

Қазақстан Республикасының білім және ғылым министрілігі
А.Байтұрсынов атындағы Қостанай мемлекеттік университеті
Электроэнергетика және физика кафедрасы

Д.К.Оразалинова

ЭЛЕКТР ЖӘНЕ МАГНЕТИЗМ

Оқу-әдістемелік құрал

Қостанай 2018

УДК 537(075)

ББК 22.3я73

О 65

Автор:

Оразалинова Дамелі Қаирбекқызы, А.Байтұрсынов атындағы ҚМУ аға оқытушысы

Рецензенттер:

Джаманбалин Кадыргали Коныспаевич, физико-математикалық ғылымдар докторы, ҚЭТУ ректоры

Медетов Нурлан Амирович, физико-математикалық ғылымдар докторы, А.Байтұрсынов атындағы ҚМУ ақпараттық технологиялық факультетінің деканы

Шаяхметов Амангельді Болатович, техникалық ғылымдар кандидаты, А.Байтұрсынов атындағы ҚМУ машинажасау кафедрасының доценті

Оразалинова Д.К.

О-65 Электр және магнетизм: оқу-әдістемелік құрал.-Қостанай: А.Байтұрсынов атындағы ҚМУ, 2018.-97б.

ISBN 978-601-7955-94-6

Оқу-әдістемелік құралына электр және магнетизм пәнінің негізгі қағидалары, тәжірибелік және зертханалық жұмыстарды орындау бойынша әдістемелік нұсқаулары мен тест тапсырмалары еңгізілген. Маңызды назар бағдарламаның негізгі сұрақтарына аударылған.

5В060400-Физика мамандық білім алушыларға арналған, сонымен бірге физиканың электр және магнетизм бөлімін оқып жатқан инженерлік мамандық бойынша білім алушылар де пайдалана алады.

УДК 537(075)

ББК 22.3я73

А.Байтұрсынов атындағы Қостанай мемлекеттік университетінің Оқу-әдістемесінің кеңесімен бекітілген және баспаға ұсынылған,

20.06. 2018ж., хаттама № 4

ISBN 978-601-7955-94-6

© А.Байтұрсынов атындағы
Қостанай мемлекеттік
университеті
© Оразалинова Д.К., 2018

Мазмұны

Кіріспе.....	5
Тақырып 1 Глоссарий.....	6
Тақырып 2 Электростатикалық өріс.....	8
2.1 Электр заряды. Кулон заңы.....	8
Тақырып 3 Электростатикалық өрістің потенциалдылығы.....	17
3.1 Электр өрісіндегі жұмыс.....	17
3.2 Скалярлық потенциал.....	18
3.3 Өріс кернеулігі мен потенциал арасындағы байланыс.....	19
Тақырып 4 Өткізгіш және диэлектриктердегі электр өрісі.....	21
4.1 Өткізгіштер жүйесі. Конденсаторлар.....	21
4.2 Жазық конденсаторлардың сыйымдылығы.....	22
Тақырып 5 Электр өрісінің энергиясы.....	26
5.1 Өріс энергиясы және оның көлемдік тығыздығы.....	26
Тақырып 6 Тұрақты электр тогы.....	29
6.1 Тұрақты ток бар кездегі электростатикалық өріс.....	29
6.2 Токтың жұмысы мен қуаты.....	32
Тақырып 7 Металдардағы ток тасымалдаушылардың табиғаты.....	34
7.1 Металдар электрөткізгіштігінің классикалық теориясы	34
Тақырып 8 Магнетизм.....	38
8.1 Тұрақты токтың магнит өрісі.....	38
8.2 Био-Савар-Лаплас заңы.....	39
8.3 Құйынды магнит өрісі.....	42
8.4 Лоренц күші.....	43
8.5 Зарядталған бөлшектердің магнит өрісіндегі қозғалысы.....	45
Тақырып 9 Заттардың магнит өрісі.....	48
9.1 Меншікті магниттік моменті.....	48
Тақырып 10 Электромагниттік индукция құбылысы.....	51
10.1 Фарадейдің электромагниттік индукция заңы.....	51
Тақырып 11 Квазистационар айнымалы ток.....	55
11.1 Айнымалы ток көзі. Резонанс.....	55
11.2 Трансформаторлар. Электр энергиясын жеткізу.....	57
Тақырып 12 Электромагнит өріс үшін Максвелл теңдеулері.....	59
12.1 Электромагниттік толқындарды шығару.....	59
12.2 Электромагниттік толқын энергиясының ағынның тығыздығы.....	61
Тақырып 13 Тәжірибелік тапсырмаларды орындау.....	64
Тақырып 14 Зертханалық жұмыстардың әдістемелік нұсқаулары....	81
Тақырып 15 Өзіндік жұмысты өткізудің әдістемелік нұсқаулары.....	86
Қолданылған әдебиет.....	97

Кіріспе

Электр және магнетизм пәнінен оқу-әдістемелік құралы осы курсының негізгі формулаларымен заңдарынан тұрады. Білім алушылар өзіндік жұмыс жасау кезінде және емтиханға дайындалу кезінде қолдануы мүмкін. Кестеде негізгі тұрақты шамалары еңгізілген, олардың белгіленуі және өлшем бірлігі, өзара байланыс формулалары келтірілген.

Физика материя қозғалысының неғұрлым жалпы қасиеттері мен заңдарын зерттейді. Ол осы заманғы жаратылыстануда жетекші роль атқарады. Мұның өзі физикалық заңдардың, теориялардың және зерттеу әдістерінің барлық жаратылыс ғылымдары үшін шешуші мәні барлығымен байланысты.

Физика ғалымының Электр және магнетизм бөлігі— қазіргі заманғы техниканың ғылыми негізі. Электротехника, автоматика, радиотелеметрия және техниканың басқа да көптеген салалары физиканың сәйкес бөлімдерінен дамып өрістеді. Ғылым мен техниканың әрі қарай дамуы физика жетістіктерінің техника мен өндірістің түрлі салаларына одан әрі неғұрлым терең енуіне алып келеді.

Жаратылыстану үшін және техниканы дамыту үшін физиканың мәні арта беруіне байланысты, физиканы білу қазіргі қоғамның әрбір адамына қажетті бола түсуде.

Электр және магнетизм курсты оқып үйрену кезінде дүниеге ғылыми көзқарасты қалыптастыру процесі төмендегі негізгі элементтерді қамтиды: оқып үйренілетін физикалық құбылыстардың материялық табиғатын ашып көрсету; құбылыстар арасындағы байланыстарды тағайындау және оларды дұрыс түсіндіру; оқып үйренілетін физикалық заңдардың объективтік сипатын ашу; оқушыларды табиғат заңдарын танып білу және оларды табиғатты қайта өзгерту үшін пайдалану мүмкіндігіне көздерін жеткізу.

Тақырып 1 Глоссарий

Ампер - ток күшінің Халықаралық бірліктер жүйе (СИ) мен электрлік және магниттік жүйелеріндегі (МКСА) өлшембірлігі.

Ампер заңы – тогы бар өткізгіштің бірлік ұзындығына магнит өрісі тарапынан әсер етуші механикалық күшін анықтайтын заң.

Ампер – сағат – электр мөлшерінің жүйеден тыс өлшем бірлігі.

Био – Савар – Лаплас заңы – электр тогының әсерінен пайда болған магнит өрісінің индукциясын анықтайтын заң.

Ватт – қуаттың ХБЖ жүйесіндегі өлшем бірлігі.

Ватт– сағат – жұмыстың немесе энергияның өлшем бірлігі.

Вебер – магнит ағынының ХБЖжүйесіндегі өлшем бірлігі.

Видеман – Франц заңы – металдың жылу өткізгіштігі мен электр өткізгіштігінің температураға байланысты қатынасын анықтайтын заң.

Вольт – потенциалдар айырмасының (кернеудің, электр қозғаушы күштің) МКСА жүйесіндегі өлшем бірлігі

Гаусс – магнит индукциясының абсолюттік СГС (гаусстік) және СГСМ (электромагниттік) жүйелеріндегі өлшем бірлігі.

Генри – индуктивтіліктің және өз ара индуктивтіліктің МКСА жүйесіндегі өлшем бірлігі.

Гистерезис – ферромагнетиктердің магниттелу процесінің магниттеуші сыртқы өрістен қалып қоюы құбылысы.

Джоуль - жұмыстың және энергияның МКСА жүйесі мен Халықаралық бірліктер жүйесіндегі өлшем бірлігі.

Джоуль – Ленц заңы - өткізгішпен ток жүргенде бөлініп шығатын жылу мөлшерін анықтайтын заң

Диамagnetизм – кейбір заттың сыртқы магниттеуші өріске қарсы магниттелу қасиеті.

Индуктивтілік - электр тізбегіндегі токтың өзгеру жылдамдығы мен сол тізбек құрамындағы өткізгіштерде индукцияланатын ЭҚК арасындағы байланысты сипаттайтын шама.

Кирхгоф ережелері – тармақталған тізбектер үшін қолданылатын қағидалар

бірінші ереже – түйінде тоғысатын токтардың алгебралық қосындысы нольге тең.;

екінші ереже – тармақталған электр тізбегінің кез келген тұйық контурындағы ток күштерінің ,иток жүретін бөліктердің кедергіліріне көбейтіндісінің алгебралық қосындысы, сол контурдағы ЭҚК дің алгебралық қосындысыны тең.

Кулон - электр мөлшерініңабсолюттік және МКСА жүйесіндегі өлшем бірлігі.

Парамагнетизм - кейбір заттардың сыртқы магниттеуші өрісінің бағыты бойынша магниттелу қасиеті.

Сегнетоэлектриктер - сыртқы өрістің әсерінсіз –ақ өздігінен поляризацияланатын аймақтары бар және диэлектрик өтімділігі жоғары диэлектриктер

Электростатика деп қозғалмайтын зарядтардың кеңістікте туғызған электр өрістерінің қасиеттерін зерттейтін физиканың бөлімін айтады.

Электр өрісі деп көмегімен кеңістікте зарядтар арасындағы өзара әсерлесу жүзеге асатын материалдық ортаны айтады.

Электр өрісінің кернеулігі деп өрістің берілген нүктесіндегі бірлік оң зарядқа әсер ететін күшпен анықталатын шаманы айтады.

Электр өрісінің потенциалы деп өрістің берілген нүктесіндегі бірлік оң зарядтың потенциалдық энергиясымен анықталатын шаманы айтады.

Электр өрістерінің суперпозиция принциптерінің мәні электр зарядтары жүйесінің қорытқы өрісінің кернеулігі әрбір жеке заряд туғызған өріс кернеуліктерінің векторлық (геометриялық) қосындысына тең болатындығымен байланысты.

Электрлік диполь деп бір-бірінен белгілі бір ара қашықтықта орналасқан шамалары тең, таңбалары қарама-қарсы екі зарядтың жүйесін айтады.

Электр тогы деп зарядтың қандай да бір S бет арқылы өтуін айтады.

Механика-механикалық қозғалыстың заңдылықтарын және бұл қозғалысты туғызушы немесе өзгертуші себептерді қарастыратын физиканың бөлімі.

Кинематика— денелердің қозғалысын осы қозғалысты туғызушы себеппен байланыстырмай зерттейді.

Динамика— денелердің қозғалыс заңдарын және бұл қозғалысты туғызушы немесе өзгертуші себептерді зерттейді.

Материалдық нүкте — берілген есептің шарттарында өлшемдерін есепке алмауға болатын массасы бар дене.

Абсолют қатты дене — ешбір жағдайларда деформацияланбайтын және барлық жағдайларда екі нүктесінің (дәлірек айтса, екі бөлшегінің) ара қашықтығы өзгермейтін дене.

Абсолют серпімді соққы — нәтижесінде толық механикалық энергия (потенциалдық және кинетикалық энергияның қосындысы) сақталатын соққы.

Абсолют серпімсіз соққы нәтижесінде толық механикалық энергия (потенциалдық және кинетикалық энергиялардың қосындысы) сақталмайды және ол энергияның басқа түріне, мысалы жылулық энергияға ауысады.

Дененің массасы — дененің инерттілігінің сандық өлшемі болып табылатын физикалық шама.

Күш — денелердің өзара әсерлесуінің сандық өлшемі болып табылатын физикалық шама.

Қозғалыс траекториясы — қозғалған материалдық нүктенің кеңістікте уақыттың өтуіне байланысты сызатын сызығы.

Дененің импульсі — сан жағынан дененің массасының жылдамдығына көбейтіндісіне тең және бағыты жылдамдықтың бағытымен бірдей векторлық шама.

Молекулалық физика — заттың құрылысы мен қасиеттерін барлық денелер үздіксіз хаосты қозғалыстағы молекулалардан тұрады дегенге негізделген молекулалық — кинетикалық түсініктерді басшылыққа лаып қарастыратын физиканың бөлімі.

Моль – молекулаларының немесе атомдарының саны N_A Авогадро санына ($N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$) тең зат мөлшері.

Физикалық процесс – жүйенің бір күйден екінші күйге өтуі.

Детальдың тепе – теңдік принципінің мәнімынада: тепе-теңдіктік макрожүйедегі кез келген микропроцесс оған кері процестің жылдамдығындай жылдамдықпен өтеді.

Механикалық жүйенің еркіндік дәрежелер саны деп жүйенің кеңістіктегі орнын анықтайтын тәуелсіз шамалардың санын айтады.

Бірінші текті мәңгі қозғалтқыш деп сырттан алған энергиядан артық жұмыс жасайтын, периодты әрекет ететін қозғалтқышты айтады.

Политроптық процесс деп дененің жылу сыйымдылығы тұрақты болып қалатын процесті айтады.

Жылу сыйымдылық деп дененің температурасын бір кельвинге арттыру үшін оған жұмсалатын жылу мөлшеріне тең шаманы айтады.

Барометрлік формула деп, атмосфералық қысымның биіктікке байланысты экспоненциалды кемуін өрнектейтін формуланы айтады.

Еркін жүріс жолының ұзындығы деп газ молекуласының кезектес екі соқтығысуларының арасындағы уақыт ішінде жүріп өтетін жолын айтады.

Сименс – электрлік кедергіге кері шама заттың электр өткізгіштігінің бірлігі.

Тізбектің әр текті бөлігі деп электростатикалық күштермен бірге бөгде күштер әсер ететін бөлікті айтады.

Тұрақты электр тогы деп шамасы мен бағыты уақыт бойынша өзгермейтін электр тогын айтады.

Магнит өрісі құйынды өріс, себебі магнит өрісі индукциясының циркуляциясы нольден өзгеше.

Магнит индукциясы векторының дивергенциясы әрқашан нольге тең, себебі табиғатта магнит зарядтары жоқ.

Ортаның магниттік өтімділігі ортадағы магнит өрісінің индукциясы вакуумдағымен салыстырғанда неше есе артық екендігін көрсетеді.

Кюри нүктесі деп температураның одан жоғары мәнінде заттың ферромагнетиктік қасиеттері жойылып, ол парамагнетикке айналатын мәнін айтады.

Электромагниттік индукция құбылысы деп тұйықталған өткізгіш контурмен шектелген магнит ағыны өзгергенде осы контурда индукциялық электр тогы деп аталатын электр тогының пайда болу құбылысын айтады.

Генри – контур индуктивтілігінің бірлігі.

Тербеліс деп белгілі бір қайталану дәрежесімен сипатталатын процесті айтады.

Тербеліс периоды – толық бір тербеліс уақыты.

Герц (Гц) – уақыт бірлігі ішіндегі бір тербеліске сәйкес тербелістер жиілігінің бірлігі.

Гармоникалық тербеліс деп синустық немесе косинустық заң бойынша өтетін тербелісті айтады.

Толқын ұзындығы деп 2π -ге тең фазалар айырымымен тербелетін екі нүктенің ара қашықтығын айтады.

Тақырып 2 Электростатикалық өріс

2.1 Электр заряды. Кулон заңы

Электр зарядының бар болуы зарядталған денелердің басқадай зарядталған денемен өз ара әсерлесетіндігінен көрінеді.

Шартты түрде оң және теріс деп аталатын екі түрлі электр заряды бар. Бірдей таңбалы зарядтар бір-бірінен тебіледі, әр түрлі таңбалылары тартылады.

Электр заряды белгілі бір элементар бөлшектер деп аталатындардың бөлінбейтін қасиеті болып табылады. Элементар бөлшектердің барлығының да заряды (егер ол нольге тең болмаса) абсолют шамасы бойынша бірдей болады. Оны элементар заряд деп атауға болады. Біз оны e әрпімен белгілейтін боламыз.

Элементар бөлшектердің қатарына, мысалы, электрон(-), протон (+), нейтрон (0) жатады. Осы бөлшектерден заттың атомдары құрылатындықтан, электр зарядтары барлық денелердің құрамына кіретін болып шығады. Әдетте түрліше таңбалы зарядтарды тасушы бөлшектер денеде бірдей мөлшерде болады да бірдей тығыздықпен орналасады.

Бұл жағдайда дененің кез келген элементар көлімдегі зарядтардың алгебралық қосындысы нольге тең және әрбір мұндай көлем (тұтас алғанда дене де) нейтральды болады. Егер әйтеуір бір себеппен (мысалы, үйкеу арқылы) денеде бір таңбалы бөлшектердің артық санын туғызсақ (осыған сәйкес екінші таңбалы бөлшек мұнда жетіспейтін болады), онда дене зарядталған болады.

Сондай-ақ оң және теріс бөлшектердің жалпы санын өзгертпей-ақ, дененің бір бөлігінде бірдей таңбалы зарядтар, ал екіншіні бөлігінде басқадай таңбалы зарядтар артық болатындай етіп, оларды қайта орналастыруға болады.

Табиғатта электр зарядының екі ғана түрі бар: оң (теріге ысқыланған шыныдағы) және теріс таңбалы (жүнге ысқыланған эбониттегі). Электр заряды дискретті, яғни кез-келген денедегі заряд $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл элементар электр зарядының бүтін еселігі болып табылады:

$$q = Ne \quad (1)$$

мұндағы N – бүтін сан, яғни элементарлық зарядтар саны.

Оң және теріс элементар зарядын тасушы элементар бөлшектер – **протон** ($m_p = 1.67 \cdot 10^{-27}$ кг) және **электрон** ($m_e = 9.11 \cdot 10^{-31}$ кг).

Әр түрлі таңбалы зарядтар бір-бірін жойады. Зарядталудың кез келген процесі зарядтың ажырауы арқылы жүзеге асады. Соның нәтижесінде денелердің біреуінде (дененің бір бөлігінде) артық оң заряд, ал екіншісінде (дененің басқа бөлігінде) – артық теріс заряд пайда болады.

Зарядтың сақталу заңы: тұйық жүйедегі электр зарядтарының алгебралық қосындысы өзгермейді.

Электр заряды – релятивистік-инвариантты шама.

Нүктелік заряд деп әрекеттесетін басқа зарядталған денеге дейінгі ара қашықтықпен салыстырғанда өлшемдері әлде-қайда кіші болатын зарядталған денені атайды.

Кулон заңы: екі тыныштық күйдегі нүктелік зарядтың F өзара әсерлесу күші зарядтардың q_1 және q_2 шамаларының көбейтіндісіне тура пропорционал және олардың r ара қашықтығының квадратына кері пропорционал:

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

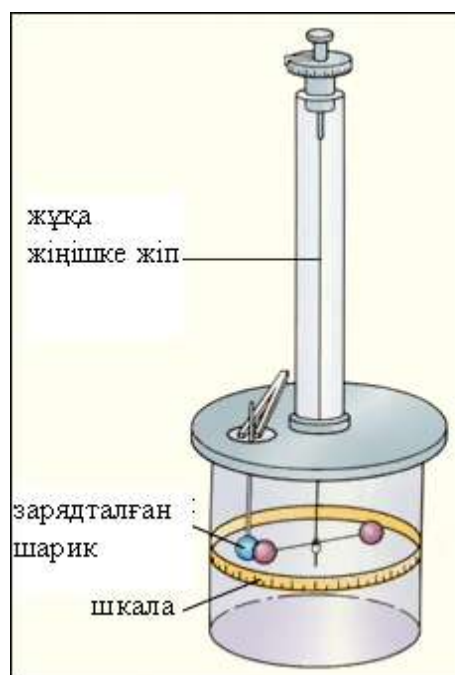
Күш өзара әрекеттесетін зарядтарды жалғайтын түзудің бойымен бағытталады.

Кулон заңының векторлық түрі:

$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}_{12}}{r} \quad (2)$$

мұндағы $\vec{F}_{12}$ - q_1 зарядтың q_2 зарядқа әсер етуші күші,
 $\vec{r}_{12}$ - q_1 зарядты q_2 зарядпен жалғайтын радиус-вектор.

Кулон осы заңды дәлелдеу тәжірибесінің эксперименталды бұрмалау таразы көмегі мен жасады (сурет 1).



Сурет 1-Бұрмалау таразы

ХБЖ(СИ)бірліктер жүйесінде пропорционалдық коэффициент $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$,

мұндағы $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ – электр тұрақтысы.

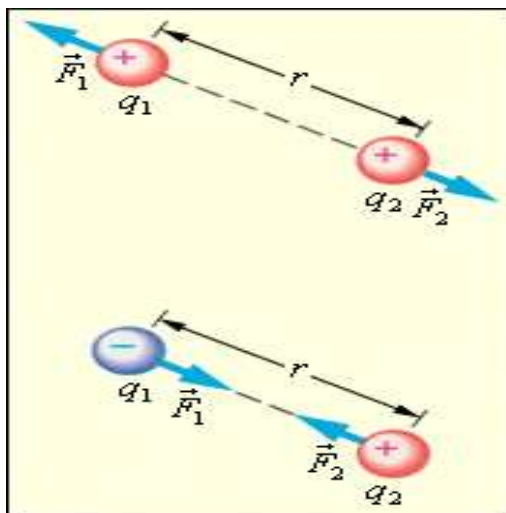
Сонда

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

мұндағы q_1, q_2 өзараәсерлесетін зарядтар

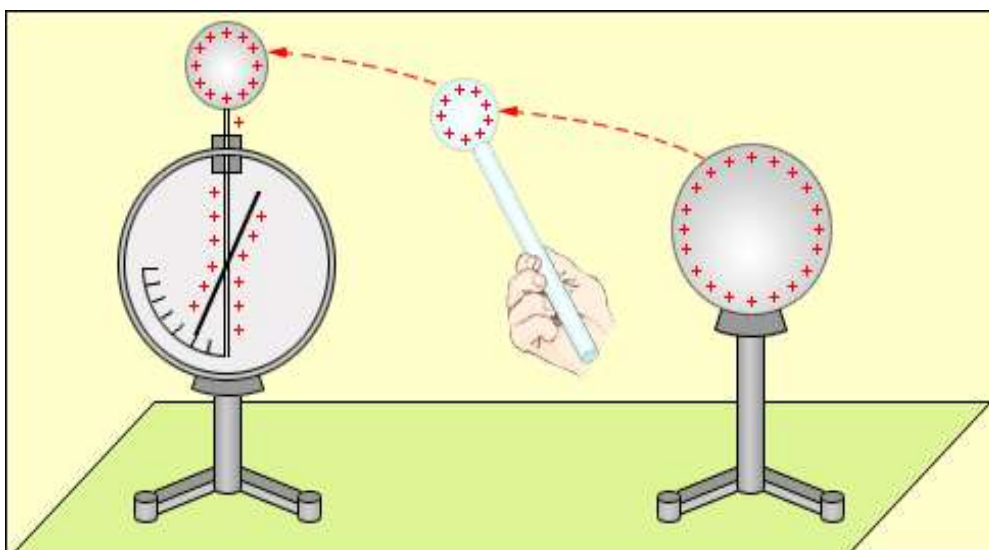
r – зарядтардың арақашықтығы

Кейбір қашықтықта орналасқан екі нүктелік зарядтардың өзараәсерлесу күштер бағыттары 2 суретте келтірілген. Аттас зарядтар бір-бірінен тебіледі, әр аттас зарядтар бір-біріне тартылады.



Сурет 2-Аттас және әр аттас нүктелік зарядтардың өзараәсерлесуі

Қандай да болсын тәсілмен зарядталған дене зарядының өткізгіш дене көмегімен электроскоп немесе электрометр көмегімен бақылауға болады(сур.3).



Сурет 3 –Зарядты өлшеу құралы

Жақыннан әсер етуші теорияға сәйкес оқшауланған денелердің арасындағы күштік өзара әсерлесулер денелерді қоршайтын кейбір ортаның бар болуы арқасында ғана таралады. Күштік өзара әсерлесулер сол ортаның бір бөлігінен екіншісіне бірте-бірте шектелген жылдамдықпен таралады. Тыныштық күйдегі зарядтардың арасындағы әсер етуші күштердің пайда болуын және берілуін түсіндіру үшін электростатикалық өріс ұғымы еңгізіледі.

Электростатикалық өріс тыныштық күйдегі зарядтардың өзара әрекеттесуін қамтамасыз ететін материяның ерекше түрі болып табылады.

Электр өрісі

1) электростатикалық өріс кез келген электр зарядының айналасында пайда болады,

2) сол өрісте орналасқан кез келген басқа зарядқа белгілі күш әсер етеді.

Электростатикалық өрістің күштік сипаттамасы ретінде берілген нүктедегі **электр өрісінің кернеулік векторы** алынады:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}, \quad (3)$$

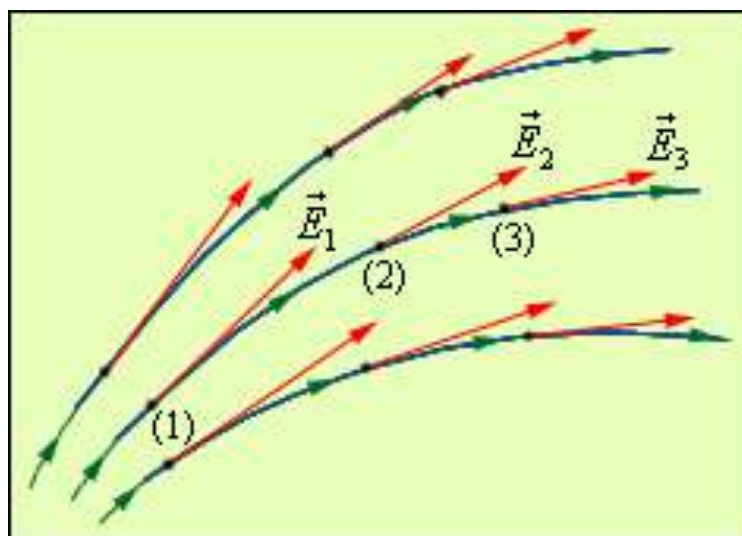
мұндағы $\vec{F}$ - өрістің сол нүктесінде орналасқан сыншы q_0 зарядқа әсер етуші күш.

Вакуумдегі нүктелік заряд өрісінің кернеулігі:

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

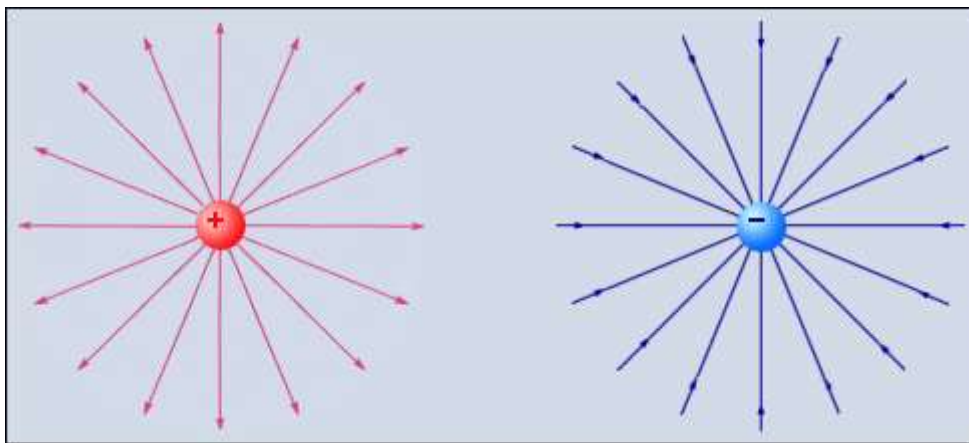
Электр өрісі кернеулігінің өлшем бірлігі – В/м.

Кернеулік сызықтары деп әр нүктесінде жүргізілген жанамалары өрістің сол нүктесіндегі $\vec{E}$ кернеулік векторымен бағыттас болатындай етіп жүргізілген сызықтарды атайды.



Сурет 4- Кернеулік сызықтары

Кернеулік сызықтарын оларға перпендикуляр орналасқан бірлік бет арқылы өтетін сызықтар саны сол жердегі өріс кернеулігінің E модуліне тең (немесе пропорционал) болатындай қоюлықпен жүргізеді. Электростатикалық өрістің кернеулік сызықтары зарядтан басталып шексіздікке кетеді (оң заряд үшін), немесе, шексіздіктен келіп зарядта аяқталады (теріс заряд үшін), бұл 5 суретте көрсетілген.



Сурет 5-Оң және теріс зарядталған дене өрісінің күш сызықтары

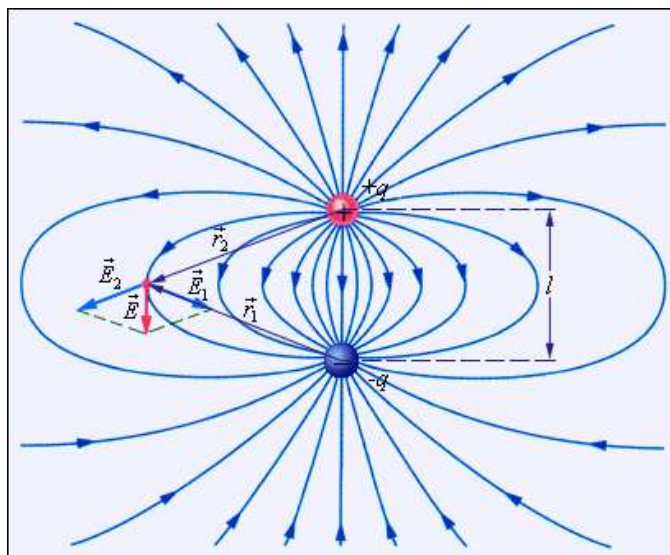
Егер өрістің кез келген нүктесінде кернеулік векторының модулі және бағыты бірдей болса $\vec{E} = \overrightarrow{const}$, ондай өріс **біртекті** деп аталады. Біртекті өрістің кернеулік сызықтары біркелкі қоюлықпен жүргізілген өзара параллель сызықтар болып табылады.

Егер электростатикалық өрісте бірнеше нүктелік заряд берілсе, онда олардың бір нүктедегі қорытқы кернеулігі жеке зарядтардың сол нүктеде тудыратын кернеуліктерінің векторлық қосындысы болып табылады. Бұл электр өрістерінің немесе қабаттасу принципі деп аталады. Суперпозиция принципі зарядтардың кез келген жүйесінің өріс кернеулігін есептеп табуға мүмкіндік береді. енді суперпозиция принципін электрлік дипольдің өріс кернеулігін табу үшін қолданамыз. Кернеулік векторлардың векторлық қосындысы екенін ескеру керек, өйткені кернеулік –векторлық шама

Электр өрістерінің суперпозиция принципі: зарядтар жүйесінің өріс кернеулігі жүйеге кіретін жеке зарядтардың өріс кернеуліктерінің векторлық қосындысына тең:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i . \quad (5)$$

Тік бұрыштың бар болғанында есеп жеңілдетеді және қорытқы кернеуліктің мәнін Пифагор теоремасы бойынша табудың мүмкіндігін туғызады, немесе тригонометриялық функциялар арқылы Қабаттасу немесе суперпозиция принципі бойынша электр өрісінің кез келген нүктесінде қорытқы кернеулігін есептеу мысалы диполь үшін көрсетілген(сурет 5).



Сурет 5-Қорытқы кернеулік векторы

Электр диполі деп бірінен-бірі l ара қашықтыққа ығысқан екі шамалары бірдей q және $-q$ әр аттас нүктелік зарядтан тұратын жүйені атайды. Егер l ара қашықтығы жүйе өрісінің нүктелеріне дейінгі ара қашықтықпен салыстырғанда әлде-қайда кіші болса дипольді элементар дейді.

