

Ўзбекистон республикаси олий ва махсус таълим вазирлиги

Гулистон давлат университети

**Умумий физика курсининг «Электр ва магнетизм»
булимидан укув-услубий мажмуа**

Гулистон-2005

5440100 Физика бакалавриат таълим йуналиши тахсил олаётган талабалар мулжалланган укув – услубий мажмуа. Гулистон Давлат Университети Укув – методик Кенгаши томонидан (16 – декабр 2004 йил 03 – сонли баённома асосида) нашрга тавсия этилган.

Тузувчилар: «Умумий физика» кафедраси доценти Р.У. Элмуродов
«Умумий физика» кафедраси уқитувчиси К.Жумаев

Такризчилар: «Умумий физика» кафедраси доценти У.Б. Жураев
«Умумий физика» кафедраси доценти Г.Т. Рахмонов

С

 ГулДУ

Модуль -1

Мавзу: Электр ва магнетизм фани. Электр ва магнетизмга оид умумий маълумотлар. Электр заряди. Заряд микдорининг сакланиш қонуни. Электр зарядларининг узаро таъсири.

Кулон қонуни.

Ажратилган вақт – 2 соат.

Асосий саволлар:

1. Физиканинг «Электр ва магнетизм» бўлимининг қисқача ривожланиш тарихи.
2. Жисмларнинг зарядланиши ва зарядлар мавжудлигининг исботи.
3. Электр зарядларининг сакланиш қонуни.
4. Электр зарядларининг узаро таъсири.
5. Нуктавий заряд ҳаида тушунча. Кулон қонуни.

Мавзуга оид таянч тушунча ва иборалар:

Кахрабо, электрланган, электрон, электр суюқлиги, электр зарядлари, мусбат заряд, манфий заряд утгазгичлари, диэлектриклар ва ярим утгазгичлар ҳаида тушунча, электроскоп ва электрометр тушунчаси, нуктавий заряд, буралма тарози, узаро таъсир.

Асосий саволларга оид муоммолар:

- Мусбат ва манфий зарядларни ҳосил бўлишини билиш;
- Электр таъсир қучини механикадаги таъсир қучидан фарқини билиш;

Асосий саволлар бўйича дарснинг максади:

1. Электрланиш ва электр заряди ҳаида тушинча бериш;
2. Электр зарядини сакланиши уларнинг нуктавийлигини тушунтириш;
3. Электр зарядларининг узаро таъсири ва Кулон қонуни тушунтириш;

Идентив укув максадлари:

- 1.1 Зарядлар ҳосил бўлишини тушунтириб бера олади.
- 1.2 Мусбат ва манфий зарядларни фарқини ажрата билади.
- 1.3 Нуктавий зарядни тушунтириб беради.
- 1.4 Зарядларнинг узаро таъсирини изоҳлай олади.
- 1.5 Кулон қонунини таърифлай олади.

Асосий саволлар баёни:

Кириш

Жун матога ишқаланган кахрабонинг баъзи бир енгил буюмларни тортиш қобилиятига эга бўлиб қилишини туқувчи аеллар сезганликларини бизнинг эрамиздан аввалги VII асрда яшаган грек философи Фалес Милетский ёзиб қолдирган эди. Ундан икки минг йилдан ортиқ вақт утгач, 1600 йили инглиз врачл Жильберт ипакка ишқаланган шиша ва бир қатор бошқа моддалар ҳам шундай ҳоссага эга бўлиб қилишини топиб, бу қашфиётни янада қенгайтирди. Бундай ҳолатга қелтирилган жисмларни электрланган, еки айнан «кахраболанган» жисмлар деб атала бошлади, қунки грекча «электрон» сузи *кахрабо* демақдир.

Деярли икки юз йил давомида - XVIII аср охиригача жисмларнинг электрланишини урганиш секин ва, асосан, табиатнинг бошка ходисаларини урганишдан ажратилган ҳолда олиб борилди. Асосан жисмларни ишқаланиш йули билан электрланган ҳолатга келтириш ва бу ҳолатдаги жисмларнинг узаро таъсир кучларини урганиш билан чекланиб қолинди. Электр ҳақидаги таълимотнинг бу булимии кейинчалик *электростатика* деб аталди.

1779 йили Гальвани токнинг физиологик таъсирини кашф қилди. У янги суйилган бакани бел нервидан мис илмокка илиб, балкониинг темир панжарасига осиб қуйилганда, баканиинг мускуллари ҳар сафар панжарага текканда қискаришини сизди. Гарчи уша вақтда, электрланган жисмларнинг мускуллар орқали разрядланиши туфайли мускулларнинг қисқарганлиги маълум бўлса-да, узок вақтгача электр ходисаларнинг бирлиги қайд қилинмади ва «гальваник электр» ишқаланиш билан ҳосил қилинадиган электрдан фарқ қилиб қелинди. Фақат XIX аср бошидагина электр ходисаларнинг гоят турли-туманлигини курсатувчи қатор йирик кашфиётлар қилинди: электр токининг вужудга қелиш шароитлари урганилди, токнинг иссиқлик ва магнит таъсири топилди, диэлектрикларнинг роли аниқланди ва ҳоказо. XIX асрнинг иккинчи ярмида электр ҳақидаги таълимот янада тез ривожланди. Фарадей ва Максвеллнинг ишлари натижада электромагнит ходисаларнинг бирлиги аниқланди, электромагнит тулкинлар кашф қилинди ва ёруғлиқнинг электромагнит назарияси яратилди.

Электр ҳақидаги таълимот таракқиётининг принципиал аҳамияти нихоятда каттадир: бир томондан, бу таълимот электр ходисаларини механика нуқтаи назаридан қараш мумин эмаслигини равшан қилиб қуйган бўлса, иккинчи томондан, электр ходисалар барча бошка физик процесслар билан узаро чуқур боғланганлигини курсатиб беради. Нихоят, электр ходисалардан амалда фойдаланиш ҳам мҳим аҳамиятга эга бўлади.

Электр ҳақидаги таълимотнинг ривожланишида рус олимлари қата роль уйнайдилар. XVIII аср урталарида М.В. Ломоносов Г.В. Рихман билан биргаликда чакмок ходисаларини урганди ва ҳавонинг электрланиши кутарилувчи оқимларнинг узаро ишқаланиши натижасида юзага келади, деган ҳулосага қелди. Ломоносов 1753 йили электр эфир зарраларининг тез айланма ҳаракатидан иборатдир, деган ўз қамонаси ўчун илгор бўлган фикрни айтди. Шу 1753 йилнинг ўзида Петербург Фанлар академияси «Электр қучининг табиати ҳақида» деган темада жаҳон конкурси эълон қилди. 1755 йили бу конкурс муқофоти Л. Эйлернинг электрланган жисмларнинг узаро таъсир қучини эфирдаги тарангланлишлар орқали тушунтирувчи иши ўчун берилди. Петербург академиги Эпинус ўз вақтида қенг қанилган ягона «электр суюқлиги» назариясини яратди ва биринчи марта электр ва магнит ходисаларининг математик назариясини ишлаб қикди. 1803 йили академик В.В. Петров электр ёйни кашф қилди ва ундан амалда фойдаланиш йулини курсатиб берди. У суюқликлардан ток ўтганда уларнинг электролитик парчаланишни биринчилар қаторида урганди. XIX асрнинг ўттизинчи ва қирқинчи йилларида Петербург фанлар академиясининг ҳақиқий аъзоси ва Петербург университетининг профессори

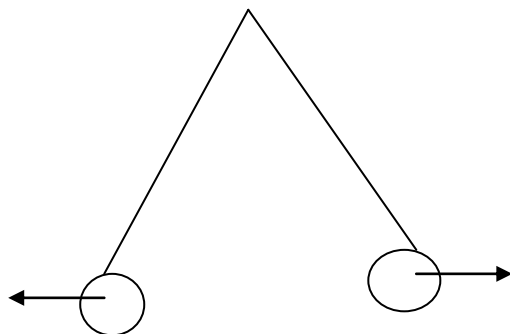
Э.Х. Ленц индукцияланган токнинг йуналишини ва токнинг иссиқлик таъсирини аниқловчи энг муҳим қонунлари кашф қилди. 1985 йили А.С. Попов радиотелеграфни кашф қилди, бундан бир неча йил кейин эса П.Н. Лебедев миллиметрли электромагнит тулкиларни ҳосил қилди. Асримизнинг бошларида эса Москва университетининг профессори А.А. Эйхенвальд ҳаракатланаётган зарядлар ток қаби магнит майдон ҳосил қилишини экспериментал исботлаб берди.

Электротехниканинг ривожланишида рус кашфиётчилари катта роль уйнайдилар. Б.С. Якоби биринчи бўлиб электромотор ясади ва ундан кема ва вагони ҳаракатга келтириш учун фойдаланди; Якоби яна электролиздан амалий фойдаланишни (гальванопластикани) кашф қилди. П.Н. Яблочков амалда ёритиш учун ярқли булган биринчи электр ёни, А.Н. Лодигин эса чугланма электр лампочкани яратди. П.Н. Яблочков ва И.Ф. Усагин биринчи марта электр трансформаторни, М.О.Доливо–Доборовольский уч фазали токни истеъмолга киритдилар. Н.Г. Славянов ва Н.Н. Бенардос электр пайвандини кашф қилдилар.

Электр зарядлар.

Электр ҳақидаги таълимот тараккиетининг тарихий йулига мувофиқ биз уни урганишни электрланиш ҳолатининг характеристикаси ва электрланган жисмларнинг узаро таъсир қонунларини баён қилишдан бошлаймиз. Электр ҳақидаги таълимотнинг бу бўлими электростатика деб аталишини айтиб ўтган эдик. XVIII асрнинг бошларидаёқ ўтқазилган тажрибалар электрланишнинг факат ва факат икки жинсли бўлишини қўрсатди: сифат жиҳатдан терига ишқаланган шишанинг электрланишига мос келувчи электрланиш (мусбат электрланиш) ҳамда сифат жиҳатдан шишага ишқаланган терининг электрланишига мос келувчи электрланиш (манфий электрланиш). Бир хил электрланган (масалан, мусбат электрланган) жисмлар бир-биридан итарилади; турли ишорали электрланган жисмлар бир-бирига текканда электрланиш бир жисмдан икинчи жисмга ўзатилиши мумкин.

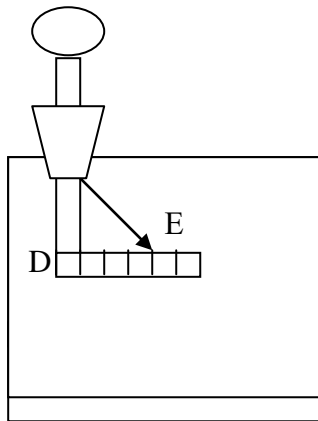
Электрланган ҳолатдаги жисмда шу жисмнинг электрланганлик меъерини билдирувчи заряд бўлади. Заряд тушунчасини таърифи қуйида берилади. Табиатда электрланган ҳолатини эркин ўзата оладиган жисмлар–ўтқазгичлар электрланган ҳолатни ўзатмайдиган жисмлар–изолятор бўлади.



1- расм

Куйидаги жуда муҳим ходиса жисмларнинг электрланиш процессини тушинишга ердан беради: агар, масалан, мусбат электрланган жисмни манфий электрлай бошласак, унинг электрланган ҳолати дастлаб камаяди, сунг батамом йуқолади ва шундан кейингина жисм манфий электрлана бошлайди. Бундан маълум бўладики, *турли ишорали зарядлар бир-бирини компенсациялар экан.*

Бу факт зарядланмаган жисмларда ҳам ҳамма вақт зарядлар бўлади. Лекин улардаги зарядлар қарама-қарши ишорали ва шунча миқдорда бўладики, бу зарядларнинг таъсирлари бир-бирини батамом компенсациялаб туради, деган гипотезага олиб келди. Ортиқча мусбат зарядларга эга бўлган жисм мусбат зарядланган, ортиқча манфий зарядларга эга бўлган жисм манфий зарядлангандир.



2- расм

Жисмларнинг ишқалаш билан электрланганда иккала жисм электрланади, бунда ҳар доим уларнинг бири мусбат, иккинчиси манфий электрланади. Бундан биз зарядлар *вужудга келмайди ҳам ва йуқолмайди ҳам, улар фақат бир жисмдан иккинчи жисмга узатилиши ёки берилган жисм ичида қучиши (харакатланиши) мумкин* деган ҳулосага келамиз. *Электр зарядларининг сакланиш қонуни* номи билан маълум бўлган бу ҳодиса электр таълимоти соҳасида асосий қоида бўлиб, қўй далоиллар билан исботланади. Бу далоиллардан бири Эпинус қашф этган таъсир орқали, одатда айтилишича, индукция ёули билан электрлашдир.

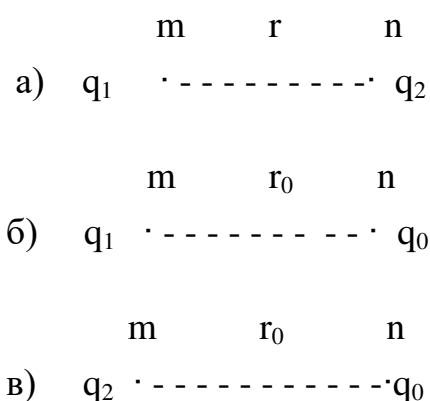
Зарядланган жисмларнинг узаро таъсири жисмларнинг шаклига ва улчамларига боғлиқ бўлганидан узоро таъсир қонунини аниқлашда нуктавий зарядлар деб аталувчи зарядлар текширилади. Нуктавий зарядлар деб шундай зарядланган жисмларни айтиладики бу жисмларнинг улчовлари улар орасидаги масофага нисбатан кичик бўлади. Равшанки ҳар қандай зарядланган жисмни нуктавий зарядларини туплами деб қараш мумкин.

Иккита нуктавий заряднинг узоро таъсир қонунини 1785 йили Кулон тажрибада аниқлади. Шу билан бирга Кулон қонуни заряднинг қатталиги ҳақида таърифни ҳам уз ичига олган. Кулон узининг барча улчашларини ҳавода утқазган бўлса-да қатъий қилиб айтганда, Кулон қонунининг бу

праграфда куриладиган ифодаси бушликка, яъни сезиларли микдорда атом, молекула ёки бошка зарралар булмаган заррага тааллуқлидир.

Нуктавий зарядларнинг узоро таъсир конунини Кулон буралма тарози ёрдамида утказилган улчашлрга асосланиб аниқлади. Бу тарози шундай тузилган: катта шиша идиш ичида ингичка симга шиша шайин осиб куйилган Шайиннинг бир учида m металл шарча, иккинчи учида посанги бор. Иккинчи n металл шарча шиша таёкчага кузгалмас килиб урнатилган хар иккала шарчага ташкаридан электр зарядлари бериш мумкин. Шарчалар бир бирларидан ва атрофдаги жисмлардан изоляция килинганликлари туфайли улар зарядларни бирмунча вақт узларида тутиб тура оладилар. m ва n шарчали шайин осиб куйилган ип бириктирилган тарози каллагини бураб узгартириш мумкин. m ва n шарчаларга зарядлар берилганда улар (зарядларнинг ишорасига караб) е тортилади, ёки итарилади, натижада m шайин бирор бурчакка бурилади. Тарози каллагини бураб m шарчани дастлабки вазиятига келтириш мумкин: бунда ип (сим) нинг буралиш моменти m шарчага таъсир килувчи электр куч моментига тенг булади. Агар ип аввал даражаланган булса, каллакнинг бурилиш бурчагига кура куч моменти бевосита аниқлаш, шайин узунлигини билган холда эса шарчалар орасидаги узоро таъсир кучини ҳам аниқлаш мумкин.

Кулон конуни куйидаги мулохазаларга асосланиб чиқарилади. Аввало тажрибалар зарядлар орасидаги узоро таъсир кучлари зарядларни туташтирувчи тугри чизик буйлаб йуналганлигини курсатади. Зарядлар бир хил ишорали булганда бу кучлар айтилгандек, итаришиш кучларидир. Зарядлар турли ишорали булганда бу тортиш кучлари булади. Бирор дойимий зарядлар берилган m ва n шарчалар (3-а расм) орасидаги r масофани узлаштириш билан узоро таъсир кучлари r масофанинг квадратиға тескари пропорционал узгаришга тажрибада ишонч хосил килиш мумкин.



3-расм

q_1 ва q_2 иккита заряд катталикларини таккослаш учун бу зарядларнинг бирор муаян q_0 учунчи заряд билан узоро таъсир кучлари f_1 ва f_2 ни улчаш керак, бунда q_1 ва q_2 зарядларни навбат билан q_0 заряддан бирдай масофада жойлаштирилади. (3-б ва 3-в расмлар). Бунинг учун n шарча зарядини

дойимий ва q_0 га тенг килиб саклаган холда, m шарчага кетма-кет q_1 ва q_2 зарядлар берамиз.

Тажрибанинг курсатишича, кучларнинг f_1/f_2 учунчи q_0 заряднинг катталигига ҳам, q_1 ва q_2 зарядларнинг шу учунчи заряддан жойлашиш масофаси r_0 га ҳам боғлиқ эмас. Демак, кучлар f_1/f_2 нисбатининг киймати фақат q_1 ва q_2 зарядларнинг узи билангина аникланади. Бундан зарядлар нисбати q_1/q_2 ни кучлар нисбати f_1/f_2 га тенг деб олиш табиийдир. Шундай килиб, биз иккита заряднинг q_1/q_2 нисбатини улчаш услини топдик. Зарядларнинг абсолют кийматларини ҳосил килиш учун даставвал зарядларнинг улчов бирликларини белгилаш керак. Бу иш билан бир оз кейинроқ шугулланамиз. Зарядларнинг таккослаш усулини билган холда биз энди $q_1, q_2, q_3, \dots$ зарядларнинг бир-биридан бир хил r масофада жуфт-жуфт килиб жойлаштира оламиз. Бунда тажриба зарядлар жуфти орасида узаро таъсир кучи заряд катталикларининг купайтмаси $(q_i \cdot q_k)$ га пропорционал эканлигини курсатади. Шундай килиб, Кулон конуни тула равишда қуйидагича таърифланади: иккита нуктавий заряд орасидаги f узаро таъсир кучи q_1 ва q_2 зарядлар катталикларининг купайтмасига тугри пропорционал ҳамда улар орасидаги r масофа квадратига тескари пропорционал:

$$f = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1)$$

бунда k -пропорционаллик коэффициент.

Агар мусбат зарядларни плюс ишора (+), манфийларини минус ишора (-) билан белгиласак, у холда кучнинг манфий кийматлари тортишиш кучларига мос келади, мусбат кийматлари итариш кучларига мос келади.

Муҳокама учун саволлар:

- 1.1. Электростатика, мусбат ва манфий зарядлар, уларнинг узаро таъсири, зарядларнинг сакланиш конуни қандай тушунтирилади?
- 1.2. Нуктавий заряд тушунчаси, Кулон конуни ва заряд бирликларини изоҳи қандай бўлади?

Мавзу бўйича ечимини қутаётган илмий муоммолар:

1. Электр зарядининг жисмларда таксимланишини нейтралланишини тушинтириш муаммолари.
2. Электр зарядининг муҳитлардаги узаро таъсирини ва таъсирнинг узатилишини тушинтириш муаммолари.
3. Каттик жисмлар зарядланганда уларда зарядлар таксимотини узгаришини тушинтириш муаммолари.

1- Амалий машғулот: Зарядларнинг узаро таъсири. Кулон конунларига оид масалалар ечиш

Дарсинг максади:

Электростатика бўлимидан зарядларнинг узаро таъсири-Кулон конун ҳақидаги билимларни мустаҳкамлаш.

Идентив уқув максадлари:

1.1 Зарядлар тугрисида тавсиф бера олади.

1.2 Электр зарядларининг узаро таъсирини бошка таъсирлардан фаркини билади.

1.3 Кулон конунини айтиб бера олади.

1.4 Кулон конунини формуласини ва улчов бирликлари катталикларини масалаларга тадбик эта олади.

Масалалар ечиш тартиби:

1-масала.

Массаси $m=10\text{г}$ булган иккита бир хил шарнинг хар бири вакуумда ($\varepsilon=1$) радиусларидан анча ката масофада жойлашган. Бир хил зарядланган узаро таъсир кучи шарларнинг узаро тортишиш кучини мувозанатга келтириши учун хар бир шарда канчадан q заряд булиши керак?

Берилган: $m=10\text{г}=10^{-2}\text{кг}$, $\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$, $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$, $\varepsilon = 1$.

Топиш керак: $q=?$

Ечилиши: Шарларнинг мувозанат шarti Кулоннинг узаро таъсир кучи ва бутун олам тортишиш кучининг узаро тенглигидан иборат яъни:

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q^2}{\varepsilon r^2} = \gamma \frac{m^2}{r^2}$$

Бундан изланаётган q заряд микдори куйидагига тенг булади:

$$q = \sqrt{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon n^2 \gamma} = m \sqrt{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon \gamma}$$

Сон кийматлари урнига куйиб хисоблаймиз:

$$q = m \sqrt{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon \gamma} = 10^{-2} \text{кг} \sqrt{4\pi \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2} \cdot 1 \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}} = 8,6 \cdot 10^{-3} \text{ Кл}$$

Жавоби: $q = 8,6 \cdot 10^{-3} \text{ Кл}$

2-масала: Массаси $m = 3 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ заряди $q_1 = 2 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$ булган шарча хаво ($\varepsilon = 1$) да ток утказмайдиган ингичка ипга осилган. Агар шарчадан пастга $r=0,1\text{м}$ масофада иккинчи $q_2 = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$ заряд жойлаштирилган булса ипнинг T таранглик кучи топилсин.

Берилган: $m = 3 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$, $q_1 = 2 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$, $q_2 = -1,5 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$,

$$r = 0,1\text{м}, \varepsilon = 1, \varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}, g = 9,8\text{м/с}^2.$$

Топиш керак: $T=?$

Ечилиши: Ипнинг таранглик кучи иккита кучнинг-жисмнинг огирлик кучи $\vec{P}$ ва зарядларнинг тортишиш кучи $\vec{F}$ нингйигиндисига, яъни $\vec{T} = \vec{P} + \vec{F}$ га тенг.

