

Elektr maydoni • elektr maydon kuchlanganligi • superpozitsiya prinsipi • elektr dipoli • maydonni grafik tasvirlash

Elektr zaryadlari bir-biriga bevosita tegmasdan ham kuch bilan ta'sir qiladi. Ushbu o'zaro ta'sirni tushuntirish uchun fizika fanida elektr maydoni tushunchasi kiritiladi. Elektr maydoni zaryadlangan jismlar atrofidagi fazoda mavjud bo'lib, shu fazoga kiritilgan boshqa zaryadga elektr kuchi bilan ta'sir ko'rsatadi. Mazkur mavzu elektrostatiikaning tayanch bo'limlaridan biri bo'lib, kondensatorlar, elektr toki, dielektriklar va elektromagnit hodisalarni o'rganish uchun nazariy asos yaratadi.

O'quv mashg'ulotining maqsadi

Mavzuni o'zlashtirgandan so'ng talaba elektr maydonining fizik mohiyatini izohlaydi; maydon kuchlanganligini hisoblaydi; bir nechta zaryad hosil qilgan maydonni superpozitsiya prinsipi asosida topadi; elektr dipolining tuzilishi va dipol momentini tushuntiradi; kuch chiziqlari orqali elektr maydonni grafik tahlil qiladi hamda masalalarda formulalarni to'g'ri qo'llaydi.



1-rasm. Musbat nuqtaviy zaryad atrofidagi elektr maydon yo'nalishi

Rasmda strelkalar musbat sinov zaryadiga ta'sir etuvchi kuch yo'nalishini ko'rsatadi. Musbat manba zaryad uchun kuch chiziqlari tashqariga, manfiy zaryad uchun esa zaryad tomonga yo'naladi.

1. Elektr maydoni tushunchasi

Elektr maydoni - elektr zaryadlari tomonidan hosil qilinadigan va boshqa zaryadlarga kuch ta'siri ko'rsatadigan materiyaning alohida shaklidir. Maydonning mavjudligini bevosita ko'rib bo'lmaydi, biroq uning zaryadga ko'rsatadigan ta'siri orqali aniqlash mumkin. Elektrostatik holatda manba zaryadlar tinch turadi va hosil bo'lgan maydon vaqt bo'yicha o'zgarmaydi.

Maydonni tekshirish uchun juda kichik musbat q_0 sinov zaryadi tasavvur qilinadi. Agar fazoning ma'lum nuqtasiga qo'yilgan q_0 zaryadga F kuch ta'sir qilsa, bu nuqtada elektr maydon mavjud. Sinov zaryadi juda kichik olinadi, chunki u tekshirilayotgan zaryadlar taqsimotini sezilarli o'zgartirmasligi kerak.

Kulon qonuni va maydon

Nuqtaviy q manba zaryad r masofada joylashgan q_0 sinov zaryadiga Kulon kuchi bilan ta'sir qiladi. Vakuumda kuch moduli quyidagicha:

$$F = k \cdot |q q_0| / r^2, \quad k = 1/(4\pi\epsilon_0) \approx 8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$

Bu ifodadan ko'rinadiki, zaryadlar orasidagi masofa ikki marta oshsa, o'zaro ta'sir kuchi to'rt marta kamayadi. Kuch yo'nalishi ikki zaryadni tutashtiruvchi to'g'ri chiziq bo'ylab yotadi: bir xil ishorali zaryadlar itarishadi, qarama-qarshi ishorali zaryadlar tortishadi.

1-misol

$q = +2 \mu\text{C}$ zaryaddan $r = 0.30 \text{ m}$ masofada $q_0 = +1 \mu\text{C}$ sinov zaryadi joylashtirilgan bo'lsin. Ta'sir kuchini hisoblaymiz:

$$F = 8.99 \times 10^9 \cdot (2 \times 10^{-6})(1 \times 10^{-6}) / (0.30)^2 \approx 0.200 \text{ N}$$

Ikkala zaryad ham musbat bo'lgani uchun sinov zaryadi manba zaryaddan uzoqlashish yo'nalishida itariladi. Shu misol maydon tushunchasining kuch orqali namoyon bo'lishini ko'rsatadi.