Теріс зарядтан оң зарядқа жүргізілген $\vec{l}$ векторы **диполь иіні** деп аталады. **Дипольдің электрлік моменті:**

$$\vec{p} = q\vec{l}. \quad (6)$$

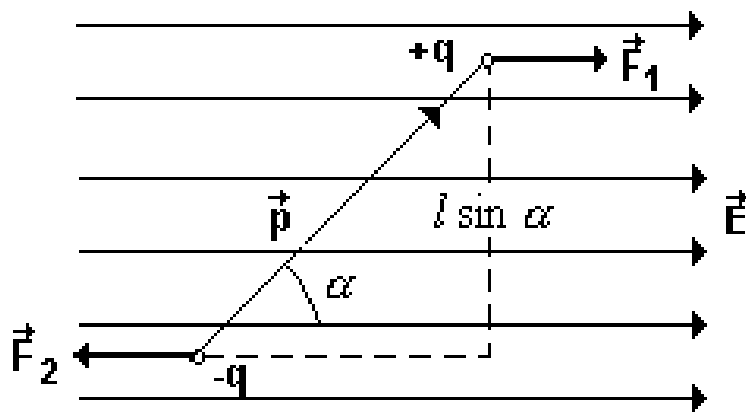
Диполь өрісі оның электрлік моментімен анықталады:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{r^3} \sqrt{1 + 3\cos^2 \theta}, \quad (7)$$

мұндағы θ — дипольдің $\vec{p}$ моментінің бағыты мен дипольден өрістің қарастырылып отырған нүктесіне жүргізілген $\vec{r}$ радиус-векторының бағыты арасындағы бұрыш.

Сыртқы біртекті электр өрісінде дипольге қос күш әсер етеді. **Қос күштің моменті** мына өрнекпен анықталады $\vec{M} = \vec{p}\vec{E}$.

Қос күш моментінің модулі мынаған тең $M = pE \sin \alpha$, мұндағы α — $\vec{p}$ векторы мен $\vec{E}$ өріс кернеулігінің арасындағы бұрыш. Бұл қос күш $\vec{p}$ және $\vec{E}$ векторлары бағыттас болатындай етіп дипольді бұруға тырысады. (сурет 6)



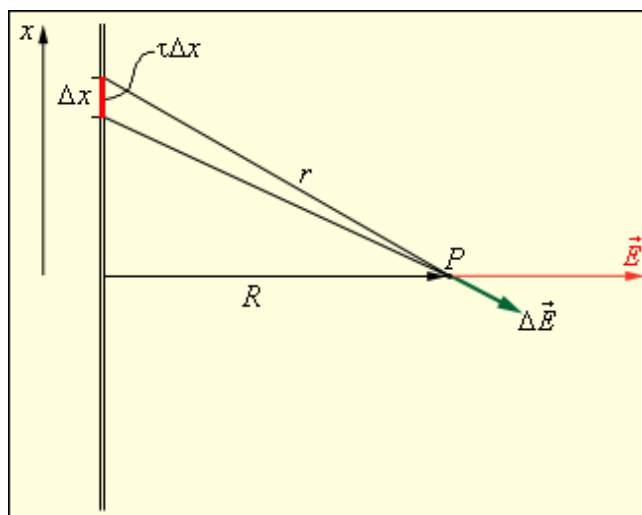
Сурет 6 –Электрлік диполь

Егер диполь біртекті емес өрісте орналасып, өріске параллель жатпаса, онда дипольге оны өріске параллель болатындай етіп бұруға тырысатын қос күшпен бірге дипольді күштірек өріс аймағына тартатын күш әсер етеді.

Бұл күштің шамасы электрлік дипольдің электрлік моментіне тура пропорционал:

$$F_x = p \frac{dE}{dx} \quad (8)$$

Шексіз ұзын түзу сызықты зарядталған жіптің кез келген нүктедегі өріс кернеулігі (сурет 7)



Сурет 7-Шексіз ұзын зарядталған жіп

Кеңістіктің кейбір Р нүктесіндегі шексіз ұзын зарядталған жіптің элементі.

1. Біртекті зарядталған шексіз жіптің өрісі

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 r}$$

мұндағы r - жіп пен қарастырылып отырған нүктенің ара қашықтығы.

2. Біртекті зарядталған шексіз жазықтықтың өрісі

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

3. Екі әр аттас зарядталған өзара параллель шексіз жазықтықтардың өрісі

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

4. Біртекті зарядталған сфералық беттің өрісі

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \quad r \geq R \quad \text{үшін}, \quad E = 0 \quad r < R \quad \text{үшін},$$

мұндағы r - сфера центрінен өрістің қарастырылып отырған нүктесіне дейінгі ара қашықтық.

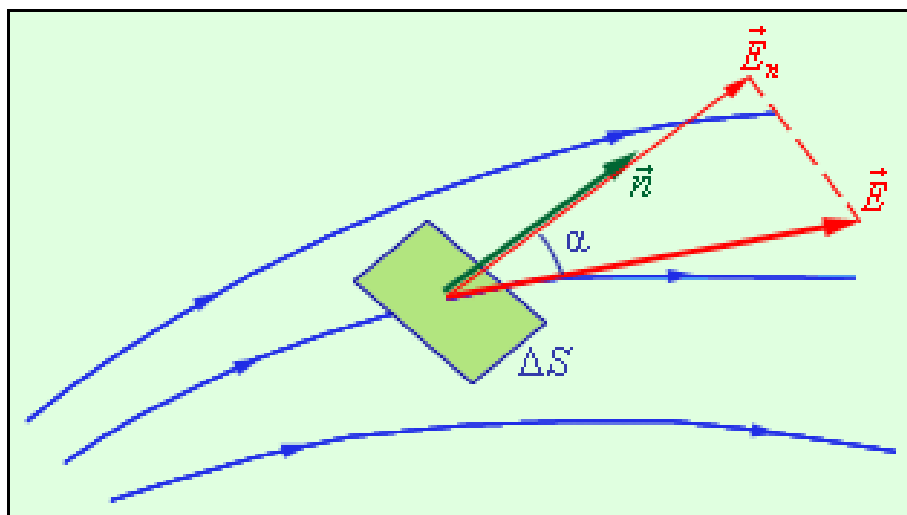
5. Көлем бойынша зарядталған шардың өрісі

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \quad r \geq R \quad \text{үшін},$$

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R^3} r \quad r < R \quad \text{үшін},$$

мұндағы r - сфера центрінен өрістің қарастырылып отырған нүктесіне дейінгі арақашықтық.

Кез келген зарядталған дененің өріс кернеулігінің есептеу **Гаусс теоремасы** көмегімен жасалынады (сурет 8).

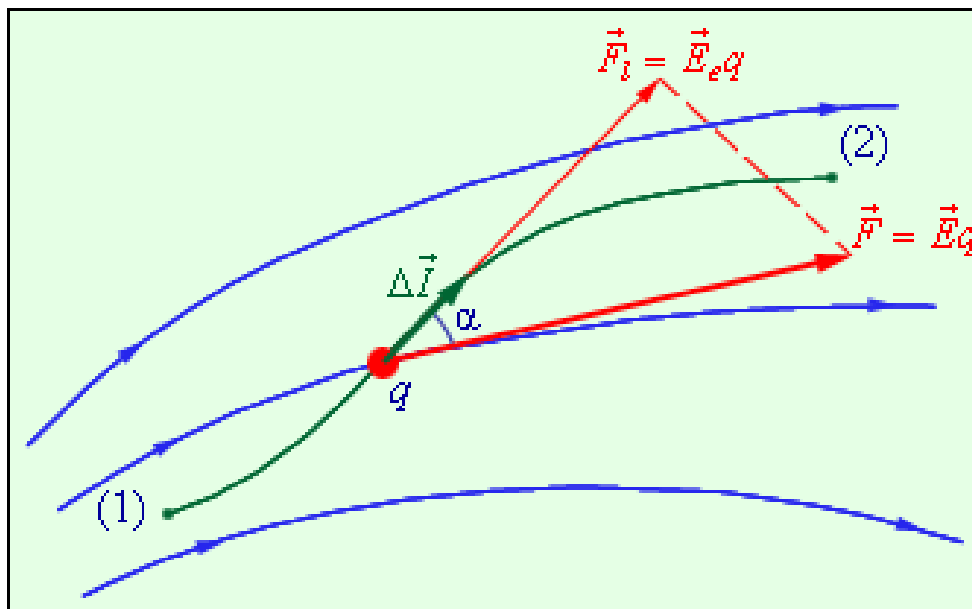


Сурет 8-Гаусс теоремасын қолдану мысалдары

Тақырып 3 Электростатикалық өрістің потенциалдылығы.

3.1 Электр өрісіндегі жұмыс.

Егер q нүктелік зарядтың электростатикалық өрісінде 1-ші нүктеден 2-шіге күштік сызықтың бойымен басқа q_0 нүктелік заряд орын ауыстырса, зарядқа әсер етуші күш жұмыс атқарады(сурет 9).



Сурет 9-Электр өрісінің жұмысын есептеу ережесі

$d\vec{r}$ элементар орын ауыстыруындағы $\vec{F}$ күшінің атқаратын жұмысы

$$dA = \vec{F} d\vec{r} = F dr = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r^2} dr$$

Сонда q_0 зарядты 1-ші нүктеден 2-шіге орын ауыстырғандағы атқарылатын

$$A_{12} = \int_{r_1}^{r_2} dA = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{qq_0}{r_1} - \frac{qq_0}{r_2} \right) \quad (9)$$

өріс күштерінің жұмысы жолдың траекториясына тәуелсіз болады да, бастапқы 1 және соңғы 2 нүктелердің орындарымен ғана анықталады. Бұл қорытынды кез келген электростатикалық өріс үшін орындалады. Демек, электростатикалық өріс **потенциалды** өріс болып табылады. Күштің потенциалдық өрісінде орналасқан дене потенциалдық энергияға ие болады да, соның есебінен өріс күштері жұмыс атқарады.

3.2 Скалярлық потенциал

Өріс күштерінің атқаратын жұмысы потенциалдық энергияның кемуіне тең: $A_{12} = W_{p1} - W_{p2}$.

Демек, q зарядының электр өрісінде орналасқан q_0 зарядының иеленетін потенциалдық энергиясы: $W_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r} + const$

Константаның мәні зарядты шексіздікке алыстатқанда (яғни, $r = \infty$), оның потенциалдық энергиясы нөлге тең болатындай етіп таңдап алынады. Бұл жағдайда $W_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r}$

Өрістің берілген нүктесіндегі **өріс потенциалы** деп аталатын

$$\varphi = \frac{W_p}{q_0} \quad (10)$$

скалярлық шама, $\vec{E}$ кернеулік векторымен қоса, электр өрісін сипаттау үшін пайдаланылады. Сонда q_0 зарядты 1-ші нүктеден 2-шіге орын ауыстырғандағы электростатикалық өріс күштерінің атқаратын жұмысын мына түрде жазуға болады $A_{12} = W_{p1} - W_{p2} = q_0 (\varphi_1 - \varphi_2)$.

Электростатикалық өрістің 1 және 2 нүктелерінің **потенциалдар айырмасы** бірлік оң зарядты 1-ші нүктеден 2-шіге орын ауыстырғандағы өріс күштерінің атқаратын жұмысына тең:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q_0} \quad (11)$$

Потенциалдың өлшем бірлігі – **вольт** (В): 1Кл зарядтың 1Дж потенциалдық энергияны иеленетін өріс нүктесінің потенциалы 1В-қа тең деп алынады.

Зарядтар жүйесінің өріс потенциалы әр жеке зарядтың туғызатын өріс потенциалдарының алгебралық қосындысына тең:

$$\varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i} \quad (12)$$

Электростатикалық өрісте электр зарядын кез-келген L тұйық контур бойымен орын ауыстырғандағы атқарылатын жұмыс нөлге тең: $\oint_L dA = 0$.

3.3 Өріс кернеулігі мен потенциал арасындағы байланыс.

Егер сыншы заряд $q_0 = +1$ Кл тең болса, онда

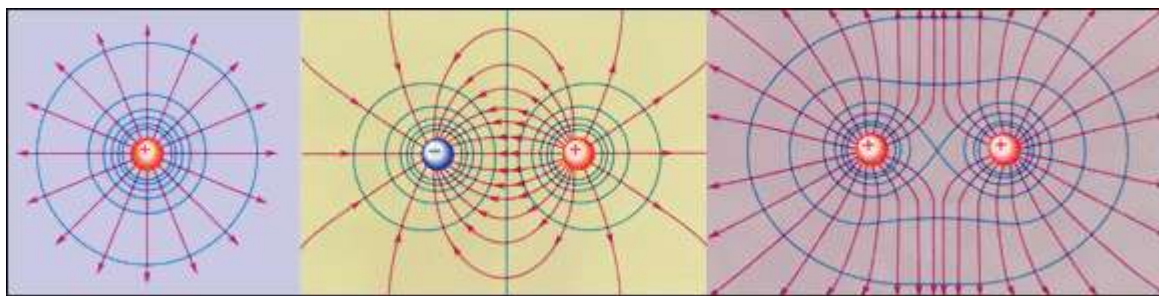
$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = \oint_L E_l dl = 0 \quad (13)$$

Электростатикалық өрістің кернеулік векторының кез келген тұйық контур бойымен алынған **циркуляциясынөлге тең**.

Электростатикалық өріс кернеулігі мен потенциал арасындағы байланыс мына теңдеумен өрнектеледі:

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi \text{ немесе } \vec{E} = -\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\vec{k}\right) \quad (14)$$

Барлық нүктелеріндегі потенциалдың мәндері бірдей беттерді **эквипотенциалды беттер** деп атайды(сурет10).



Сурет 10-Эквипотенциалды беттер

Кернеулік сызықтар эквипотенциалды беттерге **үнемі нормаль** бағытталады.

Өріс кернеулігі мен потенциалдың арасындағы байланысты белгілі өріс кернеулігі арқылы өрістің кез келген екі нүктесінің потенциалдар айырмасын анықтау үшін пайдалануға болады.

Кернеулігі $\vec{E}$ біртекті электр өрісінде орналасқан S жазық бет арқылы өтетін **кернеулік векторының ағыны** деп

$$N = ES \cos\alpha = E_n S = \vec{E} \vec{S} \quad (15)$$

скалярлық шаманы атайды. Мұндағы α - кернеулік $\vec{E}$ векторымен бетке жүргізілген $\vec{n}$ нормаль арасындағы бұрыш, E_n - $\vec{E}$ векторының $\vec{n}$ нормальға түсірілген проекциясы.

Біртекті емес өрісте орналасқан кез-келген аудан арқылы өтетін кернеулік векторының ағыны мынаған тең

$$N = \int_S E_n dS = \int_S \vec{E} d\vec{S} \quad (16)$$

Макроскопиялық зарядтарды қарастырғанда олардың дискретті (үздікті) құрылымына көңіл аудармайды да, оларды кеңістіктің әр нүктесінде шектелген тығыздықпен үздіксіз түрде таралады деп есептейді.

Зарядтың сызықтық тығыздығы деп дененің бірлік ұзындығына келетін зарядты атайды: $\tau = \frac{dq}{dl}$, Кл/м.

Зарядтың беттік тығыздығы деп аудан бірлігіне келетін зарядты атайды: $\sigma = \frac{dq}{dS}$, Кл/м².

Зарядтың көлемдік тығыздығы деп дененің бірлік көлеміне келетін зарядты атайды: $\rho = \frac{dq}{dV}$, Кл/м³

Вакуумдегі электростатикалық өріс үшін Гаусс теоремасы: кез келген тұйық бет арқылы өтетін вакуумдегі электростатикалық өрістің кернеулік векторының ағыны сол бетпен қоршалған зарядтардың алгебралық қосындысының ε_0 -ге қатынасына тең:

$$N = \oint_S E_n dS = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_{i=1}^k q_i.$$

1. Екі әр аттас зарядталған өзара параллель шексіз жазықтықтың (жазық конденсатор) арасындағы потенциалдар айырмасы:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_0^d E dx = \int_0^d \frac{\sigma}{\varepsilon_0} dx = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} d, \quad \text{мұндағы } d - \text{жазықтықтардың ара қашықтығы.}$$

2. Екі зарядталған коаксиалды цилиндрдің (цилиндрлік конденсатор) арасындағы потенциалдар айырмасы:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{r_1}^{r_2} E dr = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0 r} dr = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1},$$

мұндағы r_1 және r_2 – цилиндрлердің радиустары.

3. Екі зарядталған концентрлі сфераның арасындағы (сфералық конденсатор) потенциалдар айырмасы:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{r_1}^{r_2} E dr = \int_{r_1}^{r_2} \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} dr = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Тақырып 4 Өткізгіштердегі және диэлектриктердегі электрөрісі

4.1 Өткізгіштер жүйесі. Конденсаторлар.

Оқшауланған өткізгіштің потенциалы оның зарядына пропорционал:

$$q = C\varphi.$$

Потенциал мен заряд арасындағы C пропорционалдық коэффициентін **өткізгіштің электр сыйымдылығы** деп атайды. Сыйымдылық сан жағынан өткізгіштің потенциалын бір өлшемге арттыру үшін өткізгішке берілетін зарядқа тең:

$$C = \frac{q}{\varphi}. \quad (15)$$

Электр сыйымдылығының өлшем бірлігі - **фарад** (Ф): 1 Кл заряд берілгенде потенциалын 1 В-қа өзгертетін оқшауланған өткізгіштің сыйымдылығы 1 Ф-қа тең деп алынады.

Өткізгіштің сыйымдылығы оның өлшемдері мен пішініне тәуелді. Мысалы, радиусы R шар тәрізді өткізгіштің сыйымдылығы:

$$C = \frac{q}{\varphi} = \frac{q}{\frac{q}{4\pi\epsilon_0 R}} = 4\pi\epsilon_0 R$$
 Өлшемдері шамалы және қоршаған денелермен

салыстырғанда потенциалы азғантай болғанымен, өздерінде едәуір зарядты жинақтай алатын құрылғыны **конденсатор** деп атайды. Конденсатор бірінен-бірі диэлектрик қабатымен бөлінген қос өткізгіштен (астарлардан) тұрады. Өріс конденсатордың ішінде ғана жинақталады, ал кернеулік сызықтары оның бір астарларынан басталып екіншісінде аяқталады.

Конденсатордың сыйымдылығын мына өрнектің көмегімен анықтайды:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}, \quad (16)$$

мұндағы q – астарлардың біреуіндегі заряд,

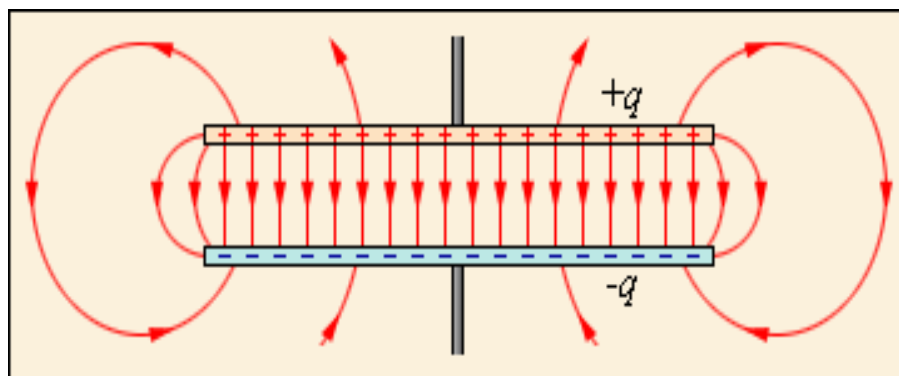
$\varphi_1 - \varphi_2$ - конденсатор астарларының арасындағы потенциалдар айырмасы.

Вакуумді конденсатордың сыйымдылығы C_0 , ал астарлары арасындағы кеңістік біртекті диэлектрикпен толтырылған сол конденсатордың сыйымдылығы C болсын. Сонда $\frac{C}{C_0} = \epsilon$

қатынасын диэлектриктің **салыстырмалы диэлектрлік өтімділігі** деп атайды.

4.2 Жазық конденсатордың сыйымдылығы

Конденсаторлардың ішінде ең қарапайым болып табылатыны –жазық конденсаторлар. Жазық конденсатор екі параллель металл пластиналар (астарлар)дан тұрады, арасындағы кеңістік диэлектрикпен толтырылады(сурет11).



Сурет 11-Жазық ауа конденсатор

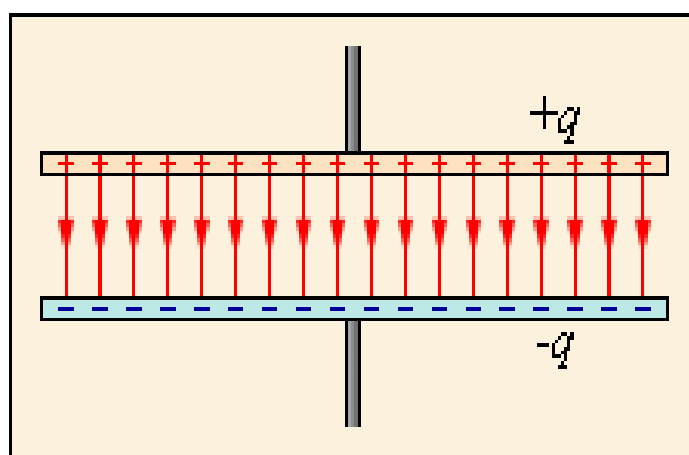
$$C_0 = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{\sigma S}{\frac{\sigma}{\varepsilon_0} d} = \frac{\varepsilon_0 S}{d} \quad (17)$$

мұндағы σ –зарядтың беттік тығыздығы,

d –астарлардың ара қашықтығы

S -астарлар ауданы

Диэлектрикпен толтырылған(сурет 12) жазық конденсатордың сыйымдылығы



Сурет 12-Жазық конденсатор

Астарлар арасындағы кеңістік диэлектрикпен толтырылған конденсатордың электр сыйымдылығын есептеу формуласы:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d} \quad (18)$$

Цилиндрлік конденсатордың сыйымдылығы

$$C_0 = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{ql}{\frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1}} = \frac{2\pi\varepsilon_0 l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (19)$$

мұндағы τ —зарядттың сызықтық тығыздығы,

l —цилиндр ұзындығы,

r_1 —цилиндрдің радиусы

r_2 —ішкі цилиндрдің радиусы

Диэлектрикпен толтырылған цилиндрлік конденсатордың сыйымдылығы

$$C = \frac{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 l}{\ln \frac{r_2}{r_1}}. \quad (20)$$

Сфералық конденсатордың сыйымдылығы

$$C_0 = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{\frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)} = \frac{4\pi\varepsilon_0}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)},$$

ал диэлектрикпен толтырылған сфералық конденсатордың сыйымдылығы

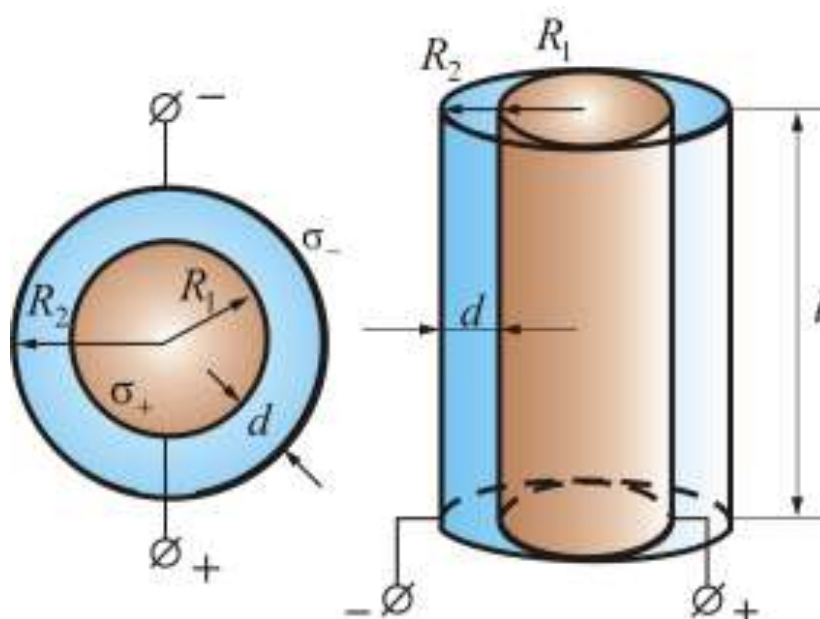
$$C = \frac{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)} \quad (21)$$

мұндағы ε —диэлектриктің (екі цилиндрлердің арасындағы кеңістігі толтырылған диэлектриктің) өтімділігі,

r_1 —сыртқы сфераның радиусы

r_2 —ішкі сфераның радиусы

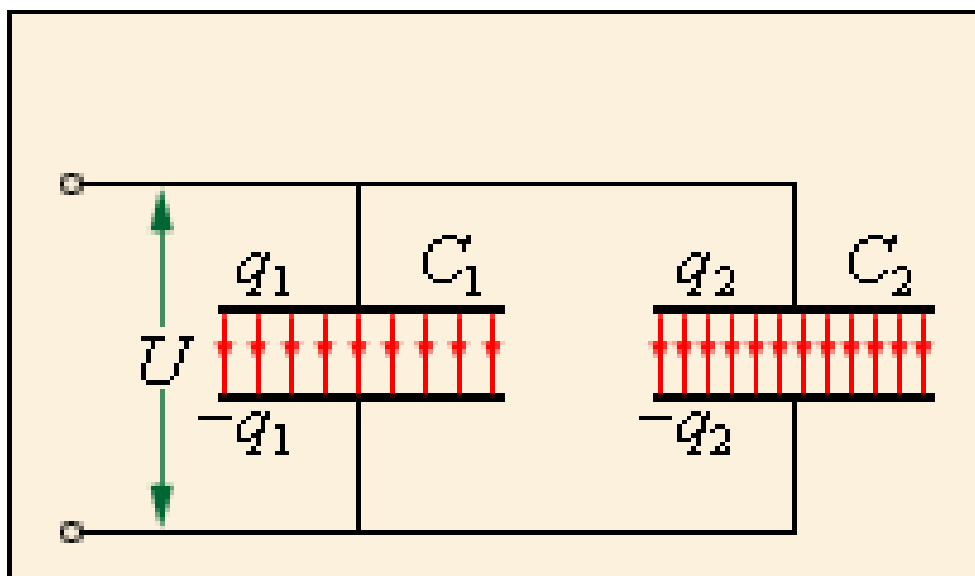
Сфералық және цилиндрлік конденсаторлар (сурет13)



Сурет 13-Сфералық және цилиндрлік конденсаторлар

Берілген кернеу үшін керекті сыйымдылықты алу мақсатында конденсаторларды бір-бірімен батарея құрып жалғайды.

Конденсаторларды параллель жалғау $C = \sum_{i=1}^n C_i$ (сурет14)



Сурет 14-Параллель жалғанған конденсаторлар

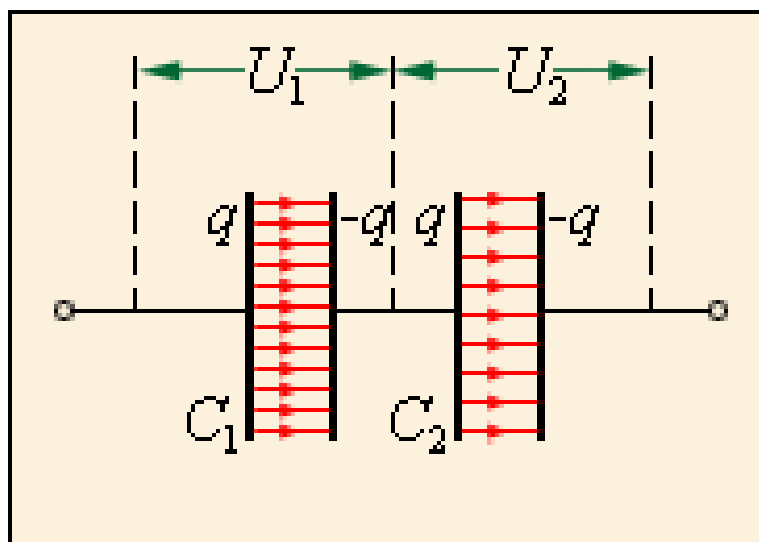
Пластиналар пішіні өріс кернеулігінің сан мәніне маңызды әсерін тигізеді. Нәтижесінде электростатикалық өрістің кернеулігі, потенциал айырымы да өзгереді.

$$U = \int_0^d E dr = Ed$$

Егер өткізгіш оқшауланбаған болса, онда оған заряд берген кезде ол ие болған потенциалы басқа өткізгіштердің бар болымымен және пішініне тәелді болады.

Астарлары барлық тізбектей қосылған конденсаторлар заряды модуль жағынан өзара тең, ал потенциалдар айырымы әр бір конденсатор астарларының потенциал айырымдарының қосындысына тең. Сондықтан конденсаторлар батареясына берілген заряд шамасы мен пайда болған потенциалдар айырымы арасындағы байланысын қолдана отырып, тізбектей жалғанған конденсаторлар батареясының жалпы электр сыйымдылығын есептеуге болады.

Конденсаторларды тізбектей жалғау $\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$ (сурет 15)



Сурет 15-Тізбектей жалғанған конденсаторлар

Өткізгіштің ішкі бөліктерінде зарядтың болмауы Гаусс теоремасының салдары болып табылады. Ал Гаусс теоремасының өзі Кулон заңына негізделген.

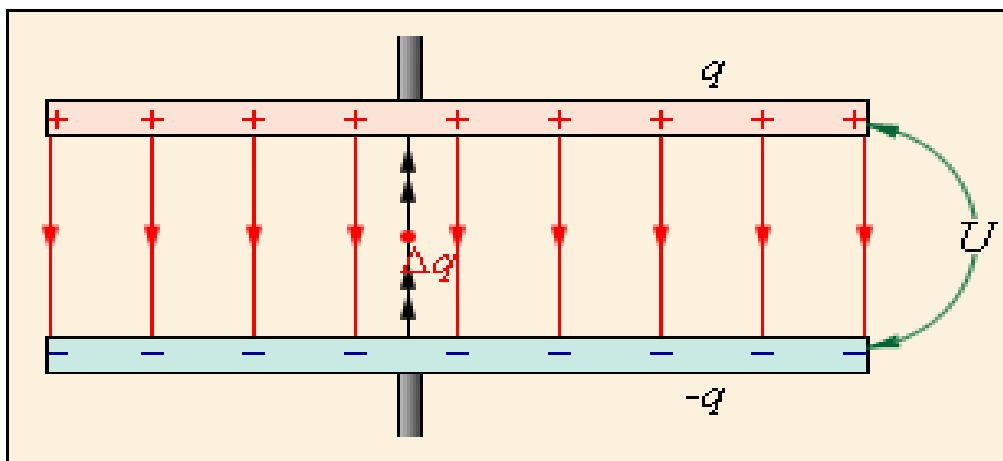
Тақырып 5 Электр өрісінің энергиясы

5.1 Өріс энергиясы және оның көлемдік тығыздығы

Бір бірінен r ара қашықтықта орналасқан нүктелік q_1 және q_2 зарядтардың өзара потенциалдық энергиясын q_2 зарядының өрісінде орналасқан q_1 зарядының потенциалдық энергиясы, немесе q_1 зарядының өрісінде орналасқан q_2 зарядының потенциалдық энергиясы деп қарастыруға

$$\text{болады: } W_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r} = q_1 \varphi_1 = q_2 \varphi_2 = \frac{1}{2} [q_1 \varphi_1 + q_2 \varphi_2]$$

мұндағы $\varphi_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{r}$ және $\varphi_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r}$ - q_1 заряды орналасқан нүктедегі q_2 заряды тудыратын және q_2 заряды орналасқан нүктедегі q_1 заряды тудыратын потенциалдарға сәйкес (сурет 16)



Сурет 16-Зарядталған конденсатор өрісі

Тыныштық күйдегі n заряд үшін **нүктелік зарядтар жүйесінің өзара әрекеттесу энергиясы**

$$W_p = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i \varphi_i$$

мұндағы φ_i - жүйенің i -ші зарядынан басқа, барлық зарядтарының q_i заряды орналасқан нүктедегі тудыратын потенциалы:

$$\varphi_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{k=1, k \neq i}^n \frac{q_k}{r_{ik}} \quad (22)$$

мұндағы $\sum_{k=1, k \neq i}^n \frac{q_k}{r_{ik}}$ - зарядтар жүйесінің әр бір зарядтың ара қашықтығына қатынасының алгебралық қосындысы.

