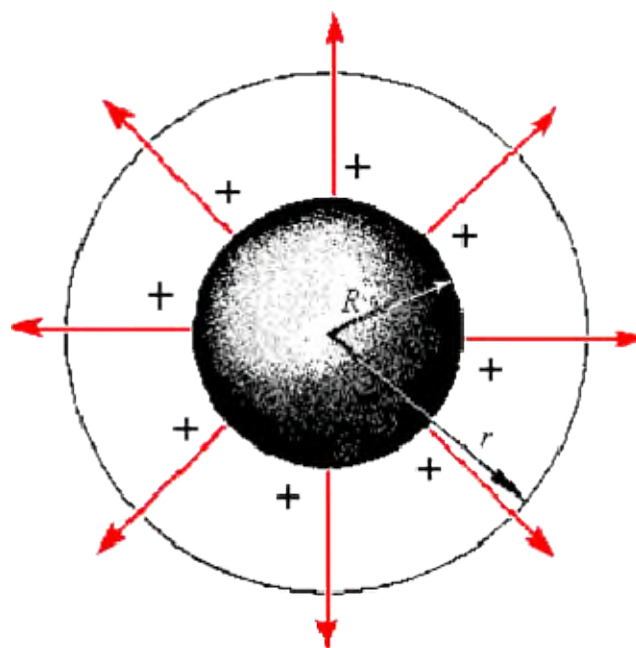


Q.B.UMAROV

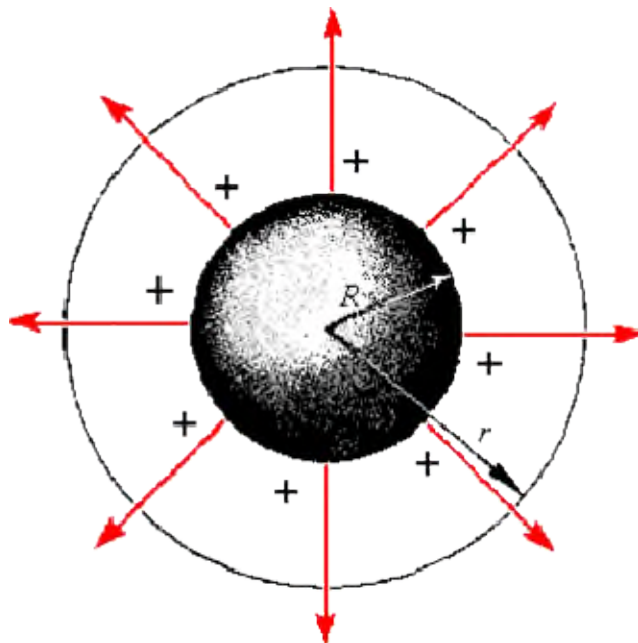
ELEKTROSTATIKA QONUNLARI



O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
NAMANGAN MUHANDISLIK-QURILISH INSTITUTI

Q.B.UMAROV

ELEKTROSTATIKA QONUNLARI
USLUBIY QO'LLANMA



NAMANGAN - 2020

Elektrostatika qonunlari

Muallif: **Q.B.Umarov**- f.m.f.n., dotsent

Ushbu uslubiy qo'llanmada fizikaning asosiy bo'limi elektrostatika bo'yicha fundamental ma'lumotlar hamda elektr zaryadlarini hosil qilgan maydoni uni fazoda taqsimlanishi, turli xil moddalarga kirishining tabiati keltirilgan. Uslubiy qo'llanmada mavzular bo'yicha nazariy ma'lumotlar, mustahkamlash maqsadida har mavzuning oxirida nazorat savollari va shu bobga tegishli masalalar hamda mustaqil shug'ullanish uchun mavzular, mavzuning matnini mazmunli yoritish maqsadida rasmlar va jadvallar joylashtirilgan.

Ushbu uslubiy qo'llanma oliy ta'lim muassasalarining tegishli kasb va mutaxassisliklar bo'yicha tahsil olayotgan bakalavr talabalari va o'qituvchilar uchun mo'ljallangan.

Taqrizchilar: M.Dadamirzaev – fizika-matematika fanlari doktori
N.Shariboyev – fizika-matematika fanlari doktori

Ushbu uslubiy qo'llanma «Energetika» kafedrasini umumiy yig'ilishida muxokama qilingan va ma`qullangan (Bayon №.6, 17. 02. 2020 yil).

Uslubiy qo'llanma institut o'quv uslubiy kengashining yig'ilishida ko'rib chiqilgan va chop etishga tavsiya etilgan (Bayon №. 2020 yil).

Мундарижа

KIRISH	6
1. ELEKTROSTATIKA	8
1.1. Elektr zaryadi	8
1.2. Kulon qonuni.....	9
1.3. Elektr maydon kuchlanganligi	10
1.4. Nuqtaviy zaryadning maydon kuchlanganligi	11
1.5. Superpozitsiya prinsipi.....	12
1.6. Kuchlanganlik chiziqlari	13
1.7. Kuchlanganlik oqimi	15
1.8. Gauss teoremasi.....	17
1.9. Cheksiz zaryadlangan tekislik maydoni	20
1.10. Sferik-simmetrik taqsimlangan zaryadning maydoni	21
1.11. Gauss teoremasining differensial ko'rinishi.....	22
1.12. Zaryadni elektrostatik maydonda ko'chirilganda bajarilgan ish	23
1.13. Potensial va potensial energiya.....	26
1.14. Potensiallar ayirmasi	27
1.15. Kuchlanganlik bilan potensial orasidagi bog'lanish	28
1.16. Ekvipotensial sirtlar.....	30
2. ELEKTR MAYDON ENERGIYASI	32
2.1. O'tkazgichda zaryadlar muvozanati	32
2.2. Elektr sig'imi	34
2.3. Kondensatorlar	35
2.4. Elektr maydon energiyasi	38
3. DIELEKTRIKLARDA ELEKTROSTATIK HODISALAR	39
3.1. Elektr dipoli	39
3.2. Dielektrikning tuzilishi	43
3.3. Dielektrikning qutblanishi	43
3.4. Qutblanish vektori bilan qutblangan zaryad orasidagi bog'lanish	46
3.5. Dielektrikda elektrostatik maydon	48
3.6. Dielektrik bo'lgan hol uchun Gauss teoremasi	48
3.7. Siljish vektorining xossalari	49
3.8. Ikkita dielektrik chegarasida induksiya chiziqlarining sinish qonuni	51
3.9. Kristallarning dielektrik xususiyati	52
5. ELEKTROSTATIKADAN MASALALAR YECHISH BO'YICHA NAMUNALAR	55
6. MUSTAQIL ISHLASH UCHUN MASALALAR.....	66
6.1. Kulon qonuni. Zaryadlangan jismlarning o'zaro ta'siri.....	66
6.2. Elektr maydon kuchlanganligi	67
6.3. Elektr maydon potentsiali	69
6.4. Dielektriklarning xossalari	72
6.5. Elektr sig'imi va kondensatorlar	73
6.6. Elektr maydon energiyasi	75
7. LABORATORIYA ISHLARI	77
7.1. ELEKTROSTATIK MAYDONNI O'RGANISH	77

KIRISH

Qadimdan insoniyat atmosferada elektr hodisalarini — uchqunni kuzatganlar. Bundan ikki ming yil oldin boshqa elektr hodisalari — ishqalanish orqali jismlarda elektr hosil qilishni ishqalangan yantar va boshqa moddalar yengil buyumlarni tortishini kuzatganlar. Lekin, elektr hodisalarini o'rganish (yantar grekcha so'z bo'lib, — elektron demakdir) XVII asrda rivojlana boshladi.

Elektr hodisalarini o'rganishda birinchi muvaffaqiyatga XVIII asrning o'rtalarida erishildi. Rossiyada Lomonosov, Amerikada Franklinlar tajribada atmosferadagi elektr hodisalari bilan ishqalanish vaqtida hosil bo'lgan elektrlanish o'rtasida umumiylik bor ekanligini isbot qildilar. Kuchli yashin yoki uchqun hamda qorong'i xonada sochni taraganda paydo bo'ladigan uchqunlar bir-biridan masshtab jihatidan farq qiladigan havodagi elektr razryadlari ekan.

Elektrni miqdoriy jihatdan o'rganish uchun Rixman birinchi elektroskopni ixtiro qildi. U yupqa ipga bog'langan metall lineykadan iboratdir. Elektrlanish vaqtida ip lineykadan ma'lum burchakga chetlanganligini kuzatdi va transportyor bilan o'lchadi.

Lomonosov atmosfera elektrning nazariyasini yaratdi. Bu nazariyaga ko'ra, atmosfera havosi uzluksiz harakatda bo'ladi. Quyosh nurlari yer sirtini qizitadi, u o'z navbatida unga yaqin bo'lgan havo qatlamini isitadi. Isitilgan havo yuqoriga ko'tariladi, uning joyiga atmosferaning yuqori qatlamidan og'ir havo tushadi. Bir-biriga nisbatan harakat qilayotgan havo massasi ishqalanish tufayli zaryadlanadi va u katta masshtabda ishqalanish tufayli elektrlanishni amalga oshiradi.

Elektr hodisalarining tabiatini tushuntirish boshlanganidan so'ng uning amaliy qo'llanilishiga ham erishildi. Atmosfera elektrlanishidan saqlanish uchun Franklin yashin qaytargich ishlab chiqdi (metall plastinka yashinni yerga o'tkazib yuboradi).

Shu tajribalar asosida Franklin ikkita turli xil jinsli elektr suyuqligi bo'lishligini aytdi va hozirgi zamon terminalogiyasini kiritdi. Terini shisha tayoqchaga ishqalashda terida to'plangan zaryadni —musbat deb, junni smola tayoqchasiga ishqalaganda to'plangan zaryadni —manfiy deb atadi. Tajribalar natijasida shunday xulosaga kelindiki, bir xil zaryadlar bir-birini itaradi, turli xil ishorali zaryadlar bir-biriga tortiladi. Ular teng miqdorda qo'shilganda neytrallashadi. Shundan so'ng, zaryadlarning saqlanish qonuni kashf qilindi. Jismlarning barcha elektrlanish jarayonlarida zaryadlarining algebraik yig'indisi o'zgarmay qoladi.

Fizikaning keyingi yutuqlari shuni ko'rsatdiki, bu qonun atom va yadro jarayonlari uchun xam o'rinli ekan. Elektr zaryadining atom tuzilishi va eng mayda elementar zaryad bor ekanligi 1909 yilda R. Milliken tomonidan tajribada topildi. Elektr tokining magnit ta'siri Ersted tomonidan ochilmaguncha magnetizm haqidagi ta'limot alohida o'rganilib kelindi. Doimiy magnitning qonunlari chuqur o'rganilib, ikkita magnit qutbi bor ekanligi, bu qutblar o'rtasida o'zaro ta'sir mavjudligi: har xil qutblar bir-birini tortishi, bir xil qutblar esa bir-birini itarishi aniqlandi. Magnit qutblari uchun Kulon qonuni o'rinli ekanligi isbot etildi. Veber har qanday doimiy magnit elementar magnitlar yigindisidan iborat degan nazariyani yaratdi.

Keyinchalik, elektr tokining magnit ta'siri o'rganilgandan keyin Veberning bu "molekulyar magnitlar" Amper tomonidan unga ekvivalent bo'lgan "molekulyar toklar" bilan almashtirildi. Keyinchalik Amper ko'rsatdiki, elementar elektr dipoli bilan magnit dipolining hosil qilgan magnit maydonlarining ekvivalentligi isbot qilindi.

Elektromagnetizm tarixida eng muhim voqea Faradey tomonidan elektromagnit induksiya hodisasining ochilishi bo'ldi. Bu kashfiyot juda ko'p texnik qo'llanishlarga ega ekanligi hammaga ma'lum. Shunday qilib, alohida-alohida hisoblanib kelingan elektr va magnit hodisalarining bir-biri bilan uzviy aloqasi bor ekanligi aniqlandi.

O'tgan asrning 60 yillarida D. K. Maksvell va M. Faradeyning elektr va magnit maydoni bo'yicha o'tkazilgan tajribalarini umumlashtirib, elektromagnit maydon nazariyasini ishlab chiqdi. Maksvell nazariyasi klassik fizikani rivojlantirishda muhim rol o'ynadi va umumiy formada juda ko'p sondagi hodisalarni, qo'zg'almas zaryadlarning elektrostatik maydonidan tortib to yorug'likning elektrmagnit tabiatigacha bo'lgan jarayonni tushuntirib berdi. Boshqacha qilib aytganda, alohida hisoblanib kelingan elektr, magnetizm va optikani birlashtirdi.

Xullas XX asrning boshlariga kelib elektromagnit hodisalar Maksvell va Faradey ishlari bilan tugallanganday bo'lib qoldi, chunki elektromagnit maydonni boshqaradigan asosiy qonunlar topildi, tegishli tenglamalar yozildi, kelajak avlodning vazifasi bu tenglamalarning yechimini topishdan iborat bo'lganday tuyuldi. Keyinchalik, ma'lum bo'ldiki, hech qanday tugallanganlik haqida gap bo'lishi mumkin emas. Elektromagnit nazariyasi ham mexanika singari unga kvant mexanika qonunlari va nisbiylik nazariyasini qo'llash orqali juda katta yutuqlarga erishildi.

1. Elektrostatika

1.1. Elektr zaryadi. Elektrostatik o'zaro ta'sirni tajribada o'rganish shunday xulosaga olib keladiki, elektrlangan jismni skalyar fizik kattalik - elektr zaryadi bilan xarakterlash mumkindir.

Elektr zaryadini aniqlash uchun quyidagicha tajriba qilamiz. Elektrostatik maydonning qandaydir nuqtasiga navbat bilan turli xil zaryadlangan jismlarni joylashtiramiz va unga maydon tomonidan ta'sir qilgan kuchlarni aniqlaymiz. Agar maydonni hosil qiluvchi va unga kiritilgan jismlarning o'lchami ular orasidagi masofaga nisbatan kichik bo'lsa, tajriba ko'rsatadiki, o'zaro ta'sir kuchlar bitta to'g'ri chiziq bo'ylab ta'sir qiladi, lekin bu ta'sir ba'zi bir jismlar bilan bir yo'nalishda, boshqalari bilan esa qarama-qarshi yo'nalishda bo'ladi. Shunga asosan, barcha zaryadlangan jismlar ikkiga bo'linadi va qarama-qarshi ishorali zaryadlar bilan xarakterlanadi, ularning absolyut miqdorlari q_1 va q_2 ga teng deb olinadi. Shu jismlarga ta'sir qiluvchi kuchlar kattaliklarining F_1 va F_2 nisbatlari ularning zaryadlari q_1 va q_2 nisbatida bo'ladi, ya'ni quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\frac{|q_1|}{|q_2|} = \frac{F_1}{F_2} \quad (1.1)$$

Shunday qilib, zaryadning absolyut miqdori son jihatidan shu zaryadga va birlik zaryadga navbatma-navbat maydonning shu nuqtasiga joylashtirilgan zaryadga ta'sir qiluvchi kuchlar nisbatiga teng bo'ladi.

Hozirgi vaqtda ma'lumki, jismning zaryadi atom tarkibiga kiruvchi elementar zarrachalar (musbat zaryadlangan protonlar va manfiy zaryadlangan elektronlar) ning elektr zaryadi bilan aniqlanadi. Bu elementar zarrachalarning elementar elektr zaryadlarining miqdori

$$q_e = q_p = 1,602 \times 10^{-19} \text{ Kl} \quad (1.2)$$

ga teng bo'lsa, u holda jismning to'la zaryadi quyidagiga teng bo'ladi:

$$q = q_e N_e + q_p N_p \quad (1.3)$$

bu yerda N_e, N_p - mos ravishda elektronlar va protonlar soni.

Protonlar soni elektronlar soniga teng $N_e = N_p$ bo'lganda, $q=0$ elektroneytral holatda; elektronlar soni protonlar sonidan kam $N_e < N_p$ bo'lganda, jism musbat $q > 0$ zaryadlanadi, elektronlar soni protonlar sonidan ziyod $N_e > N_p$ bo'lganda, manfiy $q < 0$ zaryadlangan bo'ladi.

Shunday qilib jism zaryadi hamma vaqt elementar zaryad kattaligiga nisbatan butun yoki diskretdir. Elektr zaryadlarning saqlanish qonuni

$$q = \sum_i q_i = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_i$$

Makroskopik jismlarning elektr xossasini o'rganishda, zaryadning bu jismlarda taqsimlanishini uzluksiz deb qarash mumkin.

Zaryadning moddada taqsimlanishini xarakterlash uchun zaryad zichligi degan tushuncha kiritiladi.

1. Hajmiy zaryad zichligi deb hajm birligiga to'g'ri keladigan zaryadga son jihatdan teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi va u quyidagicha aniqlanadi:

$$\rho = \frac{dq}{dV} \quad (1.4)$$

2. Ba'zi hollarda zaryad sirdagi makroskopik qatlamda ham (masalan o'tkazgich sirti yaqinida) to'planishi mumkin, ya'ni zaryadni sirt bo'yicha taqsimlangan deb qarash mumkin. Zaryadning bunday taqsimlanishi sirt zaryad zichligi bilan xarakterlanadi, u makroskopik cheksiz kichik uchastkasidagi zaryad dq ning shu uchastka yuzasi dS ga nisbati bilan aniqlanadi, ya'ni

$$\sigma = \frac{dq}{dS} \quad (1.5)$$

Demak, sirt zaryad zichligi son jihatdan yuza birligiga to'g'ri keluvchi zaryadga teng bo'ladi.

3. Ko'pgina masalalarda zaryad qanday tartiblangan formada (ip, silindr) taqsimlanishini aniqlash uchun chiziqli zaryad zichligi tushunchasi kiritiladi:

$$\lambda = \frac{dq}{dl} \quad (1.6)$$

1.2. Kulon qonuni. Kulon (1785 yil) tajribada ikkita nuqtaviy zaryadning, ya'ni o'lchami ular orasidagi masofaga nisbatan kichik bo'lgan zaryadlangan jismlar (uchun tajriba) o'zaro ta'sir qonunini topdi. Bu qonunga ko'ra, ikkita

nuqtaviy zaryadning o'zaro ta'sir kuchlari Nyutonning uchinchi qonunini qanoatlantirdi, ya'ni zaryadlar o'rtasidagi kuch zaryadlarni birlashtiruvchi to'g'ri chiziq bo'yicha yo'nalgan bo'ladi, kattaliklari teng va yo'nalishlari qarama-qarshi bo'ladi, Bu kuchlarning kattaligi q_1 va q_2 zaryadlarga to'g'ri propartsional va ular orasidagi masofaning kvadratiga r_{12} teskari propartsional:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

(1.7) yoki

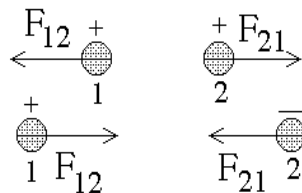
$$\frac{F}{\epsilon} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Bu yerda $\epsilon = \frac{F_0}{F}$ - nisbiy dielektrik singdiruvchanlik bo'lib, u o'lchamsiz kattalik hisoblanadi, ϵ_0 - elektr doimiy bo'lib,

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \frac{H \times M^2}{\kappa l^2}$$

ekanligini e'tiborga olsak va u quyidagiga teng bo'ladi:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9} \times \frac{\kappa l^2}{H \times M^2} = 8,85 \times 10^{-12} \frac{F}{m};$$



1-rasm. Kuchlarning o'zaro ta'siri.

1-rasmda bu kuchning yo'nalishi ko'rsatilgan. Kuchlarning yo'nalishi zaryadning ishorasiga bog'liq. Agar zaryadlar ishorasi bir xil bo'lsa, zaryadlarga ta'sir qiluvchi kuchlar qarama-qarshi tomonga yo'nalgan bo'ladi.

1.3. Elektr maydon kuchlanganligi. Elektr maydonning asosiy xarakteristikasi kuchlanganlik vektoridir. Qandaydir qo'zg'almas zaryadlar

sistemi tomonidan xosil qilingan ixtiyoriy elektrostatik maydonini qaraymiz. Sinash zaryadi q_0 ni olamiz va uni maydonning turli xil nuqtalariga joylashtiramiz. (1.1) ga ko'ra sinash nuqtaviy zaryadga maydon tomonidan ta'sir qiluvchi kuch F sinash zaryad q_0 kattaligiga proporsionaldir:

$$F = Eq_0 \quad (1.8)$$

Sinash zaryadi eng kamida ikkita shartni qanoatlantirishi kerak. Birinchidan, uning geometrik o'lchamlari juda kichik bo'lishi kerak, chunki bizni fazoning ma'lum nuqtasidagi kuch qiziqtiradi. Ikkinchidan, uning kattaligi q_0 ham uncha katta bo'lmasligi kerak, aks holda uning maydoni tekshirilayotgan maydonning hosil qilgan zaryadlarining qayta taqsimlanishini o'zgartirib yuborishi mumkin, ya'ni natijalarni sezilarli o'zgartirib yuborishi mumkin.

F - kuch maydonning xarakteristikasi bo'la olmaydi, chunki u shu maydonga kiritilgan sinash zaryadiga bog'liqdir. Vektor E esa q_0 ga bog'liq emas, u maydonning xossasiga, ayniqsa maydonni hosil qilgan zaryadning fazoda tarqalishiga va fazoning nuqtasiga bog'liqdir. Uni elektr maydon kuchlanganligi deyiladi. (1.8) ifodadan quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (1.9)$$

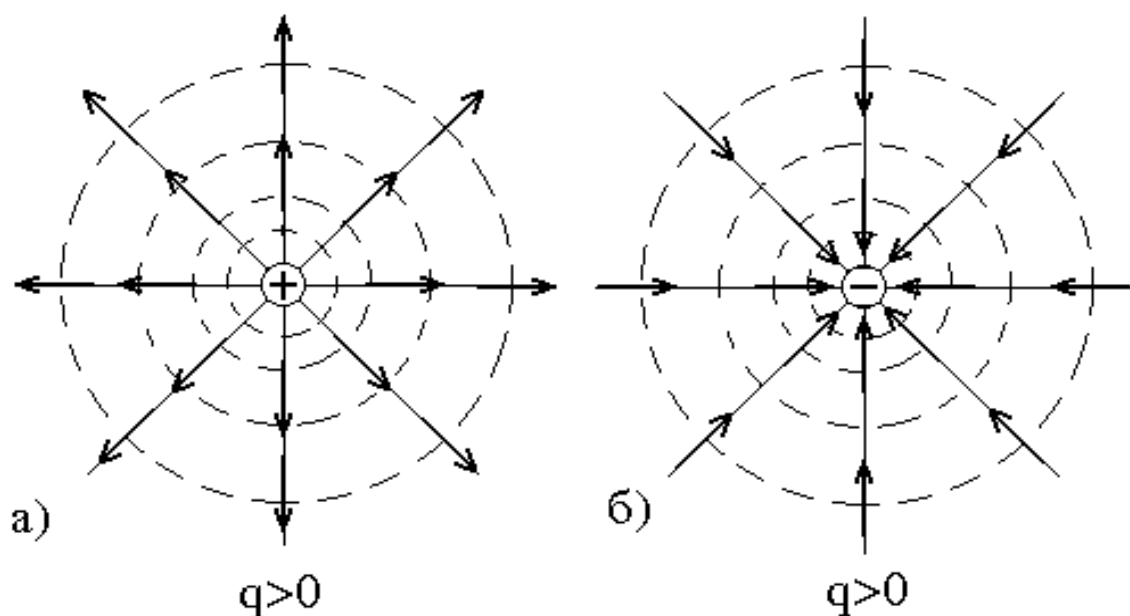
Elektr maydon kuchlanganligi son jihatdan sinash zaryad kattaligiga ta'sir qiluvchi kuchga yoki boshqacha aytganda, kuchlanganlik son jihatdan va yo'nalishi jihatdan musbat sinash zaryad birligiga ta'sir qiluvchi kuchga tengdir. SI sistemasida kuchlanganlikning o'lchov birligi 1N/Kl bu esa 1V/m ga ekvivalentdir.