2. Elektr maydon kuchlanganligi

Elektr maydonning asosiy kuch xarakteristikasi elektr maydon kuchlanganligi E vektoridir. U maydonning berilgan nuqtasiga qo'yilgan birlik musbat sinov zaryadiga to'g'ri keladigan kuch bilan aniqlanadi:

$$\vec{E} = \vec{F} / q_0$$

SI tizimida elektr maydon kuchlanganligining birligi N/C (nyuton/kulon). Elektr potentsiali mavzusi bilan bog'langanda V/m birligi ham qo'llanadi va $1 \text{ N/C} = 1 \text{ V/m}$.

Nuqtaviy q zaryad hosil qilgan maydon kuchlanganligi Kulon qonunidan kelib chiqadi:

$$E = k \cdot |q| / r^2$$

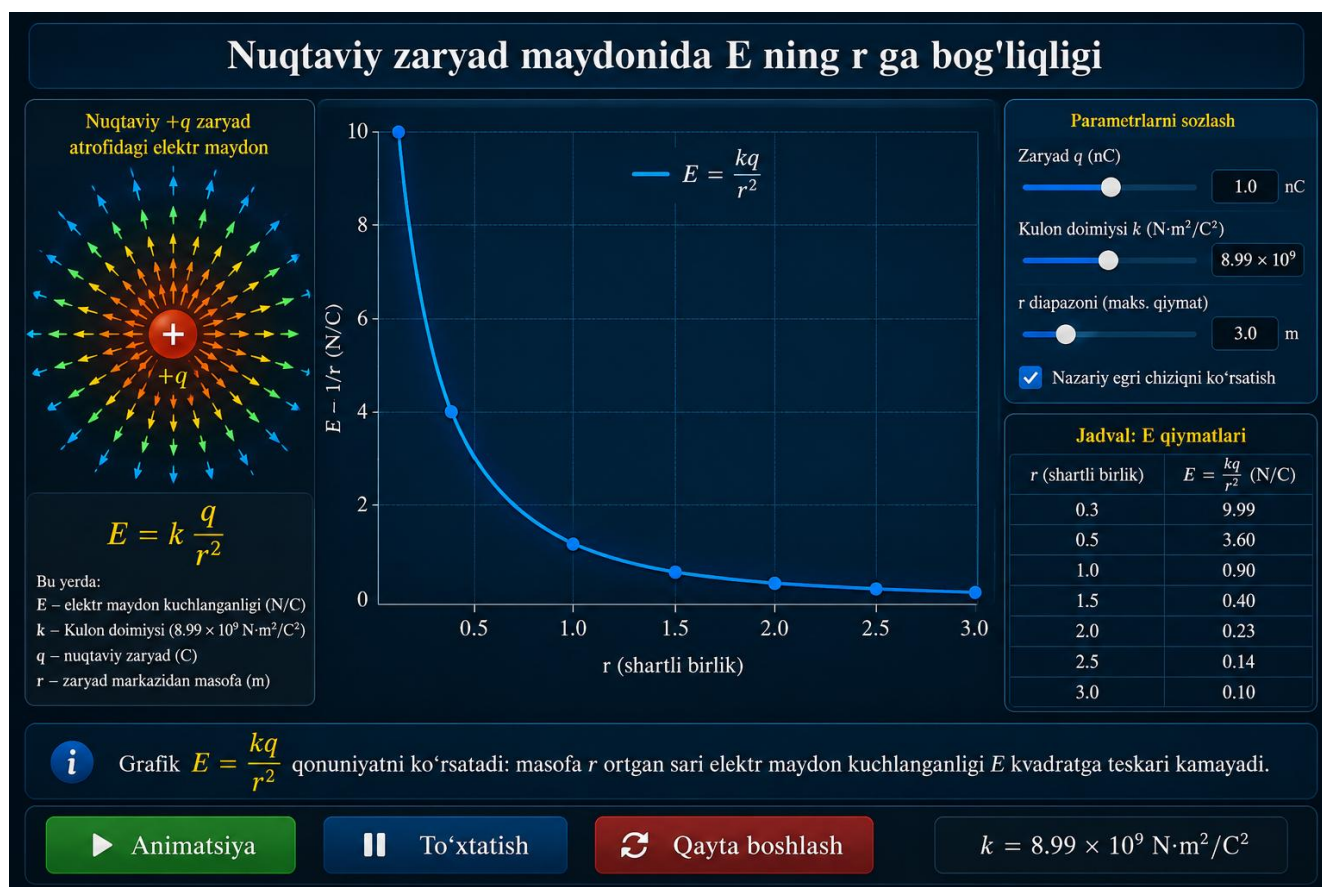
E ning yo'nalishi musbat manba zaryad uchun radial tashqariga, manfiy manba zaryad uchun radial ichkariga yo'naladi. Muhim jihat: E sinov zaryadining qiymatiga bog'liq emas; u faqat maydon manbalari va fazodagi nuqtaning holati bilan belgilanadi.