Бунда $\vec{P} = \overrightarrow{mg}$ ва Кулон конунига биноан $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1|q_2|}{\varepsilon r^2}$ булгани учун ипнинг

таранглик кучи

$$T = mg + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1|q_2|}{\varepsilon r^2}$$

Сон кийматлари урнига қуйиб ҳисобланса қуйидаги келиб чиқади

$$T = mg + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1|q_2|}{\epsilon r^2} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} + \frac{1}{4\pi \frac{1}{4\pi 9 \cdot 10^9} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}} \cdot \frac{3 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}^2}{1 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2} =$$

$$= 29,4 \cdot 10^{-3} \text{ Н} + 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ Н} = 32,1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} = 32,1 \text{ мН}$$

$$32,1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} = 32,1 \text{ мН}$$

жавоби: $T=32,1 \text{ мН}$.

3-масала. Хар бирининг оғирлиги $P=2 \cdot 10^{-2} \text{ Н}$ булган иккита шар хаво ($\epsilon=1$) да узунлиги $l=2\text{м}$ дан булган ингичка ипак ипга осиб қуйилган. Шарлар бирдай $q=5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$, бир хил ишорали зарядлар билан зарядланганда, бу шарлар итаришиб, бир-биридан қандай r масофада узоклашади?

Берилган: $P=2 \cdot 10^{-2} \text{ Н}$, $q=5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$, $l=2\text{м}$; $\epsilon=1$,

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi 9 \cdot 10^9} \cdot \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$$

Топиш керак: $r=?$

Ечилиши. Шарлар мувозанатда булганда хар бир шарга таъсир этувчи кучларнинг йигиндиси нолга тенг булиши керак. Шунинг учун (9.2-расм) P оғирлик кучининг $F = Ptg\alpha$ ташкил этувчиси зарядларнинг узаро таъсир

кучи-Кулон кучи $F_k = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \frac{q^2}{\epsilon r}$ билан мувозанатлашади

Яъни: $Ptg\alpha = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{\epsilon r}$

бунда α жуда кичик бурчак булгани

учун $\triangle OAB$ дан $tg\alpha \approx \sin \alpha = \frac{OB}{AB} = \frac{r/2}{l} = \frac{r}{2l}$

буни (1) га қуйилса $P \frac{r}{2l} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{\epsilon r}$. Бун-

да изланаётган r масофа қуйидагига тенг булади:

$$r = \sqrt[3]{\frac{2lq^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon P}}$$

Сон кийматларини урнига қуйиб ҳисоблаймиз:

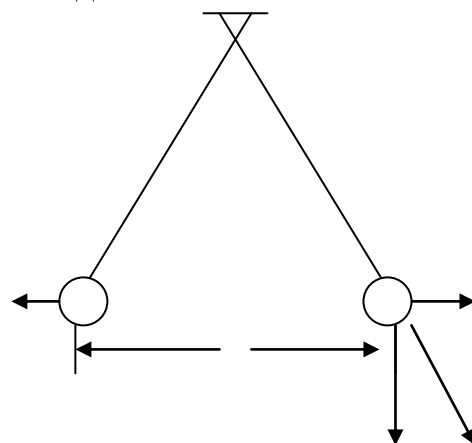
$$r = \sqrt[3]{\frac{2lq^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon P}} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 2\text{м} \cdot 25 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}^2}{4\pi \frac{1}{4\pi 9 \cdot 10^9} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2} \cdot 1 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ Н}}} = \sqrt[3]{4,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 0,165 \text{ м}$$

жавоби: $r=0,165\text{м}$

Керакли адабиётлар:

1. В.С. Волькенштейн «Умумий физика курсидан масалалар туплами» Тошкент 1969 й.

2. М.С Цедрик «Умумий физика курсидан масалалар туплами» Тошкент 1991 йил



Амалий машгулотлар буйича мустакил иш топшириклари:

- [1]. адабиёт буйича 9-булимдан 2,6,8
- [2]. адабиёт буйича 17-булимдан 3,9,12 масалаларни ечинг.

2-Мавзу: Электр майдони. Электр майдон кучланганлиги, Суперпозиция принципи, Электр диполи, Электростатик майдон индукция вектор ива унинг окими.

Ажратилган вақт – 2 соат.

Асосий саволлар:

- 2.1.1. Электр майдони. Электр майдон кучланганлиги.
- 2.1.2. Суперпозиция принципи. Электр диполи.
- 2.1.3. Электростатик майдон индукция вектор ива унинг окими.

Мавзуга оид танч суз ва иборалар:

Электр майдон, Электростатик майдон, Синов заряди, Кучланганлик, Суперпозиция, Дипол, Индукция, Индукиця окими.

Асосий саволга оид муаммолар:

- Электр майдонни пайдо булишини ва йуколиши сабабларини билиш;
- Электр майдонини асосий хусусиятларини изохлай олади;
- Электр майдони кучланганлиги ва уларнинг кушилишини тушунтира билиш;
- Электр индукция вектор ива окимини фаркини ажрата билиш;

Асосий саволлар буйича дарснинг максади:

- 2.1. Майдонлар тугрисида тушунча бериш;
- 2.2. Электр майдонини бошка майдонлардан фаркини тушунтириш;
- 2.3. Электр майдонининг асосий характеристикаларини тушунтириш;
- 2.4. Электр майдон кучланганлигини тушунтириш;
- 2.5. Суперпозиция принципи ва Электр диполини тушунтириш;
- 2.6. Электр майдон индукция вектор ива унинг окимини тушунтириш;

Идентив укув максадлари:

- 2.1. Электр майдонини бошка майдонлардан фаркини тушунтириб бера олади.
- 2.2. Электростатик майдоннинг асосий хусусиятларини айтиб бера олади.
- 2.3. Электр майдон кучланганлигини тушунтириб бера олади.
- 2.4. Суперпозиция принципини изохлай олади.
- 2.5. Электр диполни тушунтира олади.
- 2.6. Электр майдон индукция векторини айтиб бера олади.

Асосий саволнинг баёни:

Зарядларнинг узаро таъсир конуни электростатиканинг асосий конунидир. Зарядларнинг узаро таъсири дастлаб бутун олам тортишиш конуни билан расмий ухшашлик асосида тушунтирилди. Бунда электр кучлар ҳам, бутун олам тортишиш кучлари ҳам оралик фазонинг ҳеч қандай иштирокисиз «Узокдан таъсирлашиш» дан иборат деб олинди. Ҳақиқатда эса зарядлар атроф фазода (тортишувчи массалар каби) қандайдир физик узгаришлар юзага келтиради, бу узгаришларни аввало текширилаётган

зарядлардан бирор масофа жойлаштирилган хар кандай бошка зарядга кучлар таъсир килишидан билиш мумкин. Бу узгаришларнинг табиатини куриб чиқишга хозирча киришмасдан туриб, биз тинч турган зарядларни ураб олган фазода *электрстатик майдон* вужудга келади деймиз.

Масалан, иккита заряд узаро куйидагича таъсирлашади: Зарядларнинг хар бири уз атрофидаги фазода майдон хосил килади ва бу майдон иккинчи зарядга маълум куч билан таъсир килади.

Электрстатик майдон материянинг махсус туридир: у оркали бир электрланган жисмнинг таъсири бошка жисмларга узатилади. Майдоннинг хоссалари майдоннинг зарядларга таъсир этувчи кучлари буйсинадиган конуниятлар асосида урганилади.

Хар бир заряд атроф фазода электрстатик майдон хосил килишини юкорида курсатиб утган эдик. Майдон хусусиятларини урганиш учун бу майдонга *нуктавий зарядларни* жойлаштириш ва уларга таъсир этувчи кучларни кузатиш керак. Бунда *майдонга киритилган зарядлар шу кадар кичикки, улар майдонни хосил килган зарядларнинг катталигини хам, жойлашишини хам узгартирмайди,* деб олинади. Кулон конунидан майдоннинг бирор нуктасига жойлаштирилган q мусбат зарядга шу заряд катталигига пропорционал f куч таъсир этиши келиб чиқади. Бу кучнинг катталиги ва йуналиши майдонни хосил килган зарядларнинг катталиги ва жойлашиши билан белгиланади. Кулон конунидан яна шу нарса келиб чиқадики, зарядга таъсир этувчи f кучнинг заряд катталиги q га нисбатан заряднинг катталиги q боглик булмай, майдоннинг берилган нуктасини характерлайди. Шундай килиб майдоннинг барча нукталари учун топилган f/q нисбатан майдоннинг муайян объектив хусусиятларининг физик характеристикасини билдиради. Бу *нисбатан электрстатик майдон кучланганлиги* деб аталувчи физик катталикни ифодалайди E билан белгиланади:

$$E = \frac{f}{q} \quad (1)$$

Агар бу формулада $q=+1$ деб олсак, у холда E катталик ва йуналиш жихатдан f куч билан бир хил булади. Шундай килиб, *бирор нуктадаги электрстатик майдон кучланганлиги сон жихатдан шу нуктага жойлаштирилган мусбат заряд бирлигига таъсир этувчи кучга тенг ваи у куч билан бир хил йуналган физик катталикдир.* Бу таърифдан кучланганлик вектор катталик эканлигикелиб чиқади.

Кучланганлик бирлиги учун шундай нуктанинг кучланганлиги олинадики, бу нуктада бирлик зарядга бирлик куч таъсир этади. Демак, CGSE системада кучланганлик бирлиги килиб бир электрстатик бирлик зарядга биргина куч таъсирн этадиган нуктадаги кучланганлик олинади. Кучланганликнинг бу системадаги улчамлигини (1) формуладан аниклаймиз.

$$[E] = \frac{[f]}{[q]} = \frac{MLT^{-2}}{M^{\frac{1}{2}}L^{\frac{3}{2}}T^{-2}} = M^{\frac{1}{2}}L^{-\frac{1}{2}}T^{-1} \quad (2)$$

Мисол тарикасида баъзи бир муҳим хусусий ҳоллар учун электростатик майдон кучланганлигини ҳисоблаймиз.

1. Нуктавий заряд майдонининг кучланганлиги. Нуктавий q заряд олиб, бу заряддан r масофада ётган ихтиёрий A нуктада майдон кучланганлигини топамиз.

Кулон қонунига мувофиқ, q заряддан r масофага жойлашган q_0 мусбат зарядга

$$f = \frac{q \cdot q_0}{r^2}$$

куч таъсир қилади. Бундан A нуктадаги кучланганлик:

$$E = \frac{f}{q_0} = \frac{q}{r^2} \quad (3)$$

(3) ифода кучланганликнинг A нуктадаги катталигини ифодалайди. Кучланганликнинг йуналиши f кучнинг йуналиши билан бир хил бўлади. Демак E , вектор q зарядни A нукта билан туташтирувчи чизик билан таништирувчи чизик бўйлаб q мусбат бўлганда q заряддан ташқарига томон ва q манфий бўлганда q зарядга томон йуналган бўлади. E кучланганлик вектор қуринишда қуйидагича ёзилади:

$$E = \frac{q}{r^2} \cdot \frac{r}{r} \quad (3a)$$

а) $+q \cdot \quad A \longrightarrow E$

б) $-q \cdot \quad E \longleftarrow A$

1- расм

бунда r - нуктавий заряд q - жойлашган жойдан майдон кучланганлиги E - ҳисобланаётган жойга утказилган радиус-вектор.

Агар кучланганликни $q_1, q_2, \dots, q_n$ бир нечта нуктавий заряд вужудга келтираётган бўлса, бирор нуктадаги натижавий кучланганлик алоҳида зарядлар вужудга келтираётган кучланганликларнинг геометрик йигиндисини билан ифодаланади. Бу ҳол берилган нуктага жойлаштирилган q_0 зарядга таъсир этувчи f куч ҳар бир алоҳида заряд томонидан ҳосил килинган $f_1, f_2, \dots, f_n$ кучларнинг геометрик йигиндисига тенг, яъни

$$f = f_1 + f_2 + \dots + f_n$$

эканлигидан келиб чиқади. Бу тенгликдан f кучнинг q_0 зарядга нисбати билан улчанадиган кучланганлик

$$E = \frac{f}{q_0} = \frac{f_1}{q_0} + \frac{f_2}{q_0} + \dots + \frac{f_n}{q_0}$$

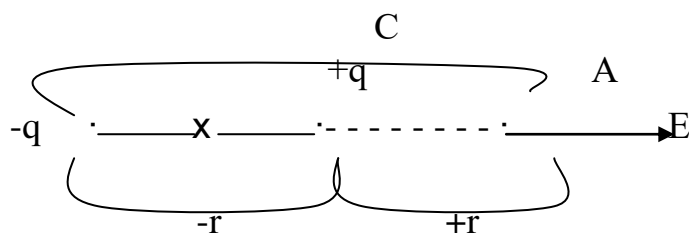
ифодага тенг эканлиги келиб чиқади.

Унг томонда турган ҳадлар $q_1, q_2, \dots, q_n$ зарядлар вужудга келтирган $E_1, E_2, \dots, E_n$ кучланганликлардир. Демак,

$$E = E_1 + E_2 + \dots + E_n \quad (4)$$

2. Д и п о л ь м а й д о н и н и н г к у ч л а н г а н л и г и . Диполь деб карама-карши ишорали иккита тенг зарядлар мажмуига айтилади. Бу зарядлар орасидаги l масофа улардан майдон кучланганлиги аникланаётган нукталаргача булган масофаларга нисбатан кичик булади. Диполь укидаги электростатик майдон кучланганлигини аниклаймиз, бунинг учун укада ихтиёрий А нуктани оламиз (2-расм). А нуктанинг $+q$ ва $-q$ зарядлардан узоклигини мос равишда r_+ ва r_- билан белгилаймиз, А нуктадан дипольнинг урта нуктасигача булган масофани r билан белгилаймиз, у холда:

$$r_+ = r - \frac{l}{2}; r_- = r + \frac{l}{2}.$$



2- расм

Е кучланганлик хар бир заряднинг алохида вужудга келтирган E_+ ва E_- кучланганликлари геометрик йигиндисига тенг. Биз текшираётган холда E_+ ва E_- кучланганликлар диполь уки буйлаб йуналган булгани учун геометрик йигиндиси алгебраик йигиндисига келтирилади:

$$E = \frac{q}{r_+^2} - \frac{q}{r_-^2}$$

ёки

$$E = \frac{q(r_-^2 - r_+^2)}{r_+^2 \cdot r_-^2} = \frac{q(r_- + r_+)(r_- - r_+)}{r_+^2 \cdot r_-^2}.$$

Яна куйидагиларга эга буламиз:

$$r_- - r_+ = l; r_+ + r_- = 2r;$$

шартга кура $r \gg l$ булганидан такрибан

$$r_+^2 \cdot r_-^2 \cong r^4$$

деб олиш мумкин, энди E нинг ифодасини куйидаги курунишда ёзиш мумикн:

$$E = \frac{2ql}{r^3};$$

q заряднинг зарядлар орасидаги масофага купайтмаси

$$p = ql$$

диполь моменти дейилади. Охирги формулани диполь моменти p оркали ёзиб, нихоят куйидаги ифодани хосил киламиз:

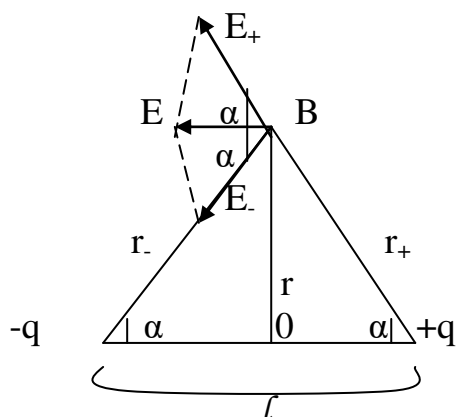
$$E = \frac{2p}{r^3}. \quad (5)$$

А нуктадаги майдон кучланганлиги E диполь укидан унга йуналган.

Диполь укига диполнинг уртасидан чикарилган ОВ перпендикулярда ётувчи В нуктадаги кучланганлик $+q$ ва $-q$ зарядлар вужудга келтирган кучланганликларнинг геометрик йигиндисидан иборатдир. В нуктадан хар

икала зарядгача булган r_+ ва r_- масофалар тенг булганлигидан, кучланганликлар сон жихатдан тенг, яъни

$$E_+ = E_- = \frac{q}{r_+^2},$$



3- расм

булади, E_+ ва E_- кучланганлик векторларининг йуналишлари 3- расмда курсатилган. Натижавий кучланганлик вектори $E = E_+ + E_-$ 3-расм куринишича, катталик жихатдан:

$$E = E_+ \cos \alpha + E_- \cos \alpha = \frac{2q}{r_+^2} \cos \alpha$$

ёки

$$E = \frac{2q}{r_+^2} \cdot \frac{l/2}{r_+} = \frac{ql}{r_+^3}$$

га тенг булади.

В нуктадан диполнинг уртасигача булган масофани r билан белгилаймиз, у холда $l \ll r$ булганидан, тақрибан $r_+ = r$ ва охириги формула куйидаги куринишда ёзилади:

$$E = \frac{ql}{r^3}$$

Нихоят, бу формулани диполь моменти $p = ql$ оркали ифодаласак:

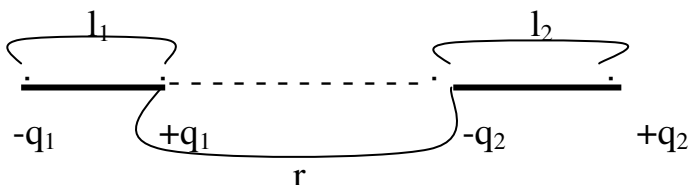
$$E = \frac{p}{r^3} \quad (6)$$

(5) ва (6) формулаларини таккослаб, диполь майдонининг кучланганлиги ҳар иккала ҳолда диполь моменти p га пропорционал ва диполгача булган r масофанинг кубига тескари пропорционал эканлигини кураимиз.

Юқоридаги мисолларнинг курсатишича, натижавий кучланганликни аниқлаш учун электр системани ташкил қилган нуктавий зарядлар вужудга келтирган кучланганликларнинг геометрик йиғиндисини олиш керак экан. Бирок қўп ҳолларда системани нуктавий зарядларнинг мажмуи сифатида қараб олиб борилган ҳисоблашлар гўят мураккаб булади ёки бундай ҳисоблашларни умуман бажариб бўлмайди; шунинг учун қўп масалаларда кучланганлик баъзи бир ёрдамчи усуллар ёрдамида аниқланади. Бу усуллар ҳақида куйида гапирамиз.

Диполь майдонининг кучланганлиги формуласи (5) дан фойдаланиб, битта тугри чизик буйлаб, уз улчовларига нисбатан катта r масофада жойлашган иккита каттик диполнинг узаро таъсир кучини осон топиш мумкин.

Бунда каттик диполь деб, зарядлари орасидаги l масофа ташки кучлар таъсирида узгармайдиган дипольни айтилади: Бундаё дипольнинг хар иккала заряди бир-бири билан «махкам» боглангандир.



4-расм

Дастлаб, хар икала дипол бир-бирига турли ишорали учи билан йуналган. R биринчи диполнинг уртасидан иккинчи диполнинг энг якинидаги заряди $-q_2$ гача булган масофа булсин.

Биринчи диполнинг $-q_2$ заряд турган жойда хосил килган майдон кучланганлиги E_1 формулага кура

$$E_1 = \frac{2p_1}{r^3}$$

га тенг булади, бунда $p_1 = q_1 l_1$ – биринчи диполнинг моменти. Шу кучланганлик туфайли иккинчи диполнинг $-q_2$ зарядига

$$f_1 = -\frac{2p_1}{r^3} q_2$$

куч таъсир килади.

Уша иккинчи диполнинг $+q_2$ зарядига эса

$$f_2 = +\frac{2p_1}{(r+l_2)^3} q_2$$

куч таъсир килади.

Иккинчи бутун диполга таъсир этувчи йигинди куч

$$f = f_1 + f_2 = -\frac{2p_1}{r^3} q_2 + \frac{2p_1}{(r+l_2)^3} q_2 = -\frac{2p_2}{r^3} \left[1 - \frac{1}{(1+\frac{l_2}{r})^3} \right] q_2$$

булади.

Шарт буйича $l \ll r$, шунинг учун, тақрибан:

$$\frac{1}{(1+\frac{l_2}{r})^3} \cong 1 - 3\frac{l_2}{r}, \text{ бундан } f = -\frac{6p_1 l_2 q_2}{r^4}$$

ёки $l_1 q_2 = p_2$ булганидан (бунда p_2 – иккинчи диполнинг моменти)

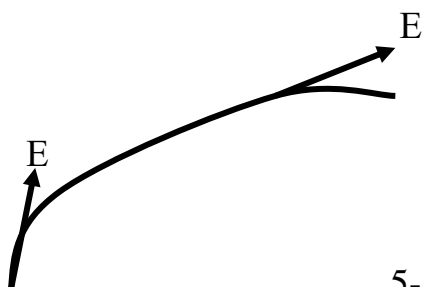
$$f = -\frac{6p_1 p_2}{r^4}. \quad (7)$$

Минус ишора натижавий кучнинг тортишиш кучи эканлигини билдиради.

Хар иккала дипол бир-бирига нисбатан бир хил ишорали учлари билан йуналган холда улар орасидаги узаро таъсир кучининг катталиги аввалгидек, лекин мусбат, яъни итариш кучи эканлигига осон ишониш мумкин.

(7) Формуланинг курсатишича, диполлар орасидаги узаро таъсир кучи диполлар моментлари купайтмасига пропорционал ва улар орасидаги масофанинг туртинчи даражасига тескари пропорционалдир. Хисоблашларни биз диполлар бир тугри чизикда жойлашган хол учун бажардик. Диполлар бошкача жойлашганларида ҳам улар орасидаги узаро таъсир кучи масофанинг туртинчи даражасига тескари пропорционал булишини курсатиш мумкин.