Juda ko'p masalalarda fazoda zaryadlarning taqsimlanishiga qarab elektrostatik maydonning kuchlanganligini aniqlash talab etiladi.

1.4. Nuqtaviy zaryadning maydon kuchlanganligi. Nuqtaviy zaryadni q bilan, fazodagi nuqtalarning xolatini radius- vektor $\vec{r}$ bilan xarakterlaymiz. Sinash zaryad q_0 ga ta'sir qiluvchi Kulon qonuni (1.7) bilan aniqlanadi, buni (1.9) ga qo'ysak, u holda nuqtaviy zaryadning maydon kuchlanganligi uchun quyidagini hosil qilamiz:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \quad \text{yoki} \quad \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^3} \vec{r} \quad (1.10)$$

(1.10) dan ko'rinadiki, musbat nuqtaviy zaryadning ($q > 0$) maydonda kuchlanganlik vektori radius-vektor $\mathbf{r}$ tomon yo'nalgan bo'ladi, manfiy zaryadnig ($q < 0$) maydon $\mathbf{r}$ ga qarshi yo'nalgan bo'ladi, ya'ni q zaryadga tomon yo'nalgan bo'ladi. Kuchlanganlikning kattaligi masofaning kvadratiga teskari proporsionaldir. Nuqtaviy zaryadning maydon manzarasi 2-rasm da tasvirlangan (a va b hol). Bu yerda kuchlanganlik vektori strelka bilan tasvirlangan.



2-rasm. Elektr maydon kuch chiziqlari

1.5. Superpozitsiya prinsipi. Elektrostatik maydon uchun superpozitsiya prinsipi, yoki qo'shilish, bunga ko'ra ixtiyoriy zaryadlar sistemasi tomonidan hosil qilingan maydon kuchlanganligi har bir nuqtada alohida zaryadlar hosil qilgan maydon kuchlanganliklar yig'indisiga teng bo'ldi.

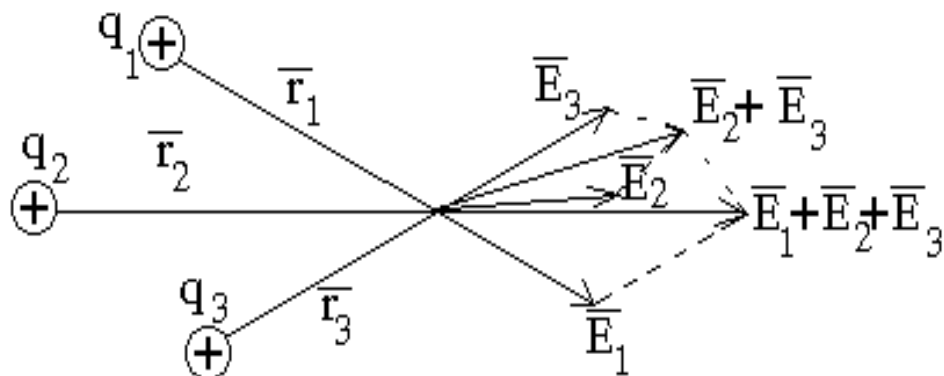
$$\mathbf{E} = \sum_i \mathbf{E}_i \quad \text{yoki} \quad \mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \mathbf{E}_3 + \dots \quad (1.11)$$

bu yerda E_i -sistemaning i -zaryad hosil qilgan maydon kuchlanganligi va yig'indi sistemadagi barcha zaryadlar bo'yicha olinadi. Superpozitsiya prinsipi zaryadlar fazoda har qanday taqsilanganda maydon kuchlanganligi nazariy hisoblash mumkinligini ko'rsatadi. Xaqiqatda ham har qanday zaryadlangan jismlar sistemasi nuqtaviy zaryadlar yig'indisi yoki to'plami deb qarash

mumkin. Alohida i-ta nuqtaviy zaryad q_i ta formula (1.11) ga ko'ra maydon hosil qilgan, superpozitsiya prinsipiga asosan quyidagiga ega bo'lamiz:

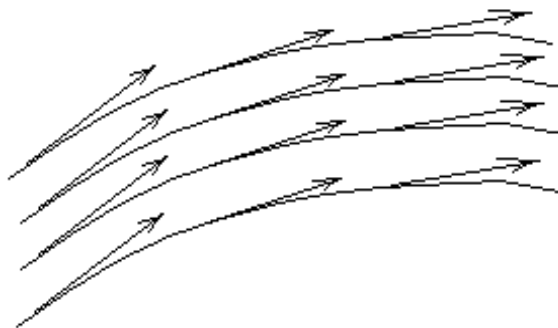
$$\vec{E} = \sum_i \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{r_i^3} \vec{r}_i \quad (1.12)$$

Bu hol uchta nuqtaviy zaryad uchun quyidagi 3-rasmda ko'rsatilgan:



3-rasm. Maydonlar superpozitsiya printsipi

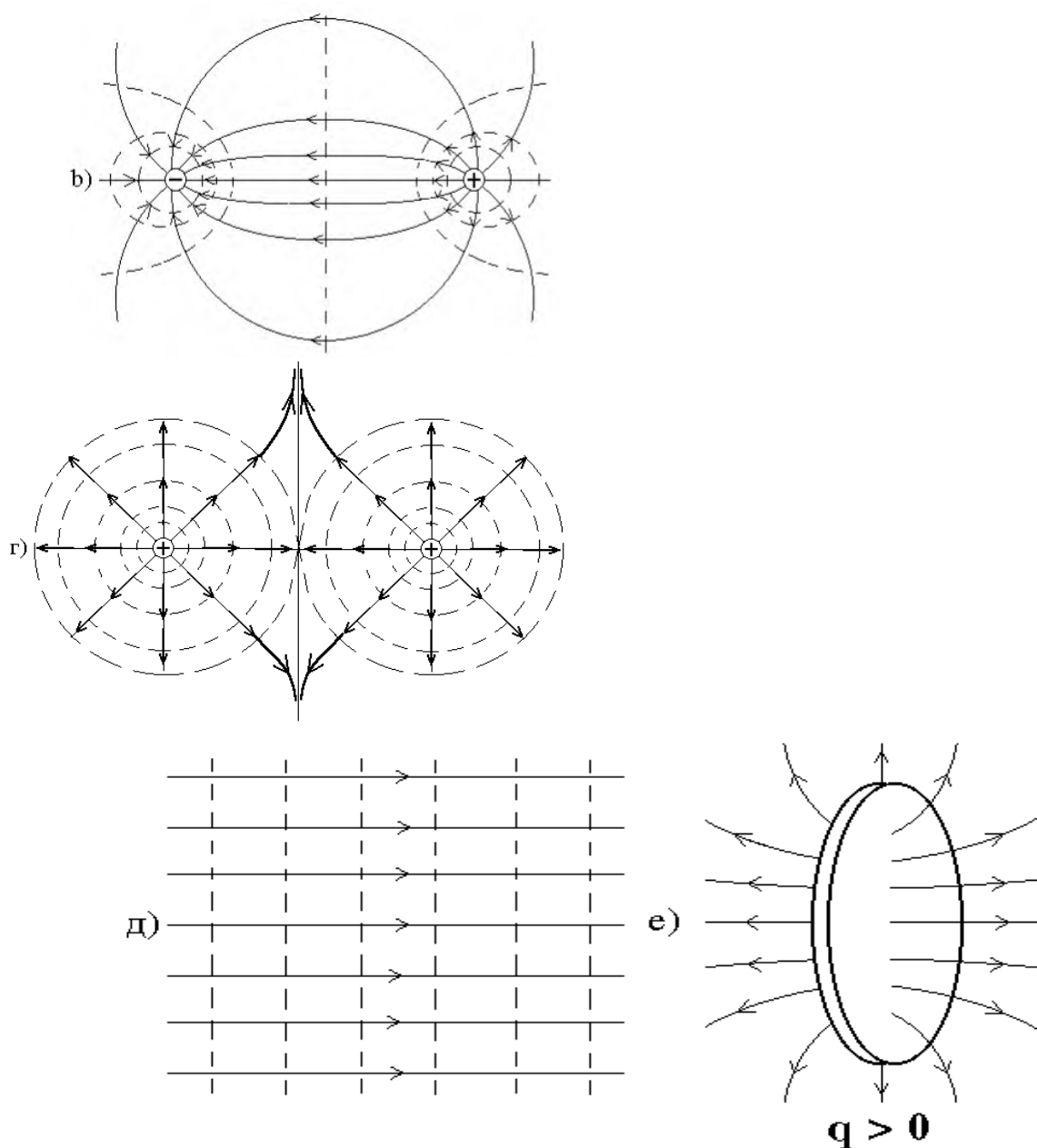
1.6. Kuchlanganlik chiziqlari. Agar qandaydir vektor kattalikning qiymati fazoning barcha nuqtalarida yoki fazoning sohasida aniqlangan bo'lsa, vektor maydon haqida gapiriladi. Vektor maydonning ko'rgazmali tasvirini hosil qilish uchun chiziqlar shunday o'tkaziladiki, har bir nuqtadagi vektorning yo'nalishi shu chiziq'larga o'rinli bo'lishi kerak (4-rasm).



4-rasm. Kuchlanganlik chiziqlari

Vektor maydon chiziqlarini o'tkazish shunday shart bilan amalga oshiriladi, uning zichligi har bir nuqtadagi vektor kattalikning absolyut qiymatiga teng bo'ladi. Bunga ko'ra vektor maydon kichik chiziqlar manzarasiga qarab nafaqat

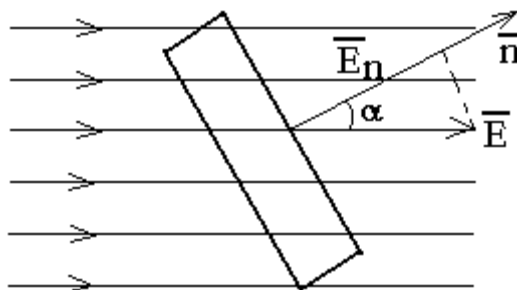
uning yo'nalishi haqida, balki uning kattaligi haqida fikr yuritildi: chiziqlar zich bo'lgan joyda vektorning kattaligi ko'p, va aksincha. Kuchlanganlik vektori chiziqlari yana bir muhim xossaga ega bo'ladi: agar kuch chiziqlarini zichlik sharti bo'yicha o'tkazilsa, ular zaryadlangan jismlardan tashqari uzluksiz bo'lib, zaryad bor joyda esa uziladi, musbat zaryad bor joyda –“boshlanadi”, manfiy zaryadlarda –“ tugaydi”. Bu esa Gauss tenglamasini natijasi, bu haqda keyin qaraymiz. 5-rasmida ikkita turli xil va bir xil zaryadlangan, bir jinsli va yupqa zaryadlangan diskning kuchlanganlik chiziqlari tutash chiziqlar bilan belgilangan.



5-rasm. Kuchlanganlik chiziqlari

1.7. Kuchlanganlik oqimi. Vektor maydonlarining xossasini xarakterlash uchun skalyar kattalik sirt orqali o'tuvchi vektor oqimi kiritiladi. Elektrostatikada kuchlanganlik vektori oqimi bilan ish ko'riladi bu yerda kuchlanganlik vektor oqimi haqida so'z yuritiladi.

Oqimni aniqlash uchun, hususiy holdan boshlaymiz, maydon bir jinsli bo'lgan, sirt tekis bo'lgan holni qaraymiz.



6-rasm. Kuchlanganlik oqimi

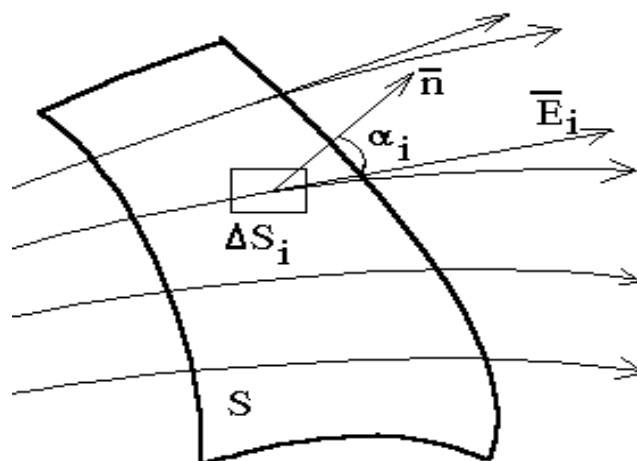
Bu holda kuchlanganlik vektori E , yuza S orqali, oqim F quyidagi formula bilan aniqlanadi :

$$\Phi = E \cos \alpha S \quad (1.13)$$

bu yerda α burchak kuchlanganlik E bilan yuzaga tushirilgan normal $\mathbf{n}$ o'rtasidagi burchak, $E_n = E \cos \alpha$ kuchlanganlikning normal bo'yicha proeksiyasi (6-rasm). Umumiy holda, maydon bir jinsli va sirt yassi bo'lmaganda, sirtni fikran mayda qismlarga bo'lamiz, ya'ni taqriban uni yassi deb hisoblash mumkin bo'lsin, barcha nuqtalardagi maydonni bir jinsli deb hisoblaymiz. Yuzasi DS_i - bo'lgan i -ta qismdan o'tgan kichik kuchlanganlik oqimi $d\Phi_i$ (1.13) ga ko'ra quyidagicha bo'ladi:

$$d\Phi_i = E_i DS_i \cos \alpha_i \quad (1.14)$$

bu yerda $E_{(i)}$ - shu uchastkadagi maydon kuchlanganligi va α_i - kuchlanganlik $E_{(1)}$ bilan normal o'rtasidagi burchak (7-rasm).

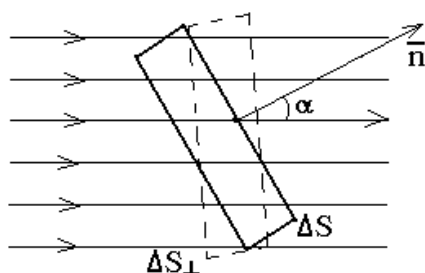


7-rasm. Kuchlanganlik chiziqlari

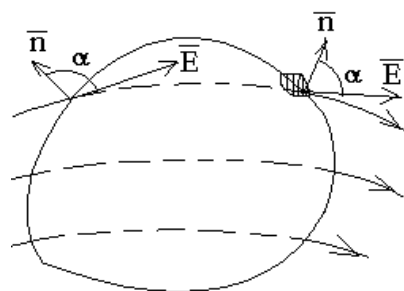
S sirt orqali o'tuvchi to'la kuchlanganlik oqimi F ni topish uchun uning mayda uchastkalaridan o'tuvchi oqimlarning yig'indisini olamiz va limitga o'tamiz, ya'ni $\Delta S_i \rightarrow 0$:

$$\Phi = \lim_{\Delta S_i \rightarrow 0} \sum_i E_{ni} \Delta S_i = \oint_S E_n dS \quad (1.15)$$

ΔS sirtidan o'tgan maydon kuchlanganlik oqimining absolyut qiymati son jihatidan shu yuzani kesib o'tuvchi kuchlanganlik chiziqlari soniga teng bo'ladi. Xaqiqatda ham 8-rasmdan ko'rinadiki, ΔS yuzada va uning tekislikka proeksiyasi $\Delta S_{\perp}$ dan va bir xil sondagi kuchlanganlik chiziqlari o'tadi va y $E \Delta S_{\perp}$ ga teng, tekislik haqidagi shartga ko'ra, $\Delta S_{\perp}$ yuzachadan E kuchlanganlik chizig'i o'tadi. $\Delta S_{\perp} = \Delta S \cos \alpha$ bo'lgan, chunki u vaqtda $E \Delta S_{\perp} = E \Delta S \cos \alpha = \Phi$ isbot etildi.



8-rasm. Kuch chiziqlari



9-rasm. Kuchlanganlik chiziqlari

Oqimning ishorasi kuchlanganlik vektori yo'nalishi bilan sirtga tushirilgan normal orasidagi burchakka bog'liqdir. Yopiq sirt bo'yicha oqimni aniqlashda shartli ravishda sirtga tashqi normal tushiriladi. U vaqtda rasm 8 dan ko'rinadiki, oqim musbat bo'ladi kuchlanganlik chiziqlari sirtan chiqqan joyda, (bu yerda $a < p/2$, $E_n > 0$, demak, $F > 0$) va manfiy bo'ladi, kuchlanganlik chiziqlari kirgan joyda ($a > p/2$, $E_n < 0$, $F < 0$). Demak, yopiq sirt orqali o'tgan oqim son jihatdan sirtan chiqayotgan chiziqlardan unga kirayotganining ayirmasiga teng bo'ladi.

1.8. Gauss teoremasi. Elektrostatik maydon uchun quyidagi eng muhim oqim to'g'risida Gauss teoremasi mavjud. Har qanday ixtiyoriy yopiq sirt orqali o'tgan kuchlanganlik vektorining oqimi proporsionallik koeffitsienti aniqligida shu sirt ichida joylashgan zaryadlarning algebraik yig'indisiga tengdir. SI sistemasida proporsionallik koeffitsienti $1/e_0$ ga teng va Gauss teoremasi bo'yicha ixtiyoriy yopiq sirt orqali o'tgan kuchlanganlik oqimi:

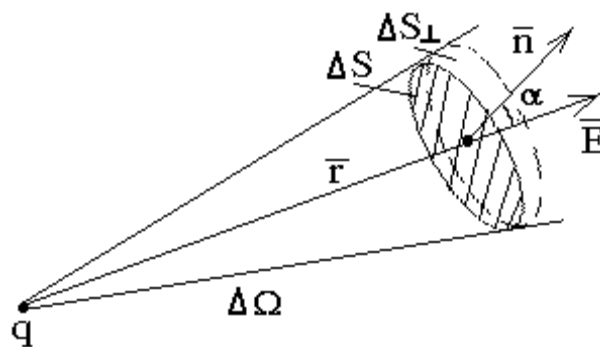
$$\Phi = \oint_S \vec{E}_n dS = \frac{1}{e_0} \sum_{i=1}^n q_i \quad (1.16)$$

Teoremani isbot qilishni uch etapga bo'lib olib boramiz.

1. Dastlab qo'shimcha shartni isbot qilamiz. q nuqtaviy zaryad maydonida DS - yuzachadan o'tgan kuchlanganlik oqimi $D\Phi$ shu zaryad va jism oniy DW aniqlanadi, ya'ni

$$D\Phi = \pm \frac{1}{4\pi e_0} q DW \quad (1.17)$$

bu yerda ishora yuzaga tushirilgan normalni tanlab olish bilan aniqlanadi. Aniqroq bo'lish uchun zaryad q ni musbat deb hisoblaymiz. DS ga normalni shunday tanlaymizki, ya'ni u radius vektor $\mathbf{r}$ bilan o'tkir burchak hosil qilsin (10-rasm).



10-rasm. DW ni tanlash

Formula (1.11) ga qo'yib, nuqtaviy zaryad kuchlanganligining absolyut miqdori uchun quyidagiga ega bo'lamiz:

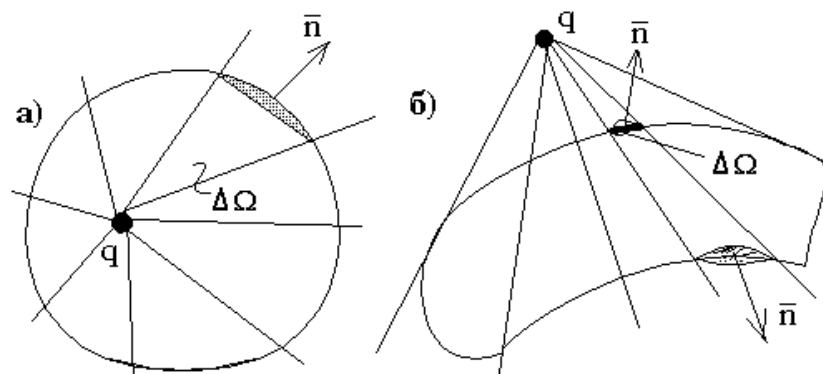
$$d\Phi = E \Delta S \cos \alpha = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \Delta S \cos \alpha \quad (1.18)$$

“+” ishora normalning zaryad q dan bir yo'nalishga, “-“ normalga teskari yo'nalishga mos keladi.

2. Endi teoremani to'la nuqtaviy zaryad maydoni uchun isbotlaymiz. Istalgan ixtiyoriy yopiq sirt orqali o'tgan kuchlanganlik oqimi q/ϵ_0 yoki 0 ga teng, bu esa zaryad q ning sirtning ichida yoki tashqarisida bo'lishiga bog'liqdir.

Sirtni qavariq deb, uni kichik qismlarga bo'lamiz, ulardan har biri tegishli jismoniy burchak doirasida to'plangan deb (zaryad q joylashgan) va sirtning har bir qismidan o'tuvchi kuchlanganlik oqimi formula (1.18) bilan aniqlanadi (11-rasm). Agar sirt zaryadni o'rab olsa (11 a- rasm), u vaqtda bu formulada “+” ishora olish kerak, chunki sirtning barcha qismlarida tashqi normal zaryad q dan yo'nalgan. Sirtning barcha qismlaridan o'tgan oqimlarning yig'indisini olsak va yoyilgan jismoniy burchak 4π steradianga teng bo'lishini hisobga olsak, to'la oqim uchun quyidagi ifodani yozamiz:

$$\Phi = \oint d\Phi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \oint d\Omega = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (1.19)$$



11-rasm. DW ni tanlash

Agar zaryad yopiq sirtidan tashqarida joylashsa, u vaqtda sirt bitta jismoniy burchak doirasida juft uchastkalarga bo'linadi (11 b-rasm). Har ikkita shunday uchastkadan o'tuvchi oqimlar DF (1.15) ga ko'ra, lekin ishorasi qarama-qarshi bo'ladi, chunki uchastkalardan birida normal zaryad q ga yo'nalgan bo'ladi, shuning uchun, yig'indi olganda kichik oqimlar bir-birini yo'qotadi va to'la oqim butun sirt orqali o'tuvchi nolga teng bo'ladi.

Gauss teoremasini umumiy hol uchun ixtiyoriy sistemadagi nuqtaviy zaryadlar maydoni uchun isbot qilamiz. Kuchlanganlik uchun superpozitsiya printsipidan ma'lumki, ixtiyoriy yopiq sirt orqali o'tgan kuchlanganlik oqim vektorini sistemaning har bir nuqtaviy zaryadi hosil qilgan oqimlar F_i yig'indisidan iborat deb qarash mumkin.

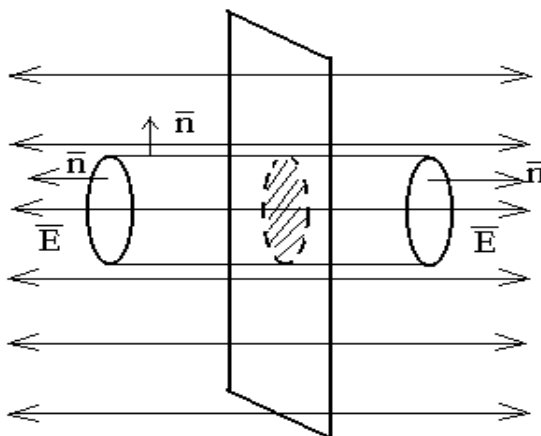
$$\Phi = \oint_S \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} dS = \oint_S \left(\sum_i \mathbf{E}_i \right) \cdot \mathbf{n} dS = \sum_i \oint_S \mathbf{E}_i \cdot \mathbf{n} dS = \sum_i \Phi_i \quad (1.20)$$

Yuqorida qilgan isbotimizga ko'ra, zaryadning sirtidan tashqarida hosil qilgan oqimlari nolga teng, sirt ichida joylashganlari q/ϵ_0 ga teng bo'ladi.