2-misol

$q = +5 \text{ nC}$ nuqtaviy zaryaddan $r = 0.20 \text{ m}$ masofadagi maydon kuchlanganligini topamiz:

$$E = 8.99 \times 10^9 \cdot 5 \times 10^{-9} / (0.20)^2 \approx 1.12 \times 10^3 \text{ N/C}$$

Agar shu nuqtaga $q_0 = -2 \text{ nC}$ zaryad qo'yilsa, unga ta'sir etuvchi kuchning moduli $F = |q_0|E \approx 2.25 \times 10^{-6} \text{ N}$ bo'ladi. Manfiy sinov zaryadiga ta'sir qiluvchi kuch E vektoriga qarama-qarshi yo'naladi.



2-rasm. $E \propto 1/r^2$ bog'lanishining grafik ko'rinishi

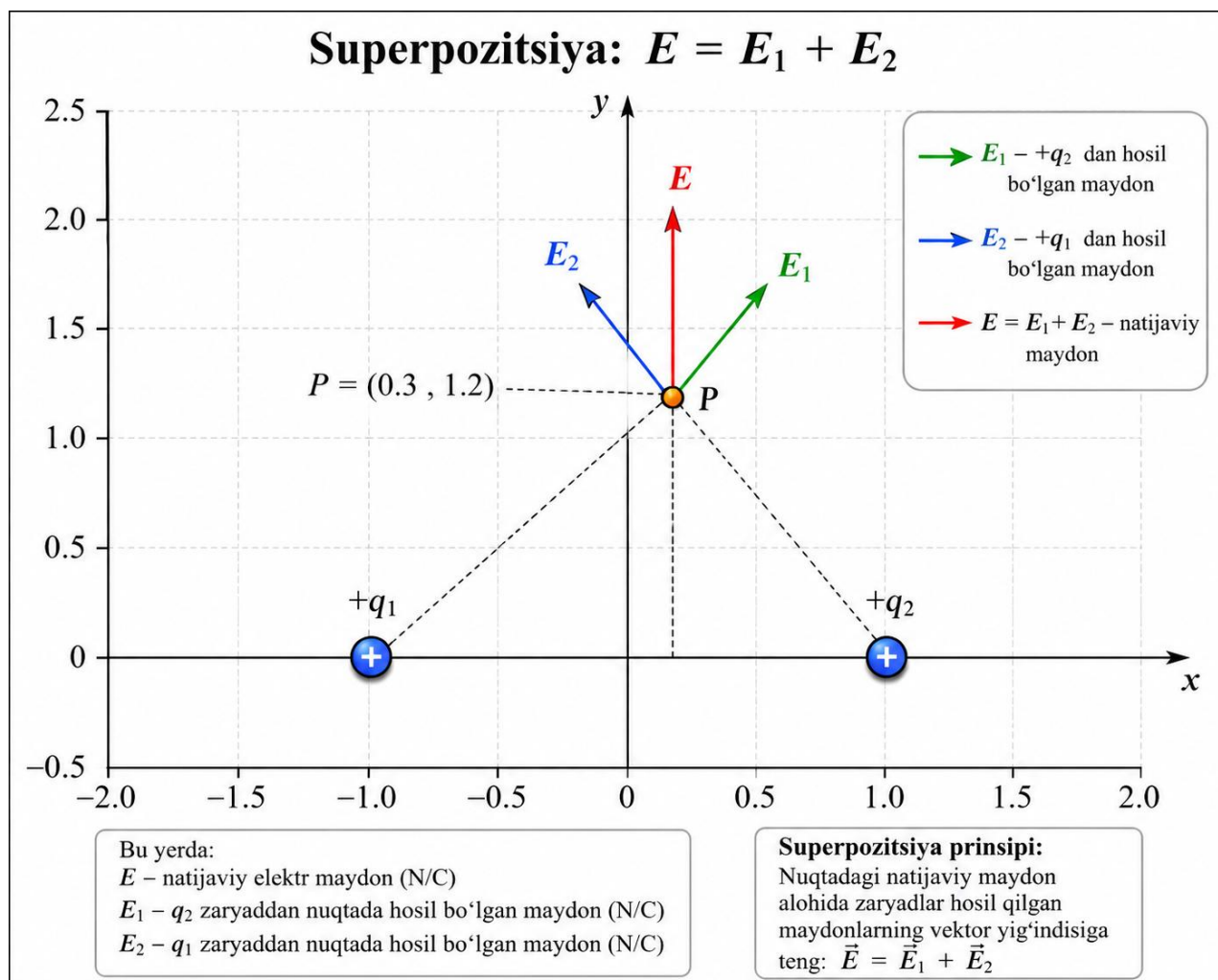
3. Superpozitsiya prinsipi

Fazoning bir nuqtasida bir nechta zaryad elektr maydon hosil qilsa, natijaviy maydon har bir zaryad alohida hosil qilgan maydonlarning vektor yig'indisiga teng. Bu qoida elektr maydonlarining superpozitsiya prinsipi deyiladi.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n = \Sigma \vec{E}_i$$

Superpozitsiyada maydonlarning faqat modullarini qo'shib yuborish har doim ham to'g'ri emas. E vektor kattalik bo'lgani sababli x va y o'qlari bo'yicha proyeksiyalar hisoblanib, keyin natijaviy vektor topiladi:

