И. И. СОКОЛОВ

ФИЗИКА КУРСЫ

ОРТА МЕКТЕПКЕ АРНАЛҒАН
ОҚУ ҚҰРАЛЫ

3 бөлім

ОҚБ · 1951

Ф9
83
С-51

Проф. И. И. СОКОЛОВ

Сын ... ...

ФИЗИКА КУРСЫ

ҮШІНШІ БӨЛІМ

ЭЛЕКТР, ОПТИКА

ОРТА МЕКТЕПТІҢ 10-КЛАСЫНА АРНАЛҒАН
ОҚУ ҚҰРАЛЫ

Орыс тілінде 11-басылуына сәйкес қазақ тілінде 5-басылуы

93360





ҚАЗАҚТЫҢ МЕМЛЕКЕТТІК ОҚУ ҚҰРАЛДАР БАСПАСЫ
АЛМАТЫ—1951

53(076)

Орыс тіліндегі нұсқасын РСФСР Оқу министрлігі, қазақ тіліндегі аудармасын Қазақ ССР Оқу министрлігі бекіткен.

80924.
Библиотека Киргизского Филиала А.Н. СССР

ЭЛЕКТР

КІРІСУ

XX ғасыр, бу ғасыры деп аталған XIX ғасырдың орнын басып, электр ғасыры деп аталғалы көп болды.

Осылай аталуы электр энергиясының осы уақытта техникада пайдаланылатын энергияның негізгі формасы екендігін көрсетеді.

Елімізді электрлендіру электр жөніндегі ғылми зерттулерге және оларды техникада пайдалануға негізделеді; электрлендіру тек техникалық қана мәселе емес, электрлендіру — бүкіл халық шаруашылығының социалистік құрылысын жүзеге асырудағы негізгі шарттардың бірі болып есептеледі.

Қатынас техникасының да жедел және кең өріс алып дамуы электр арқасында жүзеге асып отыр.

Электр жайындағы оқудың дамуы материя құрылысы туралы ғылми түсінікке терең өзгеріс кіргізді. Электрон теориясы деп аталатын теория осы уақытта ғылымда айрықша орын алып отыр; бұл теория бойынша, әрбір химиялық элементтің атомы электр қасиеттері бар бөлшектерден құралады. Молекулалық физика құбылыстарын түсіндіру, ілгері басқан сайын, зат құрылысының электр теориясына көбірек сүйенетін болып отыр. Соңғы он жылдың ішінде ғылым атомдық ішкі энергияны пайдаланудың мүмкіндігін ашты.

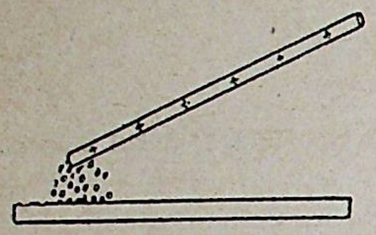
Электрдің маңызы жайында айтылған осы пікірлер физиканың бұл бөлімін оқып, үйренудің қажеттігі орасан зор екендігін білдіреді.

I. ЭЛЕКТР ӨРІСІ.

1. Үйкеу арқылы электрлеу. Жүнге яки былғарыға ысылған янтарь кесегінің (янтарь — ерте дәуірде жер бетінде өскен қылқанды ағаштардың қатып қалған шайыры) жеңіл денелерді — мамық, қыл, жүн және сол сияқтыларды тартатын қасиеті болатындығы ерте заманнан белгілі. Біздің заманымыздан 2500 жыл бұрын осы құбылысты грек философы Фалес Милетский білген (біздің эрамыздан 640—550 ж. бұрын); содан кейін бұл мағлұматтар кейінгі грек ғалымдарының еңбектеріне көшті.

Фалестен соң екі мыңнан артық жыл өтіп, XVII ғасырға аяқ басқан кезде бұл құбылысқа ағылшын дәрігері және физигі Джильберт (латынша айтқанда Гильберт) көңіл бөлгенге дейін, ол зерттелмей, пайдаланылмай қала берді.

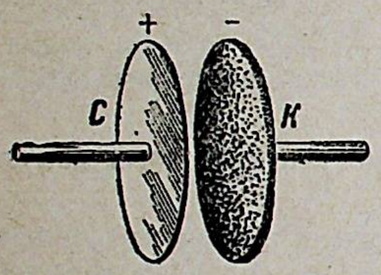
Грекше янтарь электрон деп аталатындықтан, ысылған янтарьдың денелерді тартатын себебін ол электр күші деп атады. Ғылымға электр деген термин осылай кірді. Джильберт янтарьдан басқа да бірсыпыра денелерде үйкеліс арқылы жеңіл денелерді тартатын қасиет пайда болатындығын анықтады.



1-сурет. Былғарыға ысылған шыны таяқша жеңіл денелерді тартады.

Шынында былғарыға яки шұғаға үйкелген шыны, эбонит, сургуч таяқшаларын яки күкірт, хрусталь кесектерін және тағы басқа денелерді қағаздың ұсақ кесектеріне жақындатса (1-сурет), олардың осы қағаздарды тартатындығы оңай байқалады.

Үйкеу[1]) арқылы денелерге тартатындық қасиет беруді денелерді электрлеу деп атайды. Осындай қасиет алған денелердің өздері электрленген яки электр заряды бар денелер деп аталады.



2-сурет. Бірін-біріне үйкегенде дененің екеуі де электрленеді.

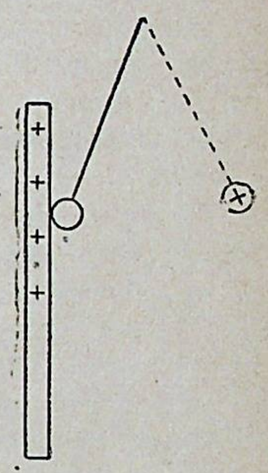
2. Үйкеліскен екі дененің бірден электрленуі. Үйкелуде қашанда болса екі дене қатысады. Бұлардың екеуі де электрлене ме? Бұл сұрауға жауап беру үшін мынадай тәжрибе жасауға болады: шыны тұтқалары бар бірдей екі шыны дөңгелек алып (2-сурет), соның біріне (К) цинк амальгама[2]) жағылған былғары дөңгелек жапсырылады. Егер осы дөңгелектерді біріне-бірін үйкеп, әрқайсысын жеке-жеке жеңіл денелерге жақындатсақ, қайсысы болса да жеңіл нәрселерді тартады; бұл денелердің екеуі де электрленгендігін көрсетеді. Ал, егер ысылған екі дөңгелекті бірге, арасын ашпай, жеңіл денелерге жақындатса онда ешбір тарту байқалмайды, олардың әсері өзара бірін-бірі жоятын болады.

Бұл тәжрибе қасиеттері әр текті электр күйлері екінші сөзбен айтқанда, электр зарядтары болатынын көрсетеді. Осы айтылғандай тәжрибелерді кезкелген екі денемен жасауға болатындықтан, мынадай қортындыға келеміз: *үйкелгенде екі дене тең мөлшерлі әртекті электрмен бір уақытта электрленеді.*

Түрлі денелерді үйкегенде пайда болатын зарядтардың әртектілігін бірінші рет 1733 ж. француз физигі Дюфэ (1698 — 1739) байқаған. Оң және теріс сандар өзара бірін-бірі «жоятыны» сыяқты, әртекті электр әсерлерінің де бірін-бірі тең басып тұратынына сүйеніп, 1747 ж. америка ғалымы Франклин үйкелгенде шынында пайда болатын электрді оң, былғары яки смолада пайда болатын электрді теріс деп атады.

Бір денені екінші бір денеге үйкегенде онда қандай заряд пайда болатындығы үйкелісетін денелердің беттерінің кейпіне, олардың өңделу тәсілдеріне және басқа да, көбінесе айқындалмаған себептерге байланысты. Бірақ, ең анығы: оң заряд амальгамаланған былғарымен ысылған шыныда, ал теріс заряд терімен ысылған эбонитте болады.

3. Зарядталған денеге тиістіру арқылы электрлеу. 1729 ж. ағылшын Грэй шыны трубканы электрлеу тәжрибелерін қайта істегенінде, шыны трубканы тозаңнан сақтау үшін тығындап қойған пробканың да мамық және басқа жеңіл нәрселерді тартатын қасиет алғанын байқады.



3-сурет. Тиістіру арқылы қағаз шариктi электрлендіру.

Пробкадан, күнбағар өзегінен, бузинадан кішкене шар ойып алып, яки бір түйір қағаз алып, жібек жіппен штативке (3-сурет) іліп қояйық. Үйкеу арқылы шыны таяқты электрлеп, оны кішкене шарға жақындатайық, шар әуелі электрленген таяққа тартылады; содан соң оған тиіп қайта тебіледі. Осыдан кейін ол жеңіл кішкене ұсақ қағазды тартатын болады, яғни электрленеді. Сонымен, *электрленген денені екінші бір денеге тиістіру арқылы ондағы электрлік күйді екінші денеге көшіруге болады.*

4. Электр өткізгіштік. Грэйдің тәжрибелері, электр күйінің бір денеден екінші денеге аралықтағы дене арқылы да жеткізілетіндігін көрсетті, бірақ жеткізу әртүрлі затта әртүрлі болады. Жоғарыда айтылған тәжрибеден кейін он жыл өткен соң электр өткізгіш деген термин алынды және денелерді электрді өткізгіш және өткізбейтін деп бөлетін болды.

Өткізгіш деп бір жерінде (үйкеліс арқылы немесе тиістіру арқылы) пайда болған электр зарядыбасқа жерлеріне тез тарайтын денені айтады. Электр зарядықоздырылған орнында қалатын денелер өткізбейтін дене немесе изолятор деп аталады.

Өткізгіштер: металдар, көмір, тұздардың және қышқылдардың ертінділері, адам денесі, жер молекулалары белгілі түрде жарықшақталған газдар.

Өткізбейтін денелер: шыны, парафин, смолалар (ашып айтқанда каучук), күкірт, жібек, кристалдардың көпшілігі, фарфор, май, молекулалары жарықшақталған булар мен газдар.

Осы группалардың аралығына электр күйін баяу жеткізетін едәуір денелердің группасын орналастыруға болады. Ондай денелерді шала өткізгіштер деп атайды.

---

[1]) Электрленуді туғызатын үйкелістің механикалық әсері емес. Электрлеу үшін денелерді тиістіріп, сонан соң айырып алып кетсе болғаны. Үйкегенде дене беттерінің тек қана көп нүктелері тиіседі де, осының арқасында зарядтар көп шығады.

[2]) Амальгама деп металдар мен сынаптың қоспасын, яки металдың сынаптағы ертінділерін айтады.

Шала өткізгіштер: спирт, эфир, ағаш, қағаз, салам, шифер, мрамор және басқалар.

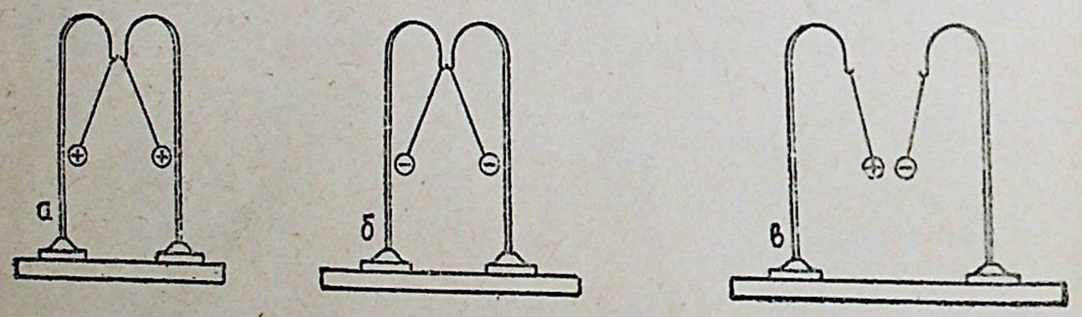
Денелерді жоғарыда келтірілген ретпен бөлу тек шарт бойынша ғана екендігі есте болу керек. Өткізетін және өткізбейтін денелер (изоляторлар) арасында айқын шек жоқ.

Үйкеліспен немесе тиістіру арқылы электрлеу тәжрибелерінің бәрінде де денелердің электр зарядын сақтау мақсатымен оларды тығылықты түрде жерден изоляциялау керек. Электрлендіретін денелердің тіреуіштері, іліп қоятын ілгіштері барлығы — жақсы изолятордан істелу керек және оларды бетіне қонған ылғалдың ізін жою үшін, жақсылап кептіру керек; өйткені ылғалдағы еріген заттың қалдығы оны өткізгіш етіп жібереді.

Осыған қарағанда, жаланаш қолға ұстап тұрып өткізгішті үйкеумен электрлеу мүмкін емес. Өткізгішке, мәселен, металл таяқшаға изоляциялайтын тұтқа жасап, металды шұғаға үйкесе, металда электр күйі байқалады. Ендеше, бірінші жағдайда үйкеумен қоздырылған заряд қол арқылы жерге кетіп жоғалатындығы айқын.

Тәжрибелерге қарағанда, *денелердің бәрін де үйкеліспен электрлеуге болады* деп бекітіп айта аламыз.

5. Электрленген денелердің өзара әсері. Электроскоп. Егер жібек жіпке ілінген екі бузина шаригін оң электрмен, басқа екі шарикті теріс электрмен зарядтап, бірінші екі шарикті (4*а*-сурет), я екінші екі шарикті өзара жақындатса (4*б*-сурет) олардың бірін-бірі тебетінін байқауға болады; ал, оң зарядталған шарикті теріс зарядталған шарикке жақындатқанда (4*в*-сурет) бірін-бірі



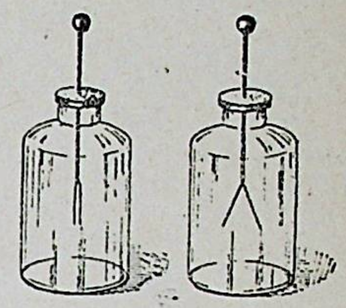
4-сурет. Электрленген денелердің өзара әсері.

тартатыны байқалады. Осыдан мынадай қортынды шығады: *атпа электрмен электрленген денелер бірін-бірі тебеді, әр атты электрмен электрленген денелер бірін-бірі тартады.*

Электрленген денелердің өзара әсеріне негізделіп, денеде электр заряды бар я жоқтығын көрсететін электроскоп деген прибор істелген (5-сурет).

Бірінші электроскопты М. В. Ломоносовтың қызметкері және досы Петербург академигі Рихман жасаған. Электроскоптың бір түрі — жапырақты электроскоп — жоғарғы ұшына металл шарик ұстатылып, төменгі ұшына ілгектерге жеңіл жапырақшалар орнатылған металл стерженьнен құралады. Стержень изоляциялайтын

пробка арқылы, шыны көздері бар металл ыдыстың ішіне өткізгіш орнатылады (кейде шыны ыдысқа орнатылады). Денеде электр зарядының барлығын былай табады: сынайтын дене электроскоптың шаригіне тигізіледі. Егер денеде электр заряды бар болса, электроскоп жапырақшаларының арасы ашылады. Белгісіз зарядтың таңбасы былай зерттеледі. Әуелі электроскопты осы зарядпен зарядтап алып, сонан соң оң зарядталған денені, мәселен, амальгамаланған былғарыға үйкелген шыны таяқты электроскопқа ақырын ғана жақындатады. Егер жапырақтардың арасы бұрынғыдан гөрі көбірек ашыла бастаса, электроскоп заряды оң, егер қосыла бастаса теріс болады. Теріс зарядталған бір денені жақындату арқылы да зарядты осылайша тексеруге болады.

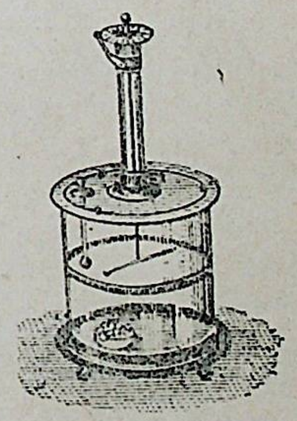


5-сурет. Электроскоп.

Бұл ереже алдын ала жасалған тәжрибеге сүйеніп тағайындалады: оң зарядталған электроскопқа оң зарядталған таяқшаны әкеліп жапырақшалардың көбірек ашылғанын байқайды; ал, осы электроскопқа теріс зарядталған таяқшаны жақындатқанда жапырақтар қосылады.

6. Электрленген денелердің өзара әсері үшін Кулон заңы. Француз физигі Кулон 1785 ж. тәжрибелерден қорытып, электрленген денелердің өзара әсерінің заңын шығарды: *нүктелік екі электр зарядтары осы зарядтардың көбейтіндісіне тура пропорционал және олардың аралықтарының квадратына кері пропорционал күшпен бір-біріне әсер етеді*[1]).

Кулон өзінің тәжрибелері үшін 6-суретте көрсетілген иірілмелі таразымен пайдаланған. Бұл приборда жіңішке сымға горизонталь бағытпен изолятордан істелген стержень ілінген, оның бір жақ ұшына өткізгіш шарик орнатылған. Тағы бір сондай өткізгіш шарикті таразының қақпағынан өткізілген, изоляциялайтын стерженьге орнатқан. Электрленуден бұрын шариктер бірінен-бірі біраз қашықтықта тұрады. Сонан соң, қақпақтан өткен стерженьдегі шарикті электрлеп ілулі шарикке тигізеді. Сонда бірінші шариктің заряды екі шарикке бірдей бөлінеді және ілулі тұрған шарик аттас зарядпен зарядталып қашықтап кетеді; алғашқы қалпына келтіру үшін, белгілі бір бұрыш жасай, жіпті қарсы жаққа қарай шырату керек. Сымның иірілген бұрышы бойынша шариктердің өзара әсер күшін есептеп шығаруға болады. Электрлеуден бұрын шариктерді түрлі қашықтықтарға қойып, оларға әр жолы бірдей заряд беріп отырып, өзара әсер күшінің қашықтықпен байланысын табуға болады. Электрлеуден бұрын шариктерді бір қашықтыққа қойып, бірақ, олардың зарядын өзгертіп (басқа бірдей шариктерді тигізу арқылы), өзара әсер күші мен заряд шамасының арасындағы тәуелділікті табуға болады.



6-сурет. Кулонның иірілмелі таразысы.

Зарядтардың өзара әсер күші осы зарядтарды қосатын түзудің жөнімен бағытталған болады.

---

[1] Заң, араларының қашықтығымен салыстырғанда, өте кішкене өлшемді денелерде орналасқан зарядтар үшін дұрыс, оларды нүктелік заряд деп атайды.

Кулон заңын формула түрінде былайша өрнектеуге болады. Ауасыз бос орында аралықтары ўзындықтың бір өлшеміндей болып орнатылған, өлшем етіп алынған екі зарядтың өзара әсер күшін k арқылы белгілейік. Сонда ўзындықтың бір өлшеміндей қашықтықтағы өзара әсер ететін q өлшем зарядпен, q_1 өлшем заряд арасындағы, Кулон заңы бойынша зарядтардың шамасына пропорционал болатын, күш kqq_1 арқылы өрнектеледі.

Егер сол зарядтарды ўзындықтың r өлшеміндей қашықтыққа қойса, олардың өзара әсер күші F олардың қашықтығының квадратына кері пропорционал болып, былай өрнектеледі:

$$F = \frac{kqq_1}{r^2} \qquad \text{(Iа)}$$

Егер зарядтар бір изолятордың (диэлектрик деп аталатын) ішіне, мәселен, керосиннің немесе майдың ішіне орналастырылса, изоляторда зарядтардың өзара әсер күші бос орындағыдан аз болады да, формуламен былай өрнектеледі:

$$F = \frac{kqq_1}{\varepsilon r^2}. \qquad \text{(Iб)}$$

Формуладағы ε[1]) шамасының әрбір диэлектрик үшін ерекше мәні болады (§ 21), оны заттың диэлектрик тұрақтысы, яки диэлектр өтімділігі деп атайды. Бұл барлық газдармен ауа үшін бірге жуық келеді; парафин, керосин, эбонит үшін 2 ден 3,5 ке дейін; сургуч үшін 4 маңында; шыны үшін 6 дан 10 ға дейін; слюда үшін 4,7 ден 6,7 ге дейін; су, (химиялық таза) үшін 80 болады. Бос орынның (бостықтың) диэлектр өтімділігі бірге тең деп алынады.

Соңғы кезде диэлектр өтімділігінің мәні орасан үлкен болатын заттар ашылды. Бұлардың ішінен *сегнет тұзын* — шарап қышқылының натрокалий қос тұзын айтуға болады. — 20° пен + 25° тың арасындағы температураларда оның диэлектр өтімділігінің мәні 200 000 ға жетеді.

Егер q мен q_1 зарядтардың екеуінің де таңбалары бірдей болса, онда F күші оң болады, зарядтар бірін-бірі тебеді. Егер q мен q_1 зарядтарының таңбалары әртүрлі болса, күш теріс болады, зарядтар бірін-бірі тартады.

Нүктелік деп қарастыруға болмайтын денелердің өзара әсері болса, ол әсер күшті сол денелердің зарядталған жеке элементтерінің арасындағы әсер етуші күштерді қосу арқылы табады.

7. *CGS* системасында электр мөлшерінің электростатикалық өлшемі. CGS системасында электр мөлшерінің өлшемін тағайындау үшін (*I*а) формулаға кіретін басқа шамаларға — күшпен қашықтыққа — осы системаның өлшемдерінің мәнін беру керек.

[1]) ε — грек әрпі, эпсилон деп аталады.

Егер біз $r = 1$ *см*, $F = 1$ дина деп алып және $k = 1$ және $q_1 = q$ десек, онда:

$$1 \text{ дина} = \frac{1q^2}{1^2 см^2}; \text{ осыдан } q = 1\sqrt{дн \times см^2}.$$

Сонымен, *электр мөлшерінің электростатикалық өлшемі үшін бостықта 1 см қашықтағы өзіне тең электр мөлшеріне бір динаға тең күшпен әсер ететін электр мөлшері алынады.*

CGS системасындағы электр мөлшерінің электростатикалық өлшемін қысқаша зарядтың *CGSE* деп белгілейді.

Бізге бастапқы курстан белгілі электр мөлшерінің практикалық өлшемі — кулон[1]) $3 \cdot 10^9$ *CGSE* заряд өлшеміне тең.

Өлшемдерді лайықтап алғанда $k = 1$ болады, яғни екі өлшем зарядтардың аралықтары ўзындықтың бір өлшеміне тең болғандағы бір-біріне әсер ететін күшіне сан жағынан алғанда тең болады да, Кулон заңының формуласы жеңілденіп, мына түрге келеді:

$$F = \frac{q \cdot q_1}{\varepsilon r^2}. \qquad \text{(Iв)}$$

1-жаттығу.

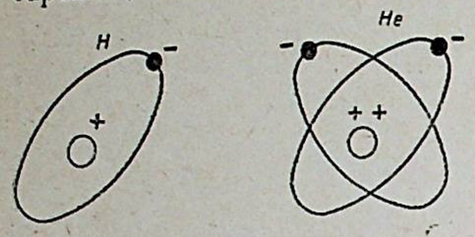
1. +10 және +12 *CGSE* нүктелік электр зарядтары 8 *см* қашықтықта бостықта тұр. Олардың өзара әсер күшін есептеп және ол күшті алынған масштабпен сызып көрсету керек. *Жауабы:* + 1,875 дина.
2. 10 *см* қашықтықтағы +20 және —30 *CGSE* екі нүктелік зарядтардың керосин ішіндегі өзара әсер күшін табу керек. *Жауабы:* — 3 дина.
3. Әрқайсысы 1 *CGSE* екі зарядтың бостықта өзара әсер күші қандай қашықтықта 1 Г тең болады? *Жауабы:* ≈ 0,03 *см*.
4. Аралары 1 *м* әрқайсысы бір кулон екі зарядтың бостықта өзара әсер күші қандай болар еді? *Жауабы:* $9 \cdot 10^{14}$ дина.
5. Аралығы 10 *см* бірдей зарядтардың өзара күші бостықта 4 динаға тең болса, олардың өздері неге тең болады? *Жауабы:* 20 *CGSE*.
6. Кулон мен Ньютон (бүкіл әлемдік тартылыс) заңдарының арасындағы ұқсастық пен айырманы көрсетіңдер.

8. Электрон теориясы және үйкеліспен электрлеуді түсіндіру. Осы кездегі электрон теориясы бойынша, әрбір химиялық элементтің атомы оң заряды бар ядродан және ядроны айналып жүретін электрон деп аталатын теріс зарядты бөлшектерден құралады. Электронның заряды $4,8 \cdot 10^{-10}$ *CGSE* болады. Электронның массасы сутегінің атомының массасынан 1840 еседей дерлік аз болады.

Атомдардың ең жабайысы — сутегінің атомы, оның ядросын айналып жүретін бір электроны болады. Сутегі атомы ядросының оң заряды, абсолют шамасы жағынан, бір электронның зарядына тең болады. *Сутегі атомының оң зарядталған ядросы протон деп аталады.*

[1] Физик Кулон атағына.

Басқа элементтердің атомдары, составына протондар кіретін, оң зарядталған ядродан және оны (ядроны) айналып жүретін электрондардан құралады. Ядроның оң заряды, абсолют шамасы жағынан, ядроны айналып жүретін электрондардың теріс зарядтарының қосындысына тең болады (7-сурет)[1]). Ядроның ішіндегі протондардың саны электрондардың санына тең. Тұтас алғанда кезкелген химиялық заттың атомы нейтрал болады. Совет физигі Д. Д. Иваненко бірінші рет, атом ядросының составына протоннан басқа, массасы протонның массасына тең, бірақ, электр зарядты жоқ бөлшектер кіреді, деген атом ядросының теориясын ұсынды; бұл бөлшектерді *нейтрондар* деп атады. Атом ядросы жөніндегі бұл түсінік қазіргі уақытта жалпы қабылданды және экспериментпен дәлелденілді.

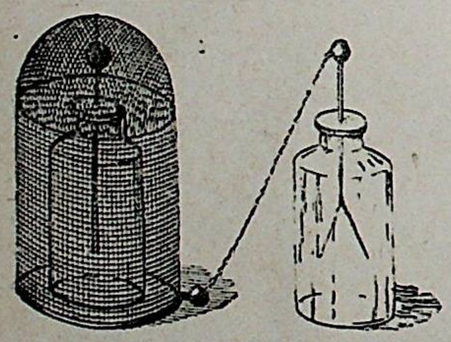


7-сурет. Сутегі мен гелий элементтерінің атомдарының құрылыс схемасы.

Көп элементтердің атомдары, оның ішінде барлық металдардың атомдары ядроны айналып жүретін электрондарының бір я бірнешеуін оңай жоғалтып алады. Сондықтан, әр металда қашанда болса, ядроның тарту сферасына бір түсіп, бір шығып, атомдар арасында кезіп жүретін еркін электрондар болады. *Металдардың жақсы өткізгіш болатындығының себебі осы еркін электрондардан болады.*

Электрон теориясы бойынша екі денені біріне-бірін үйкегенде бір дене өз электрондарын екіншіге беріп, жоғалтады. Электрондары жетіспеген дене оң зарядталады; ал егер дененің электрондары артып кетсе, дене теріс зарядталған болады. Электрондармен оң зарядталған ядролар арасында тарту күші болатындықтан, оларды ажырату үшін жұмыс істелу керек.

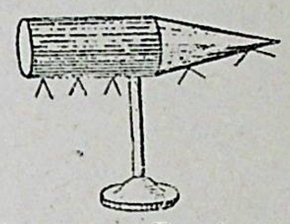
9. Өткізбейтін денеде және изоляцияланған өткізгіште электрдің таралуы. Өткізбейтін денедегі электр үйкелгенде я тигізгенде пайда болған орнында қалады, ал өткізгіштегі электр оның барлық бойына тарайды деп 4-§ та айтқан едік. Әрі қарата зерттей келгенде *тыйыш күйдегі кезінде электр зарядтарын өткізгіштің тек сыртқы бетіне таралатындығы көрінеді.* Осы құбылысты көрсететін көп тәжрибелердің біріне тоқтауға болады. Металл тордан жасалған цилиндрді изоляцияланған тіреуге қойып (8-сурет), тордың ішкі бетін бір электроскопқа сыртқы бетін екінші электроскопқа қосып, үйкелген шыны я эбонит таяқшаны тигізу арқылы сетканы электрлегенде ішкі электроскоп ешбір зарядті көрсетпейді, ал сыртқының жапырақтары электрлеу артқан сайын ашыла береді.


8-сурет. Электр заряды өткізгіштің сыртқы бетіне таралады.

[1] Сурет нобаймен оңайлатып көрсетілген; дұрысында электрондар әртүрлі жазықтықта айнала алады.

10. Электр тығыздығы. Электрлендіру тәсіліне қарай, өткізбейтін дененің көлемінің түрлі бөліктеріндегі электр мөлшері түрліше бола алады. Өткізбейтін денеде электрдің таралуын сыйпаттау үшін, денедегі электрдің көлемдік тығыздығы деген ұғым кіргізіледі. *Электрдің көлемдік тығыздығы дененің 1 см³ не келетін электр мөлшерімен өлшенеді.*

Өткізгіштегі заряд тепе-тең кезінде оның сыртқы бетіне ғана таралатын болғандықтан, оның таралуын сыйпаттау үшін электрдің беттік тығыздығы деген ұғым кіргізіледі. *Электрдің беттік тығыздығы өткізгіштің 1 см² бетіне келетін электр мөлшерімен өлшенеді.* Беттік тығыздық беттің қыйсықтығымен байланысты. Шардың барлық нүктелерінде қыйсықтық бірдей, сондықтан шар бетінің барлық жерінде де тығыздық бірдей болады.


9-сурет. Беттің қыйсықтығы артуына қарай беттік тығыздық арта береді.

Қыйсықтығы әртүрлі беттерде *беттік тығыздық қыйсықтықтың үлкеюіне қарай өседі.*

Тығыздықтың осы сыяқты таралуына мына тәжрибеден көз жеткізуге болады. Цилиндр және конус формалы өткізгіштер істеп (9-сурет), олардың табандарын қосып, изоляцияланған тіреуішке орнатып, цилиндр мен конустың жасаушысының түрлі нүктелеріне жапырақшалар іледі.

Өткізгішті электрлегенде, цилиндрдің барлық бетінің қыйсықтығы бірдей болғандықтан, бетіндегі жапырақшалар бірдей бұрыш жасап ажырайды, конус бетіндегі жапырақшалардың жасайтын бұрыштары төбесіне жақындаған сайын үлкейе береді; ал, конустың қыйсықтығы да табанынан төбесіне қарай өсе береді[1]). Жапырақтардың түрліше ашылуы заряд бұл өткізгіштің бетіне бірдей тарамағандығын көрсетеді.

Сүйір ұштар деп аталатын қыйсықтығы өте үлкен өткізгіштерде тығыздық берілген жағдайдағы белгілі шегінен асса, электр тоқтап тұра алмайды. Онда зарядталған өткізгіш өзінің зарядын жоғалта бастайды. Теріс электрдің шығындалуы оң электрге қарағанда аз тығыздықта басталады. Бұл шығындалудың себебі 103-§ та қаралады.

2-жаттығу.

1. Электр тәжрибелерінде қолданылатын өткізгіштер неге қуыс етіп істеледі?
2. Егер де зарядталған өткізгішті изоляцияланған екінші бір зарядсыз өткізгіштің сыртқы бетіне тигізсе, бірінші өткізгіш екіншіге зарядын түгел бере ала ма?

[1]) Табанына параллель қыйма беттерді көрсететін шеңберлердің радиустары осы бағытқа қарай азая береді?

3. Теріс зарядталған таяқша арқылы электроскоп зарядының белгісіз таңбасын қалай біледі?

4. Электростатикалық тәжрибелерде, өзінде электр сақтауға арналған приборлардың ұштары сүйір болмай, неге домалақ болады?

11. Электр өрісі. Кернеулік. Күш сызықтар. Электр зарядтарының тиісті қашықтыққа тигізетін әсері, әрбір электр зарядының айналасында электр өрісі болатынын көрсетеді. Ол өріс басқа зарядтарға тікелей әсер етеді.

Электр құбылыстарының кең саласын зерттеу нәтижесі, электр өрісі, материяның ерекше формасы бола тұрып, белгілі бір физикалық шындық екеніне біздің көзімізді жеткізеді.

Электр өрісін электр зарядтары жасайды. Электр өрісіне орналастырылған кезкелген зарядқа бір күш әсер етеді. Бұл күштің шамасы өріске еңгізілген зарядтың шамасына да, өрістің өзінің шамасына да байланысты болады.

Әртүрлі өрістерді өзара салыстыруға мүмкіншілік жасау үшін олардың әсерлерін бір зарядпен, атап айтқанда, оң зарядтың бір өлшемімен салыстыруға келісім болған. Сонда, өрісті өрістің к е р н е у л і г і деп аталатын айрықша шамамен сыйпаттауға болады.

Ө р і с т і ң б е р і л г е н н ү к т е д е г і к е р н е у л і г і деп өрістің осы нүктесіне қойылған б і р ө л ш е м о ң зарядқа өрістің әсер е т і п т ұ р а т ы н к ү ш і м е н өлшенетін шаманы айтады.

Егер өріс жасайтын заряд F күшпен q_1 зарядқа әсер етсе, өрістің бір өлшем зарядқа тигізетін күші $\frac{F}{q_1}$ болады.

Егер өріс кернеулігін E мен бегілесек, онда:

$$E = \frac{F}{q_1} \qquad \text{(IIа)}$$

болады; бұған F тың (Iв) формуладағы мәнін әкеліп қойсақ, нүктелік заряд өрісінің кернеулігі былай өрнектеледі:

$$E = \frac{q}{\varepsilon r^2}; \qquad \text{(IIб)}$$

бос орын үшін:

$$E = \frac{q}{r^2}. \qquad \text{(IIв)}$$

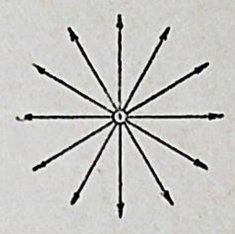
Өрістің кернеулігі де, күш сықылды, вектор болады.

Зарядталған бір дененің өрісін зерттеп білу деп өрістің түрлі нүктелеріндегі кернеуліктің шамасы мен бағытын білуді айтады. Өрістің түрлі нүктелеріндегі кернеуліктің бағытын сызықтар арқылы кескіндеуге болады, оларды күш с ы з ы қ т а р ы деп атайды. Күш сызықтарының суретін тұтқыр диэлектрикте, мысалы,

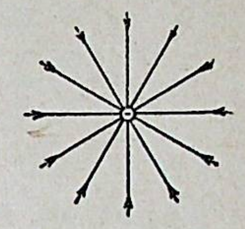
вазелин, я кастор майында жүзіп жүрген хинин кристалдарымен яки ұсақ асбест кесектерімен жасауға болады. Егер осы диэлектрикте электр өрісін жасасақ, кристалдар әр нүктеде, сол нүктедегі күш әсерінің бағытына қарай орналасады.

Және де осы мақсат үшін иілгіш ұзын өткізгіштерді, мысалы, жеңіл папирос қағазының жұқа ленталарын пайдалануға болады.

Егер осындай ұзын ленталарды электр өткізбейтін тіреуішке орнатылған, кішкене металл шарға жапсырып, оны оң электрмен зарядтаса, онда барлық қағаз ленталарда шариктен оң зарядталып, одан радиус бойымен тебіледі, бұл 10-суретте нобаймен көрсетілген.



10-с у р е т. Нүктелік оң зарядтан жасалған өрістің күш сызықтары.



11-с у р е т. Нүктелік теріс зарядтан жасалған өрістің күш сызықтары.

Бұл жағдайда оң зарядқа әсер ететін күштер шариктің радиустары бойымен бағытталған. Сонымен, нүктелік оң зарядтан жасалатын өрістің күш сызықтары, берілген нүктеден (центрден) шашырап таралған радиал түзулер болады.

Күш сызықтарына шартты түрде белгілі бір бағыт беріледі. К ү ш с ы з ы қ т а р ы н ы ң б а ғ ы т ы ү ш і н б е р і л г е н ө р і с т е о ң з а р я д т ы ң (инерциясы болмайтын) қ о з ғ а л ы п ж ү р е р л і к б а ғ ы т ы а л ы н а д ы. Біз қарап өткен жағдайда күш сызықтары шариктен бағытталған, ол суретте стрелкалармен көрсетілген.

Егер шариктi теріс электрмен зарядтаса, онда да бұрынғыша барлық ленталар радиус бойымен созылып жатады (11-сурет). Кезкелген таңбалы нүктелік зарядтың жасайтын өрісінің күші сызықтарының формасы бірдей, атап айтқанда, радиал түзулер болады; жалғыз-ақ теріс заряд болған жағдайда күш сызықтарының бағыты шарикке қарай болады: оң заряд, өрісті жасап тұратын, теріс зарядқа тартылар еді.

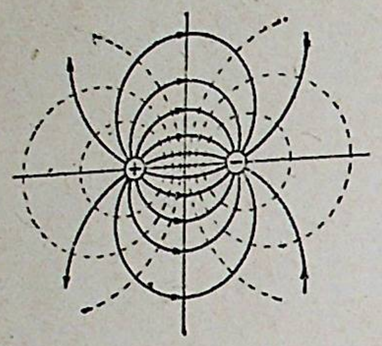
Бетіне қағаз ленталар жапсырылған екі шариктi әр атты зарядпен зарядтап біріне-бірін жақындатса, қағаз ленталар 12-суретте көрсетілгендей боп орналасады. Егер шариктердің екеуіне де аттас зарядтар берілсе, қағаз ленталар 13-суретте көрсетілгендей боп орналасады.

Сонымен, 12 және 13-суреттер нүктелік екі зарядтан — бірінші жағдайда әр атты, екінші жағдайда аттас зарядтардан — жасалған өрістердің күш сызықтарының бағыты мен формасын көрсетеді.

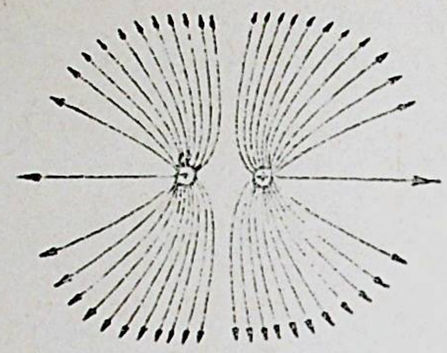
Соңғы екі сурет күш сызықтарының қыйсық сызық та бола алатындығын көрсетеді; ал, күштер чертёжде түзудің кесіндісімен кескінделеді. Түзу мен қыйсық сызықтардың бағыттары бірдей болу үшін түзу сызық қыйсыққа жанама болып келуі тиіс.

Сонымен *электр өрісінің күш сызығы деп, оған әр нүктесінен жүргізілген осы нүктедегі кернеуліктің бағытын көрсететін сы-*

зықты атайды. Күш сызықтарының бағытына өрістің оң зарядқа тигізетін әсерінің бағыты алынады. Сондықтан, күш сызықтары оң зарядталған денеден басталып, теріс зарядталған денеде аяқталады.

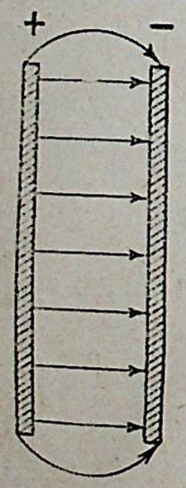


12-сурет. Әр аттас нүктелік екі зарядтан жасалған өрістің күш сызықтары.



13-сурет. Аттас нүктелік екі зарядтан жасалған өрістің күш сызықтары.

Барлық нүктелерінде кернеуліктердің шамасы да, бағыты да бірдей болатын электр өрісін б і р қ а л ы п т ы өріс дейді. Мұндай өріс түрлі зарядтармен зарядталған екі өте үлкен паралелль пластинкалардың аралығында болады (пластинкалардың шеттерінде өріс бірқалыпты болмайды). Мұндай өрістің күш сызықтары араларының қашықтығы бірдей параллель түзу сызықтар болады (13а-сурет).



13а-сурет.

Екі күш сызығы қай өрісте болмасын бірі-біріне ешуақытта қыйылыспайды. Егер олар қыйылысады деп ойлайтын болсақ, онда кеңістіктің осы нүктесінде өріс күшінің екі бағыты болған болар еді; бұлай болуы мүмкін емес.

12. Потенциал. Әрбір оң заряд өзінің өрісіндегі кезкелген екінші бір оң зарядқа тиісті күшпен әсер етеді. Егер бұл екінші заряд қозғалатын болса, онда өрістің күші оны қозғалта отырып жұмыс істейді.

Оң заряд өрістен шығарылғанда, басқа сөзбен айтқанда, оң заряд өрісті жасаушы зарядтан шексіз қашықтыққа апарылғанда істелетін жұмыс, өріс күшінің оң зарядты орнынан қозғағанда істейтін жұмысының ең көбі болады.

Заряд өрістің кезкелген бір нүктесінде тұрған уақытта, бұл нүктеде оның потенциялық энергиясы болады. Ол потенциялық энергия, осы зарядты әлгі нүктеден шексіздікке апарғанда істелетін жұмыс шамасымен өлшенеді.

Кезкелен электр өрісінің әрбір нүктесін сыйпаттау үшін, өрістің осы нүктесіндегі потенциялық энергияны осы өрісте болуы мүмкін, кезкелген түрлі зарядтарға қатысты алмай, барлық өріске бірдей болатын, белгілі бір зарядқа қатысты етіп алу керек. Онндай заряд ретінде, әрине, шама жағынан алғанда ең жабайы заряд, атап айтқанда бірлік оң заряд алынады. Осылайша заряд-

ты таңдап алғанда, өрістің әр нүктесін, өрістің осы нүктедегі п о т е н ц и а л ы деп аталған ерекше шамамен сыйпаттауға болады.

Сонымен, электр өрісінің әр нүктесіндегі потенциалы дегеніміз, бір өлшем оң электрді өрістің әлгі нүктесінен шексіздікке апарғанда істелетін жұмыстың шамасымен өлшенетін, айрықша шама болып табылады. Егер өріс теріс зарядпен жасалған болса, онда өрістің әр нүктесінің потенциалы, бір өлшем оң зарядты шексіздіктен өрістің әлгі нүктесіне әкелгенде өріс күшінің істейтін жұмысымен өлшенеді.

Потенциал V әрпімен белгіленеді. Өрістің әр нүктесіне кіргізілген $+1$ зарядтың потенциал энергиясының қоры қандай болатындығын, осы нүктеде шынында зарядтың бар, жоғына қарамай-ақ, есептеуге болады.

Осы келтірген пікірлер жер бетінен әртүрлі биіктікке көтерген денелердегі потенциал энергияның қорын есептеп шығарғандағыға ұқсайды. Бұл жағдайда да дененің жерге тартылатын күшін басқа бір күшпен жеңуге тура келеді. Осы көтеретін күштің істеген жұмысы, көтерілеген дененің потенциал энергиясы қорына айналады[1]). Өз ықтиярына қоя берген дене, ауырлық күштің әсерімен құлайды: оның потенциал энергиясының қоры кинетикалық энергияға айналады. Ауырлық күші әсер ететін бағыт жер радиусымен дәл келеді. Біз электрдің өзара әсер күштерін белгілегендегі сыяқты, жердің тартылысы үшін де сондай белгілер енгізуімізге болады. Біз тартылыс өрісі туралы айтуымызға болады; бұл өрістегі күштердің бағыттарын, формасы радиал түзулер сыяқты күш сызықтарымен көрсетуімізге болады.

Осы сықылды тартылыс өрісінің әр нүктесі үшін, сол нүктені сыйпаттайтын, 1 *г* масса үшін потенциал энергия қорын, яки ж е р д і ң т а р т ы л ы с п о т е н ц и а л ы н есептеп білуімізге болады.

Ауырлық күші өрісінің жер бетінен h биіктікте тұрған нүктесіндегі потенциалы gh қа тең болады.

Оң зарядтың айналасындағы электр өрісінің потенциалы қай жерінде болса да оң болады.

Теріс зарядпен жасалған өрістің потенциалы теріс болады,

Күш сызығының қандай болса да бір кесіндісіндегі $+1$ электрді орын ауыстыру үшін жұмсалатын жұмыс сан жағынан алғанда сол күш сызығы бойымен жүрген жолдың бас және аяқ нүктелерінің потенциалдар айырмасына тең. q мөлшер электрді A нүктеден B нүктеге орын ауыстыруға кететін жұмыс электр мөлшері мен жолдың бас және аяқ нүктелерінің потенциалдар айырмасының көбейтіндісіне тең:

$$\boxed{A = q\ (V_A - V_B).} \qquad \text{(III)}$$

[1]) Потенциал энергия екі немесе үш дененің жыйындысында болады: жерден жоғары көтерілген таста жерге қарағанда белгілі шамада потенциал энергия пайда болады; өріс жасайтын зарядқа тебілетін зарядты жақындатса, онда потенциал энергия пайда болады.

Өрістің күші қашанда болса оң зарядты потенциалы көп нүктеден потенциалы аз нүктеге ауыстырады (потенциал энергиясы қорының кему бағытына қарай).

Өрістің бір нүктесінен екінші нүктесіне зарядты тасымалдағандағы жұмыс өрнегіне осы нүктелердің потенциалдар айырмасы ғана кіреді; осы потенциалдар айырмасына өрістің екі нүктесінің арасындағы кернеу деп ерекше ат береді. Кернеу U әрпімен белгіленеді[1]).

Теория, өріс нүктесіндегі V потенциалдың, өріс жасайтын нүктелік q зарядтың және потенциалын анықтайтын нүктемен өріс жасайтын зарядтың r қашықтығының араларында байланыс бар екенін көрсетеді. Бұл байланыс мынадай формуламен өрнектеледі:

$$V = \frac{q}{\varepsilon r}.$$



Фарадей[1])
(1791 — 1867).

13. Потенциалдар айырмасының өлшемдері. Потенциалдар айырмасының өлшемін мына формуладан (III) тағайындауға болады:

$$A = q(V_A - V_B),$$

бұдан:

$$V_A - V_B = \frac{A}{q}.$$

Егер $A = 1$ эрг және $q = 1$ заряд *CGSE* болса, онда:

$$V_A - V_B = \frac{1 \text{ эрг}}{1 \text{ заряд } CGSE} = 1 \frac{\text{эрг}}{CGSE \text{ зар. өлшем.}}.$$

[1]) Кернеулік пен кернеу деген екі түрлі шамаларды бір-бірімен шатастырмау керек; бұлардың атаулары ұқсас: бірінші $+1$ зарядқа әсер ететін өрістің күшімен өлшенеді, екіншісі $+1$ зарядтың орнын ауыстырғанда өріс күшінің істейтін жұмысымен өлшенеді.

[2]) Фарадей Михаил — XIX ғасырдың бірінші жартысындағы данышпан физик, ерекше аскан экспериментатор, Лондон маңында туған.

Фарадей электрлендірген, яки магниттелген денелердің өзара әсері аралықтан аттап берілмейді, денелерді қоршаған орта арқылы беріледі деген қортындыға келген. Оның айтқан пікірлері электр мен магнит өрістері туралы оқудың негізі болып алынады: электр мен магнит өрістері туралы оқу электромагнит тербелістері, жекелеп айтқанда, радио толқындары туралы қазіргі кездегі оқуға жеткізді.

Фарадей — осы кездегі электротехниканың негізі — электромагнит индукциясын ашты. Ол қатты, сұйық, газ тәрізді күйдегі денелердің барлығында да магниттелуге бейімділік болатындығын көрсетті; магнит өрісінің жарық сәулесіне тигізетін әсерін тағайындады, токтың химиялық әсерінің заңдарын тапты, газдарды сұйық күйге айналдырудың тәсілін көрсетті. Фарадей өзінің еңбектерінде жаратылыстың барлық күштерін бір тұтас деп біліп, осы терең сенімінен айырылмады.

CGSE системасында потенциалдар айырмасының электростатикалы өлшемі бір нүктеден екінші нүктеге бір өлшем электр мөлшерін жылжытқанда 1 эрг жұмыс істелінетін өрістің екі нүктесінің потенциалдарының айырмасын алады.

Кернеудің яки потенциалдар айырмасының практикалық өлшеміне вольт алынады.

Вольт *CGSE* системасындағы потенциал өлшемінің $\frac{1}{300}$ тең болады.

Араларындағы кернеу 1 вольт болатын өрістің екі нүктесінің арасында 1 кулон зарядтың орнын аустырғандағы жұмысты есептейік.

(III) формула бойынша: $A = 1$ кулон. 1 вольт $= 3 \cdot 10^9$ *CGSE* заряд $\times \frac{1}{300}$ *CGSE* потенциал $= 10^7$ эрг $= 1$ джоуль.

Сонымен, *вольтті, 1 кулон зарядтың орынын ауыстырғанда 1 джоуль жұмыс* істелетін *кернеуі* деп те анықтауымызға болады.

3-жаттығу.

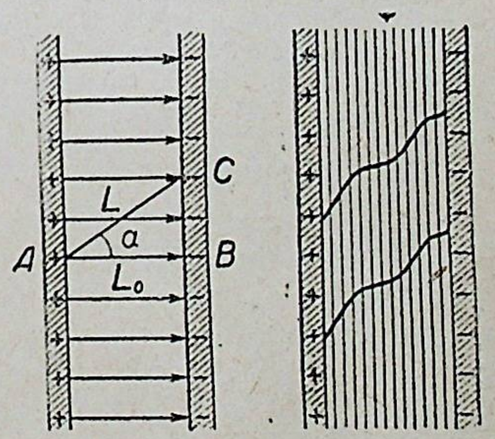
1. Бос орындағы $+1600$ *CGSE* нүктелік зарядтың, одан 20 *см* қашықтықта жасаған өрісінің кернеулігі неге тең?

2. Өріс $+1$ кулон зарядпен жасалған. Өрістің зарядтан 2 *м* қашықтықтағы кернеулігін табыңдар.

14. Нүктелік зарядпен жасалған өрістің бірдей потенциал беттері. Егер электр өрісі бір нүктелік зарядпен жасалса, өрісті жасаған зарядтан қашықтығы бірдей барлық нүктелерде потенциалдар бірдей болады.

Осындай алыстағы бірдей нүктелер нүктелік зарядтың айналасындағы концентрлік шар беттерінде жатады. Сонымен *бір нүктелік зарядпен жасалған өрісте, сол зарядты қоршаған шар беттері потенциал беттер болады яки эквипотенциал беттер болады.* Өрістің әр нүктесінде әсер ететін күш бірдей потенциал бетпен тік бұрыш жасайды, үйткені күш радиус бойымен, бағытталған, яки, геометрияша айтқанда, күш бетке нормаль түседі.

15. Эквипотенциал беттердің арасындағы зарядтың орын ауыстырудағы жұмысы. Өріс күшінің, күш сызықтары бойымен істеген жұмысы жолдың бас және аяқ нүктелеріндегі потенциал айырмасымен байланысты екенін біз көріп өттік. Заряд өрістің күшіне қарсы қозғалып жүрген кездегі жұмыс та сол шамаға тең, бірақ таңбасы кері.



14-сурет. Екі эквипотенциал беттердің арасында зарядты орын ауыстырудағы жұмыс жолдың формасына байланысты болмайды.

Егер $+1$ заряд, күш сызығы бойымен жүрмей, қалаған жолмен сол бастапқы және ақырғы нүктелер арасында орын ауыстырса, жұмыс өзгере ме? Бұл сұрауға жауап беру үшін, кішкене бөліктерін параллель жазықтардың бір бөлігі деп және араларындағы өрісті бір қалыпты деп санарлықтай етіп біріне-бірі өте жақын көршілес екі эквипотенциал бет жүргіземіз (14-сурет). AB сызығы өріс күшінің бағытын көрсетеді. Оның ұзындығын L_0 арқылы белгілейік. AB бойымен бағытталған өріс күші F болсын. Егер $+1$ заряд $AC = L$ сызығының бойымен, AB сызығы мен α бұрышын жасап орын ауыстырса, F күштің жұмысы мынадай формуламен өрнектелер еді:

$$A_{AC} = FL\cos\alpha, \text{ бірақ } L\cos\alpha = L_0, \text{ осыдан: } A_{AC} = FL_0,$$

80924.
Библиотека Филиала

Эквипотенциал бет бойының CB жолындағы жұмыс $A_{CB} = 0$, өйткені, күш эквипотенциал бетке перпендикуляр болады да бұл кезде $\alpha = 90°$, ал $\cos 90° = 0$. Бірақ FL_0 мұнымен AB күш сызығының бойындағы жұмыс болады.

Сонымен А дан, шексіз жақындағы В нүктесіне ACB сызығымен зарядты орын ауыстырғандағы барлық жұмыс осы нүктелер арасындағы күш сызығы бойымен істелген жұмысқа тең.

Егер эквипотенциал беттердің арасындағы зарядтың орын ауыстыру жолы сынық яки қыйсық болса, екі шеткі эквипотенциал беттердің арасындағы кеңістікті параллель жазықтармен өте кішкене аралықтарға бөліп, әр аралықтағы қыйсық бөлігін түзу сызық деп есептеуге болады. Сынық сызықтың әр учаскесіне жаңағы айтылған жолды қолданып, төменгі ақырғы қортындыға келуге болады.

Заряд өрістің екі нүктесі арасында орын ауыстырғанда өріс күшінің жұмысының яки өріс күшіне қарсы жұмсалған күштің жұмысының сол нүктелер арасындағы жолдың формасына тәуелді болмайды, тек жолдың бас және аяқ нүктелерінің потенциалдар айырмасымен ғана байланысты болады.

Дене ауырлық өрісінде орын ауыстыратын болғанда да, оның тарту күшін есептеу үшін жаңағы айтқандай қатыс орынды болып шығады[1]).

16. Кезкелген зарядтардың өрісіндегі эквипотенциал беттер. Қандай болсада зарядтармен жасалған кезкелген өрістегі эквипотенциал беттердің нормальдары[2]) осы беттердің нүктелеріне әсері түсетін өріс күштерінің векторлары болатынын, яки басқаша айтқанда, күштер беттерге нормаль болуы керектігін аңғару қыйын емес. Шынында да, зарядтың эквипотенциал бетті қуалай екі нүкте арасында орын ауыстырғандағы жұмысы, сол нүктелердегі потенциалдар айырмасына тең жұмыс, бұл нольге тең болады.

Ал, орын ауыстырғандағы жолға күш перпендикуляр болса, жұмыс нольге тең болады. Орын ауыстырудың жолы қандайлық кішкене болған кезде де қайсыларының жұмысын алсақ та, $A = FL \cos \alpha$ формуласымен есептеледі (бұл жерде α — күш пен орын ауысу бағыттарының арасындағы бұрыш); жұмыс $\cos \alpha = 0$ болса ғана нольге тең болады, соңғы шарт $\alpha = 90°$ болғанда орындалады. Ендеше, *электр күші эквипотенциал бетке нормаль болады.*

Сонымен, егер кезкелген зарядтармен жасалған өрісте күш сызықтарының бағыты белгілі болса, онда оларға нормаль етіп беттер жүргізеді, осылар бірдей потенциалдың беттері болады. Әр атты нүктелік екі зарядпен жасалған өрістегі осындай эквипотенциал беттер, пунктир сызықтармен 12-суретте көрсетілген.