Gauss teoremasi zaryadlar va ularning hosil qilgan maydonini bog'lasada, umuman olganda zaryadning berilgan taqsimlanishi bo'yicha maydon kuchlanganligini hisoblash imkoniyatini bermaydi, chunki E keyingi integral tagidadir. Lekin zaryadning taqsimlanishi simmetrik bo'lgan holda, u yoki bu formada yopiq sirt tanlab olish imkoniyati bo'lgan hollarda kuchlanganlik vektori hamma yerda sirtga perpendikulyar bo'ladi va uning barcha qismlarida absolyut qiymati bir xil bo'ladi. Bunday holda kuchlanganlik kattaligi $E = \pm E_n = \text{const}$ bo'ladi va uni integraldan chiqarish mumkin va aniqlash mumkin.

1.9. Cheksiz zaryadlangan tekislik maydoni. Tekis zaryadlangan cheksiz tekislikni qaraymiz, uning zaryad zichligi $S > 0$ bo'lsin. Zaryadlarning taqsimlanishiga ko'ra, konkret sirt formasi tanlab olinadi.

Qaralayotgan masalada, maydon kuchlanganligi zaryadlangan tekislikdan uzoqlikda bo'lgan barcha nuqtalarda bir xil, ikkinchidan, hamma yerda tekislikka perpendikulyar va undan yo'nalgan. Bu tasavvurlar sirtini to'g'ri silindr ko'rinishida qarashga asos bo'ladi, uning yasovchisi kuchlanganlik chiziqlariga parallel, asoslari esa tekislikning ikkala tomonidan bir xil masofada joylashgan (12-rasm).



12-rasm. Tekis zaryadlangan cheksiz tekislik maydoni

Silindrning yon sirti orqali o'tgan kuchlanganlik oqimi nolga teng, chunki unda $E_n = 0$. Har bir asosdan o'tgan oqim quyidagicha yoziladi:

$$\Phi = \oint_S \vec{E}_n dS = \oint_S \vec{E} dS = ES \quad (1.21)$$

bu yerda S - asosining yuzi. Silindr sirti orqali o'tgan to'la oqim:

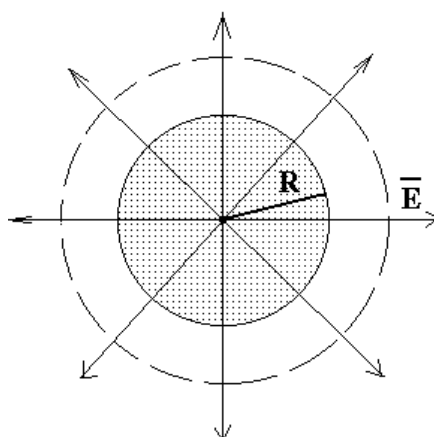
$$\Phi = \Phi_{\text{ёнсирт}} + \Phi_{1\text{асос}} + \Phi_{2\text{асос}} = 2ES \quad (1.22)$$

Silindr ichida joylashgan zaryad (shtrixlangan qismda) s S ga teng. Gauss teoremasiga ko'ra quyidagiga ega bo'lamiz: $2ES = (1/\epsilon_0) s S$

$$E = \frac{s}{2\epsilon_0} \quad (1.23)$$

Bu formuladan ko'rinadiki, kuchlanganlik nuqtaning holatiga bog'liq bo'lmaydi, demak maydon plastinkaning ikkala tomonida ham bir jinslidir.

1.10. Sferik-simmetrik taqsimlangan zaryadning maydoni. Zaryad q radiusi R bo'lgan sferada simmetrik taqsimlangan bo'lsin, ya'ni zaryad zichligi ρ sfera markazi O gacha bo'lgan masofaga bog'liq bo'lsin. Zaryadni musbat deb hisoblaymiz. ($\rho > 0$). Simmetriya tasavvuri bo'yicha aytish mumkinki, maydon kuchlanganligi istalgan nuqtada radial yo'nalgan va uning kattaligi sfera markazidan teng uzoqlikdagi barcha nuqtalarda bir xildir (13-rasm).



13-rasm. Sferik-simmetrik taqsimlangan zaryadning maydoni

Demak, $E_n = E = \text{const}$ markazi O bo'lgan radiusi r ga teng bo'lgan barcha sferik sirtga o'zgarmas va shu sirt orqali o'tgan kuchlanganlik oqimi quyidagicha:

$$\oint_S E_n(r) dS = E(r) \oint_S dS = E(r) 4\pi r^2 \quad (1.24)$$

Gauss teoremasini radiusi $r > R$ bo'lgan sferik sirtga qo'llasak, (rasmda punktir bilan ko'rsatilgan) va uning ichida butun zaryad q to'plangan deb qarasak,

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

Bu yerda

$$E(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (1.25)$$

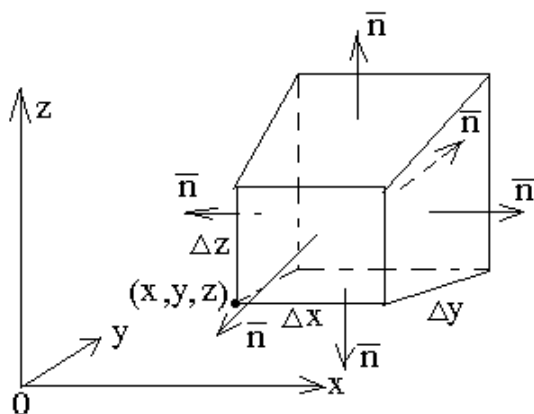
Shunday qilib, tashqi sohada maydon, sistema simmetriya markazida joylashgan nuqtaviy zaryad q ning maydoni kabi bo'ladi. Gauss teoremasini radiusi $r < R$ bo'lgan sferik sirt uchun (rasmda kichik radiusli aylana) qo'llasak, $E(r)4\pi r^2 = q/\epsilon_0$. Bu yerdan topamiz:

$$E(r)(r < R) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} q(r)/r^2 \quad (1.26)$$

Bu yerda $q'(r)$ - shu sfera ichidagi zaryad.

Shunday qilib sistemaning ichki nuqtalarida maydon shu sfera ichida joylashgan zaryad bilan aniqlanadi va bu sferadan tashqaridagi zaryadga bog'liq emas.

1.11. Gauss teoremasining differensial ko'rinishi. Integral ko'rinishdagi Gauss teoremasi (1.14) nolokal xarakterga ega, chunki unda fizik kattaliklarning qiymati fazoning turli xil nuqtasida mavjud bo'ladi E_p tanlab olingan sirtning barcha nuqtalarida va r - shu sirt bilan chegaralangan hajmning barcha nuqtalarida. Agar sirtni nuqtaga yaqinlashtirsak yoki limitga o'tsak, Gauss teoremasining differensial formasi-fizik kattaliklarning qiymatini bog'lovchi differensial tenglama hosil bo'ladi, zaryad zichligi va kuchlanganlikning koordinata bo'yicha hosilasi fazoning bitta nuqtasi uchun mavjud bo'ladi. Koordinatalari X, Y, Z bo'lgan nuqtani qaraymiz va uning koordinatalari kichik siljishlari Δx , Δy , va Δz tomonlari bo'yicha to'g'ri burchakli parallelopiped hosil qilamiz (14-rasm).



14-rasm. Kuchlanganlikni koordinatalar bo'yicha ifodalanishi

Shu parallelopiped sirti orqali o'tgan kuchlanganlik vektori oqimi uchun ifodani topamiz. Pastki qirra uchun yuza $DS = Dx Dy$ va $E_n = -E_z(x, y, z)$ chunki bu qirraga tashqi normal Z o'qiga teskari yo'nalgan:

$$D\Phi = -E_z(x, y, z)DxDy$$

Yuqori qirradan o'tuvchi oqim $-E_z(x, y, z + Dz)DxDy$ ga teng bo'ladi. Haqiqatda bu holda $E_n = +E_z$ ga teng, chunki tashqi normal yo'nalish Z o'qi bilan mos keladi va undan tashqari E_z ning qiymatini $x, y, z + Dz$ nuqtada olish kerak, chunki yuqori qirra Dz ga siljigan. Xuddi shunday yo'l bilan boshqa qirralar: chapdagi $-E_y(x, y, z) Dy Dz$, undagi $E_x(x + Dx, y, z) Dy Dz$, oldingi $-E_y(x, y, z) Dx Dz$ va orqadagi $E_y(x, y + Dy, z) Dx Dz$. Qirralar orqali o'tgan oqimlarni qo'shib, parallelopiped sirtidan o'tgan to'la oqimni topamiz, uni Gauss teoremasi bo'yicha $(1/\epsilon_0)r(x, y, z)DxDyDz$ zaryadga tenglashtiramiz (sirt ichida joylashgan):

$$\begin{aligned} & [E_x(x + Dx, y, z) - E_x(x, y, z)]DyDz + [E_y(x, y + Dy, z) - E_y(x, y, z)]DxDz + \\ & + [E_z(x, y, z + Dz) - E_z(x, y, z)]DxDy = (1/\epsilon_0)r(x, y, z)DxDyDz \end{aligned}$$

Tenglikning ikkala tomonini parallelopiped hajmiga bo'lamiz va limitga o'tamiz: $Dx \rightarrow 0$, $Dy \rightarrow 0$ va $Dz \rightarrow 0$ natijada quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{\nabla E_x}{\nabla x} + \frac{\nabla E_y}{\nabla y} + \frac{\nabla E_z}{\nabla z} = \frac{1}{\epsilon_0} r \quad (1.27)$$

Bu differensial tenglama bo'lib Gauss teoremasining differentsial ko'rinishini ifodalaydi.

1.12. Zaryadni elektrostatik maydonda ko'chirilganda bajarilgan ish.

Sinash zaryadni maydonda harakat qildirilganda elektrostatik kuchlar ish bajaradi. Mexanikadan ma'lumki, F kuchning cheksiz kichik ko'chishdagi dl ishi $dA = F dl \cos a = F_1 dl$ bilan aniqlanadi, bu yerda a - kuch yo'nalishi bilan ko'chish orasidagi burchak, $F_1 = F \cos a$ kuchning ko'chish yo'nalishdagi proektsiyasi. Chekli yo'ldagi ish (V nuqtadan S nuqttagacha uchastkada) kichik ishlarning yig'indisi sifatida aniqlanadi:

$$A_{BC} = \int_B^C \vec{F} \cos a \, dl = \int_B^C F_l \, dl$$

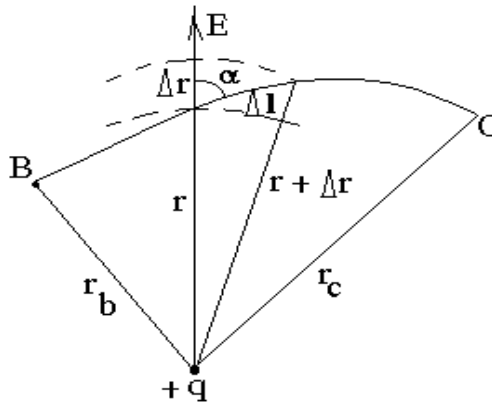
sinash zaryadga ta'sir qiluvchi kuch $F = Eq_0$ bilan aniqlangani uchun, elektrostatik kuchning sinash zaryadini cheksiz kichik siljish dl ko'chirganda bajargan ishi quyidagicha bo'ladi:

$$A_{BC} = Eq_0 \int_B^C dl \cos a = q_0 \int_B^C E_l \, dl \quad (1.28)$$

V nuqtadan S nuqtagacha chekli uchastkada bajargan ishi

$$A_{BC} = q_0 \int_B^C \vec{E} \cos a \, dl = q_0 \int_B^C E_l \, dl \quad (1.29)$$

Sinash zaryadni q_0 nuqtaviy zaryad maydonida ko'chirganda bajarilgan ishni hisoblaymiz (15-rasm).



15-rasm. Zaryadni maydonda ko'chirganda bajarilgan ishni hisoblash

(1.29) formulaga (1.25) nuqtaviy zaryad maydon kuchlanganligining ifodasini quyidagicha va $dl \cos a = dr$ ekanligini hisobga olsak (15-rasm) dan ko'rinib turibdiki, u vaqtda quyidagiga ega bo'lamiz:

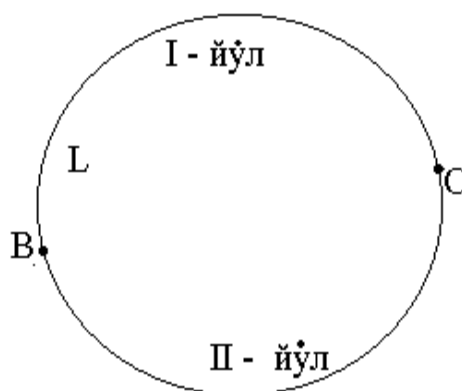
$$A_{BC} = q_0 \int_B^C \vec{E} \cos a \, dl = q_0 \int_{r_B}^{r_C} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \, dr = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_B}^{r_C} \frac{dr}{r^2} = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_C} \right) \quad (1.30)$$

bu yerda r_B va r_C - zaryad q dan yo'lining boshlang'ich va oxirgi nuqtasigacha b'lgan masofalar. Bu formuladan ko'rinadiki, ish siljish (ko'chish) ning boshlang'ich va oxirgi nuqtalarining xolatiga bog'liq bo'lib, yo'lining formasiga bog'liq emasdir, chunki isbot qilishda forma ixtiyoriy tanlab olingan edi. Ko'rish mumkinki, sinash zaryadni kuchirganda bajarilgan ishning yo'lining formasiga bogliq bo'lmasligi har qanday elektrostatik maydonning umumiy xossasiga kiradi. Xaqiqatdan ham, (1.29) formuladan va (1.11) superpozitsiya printsipidan foydalanib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$A_{BC} = q_0 \oint E_l dl = q_0 \oint \left(\sum_i E_l^i \right) dl = \sum_i q_0 \left(\oint E_l^i dl \right) = \sum_i A_i \quad (1.31)$$

Ixtiyoriy zaryadlar sistemasi tomonidan bajarilgan ish har bir nuqtaviy zaryadning (aloxida) bajargan ishlarining yigindisiga teng bo'ladi. Har bir ish A_i sinash zaryadning traektoriyasining formasiga bog'liq emas, u vaqtda yig'indi ish ham yo'lining formasiga bog'liq bo'lmaydi. Bu shuni bildiradiki, **elektrostatik kuchlar-konservativdir**.

Ish yo'lining formasiga bog'liq bo'lmasligidan zaryadni yopiq kontur bo'yicha bajargan ishi nolga teng bo'lishi kelib chiqadi. Haqiqatda yopiq kontur L da ixtiyoriy V va S nuqtalar olamiz (16-rasm). Nuqtaviy zaryadni (q_0) kontur bo'yicha ko'chirganda bajarilgan ishi ikkita haddan iborat: $A = A_{VS} + A_{SV}$.



16-rasm. Berk konturda bajarilgan ish

Ikkinchi had ($-A_{VS}$) ga almashtirish mumkin, chunki yo'nalish o'zgartirilganda ko'chish ham ishorasini o'zgartiradi va shunday qilib $A = A_{VS} - A_{VS}$. Ammo, $A_{VS} = A_{VS}$ ish yo'lining formasiga bog'liq bo'lmagani uchun $A = 0$. (1.29) ifodani qo'llab va q_0 ga qisqartirib, olingan natijani quyidagicha yozish mumkin:

$$\oint_l \vec{E}_l dl = 0 \quad (1.32)$$

Ixtiyoriy vektor maydoni $\mathbf{A}$ uchun $\oint_l \vec{A}_l dl = 0$ ifodani yozish mumkin va unga $\mathbf{A}$ vektorning yopiq kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi deyiladi. Sirkulyatsiya oqim bilan birga vektor maydonining asosiy xarakteristikasidir. Formula (1.32) shuni bildiradiki, elektrostatik maydon kuchlanganligining yopiq kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi nolga teng ekan.

1.13. Potensial va potensial energiya. Elektrostatik kuchlarning konservativ xossasidan kelib chiqadiki, elektrostatik maydonda joylashgan sinash zaryad potentsial energiyaga ega bo'ladi. Potensial energiyaning umumiy aniqlanishidan foydalanib aniqlash mumkinki, maydonning qandaydir V nuqtasidan qandaydir fiksirlangan nuqtaga (potensial energiyaning sanoq nuqtasi) ko'chirganda bajargan ishni hisobdaymiz. Chekli o'lchamdagi zaryadlar sistemasi uchun sanoq boshi sifatida (sanoq nuqtasi) cheksiz uzoqlashgan nuqta (∞) qabul qilinadi.

Shunday qilib, (1.29) ni hisobga olsak, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$W_p = A_{\infty} = q_0 \oint_B \vec{E}_l dl \quad (1.33)$$

Sinash zaryadining potensial energiyasi maydonning xarakteristikasi bo'la olmaydi, chunki u sinash zaryadining kattaligiga bog'liqdir. (1.33) ga asosan, bu bog'lanish to'g'ri proporsionaldir, lekin potensial energiyaning sinash zaryad kattaligiga nisbati sinash zaryadga bog'liq bo'lmaydi. Sinash zaryad potensial energiyaning shu sinash zaryadga nisbati elektrostatik maydonning shu nuqtasidagi potentsiali deyiladi:

$$j_B = \frac{W_p}{q_0} = \frac{A_{\infty}}{q_0} = \oint_B \vec{E}_l dl \quad (1.34)$$

Bundan kelib chiqadiki, potensial son jihatdan birlik musbat zaryadning potensial energiyasiga tengdir.

Elektrostatik maydonning potentsiali skalyar kattalikdir. Fazoning barcha nuqtalarida yoki fazoning ma'lum sohasida qandaydir skalyar kattalikning qiymati aniqlangan bo'lsa, u vaqtda skalyar maydon haqida gapiriladi. Demak, elektrostatikada biz skalyar maydon potentsiali haqida gapiramiz.

Dastlab nuqtaviy zaryad uchun potensial formulasini chiqaramiz. Zaryad q dan r masofada joylashgan sinash zaryadning potensial energiyasini topamiz,

buning uchun, (1.33) va (1.31) formulalardagi r_B o'rniga r ni va (φ) o'rniga φ ni qo'yamiz:

$$W_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 q}{r} \quad (1.35)$$

Bu ifodani q_0 ga bo'lsak, nuqtaviy zaryad q ning r masofadagi maydonini topamiz:

$$j = \frac{W_p}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} \quad (1.36)$$

Potensial uchun ham kuchlanganlik singari superpozitsiya prinsipi bajariladi, zaryadlar sistemasining maydonning qandaydir nuqtasidagi potentsiali har bir zaryadning shu nuqtadagi alohida potentsiallari yig'indisiga teng bo'ladi:

$$j = \sum_i j_i$$

Haqiqatda ham potensial ta'sirida (1.34) kuchlanganlik uchun superpozitsiya prinsipini qo'llab quyidagiga ega bo'lamiz:

$$j_B = \oint_0^{\varphi} E_l dl = \sum_i \oint_0^{\varphi} E_l^i dl = \sum_i \oint_0^{\varphi} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{r_i^2} dl = \sum_i j_i \quad (1.37)$$

j_i -o'rniga (1.36) dagi ifodasini qo'ysak, sistemaning alohida nuqtaviy zaryadidan hosil qilgan potentsiali ifodasini olamiz.

$$j = \sum_i \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{r_i} \quad (1.38)$$

bu yerda r_i - sistemaning q_i - nuqtaviy zaryadida potentsial axtarilayotgan nuqtagacha bo'lgan masofa, yig'indi sistemada barcha nuqtaviy zaryadlar bo'yicha olinadi. (1.37) formula ixtiyoriy zaryadlangan jismlarning fazoning ixtiyoriy nuqtasida maydon potentsialini hisoblash imkonini beradi.

1.14. Potentsiallar ayirmasi. Potensialni bilgan holda maydon kuchlarining sinash zaryadni fazoning bir nuqtasidan ikkinchi nuqtasiga ko'chirganda

bajargan ishini oson bajarish mumkin. O'z navbatida q_0 zaryadni V nuqtadan S nuqtaga ko'chchirganda bajarilgan ishni hisoblash uchun potensial sanoq nuqtasi (φ) dan o'tadigan yo'lni aniqlashimiz kerak. U vaqtda ish ikkiga : $AVS=AV\varphi + AS\varphi$ ajraladi.

$A_{C\varphi}$ ni $-A_{B\varphi}$ ga almashtirib quyidagiga ega bo'lamiz: $A_{BC} = A_{B\varphi} - A_{C\varphi}$.

O'ngda turgan ishlar aniqlanishi bo'yicha q_0 zaryadning potensial energiyalarining tegishli nuqtalar (V va S) qiymatidir.

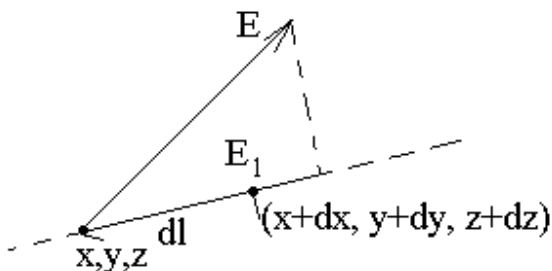
$A_{BC}=W_{\text{nat}}(B) - W_{\text{nat}}(C)$. Potensial energiyani (1.36) formula bo'yicha potensial orqali ifodalasak, oxirida quyidagiga ega bo'lamiz:

$$A_{BC} = q_0 (j_B - j_C) \quad (1.39)$$

Shunday qilib, axtarilgan ish yo'lining boshlang'ich va oxirgi holatlarining potenciallar ayirmasi orqali aniqlanar ekan. Bu formuladan potenciallar ayirmasining fizik ma'nosi kelib chiqadi: u son jihatdan elektrostatik kuchlarning musbat zaryad birlikni bir nuqtaga o'chirganda bajarilgan ishga tengdir.

1.15. Kuchlanganlik bilan potensial orasidagi bog'lanish. Bu bog'lanish potensial (1.36) ning aniqlanishidan kelib chiqadi. Lekin bu yerdagi bog'lanish lokal emasdir, chunki bu yerda potensialning qandaydir nuqtadagi qiymati butun chiziqdagi kuchlanganlikning qiymati orqali aniqlanadi. Hozir biz kuchlanganlik potensialini koordinata bo'yicha hosilasining har bir nuqta uchun bog'lanishini qarab chiqamiz.

E va j (x,y,z) koordinatalari x,u,z bo'lgan kuchlanganlik va potensialning qiymatlari bo'lsin. Ma'lum yo'nalish bo'yicha $x+dx$, $y+dy$, $z+dz$ cheksiz koordinatalarga, ya'ni dastlabki nuqtada dl masofada joylashgan yo'nalishga siljiydi (17-rasm).



17-rasm. Bajirilgan ishni hisoblash

Sinash zaryadni bir nuqtadan ikkinchi nuqtaga ko'chirishda bajarilgan kichik ish:

$$dA = q_0 [j(x, y, z) - j(x + dx, y + dy, z + dz)] \quad (1.40)$$

Kichik ish uchun uning ifodasi (1.28) va qavslarda potensialning minus ishora bilan o'zgarishini hisobga olsak:

$$E_l dl = - dj$$

Bu yerda:

$$E_l = - \frac{dj}{dl} \quad (1.41)$$

dj/dl ifoda potensialning yo'nalish bo'yicha hosilasini bildiradi. U son jihatdan uzunlik potensial o'zgarishining dl yo'nalishdagi qiymatiga teng bo'ladi.