$$E_x = \Sigma E_{ix}, \quad E_y = \Sigma E_{iy}, \quad E = \sqrt{(E_x^2 + E_y^2)}$$



3-rasm. Ikki zaryad maydonining P nuqtadagi vektor superpozitsiyasi

3-misol

Bir to'g'ri chiziqda $q_1 = +4 \text{ nC}$ va $q_2 = +4 \text{ nC}$ zaryadlar 0.40 m masofada joylashgan. Ularning aynan o'rtasidagi nuqtada har bir zaryad hosil qilgan maydon moduli bir xil, yo'nalishlari esa qarama-qarshi. Shuning uchun $E_1 = E_2$ va natijaviy $E = 0$. Bu nuqtada maydon nol bo'lsa-da, atrofda maydon mavjud.

Agar q_2 manfiy bo'lsa, o'rta nuqtada E_1 ham, E_2 ham musbat zaryaddan manfiy zaryad tomon yo'naladi. Natijada ularning modullari qo'shiladi. Demak, zaryad ishorasi superpozitsiya natijasining yo'nalishiga bevosita ta'sir qiladi.

4. Elektr dipoli

Elektr dipoli - modullari teng, ishoralari qarama-qarshi bo'lgan $+q$ va $-q$ zaryadlardan tashkil topgan, ular orasidagi masofa kichik bo'lgan sistema. Dipol molekulyar fizika, dielektriklar qutblanishi, kimyoviy bog'lanishlar va elektromagnit nurlanish nazariyasida muhim model hisoblanadi.