Оқшауланған өткізгіштің беті эквипотенциалды болып табылады, яғни $\varphi = const$. Өткізгіш бетіндегі q зарядты q_i нүктелік зарядтар жүйесі деп қарастыруға болады. Сонда $W_p = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \varphi q_i = \frac{1}{2} \varphi \sum_{i=1}^n q_i = \frac{1}{2} \varphi q$

Өткізгіш бетіндегі зарядпен оның потенциалының арасындағы байланысты ескере отырып, **зарядталған өткізгіштің энергиясы** үшін төмендегідей өрнектерді жазуға болады:

$$W_p = \frac{1}{2} \varphi q = \frac{q^2}{2C} = \frac{C\varphi^2}{2} \quad (23)$$

Заряды $+q$ конденсатор астарының потенциалы φ_1 -ге, ал заряды $-q$ астарының потенциалы φ_2 -ге тең болды делік. Сонда

$$W_p = \frac{1}{2} (+q\varphi_1 + (-q)\varphi_2) = \frac{1}{2} q(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{1}{2} qU$$

Конденсатор астарларындағы заряд пен олардың арасындағы потенциал айырмасының байланысын ескере отыра **зарядталған конденсатор энергиясы** үшін мына өрнектерді жазуға болады:

$$W_p = \frac{1}{2} qU = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2} \quad (24)$$

мұндағы C -конденсатордың электрсійымдылығы,
 U - потенциал айырымы(кернеу)

Конденсатор астарлары бір-бірін тартатын механикалық (**пондеромоторлық**) күшті жазық конденсатордың потенциалдық энергиясы арқылы анықтауға болады:

$$F_x = -\frac{\partial W_p}{\partial x} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q^2}{2\varepsilon\varepsilon_0 S} x \right) = -\frac{q^2}{2\varepsilon\varepsilon_0 S}. \quad (25)$$

мұндағы q -зарядталған конденсатордағы заряд шамасы
 S -конденсатор астарларының ауданы.

Зарядталған конденсатордың энергиясы оның электр өрісінде, яғни оның астарларының арасындағы кеңістікте шоғырланған. Конденсатордың энергиясын оның электр өрісін сипаттайтын шамалар арқылы өрнектеуге болады.

Жазық конденсатор үшін мына өрнекті жазуға болады:

$$W_p = \frac{CU^2}{2} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 SU^2}{2d} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0}{2} \left(\frac{U}{d} \right)^2 Sd = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} V \quad (26)$$

мұндағы $Sd = V$ - өрістің алып отырған көлемі.

Егер өріс біртекті болса, онда оның ішіндегі энергия кеңістікте w тұрақты тығыздықпен таралады:

$$w = \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 E^2 \quad (27)$$

мұндағы E – электр өрісінің кернеулігі,
 ε – диэлектриктің диэлектрлік өтімділігі,
 ε_0 – электр тұрақтысы.

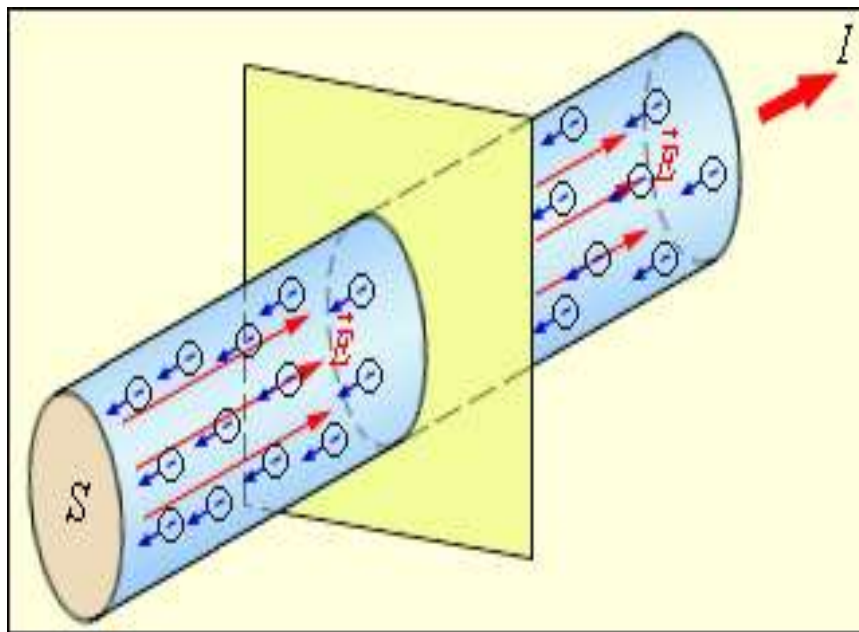
Әр нүктедегі **электр өрісі энергиясының тығыздығын** біле тұра, кез келген V көлеміндегі **электр өрісінің энергиясын** табуға болады:

$$w = \frac{E_p}{V} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2}; \quad D = \varepsilon \varepsilon_0 E; \quad w = \frac{DE}{2} - \text{өрістің тығыздығы}$$

Тақырып 6 Тұрақты электр тогы

6.1 Тұрақты ток бар кездегі электростатикалық өріс

Өрістің күш сызықтары өткізгіш бойымен бағытталған электростатикалық өрістің бар болу кезінде әр бір еркін электрон кернеулік бағытымен бағытталған күш әсеріне ұшырайды да осы күш әсерінен бағытталған қозғалысқа келтіріледі. Зарядталған бөлшектердің бағытталған қозғалысы электр тогы деп аталады. Металл өткізгіштегі токты өріске қарсы бағытталған еркін электрондар туғызады. Электролитте бағытталған қозғалыста екі таңбалы иондар туғызады. Бірақ электр ток бағытына Ампер бекіткен оң зарядталған бөлшектердің қозғалыс бағыты алынған (сурет 17)



Сурет 17-Өткізгіштегі электр тогы

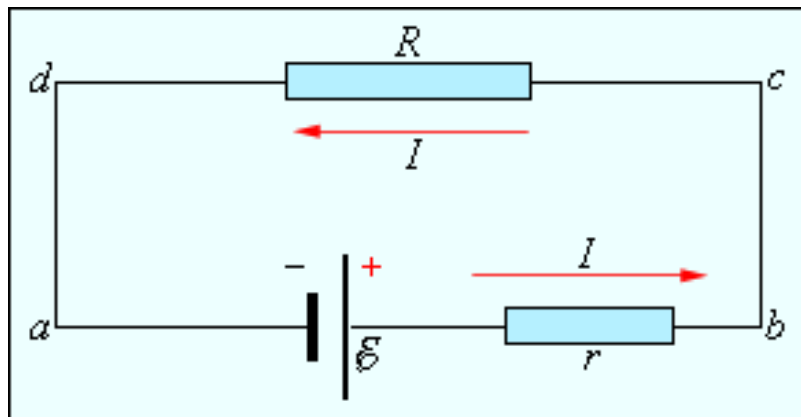
$$\text{Ток күші } I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \text{ ЭДС} = \mathcal{E} = \frac{A_{\text{ст}}}{q} \text{ ЭДС} = \mathcal{E} = \frac{A_{\text{ст}}}{q}.$$

Осы формуладағы ЭДС тұрақты ток тізбегіндегі ток көзінің ЭҚК (электр қозғаушы күші) болып табылады, яғни ток көзінің полюстеріндегі бөгде күштердің зарядты орын ауыстыру кезіндегі жұмысымен анықталады.

Ток күші Ом тәжірибесінен анықталған және тізбек бөлігі үшін Ом заңы

деп аталатын өрнегімен беріледі: $I = \frac{1}{R} U$ н/се $RI = U$. Бұл заңды мына түрде тұжырымдауға болады: өткізгіштегі ток күші түсірілген кернеуге тура пропорционал және өткізгіштің кедергісіне кері пропорционал. Осы өрнек кедергінің өлшем бірлігін Ом бекітуге рұқсат береді.

Электр тізбегінде зарядтардың бағытталған қозғалысын жүзеге асыратын құрылғы ток көзі деп аталады. Ол тізбек тұйықталған кезде сыртқы тізбек бөлігіне энергия бере отырып әр түрлі жүктемелері қосылған кездегі жұмысын атқауға энергия қорын беріп отырады(сурет 18).

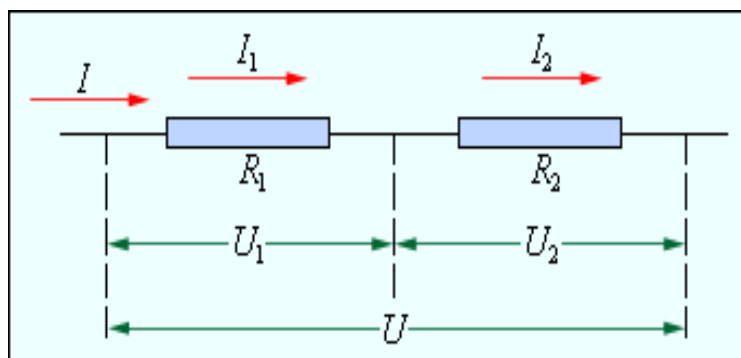


Сурет 18-Ток көзі

Тұйықталған немесе толық тізбек үшін Ом заңы келесі түрде беріледі:

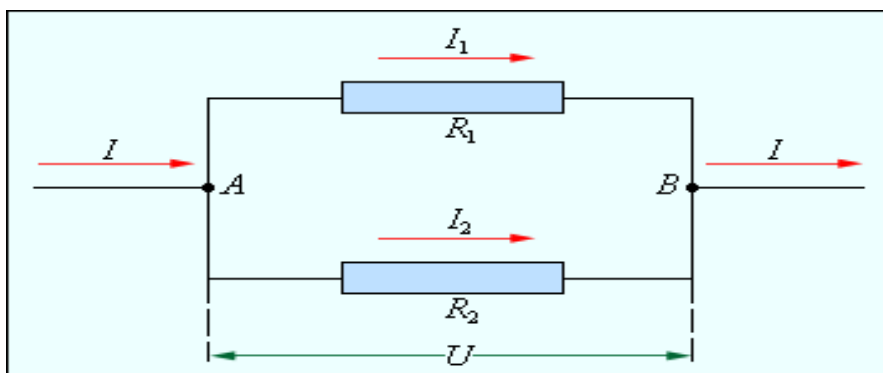
$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}.$$

Өткізгіштерді параллель және тізбектей жалғау кезіндегі сұлбалары мен толық кедергіні есептеу формулалары (сурет 19,20)



Сурет 19-Өткізгіштерді тізбектей жалғау

Тізбектей жалғанған өткізгіштердің жалпы кедергісін есептеу формуласы
 $R = R_1 + R_2.$

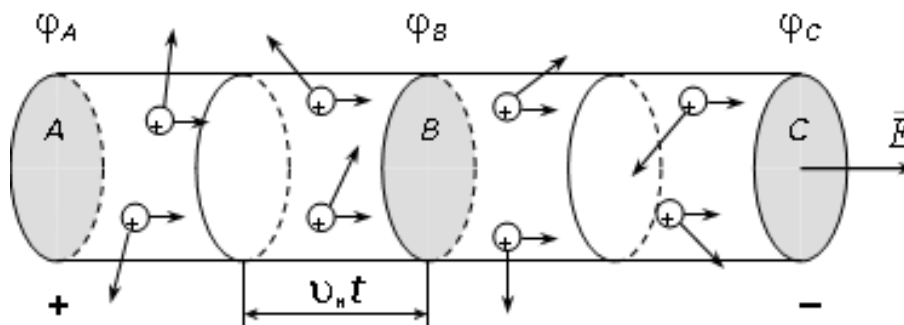


Сурет 20 –Өткізгіштерді параллель жалғау

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

Параллель жалғанған өткізгіштердің жалпы кедергісі

Әр бір заряд үшін өткізгіш бөлігіндегі (сур. 21) екі жылдамдық бағыттары көрсетілген: бағытталған қозғалыс жылдамдығы v_n , барлық зарядтар үшін бірдей, және жылулық ретсіз қозғалыс жылдамдығы. Қорытқы жылдамдығы көрсетілмеген. Бірақ, ол барлық зарядтар үшін өріс бағытымен v_n жылдамдықпен зарядтардың дрейфін бере отыратыны мәлім, өйткені зарядтардың жылулық жылдамдықтардың векторлық қосындысы олардың кездейсоқ бағытына сай нольге тең.



Сурет 21- Электрондар қозғалысының дрейф жылдамдығы

Күштік сызықтарына перпендикуляр кернеулік бағытында кемитін потенциалдары мен эквипотенциал беттер өтеді. Екі потенциалды салыстырғанда үлкенін плюспен, кішісін теріс таңбамен белгілейді. Таңбасы өткізгіштің қай жазықтығымен салыстыру жасалатындығына тәуелді таңбасы алынады. В жазықтығын потенциалы оң, С-нікі мен салыстырғанда, және А-ға қатысты реістігірек, сондықтан ток әр қашанда плюстен минусқа қарай бағытталады.

6.2 Токтың жұмысы мен қуаты

Өткізгіштің бірлік уақыт ішінде бірлік аудан арқылы тасымалданатын заряд шамасы ток күші деп аталады:

$$i = \frac{dq}{dt}. \quad (28)$$

Анықтамасы бойынша ол векторлық шама бола алмайды.

Өткізгіштің көлденең қимасының ауданы арқылы ток күшін ток тығыздығы деп атаймыз:

$$\vec{j} = \frac{di}{dS_n} \cdot \frac{\vec{v}_n}{v_n}, \quad (29)$$

мұндағы di — зарядтардың бағытталған қозғалысына перпендикуляр dS_n аудан арқылы ток күші. Ток тығыздығы оң зарядтардың бағытталған қозғалысы мен дәл келетін векторлық шама болып табылады.

Ток өткен тізбекте жылу бөлінеді, сонымен бірге тұтынушы тізбектегі қозғалтқыштарда электр немесе магнит өрістері жұмыс істейді, электролиттерде электр өрісі жұмыс атқарады, химиялық түрлендіру реакцияларын демейді және т.б. жұмыс атқарылады.

Осы жұмыстың шамасы Джоуль –Ленц заңымен сипатталады $A = UIt$ немесе $Q = \int_0^t I^2 R dt$ ал дифференциалды түрде $w_m = \rho j^2$

w_m -меншікті қуат, ρ - меншікті кедергі, $\vec{j}$ - ток тығыздығы.

Тұрақты ток тізбегінің толық қуаты, яғни ток көзі сыртқы тізбекке бере алатын

куаты $P = \varepsilon I = \frac{\varepsilon^2}{R+r} R$, ал сыртқы тізбекке қосылған жүктеменің пайдаланған

куаты $P_n = I^2 R = \varepsilon I - I^2 r = \frac{\varepsilon^2 R}{(R+r)^2}$, осыдан ток көзінің пайдалы әсер

коэффициентін анықтауға болады $\eta = \frac{P}{P_n} = 1 - \frac{Ir}{\varepsilon} = \frac{R}{R+r}$

Кирхгоф ережелері

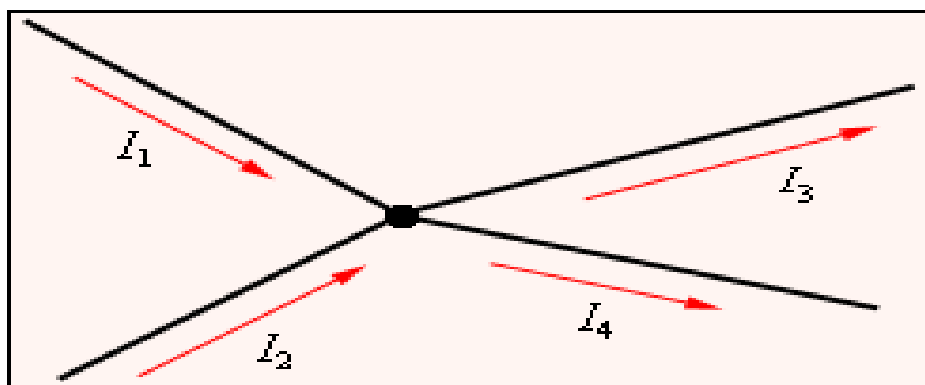
Тармақталған тізбекте Ом заңын қолдану қиынға соғады. Бұндай тізбектер үшін арнайы әдістер қорытылған. Сондай әдістердің көбісі Кирхгоф ережелеріне сүйенеді.

Кирхгофтың ережелері:

1. Тізбектің түйінінен өтетін токтардың алгебралық қосындысы нольге тең: $\sum I_k = 0$.

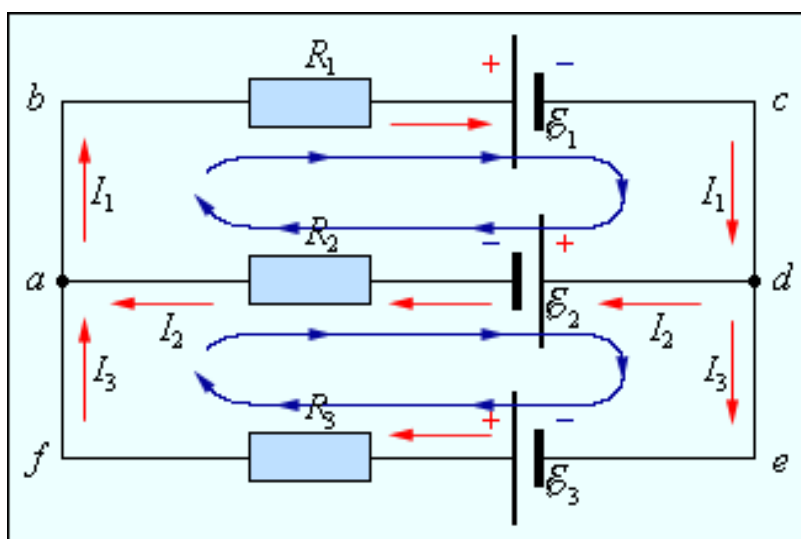
Үш немесе одан да артық тоғысатын токтар шамасы берілген болса, онда тізбектің сол нүктесін түйін деп атайды. Есептерді шығару кезінде түйінге кіретін ток шамасын оң деп, шығатын ток шамасын теріс таңбамен Кирхгофтың бірінші ережесіне еңгізіп алады. $\sum I_k = 0$ немесе : $I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = 0$. (сурет 22)

Келтірілген мысалында төрт тогы тоғысады. Олардың ішінде бірінші ток таңбасы оң, екіншісі оң, үшінші мен төртіншінің таңбалары теріс болып еңгізіледі.



Сурет 22 -Түйін

2. Тұйық контурдағы кернеу түсулерінің алгебралық қосындысы сол контурдағы электр қозғаушы күштердің алгебралық қосындысына тең:
 $\sum I_i R_i = \sum \mathcal{E}_k$ (сурет 23)



Сурет 23-Тармақталған тізбек

Күрделі ток тізбектерін есептеу кезінде Кирхгоф ережелерін пайдалану қажет:

-барлық тізбек бөліктерінде ток бағытын таңдап алу керек, токтардың шын бағыттары есептеулер жасаған соң анықталады.

-контурды орап өту бағытын таңдап алу керек, ток бағытымен контур орау бағыты дәл келсе $I R$ көбейтіндісі оң, таңдар алынған бағытта ЭҚК бағыты дәл келсе таңбасы оң, және керісінше.

Тақырып 7 Металлдардағы ток тасымалдаушылардың табиғаты

7.1 Металдар электр өткізгіштігінің классикалық теориясы

Классикалық электрондық теорияның негізгі қағидалары мен тәжірибелік дәлелдемелері, орта мектеп бағдарламасы бойынша, осы тақырыпта оқытылады. Көп уақыт бойы мәселені оқыту керектігі талас туғызып келген болатын. Қазір ол бағдарламаға қосылғанымен, материалдың қандай дәрежеде берілу керектігі әдіскерлер арасында айтыс туғызуда. Бағдарламада мәселені формулалар қолданбай-ақ тек сапа жағынан ғана қарастыру көзделген..

Қалай болғанда да мұғалім материалды жақсы меңгерген болуы тиіс, онсыз материалды сапалық тұрғыдан да түсіндіруі қиын.

Металдардың электр өткізгіштігінің теориясын алғаш жасаған П. Друде (1900 ж.) болғанымен, оны жетілдірген Г.А. Лоренц болды. Әр түрлі заттардың электрлік қасиетін олардағы электрондардың қозғалысы арқылы түсіндіру электрондық теорияның мазмұнын құрайды.

Классикалық электрондық теория мынадай қағидаларды басшылыққа алады:

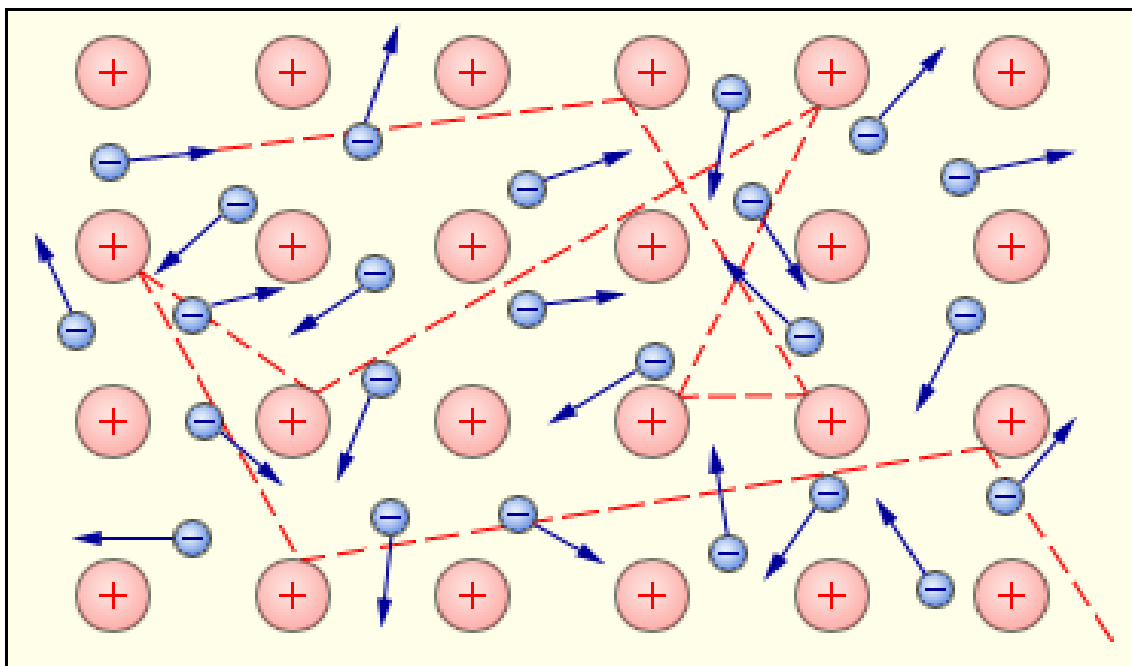
1) Электрондардың қозғалысы классикалық механика заңдарына бағынады.

Электрондар бір-бірімен әсерлеспейді. Электрондар тек кристалдық тордағы иондармен әрекеттеседі, әрекеттесуі - олардың тек соқтығысуы ғана. Соқтығысулар аралығында электрондар еркін қозғалады.

Денедегі еркін электрондар идеал газ тәрізді электрондық газ түзеді, электрондық газ да энергияның еркіндік дәрежесіне қарай бір қалыпты таралу заңына бағынады.

Классикалық электрондық теория материалдардың кедергісін, Ом және Джоуль-Ленц заңдарын жақсы түсіндіріп береді, меншікті электр өткізгіштікті металдың атомдық тұрақтылары арқылы өрнектеуді мүмкін етеді, электр өткізгіштіктің температураға тәуелділігін сапа жағынан болса да түсіндіре алады, жылу өткізгіштік пен электр өткізгіштік арасында байланыс бар екендігін көрсетеді. Сонымен бірге теория заттардың бірқатар басқада электрлік және оптикалық қасиеттерін түсіндіре алады. Бірақ кейбір құбылыстар жөніндегі классикалық электрондық теориялық мың қорытындылары тіпті тәжірибенің көрсетуіне қайшы келеді. Мысалы, теорияның тұжырымы бойынша температура өскенде металдың меншікті кедергісі T шамасына пропорционал өсуі тиіс, ал шындығында ол температураның бірінші дәрежесіне тура пропорционал. Классикалық электрондық теория материалдардың жылу сиымдылығы мен асқын өткізгіштік құбылысын тіпті де түсіндіре алмайды.

Металдардағы кеңістік тордың түйіндерінде оң зарядты иондар тербелмелі қозғалыс жасап тұрады. (сурет 24).



Сурет 24-Металдағы ток тасушылар

Тордың түйіндері мен және еркін электрондардың бір-бірімен соқтығысу нәтижесінде еркін электрондар өз энергиясының біраз бөлігін жоғалтын ретсіз жылулық қозғалыста болады.

Металдардағы ток тасушылар- кристалдық тордың иондары мен әлсіз байланысқан еркін электрондар болып табылатын ұсыныс металл өткізгіштігінің электрондық теориясы деп аталады. Бұл теория (1863-1906) П.Друде неміс ғалым мен жасалынып, соңында нидерланд физигі Х.Лоренц пен өндірілген.

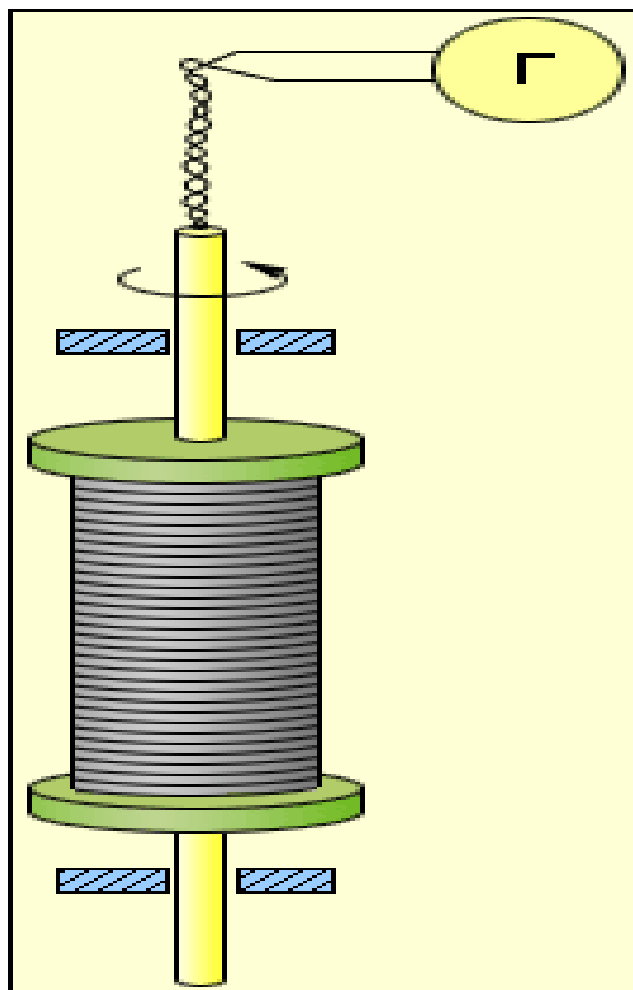
Теорияның тәжірибелері: Рикке, Томсон Д., Стюарт Б.

Рикке (1901) жыл бойы электр тогын тізбектей жалғанған тегістелген радиустары бірдей металл цилиндрлер (Cu, Al, Cu) арқылы өткізді. Өткен заряд шамасы үлкен мәніне жеткендігіне қарамастан, ең болмаса микроскопиялық зат алмасу ізі қалмаған. Бұл тәжірибе металдағы иондар электр өткізуде қатыспайды, ал заряд тасымалдаушы болып, барлық металдар үшін жалпы ұсақ бөлшектері мен жасалынады дегенге әкеп соқты. Ондай бөлшектер болып 1897 ж.ағылшын физигі Д.Томсон ашқан электрондары болуы мүмкін.

Осы болжамдың эксперименталды дәлелдеуі үшін тасушылардың меншікті зарядтың таңбасымен шамасы қажет болған. Ондай тәжірибелерді 1916 ж. жаңартылған ағылшын физигі Р.Толмен мен шотлан физигі Б.Стюарт жасаған.

Тәжірибеден анықталған зарядтың оның массаға қатынасы анықталған қондырғы(сурет 25).

Маңызды тәжірибесінің қондырғысы.



Сурет 25-Тәжірибе қондырғысы

Эксперименталды жолмен анықталған заряд тасушылардың меншікті

зарядтың сан мәні $\frac{e}{m} = 1,75882 \cdot 10^{11} \text{ Кл / кг.}$

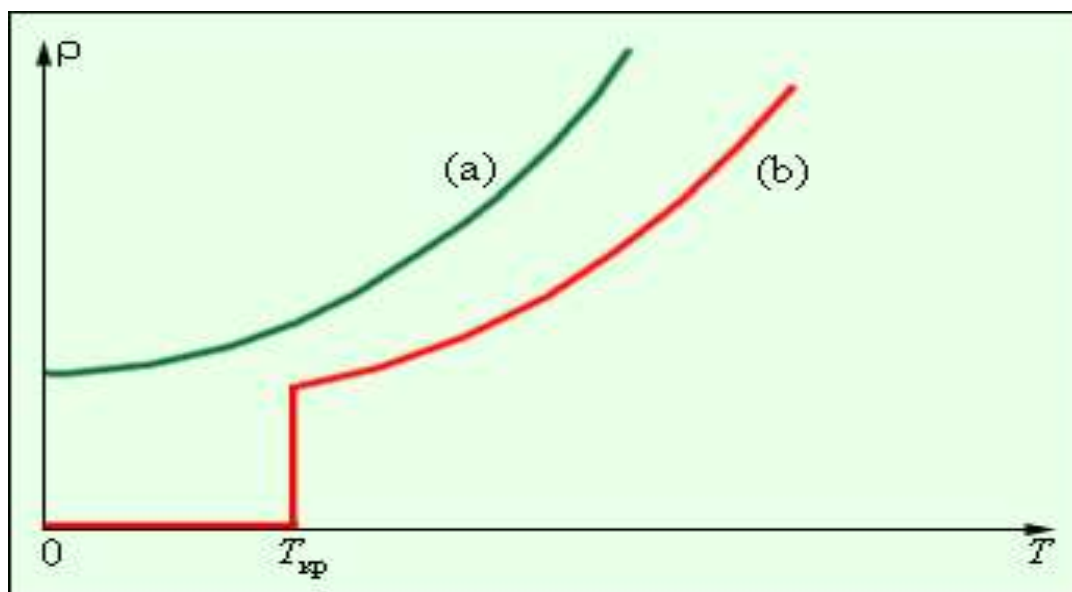
Осы тәжірибелердің, яғни металдардың классикалық теориясының негізгі заңдардың қорытындылары: Ом, Джоуль–Ленц, Видеман -Франц заңдары. заңы Джоуль-Ленц заңынан оның дифференциалды түрдегі өрнегі шығатыны

дәлелденген.
$$\Delta Q = \frac{nSl\Delta t}{\tau} \frac{e^2 \tau^2}{2m} E^2 = \frac{ne^2 \tau S}{2m l} U^2 \Delta t = \frac{U^2}{R} \Delta t.$$

Джоуль-Ленц заңы бойынша өткізгіштегі токтын жасаған жұмысы орын ауыстырмаған немесе химиялық өзгерістер пайда болмаған жағдайда жылуға айналатындығын анықтауға болады. Басқаша бұл құбылысты тұрақты электр тогының жылулық әсері деп атайды.

Олардың ішінде металл өткізгіштердің температуралық тәуелдігі де шығады. (сурет 26).

Температураға өткізгіштердің тәуелділігінің түрлері төменде келтірілген.



Сурет 26- Металлдардың температуралық тәуелділігі

Төмен температураларда меншікті кедергінің абсолютті температураға тәуелділігі: а – нормал металл; б – асқынөткізгіш.

Металл абсолютті өткізгішке айналу құбылысын асқынөткізгіштік деп атайды. Төмен температураларда бақыланатын осы құбылыс алғашқы рет 1911 жылы сынап үшін Г.Камерлинг-Оннеспен ашылған.

Асқынөткізгіштік құбылыс кванттық теория негізінде түсіндіріледі.

Тәжірибелік асқынөткізгішті материалдардың(асқынөткізгішті магниттердің орамаларында, ЕАм жүйелерінде және т.б.) олардың кризистік температураларына байланысты қиындау. Қазіргі уақытта бақыланған және белсенді қолданыла отырған керамикалық материалдар, өз асқынөткізгіштігі мен олар 140 К температура кезінде ие болады.

