bunda o'tkazgich ichida $\vec{E} = 0$ va $\rho = 0$ shartlar bajariladi.

O'tkazgich tashqarisida, uning yuzasi yaqinidagi har bir nuqtada, elektr maydon kuchlanganligi $\vec{E}$ yuzaga normal bo'yicha yo'nalgan bo'ladi va uning moduli quyidagiga teng bo'ladi:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (3.1)$$

Muvozanat holatida o'tkazgichning butun hajmi yagona ekvipotensial hududga aylanadi, ya'ni o'tkazgichning istalgan nuqtasida potentsiali bir xil bo'ladi (u o'tkazgichning potentsiali deb ataladi).

Zazemlenie (erga ulanish) – berilgan o'tkazgichni hajmi juda katta bo'lgan boshqa o'tkazgichga ulash. Bunda bir o'tkazgichdan ikkinchi o'tkazgichga zaryad o'tganida ikkinchining potentsiali o'zgarmasdan qoladi deb hisoblanadi. Bunday o'tkazgich sifatida odatda, Yer nazarda tutiladi. Yerga ulangan o'tkazgichning potentsiali nolga teng deb qabul qilinadi.

Yakkalangan o'tkazgichning potentsiali φ undagi Q zaryadga proporsional:

$$Q = C \varphi. \quad (3.2)$$

O'tkazgich zaryadi va uning potentsiali orasidagi proporsionallik koeffitsiyenti **C o'tkazgich elektr sig'imi** deb ataladi. O'tkazgichdagi zaryad ΔQ miqdorga o'zgarganida uning potentsiali ham o'zgaradi

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta Q}{C}$$

Xalqaro birliklar sistemasida elektr sig'imi Faradalarda [F] o'lchanadi.

O'tkazgichning sig'imi faqatgina uning shakli va kattaligiga bog'liqdir (vakuumda). Xususan, yakkalangan R radiusli sharning sig'imi $C = 4\pi\epsilon_0 R$ ga teng.

Agar zaryadlangan N ta o'tkazgich mavjud bo'lsa, ulardan har birining potentsiali shu o'tkazgichlar zaryadlariga chiziqli bog'langan bo'ladi:

$$\varphi_i(r) = \sum_{j=1}^N \alpha_{ij} q_j \quad (3.3)$$

Masalan, Q_1 va Q_2 zaryadga ega ikki o'tkazgichning potentsiallari mos ravishda quyidagicha bo'ladi:

$$\varphi_1 = \alpha_{11} Q_1 + \alpha_{12} Q_2 \quad \text{va} \quad \varphi_2 = \alpha_{21} Q_1 + \alpha_{22} Q_2 \quad (3.4)$$

α_{ij} kattaliklar potentsial koeffitsiyentlari deb ataladi. Ularning qiymatlari musbat va o'z indekslariga nisbatan simmetrikdir ($i \neq j$ bo'lganida $\alpha_{ij} = \alpha_{ji}$).

(3.3) sistemani Q_i zaryadlarga nisbatan yechib quyidagini topamiz:

$$Q_i = \sum_{j=1}^N C_{ij} \varphi_j \quad (3.5)$$

C_{ij} kattaliklar sig'imi koeffitsientlar deb ataladi. Bir xil indeksli ($i=j$) sig'imi koeffitsientlar musbat; turli indeksli koeffitsientlar esa manfiy yoki nolga teng bo'ladi.

Zaryadlari modul jihatidan bir xil, ishorasi qarama-qarshi bo'lgan ikki o'tkazgichdan iborat bo'lgan sistemaga kondensator deyiladi. Bunda, o'tkazgichlar - kondensator qoplamalari, ularning zaryadlari moduli esa kondensator zaryadi deb ataladi. **Kondensatorda musbat zaryadlangan qoplamadan boshlangan maydon kuch chiziqlarining hammasi manfiy zaryadlangan qoplamada tugaydi.** Texnikada kondensatorlar shunday yaratiladiki, bunda elektr maydoni maksimal darajada faqatgina qoplamalar orasida mavjud bo'lib, kondensator chetida yuzaga keladigan turli effektlar minimal bo'ladi. Bunday holatga qoplamalarning shaklini tanlash orqali erishiladi. Masalan, bu tekis plastina yoki rulon shaklida o'ralgan o'tkazgich bo'lishi mumkin. Bunda o'tkazgichlar orasi ingichka dielektrik qatlam bilan to'ldiriladi.