Изоляцияланған өткізгіш зарядталғанда, ондағы заряд тепе-теңдік күйде болады. Ендеше, зарядтардың бір бөліктері мен басқа қалған бөліктерінің өзара әсер күштері өткізгіш бетіне перпендикуляр болады. Өйтпесе тепе-теңдік болмас еді де, еркін зарядтар өткізгіштің бойымен орын ауыстырып отырар еді.

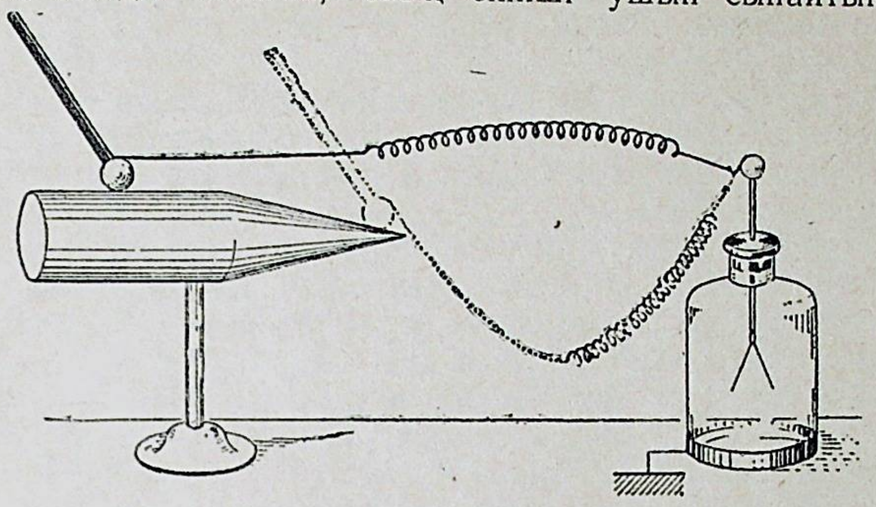
Егер әр нүктедегі күштер өткізгіш бетіне перпендикуляр болса, онда *өткізгіштің беті эквипотенциал беттердің біреуі болып табылады.*

17. Электрометр. Өткізгіштерді түрлі потенциалға шейін электрленділуге болады. Зарядталған өткізгіштің потенциалының қандай екенін, металл қабығы жермен жалғастырылған электроскоп жапырақшаларының ашылғанынан көруге болады. Ондай электроскоп электрометр деп аталады (16-сурет). Потенциалды өлшеу үшін электрометрдің стержені, ұзын сым арқылы зерттелетін өткізгішпен қосылады. Электрометрді өткізгішпен қосқанда, ол — өткізгіш бетінің бір бөлігі болып табылады. Оған өткізгіш зарядының бір бөлегі ауысып, сонымен электрометр жапырақтары айрылады, оның потенциалы өткізгіштің потенциалымен бірдейленеді. Зарядталған өткізгішке қосылған электрометр, сол

[1]) «Физика курсының» 1-бөліміндегі үйкеліссіз көлбеу жазықтықтағы жұмыс пен жүкті сол биіктікке вертикаль көтерудегі жұмысты қара.

[2]) Нормаль — бетке перпендикуляр деген сөз.

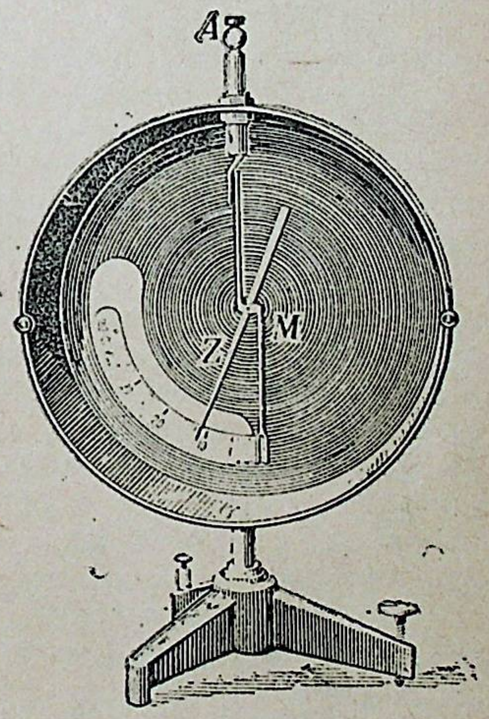
өткізгіштің потенциалын көрсететіндігін төмендегі тәжрибеден байқауға болады. Конуспен қосылған цилиндр формалы өткізгішті зарядтайды. Алыстатып қойылған электрометр шаригіне майысқақ сымды жалғап, оның екінші ұшын сынайтын шарикке қосады (15-сурет). Сынайтын шарик деп — изоляцияланған сапқа орнатылған металл шариктi айтады. Сонан соң, сынайтын шариктi табанынан бастап цилиндр мен конус жасаушыларын қуалай конустың төбесіне шейін жүргізеді. Осылай ауыстырып жылжытқанда, электрометрдің көрсетуі өзгермейді. Сонымен, мұнда электрометр табанынан төбесіне қарай өзгеретін заряд тығыздығын көрсетпей, бүкіл өткізгіште бірқалыпты болатын потенциалды көрсетеді.



15-сурет. Өткізгіштің барлық жерінде өткізгіштің потенциалы бірдей.

Егер электрометрге жапырақшаның ауатын бұрыштарын өлшейтін шкаланы қосса, онда түрлі өткізгіштердің потенциалдарын өзара салыстыруға болады.

Электрометрді градуирлау (градустарға бөлу) туралы түсінік 29-§ та берілген.



16-сурет. Электрометр.

18. Нольдік потенциалдың беті. Алдыңғы айтылғандардың бәрі де электр өрісіндегі күштің жұмысы тек потенциалдар айырмасымен ғана байланысты екенін көрсетеді; сондықтан, нүктенің потенциалының абсолют шамасының керектігі болмайды. Сондықтан, потенциалдарды есептегенде, нүктелердің қалғанының потенциалын ноль деп алуға болады. *Нольдік потенциал деп шартты түрде жер потенциалын алады.*

Осыған ұқсас, екі температураның, мәселен, мұздың еру темпе-

ратурасы мен судың қайнау температурасының айырмасын, мейлі абсолют нольден, мейлі Цельский нолінен санайық, оған қарап айырма өзгермейді. Қазбектің төбесі қашанда болса теңіз бетінен 5 100 *м* жоғары; біз оның биіктігін есептегенде, теңіз бетінен яки океанның ең терең жерінің түбінен есептесек те оған қарап биіктігі өзгермейді.

19. Электрдің бір өткізгіштен екінші өткізгішке ауысуы олардың потенциалдарына байланысты. Егер потенциалдары бірдей екі өткізгішті қосса, олардың арасында электр ауысуы болмайды.

Егер екі өткізгішті түрлі потенциалға дейін оң электрмен зарядтаса (оларды электрометрмен өлшеп), содан соң, сыммен бұл екі өткізгішті қосса, бір өткізгіштен екінші өткізгішке электр ауыса бастайды; сонда электроскоп жалғастырылған екі өткізгіштердің потенциалдарының теңелетіндігін көрсетеді; бұл потенциалдың шамасы бастапқы екі потенциалдың аралығында болады. Тәжрибе, *оң электр өткізгіш бойымен потенциалы көп денеден потенциалы аз денеге екі дененің потенциалы теңелгенге дейін ауысатындығын көрсетеді.* Түрлі потенциалдарға шейін теріс зарядталған екі дене жөніндегі осы тәрізді тәжрибе, *теріс электр өткізгіш бойымен потенциалы аз денеден потенциалы көп денеге ауысатынын* көрсетеді[1]).

Егер оң зарядталған денені жермен қосса, барлық оң заряд жерге кетеді; егер теріс зарядталған денені жерге қоссақ, онда да сондай болады; теріс заряд өткізгіштен жерге көшеді. Оң зарядталған дененің потенциалы оң, теріс зарядталған дененің потенциалы теріс болады.

Металдарда электрондар ғана еркін қозғалып жылжый алатын болғандықтан, ал оң заряд дегеніміз бұл электрондардың жеткілікті еместігін білдіретін болғандықтан, оң зарядталған денені жерге қосқанда шынында: жерден өткізгіштегі оң зарядты нейтралдауға жеткілікті шамада электрондар көшетін болады. Өткізгіштің ең аяққы күйі жерге өткізгіштің оң заряды кеткені сияқты, сондықтан, осы құбылыстарды сыйпаттауды оң электрдің қозғалуы деп бұрынғыша айта береді.

Электрдің орын ауыстыру құбылысы қатнас ыдыстардағы сұйықтың бір ыдыстан екіншіге ауысатын құбылысына ұқсас: бірінші ыдыстағы сұйықтың беті екіншіден жоғары болса, онда сұйық, екінші ыдысқа құйылады; екі ыдыстағы сұйықтың беті бірдей болып теңелгенде қозғалыс тоқталады.

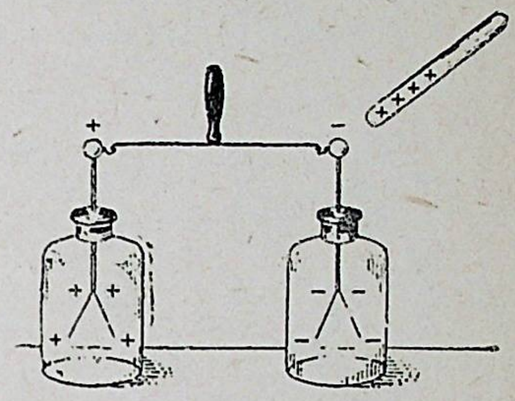
20. Электростатикалық индукция. Электр өрісіне еңгізілген денеге, өрістің тигізетін әсерін зерттеп байқайық. Мұны өрістің изоляцияланған өткізгішке тигізетін әсерінен бастаймыз. Өткізгіш есебінде бірдей екі электроскопты аламыз, олардың шариктерінің үстіне осы шариктерді қосатын изоляцияланған сабы бар сым орнатылған (17-сурет). Электр өрісін электрленген шыны яки эбонит таяқпен жасаймыз.

[1]) Бұл жердегі «көп», «аз» дегендерді алгебраша түсіну керек, мысалы — *5V* потенциал,— *10V* потенциалдан көп.

Электроскоптарға бір жағынан, мәселен оң жағынан оң зарядталған таяқшаны жақындатамыз. Зарядталған дене электроскопқа тимей тұрғанның өзінде де электроскоптардың екеуінің де жапырақтары ажырайды.

Қ о р т ы н д ы: зарядталған өткізгішті зарядталмаған өткізгішке жақындатқанда, екінші өткізгіштің екі ұшында да электр заряды пайда болады.

Зарядталған денені (зарядталған таяқшаны электроскоптарға тиістірмей) қашықтатып әкетсек, электроскоптардағы жапырақтар түгел орындарына түседі.



17-с у р е т. Изоляцияланған өткізгіштің ұштарындағы әр атты екі зарядтың, зарядталған дене жақын тұрған кездегі индукциясы.

Қ о р т ы н д ы: жасалған зарядтар әр текті және бірдей мөлшерде пайда болған екен (басқаша болғанда толық нейтрализация болмас еді).

Қай электроскопта қандай таңбалы заряд пайда болғанын білу үшін, сол оң зарядтың өзін қайта жақындатып тұрып, электроскоптарды жалғастырған сымды, изоляциялаушы тұтқасынан ұстап алып тастаймыз. Енді электроскоптар, зарядталған денені қашықтатып әкеткеннен кейін де өз зарядтарын сақтайды. Оларды 5-§ та айтылған ережемен зерттеп байқайық.

Оң зарядты жақындатқан электроскопта теріс заряд, екінші электроскопта оң заряд болады екен.

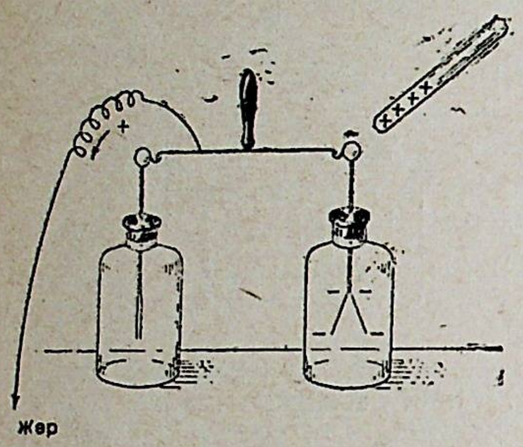
Тәжрибені тағы қайта істейік; электроскоптарға сол жағынан оң зарядты немесе әуелі оң жағынан, сонан кейін сол жағынан теріс зарядты жақындатамыз; жақындатқан сайын пайда болған зарядтардың таңбаларын айырып, мынадай жалпы қортынды шығара аламыз: *егер зарядталған денені изоляцияланған өткізгішке жақындатса, изоляцияланған өткізгіште әр атты, тең мөлшерлі екі заряд пайда болады; өткізгіштің зарядталған денеге жақын ұшында ықпалдаушы (жақындатып әкелген денедегі) зарядпен әр атты, ал алыс ұшында аттас заряд пайда болады.* Ықпалдаушы зарядты алыстатып әкеткеннен кейін өткізгіштің заряды жоғалады.

Осы құбылыс э л е к т р о с т а т и к а л ы қ и н д у к ц и я деп аталады да, былай түсіндіріледі. Ықпалдаушы дене оң зарядталған делік. Онда, ол жасаған өріс өзіне кіргізілген өткізгіштің барлық басы бос теріс зарядтарын тартады. Осындай еркін, оңай қозғалатын теріс электр мөлшері дегеніміз — электрондар.

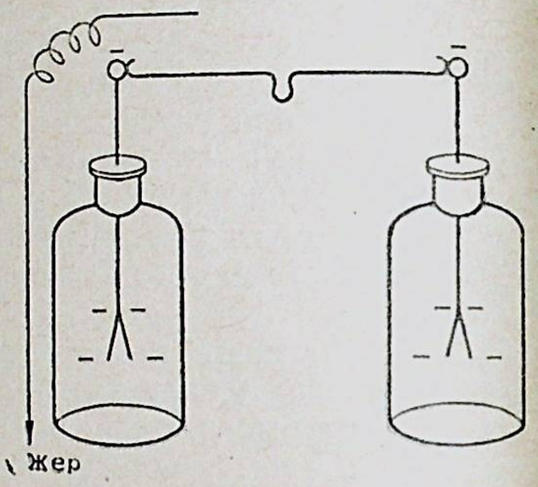
Оң зарядталған дене өрісінің әсері арқасында, изоляцияланған өткізгіштің электрондары өткізгішті зарядтаған дененің жақын ұшына ауысып, мұнда индукцияланған теріс заряд жасайды; электрондардың жетімсіздігінен алыс ұшында тең шамалы оң заряд жасалады. Өрістен изоляцияланған өткізгішті әкеткеннен соң,

электрондар бұрынғыша өткізгіш бойына тегіс тарайды да, өткізгіш нейтрал күйіне келеді. Егер өріс теріс зарядталған денемен жасалса, онда электрондар изоляцияланған өткізгіштің ең қашық ұшына тебіліп, ол жерде теріс заряд жасайды. Өткізгіштің жақын ұшы электрондарының бір бөлігінен айырылады да, бұл жерде оң заряд пайда болады.

Егер ықпалдаушы дене жақын тұрған кезде, изоляцияланған өткізгішті (электроскопты) аз уақыт жермен қосса (18-сурет), ықпалдаушы зарядпен аттас заряд жерге кетеді де енді жер өткізгіштің қашық ұшы есебінде болып табылады. Әр атты заряд, зарядталған денеге тартылатын болғандықтан, өткізгіштің өзінде қалады. Егер өткізгішті жермен жалғастыруды тоқтатып, содан кейін ықпалдаушы денені алып кетсе изоляцияланған өткізгіш ықпалдаушы денемен әр атты болып зарядталады (18а-сурет).



18-сурет. Әсер арқылы аттас заряд жерге кетеді, денеде әр атты заряд қалады.



18а-сурет. Изоляцияланған өткізгішті индукция арқылы зарядтау.

Кезкелген өткізгішті кезкелген өріске орналастырғанда электр индукциясы пайда болады. Бұл индукция зарядтың әсерінен пайда болған күштер өткізгіштің барлық нүктелерінде, осы нүктелердегі өткізгішті өріс орналастырмастан бұрынғы күштермен шама жағынан бірдей, ал бағыт жағынан қарама-қарсы болғанша тоқталмайды. Сонымен, индукцияланған зарядтардың туғызған күштері сыртқы өрістің өткізгіштің барлық нүктелеріндегі күштерін теңгереді. Осының нәтижесінде өткізгіштің ішіндегі өріс жоғалады да өткізгіштің айналасындағы өріс күшейеді.

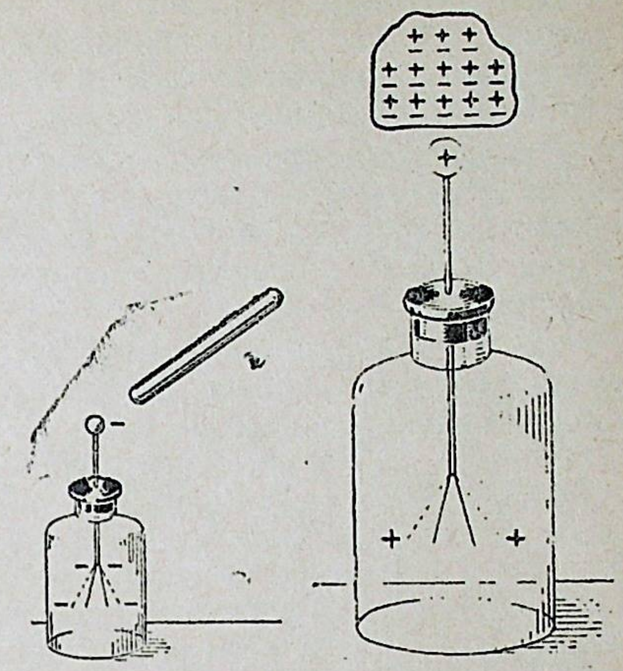
Зарядтардың индукциясы өткізбейтін денеде де болады. Егер зарядталған электроскопта зарядталмаған өткізбейтін денені жақындатса, онда электроскоптың жапырақтары аздап төмен түседі (19-сурет). Жапырақшалардың түсуін былайша түсіндіруге болады: диэлектрикте (өткізбейтін денеде) индукция бойынша зарядтар жасалады, диэлектриктің электроскопқа жақын ұшының әр атты заряды электроскоптағы зарядтың біразын өзіне тартады, осы себепті ондағы заряд қайта бөлініп таралатын болады. Егер зарядталған дене жақын тұрған кезде диэлектрикті

екіге бөлсе, онда оның әр бөлігінде жеке әртүрлі заряд байқалмайды (өткізгішті бөлгендегі осыған ұйқас тәжрибедегідей емес).

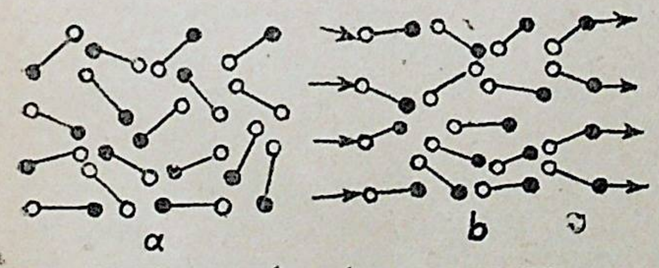
Бұл соңғы құбылысты былайша түсіндіруге болады: диэлектриктегі барлық электрондар, атомдар мен молекулалардың составына кіретін оң ядролармен бөлінбейтін болып байланысқан. Сондықтан, диэлектриктердегі оң және теріс зарядтар әр молекуланың шегінде бір-біріне қарағанда, біраз ығысып қана қояды.

Нейтрал молекуланың ең жабайы моделі деп дипольді алуға болады, ол бір-бірімен тығыз байланысқан оң зарядтан (20-суреттегі қара дөңгелектері) және теріс зарядтан (ақ дөңгелектер) құралады.

Ядроны айнала шапшаң қозғалып жүрген электронның қайсысы болса да, бір тысқарғы зарядқа әсер еткенде, ол өзі (электрон) орбитаның центрінде тұрғандағыдай әсер етеді. Сондықтан, ядроны айнала қозғалып жүрген қай электронның болса да әсерін, қозғалмай тұрған электронның әсеріндей деп қарастыруға болады да, бұдан соң атомның барлық электрондарының әсерін бір ғана теріс зарядтың әсеріне баламалап алуға болады; бұл теріс зарядтың шамасы атомдағы барлық электрондардың зарядтарының жыйнағындай, яғни ядроның зарядына тең, бірақ бұл теріс зарядтың орны, ядроның орнымен дәл келмеуі мүмкін. Олай болғанда атомды, бір-бірімен байланысқан тең шамалы, бірақ қарама-қарсы таңбалы екі зарядтың системасы деп қарастыруға болады. Осындай система диполь деп аталады.



19-сурет. Жақындатқан диэлектриктің әсерінен электроскоптағы зарядтың таралуы.



20-сурет. Аморфты диэлектрик.
a) поляризацияланбаған;
b) поляризацияланған.

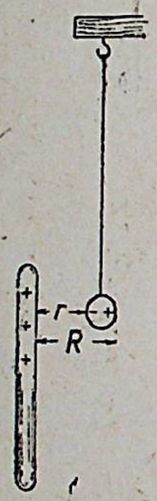
Сыртқы өріс болмаған кезде, бұл дипольдер диэлектрикте тәртіпсіз орналасады (20а-сурет). Диэлектрикті электр өрісіне енгізген кезде молекулалар бір шама бұрыш жасап бұрылады: молекуланың оң бөлігі сыртқы өрістің күш сызықтарының бағытымен аздап ауысып, теріс бөлігі оған қарсы жаққа ауысады (20*b*-сурет).

Шамалы ғана бұрылудың нәтижесінде оң зарядтар дененің бір ұшына, теріс зарядтар екінші ұшына ауысады.

Осы айтылғандай әр молекуланың шегінде оң зарядтардың бір жаққа, теріс зарядтары екінші жаққа ығысуы пайда болған диэлектрикті *поляризацияланған* деп, ал құбылыстың өзін — *диэлектриктің поляризациясы* деп атайды.

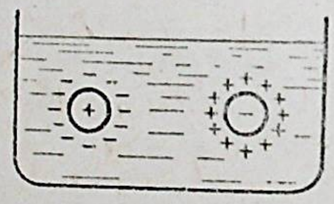
Осыған қарағанда диэлектрикті екіге бөліп, ондағы оң зарядтарды теріс зарядтардан айыруға болмайтындығы анық көрінеді. Диэлектрикті сыртқы өрістен алыстатып әкеткенде дипольдердің ретпен орналасуы, жылулық қозғалыстың әсерінен жоғалып кетеді.

21. Индукция құбылысынан туатын салдар. *1) Өткізгішті индукция арқылы зарядтау.* Өткізгішті жеке атап айтқанда электроскопты индукция арқылы зарядтау үшін өткізгішке ықпалдаушы денені жақындатып, лезде өткізгішті жермен қосып (саусақты тигізіп), жерден қайта ажыратып, ықпалдаушы денені алыстатып әкету керек. Өткізгіш ықпалдаушы зарядпен әр атты болып зарядталады және неғұрлым ықпалдаушы өткізгіш жақын келтірілген болса, солғұрлым заряд үлкен болады.



21-сурет. Әр атты зарядтардың тартылуы аттас зарядтардың бірін-бірі тебуінен артық.

2) Зарядталған дененің жеңіл денелерді тартуын түсіндіру. Жіпке ілулі тұрған шарикке зарядталған денені жақындатқанда шариктің жақын жағында ықпалдаушы дененің зарядына әр атты, қашық жағында онымен аттас заряд пайда болады (21-сурет). Шариктегі әр атты заряд денедегі зарядқа тартылады, аттас заряд — тебіледі. Әр атты заряд, аттасқа қарағанда жақынырақ, сондықтан тарту тебуден күшті болады, сонымен, шарик ықпалдаушы денеге тартылады Шарик зарядталған денеге тигенде, әр атты зарядтар (жасаушы және жасалушы) өзара нейтралданып, жалғыз аттас заряд қалады, сондықтан өзіне тиген дененің электріндей электрмен электрленіп шарик тебіледі.



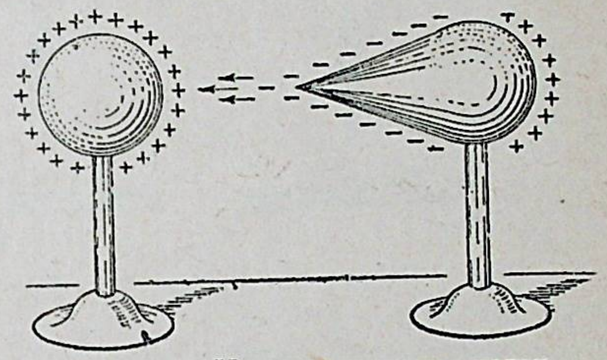
22-сурет. Диэлектриктің поляризациясы зарядталған денелердің өзара әсер күшін азайтады.

3) Диэлектриктің ішіне қойылған электрленген денелердің өзара әсері. Егер екі әр текті зарядталған өткізгіштерді бір диэлектриктің ішіне қойсақ, мәселен, керосинге, майға, еріген күкіртке, тағы басқаларға, онда индукция бойынша диэлектрик поляризацияланады (22-сурет). Оң зарядталған дененің бетіне диэлектриктің молекулалық дипольдарының теріс зарядтары орналасады, теріс зарядталған дененің төңірегіне дипольдардың оң зарядтары орналасады.

Диэлектриктің поляризациялануынан әр дененің дипольдары әр атты зарядтармен қоршалғандықтан диэлектриктегі зарядталған денелердің өзара әсері бостықтағы өзара әсерімен салыстырғанда азаюы керек.

Кулон формуласындағы диэлектриктің электрлік қасиетін сыйпаттайтын бөлгіштің пайда болуы, яғни бос орындағыдан гөрі диэлектриктің ішінде зарядтың өзара әсерінің кем болуы осы поляризация құбылысымен түсіндіріледі.

4) Индукция кезінде өткізгіштегі сүйір ұштың ролі. Егер индукция әсері түскен зарядсыз өткізгіштің ықпалдаушы дене жаққа қарап тұратын сүйір ұшы болса, ол сүйір ұшта пайда болған әр атты заряд, тығыздығы көп болғандықтан, ол жерде сақталып қала алмайды. Заряд сүйір ұштан аққан тәрізденеді (23-сурет), ықпалдаушы денеге тартылып, оның зарядының тиісті бөлімін нейтралдайды. Нәтижесінде ықпал тигізетін дене бірте-бірте зарядынан айрылады, сүйірлі дене сондай таңбалы зарядпен зарядталып қалады.



23-сурет. Изоляцияланған тағандағы сүйір ұш оған жақындатып әкелген зарядталған өткізгішті зарядсыздайды.

Егер сүйірлі дене жерге қосылса оның заряды (ықпалдаушы дененің зарядымен салыстырғанда онымен аттас) жерге кетеді де, оның бар мәні — зарядталған көршілес өткізгіштерді зарядсыздандыру[1]) болып шығады.

5) Жай қайтарғыштың маңызы. Жай қайтарғыш[2]) — үйдің үстіне жоғары шығарып орнатылған ұшкір өткізгіш; оны жақсы өткізетін металл арқылы жердің су жүретін яки дымқыл қабаттарымен жалғастырады. Жермен қосылған сүйір ұштардың маңызы туралы түсінік бойынша, бұл құрал үстінен өтетін зарядталған бұлттарды зарядсыздандырады. Атмосферадағы электр құбылыстарын, Г. В. Рихманмен бірлесе отырып, зерттеген және оған түсінік берген М. В. Ломоносов. Рихман күшті зарядты зерттеп жүргенде жәй соғып қаза тапқан.

22. Электрофор. Бір рет заряд берілгеннен кейін ұзақ уақыт заряд шығарып беріп тұратын құрал индукция құбылысына негізделіп істелген.

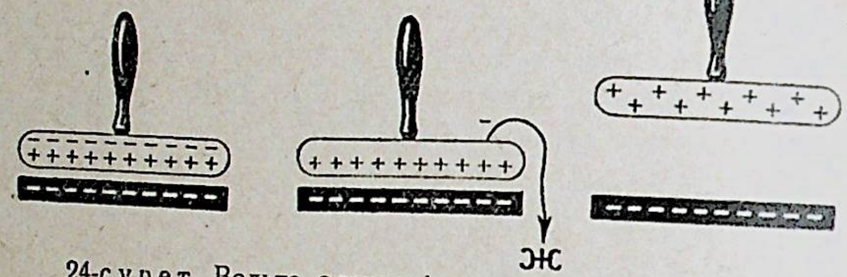
---

[1]) Мұнда құбылыстың сыртқы көрінісі айтылған. Шынында, сүйірдегі заряд әсерінен ауада пайда болған, сүйірдегіге қарсы зарядталған ұсақ бөлшектер (100-§ ті қара) сүйірге тартылады, олар сүйір зарядын нейтралдайды, сүйірмен бірдей зарядталған бөлшектер ықпалдаушы денеге тартылып, оның зарядын нейтралдайды.

[2]) Бұл бұрын «жай тартқыш» деп аталатын; бірақ мұның қызметі жайды тарту емес түсірмеу, сондықтан «жай қайтарғыш» деген аты дұрысырақ.

Құралды ойлап шығарған Вольта; оны электрофор деп атайды. Электрофор өткізбейтін дөңгелектен (эбонит, смола, күкірт және сол сияқтылардан) жасалады; дөңгелектің үстіне изоляцияланған тұтқалы, аласа, іші қуыс металл дөңгелек қойылады (24-сурет).

Түбітті терімен немесе шұға кесегімен төменгі дөңгелекті — изоляторды үйкелесе, ол теріс электрленеді. Оның үстіне изоляциялайтын тұтқасы бар дөңгелек қойылады. Беті бұдыр болғандықтан дөңгелектің өте аз нүктелері ғана изоляторға тиеді де, басқа қалған жері одан ауа аралықпен жекеленеді. Индукция бойынша дөңгелектің төменгі бетінде ықпалдаушымен аттас емес — оң, үстіңгі



24-сурет. Вольта электрофорының әсерінің схемасы.

бетінде ықпалдаушымен аттас — теріс заряд жасалады. Металға лезде қол тигізіп аттас зарядты жерге жібереді; дөңгелекті көтеріп алғанда ондағы электр сақталып қалады да, онымен басқа денелерді электрлеуге болады.

Өткізгішті изоляцияланған дөңгелекке тағы қойып, сол операцияны қайталай отырып, изоляторды бір рет зарядтаумен-ақ, өткізгіш дөңгелектен әлденеше рет зарядтар шығарып алуға болады.

Өткізгішті және изоляторды айырған сайын, бірін-бірі тартып тұрған әр атты зарядтарды айыруға жұмыс шығындалады. Осы айыруға жұмсалған механикалық энергия есебіне өткізгіште потенциал электр энергиясы туады.

23. Электр машинасы. Электрофор принципі бойынша үздіксіз заряд беріп тұратын Уимшерст электрофор машинасы деп аталатын машина жасалған (25*а*-сурет).

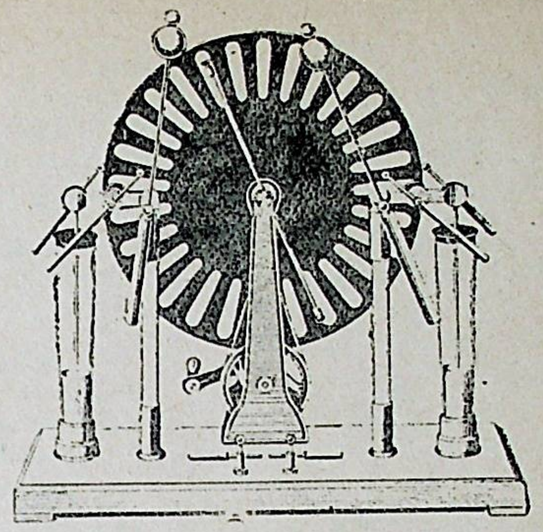
Ол қарама-қарсы бағыттармен бір тұтқамен айналып тұратын өткізбейтін екі дисктен құралады. Әр дисктің сыртқы жағына көп етіп, қалайы фольга тілімдері жапсырылған. Әр жағынан айналу осіне металл өткізгіш кигізілген; сының екі ұшына, қалайы астарларға тиіп тұратын металл шашақтар орнатылған. Горизонталь диаметр бойымен екі дөңгелекті де екі тарақ орап тұрады, олардың әрқайсысы разрядтық шарикпен ұштасатын жылжымалы жеке өткізгішпен қосылған. Бұл шариктерді (изоляцияланған сап арқылы) арасын жақындатып, алыстатуға болады.

25б-суретте дисктер мен астарлардың қаймалары — дисктер дөңгелек түрінде, астарлар тік төрт бұрыш түрінде көрсетілген. A_1 A_2 станиол астарлары бар диск сағат тілінің бағытымен айналады; B_1, B_2 астарлары бар екінші диск сағат тілінің бағытына қарсы айналады; E_1, E_2 және F_1, F_2 металл шашақтар, бұлар өткізгіш арқылы жермен жалғастырылған; ол өткізгіштер дөңгелектің диаметріне параллель болып, машинаның айналу ссіне кигізілген. K_1 мен K_2 разрядтық шариктері S_1 мен S_2 тарақтармен жалғастырылған.

B_1 астары F_1 шашаққа үйкелгендіктен азғантай оң заряд алады дейік. Дөңгелек сағат тіліне қарсы бағытпен айналған кезде, B_1 бірте-бірте B_2, B_3 орынға келеді. Бұл жайда ол жермен жалғастырылған A_1 астарына қарсы келеді,

бұл астарға әсер арқылы оң заряд жыйналады. Ішкі дөңгелек сағат бағытына қарай айналған кезде, A_1 де пайда болған заряд бірте-бірте A_2 мен A_3 орынға келеді; заряд A_3 қалыпта тұрғанда сыртқы цилиндрдің қарсы астарына тағы да теріс заряд қоздырады.

Сыртқы астардағы әсер арқылы қоздырылған теріс заряд, бірінші зарядқа ұқсап B_1 ден B_2 және B_3 орындарына қарай ауысып қозғалады да, бұл жерде ол ішкі астарға тағы да әсер арқылы оң заряд қоздырады. Сонымен F тың жанындағы сыртқы астарларда теріс электр үздіксіз пайда болып, солға қарай кетіп отырады, ал сол уақытта E ның жанындағы ішкі астарларда әсер арқылы оң заряд қоздырылып, ол оңға қарай кетіп отырады.



25*а*-сурет. Уимшерстің электрофор машинасы.

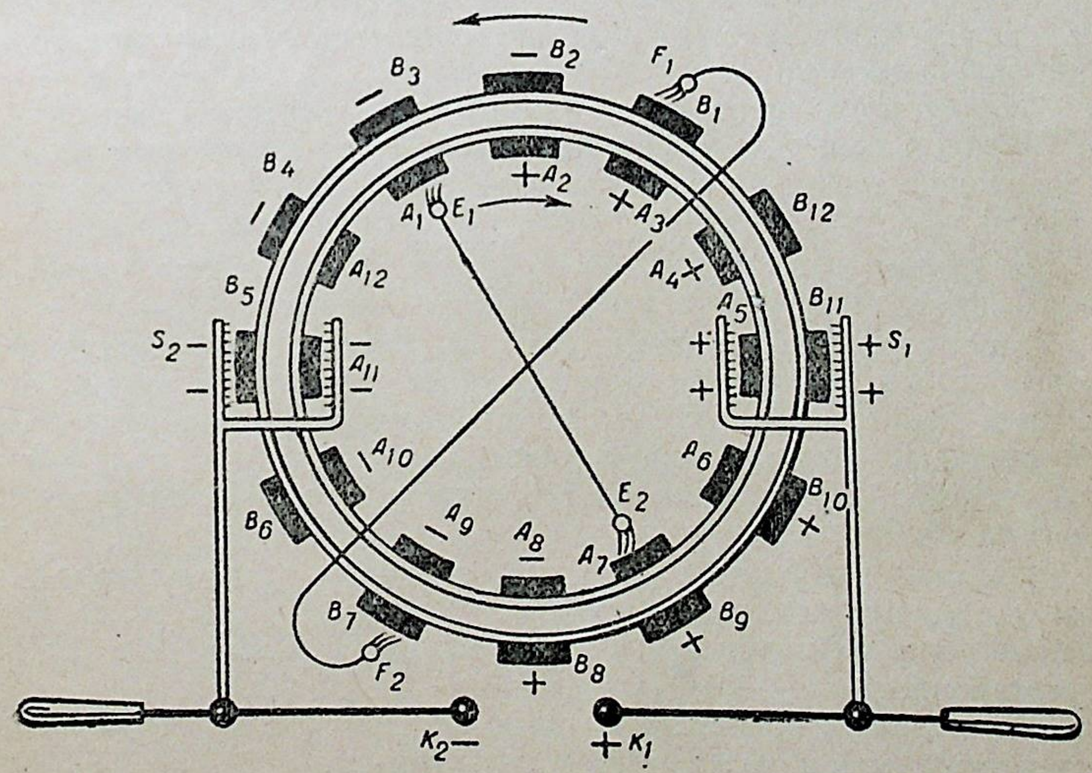
Осы ретпен қозғала бергенде ішкі астардағы оң зарядтар индукция бойынша және сүйірлердің қасиеті бойынша S_1 тарақты зарядтап, ол арқылы разрядтық K_1 шарикті зарядтайды.

Сыртқы астарлардағы теріс зарядтар дәл осы ретпен S_2 тарақты және K_2 шарикты теріс электрмен зарядтайды.

Потенциал айырмасы жеткілікті болғанда, K_1 мен K_2 нің арасынан ұшқын шығуы мүмкін.

Дөңгелектердің төменгі жартысының қызметі де жоғарғы жартысынікіндей болады. E_2 нің жанындағы A_7 де теріс зарядтар, ал F_2 нің жанындағы B_7 де оң зарядтар пайда болады; бұлар да тарақ арқылы зарядтық шариктерге жеткізіледі.

Дөңгелектерді айналдырғанда жұмсалған механикалық жұмыс астарлар



25б-сурет.

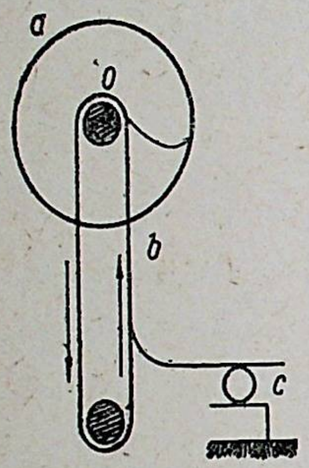
өткеннен кейінгі, B_1 B_7 мен A_1 A_7 дегі потенциалды жоғарғы дәрежеге көтеруге кетеді де, осыдан зарядтар S_1 мен S_2 жанындағы ұштарға көше алатын болады.

Түрлі эксперименттік, техникалық (мәселен медициналық) мақсаттар үшін осы зарядтармен пайдалануға болады.

Астардың алғашқы заряды қайдан алынады?

Бастау үшін бұрынғы зарядтан қалған өте аз заряд қалдығы жеткілікті; кейін бірте-бірте осы заряд күшейе береді. Сонымен машина өзін-өзі зарядтайды.

Ван-дер-Грааф машинасы. Ван-дер-Граафтың машинасы, зарядталған дөңгелек куыс өткізгіштің ішкі бетіне тигенде оған өзінің барлық зарядын беретініне негізделген. 25*b*-суретте бұл машина құрылысының қиймасынан салынған схемасы көрсетілген. Шкив *a* жерден изоляцияланған куыс металл шардың қиймасы. Жіңішке саңлау арқылы шардың ішіне шексіз *V* лента кіреді, ол лента екі ролик-те айналады. Шардың сыртқы жағында лента, ток көзінен, мысалы электр машинасынан (С) 50 000 *в* кернеуге дейін зарядталады. Лентаның зарядталған бөлігі, шардың ішіне кірген соң, оған өзінің барлық зарядын береді. Сондықтан шардың заряды және оның потенциялы жермен салыстырғанда үздіксіз өсе береді де, потенциал бірнеше миллион вольтке жете алады. Мұндай машина атомдық ядроларды ыдырату жөніндегі тәжрибелерде қолданылады.



25*b*-сурет.

23а. Пьезоэлектр. Пироэлектр. Кейбір диэлектриктердің кристалдары механикалық деформацияға (сығылу мен созылуға) ұшырағанда электрленеді. Деформация кезінде кристалдың қарама-қарсы жақтарында әр аттас зарядтар өнеді. Сығуды созумен алмастырғанда және керісінше алмастырғанда зарядтардың таңбалары өзгереді.

Мұндай құбылысты пьезоэлектр[1]) құбылысы деп атайды.

Механикалық әсер түскен кезде кристалды диэлектрикте поляризация пайда болады; пьезоэлектр құбылысы осымен түсіндіріледі.

Пьезоэлектр құбылысы, кварц, қант, цинк обманка, сегнет тұзының кристалдарында өте-мөте күшті байқалады.

Егер кварц пластинканың (не сол сияқты басқа кристалдың) қарама-қарсы жақтарына қарама-қарсы зарядтарды әкеліп тигізсе, онда кері эффект байқалады: пластинканың қалыңдығы деформацияланады. Егер сондай пьезокварцты айнымалы ток көзінің полюстерімен қосса, онда ол (пьезокварц) өзінің қалыңдығының жөнімен тербелетін болады.

Ақырында, диэлектриктердің кристалдарын оларды жылыту немесе суыту арқылы да электрлеуге болады. Бірінші және екінші жағдайларда кристалдың бір ғана басында қарама-қарсы таңбалы зарядтар өнеді.

Диэлектриктің кристалында оның температурасын өзгерткен кезде шығатынды пироэлектр[2]) деп атайды.

[1]) Пьезо — грек сөзі — қысамын деген.
[2]) Пюр — грекше — от.

Пироэлектр дегеніміз пьезоэлектрдің өзгерген түрі: кристалды біркелкі қыздырмаған кезде оның ішінде серпімді керілу пайда болады; ал, бұл бір жақты сыртқы қысымға сәйкес келеді. Осының салдарынан диэлектрик поляризацияланады.

24. Электр сыйымдылық. Зарядталған денелердің барлығынан да өте алыста тұрған түрлі өткізгіштерді бірдей мөлшерлі электрмен зарядтап (мысалы, электрофордан), олардың потенциалдарын өлшейміз. Электрометр олардың потенциалдарының әртүрлі екенін көрсетеді. Түрлі өткізгіштерді бірдей потенциалға жеткізу үшін түрлі мөлшерде электр керек. Түрлі өткізгіштің осы қасиетін сыйпаттау үшін электр сыйымдылық деген ерекше шама кіргізіледі. *Өткізгіштің электр сыйымдылығы, өткізгіштің потенциалын бір өлшемге өзгертетін зарядтың шамасымен өлшенеді.*

Егер өткізгіштің зарядын q, оның потенциалын V, электр сыйымдылығын C арқылы белгілесек, сонда потенциалдың әр өлшеміне $\frac{q}{V}$ заряд келеді де, сонда сыйымдылықтың анықтамасы бойынша мындай өрнектер шығады: .

$$\boxed{C = \frac{q}{V},} \quad q = CV \text{ және } V = \frac{q}{C}. \qquad \text{(IV)}$$

Өткізгіштің электр сыйымдылығы оның формасы мен үлкен, кішілігіне байланысты болады. Формасы, үлкендігі бірдей тұтас және куыс өткізгіштердің электр сыйымдылығы бірдей болады. Осыдан өткізгіштің массасы оның электр сыйымдылығына әсер етпейтінін көреміз. Формасы мен үлкендігі бірдей, бірақ, түрлі заттан істелген өткізгіштердің электр сыйымдылығы бірдей болады. Сонымен, электр сыйымдылық өткізгіштің затына да байланысты емес.

25. Электр сыйымдылықтың өлшемі. Электр сыйымдылықтың *CGSE* системасындағы өлшемін шығарып алу үшін, алдыңғы формуладағы q ны *CGSE* заряд өлшеміне тең деп, V ны *CGSE* потенциал өлшеміне тең деп аламыз, сонда сыйымдылық өлшемі:

$$\frac{\text{заряд өлшемі}}{\text{потенциал өлшемі}}\ CGSE \text{ болады.}$$

Сонымен, *сыйымдылықтың электростатикалық өлшеміне 1 CGSE заряд потенциалын 1 CGSE өзгертетін өткізгіштің сыйымдылығы алынады.*

Ондай өткізгіш радиусы 1 *см* ге тең шарик болады. *CGSE* системасындағы сыйымдылықтың өлшемі «сантиметр» деп аталады.

Электр сыйымдылықтың практикалық системадағы өлшемін тағайындау үшін $q = 1$ кулон, $V = 1$ вольт деп алу керек, сонда:

$$C = \frac{1 \text{ кулон}}{1 \text{ вольт}} = 1 \text{ кулон/вольт.}$$

Бұл өлшемді фарада деп атайды.

Сонымен, *сыйымдылықтың фарада деп аталатын практикалық өлшеміне 1 кулон заряд потенциалын 1 вольтке өзгертетін өткізгіштің сыйымдылығы алынады.*

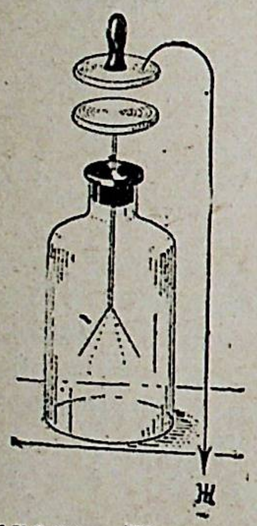
Фарада өте ірі өлшем болғандықтан әдетте сыйымдылық фараданың миллиондық үлестерімен өлшенеді. Фарадының миллиондық үлесін микрофарада деп атайды.

Фараданы *CGSE* сыйымдылығымен салыстыру үшін, кулон мен вольт орнына CGSE өлшемін қою керек.

$$\text{Фарада} = \frac{\text{кулон}}{\text{вольт}} = \frac{3\cdot 10^{9} CGSE}{\frac{1}{300}\ CGSE} = 9\cdot 10^{11} CGSE = 9\cdot 10^{11}\ см.$$

Микрофарада $9\cdot 10^{5}$ *см* ге тең.

26. Өткізгіштің электр сыйымдылығы басқа өткізгіштердің көршілестігіне тәуелді. Электроскоп шарығінің орнына дөңгелек металл пластинканы қойып, белгілі бір оң потенциалға шейін электроскопты зарядтайық. Потенциалды электроскоптың жапырақшаларының ашылуы көрсетеді.



26-сурет. Жерге қосылған металл дөңгелекті жақындатқан кезде электроскоптың сыйымдылығының өзгеруі.

Электроскопқа жерге қосылған екінші дөңгелек металл пластинканы жақындатайық; электроскоптың жапырақшалары түсе бастайды; сонда жерге қосылған өткізгішті (26-сурет) неғұрлым жақын әкелсе, соғұрлым жапырақшалардың түсуі де артатын болады. Жапырақшалардың түсуі потенциалдың азайғандығын көрсетеді. Электроскоптың заряды өзгермейді.

Заряд өзгермей тұрған кездегі потенциалдың азаюы, сыйымдылықтың үлкейгендігін көрсетеді, оны (IV) формуладан байқауымызға болады.

Егер өткізгішті электроскопқа жақын ұстап, дөңгелектер арасындағы ауа аралыққа парафин, эбонит, шыны, слюда пластиналарды қойсақ, жапырақшалардың түсуі күшейе береді; бұл электроскопқа пластинканың жалпы сыйымдылығының әр жолы өсе беретіндігін көрсетеді.

Осы тәжрибеге қарағанда, *өткізгіштің электр сыйымдылығы сол өткізгіштің жалғыз өзіне ғана байланысты емес, ол басқа өткізгіштердің, әсіресе жерге қосылған өткізгіштердің жақындығына және айналадағы диэлектриктің қасиетіне байланысты екендігі көрінеді.*

Өткізгіш сыйымдылығының өзгеруі айналадағы өткізгіштердегі индукция құбылысынан болады.

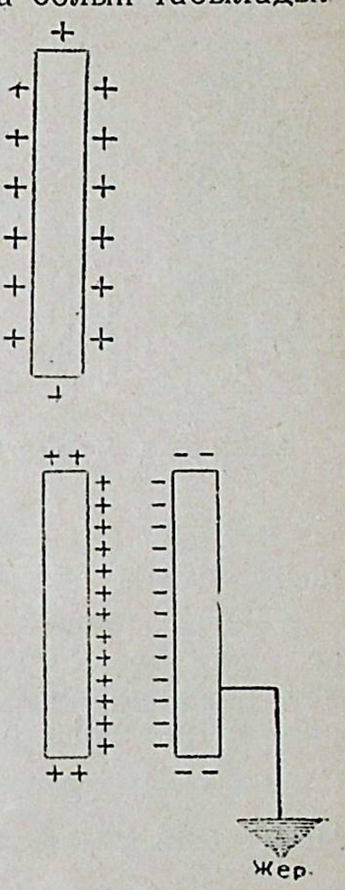
Қарастырып отырған өткізгішті қоршаған денелер алдын ала зарядталмаған болсада, өткізгішті зарядтағанда, олар да әсер арқылы зарядталып өткізгіштің потенциалын өзгертеді. Бірақ бұл

жағдайда да потенциалдың өзгеруі зарядтың өзгеруіне пропорционал болады, сондықтан мұнда да сыйымдылықтың жоғарыда айтылған анықтамасы дұрыс болып қалады. Іс жүзінде, сыйымдылығы айналадағы денелерге байланыссыз өткізгіштер системасын жасауға болады. Конденсаторлар осындай система болып табылады.

Егер изоляцияланған пластинканы электрмен зарядтаса, заряд оның екі бетіне бірдей тарайды (27-сурет).

Егер оған жерге қосылған басқа пластинканы жақындатса, біріншінің заряды және екіншінің индукцияланған заряды әр атты болғандықтан, бірін-бірі тартады да, заряд екі пластинканың ішкі жақтарына жыйыла бастайды. Жерге қосудағы мақсат — берілген пластинканың қарсы зарядын жерге жіберу. Бірінші өткізгіштің потенциалының кемуі оның қасында әр атты индукцияланған зарядтың тұруынан.

27. Конденсатор. Изоляцияланған пластинкаға жерге жалғастырылған екінші пластинканы жақындатып, біз жоғарыда көргендей, бірінші пластинканың сыйымдылығын арттыруымызға болады; ал енді потенциалы бұрынғысындай болса да, электрді көбірек мөлшерде сыйғыза алады. Сондықтан, бірі изоляцияланып, екіншісі жерге жалғастырылып[1]), арасы диэлектрикпен бөлінген екі пластинканың жыйнағын конденсатор[2]), яки қойылтқыш деп атайды.



27-сурет.

Конденсатордың жұмсалатын бір орны[3]) — изоляцияланған пластинкаға, берілген потенциалда екінші пластинка жоқ болғандағыдан гөрі көбірек заряд жыйнау.

Конденсатор құрылыстарына қарай бірнеше түрге бөлінеді, жазық және цилиндр түрлері көбірек қолданылады.

Жазық конденсатор диэлектрикпен бөлінген екі пластинкадан құралады. Оның түрі және зарядталу схемасы 27-суретте көрсетілген.

Теория жазық конденсатордың сыйымдылығы үшін төмендегі формуланы береді. Егер пластинканың ауданын S *см*^{2} арқылы, пластинкалар арасының қашықтығын l *см* арқылы, заттың диэлектрлік өтімділігін ε арқылы, конденсатор сыйымдылығын C арқылы белгілесек, сонда мынадай формула шығады:

$$C = \frac{\varepsilon S}{4\pi l}.$$

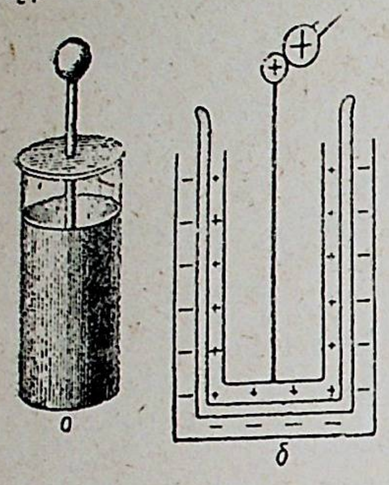
Осыдан, жазық конденсатордың сыйымдылығы: 1) пластинка-

[1]) Конденсаторды қолданған жағдайлардың барлығында жермен жалғастыру шарт емес.

[2]) Латын сөзі condensare (конденсаре) — қоюландыру.

[3]) Конденсаторлар айнымалы ток техникасында да қолданылады

лардың ауданына тура пропорционал, 2) олардың арасының қашықтығына кері пропорционал және 3) диэлектрлік өтімдікігіне тура пропорционал болатындығын көреміз.



28-с у р е т. Лейден банкасы.

Жиі қолданылатын конденсатордың екінші түрі Лейден банкасы[1]).

Оның сыртқы түрі және зарядталу схемасы 28*а*-және 28*б*-суреттерде көрсетілген.

Лейден банкасы ішінен және сыртынан станиолмен (жұқа қалайымен) қапталған шыны цилиндрден (я қыйық конустан) құралады. Осы станиол жапырақтары банканың астарлары деп аталады. Ішкі астар, ұшы сыртқа шығып шарик болып біткен, стерженьмен қосылған. Банканы зарядтағанда зарядталған денені стерженьге тигізеді, сонымен қатар сыртқы астарды жерге қосады.

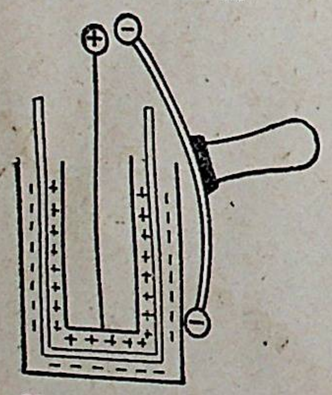
Лейден банкасының сыйымдылығын жуықтатып есептеп шығару үшін жазық конденсатор формуласын пайдалануға болады.

Конденсаторды бір рет ауа аралықпен алып (анықтап айтқанда, астарлар арасын бос қалдырып), екінші жолы аралықты кезкелген диэлектрикпен толтырғанда, конденсатордың пластинкалар аралығын диэлектрикпен толтырған жағдайдағы сыйымдылығы $C = \frac{\varepsilon S}{4\pi l}$ мен пластинкалар аралығы бос (ауасыз) болған жағдайдағы сыйымдылығы $C_0 = \frac{\varepsilon S}{4\pi l}$ ның қатнасы былай өрнектеледі:

$$\frac{C}{C_0} = \varepsilon,$$

мұнда ε диэлектрлік өтімділігін көрсетеді.

Бұл қатыс, түрлі заттардың қатты, сұйық және газ тәрізді күйдегі диэлектрлік өтімділігін өлшеуге мүмкіндік береді.


29-с у р е т. Разрядникпен лейден банкасын разрядсыздандыру схемасы.