Demak, uning absolyut qiymati potensialning qaralayotgan yo'nalishda o'zgarish tezligini xarakterlaydi ishorasi esa shu yo'nalishda oshish yoki kamayishni bildiradi. Potensial o'zgarishning kuchlanganlik vektori yo'nalishida o'zgarish xarakteri boshqa yo'nalishlarga nisbatan nima bilan manzur? Bu savolga javob berish uchun (1.41) formula E vektori yo'nalishi uchun yozamiz. Bu yo'nalish uchun $E_l = E$ u vaqtda

$$E = - \frac{dj}{dl}$$

bu yerdan kelib chiqadiki, E vektor yo'nalishida potensial kamayadi: ($E > 0$, $dl > 0$, demak, $dj < 0$) shu bilan birga tezroq kamayadi. Shunday qilib, kuchlanganlik vektori potensialning eng ko'p kamayishi tomon yo'nalgan bo'ladi. (1.41) formula x, y, z uk yo'nalishi bo'yicha dekart koordinatasida yozamiz, kuchlanish vektorining E_x, E_y, E_z bo'yicha proeksiyalarini aniqlaymiz:

$$E_x = - \frac{\partial j}{\partial x} \quad E_y = - \frac{\partial j}{\partial y} \quad E_z = - \frac{\partial j}{\partial z} \quad (1.42)$$

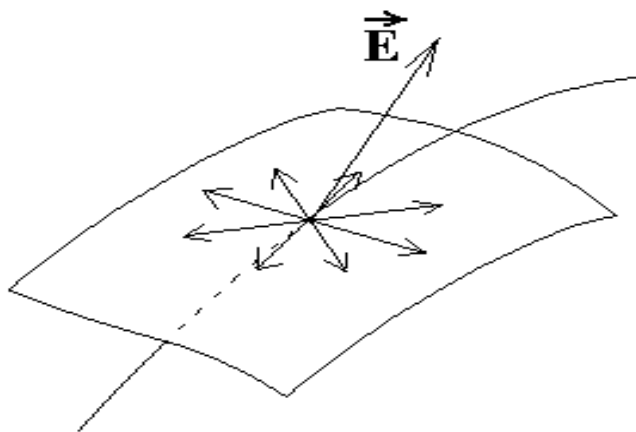
$$- \frac{\partial j}{\partial x}, - \frac{\partial j}{\partial y}, - \frac{\partial j}{\partial z} \quad j(x, y, z)\text{-skalyar fazaning gradientlari ustida va}$$

$\text{grad } j$ belgisi bilan begilanadi. (1.42) formula asosan, kuchlanish vektori minus potensial gradienti orqali ifodalanadi.

$$\vec{E} = - \text{grad} \varphi \quad (1.43)$$

(1.40) va (1.41) formulalar maydon kuchlanganligini hisoblashga imkoniyat beradi, buning uchun potensialni topish va uni koordinatalar bo'yicha differensiallash kerak. Bu superpozitsiya prinsipiga nisbatan ham qulaydir.

1.16. Ekvipotensial sirtlar. Potensialning bir xil qiymatlarining geometrik o'rniga teng potentsiali sirt yoki ekvipotensial sirt deb ataladi. Kuchlanganlik chiziqlari va ekvipotensial sirtlar bir-biriga ortoganaldir, ya'ni har qanday kuchlanganlik chiziqlari har qanday ekvipotensial sirtni to'g'ri burchak ostida kesib o'tadi. Xaqiqatdan ham ixtiyoriy kuchlanganlik chizig'ining ekvipotensial sirt bilan kesishgan nuqtasini qaraymiz (18-rasm). Ekvipotensial sirt bo'yicha ko'chganda potensial o'zgarmaydi, u vaqtda qarayotgan nuqtada istalgan yo'nalish uchun $d\varphi = 0$ bo'ladi (ekvipotensial sirtga urinma bo'lgan yo'nalishda). 18-rasmda bu yo'nalishlar bo'yicha maydon kuchlanganlik vektorining proektsiyasi nulgga teng bo'ladi, ya'ni kuchlanganlik vektori ekvipotensial sirtga perpendikulyar bo'ladi.



18-rasm. Maydon kuchlanganlik yo'nalishi

Maydon kuchli bo'lgan joylarda ekvipotensial sirtlar yaqinroq (zichroq) joylashadi. Ekvipotensial sirtlar oilasini chizishda shunday shart qabul qilinadiki, har bir sirtga potensial birlik potensialga o'zgarsin.

Nazorat savollari.

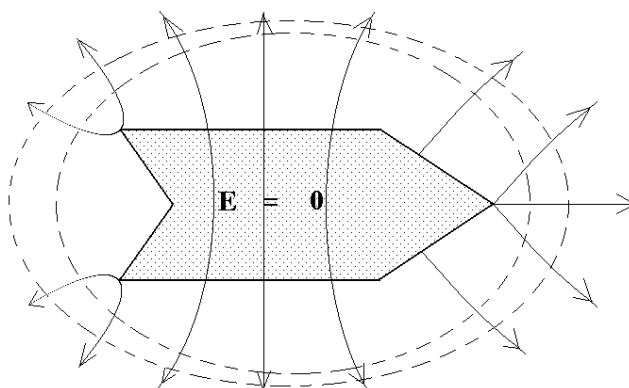
1. Zaryadlangan jism deganda nimani tushunasiz?
2. Kulon qonunini tushuntiring.
3. Elektrostatik maydon kuchlanganligi deb nimaga aytiladi?
4. Nuqtaviy zaryadning maydon kuchlanganligini ifodasini keltiring va tushuntiring.
5. Maydonlar superpozitsiya prinsipini tushuntiring.
6. Kuchlanganlik oqimi nima?
7. Gauss teoremasi nima va uni tushuntiring.
8. Gauss teoremasini isbotini tushuntiring.
9. Zaryadni elektrostatik maydonda ko'chirganda bajargan ishning yo'lining formasiga bog'liq bo'lmasligini isbotlang.
10. Elektrostatik kuchlarni nima uchun konservativ kuch deb ataydi?
11. Elektrostatik maydonning potentsialli maydon ekanligini ko'rsating.
12. Elektrostatik maydon kuchlanganligining yopiq kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi nimaga teng?
13. Potentsial energiya bilan potentsial o'rtasida qanday farq bor?
14. Elektrostatik maydonning potentsiali bilan kuchlanganlik o'rtasida qanday bog'lanish bor?
15. Teng potentsialli yoki ekvipotensial sirtlar deb nimaga aytiladi?

2. Elektr maydon energiyasi

2.1. O'tkazgichda zaryadlar muvozanati. Tajribalar quyidagi muhim qonuniyatga olib keladi: Agar o'tkazgichga zaryad berilsa yoki uni tashqi elektr maydoniga joylashtirilsa, qisqa vaqt ichida (relaksatsiya vaqti) o'tkazgichda zaryadlarning muvozanatli taqsimlanishi ro'y beradi. Mana shu zaryadning muvozanatli taqsimlanishi elektrostatikada o'rganiladi. Zaryadlarning o'tkazgichda muvozanat taqsimlanishi va uning elektrostatik maydoni qator xossalarga ega bo'ladi. Eng avvalo, zaryad o'tkazgichda muvozanatda bo'lganida tok bo'lmaydi, erkin elektronlarga kuch ta'sir qilmaydi. Demak, o'tkazgichning ichida elektrostatik maydon bo'lmaydi, ya'ni $E = 0$. Xususan, o'tkazgich zaryadlansa va tashqi maydon bo'lmasa, o'tkazgichda zaryad shunday taqsimlanadiki, uning hosil qilgan maydoni o'tkazgichdan tashqarida nolga teng bo'ladi. Agar neytral o'tkazgich tashqi elektr maydoniga joylashtirilsa, unda zaryadlarning qayta taqsimlanishi ro'y beradi (elektrostatik induksiya xodisasi), eng asosiysi, indutsirlangan zaryadlarning maydoni o'tkazgichning ichida tashqi maydonni kompensatsiyalaydi.

So'ngra, o'tkazgich sirtida kuchlanganlik vektori shu sirtga perpendikulyar bo'ladi. Aks xolda, o'tkazgichning sirti bo'yicha kuchlanganlik vektorining tashkil etuvchisi sirt tokini hosil qilar edi. O'tkazgich ichida maydon bo'lmagani uchun, boshlangich va oxirgi holatlarga bog'liq bo'lmagan holda sinash zaryadni o'tkazgich ichida ko'chirgan ishi nolga teng bo'ladi.

Bu ishning potentsiallar ayirmasi bilan bog'liq ekanligini hisobga olsak, shunday xulosaga kelishimiz mumkinki, o'tkazgichning barcha nuqtalarining potentsiallari teng. Xususan, o'tkazgich sirtida ekvipotensial sirtlar (19-rasm) da ekvipotensial sirtlar punktir bilan ko'rsatilgan. O'tkazgich ichida maydon kuchlanganligining nolga teng bo'lishida shu narsa kelib chiqadiki, o'tkazgich ichida musbat va manfiy zaryadlar kompensatsiyalangan ($\rho = 0$), natijada kompensirlanmagan zaryad o'tkazgich sirtida taqsimlanadi.



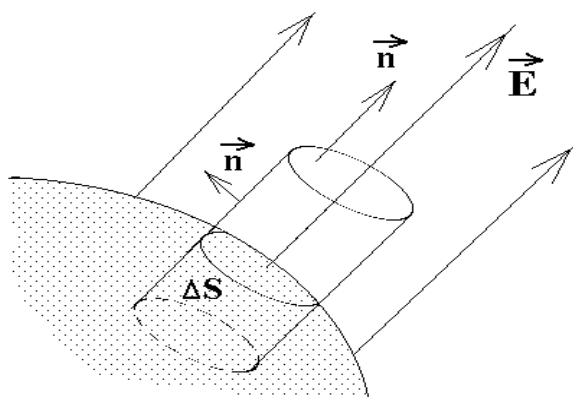
19-rasm. Zaryadlarning taqsimoti

Haqiqatdan ham $E=0$, u vaqtda har qanday yopiq sirt bo'yicha o'tgan kuchlanganlik oqimi o'tkazgich ichida nolga tengdir. Gauss teoremasiga ko'ra, zaryad nolga teng istalgan sirt ichida, bu faqat $\rho=0$ o'tkazgichning barcha nuqtalarida bo'lsa.....

O'tkazgich sirt zaryad zichligi bilan maydon kuchlanganligi o'rtasida bog'lanish bor:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (2.1)$$

Bu formulani Gauss teoremasini qo'llab chiqarish mumkin. O'tkazgich sirtidan kichik sirt ΔS ni qaraymiz va undagi joylashgan zaryad Δq bo'lsin. Bu element sirtini silindr bilan o'raymiz, uning yasovchisi o'tkazgich sirtiga perpendikulyar, asoslaridan biri o'tkazgich ichida joylashadi, boshqasi o'tkazgich tashqarisida va uning sirtiga juda yaqin bo'ladi (20-rasm).



20-rasm. Kuchlanganlik chiziqlari

Silindrning "ichki" asosidan va silindr yon sirtida o'tgan kuchlanganlik oqimi nolga teng, chunki o'tkazgich ichida $E=0$, o'tkazgichdan tashqarida joylashgan qismida (yon sirtida) kuchlanganlik chiziqlarining o'tkazgich sirtiga perpendikulyar bo'lgani uchun $E_n = 0$.

Demak, silindr sirti orqali o'tgan to'la oqim uning "tashqi" asosi orqali o'tgan oqim bilan aniqlanadi va u $E \Delta S$ ga teng. Bu ifodani Gauss teoremasi bo'yicha ifodaga tengashtirsak, silindr ichidagi zaryad $\sigma \Delta S$ ga teng.

$$EDS = \frac{S}{e_0} DS \quad \text{bundan} \quad E = \frac{S}{e_0}$$

isbot etildi.

Elektrostatik maydon yopiq metall qobiq bilan o'rab olingan sohaga kirmaydi. Bu hodisadan ekranlashda qo'llaniladi, laboratoriya devorlari metall varaq bilan qoplanadi, elektr maydon ta'siri bo'lmasligi uchun yoki buni elektrostatik himoya deyiladi.

Yana shuni qayd qilamizki, zaryadlarning taqsimlanishi o'tkazgichning rel'efiga juda bog'liqdir: zaryadning sirt zichligi egrilik radiusi kichik bo'lgan joydadir (uchda). Maksimal, botiq joylarda kichik bo'ladi. (2.1) ga ko'ra, maydon ham shunday bo'ladi: uchda u juda kuchli bo'lishi, botiqda esa - kuchsiz. Bu 19- rasmdan ko'rinib turibdi: uch yaqinida kuchlanganlik chiziqlari tekis joylashgan, botiqda esa – siyrak bo'ladi.

2.2. Elektr sig'imi. O'tkazgichning barcha nuqtalarida potensial bir xil bo'lgani uchun, o'tkazgichning potentsiali haqida gapiriladi. Nazariya va tajriba ko'rsatadiki, o'tkazgichning potentsiali j o'tkazgichning zaryadi q ga to'g'ri proporsionaldir:

$$j = \frac{1}{C} q \quad (2.2)$$

bu yerda, S - proporsionallik koeffitsienti. Demak, zaryadning potentsialga nisbati berilgan o'tkazgich uchun doimiy kattalikka tengdir va uni o'tkazgichning *elektr sigimi* deyiladi:

$$C = \frac{q}{j} \quad (2.3)$$

Sigim o'tkazgichning geometrik xossasiga bogliqdir (o'lchami va formasiga), lekin materialiga bogliq emas. (2.2) formulaning ikkala qismini ozgina o'zgartirish olsak, quyidagiga ega bo'lamiz.

$$C = \frac{Dq}{Dj} \quad (2.4)$$

Bu yerdan sigimning fizik ma'nosi kelib chiqadi: u son jixatdan o'tkazgichning potentsialini bir birlikka oshirish uchun kerak bo'lgan zaryadga tengdir. Sig'imning o'lchov birligi SI sistemasida "farada".

Yakkalangan o'tkazgich sharning sig'imini hisoblaymiz:

$$j = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R} \quad (2.5)$$

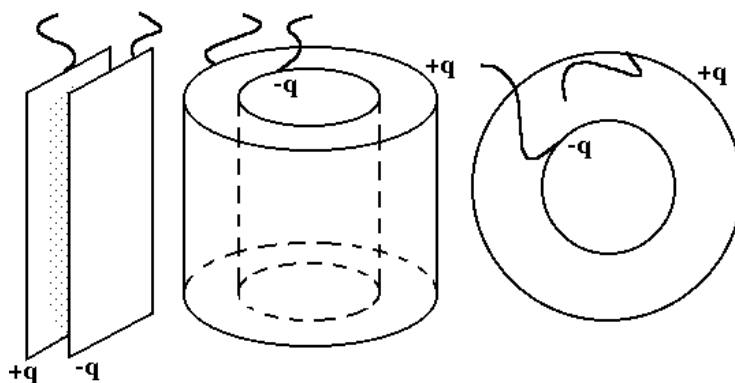
bu yerda, q - sharning zaryadi, R - radiusi.

(2.5) ifodani (2.3) ga qo'ysak

$$C = 4\pi\epsilon_0 R \quad (2.6)$$

kelib chiqadi.

2.3. Kondensatorlar. Radiotexnikada kondensatorlar – tashkil topgan qurilma juda ko'p qo'llaniladi. Agar kondensator qoplamalariga absolyut miqdori bir xil, lekin qarama-qarshi ishorali zaryad berilsa, u vaqtda elektr maydon qoplamalar orasidagi fazoda to'planadi. Qoplamalar formasiga qarab kondensatorlar yassi (qoplamalari parallel tekislik), silindrlil (qoplamalari - kiydirilgan silindr shaklida) va sferik (qoplamalari - konsentrik sfera) turlarga bo'linadi (21-rasm).



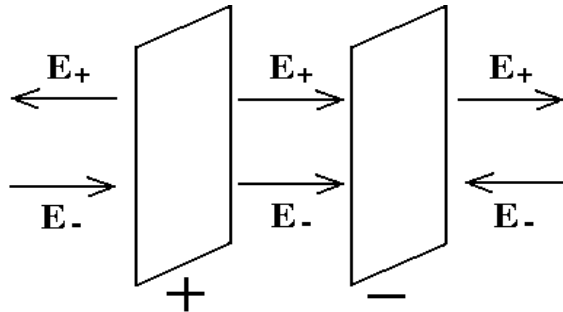
21-rasm. Kondensator turlari

Yassi kondensatorlarning nazariyasini qaraymiz. Dastlab zaryadlangan kondensator xosil qilgan maydon kuchlanganligini qaraymiz. Zaryadlangan tekislikning maydon kuchlanganligining absolyut qiymati, Gauss teoremasiga asosan:

$$E = \frac{S}{e_0} \quad (2.7)$$

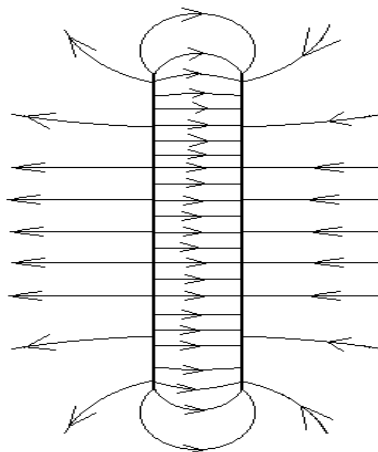
S - koplamalardagi zaryadning sirt zichligi.

E_+ va E_- lar bir xil absolyut miqdorga ega bo'ladi, $E_+ = E_- = S / 2\epsilon_0$ va yo'nalishi, E_+ -musbatdan, va E_- -manfiy plastinkaga (22-rasm).



22-rasm. Yassi kondensator

Kondensatordan tashqarida bu kuchlanganliklar qarama-qarshi yo'nalgan, demak, yig'indi maydon nolga teng, qoplamalar orasida E_+ va E_- bir tomonga yo'nalgan, natijada $E = E_+ = E_- = S / \epsilon_0$.



23-rasm. Kondensator elektr maydoni

Real kondensatorlarda maydon o'rta qismida bir jinsli bo'ladi, kondensator chetlarida manzara o'zgaradi (23-rasm), chegaraviy effektlar paydo bo'ladi. Qoplamalar o'rtasidagi potentsiallar ayirmasi yoki kuchlanish

$$U = Ed = \frac{S}{e_0} d \quad (2.8)$$

bu yerda d - plastinkalar orasidagi masofa. **Kondensatorlar sigimi** deb, qoplamalardan biridagi zaryad kattaligining qoplamalar orasidagi kuchlanishga nisbatiga aytiladi.

$$C = \frac{q}{U} \quad (2.9)$$

bu yerda, (4.8) da U - ni va $q = S \cdot D \cdot S$ ekanini hisobga olsak,

$$C = e_0 S / d$$

Agar qoplamalar orasiga dielektrik joylashtirilgan bo'lsa, kondensator sig'imi

$$C = e_0 \epsilon S / d \quad (2.10)$$

Shunday qilib, yassi kondensator sig'imini oshirish uchun plastinka yuzini oshirish, ular o'rtasidagi masofani kamaytirish yoki plastinkalar orasidagi fazoni dielektrik bilan to'ldirish kerak. Kondensatorlar bir-biri bilan qo'shiladi va kondensatorlar batareyasini hosil qilinadi. Kondensatorlar parallel qo'shilganda batareyaning sig'imi alohida kondensatorlar sig'imlarinig yig'indisiga teng bo'lsa, ketma-ket ulanganda batareya sig'imining teskari qiymati alohida kondensatorlar sig'imlarining teskari qiymatlari yig'indisiga teng bo'ladi.

$$C_n = \sum_i C_i \quad C = \sum_i \frac{1}{C_i} \quad (2.11)$$

Zaryadlangan kondensatorlar energiyaga ega bo'ladi. Bunga ishonch xosil qilish uchun, kondensatorga razradlanishga imkon beramiz, buning uchun plastinkani o'tkazgich bilan qo'shamiz: razryad vaqtida o'tkazgich bo'yicha elektr toki o'tadi, elektr maydoni zaryadni ko'chiradi, ish bajaradi va unga teng miqdorda atrofga issiqlik ajralib chiqadi. Bu ishni hisoblaymiz. Razryad vaqtida plastinkadagi kuchlanish U ga teng bo'lsa, mos ravishda plastinkadagi zaryad $q = CU$ ga teng. Qisqa vaqt ichida bitta plastinkadan ikkinchi plastinkaga $Dq = C \cdot DU$ zaryad oqib o'tadi. Elektrostatik kuchlarning zaryadni ko'chirishda

bajargan ishi $DA = U Dq = -UCDU$ ga teng (minus shuning uchun qo'yildiki, musbat ish kuchlanish kamayganda bajariladi, ya'ni $DA > 0$, bu esa $DU < 0$ ga mos keladi). Kondensator zaryadsizlanganda badarilgan to'la ish, U kuchlanish U - dan 0 gacha kamayganda,

$$A = \int_0^U (CU dU) = -C \int_0^U U dU = \frac{CU^2}{2} \quad (2.12)$$

$U = q / C$ ekanini hisobga olsak, ish $A = q^2 / 2C$ ko'rinishda yozish mumkin. Nixoyat, S va U o'rniga (2.8) va (2.10) dan qiymatlarini qo'ysak,

$$A = \frac{CU^2}{2} = \frac{\epsilon_0 \epsilon S E^2 d^2}{2} = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} V \quad (2.13)$$

bu yerda V - kondensator xajmi. Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra, kondensator zaryadsizlanganda bajarilgan ish zaryadlangan kondensator ega bo'lgan enegiyani ifodalaydi. Shunday qilib, zaryadlangan kondensator energiyasi W uchun quyidagi formulani yozish mumkin:

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} V \quad (2.14)$$

2.4. Elektr maydon energiyasi. Elektromagnetizmning umumiy nazariyasidan kelib chiqadiki, elektr maydon energiyaga ega bo'ladi. Xususiyl xolda, zaryadlangan kondensatorning energiyasi uning elektr maydon energiyasidir. Fazoda energiyaning taqsimlanishini aniqlash uchun - maydon energiya zichligi tushunchasi kiritildi va u quyidagicha ifodalanadi:

$$w = \frac{DW}{DV} \quad (2.15)$$

bu yerda DV - qaralayotgan nuqta atrofidagi kichik xajm, DW - ish xajmida berilgan elektr maydon energiyasi. Kondensatorning elektr maydoni chegaraviy effektlarni hisobga olmaganda, qoplamalar orasidagi fazoda to'planadi va bir jinslidir, shuning uchun, maydonning energiya zichligi qoplamalar orasidagi barcha nuqtalarda bir xil va maydon to'la energiyaning fazo xajmi V ga nisbatiga teng bo'ladi.

$$w = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2V} V = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} \quad (2.16)$$

Barcha elektr maydonlari uchun urinlidir.

3. Dielektrlarda elektrostatik hodisalar

3.1. Elektr dipoli. *Elektr dipoli* deb, absolyut miqdori jixatdan teng va qarama-qarshi ishoraga ega bo'lgan ikkita nuqtaviy zaryaddan iborat bo'lgan neytral sistemaga aytiladi. Dipolning zaryadlari $+q$ va $-q$ bilan belgilansa, manfiy zaryaddan musbat zaryadga o'tkazilgan masofa l - uzunlik vektor bilan belgilanadi. Elektr dipolini elektr moment vektori bilan tasvirlash qulaydir:

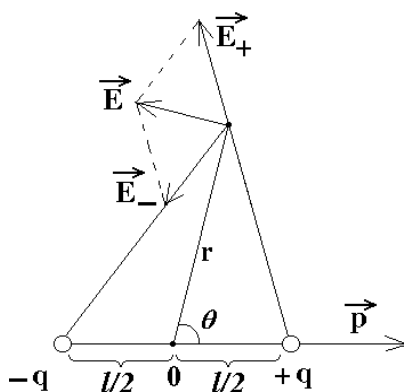
$$\vec{p} = q\vec{l} \quad (3.1)$$

bu yerda l - kesma uzunligi.

Superpozitsiya prinsipiga ko'ra, dipolning maydon kuchlanganligi E dipolning musbat va manfiy zaryadlari xosil qilgan kuchlanganliklari E_+ va E_- ning yigindisiga teng bo'ladi. Dipoldan ancha uzunlikda bo'lgan masofalarda ($r \gg l$) hisoblashlar maydon kuchlanganligining absolyut qiymati uchun quyidagi formulani chiqaramiz, ya'ni

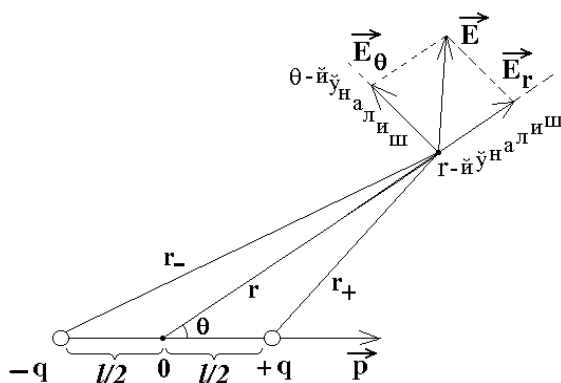
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{P\sqrt{1+3\cos^2\theta}}{r^3} \quad (3.2)$$

bu yerda r va θ - kuzatish nuqtasining kutb koordinatalar (24-rasm).