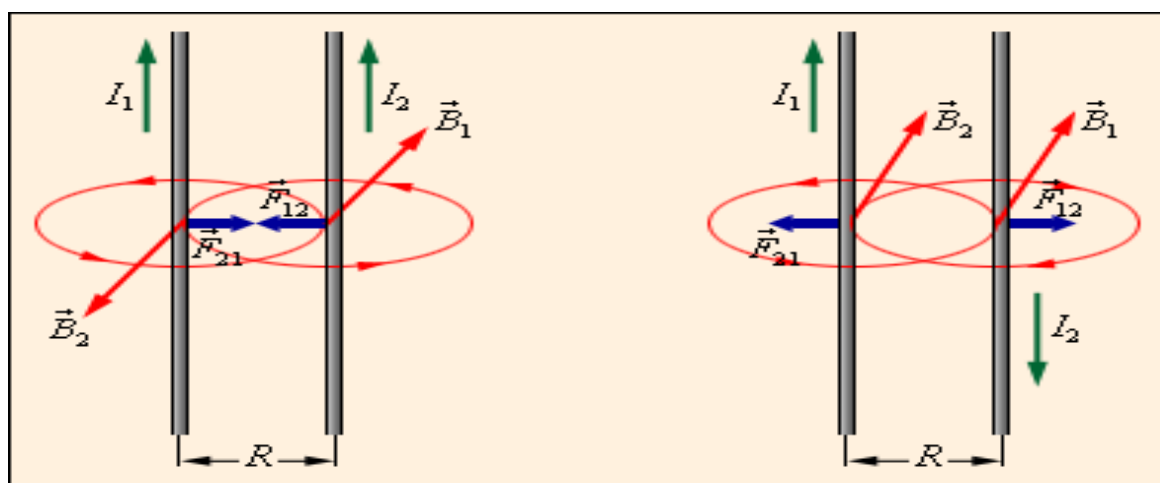
Өткізгіштердің температураға тәуелділігіне кедергілік термометрлердің жұмыс жасау принципі негізделген, олар градуирленген өзарабайланыс негізінде температураны 0,001 К дәлдікпен өлшеуге мүмкіндік береді.

Жұмыстық зар ретінде жартылай өткізгіштер пайдаланатын кедергілік термометрлер, арнайы технология арқылы жасаланғандар *термистрлер* деп аталады. Олар температураны кельвиннің миллионданған бөлігімен дәл өлшей алады.

Тақырып 8 Магнетизм

8.1 Тұрақты токтың магнит өрісі

1820 жылы дат физигі Х. Эрстед магнит тілшесіне электр тогының бағыттайтын әсерін байқаған. Сол аралықта француз физигі А.М. Ампер тогы бар екі өткізгіштің өзара әсерлесуін ашып, толығымен зерттеді. Магниттік өзара әсерлесу тек қозғалыстағы электр зарядтарына (токтарға) тән екендігі анықталды. Токтардың магниттік өзара әсерлесуі материяның ерекше түрі – **магнит өрісі** -арқылы жүзеге асады. Магнит өрісінің негізгі қасиеті – сол өрісте орналасқан тогы бар өткізгішке күштің әсер етуі. Магнит өрісінің қасиеттерін зерттеу үшін тогы бар рамка қолданылады.



Сурет 27-Параллель токтардың өзараәсерлесуі

Берілген нүктедегі магнит өрісінің бағыты ретінде рамкаға жүргізілген $\vec{n}$ оң нормалінің өрістегі бағыты алынады. Тогы бар рамкаға әсер ететін күштер жұбының айналдыру моменті

$$\vec{M} = \vec{p}_m \vec{B}, \quad (30)$$

мұндағы $\vec{p}_m = IS\vec{n}$ - тогы бар рамканың магниттік моменті,

$\vec{B}$ - магнит индукциясының векторы деп аталатын магнит өрісінің сандық сипаттамасы.

Біртекті магнит өрісінің берілген нүктесіндегі **магнит индукциясы** магниттік моменті бірге тең рамкаға, оған жүргізілген оң нормаль өріс бағытына перпендикуляр болғандағы, әсер ететін максималды айналдыру моменті арқылы анықталады.

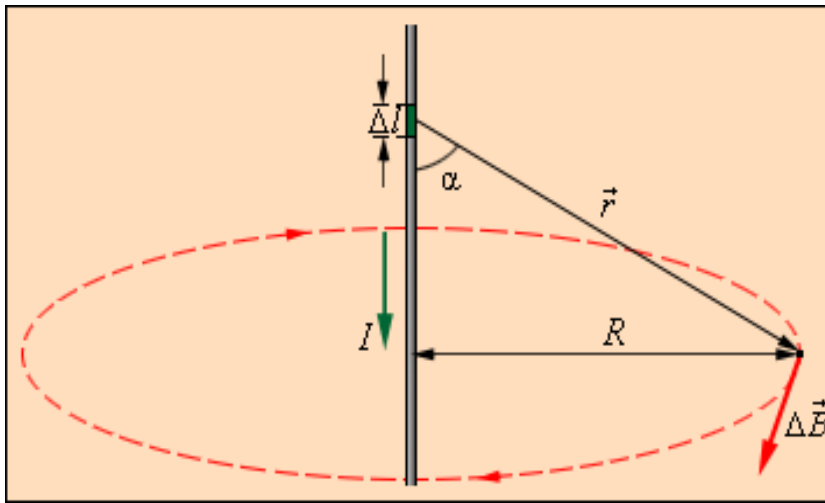
Магнит индукцияның өлшем бірлігі - **тесла** (Тл).

8.2 Био–Савар-Лаплас заңы

Idl элементі өрістің кейбір нүктесінде $d\vec{B}$ индукциясын тудыратын I тогы бар өткізгіш үшін **Био-Савар-Лапласзаңы** төмендегідей өрнектеледі.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} \quad (31)$$

мұндағы $\vec{r}$ - токтың Idl элементінен өрістің қарастырылып отырған нүктесіне жүргізілген радиус-векторы, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнит тұрақтысы. $d\vec{B}$ - ның бағыты $d\vec{l}$ және $\vec{r}$ векторларының бағытына перпендикуляр, яғни олар жатқан жазықтыққа перпендикуляр (сурет 28).



Сурет

өткізгіш өрісі

28- Шексіз ұзын

Бұл бағытты **оң бұрғы ережесі** бойынша анықтауға болады: егер бұрғының ілгерілемелі қозғалысының бағыты элементтегі токтың бағытымен дәл келсе, онда бұрғы сабының айналу бағыты $d\vec{B}$ векторының бағытымен дәл келеді.

$d\vec{B}$ векторының модулі төмендегі өрнекпен анықталады: $dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin \alpha}{r^2}$

мұндағы α - $\vec{r}$ және $d\vec{l}$ векторлары арасындағы бұрыш.

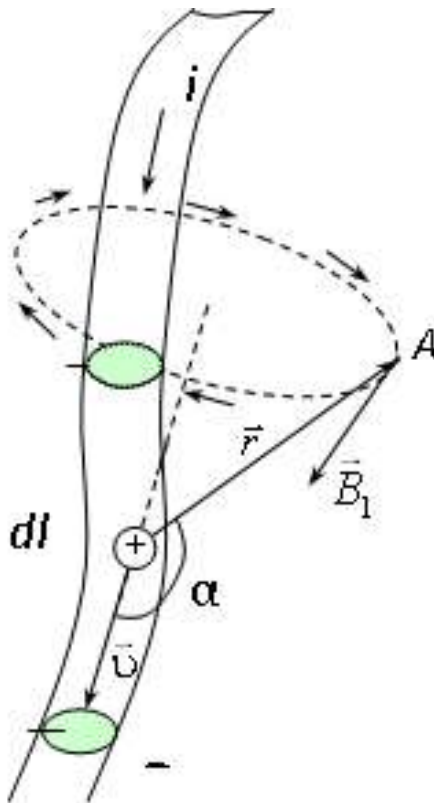
Электр өрісі сияқты, магнит өрісі де **суперпозиция** принципіне бағынады: бірнеше токтар тудыратын қорытқы өрістің магнит индукциясы әрбір жеке токтың тудыратын өрістерінің магнит индукцияларының векторлық қосындысына тең:

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$$

Био-Савар-Лаплас заңының суперпозиция принципімен қоса қолдануы кейбір токтардың магнит өрістерін анықтауға мүмкіншілік береді.

1. Түзу токтың магнит өрісі:

Био-Савар-Лаплас заңы $d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i[d\vec{l} \times \vec{r}]}{r^3}$ бойынша кез келген пішіні өткізгіш үшін кез келген кеңістіктің нүктесіндегі магнит өрісінің индукциясы есептелінеді (сурет 29)



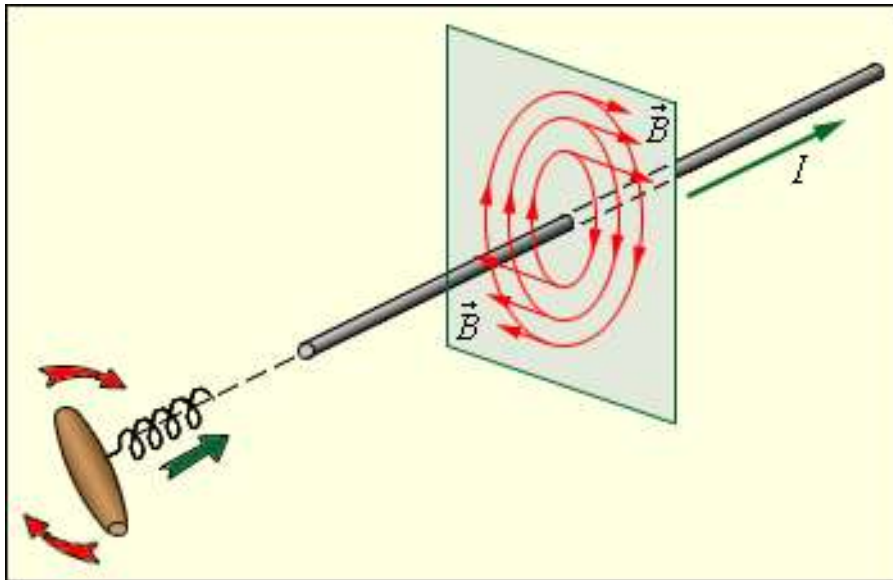
Сурет 29-Магнит өрісінің индукциясын есептеу

Түзу өткізгіштегі ток күшін есептеу кезінде Био-Савар-Лаплас формуласынан қорытын мына түрге келтіріп алуға болады:

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{r} \quad (32)$$

мұндағы r - ток пен қарастырылып отырған нүктенің ара қашықтығы.

Егер түзу өткізгіштегі ток бағыты мен бұранданы бұратын болсақ, онда оның қол сабының бұрылысы магнит өріс индукция векторының бағытын анықтап береді (сурет 29).



Сурет 29-Магнит индукция вектор бағыты

2. Дөңгелек токтың центріндегі магнит өрісі:

$$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{I}{R}, \quad (33)$$

мұндағы R - дөңгелек токтың радиусы.

Магнит индукциясының сызықтары деп әр нүктесінде жүргізілген жанамалары өрістің сол нүктесіндегі $\vec{B}$ магнит индукциясы векторымен бағыттас болатындай етіп жүргізілген сызықтарды атайды. Индукция сызықтарын оларға перпендикуляр орналасқан бірлік бет арқылы өтетін сызықтар саны сол жердегі $\vec{B}$ векторының модуліне тең (немесе пропорционал) болатындай қоюлықпен жүргізеді.

Өрістің кейбір нүктесіндегі $d\vec{H}$ кернеулік векторын табу үшін, барлық $d\vec{l}$ элементтерімен туғызылған жан-жаққа бірдей бағытталған магнит өрісінің кернеулігін де табуға болады $H = \int dH = \int \frac{1}{4\pi} \frac{idl}{r^2} \sin \alpha$.

$$H = \int \frac{1}{4\pi} \frac{id\alpha}{r}.$$

Тоғы бар өткізгіштіке перпендикулярды түсіріп оның ұзындығын $r \sin \alpha$ белгілеп a әрпімен, бір айнымалысы болатын интегралды аламыз

$$H = \frac{i}{4\pi} \int_0^\pi \frac{\sin \alpha d\alpha}{a}, \text{ нәтижесінде } H = \frac{i}{2\pi a} \cdot H = \frac{i}{4\pi a} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$$

8.3 Құйынды магнит өрісі

Магнит индукциясының сызықтары әрқашан **тұйықталған** болады және тогы бар өткізгішті қамтиды. Үздіксіз сызықтарды иеленетін векторлық өрісті **құйынды өріс** деп атайды. **Магнит өрісі - құйынды өріс.**

Магнит өрісін сипаттау үшін магнит индукциясымен қатар басқа физикалық шаманы қолданады – ол магнит өрісінің $\vec{H}$ кернеулігі. Вакуумде ол магнит индукция векторымен $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0}$ өрнегі арқылы байланысқан.

Магнит өрісі кернеулігінің өлшем бірлігі – А/м.

Магниттік кернеу ұғымын енгізейік:

$$U_m = \int_L H_l dl \quad (34)$$

мұндағы H_l - ұзындығы l контурдың бойындағы магнит өріс кернеулігінің проекциясы,

dl тогы бар контур элементі.

Магниттік кернеу L контурдың пішініне тәуелді, ол контурдың бастапқы және соңғы нүктелерінің орындарымен ғана анықталмайды.

Кез келген тұйық контур бойымен алынған магниттік кернеу ($\vec{H}$ векторының циркуляциясы) нөлге тең емес. Ол осы контурмен қамтылған токтардың алгебралық қосындысына тең:

$$\oint_L H_l dl = \sum_{i=1}^n I_i \quad (35)$$

мұндағы n - пішіні кез келген L контурымен қамтылған тогы бар өткізгіштердің саны.

Бұл $\vec{H}$ векторының циркуляциясы жайлы теореманы басқаша **вакуумдегі магнит өрісі үшін толық ток заңы** деп де атайды. $\vec{H}$ векторының циркуляциясы жайлы теореманың көмегімен соленоид және тороидтың магнит өрістерін анықтауға болады.

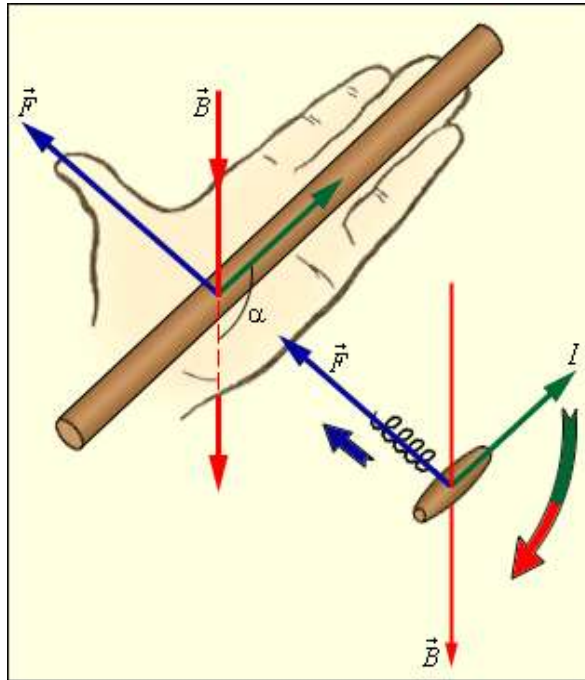
1. Ұзындығы l , орам саны N **соленоидтің** өрісі: $H = \frac{NI}{l}$.

2. **Тороидтың**, яғни радиусы r , тор пішінді өзекшеге оралған сақина тәрізді катушканың, өрісі: $H = \frac{NI}{2\pi r}$, мұндағы N - орамдар саны.

Магнит өрісінің осы өрісте орналасқан $Id\vec{l}$ ток элементіне әсер ететін $d\vec{F}$ күші: $d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$.

$d\vec{F}$ векторының бағытын **сол қол ережесі** бойынша анықтауға болады: егер сол қолдың алақанын оған $\vec{B}$ векторы кіретіндей, ал ашылған төрт саусақты өткізгіштегі токпен бағытталатындай етіп орналастырса, онда тік бұрышқа қайырылған бас бармақ токқа әсер ететін күштің бағытын көрсетеді.

Ампер күші деп аталатын осы күштің модулі мына өрнектің көмегімен анықталады(сурет 30).



Сурет 30-Сол қол ережесі

$$dF = IBdl\sin\alpha \quad (36)$$

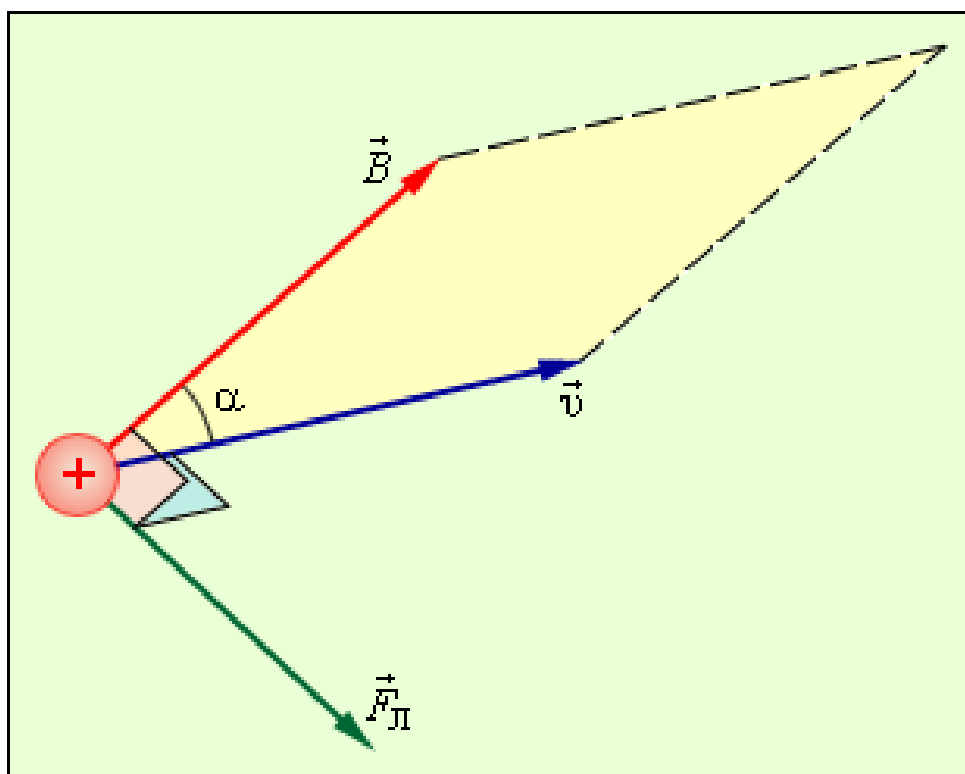
мұндағы α - $d\vec{l}$ және $\vec{B}$ векторлары арасындағы бұрыш;
 r арақашықтықта жатқан, бойларында I_1 және I_2 тогы бар екі өзара параллель
 өткізгіштер бір бағыттағы ток өткен жағдайда бір-біріне тартылады да, қарама-
 қарсы бағытталған ток өткен жағдайда бір-бірінен тебіледі:

$$dF_{12} = dF_{21} = I_1 B_2 dl = I_2 B_1 dl = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{r} dl .$$

8.4 Лоренц күші

Магнит өрісінде $\vec{v}$ жылдамдықпен қозғалатын q электр зарядына әсер етуші күшті **Лоренц күші** деп атайды: $\vec{F} = q \vec{v} \vec{B}$.

Лоренц күшінің бағыты **сол қол ережесі** бойынша анықталады: егер сол қолдың алақанын оған $\vec{B}$ векторы кіретіндей, ал ашылған төрт саусақты $\vec{v}$ векторымен бағытталатындай етіп орналастырса, онда тік бұрышқа қайырылған бас бармақ оң зарядқа әсер ететін күштің бағытын көрсетеді (сурет 31).



Сурет 31-Сол қол ережесі-Лоренц күш бағытын анықтау

Лоренц күшінің модулі:

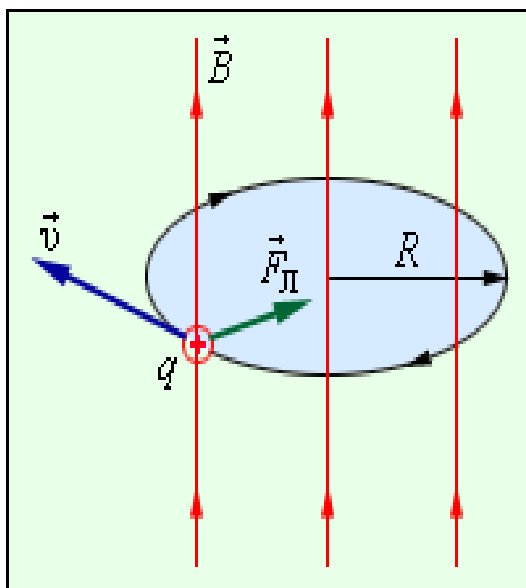
$$F = qvB \sin \alpha \quad (37)$$

мұндағы α - $\vec{v}$ және $\vec{B}$ векторларының арасындағы бұрыш.

Сонымен, магнит өрісі тыныштықтағы зарядтарға әсер етпейді. Осы мен магнит өрісінің электростатикалық өрістен маңызды айырмашылығы болып табылады. Магнит өрісі тек қана қозғалыстағы зарядтарға әсер етеді. Лоренц күші әр қашанда жылдамдық векторына перпендикуляр, ол тек бөлшектің модулін өзгертпей жылдамдық бағытын ғана өзгертеді, сондықтан Лоренц күші жұмыс жасамайды.

8.5 Зарядталған бөлшектердің магнит өрісіндегі қозғалысы.

Егер бөлшек біртекті магнит өрісінде $\vec{v} \perp \vec{B}$ жылдамдықпен қозғалатын болса, онда Лоренц күші модулі жағынан өзгермейді және бөлшек траекториясына қатысты нормаль бойымен бағытталады. Ньютонның екінші заңына сәйкес, бұл күш бөлшектің центрге тартқыш үдеуін анықтайды. Демек, бөлшек шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалады(сурет 32).



Сурет 32-Зарядталған бөлшектің шеңбер бойымен қозғалуы

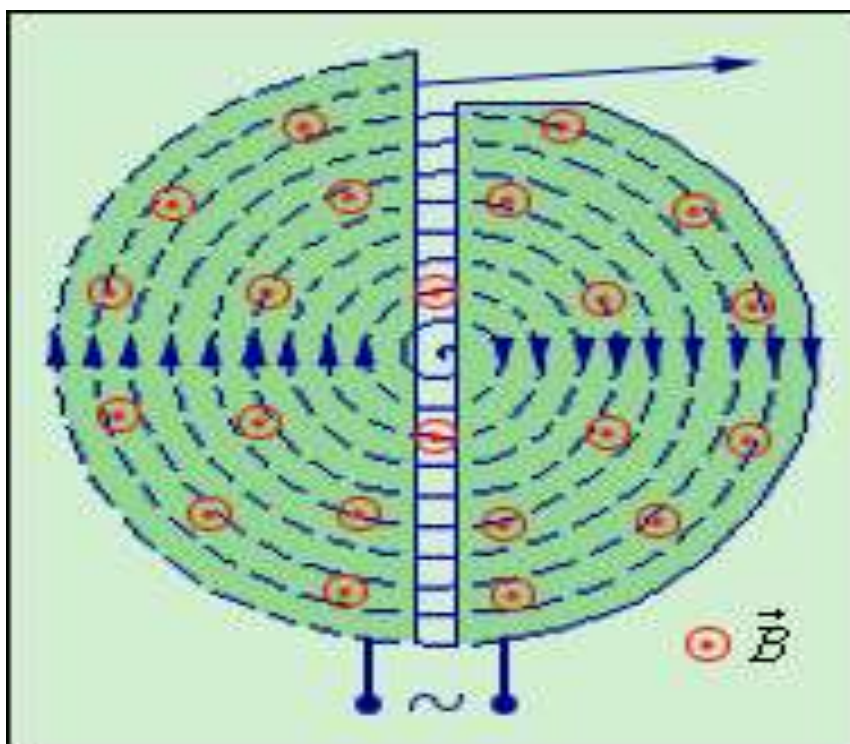
Шеңбердің радиусын $qvB = \frac{mv^2}{r}$ шартынан анықтауға болады:

$$r = \frac{m v}{q B} \quad (38)$$

Бөлшектің айналу периоды

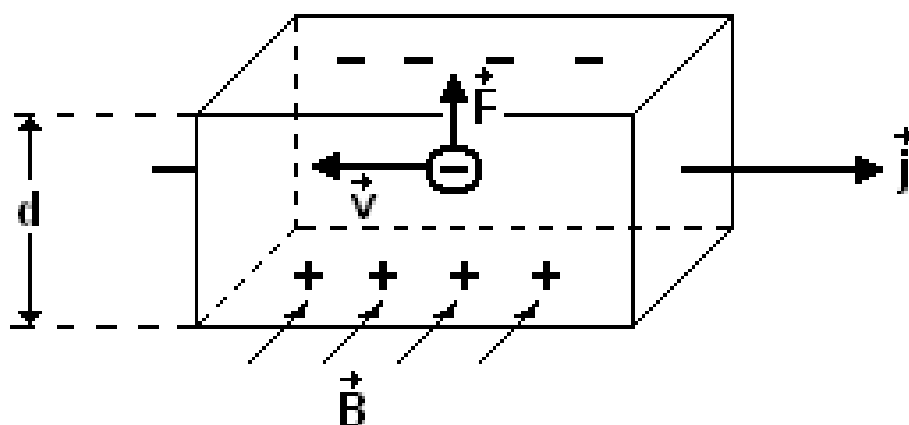
$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{B q} \quad (39)$$

(39) формулада, яғни біртекті магнит өрісінде бөлшектің айналу периоды бөлшектің $\frac{q}{m}$ меншікті зарядына кері шамамен және өрістің B магнит индукциясымен ғана анықталады да, бірақ оның жылдамдығына тәуелсіз болады. Зарядталған бөлшектердің циклдік үдеткіштерінің жұмысы осыған негізделген(сурет 33).



Сурет 33-Циклотрон

Индукциясы $\vec{B}$ магнит өрісінде орналасқан бойында тығыздығы $\vec{j}$ тогы бар металда, бағыты $\vec{j}$ және $\vec{B}$ векторларына перпендикуляр болатын электр өрісінің пайда болуын **Холл эффекті** деп атайды(сурет 34).



Сурет 34-Холл эффектісінің пайда болу механизмі

Көлденең (Холл) потенциалдар айырмасы Лоренц күшінің салдарынан пайда болады және мынаған тең

$$\Delta\varphi = \frac{1}{ne} jdB = RjdB \quad (40)$$

мұндағы $R = \frac{1}{ne}$ - заттың тегіне тәуелді Холл тұрақтысы,

n - ток тасушылардың шоғыры.

Өлшенген Холл тұрақтысының мәні бойынша өткізгіштегі ток тасушылар зарядының таңбасы мен олардың шоғырын анықтауға болады. Холл эффекті аналогты есептеуіш машиналар мен өлшеуіш техникада тұрақты токтарды көбейту мақсатында (Холл датчиктері) және т.б. қолданылады.

Тақырып 9 Заттардың магнит өрісі

9.1 Меншікті магниттік моменті

Магнит өрісіне орналастырылған барлық денелер магниттеледі. Осы құбылыстың пайда болу себебін түсіндірген А. Ампер, кез-келген денеде оның молекулаларының немесе атомдарының құрамына кіретін электрондардың қозғалысымен байланысқан микроскопиялық токтардың бар екендігін болжамдаған. Дөңгелек орбита бойымен қозғалатын электрон дөңгелек токқа баламалы, сондықтан ол $\vec{p}_m = IS\vec{n}$ **орбиталды магниттік моментке** ие болады. Орбиталды магниттік моменттің модулі:

$$p_m = IS = e\hbar S \quad (41)$$

мұндағы $I = \frac{e}{T} = eV$ - ток күші,

V - электронның орбита бойымен айналу жиілігі,

S - орбита ауданы.

Кейін электрон орбиталды магниттік моменттен басқа өзінің **спин** деп аталатын меншікті механикалық моментімен байланысқан $\vec{p}_{ms}$ **меншікті (спиндік) магниттік моментке** ие болатындығы анықталды. Спин электронның заряды мен массасы сияқты, оның ажыратылмайтын қасиеті болып табылады.

Демек, электронның магниттік моменті оның орбиталды және спиндік магниттік моменттерінен құралады. Ядролардың магниттік моменттерін елемейтін болсақ, атомның магниттік моментін оның құрамына кіретін электрондардың магниттік (орбиталды және спиндік) моменттерінің векторлық қосындысы деп қарастыруға болады:

$$\vec{p}_a = \sum \vec{p}_m + \sum \vec{p}_{ms} \quad (42)$$

мұндағы $\vec{p}_m$ - магнит моменті,

$\vec{p}_{ms}$ - меншікті моменті

Сыртқы магнит өрісінде $\vec{B}$ векторына қатысты қалай болса солай бағдарланған электронның орбитасы **прецессиялық** қозғалыс жасайды. Электрон орбитасының прецессиясы атомның магнит өрісін тудыратын дөңгелек токқа баламалы. Осылайша пайда болған атомдардың магнит өрістері сыртқы өріске қарсы бағытталады да қосыла отырып сыртқы магнит өрісін әлсірететін заттың магнит өрісін түзейді. Бұл құбылысты **диамагниттік эффект** деп атайды, ал сыртқы магнит өрісінде өріс бағытына қарсы магниттелетін заттар **диамагнетиктер** деп аталынады (Bi, Ag, Au, Cu, C, көптеген органикалық қоспалар).

Диамагнетизм барлық заттарға тән қасиет болғанымен, солардың кейбіреулерінде (жерде сирек кездесетін элементер, Pt, Al және т.б.) ол

парамагниттік эффектпен басылады. Парамагниттік заттардың атомдары сыртқы магнит өрісінсіз-ақ магниттік моменті иеленеді. Бірақ молекулалардың жылулық қозғалысы салдарынан атомдардың магниттік моменттері ретсіз бағдарланады да бір-бірлерін жойады. Сыртқы магнит өрісіне еңгізілген парамагнетикте атомдардың көпшілігінің магниттік моменттері өріс бойымен бағдарланады. Сөйтіп, **парамагнетик** сыртқы өріспен бағыттас, демек оны күшейтетін меншікті магнит өрісін туғыздыра магниттеледі. Бұл құбылысты **парамагниттік эффект** деп атайды.

Магниттелудің сандық сипаттамасы ретінде заттың бірлік көлемінің

$$\vec{J} = \frac{\sum \vec{p}_a}{V} \quad (43)$$

магниттік моменті алынады. Бұл векторлық шаманы **магниттілік** деп атайды.

Заттың ішіндегі магнит өрісі екі өрістен тұрады: вакуумдегі магниттеуші токтың тудыратын $\vec{B}_0 = \mu_0 \vec{H}$ сыртқы өрісінен және магниттелетін заттағы молекулалық токтардың тудыратын $\vec{B}'$ өрісінен:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}'$$

Молекулалық токтардың тудыратын $\vec{B}'$ өрісі $\vec{J}$ магниттілікпен

$$\vec{B}' = \mu_0 \vec{J}.$$

ара катыспен байланысқан.

$$\text{Сонда } \vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{J} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{J})$$

Әлсіз өрістерде магниттілік магниттеуші өріс кернеулігіне тура пропорционал болатындығын тәжірибе көрсетеді: $\vec{J} = \chi \vec{H}$,

мұндағы χ - **заттың магниттік қабылдағыштығы** деп аталатын өлшемсіз шама. Сонда заттағы магнит өрісінің индукциясын мына түрде жазуға болады $\vec{B} = \mu_0 (1 + \chi) \vec{H} = \mu_0 \mu \vec{H}$, өлшемсіз шама μ - **заттың магниттік өтімділігі** болып табылады.

Заттағы магнит өрісі үшін толық ток заңы:

$$\oint_L B_l dl = \mu_0 (I + I'), \quad (44)$$

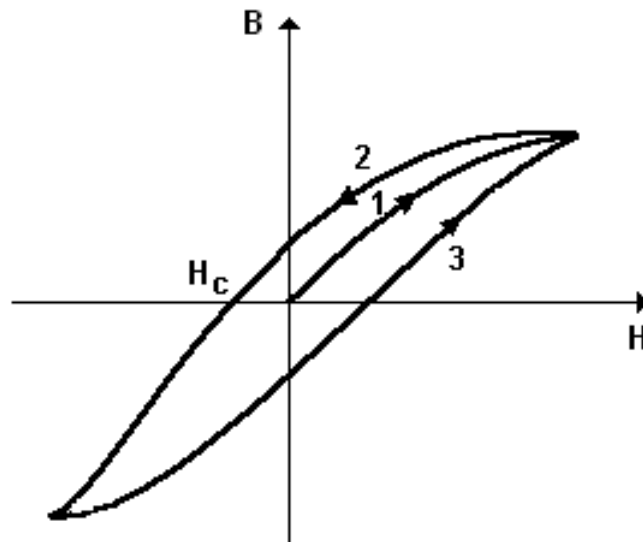
мұндағы I мен I' - кез-келген L тұйық контурмен қамтылатын макротоктар (өткізгіштік токтар) мен микротоктарға (молекулалық токтар) сәйкес.