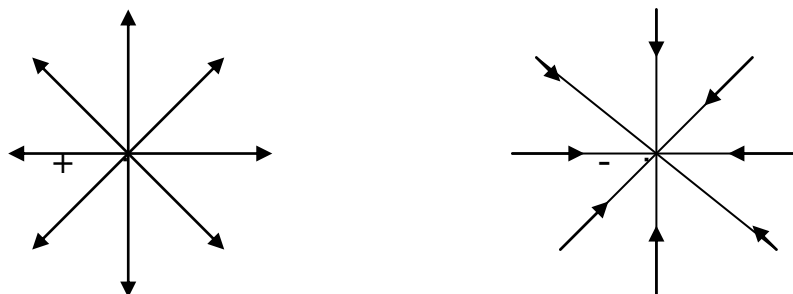
Электрстатик майдоннинг хар бир нуктасини E кучланганлик вектори билан ифодалаш мумкин эканлиги аниқланган эди. Энди *кучланганлик чизиги* тушунчасини киритайлик.



5- расм

Кучланганлик чизиклари куч чизиклари деб ҳам аталади. Кучланганлик чизиги деганда шундай чизикни назарда тутамизки, бу чизикнинг хар бир нуктасида *кучланганлик вектори уринма буйлаб йуналган булади* (5-расм). Кучланганлик чизигининг йуналиши чизикнинг хар бир нуктасидаги кучланганлик векторининг йуналиши билан бир хил булади.

Шундай килиб, кучланганлик чизиги узи утган хар бир нуктада майдон кучланганлиги E нинг йуналиши ва демак, шу нуктага жойлаштирилган $+q$ мусбат зарядга таъсир этувчи f кучининг йуналишини курсатади. f кучнинг йуналиши q заряди булган жисмнинг кучиш йуналишини эмас, балки жисм олган тезланиш векторинигина курсатади. Шунинг учун зарядланган жисм майдон кучлари таъсирида умуман айтганда, кучланганлик чизиги буйлаб харакат килмайди.



6-расм

Электр кучларидан ташкари хеч кандай бошка кучлар таъсир этмаётган мусбат зарядланган жисм кучланганлик чизиги буйлаб харакат килади, бунинг учун кучланганлик чизиги тугри чизик булиши ва жисмнинг бошлангич тезлиги кучланганлик чизиги буйлаб йуналган булиши керак.

Муҳокама учун саволлар:

- 2.1. Табиатда қандай майдонлар мавжуд? Электр майдони улардан қандай фарқ қилади?
- 2.2. Электр майдон қучланганлиги қандай тушунтирилади?
- 2.3. Электр майдонлар қучланганликларини қушиш- суперпозиция принципи қандай тушунтирилади?
- 2.4. Электр диполи ва унинг моменти қандай тушунтирилади?
- 2.5. Электр майдон индукция вектор ива унинг оқими қандай тушунтирилади?

Мавзу бўйича ечимини қутаётган илмий муаммолар:

1. Электр майдон қучланганлигининг ихтиёрий мухитда узгариши ва мухитни ташкил қилган моддаларда юзага келадиётган қушимча майдоннинг хусусиятларини тушунтириш механизмининг такомиллаштириш;
2. Электр майдон қучланганлигини жуда олис масофаларда узгаришини урганиш ва тушунтириш муаммолари;
3. Электр майдон индукциясининг олисдан таъсир қурсатиш назариясига қура тушунтириш механизмининг яратиш;

2-Амалий машғулот: Электр майдон қучланганлиги. Электр диполи. Электростатик майдон индукция вектори ва унинг оқими.

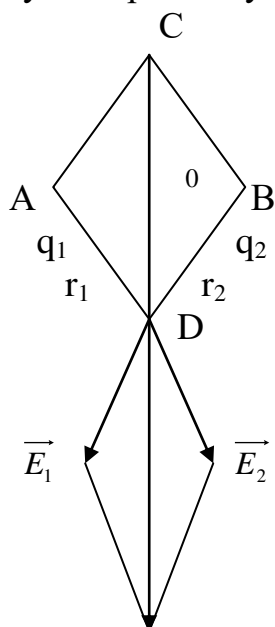
Дарс максади: Талабаларнинг электр майдони ва унинг хусусиятлари бўйича олинган билимларини амалий машғулотда мустаҳкамлаш.

Идентив уқув мақсадлари:

- 1.1 Электростатик майдон қучланганлигини таърифлаб бера олади.
- 1.2 Электр диполини тушунтириб бера олади.
- 1.3 Электростатик майдон индукция векторини айтиб бера олади.
- 1.4 Индукция векторининг оқимини тушунтириб бера олади.
- 1.5 Электр майдон қучланганлигининг хоссаларини билади ва масала ечишга тадбиқ эта олади.

Масалалар ечиш тартиби.

1-масала. Хар бири $q_0 = 1,0 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$ дан иккита заряд ҳавода ($\varepsilon = 1$) да бир-биридан $l = 8 \text{ м}$ масофада жойлашган. Иккала заряддан $r_1 = r_2 = r = 5 \text{ м}$ масофада жойлашган нуқталардаги қучланганлик E топилисин.



$$\vec{E}$$

Берилган: $q_1 = q_2 = q_0 = 1 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}, l = 8 \text{ м}, r_1 = r_2 = r = 5 \text{ м}$

$$\varepsilon = 1, \varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$$

Топиш керак: E ?

Ечилиши: Масаланинг шартига мос келувчи чизмани чизамиз. Расмдаги чизмадан куринадики q_1 ва q_2 зарядлардан бир хил r масофада булган нукталар иккита: С ва Д нукталардир. Масала улардан бири учун; масалан Д нукта учун ечилади. А ва В нукталардаги зарядларни q_1 ва q_2 , белгиланса, Д нуктада майдоннинг хосил килган кучланганликлар $\vec{E}_1$ ва $\vec{E}_2$ булади. Электр майдоннинг Д нуктасидаги $\vec{E}$ умумий кучланганлиги $\vec{E}_1$ ва $\vec{E}_2$ ларни геометрик йигиндисига тенг, яъни $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ булиб, у томонлари E_1 ва E_2 га тенг булган параллелограмм диагонали сифатида топилади. $\vec{E}_1$ ва $\vec{E}_2$ ларнинг скаляр кийматлари куйдагига тенгдир:

$$E_1 = E_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_0}{r^2}$$

E нинг киймати эса $\triangle ACD$ ва $\triangle DEE_1$ ухшашлигидан аникланади, яъни:

$$\frac{DE}{DE_1} = \frac{CD}{AD} \text{ ёки } \frac{E}{E_1} = \frac{2\sqrt{r^2 - (l/2)^2}}{r}.$$

Бундан изланаётган кучланганлик:

$$E = E_1 \frac{2\sqrt{r^2 - (l/2)^2}}{r} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_0}{r^2} \frac{2\sqrt{r^2 - (l/2)^2}}{r}.$$

Сон кийматларини урнига куйиб хисоблаймиз:

$$E = \frac{1}{4\pi \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot \frac{\text{Кл}}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}}{1 \cdot 25 \text{ м}^2} \cdot \frac{2\sqrt{25 \text{ м}^2 - 16 \text{ м}^2}}{5 \text{ м}} = \frac{90 \cdot 2 \cdot 3}{25 \cdot 5} \frac{\text{Н}}{\text{Кл}} \left(\frac{\text{В}}{\text{м}}\right).$$

Жавоб: С ва Д нукталарда кучланганлик

$$E = 4,32 \text{ Н/Кл}.$$

2- масала: N математик маятник $l = 1 \text{ м}$ узунликдаги ипак ипга осилган заряди $q = 2 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$ булган $m = 0,1 \text{ г}$ массали шарчадан иборат булиб, у куч чизиклари юкорига вертикал йуналган $E = 9,4 \text{ кВ/м}$ кучланганликлиги бир жинсли майдонга жойлаштирилган. Агар шарчага таъсир этувчи куч огирлик кучидан ката булса, маятник кандай Т давр билан тебранади? Шу маятник

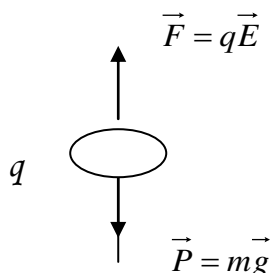
$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{T}{g}}$ давр билан тебраниши учун майдоннинг кучланганлиги E кандай булиши керак?

Берилган: $l=1$ м, $m=1\cdot 10^{-4}$ кг, $q=2\cdot 10^{-8}$ Кл, $E=9,4\cdot 10^4$ В/м.

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{T}{g}}, g = 9,8 \text{ м/с}^2.$$

Топиш керак: $T=?$, $E=?$.

Ечилиши: Шарга электр майдон томондан юкорига вертикал йуналган $\vec{F} = q\vec{E}$ куч таъсир этади. Масала шартига кура шарчанинг $\vec{P} = m\vec{g}$ оғирлик кучи $\vec{F}$ кучга нисбатан кичик ($P < F$) булганлиги учун мувозанат ҳолатда шарча вертикал тортилган ипнинг юқориги учида жойлашган бўлади.



Агар шарча эркин булса, $\vec{F}$ ва $\vec{P}$ кучларнинг тенг таъсир этувчи Ньютоннинг иккинчи қонунига биноан $ma = qE - mg$ булиб, бундай $a = \frac{qE - mg}{m}$ тезланиш ҳам шарчанинг ҳолатига боғлиқ эмас. У вақтда бу майдондаги маятникнинг тебраниш даврини топиш учун, унинг формуласидаги g ва a билан алмаштириш керак, яъни:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{a}} = 2\pi\sqrt{\frac{ml}{qE - mg}}.$$

Сон қийматлари урнига қуйиб ҳисобланса, қуйидаги ҳосил бўлади:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{ml}{qE - mg}} = 2\cdot 3,14\sqrt{\frac{10^{-4}\text{ кг}\cdot 1\text{ м}}{2\cdot 10^{-8}\text{ Кл}\cdot 9,4\cdot 10^4\frac{\text{В}}{\text{м}} - 10^{-4}\text{ кг}\cdot 9,8\text{ м/с}^2}} =$$

$$= 6,28\sqrt{\frac{10^{-4}\text{ кг}\cdot \text{м}}{9\cdot 10^{-4}\text{ кг}\cdot \text{м/с}^2}} = \frac{6,28\text{ с}}{3} = 2,09\text{ с}$$

Юқоридаги формулада $T=T_0$ булганда $a=g$ бажарилиб, ундан

$$T_0 = 4\pi^2\sqrt{\frac{ml}{qE_0 - mg}}, \text{ бунда } E_0 = \frac{2mg}{q}.$$

Сон қийматларни қуйиб ҳисоблаймаз:

$$E_0 = \frac{2mg}{q} = \frac{2\cdot 10^{-4}\text{ кг}\cdot 9,8\text{ м/с}^2}{2\cdot 10^{-8}\text{ Кл}} = 9,8\cdot 10^4\frac{\text{В}}{\text{м}} = 9,8\cdot 10^4\frac{\text{В}}{\text{м}}.$$

Жавоби: $T=2,09\text{ с}$; $a=g$ булган электр майдон кучланганлиги

$$E = 9,8\cdot 10^4 \text{ В/м}.$$

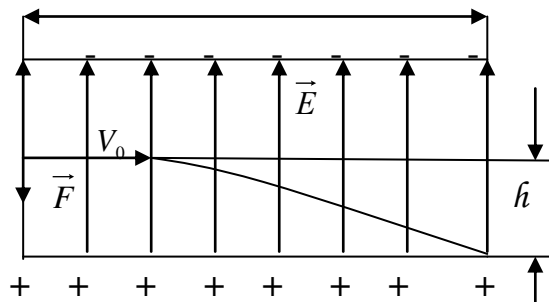
3-масала: Горизонтал жойлаштирилган ясси конденсатор пластинкаларига параллел уланган катод нурлари дастаси $l = 8$ см йулда бошлангич йуналишдан $h = 4$ мм масофага огган. Катод нурларидаги электронлар конденсаторга учиб кириш пайтида қандай v_0 тезликка ва қандай $\mathcal{W}_{\text{кин}}$

кинетик энергияга эга булади? Конденсатор ичидаги электр майдон кучланганлиги $E=22,5 \text{ кВ/м}$ га ва электроннинг массаси $m=9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ га, заряди $e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ га тенг.

Берилган: $l=8 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, $r=4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $E=22,5 \cdot 10^3 \text{ В/м}$, $m=9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$, $e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$.

Топиш керак: $v_0=?$, $W_{\text{кин}}=?$.

Ечилиши: Конденсатор пластинкалари орасидаги ҳаракатланаётган электронга электр майдон томонидан $\vec{F}=e\vec{E}$ куч таъсир қилади. Бу куч пластинкаларга перпендикуляр ҳолда кучланганлик йуналишига қарама-қарши томонига йуналган, чунки электроннинг заряди манфийдир.



жуда кичик бўлгани учун уни F га нисбатан ҳисобга олмаслик мумкин.

Шундай қилиб, электрон пластинкалар (буйича йуналишда v_0 тезлик билан текис ҳаракатланади ва l масофани $t = \frac{l}{v_0}$ вақтда ўтиб ўтади.

Пластинкаларга перпендикуляр йуналишда эсааа электрон $F=eE$ таъсирида $a = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m}$ тезланиш билан текис тезланувчан ҳаракатланади. У вақтда

электрон t вақт ичидаги бошлангич йуналишидан $h = \frac{at^2}{2} = \frac{eE}{m} \cdot \frac{l^2}{2v_0^2}$ масофага

силжийди. Бундан катод нуридаги электроннинг бошлангич тезлигини топиб, ҳисоблаймиз:

$$v_0 = l \sqrt{\frac{eE}{2mh}} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м} \sqrt{\frac{1,6 \cdot 10^{-16} \text{ Кл} \cdot 22,5 \cdot 10^3 \text{ В/м}}{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}}} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м} \sqrt{\frac{4,5 \cdot 10^{18}}{9,1} \text{ с}^{-2}} \cong \\ \cong 8 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot 0,7 \cdot 10^9 \cdot \text{с}^{-1} = 5,6 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$

Электроннинг v_0 тезлиги ифодасини кинетик энергия формуласига қуйилса, қуйидаги ҳосил булади:

$$W_{\text{кин}} = \frac{mv_0^2}{2} = \frac{m l^2 e E}{2 2mh} = \frac{E e l^2}{4m} = 1,44 \cdot 10^{-15} \text{ Ж}$$

Жавоби: $v_0 = 5,6 \cdot 10^7 \text{ м/с}$, $W_{\text{кин}} = 1,44 \cdot 10^{-15} \text{ Ж}$

Керакли адабиётлар:

1. В.С. Волькенштейн, «Умумий физика курсидан масалалар туплами». Тошкент 1969 й.
2. М.С. Цедрик «Умумий физика курсидан масалалар туплами» Тошкент. 1991 йил.

Амалий машғулот буйича мустақил иш топшириклари:

1. [1] адабиётдан 9-бўлимдан 13, 19, 20

2. [2] адабиётдан 17- булимдан 22,26,31 масалаларни ечинг

3-Мавзу: Остроградкий-Гаусс теоремаси ва унинг ёрдамида электр майдон кучланганлигини ҳисоблашнинг хусусий ҳоллари.

Асосий саволлар:

- 3.1. Электр силжиш вектори ва оками.
- 3.2. Остроградкий-Гаусс теоремаси.
- 3.3. Остроградкий-Гаусс теоремаси ёрдамида электр майдон кучланганлигини ҳисоблашнинг хусусий ҳоллари:
 - а) Бир текис зарядланган чексиз текислик майдони.
 - б) Текис зарядланган сферик сиртмайдони.
 - в) Текис зарядланган чексиз цилиндр майдони.

Мавзуга оид таянч суз ва иборалар:

Силжиш вектори, силжиш векторининг оками, берк сирт, зарядланган текислик, зарядланган шар ва сферик сирт, зарядланган цилиндр.

Асосий саволларга оид муаммолар:

- Электр майдонини фазода ва ихтиёрий мухитда силжишини;
- Электр силжиш вектори окимини билиш;
- Остроградкий-Гаусс теоремасини билиш;
- Остроградкий-Гаусс теоремасини ҳар хил шаклдаги жисмларга тадбикини билиш;
- Зарядланган чексиз текислик, сферик сирт, чексиз цилиндр ва бошқа шаклдаги жисмлар ҳосил қилган электр майдон кучланганлигини ҳисоблашни билиш;

Асосий саволлар бўйича дарснинг максади:

- 3.1. Электр майдон кучланганлигининг қизиклари ҳақида тушунча бериш;
- 3.2. Электр майдон кучланганлигини силжишини тушунтириш;
- 3.3. Электр силжиши катталигини тушунтириб бериш;
- 3.4. Электр силжиши окимини тушунтириш;
- 3.5. Остроградкий-Гаусс теоремасини тушунтириб бериш;
- 3.6. Остроградкий-Гаусс теоремаси ёрдамида турли шаклдаги зарядланган жисмлар ҳосил қилган электр майдони ҳисобларига доир мисолларни қурсатиб бериш;

Идентив уқув мақсадлари:

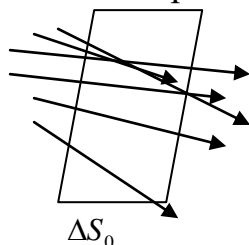
- 1.1. Электр силжиш векторини тушунтириб бера олади.
- 1.2. Электр силжиш векторининг окимини айтиб бера олади.
- 1.3. Остроградкий-Гаусс теоремасини тушунтириб бера олади.
- 1.4. Текис зарядланган чексиз текислик майдон кучланганлигини ҳисоблашни тушунтириб бера олади.
- 1.5. Текис зарядланган сферик сирт ҳосил қилган майдон кучланганлигини ҳисоблашни билади.
- 1.6. Текис зарядланган чексиз цилиндр ҳосил қилган майдон

кучланганлигини хисоблашни тушунтириб бера олади.

Асосий саволнинг баёни:

Айтилганлардан келиб чиқадики, кучланганлик чизигини фазонинг исталган нуктасидан утказиш мумкин, чунки фазода утказиладиган чизиклар сони чекланмагандир.

Кучланганлик чизиги кучланганликнинг йуналишини характерлайди. Бирок кучланганлик *катталигини* утказилган кучланганлик чизиклари *сони* билан боғловчи шарни киритиш мумкин.



1- расм

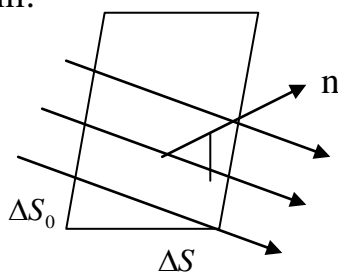
Кучланганлик куп булган жойда чизикларни зичрок, кам булган жойда сийракрок утказамиз.

Ихтиёрий катталиқдаги майдонни фикран кичик сохаларга булайлик. Бу сохаларда кучланганлик шу қадар кам узгарсинки, бу сохаларда майдонни бир ижнсли дейиш мумкин булсин. Шундай кичик сохада кучланганлик чизиклариги перпендикуляр қилиб, фикран ΔS_0 юзача (1-расм) урказамиз.

Бу юзачадан шундай ΔN кучланганлик чизиклари сонини утказишга шартлашайликки, ΔS_0 юзачанинг сирт бирлигига тугри келадиган чизиклар сони юзача сохасидаги кучланганлик қийматига тенг булсин, яъни қуйидаги

$$\frac{\Delta n}{\Delta S_0} = E \quad (1)$$

муносабат бажарилсин.



2-расм

Чизиклар бу шартга мувофиқ утказилганда кучланганликнинг катталиги ҳақиқатдан кучланганлик чизикларининг зичлиги билан боғланган бўлиб қолади. Майдоннинг кучланганлик оз булган жойларида кучланганлик чизиклари сийракрок, кучланганлик куп булган жойларида зичрок утади.

Бирок сиртни кесиб утувчи кучланганлик чизикларининг умумий сони шу сиртдан утувчи кучланганлик оқими дейилади ва N харфи билан белгиланади. Элементар юзача ΔS_0 ни кесиб утувчи чизиклар сони ΔN шу юзачадан утувчи элементар оқимни ҳосил қилади.

Кичик ΔS юзачани (2-расм) кесиб утаётган кучланганлик чизиклари сони ΔN ни топайлик. Бу юзачага утказилган n нормал кучланганлик чизикларининг йуналиши билан α бурчак ҳосил қилсин. ΔS нинг кучланганлик чизикларига перпендикуляр булган текисликка троекцияси ΔS_0 булсин. Равшанки, Ҳақат ΔS юзачани кесиб утувчи чизикларгина ΔS_0 юзача орқали утади; бинобарин, (1) муносабатдан

$$\Delta N = \Delta S_0 \cdot E = \Delta S \cdot \cos \alpha \cdot E$$

булади.

Лекин $E \cos \alpha$ каталик кучланганлик векторининг ΔS сиртига утказилган n нормал йуналишидаги проекцияси билан иборатдир:

$$E \cos \alpha = E_n$$

демак,

$$\Delta N = E_n \cdot \Delta S. \quad (2)$$

Бу муносабат ихтиёрий жойлашган ΔS сирт элементини кесиб утувчи элементар кучланганлик оқимини ифода қилади. Демак, ихтиёрий жойлашган сирт элементидан утувчи элементар кучланганлик оқими E кучланганликнинг шу элементар нормал ташкил этувчисининг элемент юзига қупайтмасига тенг.

Агар ΔS юзача кучланганлик чизикларига параллел булса, у ҳолда $\alpha = \frac{\pi}{2}$ ва $E_n = 0$ булгани сабабли сиртдан утувчи оқим нолга тенг булади.

Оқимнинг ишораси кучланганлик вектори чизиклари нормалнинг мусбат деб олинган йуналиши билан қандай бурчак ҳосил қилишига боғлиқ.

2-расмда оқим мусбат; агар n нормалнинг мусбат йуналиши учун 2-расмда курсатилганига қарама-қарши йуналиш танланганда, оқимнинг ишораси манфий буларди.