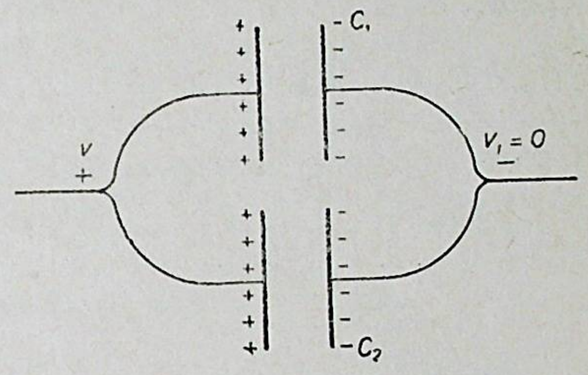
Конденсаторды разрядтау үшін разрядник деп аталатын изоляцияланған тұтқасы бар доға тәрізді өткізгішпен пайдаланады.

Конденсаторды разрядтау үшін разрядниктің бір ұшын сыртқы астарға, екінші ұшын ішкі астарға қосады (29-сурет). Разрядник пен астардың арасындағы белгілі бір қашықтықта, екеуінің арасынан ұшқын шығады да (ұшқын шығудың себебін 103-§ тан қара), конденсатор зарядсызданады.

[1]) Бұл конденсатор бірінші рет Лейден деген қалада жасалған, сондықтан сол қаланың атымен аталған.

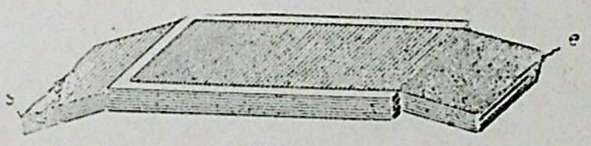
28. Конденсаторлар батареясы. Жұқа шыныдан жасалған биіктігі 40 *см* және диаметрі 15 *см* үлкен лейден банкаларының сыйымдылығы да 0,001 микрофарада шамасындай болады. Үлкен сыйымдылық шығарып алу үшін бірнеше жеке банкаларды қосады. Бірнеше банкалардың қосылуын конденсатор батареясы деп атайды. Әдетте барлық сыртқы астарлары өзара бір бөлек, барлық ішкі астарлары бір бөлек қосылады. Осылай қосуды параллель қосу деп атайды.

Екі конденсатордың параллель қосылуының схемасын қарайық (30-сурет). Егер сыртқы астарлар жерге қосылған болса; өзара қосылған екі сыртқы астарлардың потенциалы бірдей және нольге тең. Ішкі екі астарлардың да V потенциалдары бірдей болады.



30-с у р е т. Екі конденсаторды параллель қосудың схемасы.

Сонда бірінші конденсатордың заряды $q_1 = C_1 V$; екіншінікі $q_2 = C_2 V$ болады. Батареяның толық заряды $Q = q_1 + q_2 = (C_1 + C_2)V$; мұнда C_1 және C_2 — жеке конденсаторлардың сыйымдылығы болады. Батареяның сыйымдылығын C арқылы белгілеп, негізгі формула бойынша $Q = CV$ деп жазамыз. Алдыңғы екі формуланы салыстырып мынаны табамыз:


31-с у р е т. Жазық конденсаторлардың батареясы.

$$C = C_1 + C_2. \qquad (V)$$

Конденсаторларды параллель қосып батарея жасағанда, оның сыйымдылығы барлық конденсатордың сыйымдылығының қосындысына тең болады.

Жазық конденсаторлар батареясы өте оңай жасалады, орынды аз алады, сондықтан ол техникада, атап айтқанда радиотехникада қолданылады (31-сурет). Осындай конденсаторлар батареясы, арасына парафиндаған қағаз салынған, станиол жапырақтарынан құралады. Барлық тақ жапырақтарды (s) өзара қосып, бір астар жасайды. Барлық жұп жапырақтарды (e) өзара қосып, екінші астар жасайды. Жазық конденсаторлар батареясының көлемдері кішкене болған кездің өзінде де олардың сыйымдылығы бірнеше ондаған микрофарада[1]) бола алады.

[1]) Парафиндаған қағаздың орнына басқа диэлектриктерді, мысалы, слюда, миканит (слюданың шеллакпен қоспасы) қолданады, олардың қалыңдығы станиолдардікімен бірдей болған кезде де тесілмей, потенциалдардың үлкен айырмасына шыдайды. Қалыңдығы 1 *см* слюда 600 000 вольтта, миканит 350 000 вольтта, парафин 300 000 вольтта, эбонит 100 000 вольтта тесіле бастайды.

93360

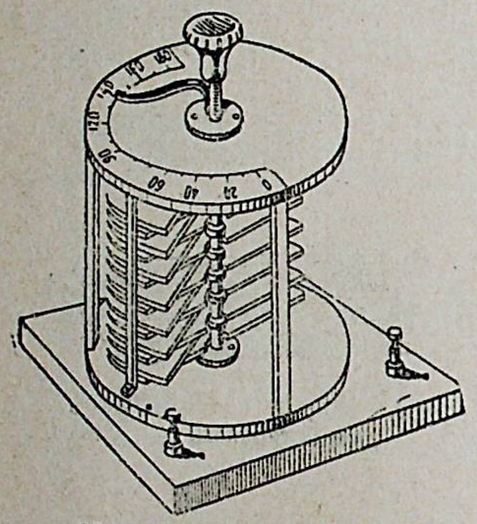
КССР Ғылым академиясы

Сыйымдылығы айнымалы конденсаторлар батареясы. Ғылми зерттеулерде және техникада, әсіресе радиотехникада, конденсаторлар батареясының құрылысын, сыйымдылығын қалағанымызша үздіксіз өзгертуге болатын етіп істеу керек. Осы мақсатпен батареяның құрылысын айрықша етіп істейді (32 және 182а-сурет).

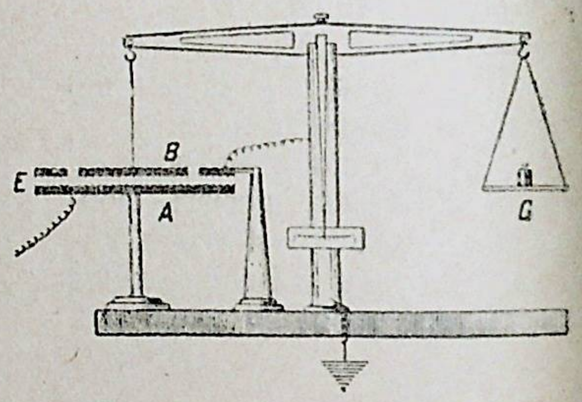
Тақ пластинкаларды қозғалмайтын етіп бекітеді, жұп пластинкаларды оське орнатады, жұп пластинкалар қозғалмайтын пластинкалардың арасына азырақ та, көбірек те кіріп тұратын етіп істелінеді. Осыдан, батареяның составына кіретін конденсаторлардың әрқайсысының ауданы, сондықтан олардың сыйымдылығы өзгеріп тұрады. Жылжымалы пластинкалардың жылжып кіре беруі батареяның сыйымдылығын үлкейтеді.

29. Электрометрді градуирлеу. Жазық конденсатордағы зарядтардың өзара әсеріне негіздеп, потенциалдар айырмасын абсолют өлшеммен өлшеуге болады.

Конденсатордың бір пластинкасынан ойылып алынған B дөңгелек таразының ілгегіне ілінген (33-сурет).



32-сурет. Сыйымдылығы айнымалы конденсатор.



33-сурет. Абсолют электрометр.

Дөңгелек B, пластинканың дөңгелекті ойып алғаннан кейін қалған сақиына сыяқты жоғарғы бөлігі және таразы осы үшеуі жермен қосылған. Төменгі A пластинка потенциялы өлшенетін өткізгішпен қосылған. Зарядталған төменгі пластинка B дөңгелегін өзіне тартады. Бұрынғы күйіне келтіру үшін, таразының екінші табағына тиісті ұсақ кірлер салады. Ұсақ кірлердің G салмағы B дөңгелегінің тарту күшін өлшейді. Бұл тарту күші конденсатордың сыйымдылығына, дөңгелектің потенциалына және A мен B пластинкаларының аралығының қашықтығына байланысты. Ендеше, тартылу күшін өлшеп және сыйымдылық пен пластинкалардың аралығының қашықтығын білсек, потенциалды есептеп шығуға болады. Сонымен, абсолют электрометр деп аталатын осындай таразы арқылы қалаған өткізгіштің потенциалын өлшеуге болады.

Абсолют электрометрмен пайдаланып, стрелкасының көрсетуіне қарап потенциалды бірден анықтауға болатындай етіп электрометрлерді градуирлеуге болады.

4 жаттығу.

1. Жеңіл денелер жермен қосылған таянышта жатқанда, олардың электрленген денеге тартылуы күштірек болатын себебі не?
2. Потенциалды өлшегенде өткізгіш пен электроскопты неге ұзын сыммен қосу керек?
3. Өлшеулері 5 *см* × 3 *см*, жазық конденсатордың парафиннан (слюдадан

яки ауадан) тұратын изоляциялаушы қабатының қалыңдығы 0,2 *мм* болса, конденсатордың сыйымдылығы неге тең?

Жауабы: Ауа үшін $6{,}6 \cdot 10^{-5}$ микрофарада.

4. Лейден банкасының диаметрі 15 *см*, астарларының биіктігі 25 *см*, шынысының қалыңдығы 5 *мм*. Осының сыйымдылығын есептеп шығарыңдар; шыны үшін $\varepsilon = 5$.

Жауабы: 937,5 *CGSE* өлшем сыйымдылық.

5. 0,01 микрофарада алу үшін осындай неше банка алып (4-есеп) параллель қосу керек?

Жауабы: 9.

6. Жазық конденсаторлардан жасалған батареяның өлшеулері мынадай: ұзындығы 5 *см*, ені 5 *см*, биіктігі 3 *см*, станиол жапырағының қалыңдығы 0,001 *см*, парафиндалған қағаздың қалыңдығы 0,002 *см*. Батареяның сыйымдылығы қандай?

7. 1 микрофарадалық эталон қалыңдығы 0,1 *мм* слюда жапырақтарымен бірнеше қабат жұқа станиол жапырақтарынан істеледі. Осындай конденсатордың беті неге тең болады?

8. Электр сыйымдылығы мен жылу сыйымдылығының ұқсастығының және айырмасының белгілерін көрсетіңдер.

9. Оң заряды бар изоляцияланған өткізгіш алынған. Осы өткізгіш пен оның заряды кемімейтін етіп, изоляцияланған екі шардың біреуін оң, біреуін теріс қалай зарядтауға болады?

10. Өткізгіш заттан істелген екі шардың диаметрлері бірдей. Бұлардың біреуінің іші қуыс, екіншісі бітеу. Егер екі шарға бірдей заряд берілсе, бұл екі шардың потенциалдары тең бола ма?

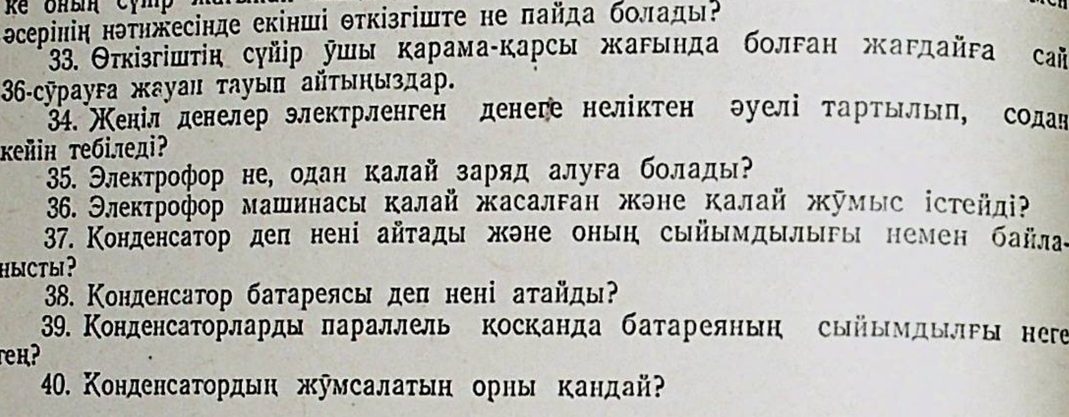
ОҚУШЫЛАРДЫҢ БІЛІМІН ТЕКСЕРУГЕ АРНАЛҒАН СҰРАУЛАР

1. Денені электрлеу деп нені атайды?
2. Денені қандай әдістермен электрлеуге болады?
3. Электрді өткізгіш және өткізбейтін дене деп нені атайды?
4. Ысылған екі дене қалай электрленеді?
5. Кулон заңы деген не?
6. Заттың диэлектрлік өтімділігі деп нені атайды?
7. Электр мөлшерінің *CGS* электростатикалық өлшемі қалай белгіленген?
8. Электрдің электростатикалық өлшемі мен кулон арасында қандай қатыс бар?
9. Өткізбейтін денеге және өткізгішке электр қалай таралады?
10. Электрдің көлемдік тығыздығы деп нені айтады?
11. Беттік тығыздық деп нені атайды?
12. Өрістің кернеулігі деп нені атайды?
13. Өріс кернеулігінің формуласы қандай?
14. Электр өрісінің күш сызықтары деп нені атайды?
15. Потенциал деген не?
16. Өрісте зарядтың орын ауыстыруына жұмсалатын жұмыс неге тең?
17. Эквипотенциал бет деп нені атайды?
18. Бір нүктелік зарядтан жасалған өрістің эквипотенциал беттері қандай болады?
19. CGS системасында потенциал өлшемі қалай белгіленеді?
20. Вольт пен CGS системасындағы потенциал өлшемі арасындағы қатыс қандай?
21. Екі эквипотенциал беттер арасында зарядтың орын ауыстыруына жұмсалатын жұмыс қалай өлшенеді? Осы жұмыс сол екеуінің арасындағы жол формасына байланысты ма?
22. Потенциалына қатысты зарядталған өткізгіштің беті қандай болады?
23. Электрометр деп нені атайды?
24. Нольдік потенциал үшін не алынады?
25. Екі өткізгіш арасындағы электр қозғалысының бағыты немен байланысты?
26. Кернеу деп нені атайды?

27. Өткізгіштің электр сыйымдылығы деп нені атайды?
28. CGS системасында электр сыйымдылығының өлшемі қалай белгіленіп алынған?
29. Электр сыйымдылығының практикалық өлшемі мен CGS системасындағы электр сыйымдылығының өлшемі араларында қандай қатыс бар?
30. Электростатикалық индукция құбылыстың мәні неде?
31. Электроскопты индукция арқылы қалай зарядтау керек және ықпалдануы денемен салыстырғанда оның заряды қандай?
32. Заряды бар изоляцияланған өткізгіш, сүйір ұшы бар екінші бір өткізгішке оның сүйір жағынан жақындатылған. Сонда сүйір ұштың индукциясы мен әсерінің нәтижесінде екінші өткізгіште не пайда болады?
33. Өткізгіштің сүйір ұшы қарама-қарсы жағында болған жағдайға сай 36-сұрауға жауап тауып айтыңыздар.
34. Жеңіл денелер электрленген денеге неліктен әуелі тартылып, содан кейін тебіледі?
35. Электрофор не, одан қалай заряд алуға болады?
36. Электрофор машинасы қалай жасалған және қалай жұмыс істейді?
37. Конденсатор деп нені айтады және оның сыйымдылығы немен байланысты?
38. Конденсатор батареясы деп нені атайды?
39. Конденсаторларды параллель қосқанда батареяның сыйымдылығы неге тең?
40. Конденсатордың жұмсалатын орны қандай?

II. ЭЛЕКТР ТОГЫНЫҢ ЗАҢДАРЫ.

30. Электр тогы туралы ұғым. Егер зарядталған өткізгішті жермен қосса, оның электр күйі жоғалады. Теріс зарядталған өткізгішті сым арқылы жермен косса (34*а*-сурет), өткізгіштегі артық жыйналған электрондар өзара бірін-бірі тебу салдарынан, бір-бірімен жалғас барлық өткізгіштерге: берілген өткізгішке, жалғастырғыш сымға және жерге тарап орналаса бастайды. Бірақ, басқа өткізгіштердің электр сыйымдылығымен салыстырғанда жердің электр сыйымдылығы өлшеусіз үлкен, сондықтан шынында барлық артық теріс заряд жерге кетіп отырады да, өткізгіш нейтрал күйге түседі.



34-сурет.

Егер оң зарядталған өткізгішті сым арқылы жермен қосатын болсақ (34*в*-сурет), жердің бос электрондары оң зарядқа тартылып, зарядталған өткізгішке, оның оң зарядын нейтралдайтын шамада, электрондар көшетін болады да, өткізгіш тағы да зарядсыз қалады. Электрондардың осылайша орын ауыстыруы, бір зарядталған өткізгішті екінші қарсы зарядталған өткізгішке немесе заряд-

сыз өткізгіштерге қосқанда да болады (34*б*-сурет). Бірақ, бұл айтылған жағдайда бірінші электрленген өткізгіштің заряды біржола жоғалып кетпеуі мүмкін.

Жоғарыда қарастырылған жағдайлардың барлығында да өткізгіштер мен оларды қосатын сымдар арасында электр өрісі пайда болды. Сөйтіп, мұнда да зарядтар электр өрісінде қозғалады.

Электр зарядтарының электр өрісінде бағытталған қозғалысы электр тогі деп аталады. Металдардағы электр тогі бір бағытпен қозғалатын электрондармен жасалады. Кейінірек, электр тогі басқа өткізгіштерде және шала өткізгіштерде тек электрондардың қозғалысы мен ғана жасалып қоймай, оң зарядпен және теріс зарядпен зарядталған басқа да зарядты бөлшектердің қозғалысымен жасалуы мүмкін екенін көреміз.

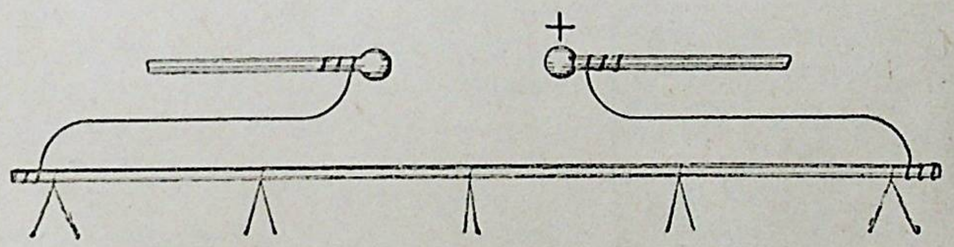
Электр тогінің болуына керекті негізгі шарт — өткізгіште электр өрісінің болуы. Өткізгіште электр өрісінің бар, жоғын потенциалдар айырмасы бойынша анықтауға болады.

Өткізгіштегі электр зарядының қозғалысы, өткізгіштегі электр өрісі жоғалғанша, басқаша айтқанда потенциалдар теңелгенше болып тұрады.

Егер осындай потенциалдар айырмасын үздіксіз туғызып отырса, онда көп уақытқа дейін ток болып тұрады.

Өткізгіштің ұштарында осы айтылғандай потенциалдар айырмасы үздіксіз жаңартылып тұруы үшін, мысалы, ол ұштарды өзара үздіксіз үйкеліп тұратын екі денемен қосуымызға болады.

Электростатикалық тәсілдермен, мысалы, электрофор машинасы арқылы бір өткізгішке оң заряд, екіншіге — теріс заряд беріп отырып, оларды шала өткізгішпен — ұзын дымқыл жіппен (35-сурет) қосып, осы өткізгіштердің арасындағы потенциалдар айырмасын өзгертпей бірқалыпта ұстаса, ток тізбегенің бойын қуалай, потенциалдың үздіксіз өзгеретіндігін байқауға болады. Сонда, тізбектің әр жеріне қағаз электроскоптар іліп, мынаны көруге болады: оң зарядталған өткізгіште жапырақшалардың айрылуы бәрінен үлкен, содан кейін бұрыш бірте-бірте кішірейе беріп, тізбектің ортасында нольге айналады, содан кейін теріс зарядталған өткізгішке жақындаған сайын тағы өсе бастайды. Оң зарядталған таяқшаны пайдаланып, тізбектің бірінші бөлімінде потенциалдар оң, екінші бөлімінде теріс екендігін тағайындауымызға болады.



35-сурет. Тізбектің ұзын бойында потенциалдың өзгеруі.

Электрометрді жіңішке сыммен өткізгіштің зерттелетін нүкте-

сімен қосып, ал электрометрдің қабын жермен қосып, өткізгіштің әр нүктесіндегі потенциалды электрометрмен өлшеуге болады.

Электрометрді тізбектің бір нүктесімен, қабын екінші нүктемен қосып, тізбектің екі нүктесіндегі потенциалдар айырмасын өлшеуге болады.

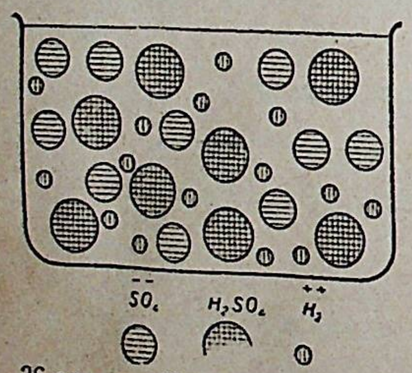
Сонымен, тізбектің барлық ұзын бойында, потенциалдың ең үлкен мәнімен ең кіші мәніне шейін, потенциал үздіксіз кеміп отырады. *Тізбектің кезкелген учаскесінің ұштарының арасында потенциалдар айырмасы болады, осы айырманы тізбек учаскесіндегі кернеу деп атайды.*

Учаскесінің ұштарындағы потенциал айырмасы, яки бәрі-бір, учаскедегі кернеу, әрқашан сан жағынан алғанда, электр мөлшерінің бір өлшемін тізбектің қаралып отырған учаскесінің ұзын бойына қозғап апаруға жұмсалатын ток көзінің жұмысына тең болады.

Үйкелістен және электростатикалық индукциядан басқа, электр зарядтарын ажырататын тағы да химиялық тәсіл бар. Химиялық тәсілмен потенциалдар айырмасын үздіксіз болдыртып отыратын құралдарды химиялық генератор[1]), яки гальвани[2]) элементтер деп атайды. Олардың құрылысы келесі параграфтарда қаралады.

Одан басқа, токтың көзі есебінде тағы да динамомашиналардың қолданылатындығы бастауыш курстан белгілі.

31. Электрлеудің химиялық тәсілі. Түрлі металдардан жасалған екі пластинканы қышқыл яки тұз ертіндісіне салып қойғанда оларда әр текті зарядтар пайда болатындығын 1800 ж. Вольта (1745 — 1827) ашты. Химиялық электрлеу құбылысы осы уақытта заттың электрон теориясы бойынша түсіндіріледі.



36-сурет. Электролиттік диссоциацияның схемасы.

Осы күнгі көзқарас бойынша, электр өткізетін ертіндінің қайсысында болса да, еритін заттың молекулаларының бәрі дерлік еріген кезінде екі бөлікке айырылады (36-сурет). Бұл бөліктердің екеуі де нейтрал бөлшектер емес, оларда тең және әр атты электр зарядтары бар. Молекула бөліктерінің біреуі (сутегінің атомдарынан, металл атомдарынан немесе NH_4 группасынан т. б. тұратын) молекула ыдырап айырыларда электрондарының бір бөлегін жоғалтып оң зарядталып шығады; екінші бөлік артық электрондар алады да, сол мөлшерде теріс электрмен зарядталады. *Өзімен бірге электр зарядын тасыйтын атом, яки атомдар группасы ион*[3]) *деп аталады.*

[1]) *Генератор* — өндіруші.

[2]) Элементтер құрылысының негізі болған құбылыстарға бірінші көңіл бөлген Италия дәрігері Гальванидің (1737—1798) атымен аталған. Бірінші элементті жасаған Вольта атағына вольта элементтері деп атау дұрысырақ болар еді.

[3]) *Ион* — грекше жүруші деген сөз.

Ерігенде молекулалардың иондарға ыдырап бөлінуін электролиттік диссоциация[1]) *деп атайды.*

Ертіндіде иондар да, бүтін молекулалар да бірден жүреді; бұлар жылулық қозғалыста болады.

Ертіндіде бір уақыттың ішінде қарама-қарсы екі процесс бірдей жүреді. Тең мөлшерлі қарсы зарядтармен зарядталған иондар бірін-бірі тартып, жаңадан нейтраль молекулалар болып түзілуі мүмкін (бұл құбылыс молизация деп аталады). Сонымен қатар басқа нейтраль молекулалар иондалып отырады.

Тұз, қышқыл, сілтілердің су ішінде жоғары дәрежеде диссоциациялануы, судың диэлектрлік өтімділігі көп, 80 ге таяу болғандықтан деп түсіну керек. Молекуланың әр текті зарядталған бөліктерінің арасындағы электрлік өзара күші, Кулон заңы бойынша, суда ауадағыдан (бостықтан) 80 есе нашар болады (§ 6).

Сондықтан, су молекулаларының жылулық қозғалысының өзіақ еріген заттың молекулаларын иондарға ыдыратып жіберуге жеткілікті.

Бір электронның (бір элементар теріс зарядтың) артықтығын бір сызықшамен (Cl'), екі электронның артықтығын екі сызықшамен (O''), бір электронның жетпейтіндігін (бір элементар оң зарядтың жетпейтіндігін) үстіне қойылған бір нүктемен ($Na^{\cdot}$), екі электронның жетпейтіндігін үстіне қойылған екі нүктемен ($Cu^{\cdot\cdot}$) белгілейік; иониза ция және молизация процесін $\rightleftarrows$ таңбасымен белгілейік.

Қышқылдар сутегінің иондары мен қышқыл қалдығының иондарына диссоциацияланады:

$$HCl \rightleftarrows H^{\cdot} + Cl',$$

$$HNO_3 \rightleftarrows H^{\cdot} + NO'_3.$$

Сілтілер металл иондарына және су қалдығының (гидроксил) иондарына диссоциацияланады:

$$NaOH \rightleftarrows Na^{\cdot} + OH'.$$

Тұздар металл иондарына және қышқыл қалдығының иондарына диссоциацияланады:

$$NaNO_3 \rightleftarrows Na^{\cdot} + NO'_3.$$

Иондар, нейтраль атомдардан кейбір өздерінің қасиеттеріне қарай айрылады. Мысалы, атом $Na^{\cdot}$ сумен қосылады, ал ион Na сумен қосылмайды.

Су да өте аз дәрежеде диссоциацияланады:

$$H_2O \rightleftarrows H^{\cdot} + OH'.$$

Цинк пластинкасын күкірт қышқылының ертіндісіне батырғанда, цинк пен ертінді арасында ерекше өзара әсер пайда болады, соның арқасында цинк атомы ертіндіге көшеді. Бірақ ертіндіге көшкенде цинктің атомы пластинкада екі электронын қалдырып кетеді *де, цинктің оң ионы болып шығады. Цинк пластинкасында еркін электрондар молаяды да теріс зарядталады.*

[1]) Диссоциация — латынша бөлектену деген сөз.

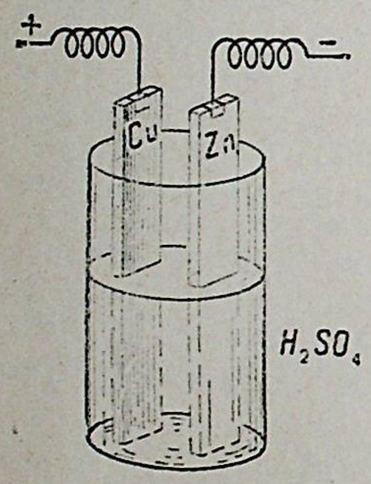
Металл теріс зарядталады да, сұйық зат — оң зарядталады. Иондардың ертіндіге өткісі келетіндігі ерү серпімділігі деп аталатынымен байқалады.

Металл мен ертіндінің арасында пайда болған потенциал айырмасы, металдың әрі қарай ери беруіне бөгет боларлықтай шамаға жеткенше, басқаша айтқанда, ерү серпімділігі тепе-теңдікке келгенше, көшу процесі тоқталмайды.

Ертіндіге салынған металл пластинка мен ертіндінің арасында потенциалдар айырмасы пайда болады. Бұл потенциалдар айырмасы металдардың тегіне және ертінділердің тегіне байланысты.

32. Токтың химиялық көздері. Электрлеудің химиялық тәсілдері арқылы ток көзін жасап алу үшін, қышқыл, тұз немесе сілті ертіндісіне түрлі текті екі металл пластинкаларын батыру керек (біреуіне көмірді алуға да болады).

Ішінде қышқыл ертіндісі және текті екі пластинкасы бар ыдыс, токтың ең жабайы химиялық көзі, яки элемент (37-сурет) болып табылады.



37-сурет. Вольта элементі.

Егер, мысалы, цинк пластинкасы матырылған күкірт қышқылының ертіндісіне мыс пластинкасын салса, онда мыс пластинкасында цинкке қарағанда ерү серпімділігі өте нашар болады; сондықтан, мыс пластинкасы мен ертіндінің арасындағы потенциалдар айырмасы, сол ертінді мен цинк пластинкасы арасындағы потенциалдар айырмасынан аз болады.

Осы себепті күкірт қышқылының нашар ертіндісіне салынған цинк және мыс пластикаларының арасында айрықша потенциал айырмасы болады. Оны сезгіш электрометрмен өлшеуге болады. Ол 1 вольтқа жуық.

Потенциалы жоғарылау болатын мыс пластинканы элементтің оң полюсі деп атайды; потенциалы төменірек цинк пластинканы теріс полюсі деп атайды. Цинк кірісетін барлық элементтерде, цинк теріс полюс болады.

Егер цинк және мыс пластинкаларды металл өткізгішпен қосса, цинк пластинкасының оңай жылжымалы электрондары, өткізгіштің бойымен жоғары потенциалы бар мыс пластинкасына қарай ұмтылады. Цинк пластинкасынан электрондардың келуі, бір жағынан цинк пен сұйықтың потенциалдар айырмасының, екінші жағынан цинктің ерү серпімділігінің арасындағы бұған шейінгі болып тұрған тепе-тендікті бұзады. Цинк иондары сұйық ішіне ауыса бастайды, сүйтіп бұзылған тепе-тендік қайта калпына келетін болады.

Екінші жағынан, мыс пластинкасына ағып келген электрондар, мыстың ерү серпімділігі мен мыс — сұйық потенциалдар айырмасының арасындағы тепе-теңдікті бұзады (потенциал айырмасы өседі). Бұзылған тепе-теңдікті жаңғырту үшін, мыс пластинканың электрондары ертіндінің ішіндегі мыс пластинкасының маңайындағы оң иондарға көшіп, оларды нейтральдап, атомдарға айналдырады.

Ертіндінің ішінде иондар қозғалысы жүріп жатады: оң иондар мыс пластинкаға қарай, ал теріс иондар — цинк пластинкаға қарай қозғалады.



Вольта[1]) (1745 — 1827).

Сонымен, тұйықталған тізбекте электр зарядтарының үздіксіз, бағытталған қозғалысы тағайындалады, яки электр тогы жүреді. Ток, цинктің еруінің химиялық процесі біткенге дейін жүріп тұрады. Ток, өзара химиялық әсер етісетін заттардың химиялық энергиясы есебінен шығады.

Өткізгішпен тұйықталмаған гальвани элементінің полюстеріндегі потенциалдар айырмасы, элементтің электр қозғаушы күші (қысқаша ЭҚК) дегенді өлшейді. *Ток көзінің электр қозғау күші, тік көзінің тұйықталған тізбек бойымен электрдің әрбір өлшемін жүргізуге жұмсайтын жұмысын көрсетеді.*

Жоғарыда айтылған элементті Вольта шығарған.

Осы айтылған Вольта элементінен басқа, өзге системаға жататын гальвани элементінің басқа бір системасы және екінші реттік элементтер яки аккумуляторлар болады.

Бұл соңғылар химиялық энергия запасын басқа генераторлардан алып, өздері кейін, тек керек кезінде ғана, бұл химиялық энергияны электр энергиясына айналдырады. Бұлар туралы бастауыш курстан мәлім және де осы курстың 94-§ да айтылған.

Генератордың қай-кайсысының болса да айрықша ЭҚК болады, оны генератор тұйықталмаған күйде тікелей өлшеуге болады.

Электр тогының тізбегінде потенциалдар айырмасын өлшейтін құралдарды әдетте вольттарға градуирлейді, сондықтан вольтметрлер деп атайды. Бұл өлшеулерде қолданылатын вольтметрлердің құрылысының негіздері, VII кластың курсынан мәлім, амперметрлердің құрылысына ұқсас.

---

[1]) Вольта Александр Италияда Комода туды; 1779 жылдан Павида физика профессоры болған. 1781 ж. ол — мақсаты электрометрді, 1782 ж. электроскоппен байланысқан конденсаторды — электрофорды жасады.

Оның басты еңбегі — ол екі металды біріне-бірін тиістіргенде потенциалдар айырмасы пайда болатынын тапты. Вольта токтің гальвани элементі (вольта элементі деп атау дұрысырақ еді) деп аталатын химиялық көзін жасады; және ол вольт бағанасы деген едәуір электр қозғаушы күші бар батареяны жасады.

Вольтметрдің схемалы кескіні және оны тізбекке тіркеудің тәсілі 45-суретте көрсетілген.

Токтың химиялық көзінің ЭҚК элементтің үлкен-кішілігіне байланысты емес, тек элементті құраған заттарға байланысты.

Егерде құрылысы бірдей, бірақ пластинкаларының өлшеулері әртүрлі және пластинкаларының аралығы әртүрлі бірнеше химиялық көздерді алып, олардың ЭҚК өлшесе, олар бірдей болып шығады. Түйықталмаған элементтің полюстеріндегі потенциалдар айырмасы, элементтің заттары арасындағы химиялық процестерге байланысты, ал бұл процестер элементтің үлкен-кішілігіне тәуелді емес.

Токтың химиялық көзі чертёжде схемаша екі сызықшамен көрсетіледі (38-сурет): бұлардың біреуі қысқа және жуан болады (+), ал екіншісі ұзын және жіңішке сызықша (—) болады.



38-сурет. Электр тогының химиялық көзінің схемалық кескіні.

33. Электр тізбегі және токтың бағыты. Ток көзі (генератор) тұтынушы құралдар (ток жұмсайтын приборлар, мысалы, электр лампалары, электромоторлар), токты жеткізетін сымдар, токты қосып және токтататын приборлар — осылардың жыйнаған электр тогының т і з б е г і деп атайды. Өткізгіштерді токтың шын және шартты (техникалық) бағыттарын айыра білу керек. *Металдардағы токтың шын бағыты электрондар қозғалысының бағыты.* Электрондар тізбектің сыртқы учаскесінде теріс полюстен оң полюске қарай қозғалады.

Металл өткізгіште токтың техникалық бағыты, тізбектің сыртқы учаскесінде оң полюстен теріс полюске қарай деп алынады.

Түздардың, қышқылдардың және сілтілердің ертінділерінің ішіндегі токтың техникалық бағытына оң иондардың қозғалыстарының бағыты алынады; гальвани элементтерінің ішіндегі токтың техникалық бағыты, теріс полюстен оң полюске қарай болатын бағытпен дәл келеді.

Ғылымда болсын, я техникада болсын электр тогының бағыты туралы айтқанда, қашан да болса токтың техникалық бағытын алады.

Токтың бағытын осылай белгілеу, электр тогы туралы оқудың тарихи дамуының нәтижесінен, себебі электр тогының бағытын белгілеп алу, электронды ашудан 100 жылдай бұрын болған еді.

Ғылымда токтың шартты яки техникалық бағытының сақталу себебі: токтың бағытымен байланысты, ток туралы оқудың жүз жыл бойы дамуындағы қорытылып шығарылған заңдар мен ережелердің барлығы да токтың дәл осы алғашқы алынған бағытына байланысты шығарылған.

Мынау есте болу керек: ешбір генератор электр зарядын өзі жасамайды, ол тек электр зарядтарын қозғалысқа келтіреді. Осы сыяқты сумен үй жылытатын котёлдың оттығы тек суды белгілі бағытпен ауыстырып ағызып отырады.

34. Ток күші[1]**).** *Ток күші, тізбектің көлденең қыймасы арқылы бір секундта жүріп өтетін электр мөлшерімен өлшенеді.*

Егер тізбектің қыймасы арқылы өтетін электр мөлшерін Q арқылы, токтың жүрген уақытын t арқылы және токтың күшін I арқылы белгілесек, сонда жоғарыдағы берілген анықтама бойынша:

$$\boxed{I = \frac{Q}{t};} \qquad \text{(VIa)}$$

$$\boxed{Q = It} \qquad \text{(VIб)}$$

болады.

35. Ток күшінің өлшемдері. Егер жоғарыдағы (VIa) теңдіктегі $Q = 1$ кулон, уақыт $t = 1$ секунд десек, онда:

$$I = \frac{1 \text{ кулон}}{1 \text{ сек}} = 1 \text{ ампер}$$

болады.

Ток күшінің өлшеміне, тізбектің көлденең қыймасы арқылы 1 секундта 1 кулон жүріп өтетін тұрақты токтың күші алынады.

Бұл өлшем, атақты француз физигі А м п е р д і ң құрметіне *ампер* деп аталады. Ток күші амперметр деп аталатын приборлармен өлшенеді; ол приборлардың жалпы түріндегі құрылысы физиканың бастауыш курсынан белгілі, олардың құрылысы 85-§ та айтылған; тізбекке қосу схема түрінде 45-суретте кескінделген.

36. Тізбектің барлық қыймаларында ток күшінің тұрақтылығы. Тізбек қыймалары әртүрлі болатын учаскелерден құралуы мүмкін; мысалы тізбекте гальвани элементінің кең банкасы, жуан цилиндрше клеммалар, сымдар, рубильниктің жуан тік бұрышты пышағы, қыздыру лампасының өте жіңішке қылы болады. Тізбектің түрлі учаскесіне қойылған өлшеуіш приборлар, *берілген тізбектің кезкелген қыймасы арқылы ағатын токтың күші қашанда бірдей екендігін* көрсетеді. Осылай болатындығын тәжрибе жасамай-ақ аңғаруға болады. Егер бір қыйма арқылы, мысалы, жуан өткізгіш пен жіңішке өткізгіштің жалғанған жерінде, әр секундта келген электр мөлшерінен көрі, кеткен электр мөлшері аз болса, онда осы шекаралықта электр заряды үздіксіз жыйнала берген болар еді, бұл, бірақ, тізбектің ешбір жерінде байқалмайды. Осы сыяқты, трубалардың кезкелген қыймасы арқылы — жуан жерінен де, жіңішке жерінен де — жүретін судың яки газдардың тыянақталған ағысында да, бір өлшем уақыт ішінде ағатын заттың мөлшері бірдей болып отырады.

37. Өткізгіштің кедергісі. Электр тогы металдарда қозғалып жүрген электрондардан, ал тұз, қышқыл, сілті ертінділерінде қозғалып жүретін иондардан тұрады. Токқа қатнасатын электрондар, металл өткізгіште ілгерілемелі қозғалыста болмай, тек тербелмелі жылу қозғалысында болатын атомдардың арасында орын ауыстырып жүреді. Қозғалып орын ауыстырған кезінде электрон-

[1]) Күш деген сөздің осы ретте қолданылуы — тарихи ұғыныспаушылық. Ток күшінің механикалық күш ұғымымен еш қатысы жоқ.

дар атомдармен және басқа электрондармен өзара әсер жасайды. Сонда электрондар өздерінің кинетикалық энергиясының бір бөлігінен айрылады. Олар ток тізбегінде өздерінің қозғалысына кедергі кездестірген сияқты болады.

Бір ток көзін әртүрлі өткізгіштермен түйықтаған кезде әртүрлі тізбектегі ток күші әртүрлі болады. Бұдан біз өткізгіштер бірбірінен өздерінің кедергісімен айрылады деген қортындыға келеміз. Сондықтан, өткізгіштің кедергісі оның физикалық сыйпатының бірі деп алынады.

Түрлі заттардың кедергісін өлшеу үшін *ом* деп аталатын (неміс физигі Омның құрметіне) кедергі өлшемі тағайындалған.

Өлшемдердің практикалық системасында, кедергінің бір ом деп аталатын өлшемі үшін, ұштарындағы кернеу бір вольт болғанда, бойымен жүретін ток бір ампер болатын өткізгіштің кедергісі алынады.

Халықаралық ом үшін қиймасы 1 мм² ұзындығы 106,3 см, ұтағы сынап бағанасының кедергісін алады[1]).

Егер екі өткізгіштің бірінің орнына екіншісін қойып алмастырған кезде, берілген тізбектегі ток күші өзгермей қалса, екеуінің кедергісі тең деп саналады. Осыған сүйеніп, ом үлгілерін (эталондарын) жалғыз сынаптан емес, басқа түрлі металдардан да жасауға болады.

Әдетте, кедергі үлгілерін катушка түрінде (39-сурет) оралған манганин (84 бөлігі Cu; 4 бөлігі Ni; 12 бөлігі Мп) сымынан істейді.

Алмастыру тәсілімен 1 ом кедергінің үлгісін лайықтап алған сияқты, 2, 3 т. с. с. ом, яки $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, 0,1, 0,01 т. с. с. ом кедергіні де жасап алуға болады.

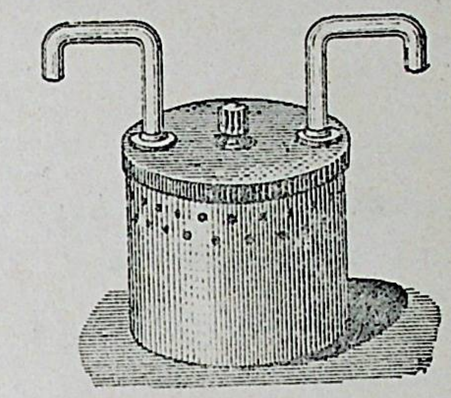
38. Өткізгіш кедергісінің заңы. Өткізгіш кедергісінің заңы, өткізгіштің кедергісі оның ұзындығына, көлденең қиймасының ауданына, температурасына және затына байланысты болатынын көрсетеді. Бұл тәуелділіктің әрқайсысын тәжрибе арқылы табуға болады. Ол үшін ұзындықтары әртүрлі, не көлденең қиймасы әртүрлі, не температурасы әртүрлі барлығы бір заттан жасалған өткізгіштер алып, кедергілерін өлшеу керек. Сонымен қатар ұзындықтары, қиймалары және температуралары бірдей түрлі заттардан жасалған өткізгіштердің кедергілерін алмастыру арқылы да өлшейді. Осындай түрлі өлшеулер мынадай қортындыға келтіреді:

Өткізгіштің кедергісі: 1) ұзындығына тура пропорционал болады; 2) көлденең қиймасының ауданына кері

[1]) Дәл халықаралық омның анықтамасы мына сөздермен айтылады: «Халықаралық ом — ұзын бойының барлығының да қиймасы бірдей және массасы 14,4521 *г*, ұзындығы 106,300 *см* сынап бағанасының өзгерілмейтін электр тогы бар кезде, еріп жатқан мұздың температурасында алынған кедергісі болады». Сынап бағанасының массасы, тығыздығы және ұзындығы бойынша бағананың қиймасын есептесек, ол 0,01 *см²* болып шығады.

пропорционал болады; 3) өткізгіштің затына байланысты болады; 4) температурасы өскен сайын металл өткізгіштің кедергілері өседі, көмір және тұз бен қышқыл ертінділері үшін кемиді.

Таза металдардың көбінің 1° қыздырғандағы кедергісінің өсуі 20° С дағы кедергінің 0,4% дей болады. Бұл сан кедергінің температуралық коэфициенті деп аталады.



39-сурет. Кедергінің эталоны.

Егер қоспаның составына кіретін бөліктерді дұрыс таңдап алатын болсақ, температура өзгергенде кедергісі өте аз өзгеретін қоспа жасап алуға болады[1]). Осындай қоспалардан істелген сымдар, тұрақты кедергі керек болатын приборларда, мәселен, ом эталондарында қолданылады.

Зерттеулер арқылы түрлі заттардың, бірдей жағдайларда алғанда, кедергілері әртүрлі болатындығы тағайындалған, сондықтан әртүрлі заттардың кедергілерін салыстыру үшін меншікті кедергі дейтін ерекше шама қолданылады.

39. Заттың меншікті кедергісі. *Заттың меншікті кедергісі ұзындығы 1 м, көлденең қиймасының ауданы 1 мм² осы заттан істелген өткізгіштің кедергісімен өлшенеді.*

Меншікті кедергі ρ әрпімен белгіленді (грек әрпі, *ро* деп айтылады).

Заттардың меншікті кедергілерінің $\frac{ом \cdot мм^2}{м}$ мен алынған таблицасы.

Күміс (қызған)	0,016	Жұмсақ болат	0,18
Мыс (өткізгіштік)	0,0175	Қорғасын	0,21
Алюминий (қызған)	0,029	Нейзильбер	0,3
Вольфрам	0,056	Никелин	0,4
Цинк (престелген)	0,060	Суарылған болат	0,4
Латун (жез)	0,08	Манганин	0,43
Платина (қызған)	0,1	Константин	0,5
Никель	0,070	Сынап	0,94
Темір (сым)	0,13	Көмір	40—60
Күкірт қышқылының 10 проценттік ертіндісі	26 000	Мрамор	$4 \cdot 10^{15}$
Күйдіргіш калийдің 10 проценттік ертіндісі	32 000	Слюда	$4 \cdot 10^{17}$
Мұсатырдың 10 проц. ертіндісі	56 000	Шыны	$5 \cdot 10^{17}$
Мыс купоросының 10 проц. ертіндісі	313 000	Фарфор	$3 \cdot 10^{18}$
Шифер	$1 \cdot 10^{12}$	Эбонит	$1 \cdot 10^{22}$

[1]) Ондай қоспалар: никелин (мыс 54%, никель 26%, цинк 20%) — температуралық коэфициенті 0,02%; константан (мыс 58%, никель 41%, марганец 1%) — коэфициенті 0,003%; манганин (мыс 84%, никель 4%, марганец 12%) — коэфициенті 0,001%.

40. Өткізгіш кедергісінің формуласы. Егер меншікті кедергіні ρ арқылы, өткізгіштің ұзындығын l арқылы, көлденең қимасының ауданын S арқылы, өткізгіштің кедергісін R арқылы белгілесек, сонда 38-§ бойынша мынаны табамыз:

$$R=\rho\frac{l}{S}. \qquad \text{(VII}_a\text{)}$$

Егер өткізгіштің ұзындығын метрмен, көлденең қимасының ауданын квадрат миллиметрмен өрнектесек, онда меншікті кедергінің өлшемінің атауы $\frac{ом\cdot мм^2}{м}$ болады. $\rho=\frac{RS}{l}$ болғандықтан $R=1$ *ом*, $S=1$ *мм²*, $l=1$ *м* болған кезде $\rho=1\frac{ом\cdot мм^2}{м}$ болып шығады.

Кедергінің температураға тәуелділігін де формуламен өрнектеуге болады. Егер меншікті кедергіні ρ мен, температуралық коэфициентті, яғни 1° қа қыздырғанда меншікті кедергінің әрбір өлшемінің өсімшесін α мен белгілесек, онда 1° қа қызғандағы барлық меншікті кедергінің өсуі $\rho\alpha$ мен өрнектеледі; $t°$ қа қыздырғанда, меншікті кедергінің өзгеруі $\rho\alpha t$ болады; сүйтіп, температура таблицада көрсетілгендегіден $t°$ жоғары болғанда меншікті кедергі ρ_t мынаған тең болады:

$$\rho_t=\rho+\rho\alpha t=\rho(1+\alpha t).$$

Осыдан:

$$R_t=\frac{\rho l}{S}(1+\alpha t). \qquad \text{(VII}_б\text{)}$$

Егер тізбекке сұйық өткізгіш жалғастырылса, оның көлденең қимасы есебінде электродтың[1]) батырылған бөлімінің ауданы, ал оның ұзындығы есебінде параллель қойылған электродтар арасының қашықтығы алынады.

Кедергінің температураға тәуелділігін қалай түсіндіруге болады? Егер металдың атомдары бір-бірінен дәл бірдей аралықтарда орналасқан болса, онда электрондар металдың бойымен қозғалып жүргенде өздерінің бағыттарынан бұрылмас еді де, кедергіге де ұшырамас еді. Кедергі, атомдардың бір қалыпты болмай орналасуынан, немесе дұрыс орналаспауынан жасалады.

Бір қалыпты болмаудың бір себебі — атомдардың жылулық қозғалысында температура жоғарлаған сайын атомдардың орналасуындағы бірқалыпсыздық ұлғая береді де, кедергі өсе береді. Бірқалыпсыздықтың басқа бір себебі электрондардың ағымын шашырататын түрлі қоспалардың болуында. Сондықтан, ертінділердің кедергісі таза металдың кедергісінен артық болады. Жылулық қозғалыстан көрі қоспаның электрондарды бытырататын әсері күштірек, сондықтан ертінділердің кедергісі, таза металдардікінен көрі, температураға анағұрлым кемірек тәуелді болады.

[1]) Электрод деп сұйық өткізгішке яки газға батырылған (көбінесе пластинка формалы) тізбек бөлігін айтады. Әрине, екі электродтың ауданы бірдей болады деп есептеледі. Олай болмағанда, қималары үздіксіз өзгере беретін өткізгіш болып шығады да, кедергіні есептеп шығару қыйындалады.

5-жаттығу.

1. Ұзындығы 1 *км*, қимасы 8 *мм²* темір телеграф сымының кедергісін есептеп шығарындар.

Жауабы: 16,25 ом.

2. Мыс сымның ұзындығы 125 *м* болғанда, кедергісі 0,44 ом болу үшін оның қимасы қандай болу керек?

Жауабы: 5 *мм²*.

3. Диаметрі 0,3 *мм* никель сымынан 2 омдық кедергі жасалған. Сымның ұзындығы қандай?

Жауабы: 0,353 *м*.

4. Диаметрі 0,8 *мм* болатын 1 *кг* мыс сымның кедергісі қандай? Мыстың тығыздығы 8,9 $\frac{г}{см^3}$.

Жауабы: ≈8 ом.

5. Егер ыдыстағы электродтардың ауданы 10 *см²*, олардың арасының қашықтығы 1 *см* болса, 10 процентті мыс купоросы ертіндісінің кедергісі қандай болады?

Жауабы: 3,13 ом.

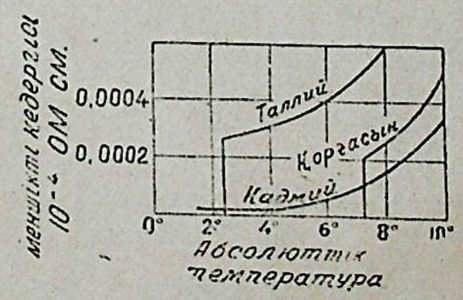
6. Ток, трамвай электростанциясынан шығып жоғарғы жалаңаш сыммен вагон доғасы, вагон электромоторы және рельс арқылы жүріп қайта станцияға барады. Егер жоғарғы сым, меншікті кедергісі $\rho=0{,}0314$, диаметрі $D=1$ *см* қатты тартылған мыстан істелсе, ал рельстер меншікті кедергісі $\rho=0{,}15$, қимасы $S=30$ *см²* болаттан істелсе, вагон станциядан 1 *км* жерде тұрса, жоғарғы сымның және рельстің кедергісі қандай болады?

Жауабы: 0,45 ом.

7. Машина обмоткасына ток жіберерден бұрын, 20° ауа температурасында, оның кедергісі 150 ом еді, жұмыстан кейінгі кедергісі 180 ом болды; обмотканың осы кедергідегі температурасын табу керек (термометрсіз). Мыс сымның температуралық коэфициенті $\alpha=0{,}004$.

Жауабы: 74°.

41. Асқын өткізгіштік. Таза металдар 1° суығанда олардың кедергісі орта есептен 0,004 яки $\approx\frac{1}{273}$ дей азаяды. Сондықтан, металдардың температурасы абсолют нольге (— 273°C) жуықтаған сайын, олардың кедергісі де бірте-бірте нольге дейін азаяды деп ойлауымызға болар еді. Бірақ сұйылтқан газдармен суытылған кейбір материалдарға істелген тәжрибе басқа құбылысты көрсетеді. Қорғасынды абсолют температураның 7,3° ына дейін бірте-бірте суытқанда, оның меншікті кедергісі шынында бірте-бірте азаятын болған, бірақ бұдан әрі 0,01° суығанның өзінде, ол кенеттен оқыс төмендеп, байқалмайтын аз шамаға жетіп, бөлме температурасындағы кедергіден 10^{10} есе азайған (40-сурет).

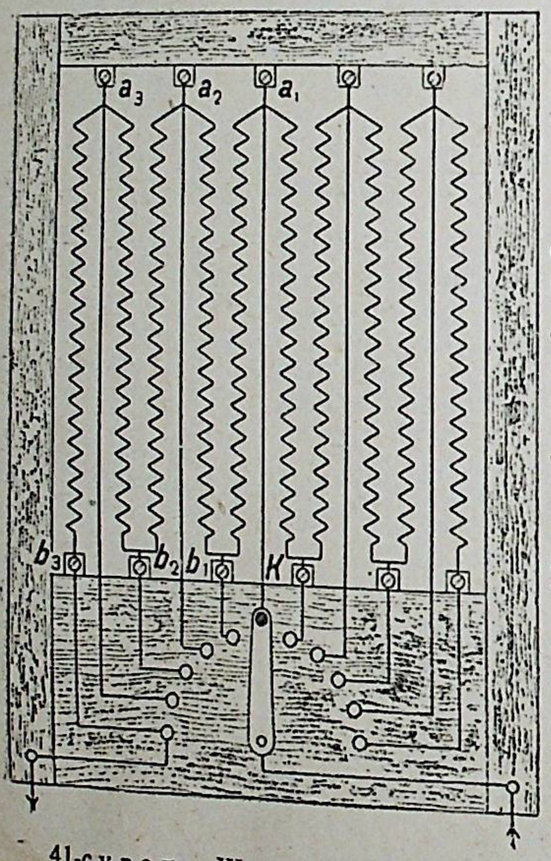


40-сурет. Металдар кедергісінің температураға байланыстылығының диаграммасы.

Кейбір металдардың абсолют нольге жақын температурада меншікті кедергісі болымсыз аз шамаға дейін төмендейтін құбылысты а с қ ы н ө т к і з г і ш т і к деп атайды. Оны К а м м е р л и н г - О н н е с ашқан.

42. Электр өткізгіштіктің жылу өткізгіштікпен байланысы. Бір өткізгіш туралы оның кедергісі аз, яки электрді жақсы өткізеді деп айтсақ, екеуі бір ұғым болады. Неғұрлым кедергі үлкен болса, солғұрлым электр өткізгіштігі аз болады және керісінше. Егер заттың меншікті кедергісі ρ әрпімен белгіленсе, меншікті электр өткізгіштігі $\frac{1}{\rho}$ шамамен өрнектеледі. Жалпы айтқанда, R кедергісі бар өткізгіштің электр өткізгіштігі $\frac{1}{R}$ мен өрнектеледі.

Егер электр өткізгіштік пен жылу өткізгіштіктің таблицаларын[1]) салыстырсақ, электрді ең жақсы өткізетін заттардың жылуды да жақсы өткізетіндігін байқауға болады (күміс, мыс).



41-с у р е т. Жылжымалы тұтқасы бар реостат.

Бұл қатысқа қарағанда, денелердің жылу өткізгіштік жолымен жылу таратуында электрондар қатнасады деп ойлауымызға болады.