Kondensator sig'imi C deb kondensator zaryadi Q bilan qoplamalar orasidagi potentsiallar farqining absolyut qiymati orasidagi, musbat kattalik bo'lgan, proporsionallik koeffitsientiga aytiladi

$$Q = CU. \quad (3.6)$$

Kondensator qoplamalari orasidagi potentsiallar farqiga, ko'pincha, kuchlanish deyiladi.

Agar kondensator qoplamalari orasida vakuum bo'lsa, unda

1) **yassi kondensatorning sig'imi** quyidagicha aniqlanadi

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d} \quad (3.7)$$

bu erda S – kondensator qoplamalari yuzasi, d – qoplamalar orasidagi masofa ($d \ll \sqrt{S}$);

2) **silindrik kondensatorning sig'imi**

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 h}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad (3.8)$$

bu erda r_1 va r_2 – tashqi va ichki qoplamalar radiuslari, h – silindrlar uzunligi ($h \gg r_2 - r_1$);

3) **sferik kondensatorning sig'imi**

$$C = \frac{4\pi\epsilon_0 r_1 r_2}{r_2 - r_1}, \quad (3.9)$$

bu erda r_1 va r_2 – tashqi va ichki qoplamalar radiuslari.

Kondensatorda to'plangan elektrik energiya quyidagiga teng

$$W = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} QU \quad (3.10)$$

Kondensatorlar parallel ulanganda ularning sig'implari qo'shiladi:

$$C = C_1 + C_2 + \dots \quad (3.11)$$

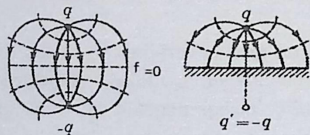
Kondensatorlar ketma-ket ulanganida ularning sig'implari teskari ravishda qo'shiladi:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots \quad (3.12)$$

Tasvir usuli (yoki ko'zgu tasvir usuli) – ba'zi hollarda, o'tkazgich yuzasida taqsimlangan zaryadlarning maydonini topish uchun qo'llaniladigan usul. Bu usul elektrostatikadagi yagonalik teoremasiga asoslangan bo'lib, unga ko'ra, berilgan zaryadlar uchun shunday qo'shimcha mavhum zaryadlar tanlanadiki, shu zaryadlar sistemasi hosil qilgan ekvipotensial sirtlardan biri o'tkazgich sirti bilan ustma-ust tushadi. O'tkazgichdan tashqarida, mavhum zaryadlarning maydoni o'tkazgich yuzasidagi zaryadlar hosil qilgan maydon bilan to'la mos keladi.

Umumiy fizika kursida, odatda, quyidagi hol ko'rib chiqiladi.

O'tkazuvchan tekislik yaqinidagi q nuqtaviy zaryad



Chapdagi rasmdan ko'rinadiki, ishorasi turli, lekin qiymati bir xil bo'lgan zaryadlar orasida potentsiali $\varphi = 0$ (punktir) ga teng bo'lgan tekis ekvipotensial sirt mavjud. Agar shu sirt yuzasiga o'tkazuvchan tekislikni joylashtirsak, maydon o'zgarmaydi va biz o'ng tarafda tasvirlangan sistemani hosil qilamiz. Bunda mavhum zaryad q' berilgan q zaryadning tasviri bo'ladi.

4. ELEKTROSTATIK MAYDONDAGI DIELEKTRIKLAR

Dielektriklar – tarkibida, elektrik maydon ta'sirida makroskopik masofalarga ko'chishi mumkin bo'lgan, erkin zaryadlangan zarrachalari bo'lmagan moddiy jismlar (o'tkazgichlardan farqli ravishda). Dielektrikdagi zaryadlar tashqi elektr maydoni ta'sirida faqatgina atom o'lchamlari miqyosida harakatlana oladi.

Dielektrikdagi elektr maydon. Tashqi elektr maydon ta'sirida dielektrikdagi musbat va manfiy zaryadlar o'zaro qarama-qarshi tarafga molekula o'lchamlari miqyosida siljiydi. Bunday sistemaning o'zi elektr maydonni hosil qiladi. Fazoning istalgan nuqtasidagi maydon tashqi maydon va dielektrikdagi yangicha taqsimlangan zaryadlar sistemasi hosil qilgan maydonlar yig'indisiga teng bo'ladi.