Чекли S сиртдан утувчи кучланганлик оқими элементар оқимларнинг алгебраик йигиндисидан иборат булади:

$$N = \sum \Delta N = \sum E_n \Delta S \quad (3)$$

Йигинди биз булақлаган S сиртнинг барча элементлари буйлаб олинадди.

ΔS сирт элементларини чексиз кичик қилиб олиш қерак. Бунда сирт элементини dS билан белгилаб, кучланганликнинг элементар оқими dN учун

$$dN = E_n dS$$

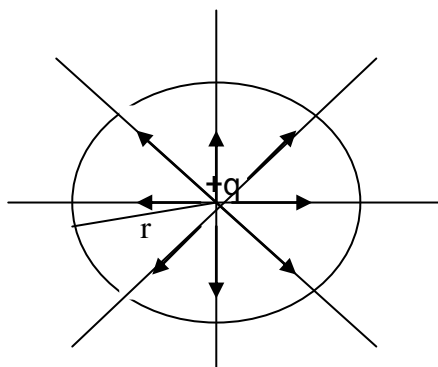
ифодани ҳосил қиламиз.

S сиртдан утувчи N кучланганлик оқими чексиз қуп шундай элементар оқимларнинг йигиндиси, яъни қуйидаги интеграл билан ифодаланари:

$$N = \int_s E_n dS \quad (3a)$$

бунда S белги интеграл текширилаётган бутун S сирт буйлаб олинишини курсатади.

Майдоннинг кучланганлиги масофанинг квадратига тескари пропорционал узгарадиган нуктавий заряд q дан канча кучланганлик чизиги чиқишини аниқлайлик. q нуктавий заряд сферик симметрияли майдон ҳосил қилганлиги туфайли кучланганлик чизиклари, симметрик жойлашган радиал чизиклардан иборат бўлади (3-расм).



3-расм

Уларнинг умумий сонини N билан белгилаймиз. Фикран маркази q зарядда бўлган ихтиёрий r радиусли сферик сирт чизамиз. Кабул қилинган шартга мувофиқ, узлари тик бўлган юза бирлигини кесиб ўтувчи кучланганлик чизикларининг сони сирт нукталаридаги кучланганлик қийматларига тенгдир. Утказилган сферик сирт радиал кучланганлик чизикларига перпендикулярдир. Бу чизикларнинг умумий сони айтганимизга кура N га тенг, демак, сирт бирлигидан уларнинг $\frac{N}{4\pi r^2}$ таси ўтади. (1)

шартга мувофиқ бу катталиқ сон жихатдан q заряддан r масофадаги кучланганликка тенгдир, яъни

$$\frac{N}{4\pi r^2} = \frac{q}{r^2},$$

бундан

$$N=4\pi q \quad (4)$$

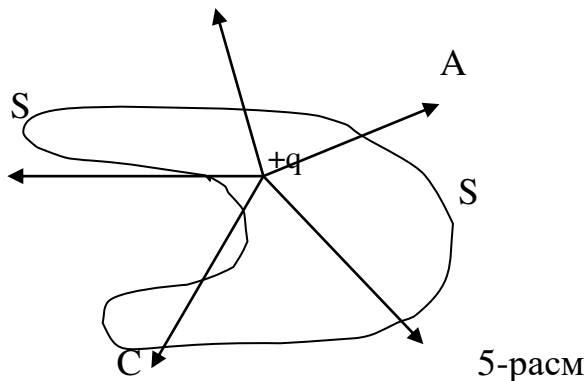
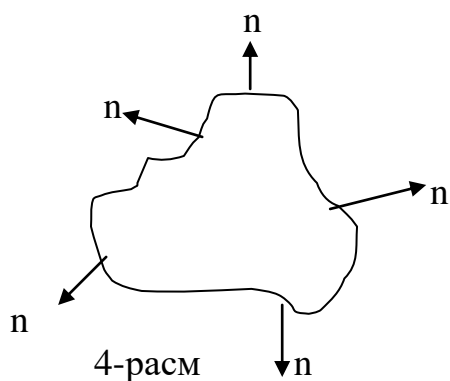
Шундай қилиб, ҳар бир нуктавий q заряддан $4\pi q$ та симметрик жойлашган кучланганлик чизиклари чиқариш керак экан.

Шу қоида ни умулаштириш йули билан Остроградский- Гаусс теоремаси чиқарилади, бу теорема берк сиртдан ўтувчи кучланганлик оқими билан шу сирт ичидаги зарядларнинг катталиги ораисдаги умумий боғланишни ифода қилади. Бу теорема жуда қўл хусусий ҳолларда чекли ёки чексиз катта ўлчамли жисмлардаги зарядлар вужудга келтирадиган кучланганлик векторларини топишни осонлаштиради.

Остроградский –Гаусс теоремаси қуйидагича таърифланади: *зарядларни ўз ичига олган ҳар қандай берк сиртдан ўтувчи кучланганлик оқими ўраб олинган зарядлар алгебраик йиғиндисини 4π га қўпайтмасига тенгдир.*

Бу коидани исбот килишда берк сирт учун сирт элементиға утказилган нормаль шу сирт билан чегараланган хажмдан чикувчи булса, унинг бу йуналишини мусбат деб шартлашиб оламиз. У холда шу сирт билан чегараланган хажмдан чикувчи кучланганлик чизиклари мусбат оким; хажмға кирувчи кучланганлик чизиклари манфий оким вужудға келтиради.

Нормалнинг ишораси учун бу шартни кабул килиб, аввало Остраградский-Гаусс теоремасининг битта нуктавий заряд учун тугрилигини курсатамиз. q нуктавий зарядни, уни мусбат деб олиб, ихтиёрый S берк сирт билан (5-расм) ураймиз. Исбот



Килинганига кура заряддан $4\pi q$ кучланганлик чизиги чиқарамиз. Бу чизикларнинг хар бири S сиртни A ва B чизиклар каби бир марта ёки, масалан, сиртни уч марта кесиб утган C чизик каби, ток сон марта кесиб утади. Лекин C чизик S сиртдан *икки марта чиқади* ва *бир марта унга киради*; окимнинг ишоралари учун кабул килинган шартга кура, чиқиш жойларида у мусбат оким, кириш жойида эса манфий оким ҳосил қилади; шундай килиб, S берк сиртдан утувчи кучланганлик окимини ҳисоблаш учун C кучланганлик чизигини бир марта санаш керак. Хар қандай бошқа кучланганлик чизиги билан ҳам худди шундай иш қилиш зарур. Натижада биз q нуктавий зарядни ураб турган ихтиёрый шаклдаги берк сиртни кесиб утувчи кучланганлик чизикларининг умумий сони q нуктавий заряддан чикувчи чизиклар сонига, яъни $4\pi q$ га тенг булишини кураимиз. Таъриф буйича, кучланганлик чизикларининг бу умумий сони N ва S сиртдан утувчи кучланганлик окимини ифодалайди.

Шундай килиб, Остраградский-Гаусс теоремасининг битта нуктавий заряд учун ҳам тугрилигини исбот қилади.

Берк сирт ичида ихтиёрый k сондаги $q_1, q_2, \dots, q_k$ заряд булган умумий хол учун улардан q_i , белгиланган биттаси вужудға келтирилган кучланганлик окимини ҳисоблайлик. Айтилганларга кура, бу заряд вужудға келтирилган оким $N_i = 4\pi q_i$; бунда оким ишораси заряд ишораси билан бир хил булади.

Барча зарядлар вужудға келтирилган N тула оким алоҳида зарядлар вужудға келтирилган окимларнинг алгебраик йигиндисиға тенгдир, яъни

$$N = \sum N_i = 4\pi \sum q_i \quad (5)$$

Бу натижа юкорида таърифланган Остраградский-Гаусс теоремасини ифодалайди.

Остроградский-Гаусс теоремасидан катор мухм натижалар кели чикади.

Биринчидан, теоремадан кучланганлик чизиклари факат мусбат зарядлар турган жойдан бошланиб, манфий зарядлар турган жойда тугашили яна кайтадан келтириб чиқарамиз.

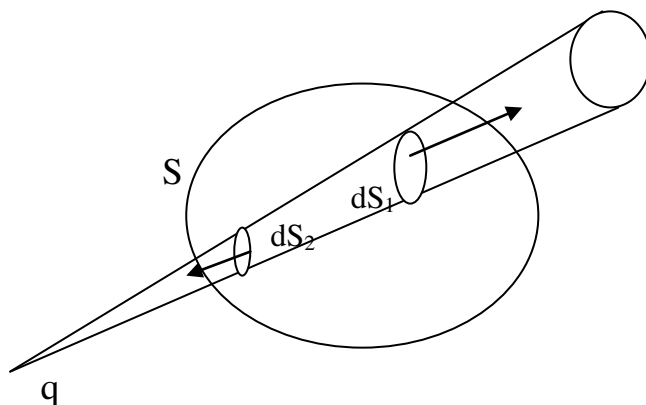
Иккинчидан, агар биз алгебраик йигиндиси нольга тенг булган зарядларни уз ичига олган берк сирт олсак, сиртдан утувчи тула кучланганлик окими нольга тенг булади; бу шу сирт билан чегараланган хажмдан чикувчи чизиклар сони хажмга кирувчи чизиклар сонига тенг эканлигини курсатади.

Учинчидан, агар берк сирт майдонда шундай утказилган булсаки, унинг ичида зарядлар булмаса, у холда кучланганлик чизиклари сиртнинг ичида бошланмайди ҳам, тугалланмайди ҳам, балки уни кесиб утади. Демак, кирувчи чизиклар сони чикувчи чизиклар сонига тенг булади ва сирт оркали утувчи кучланганлик окими нольга тенг булади.

Остроградский-Гаусс теоремасининг тadbиклари. Хар кандай зарядни чексиз куп сонли чексиз нуктавий зарядлар йигиндиси деб хисоблаш мумкин булгани учун Остроградский-Гаусс теоремасини хар кандай шаклдаги ва улчамдаги зарядларга тadbик килиш мумкин. Шунинг учун ҳам бу теорема жуда куп ишлатилади.

Остроградский-Гаусс теоремасининг тadbик килилишини куриб чиқишдан аввал зарядларни хажмий ва сиртий зичликлари тушунчасини киритамиз.

Куп масалаларда зарядлар бирор хажмда таксимланган деб берилади; бундай масалаларда зарядлар таксимотининг хажмий зичлигини киритиш мухм. Бирор ΔV хажмда Δq заряд бор, дейлик. У холда



5-расм

$$\vec{\rho} = \frac{\Delta q}{\Delta V} \quad (1)$$

нисбат билан аникланувчи физик катталиқ заряднинг уртача *хажмий зичлиги* дейилади.

Бирор нуктадаги ρ зичлик ΔV хажмни нольга кичрайтирганда (1) нисбатан интиладиган лимитга тенг булади:

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta q}{\Delta V} \right) \quad (1a)$$

Баъзи ҳолларда зарядлар жисм сиртида жойлашади ва шу жисм билан бирга, зарядлар катламининг калинлигини ҳисобга олмаса бўлади. Бундай ҳолларда биз *зарядларнинг сиртий зичлиги* тушанчасини киритамиз. Айтайлик, бирор ΔS сиртга Δq заряд тугри келсин, бунда заряднинг уртача сиртий зичлиги σ куйидаги

$$\sigma = \frac{\Delta q}{\Delta S} \quad (2)$$

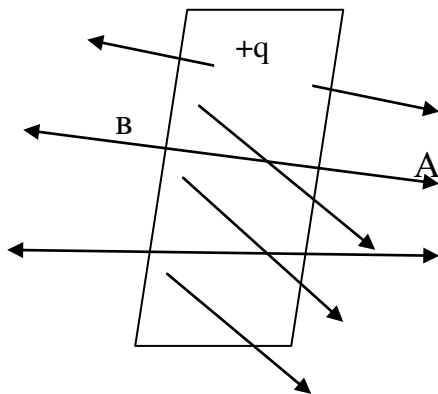
нисбат билан аникланади.

Бирор нуктадаги σ сиртий зичлик ΔS сиртни нолгача кичрайтирганда (2) нисбат интилганда лимитга тенг бўлади:

$$\sigma = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta q}{\Delta s} \right) \quad (2a)$$

Энди Остраградский-Гаусс теоремаси ёрдамида бир катор ҳоллар учун майдон кучланганлигини топамиз.

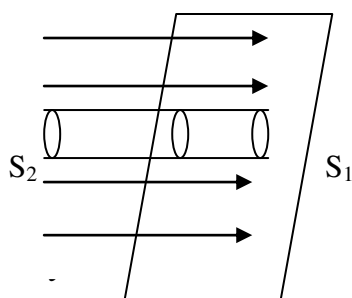
1. *Текис зарядланган чексиз текислик майдонининг кучланганлиги.* Барча нукталари бир хил доимий $+\sigma$ зичлик билан зарядланган чексиз текислик вужудга келтирган электростатик майдонни куриб чиқайлик. Симметрия мулоҳазаларига кура кучланганлик чизиклари текисликка перпендикуляр ва ундан ташқарига йуналган деб ҳисоблаймиз. Бунга ишонч ҳосил қилиш учун тесқари мулоҳаза юритилайлик,



6-расм

яъни кучланганлик чизиклари текисликка утказилган перпендикуляр билан бирор бурчак ҳосил қилиб йуналган, дейлик. 6-расмда пунктри билан тасвирлангандек йуналганда эди, унда мусбат зарядлар юқори ярим текисликдан пастки ярим текисликка нисбатан кучлироқ итарилган булар эди, бу эса текисликнинг чексизлиги ва ундаги зарядлар сиртий зичлигининг доимийлиги ҳақидаги фаразimizга зиддир. Худди шу каби мулоҳазалар билан кучланганлик чизиклари бошқа ҳеч қандай йуналиш бўйлаб эмас, фақат сиртга утказилган нормал бўйлабгина йунала олишини курсатиш мумкин. Текисликнинг унғ томонида ётган А нуктани олайлик. Бу нуктада кучланганлик унғга йуналган; шундай эканлиги кучланганликнинг мусбат зарядланган текисликдан итарилаётган бирлик мусбат зарядга таъсир этувчи

кучга тенглигидан келиб чиқади. Текисликнинг чап томонида А нукта симметрик жойлашган В нукта учун ҳам юқоридаги мулохазаларни такрорлаб В нуктадаги У кучланганлик А нуктадаги кучланганликка нисбатан карама-карши томонга йуналганлигига ишонч хосил киламиз.



7- расм

ясалган йуналган тугри чизиклардан иборат экан.

Остроградский-Гаусс теоремасини тадбик қилиб, А нуктадаги кучланганлик катталигини аниқлаймиз. Берк сирт сифатида қуйидагича цилиндрнинг урта кесими бўлсин; цилиндрнинг ён сиртини кучланганлик чизикларига параллел қилиб утказамиз. Цилиндрнинг S_1 ва S_2 иккала асосини текисликка параллел қилиб тегишли А ва В нукталардан утказамиз. У ҳолда симметрия мулохазаларига қура, S_1 ва S_2 асосларининг ҳар бирининг барча нукталарида кучлаганликлар доимий сон қийматлари жихатидан узаро тенг ва А нуктада изланаётган E кучланганликка тенг дейиш мумкин. Текширилаяётган цилиндр сиртдан утувчи кучланганлик окимини ҳисоблайлик. Кучланганлик чизиклари ён сиртга параллел бўлгани учун ён сиртдан утувчи оким нолга тенг. Демак, тула оким N цилиндрнинг S_1 ва S_2 асосларидан утувчи N_1 ва N_2 окимлар йигиндисига тенг. Бу иккала оким ҳам мусбат, S_1 ва S_2 сиртлар кучланганлик чизикларига перпендикуляр бўлгани учун бу сиртлардан утувчи окимлар кучланганлик катталигини асос юзига қупайтириб топилади. Шундай қилиб, қуйидагича ёзиш мумкин:

$$N = N_1 + N_2 = ES_1 + ES_2 = E \cdot 2S.$$

Остроградский –Гаусс теоремасига қура, тула оким 4π билан ички сиртдаги заряд қупайтмасига тенг бўлиши керак: бу заряд σS га тенгдир. Демак,

$$2SE = 4\pi\sigma S$$

бундан изланаётган E кучланганлик

$$E = 2\pi\sigma$$

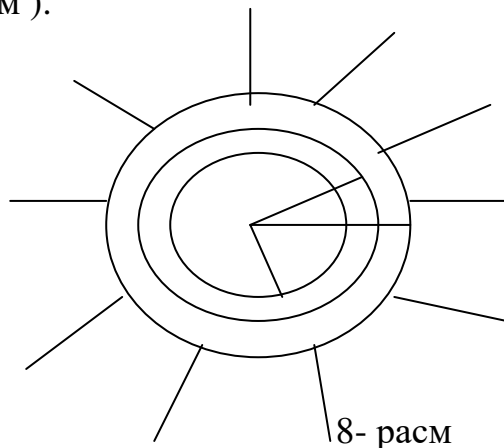
E нинг қиймати А нуктадан текисликкача бўлган масофага боглик эмас. В нукта учун ҳам шундай бўлади. Шундай қилиб, текисликнинг унғ томонида ҳам, чап томонида ҳам майдонлар бир жинсли бўлади. Текислик манфий зарядланган бўлса, кучланганликнинг йуналиши қуриб чиқилган ҳолга карама-карши бўлади: чизиклар текисликка қиради. Олинган натижа фақат чексиз текислик учун тугридир, чунки чексиз текислик бўлгандагина келтирилган симметрия мулохазаларидан фойдаланиш мумкин; бироқ бу натижа чекли текисликнинг четларидан узокда ётган урта қисми учун ҳам тақрибан уринлидир.

3. Текис зарядланган сферик сирт майдонининг кучланганлиги.
 Радиуси R булган сферик сирт мусбат электр билан зарядланган ва сиртнинг барча нукталарида заряднинг $+\sigma$ сиртий зичлиги доимий деб фараз килайлик. Сферик сиртнинг умумий зарядини q билан белгилайлик. Масалани икки кисмга буламиз:

а) *сферик сиртдан ташкарида* электростатик майдон кучланганлигини аниклаш ;

б) *сферик сиртнинг ичида* электростатик майдон кучланганлигини аниклаш ;

Зарядланган сферик сирт марказидан $r > R$ масофада ётган нуктани оламиз. (8-расм).



Бу нуктадан фикран марказида ётган, радиуси r булган S сфераик сиртни утказамиз. Симметрия мулохазаларига кура, бу сиртнинг барча нукталарида кучланганлик сон жихатдан бир хил булади. Шунингдек, симметрия мулохазаларига кура, куланганлик вектори хар бир нуктада радиуснинг давоми буйлаб йуналган булиши керак.

Радиуси r булган шу S сферик сиртга Остроградский-Гаусс теоремасини татбик киламиз. Бу сирт кучланганлик чизикларига перпендикуляр булгани учун сиртдан утувчи тула окимни E кучланганликни сирт катталигига купайтириб топамиз, демак, тула оким $E \cdot 4\pi r^2$ га тенг булади.

Остроградский-Гаусс теоремасига асосан:

$$E \cdot 4\pi r^2 = 4\pi q ,$$

Бундан

$$r > R \text{ булганда } E = \frac{q}{r^2} \quad (5)$$

яъни бир *текис зарядланган сфераик сирт шу сферадан ташкарида вужудга келтирилган кучланганлик худи бутун заряд сферанинг марказида жойлашгангандагидек булади.*

Сферик сиртнинг ичидаги нукталарни куришга утамиз. Сфера марказида $r_1 < R$ масофада жойлашган B нуктани оламиз ва бу нуктадан маркази зарядланган сфера марказида ётган S_1 сферик сирт утказамиз (8-расм). Бу сиртнинг барча нукталарида кучланганлик сон жихатдан бирдай

булиши равшандир. Юкорида айтганимиздек, симметрия мулохазаларидан кучланганликнинг (агар у нолдан фаркли булса) йуналиши факат радиал ва демак, S_1 сферик сиртга перпендикуляр булади.

S_1 сферик сиртга Остроградский-Гаусс теоремасини татбик килиб куйидагини топамиз:

$$E \cdot 4\pi r^2 = 0$$

Чунки S_1 сирт ичида заряд нолга тенгдир; бундан

$$r^1 < R \text{ булганда } E=0 \quad (6)$$

Демак, *текис зарядланган сферик сирт ичидаги барча нукталарда электростатик майдон кучланганлиги нолга тенгдир.*

(5) ва (6) формулалар q заряд билан зарядланган *утказувчаншар* учун хам тугри эканлигини курсатиш мумкин

5. Текис зарядланган чексиз цилиндрик сирт вужудга келтирган майдон кучланганлиги. R радиусли цилиндрик сирт оламиз. Бу сирт доимий σ сиртий зичлик билан зарядланган. Цилиндр укидан $r > R$ масофада етган A нуктадаги кучланганликни аниклаймиз. Масаладаги симметрия мулохазаларга кура A нуктадаги кучланганлик r – радиус-вектор давоми буйлаб йуналиши керак деб хулоса чикариш мумкин. Уки зарядланган цилиндр уки билан устма-уст тушган ва A нуктадан утказилган цилиндрик сиртга Остроградский-Гаусс теоремасини татбик киламиз. Бу сиртнинг юкори ва пастки асослари бир-биридан L масофада жойлашган ва укка перпендикулярдир. Цилиндрик сиртдан утган тула оким факат ен сиртлардан утган окимлар билан ифодаланади, чунки кучланганлик асосларга параллел булгани учун асослардан утувчи оким нолга тенг булади. Кучланганчизиклари цилиндрнинг ен сиртларига перпендикуляр булгани учун N тула оким $2\pi rL$ га купайтирилганига тенг булади;

$$N = 2\pi rLE \quad (8)$$

Остроградский-Гаусс теоремасига асосан N оким сон жихатдан оким хисобланаётган сирт ичидаги зарядни 4π га купайтирилганига тенг, сирт ичидаги q заряд цилиндрнинг l узунлигига тугри келадиган зарядга тенгдир:

$$q = \sigma \cdot 2\pi Rl,$$

демак, Остроградский-Гаусс теоремасига асосан :

$$N = 4\pi q = 4\pi Rl \sigma,$$

N учун хосил килинган бу ифодани (8) ифода билан таккосласак, куйидаги келиб чиқади:

$$E = \frac{4\pi\sigma R}{r} \quad (9)$$

$2\pi R$ катталики сон жихатдан цилиндр ен сиртининг цилиндр узунлик бирлигига тугри келган юзига тенг булгани учун $\eta = 2\pi R\sigma$ катталики цилиндр узунлик бирлигига тугри келган зарядни ифодалайди. Бундан (9) формулани куйидаги курунишда хам езиш мумкин:

$$E = \frac{2\eta}{r} \quad (9a)$$

Майдон кучланганлиги цилиндр укигача булган масофага тескари пропорционал камайяди. Худи шундай йул билан текис зарядланган цилиндрик сирт ичида майдон кучланганлиги нолга тенг эканлигини осон курсатиш мумкин.