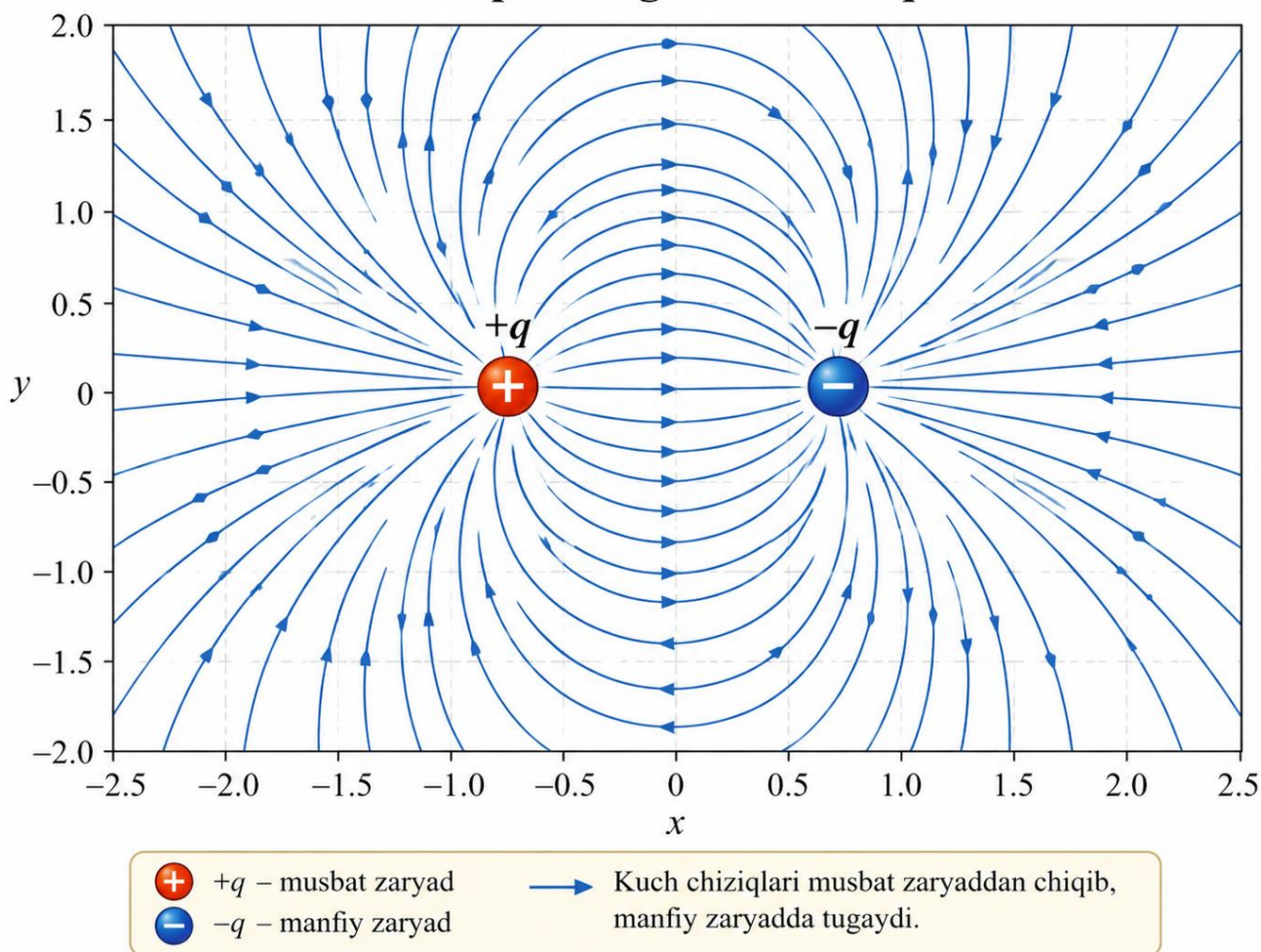
$$\vec{p} = q \cdot \vec{r}$$

Bu yerda $\vec{p}$ - elektr dipol momenti, $\vec{r}$ esa manfiy zaryaddan musbat zaryadga yo'nalgan vektor. Dipol momentining SI birligi C·m. Dipol tashqi bir jinsli elektr maydoniga joylashtirilganda unga aylantiruvchi moment ta'sir qiladi:

$$\mathbf{M} = \mathbf{pE} \sin\theta$$

θ - dipol momenti bilan tashqi maydon orasidagi burchak. Moment dipolni maydon yo'nalishi bo'ylab burishga intiladi. Dipolning potensial energiyasi $U = -pE \cos\theta$ bo'lib, $\theta = 0$ holatda eng kichik qiymatga ega.

Elektr dipolining kuch chiziqlari



4-rasm. Elektr dipolining kuch chiziqlari

4-misol

$q = 3 \text{ nC}$ va zaryadlar orasidagi masofa $l = 4 \text{ mm}$ bo'lsin. Dipol momenti $p = ql = 3 \times 10^{-9} \cdot 4 \times 10^{-3} = 1.2 \times 10^{-11} \text{ C} \cdot \text{m}$. Agar $E = 2 \times 10^4 \text{ N/C}$ maydonda $\theta = 30^\circ$ bo'lsa, aylantiruvchi moment $M = pE \sin 30^\circ = 1.2 \times 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{m}$.

5. Elektr maydonni grafik ravishda tasvirlash

Elektr maydonni ko'rgazmali ifodalash uchun kuch chiziqlaridan foydalaniladi. Kuch chizig'ining har bir nuqtasiga o'tkazilgan urinma shu nuqtadagi E vektorining

yo'nalishini ko'rsatadi. Chiziqlar zich joylashgan sohada maydon kuchliroq, siyrak joylashgan sohada esa kuchsizroq bo'ladi.