43. Ток көзінің ішкі кедергісі. Электр зарядтарының қозғалысына тізбектің сыртқы бөлімін құрайтын өткізгіштер ғана кедергі келтіріп қоймай, ток көзінің ішінде де, атап айтқанда, химиялық көздің ішінде де кедергі болады. Вольта элементінен, өткізгіштерден және амперметрден тізбек құрайық. Тізбекті тұйықтағанда, амперметр қандай болса да бір ток күшін білдіреді. Егер тізбектің сыртқы учаскесін өзгертпей, элемент пластинкаларының арасын алыстата берсек, амперметр ток күшінің азаюын көрсетеді; пластинкаларды сұйықтан бірте-бірте суырып көтерген кезде де, ток азаятын болады. Пластинкаларды сұйыққа көбірек батырса, яки оларды жақындатса, ток күші өседі. Амперметрдің көрсетуіне қарағанда, бірінші жағдайда көздің кедергісі үлкейеді, екіншіде—азаяды. Сұйықтың, гальвани элементінің өзінің ішінде де кедергі болады. Ток көзінің кедергісін і ш к і кедергі деп атайды.

[1]) Жылу өткізгіштігінің азаю жағына қарай жазылған металдардың тізімі: күміс, мыс, алтын, алюминий, цинк, платина, никель, қорғасын. Заттардың меншікті кедергілерінің таблицасы 39-§ та жазылған.

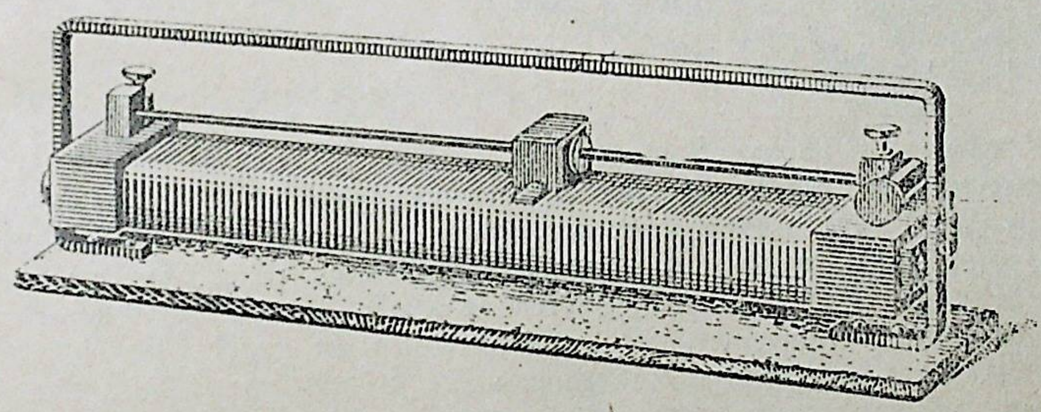
Ішкі кедергі өткізгіштер кедергісінің жалпы заңына бағынады.

44. Реостаттар. Техникада көп жағдайда, мысалы, электр моторын жүргізіп жібергенде, күшті токтарды айырғанда, театрлардағы жарықты өзгерткенде және сол сияқтыларда, ток күшін бірте-бірте өзгертуге тура келеді. Тізбектегі кедергіні өзгертіп, ток күшін өзгертуге болады. Электр тізбегіне өзгертілетін кедергіні кіргізуге мүмкіншілік беретін приборларды р е о с т а т т а р деп атайды.

Реостаттардың көп қолданылатын түрлері мыналар:

1. Ж ы л ж ы м а л ы т ұ т қ а л ы р е о с т а т. Рамаға (41-сурет) өзара қосылған кедергісі әртүрлі сым спиральдар тартылған. Тізбектің бір ұшы бірінші спиральдың басына қосылады, екінші ұшы тұтқамен қосылады. Тұтқаның тұрған орнына қарай, ток реостатпен әртүрлі жол жүреді. 41-суретте көрсетілген күйде ток $Ka_1b_1a_2b_2a_3b_3$ буындар арқылы жүреді. Тұтқаның орнын ауыстырып отырып әртүрлі санды спиральді тізбекке енгізуге болады, сонымен кең шекаралықта (бірақ, аттатып) кедергіні, онымен қабат, ток күшін өзгерте аламыз. Реостаттың бұл түрі техникалық установкаларда көп қолданылады.

2. С ы р ғ ы м а к о н т а к т т ы р е о с т а т. Мысалы, ғылым зерттеулерінде ақырындатып және бірте-бірте болымсыз ғана аттатып ток күшін өзгерту керек болғанда, сырғыма контактты реостатты қолданады. Ол — сым ораған (42-сурет) изолятордан

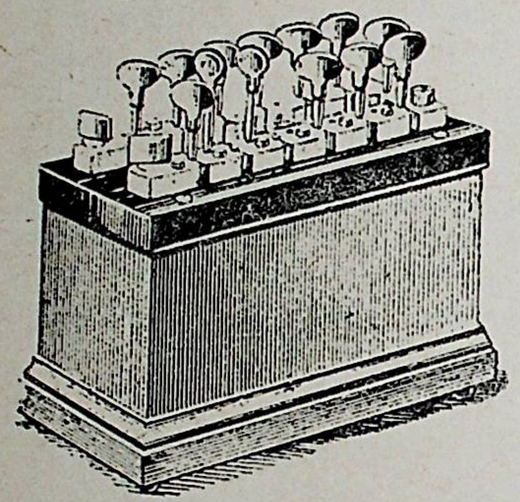


42-с у р е т. Сырғымалы контакты бар реостат.

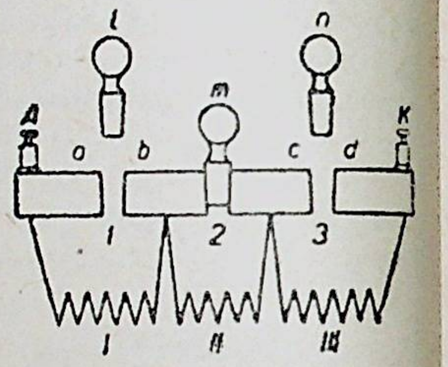
тұрады. Сым сыртына арнаулы бір тотық жалатқан. Сымның үстінде стерженьнің бойымен сырғанап жүріп, сымға тығыз тиіп тұратын металл тиегі (сырғымалы контакт) болады. Жылжымалы тиекпен тиісіп тұрған жерлерінде тотық қажалып түсіп қалады да, тиек сымның орамдарына тиіседі. Тізбектің бір ұшы сымның ұшына, екіншісі стержень арқылы контактқа жалғастырылады. Ток реостатпен, тізбекке жалғастырылған сымның ұшы мен контактының арасындағы орамдардың бойымен ғана жүреді. Контактты жылжытып сымның кіргізілген орамдарының санын өзгертуге, сонымен бірге, кедергіні де өзгертуге болады.

Контактты бір орамнан алып жанындағы орамға көшіргенде, сымына қарай, кедергіні омның қалағанша кіші үлесіне өзгертуге болады.

3. Штепсельді реостат (кедергілер магазины). Реостаттардың жоғарыда айтылған формалары кедергіні өлшеу үшін емес, кедергіні өзгертуге арналған. Әр ретте кіргізілген кедергінің дәл шамасын білу керек болса, онда реостаттар жәшік формалы етіліп жасалады, оның ішінде кедергілері әртүрлі және кедергілер әбден анықталған сым катушкалардың жыйнағы болады (43-сурет). Осы типті реостаттарды кедергілер магазиндері, яки штепсельді реостаттар деп атайды. Жоғарғы қақпаққа, ара-арасы ашық қалдырылып, қалың мыс полосалар бекітіледі де, сол ашық аралықтарға штепсельдер сұғылады. Тізбектеліп орнатылған кедергі катушкаларының әрқайсысының ұштары көршілес екі пластинкаларға бекітілген (44-сурет). Пластинкалар арасына метал



43-сурет. Штепселді реостат.



44-сурет. Штепселді реостаттың ішкі құрылысының схемасы.

штепсельдерді сұғып қойып, пластинкалардан бір тұтас өткізгіш жасағанда, ток кедергі катушкаларына соқпай, тек осы пластинкалармен ғана жүреді, үйткені, пластинкалар токка өте аз кедергі жасайды. Бір яки бірнеше штепсельдерді суырып алып қойғанда ток ашық аралықтарға жалғастырылған кедергілер арқылы жүреді, ол кедергілердің шамасы жәшіктің қақпағында тиісті орынға жазылған болады. 44-суретте I және III кедергілер жалғастырылған, ал II— айырған кедергі.

Тізбектің ұштары штепсельді реостаттың қысқыштарына қосылған.

45. Ом заңы. Тізбектегі ток күшін көздің ЭҚК жалғыз өзі анықтай алмайды. Тәжрибелерге қарағанда, түрлі тізбектерге жалғастырылған бір көздің өзі әртүрлі ток шығарып береді. Көздің ЭҚК-і, тек қана тізбек бойымен әрбір кулон электрді жүргізіп өткізу үшін, көз қандай мөлшерде жұмыс істей алатындығын көрсетеді. Ал секунд сайын тізбектің қалаған қыймасы арқылы шығынында өтетін кулон саны, яғни ток күші, көздің ЭҚК-нен басқа, тізбектің өзінің кедергісіне де байланысты.

Тізбектегі ток күші ЭҚК-ке және тізбектің кедергісіне қалай байланысты екенін 1828 ж. неміс ғалымы Ом зерттеген; бұл байланыс заң түрінде өрнектелген, толық тізбекке арналған Ом заңы деп аталады.

Әуелі тізбектің учаскесіндегі кернеу (яки оның ұштарындағы потенциалдар айырмасы) өзгермейтін жағдайдағы, кедергі мен ток күшінің арасындағы байланысты тағайындайық.

45-суреттегі схема бойынша тізбек құраймыз, ондағы R жылжымалы контактты реостат, A — амперметр, V — вольтметр. B мен C нүктелері арасындағы r кедергі тәжрибе кезінде өзгертіліп отырылады. Бұл кедергі үшін, кедергі магазині жәрдемімен алмастыру жолын пайдаланып кедергісін алдын ала өлшеп алған сымдар таңдап алынады. Әр жолы басқа r кедергі жалғастырылған сайын, R реостаттың жылжымалы контактын, сол зерттелетін учаскедегі кернеу (B мен C нүктелерінің арасындағы потенциал айырмасы) өзгермей қалатындай етіп орын ауыстырып отырады. Бақылау нәтижелерін мынадай таблицаға жазуға болады:



Ом[1]) (1787 — 1854).

U вольтпен	I ампермен	r оммен
$U = 2$	$I_1 = 2$	$r_1 = 1$
$U = 2$	$I_2 = 1$	$r_2 = 2$
$U = 2$	$I_3 = 0{,}5$	$r_3 = 4$

U	I	r
$U_1 = 2$	$I_1 = 2$	$r_1 = 1$
$U_2 = 1{,}5$	$I_2 = 1{,}49$	$r_2 = 1$
$U_3 = 2{,}4$	$I_3 = 2{,}41$	$r_3 = 1$

Біздің таблицада істелген тәжрибелердің біреуінің нәтижелері берілген: $I_1 : I_2$ және $I_1 : I_3$ қатнастары $r_2 : r_1$ және $r_3 : r_1$ қатнастарымен салыстырып, біз олардың тең екенін көреміз. Бұдан мынадай қортынды шығады: *кернеу бірдей болғанда, ток күші осы учаскенің кедергісіне кері пропорционал болады.*

Учаске кедергісін өзгертпей қалдырып, бірақ, реостаттың контактын жылжытып отырып, яки ток көздерін ауыстыру жолымен, учаскедегі кернеуді өзгертіп, жоғарғы 2-таблицада келтірілген сыяқты нәтижелерді шығарып аламыз.

$I_1 : I_2 : I_3$ қатнастарын $U_1 : U_2 : U_3$ қатнастарымен салыстырып олардың тең екендігін табамыз. Бұдан мынадай қортынды шығады: *өткізгіштің кедергісі бірдей болғанда ток күші ондағы кернеуге тура пропорционал болады.*

Егер жоғарыдағы таблицалардың әрқайсысындағы вольтпен

[1]) Ом Георг Германияда Эрлангенде туған, көп жылдар түрлі қалаларда гимназия оқытушысы болған, 1849 жылдан бастап Мюнхенде профессор болған. Ом эксперимент арқылы және теория жүзінде тізбектегі ток күшін, электр қозғаушы күш және тізбектің кедергісі осы үшеуінің арасындағы байланысты тағайындаған.

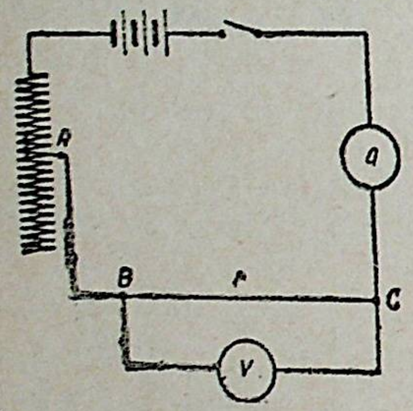
өрнектелген бірінші бағанадағы сандарды ампермен өрнектелген екінші бағанадағы сандарға бөлсе, үшінші бағананың оммен өрнектелген санын табамыз (бақылаудың ықтыймалды қатесінің шегінде).

Осыдан тізбек учаскесі үшін Ом заңын формуламен өрнектеуге болады:

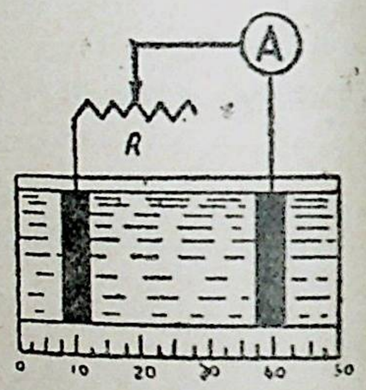
$$I = \frac{U}{R} \text{ немесе } U = IR, \text{ немесе } \frac{U}{I} = R. \qquad \text{(VIII)}$$

Ток күші, өткізгіш кесіндісіндегі кернеуді өткізгіштің кедергісіне бөлгенге тең.

Барлық тізбек үшін де осы сыяқты қатнастар орынды; жалғыз-ақ учаскедегі U кернеу орнына, көздің E аркылы белгіленген ЭҚК кіреді, учаскенің R кедергісінің орнына, сыртқы учаскенің r_e кедергісі мен көздің r_i ішкі кедергісінің қосындысынан құралған тізбектің толық кедергісі кіреді.



45-сурет. Ом заңын эксперимент жолымен қорытып шығаруға арналған установканың схемасы.



45а-сурет.

Тізбектің толық кедергісі ток көзінің ішкі кедергісі r_i мен, тізбектің сыртқы бөлігінің кедергісі r_e нің қосындысынан құралады; ток күші мен тізбектің толық кедергісінің арасындағы байланысты мынадай тәжрибеден шығарып алуға болады. Гальвани элементін алайық; мұның ыдысының формасы параллелепипед сыяқты болсын (45а-сурет); сонда оның пластинкаларының аралығын, яғни сұйық өткізгіштің ұзындығын өлшеу оңай болады. Элементтің ЭҚК і элементтің үлкен-кішілігіне де, оның формасына да байланысты болмайтынын ертеректе (§ 32 де) көргеміз. Элементтің пластинкаларын белгілі аралыққа қойып алып, осы элементтен, реостаттан және амперметрден тізбек жасайық. Реостаттан айрықша кедергі енгізіп, амперметр бойынша ток күші I_1 ді өлшейік. Сонсоң пластиналардың батырылған терендігін өзгертпестен, олардың арасын екі есе, үш есе т. с. с. қашықтатайық; сонда осымен бірге ішкі кедергі r_i ді екі есе, үш есе т. с. с. үлкейткен боламыз, осымен қатар r_e сыртқы кедергіні де екі еселеп, үш еселеп сәйкес өзгертейік.

Әр жолғы істелген тәжрибелерде шыққан ток күшін I_2, I_3 т. с. с. өлшеп және оларды өзара салыстыра келіп мынаны табамыз: *тізбектегі ток күші тізбектің толық кедергісіне кері пропорционал болады.*

Толық кедергі өзгермеген кезде ток күші, ток көзінің ЭҚК іне тура пропорционал болатынын көрсетуге болады.

Ол үшін 5 ток көзін алайық та,әр көздің полюсін екінші көздің әр атты полюсімен қосайық. Шеткі полюстерге вольтметр жалғап E_1 электр қозғаушы күшті өлшейік. Сонан соң әлгі полюстерге, реостат пен амперметрден тұратын сыртқы тізбекті тіркейік. Ток күші I_1 ді белгілеп алайық. Тәжрибені екінші жолы жасағанда, ток көздерінің біреуін қарама-қарсы бағытпен тіркейік. Тағы да E_2 электр қозғаушы күшті өлшейікте, өлшеп болған соң әлгі бұрынғы сыртқы тізбекті қосып жаңа ток күші I_2 ні белгілейік. Үшінші жолы енді екінші ток көзін де қарама-қарсы бағытпен тіркейік те, бұрынғы сыяқты әдіспен , электр қозғаушы күші E_3 ні және ток күші I_3 ті өлшейік. Барлық үш жағдайда да, ішкі және сыртқы кедергілер өзгермей, бірдей болып тұрады. Әр жолғы тәжрибедегі $\frac{I}{E}$ қатнасты есептеп көріп, бұл қатнастардың бірдей екенін табамыз (өлшеудегі қателіктің шегінде). Сонымен, тізбектің толық кедергісі тұрақты болған кезде тізбектегі ток күші көздің ЭҚК іне тура пропорционал болады.

Көздің вольтпен алынған электр қозғаушы күшін тізбектің оммен алынған толық кедергісіне бөлгенде тізбектегі ампермен өрнектелген ток күшіне тең болады.

ЭҚК і E әрпімен белгілейік. Сонда толық тізбек үшін Ом заңы мынадай формуламен өрнектеледі:

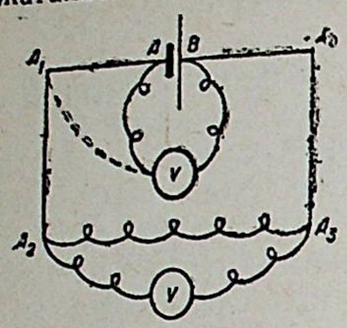
$$I = \frac{E}{r_i + r_e} \qquad \text{(IX)}$$

46. Тізбектің түрлі учаскелеріне кернеудің бөлінуі. Вольтметрді тізбектің түрлі учаскелеріне қосып, олардағы кернеудің бөлінуін байқауға болады. Ток көзі AB ден, келтіретін сымдардан және ток тұтынатын A_2A_3 ден тізбек жасап (46-сурет) және оны тұйықтап, вольтметрді ток көзінің A мен B полюстеріне қоссақ, біз тізбектің барлық сыртқы учаскесіндегі кернеуді өлшей аламыз.

Егер біз вольтметрдің қысқышын A_1 нүктесімен қосып (46-сурет), екіншісін B нүктесінде қалдырсақ, онда вольтметрдің көрсетуі бұрынғыға қарағанда азаяды. Мұнда вольтметр A_1 мен B нүктелерінің арасындағы потенциалдар айырмасын, яғни электр өлшемінің A_1 A_2 A_3 A_4 B учаскесіндегі орын ауыстыруына кететін

жұмысты ғана көрсетеді; вольтметрдің көрсетуіне AA_1 жолындағы жұмыс кірмейді.

Егер вольтметрдің бастапқы A_1 нүктесіне қосқан қысқышын жағалата A_2, A_3... нүктелерге жылжытса, вольтметрдің көрсетуі мұнда да бірте-бірте азая береді.



46-сурет. Тізбектің түрлі учаскелеріндегі кернеуді вольтметрмен өлшеу.

Әр жаңа учаскені A_1, A_2,... айырумен бірге, вольтметр көрсетулері бірте-бірте азаяды, сондықтан техникада, AA_1, AA_2,... учаскелерінде жалпы айтқанда кезкелген учаскеде кернеу шығын болады деп айтылады.

Учаскедегі кернеуді тек энергияны түтынушының түрғысынан қарағанда ғана кернеудің шығындалуы деп айтады: үйткені ток келтіріп түрған сымдағы кернеуді, ток келіп түрған приборда пайдалануға болмайды.

Егер біз вольтметрдің бір қысқышын A_2 нүктесіне, екіншісін A_3 нүктесіне қоссақ, онда біз A_2A_3 учаскесіндегі кернеуді өлшейміз. Жалпы вольтметр қысқыштарын кернеуін өлшейтін учаскенің үштарына қосу керек.

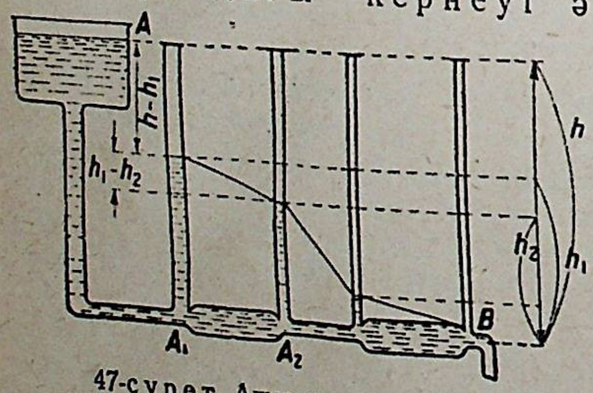
Бұл бақылаулар тізбектің учаскелерінде кернеудің кедергіге сәйкес тарайтындығын көрсетеді; $U = IR$ формула *әр учаскедегі кернеу оның кедергісіне тура пропорционал екенін* көрсетеді.

Ом заңының формуласынан толық тізбек үшін $E = Ir_e + Ir_i$ шығады.

Жоғарыда айтылған бойынша Ir_e дегеніміз тізбекпен I ток жүргендегі ток көзінің қысқыштардағы потенциалдар айырмасы, яки, басқаша айтқанда, тізбектің сыртқы бөлігіндегі кернеу болып табылады (кейде Ir_e — қысқыштардағы кернеу, яки сыртқы тізбектегі кернеудің түсуі деп те аталады). Ir_i — сол ток жүргендегі көздің ішіндегі кернеу болады.

Тізбекпен ток жүргендегі, көздің ЭҚК і тізбектің сыртқы бөлігіндегі кернеу мен көздің ішіндегі кернеудің қосындысына тең.

Ток көзінің сыртқы тізбекке жалғанған қысқыштарындағы кернеуі әр уақытта ЭҚК нен кем болады.



47-сурет. Ағып шығып жатқан сұйықтың бойындағы ағынның өзгеруі.

Ток көзінің ЭҚК мен ішкі кедергісі тұрақты болғанда, тізбектің сыртқы бөлігінің кедергісінің өсуімен бірге қысқыштардағы кернеуде өсіп отырады; бірақ, бұл өсу шексіз бола бермейді; сыртқы тізбектің кедергісі шексіз болғанда (тізбек үзілгенде) қысқыштардағы кернеу ЭҚК ке тең болады.

Бір полюстен екіншіге қарай көшкенде, ток тізбегінің бойында кернеу азая береді, бұл сұйық яки газ ағатын трубалар бойымен су ағынының төмендеуі сыяқты (47-сурет).

Неғұрлым ішкі кедергі көп болса, солғұрлым ЭҚК тің көбірек бөлігі көздің ішкі кернеуіне (U_1) кетеді, және солғұрлым оның аз бөлімі тізбектің сыртқы бөлігіне (U) кетеді. Сондықтан, ток көзінің ішкі кедергісін әдетте неғұрлым аз қылып істейді.

Шынында, мәселен, $E = 2$ вольт, $r_i = 0{,}1$ ом, $r_e = 1$ ом болса, онда $I = \frac{2}{1{,}1} = 1{,}82$ ампер: $U = 1{,}82 \cdot 1 = 1{,}82$ вольт; $U_1 = 0{,}18$ вольт болар еді.

Егер $E = 2$ вольт, $r_i = 0{,}5$ ом, $r_e = 1$ ом болса, онда $I = \frac{2}{1{,}5} = 1{,}33$ ампер, $U = 1{,}33 \cdot 1 = 1{,}33$ вольт, $U_1 = 0{,}67$ вольт болады.

Егер $E = 2$ вольт, $r_1 = 1$ ом, $r_e = 1$ ом болса, онда $I = \frac{2}{1+1} = 1$ ампер, $U = 1$ вольт, $U_1 = 1$ вольт болады.

Есептеу мысалдары. 1. Ток күші 5 ампер болғанда, өткізгіштегі кернеу шығыны 2,4 вольт болуы үшін 100 *м* мыс өткізгіштің қимасы қандай болу керек?

Кернеудің шығындалуы яки, бәрібір учаскедегі кернеу $U = 2{,}4$ вольт. Учаскенің кедергісі:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2{,}4}{5} = 0{,}48;\ R = 0{,}48 \text{ ом};\ R = \frac{\rho l}{S};\ S = \frac{\rho l}{R};$$

$$S = \frac{0{,}0175 \cdot 100}{0{,}48};\ S = 3{,}7\ мм^2.$$

2. Ток күші 2 ампер болғанда қимасы 0,4 $мм^2$, ұзындығы 5 *м* никелин сымындағы кернеудің төмендеуі қандай болады?

$$U = IR;\ R = \frac{\rho l}{S};\ U = \frac{I\rho l}{S} = \frac{2 \cdot 0{,}4 \cdot 5}{0{,}4} = 10;$$

$$U = 10 \text{ вольт.}$$

6-жаттығу.

1. Кедергілері тең учаскелердегі кернеудің төмендеуі қандай?

2. Бір тізбекке кіргізілген ұзындығы тең, қималары бірдей мыс және темір ден жасалған сымдардағы кернеулерді салыстырыңдар; сымдар тізбектеп қосылған.

3. Егер реостатты амперметрдің бір жағынан екінші жағына қойса, токтың тұйықталған тізбегіне кіргізілген амперметрдің көрсетуі өзгере ме?

4. Тізбектің берілген учаскесімен тізбектеп жалғастырылған амперметр ток күшінің өскенін көрсеткенде, сол учаскеде өзгеретін не?

5. Егер берілген учаскеге параллель қосылған вольтметр кернеудің кеміге нін көрсетсе, учаскеде не өзгереді?

6. Тұйық тізбекке реостат және электр қоңырауы кіргізілген. Егер реостатты қоңыраудың бір жағынан екінші жағына қойса, қоңыраудың қысқыштарында кернеу өзгере ме?

7. Манганин сымындағы кернеу 40 вольт, онымен 0,5 ампер ток жүру үшін ұзындығы 10 *м* манганин сымының диаметрі қандай болу керек?

Жауабы: 0,26 *мм*.

8. Егер «бостық» лампасының вольфрам сымының ұзындығы 456 *мм*, диа метрі 0,021 *мм*, қыздыру температурасы 2125°, меншікті кедергісі (техникалық 25° та алғанда $\rho = 0{,}053$ және температура коэфициенті 0,0051 болса, оның ке дергісі қандай болады?

Жауабы: ≈800 ом

9. Түйықталған машинаның қысқыштарында кернеу 120 вольт. Сыртқы тізбек кедергісі 6 ом реостаттан, 10 ампер токпен жанатын доға фонарьдан 0,5 омдық қосатын сымдардан тұрады. Доға фонарының кедергісін, оның қыс қыштарындағы кернеуді, реостаттағы және қосатын сымдардағы кернеу шығы нын табу керек?

Жауабы: 5,5 ом

10. Ток күші 3 ампер, кедергісі 5 ом өткізгіште кернеу шығыны қандай?

11. Егер лампаға 0,5 ампер ток келіп тұрса, оның қысқыштарындағы кернеу 120 вольт болса, қылы көмірден істелген лампаның кедергісі қандай?

12. Егер лампа 0,25 ампер ток алып, кедергісі 440 ом болса, лампаның кер неуі қандай болады?

Жауабы: 110 вольт

13. Кернеуі 2 вольт, 0,4 омдық өткізгіштегі ток күші қандай болады?

14. Кернеуі 110 вольт, кедергісі 220 ом өткізгіштегі ток күші қандай?

15. Тізбектің жәрдемші бөлімдері — клеммалары, тұйықтаушылары және со сықылдылары не үшін қысқа жуан мыс бөліктерінен істеледі?

16. ЭҚК 1,5 вольт, ішкі кедергісі 0,12 ом элементтен және 1,28 ом сыртқы кедергіден тұратын тізбектегі ток күшін және кернеуді табу керек.

Жауабы: 1,07 ампер

17. ЭҚК 2 вольт элементтің ішкі кедергісін білу үшін оны 1 ом сыртқы ке дергімен тұйықтап, 1,2 ампер ток күші алынды. Элементтің ішкі кедергісін таб керек.

Жауабы: 0,67 ом

18. Егер ток көзінің ішкі кедергісі 1,6 омға тең, қысқыштардағы кернеу 11 вольтқа тең, сыртқы кедергі 18,3 омға тең болса, көздің ЭҚК қандай бо лады?

19. Көздің ЭҚК 125 вольт, ішкі кедергісі 0,42 ом. Сыртқы тізбекке доғалы электр лампасы жалғастырылған; бұл лампа бірқалыпты жану үшін қысқыш тарында 45 вольт кернеу және 12 ампер ток күші болу керек. Лампа жану үш тізбекке қандай қосымша кедергі кіргізу керек. Егерде реостат диаметрі 3,6 *мм* константаннан істелсе, алынған сымның ұзындығы қандай болады?

Жауабы: ≈127,1 *м*

20. Станциядан қашықтығы 160 *м* үйде кернеу 110 вольт болу үшін, ішкі кедергісі 0,5 ом станциядағы ток көзінің ЭҚК қандай болады? Тізбектегі ток күші 90 ампер. Сымдар қыймасы 50 $мм^2$ мыс.

Жауабы: 165 вольт

21. Егер қысқа тұйықталу болса, яғни сыртқы кедергі нольге тең болғанда 11, 16, 20-есептердің тізбектегі ток күші қандай болады?

22. Егер бір гальвани элементін тізбектің сол сыртқы учаскесінде, пла тинкалары үлкен, сонымен бір типті екінші элементпен ауыстырсақ, қанда ұтымдылық және ол не себептен болады?

23. Егер, сыртқы тізбекке бірте-бірте кедергіні көбейтіп кіргізе берсе көзді қысқыштарындағы кернеу қалай өзгереді? Осы жағдайда сол кернеу қанда шекке ұмтылатын болады?

24. Тізбектің сыртқы кедергісінің азаюына қарай қысқыштардағы кернеу қалай өзгереді, қандай шеткі мәнге жетуге ұмтылады?

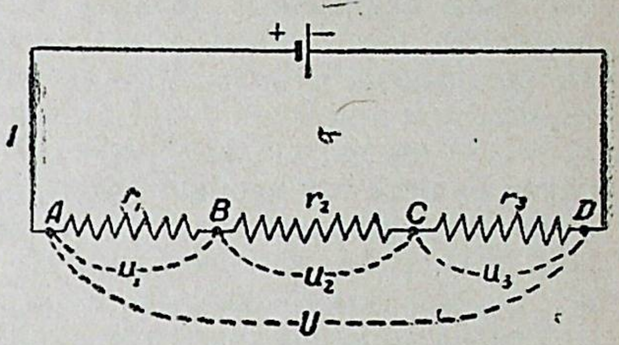
25. Амперметрді тізбекке кіргізгенде, ток көзінің қысқыштарында кернеу өзгермеу үшін, амперметрдің ішкі кедергісі қандай болу керек?

47. Өткізгіштерді тізбектеп қосу. Техникада және лаборатория жұмыстарында ешуақытта тізбектің сыртқы бөлімі тек жалғыз өт кізгіштен ғана құралмайды: әдетте, ток келтіретін сымдар, ру

бильниктер, реостат, гальванометр, энергия тұтынатын приборлар бірінен соң бірі жалғасып қосылады. Өткізгіштердің бірінің аяғы мен екіншісінің басы жалғастырылып қосылуын тізбектеліп қосылу дейді.

Өткізгіштерді тізбектеп жалғастырғанда өткізгіштердің барлығында да ток күші бірдей болады.

Егер тізбектің AD учаскесі бірінен соң бірі жалғастырылған үш өткізгіштен тұратын болса (48-сурет): AB кедергісі r_1, BC кедергісі r_2 және CD кедергісі r_3 болса, онда барлығындағы токтың күші I бірдей болады. Әрқайсысындағы сәйкес кернеу $U_1 = Ir_1$ $U_2 = Ir_2$; $U_3 = Ir_3$. Барлық AD өткізгіштің бойындағы кернеуді өлшеп, оның жеке учаскелердегі кернеудің қосындысына тең екенін табамыз, яғни, $U = U_1 + U_2 + U_3$.



48-сурет. Өткізгіштерді тізбектеп қосу.

Сүйтіп.

$$\begin{aligned} U_1 &= Ir_1 \\ U_2 &= Ir_2 \\ U_3 &= Ir_3 \\ \hline U &= I(r_1 + r_2 + r_3). \end{aligned}$$

Егер барлық ізделетін A мен D арасындағы кедергіні $R_{тіз}$ арқылы белгілесек, онда мынадай қатыс шығады:

$$U = IR_{тіз}.$$

Соңғы екі теңдіктерді салыстырғанда

$$\boxed{R_{тіз} = r_1 + r_2 + r_3,} \qquad (X)$$

яғни *тізбектеліп қосылған бірнеше өткізгіштердің жалпы кедергісі барлық жеке өткізгіштердің кедергілерінің қосындысына тең.*

48. Өткізгіштерді параллель қосу. Өткізгіштерді яки приборларды тізбекке ыңғай тізбектеп қосуға болмайды. Мысалы, жарық желісіне (сетіне) қалыпты кернеуге арналған екі лампаны тізбектеп қосуға болмайды: ол екеуі де толық қызбайды, оның бер жағында, біреуін ғана жағып яки сөндіруге болмайды, үйткені екіншісі де бір уақытта жанып, бір уақытта сөнетін болады.

Сондықтан, жарықтандыру техникасында және басқа көп жағдайларда да параллель қосу қолданылады.

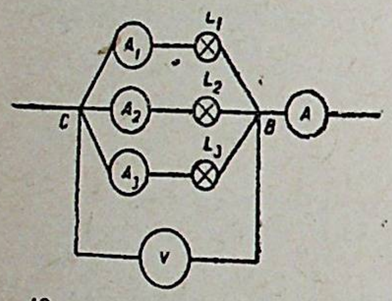
Барлық өткізгіштердің бір ұштары бір түйінде, екінші ұштары екінші түрінде қосылса, өткізгіштердің осылай қосылуын параллель қосылу деп атайды. Өткізгіштерді параллель қосқанда тү-

йінге келетін ток параллель қосылған өткізгіштердегі ток күштерінің қосындысына тең болады.

Өткізгіштерді параллель қосудың мәнісін ұғу үшін мынадай тәжрибе (49-сурет) істейік.

Параллель қосылған үш тармақтан тарау жасайық; әр тармаққа әртүрлі қыздыру лампасы мен амперметр қосамыз.

Бірінші лампа L_1 ді жалғастырып, амперметр A мен тарауланбаған тізбектегі ток күші $I = 0{,}70$ ампер екенін белгілейміз, амперметр A_1 мен бірінші тармақтағы ток күші $I_1 = 0{,}70$ ампер екендігін белгілейміз (сандар істеліп көрілген бір тәжрибеден алынған). Енді екінші лампа L_2 ні қосамыз, біріншінің жарықтығы өзгермейді, екіншісі де қалыпты жарық береді. Тарауланбаған тармақтағы ток күші $I = 1{,}41$ ампер; бірінші тармақта ток күші $I_1 = 0{,}70$ ампер; екіншіде $I_2 = 0{,}71$ ампер ($I = I_1 + I_2$). Тарауланбаған бөлікте ток күшінің артуы, параллель бұтақты қосу кезінде C және B[1]) нүктелері арасындағы жалпы кедергіні азайтатындығын көрсетеді. Егер, үшінші лампа L_3 ді қоссақ, үшеуінің де қалыпты жарық беретіндігін көреміз. Тарауланбаған бөлімінің ток күші $I = 2{,}51$ ампер; тарамдағы ток күші $I_1 = 0{,}70$ ампер, $I_2 = 0{,}71$ ампер, $I_3 = 1{,}1$ ампер [2]) ($I = I_1 + I_2 + I_3$).



49-сурет. Лампаларды параллель қосу.

Тарауланбаған бөлімде ток күшінің жаңадан өсуі C мен B нүктелері арасындағы кедергінің тағы да азайғанын көрсетеді.

Сонымен, *әр жаңа тармақтың параллель қосылуы тараулардың ұштарының арасындағы жалпы кедергіні азайтады, яки параллель қосылған өткізгіштерден жасалған тараудың кедергісі жеке тармақтың әрқайсысының кедергісінен кем.*

Жаңадан параллель тармақ қосылса, бұл өткізгіштің қыймасын үлкейткен сыяқты болады, ал қыйма үлкейгенде кедергі азаяды.

Барлық тараудың кедергісі $R_{пар}$ мен параллель қосылған жеке өткізгіштердің r_1, r_2, r_3 т. с. с. кедергілерінің арасындағы байланысты табайық.

Тараудың кедергісі деп, тарау ұштары арасындағы кернеу және тізбектегі ток күші бұрынғы күйде қалатын, сол тараудың орнына жүретін, бір өткізгіштің кедергісін есептейміз; сонымен,

$$I = \frac{U}{R_{пар}}.$$

Егер вольтметр тарау ұштарының арасындағы U кернеуді көрсетсе, онда:

$$I_1 = \frac{U}{r_1};\quad I_2 = \frac{U}{r_2};\quad I_3 = \frac{U}{r_3};\quad I_1 + I_2 + I_3 = U\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}\right).$$

Егер тарауланбаған бөліктердегі амперметрдің көрсетуін жеке тарамдардағы амперметрлердің көрсетулерімен салыстырсақ, әр тәжрибе үшін мынаны байқауымызға болады:

$$I = I_1 + I_2 + I_3.$$

Алдыңғы екі теңдікті $I = \frac{U}{R_{пар}}$ мен салыстырып мынаны жазумызға болады:

$$\frac{U}{R_{пар}} = U\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}\right),$$

бұдан U ге қысқартқаннан кейін:

$$\boxed{\frac{1}{R_{пар}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}.} \qquad (XI)$$

Кедергінің кері шамасы, яғни $\frac{1}{r}$ өткізгіштің өткізгіштігі деп аталады (§ 42). Сонымен, *тараудың өткізгіштігі параллель қосылған өткізгіштердің өткізгіштіктерінің қосындысына тең.*

Егер барлық тармақтардың кедергісі r бірдей болса, онда есептеу оңайланады; онда, бұтақ n болған кезде:

$$\frac{1}{R} = \overbrace{\frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \cdots + \frac{1}{r}}^{n\text{ рет}} = \frac{n}{r},\ \text{бұдан:}\ \boxed{R = \frac{r}{n}.} \qquad (XII)$$

Бірдей n тармақтан тұратын тараудың кедергісі бір тармақтың кедергісінен n есе кіші.

49. Параллель өткізгіштер арасында токтың бөлінуі. Өткен параграфта айтылған тәжрибелердегі өлшеулерден мынаны көрдік:

$$\boxed{I = I_1 + I_2 + I_3.} \qquad (XIIIa)$$

Параллель қосылған өткізгіштердегі ток күштерінің қосындысы тізбектің тарауланбаған бөлігіндегі ток күшіне тең.

Тізбектің тарауланған жеріне бір жағынан келетін электр мөлшерінің барлығы тармақтарға бөлініп, содан кейін екінші жағынан шығатыны түсінікті.

Жеке тармақтардағы ток күшін салыстыру үшін, мынаны еске түсірейік:

$$\boxed{U = I_1 r_1 = I_2 r_2 = I_3 r_3.} \qquad (XIIIб)$$

[1]) Келтіретін сымның кедергісі өте аз оны есенке алмаса да болады.

[2]) Екінші және үшінші лампаларды қосып та өлшеуге болады, тәжрибеде $I_2 = 0{,}7$; $I_3 = 1{,}1$ және $I = 1{,}8$ болатыны тағайындалған.

Сонғы тендіктердің жыйнағы мынаны көрсетеді:

Параллель қосылған өткізгіштердегі ток күштері, осы өткізгіштердің кедергілеріне кері пропорционал[1]) болады.

Жоғарыда келтірілген ережені неміс физигі Кирхгоф (1824—1887) тағайындаған.

Тараудағы кедергілер мен ток күштерін есептеуге бірнеше мысалдар келтірейік.

Мысал.1. Тармақтағы кедергілері $r_1 = 2$ ом, $r_2 = 3$ ом, $r_3 =$ ом. Тарамның кедергісін табу керек. Тарау кедергісін $R_{пар}$ арқылы белгілейік:

$$\frac{1}{R_{пар}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{5} = \frac{1}{R_{пар}} \frac{15+10+6}{30}; \quad \frac{1}{R_{пар}} = \frac{31}{30}; \quad R_{пар} = \frac{30}{31};$$

$x = 0{,}97$ ом.

2. Тарам кедергісі 2 ом болу үшін, берілген 10 омға қандай кедергіні параллель қосу керек? $r_1 = 10$; $R_{пар} = 2$; $r_2 = x$.

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{10} + \frac{1}{x}; \quad \frac{1}{x} = \frac{1}{2} - \frac{1}{10}; \quad \frac{1}{x} = \frac{5-1}{10}; \quad \frac{1}{x} = \frac{4}{10};$$

$$x = \frac{10}{4}; \quad x = 2{,}5 \text{ ом.}$$

3. Бірінші есепте тізбектегі ток күші 6,2 амперге тең болса, жеке тармақтардағы күшін табайық.

Токтың параллель өткізгіштерге тарауының ережесі бойынша өткізгіштердегі ток күші тармақтардың кедергілеріне кері пропорционал болады, яғни:

$$I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{r_1} : \frac{1}{r_2} : \frac{1}{r_3} = \frac{1}{2} : \frac{1}{3} : \frac{1}{5} = 15 : 10 : 6;$$

$$I_1 = \frac{I \cdot 15}{15+10+6}; \quad I_2 = \frac{I \cdot 10}{15+10+6}; \quad I_3 = \frac{I \cdot 6}{15+10+6}.$$

Шығарудың басқа бір жолы. Тарамның кедергісін және тізбектегі толық ток күшін біле тұра, Ом заңы бойынша тарамдағы кернеуді табуымызға болады:

$$U = IR_{пар} = 6{,}2 \cdot 0{,}97 \approx 6 \text{ вольт.}$$

[1]) (XIIIб) тендіктен:

$I_1 : I_2 = r_2 : r_1$, яки $I_2 : I_2 = \frac{r_2}{r_1 r_2} : \frac{r_1}{r_1 r_2}$; $I_1 : I_2 = \frac{1}{r_1} : \frac{1}{r_2}$.

Сол сыяқты

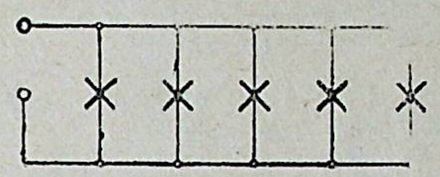
$I_2 : I_3 = r_3 : r_2$, яки $I_2 : I_3 = \frac{1}{r_2} : \frac{1}{r_3}$, осыдан $I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{r_1} : \frac{1}{r_2} : \frac{1}{r_3}$.

Сонда $I_1 = \frac{6}{2} = 3$ ампер, $I_2 = \frac{6}{3} = 2$ ампер.

$I_3 = \frac{6}{5} = 1{,}2$ ампер.

50. Лампалы реостат. Қосымша параллель өткізгіштерді қосқанда тарам кедергісі азаятындығына негізделіп лампалы реостат жасалған.

Лампалы реостат — электр лампаларының өзара параллель қосылған бірнеше цоколдары бекітілген тақтай (50-сурет). Бұл реостат тізбекке тізбектеліп қосылады. Бір лампаны қосқанда реостат кедергісі бір лампаның R_1 кедергісіне тең, бірдей екі лампаны қосқанда кедергі $\frac{R_1}{2}$ дейін азаяды, n лампаны қосқанда, онда кедергі $\frac{R_1}{n}$ ге тең болады.



50-сурет. Лампалы реостаттың схемасы.

Штепсельді реостатты пайдалану токтың тарамдалу заңына негізделген: штепсельдерді сұққанда, ток тұтас қалың пластинка мен катушкаларға, олардың кедергілеріне кері пропорционал болып бөлінеді. Тұтас пластинканың кедергісі нольге жақын, сондықтан, практика жүзінде барлық ток сол арқылы өтеді.

7-жаттығу.

1. 1,4 ампер ток жүретін тізбектің екі A мен B нүктелерінің арасына кедергілері 240, 400 және 200 ом үш қыздыру лампасы параллель қосылады. Әр лампадағы ток күшін, тарау кедергісін, оның ұштарындағы кернеуді табу керек.

Жауабы: 85,7 ом.

2. Тарау, 1 ом, 3 ом және 6 ом үш параллель өткізгіштен құралады. Егер тарамдалудан бұрын ток күші 2,7 ампер болса, тарау кедергісі және әр өткізгіштегі ток күші қандай болады?

Жауабы: $\frac{2}{3}$ ом.

3. Тарам, кедергілері 6 ом, 0,25 ом, 0,4 ом үш параллель өткізгіштен құралды. Тарамдалуға дейінгі учаскеде ток күші 3 амперге тең деп есептеп, тарам кедергісін және әр өткізгіштің ток күшін табу керек.

Жауабы: 0,15 ом.

4. Кедергісі 4 ом электр қайнатқыш және әрқайсысының кедергісі 200 ом нан параллель қосылған 10 лампадан жасалған лампа реостаты, кернеуі 120 вольт жарық сетіне сым арқылы тізбектеліп қосылған. Қайнатқыш және әр лампа арқылы жүретін ток күшін табу керек.

Жауабы: 5 ампер; 0,5 ампер.

5. Қолымызда жылжымалы контактысы бар реостат болғанда, AB сымын басқамен ауыстырмай, тізбектің A және B нүктелері арасындағы учаскесінің кедергісін қалай екі есе кемітуге болады?

6. Егер кедергісі бірінші өткізгіштің кедергісінің $\frac{1}{9}$ не тең болатын етіп, сол A және B нүктелері арасына параллель екінші сым қосса, толық I тогының қандай бөлімі AB өткізгіштің бойымен жүреді?

Жауабы: 0,1.

7. Тізбектің тарамдалған бөлімімен жүретін I токтың 0,1 яки, 0,01, яки 0,001 бөлігі берілген кедергімен жұру үшін, A және B нүктелері арасына, берілген R кедергіге параллель қандай кедергіні қосу керек?

8. Пәтерге кіргізілген магистральдың ұштарынан үш тарау істелген: тарауға

әрқайсысының кедергілері 220 омнан 11 қыздыру лампасы, екіншіге кедергісі 200 омнан 10 лампа, үшіншіге кедергісі 210 омнан 7 лампа параллель қосылған. Магистральдағы ток күші 16 амперға тең. Әрбір лампадағы, әрбір тараудағы ток күшін табу керек.

Жауабы: 0,56; 0,6; 0,57 а

9. Лампалы реостат саны әртүрлі (2; 3; 10 т. с. с.) параллель қосылған қыздыру лампаларынан жасалады. Әрқайсысының кедергісі 340 ом 12 лампадан кедергі жасағанда ең көп, ең аз кедергісі қандай болады? 30 ом кедергі алу үшін қанша лампаны параллель қосу керек?

Жауабы: 8 лампа

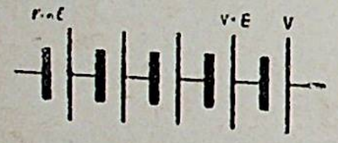
10. Егер 1 ом өткізгішке параллель 1000 ом өткізгіш қосса, тарамның кедергісі неге тең болады?

11. Егер тізбектің екі нүктелерінің арасына параллель кедергі қосса, көздің полюстерінде кернеу өзгере ме?

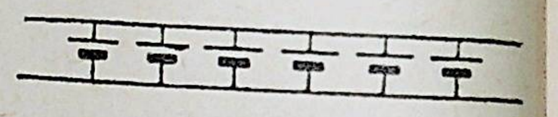
51. Батарея. Жеке бір элементтен тізбекке баратын ток кейбір мақсат үшін жеткіліксіз болған жағдайларда, бірнеше жеке элементтерді бірге қосуға болады. Бірнеше элементтердің айрықша тәсілмен қосылуын **батарея** деп атайды.

Батарея жеке элементтердің өзара қосылу тәсіліне қарай айрылады.

Егер элементтің оң полюсі келесі элементтің теріс полюсіне қосылса, онда қосылысты **тізбектеп қосу** дейді (51-сурет)



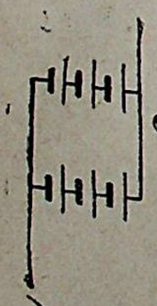
51-сурет. Элементтерді батареяға тізбектеп қосудың схемасы.



52-сурет. Элементтерді батареяға параллель қосудың схемасы.

Сыртқы тізбекті осындай батареяға қосу үшін, оның бір ұшын **шеткі бір** элементтің оң полюсымен қосу керек, ал екінші ұшын **шеткі басқа** элементтің теріс полюсымен қосу керек.

Егер барлық элементтің оң полюстері өзара қосылып, теріс полюстері өзара қосылса, мұндай қосылысты **параллель** қосу дейді (52-сурет). Сыртқы тізбекті қосу үшін тізбектің бір ұшын келген оң полюске, екінші ұшын теріс полюске қосу керек (я өзара бірдей полюстерді қосатын сымдардың бір нүктесіне қосу керек).



53-сурет. Элементтерді батареяға аралас қосудың схемасы.

Егер барлық элементтер, элементтерінің саны бірдей группаларға бөлінсе, онда **аралас** қосу деп аталады; группа ішінде элементтер тізбектеліп, ал группалардың өздері параллель қосылады, немесе керісінше қосылады (53-сурет).

52. Батареяның ішкі кедергісі. **Бірдей** элементтерді **тізбектеп** қосқанда, батареяның ішкі кедергісі жеке элементтің әрқайсысының ішкі кедергісінен неше элемент алынса, сонша есе **көп** болады.

Бірдей элементтерді **параллель қосқанда**, батареяның ішкі кедергісі жеке элементтің ішкі кедергісінен неше элемент алынса, сонша есе аз болады (§ 48).

Аралас қосқанда есептеу былайша жүргізіледі: егер әрқайсысының ішкі кедергісі 0,8 омнан 20 элемент беріліп, әрқайсысында 5 элементтен 4 группаға қосылған болса, онда әр группаның кедергісі $0{,}8 \cdot 5 = 4$ ом болады, үйткені 5 элемент тізбектеліп қосылған; ал, параллель қосылған 4 группаның кедергісі k әрқайсысында 5 элементтен 4 группаға қосылған болса, онда әр группаның кедергісінен 4 есе кем болады, яғни $4 : 4 = 1$ ом болады.

Жалпы айтқанда, егер n элемент беріліп, бұлардан әрқайсысында m элементтен k группа жасалып қосылған болса ($n = m \cdot k$) және де группалар параллель, ал группадағы элементтер тізбектеліп қосылса және элементтің ішкі кедергісі r_1 болса, онда әр группаның кедергісі $r_1 \cdot m$ болады; батарея кедергісі $\frac{mr_i}{k}$ ға тең болады.

Батареяның кедергісін білсек, тізбектің сыртқы бөлігінің кедергісі берілген кезде тізбектегі ток күшін есептеп шығару үшін батареяның ЭҚК-ін ғана білу керек.

53. Батареяның ЭҚК. Тәжрибелер, бірдей элементтерді тізбектеп қосқандағы батереяның ЭҚКі бір элементтің ЭҚКінен, элементтер нешеу алынса сонша есе артық болатынын көрсетеді.

Тәжрибенің нәтижелерін төмендегі айтылғандардан түсінуге болады.

Егер оң жақтағы бірінші элементтің теріс полюсінің потенциалын V аркылы белгілесек (51-сурет), онда оның оң полюсінің потенциалы $V + E$ аркылы өрнектеледі, мұнда E оның ЭҚК-і. Бірінші элементтің оң полюсімен қосылған екінші элементтің теріс полюсінің потенциалы, оның потенциалымен бірдей, яғни $V + E$ болады.

Ал, екінші элементтің оң потенциалы оның теріс полюсінің потенциалынан тағы да E шамада жоғары, яғни $V + 2E$ тең. Үшінші элементтің екіншінің оңына қосылған теріс полюсінің потенциалы да осындай. Потенциалдың мұнан былайғы өсуі осы заңмен болып, екінші шеткі элементтің оң полюсінде потенциал $V + nE$ ге жетеді; батареяның ЭҚК күші $(V + nE) - V = nE$ болады.

Параллель қосқанда, батареядағы ЭҚК жеке бір элементтің ЭҚК мен бірдей болады.

Бұл жағдайда барлық элементтердің оң полюстері өзара, барлық теріс полюстері өзара қосылады (52-сурет). Батарея жеке элементтікіне қарағанда пластинкасы үлкен, бір элементке ұқсас, ал элементтің ЭҚК оның үлкендігімен байланысты болмайды.

Аралас қосқанда, батареядағы ЭҚК жоғарғы екі ережемен анықталады: ол әр группаға тізбектеліп қосылған элементтер санына көбейтілген бір элементтегі ЭҚК ке тең; параллель қосылған группалардың саны ЭҚК-ің шамасына әсер етпейді.

54. Элементтерді батареяға ең тиімді түрде қосу. ЭҚК-ің формуласын және батарея кедергісінің формуласын тағайындап алғаннан кейін, бір элементті және бірнеше элементтерді әртүрлі тәсілмен батареяға тізген кездегі ток күшін есептеп табуға болады.

Бір элемент бар тізбектегі ток күші: $i = \frac{E}{r_i + r_e}$.

Тізбектеп батареяға қосқандағы ток күші:

$$I_{miз} = \frac{nE}{nr_i + r_e}.$$

Параллель етіп батареяға, қосқандағы ток күші:

$$I_{nap} = \frac{E}{\frac{r_i}{n} + r_e}.$$

Егер батареяның ішкі кедергісі сыртқы тізбектің кедергісіне қарағанда өте аз болса, яғни r_e ге қарағанда nr_i дің шамасы болымсыз аз болса, оны ескермей-ақ қоюға болады, онда:

$$i = \frac{E}{r_e};\ I_{miз} = \frac{nE}{r_e};\ I_{nap} = \frac{E}{r_e}.$$

Осы, бір элементтен және батареядан алынатын тізбектегі ток күші үшін жазылған өрнектерді салыстырып мынадай қортынды шығаруға болады: егер сыртқы тізбектің кедергісіне қарағанда батареяның ішкі кедергісі өте аз болса, онда тізбектеп қосылған элементердің батареясының беретін ток күші (сыртқы кедергісі сондай тізбекке жалғыз элементтің беретін ток күшімен салыстырғанда) алынған элемент саны қанша болса, сонша есе артық болады; бұл жағдайда параллель қосылған элементтердің батареясының беретін ток күші жалғыз элементтің беретін ток күшімен бірдей болады.