Муҳокама учун саволлар:

3.1. Электр майдон кучланганлиги кандай силжиб боради ва кандай узгаради?

3.2. Силжиш вектори ва окими бир- биридан кандай фарк килади?

3.3. Остроградский-Гаусс теоремаси кандай тушинтирилади?

3.4. Электр майдон кучланганлигини хисоблашнинг кандай хусусий холлари мавжуд?

Мавзу буйича ечимини кутаётган илмий муамолар:

1. Зарядланган каттик жисмлар электр майдонига киритилганда юзага келадиган кушимча силжиш вектори ва окимни хисоблаш муаммолари.

4-Мавзу: Электростатик майдонда бажарилган иш. Потенциал.

Потенциаллар фарки. Потенциал градиенти. Потенциаллар фаркини хисоблашнинг хусусий холлари.

Асосий саволлар:

1. Бир жинсли электростатик майдонда зарядларни кучиришда бажарилган иш.

2. Потенциал. Потенциаллар фарки. Потенциал градиенти.

3. Потенциаллар фаркини хисоблашнинг хусусий холлари.

Мавзуга оид таянч суз ва иборалар:

Бир жинсли майдон, зарядни кучириш чизиги, майдон кучлари, потенциал, электр кучланиш, потенциаллар фарки, потенциал градиенти.

Асосий саволларга оид муаммолар:

- Электростатик майдонни бир жинсли булиш шартини тушуниш;
- Электростатик майдонни бир жинслилигини бузилиш шартларини билиш;
- Электростатик майдонда заряд кучиришда бажариладиган ишни билиш;
- Бажарилган иш ва потенциал орасидаги боғланишни билиш;
- Потенциал градиенти юзага келиш сабабини билиш;
- Хар хил шаклдаги зарядланган жисмлар ҳосил қилган электростатик майдон потенциалини хисоблашни билади;

Асосий саволлар буйича дарснинг максади:

1. Бир жинсли ва бир жинсли булмаган майдон ҳақида тушинча бериш;
2. Электростатик майдонда зарядларга таъсир қилувчи куч тушинчасини аниқлаштириш;
3. Электростатик майдонда зарядларни кучиришда бажариладиган иш ҳақида тушинтириш;
4. Бажарилган иш ва потенциал орасидаги боғланишни тушинтириш;
5. Потенциаллар фарки тушинчасини аниқлаб бериш;
6. Потенциал градиенти юзага келишини тушинтириш;

7. Хар хил шаклдаги зарядланган жисмларнинг электр кучланишини тушинтириш.

Идентив укув максадлари:

- 1.1. Бир жинсли ва бир жинсли булмаган электростатик майдонларни фаркини тушинтириб бера олади.
- 1.2. Бир жинсли электростатик майдонда зарядларни кучишида бажарилган ишни тушунтириб беради олади.
- 1.3. Электр кучланиш (потенциал) ва унинг фарки юзага келишини тушунтириб беради.
- 1.4. Электр кучланиш (потенциал) градиенти юзага келишини тушунтириб бера олади.
- 1.5. Хар хил шаклдаги зарядланган жисмлар хосил килган электростатик майдон потенциалини хисоблай олади.

Асосий саволлар баёни:

Зарядланган электростатик майдонда кучиришда зарядланган таъсир этувчи кучлар иш бажаради. Электростатик майдон кучларининг шундай хусусияти борки,бу кучларнинг зарядни кучиришда бажарган иши заряднинг кандай йул билан кучишига боглик булмай балки заряд катталигига хамда унинг бошлангич ва охирги вазиятларига богликдир. Шундай эканини биз кейинрок курсатамиз. Майдоннинг хусусияти майдоннинг хар кандай нуктасини махсус функция ёрдамида характерлашга имкон беради. Бу функция майдон нуктасининг *потенциали* деб аталади. Зарядни бир нуктадан иккинчи нуктага кучириш иши шу икки нукта потенциаллари кийматларининг айирмасы билан ифодаланади.

Дастлаб электр кучларининг нуктавий зарядлар майдонидаги ишини курайлик. q заряд майдонида a нуктадан унга жуда якин турган b нуктага кучаётган q_0 мусбат зарядни олайлик. q заряд бирор 0 нуктада кузгалмас холда жойлашган булсин. q_0 заряднинг a ва b нукталар орасидаги чексиз кичик ds кучишини тугри чизикли деб олиш ва бу кучишда q_0 зарядга таъсир этувчи f кучнинг узгаришини хисобга олмасдан бу кучни катталик ва йуналиш жихатдан узгармас дейиш мумкин. Иш тушунчасининг таърифига мувофик, f кучнинг ds кучишида бажарган dA элементар иши.

$$dA = f ds \cdot \cos \alpha$$

бунда α бурчак f куч йуналиши (бу кучнинг йуналиши E кучланганлик йуналиши билан бир хил булади)билан ds силжиш йуналиши орасидаги бурчак. b нуктадан Oa тугри чизикнинг давомига перпендикуляр туширсак, $ds \cdot \cos \alpha = Oc - Oa$ эканини курамиз лекин ds силжиш чексиз кичик булганда Oc ни Ob га тенг даб олиш мумкин у холда $ds \cdot \cos \alpha = Ob - Oa = dr$ булади бундаги dr катталик q_0 нуктага кучганда q ва q_0 зарядлар орасидаги масофанинг узгариши. Бундан dA элементар ишнинг куйидаги ифодасини хосил киламиз.

$$dA = f dr \quad (1)$$

Ғ куч q_0 ва q зарядларнинг узаро таъсир кулон кучидан иборатдир ds силжиш кичик булгани учун юкорида айтиб утганимиздак кучни бутун ds кучиш давомида доимий ва

$$f = \frac{q \cdot q_0}{r^2}$$

катталиқка тенг деб хисоблаш мумкин бунда $r=Oa$. F нинг бу кийматини ишнинг (1) ифодасига куйиб куйидагини топамиз.

$$dA = \frac{qq_0}{r^2} dr \quad (2)$$

Энди q_0 заряд q заряддан r_1 масофада ётган A нуктадан r_2 масофадаги B нуктага кучаётган булсин бунда A ва B нукталар бир-бирига якин жойлашган эмас. Бутун AB чекли кучишидаги ишини топиш учун уни чексиз кичик ds кучишларга ажратайлик. Шундай кучишларнинг хар бирида dA элементар иш (2) формула билан ифодаланади. Бутун AB йулдаги тула иш барча шундай элементар ишларнинг йигиндиси билан яъни r_1 дан r_2 гача олинган интеграл билан ифодаланади.

$$A = \int_{r_1}^{r_2} \frac{qq_0}{r^2} dr \quad (3)$$

qq_0 купайтмани узгармас микдор сифатида интеграл ишораси остидан чиқариб куйидагини хосилкиламиз.

$$A = qq_0 \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = qq_0 \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

A ишнинг бу ифодасини яна шундай курунишда ёзиш мумкин:

$$A = q_0 \left(\frac{q}{r_1} - \frac{q}{r_2} \right), \quad (4)$$

бундан *майдон кучларининг q_0 зарядни q нуктавий заряд майдонида кучиришида бажарган иши кучирилаётган заряд катталигининг $\frac{q}{r}$ катталигининг кучиши бошлангич ва охириги нукталарида кийматлари айирмасига купайтмаси билан ифодаланади.*

Куйидаги тенглик билан аникланадиган V функцияни киритамиз;

$$V = \frac{q}{r} + C, \quad (5)$$

бунда C -ихтиёрий доимий V функциянинг A нуктадаги киймати:

$$V_1 = \frac{q}{r_1} + C.$$

В нуктадаги киймати V_2 булади:

$$V_2 = \frac{q}{r_2} + C.$$

$V_1 - V_2$ айирмаси $\frac{q}{r_1} - \frac{q}{r_2}$ айирмасига тенг чунки C аддитив доимийлар кискариб кетади. (5) тенглик билан ифодаланувчи V функция q нуктавий заряд потенциалли дейилади. (5) формулага потенциалнинг кийматини киритиб:

$$A = q_0(V_1 - V_2) \quad (6)$$

тенгликни ҳосил киламиз бунда V_1 ва V_2 лар V функциянинг A ва B нукталардаги кийматлари. Шундай қилиб *майдон кучларининг зарядни кучиришида бажарган иши сон жихатдан заряд катталигининг йулнинг бошлангич ва охирги нукталардаги потенциаллар айирмасига қупайтмасига тенгдир* демак бу иш йул шаклига боғлиқ бўлмай унинг бошлангич ва охирги нукталарининг вазиятига боғлиқдир. Йул берк бўлганда унинг бошлангич ва охирги нукталари устма-уст тушади бундан $V_1 = V_2$ ҳамда (6) формулага қура $A=0$ булади, яъни *зарядни берк йул бўйлаб кучиришида электр кучларининг бажарган иши нолга тенгдир*.

Потенциалнинг физик маъноси устида ҳам тухталиб утамиз. (6) формуладан электростатик майдоннинг икки нуктасидаги потенциаллар айирмаси сон жихатдан зарядни бир нуктадан иккинчи нуктага кучиришда майдон кучлари бажарган ишнинг кучириладиётган заряд катталигига нисбатига тенгдир:

$$\frac{A}{q_0} = V_1 - V_2 \quad (7)$$

Агар $q_0=+1$ деб олсак, у ҳолда *икки нуктадаги потенциаллар айирмаси майдон кучларининг мусбат бирлик зарядни биринчи нуктадан иккинчи нуктага кучиришда бажарган иши билан улчанишини қурамыз*.

(6) мусбат зарядларнинг кучиришда бажарган иш билан потенциаллар айирмаси орасидаги боғланишнигина ифодалашига эътиборни жалб киламиз. Шунинг учун ҳам нуктавий заряднинг потенциалли учун (5) формула мовофик чексиз қуп сондаги функцияларни олишимиз мумкин. Бу функциялар бир-биридан C аддитив доимий билан фарқ қилади. C ни турлича танланганда ҳам потенциаллар айирмаси узгармайди.

Шундай қилиб, C доимий ихтиёрий танлаш мумкин. $C=0$ бўлганда энг сода ҳол булади, у ҳолда q нуктавий заряднинг узидан r узокликда бўлган нуктадаги потенциалли қуйидагига тенг булади:

$$V = \frac{q}{r}. \quad (5a)$$

Таърифга қура потенциал скаляр катталиқдир. Аддитив доимий $C=0$ қилиб олинганда нуктавий заряд потенциалининг физик маъноси бундай булади: *майдоннинг бирор нуктасининг потенциалли сон жихатдан бирлик*

мусбат зарядни шу нуктадан потенциали нольга тенг булган чексиз узокликдаги нуктага кучиришда майдон кучларининг бажарган ишига тенгдир. Ҳақиқат ҳам, бирлик зарядни майдоннинг бирор нуктасидан заряддан чексиз узокликда булган нуктага кучиришда бажарилган иш куйидагича булади:

$$A_0 = \frac{A}{q_0} = \frac{q}{r} - \frac{q}{\infty} = \frac{q}{r}.$$

Зарядларнинг мураккаб системаси билан иш курилатган булса, потенциал ифодасига курувчи ихтиёрий доимийнинг кийматини шундай танлаш керакки, системадан чексиз узокда ётган нукталарнинг потенциали нольга тенг булсин. Бунда майдоннинг бирор нуктасининг потенциали сони жихатдан бирлик зарядни шу нуктадан чексизликка кучиришда зарядга таъсир этувчи майдон кучларининг бажарган A_0 ишига тенгдир. Потенциаллар айирмасини аниклаш керак булган одатдаги амалий ҳолларда шартли равишда ер сирти потенциали нол деб олиш кулай булади.

Энди E кучланганлик билан характерланувчи ихтиёрий электростатик майдонда q_0 зарядни кучиришдек умумий ҳолни курамиз. Чексиз кичик кучиришда

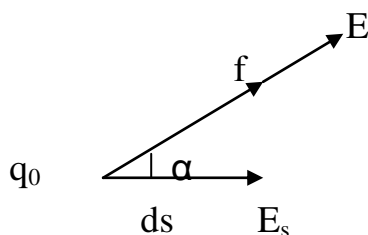
$$dA = f \cos \alpha ds$$

иш бажарилади.

$F=q_0 E$ эканлигини назарга олиб, dA иш фойдасини куйидаги курунишда ёзамиз:

$$dA = q_0 E \cos \alpha ds.$$

Лекин $E \cos \alpha$ кучланганлик вектори E нинг шу нуктада йулга утказилган уринма йуналишига проекциясидир (1-расм). Бу проекцияни E_s билан белгиласак,



1-расм.

Бунда интеграл йулнинг бошлангич A нуктасидан охири B нуктасигача булган чегарада олинган. Айтилганларга кура, бу иш сон жихатдан q_0 заряд катталиги A ва B нукталардаги потенциаллар айримасига купайтирилганига тенгдир, бундан:

$$\int_A^B q_0 E_s ds = q_0 (V_A - V_B).$$

q_0 зарядни, доимий катталик булганлиги учун, интеграл ишораси остидан чиқариб ва q_0 га қисқартириб, куйидагини ҳосил қиламиз:

$$\int_A^B E_s ds = V_A - V_B.$$

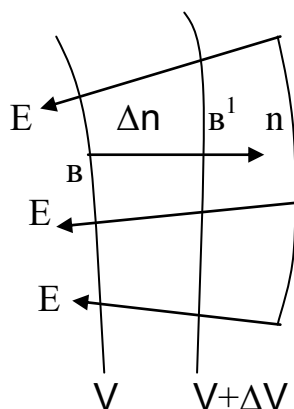
берк йул учун $V_A = V_B$ ва, демак,

$$\oint_s E_s ds = 0, \quad (8)$$

бунда интеграллаш бутун контур буйича бажарилган.

$\oint_s E_s ds$ контур интеграл $\sum E_s ds$ йигиндисининг лимитидан иборатдир.

Бу йигинди Δs элементлар нолга интилади ва бу элементларнинг сони чексиз ортади деган шарт билан берк контурнинг барча Δs элементлари буйича олинган. Бундай интеграл электростатик кучланганлик векторининг циркуляцияси дейилади. (8) формула электростатик майдонда электр кучларнинг берк йулда бажарган иши нолга тенг эканлигини математик ифодасидир. Электростатик кучланганлик векторининг циркуляцияси нолга тенг. Кучларнинг берк йулда бажарган иши нолга тенг булган майдон дейилади, шу сабабли (8) ифода электростатик майдоннинг потенциал характерда эканини курсатади, дейиш мумкин.



2-расм.

Энди потенциал билан кучланганлик орасидаги боғланишни аниқлайлик. Бундай боғланишнинг бор эканлиги электр кучларининг бажарган иши кучланганлик оркали ҳам, майдон нукталарининг потенциялари айирмаси оркали ҳам ифодаланиши мумкинлигидан келиб чиқади.

Ихтиёрий электростатик майдон олиб, унда бир-бирига якин иккита потенциал сатхи сиртлари утказамиз. Бир сиртнинг потенциали V , иккинчисиники $V+\Delta V$ булсин; $\Delta V > 0$ деб оламиз (2-расм). V потенциал сатхи сиртининг бирор B нуктасида потенциалнинг ортиш йуналишида сатхлар сиртига n нормаль утказамиз, n нормалнинг $V+\Delta V$ сатхи сирти билан кесишиш нуктасини B_1 билан белгилаймиз. B ва B_1 нукталар орасидаги масофа Δn га тенг булсин. E кучланганлик потенциал сатхи сиртига перпендикуляр, яъни n нормаль буйлаб йуналгандир, шу билан бирга, B ва B_1 нукталар бир-бирига якин жойлашгани учун улар орасидаги бутун масофада E майдон кучланганлигини тақрибан узгармас дейиш мумкин. У холда бирор

q зарядни В нуктадан ва В₁ нуктага кучиришда бажарилган ишни куйидаги куринишда ёзиш мумкин:

$$A = qE\Delta n.$$

Иккинчи томондан, шу А ишнинг узини В ва В₁ нукталар потенциалларининг айирмаси оркали ифодалаш мумкин:

$$A = q[V - (V + \Delta V)].$$

А ишнинг иккила ифодасини таккасласак, куйидагини топамиз:

$$E \cdot \Delta n = -\Delta V,$$

бу тенгликдан у Е учун куйидаги ифода келиб чикади:

$$E = -\frac{\Delta V}{\Delta n}. \quad (9)$$

Минус ишора Е кучланганлик n нормаль йуналишига карама-карши томонга йуналганлигини курсатади. Хакикат хам, n нормални потенциалнинг ортиш йуналишида утказдик, Е кучланганлик эса таърифга кура, мусбат зарядга таъсир этаётган куч йуналишида, яъни потенциалнинг камайиш томонига йуналгандир. Агар (8) формуладан $\Delta n=1$ деб олсак, куйидаги таъриф келиб чикади: *майдон кучланганлиги сон жихатдан потенциалнинг потенциал сатхи сиртига перпендикуляр йуналишида олинган узунлик бирлигидаги узгаришга тенг ва потенциалнинг камайиш томонига йуналгандир.*

Потенциал сатхи сиртларига перпендикуляр йуналишда кучишда потенциалнинг ортиш йуналишида узгариш тезлигини ифодаловчи $\frac{\Delta V}{\Delta n}$ катталики *потенциал грдиенти* дейилади. Градиент хакидаги тушунчадан фойдаланиб (8) ифодани куйидагича таърифлаш мумкин: *майдон кучланганлик сон жихатдан потенциал градиентига тенгдир.*

Мухокама учун саволлар:

- 4.1. Бир жинсли электростатик майдон ва бир жинсли булмаган майдонларнинг кандай фарки бор?
- 4.2. Электрстатик майдонда заряд кучиришда кандай ходиса юз беради?
- 4.3. Электрстатик майдонда бажарилган иш қачон нимага тенг булади?
- 4.4. Потенциаллар фарки деб нимага айтилади?
- 4.5. Потенциаллар градиенти кандай ҳолларда юзага келади?
- 4.6. Потенциални ҳисоблашнинг кандай хусусий ҳоллари мавжуд?

Мавзу буйича ечимини кутаётган илмий муаммолар:

1. Зарядланган жисмларни сирт яқинидаги катламларда юзага келган потенциал майдонни тадқиқот қилиш муаммолари.
2. Жисмлар зарядланганда уларнинг ичида мавжуд булган потенциал тусиқларни (барьер) узгариш механизминини урганиш муаммолари.
3. Зарядланган жисмларнинг кристалъ панжараларида юзага келадиган потенциал градиентини урганиш муаммолари.

4. Каттик жисмлар зарядланганда уларнинг кристалъ панжараларининг электр хусусиятларини урганиш ва уларни тушунтириш механизмини яратиш муаммолари.

4-амалий машгулот: Электростатик майдонда бажарилган иш. Потенциал. Потенциаллар фарки. Потенциаллар фаркини хисоблашнинг хусусий холлари.

Дарсинг мақсади:

Масалалар ечиш ёрдамида талабаларда электростатик майдон бажарилган иш, потенциаллар фарки тугрисидаги билимларини мустахкамлаш.

Идентив укув мақсадлари:

- 1.1. Электростатик майдонда заряд кучирилганда майдон кучлари бажарадиган ишни тушинтириб бера олади.
- 1.2. Потенциаллар тушинчасини айтиб бера олади.
- 1.3. Потенциаллар фаркини таърифлай олади.
- 1.4. Зарядланган жисмлар хосил килган электростатик майдон потенциалини хисоблашни билади.

Масалалар ечиш тартиби:

1-масала: Электрон тезлаткич электр майдонда $\varphi - \varphi_2 = 2 \cdot 10^6 \text{ В}$ потенциаллар айирмасини учиб утганда кандай $W_{\text{кин}}$ кинетик энергияга ва кандай v тезликка эга булади? Электроннинг массаси $m = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$, заряди $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, га тенг.

Берилган: $\varphi_1 - \varphi_2 = 2 \cdot 10^6 \text{ В}$, $m = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$, $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$,

Топиш керак: $W_{\text{кин}} = ?$ $\mathcal{E} = ?$

Ечилиши. Электроннинг электр майдонда силжиганда бажарган иши йулнинг шаклига боглик булмасдан майдоннинг бошлангич ва охириги потенциаллари айирмаси билан аникланади, яъни $A = e(\varphi_1 - \varphi_2)$ булади. Бу

бажарилган иш электроннинг олган кинетик энергияси $W_{\text{кин}} = \frac{m\mathcal{E}^2}{2}$ га тенг:

$$W_{\text{кин}} = \frac{m\mathcal{E}^2}{2} = e(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Бунда электроннинг кинетик энергияси ва олган тезлиги куйидагига тенг:

$$W_{\text{кин}} = e(\varphi_1 - \varphi_2) \text{ ва } \mathcal{E} = \sqrt{\frac{2e(\varphi_1 - \varphi_2)}{m}}.$$

Сон кийматларини урнига куйиб хисоблаймиз:

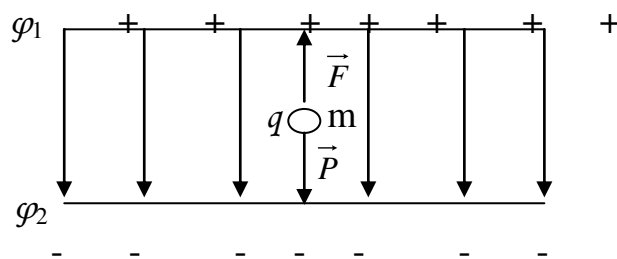
$$W_{\text{кин}} = e(\varphi_1 - \varphi_2) = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 2 \cdot 10^6 \text{ В} = 3.2 \cdot 10^{-13} \text{ Ж},$$

$$\mathcal{E} = \sqrt{\frac{2e(\varphi_1 - \varphi_2)}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 2 \cdot 10^6 \text{ В}}{9.1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1.6}{9.1} \cdot 10^{18} \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}} = \sqrt{0.703 \cdot 10^{18} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}} =$$

$$0.84 \cdot 10^9 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 8.4 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

жавоби. $W_{\text{кин}} = 3.2 \cdot 10^{-13} \text{ Ж}; \mathcal{E} = 8.4 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$

2-масала. Иффэ тажрибасидан турли ишорали зарядланган параллел пластинкалар орасидаги бир жинсли электр майдондаги чанг заррачасининг



1- рамс.