Holat	Kuch chiziqlari	Fizik talqin
Musbat nuqtaviy zaryad	Zaryaddan tashqariga chiqadi	E radial tashqariga yo'nalgan
Manfiy nuqtaviy zaryad	Zaryad tomon kiradi	E radial ichkariga yo'nalgan
Dipol	+q dan chiqib -q ga kiradi	Maydon notekis, yo'nalish fazoda o'zgaradi
Bir jinsli maydon	Parallel va teng oraliqli	E moduli va yo'nalishi deyarli o'zgarmaydi

Kuch chiziqlari hech qachon kesishmaydi. Agar ular kesishsa, kesishish nuqtasida E vektorining ikkita yo'nalishi paydo bo'lar edi, bu esa vektorning yagona yo'nalishga ega bo'lishiga zid. Elektrostatik maydonda kuch chiziqlari musbat zaryadlarda boshlanib, manfiy zaryadlarda tugaydi yoki cheksizlikka davom etadi.

Bir jinsli elektr maydon

Katta o'lchamli, qarama-qarshi zaryadlangan parallel plastinalar orasining markaziy qismida maydonni taxminan bir jinsli deb olish mumkin. Bunday maydonda E vektor deyarli barcha nuqtalarda bir xil bo'ladi. Shu sababli kuch chiziqlari parallel, to'g'ri va teng oraliqli tasvirlanadi.

$$\vec{F} = q \vec{E}$$

Masalan, $E = 5000 \text{ N/C}$ bir jinsli maydonda $q = +2 \mu\text{C}$ zaryadga $F = 0.010 \text{ N}$ kuch maydon yo'nalishida ta'sir qiladi.

6. Elektr maydonini hisoblash algoritmi

Masalani yechishda avvalo maydonni hosil qilayotgan zaryadlar va hisoblash nuqtasi aniqlanadi. So'ng har bir zaryaddan nuqttagacha bo'lgan masofa topiladi, zaryad ishorasiga qarab E vektorining yo'nalishi belgilanadi va superpozitsiya qo'llanadi. Simmetriya mavjud bo'lsa, hisoblash ancha soddalashadi.

1-bosqich	Zaryadlar q_i va geometrik joylashuvni chizing.
2-bosqich	Hisoblash nuqtasidan har bir zaryadgacha r_i masofani toping.
3-bosqich	$E_i = k q_i /r_i^2$ orqali alohida maydonlarni hisoblang.
4-bosqich	Har bir $\vec{E}_i$ vektorining yo'nalishini belgilang.

5-bosqich	Proyeksiyalarni qo'shing: $E_x = \sum E_{ix}$, $E_y = \sum E_{iy}$.
6-bosqich	$E = \sqrt{(E_x^2 + E_y^2)}$ va yo'nalishni aniqlang.

5-misol: o'q bo'ylab ikki zaryad

$q_1 = +2 \text{ nC}$ $x = 0$ nuqtada, $q_2 = -8 \text{ nC}$ $x = 0.30 \text{ m}$ nuqtada joylashgan. P nuqta $x = 0.10 \text{ m}$ da. q_1 dan P gacha $r_1 = 0.10 \text{ m}$; q_2 dan P gacha $r_2 = 0.20 \text{ m}$. E_1 musbat q_1 dan o'ngga yo'naladi. P nuqta manfiy q_2 ning chapida bo'lgani uchun E_2 ham q_2 tomon, ya'ni o'ngga yo'naladi.

$$E_1 = 8.99 \times 10^9 \cdot 2 \times 10^{-9} / (0.10)^2 \approx 1798 \text{ N/C}$$

$$E_2 = 8.99 \times 10^9 \cdot 8 \times 10^{-9} / (0.20)^2 \approx 1798 \text{ N/C}$$