24-rasm. Dipolning maydon kuchlanganligi

Shunga aloxida e'tibor berish kerakki, dipolning elektr maydon kuchlanganligi masofa bilan $\frac{1}{r^3}$ qonuniyat bilan kamayadi, ma'lumki nuqtaviy zaryad maydon $\frac{1}{r^2}$ qonun bo'yicha kamayar edi. Dipol maydonining manzarasi 25-rasmda keltirilgan.



25-rasm. Dipol maydoni

(3.2) formulani isbot qilamiz. Soddalik uchun dipol maydonini undan uzoqroq nuqtalarda $r \gg l$ qaraymiz, bu vaqtda l^2 ni r^2 nisbatan tashlab yuborish mumkin, mos ravishda l^2/r^2 ham birga nisbatan kichik bo'ladi. Masalani qutb koordinata sistemasida yechish qulay (r, q) . r - dipol markazidan kuzatish nuqtasigacha bo'lgan masofa, q - kuzatish nuqtasining radius - vektori bilan dipol elektr maydon vektori p orasidagi burchak.

Dastlab, superpozitsiya prinsipini qo'llab potensialni hisoblaymiz:

$$j(r, q) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^+}{r^+} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^-}{r^-} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r^+} - \frac{1}{r^-} \quad (3.3)$$

r_+ va r_- ni kosinuslar teoremasini qo'llab va kvadrat ildizni Nyuton binomiga yoyish orqali potensialni topamiz:

$$j(r, q) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p \cos q}{r^2} \quad (3.4)$$

Endi (1.41) formula bo'yicha maydon kuchlanganligini radial (E_r) va unga perpendikulyar q -yo'nalish bo'yicha proeksiyalarini hisoblaymiz. Radial

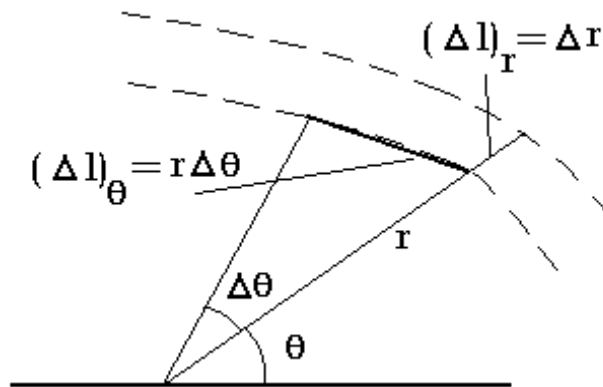
yo'nalishda siljiganda $(Dl)_r = Dr$, a q -yo'nalish bo'yicha siljiganda $(Dl)_q = rDq$ (26-rasm), u vaqtda

$$\frac{d}{dt} \frac{dl}{dt} = \frac{1}{r} \frac{dl}{dt} \quad \text{va} \quad \frac{d}{dt} \frac{dl}{dt} = \frac{1}{r} \frac{dl}{dt}$$

Maydon kuchlanganliklari quyidagiga teng bo'ladi:

$$E_r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2P \cos q}{r^3} \quad (3.5)$$

$$E_q = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{P \sin q}{r^3} \quad (3.6)$$

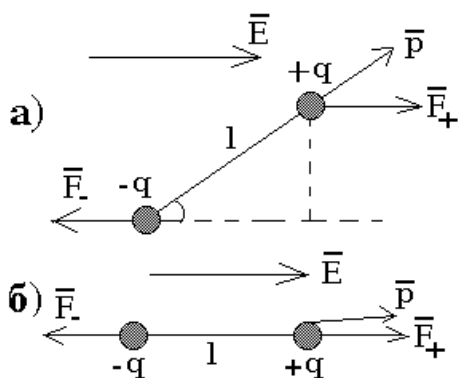


26-rasm. Maydon kuchlanganligini radial va unga perpendikulyar q -yo'nalish bo'yicha proeksiyalari

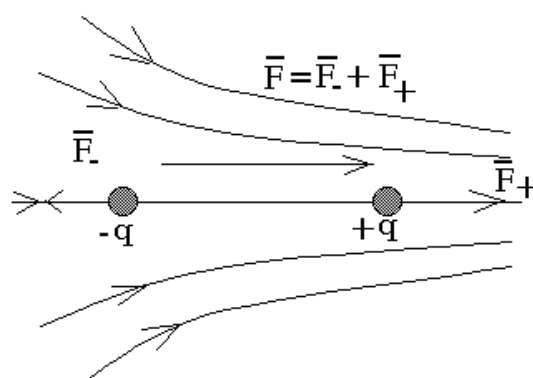
Kuchlanganlik vektorining absolyut miqdoriga Pifagor teoremasiga asosan topamiz:

$$E = \sqrt{E_r^2 + E_q^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{P \sqrt{1 + 3 \cos^2 q}}{r^3}$$

(3.5) formula bo'yicha E_r va E_q ni $q = p/2$ nuqtalar uchun hisoblashni tavsiya qilamiz, ko'rasizki, kuchlanganlik vektorining yo'nalishi bu nuqtalarda 27-rasmga mos keladi.



27-rasm. Dipol kuch momenti



28-rasm. Dipol kuch chiziqlari

Endi dipolning tashqi elektr maydonidagi tutishini qaraymiz. Agar maydon bir jinsli bo'lsa, u vaqtda dipolning musbat va manfiy zaryadi absolyut qiymati $F = Eq$ ga teng bo'lgan, lekin qarama-qarshi yo'nalgan F_+ va F_- kuchlar ta'sir qiladi (28-rasm). E_+ va E_- kuchlar juft kuch momentini hosil qiladi, uning momenti $M = Fd = l \sin a$ yelkaga ega bo'ladi, bu yerda a - elektr momenti bilan kuchlanganlik vektorlari orasidagi burchak. Demak, bu kuch momentining absolyut miqdori

$$M = Fd = Fl \sin a = Eq l \sin a = pE \sin a$$

teng bo'ladi. Buni vektor ko'rinishida yozamiz:

$$M = [p, E] \quad (3.7)$$

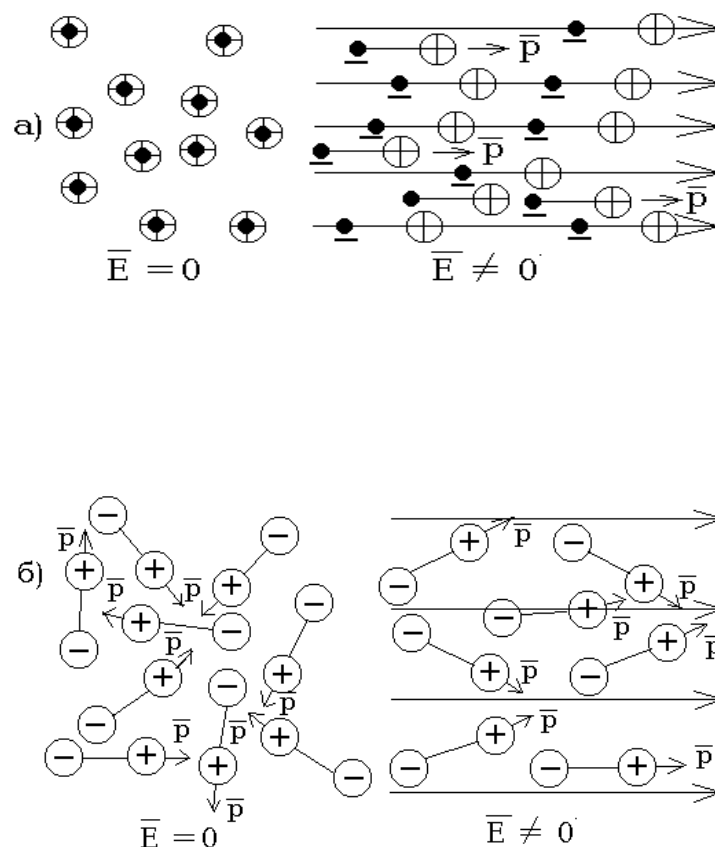
Bu moment dipolni turg'un muvozanat holatga qaytarishga harakat qiladi, bu vaqtda elektr momenti vektori $\mathbf{r}$ kuchlanganlik chizig'i bo'yicha yo'nalgan bo'ladi (27-rasm). Rasmdan ko'rinadiki, maydon kuchlari dipolni cho'zishga harakat qiladi, ayniqsa u absolyut qattiq bo'lmasa, u tegishli deformatsiyaga ega bo'ladi. Nixoyat, yig'indi tashqi kuch nolga teng, dipolning massa markazi tezlanishga ega bo'lmaydi. Shunday qilib, bir jinsli tashqi maydon dipolga orientirlovchi va deformatsiyalovchi ta'sir ko'rsatadi. Bir jinsli bo'lmagan maydon bulardan tashqari dipolni maydon kuchlanganligi katta bo'lgan yo'nalishga itaradi, chunki bu xolda $F_+ \neq F_-$ (28-rasm).

3.2. Dielektrikning tuzilishi. Dielektrikning tuzilishi xaqida umumiy tassavurlarni o'tamiz. Har qanday dielektrik suyuq va gazsimon ko'rinishda neytral molekulalardan tashkil topgan bo'ladi. Elektr zaryadi molekula doirasida juda murakkab taqsimlangan bo'ladi, lekin makroskopik nazariyada uning taqsimotini uncha aniq o'rganishga xojat yo'q: molekula elektr holatini, ya'ni uning hosil qilgan maydonini uning tashqi maydonga reaksiyasiga qarab, musbat zaryadi "musbat zaryad markazida", manfiy zaryadi - "manfiy zaryad markazida" to'plangan deb qaraladi. Boshqacha so'z bilan aytganda, molekulani elektr maydoni $r=ql$ dipolga o'xshash deb qarash mumkin, bu yerda q – molekulaning musbat va manfiy zaryadining absolyut miqdori, l - "manfiy zaryad markazi" dan "musbat zaryad markazi" gacha o'tkazilgan vektordir.

Shunday molekulalar xam bo'ladiki, musbat va manfiy zaryadlari mos keladi, bir-birining ustiga tushadi. Bu simmetriya markaziga ega bo'lgan molekulalar, masalan, ikkita bir xil atomdan tashkil topgan molekulalar (H_2 , O_2 ). Bunday molekulalar xususiy dipol momentiga ega bo'lmaydi ($p = 0$, chunki $l=0$) va shuning uchun ularni qutblanmagan deb ataladi. Agar molekulada musbat va manfiy zaryad markazlari mos kelmasa, noldan farq qiluvchi dipol momentiga ega bo'ladi va ularni qutblangan molekulalar deyiladi.

Ko'pgina qattiq dielektrlarda kristal panjara tugunlarida ionlar joylashgan bo'ladi. Ba'zi hollarda (masalan: bitta element atomidan hosil bo'lgan kristallarda) barcha ionlar musbat ionga ega bo'ladi, ular o'rtasidagi bog'lanish valent elektronlar orqali (kovalent bog'lanish) amalga oshiriladi. Boshqa hollarda, kristall ximik birikmalardan iborat bo'lsa, (masalan, osh tuzi kristali) ionlar turli xil ishoraga ega bo'ladi va panjarada o'zaro tortishish kuchlari orqali ushlab turiladi (ionli bog'lanish). Bunday kristallning kristal panjarasini ikkita panjarachadan, biri musbat iondan, ikkinchisi - manfiy iondan hosil bo'lgan deb hisoblash mumkin.

3.3. Dielektrikning qutblanishi. Endi dielektrikni tashqi elektr maydoniga joylashtirsak qanday jarayonlar bo'lishini qarab chiqamiz. Elektr maydonida musbat zaryadga maydon yo'nalishi bo'yicha yo'nalgan kuch ta'sir qiladi, manfiy zaryadga -qarama-qarshi yo'nalishdagi kuch ta'sir qiladi. Natijada qutblanmagan molekulalarda musbat va manfiy zaryad markazlari (maydon bo'lmaganda mos kelgan) bir-biriga nisbatan siljiydilar - molekulalar indutsirlangan dipol momentga ega bo'ladi (29-rasm).



29-rasm. Dielektriklar qutblanishi

Qutblangan molekullarga maydon eng avvalo yo'naltiruvchi kuch ta'sir ko'rsatadi: molekulaning dipol moment vektorlari tashqi maydon bo'lmaganda xaotik harakatda bo'ladi, maydon ta'sirida esa ular maydon yo'nalishi bo'yicha orietirlanadi (29-rasm).

Kristallarda ham maydon ta'sirida zaryadlarning siljishi ro'y beradi. Kovalent bog'lanishli kristallarda birinchi navbatda elektronlar siljiydi: ionli kristallarda panjarachalar bir-biriga nisbatan siljiydi. Biz ko'rdikki, dielektrik muxit uning tuzilishiga qarab tashqi elektr maydon ta'siriga turlicha uchraydi. Lekin barcha dielektriklar uchun xarakterli bo'lgan tomon shundaki, dielektrikning hajmining eng kichik elementi noldan farq qiladigan yig'indi dipol momentga ega bo'ladi - dielektrik qutblanadi. Yuqorida aytib o'tilgan qutblanish mexanizmda quyidagi nomga ega bo'ladi. Qutblanmagan molekullardan tashkil topgan dielektrik qutblanishini **elektron siljish qutblanishi** deyiladi. Bu termin kovalent bog'lanishli kristall dielektriklar uchun ham ishlatiladi. Qutblangan molekullardan hosil bo'lgan dielektrikning qutblanishiga **orientatsiyali qutblanish** deyiladi. Nihoyat, ionli bog'lanishli kristallarda ro'y bergan qutblanishga **ionli siljish** deyiladi.

Dielektrikning qutblanish darajasini miqdoriy jihatdan xarakterlash uchun fizik kattalik qutblanish vektori kiritiladi. Qutblanish vektori modda hajm

birligidagi dipol momentlari yig'indisidir. Demak, agar kichik hajm DV da (qandaydir nuqta atrofida) molekulaning yig'indi dipol momenti ga teng bo'ladi (bu yerda P_i - i-ta molekulaning momenti, yig'indi DV hajmdagi barcha molekulalar bo'yicha olindi), bu vaqtda ta'rif bo'yicha qaralayotgan nuqtadagi qutblanish vektori $\mathbf{P}$ quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\mathbf{P} = \frac{\sum_i \mathbf{p}_i}{DV} \quad (3.8)$$

Maydonning xarakteriga va dielektrikning xossasiga qarab qutblash dielektrikning turli nuqtalarida turlicha bo'lishi mumkin, boshqacha qilib aytganda, qutblanish vektori koordinataning funksiyasidir.

Nazariya va tajriba ko'rsatadiki, izotrop dielektriklar uchun (biz shunday dielektriklar bilan chegaralanamiz) , uncha kuchli bo'lmagan maydonda qutblanish vektori elektr maydon kuchlanganligiga proporsionaldir:

$$\mathbf{P} = c \epsilon_0 \mathbf{E} \quad (3.9)$$

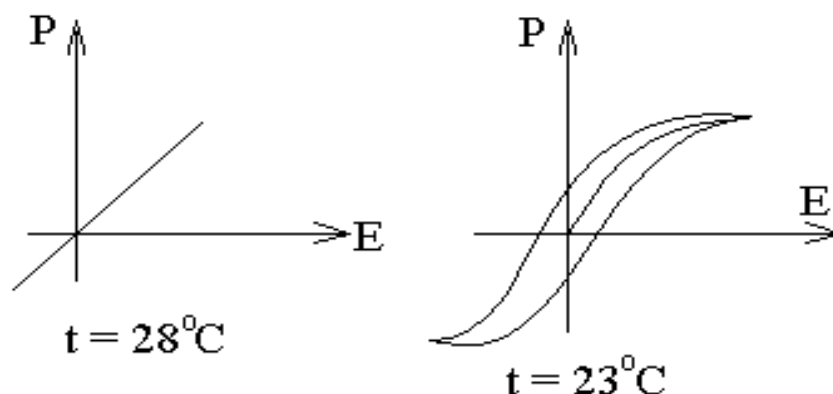
Koeffitsient c - moddaning xossasiga va dielektrikning holatiga bog'liq bo'ladi va unga **moddaning dielektrik qabul qiluvchanligi** deyiladi. Dielektrik qabul qiluvchanlik turli xil modda uchun turlicha bo'ladi. Masalan, qutblangan molekuladan tashkil topgan dielektriklar uchun nazariya ko'rsatadiki, c - temperatura T ga teskari propartsional:

$$c \gg \frac{1}{T}$$

Qutblanmagan molekuladan tuzilgan dielektriklar uchun c haroratga umuman bog'liq bo'lmaydi.

Shunday jismlar borki, ular uchun dielektrik doimiylik ϵ tashqi maydon kuchlanganligi E ga bog'liq bo'ladi. Bunday dielektriklar o'ziga xos xususiyatlarga ega bo'ladi, ayniqsa ferromagnetizm magnit xossasiga o'xshash bo'ladi. Bu xossalr birinchi marta segnet tuzida o'rganildi va shu tuzning nomi bilan **segnetoelektriklar** deb ataladi. Segnet tuzining fizik xossasi t haroratga juda bog'liqdir, qandaydir kritik harorat Q dan past yoki yuqorida ularning xossasi butunlay boshqacha bo'ladi. $T > Q$ bo'lganda maydon kuchlanlanligi bilan qutblanish o'rtasida proporsionallik saqlanadi: $R = c E$, bu vaqtda koeffitsient c haroratga bog'liqligi quyidagi qonunga bo'ysunadi:

$C(T-Q) = \text{const.}$ $T < Q$ bo'lganda R va E o'rtasidagi proporsionallik buziladi. Bu vaqtda R ning E ga bog'lanishi murakkab bo'ladi (30- rasm).



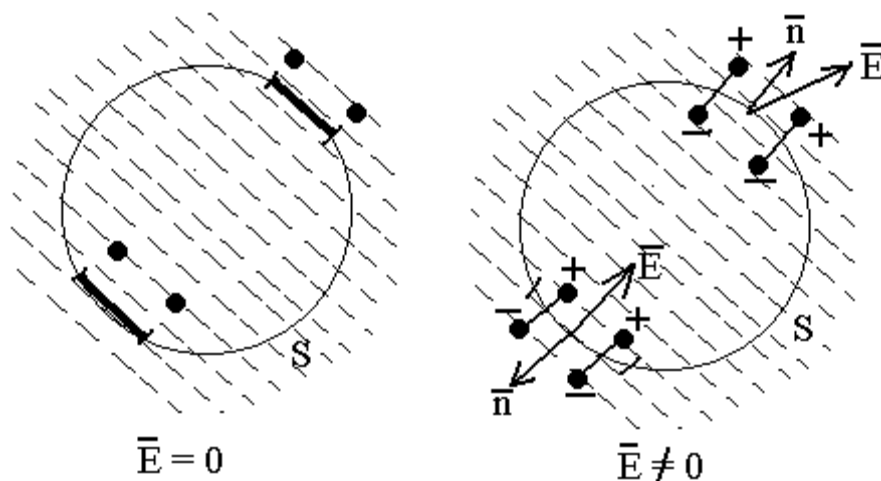
30-rasm. Qutblanish vektorining kuchlanganlikka bog'liqligi

Bu vaqtda R va E ning o'zgarishi $T < Q$ da sirtmoq formasiga o'xshash bo'ladi.

Tashqi elektr maydoni bo'lmaganda dielektrikning har bir nuqtasidagi musbat va manfiy zaryadlar kompensirlangan bo'ladi, zaryadning zichligi hamma yerda nolga teng. Dielektrikning elektr maydonida qutblanishi zaryadlarning qayta taqsimlanishiga olib keladi, natijada dielektrik sirtida kompensirlanmagan zaryadlar paydo bo'ladi, bu zaryadlarga **qutblangan zaryadlar yoki** (*bog'langan zaryadlar*) deb aytiladi. Biz qutblangan zaryad bilan qutblanish vektori orasidagi boglanishni qarab chiqamiz.

3.4. Qutblanish vektori bilan qutblangan zaryad orasidagi bog'lanish.

Dielektrik (qutblanmagan) ichida S sirt bilan chegaralangan soxani qaraymiz (31-rasm).



31-rasm. Dielektrikning qutblanishi

Qutblanishda musbat zaryadlarning kuchlanganlik vektorining yo'nalishi bo'yicha va manfiy zaryadlar qarama-qarshi yo'nalishda siljiydi. Molekulaning massa markazi joyida qoladi, chunki proton massasi elektron massasiga nisbatan 2000 marta katta, shuning uchun, siljishni manfiy zaryadlar bajaradi. Rasmdan ko'rinadiki, kuchlanganlik sirtning uchastkalarining ichiga yo'nalgan bo'lsa, manfiy zaryadlarning bir qismi qaralayotgan sohani tashlab ketadi, kuchlanganlik uchastkaning tashqi qismiga yo'nalgan bo'lsa, soxaga manfiy zaryadlar qo'shimcha yana kiradi. Agar kirgan va chiqqan zaryadlar bir-biriga teng bo'lmasa, soha u vaqtda qutblangan zaryadga ega bo'ladi. Dastlab S sirtning DS kichik uchastkasidan o'tgan kichik zaryad Dq ni hisoblaymiz. Rasm 33 dan ko'rinadiki dielektrik tekisligining kesimi DS uchastka qalin chiziq bilan tasvirlangan, DS orqali molekula manfiy zaryadlari yuzasi DS va balandligi $\cos\alpha$ bo'lgan parallelopipedda joylashadi, bu yerda l -molekuladagi elektr zaryadlarining siljishi, α -normal bilan kuchlanganlik orasidagi burchak. Parallelopipedning hajmi $l\cos\alpha DS$ ga teng, demak, unda $n_0 l\cos\alpha DS$ molekula joylashadi. n_0 -molekulalar kontsentratsiyasi.

Bu sonni har bir molekulaning manfiy zaryadi q ga ko'paytirib, axtarilayotgan zaryad DQ ning absolyut qiymatini topamiz:

$$|DQ| = qn_0 l \cos\alpha DS$$

bu ifodada $ql=p$ molekula dipol momentining kattaligi, $qln_0 = pn_0 = P$ qutblanish vektori kattaligi. $qln_0 \cos\alpha = p \cos\alpha = P_n$ – qutblanish vektorining sirtga S tushirilgan tashqi normalning proeksiyasi va oxirida quyidagiga ega bo'lamiz:

$$DQ = - P_n DS \quad (3.10)$$

Minus ishora shuning uchun qo'yilganki, $P_n > 0$ bo'lgan sirt qismida soha manfiy zaryad oladi $DQ < 0$, bu 32-rasmdan ko'rinadi. (3.10) ifodani sirtning butun qismlari bo'yicha yig'indisini olib, qaralayotgan sohadagi to'la qutblangan zaryadni topamiz:

$$Q = - \oint_S P_n dS \quad (3.11)$$

Demak, qutblanish vektorining S sirt bo'yicha oqimiga teng (teskari ishora bilan).

3.5. Dielektrikda elektrostatik maydon. Elektrostatika ning asosiy vazifasi ixtiyoriy zaryadlangan o'tkazgich va neytral dielektrik tomonidan hosil qilgan maydonni topishdan iboratdir. Dielektrik qutblanganda hosil bo'lgan qutblangan zaryadlar ham o'zi elektr maydoni hosil qilgani uchun, fazoning har bir nuqtasida hosil bo'lgan kuchlanganlik o'tkazgichning erkin zaryadlari hosil qilgan maydon kuchlanganligi E_{erk} va dielektrikning qutblangan zaryadlari hosil qilgan maydon kuchlanganligi E_K yig'indisidan iborat bo'ladi:

$$E = E_{erk} + E_K \quad (3.12)$$

Agar dielektrikka yana zaryad berilsa, u vaqtda bu formulaga qutblanmagan zaryadlar hosil qilgan kuchlanganlik ham kiritiladi.