массаси $m = 10 \cdot 10^{-8} \text{ г}$ Пластинкалар орасидаги потенциаллар фарки $\varphi_1 - \varphi_2 = 500 \text{ В}$ масофа эса $d = 10 \text{ см}$. Агар чанг заррачаси электр майдонида муаллах ҳолатда бўлса, унинг q заряди топилсин.

Берилган: $m = 1 \cdot 10^{-11} \text{ кг}$, $d = 0.1 \text{ м}$, $\varphi_1 - \varphi_2 = 500 \text{ В}$, $g = 9.8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

Топиш керак: $q = ?$

Ечилиши: Зарядланган чанга огирлик кучи майдони $\vec{P} = \overrightarrow{mg}$ куч билан, электр майдони эса $\vec{F} = q\vec{E}$ куч билан таъсир этади. Огирлик кучи $\vec{P}$ ни мувозанатлаш учун $\vec{F}$ электр кучи тик юкорига йуналган бўлиши, яъни чанг заррачасининг заряди манфий бўлиши керак. Бир жинсли майдон учун $E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}$ бўлиб, $F = q \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}$ бўлади. Мувозанат шартига кура $P = F$ бўлгани учун,

$$q \cdot \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} = mg.$$

Бундан изланаётган заррачанинг заряди куйидагига тенг бўлади:

$$q = \frac{mgd}{\varphi_1 - \varphi_2}.$$

Сон кийматларни урнига куйиб, куйидагини топамиз.

$$q = \frac{mgd}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{1 \cdot 10^{-11} \text{ кг} \cdot 9.8 \text{ м/с}^2 \cdot 0.1 \text{ м}}{500 \text{ В}} = 1.96 \cdot 10^{-14} \frac{\text{Ж}}{\text{В}} = 1.96 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Кл} \cdot \text{В}}{\text{В}} = 1.96 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}.$$

Жавоби: $q = 1.96 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}$.

2-масала. Хар бири $\varphi_0 = 25 \text{ В}$ гача зарядланган $N = 64$ та бир хил шарсимон симоб томчиларининг кушилишидан ҳосил бўлган катта симоб томчисининг φ топенциали топилсин.

Берилган: $\varphi_0 = 25 \text{ В}$, $N = 64$.

Топиш керак: $\varphi = ?$

Ечилиши. Хар бир кичик томчининг радиуси r ва заряди q_0 бўлсин, бир текис зарядланган шарнинг электр майдони шар марказига жойлашган ҳудди шундай микдордаги нуктавий заряднинг электр майдонидек бўлади. Бинобарин, зарядланган шарсимон томчининг сиртидаги потенциал

$\varphi_0 = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}$, булиб, заряди эса $q_0 = 4\pi\epsilon_0\epsilon r\varphi_0$ булади. У вақтда N та томчидан ташкил топган R радиусли катта томчининг заряди $Q = Nq_0$ га тенг булади. Катта томчининг сиртидаги потенциал $\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon R} = \frac{Nq_0}{4\pi\epsilon_0\epsilon R}$ булиб, q_0 ифодаси юкорида олиб келиб, урнига куйилса,

$$\varphi = \frac{N4\pi\epsilon_0\epsilon r\varphi_0}{4\pi\epsilon_0\epsilon R} = \varphi_0 N \frac{r}{R}.$$

булади. Бундаги $\frac{r}{R}$ нисбатни томчилар хажмлари нисбатидан осонгина аниқланади. Катта томчининг $V_R = \frac{4}{3}\pi R^3$ хажми N та кичик томчининг $V_r = \frac{4}{3}\pi r^3$ хажми йигиндисига тенг, яъни $\frac{4}{3}\pi R^3 = N \frac{4}{3}\pi r^3$ Бундан $\frac{r}{R} = \frac{1}{\sqrt[3]{N}}$ булгани учун охириги натижа куйидагига тенг булади;

$$\varphi = \varphi_0 N \frac{r}{R} = \varphi_0 \frac{N}{\sqrt[3]{N}}.$$

масалада берилган сон кийматларини урнига куйиб ҳисобланса, куйидаги келиб чиқади:

$$\varphi = \varphi_0 \frac{N}{\sqrt[3]{N}} = 25B \frac{64}{\sqrt[3]{64}} = 25B \frac{64}{4} = 25B \cdot 16 = 400B.$$

Жавоби: $\varphi = 400B$.

Керакли адабиётлар:

1. В.С. Волькенштейн «Умумий физика курсидан масалалар туплами». Тошкент, 1969й
2. М.С. Цедрик. «Умумий физика курсидан масалалар туплами». Тошкент. 1991 йил.

Амалий машгулот буйича мустақил иш топшириклари.

1. [1] адабиётдан 9- бўлимдан 63,69, 71,74
2. [2] адабиётдан 17-бўлимдан 44,46,47 масалаларни ечинг

5- мавзу: Электр майдонидаги утказгич. Утказгичдаги зарядларнинг мувозанати. Ташки электр майдонидаги утказгичлар. Электр сигими.

Конденсаторлар ва уларнинг сигими. Конденсаторлар сигимини ҳисоблашнинг хусусий ҳоллари. Конденсаторларни электр занжирига улаш усуллари.

Асосий саволлар:

1. Утказгичлардаги зарядларнинг мувозанати.
2. Ташки электр майдонига киритилган утказгичларда юз берадиган узгаришлар.
3. Электр сигими. Конденсаторлар ва уларнинг сигими.
4. Конденсаторлар сигимини ҳисоблашнинг хусусий ҳоллари.
5. Конденсаторларни электр занжирига улаш усуллари.

Мавзуга оид таянч тушунча ва иборалар:

Утказгичлар, зарядлар мувозанати, ташки электр майдон, электр сигими, фарада, конденсатор, ясси шар, цилиндрик конденсатор, параллел улаш, кетма-кет улаш.

Асосий саволларга оид муаммолар:

- Каттик жисмларда (утказгичларда) зарядларнинг таксимотини тушунтириш;
- Электр майдонига киритилган утказгичларда заряд таксимотини узгаришини тушунтириш;

Асосий саволлар буйича дарснинг максади:

1. Одаттаги нормал ҳолатда каттик жисмлардаги зарядларнинг мувозанати ҳақида тушинтириш;
2. Электр майдонига киритилган утказгичларда зарядлар мувозанати узгариши ҳақида тушунча бериш;
3. Утказгичларнинг зарядланишини тушинтириш;
4. Утказгичларни электр сигимини тушунтириш;
5. Оддий конденсаторлар ва уларнинг сигими ҳақида тушунча бериш;
6. Узгармас ва узгарувчан сигимнинг конденсаторлар ҳақида тушунтириш;

Идентив укув мақсадлари:

- 5.1 Утказгичлардаги зарядларни таксимотини тушунтириб бера олади.
- 5.2 Электр майдонига киритилган утказгичларда заряд таксимоти узгаришини тушунтира олади.
- 5.3 Утказгичларнинг электр сигимини айтиб бера олади.
- 5.4 Конденсаторлар ва уларнинг сигими ҳамда турлари ҳақида тушунча бера олади.

Асосий саволлар баёни:

Утказгичнинг эркин электронларга эга булган жисм эканлигини ва бу электронларнинг зарядларини утказгичнинг кристалл панжараси билан боғланган мусбат зарядлар компенсациялаб туришини айтиб утган эдик. Муайян йуналишдаги электр кучлар таъсирида утказгичдаги эркин электронлар шу кучлар йуналишида тезлик (тезлик ташкил этувчиси) олиши ва, демак, зарядларнинг кучиши –электр ток вужудга келтириши мумкин. Агар электростатик масалалар билан чекланилса, у ҳолда зарядларнинг мувозанат шартини аниклаш керак. Электростатик майдон кучланганлигининг нолга тенг булиши утказгич ичида зарядларнинг мувозанатда туриши учун зарур шартдир. Майдон кучланганлиги нолга тенг булмаганда электр кучлари ҳосил булади ва электронларнинг йуналган кучишини вужудга келтиради. Демак, масала электростатик характерда булиши учун

$$E = 0 \quad (1)$$

шарт бажарилиши керак. Шу билан бирга, бу шарт утказгич ичидаги барча нукталарда ҳам бажарилиши керак.

(1) шартдан шу нарсга келиб чиқадики, зарядланган утказгичда компенсацияланмаган зарядлар фақат утказгич сиртидагина жойлаша оладилар. Буни исбот килиш учун утказгич ичида бирор хажмни чегараловчи

ихтиёрий сиртга Остроградский-Гаусс теоремасини тадбик киламиз. Сирт утказгич ичида утказилгани сабабли бу сиртнинг барча нукталарида электростатик майдон кучланганлиги (1) га мувофик нолга тенгдир. Демак, сиртдан утувчи кучланганлик оками нолга тенг, шу сабабли курилайтган сирт ичида жойлашган умумий заряд ҳам нолга тенгдир. Сирт ихтиёрий булгани учун бундай натижани утказгич ичидаги хар кандай участкада заряд нолга тенг булади. Зарядланган утказгичда зарядлар факат утказгич сиртидагина жойлашади.

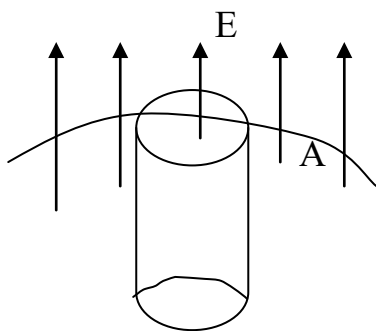
Утказгичнинг ички қисмларида зарядларнинг булмаслиги Остроградский-Гаусс теоремасидан келиб чиқадиган натижадир. Бу теорема уз навбатида нуктавий зарядлар орасидаги масофа квадратига тескари пропорционал эканлигини натижаси сифатида чиқарилади. Агар Кулон конунининг

$$f = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

ифодасида r нинг курсаткичи 2 га эмас, кандайдир бошка n сонга тенг булганда, утказгичнинг ички қисмларида ҳам зарядлар таксимланган булади. Шундай қилиб, утказгичнинг ички қисмларида зарядларнинг булмаслиги Кулон конунининг тугрилигини бевосита тасдиқлайди.

Утказгич ичида майдон кучланганлиги нолга тенг булгани учун утказгичнинг узи доимий потенциалли соҳа булади. Хақиқатдан ҳам, кучланганликнинг сон қиймати потенциалнинг сатҳлар сиртига нормал булган узунлик бирлигидаги узғаришига тенгдир. Бундан утказгичнинг барча нукталарида майдон нолга тенг булгани учун утказгичнинг барча нукталарида потенциал узғариши ҳам нолга тенг булади; демак, потенциалнинг қиймати доимийдир: шундай қилиб **утказгичнинг ичидаги ва унинг сиртидаги барча нукталарининг потенциали бир хил булади.**

Бундан утказгичнинг сирти потенциал сатҳлари сирти булиши бевосита келиб чиқади. Электростатик майдон кучланганлиги хар бир нуктада потенциал сатҳлари сиртига нормал булгани учун **утказгичнинг ташқарида утказгичнинг сирти яқинидаги электростатик майдон кучланганлиги унинг сиртига нормал булади.**



1- расм.

Утказгич сирти яқинида электростатик майдон кучланганлиги билан утказгич сиртидаги зарядларни сирт зичлиги орасида муайян боғланиш бор. Остроградский-Гаусс теоремасидан фойдаланиб, бу боғланишни аниқлаймиз.

Зарядланган A утказгич сиртида кичик ΔS соха оламиз. Бу сохада заряднинг сирт зичлиги доимий ва σ тенг деб олайлик. У хода бу сохада тугри келган q заряд куйидагига тенг булади:

$$q = \sigma \cdot \Delta S \quad (1)$$

Фикран кичик берк цилиндрик S сирт утказамиз. Бу сиртнинг ясовчилари утказгич сиртига нормал, ΔS_1 ва ΔS_{11} асослари эса ΔS параллел булсин. Остроградский-Гаусс теоремасига асосан S берк сиртни кесиб утувчи кучланганлик чизиклари сони $4\pi q$ га тенг. Утказгичнинг ΔS_{11} асос утадиган ички кисмида майдон кучланганлиги $E=0$. ён сирти эса E га параллел булгани учун $4\pi q$ кучланганлик чизикларининг хаммаси ΔS_1 асос билан чегараланган майдон кучланганлигини E билан белгилаб, куйидагини хосил киламиз.

$$E \cdot \Delta S_1 = 4\pi q$$

(1) муносабатдан фойдаланиб ва $\Delta S_1 = \Delta S$ эканини хисобга олсак:

$$E = 4\pi\sigma \quad (2)$$

(2) тенгликдан утказгич сирти якинида электростатик майдон кучланганлиги зарядниг сирт зичлигига тугри пропорционал эканлиги куриниб турибди.

Утказгич сиртида дунгликлар (чикиклар) булган холларда утказгич якинидан утувчи потенциал сатхи сиртлари дунгликлар олдида бир-бирларига якин жойлашган булади. Бу сохаларда узунлик бирлигида потенциал узгариши купрок булгани учун майдон кучланганлиги хам каттарок булади. Шундай килиб, дунгликлар якинида электр майдон кучланганлиги каттарок ва, демак, утказгичнинг дунгликларида зарядларнинг сирт зичлиги хам каттарок булади. Шунга мувофик жисм сиртидаги зарядларнинг зичлиги дунглик якинида энг катта ва ботикликда энг кичик кийматга эгадир.

Утказгичларнинг *электр сизими* ёки оддий килиб айтганда, *сизими* деб юритиладиган жуда мухим хоссасини текширайлик. Тажриба курсатишича, бир хил микдордаги электр билан зарядланган турли утказгичлар турлича потенциал оладилар. Бунга уларнинг *сизим* деб аталадиган катталики билан характерланувчи физик хусусиятларининг турлича эканлиги сабабидир.

Утказгичнинг сизими унинг атрофидаги жисмларнинг жойлашишига боглик булади. Шунинг учун дастлаб яккаланган утказгичнинг, яъни ёнида ундаги зарраларнинг таксимланишига таъсир курсата оладиган хеч кандай бошка жисм булмаган утказгичнинг сизими тушунчасини аниклаймиз. Яккаланган утказгичдаги зарядни бирор сон марта орттирганда майдон кучланганлиги хам, ва демак, зарядни утказгичдан чексизликка кучиришда бажарилган иш хам шунча марта ортади, шу сабабли бундай утказгичнинг V потенциали Q заряд микдорига пропорционалдир:

$$Q = CV \quad (1)$$

Пропорционаллик коэффиценти C утказгичнинг шакли ва катталигига боглик булиб, утказгичнинг *сизими* дейилади. (1) тенгликдан куйидагини топамиз:

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2)$$

Бу муносабатни курсатишича, яккаланган утказгичнинг сигими сон жихатдан дастлаб зарядланмаган утказгичка унинг потенциали бирга тенг булган киймат олиши учун ($V=1$ да $C=Q$) бериш зарур булган электр микдорига тенг булган физик катталиқдир. Шу билан бирга, потенциал ифодасидаги аниқмас доимий утказгичдан чексиз узокдаги нукталарнинг потенциаллари нолга тенг буладиган қилиб танланган деб ҳисоблаймиз.

Бирликларнинг халқаро системасида сигимнинг бирлиги қилиб шундай утказгичнинг сигими олиндики, бу утказгичнинг заряди бир кулонга оширилганда унинг потенциали бир вольтга ортади. Бундай бирлик фарада дейилади. Сигимнинг CGSE бирлиги билан фарада орасида қуйидаги боғланиш бор;

$$1\text{фарада} = \frac{1\text{кулон}}{1\text{вольт}}$$

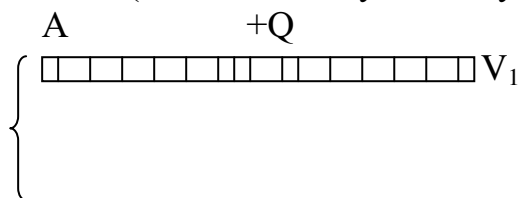
Фарада сигимнинг гоят катта бирлиги эканлиги равшандир. Ҳақиқатан ҳам, бу $9 \cdot 10^{11}$ см яъни 9 миллион километр (ер шари радиусидан 1400 катта) радиусли яккаланган шарнинг сигимидир. Шунинг учун амалда сигим бирлиги сифатида фарада билан бир каторда микрофарада деб аталадиган кичик бирлик ҳам ишлатилади. Микрофарада фараданинг миллиондан бир улишига тенг. Радиуси 9 км, яъни хали ҳам жуда ката яккаланган шарнинг сигими бир микрофарада булади.

Утказгичнинг сигими шу утказгич атрофидаги жисмларга боғлиқдир. Ҳақиқатдан ҳам, утказгичнинг сигими утказгич зарядининг унинг потенциалига нисбати билан улчанадиган физик катталиқдир. Утказгичнинг потенциали эса ундаги зарядгагина боғлиқ булмасдан, утказгични ураб турган барча жисмларнинг зарядига ҳам боғлиқдир. Олинган утказгични ураб турган жисмлар хатто дастлаб зарядланмаган булсалар ҳам, текшириладиган утказгични зарядланаётган вақтда улар таъсир орқали зарядланади ва текшириладиган утказгичдаги потенциални узгартиради. Бу ҳолда сигим тушунчасини умумлаштириш табиийдир. Бунинг учун динамик масалаларга ҳам яроқли булган

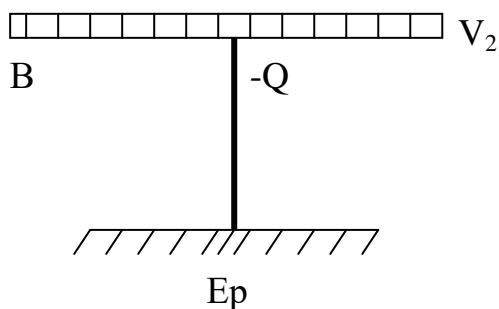
$$C = \frac{dQ}{dV}$$

таърифни киритиш керак; сигим утказгич заряди орттирмасининг унинг потенциали орттирмасига бу орттирмалар нолга интилгандаги нисбати билан, яъни утказгич зарядидан унинг потенциали бўйича олинган ҳосила билан аниқланади. Бирок шундай утказгичлар системасини тузиш мумкинки, амалда уларнинг сигими атрофдаги жисмларга боғлиқ булмайди; бунинг учун система ташки жисмлар таъсиридан химоя қилинган бўлиши зарур. Конденсаторлар шундай системаларнинг мисоли була олади.

Ясси конденсатор деб аталувчи конденсаторлар узаро параллел А ва В иккита пластинкадан иборат; бу пластинкалар узларининг улчамларига нисбатан кичик d масофада жойлашган (3-расм). Пластинкалар оралиги бушлиқ деб (амалда ҳаво бўлиши мумкин) оламиз.



а



3- расм.

В пластинка ерга уланган булсин. Иккинчи А пластинкага $+Q$ заряд берилса, электрстатик индукция туфайли В пластинкада $-Q$ заряд вужудга келади (унга тенг булган $+Q$ заряд ерга утиб кетади ва кейингиси хеч кандай роль йунамайди). Ерга уланган В пластинка E_r потенциалини олади, бу потенциални V_2 билан белгилаймиз. У холда А пластинка бирор V_1 потенциал олади, бу потенциалнинг киймати факат Q заряднинг катталиги билан В пластинканинг V_2 потенциалига богликдир. Зарядланган боша жисмлар V_1 потенциалга ва, демак, С конденсатор сигими таъсир курсата олмайди. Чунки $+Q$ ва $-Q$ зарядларнинг майдони факат А ва В пластинкалар оралигига тупланган ва шунинг учун у бошка ташки жисмларда индукция зарядлари вужудга келтира олмайди.

Конденсаторнинг С сигими деб пластинкалардан биридаги (мусбат пластинкадаги) заряднинг пластинкалар орасидаги потенциаллар айирмасига нисбати билан улчанадиган катталиikka айтилади:

$$G = \frac{Q}{V_1 - V_2},$$

бунда $V_1 > V_2$ деб олади.