Егерде элементтің ішкі кедергісіне қарағанда тізбектің сыртқы учаскесінің кедергісі өте аз болса, яғни r_e — ноль деп аларлықтай болса онда:

$$i = \frac{E}{r_i};\ I_{miз} = \frac{E}{r_i};\ I_{nap} = \frac{nE}{r_i}.$$

Қортынды: егер сыртқы тізбектің кедергісіне қарағанда элементтің ішкі кедергісі зор болса, онда r_e нольге жуық болатын кезде, параллель қосылған элементтердің батареясының беретін ток күші, жалғыз элементтің сондай тізбекке беретін ток күшінен, алынған элементтер саны қанша болса, сонша есе артық болады; тізбектеп қосылған батареяның беретін ток күші, жалғыз элементтің беретін ток күшімен бірдей болады.

Осы жасалған есептеулер, *сыртқы кедергі ішкімен салыстырғанда, өте үлкен болған кезде элементтерді тізбектеп қосу ұтымды*[1]) *болатынын көрсетеді. Ол аз болғанда параллель қосу ұтымды болады.*

Әр группада m элементтен тізбектеліп қосылған k группаларды аралас қосқанда, ток күші мына формуламен өрнектеледі:

$$I_{см} = \frac{mE}{\frac{mr_i}{k} + r_e}.$$

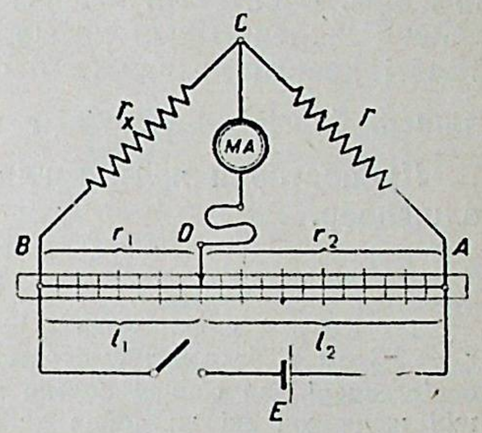
[1]) *Ұтымды* — деген сөз бір элементтің ток күшіне қарағанда, едәуір үлкен ток күшін береді деген сөз болады.

Есептеудің көрсетуіне қарағанда элементтерді түрліше группалап қосқанда, токтың күші ең көп болатыны, сыртқы кедергі батареяның ішкі кедергісімен тең болған кездегі екендігі байқалады, яғни:

$$\frac{mr_i}{k} = r_e.$$

55. Уитстон көпірімен кедергіні табу. Кедергіні өлшеудің дәл тәсілдерінің бірі токтың тарамдалу заңына негізделген. Осыған арналған установканы У и т с т о н к ө п і р і дейді.

Р е о х о р д деп аталатын прибор — үстіне меншікті кедергісі үлкен никелин я басқа бір қоспадан істелген біртекті жіңішке сым тартылған метрлік линейкадан құралады (54-сурет). Сымның A мен B ұштарының арасына белгілі кедергіні r (A мен C арасында) және өлшенетін кедергі r_x (B мен C арасында) тізбектеліп қосылған. Екі кедергінің қосылған нүктесі C, миллиамперге градиурленген (миллиампер=0,001 A), амперметрдің немесе гальванометрдің бір қысқышымен қосылады; оның екінші қысқышы майысқақ сым арқылы, біртекті сымның бойымен сырғанап жүретін D тиекке қосылады. Прибордың осы бөлімі, CD прибордың екі бұтағының арасына салынған көпірге ұқсайды да, барлық прибор сол атпен аталынады.



54-с у р е т. Уитстон көпірі.

Реохордтың A және B ұштарына E элементінің полюстерінен келетін сымдар қосылады.

Егер тізбекті тұйықтаса ток BCA және BDA бұтақтарымен таралады; ток көпірдің CD бойымен де жүріп миллиамперметрдің стрелкасын бұрылдырады.

Тиек D ны жылжытып отырып, сонымен r_1 және r_2 бөліктердің кедергілерін өзгерту арқылы көпір арқылы ток жүрмейтіндей, тиектің орнын табуға болады. Ток амперметр арқылы өтпесе, онда C мен D нүктелері бірдей потенциалда болғаны:

C мен D нүктелерінің бірдей потенциалдарын V арқылы, B нүктесінің потенциалын V_1 арқылы, A нүктесінің потенциалын V_2 арқылы белгілейік; BCA бұтағындағы ток күшін i_1 мен, BDA бұтағындағы ток күшін i_2 мен белгілейік.

Сонда тізбектің бір учаскесіне арналған Ом заңы бойынша:

$$V_1 - V = i_1 r_x; \qquad V - V_2 = i_1 r;$$
$$V_1 - V = i_2 r_1; \qquad V - V_2 = i_2 r_2;$$

Бұдан:

$$i_1 r_x = i_2 r_1; \qquad i_1 r = i_2 r_2,$$

Бірінші теңдікті екіншіге мүшелей бөлейік:

$$r_x : r = r_1 : r_2.$$

Сонымен, көпір арқылы ток жүрмеген жағдайда, төрт бұтақтың кедергілері пропорционал болып шығады.

Бірақ, линейка тартылған сым біртекті болғандықтан, оның бөліктерінің кедергілері ұзындықтарына пропорционал болады:

$$r_1 : r_2 = l_1 : l_2 \text{ және } r_x : r = l_1 : l_2.$$

Осы қортындыдан приборды пайдаланудың мынадай тәсілі шығады. Өлшенетін кедергі мен белгілі кедергіні суретте көрсетілгендей жалғастырып қосып, көпірдегі ток жоғалып кеткенге дейін тиекті қозғап жылжыта береді. Содан кейін l_1 мен l_2 ұзындығын өлшеп, белгісіз кедергіні $r_x = \frac{rl}{l}$ формуламен есептеп шығарады.

Лаборатория жұмысында қандай болсада бір белгісіз кедергіні өлшеңдер.

8-жаттығу.

1. ЭҚК $= 2$ вольт және $r_i = 0{,}08$ ом 10 аккумулятор тізбектеліп қосылып $r_e = 3{,}2$ ом тізбекпен тұйықталған. Тізбектің батареядан алған ток күшін және берілгендері дәл сондай болған кездегі бір элементтің тізбекке беретін ток күшін және сол екі жағдайда да қысқа тұйықталу кезіндегі ($r_e = 0$) ток күшін табу керек.

Жауабы: 5; 0,61; 25 және 25 ампер.

2. Екі бірдей элемент параллель қосылған. Осындай қос элементтердің ЭҚК және ішкі кедергісі неге тең болады? r бірдей элементтерді осы қалыпты етіп қосса жоғарыдағы сұраулардың жауабы қандай болады?

3. Әрқайсысының ЭҚК 2,5 вольт және ішкі кедергісі 1 ом екі элемент параллель қосылған: содан кейін, жалпы оң және жалпы теріс полюстері кедергісі 0,5 ом (немесе 5 ом) өткізгішпен қосылған. Тізбектегі ток күшін табу керек және сол сыртқы өткізгіш бір элементті тұйықтағанда шығатын күшпен салыстыру керек.

4. ЭҚК $= 2$ вольт, $r_i = 1$ ом 10 элемент параллель қосылған және $r_e = 0{,}5$ ом өткізгішпен тұйықталған. Батареядан алынатын ток күшін және берілгендері дәл сондай болған кездегі бір элементтен алынатын ток күшін және сол екі жағдайда қысқа тұйықталу кезіндегі ток күшін және $r_e = 3{,}2$ ом болғандағы ток күшін табу керек.

Жауабы: 10; 1,8; 20 және 2; 0,6 және 0,5 ампер.

5. ЭҚК $= 1{,}5$ вольт, 10 элемент әр группасында 5 тен тізбектеліп қосылған элементтерден екі группаға бөлінген, группалар параллель қосылған; $r_i = 0{,}8$ ом. Сыртқы кедергі $r_e = 20$ ом не 2 ом не 0,2 болса, батареядан және бір элементтен алынатын ток күші қандай болады?

Жауабы: батарея үшін 0,34; 1,875; 3,4 ампер.

6. ЭҚК $= 2$ вольт, $r_i = 1$ ом және $r_e = 0{,}75$ ом 12 элемент берілген. Элементтерді әртүрлі қосқанда (тізбектеп, параллель және қалағанша группамен) ток күшін есептеп шығару керек және қосудың ең ұтымды түрін табу керек.

Жауабы: 3 тен 4 параллель группа.

ОҚУШЫЛАРДЫҢ БІЛІМІН ТЕКСЕРУГЕ АРНАЛҒАН СҰРАҚТАР

1. Тізбектің бір учаскесі үшін U және I өзгергенде $\frac{U}{I}$ қатнасының қандай қасиеті болады?

2. $\frac{U}{I}$ қатнасы өткізгіштің қандай қасиетін сыйпаттайды?
3. Кедергінің өлшемі қалай алынған және қалай атәлады?
4. Тізбектің бір бөлігі үшін Ом заңының айтылуы мен формуласы қандай?
5. Өткізгіштің кедергі заңы қандай?
6. Заттың меншікті кедергісі деп нені айтады?
7. Кедергінің формуласы қандай?
8. Ток көзінің электр қозғаушы күші деп нені айтады?
9. Толық тізбек үшін Ом заңының айтылуы мен формуласы қандай?
10. Тұйықталған сыртқы тізбектегі көздің қысқышындағы ЭҚК мен кернеу арасындағы айырма неменеге тең, ол неге жұмсалады және немен байланысты?
11. Өткізгіштерді тізбектеп қосу деп нені атайды, осы жағдайда бірнеше өткізгіштің жалпы кедергілері қалай есептеліп шығарылады?
12. Өткізгішті параллель қосу деп нені айтады?
13. Өткізгіштің өткізгіштігі деп нені айтады?
14. Бірнеше түрлі өткізгіштерден тұрған тарамның өткізгіштігінің заңы қалай?
15. Бірдей бірнеше өткізгіштен тұрған тарамның кедергісі неге тең?
16. Жеке тармақтардағы ток күштері мен бас тізбектегі ток күшінің қатысы қандай?
17. Тармақтардағы токтар мен кедергілер арасындағы байланыс қандай?
18. Кедергі магазинінде штепсельдер сұғулы тұрғанда ток, кедергі катушкасы арқылы неге жүрмейді?
19. Элементтер батареясы деп нені атайды? Элементтердің қандай қосылуын тізбекті, параллель аралас деп атайды?
20. Тізбектеп қосқанда батареяның ток күшінің формуласы қандай? Батареяның сыртқы және ішкі кедергілерінің арасында қандай қатыс болғанда тізбектеп қосу, бір элементпен салыстырғанда, ұтымдылау?
21. Параллель қосқанда батареяның ток күшінің формуласы қандай? Осы қосудың ұтымдылығының шарты қандай?
22. Аралас қосқанда батареяның ток күшінің формуласы қандай? Осы қосудың ұтымдылығының шарты қандай?

56. Токтың энергиясы және қуаты. Жоғарыда (§ 36), электр тогының барлық тізбегінде, өткізгіштің көлденең қыймасынан бірдей Q мөлшер электр өтетіні және тізбектің әр учаскесінің өзгеше кернеуі яки потенциалдар айырмасы болатыны айтылған еді.

Кітаптың бірінші тарауында, V_1 потенциалы бар нүктеден V_2 потенциалы бар нүкте Q өлшем электр ауысып көшкенде $A = Q(V_1 - V_2)$ энергия жұмсалатыны көрсетілген еді.

Егер осы потенциалдардың айырмасын (кернеуді) U әрпімен, ал, электр тогы беретін энергияны W әрпімен белгілесе, онда кезкелген учаске үшін бұл энергия мынадай формуламен өрнектеледі:

$$W = QU; \text{ барлық тізбек үшін: } W = QE^1) \qquad \text{(XIVа)}$$

$Q = It$ болатындықтан учаскедегі электр тогының беретін энергиясы:

$$W = IUt, \text{ барлық тізбектегі } W = IEt. \qquad \text{(XIVб)}$$

Егер I ампермен, U вольтпен, t секундпен өлшенсе (13-§ тың қортындысы бойынша) It кулонмен, W — джоульмен өрнектеледі.

---

1) Қосымша кері ЭҚК, мысалы, поляризация (§ 91) яки индукция (§ 114) ЭҚК жоқ болса.

Сонымен, энергия өлшемінің — джоуль деген атының орнына кулон-вольт деп алуға болатындығын көреміз:

$$\text{джоуль} = \text{кулон} \times \text{вольт}.$$

Тізбектің кезкелген учаскесінде токтың қуаты, электр тогының 1 секунд ішінде беретін энергиясының мөлшерімен өлшенеді.

$$\text{Қуат } N = \frac{W}{t}.$$

$W = IUt$ теңдігінің екі жағын да t ға бөліп мынаны табамыз:

$$\boxed{N = IU.} \qquad \text{(XV)}$$

Сол системада қуаттың өлшемі в а т т болады. Осы формуладан көретініміз: *өткізгіштегі кернеу 1 вольт болған кезде өткізгіштен 1 ампер ток өтсе токтың қуаты 1 ваттқа тең:*

$$\text{ватт} = \text{вольт} \times \text{ампер}.$$

Механика курсынан: джоульды басқаша ватт-секунд деп, ал 3600 джоульды ватт-сағат деп атайтындығы бізге мәлім; 360 000 джоуль гектоватт-сағат деп және 3 600 000 джоуль киловатт-сағат деп аталады.

57. Электр энергиясының жылу энергиясына айналуы. Барлық тәжрибелер, электр тогы өткенде тізбекке кіретін өткізгіштердің барлық учаскелерінің қызатындығын көрсетеді.

Сонымен, тізбекте энергияның төмендегідей түрленетінін көреміз. Генератордағы химиялық энергия (я ток генераторы етіп электр машинасы алынса, онда механикалық энергия) электрондар немесе иондар тогының электр энергиясына айналады; ал тізбекте электр энергиясы жылу энергиясына я энергияның басқа түрлеріне (мәселен химиялық, яки индукциялық ток энергиясына) айналады.

Егер тізбек учаскесінде электр энергиясы энергияның басқа формасына айналмаса, осы учаскедегі электр энергиясы түгелімен жылуға айналады; басқа жағдайларда электр энергиясы жылуға жартылап қана айналады.

Электр тогы жүрген кезде, оның жүретін өткізгіштерінде әрқашан жылу пайда болады.

Тізбекте пайда болатын жылу мөлшері мен тізбекті сыйпаттайтын электр шамаларының арасындағы байланысты төменгі лаборатория жұмысында оқушылар өздері тексеріп зерттеулеріне болады.

***58. Лабораториялық жұмыс № 1.* Токтың жылу әсерінің заңын тәжрибеден қорыту.**

Приборлар: 1) 3 аккумулятор; 2) калориметр; 3) термометр; 4) амперметр; 5) 1 және 2 ом кедергісі бар спиральдар; 6) мензурка; 7) таразы және ұсақ кірлер; 8) рубильник; 9) керосин; 10) жылжыма контакты реостат.

Біріншіден, бұрын кедергісі өлшенген учаске бойымен жүретін ток күшін, екіншіден осы кедергіден шығарылатын жылу мөлшерін өлшеу керек. Жылудың

мөлшерін өлшеу үшін зерттелетін өткізгішті калориметрге салу керектігі өзінен түсінікті. Барлық тәжрибе осыған сәйкес істелінеді.

1. Тапсырма. Б ө л і н і п ш ы ғ а т ы н ж ы л у м ө л ш е р і м е н т о к ж ү р г е н у а қ ы т т ы ң а р а с ы н д а ғ ы б а й л а н ы с т ы т а б у.

Ж ұ м ы с т ы ң т ә р т і б і. 1. Калориметрді таразыға өлшеп, массасының қанша грамм болатынын табыңдар.

2. Сұйыққа спираль батып тұратын етіп және оған салынған термометр бағанасы калориметрдің үстінен көрініп тұратындай етіп, калориметрге керосин құйыңдар. Таразыға өлшеп, яки мензуркамен өлшеп алынған керосиннің m_1 грамм массасын табыңдар.

3. Калориметрге спираль және термометр салыңдар.

4. Тізбек құрыңдар: 1—2 аккумуляторлар, рубильник, кедергі спиралі, амперметр.

5. Керосиннің бастапқы температурасын $t° = \ldots$ жазыңдар.

6. Уақытты байқап, токты тұйықтаңдар, i ампер ток күшін жазыңдар, сұйықты қалақшамен араластыра отырыңыз, тәжрибе басталғаннан кейін $T_1 = 5$ минутқан соң керосиннің температурасын жазып алыңдар: $t°_1 = \ldots$ және тәжрибе басталғаннан кейін $T_2 = 10$ минуттан соң температураны тағы жазып алыңдар. $t°_2 = \ldots$ Тізбекті айырыңдар.

7. $T_1 = 5$ минут уақыт ішінде калориметрдің алған q_2 калория жылу мөлшерін қандай формуламен өрнектеуге болады. $T_2 = 10$ минут уақытта калориметердің алған q_1 жылу мөлшерін қандай формуламен өрнектеуге болады? q_2 мен q_1 дың қатнасы қандай $\left(\frac{q_2}{q_1} = \frac{t_2 - t}{t_1 - t}\right.$ екендігін көрсету керек$\left.\right)$?

8. T_2 және T_1 екі уақыт аралығының қатнасы қандай? $\frac{q_2}{q_1}$ мен $\frac{T_2}{T_1}$ қатысы қандай? Тәжрибенің қортындысы қандай?

9. Шыққан сандарды таблицаға жазыңдар.

Прибор № ...; кедергі $R_1 = \ldots$ ом, ток күші $i = \ldots$ ампер; калориметр массасы $m = \ldots$ грамм; керосин массасы $m_1 = \ldots$ грамм.

Номер	Уақыт	Температура	Уақыт аралығының қатнасы мен жылу мөлшерлерінің қатнасы	Айырма $\frac{T_2}{T_1} - \frac{q_2}{q_1}$	$\frac{T_2}{T_1}$ қатнасымен салыстырғандағы % пен алынған айырмасы[1])
	0 сек	$t° = \ldots$	$\frac{T_2}{T_1} = \ldots$		
	$T_1 = \ldots$	$t°_1 = \ldots$			
	$T_2 = \ldots$	$t°_2 = \ldots$	$\frac{q_2}{q_1} = \frac{t_2 - t}{t_1 - t} = \ldots$		

2-тапсырма. Б ө л і н і п ш ы қ қ а н ж ы л у м ө л ш е р і м е н т о к к ү ш і н і ң а р а с ы н д а ғ ы б а й л а н ы с т ы т а б у.

3-тапсырма. Б ө л і н і п ш ы қ қ а н ж ы л у м е н ө т к і з г і ш к е д е р г і с і н і ң а р а с ы н д а ғ ы б а й л а н ы с т ы т а б у.

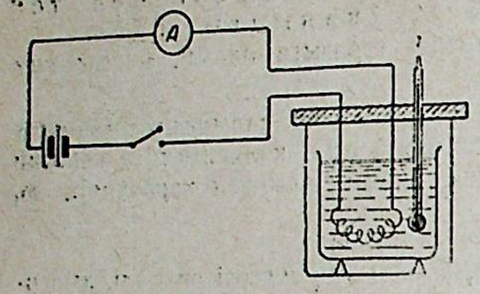
Екінші және үшінші тапсырмаларды орындау жоспарын және жолын өз бетеріңізбен жасаңыздар.

59. Токтың жылу әсері үшін Джоуль-Ленц заңы. Токтың жылу әсерін бір-біріне тәуелсіз зерттеген орыс ғалымы Ленц және ағыл-

---

[1]) Егер жұмысты оқушылардың барлығы да бірнеше группаға бөлініп істеген болса, онда барлық группа үшін де орта мәнді табу керек.

шын ғалымы Джоуль. Зерттеу құралы есебінде калориметр алынған, оның ішіндегі сұйыққа спираль түрінде сым салынған (55-сурет).



55-сурет. Джоуль тәжрибесіне арнаған прибор.

Егер тізбекке ток көзі, амперметр, калориметрге салынған сым спираль кіргізілсе, амперметрмен өткізгіш бойымен өтетін ток күшін өлшеуге болады. Екінші жағынан калориметриялық формуламен калориметрдің алған жылу мөлшерін есептеп табуға болады. Түрлі тәжрибелерде ток жүрген уақытты, өткізгіш кедергісін және онымен жүретін ток күшін өзгертіп отырып, барлық осы шамалармен жылу мөлшері арасындағы тәуелдікті табуға болады. Өз тәжрибелерінен Джоуль, онымен қатар, өз бетімен, Ленц те, Джоуль-Ленц заңы деп аталып кеткен, мына заңды тапты:

Өткізгіштен ток жүргенде онда пайда болатын жылу мөлшері ток күшінің квадратына, өткізгіш кедергісіне және ток жүрген уақытқа тура пропорционал болады.

Егер бір учаскедегі электр тогының энергиясы түгелімен жылуға айналатын болса, Джоуль-Ленц заңын бұрынғы тағайындалған қатнастардан шығаруға болады.

Шынында, әр учаске үшін электр энергиясы:

$$W = IUt \text{ және } U = IR, \text{ бұдан } W = I^2Rt.$$

Бұл формулада энергия джоульмен өрнектелген.

Оқу кітабының екінші бөлімінен жұмыстың 0,24 $\frac{кал}{джоуль}$ ға тең термиялық эквивалентін алып, ток энергиясын калориямен өрнектеуге болады.

$$Q_т = 0{,}24I^2Rt.$$

Сонымен, электр тогының энергиясын яки қуатын есептеу үшін мына өрнектердің қайсысын болса да пайдалануға болады.

Токтың энергиясы

Механикалық өлшемдермен

$$\boxed{\begin{aligned} W &= IUt \\ W &= I^2Rt \\ W &= \frac{U^2}{R}\cdot t \end{aligned}} \quad (XVI)$$

Жылу өлшемдерімен

$$\boxed{\begin{aligned} Q &= 0{,}24\ IUt \\ Q &= 0{,}24\ I^2Rt \\ Q &= 0{,}24\ \frac{U^2}{R}\ \cdot t \end{aligned}} \quad (XVII)$$

Қуаты

$$\boxed{\begin{aligned} N &= IU \\ N &= I^2R \\ N &= \frac{U^2}{R} \end{aligned}} \quad (XVIII)$$

0,24 көбейткіші джоульмен өрнектеліп алынған электр энергиясына сәйкес термиялық эквиваленті болады; ол I мен R электрлік шамалар арқылы есептелген.

Осы эквивалентті өз беттеріңмен лаборатория жұмысында анықтауға болады.



Э. Х. Ленц[1] (1804 — 1865).

60. ***Лабораториялық жұмыс № 2.*** **Электр энергиясының жылу эквивалентін анықтау.**

Приборлар: 1) калориметр; 2) термометр; 3) кедергісі 2 — 3 омдық спираль[2]); 4) амперметр; 5) вольтметр; 6) аккумулятор; 7) рубильник; 8) таразы және ұсақ кірлер; 9) сағат; 10) керосин.

Жұмыстың тәртібі. 1. Бір аккумуляторлардың оң полюсін екіншінің теріс полюсімен қосыңдар және бос полюстерге сым спиральдан, амперметрден, рубильниктен құралған сыртқы тізбекті қосыңдар. Сым спиральдың ұштарына вольтметрді параллель қосыңдар 55-сурет).

2. M грамм калориметр массасын табыңдар.

3. Калориметрге салынған сым спиралы түгел жабылырлықтай етіп калориметрге керосин құйыңдар және керосиннің грамм массасын табыңдар.

4. Калориметрге спираль салыңдар, оған термометр қойыңдар және бастапқы $t°_1$ температураны байқаңыз.

---

[1]) Ленц Эмилий Христианович (1804 — 1865) Орыс ғылым Академиясының мүшесі. Петербург университетінің профессоры және ректоры.

Э. Х. Ленцтің негізгі жұмыстары электромагнетизм мәселелері жөнінде электромагниттік индукция арқылы өткізгіште өнетін электр тогының бағытын анықтайтын заңды Э. Х. Ленц ашты. Бұл электр оқуындағы жалпыға мәлім Ленц ережесі дейтін заң. Индукция тогының күші неменеге байланысты екенін Ленц тағайындап, индукция тогына Ом заңы жарамды болатынын көрсетті. Бұл барлық электр құбылыстарының бірлігін тағайындауда ілгері қарай үлкен адым болып табылды, үйткені ол кездерде статикалық электр мен «гальвани» электр (яғни электр тогы) бір-бірінен негізінде айрылады деп есептеуші еді және тіпті әртүрлі көздерден алынатын токтар да бір-бірінен өзгеше деп есептелуші еді.

Э. Х. Ленцтің жұмыстары электромагниттік индукция құбылыстарын есептеуге негіз болып қаланды. Бұл осы күнгі барлық электротехниканың негізі болып табылады. Джоульге ешбір байланыссыз, Э. Х. Ленц өз бетімен Джоульдікінен гөрі дәлірек тәжрибе арқылы токтың жылу әсерінің заңын тағайындады. Бұл физикада жақсы белгілі заң Джоуль-Ленц заңы деп аталады.

Э. Х. Ленц электромагнетизм облысында басқа да бірталай жұмыстарды орындады. Атап айтқанда, ол, орыстың басқа оқымыстысы Б. С. Якобимен бірігіп, электромагниттердің көтергіш күші нелерге тәуелді болатынын тағайындады; динамомашиналардың теориясын жөндеуде ол көп жұмыс істеді. Өзінің еңбегінің арқасында ол, дұрысында, осы уақыттағы электротехниканың негізін салушылардың бірі болып саналады. Э. Х. Ленц жержүзін айналып шыққан экспедицияға қатысып, физикалық географиядан бірқатар жұмыстар жазды. Ленц жазған физиканың оқу кітабы ұзақ уақыттар бойы көпшілікке өте жақсы мәлім болып, көп тараған еді.

[2]) Спираль орнына электр лампасын алып, жарық беретін тізбекке қосады. Онда 120 вольт шамасында шкаласы бар вольтметрді алу керек болады.

5. Тұйықталу уақытын байқап алып, ток жіберіңдер. Токтың күшін, спиральдағы кернеуді жазыңдар.

6. Керосиннің температурасы 5 градус көтерілгеннен кейін токты үзіп, ток жүрген t секунд уақытын және ақырғы (ең жоғарғы) температураны $t°_2$ жазып алыңдар.

7. Сандарды мына таблицаға жазыңыз:

Өлшеулер №	Калориметрдің М массасы	Керосиннің m массасы	Бастапқы температура $t°_1$	Ақырғы температура $t°_2$	Ток күші I	Кернеу U	Уақыт t

8. $t°_1$ ден $t°_2$ ға дейін жылытқанда, керосиннің және калориметрдің алған Q калория жылу мөлшерін есептеп шығару керек.

9. t секунд уақыт ішінде I ампер ток күші және U вольт кернеуі бар спиральдағы токтың W джоуль жұмысын есептеп шығарыңдар.

10. $\frac{Q\ кал}{W\ джоуль}$ қатнасты табыңдар.

11. Түрлі уақыт аралықтары үшін, ток күштері үшін және кернеулер үшін өлшеуді бірнеше рет қайталап істеп, $\frac{Q}{W}$ нің орта мәнін табыңдар.

12. Осы орта мәнді таблицалық 0,24 мәнімен салыстырыңдар және жіберілген қатаны процентпен өрнектеңдер.

13. Егер оқушылар бірнеше группаға бөлініп істесе, солардың барлығының тапқан нәтижелерінен орта мәнді табу керек.

9-жаттығу.

1. 110 вольт кернеуде 0,5 ампер жұмсайтын қыздыру лампасының бір сағат ішінде шығаратын жылу мөлшерін анықтаңдар.

2. Кедергісі 6 ом, суға салынған спираль жәрдемімен 10 минут ішінде 560 $см^3$ суды 16° тан 100° қа дейін жылыту үшін, егер сәуле шығару шығыны 20% болса, қандай ток күші керек болады?

Жауабы: 47 520 *кал.*

3. Металл пісіретін машинаның доғасының қысқыштарындағы кернеу 60 вольт болады; өтетін ток күші 150 амперге тең. Доғаның кедергісін және ток қуатын табыңыздар.

Жауабы: 7,7 *А.*

4. Пісіру үшін арналған көмір электродының диаметрі 30 *мм*, ұзындығы 300 *мм*; ток күші 800 ампер болғанда ($\rho = 40$) көмірдің кедергісін және бір секундтегі көмірдегі энергия шығынын табу керек.

Жауабы: 0,4 ом; 9 *квт.*

5. Электрлік балқыту пешіне ток келтіретін мыс сымның қыймасы 4800 $мм^2$. Олардың жалпы ұзындығы 13,5 *м*. Олардың кедергісін табу керек. Ток күші 8 000 ампер болатын жағдайда қандай қуат жұмсалады?

Жауабы: 0,017 ом.

6. Сыйымдылығы 2,5 *л* қайнатқышқа құйылған температурасы 12° су, ток күші 10 ампер, кернеу 120 болған жағдайда 15 минуттан кейін қайнаса, қайнатқыштың пайдалы әсерінің коэфициенті қандай болады? 1 *квт-сағ*, 2,5 тыйын тұрғанда қайнату қанша тұрады?

Жауабы: 85%; 7,5 тыйын.

7. Тізбекке ұзындықтары да, диаметрлері де бірдей мыс, темір және никелин сымдары тізбектеліп қосылған. Осы сымдардың қайсысында жылу мөлшері көп болады? Алғашқы екі сымның қайсысының жылыну градустарының саны көп болады? (Мыстың тығыздығы 8,9 $\frac{г}{см^3}$; темірдікі 7,8 $\frac{г}{см^3}$; мыстың меншікті жылу сыйымдылығы 0,09; темірдікі 0,11).

8. Сыртқы тізбек мыс сымнан тұрады. Егер екінші жартысын қатты суытса, бірінші жартысының жылынуы өзгере ме?

9. Егер 110 вольт кернеуде мотордың алатын тогы 80 ампер болса, 10 ат күші бар мотордың пайдалы әсер коэфициенті неге тең?

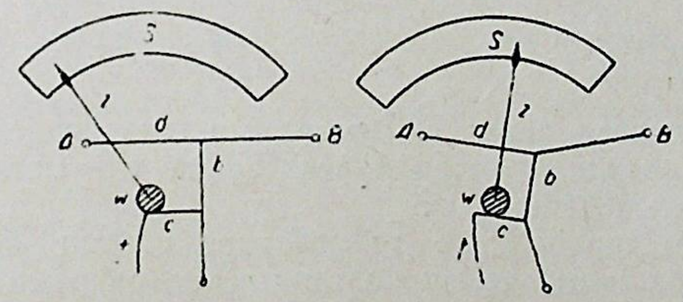
10. Кедергісі 4 ом электр қайнатқышы және әрқайсысының кедергісі 200 омнан параллель қосылған, 10 лампадан құралған лампалы реостат сымдар арқылы кернеуі 120 вольт жарық сетіне тізбектеліп қосылған. Егер қайнатқыштың пайдалы әсерінің коэфициенті 75% болса, қанша уақыттан кейін 200 $см^3$ суды 0° тан 100° қа дейін жылытуға болады?

11. Тізбекке — ұзындығы және қыймасы бірдей мыс және темір сымдар параллель қосылған. Бірдей уақыт ішінде сымның қайсысында жылу мөлшері көбейеді?

12. Электр кастрюлі 110 вольт болғанда 6 ампер ток алады. Сол бір литр суды 15 минутта қайнатады. Приборға неше ат күші жұмсалады?

Жауабы: 0,9 *а. к.*

61. Жылулық ампер-вольтметрлер. Ток күшін және кернеуді өлшейтін приборлардың құрылысы токтың жылу әсеріне негізделіп істелген. Жылу приборларының маңызды бөлігі — ұштары A мен B нүктелеріне (56-сурет) бекітілген пластина-күміс сымнан құра-



56-с у р е т. Жылулық амперметрдің схемасы.

лады. Онымен ток жібергенде ол ысып, ұзарады; оның ортасы b жез сымымен тартылып тұрады да, ол жез сымның ортасынан пружина f әсер етеді. Осылайша сымдар жылжығанда, оларға тіркелген w дөңгелек айналады; оның айналуының нәтижесінде көрсеткіш стрелка z скала S тің бойымен жылжып қозғалады.

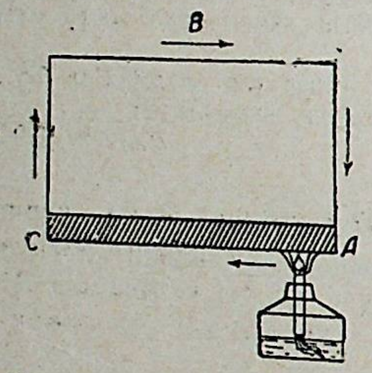
Жылулық вольтметрдің сол типті амперметрден айырмасы тек мынау ғана: вольтметрдегі сымға тізбектеп қосымша кедергі жалғастырылады; бұл көбінесе прибордың өзінің ішінде тұрады.

62. Термоэлектр. Біз электр энергиясының жылуға айналатынын қарастырдық. Курстың өткен бөлімдерінде энергияның әр түрлерімен таныстық; осы танысқанымыздан біз, табиғатта материя қозғалысының бір формасы түрленіп екінші формасына айналатынын және бұл айналудың керісінше болатынын көрдік.

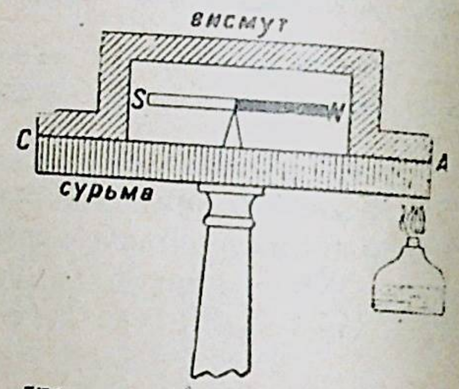
Жылу, электр тогының энергиясына айнала ала ма? Жылу энер-

гиясының электр энергиясына көшуін 1823 ж. Зеебек ашты. Егер түрлі металдардан істелген екі өткізгіштің ұштарын (57а және 57б-сурет) дәнекерлеп қосып, бір ұшын жоғарырақ температурада, екіншісін төменірек температурада ұстаса, металдармен электр тогы жүреді; ендеше, дәнекерлеген жерлерінің арасында ЭҚК пайда болады.

Әртүрлі металдан істелген екі өткізгіштің дәнекерлеп қосылған жерлерін түрліше қыздыру арқылы шығарылатын электр тогын термоэлектр тогы дейді. Барлық қос металдардың термоэлектр ЭҚК өте аз. Ең көп ЭҚК беретіннің бірі, висмут пен сурьманың қосағы; бұлардың дәнекерленген жерлері 0° және 100° температурада тұрғанда ЭҚК 0,011, вольтқа тең болады; бұл қос металдарда ток жылынған дәнекер арқылы висмуттан сурьмаға қарай жүреді.



57а-сурет. Термоэлемент схемасы.



57б-сурет. Термоэлемент.

Ұштарын дәнекерлеген екі металдың, дәнекерлеген ұштарын әртүрлі температурада ұстап тұрса, ондай екі металл термоэлемент болып табылады.

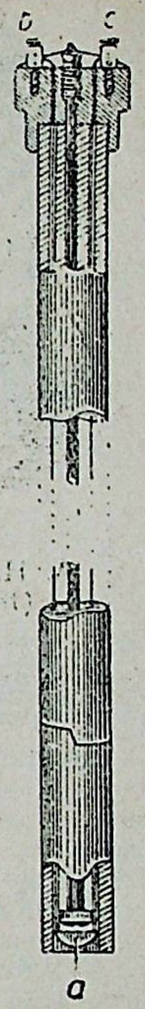
Термоэлементтердің және термобатареялардың пайдалы әсер коэфициенті соншалық төмен болғандықтан, олардың ток көзі болулықтай техникада мәні жоқ. Бірақ термоэлементтер ток күшін өлшейтін өте сезгіш приборларды және термоэлектрлік термометрлерді жасауға қолданылады.

63. Термоэлектрлік термометр. Жоғарғы температураны өлшеуге арналған термоэлектрлік термометр балқу температурасы өте жоғары әртекті металдардан істелген екі сымнан құралады, олар өзара бір жағынан денекерленіп қосылып, фарфор трубаға отырғызылады (58-сурет); екі өткізгіштің бос ұштары өте сезгіш гальванометрмен жалғастырылады. Сымның қосылған ұштары бар фарфор трубкасын пешке қойғанда, сол қосылған жері қызады, ал басқа екі ұшы бөлме температурасында болады. Қосылған жерлердің температура айырмасынан ток пайда болады, оны гальванометр білдіреді. Гальванометр алдын ала температураның градустарына градуирленген болады.

Сонымен, гальванометрдің көрсетуіне қарап, қыздырылған дәнекердің (пештің) температурасы мен бөлме температурасының

айырмасын анықтауға болады. Осы приборды — термоэлектрлік пирометр деп атайды.

Термоэлектр құбылысына негізделіп, бірақ құрылысы біраз өзгеше болып келген осы сияқты термометр, температуралардың өте аз айырмасын өлшеуге қолданылады.



58-сурет. Термоэлектр термометрі.

64. Вольт доғасы. Токтың жылу әсерін негізінде екі жолмен пайдаланады: оның бірі қыздыру техникасы; енді бірі жарық беру (жарықтандыру) техникасы және оларға температура өлшейтін приборлардың құрылысын қосуға болады.

Электрмен жарық қылу: үш түрде орындалады: оттегі жоқ жағдайда өткізгішті қыздыру, ауада жалын жасау және сиреген газды жарқырату (§ 105).

Қыздыру лампаларының [1]) құрылысы жеті жылдық мектептің курсынан белгілі.

Токтың жылу әсеріне негізделіп жасалған қуатты жарық және жылу көзінің екінші бір түрі — электр тогының әсерінен көмір электродтардың сәуле шығарып жарқырауы. Бұл құбылысты жер жүзінде ең бірінші рет 1802 ж. ашқан орыс оқымыстысы В. В. Петров [2]). Кейініректе, тұрақты токтың көзін бірінші жасаушы Вольтаның

[1]) Ең бірінші іс жүзінде жарамды қоздыру лампасын 1872 ж. орыстың электротехнигі-өнерпазы А. Н. Лодыгин (1847—1923) ойлап шығарды. Лодыгинның лампаларының үлгісімен танысып алғаннан кейін, америка өнерпазы Эдисон да Лодыгинның жұмыстарының әсерімен қыздыру лампаларымен істес болып, оларды жетілдіруге кірісті. 1890 жылы Лодыгин қыйын балқыйтын молибден және вольфрам қылы бар лампа жасап шығарды. Содан бері вольфрам қылы бар лампаларды жалпы ел қолданатын болды. А. Н. Лодыгин электрпештерді жасау үшін көп еңбек сіңірді. Ауадан ауырырақ ұшқыш аппаратты құрастырып жасаған да Лодыгин еді.

[2]) Петров Василий Владимирович (1761—1834) орыс электротехникасының негізін құрушы, Орыс ғылым Академиясының толық мүшесі.

В. В. Петров өз заманындағы ең үлкен 4200 мыс және цинк дөңгелекшелерден құралған гальвани батареясын жасап шығарды. Осы батареяның жәрдемімен В. В. Петров әртүрлі көп зерттеулерді жүргізді.

Электр тогы жүрген кездегі көмір электродтардың жарқырап сәуле шығаруын 1802 ж. ашып еңбек сіңірген П. В. Петров. Мұны ашқан ағылшын ғалімі Дэви деп қате айтады, үйткені Дэви бұл құбылысты айтқаны тек 1810 жылы, яғни В. В. Петровтан 8 жыл кейін еді. Петров ашқан құбылысты кейіннен вольт доғасы деп атаған.

Ең алғаш вольт доғасын Петров ашып, оның қасиеттерін тәптіштеп зерттеді. Ол вольт жарық қылу мақсаты үшін және металдарды балқытып ұстату үшін қолдануға болатынын тағайындады. Вольт доғасының бұл қасиеттері осы кездегі электротехниканың әртүрлі салаларында кең түрде пайдаланылады.

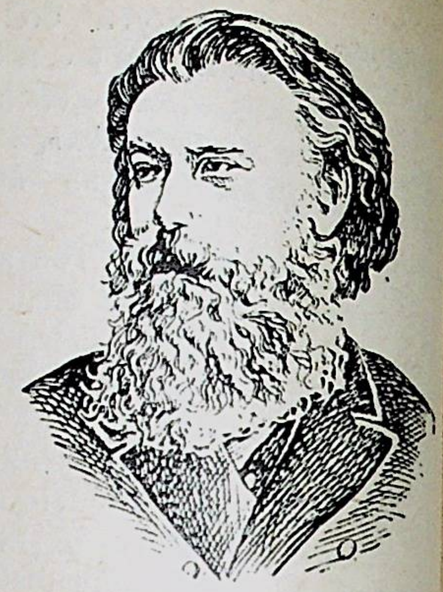
В. В. Петров ең бірінші рет сым өткізгіштерді изоляциялауды қолданды. Ол «ыспалану» арқылы адам денесін электрлеуді зерттеп былайша электрлеуді емдеу мақсаттарына жаратуға болатындығының ықтималдығын көрсетті.

Люминесценция деп аталатын денелердің ерекше жарқыл шығаруын бірінші зерттеген В. В. Петров. Қазіргі уақытта люминесценция техникада кең түрде қолданылады.

В. В. Петров үйкеу арқылы электр шығарып алу жайында, газдармен бос орында электр құбылыстарын зерттеуде көп жұмыс істеді, осы зерттеулері үшін



А. Н. Лодыгин
(1847 — 1923).



П. Н. Яблочков
(1847 — 1849).

кұрметіне, вольт доғасы деп аталатын болды. 1876 жылы вольт доғасын жарық қылу үшін Яблочков[1]) іске асырды.

Доғаны жасау үшін сымдарды екі көмірге жалғап[2]), олар-

арнаулы электр машинасын құрды. Өзінің: «Собрание физико-химических опытов» және «Известие о гальвано-вольтовских опытах» деген шығармаларын стандастарының арасында көп таратып жаю үшін орыс тілінде жазды. Ол қажымайтын қоғам қызметкері болған еді, орта мектеп үшін де уақытын көп беліп, көп еңбек сіңірді.

[1]) Яблочков Павел Николаевич (1847 — 1894) — ұлы орыс электротехнигі — 1876 жылы, оған шейін болмаған электр лампасының үлгісін, *«Яблочков шамы»* деп аталған лампаны ойлап шығарды. Ол, екі көмір шыбықты бір-біріне параллель қойып, араларын изоляциялаушы астармен бөліп қойды. Көмірлер жанып таусылған сайын *«Яблочков шамы»* қысқара береді, ал бірақ көмірлердің арасы өзгермейді, сондықтан лампа өзгермейтін бір қалыпты жарық беріп тұрады.

Осының арқасында лампалардың одан бұрынғы конструкцияларындағы деректі және жұмысы сенімсіз регуляторлар мен механизмдердің тіпті керегі болмай қалды.

«Яблочков шамы» электрмен жарық қылу техникасында дұрысында төңкеріс жасады.

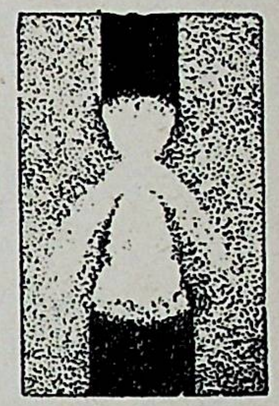
«Яблочков шамы» жер жүзіндегі ірі мемлекеттерді аралап шықты. Ол, электр жарығының практикалық маңызы барлығын іс жүзінде дәлелдеп шықты. Бұл жалпы айтқанда, барлық электротехниканың өркендеуіне, оның бержағында, айнымалы электр тогының өркендеуіне үлкен себеп болды, үйткені, «Яблочков шамына» тұрақты токтан гөрі айнымалы токты пайдалану анағұрлым қолайлырақ екен. П. Н. Яблочковтың инициативасымен айнымалы токтың электр машиналары құрастырылып, істеліне бастады.

Әртүрлі динамомашиналардың конструкциясын жетілдіруде П. Н. Яблочков көп еңбек сіңірді; динамомашинаның бір түрі *«Яблочковтың динамомашинасы»* деп аталған; гальвани элементтер мен аккумуляторларды жасауда да Яблочков циясы тікелей пайдаланылатын элемент жасады.

П. Н. Яблочков индукциялық прибор жасап шығарды — бұл электр трансформаторының бейнесі еді.

[2]) Сымдардың ұштарының арасына көмір қоймай-ақ доға жасауға болады

ды біріне-бірін тиістіріп, көмір арқылы 40 — 75 вольт кернеудегі 10 — 12 ампер ток жіберу керек. Көмір ұштарының тиісіп тұруы нашар болғандықтан кедергі аса көбейеді. Сондықтан, көмір ұштарында өте көп жылу бөлініп шығып, жоғары температуралы қызу пайда болады. Осы жылудан маңайдағы ауа өткізгіш болады (өткізгіштігінің себебі 100-§ та түсіндіріледі). Егер енді көмірлерді бірінен-бірін біраз ажыратып қойса да, ток тоқтамайды. Жылу өте күшейіп, газдар қызады, қызған газдардан көмір ұштарының арасында жоғары қарай ойысқан (көмірлер горизонталь тұрғанда) доға жасалады, оның ішінде көмірдің қызған бөлшектері жүреді,— осыны вольт доғасы дейді (59-сурет). Доғаны зерттеуден көретініміз:

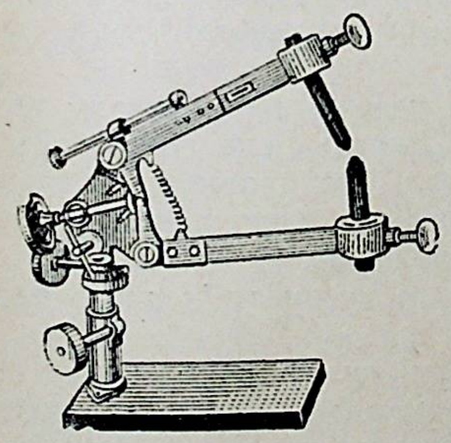


59-сурет. Вольт доғасы.

1. Тұрақты ток кезінде оң көмір теріс көмірден жылдам жанып түгесіледі, сондықтан ол жуанырақ істеледі.

2. Оң көмірдің түрлі нүктелерінде жану бірқалыпты болмайды: ортасы тез жанады, сондықтан, онда кратер деп аталатын шұқыр пайда болады; бұдан керісінше, теріс көмірдің ұшы сүйірлене береді.

3. Электродтары көмірден істелген кәдімгі вольт доғасының кратерінің ауадағы температурасы 4000° шамасында, теріс көмірдікі 3000° шамасында болады. Осыған сәйкес бүкіл жарықтың 85%-і кратерден, 10%-і теріс көмірден, 5%-і доғаның өзінен тарайды. Вольт доғасындағы энергия шығыны әрбір шамға 0,6 ваттан келеді (§ 168).



60-сурет. Вольт доғасының қол регуляторы.

4. Егер көмірлер арқылы айнымалы ток жіберсе, жану бірқалыпты болады.

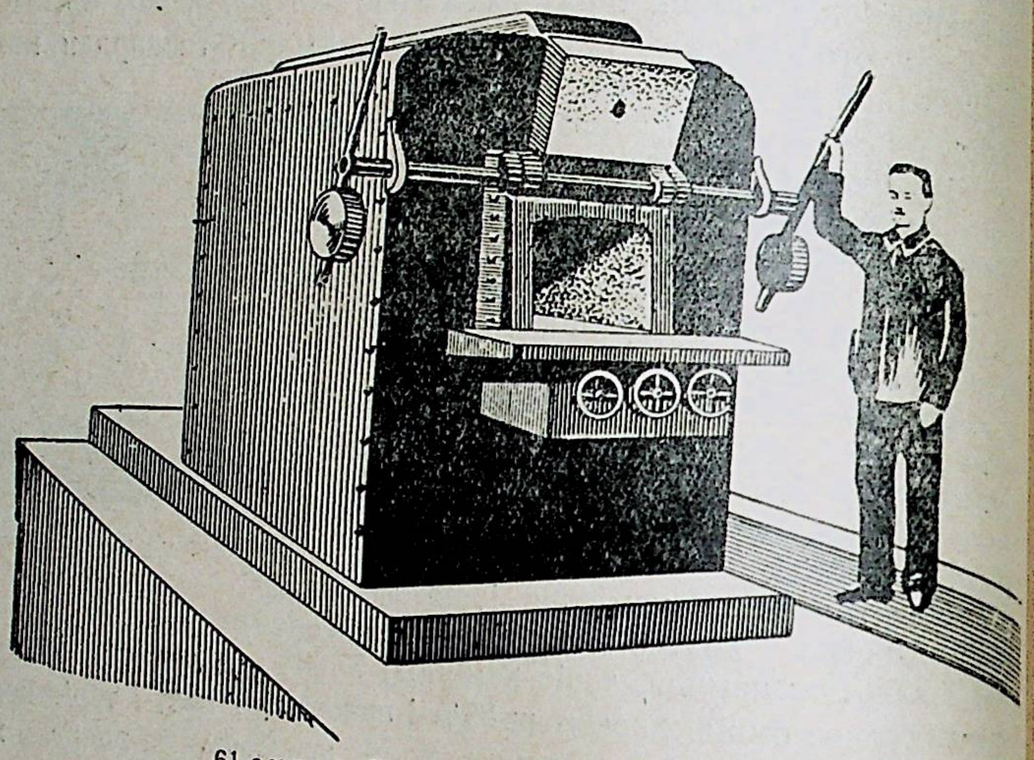
5. Егер көмірлердің ішіне, барий, стронций, кальций тұздарының престелген таяқшаларын қойсақ, кернеу өзгермеген жағдайдың өзінде доғаның ұзындығы өседі, жарық күшейеді (шығын бір шамға 0,3 ватт), түсті ажар пайда болады; осындай көмірлер эффектілі көмірлер деп аталады.

Доғаны үзбеу үшін, көмірлер жанып түгесіле бергенде, бірте-бірте жақындатып отыру керек. Жарық қылатын фонарьларда көмірлерді жақындатып отыратын автомат регулятор болады, ол доғамен қосылған болады; проекциялық фонарьларда көмірлерді қол регулятормен жақындатады (60-сурет).

Вольт доғасын ерекше жағдайда жасап температураны өте жоғарылатуға болады. 1915 ж. Луммер 22 атмосфера қысым-

дағы сутегі бар ортада доға жасап шығарған. Доғаның сондағы жарықтылығы, қалыпты доғаға қарағанда 18 есе өскен, температурасы (есептеу бойынша) 7500° ка барған. Осы жағдайларда қысым зорайғандықтан, көмір балқыған; қалыпты қысымдағыдай бірден бу күйіне көшпеген.

65. Электр пештері. Электр тогының жылу әсерінің екінші бі қолданылатын жері — қ ы з д ы р у техникасы.



61-с у р е т. Электр кедергі пешінің сыртқы түрі.

Үйде пайдаланылатын электр қыздыру приборларына тоқтал май-ақ өндірістік мәні бар электр қыздыру установкаларын қа растырайық.

Электр пештері үш түрде жасалады: кедергі пеші, доғалы пеш және индукциялық пештер. Біріншілер Джоуль-Ленц заңы бойынша өткізгіштерде бөлініп шығатын жылуды пайдаланады. Екіншілерді вольт доғасы беретін жылуды пайдаланады. Индукциялық пештердің қызметінің принципі 113-§ та қаралады.

Электр пештері өңдейтін нәрселерді қыздыру үшін және балқыту үшін қолданылады (61-сурет).

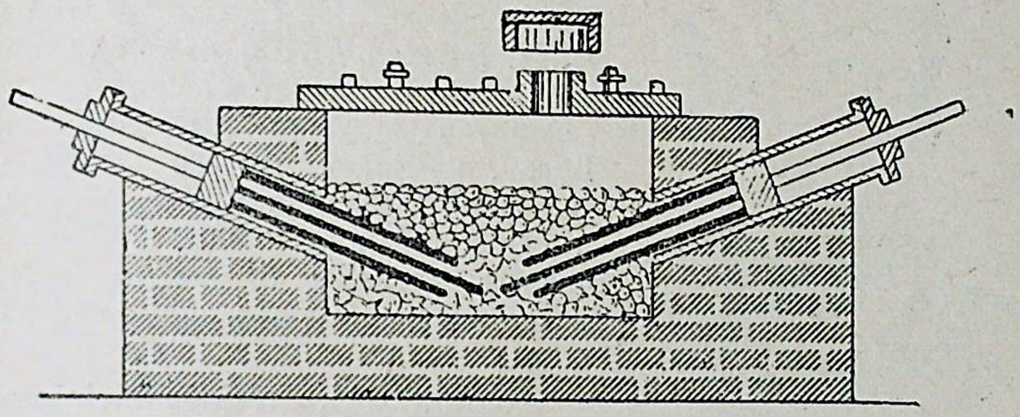
Металл өндіріс кәсібінде олар болатты суару үшін, цементтеу үшін, металдарды балқыту үшін қолданылады; керамика және шыны өнеркәсібінде эмальдау, бұйымдарды қыздыру, шыныны балқыту істеріне қолданылады.

66. Доғалы пештер. Отқа берік кірпіштермен және жылу изоляторларымен (62-сурет) қоршалған кеңістік ішінде, температурасы 4000° қа шейін вольт доғасын жасауға болады; оны д о ғ а л ы э л е к т р п е ш і деп атайды. Бұл пештер ғылми мақсаттар үшін — денелердің жоғары температурадағы қасиеттерін зерттеу үшін және техникалық мақсат үшін — жоғары температураларда қорытылатын заттарды шығарып алу үшін қолданылады.

Электр пешінде, көмір тегінен басқа, барлық қыйын балқытын элементтер сұйық күйге айналады, ал көмір тегі қатты күйден тура буға айналады.

Пештің техникалық басты жұмсалуы мыналар:

1. Көмірмен сөндірілмеген известі бұрынғы күйіне келтіру арқылы кальций мен көмір тегінің қосылысы кальций-карбид алынады. Кальций-карбидке су әсер еткенде, ацетилен газы бөлініп шығады, ол газ жарықтандыруға (ацетилен фонарьлары) және от тегімен араластырып жоғары температура шығару (ацетилендік пісіру және металды кесу) үшін қолданылады.



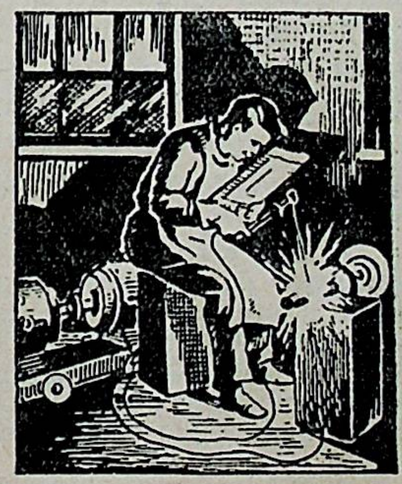
62-с у р е т. Доғалық электр пеші.

2. Кремний мен көміртегі қосылысын — карборунд деп аталатын өте қатты зат жасау үшін қолданылады; карборунд қайрақ (шарық) тастарды, ысқыш тастарды істеуге қолданылады.