Shuni eslatib o'tamizki, superpozitsiya prinsipi masalani umumiy holda yechishga yaroqli emas. Ish shundaki, uni qo'llash zaryadlarning fazoda tarqalishi berilgan holda qulaydir, erkin zaryadlarning o'tkazgich sirtida taqsimlanishi va dielektrikdagi qutblangan zaryadlar izlanayotgan maydon orqali aniqlanadi va avvaldan aniq emas (bundan zaryadning taqsimlanishini simmetriya nuqtai nazaridan yoki nuqtaviy zaryadlar sistemasi mustasnodir). Shuning uchun, maydonni aniqlashda elektrostatika tenglamalaridan foydalaniladi.

Sirkulyatsiya haqidagi teorema modda bor yoki yo'q bo'lishidan qat'iy nazar o'rinli bo'ladi. Oqim haqidagi Gauss teoremasini aniqlashtirish mumkin, ya'ni bu yerda qutblangan zaryadlar o'rniga dielektrik muhit xarakteristikasi ishlatiladi.

3.6. Dielektrik bo'lgan hol uchun Gauss teoremasi. Gauss teoremasi (1.16) ichida erkin qerk. va qutblangan zaryadlar qutb. mavjud bo'lgan ixtiyoriy sirt S uchun yozamiz:

$$\oint_S E_n dS = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_i q_i^{pk} + \sum_i q_i^k \quad (3.13)$$

Formula (3.11) dan foydalanib, o'ngda turgan qutblangan zaryad ifodasini qutblanish vektori orqali yozamiz:

$$\oint_S E_n dS = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_i q_i^{pk} + \oint_S P_n dS \quad (3.14)$$

Bundan

$$\oint_S (e_0 E_n + P_n) dS = \sum_i q_i \quad (3.15)$$

Agar chap tomonini yangi vektor orqali yozsak, ifoda (3.15) yana soddalashadi, ya'ni

$$\mathbf{D} = e_0 \mathbf{E} + \mathbf{P} \quad (3.16)$$

$\mathbf{D}$ vektorga *elektr siljish vektori* yoki *elektrostatik induksiya vektori* deyiladi. Endi Gauss teoremasi eng sodda ko'rinishga keladi:

$$\oint_S \mathbf{D}_n dS = \sum_i q_i \quad (3.17)$$

O'ng tomonda yopiq sirt S ichida joylashgan erkin zaryadlar qoladi, lekin chapda kuchlanganlik vektori oqimi o'rniga S sirtdan o'tuvchi siljish vektori oqimi turadi. Bu Gauss teoremasini umumiy integral ko'rinishidir.

3.7. Siljish vektorining xossalari. Izotrop dielektriklar uchun qutblanish vektori kabi siljish vektori maydon kuchlanganligiga proporsionaldir. Haqiqatda ham (3.9) ni (3.16) ga qo'ysak quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\mathbf{D} = e_0 (\mathbf{E} + c\mathbf{E}) = e_0 (1 + c) \mathbf{E} \quad (3.18)$$

$\epsilon = 1 + c$ kattalikka *moddaning nisbiy dielektrik singdruvchanligi* deyiladi.

Hamma vaqt $c > 0$ bo'lgani uchun $\epsilon > 1$ katta har qanday dielektrik uchun $(1+c)$ ni hisobga olsak, $\mathbf{D}$ va $\mathbf{E}$ vektorlar o'rtasidagi bog'lanish, (3.18) formulaga ko'ra quyidagiga teng bo'ladi:

$$\mathbf{D} = e_0 \epsilon \mathbf{E} \quad (3.19)$$

Elektr siljish vektori ham kuchlanganlik vektori singari fazoning har bir nuqtasida vektor maydonini xosil qiladi. (5.17) ga ko'ra fazoning har bir nuqtasida $\mathbf{D}$ va $\mathbf{E}$ vektorlarining yo'nalishi mos keladi. Shuning uchun $\mathbf{D}$ vektorning chiziqlari forma jihatdan kuchlanganlik chiziqlari bilan mos keladi. $\mathbf{D}$ vektor chiziqlari uchun ham quyuqlik haqidagi shartni qo'llasak (chiziqlar soni son jihatdan $\mathbf{D}$ ning qiymatiga teng) biz ko'ramizki, (5.12) ga ko'ra $\mathbf{D}$ va $\mathbf{E}$ vektorining chiziqlar zichligi bir xil emasdir: ular bir-biridan ϵ e ko'paytmaga

farq qiladi. D vektor chizig'ining eng muhim xossasi shundaki, u nafaqat zaryadlangan jismlardan tashqarida, balki qutblangan zaryadlar bor joyda ham uzluksiz bo'ladi, ular uzulishga ega bo'ladi, ya'ni faqat erkin zaryadlardagina boshlanadi va tugaydi, u vaqtda kuchlanganlik chiziqlari barcha zaryadlarda (hoh erkin, hoh qutblangan) uzilishga ega bo'ladi.

Vakuumning istalgan nuqtasida $R=0$ va (5.13) ga ko'ra, $\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E}$, ya'ni jismdan tashqarida siljish vektori ϵ_0 ko'paytgichga kuchlanganlik vektori bilan mos keladi. Dielektrik ichida $\mathbf{D}$ vektorning fizik ma'nosi quyidagi teorema bilan aniqlanadi: *agar dielektrik bir jinsli bo'lsa va butunlay ekvipotensial sirtlar orasidagi fazoni butunlay to'ldirsa, u vaqtda dielektrikning ichida*

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E}_{\text{epk}} \quad (3.20)$$

Siljish vektori ϵ_0 ko'paytgichgacha faqat erkin zaryadlar hosil qilgan maydon kuchlanganligi bilan mos keladi. Formula (3.20) da (3.19) hisobga olsak, dielektrik ichida

$$\frac{\mathbf{D}}{\epsilon_0} = \mathbf{E}_{\text{epk}} \quad (3.21)$$

Isbot qilish mumkinki, qutblangan zaryadlar dielektrik sirtida shunday taqsimlanadiki, ularning hosil qilgan maydoni dielektrik ichida noldan farq qiladi. Shuning uchun dielektrikni kiritish erkin zaryadlarning dastlabki taqsimlanishini o'zgartirmaydi, ularning maydoni (3.21) formula bo'yicha dielektrikka kiritilgan E_{erk} maydonga tengdir. (3.21) formula shuni bildiradiki, ekvipotensial sirtlar orasidagi fazoni bir jinsli dielektrik bilan to'ldirilganda, bu sohada kuchlanganlik ϵ marta kamayadi.

$$E = \frac{E_0}{\epsilon} \quad (3.22)$$

Bu yerda dielektrikning ichidagi istalgan ikkita nuqtasi orasidagi potentsiallar ayirmasi ham ϵ marta kamayadi. (1.38), (1.29) va (3.22) formulalarni hisobga olsak,

$$j_A - j_B = \oint_A^B \mathbf{E}_Q \cdot d\mathbf{l} = \oint_A^B \frac{E_0}{\epsilon} \cdot d\mathbf{l} = \frac{1}{\epsilon} \oint_A^B E_0 \cdot d\mathbf{l} = \frac{j_A^0 - j_B^0}{\epsilon} \quad (3.23)$$

3.8. Ikki dielektrik chegarasida induksiya chiziqlarining sinish qonuni.

Erkin zaryadlarning kuchlanganligi E_0 dielektrik chegarasida qandaydir burchak tashkil qilsin. Chegara bog'langan sirtida zaryadlar hosil bo'ladi: birinchi dielektrikda zaryad zichliklari $+s_1$ va $-s_1$, ikkinchisida zaryad zichliklari $+s_2$ va $-s_2$. zaryad zichliklari $+s_1$ va $-s_1$ bo'lgan zaryadlar $E_1 = -4\pi s_1$ maydonni va zaryad zichliklari $+s_2$ va $-s_2$ bo'lgan zaryadlar $E_2 = -4\pi s_2$ maydon kuchlanganliklarini hosil qiladi. Ikki muhit chegarasida kuchlanganlikning normal va tangensial tashkil etuvchilari uchun quyidagi chegaraviy shartlar mavjud:

$$E_{1+} = E_{2+} \quad (3.24)$$

ya'ni dielektrik chegarasidan o'tganda maydon kuchlanganligining tangensial tashkil etuvchilari uzluksiz bo'ladi. Normal tashkil etuvchilar esa bir muhitdan ikkinchi muhitga o'tganda uzilishga ega bo'ladi.

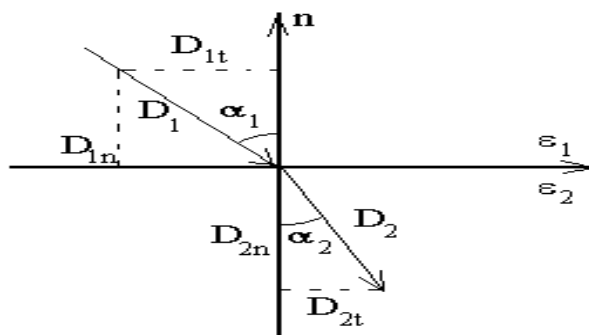
$$e_1 E_{1n} = e_2 E_{2n} \quad (3.25)$$

bu yerda e_1 va e_2 - birinchi va ikkinchi muhitning elektr singdruvchanligi. (3.24) va (3.25) larga E vektorining *chegaraviy shartlari* deyiladi. $E_1 = D/e$ munosabatga ko'ra, elektrostatik induksiya vektori D uchun ham quyidagi chegara shartlar o'rinli bo'ladi:

$$\frac{D_1}{e_1} = \frac{D_2}{e_2} \quad \text{va} \quad D_{1n} = D_{2n} \quad (3.26)$$

Induksiya vektorining normal tashkil etuvchisi ikki dielektrik chegarasidan o'tganda uzluksiz bo'ladi, tangensial tashkil etuvchilari esa uzilishga ega bo'ladi.

Birinchi dielektrikda D_1 induksiya vektorining normal bilan tashkil qilgan burchagini α_1 bilan, ikkinchi dielektrikda D_2 ning normal bilan tashkil qilgan burchagi α_2 bo'lsin. D_1 va D_2 ni tashkil etuvchilarga ajratamiz (32-rasm).



32-rasm. Dielektrik chegarasi

Rasmdan

$$\operatorname{tg} a_1 = \frac{D_{t1}}{D_{n1}} \quad \operatorname{tg} a_2 = \frac{D_{t2}}{D_{n2}}$$

bundan,

$$\frac{\operatorname{tg} a_1}{\operatorname{tg} a_2} = \frac{D_{t1}}{D_{t2}} \frac{D_{n2}}{D_{n1}}$$

yuqoridagi chegaraviy shartni hisobga olsak, quyidagi natijaga ega bo'lamiz:

$$\frac{\operatorname{tg} a_1}{\operatorname{tg} a_2} = \frac{e_1}{e_2} \quad (3.27)$$

Bu munosabat ikki dielektrik chegarasida induksiya va kuchlanganlik chiziqlarining sinish qonunini ifodalaydi.

3.9. Kristallarning dielektrik xususiyati. Kristallarning qutblanishi maydon kuchlanganligining kristallografik o'qqa nisbatan yo'nalishiga qarab turlicha bo'lishi mumkin. Bu holda qutblanish vektori $\mathbf{R}$ ning yo'nalishi $\mathbf{E}$ vektorning yo'nalishi bilan mos kelmaydi, demak, $\mathbf{R}$ va $\mathbf{E}$ vektorlar orasidagi bog'lanishni sodda munosabat (3.9) bilan ifodalab bo'lmaydi. c o'rniga to'qqizta c_{ik} kattalik kiritiladi va $\mathbf{R}$ va $\mathbf{E}$ vektorlarining koordinata o'qlari bo'yicha tashkil etuvchilari o'rtasida quyidagi bog'lanishi o'rinli bo'ladi:

$$\begin{aligned} P_x &= c_{xx} E_x + c_{xy} E_y + c_{xz} E_z \\ P_y &= c_{yx} E_x + c_{yy} E_y + c_{yz} E_z \\ P_z &= c_{zx} E_x + c_{zy} E_y + c_{zz} E_z \end{aligned} \quad (3.28)$$

Shuningdek, elektrostatik induksiya vektori $\mathbf{D}$ va kuchlanganlik vektori $\mathbf{E}$ o'rtasidagi bog'lanish ham tenzor xarakteriga ega bo'ladi.

Kristall jismlarning panjaralarida zarrachalarning joylashishi maxsus effektlarning hosil bo'lishiga olib keladi, bu effektlardan biriga *piezoelektrik effekt* deb ataladi: bu effektning mohiyati quyidagichadir: ba'zi bir kristallar (masalan, kvarts, turmalin, segnet tuzi va hokazo) mexanik deformatsiyalanganda (uni siqqanda va cho'zganda) uning yoqlarida qarama-qarshi ishorali elektr zaryadlari paydo bo'ladi. Segnet tuzlarda bu effekt juda

kuchli. To'g'ri p'ezoeffektdan tashqari teskari p'ezoeffekt ham mavjud bo'ladi. Agar kristallni tashqi elektr maydonga joylashtirsak, uning o'lchamlari o'zgaradi. To'g'ri va teskari p'ezoeffektlar texnikada ko'p qo'llaniladi.

Nazorat savollari

1. Dielektrlarning tuzilishi.
2. Elektr maydoni dipolga qanday ta'sir ko'rsatadi?
3. Qutblangan va qutblanmagan molekuladan iborat bo'lgan dielektrikning qutblanishida qanday farq bor?
4. Qutblanish vektori qanday fizik ma'noga ega?
5. Elektr siljish vektori, kuchlanganlik vektori va qutblanish vektorlari o'rtasida qanday bog'lanish bor?
6. Qutblangan zaryad bilan qutblanish vektori orasida qanday boglanish bor?
7. Dielektrik uchun Gauss teoremasining ko'rinishi kanday buladi?
8. Nisbiy dielektrik singdiruvchanlik bilan muhitning dielektrik qabul qiluvchanligi o'rtasida qanday boglanish bor?
9. Segnetoelektriklar va ularning boshqa dielektrlardan farqi nima?
10. Qattik jismlarning qutblanishining oddiy dielektrlardan farqi? To'g'ri va teskari p'ezoelektrik effekt nimadan iborat?

4. Mustaqil ish mavzulari

1. Galvanik elementlar va ularning tuzilishi hamda ishlash printsipli.
2. Elektrometrlar va ularning ishlash prinsipi.
3. Gauss teoremasini tekis zaryadlangan tekislik va zaryadlangan o'tkazgichning sirtiga tadbiqu.
4. Gauss teoremasini zaryadlangan shar va tekis zaryadlangan silindrga tadbiqu.
5. Turli (shar, yassi plastinka va tsilindr) shakldagi zaryadlangan jismlarning maydoni va potensialini hisoblash.
6. Berilgan zaryadlar (nuqtaviy zaryad va elektr dipoli) maydoni va potensialini hisoblash.

7. Elektrostatik generatorlar va ularning ishlash prinsiplari.
8. Ikki simli tarmoqning elektr maydoni va elektr sig'imi.
9. Nuqtaviy zaryad va tekislik orasidagi elektr maydoni va elektr sig'imi.
10. Murakkab kondensatorlar va ularning elektr sig'implari.
11. Kondensatorlarda zaryad sirqish hodisasi.
12. Dielektrlardagi mexanik kuchlar. Dielektrlar deformatsiyasi.
13. Dielektrlarning qutblanishida tashqi ta'sirlar.
14. Qutbli va qutbsiz dielektrlarning dielektrik singdiruvchanliklari.
15. Dielektrlar qutblanishining elektron nazariyasi.

5. Elektrostatikadan masalalar yechish bo'yicha namunalalar

1-masala. Kvadratning uchlarida bir hil zaryadlar turibdi: $q_1 = q_2 = q_3 = 8 \cdot 10^{-10} \text{ kl}$. Kvadratning markaziga qanday manfiy zaryad qo'yilsa musbat zaryadlarning o'zaro itarishish kuchlari manfiy zaryadning tortishish kuchi bilan muvozanatlanadi.

Tahlil. Ushbu masalani yechishda avvalo Kulon qonuni eslash kerak va har bir zaryad hosil qilayotgan maydon kuchlanganligiga yoki kuchga superpozitsiyasini qo'llash darkor hamma musbat zaryadlarning miqdori teng bo'lgani uchun kuch yo'nalishini kvadratning bitta uchiga chizish yetarli berilgan: $q_1 = q_2 = q_3 = 8 \cdot 10^{-10} \text{ kl}$.

Topish kerak: $q = ?$

Yechish. Masala shartiga ko'ra $F = F_{\Phi}$ bu yerda F - musbat q_3 va manfiy q zaryadlar o'rtasidagi tortishish kuchi F_{Φ} esa F_4 va F_2 kuchlarning umumiy tashkil etuvchisi F kuch q_4 va q_3 o'rtasidagi itarish kuchi: F_2 esa q_2 va q_3 o'rtasidagi itarish kuchi G' .

Kulon qonunidan

$$F_4 = \frac{q_4 \times q_2}{4\pi\epsilon_0 q^2} \quad (1.1)$$

Ma'lumki $F_4 = F_2$

$$(F_{\Phi})^2 = F_4^2 + F_2^2 = 2F_2^2 \quad (1.2)$$

$$F_{\Phi} = F_4 \sqrt{2} = \frac{q_4 \times q_3}{4\pi\epsilon_0 q^2} \times \sqrt{2}$$

Kulon qonuniga ko'ra

$$F = \frac{q \times q_3}{4\pi\epsilon_0 l^2} \quad (1.3)$$

Bu yerda b - q_3 va q zaryadlar orasidagi masofa

$$b = \sqrt{\frac{a^2}{2} + \frac{a^2}{2}} = \frac{a}{2}\sqrt{2}, \quad b^2 = \frac{a^2}{2} \quad (1.4)$$

$F = F_0$ ekanidan (1.2) va (1.3) ga ko'ra (1.4) ni hisobga olib, quyidagi ifodani olish mumkin:

$$\frac{q_4 \cdot q_3}{4\pi\epsilon_0 q^2} \sqrt{2} = \frac{q \cdot q_3 \cdot 2}{4\pi\epsilon_0 q^2}$$

yoki
$$q = \frac{\sqrt{2}}{2} q_4 \quad (1.5)$$

Son qiymatini masala shartiga ko'ra qo'ysak $q = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 8 \cdot 10^{-10} \text{ Кл} \gg 5,64 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}$.

2- masala. Vakuumda elektr maydoni ikkita bir xil qarama-qarshi ishoralari zaryad tomonidan yuzaga keltirilgan. Zaryadlar orasidagi masofa $l = 0.22 \text{ м}$. Zaryadlar o'rtasidan o'tkazilgan perpendikulyar chiziqli yotgan $r = 0.2 \text{ м}$ masofadagi nuqtada hosil bo'lgan maydon kuchlanganligini toping.

Tahlil. Tegishli nuqtada maydon kuchlanganligini topish uchun superpozitsiya prinsipidan foydalanish kerak.

$$\vec{E} = \vec{E}_+ + \vec{E}_- \quad (1.6)$$

Bu yerda $\vec{E}_+$ va $\vec{E}_-$ lar musbat va manfiy zaryadlar hosil qilgan maydon kuchlanganliklari. $\vec{E}_+$ va $\vec{E}_-$ maydon kuchlanganliklarining modullari bir biriga teng va ular quyidagicha ifoda etiladi:

$$E_+ = E_- = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\sqrt{r^2 + \frac{l^2}{4}}} \quad (1.10)$$

Teng yonli uchburchaklarning o'xshashligidan

$$\frac{E}{E_+} = \frac{l}{\sqrt{r^2 + (\frac{l}{2})^2}}$$

yoki bunga 1.10 ni qo'ysak,

$$\frac{1}{E_+} = \sqrt{r^2 + (\frac{l}{2})^2} E_+ = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2 + (\frac{l}{2})^2} \frac{l}{\sqrt{r^2 + (\frac{l}{2})^2}} \quad (1.11)$$

Bu izlanayotgan maydon kuchlanganligi ifodasidir.

Berilgan: $q = |q_1| = |q_2| = 2.1 \times 10^{-9} \text{ kl}$

$l = 0.22 \text{ m}$

$r = 0.2 \text{ m}$

Topish kerak: $E = ?$

Yechish: Taxlilda keltirib chiqarilgan maydon kuchlanganligi ifodasidan foydalanamiz.

$$\frac{1}{E_+} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2 + (\frac{l}{2})^2} \frac{l}{\sqrt{r^2 + (\frac{l}{2})^2}}$$

O'lchov birligini keltirib chiqaramiz

$$[E] = \frac{H M^2}{\kappa l^2} \times \frac{M}{\sqrt{M^2}} \times \frac{\kappa l}{M^2} = \frac{H}{\kappa l}$$

Son qiymatlarini o'rniga qo'yib hisoblaymiz.

$$\frac{1}{E_+} = 9 \times 10^9 \frac{2.1 \times 10^{-9}}{(0.2)^2 + (\frac{0.22}{2})^2} \frac{0.22}{\sqrt{0.2^2 + (\frac{0.22}{2})^2}} = 362.8 \frac{H}{\kappa l}$$

3-masala. Ikkita bir biriga parallel bo'lgan cheksiz kenglikdagi va bir xil sirt zichligi bilan zaryadlangan / $G = 5 \text{ МК} \frac{\text{КЛ}}{\text{М}^2}$ / sirlarning bir birlik yuzalari qanday kuch bilan ta'sirlashadi ?

Taxlil:

$$E_+ = \frac{G}{2e_0 e} \quad E_+$$

$$E_- = \frac{G}{2e_0 e} \quad E_+$$

Ushbu masala sharti bo'yicha maydon har bir sirt hosil qilgan maydonning superpozitsiyasi bo'yicha topilishi mumkin.

Rasmdan ko'rinadiki, sirtlar o'rtasidagi natijaviy kuchlanganlik

$$\vec{E} = \vec{E}_+ + \vec{E}_- = \frac{G}{2e_0 e} + \frac{G}{2e_0 e} = \frac{G}{e_0 e} \quad (1.16)$$

Bu yerda e_0 - elektr o'zgarmasi; e - dielektrik singdiruchanligik.

Berilgan: $e=1$

$$G = 5 \text{ МК} \frac{\text{КЛ}}{\text{М}^2} = 5 \times 10^{-6} \frac{\text{КЛ}}{\text{М}^2}$$

$$e_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{\phi}{\text{М}}$$

Topish kerak : $F = ?$

Yechish : Birlik yuzaga ta'sirlashuvchi kuch

$$F = GE \quad (1.17)$$

$G' 1, 16 G'$ ni $G' 1, 17 G'$ ga qo'ysak

$$F = \frac{G^2}{e_0 e} \quad (1.18)$$

O'lchov birligini keltirib chiqaramiz

$$[F] = \frac{G^2}{e_0 e} = \frac{\frac{\text{КЛ}}{\text{М}^2} \cdot \frac{\text{КЛ}}{\text{М}^2}}{\frac{\phi}{\text{М}} \cdot \frac{\phi}{\text{М}}} = \frac{\text{КЛ}^2}{\text{КЛ} \times \text{М}^2 \cdot \text{Б}} = \frac{\text{БКЛ}}{\text{М}^2} = \frac{H}{\text{М}^2}$$

Son qiymatlarini o`rniga qo`yib hisoblaymiz

$$F = \frac{G^2}{e_0 e} = \frac{25 \times 10^{-12}}{8,85 \times 10^{-12}} = 2,8 \frac{H}{M^2}$$

4-masala. Musbat zaryadlar $q_1 = 3 \text{ MKKL}$ va $q_2 = 0.02 \text{ MKKL}$ vakuumda bir biridan 1,5 metr masofada turibdi. Zaryad orasidagi masofani 1 metrga keltirish uchun bajariladigan ishni topilsin.