Ясси конденсаторнинг сигимини унинг улчамларини характерловчи катталиклар оркали ифодалайди. Пластинкаларнинг улчамлари улар орасидаги масофага нисбатан жуда катта булгани учун пластинкалар орасидаги майдон кучланганлиги катталиклари бир хил, бироқ карама-карши ишорали зарядланган иккита чексиз текисликлар орасидаги майдон каби булади. Айтилганларга кура, пластинкалар орасидаги майдон кучланганлиги E куйидагига тенг булади:

$$E = 4\pi\sigma,$$

Бунда σ - зарядларнинг сиртий зичлиги. Битта пластинканинг юзини S билан белгиласак, $\sigma = \frac{Q}{S}$ ва

$$E = 4\pi \frac{Q}{S},$$

булади, бунда

$$Q = \frac{ES}{4\pi}. \quad (4)$$

Майдон кучланганлиги E ни потенциаллар айирмаси $V_1 - V_2$ оркали ифодалайлик.

$$E = \frac{V_1 - V_2}{d}.$$

Е нинг бу кийматини (4) формулага куйиб, куйидагини топамиз:

$$Q = \frac{(V_1 - V_2)S}{4\pi d}.$$

Бу тенгликдан ва (3) формуладан фойдалансак, ясси конденсаторнинг сигими С куйидагича ифодаланади.:

$$C = \frac{Q}{V_1 - V_2} = \frac{S}{4\pi d}. \quad (5)$$

(5) формуладан курунишича, ясси конденсаторнинг сигими пластинканинг юзи S га пропорционал ва пластинкалар орасидаги масофа d га тескари пропорционалдир. Пластинкалар бир-бирига канча якин жойлаштирилса, улар хосил килган конденсаторнинг сигими шунча катта булади. Кейинчалик биз конденсаторнинг пластинкалари оралигини бирор утказмайдиган (диэлектрик) мухит билан тулдирганда унинг сигими кандай узгаришини курамиз.

5-Амалий машгулот: Электр сигими. Конденсаторлар. Конденсаторлар сигимини хисоблашнинг хусусий холлари. Конденсаторларни электр занжирига улаш усуллари ва уларнинг сигими.

Дарсинг максдаи: Электр сигими, конденсаторлари сигими, хар хил шаклдаги зарядланган жисмларнинг электр сигимини хисоблаш ва конденсаторларни электр занжирига улаш усуллари хакида олинган билимларини мустахкамлаш.

Идентив укув максадлари:

- 1.1. Зарядланган утказгичларнинг сигимини **таърифлай** олади.
- 1.2. Конденсаторларни тушунтириб бера олади.
- 1.3. Электр сигимларни хисоблашнинг хусусий холларини билади.
- 1.4. Конденсаторларни электр занжирига улаш усулларини билади.

Масалалар ечиш тартиби:

1-масала: $U_1=20$ В потенциаллар фаркигача зарядланган конденсаторни $C_2=33$ мкФ сигими $U_2=4$ В потенциаллар фаркигача зарядланган бошка конденсаторга параллел уланган. Агар конденсаторлар улангандан кейин уларнинг копламларидаги кучланиш $U=2$ В булса, биринчи конденсаторнинг C_1 сигими топилсин. Конденсаторлар хар хил ишорали зарядланган копламлари билан узаро уланган.

Берилган: $U_1=20$ В, $C_2=33$ мкФ, $U_2=4$ В, $U=2$ В.

Топиш керак: $C_1=?$

Ечилиши: Турли ишорали зарядланган копламлари билан уланган конденсатор батареясидаги $q=C\mathcal{U}$ умумий заряд хар бир конденсаторнинг $q_1=C_1 U_1$ ва $q_2=C_2 U_2$ зарядлар фаркига тенг. Унда $C=C_1+C_2$ улангандан кейинги умумий сигим. Шундай килиб, агар $q_1 > q_2$ булса, $(C_1+C_2)U=C_1U_1-C_2U_2$ ва агар $q_2 > q_1$ булса, $(C_1+C_2)U=C_2U_2-C_1U_1$ булади. Бу тенгламаларни ечиб, биринчи ва иккинчи холда куйидаги муносабатларни оламиз:

$$C_1 = C_2 \frac{U_2 + U}{U_1 - U} \quad C_1 = C_2 \frac{U_2 - U}{U_1 + U}.$$

Сон кийматларни урнига куйиб хисоблаймиз:

$$C_1 = C_2 \frac{U_2 + U}{U_1 - U} = 33_{\text{мкФ}} \frac{4B + 2B}{20B - 2B} = 33_{\text{мкФ}} \frac{6B}{18B} = 11_{\text{мкФ}}.$$

$$C_1 = C_2 \frac{U_2 - U}{U_1 + U} = 33_{\text{мкФ}} \frac{4B - 2B}{20B + 2B} = 33_{\text{мкФ}} \frac{2B}{22B} = 3_{\text{мкФ}}.$$

Жавоби: $C_1 = 11_{\text{мкФ}}$, $C_2 = 3_{\text{мкФ}}$.

2- масала: Радиуслари $R_1 = 10\text{см}$ ва $R_2 = 5\text{см}$ булган $\varphi_1 = 20\text{В}$ ва $\varphi_2 = 10\text{В}$ потенциалларгача зарядланган металл шарлар ингичка утказгич билан туташтирилган конденсаторда кайта таксимланган q_1^1 ва q_2^1 зарядлар ҳамда уларнинг σ_1^1 ва σ_2^1 сирт зичликлари топилсин.

Берилган: $R_1 = 0,1\text{м}$, $R_2 = 0,05\text{м}$, $\varphi_1 = 20\text{В}$, $\varphi_2 = 10\text{В}$, $\varepsilon = 1$,

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \text{Ф/м} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{Ф/м}.$$

Топиш керак: $q_1^1 = ?$, $q_2^1 = ?$, $\sigma_1^1 = ?$, $\sigma_2^1 = ?$.

Ечилиши: Шарларнинг дастлабки зарядлари $q_1 = C_1 \varphi_1 = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon R_1 \varphi_1$, $q_2 = C_2 \varphi_2 = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon R_2 \varphi_2$ ва улангандан кейин эса $q_1^1 = C_1 \varphi = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon R_1 \varphi$, $q_2^1 = C_2 \varphi = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon R_2 \varphi$ булади. Шарларнинг улангандан кейинги умумий потенциали φ зарядларнинг сакланиш конунига асосан аникланади: $q_1^1 + q_2^1 = q_1 + q_2$ дан $4\pi\varepsilon_0\varepsilon (R_1 + R_2)\varphi = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon (R_1 \varphi_1 + R_2 \varphi_2)$.

Келиб чиккан ифодадан φ куйидагига тенг:

$$\varphi = \frac{R_1 \varphi_1 + R_2 \varphi_2}{R_1 + R_2}.$$

У вақтда узаро улангандан кейинги шарлардаги зарядлар куйидагига тенг:

$$q_1^1 = C_1 \varphi = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon R_1 \frac{R_1 \varphi_1 + R_2 \varphi_2}{R_1 + R_2},$$

$$q_2^1 = C_2 \varphi = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon R_2 \frac{R_1 \varphi_1 + R_2 \varphi_2}{R_1 + R_2}.$$

Сон кийматларини урнига куйиб, хисоблаймиз:

$$q_1^1 = 4\pi \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\text{Ф}}{\text{м}} 0,1\text{м} \frac{0,1\text{м} \cdot 20\text{В} + 0,05\text{м} \cdot 10\text{В}}{0,1\text{м} + 0,05\text{м}} = 1,85 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}.$$

$$q_2^1 = 4\pi \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\text{Ф}}{\text{м}} 0,05\text{м} \frac{0,1\text{м} \cdot 20\text{В} + 0,05\text{м} \cdot 10\text{В}}{0,1\text{м} + 0,05\text{м}} = 0,93 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}.$$

Улангандан кейин шардаги зарядларнинг сирт зичликлари куйидаги ифодалардан аникланади:

$$\sigma_1^1 = \frac{q_1^1}{S_1} = \frac{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R_1}{4\pi R_1^2} \frac{R_1 \varphi_1 + R_2 \varphi_2}{R_1 + R_2} = \frac{\varepsilon_0\varepsilon (R_1 \varphi_1 + R_2 \varphi_2)}{R_1 (R_1 + R_2)},$$

$$\sigma_2^1 = \frac{q_2^1}{S_2} = \frac{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R_2}{4\pi R_2^2} \frac{R_1 \varphi_1 + R_2 \varphi_2}{R_1 + R_2} = \frac{\varepsilon_0\varepsilon (R_1 \varphi_1 + R_2 \varphi_2)}{R_2 (R_1 + R_2)}.$$

Сон кийматларини урнига куйиб, хисоблаймиз:

$$\sigma_1^1 = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}} \cdot 1 \cdot (0,1\text{м} \cdot 20\text{В} + 0,05\text{м} \cdot 10\text{В})}{0,1\text{м}(0,1\text{м} + 0,05)} = 14,75 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2},$$

$$\sigma_2^1 = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}} \cdot 1(0,1\text{м}20\text{В} + 0,05\text{м}10\text{В})}{0,05\text{м}(0,1\text{м} + 0,05\text{м})} = 29,75 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}.$$

$$\text{Жавоби. } q_1^1 = 1.85 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}, q_2^1 = 0.93 \cdot 10^{-10} \text{ Кл},$$

$$\sigma_1^1 = 14,75 \times 10^{-10} \text{ Кл/м}^2, \sigma_2^1 = 24,5 \cdot 10^{-19} \text{ Кл/м}^2.$$

3-масала: Ясси конденсатор копламларининг ораси бирдай $d = 0.5\text{мм}$ калинликдаги шиша ($\varepsilon_1 = 7$), слюда ($\varepsilon_2 = 6$) ва парафинланган когоз ($\varepsilon_3 = 2$) дан иборат диэлектриклар билан тулдирилган. Агар конденсатор копламларининг юзи $S = 200\text{см}^2$ булса, конденсаторнинг электр сизими C топилсин.

Берилган: $d = 0.5\text{мм} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}, S = 200\text{см}^2 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2, \varepsilon_1 = 7, \varepsilon_2 = 6, \varepsilon_3 = 2,$
 $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \Phi / \text{м}.$

Топиш керак: $C = ?$

Ечилиши. Агар ясси конденсатор копламларига параллел килиб юпка металл пластинка киритилса, у холда унинг сиртларида тенг катталиқдаги карама-карши ишорали заряд пайдо булади. Шунинг учун ҳам, копламлари орасида диэлектрик пластинкалари булган конденсаторнинг электр сизимини бу пластинка сиртларига юпка металл катламлар силжиган деб фараз килиб аниклаш мумкин. Бу холда узаро кетма-кет уланган конденсатор хосил килиб, уларнинг электр сизимлари $C_1 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 S}{d}; C_2 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_2 S}{d}; C_3 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_3 S}{d}$. булгани учун конденсаторнинг умумий электр сизими:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{d}{\varepsilon_0 S} \left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} + \frac{1}{\varepsilon_3} \right).$$

Бундан

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 S}{(\varepsilon_1 \varepsilon_2 + \varepsilon_1 \varepsilon_3 + \varepsilon_2 \varepsilon_3) d}.$$

Сон кийматларини урнига куйиб, хисоблаймиз:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 S}{(\varepsilon_1 \varepsilon_2 + \varepsilon_1 \varepsilon_3 + \varepsilon_2 \varepsilon_3) d} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}} \cdot 7 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2}{(7 \cdot 6 + 7 \cdot 2 + 6 \cdot 2) 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}} =$$

$$= \frac{8,85 \cdot 168 \cdot 10^{-14} \Phi}{0,8 \cdot 5 \cdot 10^{-4}} = 437 \cdot 10^{-12} \Phi = 437 \text{ пФ}.$$

Жавоби. $C = 437 \text{ пФ}$.

Керакли адабиётлар:

1. В.С. Волькенштейн «Умумий физика курсидан масалалар туплами» Тошкент, 1969 й
2. М.С.Цедрик «Умумий физика курсидан масалалар туплами» Тошкент. 1991 йил.

Амалий машгулот буйича мустакил иш топшириклари.

1. [1] адабиётдан 9-булимдан 81,87,90

2. [2] адабиётдан 17-булим 70,75,80,82 масалаларни ечинг

Муҳокама учун саволлар:

- 5.1 Моддаларда одатдаги шароитда зарядлар тақсимоти қандай тушинтирилади?
- 5.2 Ташки электр майдониға киритилган моддаларда зарядлар тақсимоти қандай ўзгаради?
- 5.3 Электр сигими молекуляр сигимдан нимаси билан фарқ қилади?
- 5.4 Ўтказгичлар (конденсаторлар) сигими қандай тушинтирилади?
- 5.5 Конденсаторларни электр занжирига улашнинг қандай усуллари бор?

Мавзу бўйича ечимни қутаётган илмий муоммолар:

1. Моддаларда, хусусан ўтказгичларда зарядлар тақсимотини ўзгариши қонуниятини тушунтириш муоммолари.
2. Моддаларнинг зарядланишида ва разрядланишида зарядлар тақсимотини ўзгариш қонуниятини тушинтириш муоммолари.
3. Катта сигимли конденсаторлар яратиш ва улардан самарали фойдаланиш усулини яратиш муоммолари.

6-мавзу: Зарядлар системасининг энергияси. Электр майдон энергияси. Энергия зичлиги.

Асосий саволлар:

1. Электр зарядининг энергияси. Зарядлар системасининг энергияси.
2. Электр майдон энергияси.
3. Энергия зичлиги.

Мавзуга оид таянч тушинча ва иборалар:

Система, энергия, система энергияси, майдон энергияси, энергия характери, потенциал характери, энергия зичлиги, энергия тақсимоти.

Асосий саволларга оид муаммолар;

- Электр заряди ва зарядлар системаси ҳосил қилган майдонни қурғазмалли намоиш этиш ва майдон энергиясини тушунтириш;
- Майдон энергиясини тасаввур этиш ва уни тушунтириш;
- Энергия зичлигини бевосита қўзатиш ёрдамида тушунтириш;

Асосий саволлар бўйича дарснинг мақсади:

- 1.1. Электр зарядининг энергияси тугрисида тушунча бериш;
- 1.2. Зарядлар системаси ва уларнинг энергияси тугрисида тушунча бериш;
- 1.3. Яқкаланган ўтказгич ва конденсаторлар ҳосил қилган электростатик майдон энергияси тугрисида тушунча бериш;
- 1.4. Электростатик майдон энергияси зичлиги тугрисида тушунча бериш;

Идентив ўқув мақсадлари:

- 1.1. Электр заряди ҳосил қилган электростатик майдон энергиясини тушинтириб бера олади.
- 1.2. Зарядлар системаси ва уларнинг электр майдон энергиясини тушунтира олади.

- 1.3. Яккаланган утказгич ва конденсаторлар хосил килган электростатик майдон энергиясини тушунтириб бера олади.
- 1.4. Электростатик майдон энергиясининг зичлигни тушунтириб бера олади.

Асосий саволнинг баёни:

Зарядланган жисмларнинг ҳар қандай системасини ҳосил қилишда ҳам иш бажарилади, чунки зарядлар Кулон қонунига мувофиқ узаро таъсирлашади ва уларни тегишли уринларга жойлаштириш учун иш бажариш керак бўлади. Бу иш қандайдир ташқи кучлар томонидан қандайдир ташқи энергия манбалари ҳисобига, масалан, жисмларни зарядлаётган гальваник элементдаги химиявий процесслар энергияси ҳисобига бажарилиши керак. Энергиянинг сақланиш қонунига қура, системага таъсир этувчи ташқи кучларнинг бажарган иши система энергиясининг узғаришини билдиради. Шундай қилиб, зарядланган жисмлар системанинг маълум энергияси бўлади. Агар жисмлар шундан кейин зарядланса, ёки кучса уларнинг электр энергияси қайтадан қисман ёки тула равишда энергиянинг бошқа турларига айланади.

Мисол тариқасида бир-биридан r масофада V_1 ва V_2 нукталарда турган q_1 ва q_2 иккита нуктавий заряддан иборат системанинг электр энергиясини ҳисоблаймиз. Бунинг учун q_1 ва q_2 зарядларни чексиз узокдаги соҳалардан берилган V_1 ва V_2 нукталарга қучириш учун ташқи кучларнинг сарфлаган ишини ҳисоблаш қифоя: бу соҳаларда зарядлар орасидаги узаро таъсир қучи нолга тенг бўлади; бунда q_1 ва q_2 зарядларни берилган деб ҳисоблаб, бу зарядни узини вужудга келтиришишни назарга олмаймиз.

q_1 ва q_2 зарядларни чексиз узокликдаги соҳалардан қучириш иши зарядларни қучириш тартибига боғлиқ эмас. Даставвал q_1 зарядни чексизликдан V_1 нуктага келтирайлик. q_2 зарядни ҳали чексизликда турганда q_1 зарядни қучириш иши нолга тенг. Чунки зарядларнинг узаро таъсир қучи нолга тенг. q_1 зарядни V_1 нуктага жойлаштирилгандан кейин q_1 зарядни V_2 нуктага қучирамиз. Бунда сарфланган иш q_2 заряд қатталигининг V_2 нукта билан чексиз узокликдаги нукта орасидаги потенциаллар айирмасига қупайтмасига тенг бўлади. Чексиз узокликдаги нуктанинг потенциали нолга тенг, V_2 нуктадаги потенциали эса q_1 заряд вужудга келтиради. Бу потенциал қурсатилгандек, q_1/r га тенг. Демак, q_1 ва q_2 зарядларни бир-биридан r масофада жойлаштириш учун сарфланадиган A иш қуйидагича тенг бўлади:

$$A = \frac{q_1 q_2}{r}$$

Бу иш иккита нуктавий зарядлар системанинг узаро таъсир энергияси W нинг улчови бўлади:

$$W = \frac{q_1 q_2}{r}$$

q_1 заряднинг V_1 нуктада вужудга келтирилган потенциалнинг V_1 билан ва q_1 заряднинг V_2 нуктада вужудга келтирилган потенциалнинг V_2 билан белгиласак, буларнинг ифодаси қуйидагича бўлади:

$$V_1 = \frac{q_2}{r} ; \quad V_2 = \frac{q_1}{r} ;$$

W энергия ифодасини куйидаги курунишда ёзамиз:

$$W = \frac{q_1 q_2}{r} = \frac{1}{2} \frac{q_1}{r} \cdot q_2 + \frac{1}{2} \frac{q_2}{r} \cdot q_1 \quad (1)$$

бундан

$$W = \frac{1}{2} \cdot q_1 V_1 + \frac{1}{2} q_2 V_2 \quad (1a)$$

ифода келиб чиқади. Зарядлар бир хил ишорали булса, энергиянинг ишораси мусбат, зарядлар турли ишорали булса, энергиянинг ишораси манфий булади.

Энергиянинг (1a) ифодасини бир-биридан муаян масофаларда жойлашган n та заряддан ташкил топган системага осонгина умумлаштириш мумкин; бу энергия q_i зарядлардан хар бирини чексизликдан у жойлашиши керак булган нуктага келтириш учун зарур булган ишларнинг йигиндиси билан ифодаланади. Бунда куйидаги ифода чиқади:

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i v_i, \quad (2)$$

бундан $v_i - i$ дан бошка барча зарядларнинг i -заряд турган жойда вужудга келтирган потенциалли.

Энди зарядли яккаланган утказгичнинг электростатик энергиясини хисоблаймиз. Дастлаб зарядланмаган утказгич маълум Q электр микдори билан зарядланади ва бунда унинг потенциалли киймати V га тенглашади, дейлик.

Утказгичнинг зарядлаш учун иш бажариш керак, бу иш зарядланган утказгич энергиясининг улчови булади; утказгич зарядланганда бу ишни кайтадан олиш мумкин. Зарядлашда бажарилган ишни хисоблайлик.

Утказгичнинг заряди билан унинг потенциалли куйидагича боғланган:

$$Q = CV \quad (3)$$

бунда C-утказгичнинг сизими.

Утказгичнинг зарядлаётганда унинг Q заряди орта боради, заряд билан бирга унинг V потенциалли хам ортади ва бунда улар хамма вақт (3) муносабатни боғлаб туради.

V потенциалнинг Q зарядга боғланиш график равишда координата бошидан утувчи тугри чизик билан тасвирланади.

Утказгичда аввалдан бирор Q заряд бор деб фараз килиб, утказгичга чексизликдан яна чексиз кичик dQ зарядни келтириш учун сарфлаш керак булган dA ишни хисоблайлик. dQ заряд кичик булгани учун уни утказгичга берганда утказгичнинг потенциалли сезиларли узгармайди, деб хисоблаш мумкин. Шунинг учун dA иш dQ заряднинг утказгич билан шартга кура потенциалли нолга тенг булган чексиз узоклашган соха орасидаги потенциаллар айирмасининг купайтмасига тенг булади. Шундай килиб, $dA = VdQ$ булади. Жисмнинг 0 потенциалидан V потенциалгача зарядланганда

барча зарядларни кучиришда бажарилган тула иш барча элементар dA ишларнинг йигиндиси билан, яъни 0 дан V гача олинган интеграл билан ифодаланилади:

$$A = \int_0^V V dQ.$$

(3) ифодадан: $dQ = C dV$ булади, бундан ишнинг ифодаси куйидагича булади:

$$A = \int_0^V C V dV.$$

Жисмнинг сигими C доимий катталиқ булгани учун уни интеграл белгисидан ташкарига чиқариш мумкин, шундай қилсак, куйидагини топамиз:

$$A = C \int_0^V V \cdot dV = \frac{CV^2}{2}$$

Бу иш зарядланган жисмнинг W энергиясини билдиради; зарядланган утказгич энергияси куйидагига тенг булади;

$$W = \frac{CV^2}{2} \quad (4)$$

C сигим (3) муносабатга кура Q заряд ва V потенциал орқали ифодаласак, энергия учун бшқа ифода ҳосил булади:

$$W = \frac{1}{2} QV \quad (4a)$$

ва няхоят, потенциални заряд сигим орқали ифодалаб, зарядланган утказгичнинг энергиясини ифодаловчи учинчи формулани ҳосил қиламиз:

$$W = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C}. \quad (4б)$$

Энергия учун олинган формулаларни зарядланган конденсатор учун ҳам осон умулаштириш мумкин. Пластинкаларни зарядлаш процесси куйидагича амалга оширилади, дейиш мумкин: бошда нейтрал пластинкалар чексиз кичик $+dQ$ электр микдорларни бир пластинкадан иккинчисига кучириш натижасида аста-секин зарядлана боради. Бу кучириш бир пластинканинг мусбат зарядини шунчага камайтиради, ёки, бари-бир, манфий зарядини шунчага оширади. Шундай қилиб, зарядланиш процессида ҳамма вақт иккала пластинкада тенг ва қарама-қарши ишорали электр микдори булади. Бир пластинкадан бошқасига dQ электр микдорини кучириш учун иш бажариш керак. Агар бир пластинканинг потенциали V_1 иккинчисиники V_2 га тенг булса у ҳолда бу иш куйидагича белгиланади.

$$dA = (V_1 - V_2) dQ.$$

Шундай қилиб, dA элементар ишнинг ифодаси ҳам яқка жисмнинг зарядлаш ҳолидаги ифода сингари булади, фақат бу ҳолда V потенциал урнига $V_1 - V_2$ потенциаллар айирмаси қиради. Бундан зарядланган конденсаторнинг тула энергияси ҳам (4а) формула билан ифодаланади, фақат V ни $V_1 - V_2$ га алмаштириш керак.

$$W = \frac{1}{2} Q(V_1 - V_2). \quad (5)$$

Q заряд билан конденсатор сизими орасидаги $Q = C(V_1 - V_2)$ муносабаттан фойдаланиб, бу формулани яна бошқача курунишда ёзамиз.

$$W = \frac{1}{2} C(V_1 - V_2)^2 \quad (5a)$$

шунингдек

$$W = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C} \quad (5b)$$

Учала формулада ҳам зарядланган конденсаторнинг энергияси учта катталиқ (копламлардаги потенциаллар айирмаси $V_1 - V_2$, копламлардаги Q заряд ва C сизим) дан иккитасининг функцияси сифатида ифодаланган.