$$E = E_1 + E_2 \approx 3596 \text{ N/C, o'ng tomonga}$$

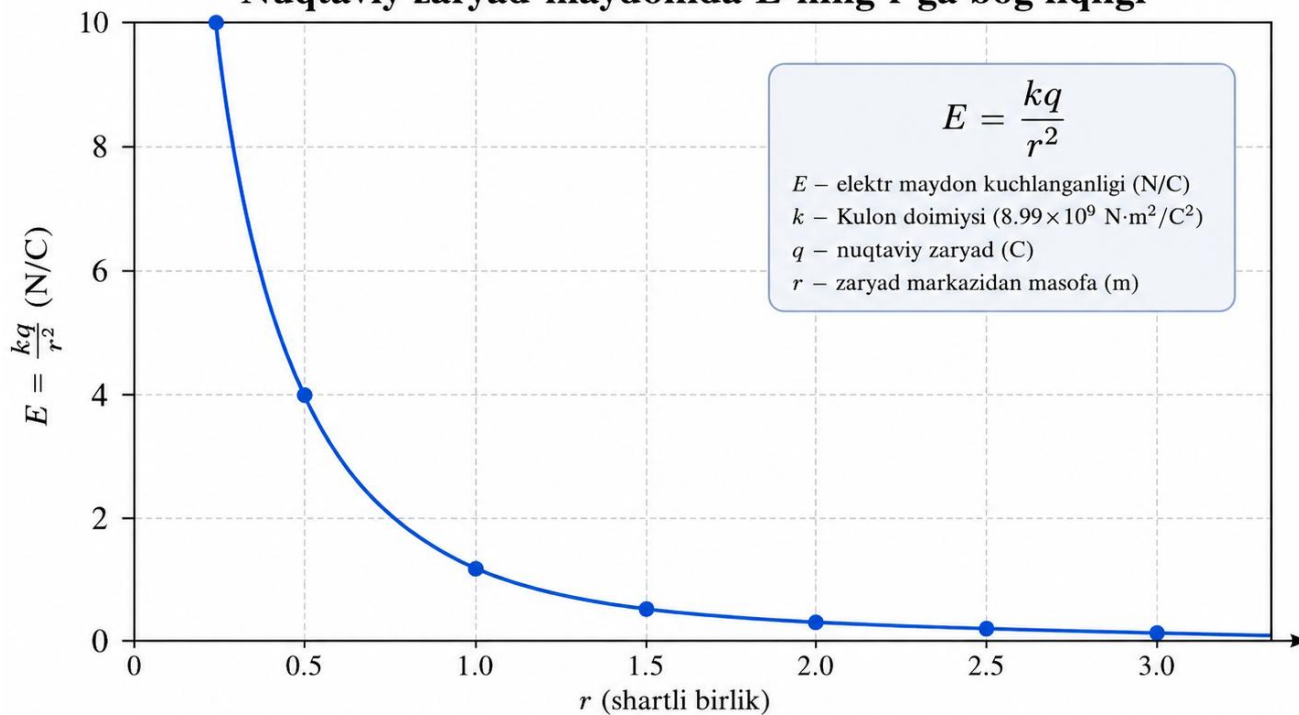
Bu misolda zaryadlarning modullari va masofalari turlicha bo'lsa ham, q/r^2 nisbatlari teng bo'lgani uchun alohida maydonlar teng chiqdi.

7. Grafik va fizik tahlil

Nuqtaviy zaryad maydoni $E = k|q|/r^2$ qonuniga bo'ysunadi. Grafikdan r ortishi bilan E juda tez kamayishini ko'rish mumkin. Masofa 2 marta oshsa E 4 marta, 3 marta oshsa 9 marta kamayadi. Bu teskari kvadrat qonunining xarakterli belgisi.

r/r_0	E/E_0	Izoh
1	1	Boshlang'ich qiymat
2	1/4	4 marta kichik
3	1/9	9 marta kichik
4	1/16	16 marta kichik

Nuqtaviy zaryad maydonida E ning r ga bog'liqligi



Namuna qiymatlar							
r (shartli birlik)	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
$E = kq/r^2$ (N/C)	9.99	3.60	0.90	0.40	0.23	0.14	0.10



Grafikdan ko'rinib turibdiki, masofa r ortgan sari elektr maydon kuchlanganligi E kvadratga teskari kamayadi:

$$E \propto \frac{1}{r^2}$$

5-rasm. Teskari kvadrat qonunining grafik tahlili

6-misol: grafikdan foydalanish

Agar $r = r_0$ masofada $E_0 = 900 \text{ N/C}$ bo'lsa, $r = 3r_0$ da $E = E_0/9 = 100 \text{ N/C}$ bo'ladi. Bunday nisbatli masalalarda k va q ni alohida bilish shart emas; $E \propto 1/r^2$ proporsionallikning o'zi yetarli.

Grafik fizik jarayonni tez tushunishga yordam beradi: zaryad yaqinida maydon kuchli, uzoqlashgan sari esa zaiflashadi. Shu sababli kuch chiziqlari ham odatda zaryad yaqinida zichroq tasvirlanadi.