Екі 1 және 2 заттың шекарасында $\vec{B}$ және $\vec{H}$ векторлары үшін төмендегі шарттар орындалады: $B_{n1} = B_{n2}$, $\frac{B_{\tau 1}}{B_{\tau 2}} = \frac{\mu_2}{\mu_1}$, $\frac{H_{n1}}{H_{n2}} = \frac{\mu_2}{\mu_1}$, $H_{\tau 1} = H_{\tau 2}$

Жоғарыда қарастырылған диа- және парамагнетиктерден басқа, күшті магниттелетін заттардың тағы бір тобы – **ферромагнетиктер** - бар. Ферромагнетиктер спонтанды (өз бетімен болатын) магниттілікті иеленеді, яғни олар сыртқы магнит өрісінсіз-ақ магниттеледі.

Ферромагнетиктердің негізгі қасиеттері:

1. μ магниттік өтімділік өте үлкен мәндерге жетеді (10^6 -ге дейін);
 μ магниттік өтімділік сыртқы магнит өрісінің H кернеулігіне тәуелді, яғни $\vec{J}$ магниттілік және магнит өрісінің $\vec{H}$ кернеулігі арасындағы байланыс сызықты емес функция;
2. магниттік гистерезис(сурет 35)



Сурет 35-Гистерезис

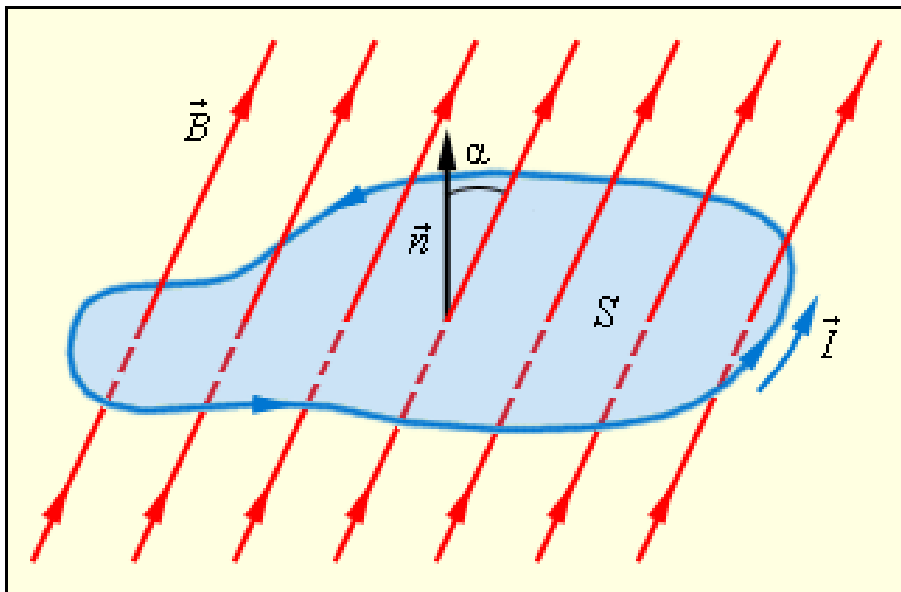
3. ферромагнетик өзінің ерекше қасиеттерінен айырылуына әкелетін сипатты температураның (**Кюри нүктесі**) бар болуы.

Тақырып 10 Электромагниттік индукция құбылысы

10.1 Фарадейдің электромагниттік индукция заңы

Электр тогы өзінің айналасында магнит өрісін тудырады. Осыған кері құбылысты, яғни магнит өрісінің көмегімен токты қоздыруды, ашу үшін жасалған сансыз көп әрекеттер 1831 ж. табысты аяқталды. Бұл маңызды мәселені шешкен ағылшын физигі М. Фарадей **электромагниттік индукция құбылысын** ашты.

Оның мағынасын былай тұжырымдауға болады: тұйық өткізгіш контурмен шектелген бет арқылы өтетін магнит ағыны өзгергенде сол контурда **индукциялық** деп аталатын электр тогы пайда болады. Индукциялық токтың пайда болуы тізбекте **электромагниттік индукцияның электр қозғаушы күші** бар екендігін көрсетеді. Индукциялық ток күшінің мәні, демек, индукцияның ε_i Э.Қ.К.-нің мәні де тек магнит ағынының өзгеру жылдамдығымен ғана анықталады, яғни $I_i \sim \varepsilon_i \sim \frac{d\Phi}{dt}$. Магнит ағынын бірнеше тәсіл көмегімен өзгертуге болады, мысалы айнымалы магнит индукция өрісінде контур арқылы немесе айнымалы аудан арқылы магнит өрісінің ағынын өзгертуге болады (сурет 36)



Сурет 36-магнит ағынының өзгерісі

Фарадейдің электромагниттік индукция заңы: тұйық өткізгіш контурмен шектелген бет арқылы өтетін магнит ағынының өзгеру себебі қандай да болмасын, контурдағы пайда болатын Э.Қ.К. мына өрнектің көмегімен анықталады $\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$. Бұл өрнектегі минус таңбасы энергияның сақталу заңына негізделетін Ленц ережесінің салдары болып табылады.

Ленц ережесі: контурдағы индукциялық токтың бағыты әрдайым оның тудыратын магнит өрісі осы индукциялық токты қоздырған магнит ағынының өзгерісіне қарсы тұратындай жағдайда болады.

Тұрақты магнит өрісінде қозғалатын өткізгіштегі индукцияның э.қ.к.-н қоздырылуына өткізгіштің қозғалысы кезінде пайда болатын Лоренц күші жауапты. Бірақ, ол күштің әсері арқылы айнымалы магнит өрісінде орналасқан қозғалмайтын контурдағы индукцияның э.қ.к.-н пайда болуын түсіндіру мүмкін емес, себебі Лоренц күші тыныштық күйдегі зарядтарға әсер етпейді. Қозғалмайтын өткізгіштегі индукцияның э.қ.к.-н түсіндіру үшін Максвелл **кез-келген айнымалы магнит өрісі қоршаған кеңістікте құйынды электр өрісін тудырады** деген болжам жасады. Айтылған сол құйынды электр өрісі өткізгіштегі индукциялық токтың пайда болуына себепті, ал оның кернеулік векторының кез-келген тұйық контур бойындағы нөлге тең емес циркуляциясы электромагниттік индукцияның э.қ.к.-і болып табылады:

$$\varepsilon_i = \oint_L \vec{E}_e d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (45)$$

Электромагниттік индукция құбылысын механикалық энергияны электр тогының энергиясына түрлендіру үшін пайдаланады. Осы мақсатпен **айнымалы ток генераторлары** қолданылады. Егер біртекті магнит өрісінде рамка ϖ бұрыштық жылдамдықпен бірқалыпты айналатын болса, онда рамкамен шектелген S бет арқылы өтетін магнит ағыны мына заң бойынша өзгереді $\Phi = BS \cos \alpha = BS \cos \varpi t$.

Айналу кезінде рамкада гармониялық заң бойынша өзгертін индукцияның айнымалы э.қ.к.-і пайда болады:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} = BS\varpi \sin \varpi t = \varepsilon_m \sin \varpi t, \quad (46)$$

мұндағы $\varepsilon_m = BS\varpi$ - э.қ.к.-і тербелісінің амплитудасы.

Өзіндік индукция. Өзара индукция

Тұйық контур бойымен өтетін электр тогы өзінің айналасында Био-Савар-Лаплас заңына сәйкес индукциясы токтың күшіне пропорционал магнит өрісін тудырады. Сондықтан контурмен шектелген бет арқылы өтетін магнит ағыныда контурдағы I ток күшіне пропорционал болады:

$$\Phi \sim B \sim I.$$

Осы тәуелділікті өрнегімен көрсетуге болады

$$\Phi = LI \quad (47)$$

мұндағы L пропорционалдық коэффициентті контурдың **индуктивтілігі** деп атайды.

Соленоидтің индуктивтілігі мынаған тең

$$L = \frac{\Phi}{I} = \frac{\frac{\mu_0 N^2 I}{l} S}{I} = \frac{\mu_0 N^2}{l} S, \quad (48)$$

мұндағы N - орамдар саны, l - соленоидтің ұзындығы, S - оның көлденең қимасының ауданы.

Өзекшесіз соленоидтің индуктивтілігі L_0 - ге тең болсын. Егер соленоидтің өзекшесі бар болса, онда оның индуктивтілігі басқа болады: $L = \mu L_0$, μ - соленоид өзекшесі **затының магниттік өтімділігі**.

Контурдағы ток күші өзгергенде, контурмен шектелген бет арқылы өтетін магнит ағынында өзгереді, соның салдарынан **өздік индукцияның э.қ.к.-і** пайда болады: $\varepsilon_s = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \Phi = -\left(L \frac{dI}{dt} + I \frac{dL}{dt}\right)$.

Егер контурдың пішіні және ортаның магниттік өтімділігі өзгермесе, онда $L = const$, сондықтан

$$\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt} \quad (49)$$

мұндағы Ленц ережесінің салдары болып табылатын минус таңбасы, индуктивтіліктің бар болуы контурдағы ток өзгерісінің бәсеңдеуіне әкелетінін көрсетеді.

Егер сыртқы ток уақытқа орай өсетін болса, онда өздік индукцияның тогы оған қарама-қарсы бағытталып, оның өсуін баяулатады. Ал егерде сыртқы ток уақытқа орай кемитін болса, онда өздік индукция тогы онымен бағыттас болады да, сыртқы токтың кемуін бәсеңдетеді.

Тізбекті тұйықтау және ажырату кезінде пайда болатын қосымша токтарды **өздік индукцияның экстратоктары** деп атайды. Олар әсіресе индуктивтілігі үлкен тізбектерде айқын байқалады. **Ажырату экстратогы** ток көзінің тізбектен ажыратылған кезінде ток күші кемуінің бәсеңдеуіне әкеледі:

$$I = I_0 e^{-\frac{R}{L}t} \quad (50)$$

Тұйықтау экстратогы ток көзі тізбекке жалғанатын кезде ток күшінің өсуін баяулатады:

$$I = I_0 \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right). \quad (51)$$

Егер екі 1 және 2 контур біріне-бірі жақын орналасса, онда олардың біріншісіндегі I_1 токтың тудыратын магнит өрісінің индукция сызықтары

екінші контурмен шектелген бетті тесіп өтеді. Осы бет арқылы өтетін Φ_{21} магнит ағыны бірінші контурдағы I_1 ток күшіне пропорционал $\Phi_{21} = L_{21}I_1$, L_{21} пропорционалдық коэффициенті **өзара индукция коэффициенті** деп аталады. I_1 тогы өзгерген кезде электромагниттік индукция заңына сәйкес екінші контурда пайда болатын э.қ.к.

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi_{21}}{dt} = -L_{21} \frac{dI}{dt} . \quad (52)$$

мұндағы L_{21} -өзара индукция коэффициенті.

Сол сияқты құбылыс контурлардың рольдерін бір-бірімен ауыстырғанда да байқалады. Сонда L_{21} және L_{12} коэффициенттері бір біріне тең және контурлардың геометриялық пішіндеріне, олардың өзара орналасуына және қоршаған ортаның магниттік өтімділігіне тәуелді болады.

Контурлардың біреуінде ток күші өзгерген кезде, екінші контурда индукцияның э.қ.к.-ң пайда болу құбылысын **өзара индукция** деп атайды.

Тақырып 11 Квazистационар айнымалы ток

11.1 Айнымалы ток көзі. Резонанс

1. R кедергі арқылы өтетін айнымалы ток.

$I = \frac{U}{R} = \frac{U_m}{R} \cos \omega t = I_m \cos \omega t$, мұндағы $I_m = \frac{U_m}{R}$ - ток күші тербелісінің амплитудасы. Кернеу және ток күші тербелістері арасындағы фаза ығысуы нөлге тең.

2. Индуктивтілігі L катушка арқылы өтетін айнымалы ток.

$I = \frac{U_m}{\omega L} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = I_m \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$, мұндағы $I_m = \frac{U_m}{\omega L}$ - ток күші тербелісінің амплитудасы. Кернеудің тербелісі токтың тербелісінен фаза бойынша $\frac{\pi}{2}$ -ге озып отырады. $R_L = \omega L$ өрнегімен анықталатын шаманы индуктивтік кедергі деп атайды.

3. Сыйымдылығы C конденсатор арқылы өтетін айнымалы ток.

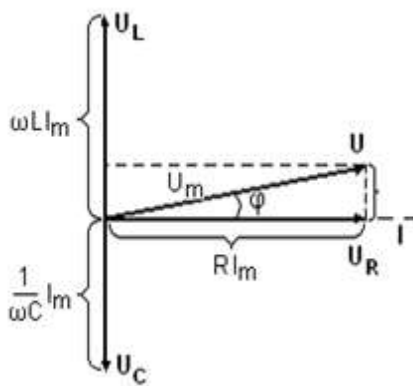
$I = \frac{U_m}{\frac{1}{\omega C}} \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$, мұндағы $I_m = \frac{U_m}{\frac{1}{\omega C}}$ - ток күші тербелісінің амплитудасы. Кернеудің тербелісі токтың тербелісінен фаза бойынша $\frac{\pi}{2}$ -ге қалып отырады. $R_C = \frac{1}{\omega C}$ өрнегімен анықталатын шаманы сыйымдылықкедергі деп атайды.

4. Тізбектей жалғанған резистор, индуктивтік катушка және конденсатордан тұратын айнымалы ток тізбегі.

Айнымалы ток пен кернеудің фазалық ара қатыстарын көрнекі түрде векторлық диаграмма көмегімен көрсетуге болады.

Векторлық диаграммада гармониялық тербелісті ұзындығы тербеліс амплитудасына тең, ал бағыты оның қандай да бір осьпен жасайтын бұрышы тербелістің бастапқы фазасына тең болатындай етіп алынған вектормен кескіндейді. Егер бастапқы фазаны санайтын түзу ретінде токтың осі алынатын болса, онда R резистордағы, L индуктивтік катушкадағы және C конденсатордағы кернеулердің тербелістерін 37-суреттегідей көрсетуге болады:

Диаграммдан кернеу мен токкүші тербелістерінің фазалар айырмасын анықтауға болады(сурет 37)



Сурет 37-Кернеулер диаграммасы

Кернеулер диаграммасынан $tg\varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$, ток күші тербелісінің амплитудалық мәні (айнымалы ток үшін Ом заңы):

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}.$$

Тізбектің толық кедергісі деп

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{R^2 + R_L - R_C^2} \text{ өрнегімен анықталатын шаманы}$$

атайды.

Айнымалы ток қуатының орташа мәнін бір период үшін есептейді

$$\langle P \rangle = \frac{1}{2} I_m U_m \cos \varphi. \text{ Векторлық диаграммадан } U_m \cos \varphi = R I_m \text{ теңдігі}$$

шығады. Сондықтан $P = \frac{1}{2} I_m^2 R$. Дәл сондай қуатты ток күші $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ -ге тең

тұрақты токта бөліп шығарады. $I_{эфф} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$, $U_{эфф} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ өрнектермен

анықталатын шамаларды ток күші мен кернеудің әсерлік (эффektivтік) мәндері деп атайды.

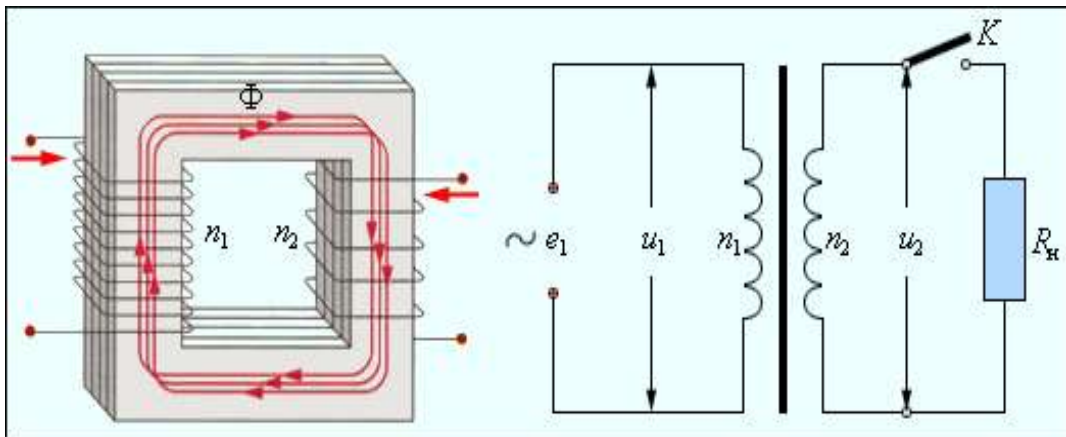
Сонда орташа қуатты мына түрде жазуға болады $\langle P \rangle = I_{эфф} U_{эфф} \cos \varphi$, мұндағы $\cos \varphi$ көбейткіш қуат коэффициенті деп аталады.

11.2 Трансформатор. Электр энергиясын жеткізу

Айнымалы токты түрлендіру үшін пайдаланылатын құралдың – **трансформатордың** - жұмысы өзара индукция құбылысына негізделген. Трансформатор бірімен-бірі темір өзекше арқылы индуктивті жалғанған екі орамалардан (бірінші және екінші) тұрады(сурет 38). Бірінші орамадағы ε_1 э.қ.к.-ң екінші орамадағы ε_2 э.қ.к.-не қатынасы орамалардағы орамдар санының $\frac{N_1}{N_2}$ қатынасына тең болады да **трансформация коэффициенті** деп аталады:

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2} = k \quad (53)$$

мұндағы ε_1 -бірінші орамадағы электр қозғаушы күш,
 ε_2 -екінші орамадағы ток күші,
 k - трансформация коэффициенті.



Сурет 38-Трансформатор

Токтың магнит өрісінің энергиясын сол өрісті құру үшін токтың шығынданған жұмысы арқылы есептеуге болады:

$$W = A = \int_0^I Id\Phi = \int_0^I LIdI = \frac{LI^2}{2} \quad (54)$$

мұндағы I – контурдағы ток күші,
 $d\Phi$ – контурдағы магнит ағынының өзгерісі,
 L - контурдың индуктивтілігі.

Токтың магнит өрісінің энергиясы тогы бар өткізгішті қоршаған кеңістікте шоғырланады. Магнит өрісі энергиясының өрнегін оның ішіне өріс сипаттамалары кіретіндей етіп түрлендіруге болады. Ол үшін

энергиясы $W = \frac{1}{2} \mu \mu_0 \frac{N^2 I^2}{l} S$ өрнектің көмегімен есептелетін соленоидтің ішіндегі біртекті магнит өрісіналып қарастырайық. Соленоидтің магнит өрісінің кернеулігі $H = \frac{NI}{l}$, олай болса $W = \frac{1}{2} \mu \mu_0 H^2 V$, осында $Sl = V$ - соленоид өрісінің алатын көлемі. Егер өріс біртекті болса, онда оның ішінде жиналған энергия кеңістікте ω тұрақты тығыздықпен таралады:

$$\omega = \frac{1}{2} \mu \mu_0 H^2. \quad (55)$$

Магнит өрісінің кез келген нүктесіндегі **энергия тығыздығын** біле отыра, кез келген V көлемнің ішінде жиналған **магнит өрісінің энергиясын** табуға болады: $W = \int_V \omega dV = \int_V \frac{1}{2} \mu \mu_0 H^2 dV$

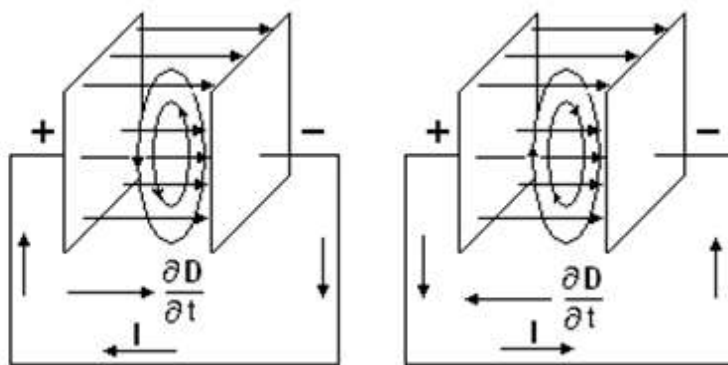
Тақырып 12 Электромагниттік өріс үшін алған Максвелл теңдеулері

12.1 Электромагниттік толқындарды шығару

Электромагниттік индукцияның э.к.к.-ін түсіндіру үшін Максвелл кез-келген айнымалы магнит өрісі өзінің айналасында құйынды электр өрісін туғызады деген гипотезаны ұсынды. Сонда индукциялық токтың пайда болуына себепкер сол құйынды электр өрісі болып табылады, ал оның кернеулік векторының циркуляциясы мынаған тең: $\oint_L \vec{E}_B d\vec{l} = \oint_L E_{Bl} dl = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} d\vec{S}$. Егер бетпен контурдың орындары өзгермесе, онда дифференциалау және интегралдау операцияларының ретін өзгертуге болады

$$\oint_L \vec{E}_B d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S} \quad (56)$$

Максвелл пікіріне сәйкес, егер кез-келген айнымалы магнит өрісі өзін қоршаған кеңістікте құйынды электр өрісін қоздыратын болса, онда осыған кері құбылыста болуға тиіс, яғни электр өрісінің кез-келген өзгерісі қоршаған кеңістікте құйынды магнит өрісінің пайда болуына әкеледі (сурет 39).



Сурет 39-Ығысу ток

Өзгеріп отыратын электр өрісі және ол қоздырған магнит өрісінің арасындағы сандық ара қатысты анықтау үшін Максвелл **ығысу тогы** ұғымын еңгізді. **Ығысу тогының тығыздығы**

$$\vec{j}_{bi} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (57)$$

Өткізгіштік тогының өзінетән барлық физикалық қасиеттердің ішінен ығысу тогы тек біреуін, атап айтқанда, қоршаған кеңістікте магнитөрісін тудыру қабілеттілігін, иеленеді. Толық ток өткізгіштік тогымен ығысу тогының

қосындысына тең. **Толық ток тығыздығы** $\vec{j}_{mol} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$. Сонда $\vec{H}$ векторының циркуляциясы жайлы жалпы теореманы мына түрде жазуға болады

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}. \quad (58)$$

Интегралды түрдегі Максвелл теңдеулерінің толық

1. $\oint_L \vec{E}_B d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S};$
2. $\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S};$ 3. $\oint_S \vec{D} d\vec{S} = q = \int_V \rho dV$ 4. $\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0.$

Электромагниттік толқындардың – кеңістікте шектелген жылдамдықпен таралатын айнымалы электромагниттік өрістің - бар болуы Максвелл теңдеулерінің салдары. Электромагниттік өрісті тудыратын зарядтар мен токтардан алыс жатқан біртекті және изотропты ортадағы айнымалы электромагниттік өрістің $\vec{E}$ және $\vec{H}$ кернеулік векторлары толқындық теңдеуге бағынады: $\Delta \vec{E} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}, \quad \Delta \vec{H} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2},$ осында $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ - Лаплас

операторы, v - толқынның фазалық жылдамдығы.

Электромагниттік толқындардың фазалық жылдамдығы мына өрнектің көмегімен анықталады

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \mu}} \quad (59)$$

мұндағы $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$ - электромагниттік толқынның вакуумдегі жылдамдығы.

Электромагниттік толқын **көлденең**: электр және магнит өрістерінің $\vec{E}$ және $\vec{H}$ кернеулік векторлары өзара перпендикуляр бола отырып толқынның таралу жылдамдығының $\vec{v}$ векторына перпендикуляр орналасқан жазықтықта жатады, және де $\vec{E}$, $\vec{H}$ және $\vec{v}$ векторлары оң бұрандалы жүйені құрайды.

Тәжірибе жүзінде алғаш рет электромагниттік толқындарды неміс физигі Г. Герц **ашық тербелмелі контурдың** көмегімен алды. Герц тәжірибелері электромагниттік толқындардың қозу және таралу заңдары Максвелл теңдеулерімен толық сипатталатынын көрсетті.

12.2 Электромгниттік толқын энергиясының ағынының тығыздығы

Электромагниттік толқын энергиясының ω көлемдік тығыздығы электр және магнит өрістерінің $\omega_{эл}$ және ω_m көлемдік тығыздықтарының қосындысы болып табылады: $\omega = \omega_{эл} + \omega_m = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon E^2 + \frac{1}{2} \mu_0 \mu H^2$.
Уақыттың кез келген мезеті үшін электр және магнит өрістерінің тығыздықтары өзара тең, яғни $\omega_{эл} = \omega_m$. Сондықтан

$$\omega = 2\omega_{эл} = \varepsilon_0 \varepsilon E^2 = \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0} \sqrt{\varepsilon \mu} E H. \quad (60)$$

Энергияның ω тығыздығын толқынның ортадағы v таралу жылдамдығына көбейте отырып, энергия ағынының тығыздық модулін табуға болады:

$S = \omega v = E H$. $\vec{E}$, $\vec{H}$ және $\vec{v}$ векторларының бағыттарын ескерсек, **электромагниттік энергия ағынының тығыздық векторын (Умов-Пойнтинг векторы)** мына түрде жазуға болады

$$\vec{S} = \vec{E} \vec{H}. \quad (61)$$

Тербелмелі контур

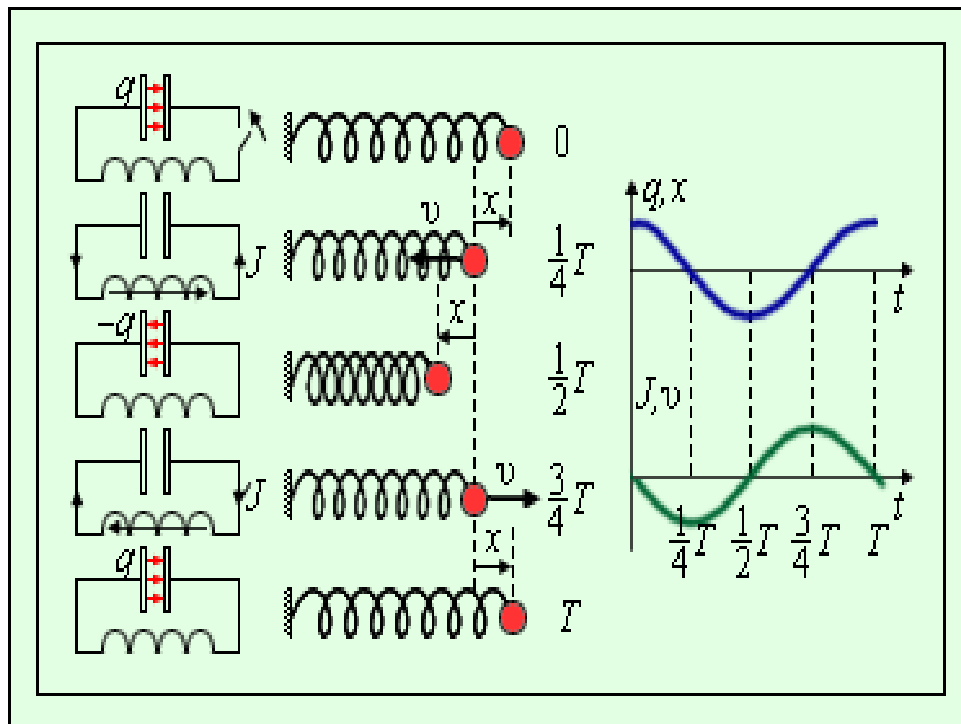
Электр және магнит өрісі энергияларының өзара түрленуімен қоса жүретін электр шамаларының (зарядтың, ток күшінің, кернеудің және т.б.) периодты өзгерістерін **электромагниттік тербелістер** деп атайды. Еркін электромагниттік тербелістерді **тербелмелі контур** деп аталатын және тізбектей жалғанған индуктивтілігі L катушкамен сыйымдылығы C конденсатордан тұратын (контурдың кедергісі $R \approx 0$) қарапайым жүйенің көмегімен алуға болады.

Конденсатордың электр өрісі және катушканың магнит өрісі энергияларының қосындысы болып табылатын тербелмелі контурдың толық энергиясы уақытқа байланысты өзгермейді $W = \frac{q^2}{2C} + \frac{LI^2}{2} = \text{const}$.

Бұл өрнекті уақыт бойынша дифференциалдап алып және ток күшімен зарядтың $I = \dot{q}$ өзара байланысын ескерсек, контурдағы заряд тербелісінің дифференциалды теңдеуін аламыз: $\ddot{q} + \frac{1}{LC} q = 0$. Бұл теңдеудің шешімі болып табылатын $q = q_m \cos \omega_0 t + \varphi$ өрнегіндегі q_m - заряд тербелісінің амплитудасы, $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ - циклдік жиілігі, φ - бастапқы фазасы. Циклдік жиілікпен $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$ өрнегі арқылы байланысқан тербеліс периоды **Томсон формуласының** көмегімен анықталады: $T = 2\pi \sqrt{LC}$. Сөйтіп, контурдағы зарядтың еркін

электромагниттік тербелістері **гармониялық** тербеліс болып табылады(сурет 40).

Электрлік тербелістері мен механикалық тербелістер арасындағы ұқсастығы келтірілген.



Сурет 40-Тербелімелі контур

Тербелмелі контурдағы ток күші

$$I = \dot{q} = -\omega_0 q_m \sin \omega_0 t + \varphi \equiv I_m \cos \left(\omega_0 t + \varphi + \frac{\pi}{2} \right),$$

мұндағы $I_m = \omega_0 q_m$ - ток күшінің амплитудасы. I ток күшінің тербелісі q заряд тербелісінен фаза бойынша $\frac{\pi}{2}$ -ге, ал уақыт бойынша - $\frac{T}{4}$ -ке озып отырады.

Конденсатордағы кернеудің уақытқа орай өзгеру заңы

$$U_C = \frac{q}{C} = \frac{q_m}{C} \cos \omega_0 t + \varphi \equiv U_m \cos \omega_0 t + \varphi,$$

мұндағы $U_m = \frac{q_m}{C}$ - кернеу тербелісінің амплитудасы. Кез келген нақты контурдың R кедергісі болады. Сондықтан ондай контурдағы еркін тербелістер бара-бара өшеді. Кирхгоф ережесіне сәйкес

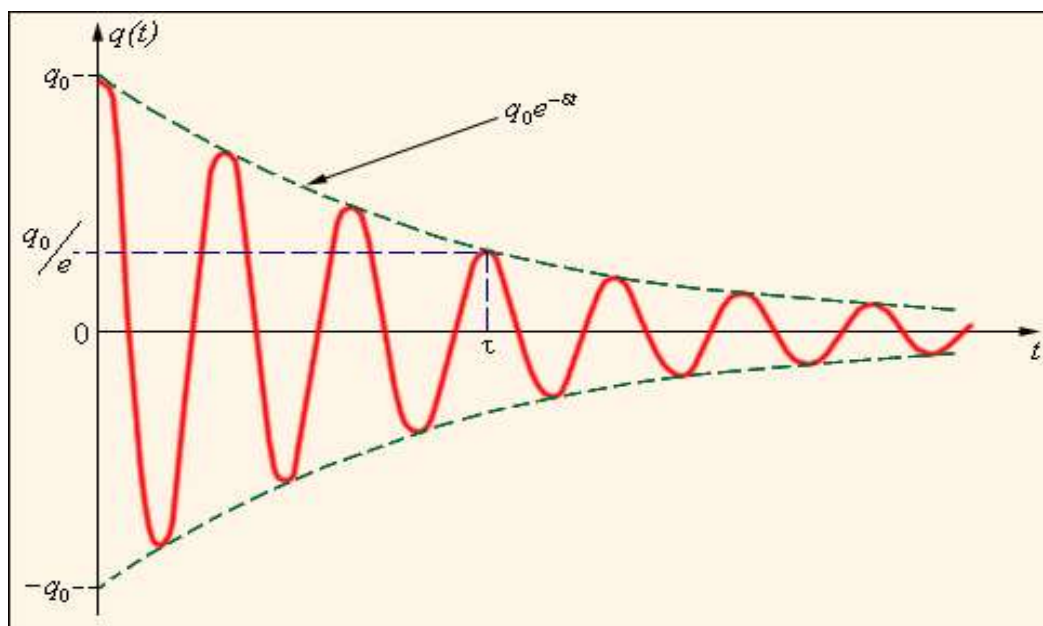
$$IR + U_C = \varepsilon_s, \text{ мұндағы } IR - \text{ контурдың } R \text{ кедергісіндегі кернеу, } U_C = \frac{q}{C} -$$

конденсатордағы кернеу, $\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt}$ - айнымалы ток өткенде катушкадағы пайда болатын өздік индукцияның Э.Қ.К.-і.