Электростатик майдон энергияси.

Хосил килинган формулалар ясси конденсатор энергиясини конденсатор копламларини орасидаги электростатик майдони характерловчи катталиқлар орқали ифодалашга имкон беради. Бунинг учун ясси конденсатор пластинкаларидаги Q заряд билан пластинкалар оралигидаги E майдон кучланганлиги орасидаги боғланишдан фойдаланамиз.

$$E = \frac{4\pi Q}{S} \quad (1)$$

бунда S-пластинканинг юзи. Бундан ташқари, копламлардаги потенциаллар айирмаси E майдон кучланганлиги ва конденсатор пластинкалари оралигидаги d масофа билан қуйидагича боғланган:

$$E = \frac{V_1 - V_2}{d} \quad (2)$$

(1) ва (2) формулалардан Q ва $V_1 - V_2$ ларнинг қийматларини конденсатор энергияси ифодасига қуйсак қуйидагини хосил қиламиз:

$$W = \frac{1}{8\pi} E^2 Sd .$$

формула конденсатор энергиясини E майдон кучланганлиги орқали ифодалайди. Шундай қилиб, конденсатор энергиясини икки хил усулда— пластинкаларнинг заряди билан потенциаллари орқали ёки, зарядлар хосил қилган электростатик майдон кучланганлиги орқали ифодалаш мумкин экан.

Энергиянинг майдон кучланганлиги орқали ифодаланиши *электростатик майдоннинг энергияси* бор дейишга, ва демак, *электростатик майдоннинг энергияси* ҳақида гапиришга имкон беради. Бу фикр энергиянинг (3) формулага қура конденсатор пластинкалари орасидаги фазонинг Sd ҳажмига пропорционал эканлиги билан ҳам тасдиқланади. Пластинкалар хосил қилган майдон факат улар орасидаги фазодаги 0 га тенг бўлмайди, шу сабабли Sd қупайтма бир вақтнинг узида биз текшираётган ҳолда майдон тупланган фазонинг ҳажмини билдиради. Шундай қилиб, W энергия майдон эгаллаган фазо ҳажмига пропорционал булар экан.

Конденсаторнинг электростатик майдони энергиясини ургангандан сунг энергиянинг ҳажми зичлиги тушунчасини қиритиш мумкин. Энергиянинг ҳажм зичлиги сон жихатидан майдоннинг ҳажми бирлигига тугри келадиган энергияга тенг бўлган катталиқ ва у

$$\omega = \frac{W}{Sd} \quad (4)$$

билан белгиланади. (4) формуладаги W урнига унинг (3) даги кийматини куйсак:

$$\omega = \frac{1}{8\pi} E^2 \quad (5)$$

Энергия зичлиги тушунчасини конденсаторнинг бир жинсли майдони учун киритдик. Уни хар кандай электростатик майдон учун хам умумлаштириш осон. Агар майдон бир жинсли булмаса, бир жинслимас майдоннинг ΔV хажмига тугри келадиган энергия уртаца жичлиги $\bar{\omega}$ учун шундай катталики оламизки, бу катталик ΔV хажмга тегишли ΔW энергиянинг шу хажм катталигига нисбати билан улчанади, яъни

$$\bar{\omega} = \frac{\Delta W}{\Delta V}$$

Майдоннинг бирор нуктасидаги энергия зичлиги деб, ΔV хажми шу нукта якинида чексиз кичирайтирганда бу нисбат интиладиган лимитни айтилади:

$$\omega = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta W}{\Delta V} \right).$$

Жуда кичик хажмда хар кандай майдонни такрибан бир жинсли ва у E кучланганлик векторининг муайян киймати билан характерланади дейиш мумкин. Демак, бир жинслимас майдон энергиясининг бирор нуктадаги зичлиги

$$\omega = \frac{1}{8\pi} E^2$$

бунда E -майдоннинг энергия зичлиги хисобланаётган нуктадаги кучланганлиги. Бундан куринадики, энергия зичлиги (5) ифодаси хар кандай майдон учун тугри экан. Бир жинслимас майдоннинг энергия зичлиги турли нукталарда турлича булади.

Электростатик майдоннинг чекли V хажмига тугри келадиган энергияни хисоблаш учун шу хажми ΔV элементар хажмларга булиш, бу элементар хажмларнинг хар бирига тугри келадиган $\Delta W = \omega \cdot \Delta V$ энергияни хисоблаш ва бутун хажм буйича йигиб чикиш керак:

$$W = \sum \omega \cdot \Delta V$$

бу ерда ω зичлигининг хар бир ΔV элементар хажмга тегишли киймати.

Майдон энергиясининг ω хажм зичлиги билан таксимланиш хакидаги тассавур кейинчалик электр ва магнит ходисалар хакидаги таълимотнинг ривожланиши билан тасдикланади. Бу таълимот энергиянинг «буш» фазода электромагнит тулкилар энергияси сифатида чекли $c = 3 \cdot 10^{10} \text{ см/сек}$ тезлик билан узатилишини курсатди. Бу хулосанинг майдон табиатни тушунишда катта ахамият бор. Энергия материя холатининг характеристкаларидан биридир ва, демак, энергия тушунчасини материя тушунчасидан ажратиб булмайди. Бу нарсa электростатик майдоннинг узи материянинг узига хос куринишдир деган хулосани тасдиклайди.

6-Амалий машгулот: Электр зарядининг энергияси. Зарядлар системасининг энергияси. Электр майдон энергияси. Энергия зичлиги.

Дарснинг мақсади:

Энергия тугрисидаги тушунчаларини электр заряди энергияси, зарядлар системасининг энергияси ва электр майдонининг энергияси тушинчалари билан муштахмлаш ҳамда энергия зичлиги тугрисида талабаларга тушинча бериш

Идентив уқув мақсадлари:

- 1.1 Электр зарядларининг энергиясини таърифлай олади.
- 1.2 Зарядлар системасининг энергиясини билади ва ҳисоблай олади
- 1.3 Электр майдон энергиясини тушунтириб бера олади.
- 1.4 Энергия зичлиги тугрисида тушунтириш бера олади.

Масалалар ечиш тартиби:

1-масала Керосинга ботирилган шарнинг потенциали 4500 в ва зарядининг сирт зичлиги $3,4 \text{ ГГ} \text{С}_q / \text{см}^2$. Шарнинг 1) радиуси, 2) заряди, 3) сигими ва 4) энергияси топилсин.

Берилган: $U = 4500 \text{ в}, \sigma = 3,4 \text{ ГГ} \text{С}_q / \text{см}^2 = 1,13 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}, \varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}, \varepsilon = 2,$

Топиш керак: $R = ?, q = ?, C = ?, W = ?$

Ечиш: Шарнинг заряди q , унинг сигими C ва унинг потенциали U узаро қуйидагича боғланган.

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

Бунда шар заряди

$$q = \sigma \cdot 4\pi R^2 \quad (2) \text{ га тенг.}$$

Шар сигими эса

$$C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon R \quad (3) \text{ ифода билан аникланади.}$$

(1), (2), ва (3) ифодалардан шар радиусини аниклаш мумкин:

$$R = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 U}{\sigma} \quad (4)$$

Сон қийматларини урнига қуйсак

$$R = \frac{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 4500}{1,13 \cdot 10^{-5}} = \frac{79649,99 \cdot 10^{-12}}{1,13 \cdot 10^{-5}} = 7,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Масалада топилиш суралган шар заряди

$$q = \sigma 4\pi R^2 \text{ ифодадан топилади.}$$

Сон қийматларини урнига қуйсак

$$q = 1,13 \cdot 10^{-5} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot (7 \cdot 10^{-3})^2 = 14,2 \cdot 10^{-5} \cdot 49 \cdot 10^{-6} = 6,95 \cdot 10^{-9} \approx 7 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} \quad \text{келиб чикади}$$

Шарнинг сигими

$$C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R \text{ формуладан топилади.}$$

$$C = 4 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 1,55 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} = 1,55 \cdot 10^{-6} \text{ мкФ} \text{ келиб чикади.}$$

Зарядланган якка утказгичнинг энергияси қуйидаги формуладан топилади:

$$W = \frac{1}{2} C U^2$$

Бу ифодага сон қийматларини қуйсак

$$W = \frac{1}{2} \cdot 1.55 \cdot 10^{-12} \cdot (4500)^2 = 1.57 \cdot 10^{-5} \text{ Ж келиб чикади.}$$

Демак масалада суралган катталикларнинг жавоби куйидагича булади:

$$R = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \dot{y} = 7 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}; C = 1.55 \cdot 10^{-6} \text{ мкФ}; W = 1.57 \cdot 10^{-5} \text{ Ж}$$

2-масала: Куйидаги холларда нуктадаги электр майдони энергиясининг хажм зичлиги топилсин: 1) нукта 1см радиусли зарядланган шар сиртидан 2см зокликда, 2) чексиз зарядланган текислик якинида ва 3) зарядланган чексиз узун ипдан 2см узокликда жойлашган. Шар ва текисликдаги заряднинг сирт зичлиги $1.67 \cdot 10^{-5} \text{ К/м}^2$ ва ипдаги заряднинг чизикли зичлиги $1.67 \cdot 10^{-7} \text{ К/м}$. Учала хол учун мухитнинг диэлектрик киритувчанлигини 2 га тенг деб олинсин.

Берилган: $R = 1 \text{ см}, r = 2 \text{ см}, a = 2 \text{ см}, \sigma = 1.67 \cdot 10^{-5} \text{ Кл/м}^2, \tau = 1.67 \cdot 10^{-7} \text{ Кл/м}, \varepsilon = 2,$
 $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}.$

Топиш керак: учала хол учун энергия зичлиги W_0 топилсин.

Ечиш:

1) масалани ечиш учун энергия зичлиги формуласини эслаймиз.

$$W = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2} \quad (1)$$

Бу ифодада майдон кучланганлик ифодасини олиб келиб куйиш керак. Майдон кучланганлиги куйидаги ифодадан топилади:

$$E = \frac{q}{4\pi \varepsilon \varepsilon_0 (R + X)^2} \quad (2)$$

Бу ерда $R + X$ – шар марказидан каралаётган нуктагача булган масофа. (2) ифодада заряд микдори куйидагича топилади:

$$q = \tau \cdot 4\pi R^2 \quad (3)$$

Натижада майдон кучланганлиги ифодаси куйидаги куринишга келади:

$$E = \frac{\tau 4\pi R^2}{4\pi \varepsilon \varepsilon_0 (R + r)^2} = \frac{\tau R^2}{\varepsilon \varepsilon_0 (R + r)^2}$$

Бу ифодани (1) ифодага куямиз ва сон кийматларни урнига куйиб хисоблаймиз:

$$W_0 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0}{2} \left(\frac{\tau R^2}{\varepsilon \varepsilon_0 (R + r)^2} \right)^2 = \frac{\tau^2 R^4}{2 \varepsilon \varepsilon_0 (R + r)^4} = 9.7 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Ж}}{\text{м}^3}$$

2) Чексиз зарядланган текислик ҳосил килаётган энергия зичлиги

$$W_0 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2} \quad (4)$$

Бу ифодада майдон кучланганлиги

$$E = \frac{\tau}{2 \varepsilon \varepsilon_0} \quad (5) \text{ тенг булади.}$$

(5) ифодани (4) ифодага куйсак чексиз текислик ҳосил килаётган майдон энергия зичлигини топамиз.

$$W_0 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0}{2} \left(\frac{\tau}{2\varepsilon \varepsilon_0} \right)^2 = \frac{\tau^2}{8\varepsilon \varepsilon_0} 1.97 \frac{\text{Ж}}{\text{м}^3}$$

3) Майдон энергия зичлиги ифодаси

$$W_0 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2} \quad (6)$$

Бу ифодага чексиз узун ип хосил килаётган майдон кучланганлиги ифодасини ёзамиз:

$$E = \frac{\tau}{2\pi \varepsilon \varepsilon_0 a} \quad (7)$$

ва майдон энергия зичлигини ҳисоблаймиз.

$$W_0 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0}{2} \left(\frac{\tau}{2\pi \varepsilon \varepsilon_0 a} \right)^2 = \frac{\tau^2}{8\pi^2 \varepsilon \varepsilon_0 a^2} = 0.05 \frac{\text{Ж}}{\text{м}^3}$$

Жавоб: 1) $W_0 = 9.7 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Ж}}{\text{м}^3}$; 2) $W_0 = 1.97 \frac{\text{Ж}}{\text{м}^3}$; 3) $W_0 = 0.05 \frac{\text{Ж}}{\text{м}^3}$

Муҳокама учун саволлар:

- 6.1 Электр зарядини хосил майдон энергияси қандай тушунтирилади?
- 6.2 Зарядлар системаси хосил қилган майдон энергияси қандай тушунтирилади?
- 6.3 Зарядланган утказгичлар хосил қилган майдон энергияси қандай тушунтирилади?
- 6.4 Электростатик майдон энергиясининг зичлиги қандай тушунтирилади?

Мавзу бўйича ечимини қутаётган илмий муоммолар:

1. Электр заяди ва зарядлар системаси хосил қилган майдон энергиясини муҳитларда узғаришини тушинтириш муаммолари.
2. Электростатик майдон энергиясини узатилишини тушунтириш муаммолари.
3. Электростатик майдон энергиясининг фазода зичлигини узғаришини тушунтириш муаммолари.

Мустакил иш топшириклари:

1-топширик. Электростатика бўлимини таҳлил қилиш.

- 1.1. Электр зарядлари ва уларнинг сакланиши аниқланг.
- 1.2. Электр зарядларининг узаро таъсири Кулон қонуни аниқланг.
- 1.3. Муҳитда вакуумга нисбатан электр таъсири узғаришини аниқланг.

2-топширик. Электр майдонини урганиш.

- 2.1. Электр майдонини хусусиятларини аниқланг.
- 2.2. Электростатик майдон суперпозиция принципини урганинг.
- 2.3. Электростатик майдон индукция векторини ва унинг оқимини аниқланг.

3-топширик. Электростатик майдон кучланганлигини ҳисоблаш ҳоллари.

- 3.1. Силжиш векторини аниқланг.
- 3.2. Остроградский-Гаусс теоремасини аниқланг.

3.3 Турли шаклдаги зарядланган жисмларнинг майдон кучланганлигини аниқланг.

4-топширик. Электростатик майдонда бажарилган иш ва потенциаллар фарки.

4.1. Электростатик майдонда заряд кучирилганда бажарилган ишни аниқланг.

4.2. Потенциал ва потенциаллар фаркини аниқланг.

4.3. Потенциаллар градиентини аниқланг.

4.4. Турли шаклдаги зарядланган жисмларнинг ҳосил қилган потенциалини аниқланг.

5-топширик. Электр майдонидаги утказгичлар.

5.1. Утказгичлардаги зарядларнинг мувозанатини аниқланг.

5.2. Электростатик майдонга киритилган утказгичлардаги заряд тақсимотини ўзгаришини аниқланг.

5.3. Утказгичларни электр сигимини аниқланг.

5.4. Конденсаторларни сигимини ҳисоблашнинг хусусий ҳолларини аниқланг.

5.5. Конденсаторларни параллел ва кетма-кет ўлаш усулларини урганинг.

6-топширик. Электр майдон энергиясини урганиш.

6.1. Электр зарядлар системасининг ҳосил қилган майдон энергиясини урганинг.

6.2. Электростатик майдон энергиясини аниқланг.

6.3. Электростатик майдон зичлигини аниқланг.

Ушбу топшириklar саволларига қуйидаги адабиётлардан жавоб топасиз:

1.5 Калашников С.Г. Электр Тошкент Уқитувчи 1979 й.

1.6 Сивухин Д.В. Умумий физика курси. Тошкент. Уқитувчи 1977 й

1.7 С.Э. Фриш, А.В. Тиморева. Умумий физика курси. Т-2. Тошкент. 1972й

1.8 К.А. Путилов. Физика курси. Т-2. Тошкент.1971й.

1.9 Савельев И.В. Умумий физика курси. Т-2 Тошкент. 1977й.

1.10 Жураев У.Б. Электр ва магнетизмдан маъруза матнлари. Гулистон. 2000й.

Модул бўйича якуний машгулот:

Бу машгулот якунловчи (умумлаштирувчи) дарс бўлиб, унда интерактив методлар ёрдамида, модул бўйича асосий ҳулосалар чиқарилади.

1. Электростатика бўлимида зарядларнинг ҳосил бўлиши ва уларнинг ҳоссалари урганилади.

2. Электр зарядлари таъсири урганилади.

3. Электр зарядлари юзага келтирган электростатик майдон ҳоссалари урганилади.

4. Электр майдон кучланганлиги ва уларни ҳисоблаш усуллари урганилади.

5. Электростатик майдонда бажарилган иш ва потенциаллар фарки урганилади.

6. Утказгичларда заряд таксимоти ва майдонга киритилган утказгичларнинг хоссалари урганилади.
7. Электростатик майдон энергияси ва энергия зичлиги урганилади.

Назорат саволлари:

1. Электродинамика деб нимага айтилади?
2. Мусбат ва манфий заряд деб кандай зарядга айтилади?
3. Бир хил ва хар хил ишорали зарядлар кандай узаро таъсирлашади?
4. Электроскоп деб кандай асбобга айтилади?
5. Электр зарядининг сакланиш конунини таърифланг?
6. Элементар заряд деб кандай зарядга айтилади ва унинг сон кийматиканчага тенг?
7. Электростатика деб нимага айтилади?
8. Нуктавий заряд деб нимага айтилади?
9. Кулон конунини таърифланг ва уни СИ даги ифодасини ёзинг.
10. СИ даги заряд бирлиги кандай?
11. Кандай майдонни электростатик майдон деб аталади?
12. «Синов заряди» деб кандай зарядга айтилади?
13. Электростатик майдоннинг бирор нуктасидаги кучланганлиги деб нимага айтилади?
14. Нуктавий заряд ҳосил қилган майдоннинг кучланганлигини ифодаловчи формулани ёзинг.
15. Электр майдонлар суперпозицияси принципини тушинтириб беринг.
16. Электр куч чизиклари деб нимага айтилади?
17. Заряд қучиришда бажарилган иш формуласини ёзинг.
18. Икки нуктавий заряднинг узаро потенциал энергиясининг математик ифодасини ёзинг.
19. Электр майдоннинг потенциали ва потенциаллар айирмаси деб нимага айтилади? Улар кандай бирликда улчанади?
20. Нуктавий заряд ҳосил қилган майдон потенциалининг формуласи ёзилсин.
21. Кандай сиртларга эквипотенциал сиртлар дейилади?
22. Эквипотенциал сиртларда зарядни қучиришда бажарилган иш нимага тенг?
23. Майдон кучланганлиги билан потенциаллар айирмаси узаро кандай боғланган?
24. Яккаланган утказгичнинг электр сигими деб нимага айтилади?
25. Электр сигими СИ системасида кандай улчов бирликда улчанади?
26. Шарнинг электр сигими формуласи ёзилсин.
27. Узаро электр сигими деб нимага айтилади?
28. Конденсаторлар нима? Уларнинг кандай турлари бор?
29. Ясси, сферик ва цилиндрик конденсаторлар сигими нимага тенг?
30. Параллел ва кетма-кет уланган конденсаторлар батареясининг сигими нимага тенг?

Тавсия килинган адабиётлар:

1. Калашников С. Г. Электр Тошкент Укитувчи. 1979 йил.
2. Сивухин. Д.В. Умумий физика курси. Тошкент. Укитучи.1977й.
3. С.Э.Фриш, А.В.Тиморева. Умумий физика курси. Т-2. Тошкент. 1972й.
4. К.А. Путилов. Физика курси. Т-2. Тошкент.1971й.
5. Савельев И.В. Умумий физика курси. Т-2. Тошкент. 1977й.
6. Волькенштейн В.С. Умумий физикадан масалалар туплами. Тошкент. Укитувчи 1971й.
7. М.С. Цедрик. Умумий физика курсидан масалалар туплами. Тошкент. 1991 йил.

МУНДАРИЖА

Модул №1

1. 1- Мавзу: Электр ва магнетизм фани	3
2. Электр зарядлари.	5
3. 2- Мавзу: Электр майдони	12
4. Электр майдон кучланганлиги.	19
5. 3- Мавзу: Остроградский-Гаусс теоремаси ва унинг ёрдамида электр майдон кучланганлигини ҳисоблашнинг хусусий ҳоллари.	23
6. 4- Мавзу: Электростатик майдонда бажарилган иш	34
7. Потенциаллар фаркини ҳисоблашнинг хусусий ҳоллари.	42
8. 5- Мавзу: Электр майдонидаги утказгич	44
9. Электр сизими.	51
10. 6- Мавзу: Зарядлар системасининг энергияси	54
11. Электр зарядининг энергияси.	60