3. Электр пешінің температурасында ауаның азотынан азот тотығы жасалады, ал олардан азот қышқылы және оның тұздары алынады. Бұл соңғылар ауыл шаруашылық техникасында жер тыңайтқыш есебінде өте кең түрде қолданылады,

Болатты балқытатын доғалы пештердің құрылысы өте көп түрлі болады. Бұларда көмірлер қолданылады; көмірлердің арасында доға жасалады да, оның жылуымен шихтаны балқытады.

Доғалы пештердің жылу әсерінің коэфициенті 78% ке дейін барады; бір тонна құймаға 700 киловатт-сағат шамасында энергия жұмсалады.



63-с у р е т. Электрмен пісіру.

67. Электрмен пісіру. Электрмен пісіру металл өңдеу өнеркәсібіне үлкен өзгеріс кіргізді. Электрмен пісіру жаңа жұмыстарда да, ремонт жұмыстарында да қолданылады. Жаңа жұмыстарда табақ темірлерді, іші қуыс бұйымдарды қақтап пісіру үшін ескідегі заклёппен ұстатудың орнына қолданы-

латын болады; табақтарды және стерженьдерді түйістіріп пісіруде, рельстерді, сымдарды т. с. пісіріп ұстатуда қолданылады.

Пісірудің ремонт жұмыстарында ерекше маңызы бар, үйткені тозған және бүлінген бөліктерді жаңғыртуға мүмкіндік береді (63-сурет), пісіруді қолданбағанда тозған бөліктер тасталып, орнына жаңа бөліктер салу керек болар еді.

Пісіруде материал, жұмыстың құны, істеу уақыты көп үнемделеді және беріктік жағы сөзсіз қамтамасыз етіледі.



Н. Г. Славянов (1854 — 1897).

Электрмен пісіру екі түрде — доғалық және контактылық тәсілмен істеледі; бірінші тәсілді орыстың үздік шыққан инженері Н. Г. Славянов[1]) пен Н. Н. Бенардос[2]) ойлап тапқан.

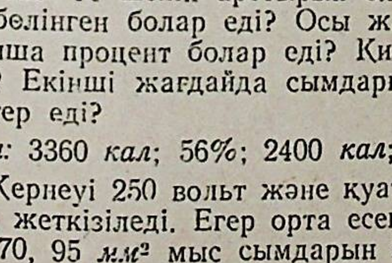
Доғалық тәсілде пісіретін детальды генератордың теріс полюсімен қосады. Бұған, көмірден, немесе детальдың металындай металдан істелген электродты тиістіреді. Сонда пайда болатын вольт доғасы металды балқытып, сол сұйық металмен жарылған жерді толтырады (64-сурет).

Контактылық тәсілде пісірілетін нәрсенің екі бөлігі де электродтар есебінде алынады да, біріне-бірі түйістіріледі, олар, осы түйіскен жердің кедергісі көп болғандықтан, бөлініп шығатын джоуль жылуымен балқыйды.

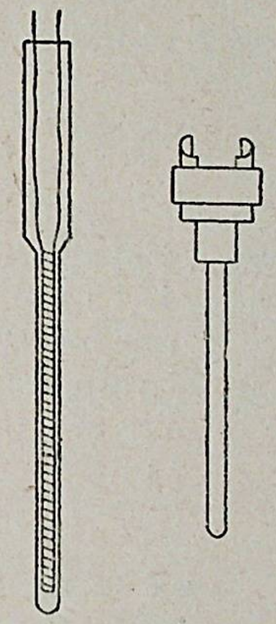
68. Кедергілі электр термометрлері. Металлургия ілгері басып, дамыған сайын және жоғары сапалы болаттар мен түрлі жаңа қоспаларды қорыту ісі кең өріс алған сайын материалдың жоғары сапалы болуын қамтамасыз ететін температураның дәл өлшенілуі өндірістің маңызды проблемаларының бірі болады. Пештің температурасын өлшейтін ең сенімді әдіс электр термометрі. Электр термометрімен, жайшылықта сынапты термометрмен өлшенетін, төмен температураны да өлшеуге пайдаланады; мұндай электр термометрі температураның көрсетуін бақылайтын орын температураның өзін өлшейтін орыннан қашық болған жағдайларда пайдаланылады.

Кедергілі электр термометрінің құрылысы (65-сурет) өткізгіштің температурасының өзгеруіне қарай мына формула бойынша кедергісінің өзгеруіне негізделген:

$$R = \frac{\rho l}{S} \cdot (1 + at),$$



64-сурет. Славянов тәсілімен пісіру.



65-сурет. Электр термометрінің түрі.

Электр термометрлерінде кедергі есебінде көбінде пластина спиралі алынады; оны бүлінуден қорғау үшін, металл футлярдағы кварц трубканың ішіне орнатады.

10-жаттығу.

1. Сақтауыштардың, әрқайсысының ұзындығы 1 *м*, қыймалары 1,5 *мм²* екі мыс сым тартылған; олардың ұштарына қыздыру лампалары жалғастырылған. Келген токтың қысқыштардағы кернеуі 120 вольт. Өткізгіштер 7,5 амперде балқыйтын сақтауыштармен қорғалған. Егер лампалардың дәл алдында қысқа тұйықталу бола қалса (сақтауыштан 1 *м* қашықтықта), сақтауыштар балқый ма?

2. Станциядан 1 *км* қашықтықтағы үйге лейін, қыймасы 25 *мм²* екі мыс сым жүргізілген, үйде 110 вольт кернеуде әрқайсысы 0,5 ампер керек қылатын 200 қыздыру лампасы параллель жалғастырылған. Сымдарда 1 секундта қандай мөлшерде жылу бөлініп шығады? Бүкіл тізбектегі жалпы қуаттың неше процентті келтіретін сымдарды қыздыруға кетеді? Егер келтіретін сымдардың қыймасын 35 *мм²* ге шейін арттырып олардың кедергісін азайтса, жылу қандай мөлшерде бөлінген болар еді? Осы жағдайда олардың қыздырылуына кететін шығын қанша процент болар еді? Киловатт-сағатқа 25 тыйын төлегенде, тиімділігі қандай? Екінші жағдайда сымдарға, біріншіге қарағанда, қанша материал артық кетер еді?

Жауабы: 3360 *кал*; 56%; 2400 *кал*; ≈ 48%; ≈ 0,03 *т*. 1 секундқа; 178 *кг*.

3. Кернеуі 250 вольт және қуаты 10 киловатт ток көзінен 8 *км* қашықтыққа энергия жеткізіледі. Егер орта есеппен ток сөткеде 10 сағат жүрсе қыймасы 25, 35, 50, 70, 95 *мм²* мыс сымдарын жылытуға кететін жылу энергиясының шығынын табындар.

---

[1]) Славянов Николай Гаврилович (1854 — 1897) Орал заводтарында металлург болып істеді. Техниканың сол кездегі жаңа саласымен — электротехникамен өте шұғылданды. Зеңбірек заводтарында істеп жүріп, ол 1888 — 1890 жылдарда электрмен пісіруді ойлап тауып, іс жүзінде қолданды. Ол арнаулы пісіру аппаратын жасап шығарды. Оның ойлап тапқан өнері барлық елге «*Славянов тәсілі*» деп таралып кетті. Славянов тәсілінде электр доғасы детальдың өзі мен сол пісіретін детальдан істелген, металл электродтың арасында жасалады.

[2]) Бенардос Николай Николаевич (1842 — 1905) үздік шыққан, әр таптан білімі бар өнерпаз еді. Ол, бұрмалы, бір қалыпты көтергіш ескек винт ойлап шығарды. Ол өзінің доғалық электрмен пісіру методын ашты; бұл метод бойынша электр доғасы пісіретін деталь мен көмір электродтың арасында жасалады. Бенардос бұл тәсілін металдарды кесуге де арнаған еді.

Н. Н. Бенардос өзінің ойлап тапқанын өте тәптіштеп, барлық жағынан жетілдірді; оны су астында жұмсауға да болатынын көрсетті; андыздап аққан газдың ішінде пісіру айласын тапты; пісіру доғасын магнитпен басқару системасын ұсынды. Ол, пісіру үшін бірнеше автомат системасын ойлап тапты.

Н. Н. Бенардостың бұл ойлап шығарғандарын жалпы қабылдап, техникада кең түрде қолданылады. Оның жұмысын үйрену үшін шет елдердің инженерлері әдейі Петербургке келген еді.

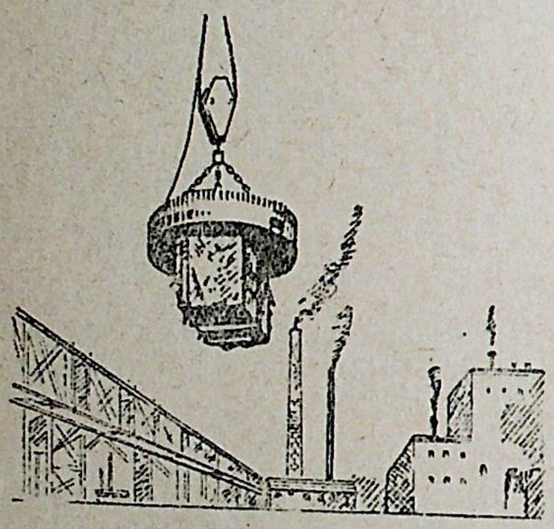
4. Егер алдыңғы себептегі энергияны 10 *км* қашықтыққа жеткізетін болсақ, алдыңғы есептегі жылытуға кететін энергия шығынының проценті, қыйма 70 *мм* болған кездегімен бірдей болу үшін, сымдардың қыймасы қандай болу керек?

5. Кедергілі термометрдің платина сымының ұзындығы 60 *мм*, диаметрі 0,3 *мм*, 0° та және термометрдің пайдалану температурасының шегі 900° та, оның кедергісі қандай болады?

Әдебиет. Капцов Н. А., Яблочков.

III. МАГНИТ ӨРІСІ

69. Токтың магнит әсері. Электр тогы магнит әсерін жасайды. Металлургия заводтарында темір, болат, шойын материалдар мен бұйымдарды көтеруге және тасымалдауға арналған электромагниттік крандарды көруге болады. Бұл электромагниттік кран, сыртына сым оралған темір өзектен құралады (66-сурет). Сыммен электр тогы жүргенде, суретте көрсеткендей, кран өзіне темір я болат нәрселерді тартады. Токты тоқтатса, тарту да жоғалады.



66-сурет. Электромагниттік кран.

Электр тогының магнит әсерін зерттеуді тұрақты магниттерді зерттеуде қандай амалдар мен шамаларды қолдансақ, солар арқылы жүргізуге болады.

Сондықтан, алдын ала тұрақты магниттердің негізгі қасиеттерін еске түсіріп өтейік.

70. Тұрақты магниттердің негізгі қасиеттері. Магниттер деп өзіне темір және болат нәрселерді тартатын денелерді айтады[1]).

Магниттер табиғи және жасанды болады. Табиғи магниттер — магнитті темір деген кесек руда; ол, (Fe_3O_4) темір тотығынан тұрады. Осы руданың біздің Одақтағы өте-мөте белгілі кендері Оралда (Благодать, Магнит таулары, осыдан Магнитогорск деген қаланың аты қойылған) және Курск облысында.

Жасанды магниттер, түзу я таға тәрізді болат полосадан жасалады (67-сурет).

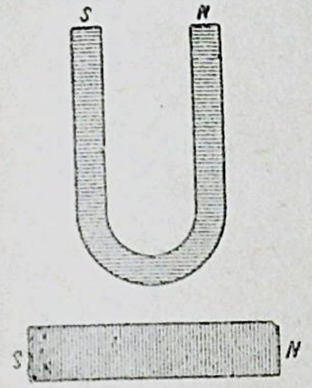
Темір мен оның туындыларынан — болат пен шойыннан басқаларда, магниттік қасиеттер аздап кобальт, никель металдарында

[1] Магнетизм тек темір, болат нәрселерді тартқанда ғана білініп қоймайды, олардың магниттелуінде, магниттелген кезде денелердің мөлшерлерінің өзгеруінде, тағы басқа құбылыстарда білінеді.

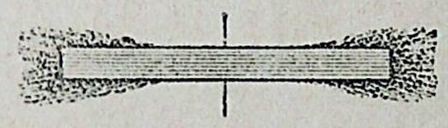
және түрлі қоспаларда байқалады. Соңғы кездерде орыс оқымыстылары Займовский мен Львов, өте күшті магниттік қасиеттері бар қоспа жасады. Бұл қоспаны олар «магнико» деп атады; бұл қоспа никельден (13,5%), алюминийден (8%), кобальттан (24%), мыстан (3%) және темірден құралады.

Магнитте тарту әсері барлық бетінде бірқелкі болмайды, полюстер деп аталатын, екі жеріне шоғырланады; полюстер сызықпен бөлінеді де, бұл сызық бойында тарту әсері білінбейді, оны нейтраль сызық деп атайды (68-сурет).

Әр магниттің екі полюсі, екінші магниттің бір полюсіне қарама-қарсы әсер етеді. Сондықтан, әр магниттің полюстерінің магнетизмдері әртекті; бір полюс солтүстік (оң) деп аталып N я *n* әрпімен белгіленеді, екінші — оңтүстік (теріс) деп аталып S я *s* әріптерімен белгіленеді.



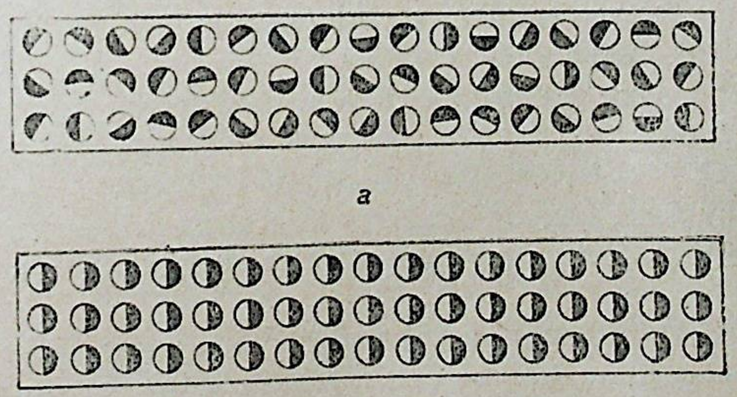
67-сурет. Түзу және тағa тәрізді магниттер.



68-сурет. Магниттік полюстері мен нейтрал сызығы.

Магнитті бөлу арқылы, сынар полюсті магнит кесегін жасап алуға болмайды. *Магниттің әр бөлегі екі полюсті магнит болады.* Осыған сүйеніп магнетизм молекулалардың қасиеті деп карауымыз керек (молекулалық магнетизм 69-сурет).

Вертикаль ості еркін айнала алатындай етіліп, іліп қойған я



a

b

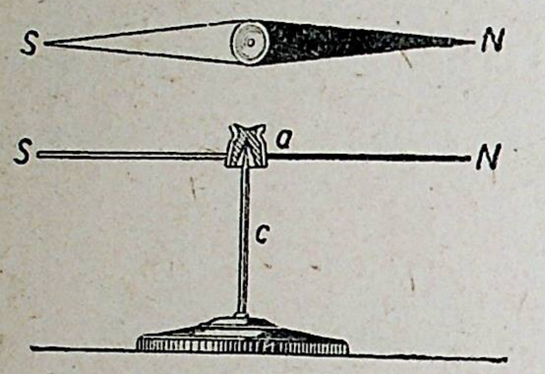
69-сурет.

Магниттелмеген дене де молекулалық магниттердің тәртіпсіз (*a*) орналасуы және магниттеген кезде (*b*) тәртіптеліп орналасуы (§ 84).

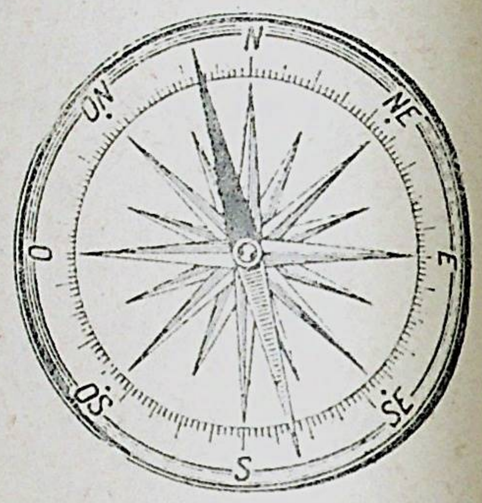
тіреп орнатқан магнит жер бетіндегі қай орында болса да айрықша бағытпен орналасады. Осындай магниттің полюстері арқылы өтетін вертикаль жазықтық жер бетінде магнит меридианы деп атайтын қыйма жасайды.

Жердің барлық орындарында дерлік магнит меридианы географиялық меридианға дәл келмейді, одан не ол, не бұл жаққа қысайып, әртүрлі бұрыш жасайды (§ 77).

Магнит меридианын тағайындау үшін, магнит стрелка деп аталатын жіңішке магнитпен пайдалану ыңғайлы болады, ол



70-сурет. Магнит стрелкасы.



71-сурет. Компас.

вертикаль осьте еркін айналып тұратын (70-сурет) созылған ромб түрінде жасалады.

Магнит стрелканың бір полюсі горизонттың солтүстік жағына, екінші полюсі оңтүстік жағына бағытталатын болғандықтан, бірінші полюсін «солтүстік», екіншісін «оңтүстік» деп атайды. Сондықтан, кезкелген басқа магниттің де, магнит стрелканың солтүстік полюсімен тектес полюсін солтүстік полюс деп, қарама-қарсы полюсін оңтүстік полюс деп атайды.

Магнит стрелка компас деген прибордың құрамына кіреді; бұл прибор магнит стрелканың бағыты бойынша жер тараптарының бағытын айыруға мүмкіндік береді (71-сурет).

Магнит стрелканың қай жерде болса да айрықша бағыт алып тұруының мәнісі, Жердің өзі де магнит екендігінде (жер магнитизмі, § 77).

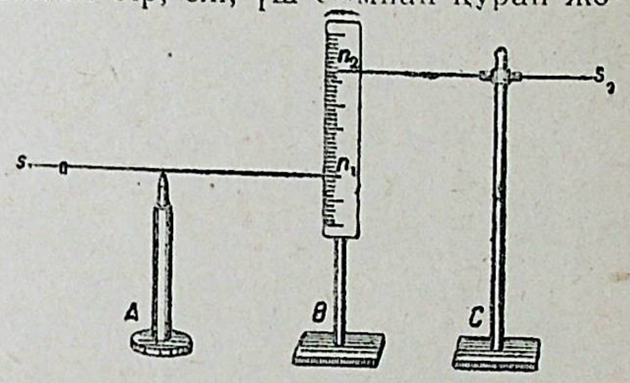
71. Полюстердің өзара әсері үшін Кулон заңы. Екі магнит стрелкамен тәжрибе істеп қарап *аттас полюстердің бірін-бірі тебетіндігін, әр аттас полюстердің бірін-бірі тартатындығын көреміз.*

Кулон осы өзара әсерді сан жағынан бірінші рет тексеріп, физиканың осы саласын дәл ғылым жолымен зерттеуге негіз салды.

Кулон заңын төмендегі установка арқылы (72-сурет) көрсетуге болады. Магниттелген жіңішке сым $n_1 s_1$ шәлі тоқыйтын спица) горизонталь осьті айналатын етіп орнатылған. Екінші осындай магнит вертикаль штативқа бекітіліп, соның бойымен жылжып жүре алады. Егер екі магниттің тектес n_1 және n_2 полюстерін, суретте көрсеткендей, бір вертикальға қойса, айнала алатын магнит қыйсаяды. Магниттің екінші жағына жүк қойып, айналатын стерженьді горизонталь күйіне қайта келтіруге болады. Бұл жағдайда қойылған жүктің айналдырушы моменті, полюстердің өзара әсер күшінің айналдырушы моментін теңейді. Моменттер теңдігіне сүйеніп және иіндерді өлшеп, өзара әсер күшін есептеп табуға болады.

Полюстер арасындағы вертикаль масштаб бойынша өлшенетін қашықтықтарды өзгертіп отырып, полюстер өзгермеген кездегі, күш пен қашықтық арасындағы байланысты табуға болады.

Стерженьді бірдей отырғызылған бір, екі, үш сымнан құрап және бекітілген магниттен бірдей қашықтыққа қойып, бұл екі магниттің арасының қашықтығы өзгермегенде, бір магнит полюсінің магнетизм мөлшері мен өзара әсер ететін күштің арасындағы байланысты табуға болады. Магниттелген екі, үш сымдарды штативқа сұғып қойып, қашықтық бірдей болғандағы жылжымалы магниттің бір ғана полюсіне екінші магниттің магнетизм мөлшерінің тигізетін әсерін зерттеуге болады.



72-сурет. Кулон заңын дәлелдеуге арналған прибор.

Осы тәжрибелер полюстегі магнетизм мөлшері деген яки магниттік масса[1]) деген ұғым енгізуді керек қылады.

Полюстердің өзара әсері үшін Кулон заңы төмендегі түрде болады:

Екі нүктелік магнит полюстерінің өзара әсер күші полюстердің магниттік массаларының көбейтіндісіне тура пропорционал және олардың өзара қашықтығының квадратына кері пропорционал болады.

Егер бір полюстің массасын m арқылы, екіншінің массасын m_1 арқылы, полюстер арасының қашықтығын r арқылы, өзара әсер күшін F арқылы, пропорционалдық көбейткішті k арқылы белгілесек, онда заң төмендегі формуламен өрнектеледі:

$$F = \frac{kmm_1}{r^2}.$$

Күштің таңбасы жөнінде екі электр зарядтарының өзара күші үшін алынған жобалар қолданылады (§ 6).

72. Магниттік массаның өлшемі. Магниттік массаның өлшемін тағайындау үшін, массалары бірдей $m = m_1$ нүктелік полюстер өзара бір-біріне әсер етеді деп, және $r = 1$ *см*, $F = 1$ дина және

[1]) Дұрысында ешқандай магниттік масса болмайды, бұл § 76 та баяндалады; сөйтіп, бұл ат лайықсыз, бірақ оның орнына басқа ат алынған жоқ.

$k = 1$ деп алайық; сонда, *магниттік массаның бір өлшемі деп, бостықта 1 см қашықтықтағы өзіне магниттік массаға 1 дина күшпен әсер ететін магниттік массаны алады.*

Бұл өлшем, *CGS* системасында массаның магниттік өлшемі деп аталады да, *CGSM* магниттік масса арқылы белгіленеді.

Өлшемдерді осылайша таңдап алғанда, формуланың түрі былай болып шығады:

$$F = \frac{mm_1}{r^2},$$

осыдан алынған шарттар бойынша:

$$1 \text{ дина} = \frac{1\ m^2}{1^2\ см^2}, \text{ яки } m = \sqrt{\text{дина.}\ см^2}.$$

73. Магнит өрісі. Өрістің кернеулігі. Электр заряды сыяқты магнит полюсі де өзінен қашықтықта тұрған денелерге әсер етеді: темір нәрселерді тартады, магнит стрелкасын айналдырады.

Магниттің мұндай әсері магнит айналасында пайда болған магнит өрісінен туады.

Түрлі өрістерді салыстыру ішін өрістің кернеулігі деп аталатын ерекше шама енгізілген.

Өрістің кернеулігі деп, оң магниттік массаның бір өлшеміне өрістің әсер ететін күшімен өлшенетін шаманы айтады.

Егер магнит өрісінің кернеулігін H арқылы белгілесек, онда:

$H = \frac{F}{m_1}$; нүктелік магниттік масса үшін: $H = \frac{m}{r^2}$.

CGSM системасындағы кернеулік эрстед деп аталады.

Эрстед деп магниттік массаның бір өлшеміне 1 дина күшпен әсер ететін өрістің кернеулігін айтады.

74. Магнит өрісінің күш сызықтары. Магниттің магнит өрісін зерттеу деген сөз, өрістің әр нүктесі үшін, ондағы әсер ететін күштердің бағытын көрсету деген болады. Мұны өрістің әр нүктесіне кішкене магнит стрелкаларын орналастырып істеуге болар еді. Сонда магнит стрелкалары неғұрлым кішкене болса, солғұрлым олар күштердің бағытын дәл көрсетер еді. Ең жақсы көрсеткіштер ұсақ темір үгінділері, олар магнит өрісінде өздері магнит болып шығады.

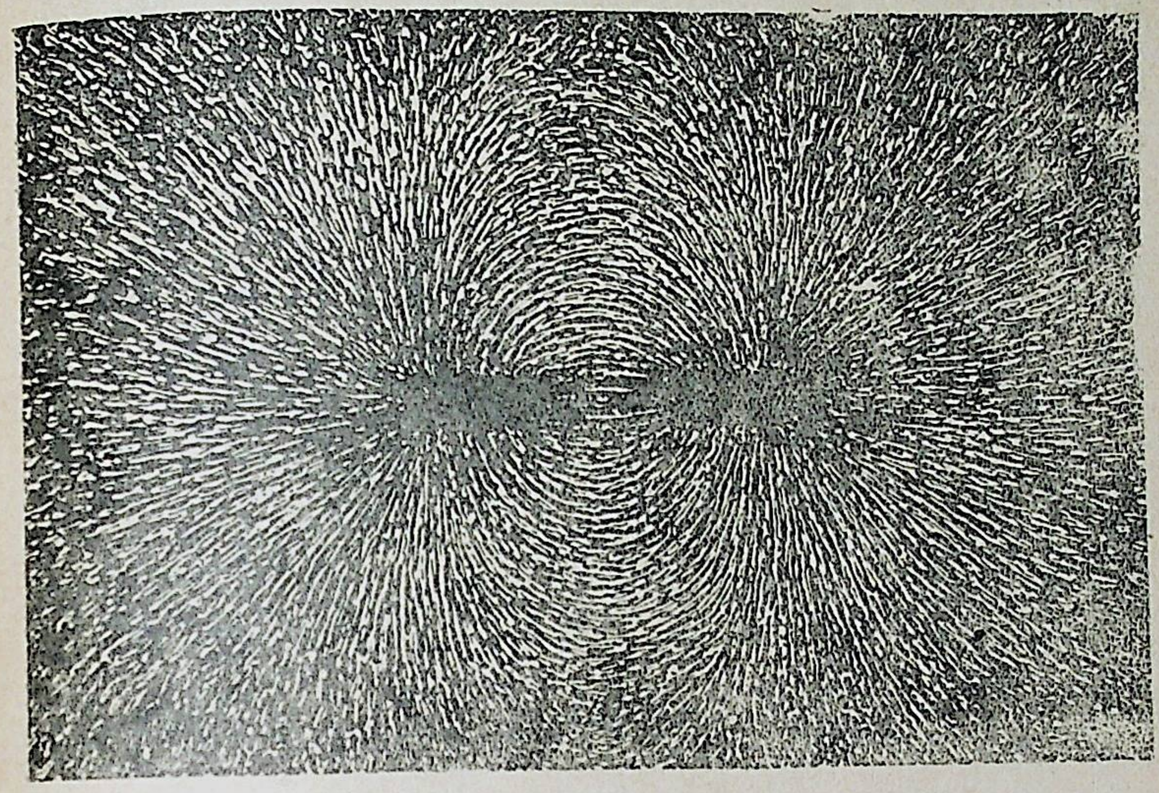
Түзу магнит үстіндегі экранға, темір үгінділерін сепкенде, олар айрықша бағытпен орналасады (73-сурет).

Магнит өрісіндегі темір үгінділері орналасқан сызықтар, магнит өрісінің күш сызықтары деп аталады.

Күш сызықтарына бағыт беріледі *күш сызықтары магниттің солтүстік полюсінен шығады, оңтүстік полюсіне барып кіреді деп* есептелінеді.

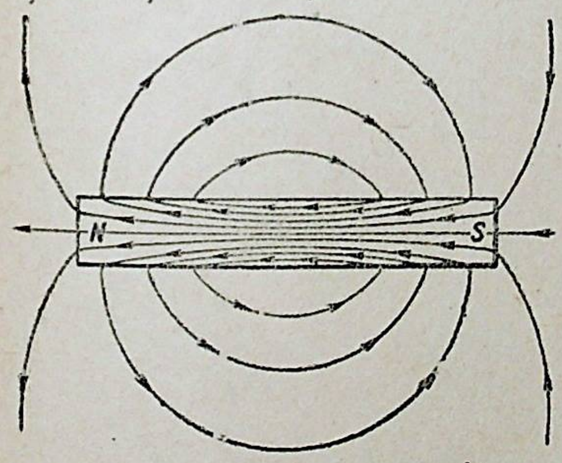
Сонда, өрістің бір нүктесіндегі солтүстік полюске, яғни оң полюске өрістің әсер ететін күші күш сызығына жанама бойымен бағытталған болады; ал, өрістің оңтүстік яғни теріс полюске әсер ететін күші де жанамамен бағытталған, бірақ күш сызығының бағытына қарсы жаққа қарай.

Зерттеулер магнит ішінде де өріс барлығын көрсетеді, сонымен күш сызықтары магнит ішімен де өтеді.

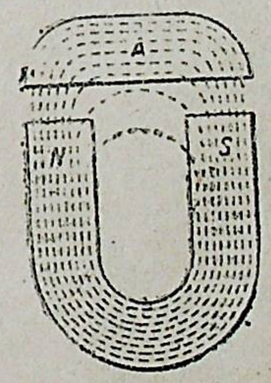


73-сурет. Түзу тұрақты магниттің күш сызықтары.

Осылайша, *магнит өрісінің күш сызықтары тұйықталған қысық сызық болады*[1]).



74-сурет. Түзу магниттің күш сызықтарының орналасу схемасы.

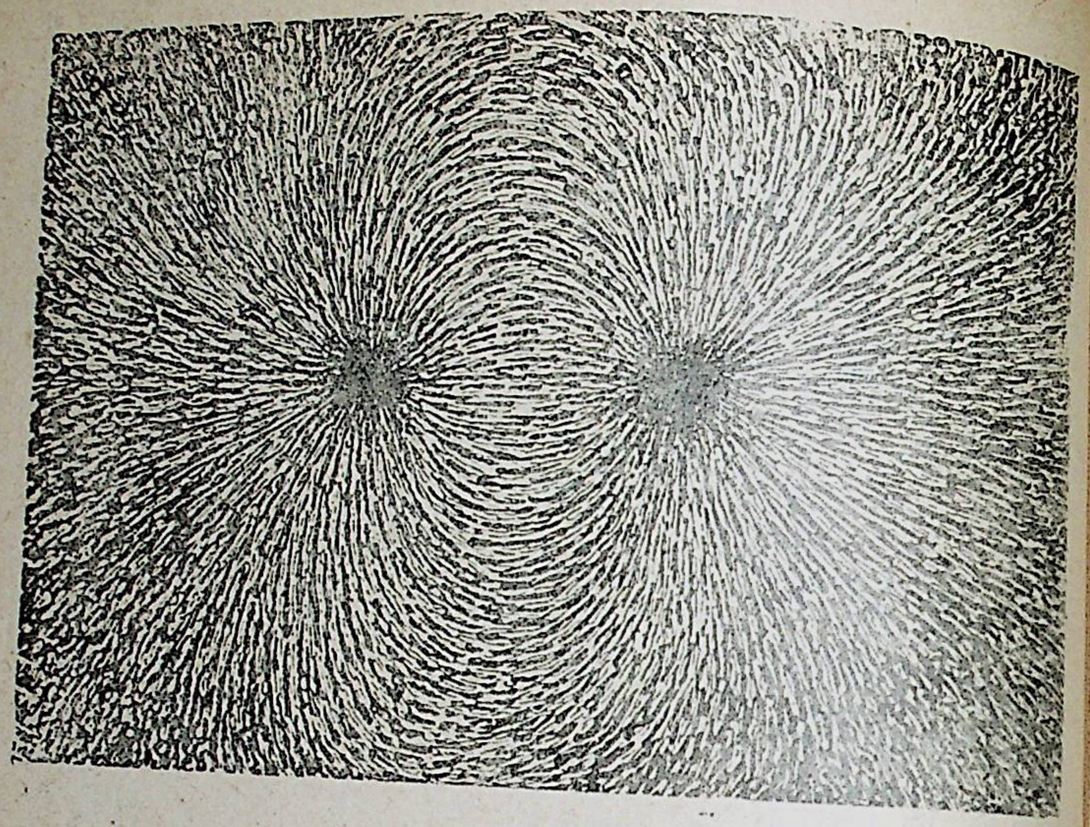


75-сурет. Таға тәрізді магниттің күш сызықтары. A — темір якорь.

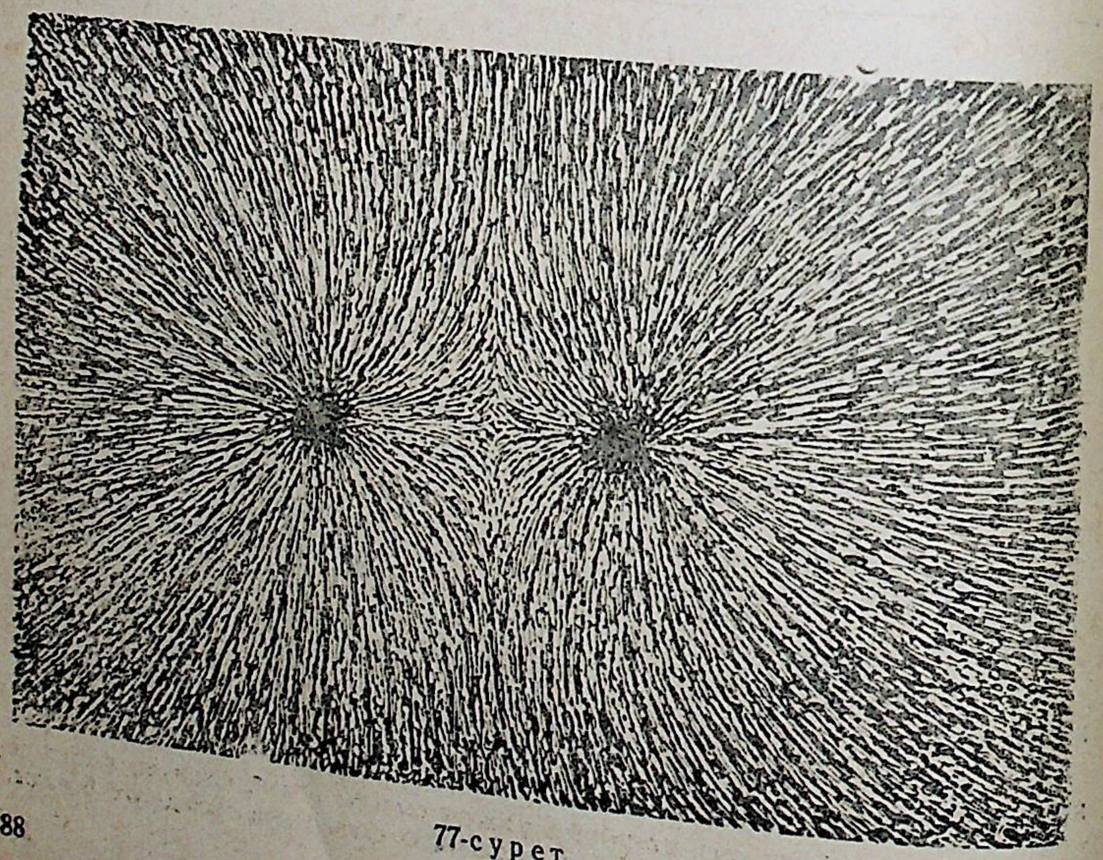
74-суретте түзу магнит өрісінің күш сызықтары схема түрінде көрсетілген.

75-суретте таға тәрізді магниттің күш сызықтарының орналасуы көрсетілген.

[1]) Экрандағы күш сызықтарының үзілген сыяқты болып көрінуін, үгітіндіні алыстан тұрып қозғауға өріс күшінің жеткіліксіз екендігімен түсіндіруге болады.



76-сурет.



77-сурет.

Екі түзу магнитті бір түзудің бойымен қойғандағы олардың әр атты полюстерінің арасындағы күш сызықтар 76-суретте көрсетілген.

Мұндай полюстердің тартылатынын еске түсірейік; тартылған кезде күш сызықтары қысқарып, ықшамдалады. Құбылыс, резина баудағыға ұқсас, күш сызықтарының бойымен керілу бар сыяқты болып көрінеді.

Бір түзудің бойымен орналасқан екі түзу магниттердің аттас полюстерінің арасындағы өріс 77-суретте көрсетілген.

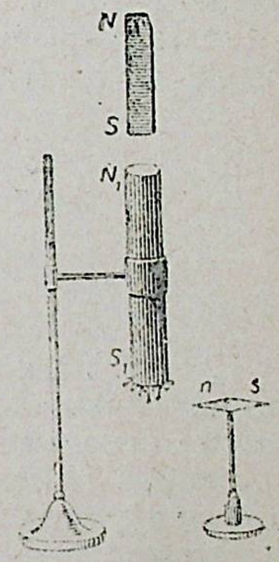
Мұндай полюстер бірін-бірі тебеді; бұл тебілу кезінде бір бағытпен бара жатқан күш сызықтар бір-бірінен қашықтайды, бірін-бірі тепкен сыяқты болады. Құбылыс күш сызықтарына көлденең бір бүйірлік қысым әсер еткен сыяқты болып көрінеді, бұл да жыйырылып тұрған резина баудағы қысымға ұқсайды.

Фарадей (1791 — 1867) өрістің күйін күш сызықтары арқылы кескіндеп, ол сызықтар ұзын бойға керіліп тұрады және оларға бүйірлік қысым перпендикуляр болып түседі деп есептеді; мұнысы бұрыннан белгілі құбылыстарды сыйпаттау үшін де, жаңа құбылыстарды болжау үшін де өте оңтайлы әдіс болды.

Магнит өрісіндегі үгінділердің орналасуына қарағанда, өрістің түрлі орындарындағы үгінділердің орналасуының қоюлығы, яғни 1 $см^2$ аудан арқылы ауданға перпендикуляр өтетін сызықтар саны түрліше болады. Қоюлық полюстерге жақын жерде көп, одан алыс ерде кемірек болады. Сондай-ақ кернеулік полюстерге жақын жерде көп болады да, олардан алыс жерде кемірек болады. Сонымен, күш сызықтарының орналасуының қоюлығы сол жердегі кернеуліктің шамасын сыйпаттайтын болады.

Барлық нүктелеріндегі кернеуліктің шамасы да, бағыты да бірдей болатын магнит өрісін бір текті деп атайды.

Беттерінің шамасы едәуір үлкен және магниттерінің массалары бірдей, әр атты жалпақ полюстер параллель орналасқанда олардың ортасындағы өріс бір текті болады.



78-сурет.
Индукция арқылы магниттеу.

Ондай өрістегі күш сызықтарды араларының алыстығы бірдей параллель түзулермен көрсетуге болады.

75. Магнит индукциясы. Электр өрісіндегі сыяқты, магнит өрісіне енгізілген денелерге өрістің тигізетін әсерін қарастырайық.

Егер жұмсақ темірден істелген магниттелмеген стерженьді ағаш штативке орнатып (78-сурет), оған үстінен магнитті жақындатсақ (яғни магнит өрісіне темір кіргізілсе), онда темір стерженьде үгінділерді, шегелерді және басқа ұсақ темір денелерді тарататын қасиет пайда болады. Магнит бар жерде, темір кесегі өзі магнитке айналады. Магнитті әкеткеннен кейін, жұмсақ темір магнитсізделеді. Егер алдыңғы тәжрибедегі, магниттің 78-суретте көрсетілген қалпында, темірге магнит стрелкасын жақындатса, оның айналу бағыты мынаны көрсетеді: темірдің магниттің оңтүстік по-

люсіне жақын ұшында солтүстік полюс, алыс ұшында оңтүстік полюс пайда болады. Магниттің солтүстік полюсін темірге қарай айналдырғанда, оның солтүстік полюске жақын ұшында оңтүстік, алыс ұшында солтүстік полюс пайда болады.

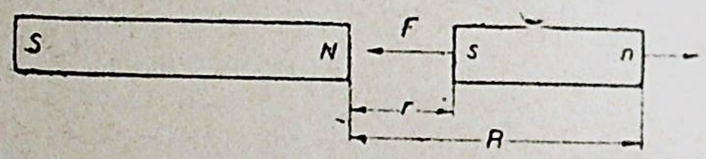
Магнетизм, болат кесегінде де осылайша қозып, өнеді.

Егер магнит пен стержень арасына табақ шыны, қатты қағаз, ағаш, мыс және басқа (магниттелетіндерден басқа, әсіресе, темірден басқа) материалдарды қойып, магнитті жақындатса, сонда да, темір мен болатта магнетизм қозады.

Осы айтылған тәжрибелерге қарағанда: *магнитті, жұмсақ темір, я болат кесегіне жақындатқанда, бұларда магнетизм «жасалады»; сонда, магнит полюсіне жақын ұшында ықпалдаушымен әр атты, алыс ұшында аттас полюс «жасалады».*

Магнит өрісіне енгізілген темір және болат кесектерінде магнетизм қоздырылуы, магнит индукциясы я магнит ықпалы деп аталады. Темірді я болатты магнит өрісінен алып кеткеннен кейін, жұмсақ темірден магнетизм оңай жоғалып кетеді, ал болаттың магнетизмі сақталып қалады, оны жоғалту үшін қарсы бағытты едәуір магнит ықпалы керек болады.

Магнит өрісінен алғаннан кейін денеде сақталып қалған магнетизмді қалдық магнетизм деп атайды.



79-сурет. Денелердің магнитпен тартылуын түсіндіру.

Қалдық магнетизм денеде тұтқыр деп аталынатын күш (коэрцитив) барлығымен түсіндіріледі. Болаттағы тұтқыр күш, жұмсақ темірге қарағанда, анағұрлым үлкен, сондықтан болаттың қалдық магнетизмі темірге қарағанда тұрақтылау деп айтуға болады; сондықтан тұрақты магниттер болаттан істеледі.

Істелген тәжрибе, темір мен болаттың магнитке тартылуы қалай болады, деген мәселеге жауап қайыруға мүмкіндік береді. Тәжрибеден мынаны көреміз: темір я болат кесегін магнит өрісіне енгізгенде олар өздері магнитке айналады; сонда жақын полюстері (жасаушы және жасалған полюстер) қашан болса да әр атты полюстер болады. Жасаушы магниттің N полюсі (79-сурет) жасалған s полюсті тартып, жасалған n полюсті итереді; бірақ N нан s қашыңғы r қашықтық N нан n ға дейінгі R аралықтан аз, ал, әсер қашықтыққа қарай азаяды, сондықтан тарту итеруден артық болады да, кесек магнитке тартылады.

Темір ішіндегі күш сызықтарының жолын (80а-сурет) сол орында темір жоқ болғандағы ауаның ішіндегі күш сызықтарының жолымен салыстырып, мынаны көруге болады: күш ағыны, яғни темірдің AB көлденең қыймасы арқылы өтетін күш сызықтарының саны, ауадағы сондай қыйма арқылы өтетін күш ағынына қарағанда қою-лау болады (80б-сурет). Өріс жасайтын магнит әсерінің арқасында,

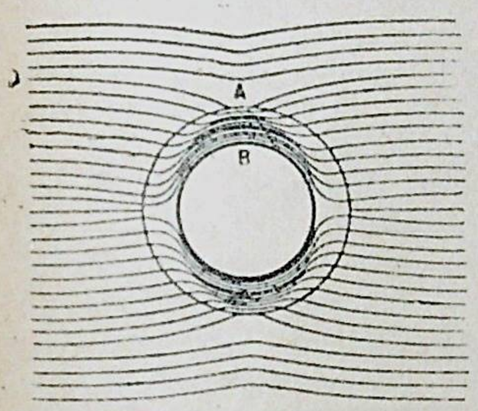
темір индукция арқылы магниттеліп, өзі магнит өрісін жасайды. Сондықтан темір тұрған жерде екі өріс қосылады да, 1 $см^2$ арқылы өтетін күш сызықтарының саны көбейеді.

Осы сыяқты құбылыс, тек өте нашар түрде болатта, шойында, никельде, марганец пен мыс я марганец пен алюминий қоспаларында, «магнико» қоспасында байқалады.

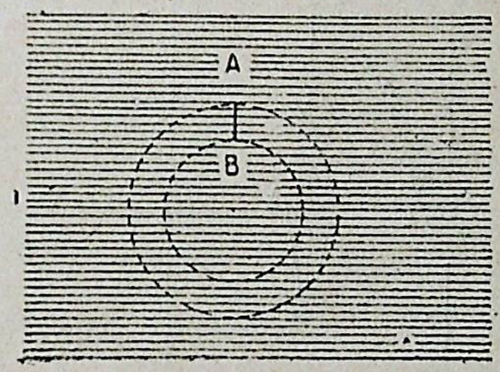
Берілген зат бардағы белгілі бір ауданнан өтетін магнит күш сызықтары санының, осы зат болмағандағы (бостықтағы) сондай ауданнан өтетін магнит күш сызықтарының санына қатнасын магнит өтімділігі деп атайды; бұл әрбір заттарға арнаулы ерекше шама.

Заттардың көбісінің магнит өтімділігі бірге жуық болады. Тек ферромагнитті деп аталатын заттардың, яғни темірдің, никельдің, кобальттың магнит өтімділігі бірден анағұрлым көп болады; бұлардың ішінде, әсіресе, темірдікі көп болады.

Темір магнит өтімділігін ең бірінші зерттеген орыстың атақты ғалымы А. Г. Столетов (231 § қара)[1].



80а-сурет. Күш сызықтары қалыңша дерлік темірдің ішімен жүреді.



80б-сурет.

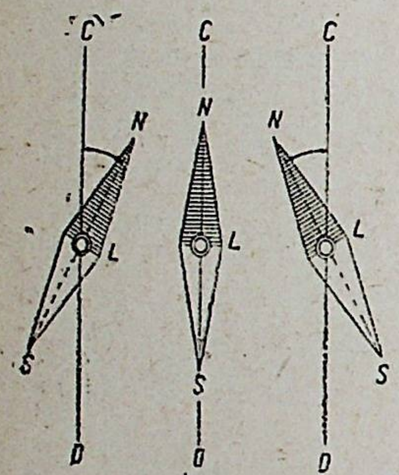
Магниттің темір денелерді тартуы жөніндегі алғашқы тәжрибелер магнит әсері аралықтағы денелердің жәрдемінсіз қашықтықта байқалады деген болжауға келтіруге мүмкін. Үстірт қарағанда, бұл болжау мына бақылаумен дәлелденеді: магниттер бос орында, яғни ауасы сорылып алынған кеңістікте де біріне-бірі өзара әсер етеді. Тартылыс, арадағы ортаның қатысынсыз, денелер арасындағы қашықтықтан тікелей аттап әсер етеді деген сол кездегі көзқарасқа сәйкес, магниттердің арасында да, электр зарядтарының арасында да «алыстан әсер етушілік» бар дейтін пікір пайда болған-ды.

Фарадей алыстан әсер етеді деген ұғымды теріс деп тауып, денелердің өзара әсерінің пайда болуындағы ортаның мәнін бірінші орынға қойды.

76. Магнит өрісі мен электр өрісінің күш сызықтарын салыстыру. Электр өрісі мен магнит өрісінің күш сызықтарын тексеруді

[1]) Ферромагнитті заттардың магнит өтімділігі тұрақты шама болмайды екен: ол, денені енгізген өрістің кернеулігіне тәуелді болады екен; осыны А. Г. Столетов тағайындады.

үйренгеннен кейін, оларды өзара салыстыру жөнінде мәселе қою өзінен-өзі түсінікті нәрсе. Сыртынан қарағанда олардың көп ұқсастығы бар. Мысалы, аттас және әр атты екі электр зарядтарының (12, 13-суреттер) арасындағы күш сызықтарының жүрісі, сондай екі магнит полюстерінің арасындағы сызықтардың орналасуы сияқты болады (76, 77-суреттер). Бірақ, негізінде сызықтардың бұл екі системаларының арасында үлкен айырма бар. Электр күш сызықтары электр зарядтарынан басталып, электр зарядтарына келіп түреледі, ал, магнит күш сызықтары қашан болса да, **түйық қисықтар** болады (§ 74). Электр күш сызықтарының ұшында дұрысында электр зарядтары бар болады, ал түйық магнит күш сызығының барлық нүктелері бірдей: олардың ешбір жерінде магнит зарядтары — магнетизм мөлшері болмайды. Магнетизм мөлшері дегеніміз тек құбылысты сыйпаттауға оңтайлы болу үшін ғана ойша кіргізілген. Магнит полюстері, магнетизм мөлшерінің жыйналған жері емес, олар, магнит күш сызықтары магниттік қасиеттері бір түрлі ортадан, магниттік қасиеттері екінші түрлі ортаға өтетін жерлері; мұнда магнит күш сызықтары шекаралықта сынады.



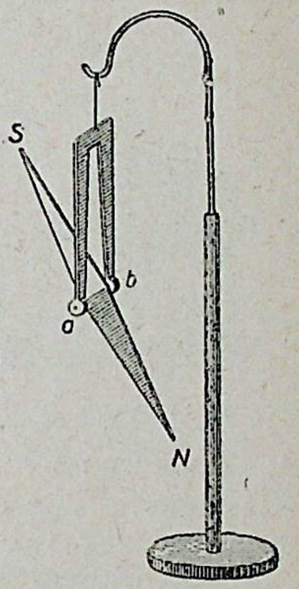
81-сурет. Магниттік бұрылу бұрыштары.

Сонымен, шынында магнетизм мөлшерлері дейтін болмайды, тек магнит өрісі ғана бар болады.

77. Жер магнетизмі. Вертикаль осьті еркін айналып тұратын, магнит стрелкасының Жер бетіндегі әр орында айрықша бағыт алып тұратыны мәлім, бірақ, бұл бағыт бір орыннан екінші орынға көшкенде өзгеріп тұрады. Мұндай стрелканың магнит осі[1]) Жердің әр орнында сол берілген орынның **магнит меридианының** бағытын анықтайды. SN магнит меридианы мен географиялық CD меридианның арасындағы бұрыш — **магниттің бұрылу** бұрышы деп аталады. Горизонталь жазықтықта вертикаль осьті еркін айналып тұратын магнит стрелкасының өзін **бұрылу** магнит **стрелкасы** деп атайды. Егер стрелканың солтүстік полюсі географиялық меридианнан шығысқа қарай ауатын болса, онда шығыстық бұрылу дейді де, егер ол батысқа қарай ауатын болса — **батыстық** бұрылу дейді (81-сурет). Жер шарының бұрылуы нольге тең нүктелерінің бәрін қосатын сызықты **нольдік магнит меридианы** деп атайды. Осы меридиан Жер шарын, біреуінің магниттік бұрылуы шығыстық, екіншісінікі батыстық, екі жарты шарға бөледі. Нольдік меридианның бар екендігін 1492 ж. Колумб ашқан.

Магнит стрелканың ауырлық центрінен өтетін **горизонталь** оське орнатылған магнит стрелка **еңкею** стрелка деп аталады (82-сурет). Оның магниттік осі горизонталь бағытпен бұрыш жасайды. Стрелканы магнит меридианының бағытымен қойғанда, оның осы күйінде горизонтпен жасайтын бұрышын магниттің **еңкею** бұрышы деп атайды. Стрелканың солтүстік полюсі оның айналу осінен төмен түрса, еңкеюді **солтүстік еңкею** деп атайды да, оңтүстік полюсі осьтен төмен түрса — **оңтүстік еңкею** деп атайды (83-сурет). Жердің еңкеюлері нольге тең болатын нүктелерінің бәрін қосатын сызық **магниттік экватор** деп аталады. Магниттік экватор географиялық экватордың жанында болады да, жер шарын солтүстік және оңтүстік еңкеюі бар екі жарты шарға бөледі.

Магнит стрелкаларының бұрылуы мен еңкеюі жер бетінің барлық жерінде де байқалатын болғандықтан, бұл қай жерде болса да магнит өрісінің бар болатындығын көрсетеді. Бұл өрісті **жердің магнит өрісі** деп атайды.



82-сурет. Еңкею стрелкасы.

Жер магнетизмінің қалай пайда болғандығы белгісіз. Бірақ, қалай болғанда да, ол жер қабығының құрамына кіретін жыныстардың магнетизміне байланысты емес: үйткені, ол жыныстардың магниттелуі жоққа жақын және терендегі қабаттарда олардың температуралары да өте жоғары[1]) болады. Жердің магнит өрісінің кернеулігі магнит өрісінің кернеулігі магнит меридианы жазықтығында горизонтқа еңкею бұрышын жасай бағытталады: жердің түрлі орындарында ол әртүрлі болады. Жердің түрлі орындарында, жердің магнит өрісінің күш сызықтарын еңкею стрелкасына параллель болып, магнит меридианы жазықтығында жататын түзулер деп алуға болады. Жердің әр орнында да жер магнитінің өрісі бірқелкі болып келеді.

Еңкею стрелкасы вертикаль болып тұратын жер шарының нүктелері Жердің **магниттік полюстері** деп аталады. Солтүстік географиялық жарты шарда стрелка, Жерге өзінің солтүстік полюсін түсіріп тұрады: бұл жарты шарда жер магнетизмінің теріс полюсі жатады да, оңтүстік жарты шарда оң полюсі жатады. Магнит полюстері географиялық полюстермен дәл келмейді.



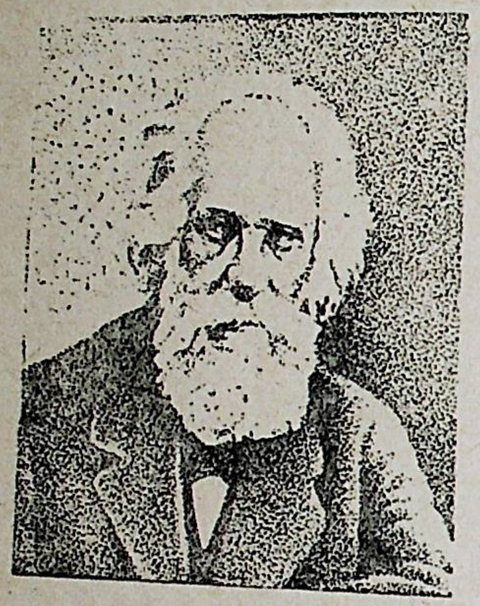
83-сурет. Магниттік еңкею бұрыштары.

[1]) Магнит осі деп, магнит полюстерінің нүктелерін қосып тұратын түзу сызықты айтады.

[1]) Магниттелген дене қызған сайын өзінің магнетизмін жоғалта береді.

Жер магнетизмі мәселелерін шешуде орыс ғалымы Н. А. Умов көп еңбек сіңірді.

78. Магнит аномалиялары. Жер магнетизмінің үш элементін — бұрылуды, еңкеюді және магнит өрісінің кернеулігін мұқият зерттеп білудің арқасында олардың периодты өзгерістерге: азнаулақ сөткелік және жылдық өзгерістер мен өте үлкен ғасырлық өзгерістерге ұшырап тұратындығын көреміз. Мысалы, магниттік бақылаулары көптен жүргізіліп келе жатқан Парижде XVII ғасырдың ортасына дейін бұрылу шығыстық болып, сонан соң нольге тең болғандығы, ал қазірде батыстық болғандығы байқалған.



Н. А. Умов[1]) (1846 — 1915).

Сөткелік және жылдық өзгерістер, Жердің Күннен жарықтануының сөтке бойы және жыл бойы өзгеруіне байланысты болады.