Заряд тербелісінің дифференциалдық теңдеуін бұл жағдайда мына түрде жазуға болады $\ddot{q} + \frac{R}{L} \dot{q} + \frac{1}{LC} q = 0$.

Бұл теңдеудің шешімі зарядтың **еркін өшетін тербелісі** болып табылады $q = q_m e^{-\delta t} \cos \omega t + \varphi$, мұндағы $\delta = \frac{R}{2L}$ - өшу коэффициенті. Тербеліс жиілігі

$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$ өрнегінің көмегімен анықталады (сурет 41).



Сурет 41-Өшетін тербелістер графигі

Өшудің логарифмдік декременті

$$\theta = \ln \frac{A}{A e^{-\delta T}} = \delta T = \frac{R}{2L} \frac{2\pi}{\omega} = \frac{\pi R}{L \omega} \quad (62)$$

Тақырып 13 Тәжірибелік тапсырмаларды орындау нұсқаулары

Тәжірибелік сабақтарын жүргізудегі мақсат теориялық материалды бекіту, есеп шығару дағдыларын қалыптастыру. «**Электр және магнетизм**» пәні бойынша есептер шығаруды төмендегі ретпен жүгізу ұсынылады:

- тақырып бойынша теориялық материалды оқу;
- есеп шығару процесінде мазмұнын терең түсініп, оған байланысты құбылыстарды білумен қатар есепті шығарудың қарапайым да түсінікті жолдары іздестіріледі;
- есептің мазмұнына сәйкес шығарылу жолдарына түсініктеме беретін схемалар, графиктер салынып, электр тізбегі құрастырылады;
- есептің шарты қықаша жазырып, физикалық шамалардың өлшеу бірліктері БХЖ өрнектеледі;
- физикалық тұрақтылардың мәндері сәйкес таблицалардан жазылып алынады;
- шығару жолдарына қысқаша түсініктеме жазылады;
- ізіделіп отырған шама жалпы түрде шығарылады, яғни әуелі жұмыс формуласы қортылып, одан кейін формуланың дұрыстығы тексеріледі;
- формуланың дұрыстығын тексеру үшін шамалардың бірліктері негізгі бірліктер арқылы өрнектеліп жазылады да теңдіктің екі жағының өлшем бірліктерінің дәл келуі анықталады;
- шамалардың сан мәндері формулаға қойылып, есептеулер жүргізіледі;
- алынған шаманың дұрыстығы, олардың эксперимент нәтижелерімен үйлесуі анықталады;

Көрсетілген әдебиеттер мен әдістемелік нұсқауларды қолданып курстың жеке тақырыптары бойынша есептер шығару мысалдары қарастырылады:

Электростатика. Кулон заңы

Сабақтың мақсаты: Нақты мысалдарды талдай отырып зарядтардың сақталу заңының мағанасын түсіндіру. Кулон заңын қолданып нүктелік зарядтардың әсерлесу күштерін есептеу мысалдарын қарастыру.

Тақырыптар бойынша есептер шығару мысалдары қарастырылады:

Жалпы физика курсының есептер жинағы М.С. Цедрик, 1989 ж., № 17-3,9,18

Электр өрісі кернеулігін есептеу әдістері

Сабақтың мақсаты: Электр өрісі кернеулігін есептеудің әртүрлі әртүрлі әдістерімен таныстыру. Төмендегі сұрақтарды қайталау:

Электр өрісінің кернеулігі деген не? Оның физикалық мағанасы не?

- Нүктелік зарядтың электр өрісінің кернеулігінің формуласын жаз.
- Электр өрісін қалай кескіндейді?
- Электр өрісінің суперпозиция принципінің мағанасы неде?
- Электр өрісі кернеулігінің өлшем бірлігі
- Электр өрісінің кернеулігін есептеуде Остроградский-Гаусс теоремасын қолданудың ыңғайлығы неде?
- Тұйық бет арқылы өтетін кернеулік векторы ағыны қандай жағдайда нольге тең?

Тақырыптар бойынша есептер шығару мысалдары қарастырылады: (Жалпы физика курсының есептер жинағы М.С. Цедрик, 1989 ж.) № 17-24,25,31

Тақырып: Зарядтар жүйесі мен таралған зарядтар өрісінің потенциалын есептеу әдістері

Сабақтың мақсаты: Нүктелік зарядтардың, зарядтар жүйесінің, таралған зарядтардың өріс потенциалдарын есептеуде ыңғайлы формуланы қолдана білуге үйрету. Остроградский-Гаусс теоремасын қолдану.

Төмендегі теориялық сұрақтарды оқу:

- Нүктелік зарядтардың, зарядтар жүйесінің, таралған зарядтардың өріс кернеулігін есептеуде Остроградский – Гаусс теоремасын қолданудың маңызы. Остроградский – Гаусс теоремасының математикалық өрнегі, мәне мен мазмұны.
- Электр өрісінің кернеулігі мен потенциалының арасындағы байланыс қандай?
- Электр өрісінің күштік және энергетикалық сипаттамаларының байланысының физикалық мағанасы.

Тақырыптар бойынша есептер шығару мысалдары қарастырылады: (Жалпы физика курсының есептер жинағы М.С. Цедрик, 1989 ж.) № 17-38,45,46.

Электр өрісіндегі өткізгіштер мен диэлектриктер, сипаттамаларын есептеу

Сабақтың мақсаты: Электр өрісіне өткізгіштер мен диэлектриктерді енгізгенде, оның сипаттамаларының өзгеруін салыстыру.

Төмендегі теориялық сұрақтарды оқып-білу:

- Диэлектрикті электр өрісіне орналастырғанда болатын өзгерістер мен процестердің мәні?
- Электростатикалық индукция векторы мен электр өрісінің кернеулігінің физикалық мағанасы, олардың арасындағы байланыс.
- Екі диэлектриктердің шекарасында кернеулік сызықтарының сынуын қалай түсіндіруге болады?
- Заттардың диэлектрик өтімділігінің физикалық мағанасын түсіндіріңдер.
- Нүктелік q заряд пен өткізгіш дененің жазық бетінің арасындағы әсерлесу күші қандай болады? Егер заряд қабырғадан r қашықтықта орналасқан болса.

Тақырыптар бойынша есептер шығару мысалдары қарастырылады: (Жалпы физика курсының есептер жинағы М.С. Цедрик, 1989 ж.) № 17-38,45,46

Өткізгіштердің электр сыйымдылығы

Сабақтың мақсаты: Сыйымдылық туралы түсініктеді бекіту. Геометриялық формалары әртүрлі болып келген денелердің сыйымдылықтарын есептеу және салыстыру. Диэлектрик өтімділіктері әртүрлі орталарды ескеру.

Тақырып бойынша есеп шығаруға қажет болатын төмендегі теориялық сұрақтарды қайталау:

- Өткізгіштердің электр сыйымдылығы қандай шамалармен анықталады?
- Кондесатор деген не? Жазық, цилиндрлік, сфералық конденсаторлардың электр сыйымдылығы қалай анықталады?

-Тізбектей және параллель жалғанған конденсаторлардың электр сиымдылығы қалай анықталады?

-Электр сиымдылық тың бірліктерін атаңыз.

Тақырыптар бойынша есептер шығару мысалдары қарастырылады: (Жалпы физика курсының есептер жинағы М.С. Цедрик, 1989 ж.) № 17-67,81,84

Электростатикалық өрістің энергиясы

*Сабақтың мақсаты:*Зарядталған денелердің өрістері энергияларын есептеу әдістерімен таныстыру.Электр өрісінің энергиясын демонстрациялайтын мысалдарды қарастыру.

Тақырып бойынша есеп шығаруға қажет болатын төмендегі теориялық сұрақтарды қайталау:

- Электр өрісінің энергиясының болатынын қай тәжірибелер растайды?
- Электр өрісі энергиясының бірліктерін ата
- Зарядталған конденсатордың энергиясы қалай анықталады?

Тақырыптар бойынша есептер шығару мысалдары қарастырылады : (Жалпы физика курсының есептер жинағы М.С. Цедрик, 1989 ж.) № 17-93,102,104.

Тұрақты ток заңдары

*Сабақтың мақсаты:*Тізбек бөлігіндегі ток күшін, потенциалдар айырмасын, кедергісін есептеуде Ом заңын қолданудың әдет- дағдысын бекіту. Ом заңын толық тізбекке, ЭҚК әсер ететін тізбек бөлігіне қолдану.

Тақырып бойынша есеп шығаруға қажет болатын төмендегі теориялық сұрақтарды қайталау:

- Электр тогы деп нені айтады?
- Тізбекте электр тогының болу шарттары
- «Тосын» күштер деген не?
- Тізбектің біртекті емес бөлігіне арналған Ом заңының тұжырымдамасы.
- Тұйық тізбекке арналған Ом заңын тұжырымдамасы
- Ток күшінің физикалық мағанасын тұжырымдамасы
- Ток тығыздығы нені анықтайды?

Тақырыптар бойынша есептер шығару мысалдары қарастырылады: (Жалпы физика курсының есептер жинағы М.С. Цедрик, 1989 ж.) № 17-2,5,13, 24.

Кирхгоф ережелерін электр тізбегін есептеуде қолдану.

Сабақтың мақсаты: Электр тізбегінің теңдеулерін құрып және олардың сипаттамаларын есептеуге Кирхгоф ережелерін қолдануды үйрету.

Тақырып бойынша есеп шығаруға қажет болатын төмендегі теориялық сұрақтарды қайталау:

- қандай электр тізбегін тармақталған тізбек деп атайды?
- Киргоф ережелерінің мағанасы неде?
- «таңбалар» ережесін түсіндір

Тақырыптар бойынша есептер шығару мысалдары қарастырылады: (Жалпы физика курсының есептер жинағы М.С. Цедрик, 1989 ж.) № 17-30,35,44.

Токтың жұмысы мен қуаты

Сабақтың мақсаты: Токтың жұмысы мен қуатын есептеу әдістерін үйрену.

Тақырып бойынша есеп шығаруға қажет болатын төмендегі теориялық сұрақтарды қайталау:

- Жартылай өткізгіштердің негізгі физикалық қасиеттері қандай?
- Жартылай өткізгіштердің меншікті өткізгіштігі деген не?
- Қоспалық өткізгіштік деген не? Олардың типтері?
- Газдардағы ионизация процесі деген не? Ионизация жұмысы неге тәуелді?
- Рекомбинация деген не?

Тақырыптар бойынша есептер шығару мысалдары қарастырылады: (Жалпы физика курсының есептер жинағы М.С. Цедрик, 1989 ж.) № 17-51,64,70.

Термоэлектрондық эмиссия, контактілік құбылыстар

Сабақтың мақсаты: Газдар мен жартылай өткізгіштердің электр өткізгіштігінің заттардың сипаттамаларына тәуелділігін көрсету.

- термоэлектрондық эмиссия құбылысының мағанасын түсіндір
- вакуумдағы электр тогының табиғаты неде?
- қанығу тогы деген не? Ол неге байланысты?
- «түйісу құбылыстары» қандай шарттар орындалғанда байқалады?
- «түйісу құбылыстары» ның практикалық қолданылулары

Тақырыптар бойынша есептер шығару мысалдары қарастырылады: (Жалпы физика курсының есептер жинағы М.С. Цедрик, 1989 ж.) № 19-4,14,16.

Электролиттердегі, газдардағы электр тогы.

Сабақтың мақсаты: Металлдардағы, электролиттердегі, газдардағы электр тогының табиғатан талдау. Электролиз заңдары мен тұрақты ток заңдарын қолданып есептер шығару әдістерін талдау.

Тақырып бойынша есеп шығаруға қажет болатын төмендегі теориялық сұрақтарды қайталау:

- Жартылай өткізгіштердің негізгі физикалық қасиеттері қандай?
- Жартылай өткізгіштердің меншікті өткізгіштігі деген не?
- Қоспалық өткізгіштік деген не? Олардың типтері?
- Газдардың ионизация процесі деген не? Ионизация жұмысы неге тәуелді?
- Рекомбинация деген не?

Тақырыптар бойынша есептер шығару мысалдары қарастырылады: (Жалпы физика курсының есептер жинағы М.С. Цедрик, 1989 ж.) № 20-4,5,19,25.

Магнит өрісі. Магнит өрісінің қозғалыстағы зарядтарға әсері

Сабақтың мақсаты: Магнит өрісінің кернеулік векторы мен индукция векторы ұғымдарын қалыптастыру, оларды есептеу әдістерін үйрету. Магнит өрісінің токтарға әсерін есептеуде Био-Савар-Лаплас заңын қолдану.

Тақырып бойынша есеп шығаруға қажет болатын төмендегі теориялық сұрақтарды қайталау:

- Био-Савара-Лаплас заңының физикалық мағанасын түсіндір
- Ампер заңының мағанасы неде? Математикалық өрнегін жаз
- Лоренц күшінің бағытын қалай анықтайды?

Тақырып бойынша есептер шығару мысалдары қарастырылады: (Жалпы физика курсының есептер жинағы М.С. Цедрик, 1989 ж.) № 21-3,5,14, 23,50,33,36.

Электр магниттік индукция. Магнит өрісінің энергиясы

*Сабақтың мақсаты:*Магнит ағынын есептеу дағдысын қалыптастыру; магнит ағынын өзгерту әдістерін және қозғалған өткізгіште индукция ЭҚК пайда болуын талдау; Тұйық контурда индукция ЭҚК және магнит ағынын есептеу мысалдарын қарастыру.

Тақырып бойынша есеп шығаруға қажет болатын төмендегі теориялық сұрақтарды қайталау:

-Магнит өрісінде қозғалған зарядқа әсер ететін күшті қалай есептейді? Күштің бағытын қалай анықтайды?

-Қандай заттар өткізгіштер тобыны жатады? Бұл заттардың құрылысының ерекшеліктері неде?

-Магнит ағыны деп нені айтады? Оның өлшем бірлігі не?

-Белгі бір бет арқылы өтетін магнит ағынын қандай әдістер арқылы өзгертуге болады ?

-Қандай жағдайда әсер ететін күштер бөгде күш деп аталады?

-Электр қозғаушы күштің физикалық мағанасын айт.

-Қозғалатын өткізгіштерде ЭҚК қай жағдайда индукцияланады?

- Электр магниттік индукция құбылысының мағынасын түсіндір.Фарадейдің электр магниттік индукция заңының математикалық өрнегі қалай жазылады?

- Ленц ережесінің электр магниттік индукция процесіндегі энергияның сақталу заңына сәйкес клетінін қалай көрсетуге болады?

Тақырыптар бойынша есептер шығару мысалдары қарастырылады: (Жалпы физика курсының есептер жинағы М.С. Цедрик, 1989 ж.) № 22-2,6,17.

Айнымалы ток . Электр магниттік тербелістер мен толқындар.

*Сабақтың мақсаты:*Айнымалы ток тізбегіндегі актив, сиымдылық, индуктивтік және толық кедергілерді, ток күшін, кернеуді есептеу ағдылырын қалыптастыру.Индуктивтік және сиымдылық кедергілердің айнымалы ток жиілігіне тәуелділігін қарастыру.

Тақырып бойынша есеп шығаруға қажет болатын төмендегі теориялық сұрақтарды қайталау:

- қандай шарттар орындалғанда ток «айнымалы» деп аталады?

- айнымалы токты сипаттайтын шамалардың өзара байланысы ?

- айнымалы ток күші мен кернеуінің әсерлік мәні деп нені айтады ?

- айнымалы ток күші мен кернеуінің амплитудалық мәні деп нені айтады ?

- электромагниттік тербелістер қалай пайда болады ?

- электромагниттік толқындар қандай шарт орындалғанда пайда болады және таралады ?

Тақырыптар бойынша есептер шығару мысалдары қарастырылады: (Жалпы физика курсының есептер жинағы М.С. Цедрик, 1989 ж.) № 23-2,5,11,25

Типтік есептер шығару үлгілері

1-Мысал.

Ұзындығы ℓ болатын жұқа стерженьда сызықты тығыздығы $\tau = 10 \text{ нКл/м}$ -ға тең заряд бірқалыпты таралған. А –нүктесіндегі таралған зарядтан пайда болған, стержень осінде (бекітілген) орналастырылған және оның жақын ұшынан ℓ -қашықтыққа алыстатылған φ -потенциалын табу керек.

Шешуі:

Стерженьда ұзындығы dx кішкене бөлімше белгілейді. Сонда бұл бөлімшеде нүктелік деп санауға болатын $dQ = \tau dx$ заряд анықталынады. А нүктесінде осы нүктелік зарядтан пайда болған $d\varphi$ потенциалды мына формула бойынша анықтауға болады:

$$d\varphi = \frac{dQ}{4\pi\epsilon_0\epsilon \cdot x} = \frac{\tau \cdot dx}{4\pi\epsilon_0\epsilon \cdot x} \quad \text{Электр өрістерінің}$$

суперпозиция принципі бойынша, А-нүктесінде зарядталған стерженьнан пайда болған электр өрісінің потенциалын мына берілгенді интегралдау арқылы

табамыз: $\varphi = \int_{\ell}^{\infty} \frac{\tau \cdot dx}{4\pi\epsilon_0\epsilon \cdot x} = \frac{\tau}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \int_{\ell}^{\infty} \frac{dx}{x}$; Интегралдау арқылы мынаны аламыз:

$$\varphi = \frac{\tau}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \ln x \Big|_{\ell}^{\infty} = \frac{\tau}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \ln 2; \quad \text{Физикалық шамаларға сандық мәндерін қойып}$$

аламыз: $\varphi = 9 \cdot 10^9 \cdot 10 \cdot 10^{-9} \cdot 0.693 = 62.4 \text{ (В)}$.

2 Мысал.

Электр өрісі $R=1 \text{ см}$ радиусты және бірқалыпты зарядталған сызықты тығыздығы $\tau = 20 \text{ нКл/м}$ -ға тең ұзын цилиндрдан құралған. Цилиндрдің орта бөлігіндегі, цилиндр бетінен $a_1 = 0.5 \text{ см}$ және $a_2 = 2 \text{ см}$ қашықтықта орналасқан, осы өрістің 2 нүктесінің потенциалдар айырымын анықтау керек.

Шешуі:

Потенциалдар айырымын анықтау үшін, өріс кернеулігі мен потенциал өзгерісі арасындағы қатысты пайдаланамыз: $\vec{E} = -\text{grad}\varphi$;

Цилиндр сияқты осьті симметриялық өріс үшін, бұл қатысты мына түрде жазуға болады: $E = -\frac{d\varphi}{dr}$ немесе $d\varphi = -E \cdot dr$

Бұл берілгенді интегралдап, 2 нүктенің потенциалдар айырымын табамыз. Олар

цилиндр осінен r_1 және r_2 қашықтықта қалып отыр: $\varphi_2 - \varphi_1 = -\int_{r_1}^{r_2} E dr$ Цилиндр

ұзын болғандықтан және нүктелер оның орталық бөлігінен алынғандықтан, өріс кернеулігінің мәні үшін шексіз ұзын цилиндрда пайда болған өріс кернеулігінің формуласын пайдалануға болады: $E = \tau / 2\pi\epsilon_0\epsilon r$

$$E\text{-нің мәнін 1-ге қойып, аламыз: } \varphi_2 - \varphi_1 = -\frac{1}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = -\frac{\tau}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad \text{немесе}$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \ln \frac{r_2}{r_1} \text{ мынаны } r_1 = R + a_1 = 0,015 \text{ м, } r_2 = R + a_2 = 0,03 \text{ м ескеріп, есептеулер}$$

$$\text{жүргіз } \varphi_1 - \varphi_2 = 2 \cdot 10^{-8} \cdot 1,8 \cdot 10^{10} \ln \left(\frac{0,03}{0,015} \right) = 3,6 \cdot 10^2 \cdot 2,3 \cdot \ln 2 = 250 \text{ В}$$

3 Мысал.

Үдеткішті потенциалдар айырымы (U)- ын анықтау керек, онда электр өрісінде электрон жүріп өткен, ол электронның жылдамдығы $\mathcal{V}_1 = 10^6$ м/с, Оның жылдамдығы $n=2$ есе өсу керек.

Шешуі:

Үдеткішті потенциалдар айырымын табу үшін электростатикалық өрістің А күш жұмысын есептеуге болады.

Бұл жұмыс e - элементар зарядтың U- потенциалдар айырымын көбейтіндісі ар/лы анықталынады: $A = eU$ (1)

Бұл жағдайда электростатикалық өрістің күш жұмысы электронның кинетикалық энергиясының өзгерісіне тең: $A = T_2 - T_1 = \frac{m\mathcal{V}_2^2}{2} - \frac{m\mathcal{V}_1^2}{2}$ мұнда: T_1 және T_2 - электронның кинетикалық энергиясы, m -электрон массасы; $\mathcal{V}_1$ және $\mathcal{V}_2$ - электронның бастапқы және соңғы жылдамдығы. Формулалардың оң бөліктерін теңестіріп, аламыз:

$$eU = \frac{m\mathcal{V}_2^2}{2} - \frac{m\mathcal{V}_1^2}{2} = \frac{m n^2 \mathcal{V}_1^2}{2} - \frac{m\mathcal{V}_1^2}{2} \text{ мұнда } n = \mathcal{V}_2 / \mathcal{V}_1$$

Потенциалдар айырымы үшін жазамыз:

$$U = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^6^2}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} (n^2 - 1) = 8,53 \text{ В}$$

4 Мысал.

Массасы $m = 10^{-3}$ кг-ға тең және периоды $T_1 = 1$ с-қа тең жүгі бар математикалық маятникке $q = -10^{-8}$ Кл заряд берілді. Маятникті біртекті электр өрісінде орналастырған, ол пластиналары горизонтал орналастырылған жазық конденсатордан құралған. Осы кезде тербеліс периоды $T_2 = 0,8$ с-қа кеміді. Электр өрісінің тарапынан маятникке әсер етуші күшті, электр өрісінің бағытын, потенциалдар айырымын, пластиналардағы заряд тығыздығын табу керек. Үлкен ауданның пластиналарының $\Delta d = 1$ см ара қашықтығы маятник жібінің ұзындығынан артық екені белгілі.

Шешуі:

Электр өрісі жоқ кездегі тербеліс периоды $T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g_1}}$, осы формуладағы g_1 - үдеу, ол маятникке ауырлық күші арқылы берілген $\Delta d = 10^{-2}$ м.

Осыдан $g_1 = \frac{4\pi^2 \cdot \ell}{T_1^2}$. Маятникті электр өрісіне орналастырғанда, оның периоды өзгереді және g_2 - үдеу былай анықталады:

$g_2 = \frac{4\pi^2 \cdot \ell}{T_2^2}$. Үдеудің $\Delta g = g_2 - g_1$ - өзгеруі электр өрісінің әсерінен болады, сонымен қатар біртекті электр өрісінің тарапынан маятникке әсер етуші күш мынаған тең: $F = m \cdot \Delta g$. Теңдеулердің негізінде: $g_2 = \frac{T_1^2}{T_2^2} g_1$; $\Delta g = g_1 \cdot \left(\frac{T_1^2}{T_2^2} - 1 \right)$.

$F = mg_1 \cdot \left(\frac{T_1^2}{T_2^2} - 1 \right)$. Электр өрісінің әсерінің нәтижесінен үдеу еркін түсу үдеуіне

қарағанда артады, сонымен бірге бұл күш ауырлық күші mg -мен бағыттас. Бірақ мұндай жағдай, егер теріс заряд $-q$ өрісте орналасып, оның кернеулігі вертикаль жоғары орналасқанда ғана орындалуы мүмкін.

Жазық конденсатор пластиналары арасындағы потенциалдар айырым U тең болады: $U = E \cdot d$. Кернеуліктің анықтамасы бойынша: $E = \frac{F}{q}$. Теңдеуден

белгілі, маятник ұзындығы: $\ell_1 = \frac{T_1^2 \cdot g_1}{4\pi^2}$

Пластиналар ара қашықтығы: $d = \ell_1 + \Delta d$. Теңдеулерді қорытып, мынаны аламыз: $U = \frac{F}{q} (\ell_1 + \Delta d)$. Жазық конденсатордың өріс кернеулігі тең болады:

$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ осыдан: $\sigma = E \epsilon_0 = \frac{F}{q} \epsilon_0$

Келтірілген теңдіктердің сан мәндерін қойсақ, мынаны аламыз:

$F = 0,05H$; $U = 1,3 \cdot 10^6 B$; $\sigma = 4,9 \cdot 10^{-5} Кл/м^2$

5 Мысал.

Нүктелік диполь осінен $r = 10,0 см$ қашықтықта оң заряд орналасқан. Осы электр өрісіндегі нүктелік дипольдің потенциалын анықтау керек. Оның электрлік моменті $p = 2,0 \cdot 10^{-14} Кл \cdot м$ -ға тең.

Шешуі:

Өрістің суперпозиция принципіне сүйенсек, электр өрісіндегі дипольдің кез-келген нүктесінің потенциалы - әрбір диполь заряды туғызатын потенциалдардың алгебралық қосындысына тең: $\varphi = \varphi_+ - \varphi_- \dots$

Сонда А нүктесі мына формула: $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{q}{r}$, бізде потенциал үшін келесі өрнек

бар $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \left(\frac{q}{r - \ell/2} - \frac{q}{r + \ell/2} \right) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{P}{r^2 - \ell^2/4}$, осындағы $P = q \cdot \ell$ дипольдің

электрлік моменті. Сонымен, өріс диполінің потенциалын анықтау үшін тек электрлік момент P -ны ғана емес, ℓ -иінді де білу керек.

Ескереміз. Нүктелік диполь үшін $\ell \ll r$ қатысы орындалады. Сондықтан, $\ell^2/4$ -шамасын есепке ала отырып, берілген формуланың бөлгішін де ескере

отырып, табамыз: $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{P}{r^2}$ Шамалардың сандық мәндерін қорытынды

формулаға қойып, мынаны аламыз $\varphi = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{2,0 \cdot 10^{-11}}{0,1^2} = 1,8 \text{ (мВ)}$. Осындағы

$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ В/Ф}$ - екені ескерілген.

6 Мысал.

r - радиусты жұқа диск σ - беттік тығыздықпен бірқалыпты зарядталған. Диск осінен a - қашықтықта жатқан А нүктесіндегі потенциал мен электр өрісі кернеулігін табу керек.

Шешуі:

А нүктесіндегі потенциалды табу үшін, өрістің суперпозиция принципін пайдалану қолайлы. Ол үшін дискіні қалыңдығы dx болатын элементар сақиналарға бөлеміз. X сақина ауданының радиусының ауданы $2\pi x dx$ -қа тең, ал сақина заряды $-2\pi\sigma x dx$ -қа тең. Сақина өрісінің потенциалы -өзінің нүктелік элементтерінен құралған потенциалдар қосындысына тең.

Нүктелік элементтер А –нүктесінен тең алыстатылғандықтан, сақина зарядын сол шамалас нүктелік зарядпенауыстырсақ, А нүктеден $\sqrt{a^2 + x^2}$ қашықтыққа алыстатылғанды мына формуламен табамыз: $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{q}{r}$;

Сақина потенциалы: $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{2\pi\sigma \cdot x dx}{\sqrt{a^2 + x^2}}$ - интегралдап, диск потенциалын

анықтаймыз: $\varphi = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon} \int_0^r \frac{x \cdot dx}{\sqrt{a^2 + x^2}} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon} (\sqrt{a^2 + x^2} - a)$.

Симметрия қатысы бойынша мынандай қорытынды жасауға болады, А нүктесінде электр өрісінің $\vec{E}$ кернеулік векторы диск осінің маңына бағытталған Сондықтан E –нің модулін табу үшін, электр өрісі кернеулігімен потенциал $E = -\frac{d\varphi}{d\ell}$ арасындағы байланысты пайдаланамыз. Мұнда $\frac{d\varphi}{d\ell}$ - туынды потенциалдың жылдам өзгерісі бағытында алынып отыр, яғни күштік сызық маңында.

Шаманы айнымалы деп қарастырып, аламыз: $E = -\frac{d\varphi}{da} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon} \left(1 - \frac{a}{\sqrt{a^2 + x^2}} \right)$

$a \ll r$ болғанда, жазылған формула шексіз жазықтықты өріс кернеулігін есептейтін қорытынды формулаға көшеді: $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon}$

7 Мысал.

Өріс 2 бірқалыпты зарядталған концентрлік сфералардан құралған. Сфералар заряды Q_1 және Q_2 -екенін біле отырып, О,А, В-нүктелерінің потенциалын табу керек. Сфералардың радиустары R_1 және R_2 -ге тең, ал ОА және ОВ –лардың қашықтығы ℓ_1 және ℓ_2 -ге тең.

Шешуі:

О нүктесі әрбір сфераның ішінде жатқандықтан, $\varphi_0 = \varphi_{01} + \varphi_{02}$, мұнда φ_{01} және φ_{02} -әрбір сферада жеке-жеке пайда болатын өрістердегі О-нүктесінің потенциалдары.

Ақырғылары сфераның бетіндегі потенциалдарға тең болғандықтан,

$$\varphi_0 = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 R_1} + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 R_2}$$

Өрістің А нүктесі 1-ші сфераның сыртында, ал 2 сфераның ішінде жатқандықтан : $\varphi_A = \varphi_{A1} + \varphi_{A2} = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 \ell_1} + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 \ell_2}$

8 Мысал.

Радиусы 2 см-ге тең шардың бетінде оң заряд $10^{-10} Кл$ бірқалыпты таралған. Шардан өте алыс орналасқан электронның бастапқы жылдамдығы $\mathcal{V}_0 = 0$ -ға тең. Электрон қандай жылдамдықпен шарға жылжиды? (электрон массасы $m = 9,1 \cdot 10^{-31} кг$, электрон заряды $e = -1,6 \cdot 10^{-19} Кл$)

Шешуі:

Электронға зарядталған шардың электр өрісі тарапынан $\vec{F} = -e \cdot \vec{E}$ -күші әсер етеді. Ол электронға қатысты үдеуді береді(сообщает) (хабарлайды). Кез-келген зарядтың энергиясы сияқты, электр өрісіндегі қозғалыс кезінде электрон энергиясы өзгереді. Берілген жағдайда электронның кинетикалық энергиясы 0-дік $\mathcal{V}_0 = 0$ мәннен кейбір $\frac{m\mathcal{V}^2}{2}$ - мәнге дейін көбейеді (артады). Сондықтан

мынаны жазуға болады: $\frac{m\mathcal{V}^2}{2} = W_0 - W = e \cdot \varphi_0 - \varphi_- = -e \cdot \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}$

Осыдан жылдамдықты анықтау үшін мынаны жазамыз: $\mathcal{V} = \sqrt{-\frac{eQ}{2\pi\epsilon_0 mR}}$

Сандық мәндерін қойғаннан кейін аламыз:

$$\mathcal{V} = \sqrt{\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-10}}{2 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 0,02}} = 4 \cdot 10^6 (м/с)$$

9 Мысал.

Нүктелік Q_1 және Q_2 - зарядтар бір-бірінен ℓ - қашықтықта орналасқан. Бұл жүйенің потенциалдық энергиясы қандай?

Шешуі:

Бұл зарядтардың тек әрекеттесіп орналасуы белгілі болса, онда олардың біреуін шартты түрде қозғалмастай етіп бекітілген деп есептеуге болады. Сонда ізделініп отырған энергия $Q_2 \cdot \varphi$ -ға тең болады, мұнда φ өріс потенциалы, ол 2-ші заряд орналасқан нүктедегі 1-ші зарядтан пайда болған.

$$\varphi = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 \ell} - \text{екенін ескеріп, жазамыз: } W = \frac{Q \cdot Q_{21}}{4\pi\epsilon_0 \ell};$$

10 Мысал.

Q_1, Q_2, Q_3 - нүктелік зарядтар ℓ -жақты дұрыс үшбұрыштың ұшында (вершина) биіктігінде орналасқан. Бұл жүйенің потенциалдық энергиясы неге тең ?

Шешуі:

Алдыңғы есептің шешуін пайдаланып, система энергиясы үшін былай жазуға

$$\text{болады: } W = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4\pi\epsilon_0 \ell} + \frac{Q_2 \cdot Q_3}{4\pi\epsilon_0 \ell} + \frac{Q_1 \cdot Q_3}{4\pi\epsilon_0 \ell} = \frac{Q_1 \cdot Q_2 + Q_2 \cdot Q_3 + Q_1 \cdot Q_3}{4\pi\epsilon_0 \ell}$$

11 Мысал.