8. Asosiy formulalar va kattaliklar

Kattalik	Belgi	Asosiy formula	SI birligi
Elektr zaryad	q	-	C
Kulon kuchi	F	$F=k q_1q_2 /r^2$	N
Maydon kuchlanganligi	E	$E=F/q_0$	N/C
Nuqtaviy zaryad maydoni	E	$E=k q /r^2$	N/C
Natijaviy maydon	$\vec{E}$	$\vec{E}=\Sigma\vec{E}_i$	N/C
Dipol momenti	$\vec{p}$	$\vec{p}=q \vec{l}$	C·m
Dipolga ta'sir momenti	M	$M=pE \sin\theta$	N·m
Dipol energiyasi	U	$U=-pE \cos\theta$	J

Muhim eslatmalar

1) E vektor kattalik, shuning uchun yo'nalish hisobga olinadi. 2) Musbat sinov zaryadiga ta'sir qiluvchi kuch E bilan bir yo'nalishda, manfiy zaryadga esa qarama-qarshi yo'nalishda. 3) Superpozitsiyada har bir manba zaryadning maydoni alohida hisoblanadi. 4) Dipol momenti $-q$ dan $+q$ tomon yo'naladi. 5) Kuch chiziqlarining zichligi maydon kuchlanganligining nisbiy kattaligini ifodalaydi.

Nazorat uchun qisqa savollar

- Elektr maydoni qanday fizik ma'noga ega?
- Nima sababdan sinov zaryadi juda kichik deb olinadi?
- $E = F/q_0$ formuladagi E q_0 ga bog'liqmi?
- Superpozitsiya prinsipida nima uchun vektor yig'indi olinadi?
- Elektr dipol momentining yo'nalishi qanday aniqlanadi?
- Nima sababdan elektr maydon kuch chiziqlari kesishmaydi?

9. Mustahkamlash uchun masalalar va xulosa

Masalalar

1. $q = +6 \text{ nC}$ zaryaddan 0.15 m masofadagi elektr maydon kuchlanganligini toping.
2. $E = 2.5 \times 10^4 \text{ N/C}$ maydonda $q = -4 \text{ }\mu\text{C}$ zaryadga ta'sir qiluvchi kuchning moduli va yo'nalishini aniqlang.
3. Ikki bir xil $+q$ zaryad orasidagi o'rta nuqtada E nima uchun nolga teng? Chizma bilan tushuntiring.
4. $+q$ va $-q$ zaryadlar orasidagi o'rta nuqtada natijaviy E qaysi tomonga yo'naladi?
5. $q = 5 \text{ nC}$, $l = 2 \text{ mm}$ bo'lgan dipolning p momentini hisoblang.
6. $p = 4 \times 10^{-12} \text{ C}\cdot\text{m}$ dipol $E = 3 \times 10^5 \text{ N/C}$ maydonda 90° burchak ostida turibdi. Aylantiruvchi momentni toping.

Javoblar uchun yo'nalish

1-masala uchun $E=kq/r^2$; 2-masala uchun $F=|q|E$ va manfiy zaryad sababli kuch E ga qarama-qarshi; 3-masalada simmetriya va qarama-qarshi yo'nalgan teng E vektorlari; 4-masalada maydon $+q$ dan $-q$ tomon; 5-masala uchun $p=ql$; 6-masala uchun $M=pE \sin 90^\circ$ formulalaridan foydalaniladi.

Xulosa

Elektr maydoni zaryadlar o'rtasidagi o'zaro ta'sirni fazo orqali uzatadigan fizik maydondir. Uning asosiy kuch xarakteristikasi E elektr maydon kuchlanganligi bo'lib, birlik musbat sinov zaryadiga ta'sir etuvchi kuchni ifodalaydi. Nuqtaviy zaryad uchun maydon masofaning kvadratiga teskari proporsional kamayadi. Bir nechta zaryad mavjud bo'lganda superpozitsiya prinsipi qo'llanib, natijaviy maydon vektor yig'indi orqali aniqlanadi. Qarama-qarshi ishorali teng zaryadlar elektr dipolini hosil qiladi va dipol momenti uning asosiy xarakteristikasidir. Kuch chiziqlari esa maydonning yo'nalishi hamda nisbiy kuchini grafik ravishda ko'rsatib, fizik jarayonni ko'rgazmali tushunishga yordam beradi.

Tavsiya etiladigan adabiyotlar

1. Halliday D., Resnick R., Walker J. Fundamentals of Physics. Wiley.
2. Serway R. A., Jewett J. W. Physics for Scientists and Engineers. Cengage.
3. Young H. D., Freedman R. A. University Physics with Modern Physics. Pearson.
4. Umumiy fizika kursining elektr va magnetizm bo'limiga oid oliy ta'lim darsliklari.