Tahlil. Birinchi q_1 zaryadni qo`zg`almas deb olinsin, ikkinchi q_2 zaryad tashqi kuch ta`sirida  $q_1$  zaryad maydonini yengib ish bajaradi va  $r_1 = 1.5$  metrdan  $r_2 = 1$  metrgacha bo`lgan masofaga siljiydi.

Biror q zaryadni maydonning j_1 potentsialli nuqtasidan j_2 potentsialli nuqtasiga ko`chirishda tashqi kuchning bajargan ishi  $A$  zaryadlarning o`zaro ta`sirlashuv kuchi bajargan ish  $A$  ga teng va ishorasi qarama-qarshi bo`ladi.

$$A\Phi = A \quad (1.32)$$

Bu masalani yechishda mana shu holatga e`tibor berilsagina to`g`ri natijaga erishish mumkin.

Berilgan

$$q_1 = 3 \text{ MKKL}$$

$$q_2 = 0.02 \text{ MKKL}$$

$$r_1 = 1.5 \text{ m}$$

$$r_2 = 1 \text{ m}$$

Topish kerak : $A\Phi = ?$

Yechish. Zaryadni siljirilganda maydon kuchi bajargan ish A quyidagi formula yordami topiladi / 1,19 /_ ga qarang:

$$A = q(j_1 - j_2) \quad (1.33)$$

Bunda tashqi bajargan ish $A\Phi$ ni quyidagicha aniqlanadi .

$$A\Phi = -q(j_1 - j_2) = q(j_2 - j_1) \quad (1.34)$$

Boshlang`ich va oxirgi nuqtalardagi potensial (1.20) ifodaga ko`ra

$$j_1 = \frac{q_1}{4\pi e_0 r_1^2} \quad (1.35)$$

$$j_2 = \frac{q_2}{4\pi e_0 r_2^2} \quad (1.36)$$

(1.35) va (1.36)ni (1.34)ga qo'yamiz va ushbu xol uchun $q = q_2$ ekanini hisobga olinsa

$$A = \frac{q_1 q_2}{4\pi e_0 r_1 r_2} - \frac{1}{r_2} \quad (1.37)$$

O'lchov birligini keltirib chiqaramiz.

$$[A] = K l^2 \frac{H_M^2}{\kappa l^2} \times \frac{1}{M} = H_M = \mathcal{K}$$

Son qiymatlarini o'rniga qo'yib hisoblaymiz

$$A = \frac{q_1 q_2}{4\pi e_0 r_1 r_2} - \frac{1}{r_2} = 9 \times 10^9 \times 3 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^{-8} \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{1.5} \right) = 1.8 \times 10^{-4} \mathcal{K} = 180 \text{ mK}$$

5-masala. Yassi kondensator plastinkalari orasi ikki xil dielektrik qatlamlar bilan to'ldirilgan: qalinligi $d_1 = 0.2 \text{ cm}$ bo'lgan shisha va qalinligi $d_2 = 0.3 \text{ cm}$ bo'lgan parafin qatlami. Kondensator plastinkalari orasidagi potentsiallar farqi $U = 300 \text{ B}$.

Har bir dielektrik qatlamdagi maydan kuchlanganligi va potensial tushuvi topilsin.

Tahlil: Kondensator ichidagi ikkita qatlamni bir-biriga ketma-ket ulangan ikkita kondensator deb qarash mumkin.

Yassi kondensatorning sig'imi

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon}{d} \quad (1.38)$$

Umumiy kuchlanish tushuvi

$$U = U_1 + U_2 \quad (1.39)$$

Maydon kuchlanganligi bilan kuchlanish orasidagi bog'lanish (dielektrik mavjud bo'lgan xol uchun)

$$E = \frac{U}{ed} \quad (1.40)$$

Berilgan:

$$d_1 = 0.2 \text{ cm}$$

$$d_2 = 0.3 \text{ cm}$$

$$U = 300 \text{ B}$$

$$\epsilon_1 = 7; \quad \epsilon_2 = 2.1$$

Topish kerak. U_1 -? U_2 -? E_1 -? E_2 -?

Yechish. /1,38/ ga asosan shisha dielektrik qatlami sig'imi

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_1 S}{d_1} \quad (1.41)$$

Parafin qatlami sig'imi esa

$$C_2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_2 S}{d_2} \quad (1.42)$$

har bir qatlami uchun $U_1 = \frac{q}{C_1}, \quad U_2 = \frac{q}{C_2} \quad (1.43)$

Bundan (1.41) va (1.42) ni hisobga olsak

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{\epsilon_2 d_1}{\epsilon_1 d_2} \quad (1.44)$$

1.39 dan U_1 ni toping 1.44 ga qo'ysak

$$U_2 = \frac{U}{1 + \frac{\epsilon_2 d_1}{\epsilon_1 d_2}} = \frac{300}{1 + \frac{2.1 \times 2 \times 10^{-3}}{7 \times 3 \times 10^{-3}}} = 250 \text{ B}$$

(1.39) dan

$$U_1 = U - U_2 = 300 - 250 = 50B$$

(1.40)ga ko`ra har bir qatlamning kuchlanganligi

$$E_1 = \frac{U_1}{e_1 d_1} = \frac{50}{7 \times 2 \times 10^{-3}} = 3.57 \times 10^3 \frac{B}{M} = 3,57 \frac{\kappa B}{M}$$

$$E_2 = \frac{U_2}{e_2 d_2} = \frac{250}{2,1 \times 3 \times 10^{-3}} = 40 \times 10^3 \frac{B}{M} = 40 \frac{\kappa B}{M}$$

6-masala. Plastinkaning yuzasi $S = 100 \text{ cm}^2$ bo`lgan yassi kondensator oralig`i ikkita dielektrik qatlamlardan iborat: qalinligi $d_1 = 2 \text{ mm}$ farfor va qalinligi $d_2 = 1.5 \text{ mm}$ bo`lgan ebonit. Bu kondensatorning elektr sig`imi topilsin

Tahlil . Umumiy holda kondensatorning sig`imi quyidagi formula bilan aniqlanadi.

$$C = \frac{q}{U} \quad (1.45)$$

Bu yerda q - kondensator plastinkalaridagi zaryad miqdori ; U -ulardagi kuchlanish tushuvi,

/ 1,39 / ifodaga asosan (5- masala shartiga ko`ra)

$$U = U_1 + U_2 \quad (1.46)$$

Undan

$$C = \frac{q}{U_1 + U_2} \quad (1.47)$$

Zaryadning sirt zichligi

$$G = \frac{q}{S} \quad (1.48)$$

bundan

$$q = G \cdot S \quad (1.49)$$

Kuchlanganlik bilan potensial orasidagi bog'lanish ifodasidan

$$U_1 = E_1 d_1 = \frac{D}{\epsilon_0 \epsilon_1} d_1 \quad (1.50)$$

$$U_2 = E_2 d_2 = \frac{D}{\epsilon_0 \epsilon_2} d_2 \quad (1.51)$$

Bu yerda $D = \epsilon_0 \epsilon E$ - dielektrikdagi maydon induksiya F bu dielektrik singdiruvchanlikka bog'liq bo'lmagan kattalik F .

(1.49), (1.50) va (1.51) ni (1.47) ga qo'ysak

$$C = \frac{S}{U_1 + U_2} = \frac{S}{\frac{D}{\epsilon_0 \epsilon_1} d_1 + \frac{D}{\epsilon_0 \epsilon_2} d_2} \quad (1.52)$$

Ostrogradskiy – Gauss teoremasiga ko'ra $D = G$ ekanini hisobga olsak va /1.52/ ning surat va maxrajini ga ϵ_0 ko'paytirsak

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{\frac{d_1}{\epsilon_1} + \frac{d_2}{\epsilon_2}} \quad (1.53)$$

Berilgan.

$$S = 100 \text{ cm}^2$$

$$d_1 = 2 \text{ mm}$$

$$d_2 = 1.5 \text{ mm}$$

$$\epsilon_1 = 5; \quad \epsilon_2 = 3$$

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$$

Topish kerak: $C - ?$

Yechish: Tahlilida natijaviy formula keltirib chiqarildi, uning o'lchov birligini keltirib chiqarsak :

$$[C] = \frac{\epsilon_0 S}{\frac{d_1}{\epsilon_1} + \frac{d_2}{\epsilon_2}} = \frac{\frac{\phi}{M} \times M^2}{M} = \Phi$$

Son qiymatlarini o`rniga qo`yib hisoblaymiz

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{\frac{d_1}{\epsilon_1} + \frac{d_2}{\epsilon_2}} = \frac{8.85 \times 10^{-12} \times 10^{-2}}{\frac{2 \times 10^{-3}}{5} + \frac{1.5 \times 10^{-3}}{3}} = 9.83 \times 10^{-11} \Phi = 98,3 n\Phi$$

7-masala. Plastinkalari orasidagi masofa $d = 1 \text{ sm}$ bo`lgan yassi kondensator  $U = 10^3 \text{ B}$  potentsiallari farqigacha zaryadlangan. Kondensator maydoni energiyasining xajmiy zichligi topilsin. Kondensator orasi shisha bilan to`ldirilgan.

Tahlil. Kondensator maydoni energiyasining hajmiy zichligi (1.59) ifodaga ko`ra

$$w = \frac{W}{V} \quad (1.61)$$

Bu yerda V - maydon egallagan hajm.

Kondensator maydoni energiyasi (1.54) formula bilan ifodalanishi bizga ma`lum, ya`ni :

$$W = \frac{CU^2}{2} \quad (1.62)$$

bu yerda U – potentsiallar farqi; S - sig`im

Berilgan:

$$d = 1 \text{ sm}$$

$$U = 10^3 \text{ B}$$

$$\epsilon = 7;$$

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{\Phi}{M}$$

Topish kerak: w - ?

Yechish : Yassi kondensator sig`imi

$$C = \frac{e_0 \epsilon S}{d} \quad (1.63)$$

Maydon egallangan hajmi

$$V = Sd \quad (1.64)$$

(1,63) ni (1,62) qo`ysak va (1,64) hisobga olgan holda (1.61) yozsak

$$w = \frac{W}{V} = \frac{CU^2}{2} = \frac{e_0 \epsilon S U^2}{d S d} = \frac{e_0 \epsilon U^2}{2d^2} \quad (1.65)$$

O`lchov birligini keltirib chiqaramiz:

$$[w] = \frac{\frac{\phi}{\mathcal{M}}}{\mathcal{M}^2} B^2 = \frac{\Phi \times B^2}{\mathcal{M}^3} = \frac{B^2 \times \frac{K\mathcal{I}}{B}}{\mathcal{M}^3} = \frac{K\mathcal{I} \times B}{\mathcal{M}^3} = \frac{\mathcal{K}}{\mathcal{M}^3}$$

Son qiymatini hisoblaymiz

$$w = \frac{W}{V} = \frac{CU^2}{2} = \frac{e_0 \epsilon S U^2}{d S d} = \frac{e_0 \epsilon U^2}{2d^2} = \frac{8,85 \times 10^{-12} \times 7}{2 \times 10^{-4}} \times 10^6 = 0,309 \frac{\mathcal{K}}{\mathcal{M}^3}$$

6. Mustaqil ishlash uchun masalalar

6.1. Kulon qonuni. Zaryadlangan jismlarning o'zaro ta'siri

1. Vakuumdagi bir-biridan $r=1\text{ m}$ masofada bo'lgan ikkita $q_1=q_2=1\text{ Kl}$ nuqtaviy zaryadning o'zaro ta'sir kuchi aniqlansin.

2. Har birining massasi $m=0,1\text{ g}$ dan bo'lgan ikkita o'archa uzunliklari $l=20\text{ sm}$ dan bo'lgan iplar yordamida bir nuqtada osilgan. Sharchalar bir xil zaryadlangach, shunday ajralishdiki, iplar o'zaro $\alpha=60^\circ$ burchak hosil qilishdi. Har bir sharchaning zaryadi topilsin.

3. Ikkita bir xil zaryadlangan sharcha uzunliklari bir xil bo'lgan iplar bilan bir nuqtaga osilgan. Bunda iplar α burchakka ajralishgan. Sharchalarni zichligi $\rho_0=8\times 10^2\text{ kg/m}^3$ bo'lgan yog'ga botirilgan. Iplarning ajralish burchagi o'zgarmay qolishi uchun yog'ning dielektrik singdiruvchanligi ϵ qancha bo'lishi kerak? Sharchalarning zichligi $\rho=1,6\times 10^3\text{ kg/m}^3$.

4. Har birining massasi $m=1\text{ g}$ dan bo'lgan ikkita zaryadlangan sharcha berilgan. Zaryadlarning o'zaro itarish Kulon kuchi sharchalarning gravitatsion tortishish kuchi bilan muvozanatlashishi uchun har bir sharchaga qanday q zaryad berilishi kerak? Sharchalarni moddiy nuqtalar sifatida qaralsin.

5. Ikkita $q_1=1\text{ mKl}$ va $q_2=-q_1$ nuqtaviy zaryadlar orasidagi masofa 10 sm ga teng. Birinchi zaryaddan $r_1=6\text{ sm}$ va ikkinchisidan $r_2=8\text{ sm}$ masofada bo'lgan $q=0,1\text{ mKl}$ nuqtaviy zaryadga ta'sir etuvchi F kuch topilsin.

6. Bir xil o'tkazuvchanlikka ega zaryadlangan ikkita shar bir-biridan $r=60\text{ sm}$ masofada turibdi. Sharlarning itarish kuchi $F_1=70\text{ mN}$. Sharlar bir-biriga tekkizilib, so'ngra avvalgi vaziyatiga qaytarilganda itarish kuchi $F_2=160\text{ mN}$ bo'ldi. Bir-biriga tekkizilguncha sharlar zaryadlari q_1 va q_2 qancha bo'lgan. Sharlarni moddiy nuqta deb qaralsin.

7. Ikkita musbat q va $2q$ nuqtaviy zaryadlar bir-biridan $l=60\text{ sm}$ masofada mahkamlangan. Muvozanat holatida bo'lishi uchun uchinchi q_1

zaryadni zaryadlar orqali o'tuvchi to'g'ri chiziqlarning qaysi nuqtasiga joylashtirish kerak? Agar zaryad faqat mahkamlangan zaryadlar orqali o'tuvchi to'g'ri chiziq bo'ylab harakatlana olsa, muvozanat turg'un bo'lishi uchun zaryad qanday ishorali bo'lishi kerakligi ko'rsatilsin.

8. Kvadratning uchlarida har biri $q = 0,3 \text{ nKl}$ dan bo'lgan bo'lgan bir xil zaryadlar bor. Musbat zaryadlarning o'zaro itarish kuchlari manfiy zaryadning tortishish kuchi bilan muvozanatga keltirilishi uchun kvadratning markaziga qanday q_1 manfiy zaryad joylashtirish kerak?

9. Vodorod atomida elektron yadro atrofida doiraviy orbita bo'ylab aylanadi deb qabul qilinadi. Agar orbita radiusi $r = 53 \text{ pm}$ bo'lsa, elektronning tezligi va aylanish chastotasi topilsin.

10. Uzunligi $l = 10 \text{ sm}$ bo'lgan ingichka tayoqcha bir tekis zaryadlangan. Zaryadning chiziqli zichligi $t = 1 \text{ mkKl/m}$. Tayoqcha o'qining davomida, yaqin uchidan $a = 20 \text{ sm}$ masofada $q = 100 \text{ nKl}$ li nuqtaviy zaryad turibdi. Zaryadlangan tayoqcha va nuqtaviy zaryadning o'zaro ta'sir kuchi F aniqlansin.

11. Uzun ingichka tayoqcha $t = 10 \text{ mkKl/m}$ chiziqli zichlik bilan bir tekis zaryadlangan. Uning o'rtasiga yaqin joyidan $a = 20 \text{ sm}$ masofada joylashgan $q = 10 \text{ nKl}$ li nuqtaviy zaryadga ta'sir etayotgan F kuch qanday bo'ladi?

12. Radiusi $R = 10 \text{ sm}$ bo'lgan ingichka yarim halqada $t = 1 \text{ mkKl/m}$ chiziqli zichlik bilan tekis taqsimlangan zaryad bor. Yarim halqa egriligining markazida $q = 20 \text{ nKl}$ li nuqtaviy zaryad turibdi. Nuqtaviy zaryad va zaryadlangan yarim halqaning o'zaro ta'sir kuchi F aniqlansin.

6.2. Elektr maydon kuchlanganligi

1. Elektr maydonni ikkita nuqtaviy zaryad hosil qilgan bo'lib, $q_1 = 30 \text{ nKl}$ va $q_2 = 10 \text{ nKl}$ zaryadlar orasidagi masofa $d = 20 \text{ sm}$. Birinchi zaryaddan $r_1 = 15 \text{ sm}$ va ikkinchisidan $q_2 = 10 \text{ sm}$ masofada turgan nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligi aniqlansin.

2. Ikkita $q_1 = 9q$ va $q_2 = q$ nuqtaviy musbat zaryadlar orasidagi masofa $d = 8 \text{ mm}$. Zaryadlar maydonining kuchlanganligi E nolga teng bo'lgan nuqta

birinchi zaryaddan qanday r masofada joylashgan? Agar ikkinchi zaryad manfiy bo'lganda, bu nuqta qayerda bo'lardi?

3. $R=8$ sm radiusli ingichka halqada $t=10$ nKl/m chiziqli zichlik bilan tekis taqsimlangan zaryad bor. Halqaning hamma nuqtalaridan $r=10$ sm uzoqlikda joylashgan nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligi E qanday bo'ladi?

4. Juda uzun ingichka to'g'ri o'tkazgichda butun uzunligi bo'ylab tekis taqsimlangan zaryad bor. Agar o'tkazgich o'rtasining qarshisida undan $a=50$ sm masofadagi maydon kuchlanganligi $E=200$ V/m bo'lsa, zaryadning chiziqli zichligi t hisoblansin.

5. Diametri $d=5$ sm va uzunligi $l=4$ m bo'lgan to'g'ri metall tayoqchada sirti bo'ylab bir tekis taqsimlangan $q=500$ nKl zaryad bor. Tayoqcha o'rtasining qarshisida undan $a=1$ sm masofada joylashgan nuqtadagi maydon kuchlanganligi E aniqlansin.

6. Uzunligi $l=12$ sm bo'lgan ingichka tayoqcha $t=200$ nKl/m chiziqli zichlik bilan zaryadlangan. Tayoqcha o'rtasining qarshisida undan $r=5$ sm masofada joylashgan nuqtadagi maydon kuchlanganligi E topilsin.

7. Elektr maydon yuzalari bo'ylab bir tekis taqsimlangan bir xil ($s=1$ nKl/m²) zaryadli ikkita cheksiz parallel plastinka tomonidan hosil qilingan. 1) plastinkalar orasidagi; 2) plastinkalardan tashqaridagi maydon kuchlanganligi E aniqlansin.

8. Ikkita cheksiz parallel plastinka $s_1=10$ nKl/m² va $s_2=-30$ nKl/m² sirt zichliklari bilan tekis zaryadlangan. $S=1$ m² yuzaga to'g'ri keluvchi plastinkalar orasidagi o'zaro ta'sir kuchi aniqlansin.

9. Radiusi $R=5$ sm bo'lgan yaxlit ebonit sharda $r=10$ nKl/m³ hajmiy zichlik bilan tekis taqsimlangan zaryad bor. Quyidagi nuqtalarda elektr maydon kuchlanganligi E va siljishi D aniqlansin: 1) shar markazidan $r_1=3$ sm masofada; 2) shar sirtida; 3) shar markazidan $r_2=10$ sm masofada.

10. Cheksiz o'tkazuvchan tekislikdan qandaydir $a=5$ sm masofada $q=1$ nKl nuqtaviy zaryad bor. Zaryadga shu zaryadning o'zi tekislikda induksiyalagan zaryad tomonidan ta'sir etuvchi kuch F aniqlansin.

11. Katta metall plastinkada sirti bo'ylab bir tekis taqsimlangan zaryad mavjud ($\sigma = 10 \text{ nKl/m}^2$). Plastinkadan uzoq bo'lmagan joyda $q = 100 \text{ nKl}$ nuqtaviy zaryad turibdi. Zaryadga ta'sir etuvchi F kuch topilsin.

12. $q = 1 \text{ mkKl}$ nuqtaviy zaryad katta bir tekis zaryadlangan plastinka yaqinida, o'rtasining qarshida turibdi. Agar nuqtaviy zaryadga $F = 60 \text{ mN}$ kuch ta'sir etsa, plastinkadagi zaryadning sirt zichligi σ hisoblansin.

13. Yassi kondensator qoplamalari orasida $q = 30 \text{ nKl}$ nuqtaviy zaryad bor. Kondensator maydoni zaryadga $F_1 = 10 \text{ mN}$ kuch bilan ta'sir etadi. Agar har bir qoplamaning yuzasi $S = 100 \text{ sm}^2$ dan bo'lsa, qoplamalarning o'zaro tortishish kuchi F_2 aniqlansin.

14. Tomonlarining uzunliklari $a = 10 \text{ sm}$ va $b = 15 \text{ sm}$ bo'lgan ikkita to'g'ri burchakli bir xil parallel plastinka bir-biridan uzoq bo'lmagan masofada joylashgan. Plastinkalardan birida $q_1 = 50 \text{ nKl}$ va boshqasida $q_2 = 150 \text{ nKl}$ zaryad tekis taqsimlangan. Plastinkalar orasidagi elektr maydon kuchlanganligi E aniqlansin.

15. Uzunligi $l = 10 \text{ sm}$ bo'lgan ingichka tayoqcha $t = 400 \text{ nKl/m}$ chiziqli zichlik bilan zaryadlangan. Tayoqchaning biror uchidan unga tik o'tkazilgan chiziqda yotuvchi, shu uchidan $r = 8 \text{ sm}$ masofada joylashgan nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligi E qanday bo'ladi?

16. Cheksiz o'tkazuvchan tekislikdan $a = 10 \text{ sm}$ masofada $q = 20 \text{ nKl}$ nuqtaviy zaryad turibdi. Tekislikdan a va q zaryaddan $2a$ masofada joylashgan nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligi E qanday bo'ladi?

6.3. Elektr maydon potentsiali

1. Maydonning muayyan nuqtasida turgan $q = 10 \text{ nKl}$ nuqtaviy zaryad $E_p = 10 \text{ mkJ}$ potensial energiyaga ega. Maydonning shu nuqtasidagi potensial j topilsin.

2. $q = 20$ nKl zaryadni maydonning ikki nuqtasi orasida ko'chirishda tashqi kuchlar tomonidan $A = 4$ mKJ ish bajarilgan. Maydon kuchlarining ishi A_1 va maydonning shu nuqtalari orasidagi potentsiallar farqi D_j topilsin.

3. Maydonni $q_1 = 1$ nKl nuqtaviy zaryad hosil qilgan. Zaryaddan $r = 20$ sm masofada joylashgan nuqtadagi elektr maydon potentsiali aniqlansin.

4. $q_1 = 1$ mKl va $q_2 = -1$ mKl zaryadlar bir-biridan $d = 10$ sm masofada turibdi. Birinchi zaryaddan $r = 10$ sm uzoqlikdagi q_1 dan q_2 yo'nalishiga tik va birinchi zaryaddan o'tadigan to'g'ri chiziqli yotuvchi nuqtadagi maydon potentsiali j va kuchlanganligi E aniqlansin.

5. Tomonlarining uzunligi $a = 10$ sm dan bo'lgan teng tomonli uchburchakning uchlarida joylashgan uchta $q_1 = 10$ nKl, $q_2 = 20$ nKl va $q_3 = -30$ nKl nuqtaviy zaryadlar tizimining potentsial energiyasi E_p topilsin.