Радиустары R_1 және R_2 екі кішкене металл шариктер, олардың өлшемдерін арттыратын қашықтықта вакуумда орналастырылған және олар кейбір анықталған суммалық зарядқа (қосынды) ие.

q_1/q_2 - зарядтардың қандай қатынасында шариктардағы системаның жүйенің электрлік энергиясы минималды болады ? Шариктер арасындағы потенциалдар айырымы қандай болады ?

Шешуі:

Берілген жүйенің электр өрісінің энергиясы бізге белгілі формуламен

$$\text{есептелінуі мүмкін: } W = W_1 + W_2 + W_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_1^2}{2R_1} + \frac{q_2^2}{2R_2} + \frac{q_1 \cdot q_2}{\ell} \right)$$

Мұнда, W_1 және W_2 - шариктардың электр өрісіндегі меншікті энергия мәндері $\left(\frac{q \cdot \varphi}{2} \right)$. W_{12} - зарядталған шарлардың өзара әсер энергиясы $(q_1 \cdot \varphi_2)$ немесе $q_2 \cdot \varphi_1$;

ℓ - шариктар ара қашықтығы. $q_2 = q - q_1$ - болғандықтан, мұнда q - жүйенің

$$\text{суммалық заряды } W = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{q_1^2}{2R_1} + \frac{(q - q_1)^2}{2R_2} + \frac{q_1 \cdot (q - q_1)}{\ell} \right].$$

W - энергия минималды болады, егер: $\frac{\partial W}{\partial q_1} = 0$ болса. Сонда мынаны аламыз:

$$q_1 \approx q \frac{R_1}{R_1 + R_2} \text{ және } q_2 \approx q \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad R_1 \text{ және } R_2 \ll \ell \text{ мен } q_1/q_2 = R_1/R_2 \text{ -ден көп кіші екендігі}$$

ескерілген. Әрбір шариктің потенциалы (оларды изоляцияланған деп қарастыруға болады) $\varphi \approx q/R$, сондықтан алдыңғы теңдіктен мынау шығады: $\varphi_1 = \varphi_2$, потенциалдар айырымы мұндай таралуда 0-ге тең болады.

12 Мысал.

Q_1, Q_2, Q_3 - нүктелік зарядтар ℓ -жақты дұрыс үшбұрыштың ұшында (вершина) биіктігінде орналасқан. Бұл жүйенің потенциалдық энергиясы неге тең ?

Шешуі:

Алдыңғы есептің шешуін пайдаланып, система энергиясы үшін былай жазуға

$$\text{болады: } W = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4\pi\epsilon_0 \ell} + \frac{Q_2 \cdot Q_3}{4\pi\epsilon_0 \ell} + \frac{Q_1 \cdot Q_3}{4\pi\epsilon_0 \ell} = \frac{Q_1 \cdot Q_2 + Q_2 \cdot Q_3 + Q_1 \cdot Q_3}{4\pi\epsilon_0 \ell}$$

13 Мысал.

Электр өрісі $R = 1\text{ см}$ радиусты және бірқалыпты зарядталған сызықты тығыздығы $\tau = 20\text{ нКл/м}$ -ға тең ұзын цилиндрдан құралған. Цилиндрдің орта бөлігіндегі, цилиндр бетінен $a_1 = 0.5\text{ см}$ және $a_2 = 2\text{ см}$ қашықтықта орналасқан, осы өрістің 2 нүктесінің потенциалдар айырымын анықтау керек.

Шешуі:

Потенциалдар айырымын анықтау үшін, өріс кернеулігі мен потенциал өзгерісі арасындағы қатысты пайдаланамыз: $\vec{E} = -\text{grad}\varphi$;

Цилиндр сияқты осьті симметриялық өріс үшін, бұл қатысты мына түрде жазуға болады: $E = -\frac{d\varphi}{dr}$ немесе $d\varphi = -E \cdot dr$

Бұл берілгенді интегралдап, 2 нүктенің потенциалдар айырымын табамыз. Олар цилиндр осінен r_1 және r_2 қашықтықта қалып отыр: $\varphi_2 - \varphi_1 = -\int_{r_1}^{r_2} E dr$.

Цилиндр ұзын болғандықтан және нүктелер оның орталық бөлігінен алынғандықтан, өріс кернеулігінің мәні үшін шексіз ұзын цилиндрда пайда болған өріс кернеулігінің формуласын пайдалануға болады: $E = \tau / 2\pi\epsilon_0 r$

Е-нің мәнін 1-ге қойып, аламыз: $\varphi_2 - \varphi_1 = -\frac{1}{2\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = -\frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1}$ немесе

$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1}$ мынаны $r_1 = R + a_1 = 0,015\text{ м}$ $r_2 = R + a_2 = 0,03\text{ м}$ ескеріп,

есептеулер жүргіз $\varphi_1 - \varphi_2 = 2 \cdot 10^{-8} \cdot 1,8 \cdot 10^{10} \ln \left(\frac{0,03}{0,015} \right) = 3,6 \cdot 10^2 \cdot 2,3 \cdot \ln 2 = 250\text{ В}$

14 Мысал.

Үдеткішті потенциалдар айырымы (U)-ын анықтау керек, онда электр өрісінде электрон жүріп өткен, ол электронның жылдамдығы $\mathcal{A}_1 = 10^6\text{ м/с}$, Оның жылдамдығы $n=2$ есе өсу керек.

Шешуі:

Үдеткішті потенциалдар айырымын табу үшін электростатикалық өрістің А күш жұмысын есептеуге болады.

Бұл жұмыс е-элементар зарядтың U-потенциалдар айырымын көбейтіндісі ар/лы анықталынады: $A = eU$. Бұл жағдайда электростатикалық өрістің күш жұмысы электронның кинетикалық энергиясының өзгерісіне

тең: $A = T_2 - T_1 = \frac{m\mathcal{A}_2^2}{2} - \frac{m\mathcal{A}_1^2}{2}$, мұнда T_1 және T_2 - электронның кинетикалық энергиясы

m-электрон массасы; $\mathcal{A}_1$ және $\mathcal{A}_2$ - электронның бастапқы және соңғы жылдамдығы формулалардың оң бөліктерін теңестіріп, мұнда $n = \mathcal{A}_2 / \mathcal{A}_1$

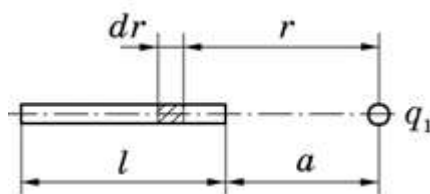
ескетіп аламыз: $eU = \frac{m\mathcal{A}_2^2}{2} - \frac{m\mathcal{A}_1^2}{2} = \frac{mn^2\mathcal{A}_1^2}{2} - \frac{m\mathcal{A}_1^2}{2}$.

Потенциалдар айырымы үшін жазамыз: $U = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^6^2}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} - 1 = 8,53\text{ В}$

15 Мысал. Ұзындығы 20 см жұқа жіңішке білікте біртекті электр заряды таратылған. Біліктің осінің жалғасында ең жақын ұшынан 10 см қашықтығында нүктелі заряд орналасқан 40 нКл, ол білікпен 6 мкН күшпен өзараәсерлеседі. Біліктегі зарядтың сызықтық тығыздығын анықтау керек.

Шешуі:

Зарядталған біліктің нүктелік зарядымен q_1 өзараәсерлесу күші F біліктегі зарядтардың сызықтық тығыздығына тәуелді болады. Бұл тәуелділікті біле отырып τ анықтауға болады. Күшті есептеген кезде F заряд нүктелік болмайды деуге болады, сондықтан Кулон заңын қолдауға болмайды. Зарядталған біліктің нүктелік зарядымен q_1 өзараәсерлесу күші F біліктегі зарядтардың сызықтық тығыздығына тәуелді болады. Бұл тәуелділікті біле отырып τ анықтауға болады. Күшті есептеген кезде F заряд нүктелік болмайды деуге болады, сондықтан Кулон заңын қолдауға болмайды. Бұл жағдайда былай істеуге болады. Біліктен элементар аз учаскесін бөліп аламыз (сурет 42) dr заряды $dq = \tau dr$.



Сурет 42-Зарядталған білік өрісі

Бұл зарядты нүктелік деп қарастыруға болады. Онда Кулон заңы бойынша

$$dF = \frac{q_1 \tau dr}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$$

Бұл өрнекті a дан $(a+l)$ -ге дейін интегралдау сонында, аламыз:

$$F = \frac{q_1 \tau}{4\pi\epsilon_0} \int_a^{a+l} \frac{dr}{r^2} = \frac{q_1 \tau}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{a+l} \right) = \frac{q_1 \tau l}{4\pi\epsilon_0 a(a+l)}, \text{ осыдан } \tau = \frac{4\pi\epsilon_0 a(a+l)F}{q_1 l} \text{ Есептеулерді}$$

$$\text{жасаймыз: } \tau = \frac{0,1(0,1 + 0,2) \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-8} \cdot 0,2} \text{ Кл/м} = 2,5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл/м}.$$

16 Мысал

Жұқа сақина бойымен бірқалыпты 40 нКл заряд 50 нКл/м сызықтық тығыздығымен таратылған. Бұл заряд сақина осінде жатқан және центрінен радиус жартысына тең ара қашықтыққа алыстатқан нүктедегі өріс кернеулігін табу керек

Шешуі:

Координаттық осьті x Оу сақина жазықтығымен сәйкестікке келтіреміз, ал O осьті сақина осьмен келтіреміз (сур. 2.2). Сақинада аз ұзындық dl учаскесін бөліп аламыз. Бөліктегі заряд $dq = \tau dl$ нүктелік деп есептеуге болатындықтан, электр

өрісінің кернеулігі $d\vec{E}$, бұл зарядпен туғызылған мына түрде жазуға болады.

$$d\vec{E} = \frac{\tau dl}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{\vec{r}}{r},$$

Мұндағы $\vec{r}$ — радиус-вектор, dl элементінен А нүктеге қарай бағытталған. Бұл векторды $d\vec{E}$ екі құраушысына жіктейміз: dE_1 , сақина жазықтығына перпендикуляр және (*Oz осьпен бағытталған*), и dE_2 , сақина жазықтығына параллель (*xOy жазықтығына*), яғни $d\vec{E} = d\vec{E}_1 + d\vec{E}_2$.

А нүктедегі электр өрісінің кернеулігі интегралдау көмегімен табамыз

$$\vec{E} = \int \vec{E}_1 + \int \vec{E}_2, \text{ мұндағы интегралдау зарядталған барлық элементтері бойынша}$$

есептеледі. Қандай да болсын зарядтар екісіне dq және dq' $q = dq'$, сақина центрі қатысты симметриялы орналасқан, $d\vec{E}_2$ және $d\vec{E}_2'$ векторлары А нүктеде, модуль жағынан тең және бағыты жағынан қарама-қарсы бағытталған: $d\vec{E}_2 = -d\vec{E}_2'$. Сондықтан векторлық қосынды (интеграл) $\int d\vec{E}_2 = 0$. $d\vec{E}_1$

құраушылары барлық сақина элементтері үшін *Oz осьпен бағытталған*.

Сонда $E = \int dE_1$, $dE_1 = dE \cdot \cos\alpha$, $\cos\alpha = a/r$.

Болғандықтан

$$dE = \frac{\tau dl}{4\pi\epsilon_0 r^2}, r = \sqrt{R^2 + R^2/2} = \sqrt{5}R/2, \cos\alpha = R/2 \cdot 1/r = 1/\sqrt{5}, \text{ онда}$$

$$dE_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{4\tau}{5R^2\sqrt{5}} dl = \frac{\tau dl}{5\sqrt{5}\epsilon_0 R^2}.$$

$$\text{Сонымен: } E = \int_0^{2\pi R} \frac{\tau dl}{5\sqrt{5}\pi R^2 \epsilon_0} = \frac{2\tau}{5\sqrt{5}\epsilon_0 \pi R}.$$

$q = 2\pi R\tau$ қатынастан сақина радиусын анықтаймыз: $R = q/(2\pi)$.

$$\text{Сонда } E = \frac{2\tau 2\pi}{5\sqrt{5}\epsilon_0 q} = \frac{4\pi\tau^2}{5\sqrt{5}\epsilon_0 q}. \text{ Есептеулерді}$$

$$\text{жасаймыз: } E = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 10^{-8}}{5\sqrt{5} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \text{ В/м} = 7,92 \cdot 10^3 \text{ В/м}.$$

17 Мысал.

Екі концентрлі өткізгішті радиустары 6 см и 10 см сфералары сәйкес зарядтарға дейін зарядталған $q_1 = 1$ и $q_2 = -0,5$ нКл. Сфералар центрінен $r_1 = 5$ см, $r_2 = 9$ см, $r_3 = 15$ см ара қашықтықтарына алыстатылған нүктелерінде өріс кернеулігін табу керек $\epsilon = 1$ есептеу керек.

Шешуі:

Электр өрісінің кернеулігін табу нүктесі үш аймақтарында жататыны көрінеді: I аймақта ($r_1 < R_1$), аймақта II ($R_1 < r_2 < R_2$), аймақта III ($r_3 > R_2$). Кернеулікті E_1 I аймақта анықтау үшін гаусті бетті өткіземіз S_1 радиусы r_1 және Остроградский Гаусс теоремасын қолдана аламыз $\oint_{S_1} E_1 dS = 0$ (қосынды заряд

гаусті бет ішінде нольге тең). Симметрия болғандығынан $E_1 = \text{const}$. Демек, E_1 барлық нүктелердешартқа бағынатын $r_1 < R_1$, нольге тең болады

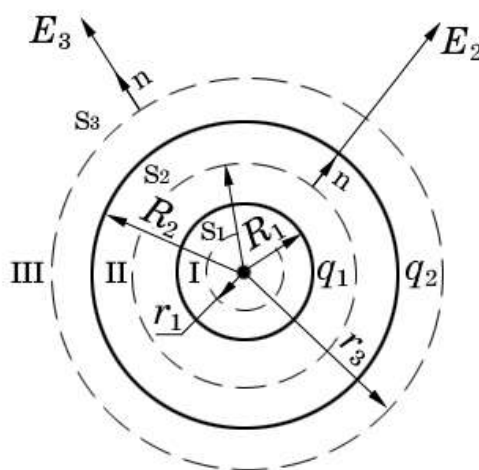
II аймақтағы гаусті r_2 . аймақты өткіземіз $\oint_{S_2} E_2 dS = q_1 / \varepsilon_0$,

Болғандықтан, гаусты бетте тек қана заряд q_1 . кіреді. $E_2 = \text{const}$ болғандықтан, онда E_2 интеграл сыртына шығаруға болады:

$$E_2 \oint_{S_2} dS = q_1 / \varepsilon_0, ES_2 = q_1 / \varepsilon_0,$$

$$E_2 = q_1 / (\varepsilon_0 S_2), \text{ мұндағы } S_2 = 4\pi r_2^2 \text{ — гаусты бет ауданы. Сонда } E_2 = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 r_2^2}.$$

III аймағында гаусті бет r_3 радиусымен жүргізіледі. Обозначим напряженность E кернеулікті III (срет 43) аймағында E_3 арқылы белгілейміз және бұл жағдайда гаустты бет екі сфераны шектейтін болғандықтан, қосынды заряды тең болады $q_1 + q_2$.



Сурет 43-Концентрлі өткізгіш

Сонда $E_3 = \frac{q_1 + q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_3^2}$. $q_2 < 0$ екеніне көз жеткізіп, бұл өрнекті мына түрге келтіреміз

$$E_3 = \frac{q_1 - q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_3^2}. \text{Еспетеулерді жасаймыз:}$$

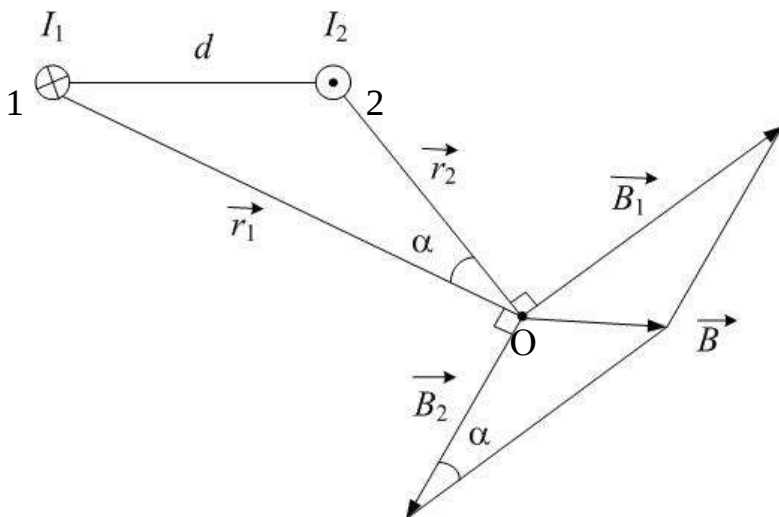
$$E_2 = 9 \cdot 10^9 \frac{10^{-9}}{(0,09)^2} \text{ В/м} = 1,11 \cdot 10^3 \text{ В/м}$$

$$E_3 = 9 \cdot 10^9 \frac{(1 - 0,5)10^{-9}}{(0,15)^2} \text{ В/м} = 200 \text{ В/м}.$$

18 Мысал.

Екі түзу сызықты параллель сымдар бойымен қарама-қарсы бағытта 50 А және 100 А токтары ағып өтеді. Сымдар арасындағы ара қашықтығы 0.2 м. Бірінші өткізгіштен 0.25 және екінші өткізгіштен 0.4 м қашықтықтағы магнит өрісінің кернеулігін табу керек.

Шешуі



Сурет 44-Тоғы бар өткізгіштердің магнит өрісі

Оң винтті ережесі бойынша I_1 және I_2 токтары туғызатын магнит өрістерінің (сурет 44) $\vec{B}_1$ және $\vec{B}_2$ магнит индукция векторлардың бағытын анықтау керек (сур. 2). Қабаттасу принципі бойынша (суперпозиция) $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$. Қорытқы магнит индукция векторын $\vec{B}$ косинустар теоремасы бойынша табамыз:

$B^2 = B_1^2 + B_2^2 - 2B_1B_2 \cos \alpha$. Дәл солай, косинустар теоремасы бойынша $2O$ үшбұрыштық үшін: $d^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cos \alpha$. Сонда $B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 - B_1B_2 \frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{r_1r_2}}$.

$\vec{B}_1$ және $\vec{B}_2$ сан мәндерін тоғы бар шексіз ұзын түзу сызықты өткізгіш индукция формуласы мен анықтаймыз: $B_1 = \mu\mu_0 \frac{I_1}{2\pi r_1}$ және $B_2 = \mu\mu_0 \frac{I_2}{2\pi r_2}$.

Магниттік өтімділігін 1 ге тең деп аламыз (магнетик жоқ): $\mu = 1$.

Сонда $B = \frac{\mu_0}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{I_1}{r_1}\right)^2 + \left(\frac{I_2}{r_2}\right)^2 - \frac{I_1 I_2}{r_1 r_2} \cdot \frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{r_1 r_2}}$. Сан мәндерін қойып табамыз:

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{50}{0.4}\right)^2 + \left(\frac{100}{0.25}\right)^2 - \frac{50 \cdot 100}{0.4 \cdot 0.25} \cdot \frac{0.4^2 + 0.25^2 - 0.2^2}{0.4 \cdot 0.25}} = 2 \cdot 10^{-7} \sqrt{125^2 + 400^2 - 91250}$$

немесе $B = 581 \cdot 10^{-7} = 58.1 \cdot 10^{-6} \text{ Тл} = 58.1 \mu\text{кТл}$.

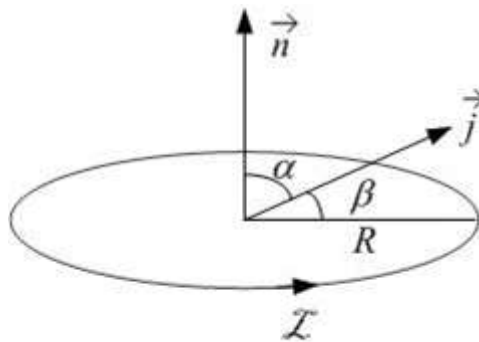
19 Мысал

Өткізгіш бойымен $2 \cdot 10^6$ А/м² ток тығыздығы біркелкі таралған. Өткізгіш ішінде жазықтығы ток тығыздық векторы мен 30° бұрыш жасайтын радиусы $5 \cdot 10^{-3}$ м шеңбер бойымен кернеулік векторының циркуляциясын табу керек.

Шешуі:

Кез келген тұйық контур бойымен магнит өрісінің кернеулік векторының циркуляциясы бет арқылы ағып өтетін қорытқы макроток шамасына тең: $\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \sum_i I_i^{macro}$. Қосынды макроток шамасын ток тығыздық арқылы өрнектейміз: $\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \vec{j} d\vec{S} = \int_S j \cdot \cos \alpha \cdot dS$, мұндағы интеграл L контурға «кигізілген» S бет арқылы алынады

α – контурға нормаль мен ток тығыздық векторының арасындағы бұрыш (сурет 45).



Сурет 45-Дөңгелек тогы бар контур

$\alpha + \beta = 90^\circ$ болғандықтан және ток біркелкі таралғандықтан ($j = const$), онда $\int_S j \cdot \cos \alpha \cdot dS = j \cdot \sin \beta \cdot \int_S dS = j \cdot \sin \beta \cdot \pi R^2$. Мұнда контурға кигізілген бет арқылы интеграл дөңгелек ауданына тең болатыны ескерілген: $\int_S dS = \pi R^2$.

Сонымен, $\oint_L \vec{H} d\vec{l} = j \cdot \sin \beta \cdot \pi \cdot R^2$. Сан мәндерін анықтап көрейік:

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = 2 \cdot 10^6 \cdot \sin 30^\circ \cdot 3.14 \cdot 5 \cdot 10^{-3}^2 = 78.5 \text{ A}.$$

Тақырып 14 Зертханалық жұмыстардың әдістемелік нұсқаулары

1. «Активтік кедергіні амперметр және вольтметр әдісімен өлшеу»

Жұмыстың мақсаты: амперметр және вольтметр әдісімен өткізгіштің кедергісін анықтау, тізбек бөлігіне арналған Ом заңын тексеру.

Зертханалық жұмыстың әдістемелік нұсқауына сәйкес өлшеулер жүргізіп, төмендегі сұрақтарға жауап беру:

- тұйық тізбекке арналған Ом заңының тұжырымдамасы;
- тізбектің біртекті емес бөлігіне арналған Ом заңының тұжырымдамасы;
- көлденең қимасының ауданы ұзындығы бойымен үздіксіз өзгертін өткізгіштің кедергісін қалай есептейді;
- жұмыс қолданылып отырған өлшеу құралдарының кедергілірі туралы не айтар едіңіз?
- дәлдік класы төмен, не жоғары құралдарды таңдап алу өткізгіштің кедергісін өлшеу дәлдігіне қалай әсер етеді?
- «Дәлдік класы» деп нені түсінесіз?
- құралдың бөлік құны деген не?

2. «Сегнетоэлектриктердің электрлік қасиеттерін зерттеу»

Жұмыстың мақсаты: электростатикалық өрістің жұмысын зерттеу, өрістің кернеулік сызықтары мен эквипотенциал беттерін тұрғызу.

Зертханалық жұмыстың әдістемелік нұсқауына сәйкес өлшеулер жүргізіп, төмендегі сұрақтарға жауап беру:

- сегнетоэлектриктер дегеніміз не?
- сегнетоэлектриктердегі доментдер дегеніміз не?
- Кюри нүктесі дегеніміз не?
- диэлектрлік гистерезис дегеніміз не?
- тура және кері пьезоэлектрлік эффект туралы түсінік беру керек.
- пироэлектриктер дегеніміз не?
- электр өрісінің кернеулігі деген не?
- нүктелік зарядтың электр өрісінің кернеулігін қалай есептейді?
- электр өрісінің кернеулігі мен потенциалының арасындағы байланыстың математикалық өрнегін жаз
- электростатикалық өрісте зарядтың орын ауыстыру жұмысын қалай есептейді?
- электростатикалық өрістің потенциалдық өріс болу шартын жаз және тұжырымда;
- электр өрісінің кернеулік сызықтары мен эквипотенциал беттердің өзара ортогоналдығын дәлелде

3. «Конденсатордың зарядталуы мен разрядталу процестерін зерттеу»

Жұмыстың мақсаты: Конденсатордың зарядталуы мен разрядталу процестерін сиымдылық және актив кедергілердің шамаларын өзгерте отырып зерттеу, өлшеу нәтижелері бойынша $U=f(t)$ график салу.

Зертханалық жұмыстың әдістемелік нұсқауына сәйкес өлшеулер жүргізіп, төмендегі сұрақтарға жауап беру:

- электр сиымдылық деп нені айтады? Өткізгіштің электр сиымдылығы қандай шамаларға тәуелді?

- электр сиымдылықтың өлшем бірліктерін ата
- конденсатордың зарядталуы мен разрядталу процестерінің графигін түсіндір
- релаксациялық тербеліс деген не?

4. «Электрлік өлшеулер жүргізу әдістемелері, өлшеулер нәтижелерін өңдеу. Электр өлшеуіш құралдар, оларды қолдану. Қауіпсіздік техникасының ережелері»

Жұмыстың мақсаты: Студенттерді электр өлшеуіш құралдардың жұмыс принципі және олардың негізгі сипаттамалары, өлшеу жүргізу әдістері және өлшеу нәтижелерін өңдеу әдістерімен таныстыру.

«Электр және магнетизм» лабораториясында қауіпсіздік техникасы талаптарының Ережелерімен танысу.

5. «Өткізгіштің кедергісін Уитстон көпірі әдісімен анықтау»

Жұмыстың мақсаты: кедергіні көпір әдісімен анықтау тәсілімен танысу.

Зертханалық жұмыстың әдістемелік нұсқауына сәйкес өлшеулер жүргізіп, төмендегі сұрақтарға жауап беру:

- кедергіні Уитстон көпірі әдісімен анықтаудың амперметр және вольтметр әдісімен салыстырғанда артықшылығы неде?
- тізбектегі ток көзі мен гальвонометрдің орындарын ауыстырғанда көпірдің тепе-теңдігі бұзылама?
- Кирхгоф ережелерін қолданып көпірдің тепе-теңдік шартын қортып шығар;
- осы лабораториялық жұмыстағы қателіктерді есептеу формуласын қортып шығар;
- Кирхгоф ережелерін тұжырымда;

6.«Металлдардың кедергісінің температураға тәуелділігін зерттеу»

Жұмыстың мақсаты: металлдардың кедергілерінің температураға тәуелділігін эксперименттік анықтау;

Зертханалық жұмыстың әдістемелік нұсқауына сәйкес өлшеулер жүргізіп, төмендегі сұрақтарға жауап беру:

- металлдардағы өткізгіштік механизмін түсіндір;
- металлдардың кедергісі температура артқан сайын қалай өзгереді?
- кедергінің температуралық коэффициенті деген не?
- кедергінің температуралық коэффициентінің өлшемділігін қорытып шығар;
- кедергілік термометрлер дегеніміз не?
- кедергілік термометрлер көмегімен қай денелердің температураларын өлшеуге болады?
- градуирлеу графикті алу тәртібі.

7. « Жартылай өткізгіштердің кедергісінің температураға тәуелділігін зерттеу »

Жұмыстың мақсаты: Жартылай өткізгіштер кедергілерінің температураға тәуелділігін эксперименттік анықтау, жартылай өткізгіштің активация энергиясын анықтау;

Зертханалық жұмыстың әдістемелік нұсқауына сәйкес өлшеулер жүргізіп, төмендегі сұрақтарға жауап беру:

- жартылай өткізгіштің электр өткізгіштігінің табиғаты қандай?

- жартылай өткізгіштің электрлік қасиеттерінің металлар мен диэлектриктерден айырмашылығын түсіндір;
- активация энергиясы деген не? Ол қандай шамаларға тәуелді?
- жартылай өткізгіштің кедергісінің температураға тәуелділігінің сипаты қандай? Ол неге тәуелді?

8 «Ток көзі қуатының жүктеменің кедергісіне тәуелділігін зерттеу, пайдалы қуат мен ПЭК анықтау»

Жұмыстың мақсаты: ток көзінің толық және пайдалы қуатының жүктеменің кедергісіне тәуелділігін эксперименттік анықтау;

Зертханалық жұмыстың әдістемелік нұсқауына сәйкес өлшеулер жүргізіп, төмендегі сұрақтарға жауап беру:

- электр тогының болу шарттарын ата;
- ток көзінің ЭҚК деген не?
- ток көзінің толық және пайдалы қуаты деп нені айтды?
- толық және пайдалы қуатты есептеу формулаларын жаз;
- пайдалы қуаттың максимал болу шартын қорыт;
- максимал толық және максимал пайдалы қуаттардың өзара байланысын түсіндір;
- тізбектің берілген максимал пайдалы қуатының мәніндегі ПЭК ң шамасы;
- өзара бірдей ток көздерін тізбектей және параллель жалғағандағы ЭҚК және ішкі кедергісін анықта;
- толық тізбекке арналған Ом заңын тұжырымда;

9. «Мыстың электрохимиялық эквивалентін анықтау»

Жұмыстың мақсаты: электролит арқылы өтетін токтың физикалық механизмін эксперименттік зерттеу;

Зертханалық жұмыстың әдістемелік нұсқауына сәйкес өлшеулер жүргізіп, төмендегі сұрақтарға жауап беру:

- бірінші және екінші текті өткізгіштер деп қандай өткізгіштерді айтады? Олардағы ток механизмін түсіндір;
- заттың электрохимиялық эквиваленті деген не?
- химиялық эквивалент деген не?
- Фарадей саны мен заттардың электрохимиялық, химиялық эквиваленттерінің байланысы;
- ертінді арқылы айнымалы ток өткенде заттың электрохимиялық эквивалентін анықтауға бола ма?

10. «Соленоидтің магнит өрісін зерттеу»

Жұмыстың мақсаты: соленоидтің өрісін зерттеу негізінде, магнит өрісінің сипаттамаларын милливольтметр арқылы анықтау .

Зертханалық жұмыстың әдістемелік нұсқауына сәйкес өлшеулер жүргізіп, төмендегі сұрақтарға жауап беру:

- $\vec{B}$ и $\vec{H}$ шамаларының физикалы мағанасы. Олардың өлшем бірліктерін;
- $\vec{B}$ и $\vec{H}$ шамаларының арасындағы байланысты көрсет (вакуумда және әртүрлі орталарда)?
- заттардың магнит өтімділігінің мағанасын түсіндір?

11. «Кюри нүктесін анықтау»

Жұмыстың мақсаты: заттардың магниттік қасиеттерін зерттеу. Кюри нүктесін анықтау.

Зертханалық жұмыстың әдістемелік нұсқауына сәйкес өлшеулер жүргізіп, төмендегі сұрақтарға жауап беру:

- магнетиктердің классификациялануын түсіндір;
- ферромагнетиктердің магнит өтімділігі шамасы бойынша үлкен. Бұл не себепті болады?
- «Кюри нүктесі» деген не?
- эксперименттік қондырғының құрылысын және жұмыс принципін түсіндір;
- үлгінің температурасы Кюри нүктесіне жеткенде екінші орамадығы индукция ЭҚК не себепті шұғыл төмендейді?

12. «Жердің магнит өрісі кернеулігінің горизонталь құраушысын анықтау»

Жұмыстың мақсаты: Жердің магнит өрісі кернеулігінің горизонталь құраушысын анықтау.

Зертханалық жұмыстың әдістемелік нұсқауына сәйкес өлшеулер жүргізіп, төмендегі сұрақтарға жауап беру:

- құралдың стрелкасы магнит меридианы жазықтығында орналасу үшін тангенс-гальванометрді қалай орналастыру керек?
- тангенс-гальванометрдің жұмыс принципін түсіндір;
- катушка орамы арқылы ток өткенде тангенс-гальвонометр көрсеткішінің бағдары неге өзгереді?

13. «Электронның меншікті зарядын магнетрон әдісімен анықтау»

Жұмыстың мақсаты: Виртуаль лабораторияның көмегімен магнетронның жұмысын зерттеу. Шамдағы анодтық токтың соленоидтағы токқа тәуелділігін график арқылы көрсету. Электронның меншікті зарядын есептеу.