Периодты өзгерістерден басқа, жер магнетизмінің элементтері уақыт-уақыт өте қауырт, ірі, бірақ қысқа уақытты өзгерістерге де ұшырап тұрады; бұл өзгерістер магниттік дауылдар деп аталады. Бұлар полярлық жарқылдармен қашанда байланысты болады; полярлық жарқылдардың интенсивтігі күн дақтарының санына қарай болады.

Жердің кейбір жеке орындарында, азғантай жерде болса да, жердің магнит өрісінің элементтерінің шамалары, жақын тұратын көршілес орындардағы мәндеріне қарағанда, едәуір ауытқып тұратындығы байқалады; жалпы бұл элементтер біртіндеп өзгереді. Әлгіндей ауытқуларды магниттік аномалиялар деп атайды. Мұның себебі магнит рудаларының бір жерлерде жыйналуынан болуы да мүмкін. Мысалы, ССР Одағындағы атақты Курский анамолиясы сондай; мұны зерттеудің нәтижесінде темір рудаларының ірі қазбалары табылды.

11-жаттығу.

1. Магнит стрелкасының полюсіне бүйірінен бір полоса болат жақындатылды; сонда полюс бұрылды; полоса магниттелген бе?
2. Магнит стрелкасының полюсіне бүйірінен бір полоса болат жақындатылды; полюс тартылды; полоса магниттелген бе?

[1]) Умов Николай Алексеевич (1846 — 1915) орыстың ірі физиктерінің бірі. Москва университетінің профессоры. Табиғат сынаушылар қоғамының председателі.

Н. А. Умов, теориялық және эксперименттік физиканың бірқатар салаларында істеді. Оның ірі ғылыми еңбектерінің бірі — энергияның қозғалысы жөнінде әлі де жаңа түсінік енгізуі. Бұл түсінік, қазірде осы кездегі физиканың барлық бөлімдеріне кірді. Теориялық физиканың облысында ол, электр теориясының өте қыйын проблемасын — кезкелген формалы өткізгіш беттердегі электрдің қозғалу проблемасын ең жалпы түрде шешті. Бұл мәселені Умовқа шет елдердің ірі оқымыстылары, Кирхгоф пен Больцман шешем деп талпынған еді. Бірақ, олар кейбір жеке жағдайлар үшін ғана шешуін тапқан еді. Н. А. Умов оптика мен диффузия құбылыстарының облысында маңызды зерттеулер жүргізді.

Н. А. Умов, күңгірт беттер мен бұдыр беттерден жарық шашыраған кезде жарықтың деполяризациясын тексерді; өзінің осы зерттеулеріне сүйеніп, ол, өздері жарық шығармайтын денелердің, олардың шашырататын сәулелерінің характері бойынша, спектрлік анализдің ерекше методын тапты.

Н. А. Умовтың жер магнетизмі жөніндегі жұмыстарының маңызы өте үлкен.

Н. А. Умовтың инициативасы мен проектісі бойынша Москва университетінің физикалық институты салынған.

3. Болат стерженьнің магниттелген, магниттелмегендігін магнит стрелкасының жәрдемімен қалай білуге болады?

4. Бірдей екі болат стержень бар; бұлардың біреуі магниттелген; егер басқа ешбір прибор, не жабдық болмаса, осы стерженьдердің қайсысының магниттелгендігін қалай білуге болады?

5. Егер болат стерженьді еңкею стрелкаға параллель етіп магнит меридианы жазықтығына орнатса, оны жер магнетизмімен магниттеуге бола ма? Егер болса, онда солтүстік полюс стерженьнің қай ұшында болып шығады?

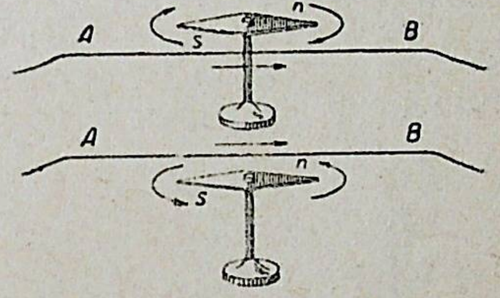
6. Складтарда жататын болат полосалар мен рельстер не себептен магниттеліп қалады? Магниттелуі барынша күшті болу үшін олар горизонт тұстарымен салыстырғанда қай бағытта жату керек?

7. Магнит стрелкасы өзінің ауырлық центрінен өткізілген вертикаль осьтен еркін (яғни оське бүйірлік қысым түсірмей) айнала ма?

8. Магнит стрелкасының еркін айналуы үшін вертикаль осьті оның қай жерінен өткізу керек (солтүстік және оңтүстік жарты шарлар үшін жеке-жеке тексеріп өту керек)?

9. Электрмен зарядталған таяқ, магнит стрелкасының ұшын тарта ма я тебе ме? Бұл электрмен зарядталған таяқ магнит стрелкасының ұшына әсер ететін болса, онда бұл әсер полюстің таңбасына байланысты бола ма?

79. Эрстед тәжрибесі. Токтың магниттік әсерінің барлығын 1820 ж. ең алғаш Дания ғалымы Эрстед тапты. Егер өткізгішті магнит стрелкасы астынан, не үстінен параллель орнатып, өткізгіш арқылы ток жіберсек, онда магнит стрелкасы магнит меридианының жазықтығынан шығады да, онымен бір бұрыш жасайды. Өткізгіш стрелканың астынан тартылып, ток 84-суретте көрсетілгендей бағытталғанда стрелканың солтүстік полюсі оқушыға қарай ауады; өткізгіш стрелканың үстінде болғанда, солтүстік полюс әрі қарай ауады. Егер токтың бағытын қарама-қарсы етіп өзгертсе, онда солтүстік полюстің ауу екі жағдайда да қарама-қарсы бағытқа өзгереді.

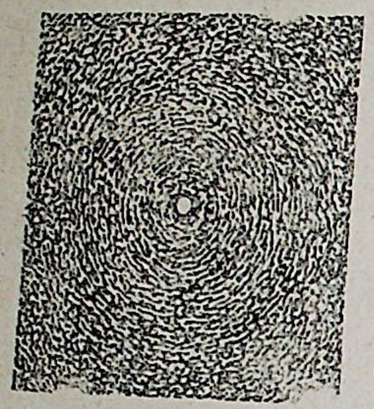


84-сурет. Токтың магнит стрелкасын тепе-тең қалыбынан ауыстыру.

Бұл төрт тәжрибе мынаны көрсетеді: біріншіден—*электр тогы қашан болса да өзінің айналасында магнит өрісін жасайды,* екіншіден магнит өрісінің күштерінің бағыттары нүктеден нүктеге өзгереді.

Өткізгіш белгілі бір қалыпта тұрғанда және ток белгілі бір бағытпен жүргенде, магнит стрелкасының солтүстік полюсінің қалай ауатындығын есте ұстап қалу үшін, әлгі тәжрибелерден алынған, мынадай практикалық ережемен пайдалануға болады: егер оң қол-

дың саусақтарын өткізгіштің үстінен токтың бағытына қарай ұстап, алақанды стрелкаға қаратса, онда созылған бас бармақ, стрелканың солтүстік полюсінің айналу бағытын көрсетеді (оң қолдың бас бармағының ережесі).

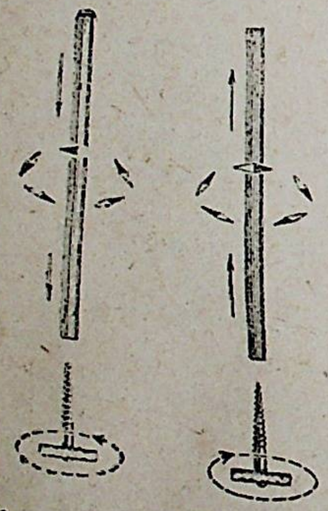


85-сурет. Тұзу сызықты токтың магниттік күш сызықтары

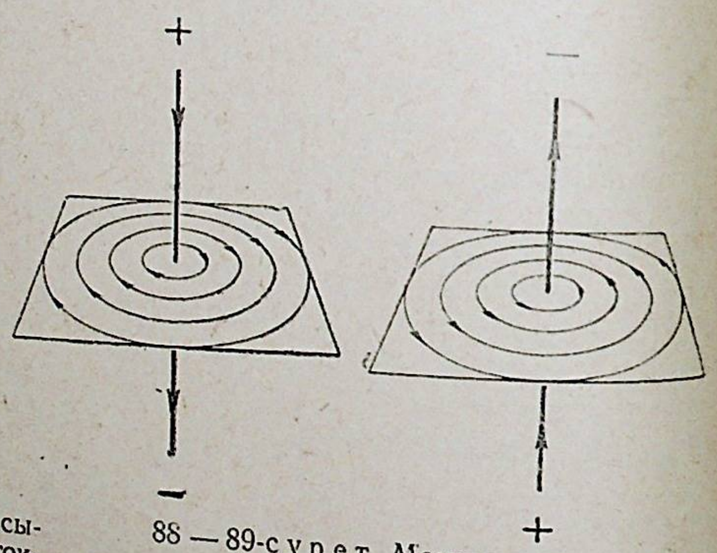
Токтың магнит өрісіндегі күш сызықтардың бағытын да тұрақты магниттікін анықтаған сияқты, темір үгінділерінің жәрдемімен анықтайды.

80. Токтың магнит өрісі. Токтың магнит күш сызықтарының қалай орналасатынын білу үшін, өткізгішке перпендикуляр қойылған экран арқылы өткізгішті өткізіп, экранға жұқалап темір үгінділерін сеуіп, оны (экранды) ток жүрген кезде аздап сілку керек: сонда үгінділердің таралуы күш сызықтардың орналасуын көрсетеді. Күш сызықтарының бағыттарын анықтау үшін, тогы бар өткізгіштің айналасына толып жатқан кішкене магнит стрелкаларын қою керек [1]). Сонда магнит стрелкаларының солтүстік полюстерінің бет алған бағыттары, күш сызықтарының бағыттарын көрсетеді.

Тұзу сызықты токтың күш сызықтарының формасын 85-суреттен көруге болады. 86 мен 87-суреттер магнит стрелкаларының орналасуларын көрсетеді де, 88 бен 89-суреттер схема түрінде тұзу сызықты токтың магнит өрісіндегі күш сызықтардың формасы мен бағыттарын кескіндейді.



86—87-сурет. Магнит күш сызықтарының тұзу сызықты токтың магнит өрісіндегі бағыты.



88—89-сурет. Магнит күш сызықтарының тұзу сызықты токтың магнит өрісінде орналасу схемасы.

[1]) Не болмаса бір стрелканы токты айналдыра қозғап отыру керек.

Бұл суреттерден, *тұзу сызықты токтың өрісіндегі магнит күш сызықтары концентрлі шеңберлер екендігі көрінеді; бұл шеңберлер токтың бағытына перпендикуляр жазықтықта орналасады. Бұлардың центрлері, өткізгіштің осінде жатады.*

Күш сызықтарының бағытын есте ұстау үшін, Англияның атақты физигі Максвелл (1831—1879) практикалық «бұранда ережесін» ұсынды: бұранданы токтың бағыты бойынша жүргізе отырып, кіргізе не шығара бұрағанда оның тұтқасының айналуы токтың күш сызықтарының бағытын көрсетеді (86 және 87-суреттер).



Максвелл[1]) (1831—1879).

Дөңгелек ток үшін 90-сурет — күш сызықтарының орналасуын, 91 мен 92-суреттер — күш сызықтарының орналасуы мен бағытының схемасын көрсетеді.

Күш сызықтары дөңгелек токтың, бақылаушыға ток сағат тілінің қозғалысына қарсы бағытпен жүретін сияқты болып көрінетін жағынан шығып, сағат тілінің бағытымен жүретін сияқты болып көрінетін жағына кіреді.

Сондықтан, дөңгелек ток жапырақ магнитке ұқсас, яғни полюстер жататын беттердің үлкендігіне қарағанда, полюстерінің қашықтығы жоққа жуық, аз шама болатын магнитке ұқсас болады.

Техникада, катушка қылып орағаң сымдар өте жиі қолданылады. Мұндай орамның әрбір қатары (қабаты) түтік тәрізді.

Осындай түтік тәрізді өткізгішті соленоид деп атайды. 93-сурет соленоидтың күш сызықтарының формасын көрсетеді де, 94-сурет соленоидтың өзінің схемасын және күш сызықтардың орналасу схемасын көрсетеді.

Катушкадағы токтың күш сызықтарын тұрақты магниттің күш сызықтарымен салыстырсақ (73 және 74-суреттер) катушка арқылы (соленоид арқылы) өтетін токтың өрісі өзінің магниттік қасиеті жөнінен тұрақты магниттің өрісіне ұқсас болатындығын көреміз. Маг-

[1]) Максвелл Клерк Эдинбург маңында туған. 1856 жылдан бастап ол Абердинде, 1871 жылдан бастап Кембриджде физика профессоры болған. Максвелл Фарадейдің электромагнит өрісі турасындағы идеяларын математикалық формаға келтірді, өріс теориясын талқылап жөндеді және осы теорияға сүйеніп өрістің кернеулігінің өзгерулері, айналадағы кеңістікте жарық жылдамдығындай жылдамдықпен толқын тәрізді тарау керек деген қортынды шығарды. Бұл теориялық зерттеу, мұның тәжрибемен дәлелденуінен 20 жылдай бұрын орындалды.

Электр, магнит және жарық құбылыстары арасындағы байланысқа және электромагниттік тербелістер турасындағы өзінің зерттеулеріне сүйеніп, Максвелл жарықтың электромагниттік теориясын жасады; сүйтіп, бұрын бірінен-бірі бөлек электр, магнетизм және жарық облыстарын бір тұтас етіп біріктірді.

Газдардың кинетикалық теориясы облысынан Максвелл газ молекулалары жылдамдықтарының таралу заңын тапты.

ниттің солтүстік полюсіне, катушканың сырттан қарағаң бақылаушыға ток сағат тіліне қарсы жүретін болып көрінетін ұшы сәйкес келеді де, оңтүстік полюсіне ток сағат тілінің бағытымен жүретін болып көрінетін ұшы сәйкес келеді.

Соңғы екі жағдайда ток пен күш сызықтарының салыстырмалы бағыттарын табуға бұранда ережесі жәрдем етеді. Бұл жағдайларда бұранданың тұтқасын дөңгелек токтың бағытымен айналдыру керек, сонда бұранданың өзінің ілгері қозғалысы, өрістің магнит күш сызықтарының бағытын көрсететін болады (95-сурет).

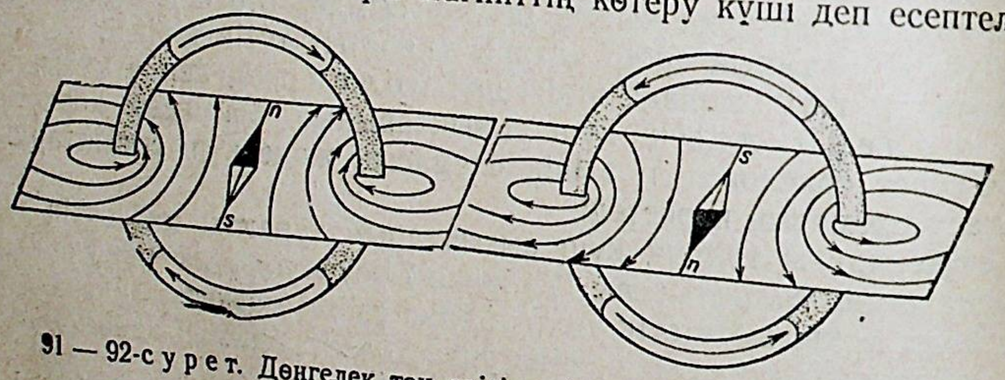


90-с у р е т. Дөңгелек ток өрісінің магнит күш сызықтары.

Электр тогының жәрдемімен тұрақты магниттердің магниттелу тәсілі енді түсінікті болады. Болат стерженьге сым орап, ол сым арқылы электр тогын жүргізсе, обмотка айналасында магнит өрісі пайда болады: обмотка ішінде магнит күш сызықтары катушка осіне параллель, олай болса, стерженьге де параллель бағытпен кетеді. Стерженьнің күш сызықтары кіретін ұшында магниттің оңтүстік полюсі жасалады да, күш сызықтары шығатын ұшында солтүстік полюс жасалады.

Токпен магниттеуді ең алғаш 1820 ж. француз физигі Араго істеген.

Магниттің көтеретін күші былай өлшенеді: көлденең қыймалары бірдей магнит пен темір кесегі алынады; сол темір кесегін магниттен айырып аларлық күш магниттің көтеру күші деп есептеледі.

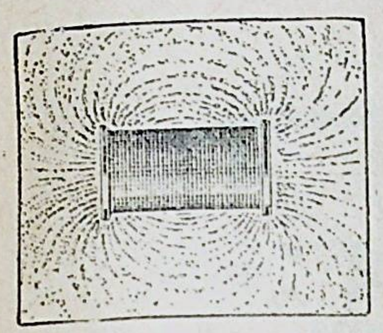


91 — 92-с у р е т. Дөңгелек ток өрісіндегі магнит күш сызықтарының орналасу схемасы.

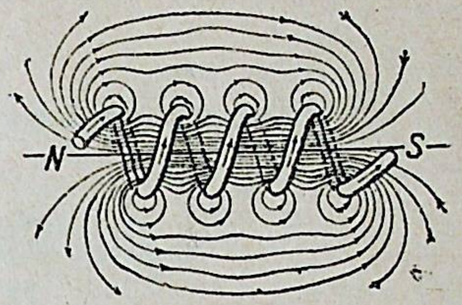
Болат магниттерді көтеретін күш тартатын беттің 1 $см^2$ іне 4 $кГ$ ға дейін барады. Электромагниттерде бұл күш 1 $см^2$ ге 100 $кГ$ нан, бәлки одан да артық болады.

81. Электромагнит. Катушка арқылы өтетін токтың магнит өрісімен электромагнит жасап алу үшін пайдалануға болады. Электромагнит деп ток жүретін изоляцияланған сыммен оралған, жұмсақ темірден істеген стерженьді айтады. Ток өткен кезде стерженьнің ішінде және айнала сыртында магнит өрісі пайда болады. Токты тоқтатқанда, темірдің магнитизмі мүлдем қалдықсыз десе болғандай, жоқ болып кетеді.

Таға тәрізді электромагниттің обмоткасын оның екі ұшына қарама-қарсы бағытпен орау керек. Сонда, обмоткамен тұрақты ток жібергенде, оның бір ұшында ток сағат тілінің бағытымен жүреді де, екінші ұшында оған қарсы бағытпен жүреді. Обмотка схемасымен полюстердің таңбаларының токтың бағытына байланысы қандай болатындығы 96-суретте көрсетілген.



93-с у р е т. Соленоид өрісінің күш сызықтары.



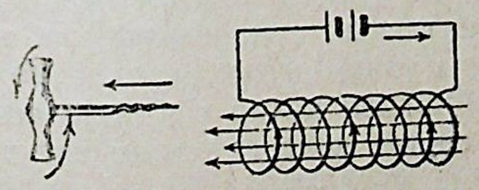
94-с у р е т. Соленоид өрісінің магнит күш сызықтарының орналасу схемасы.

Электромагниттер электр қоңырауында, телеграф аппараттарында, басқа да түрлі сигнализация аппараттарында, электромагниттік крандарда, электр машиналарда, электромоторларда және электр өлшеуіш приборларда қолданылады, мұны біз физиканың бастауыш курсынан білеміз. Практикалық қызмет атқарған бірінші электр телеграфы Россияда жасалған[1]).

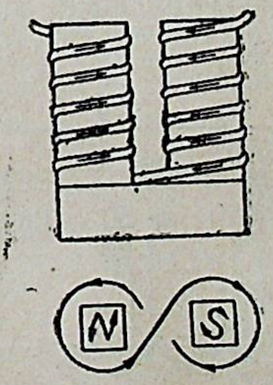
Мұнда тек электромагнит телефонын ғана қарастырамыз.

81а. Микрофон мен телефон. Бұл екі прибор — м и к р о ф о н м е н т е л е ф о н — дыбысты қашықтыққа беру үшін қолданылатын приборлар. М и к р о ф о н[2]) жіберетін станцияда дыбысты қабылдап алып, жіберіп тұратын прибор. Т е л е ф о н қабылдайтын станцияда дыбысты қайта өндіретін прибор. Осы кейінгі приборда электромагнит қолданылады.

Дыбыс толқыны ауаның қума тербелісінің жыйыны екендігі физиканың II бөлімінен белгілі; толқын бойы ауаның қоюлануы мен сиреуі кезектесіп, алмасып отырады.



95-с у р е т. Бұранда ережесін соленоидқа қолдану.



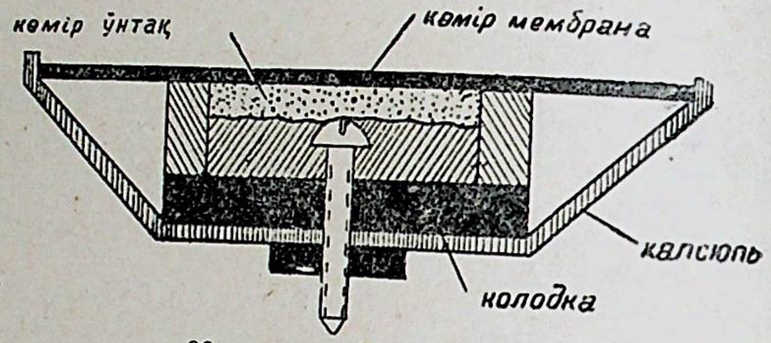
96-с у р е т Электромагнит обмоткасының схемасы.

---

[1]) Дүние жүзінде ең бірінші практикалық қызмет атқарған электр телеграфын 1832 ж. орыс офицері және өнерпазы П. Л. Ш и л л и н г (1786 — 1837) жасады. Сүйтіп, практиканың мұқтажы үшін қызмет істеген электр телеграфы ең бірінші Россия елінде болды.

[2]) Микрофон — грек сөздерінен алынған: м и к р о с — аз, ф о н е — дыбыс; микрофон нашар дыбыстарды беретін прибор; телефон: т е л е — алыс, ф о н е — дыбыс деген сөздерден алынған, телефон алыстағы дыбыстарды қабылдайтын прибор.

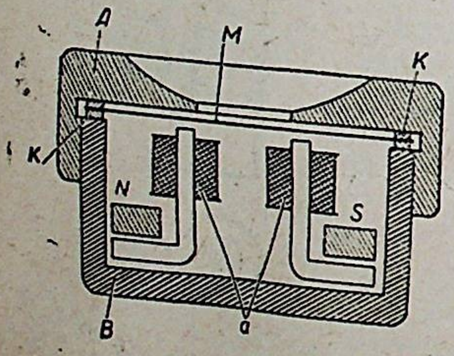
Әрбір дыбыс бір секунд ішіндегі белгілі бір тербеліс санымен сыйпатталады. Микрофонның қызметі, өзіне түскен дыбыс тербелісін микрофон арқылы өтетін тұрақты электр тогының күшінің тербелісіне айналдыру болады. Тізбектегі тұрақты токтың күшін өзгерту үшін, тізбектің бір учаскесінің кедергісін өзгерту керек. Микрофонның электр кедергісі, өзіне түсетін дыбыс тербелісіне қарай өзгеріліп отыратын етіп жасалады.



96а-сурет. Микрофон.

Телефон микрофонында көмір мембрана бар; мұның жиектері капсуль ішінде бекітулі. Мембранаға қарсы оның артында, көмір қалып орнатылған; мембрана мен қалыптың екі арасы көмір ұнтағымен толтырылған (96а-сурет).

Мембрана электр тізбегінің бір ұшымен жалғасады; қалып электр тізбегінің екінші ұшымен жалғасады. Мембрана мен қалып өзара ұнтақ арқылы ғана қосылады. Микрофонның мембранасы мен қалыбы жалғастырылған тізбекке, ток көзі және қабылдаушы станциядағы телефонның электромагнитінің обмоткасы кіреді.



96б-сурет. Телефонның көлденең қиймасы.

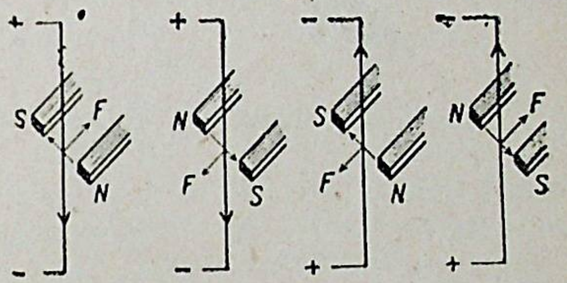
Микрофонның алдында сөйлегенде оның мембранасына дыбыс толқындары түседі. Мембранаға ауаның қоюлануы түссе, онда мембрана көмір ұнтақты күштірек қысады: көмір ұнтақтың түйіршектерінің арасындағы тиісетін нүктелердің саны өседі. Онымен қатар тізбектің осы учаскесіндегі кедергі кемиді де, токтың күші артады. Ал, енді мембаранаға ауаның қоюлануының орнына сирелуі түссе мембрананың ұнтақты қысуы кемиді. Осыдан барып микрофонның кедергісі көбейеді де, токтың күші азаяды. Дыбыс тербелісінің әрбір периодының ішінде электр тізбегіндегі токтың күші біресе көбейіп, біресе азайып отырады. Бір секундта дыбыс тербелісі қанша болса, ток күшінің осындай боп өзгеруі де сонша болады. Осы күші өзгеріліп отыратын ток телефонға түседі.

Телефонның өте көп тараған түрі электромагнитті телефон (96б-сурет). Бұл күшті, тұрақты магниттен құралады; тұрақты магниттің *NS* полюстік ұштарына екі *Q* катушкалар кигізіледі; бұлар бір-бірімен тізбектеліп қосылған. Полюс ұштарының үстінде жұмсақ темірден істелген өте жұқа (0,2 *мм* дей) *M* мембрана тұрады. Микрофонның айнала жиегі астарлық *K* сақыйналар арқылы амбушюр *A* (раструб) және телефонның *B* корпусымен қысулы тұрады.

Тізбектегі ток күші артқанда электромагниттің магнит өрісі күшейеді, ал, бұл жалпы магнит өрісін күшейтеді; телефонның мембранасы магнитке күштірек тартылады. Ток күшінің нашарлауы, магнит өрісін нашарлатады; сондықтан, мембрана, серпімділігінің арқасында, магниттен кейін шегінеді. Сонымен, тізбекке енгізілген микрофон мембранасының тербелісінің әсерінен, тізбектегі ток күші секундына неше рет тербелетін болса, телефонның мембранасы да секундына сонша рет тербеліс жасайды. Телефонның мембранасының тербелісі ауаны тербелтеді; ал, бұл тербеліс — тыңдаушының құлағына дыбыс болып естіледі. Микрофонның қабылдап алған дыбысының биіктігі қандай болса, телефонның беретін дыбысының биіктігі де сондай.

Телефон установкасы бұл айтылған басты бөліктерден басқа тағы абонентті шақыратын қоңыраумен жабдықталады.

Станциялардың барлығында да, телефон мен микрофон бір прибор болып қосылады, яғни микротелефон болады.

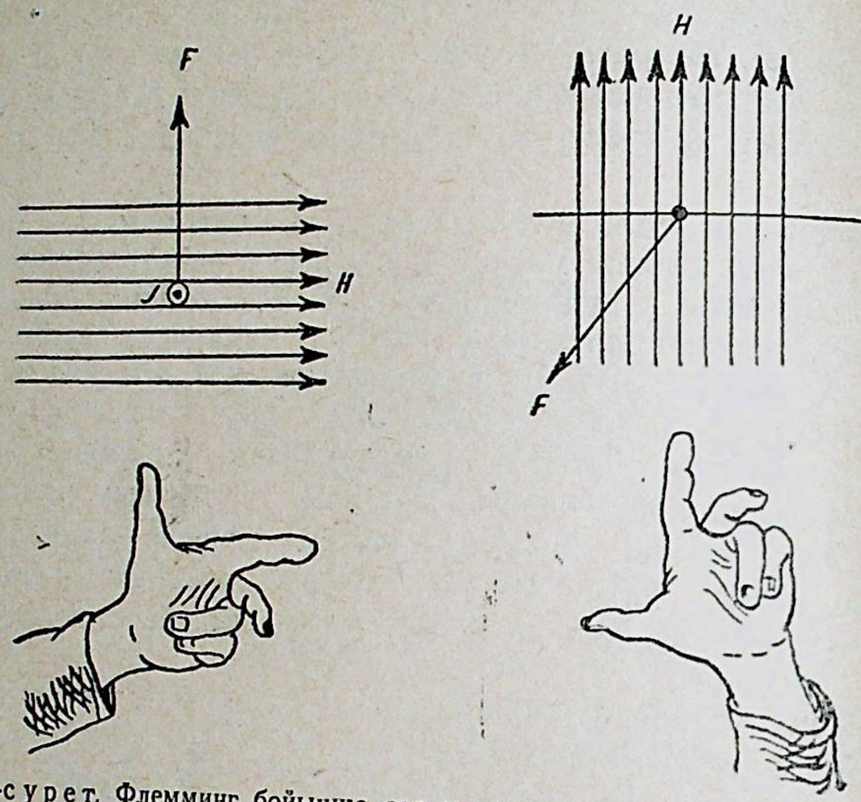


97-сурет. Күш сызықтарының бағытына және токтың бағытына байланысты, магнит өрісіндегі жылжымалы өткізгіштің қозғалысы.

82. Магнит өрісінің жылжымалы токқа ететін әсері. Флемминг ережесі. Магнит өрісінің токқа ететін әсерін байқау үшін жеңіл және иілгіш металл өткізгішті вертикаль етіп іліп қояйық. Таға тәрізді магнит алып, оны күш сызықтары горизонталь кеткендей етіп және иілгіш өткізгіш магнит полюстерінің арасына келетін етіп, орнатайық. Сонда, өткізгішпен ток жібергенде біз оның не магнит полюстерінің арасына кіре тартылатындығын, не болмаса, одан *F* бағытына қарай шыға тебілетінін көреміз; бұл токтың және күш сызықтардың бағыттарына байланысты болады. Мұндай қозғалыстың мүмкін төрт жағдайы 97-суретте көрсетілген.

Ток пен күш сызықтардың бағыттары белгілі болған кезде, өткізгіштің қозғалу бағыты қандай болатындығын есте ұстау үшін, Флемминг мынадай сол қолдың үш саусағының ережесін шығарған (98-сурет).

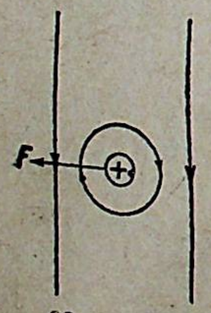
Сол қолдың бас бармағы мен сұқ қолын тік бұрыш құрғандай етіп жазу керек; ортан қолды бұларға перпендикуляр етіп қою керек; сонан соң сұқ қолды күш сызықтарының бет алысына,



98-с у р е т. Флемминг бойынша сол қолдың үш саусақ ережесі.

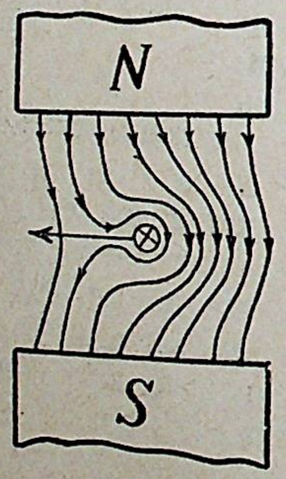
ортан қолды токтың беталысына бағыттау керек; сонда бас бармақтың бағыты өткізгіштің қозғалу бағытын көрсетеді.

98-суреттегі *H* әріптері магнит күш сызықтарының бағытын, *I* әріптері токтардың бағыттарын, *F* әріптері өткізгіштің қозғалу бағыттарын көрсетеді.



99-с у р е т.

Параллель түзулер — магнит өрісінің күш сызықтары; шеңбер—токтың күш-сызықтары; *F* — өткізгіштің қозғалуының бағытын көрсетеді.

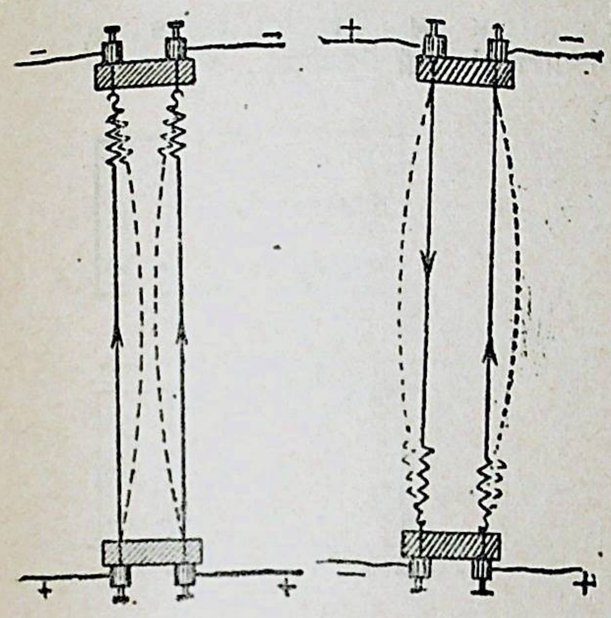


99а-с у р е т.

Магнит өрісінің тогы бар өткізгішке ететін әсері—магнит пен токтың магнит өрістерінің өзара әсерінің салдарынан болады. Бұл өзара әсерді, Фарадей бойынша, магнит өрісінің күш сызықтарында болады деп есептелетін керулер мен бүйірлік қысымдарға сүйеніп түсіндіруге болады. 99-сурет магниттің күш сызықтары мен оқушыдан суретке қарай перпендикуляр жүретін түзу токтың күш сызықтарының орналасуларын кескіндейді делік. Суреттің жоғары бөлігінде екі өрістің де күш сызықтарының бағыттары бірдей; олар бірін-бірі тебеді; төменгі бөлігінде күш сы-

зықтарының бағыттары біріне-бірі қарсы; мұндай өріс әлсізденеді де, 99-суретте көрсетілген түрге келеді. Сондықтан, жылжымалы өткізгіш солға қарай ығысады; Флемминг ережесі бойынша да солай болу керек еді.

Енді магниттердің дөңгелек токтармен не соленоидтармен өзара әсеріне келсек, олар магнит полюстерінің өзара әсерінің заңымен анықталады; үйткені, ток ағып тұратын әрбір дөңгелек ток не соленоид магнитке ұқсас (§ 80).



100-с у р е т.

Сол жақтағы — бірдей бағытталған токтар, тартылады; оң жақтағы — қарама-қарсы бағытталған токтар, тебіледі.

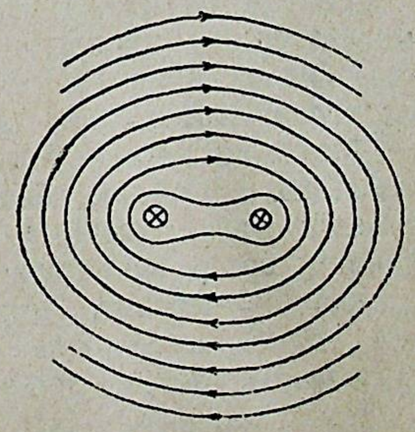
83. Токтардың өзара әсері. Әрбір түзу сызықты ток өзінің айналасында магнит өрісін жасайды; сондықтан, тогы бар екі түзу сызықты өткізгіштің арасында өзара әсер болу керек.

Параллель токтардың өзара әсерін зерттеп білу үшін, біріне-бірі жақын етіп иілгіш екі жеңіл өткізгішті ілу керек те, олар арқылы бір жолы бір бағытты, екінші жолы қарама-қарсы бағытты ток жіберу керек (100-сурет).

Тәжрибелер, *бірдей бағытталған токтардың біріне-бірінің тартылатындығын, қарама-қарсы бағытталған токтардың бірінен-бірінің тебілетіндігін көрсетеді.*

Егер жылжымалы өткізгіштер бірімен-бірі бұрыш құрап тұратын болса, онда ток жібергенде олар, токтары параллель және бір бағытты боларлықтай етіп орналасады.

Бұл өзара әсерді күш сызықтардағы керілу мен қысымдар арқылы түсіндіруге болады. Ол үшін үгінділердің жәрдемімен параллель токтардың күш сызықтарын жасайық. 101 және 102-суреттер, осы екі жағдай үшін осындай өрістерді көрсетеді. 101-суреттен, екі токтың да ортақ күш сызықтармен қоршалатындығы көрінеді. Бұл күш сызықтары өздерінің ұзындығын қысқартуға тырысады да, сол қысқаруында өткізгіштерді де ілестіре кетіп, оларды бірбіріне жақындастырады.

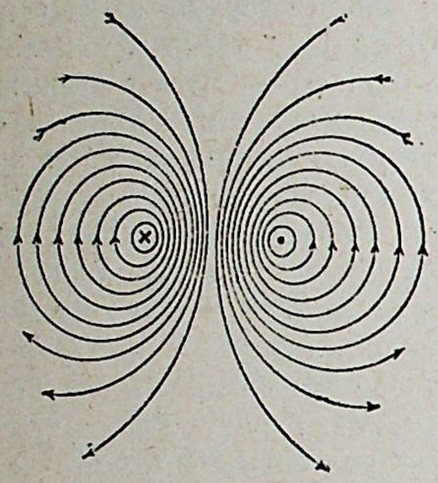


101-с у р е т. Параллель және бірдей бағытталған екі токпен түзілген өрістің магнит күш сызықтары (⊗ таңба токтардың оқушыдан тіке әрі кететіндігін көрсетеді).

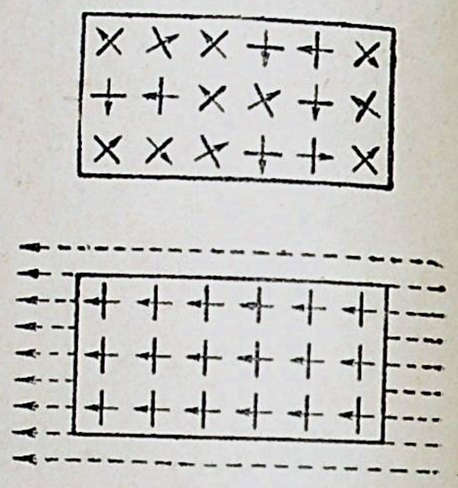
Қарама-қарсы бағытталған токтардың аралығында, магнит күш сы-

зықтарының бағыттары бірдей болады (102-сурет); күш сызықтарына көлденең келетін бүйірлік қысым, оларды бірінен-бірін теуіп тұрады да, өткізгіштерді алыстатады.

84. Магнетизмнің пайда болуы жөнінде Ампердің гипотезасы. Токтың магниттік әсерін зерттеу арқылы мыналар тағайындалды: бірінші — *электр тогы жүрген кезде қашан болса да қоскабаттасып ток айналасында магнит өрісі пайда болады*; екінші — катушкамен (соленоидпен) жүретін токтың магнит өрісіндегі күш сызықтардың орналасуы, түзу магниттікіндей болады.



102-сурет. Параллель және қарама-қарсы бағытталған екі токпен түзілген өрістің магнит күш сызықтары (⊙ таңба токтың оқушыға қарай жүретіндігін көрсетеді).



103-сурет. Магниттелмеген және магниттелген денелерде молекулалық токтардың орналасуы.

Стрелкалар қыймада кескінделген дөңгелек токтардың күш сызықтарының бағытын көрсетеді.

Бұрын тек тұрақты магниттер жөнінде ғана белгілі болатын магнит құбылыстарын электр тогының жәрдемімен өндіру магнетизмнің тегі туралы жаңа гипотеза шығуына жол ашты.

Токтың магниттік әсеріне және токтың жәрдемімен тұрақты магниттердің қасиеттерін шығарып алуға сүйеніп, француздың ұлы физигі Ампер (1775 — 1836) 1822 жылы *әрбір магнит өрісі электр негізді болады* деген гипотезаны шығарды.

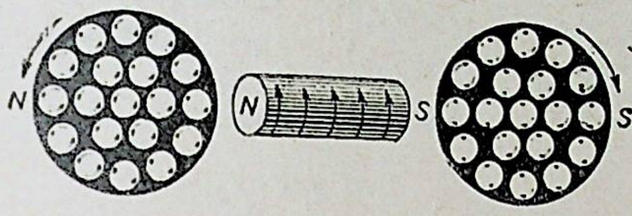
Магнитті қандай ұсақ бөліктерге бөлгенде, ол бөліктердің әрқайсысы екі полюсі бар толық магнит болып шығады; осыған сүйеніп магнетизмді молекулалық қасиет деп есептеуге болады: дененің әрбір молекуласы — карама-қарсы жағында әр текті екі полюсі бар магнит. Ампер гипотезасы бойынша, *молекуланың магнетизмі молекуланы айнала молекулалық электр тогы жүріп тұратындықтан* деп түсіндіріледі.

Дене магниттелгенде оның молекулалық токтары бұрылып, белгілі бір бағыт алып тыянақтайды (103-сурет); атап айтқанда, магниттің солтүстік полюсіне қарағанда (104-сурет) барлық молекулалық токтар сағат тіліне қарсы бағытпен оңтүстік полюсіне қарағанда сағат тілі бағытымен жүретін болып көрінеді.

Атомды оң зарядталған ядролардан және центрдегі ядро орбиталар бойымен айналып тұратын электрондардан құралады деп тапқан, XX ғасырдағы ғылым молекулалық токтардың тегін түсіндіре алады. Орбита бойымен қозғалып тұратын электрон әрбір қозғалып тұратын заряд сияқты, өз айналасында магнит өрісін жасайды.

Электрондардың магнит өрістерінің жыйыны молекуланың магнит өрісін жасайды.

Осылайша түсіндіргенде тағы бір жаңа сұрақ туады. Айналып жүретін электрондар әрбір химиялық элементтердің атомында болады. Олай болса, не себептен магниттік қасиет тек ілгеріде, 70-§-та аталған аз ғана заттарда ғана бар? 1846 — 1847 жылдардың өзінде-ақ Фарадей магнит өрісі денелердің бәріне де әсер ететінін, бірақ ол әсердің түрліше айғақталып, түрлі дәрежеде болатынын тапқан. Оның түрліше болатын себебі: күрделі зат молекуласының составына кіретін жеке электрондардың магнит өрістері орбиталардың бір түрлі орналасуында бірін-бірі жойғандай болады да, екінші түрде орналасуында бір қортқы өріс жасағандай болады.



104-сурет. Магниттегі амперлік токтардың схемасы.

Сонымен, *магнетизм дегеніміз — қозғалып жүрген зарядтың қайсысына болса да тән қасиет.* Электр тогы мен магнит өрісі, тұтас бір процестің электр зарядтарының қозғалысының екі түрде айғақталуы.

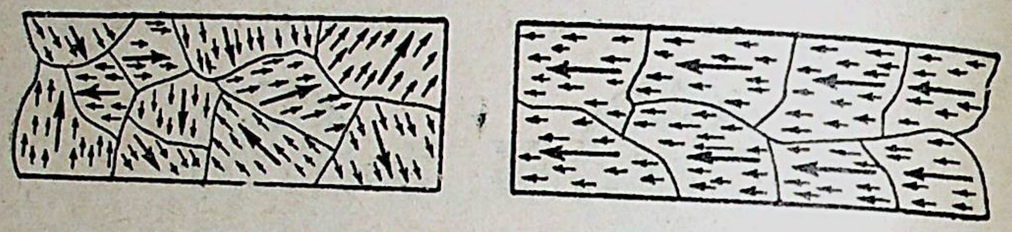
84а. Парамагнитті, диамагнитті және ферромагнитті денелер. Өткен параграфта берілген магнетизм түсінігіне толығырақ тоқталайық. Әрбір тұйық ток «магниттік момент» деген ерекше шамамен сыйпатталады; магниттік момент, ток күші мен ток айнала ағып тұратын, ауданның көбейтіндісіне тең. Осы кездегі көзқарас бойынша, электрон ядроны айнала орбитамен қозғалумен қабат, өзінің өсінде айналады. Атомдар мен күрделі молекулаларда электрондар, кеңістікте әртүрлі орналасқан әртүрлі орбиталармен қозғала алады. Бұлардың магниттік моменттері әрі орбитамен қозғалуына, әрі осьті айналуына байланысты; осы магниттік моменттер қосыла магниттік моментін жасайды.

Егер атомның немесе молекуланың жалпы монеті ноль болмаса, онда дене парамагнитті болады. Мұндай дене магнит өрісінен тысқары тұрғанда, оның молекулалық токтары мен осьтерді айналуы мейлінше тәртіпсіз бағытталған, сондықтан дененің айналысындағы қорытқы магнит өрісі нольге тең. Сыртқы өрістің әсерімен барлық молекулалық магниттер күш сызықтардың бағытымен орналасуға тырысады; бірақ бұған, алғашқы тәртіпсіз қозғалысты жақтайтын, жылу қозғалысы бөгет жасайды. Бұл екі әсердің нәтижесінде дененде аз мөлшерде ғана молекулалық магниттердің тізбегі түзіледі де, олар күш сызықтардың бағытымен орналасады. Дененің күш сызықтар келіп кірген басында оңтүстік магнетизм, шыққан басында солтүстік магнетизм пайда болады.

Егер дене магнит өрісінде еркін қозғала алатын болса, онда парамагнитті дене күш сызықтардың бойымен орналасады да, күшті магниттің полюстерінің аралығындағы кеңістікке қарай тартылады.

Парамагнитті денелер мысалы, марганец, платина, алюминий, темір тұздарының ертіндісі, оттегі.

Егер атомның немесе молекуланың жалпы магниттік моменті нольге тең болса, онда дене диамагнитті болады. Мұндай дене магнит өрісіне түскенде, индукция бойынша өріс ол дененің ішіндегі электрондардың қозғалысын өзгертеді. Ленц заңы бойынша, бұл өзгеріс оны туғызған себепке, яғни сыртқы магнит өрісіне қарсы әсер етеді. Сүйтіп, атомдарда немесе молекулаларда, күш сызықтарға қарсы бағытталған өздеріне меншікті магниттік моменттер пайда болады. Пайда болған молекулалық магниттердің тізбегі өріске бағытталған. Диамагнитті дененің сыртқы өрісінің күш сызықтары кіретін басында солтүстік магнетизм, шығатын басында оңтүстік магнетизм пайда болады. Сондықтан, диамагнитті денелер күш сызықтарға көлденеңдеп тұрады да, магнит[1]) полюстерінің аралығындағы кеңістіктен тебіледі.



104а және б сурет.

Диамагнитті денелер, мысалы висмут, мыс, күміс, алтын, кейбір газдар, су.

Үшінші топқа жататын ферромагнитті денелер — темір, никель, кобальт және жоғарыда, 70 § те ескертілген қоспалар. Бұлардың атомдарындағы электрондық қабықтардың құрылысындағы өзгешеліктердің арқасында, сыртқы өрістің ешбір қатысынсыз-ақ, магнит өрістері бірдей бағытталған миллиондаған атомдардың толып жатқан топтары бар (104а-сурет). Магнит өрісінде өз ықтыярымен магниттелген бұл элементтер магниттердің облыстарының өрістері сыртқы өрістің бағытына жақындайды (104б-сурет). Егер сыртқы өрістің кернеулігі едәуір болса, онда өз ықтыярынша магниттелген облыста, әлгі жаңа күйде тұянақталады. Дене, магнит өрісінен алып кеткенде де қалдық магнетизм сақталады.

12-жаттығу.

1. Бір ток екінші токтың өрісінде тұр деп есептеп, яғни бір ток арқылы екінші токтың күш сызықтары өтіп тұрады деп есептеп екі параллель токтың өзара әсеріне «сол қол ережесін» қолданыңдар және қозғалыс бағытын түсіндіріңдер.

2. Күш сызықтарына перпендикуляр болып жоғарыдан төмен қарай кететін түзу сызықты ток, жер магнетизмнің әсерінен магнит меридианынан шығысқа қарай ауысар ма еді, батысқа қарай ауысар ма еді?

3. Ток жүріп тұратын жылжымалы жеңіл тікбұрышты рама, жер магнетизмінің әсерінен қалай орналасар еді (рама жазықтығы мен магниттік меридиан жазықтығының арасындағы бұрыш қандай болар еді)? Төмен түсетін ток рамаға қарағанда қалай орналасып тұрады?

4. 105-суреттегі жылжымалы өткізгіштің бойымен ток жібергенде, магнитке қарағанда қалай орналасып тұрады?

5. Ток жібергенде, магнитке қарағанда жылжымалы соленоидтың орны (106-сурет) қалайша өзгереді? Токтың бағытын қарама-қарсыға өзгерткенде не болар еді? Магниттің бағытын өзгерткенде ше?

6. Ток бағыты 107-суреттегідей етіліп берілгенде, катушка электромагнитке қарағанда қалай қозғалар еді? Екі токтың да бағыттарын ауыстырғанда ше? Біреуін ауыстырғанда ше?

[1]) Грекше *пара́* — бойымен, *диа́* — көлденең деген сөз.



Ампер[1]) 1775—1836).

7. 108-суретте көрсетілген бағытпен ток жіберген екі катушка өзара қалай орналасар еді? Сол катушкадағы токтың бағыты өзгерілсе орналасуы қалай болар еді? Оң катушкадағы өзгерілсе? Екеуі бірдей өзгерілсе?

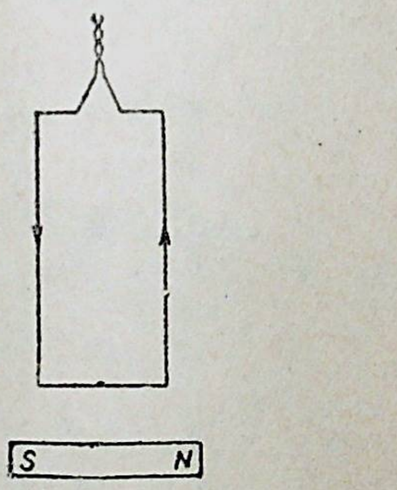
8. Төменгі ұшын сынабы бар табақшаға салған және таға тәрізді магнит полюстерінің аралығына қойылған (109-сурет) металл дөңгелек сынап пен дөңгелек арқылы электр тогын жібергенде неге айнала бастайды?

9. Бойымен ток жүріп тұрған иілгіш өткізгіш жанына орналастырған магнитті 110-суретте көрсетілгендей ғып неге спираль тәрізді орап алады? Өткізгіштегі токтың бағыты қалай (тәжрибе жасаңыздар).

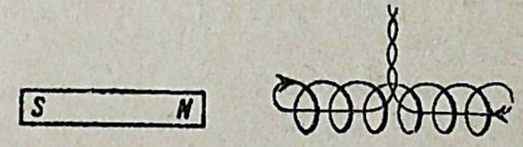
10. Алдыңғы есептегідей пертикаль ілінген, бойында тогы бар иілгіш өткізгішке горизонталь орналасқан магнитті жақындатып әкелсе, өткізгіш қалай қозғалар еді?

Токтың бағытын әртүрлі ғып өзгертіп және полюстерді түрліше орналастырып чертёждерін салу керек.

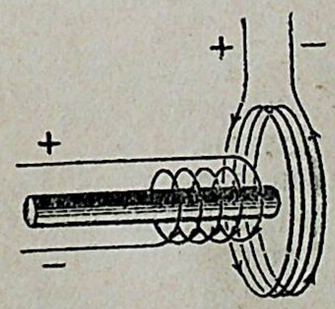
85. Электр өлшеуіш приборлар. Магниттер мен токтардың өзара әсеріне негізделіп ток күші мен кернеуді өлшейтін приборлар істелген. Егер таға тәрізді магнитті қозғалмастай етіп бекітіп (111-сурет), оның полюстерінің аралығына, изоляцияланған B сым оралған жеңіл рамканың C_1 C_2 осін үшкір тыянаққа орнатсақ, он-



105-сурет.



106-сурет.

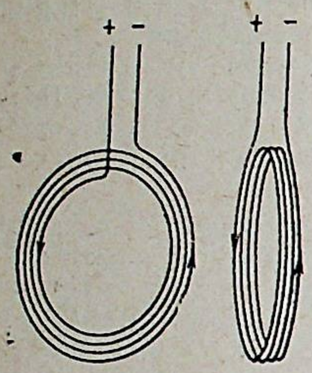


107-сурет.

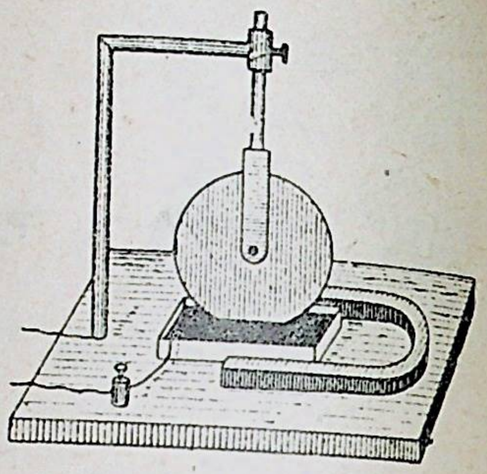
[1]) Ампер Андрэ Францияда, Лионда туды. 1807 жылдан бастап әуелі Бургта, сонсоң Париждің политехникалық мектебінде профессор болды. Ампер электртогының әсерінен магнит тілінің бұрылу бағытын анықтау үшін жүзгіш ережесін шығарды. Гальванометрге арнап, жер магнетизмі әсерін зерттеп біліп, сол өзара әсердің теориясын талқылап шығарды; өзі соленоид деп ат берген спиральді өткізгішпен ағатын токтың магниттік қасиетін зертгеп білді; ол магнетизм теориясын шығарды; бұл теория электр мен магнетизм турасындағы оқулардың бұрынғы бөлектігін мәңгі жойып, физикалық құбылыстардың бұл екі тарауын тұтастырып біріктірді.

да сыммен ток жібергенде, жоғарыда талқыланған өзара әсерлердің арқасында, рамка магнит өрісінде бұрылады.

Рамкаға бекітілген жіңішке спираль пружина, осы бұрылысқа қарсы әсер етіп рамканы бұрынғы қалпына түсіруге тырысады.

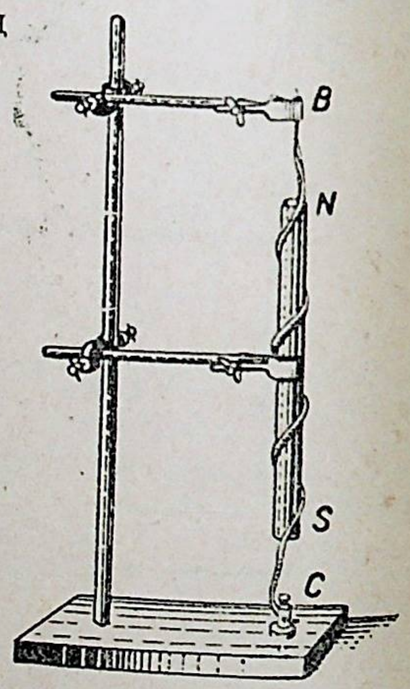


108-сурет.



109-сурет.

Сондықтан рамканың бұрылатын бұрышы, токтың күшіне байланысты болады. Бұрылудың бағыты токтың бағытына байланысты болады. Раманың осіне жеңіл стрелка орнатылады, ол стрелка рамканың бұрылған бұрышын көрсетеді. Бұл прибор Депре-д'Арсонвальдің гальванометрі деп аталады (122-сурет).



110-сурет.