6. Tomonlarining uzunligi $a = 10$ sm dan bo'lgan kvadratning uchlarida joylashgan to'rtta bir xil $q = 10$ nKl nuqtaviy zaryadlar tizimining potentsial energiyasi E_p topilsin.

7. Zaryad $R = 10$ sm radiusli ingichka halqada $t = 10$ nKl/m chiziqli zichlik bilan bir tekis taqsimlangan. Halqa o'qida yotuvchi va markazidan $a = 5$ sm masofada joylashgan nuqtadagi potentsiali j topilsin.

8. Uzunligi $l = 10$ sm bo'lgan ingichka tayoqchada tekis taqsimlangan $q = 1$ nKl zaryad bor. Tayoqcha o'qida va uning yaqin uchidan $a = 20$ sm masofada joylashgan nuqtadagi potentsiali j topilsin.

9. Yupqa aylana shakldagi plastinka tekislik bo'ylab bir tekis taqsimlangan $q = 1$ nKl zaryadga ega. Plastinkaning radiusi $R = 5$ sm. 1) plastinka markazida; 2) plastinka tekisligiga tik o'qda yotuvchi va plastinka markazidan $a = 5$ sm uzoqda joylashgan nuqtalardagi maydon potentsiali j topilsin.

10. Radiuslari $R_1 = 3$ sm va $R_2 = 6$ sm bo'lgan ikkita konsentrik metall sfera bor. Sferalar orasidagi bo'shliq parafin bilan to'ldirilgan. Ichki sferaning zaryadi $q_1 = -1$ nKl, tashqisidiki $q_2 = 2$ nKl. Sferalar markazidan: 1) $r_1 = 1$ sm; 2) $r_2 = 5$ sm; va 3) $r_3 = 9$ sm masofadagi elektr maydon potentsiali j topilsin.

11. Qalinligi $d = 2$ sm bo'lgan yassi oyna $\rho = 10$ mkKl/m³ hajmiy zichlik bilan bir tekis zaryadlangan. Oynaning sirtida yotgan nuqta va oynaning ichida uning o'rtasida yotgan nuqta orasidagi potentsiallar farqi $\Delta\phi$ topilsin. Oynaning o'lchamlari uning qalinligiga nisbatan juda katta deb hisoblansin.

12. $R = 10$ sm radiusli yaxlit parafin shar $\rho = 1$ mkKl/m³ hajmiy zichlik bilan bir tekis zaryadlangan. Shar markazidagi va sirtidagi elektr maydon potentsiali ϕ topilsin.

13. Bir jinsli elektr maydon kuchlanganligi $E = 120$ V/m. Shu nuqta bilan va shu kuch chizig'ining o'zida, birinchi nuqtadan $\Delta r = 1$ mm uzoqlikda yotuvchi boshqa bir nuqta orasidagi potentsiallar farqi U aniqlansin.

14. $q_1 = 10$ nKl, $q_2 = 20$ nKl nuqtaviy zaryadlar bir-biridan $r_1 = 10$ sm masofada turibdi. Agar ikkinchi zaryad birinchisidan itarilib undan: 1) $r_2 = 10$ sm; 2) $r_3 = \infty$ masofaga uzoqlashsa, bunda maydon kuchlari qanday A ishni bajaradi?

15. Ingichka tayoqcha yarim halqa shaklida qayrilgan. Tayoqcha $t = 133$ nKl/m chiziqli zichlik bilan zaryadlangan. $q = 6,7$ nKl zaryadni yarim halqaning markazidan cheksizlikka ko'chirish uchun qanday A ish bajarish kerak?

16. Elektron maydon kuchlanganligi $E = 200$ kV/m bo'lgan bir jinsli elektr maydonida turibdi. Agar uning boshlang'ich tezligi nolga teng bo'lsa, $t = 1$ ns vaqtda elektron qanday yo'lni o'tadi? Shu vaqt oralig'ining oxirida elektron qanday tezlikka ega bo'ladi?

17. Boshlang'ich tezligi $u = 100$ km/s bo'lgan proton bir jinsli elektr maydoniga ($E = 300$ V/sm) tezlik vektori kuchlanganlik chiziqlari yo'nalishi bilan mos keladigan bo'lib uchib kirdi. Protonning tezligi ikki marotaba ortishi uchun u maydon chiziqlari yo'nalishida qanday yo'lni o'tishi kerak?

18. Gorizontaal yo'nalishda $u = 1,6$ Mm/s tezlik bilan uchayotgan elektron tik yuqoriga yo'nalgan $E = 90$ V/m kuchlanganlikli bir jinsli elektr maydoniga kirdi. 1 ns dan keyin elektron tezligi u ning yo'nalishi va moduli qanday bo'ladi?

19. Kuchlanganligi $E = 1 \text{ kV/m}$ bo'lgan bir jinsli elektr maydonga kuch chizig'i yo'nalishi bo'ylab $u_0 = 1 \text{ Mm/s}$ tezlikka ega bo'lgan elektron uchib kiradi. Tezligi u_1 boshlang'ich tezligining yarmiga teng bo'ladigan nuqtagacha elektron o'tgan masofa l aniqlansin.

20. Qoplamalari orasidagi masofa $d = 2 \text{ sm}$ bo'lgan yassi kondensatorga qoplamalarning har biridan bir masofada bo'lgan va ularga parallel yo'nalgan $u = 10 \text{ Mm/s}$ tezlikli elektron uchib kirdi. Har bir qoplamaning uzunligi $l = 10 \text{ sm}$. Elektron kondensatordan uchib chiqib ketmasligi uchun qoplamalarga qanday eng kichik potentsiallar farqi U qo'yilishi kerak?

6.4. Dielektriklarning xossalari

1. Dipolning $q = \pm 3,2 \text{ nKl}$ zaryadlari orasidagi masofa $l = 12 \text{ sm}$. Har ikkala zaryaddan $r = 8 \text{ sm}$ uzoqlikda turgan nuqtada dipol hosil qilgan maydonning kuchlanganligi E va potentsiali j topilsin.

2. Elektr momenti $p = 4 \text{ pKl.m}$ bo'lgan dipolning elektr momenti vektori bilan $\alpha = 60^\circ$ burchak tashkil qiladigan yo'nalishda, dipol markazidan $r = 10 \text{ sm}$ masofada hosil qilgan maydonning kuchlanganligi E va potentsiali j aniqlansin.

3. Elektr momentlari $p_1 = 1 \text{ pKl.m}$ va $p_2 = 4 \text{ pKl.m}$ bo'lgan ikki dipol bir-biridan $r = 2 \text{ sm}$ masofada turibdi. Agar dipollarning o'qlari bir to'g'ri chiziqda yotgan bo'lsa, ularning o'zaro ta'sir kuchlari aniqlansin.

4. Elektr momenti $p = 20 \text{ mKl.m}$ bo'lgan dipol $E = 50 \text{ kV/m}$ kuchlanganlikli bir jinsli elektr maydonda turibdi. Elektr momentining vektori maydon chiziqlari bilan $\alpha = 60^\circ$ burchak tashkil qiladi. Dipolning potentsial energiyasi E_p qanday?

5. $p = 100 \text{ pKl.m}$ elektr momentli dipol kuchlanganligi $E = 150 \text{ kV/m}$ bo'lgan bir jinsli elektr maydonda erkin joylashgan. Dipolni $\alpha = 180^\circ$ burchakka burish uchun bajarilishi kerak bo'lgan A ishni aniqlang.

6. Yassi kondensator qoplamalari orasidagi masofa $d = 2$ mm, potensiallar farqi $U = 1,8$ kV. Dielektrik – shisha. Shishaning dielektrik qabul qiluvchanligi ϵ va shisha sirtidagi qutblangan (bog'langan) zaryadlarning sirt zichligi s aniqlansin.

7. Dielektrikdagi ($\epsilon = 3$) o'rtacha makroskopik maydon kuchlanganligi E ning qanday qiymatida P qutblanganlik 200 mkKl/m² ga teng qiymatga erishadi.

8. $R = 5$ sm radiusli metall shar $d = 2$ sm qalinlikdagi chinni qatlami bilan bir tekisda o'ralgan. Mos ravishda dielektrikning ichki va tashqi sirtlaridagi bog'langan zaryadlar zichliklari s_1 va s_2 lar aniqlansin. Sharining zaryadi $q = 10$ nKl.

6.5. Elektr sig'imi va kondensatorlar

1. Suvga botirilgan $R = 2$ sm radiusli metall sferaning elektr sig'imi C aniqlansin.

2. Yerni $R = 6400$ km radiusli shar deb hisoblab, uning sig'imi C aniqlansin.

3. Qoplamalari yuzasi $S = 100$ sm² bo'lsa, ular orasidagi masofa $0,1$ mm bo'lgan slyudali yassi kondensatorning elektr sig'imi C aniqlansin.

4. Agar qoplamalarining yuzasi $S = 100$ sm² bo'lsa, ikkita dielektrik qatlami qalinligi $d_1 = 2$ mm bo'lgan chinni va qalinligi $d_2 = 1,5$ mm bo'lgan ebonit yassi kondensatorning elektr sig'imi aniqlansin.

5. Qoplamalari yuzasi $S = 1$ m² bo'lgan yassi havo oraliqli kondensator qoplamalari orasidagi masofa $1,5$ mm. Kondensator 300 V gacha zaryadlansa, qoplamalardagi zaryad sirt zichligi s qanday bo'ladi?

6. Yassi kondensator qoplamalarida zaryad $s = 0,2$ mkKl/m² sirt zichligi bilan bir tekis taqsimlangan. Qoplamalar orasidagi masofa 1 mm ga teng.

Qoplamalar orasidagi masofa 3 mm gacha orttirilganda, qoplamalardagi potentsiallar farqi qanchaga o'zgaradi?

7. Yassi kondensatorga, uning qoplamalariga jipslashib turadigan qilib qalinligi $d=1$ sm bo'lgan parafin taxtacha kiritildi. Dastlabki sig'imni hosil qilish uchun qoplamalar orasidagi masofani qanchaga orttirish kerak?

8. Yassi kondensatorning elektr sig'imi 1,5 mkF ga teng. Qoplamalar orasidagi masofa $d=5$ mm. Agar pastdagi qoplamaga $d_1=3$ mm qalinlikli ebonit taxtachasi qo'yilsa, kondensatorning elektr sig'imi S qanday bo'ladi?

9. Radiuslari $R_1=2$ sm va $R_2=2,1$ sm bo'lgan ikkita konsentrik metall sfera sferik kondensatorni hosil qiladi. Agar sferalar orasidagi bo'shliq parafin bilan to'ldirilgan bo'lsa, kondensatorning sig'imi S aniqlansin.

10. $U=600$ V potentsiallar farqigacha zaryadlanib, kuchlanish manbaidan uzalgan havo kondensatoriga parallel ravishda shunday o'lchamli va shaklli, lekin dielektrikli (chinni) zaryadlanmagan ikkinchi kondensator ulandi. Agar ikkinchi kondensator ulangandan keyin potentsiallar farqi $U_1=100$ V gacha kamaygan bo'lsa, chinnining dielektrik singdiruvchanligi ϵ aniqlansin.

11. $C_1=3$ mkF va $C_2=6$ mkF sig'imli kondensatorlar o'zaro ulangan va $\mathcal{E}=120$ V eyuk li batereyaga biriktirilgan. Agar kondensatorlar: 1) parallel; 2) ketma-ket ulangan bo'lsa, kondensatorlardagi q_1 va q_2 zaryadlar va ularning qoplamalari orasidagi U_1 va U_2 potentsiallar farqi aniqlansin.

12. $C_1=0,6$ mkF elektr sig'imli kondensator $U_1=300$ V potentsiallar farqigacha zaryadlangan va $C_2=0,4$ mkF bo'lgan $U_2=150$ V potentsiallar farqigacha zaryadlangan ikkinchi kondensator bilan ulangan. Birinchi kondensator qoplamasidan ikkinchisig'igacha oqib o'tadigan Dq zaryad topilsin.

13. Uchta bir xil yassi kondensator ketma-ket ulangan. Bunday kondensatorlar bitereyasining elektr sig'imi $C=89$ pF. Har bir qoplamaning yuzasi $S=100$ sm². Dielektrik shisha bo'lsa, uning qalinligi d qanday bo'ladi?

14. C_1 va C_2 hamda C_3 va C_4 sig'imli kondensatorlar alohida bir-biriga parallel va alohida parallel ulangan kondensatorlar ketma-ket ulangan.

Kondensatorlarning sig'implari: $C_1 = 0,2 \text{ mkF}$, $C_2 = 0,1 \text{ mkF}$, $C_3 = 0,3 \text{ mkF}$ va $C_4 = 0,4 \text{ mkF}$. Kondensatorlar batereyasining umumiy sig'imi aniqlansin.

15. $C_1 = 0,2 \text{ mkF}$ elektr sig'imli kondensator $U_1 = 320 \text{ V}$ potentsiallar farqigacha zaryadlangan. Uni $U_2 = 450 \text{ V}$ potentsiallar farqigacha zaryadlangan ikkinchi kondensator bilan parallel ulanganlaridan keyin undagi kuchlanish 400 V gacha o'zgardi. Ikkinchi kondensatorning sig'imi C_2 topilsin.

16. Kondensator ikkita konsentrik sferadan tashkil topgan. Ichki sferaning radiusi $R_1 = 10 \text{ sm}$, tashqisidiki $R_2 = 10,2 \text{ sm}$. Sferalar orasidagi soha parafin bilan to'ldirilgan. Ichki sferaga $q = 5 \text{ mKl}$ zaryad berilgan. Sferalar orasidagi potentsiallar farqi U aniqlansin.

6.6. Elektr maydon energiyasi

1. Yassi kondensator qoplamalari orasidagi masofa $d = 2 \text{ sm}$ va potentsiallar farqi $U = 6 \text{ kV}$. Har bir qoplamaning zaryadi $q = 10 \text{ nKl}$ ga teng. Kondensator maydonining energiyasi W va qoplamalarning o'zaro tortishish kuch F topilsin.

2. Havo kodensatori qoplamalari orasidagi tortishish kuchi $F = 50 \text{ mN}$. Har bir qoplamaning yuzasi $S = 200 \text{ sm}^2$. Kondensator maydoni energiyasining zichligi w topilsin.

3. Elektr sig'implari $C_1 = 1 \text{ mkF}$, $C_2 = 2 \text{ mkF}$, $C_3 = 3 \text{ mkF}$ bo'lgan kondensatorlar $U = 1,1 \text{ kV}$ kuchlanishli zanjirga ulangan. Ular: 1) ketma-ket ulangan; 2) parallel ulangan hollar uchun har bir kondensatorning energiyasi aniqlansin.

4. Agar qoplamalar orasidagi potentsiallar farqi $U = 15 \text{ kV}$, qoplamalar orasidagi masofa $d = 1 \text{ mm}$, dielektrik – slyuda va har bir qoplamaning yuzasi $S = 300 \text{ sm}^2$ dan bo'lsa, yassi kondensator razryadlanishida qancha miqdordagi issiqlik Q ajraladi?

5. Agar diametri $d = 20$ sm bo'lsa, $q = 100$ nKl zaryad berilgan metall shar elektrosatitik maydonining energiyasi W topilsin.

6. $C = 10$ pF elektr sig'imli yakkalangan metall sfera $j = 3$ kV potensialgacha zaryadlangan. Bu sfera radiusi sferaning radiusidan uch marta katta bo'lgan, unga konsentrik sferik sirt bilan tashqi muhitdan ajratilgan. Sferik qatlamda mujassamlangan maydon energiyasi W topilsin.

7. Yassi kondensator $U = 1$ kV potentsiallar farqigacha zaryadlangan. Qoplamalar orasidagi masofa $d = 1$ sm. Dielektrik – shisha. Kondensator maydoni energiyasining hajmiy zaryad zichligi aniqlansin.

8. $R = 3$ sm radiusli metall sharda $q = 20$ nKl zaryad berilgan. Shar $d = 2$ sm qalinlikli parafin qatlami bilan o'ralgan. Dielektrik qatlamida mujassamlashgan elektr maydon energiyasi W topilsin.

9. Elektr sig'imi $C = 10$ pF bo'lgan kondensatorga $q = 1$ pKl zaryad berilgan. Kondensator maydonining energiyasi W topilsin.

10. $R = 3$ sm radiusli $j = 500$ V potensialgacha zaryadlangan yakkalangan sferaning energiyasi W topilsin.

7. LABORATORIYA ISHLARI

7.1. ELEKTROSTATIK MAYDONNI O`RGANISH

Nazariy ma'lumotlar

Har qanday harakatsiz zaryad o`z atrofidagi fazoda maydon hosil qiladi. Bu maydonga elektr maydoni deyiladi. Elektrostatik maydonni xarakterlaydigan asosiy kattaliklar maydon kuchlanganligi va maydon potensialidir.

Kuchlanganlik maydonning kuch xarakteristikasi bo`lib, maydonning biror nuqtasiga joylashtirilgan musbat birlik zaryadga ta'sir qilayotgan kuchga teng, ya'ni

$$\overset{\textcircled{R}}{E} = \frac{\overset{\textcircled{R}}{F}}{q_0} \quad (1)$$

bu erda, q_0 - sinov zaryadi.

Agar elektr maydonni bitta nuqtaviy zaryad hosil qilgan bo`lsa, maydon kuchlanganligi quyidagi ko`rinishda bo`ladi:

$$E = \frac{1}{4\pi e_0} \times \frac{q}{r^2} \quad (2)$$

bu yerda e_0 q $8,85 \cdot 10^{-12} \frac{N \times m^2}{Kl^2}$ - elektr doimiysi, ϵ - nisbiy dielektrik singdiruvchanlik,

r - zaryaddan maydon kuchlanganligiga qaralayotgan nuqttagacha bo`lgan masofa. Elektr maydonni grafik usulda kuch chiziqlari bilan tasvirlanadi. Elektr maydonning kuch chizig`i deb, shunday egri chiziqni tushunamizki, uning har bir nuqtasiga o`tkazilgan urinma shu nuqtadagi kuchlanganlik yo`nalishi bilan bir hil bo`ladi.

Potensial - maydoning energetik xarakteristikasi bo`lib, skalyar kattalikdir. Potensial musbat birlik zaryadni maydonning shu nuqtasidan cheksizlikka maydon tashqarisiga chiqarish uchun bajarilgan ishga teng bo`lgan fizik kattalikdir. Nuqtaviy zaryadning potentsiali quyidagiga teng:

$$j = \frac{q}{4\pi e_0 \epsilon r} \quad (3)$$

Maydon kuchlanganligi bilan potensial orasida quyidagicha bog`lanish bor:

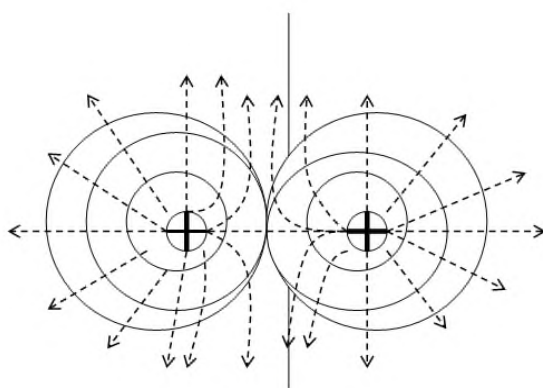
$$E = - \text{grad} j \quad (4)$$

Maydon kuchlanganligining o'lchov birligi:

$$[E] = \frac{éF}{éq} = \frac{éN}{éKl} = \frac{éV}{ém}$$

Potensial esa Voltlarda (V) o'lchanadi. Potensiallari teng bo'lgan nuqtalarning geometrik o'rniga ekvipotensial sirt deyiladi.

Elektr maydonlarning ekvipotensial sirtlaridan foydalanib grafik ravishda tasvirlash mumkin. Kuch chiziqlari doimo ekvipotensial sirtlarga perpendikulyar bo'ladi.

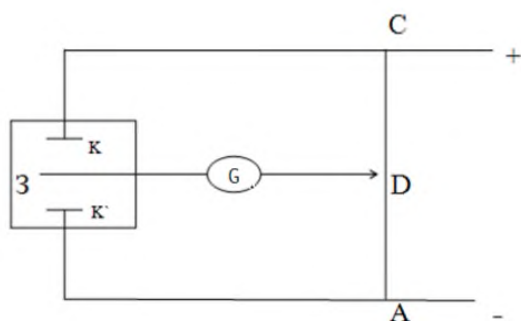


2-Rasm

Maydon kuchlanganligi qayerda katta bo'lsa, o'sha erda ekvipotensial chiziqlari zich joylashadi. Ekvipotensial sirtlar chizma tekisligi bilan kesishib, ekvipotensial chiziqlarni beradi.

Ishni bajarish tartibi

3-rasmdagi zanjirni yig'ib, tok manbaiga ulang. Osh tuzi eritmasi



aralashtirilgan suvli vanna, Z- zond, K va K¹ elektrodlar, G-galvonometr, SDA- reoxord. Z-zondni K va K₁ elektrodning o'rtasiga joylashtirib, D-reoxordning qo'zgaluvchi kontakti yordamida G- galvonometr strelkasini nol nuqtasiga keltiring.

Galvonometr strelkasi noldan og'magan holda zondni K va K₁ elektrodlar oralig'idagi ixtiyoriy nuqtaga joylashtirib, D qo'zgaluvchi kontakt yordamida galvonometr strelkasini nol holatiga keltiring. Yuqoridagi tajribani takrorlab, K va K₁ elektrodlar orasidagi ekvipotensial chiziqlarni chizing. Ekvipotensial chiziqlar va kuch chiziqlarini ortogonallik xususiyatidan foydalanib kuch chiziqlarini chizing.

Sinov savollari

1. Elektrostatik maydon kuchlanganligi va potensialiga ta'rif bering.
2. Nuqtaviy zaryad potentsiali, kuchlanganligi formulasini yozing va tushuntirib bering.
3. Potensial va kuchlanganlik orasidagi bog'lanishni yozing va tushuntiring.
4. Kuch va ekvipotensial chiziqlariga ta'rif bering va ularni o'zaro perpendekulyarligini isbotlang.
5. Potensial maydonga ta'rif bering.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. S.G.Kalashnikov, Elektr, Toshkent, O'qituvchi nashriyoti, 1979. 615 bet.
2. Sultanov N. Fizika kursi. Darslik, T: Fan va Texnologiya, 2007 .
3. Abduraxmonov K.P., Egamov O'. Fizika kursi. Darslik –Toshkent, 2010.
4. Трофимова Т.И. Курс физики. Учебник. -М.: «Академия», 2007.
5. Детлаф А.А., Яворский Б.М., Курс физики. Учебник -М.: “Академия”, 2007.
6. Qodirov O., Boydedayev A. Fizika kursi. Qism-3: Kvant fizikasi – T: O'zbekiston, 2005.
7. Ismoilov M., Xabibullaev P.K., Xaliulin M. Fizika kursi. Darslik, T: O'zbekiston, 2000.
8. Gaibov A.G., Ximmatqulov O. Fizika. O'quv qo'llanma-T. Nashr, 2018
9. Axmadjonov O. Fizika kursi. Darslik, 1-3 q.-T., “O'qituvchi”, 1999
10. Майсова В.В. Практикум по курсу общей физики. Учебник -М.: Наука, 1995
11. Chertov A., Vorob'ev A. Fizikadan masalalar to'plami. Darslik -T.: O'zbekiston, 1997.
12. Yusupov D.B., Komolo'jaev Sh.M., Gaibov A.G., Uzoqov A.A. Fizika fanidan laboratoriya ishlari uchun uslubiy ko'rsatma .- T: ToshDTU, 2015
13. O. Kamolxo'jaev SH.M., Gaibov A.G., Eshqulov A. «Elektr va magnetizm» qismidan laboratoriya ishlari to'plami.O'quv qo'llanma -T: ToshDTU, 2005
14. Химматкулов О., Эшкулов А.А., Вахобов К.И. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Физика» ,часть I - II. - T: ТГТУ, 2016.
15. Юсупов Д.Б., Узоков А.А. Методические указания к лабораторным работам по физике часть II, -T: ТГТУ, 2010.