Зертханалық жұмыстың әдістемелік нұсқауына сәйкес өлшеулер жүргізіп, төмендегі сұрақтарға жауап беру:

- магнетрондық жүйенің құрылысын түсіндір;
- магнит өрісінде қозғалған электронның қисықтық радиусының басқа шамаларға тәуелділігін сипатта;
- Лоренц күші деген не, оның бағытын қалай анықтайды?
- не себепті Лоренц күші зарядталған бөлшектің кинетикалық энергиясын өзгертпейді?
- катодтан ұшып шыққан электрондардың магнит индукциясының шамасы $B \geq B_{кр}$ болса, электрондар қандай күйге көшеді?
- магнит және электр өрістерінде бірізгілікте қозғалған электрондар үшін қозғалыстың тәуелсіздік заңы орындала ма?
- кинетикалық энергиялары E_1 и E_2 болатын екі электрон өріске перпендикуляр қозғалады. Олардың периодтары мен радиустарының қатынасын анықта.

14. «Тербелімелі контурдағы еріксіз тербелістерді зерттеу»

Жұмыстың мақсаты: тербелмелі контурдың жұмысын, еркін өшетін электромагниттік тербелістердің сипаттамаларын зерттеу.

Зертханалық жұмыстың әдістемелік нұсқауына сәйкес өлшеулер жүргізіп, төмендегі сұрақтарға жауап беру:

- қандай тербелістер периодты деп аталады? Өшетін тербелістер периодты тербеліс бола алама?
- еркін электромагниттік тербелістерді қандай жүйенің көмегімен алуға болады?
- тербелмелі контурда электромагниттік тербелістер қалай пайда болады?
- контурдағы электромагниттік тербелістердің өшуін түсіндір;
- өшу коэффициенті контурдағы өшетін тербелістердің периодына қалай әсер етеді?
- өшетін тербелістер амплитудасын сандық тұрғыдан қандай шама сипаттайды?

15. «Қарапайым сызықтық тізбектеріндегі электрлік процестерді гармониялық ЭҚК әрекет жағдайында зерттеу»

Жұмыстың мақсаты: индуктивтік және сиымдылық, кедергілердің айнымалы ток жиілігіне және тізбек элементтерінің параметрлеріне тәуелділігін зерттеу.

Зертханалық жұмыстың әдістемелік нұсқауына сәйкес өлшеулер жүргізіп, төмендегі сұрақтарға жауап беру:

- айнымалы ток жиілігі артқан сайын сиымдылық кедергі неге азаяды, ал индуктивтік кедергі артады?
- индуктивтік катушка мен конденсатордағы ток пен кернеудің фазаларының арысындағы айырмашылық қандай?
- индуктивтік және сиымдылық, кедергілердің өлшем бірліктері;
- ток пен кернеудің әсерлік мәндерінің өрнектерін жаз.

Тақырып 15 Өзіндік жұмысты өткізудің әдістемелік нұсқаулары

Студенттердің белгілі бір тақырыпта жасаған конспектісімен жұмыс жүргізулері. Жұмыс барысында оқытушы тақырып материалына қысқа шолу жасайды. Студентпен бірлесе отырып конспектіде жазылған формулалар, анықтамалар мен олардың физикалық мағанасы айқындалады. Сипатталған процестер мен құбылыстардың арасындағы логикалық байланыс нақтыланады.

- **Тақырып бойынша типтік есептер шығару.** Есептің мазмұнына сәйкес қоданылатын заңдар мен шамалардың ара қатынасы анықталады. Орындалатын іс-әрекеттердің логикалық байланысы тағайындалады.

- **Студенттер орындаған лабораториялық жұмыстардың нәтижелерін, өңдеу әдістерін талдау.** Шамалардың физикалық мағанасын айқындау. Өлшеу нәтижелерін график арқылы көрсету. Алынған графиктер арқылы басқа физикуалық шамаларды өрнектеп, байланыстарын тағайындау.

- **Студенттердің пәннің жеке тақырыптарды меңгеру нәтижелерін тексеру,** яғни білімдерді бағалау (тест бақылау, жазбаша жұмыс).

- **Компьютерлік технологиялардың мүмкіндіктерін қолдану.** Тақырыптарды меңгеру виртуаль компьютерлік демонстрациялар арқылы көрсетілетін электрондық оқулықтарды қолдану. Есептердің шығару жолдарын айқындайтын электрондық жетекшілірдің көмегін қолдану, яғни үйрету – көмекші программаларды пайдалану.

Студент СОӨЖ жұмыстарын орындау және өткізу графигіне сәйкес, әдебиеттер мен әдістемелік нұсқауларды қолданып, курстың жеке тақырыптары бойынша төмендегі тапсырмаларды орындайды:

Теориялық сұрақтарға жауап беру:

1. Электростатика. Кулон заңы. Электр өрісінің кернеулігі мен потенциалы
2. Электр өрісінің энергиясы мен жұмысы
3. Өртүрлі орталардағы электр өрісі. Поляризация векторы
4. Тұрақты ток. Ом заңы. Джоуль-Ленц заңы
5. Қатты денелердегі электр тогы. Жартылай өткізгіштер
6. Электролиттердегі электр тогы. Фарадей заңы.
7. Газдардағы электр тогы.
8. Магнит өрісі. Магнит индукция векторы. Магнит ағыны
9. Био-Саваар –Лаплас заңы. Толық ток заңы. Лоренц күші
10. Электромагниттік индукция заңы. Құиынды магнит өрісі
11. Магнетиктер. Электромагнит
12. Ығысу тогы. Максвелл теңдеулері
13. Айнымалы ток. Векторлық диаграммалар.
14. Электромагниттік тербелістер мен толқындар
15. Электромагниттік толқынның энергия ағыны. Пойтинг векторы
16. Ампер күші.
17. Лоренц күші.
18. Заттағы магнит өрісі.
19. Заттағы магнитостатиканың негізгі теңдеуі. Шекті шарттары.

20. Қозғалыстағы және тыныштықтағы өткізгіштердегі электромагниттік индукция.
21. Индукцияның ЭҚК.
22. Өздік және өзара индукция.
23. Өзарасіздік теоремасы.
24. Интегралды және дифференциалды түрдегі Максвеллдің теңдеулер жүйесі.
25. Ығысу тогы.
26. Материалдық теңдеулер.
27. Электромагниттік өріс үшін энергияның сақталу заңы.
28. Пойнтинг векторы.
29. Электромагниттік өрістің импульсы.
30. Квазистационарлық токтар.
31. Электрлік тізбектердегі еркін және мәжбүр етуші тербелістер.
32. Резонанс құбылысы.
33. Тербелмелі контурдың төзімділігі. Оның энергетикалық мағынасы.
34. Зарядтың сақталу заңы мазмұны неде? Осы заңның мысалдарын келтіріңіз.
35. Кулон заңын жазып, тұжырымдап түсіндіріңіз?
36. Электростатикалық өріс дегеніміз не?
37. Электростатикалық өрістің кернеулігі Е дегеніміз не? Кернеулік вектор бағыты $\vec{E}$? СИ жүйесіндегі кернеуліктің өлшемділігі.
38. Электрлік диполь дегеніміз не? Дипольіні қалай бағытталған? Суперпозиция принципін ескере отырып, бір-бірінен l қашықтықтағы екі нүктелік $+Q$ және $+2Q$ зарядтар өрісіндегі кернеулігі нольге тең нүктесін табу керек.
39. Дипольдің жалғасында жатқан A нүктедегі және оның перпендикуляріндегі B , кернеуліктерін табу керек, егер $OA = OB$?
40. Вакуумдегі электростатикалық өрісі үшін Гаусс теоремасының физикалық мағынасы неде?
41. Зарядтардың сызықтық, беттік, көлемдіктігіздығы дегеніміз не?
42. Электрлік диполь тұйықталған бет ішіне енгізілген. Осы бет арқылы Φ_E ағыны неге тең? неліктен?
43. Электростатикалық өріс потенциалды екендігін қалай дәлелдеуге болады?
44. Кернеулік векторының циркуляция векторы дегеніміз не?
45. Өрістің берілген нүктесіндегі потенциалға анықтама беріңіз және өрістің екі нүктелер арасындағы потенциал айырмасы. Олардың өлшемдіктері?
46. Зарядталған сфералық бет үшін $E(r)$ және $\varphi(r)$ тәуелділік графиктерін сызып беріңіз. Оларға түсініктеме және дәлелдеме беріңіз.
47. Кернеулікпен потенциал айырмасы арасындағы байланысты келтіріңіз? Оны шығарыңыз және түсіндіріңіз. Осы ұғымдардың физикалық мағынасы неде?
48. Эквипотенциал бет бойымен зарядты ауыстыру жұмысы неге тең?
49. Полярлы және полярлы емес молекулалардан тұратын диэлектриктердің поляризациясы немес ажыратылады?
50. Электрлік ығысу векторы қалай анықталады? Ол не сипаттайды?
51. Диэлектриктегі электростатикалық өрісі үшін Гаусс теоремасын тұжырымдаңдар.

52. Өрістің потенциалы мен кернеулігі қандай, олар ішінде және зарядталған бетте зарядтар таралуықандай?
53. Электростатикалық қорғау неге негізделген?
54. Үш бірдей конденсатор бір рет тізбектей екінші ретпараллель қосылған. Неше есе және қай кезде батареяның электр сыйымдылығы артық?
55. Астарлардағы заряд пен өріс кернеулік арқылы өрнектелген зарядталған конденсатор үшін энергия формуласын шығарыңыз.
56. Ток күші дегеніміз не? Ток тығыздығы? Олардың өлшем бірліктері(анықтама беріңіз.)
57. токтың пайда болу және өмір сүру шарттарын атап кетіңіз.
58. Бөгде күштер дегеніміз не? Олардың табиғаты?
59. Тізбекте әсер ететін электр қозғаушы күштің физикалық мағынасы неде? керенудің? Потенциал айырмасының?
60. Неліктен кернеу потенциал айырмасының жалпыланған ұғымы болып табылады?
61. Кедергі мен өткізгіштіктің, меншікті кедергімен меншікті өткізгіштігі арасындағы байланысы? Олардың өлшем бірліктері? (анықтама беріңіз)
62. Асқын электрөткізгіштік дегеніміз не? Оның перспективалары?
63. Кедергілік термометрлірініңәсері неге негізделгін?
64. Ом және Джоуль — Ленц заңдарының дифференциалды түрлерін шығарыңыз
65. Меншікті жылулық қуаттың физикалық мағынасы неде?
66. Жалпыланған Ом заңына талдау жасаңыз. Одан қай заңдарды шығаруға болады?
67. Кирхгоф ережелері қалай тұжырымдалады? Олар неге негізделген?Кирхгоф ережелерін өрнектейтін өрнеткер қалай құрастырылады? Қажет емес теңдеулерден қалай босануға болады?
68. Магнитт өрісі кернеулігімен магнит индукцияның өлшем бірліктерін атап кетіңіз. Оларға анықтамаларды беріңіз.
69. Магнит тұрақтысының сандық мәнің анықтаңыз.
70. Неліктен қозғалыстағы заряд өзінің магнит қасиеттері бойынша ток элементіне эквивалентті?
71. Магнит өрісінде қозғалатын және теріс электр зарядына әсер ететін күш неге тең және қалай бағытталған?
72. Магнит өрісіндегі протонның қозғалысы кезінде Лоренц күшінің жұмысы неге тең? Жауапты дәлелдеңіз.
73. Магнит өрісінің құйынды сипатын қай теорема дәлелдейді? Ол қай түрде тұжырымдалады?
74. Диамагнетиктер, парамагнетиктер дегеніміз не? Олардың магниттік қасиеттерінің айырмашылығы неде?
75. Ферромагнетиктің гистерезис түсіндіріңіз.
76. Қандай ферромагнетиктер магнитожұмсақ болып табылады? магнитоқатаң?

Білімдерді бекіту тапсырмалары

1. Ток күшін I_0 өлшеу шегімен және кедергісі R_0 катушкасы бар микроамперметрден өлшеу шегі I амперметрді немесе кернеуді өлшеуі шегі U вольтметрді жасау керек. Ол үшін шунт кедергісі $R_{ш}$ немесе қосымша кедергісі $R_қ$ қосу жоды қолдануға болады. «Жұлдызшамен» белгіленген шамаларды анықтау керек.

Нұсқа нөмірі	1	2	3	4	5
$I_0, \text{мА}$	0,05	*	0,2	*	0,15
$R, \text{кОм}$	2	1	*	0,5	*
$I, \text{А}$	0,1	0,1	0,2	0,3	*
$U, \text{В}$	10	10	20	10	30
$R_{ш}, \text{Ом}$	*	1,0	0,5	*	0,1
$R_қ, \text{Ом}$	*	*	*	32,8	199

2. Нүктелік зарядтар q_1 және q_2 бір-бірінен ара қашықтықта орналасқан. Зарядтардың тақ ортасында орналасқан нүктедегі электр өрісінің кернеулігі мен потенциалын табу керек. Ортаның диэлектрлік өтімділігі кестеде келтірілген.

№ нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$q_1 \text{ нКл}$	+8	+10	+20	+16	+50	+40	+30	+2	+100	+5
ε	2,2	2,0	7,0	5,0	3,0	2,2	2,0	7,0	5,0	3,0
$q_2 \text{ нКл}$	-30	-3	-55	-12	-60	-30	-50	-10	-20	-100
$d, \text{см}$	20	40	60	80	4	28	16	90	100	30

3. Радиусы R сфера центрінде q нүктелік заряд орналасқан. Ауданы S сфералық бет арқылы кернеулік вектор ағынын табу керек.

№ нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R, \text{см}$	8	20	40	10	25	50	80	90	30	60
$q, \text{пКл}$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	450
$S, \text{см}^2$	20	5	30	40	50	100	18	9	15	30

4. Сыйымдылықтары конденсаторлардан тұратын батарея сыйымдылығын 1) тізбектей 2) параллель қосылғанда табу керек.

№ нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$C_1, \text{мкФ}$	120	90	100	60	270	300	180	900	50	12
$C_2, \text{мкФ}$	60	30	300	20	90	600	90	450	150	6
$C_3, \text{мкФ}$	20	45	150	30	45	200	60	300	75	4

5.Массасы m тозаң өзімен N электрондарын тасып вакуумде үдетуші потенциал айырымын U өтті. Тозаңның кинетикалық энергиясы неге тең? Тозаң қай жылдамдыққа ие болған.

№ нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m , пг	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	5	20	10	50	30	70	60	40	100	90
U , мВ	600	100	300	200	500	450	120	800	640	400

6.Дипольдің q зарядтар арасындағы ара қашықтығы l . Дипольдің электрлік екі зарядтардан бірдей r ара қашықтыққа алыстатылған нүктесіндегі зарядтардың электрлік моментімен өріс кернеулігін және потенциалын табу керек.

№ нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
q , нКл	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
l , см	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88
r , см	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55

7.Жазық конденсатор астарларының арасындағы ара қашықтығы d , потенциалдар айырымы U . Әр бір пластинаның заряды q . Конденсатор өрісінің W энергиясы мен астарларының өзара тартылыс F күшін табу керек.

№ нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
q , нКл	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
d , см	2	1	3	4	0,2	5	0,4	0,5	0,1	8
U , кВ	6	5	4	3	1	8	10	0,5	0,1	16

8.Электр қозғаушы күштері $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$ ішкі кедергілері r үш батареялары бір бірімен аттас полюстерімен жалғанған. Қосқыш сымдардың кедергісі шексіз аз. Әр бір батареясынан ағып өтетін ток күшін табу керек.

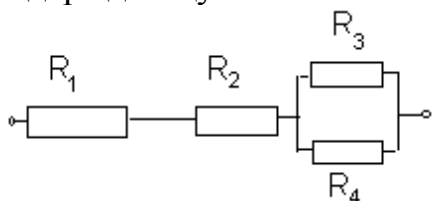
№ нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\mathcal{E}_1$,	12	20	18	50	30	60	20	40	100	500
$\mathcal{E}_2$,	5	10	12	30	10	30	10	10	200	250
$\mathcal{E}_3$,	10	5	6	20	20	20	10	20	300	100
r , Ом	1	2	4	8	10	1	2	4	8	10

9. R_2 кедергімен параллель қосылған R_1 кедергі арқылы ағып өтетін күш мәнін табу керек, егер осы кедергілерінің тізбек бөлігіндегі кернеу түсуі U болса.

№ нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_1	120	45	15	200	100	480	70	80	400	600

R_2	60	90	60	50	25	240	210	320	100	600
U	240	180	120	500	200	480	140	160	80	600

10. Есептеу керек: 1) кедергілердің аралас қосылудың эквивалентті кедергісін 2) ток күшін, 3) қызуу түсуін 4) егер тізбек бөлігіндегі жалпы кернеуі U-ға тең болатындығы және R_1, R_2, R_3, R_4 белгілі болса, әр бір кедергідегі қуат шамасын. Электрлік сұлбасы суретте келтірілген



№ нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R_1, \text{Ом}$	10	20	15	35	20	20	4	20	5	30
$R_2, \text{Ом}$	30	8	15	5	5	40	6	10	20	10
$R_3, \text{Ом}$	15	60	90	120	100	90	135	30	80	240
$R_4, \text{Ом}$	30	15	45	60	300	180	270	60	80	80
U, В	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000

11. Аккумулятордың ішкі кедергісі r . I ток күшінде оның пайдалы әсер коэффициенті (п.э.к.). Аккумулятордың электр қозғаушы күшін анықтау керек.

№ нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$r, \text{Ом}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
η	0,8	0,9	0,7	0,5	0,6	0,8	0,9	0,7	0,5	0,6
$I, \text{А}$	1	2	3	4	5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

12. Магнит өрісінің кернеулігі H (мәнін кестедегі нұсқа бойынша қара). Осы өрістің вакуумдегі магнит индукциясын табу керек. Кері есепті құрастырып шешу керек.

Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$H, \text{кА/м}$	9,2	7,7	5,4	3,2	2,8	8,9	6,6	4,3	2,5	8,4

13. Ток I ағып өтетін жұқа сақина центріндегі магнит өрісінің индукциясын табу керек. Сақина радиусы R нұсқалар бойынша кестеде келтірілген.

Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I, \text{А}$	12	13	14	15	20	25	10	11	5	7

R, см	3	4	5	6	7	2	4	7	5	9
-------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

14. Электрон, U потенциал айырымымен үдетілген (сан мәндерін нұсқа бойынша кестеден көр), индукциясы B біртекті магнит өрісіне ұшып кірген (сан мәндерін нұсқа бойынша кестеден көр) және щеті бойымен қозғалады. Осы щетінің радиусын табу керек.

Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U , кВ	1,2	1,3	1,4	1,5	2,0	2,5	1,0	1,1	0,5	0,7
B , мТл.	3	4	5	6	7	2	4	7	5	9

15. I ток ағып өтетін түзу сызықты сым магнит өрісі индукция сызықтарына перпендикуляр орналасқан (сан мәндерін нұсқа бойынша кестеден көр). Осы өріс ұзындығы l сым кесегіне қай күшпен әсер етеді, егер магнит өрісінің индукциясы B тең болса.

Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I , кА	1,2	1,0	0,8	0,9	0,5	0,7	1,6	1,4	1,3	1,2
l , см	55	70	85	75	90	40	12	64	56	76
B , Тл.	1	4	6	2	1	3	5	5	6	2

16. Орамның магнит моменті p_m . Егер орам диаметрі d болса, ондағы ток күшін неге тең

Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
p_m , Дж/Тл	0,2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,1	0,6	1,1	1,5	0,7
d , см.	16	26	22	34	28	12	14	16	18	20

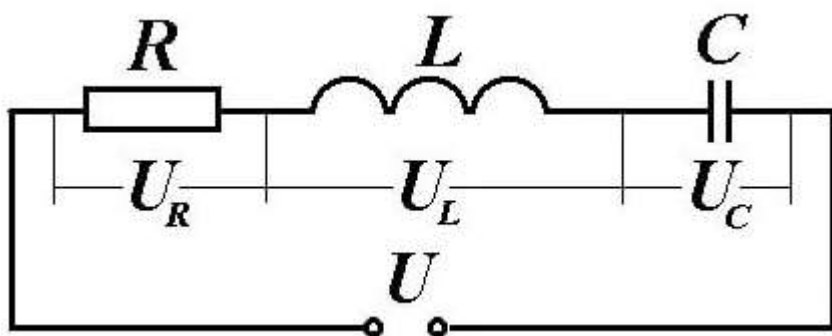
6. Тербелімелі контур сыйымдылығы C конденсатор мен индуктивтілігі L катушадан тұрады. Оның меншікті тербелістердің периоды T , жиілігі ν , дөңгелектік жиілік ω , ток күшінің тербеліс амплитудасы I_m , зарядтың тербеліс амплитудасы q_m . Жұлдызшамен * белгіленген шамаларын табу керек.

№ нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
C , пФ	*	400	800	600	*	300	200	*	400	800	*	100
L , мГн	10	*	*	*	0,2	*	0,5	40	*	*	20	5
T , мс	0,1	*	2	*		*	*	0,5	*	0,2	*	*
ν , кГц	*	50	*	*	*	100	*	*	*	*	*	*
ω , с ⁻¹	*	*	*	500	400	*	*	*	100	*	200	
I_m , мА	*	0,5	*	0,1	0,2	*	*	0,4	*	2	*	5
q_m , мкКл	2	*	8	*	*	0,4	0,5	*	0,2	*	10	*

17. Индуктивтілігі L катушка әр бі пластина ауданы S және ара қашықтығы d диэлектрлік өтімділігі ϵ затпен толтырылған конденсатор мен жалғанған. . Контурдағы Ток күшінің амплитудасы I_m , конденсатордағы кернеу шамасы U_m . Жұлдызшамен белгіленген шаманы табу керек

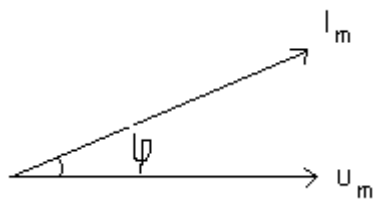
№ нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$L, \text{мГн}$	10	*	*	*	0,2	*	0,5	40	*	*	20	5
$S, \text{см}^2$	20	*	25	20	15	35	30	*	15	10	40	25
$d, \text{см}$	0,5	0,8	*	1,0	1,2	0,4	1,0	1,4	*	0,5	0,8	1,2
ϵ	2,1	6	2,5	*	2,5	6	2,2	2	81	*	6	7
$I_m, \text{мА}$	*	0,5	*	0,1	0,2	*	*	0,4	*	2	*	5
$U_m, \text{В}$	5	20	15	10	8	*	4	10	8	20	5	*

18. Суретте келтірілген электр тізбегі кедергісі R резистордан, индуктивтілігі L катушкадан және сыйымдылығы C конденсатордан тұрады да жиілігі ν және кернеуі U айнымалы ток тізбегіне қосылған. Тізбектегі ток күші I , резистордағы, катушкадағы, конденсатордағы кернеулер мәндері: U_R, U_L, U_C . Векторлық диаграммасын құрастырып «жұлдызшамен белгіленген» шамаларын табу керек. Ток күші тербелістері мен кернеу арасындағы фаза айырымын есептеп резистордағы ток қуатын табу керек.



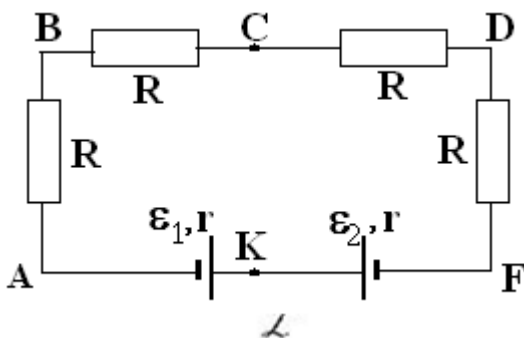
№ нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$L, \text{Гн}$	0,05	*	0,02	0,05	0,1	*	0,15	0,3	*	0,1	0,05	0,2
$R, \text{Ом}$	12	15	10	10	35	40	*	25	28	42	30	*
$C, \text{мкФ}$	120	250	*	150	*	100	25	50	150	*	300	80
$\nu, \text{Гц}$	100	50	100	50	100	50	100	50	100	100	50	50
$U, \text{В}$	*	36	*	*	42	*	54	*	90	*	*	80
$I, \text{А}$	*	1.5	*	*	0.8	*	5.3	*	3		*	1.6
$U_R, \text{В}$	*	*	*	21	*	*	*	*		*	*	*
$U_L, \text{В}$	50	*	30	*	*	52	*	*		100	46	*
$U_C, \text{В}$	*	*	40	*	*	26		87	*	63	*	*

19. Суретте айнымалы тізбек үшін векторлық диаграмма келтірілген. Тізбектің ток қуаты P . «жұлдызшамен» белгіленген шамаларын табу керек. (кестеде ток пен кернеудің амплитудалық мәндері келтірілген)



№ нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I_m, A	*	1	1,5	2	*	2	2	3	*	1,5	3	2,5
U_m, B	130	*	180	110	280	*	200	450	320	*	400	280
φ	15	10	*	20	10	15	*	10	15	20	*	20
$P, Bт$	94	140	130	*	340	340	190	*	310	78	590	*

20. Төмендегі суретте келтірілген электрлік сұлбада, қандай да болсын жұп нүктелерге ішкі кедергісі r электр қозғаушы күші ЭҚК E ток көзі қосылуы мүмкін (ток көзінің оң полюсін кестеде нұсқадағы келтірілген екі нүктелердің біріншісіне қосу керек). Барлық ток көздерінің ішкі кедергілері 1 Ом және резисторлардың кедергілері R 2 Омға тең. Тізбектің барлық элементтерінде кернеулерін және олардағы ток күштерін табу керек.



№ нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
E, B	3	4	2	2	1	4	4	3	2	3	1	1
ϵ_1, B	2	3	5	4	1	6	8	4	3	5	2	1
ϵ_2, B	4	5	6	4	2	8	1	2	2	3	1	4
Нүктелер	BK	CK	DK	KB	KC	KD	AB	AC	AD	DF	CF	BF
№ нұсқа	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
E, B	4	5	6	4	2	8	1	2	2	3	1	4
ϵ_1, B	3	4	2	2	1	4	4	3	2	3	1	1
ϵ_2, B	2	3	5	4	1	6	8	4	3	5	2	1
Нүктелер	AD	DF	CF	BF	BK	CK	DK	KB	KC	KD	AB	AC
№ нұсқа	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36

E, B	1	2	2	3	1	4	4	5	6	4	2	8
ε_1, B	8	4	3	5	2	1	2	3	5	4	1	6
ε_2, B	4	3	2	3	1	1	3	4	2	2	1	4
Нүкте-лер	BK	CK	DK	KB	KC	KD	AB	AC	AD	DF	CF	BF

Тапсырмалар мен тәжірибелік жұмыстарды орындау кезінде пайдаланатын физикалық тұрақтыларды әр бір есептің соңында жазып, есептердің қорытқы формулаларын шығарып, жауаптарын халықаралық бірліктер жүйесіне келтіріп беру керек..

БООЖ жұмыстар мен тапсырмаларды бағалау

Студенттерге физикадан берілетін жеке үй тапсырмасы олардың осы пән бойынша орындайтын өзіндік жұмысының бір түрі болып табылады. Студенттердің өзіндік жұмысы деп, олардың оқытушының тапсырмасымен және бақылауымен, бірақ оның қатысуынсыз, ол үшін арнайы бөлінген уақыт ішінде орындайтын жұмысын түсінеді. Мұнда студенттер ақыл-ой жігерін қолдана және ой мен қимыл әрекеттерін қандай да бір формада (мысалы, есеп шығарғанда оның мазмұнын талдау, мазмұнды қысқа ұтымды тәсілмен жазу, шешудің оңтайлы әдісін таңдап алу және т.б.) білдіре отырып қойылған мақсатқа саналы жетуге ұмтылады.

Біз студенттерге «**Электр және магнетизм**» пәні бойынша жеке үй тапсырмасы ретінде физикалық есептер ұсынамыз. Мұнда студенттердің тапсырманы өз бетімен орындау дәрежесін арттыру мақсатында олардың әрқайсысына мүмкіндігінше әр түрлі есептерді жеке варианттар бойынша береміз.

Студенттерге есептер шығартудағы мақсаттар мыналар: жаңа білімдерді меңгерте отырып, білімді өз бетімен игеру іскерлігін қалыптастыру, білімді пысықтау және анықтау, білімді практикада қолдану іскерлігін қалыптастыру, практикалық сипатты іскерліктері мен дағдыларын қалыптастыру, шығармашылық сипатты іскерліктер мен дағдыларды қалыптастыру.

Студент шығарған есепті бағалау өлшемін (критерийін) анықтау үшін физика есептерін жіктеу (классификациялау) керек.

Физика есептері мына белгілер бойынша жіктеледі: мазмұн, мақсат, мәселені зерттеу тереңдігі, шешу тәсілдері, шарттың берілу тәсілдері, күрделілік дәрежелері және т.б.

Студенттер шығарған жеке үй тапсырмасын бағалау өлшемінің негізіне осы белгілердің бәрін алуға болады: физикалық құбылыстың негізгі мәселесінің мазмұнын құрайтын физикалық шамалардың, заңдардың молырақ қамтылуы; есептердің проблемалық (шығармашылық) деңгейі; мәселенің тереңірек талданып зерттелуі; шешу тәсілдерінің ең оңтайлысын таңдап алуы және т.б.

Әр студент орындайтын жеке үй тапсырмасына (бір жеке үй тапсырмасында физиканың бір бөлімі бойынша берілген 3-5 есеп болуы мүмкін) қойылатын максимал және минимал баллдар силлабуста көрсетіледі. Әрбір жеке есептің шығарылуы бір есепке қатысты осы баллдар аралығында

және айтылған өлшемдер (критерилер) бойынша бағаланады, сосын бүкіл тапсырмаға максимал және минимал баллдардың аралығында тиісті балл беріледі.

Максимал балл мысалы, «5» балл қатесіз және кемшіліксіз немесе бір ғана болымсыз кемшілікпен шығарылған есепке қойылады. Одан төменгі балл, мысалы «4» балл толық шығарылған, бірақ бірден аспайтын дөрекі емес және бір болымсыз қатемен немесе болымсыз қателер екіден аспаған жағдайда қойылады.

Одан төменгі балл мысалы «3» балл студент есептің тең жартысынан астамын дұрыс шығарғанда немесе дөрекі қатесі екіден (немесе дөрекі қатесі бірден және дөрекі емес қатесі бірден, сондай-ақ болымсыз қатесі бірден) аспаған жағдайда қойылады.

Тапсырма минимал баллдан төмен балмен бағаланған жағдайда ол студентке қайта шығару мақсатында қайтарылып беріледі.

Егер кейбір есептерді студенттің өз бетімен шығарғандығы күдік туғызса, онда одан оқытушы есепті қалай шығарғандығын түсіндіріп беруін талап ете алады. Бағаға көңілі толмаған студент оған қатысты оқытушыға тілегін білдіруіне болады.

Белгілі бір себеппен сабаққа қатыса алмағандар, бақылау түрлерін бір апта ішінде тапсырма алып орындайды.

Тістілік тапсырмалардың әр бірі бір баллмен бағаланатын жағдайда, нольден елу пайыз көлемінде орындалған жұмыс осы аралықтағы баға мен бағаланады. Мысалы он тапсырманың ішіндегі бір дұрыс жауабы берілген тапсырманың бағасы он пайыз. Сондықтан он тапсырманың алты тапсырмасы орындалса, жұмыстың бағасы алпыс пайыз болып шығады.

Қолданылған әдебиет:

- 1 Абдулаев Ж. Физика курсы.-Алматы: Білім, 1994-349б.
- 2 Трофимова Т. Физика курсы.-А. 2009 ж.
- 3 Савельев И.В. Жалпы физика курсы.- Алматы:Мектеп,2007-448 б.
- 4 Қойшыбаев Н, Шарықбаев А.О. Физика. - Алматы: Мектеп,2010-225 б.
- 5 Ахметов А.Қ. Физика. – Алматы: Ы.Алтынсарин атындағы Қазақтың білім академиясының Республикалық баспа кабинеті, 2007.-224 б.
- 6 Перышкин А. Основы методики преподавания физики в вузе. Москва: Владос пресс, 2013.-215 б.
- 7 Каменецкий Н. Теория и методика обучения физике в школе. Москва , АСАДЕМА, 2012.-245 б.
- 8 «Рубрикон» -река информации. – Режим доступа: [http:// www.rubricon.ru/](http://www.rubricon.ru/) 1.11.2013
- 9 Универсальная энциклопедия Кирилла и Мефодия. Режим доступа: http://mega.km.ru/bes_98/index/asp/05.06.2014
- 10 Новости науки и техники. –Режим доступа: <http://www.issep.rssi.ru/cgi-bin/news.pl/17.11.2014>
- 11 Физика для всех. –Режим доступа: <http://physica-vsem.narod.ru/20.12.2015>