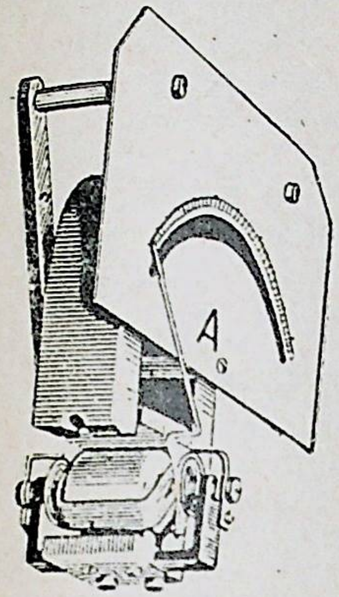
Егер прибор алдын ала градуирленіп, складағы бөліктері ампермен салынған болса, онда прибор амперметр деп аталады; ал, егер бөліктері вольтпен салынған болса — вольтметр деп аталады.

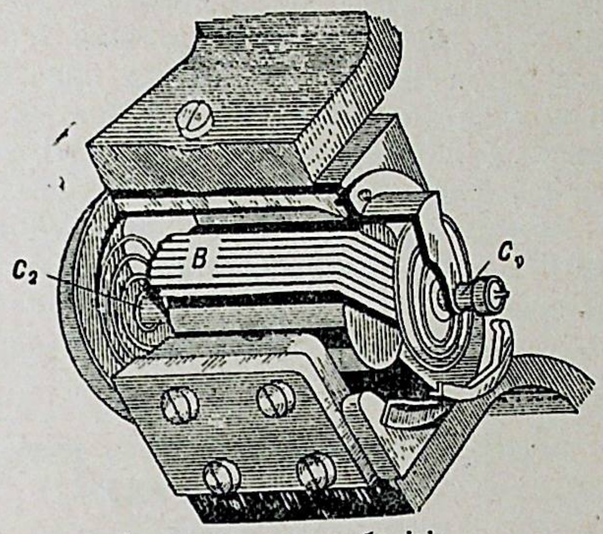
Мектептегі демонстрациялық құралда, әдетте, амперметр мен вольтметр біріктірілген болады.

Амперметрлер (111-сурет) қашанда тізбекке тізбектеліп қосылады да, олар өлшенетін токтың күшін өзгертпеу үшін, өте аз кедергілі етіп істеледі.

Токтың күші және прибордың R кедергісі белгілі болса әрбір ток күші үшін приборлардың қысқыштарындағы $U=IR$ кернеуді есептеп білуге болады; енді кернеудің тиісті мәндерін скалаға түсіруге болады; мұндай прибор вольтметр деп аталады. Вольтметрді өткізгішке параллель етіп, оның ұштарының аралығына қосады. Энергия мүмкіншке аз жұтылу үшін және тізбектегі кернеудің таралуын бұзбау үшін, вольтметрлерді өте үлкен кедергілі етіп істейді (7-жаттығу, 10-есеп).

Амперметрлерді жасағанда бұларды, токтың химиялық әсері бойынша градуирленген прибормен тізбектеп бір тізбекке жалғайды да, осының көрсетуіне сәйкес амперметрдің скаласына бөліктер түсіреді.

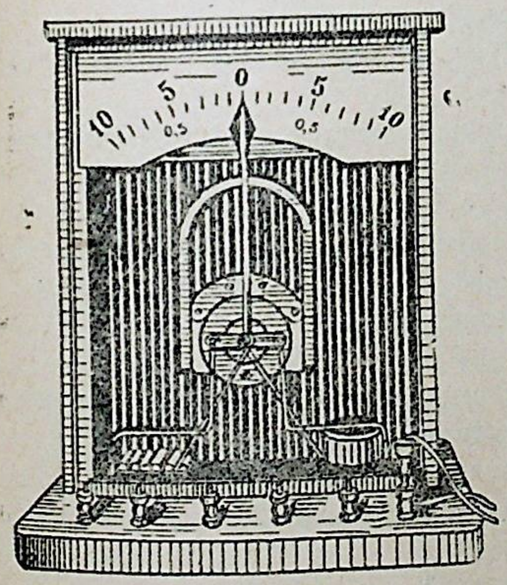




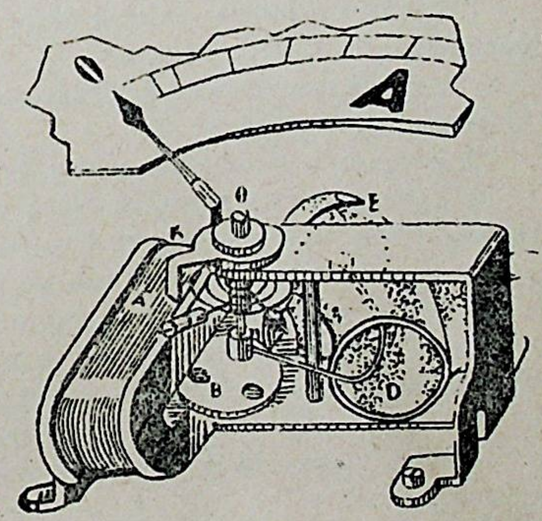
111-сурет. Амперметрдің жылжымалы бөлігі.

Әр прибор өлшенетін шаманың айрықша шекті мәніне арналып істеледі.

Егер амперметр арқылы арнаулы шамадан күштірек ток жіберсе, яки вольтметрге бұл вольтметрге лайықты кернеуден асатын кернеу



112-сурет. Депре-д'Арсонвальдің гальванометрі.



113-сурет. Электромагниттік амперметр.

келтірілсе, онда приборлар бұзылып қалуы мүмкін. Бірақ, ампердің қысқыштарының аралағына оған параллель етіп, шамасы амперметр кедергісінің $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{99}$, $\frac{1}{999}$ жалпы алғанда $\frac{1}{n-1}$ дей болатын кедер-

гі (шунт) қосса, онда осы амперметрдің өзімен 10, 100 және жалпы алғанда, n есе артық токтарды да өлшеуге болады (7-жаттығу 6-және 7-есептер).

Вольтметр скаласына әртүрлі мәнді[1]) бөліктер салу үшін, градуирленген кезде вольтметрге тізбектей қосымша кедергілерді қосу керек.

Электромагниттік амперметрлер мен вольтметрлер, өлшенетін ток жүретін катушка мен, катушка төсінің алдындағы серіппедетұратын, жұмсақ темірден істеген пластинкадан құралады. Катушкамен қандай бағытты ток өтсе,токтың күшіне қарай пластинка катушканың ішіне тартылып азды-көпті кіретін болады (113-сурет). Прибордың скаласына ампер, вольт не олардың үлестерін салу, тұрақты магнитті және жылжымалы рамалы приборлардың бөліктерін салудағыдай жолмен орындалады.

Стерженьмен қосылған стрелканың бос ұшы скала бойымен орын ауыстырып отырып, ток күшінің мәнін көрсетеді.

ОҚУШЫЛАРДЫҢ БІЛІМІН ТЕКСЕРУГЕ АРНАЛҒАН СҰРАУЛАР

1. Магнит өрісінің кернеулігі деп нені айтады?
2. Күш сызығы нені керсетеді?
3. Күш сызығының бағытына нені алады?
4. Түзу және таға тәрізді магнит өрісіндегі күш сызықтарының формасы мен бағыты қандай болады?
5. Магнит өрісінің күш сызықтары тұйық бола ма, тұнықталмаған бола ма?
6. Магниттің қай жерлерін оның полюстері деп атайды?
7. Бұрылу бұрышы деп нені айтады? Магниттік меридиан деп нені айтады? Қандай-қандай бұрылу болады?
8. Еңкею бұрышы деп нені айтады. Магниттік экватор деген не? Қандай-қандай еңкеюлер болады?
9. Бұрылу мен еңкеюді немен түсіндіруге болады?
10. Түзу сызықты дөңгелек және соленоидтық токтың магнит өрістеріндегі күш сызықтардың формасы мен бағыты қандай?
11. Токтың күш сызықтарында магнит полюстері бола ма?
12. Электромагнит деп нені айтады?
13. Электромагниттің құрылысын және полюстердің орнын токтың бағытына байланысты қандай болатынын айтыңдар, сыйпаттап беріңдер.
14. Электромагниттің қай орындарда қолданылатынын айтып беріңдер.
15. Магнит өрісінің жылжымалы токқа ететін әсері үшін Флемминг ережесін айтып беріңдер.
16. Токтардың өзара әсерлері қандай болады?
17. Амперметрлер мен вольтметрлер қалай істеледі?
18. Тізбекке амперметрлер мен вольтметрлер қалай жалғастырылады?

[1]) Мысалы, бір бөлігі 1 не 5, не 10 вольтке сәйкес келгендей етіп.

IV. ЭЛЕКТР ТОГЫНЫҢ СҰЙЫҚТАР МЕН ГАЗДАР АРҚЫЛЫ ӨТУІ

86. Электр тогының сұйықтардан өтуі. Металдардағы (және көмірдегі) электр тогы молекулалар немесе иондар арасында қозғалып жүретін электрондардан құралады; ал, молекулалардың және иондардың өздері ток жөнімен қозғалмайды. Мұндай өткізгіштер бірінші текті өткізгіштер деп аталады; бұлардың өткізгіштігі электрондық деп аталады.

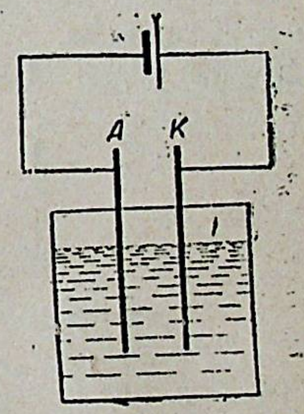
Қышқылдар мен тұздардың ертінділерінде және газдарда электр заттың бөлшектерімен бірге ауысып жүреді.

Ерткенде не балқытқанда молекулалары, иондар деп аталатын бөліктерге ыдырайтын тұздардың, қышқылдардың және сілтілердің ертінділері, не балқыған тұздар сұйық өткізгіштер деп аталады.

Егер еріткіш пен қатты тұзды жеке-жеке алсақ, онда бұлардың қайсысы болса да ток өткізбейді. Ал, бірақ, дистилляцияланған суы бар ыдыстың ішіне тұз сеуіп, ертіндіні тізбекке қоссақ, токтың өтетіндігін байқауға болады. 31-§ та анықтағанымыздай, тұздың, қышқылдың, сілтілердің молекулалары ерігенде екі бөлікке—екі ионға ыдырап бөлінеді; бұлардың біреуі әрқашан сутегі, металл, екіншісі қышқыл қалдығы, не су қалдығы болады.

Тұз, қышқыл не сілті еріген кезде сутегінің не металдың атомдары өздерінің электрондарының біреуінен немесе бірнешеуінен айрылып қалады, сондықтан оң зарядталып (оң ион болып) шығады; ал, әр, молекуланың екінші бөлшегі — қышқыл қалдығы не су қалдығы артық электрондарды қосып алады; сондықтан, теріс зарядталып (теріс ион болып) шығады.

Ертіндіні тізбекке қосу үшін, оны электролиттік ванна деп атайтын ыдысқа құяды да, оның ішіне тізбектің ұштарын батырады. Ток көзінің оң полюсіне жалғастырған сымның ұшын, не электродты анод деп атайды, ал теріс полюсіне жалғастырғанды катод деп атайды.



114-сурет. Электролиттік ванна.

Егер ертіндіні электр тогының тізбегіне жалғаса (114-сурет) онда, электр өрісі жасалады. Иондар яғни электр зарядтары бар атомдар немесе атомдар группасы қозғала бастайды: оң зарядталған иондар өрістің кернеулігінің бағытымен, яғни катодқа карай, теріс зарядталған иондар қарама-қарсы бағытпен, яғни анодқа қарай қозғалады.

Анодқа келген аниондар деп аталатын теріс иондар, өздерінің артық электрондарын анодқа, ал, осы анод арқылы және жалғастырғыш өткізгіш арқылы көздің оң полюсіне береді де, ондағы жетіспейтін электрондардың орнын толтырады; катодқа келетін катиондар деп аталатын оң иондар, өздерінде кем электрондарды катодтағы артық электрондардан алады. Осылайша, нейтрал күйге айналған заттың бөлшектері[1]) Осылайша, нейтрал күйге айналған заттың бөлшектері[1])

[1]) Атомдар не атомдар группалары түрінде.

(сұйық ішінде емес) тек электрондардың бетіне бөлініп шығады. Электродтардың бетіндегі иондардың бұл нейтралдануы токтың электр тізбегі арқылы жүруіне керекті буынның бірі; өйтпесе, электродтарда да және олардың маңындағы электролиттік ертіндіде өте көп электр зарядтары жыйналып қалар еді де, токтың бұдан былай жүруіне бөгет жасар еді.

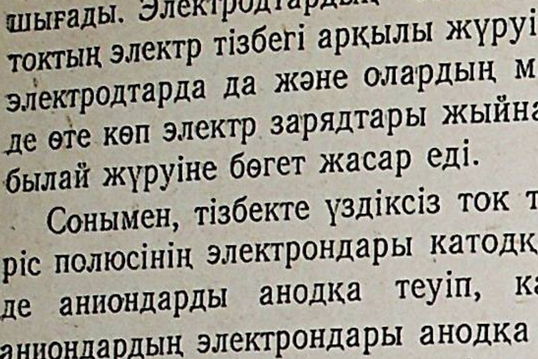
Сонымен, тізбекте үздіксіз ток тұрақталатын болады: көздің теріс полюсінің электрондары катодқа келеді де, онда тиісті мөлшерде аниондарды анодқа теуіп, катиондарды нейтралдандырады; аниондардың электрондары анодқа және жалғастырғыш сым арқылы көздің оң полюсіне көшеді; осылайша сыртқы тізбек арқылы ток көзінің теріс полюсінен оң полюсіне *электрондар орын ауыстырып тұрады. Сонда сұйық арқылы электр заттың бөлшектерімен бірге көшіп тұрады.*

Электр заттың атап айтқанда молекуланың бөлшектерімен көшірілуін ион өткізгіштігі деп атайды.

Электрді, тек ішінде иондары[1]) бар ертінді ғана өткізеді. Мұндай сұйық өткізгіштерді екінші текті өткізгіштер деп атайды.

Молекула бөліктерінің электродтарда бөлініп шығуын электролиз[2]) деп атайды, екінші текті өткізгіштердің өздерін электролиттер деп атайды.

Электролиздің негізгі шарты — молекулалардың еріген кезде екі ионға ыдырап айрылуы; ток жүрген кезде ыдыраудың алғашқы продукттары есебінде, олар электродтарда бөлініп шығып, нейтралданады. Мысалы, тұз қышқылы HCl арқылы ток өткенде катодта сутегі H бөлініп шығады да, анодта Cl бөлініп шығады.



115-сурет.

Иондардың қозғалысын мынадай тәжрибеден байқауға болады. Бір табақ тікбұрышты фильтр қағаз күкіртті қышқылды натрий мен фенолфталеиннің ертіндісіне малынып алынады да, шыны пластинканың үстіне қойылады. Қағаздың бетіне, күйдіргіш натрдың ертіндісімен дымдаған жіп салынады.

Егер жіптен бірдей қашықтықтан қағазға электродтарды қысып тұрып (115-сурет) ток жіберсе, онда гидроксиль (OH) иондары, жолында малина түсті бояу қалдырып отырып, анодқа қарай қозғала бастайды.

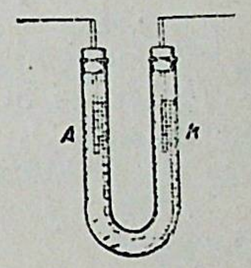
Егер қағазды ас тұзы ертіндісіне, жіпті $[Cu(NH_3)_4]CrO_4$ тұзы ертіндісіне малып алса, онда екі жақты қозғалысты байқауға болады.

Иондардың қозғалысы олардың қозғалғыштығымен сыйпатталады. Иондардың қозғалғыштығы олардың электр өрісіндегі потенциалы 1 *см* де 1 вольт төмен түскендегі қозғалысының жылдамдығымен өлшенеді.

Иондардың 18° тағы қозғалғыштығы $\frac{см}{сек} : \frac{вольт}{см}$.

Гидроксоний $H_3O^{\cdot}$	$3{,}3 \cdot 10^{-3}$
Натрий $Na^{\cdot}$	$0.46 \cdot 10^{-3}$
Темір (екі валент) $Fe^{\cdot\cdot}$	$0{,}48 \cdot 10^{-3}$
Гидроксил OH'	$1{,}82 \cdot 10^{-3}$
Хлор Cl'	$0{,}68 \cdot 10^{-3}$
Қышқылдың қалдығы SO''_4	$0{,}76 \cdot 10^{-3}$

87. Электролиз кезіндегі екінші реттік реакциялар. Электродтарда бөлініп шыққан кезінде иондар көбінесе не электродтармен, немесе төңірегіндегі сұйықпен өзара химиялық әрекеттеседі. Иондардың осындай өзара әрекеттесуін екінші реттік реакциялар деп атайды.



116-сурет. Тұздардың ертіндісін электролиздеуге арналған прибор.

Екінші реттік реакциялар, электродтарда бірінші реттік иондардан өте көп айырмасы бар продукттар беруі мүмкін.

Екінші реттік реакциялардың мысалдары.

1. Күкірт қышқыл натрий (Na_2SO_4) ертіндісінің, не күкірт қышқыл калий ертіндісінің (K_2SO_4) электролизі (116-сурет):

$$Na_2SO_4$$

(катод) $2Na$ $\qquad$ SO_4 (анод)

Анодта: $2SO_3 + O_2 + 2H_2O = 2H_2SO_4 + \boxed{O_2}$.

Катодта: $4Na + 4H_2O = 4NaOH + \boxed{2H_2}$.

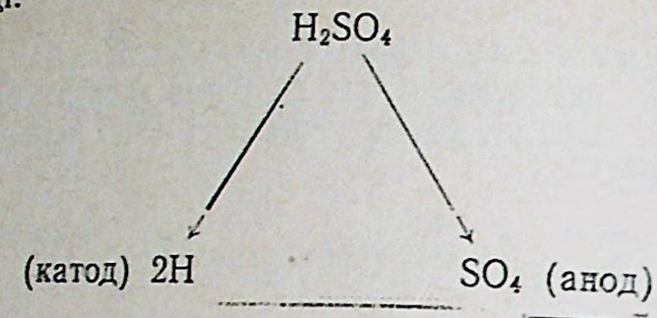
Ақтық продукттар: күкірт қышқылы, сілті, сутегі және өттегі, соңғы екеуі су молекуласының составына кіретін қатнаста болады.

Каспий теңізінің Қара-Бұғаз-Голь шығанағындағы глаубер тұзының (Na_2SO_4) көп қоры осылайша бағалы продукттарға, яғный күкірт қышқылы мен күйдіргіш натрға айналдырылуы мүмкін.

[1]) Иондарға айрылмайтын ертінділер электр өткізбейді: мысалы, дистилляцияланған судағы қант ертіндісі сондай.

[2]) Грекше *лизис* — айыру деген сөз.

2. Күкірт қышқылы H_2SO_4 ертіндісінің электролизі төменгі түрде жүреді:



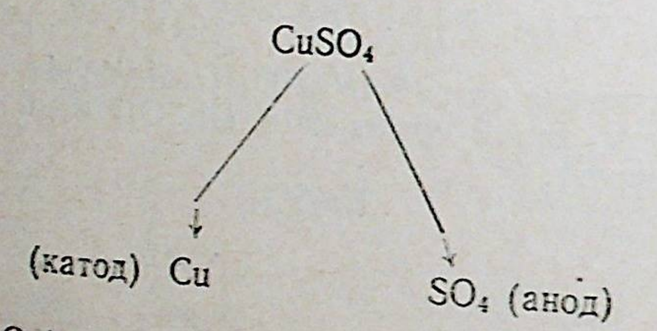
Анодта: $2SO_3 + O_2 + 2H_2O = 2H_2SO_4 + \boxed{O_2}$

Катодта: күкірт қышқылының екі молекуласынан $\boxed{2H_2}$ бөлініп шығады.

Күкірт қышқылы қайта құралады да, айрылу продукттары сутегі мен оттегі болады; сутегі мен оттегінің қатысы олардың су молекулаларының составына кіргендегі қатысындай болады. Сөйтіп, екінші реттік реакцияның нәтижесінде су оттегімен сутегіне айрылады. Осылайша су электролизі токтың бірінші реттік әсерінен болмайды; өйткені дистилляцияланған су өткізгіш емес.

Молекула SO_4 тұрақсыз болады, ол О оттегін беріп, күкірт ангидридінің SO_3 молекуласына айналады. Бұл соңғы, сумен қосылып күкірт қышқылын құрайды.

3. Мыс купоросының ($CuSO_4$) яғни тотыяйын ертіндісінің электролизі:



Анодта: $2H_2O + 2SO_3 + O_2 = 2H_2SO_4 + \boxed{O_2}$

Катодта $\boxed{2Cu}$ бөлініп шөгеді.

Егер анод мыстан істелген болса, онда мыс анод төңірегінде пайда болған күкірт қышқылында еріп кетеді.

Нәтижесінде, анодтың мысы ертіндіге көшеді де, катодта сондай мөлшерде мыс бөлініп шығады; ертіндінің күштілігі өзгерместен қала береді.

Электролиздің техникада қолданылуы осы соңғы реакцияға негізделген: гальваностегия — бір металдың сыртына екінші металды жалату; гальвано пластика — рельефті нәрсе-

лерден металл оттискілер (бет бедерін) алу; электрометаллургия — таза металл шығарып алу.

88. Лабораториялық жұмыс № 3. **Электролиз заңдарын тексеру.**

Приборлар: 1) екі аккумулятор; 2) ванна; 3) бір пар мыс электрод пен бір пар цинк электрод; 4) амперметр; 5) рубильник; 6) жылжымалы контактты реостат; 7) таразы мен ұсақ кірлер; 8) сым өткізгіштер; 9) спиртовка; 10) әртүрлі тұздардың ертінділері; 11) секундтық тілі бар сағат (10 мен 11 барлық класс үшін керек).

I. Электролиз кезінде бөлініп шыққан зат мөлшерінің токтың өту уақытына байланысын табыңдар.

Жұмыс тәртібі. 1. Мыс электродтың екеуін де таразыға салып өлшеңдер (уақыт жеткіліксіз болса, тек катодты ғана өлшеуге болады).

2. Ваннаға мыс купоросының ертіндісін құйыңдар.

3. Мынадай тізбек тізіңдер: аккумулятор, амперметр, реостат, рубильник, ванна электродтары (егер таразыға бір ғана пластинка өлшенген болса, оны катод етіп алу керек); токты тұйықтап, уақытты белгілеп алыңдар.

4. t_1 уақыт өткеннен кейін токты айырып, ертіндіден электродтарды алыңдар; оларды горелка жалынының үстіндегі жылы ауаға ұстап кептіріңдер; бұдан кейін таразыға салып өлшеп, катодтың массасы қанша артып, анодтың массасының қанша кемігендігін жазып алыңдар; бұл сандардың ортасын бөлініп шыққан мыстың m_1 миллиграмм мөлшері деп алыңдар.

Мәліметтерді жазатын таблица

Токты қосқанға дейінгі масса		Токты айырғаннан кейінгі масса		Массаның өзгеруі		Бөлініп шыққан заттың мөлшері m миллиграмм	Тәжрибенің уақыты t секунд	Токтың күші I	$\frac{t_2}{t_1}$	$\frac{m_2}{m_1}$
анод	катод	анод	катод	анод	катод					

5. Бұрынғыша тізбек жасап алып, реостаттың жәрдемімен күшті 3-тәжрибедегідей ток алыңдар да, ұзақтығы басқаша t_2 уақыт бойы ток жіберіңдер.

6. Алдынғыдағыдай етіп t_2 уақыттың ішінде бөлініп шыққан мыстың m_2 миллиграмм мөлшерін табыңдар.

7. $\frac{m_2}{m_1}$ және $\frac{t_2}{t_1}$ қатнастарын тауып, оларды өзара салыстырыңдар. Тәжрибеден қандай қортынды шығаруға болады?

II. Бөлініп шыққан заттардың мөлшерінің токтың күшіне қандай байланысты екенін тағындар.

III. Бірдей жағдайда бөлініп шыққан металдардың қатнасын олардың химиялық эквиваленттерінің[1]) қатнасымен салыстырыңдар.

Екінші мен үшінші тапсырмалардың жоспары мен жұмысының тәртібін өздерің белгілеп алыңдар.

89. Электролиз үшін Фарадей заңдары. Қышқылдың судағы ерітіндісін электр тогымен электролиздеу алғаш 1800 ж. орындалған еді; бірақ, солай бола тұрса да, екінші реттік реакциялар өте күрделі болғандықтан, тек 1833 жылы ғана өз тәжрибелеріне сүйеніп, Фарадей электролиздің мынадай заңдарын анықтай алды:

Бірінші заң. ***Электролиз кезінде бөлініп шығатын заттың мөлшері токтың күші мен оның өту уақытына тура пропорционал*** (яғни электролит арқылы өткен электрдің мөлшеріне пропорционал).

Бір кулон бөліп шығаратын заттың мөлшері берілген заттың электрохимиялық эквиваленті деп аталады.

Егер заттың электрохимиялық эквивалентін K $\frac{\text{миллиграмм}}{\text{кулон}}$ арқылы, ток күшін I ампер арқылы, ток өтетін уақытты t секунд арқылы, бөлініп шыққан заттың салмақ мөлшерін m миллиграмм арқылы белгілесек, онда бірінші заңды мынадай қатыспен өрнектеуге болады.

$$m = KIt. \qquad \text{(XIXa)}$$

Екінші заң. ***Заттардың электрохимиялық эквиваленттері олардың химиялық эквиваленттеріне тура пропорционал.***

Екінші заң K электрохимиялық эквивалентінің сол заттың химиялық M эквивалентіне қатнасы тұрақты шама болады дейді; өлшеу бойынша ол 0,01036 ға тең (таблицаны қараңыз); бұдан $\frac{K}{M} = 0{,}01036$, $K = 0{,}01036 \cdot M$, немесе $K = 0{,}01036\ \frac{A}{n}$; мұндағы A атомдық салмақ, n — валенттік, $\frac{A}{n}$ — заттың химиялық эквиваленті.

Бұл екі заңды мынадай формуламен біріктіруге болады:

$$m = 0{,}01036 \cdot \frac{A}{n} It \text{ миллиграмм.} \qquad \text{(XIXб)}$$

[1]) Химиялық эквивалент деп заттың атомдық салмағын оның валенттігіне бөлгендегі бөліндіні айтады; элементтің валенттігі химиялық қосылыстарда берілген элементпен орнын ауыстыратын сутегі атомдарының санына тең болады.

Бұл екі заңды біріктіріп былай айтуға болады:

Электролиздегі бөлініп шығатын заттың мөлшері, заттың химиялық эквиваленті мен электролит арқылы өткен электр мөлшеріне тура пропорционал.

Бұл заңдарды былай түсіну керек: азот қышқылды күміс тұзының ертіндісі арқылы электр тогы өткенде, әр кулон 1,118 *мг* күміс бөліп шығарады, ток хлор, не хлорлы тұз арқылы өткенде, негіз қандай болғанда да, әр кулон 0,3672 *мг* хлор бөліп шығарады; екі валентті темір тұздары арқылы ток өткенде, әр кулон 0,2895 *мг* темір бөліп шығарады, ал енді, үш валентті темір тұздарынан әр кулон бұдан бір жарым есе кем, яғни 0,1930 *мг* темір бөліп шығарады.

Токтың химиялық әсеріне сүйеніп, кулонға тәуелсіз амперге анықтама беруге болады; оны ампердің халықаралық анықтамасы дейді. *Халықаралық ампер — күміс тұзы ертіндісінен 1 секунд ішінде катодқа* 1,118 *мг күміс бөлініп шығаратын тізбектегі тұрақты токтың күші.*

90. Электрон зарядының кулонмен есептелген сан мәні. Фарадей заңының формуласына сүйеніп, тілеген заттың грамм-эквивалентін бөліп шығару үшін қанша кулон керек болатынын есептеп білуге болады.

Заттың грамм-эквиваленті деп сол заттың химиялық эквивалентіне тең болатын грамм санын айтады.

Электрохимиялық эквиваленттердің таблицасы.

	Электрохимиялық эквивалент	Атомдық салмақ A	Валенттік n	Химиялық эквивалент M	$\frac{K}{M}$ катнасы
Катиондар					
Алюминий	0,0932	26,97	3	8,99	0,01036
Сутегі	0,01044	1,008	1	1,008	0,01036
Темір	0,2895	55,84	2	27,92	0,01036
„	0,1930	55,84	3	18,61	0,01036
Алтын	0,681	197,2	3	65,73	0,01036
Калий	0,4052	39,096	1	39,1	0,01036
Мыс	0,659	63,57	1	63,57	0,01036
„	0,3294	63,57	2	31,78	0,01036
Натрий	0,2388	22,997	1	22,997	0,01038
Никель	0,3040	58,69	2	29,34	0,01036
Күміс	1,118	107,88	1	107,88	0,01036
Қорғасын	1,074	207,2	2	103,6	0,01036
Цинк	0,3387	65,38	2	32,69	0,01036
Аниондар					
Бром	0,828	79,916	1	79,916	0,01036
Иод	1,315	126,92	1	126,92	0,01036
Оттегі	0,0829	16	2	8	0,01036
Хлор	0,3672	35,457	1	35,457	0,01036
OH	0,1762	17,008	1	17,008	0,01036
SO_4	0,4975	96,06	2	48,03	0,01036
CO_3	0,3108	60	2	30	0,01036
NO_3	0,642	62,01	1	62,01	0,01036

Заттың грамм-эквивалентті грамм санымен өрнектеледі, оны «химиялық эквивалент» деп аталған графадан табамыз, яғни $\frac{A}{n}$ грамм санымен өрнектеледі.

Егер (XIXб) формулаға $m = \frac{A}{n}$ (грамм) $= 1000\,\frac{A}{n}$ (миллиграмм) кіргізсек, онда: $1000\,\frac{A}{n} = 0{,}01036 \cdot \frac{A}{n}\,It$ шығады, бұдан: $It = \frac{1000}{0{,}01036} = 96\,500$ кулон[1]) екенін табамыз.

Заттың кинетикалық теориясына сүйеніп, кезкелген бір валентті заттың грам-эквивалентінде $6{,}026 \cdot 10^{23}$ атом, екі валентті заттікінде бұдан екі есе, үш валентті заттікінде үш есе кем т. с. с. болатындығын есептеп тапқан.

Электролиз кезінде кезкелген бір валентті заттың грамм-эквиваленті бөлініп шыққанда, бір жағынан электролит арқылы 96 500 кулон өтіп отырады да, екінші жағынан электродтарға $6{,}026 \cdot 10^{23}$ ион келіп отырады. Бұдан мынадай қортындыға келуге болады: бір валентті заттың әрбір ионының үлесіне:

$$e = \frac{96500}{6{,}03 \cdot 10^{23}} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$$ кулоннан келеді.

Электролиз құбылыстарында байкалатын электрдің ең аз мөлшері, яғни элементар электр заряды (барлық өзге белгілі құбылыстардағыдай) $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ кулонға тең болады. CGSE системасында элементар заряд $4{,}8 \cdot 10^{-10}$ санымен өрнектеледі.

Электрдің барлық құбылысына да не элементар бір заряд, не олардың еселік саны қатысады.

Казіргі уақытта материяның үш элементар бөлшектері мәлім; бұлардағы зарядтың шамасы ең кіші болады да, бір-біріне тең болады. Бұлар: теріс заряды бар электрон, протон (сутегі атомының ядросы) және позитрон; бұл соңғы екеуінде оң заряд болады.

Енді біз былай деп айта аламыз: ион деген бір, не бірнеше (теріс не оң таңбалы) элементар заряды бар атом не бірнеше атомдардың жыйыны.

Мысалы, сутегінің ионы дейтініміз, оң электрді алып жүретін сутегінің атомы; мұның электрінің шамасы электронның зарядына тең (басқаша айтқанда, өз электронынан айрылған атом); мыс купоросына электролиз жасағандағы мыс ионы дегеніміз, абсолют шамасы екі электронның зарядына тең болатын, оң электрі бар мыс атомы; хлор ионы — электрон мен хлор атомының қосылысы, қышқыл қалдықтың (SO_4) ионы SO_4 атомдары тобының екі электронымен қосылысы.

13-жаттығу.

1. 2 ампер ток 1 сағат 40 минут ішінде күкірт қышқылы никелдің ертіндісінен қанша никель бөліп шығарады?

2. Күкірт қышқылы ертіндісінің айрылуы кезінде бір сағат ішінде 1 *л* сутегін (нормал жағдайда) бөліп шығару үшін, қандай ток күші керек болады? Сонда неше грамм су бөлініп шығады?

Жауабы: 3,648 *г*.

[1]) Жүзге дейінгі дәлдікпен. Бұл санды тілеген зат үшін мына бірінші формуламен де есептеп шығаруға болады:

$m = KIt$, бұдан $It = \frac{m}{K}$ және $m = \frac{A}{n}$.

3. Амперметрді градуирлегенде токтың 50 минутта 0,5 *г* күміс бөліп шығаратындығы анықталды. Ток күшін табу керек.

4. Мөлшері 1 $дм^2$ катодта, мыс купоросынан қалыңдығы 0,6 *мм* мыс қабатының бөлініп шығуы үшін 0,8 ампер токты қанша уақыт жіберіп тұру керек?

Жауабы: ≈ 56 сағат.

5. Мыс купоросының 10 проценттік ертіндісі мен өлшеулері 8 *см* × 10 *см* мыс пластинкалары бар ванна арқылы аккумулятордан ток жіберілген (ЭҚК = 2*в*). Катодта 4 сағат ішінде қалыңдығы 0,1 *мм* мыс қабатын шығарып алу үшін, пластинкаларды қандай қашықтықта қою керек? Аккумулятордың ішкі кедергісі мен сым кедергісін елемеу керек.

Жауабы: ≈ 0,75 *см*.

6. Тізбекке амперметр және мыс купоросының ертіндісі бар ванна қосылған. Амперметр 4 ампер көрсетіп тұрады; ванна катодына 100 сек. ішінде 123 *мг* мыс шөкті. Амперметрдің көрсетуін тексеріңдер.

7. Электродтар көмірден, мыстан істелген болса, мыс купоросының электролиз процесі қанша уақытқа созылады?

8. Мыс электролит заводына 400 ванна қойылған. Әр ваннада 20 катодтан. Ваннадағы катодтар параллель қосылғанда, ванналар тізбектеліп қосылған. Катод пластинкасының үлкендігі 1 000 *мм* × 800 *мм*. Токтың тығыздылығы[1]) 200 $а/м^2$. Мыстың бір сөтке ішінде өндірілуі қандай?

Жауабы: ≈ 36 *т*.

9. Үлкендігі 1 000 *мм* × 900 *мм* әрбір катод, бір сөтке ішінде 8 *кг* таза мыс беретін болса, электролиттік мыс заводының ваннасы арқылы өтетін токтың тығыздығы қандай?

Жауабы: 316 $а/м^2$.

10. Егер ванналардағы кернеу 110 вольтқа тең болса, 8-есепте айтылған заводта бір сөтке ішінде бөліп шығарған мыстың тоннасына қанша энергия жұмсалады?

Жауабы: ≈ 235 *квт.-сағат*.

11. Егер ток күші 1 амперге тең болса, тізбектің көлденең қыймасы арқылы 1 секунд ішінде неше электрон өтеді?

12. 2 ампер ток күші, күкірт қышқылы ертіндісі арқылы 10 минут өтеді. Сонда бөлініп шыққан оттегі мен сутегінің көлемдерін табыңдар.

H_2 тығыздығы $= 0{,}00009\ \frac{г}{см^3}$; O_2 тығыздығы $= 0{,}00143\ \frac{г}{см^3}$.

Жауабы: H_2 үшін 140 $см^3$ шамасы.

13. Ток күші 1 ампер болғанда металл пластинканың 100 $см^2$ бетін қалыңдығы 0,01 *см* күміс қабатымен жабу үшін қанша уақыт керек?

Жауабы: 2 сағ. 36,5 мин.

Күмістің тығыздығы $10{,}5\ \frac{г}{см^3}$.

91. Элементтердің поляризациясы. Егер Вольта гальвани элементінің тізбегіне амперметрді қоссақ, онда ток күшінің бірте-бірте кемуін байқауға болады. Бұл кему, күкірт қышқылын[2]) электролиздағанда, оң полюсте сутегі көпіршіктерінің пайда болуымен, теріс полюсте оттегі көпіршіктерінің пайда болуымен байланысты. Газдардың қабаты нашар өткізгіш, сондықтан, олар элементтің ішкі кедергісін үлкейтеді; бұдан тізбектегі ток күші азаяды. Мұнымен

[1]) Токтың тығыздығы қыймасының өлшем ауданына келетін ток күшімен өлшенеді.

Егер көлденең қыйманы S әрпімен белгілесек, онда токтың тығыздығы $= \frac{I}{S}$ болады.

[2]) Мұнда да сутегі ионы ток бағытымен жүреді: тек элемент ішінде токтың теріс полюстен оң полюске қарай жүретінін естен шығармау керек.

қабат, жаңа элемент жасалған сыяқты болады; оның бір электроды сутегімен қапталған мыс, екіншісі оттегімен қапталған цинк. Сутегінің атомдары оң иондар түрінде, оттегінің атомдары теріс иондар түрінде ертіндіге көше бастайды. Бастапқы Вольта элементтің электр қозғаушы күшіне қарама-қарсы ЭҚК өндіріледі де, бастапқыны бұл күш 0,77 вольтқа дейін кемітіп жібереді.

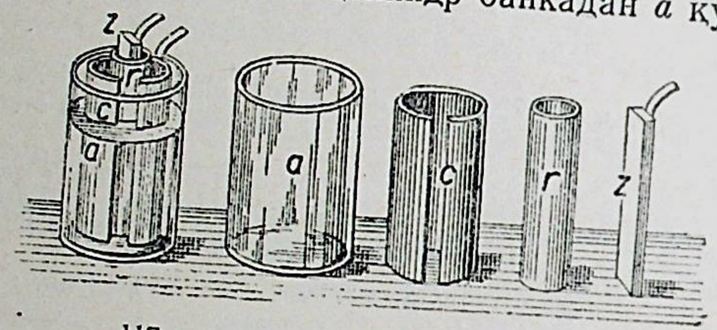
Элементтің ЭҚК-нің бағытына қарсы ЭҚК-тің пайда болуы, элементтің поляризациясы деп аталады.

Өнетін ЭҚК-ті, поляризация ЭҚК-і деп атайды.

Поляризацияны жоюды деполяризация деп атайды. Мұны, не механикаша — пластинкаларды сутегінің көпіршіктерінен тазартып орындауға болады, не химияша сутегі полюсте пайда болған кезде оны басқа заттармен қосылдырып орындауға болады.

Поляризациясы химиялық тәсілмен жойылған элементті поляризацияланбайтын элемент деп атайды.

92. Поляризацияланбайтын элементтер. 1. *Даниэль элементі.* Бұл элемент (117-сурет) шыны цилиндр банкадан *а* құралады; банканың ішіне *с* мыс цилиндр түсіріледі де, оның ішіне кеуек саздан істелген ыдыс *r* салынады; соңғының ішіне 2 цинк қойылады; кеуек ыдысқа күкірт қышқылының әлсіз мыс купоросының ертіндісі құйылады.



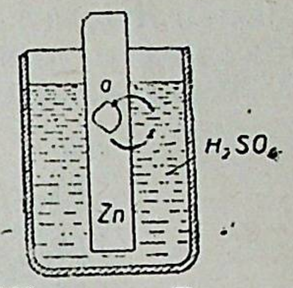
117-сурет. Даниэль элементі.

Вольта элементіндегідей мұнда да цинктің оң иондары, күкірт қышқыл цинк жасап, ертіндіге көшеді. Сутегі иондары кеуек қабырға арқылы шыны ыдысқа көшіп, мыс купоросынан мыстың оң иондарын ығыстырып, олардың орнын алып, күкірт қышқылын қайта құрайды. Мыс иондары мыс пластинкасына бөлініп шығып, оған оң зарядтарды береді де (дәлірек айтқанда, одан электрондар алады) нейтрал мыс қабаты түрінде мыс пластинкасының өзіне шөгеді. Сонымен, поляризацияны туғызатын сутегі байланған күйде тұрақты күйінде сақталып тұрады. Даниэль элементінің ЭҚК 1,1 вольтке тең.

Вольта элементін талдап тексерген кезде, қышқылдағы цинктің тек ток өткенде ғана мүмкін екендігі айтылған еді. Бірақ, бұл тек цинк химиялық таза болғанда ғана осылай болады. Әдетте, сатылатын цинктің ішіне әр жеріне басқа тектті металдардың бөлшек-

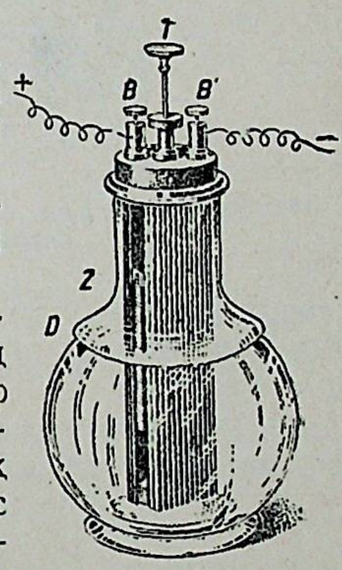
[1]) Кейде цинкті цилиндр түрінде істейді де, күкірт қышқылымен бірге шыны ыдыстың ішінде қояды, онда мыс пен купоросы кеуек ыдыста тұрады.

тері *а* еніп жатады; ондайда сол жерлерінде цинк, металл, күкірт қышқылынан құралған жергілікті элемент пайда болады; мұндай тұйық тізбекте жергілікті паразит ток пайда болады да (118-сурет) элементтің полюстері тізбекпен тұйықталмаған күнде де, цинк ериді. Паразит токтарды жою үшін цинкті амальгамалайды, яғни оны сынап пен ысады; мұның нәтижесінде, цинктің бетін, амальгама түрінде жауып тұратын, цинктің сынаптағы ертіндісі пайда болады; қоспаларды, амальгама қышқылдан оңашалайды.



118-сурет. Паразит ток.

2. *Грене элементі.* Деполяризатор қызметін бірінші электролитпен бірге бір ыдысқа құйылатын екінші электролит атқарады. Грене элементінің (119-сурет) полюстері — цинк пен көмір (бірге қосылған екі көмір пластинка). Сұйық, күкірт қышқылының ертіндісі мен қосхромқышқыл калий[1]) ертіндісінің араласынан құралады. Бұл элементтің де жұмысындағы басты процесс цинктің еруі болады; цинк пластинкасы теріс полюс болады; көмірде бөлініп шыққан сутегі, оттегіне өте бай, қосхромқышқыл калийдің ($K_2Cr_2O_7$) оттегімен қосылып су жасайды; ал реакцияға түскен қосхром калий, оттегі кемірек қосылыстарға айналады. Көмір пластинка — оң полюс болады. Грене элементінің электр қозғаушы күші 2 вольтке тең.



119-сурет. Грене элементі.

3. *Лекланше элементі.* Деполяризатор есебінде мұнда қатты зат — (MnO_2) марганецтің асқын тотығы қолданылады. MnO_2 ны көмір ұнтағымен араластырып пластинка (агломератт) түрінде прест қысып көмірмен бірге нық біріктіреді. Элемент цинк пластинкадан (теріс полюс), агломератпен тұтастырып бекіткен көмір пластинкадан (оң полюс) және NH_4Cl нашатырдың 20% тік ертіндісінен құралады (120-сурет).

Вольта элементіндегідей (§ 32) электрохимиялық процесс мұнда да цинктің еруі[2]) және көмірде сутегінің бөлініп шығуы болады.

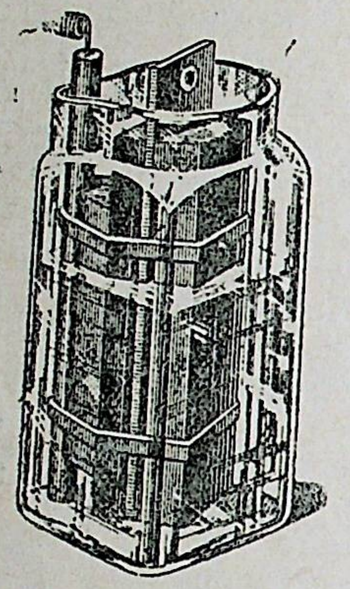
Көмір пластинкада бөлініп шығу моментінде сутегі, марганец асқын тотығының оттегімен қосылып су жасайды; марганец асқын тотығы оттегі кемдеу қосылысқа тотықсызданады. Сүйтіп марганецтің асқын тотығы деполяризатор болады. Деполяризатор қатты болғандықтан, деполяризация жай (баяу) жүреді; элемент ұзақ жұмыс істеп тұрғанда, оның электр қозғаушы күші дегенмен өзгереді. Ол көбінесе қысқа уақыт пайдалану үшін қолданылады, (электр қоңы-

[1]) Мысалы, составы 100 бөлік су, 16 бөлік қосхромқышқыл калий, 37 бөлік күкірт қышқылы.

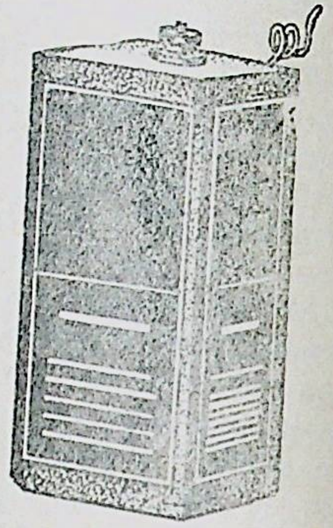
[2]) $Zn(NH_3)_2Cl_2$ қосылысы шығады.

раулары үшін). Лекланше элементінің электр қозғаушы күші 1,5 вольтке тең.

Лекланше элементтері құрғақ элементтер түрінде жиі жұмсалады. Құрғақ элементтерде, ылғалды өте көп жұтып сақтайтын мысалы, ағаш үгінділері сияқты нашатыр ертіндісін сіңіреді. Құрғақ Элементті жақсылап бітейді (121-сурет) құрғақ элементтер қалта



120-сурет. Лекланше элементі.

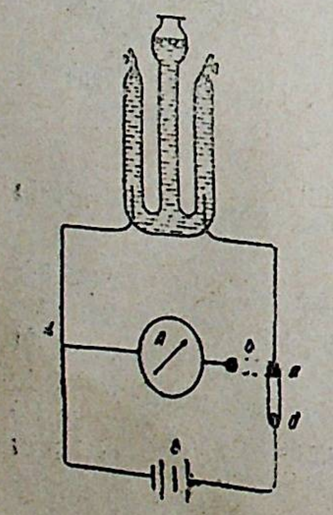


121-сурет. Құрғақ элемент.

фонарьларында, электр қоңыраулары мен басқа сигнализаторлардың сымдарында лаборатория жұмыстарында, тағы сондайларда қолданылады.

93. Электродтардың поляризациясы. Гальвани элементінде қарастырылған, поляризацияның ЭҚК-і электродтар өзгеретін (мысалы, басқа текті заттармен қапталатын) жағдайда, кезкелген электролитті электролиздеген кезде де өнеді.

Күкірт қышқылына электролиз жасау үшін арналған прибор арқылы (122-сурет) біраз уақыт ток жіберейік; сонсоң токтың көзін айырып, электродтарды гальванометр арқылы қосайық; сонда гальванометр токтың барлығын көрсетеді; бұл токтың ванна ішіндегі бағыты электролизді жасаған токтың бағытына қарама-қарсы болады. Бұл поляризация тогының пайда болғаны; ыдыс ішінде ток бұрынғы катодтан бұрынғы анодқа қарай, сыртқы тізбек арқылы анодтан катодқа қарай жүреді. Бұрынғы катодтық пластинка сутегінен қапталған болып қалады да, бұрынғы анод пластинка оттегімен қапталады. Сутегі мен оттегінің иондары, 91-§ та айтылғандай, ер



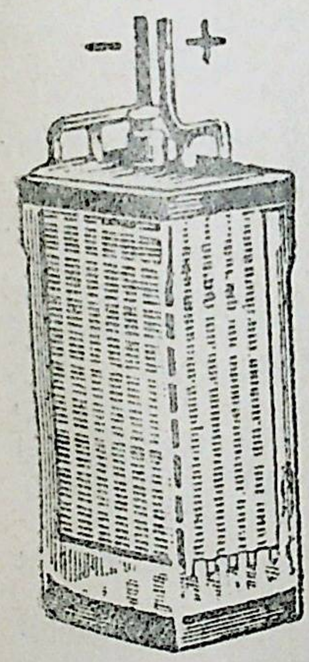
122-сурет. Поляризация тогы пайда болуды көрсететін тәжрибе.

тіндіге көшеді. Поляризация ЭҚК-і поляризация тогын береді; бұл ток қашан сутегі мен оттегі электродтардан жоғалып кеткенше шығады. Кезкелген электролитке электролиз жасау, тек ваннаның қысқыштарындағы кернеу поляризацияның ЭҚК інен артық болғанда ғана мүмкін. Жоғарыда сыйпатталған прибор, шығындалған электр энергиясын поляризация тогының энергиясы түрінде (лажсыз шығындарды есептемегенде) тізбекке кері қайтарып бере алады. Осы себептен бұл прибор екінші реттік элемент, яки аккумулятор (энергия жыйнағыш) деп аталады.

Аккумуляторлардың көп қолданылатын екі түрі — қышқылды және сілтілі аккумуляторлар болады.

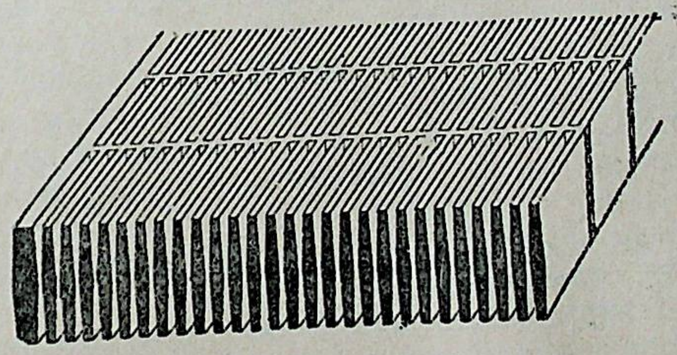
94. Аккумуляторлар. *Қышқылды* не *қорғасын* аккумулятор күкірт қышқылының 20% тік ертіндісіне матырылған екі қорғасын пластинкадан құралады (123-сурет).

Электрод пластинкалары, реакцияға түсетін заттармен толтырылған, қорғасын рама не қырлы бетті пластинка (123а-сурет) болады. Зарядталған аккумулятордың терiс полюсінде болатын зат, кеуек бұлт қорғасын; өзінің кеуектігі арқасында оның сұйықпен жанасатын беті үлкен; оң полюстегі зат қорғасынның асқын тотығының кеуек қабаты болады.



123-сурет. Қышқылды аккумулятор.

Жұмыстан кейін аккумуляторды жаңадан зарядтау үшін, пластинкаларды ток көзінің атас полюстеріне жалғастырады. Аккумулятор арқылы ток жүргенде, ондағы күкірт қышқылының электролизі болады; катодта бөлініп шыққан сутегі, күкірт қышқылды қорғасын тұзынан, қайтадан таза қорғасын құрайды;



123а-сурет. Аккумулятордың оң пластинкасы.

ал анодта бөлініп шығатын оттегі, күкірт қышқылды тұздағы қорғасынды, қорғасынның асқын тотығына айналдырады.

Сонымен, зарядтау кезінде бірдәуір уақыт ток жібергеннен кейін, бір пластинка таза қорғасын пластинка болып, екіншісі қорғасынның асқын тотығы шөккен пластинка болып шығады, ал, ертіндідегі күкірт қышқылының концентрациясы артылып шығады. Аккумуляторды разрядтағанда барлық процесс кері бағытпен жүреді де,

зарядка кезіндегі жұмсалған энергияны электр тогы түрінде қайтып беретін болады.

Аккумуляторды разрядтаған кезде катодтың қорғасыны және анодтағы қорғасынның асқын тотығы, қорғасынның күкірт қышқылды тұзына ауысады, ал күкірт қышқылының концентрациясы азаяды. Егер осы химиялық процесс ақырына дейін жүргізілсе, онда екі электрод бірдей болар еді де, поляризацияның ЭҚК нольге болар еді.

Зарядтаған кезде аккумулятордың ЭҚК, әуелі 2,1 вольтқа дейін көтеріледі, содан кейін көп уақыт тұрақты болып қалады да, разрядтаудың ақырында ЭҚК тезінен 2,7 вольтқа дейін көтеріледі. Осыдан кейін электродтардағы химиялық реакциялар тоқталады да, олардан газ көпіршіктері қаулап бөлініп шыға бастайды; мұны аккумулятор «қайнады» деп айтады. Осымен аккумулятордың зарядталуы аяқталады.

Разрядтағанда процесс кері тәртіппен орындалады. Әуелі ЭҚК 2,7 вольттен тез 2 вольтке дейін түсіп, көп уақытқа дейін сол шамада тұрады да содан кейін баяулап төмендей бастайды. Кернеуі 1,85 вольттен төмен түсе бастағаннан кейін аккумуляторды тоқтату керек.

Бұл шектен төмендете разрядтағанда, электродтарда күкірт қышқылының, қорғасын тұзының $PbSO_4$ ақ түсті қабаты пайда болады; ол өте үлкен қыйындықпен ериді; сондықтан аккумулятордың сыйымдылығымен пайдалы әсер коэфициенті кемиді.

Тоқтың тығыздығы пластинканың 1 $дм^2$ іне 0,5 амперден аспау керек. Абайсыздықтан, не разряд тогы (қысқа тұйықталудан) өте күшті болғандықтан, пластинкалар бұзылып, аккумулятор бүлінеді. Зарядтамай ұстағанда да, аккумулятор бұзылып қалады.

Күшті разряд токтарына және сілку, шайқауға шыдамды, сілтілі аккумуляторлар болады; ең алғаш шығарған американдық Эдиссон. Бұларда электролит есебінде күйдіргіш калийдің 20% тік ертіндісі қолданылады; теріс полюсі есебінде, сыртына темір тотығы мен сынап тотығының қоспасы жағылған, болат пластинка алынады да, оң полюсі графит ұнтағы мен никель тотығының қоспасы бар болат пластинка болады. Пластинка мен сұйық, тығындалған кішкене бір тесігі бар, никель жалатқан темір жәшіктің ішіне салынады.

Темірлі-никель аккумулятордағы зарядтау мен разрядтау кезіндегі реакцияның қандай болатыны әлі толық анықталған жоқ. Сілтілі аккумулятордың ЭҚК 1,3 вольт маңында болады.

Сілтілі аккумуляторлар қорғасынды аккумуляторлардан жеңіл, қолдануы оңай, бұзылмай, аз уақыт күшті ток сақтай алатын болғандықтан осы кейінгі қасиетінің арқасында сілтілі аккумуляторлар автомобильдің моторын жүргізгенде энергия көзі ретінде қолданылады.

95. Аккумуляторлардың сыйымдылығы. Аккумулятордың сыйымдылығы деп, аккумулятордың разрядка кезінде алатын электрінің толық мөлшерін айтады. Сыйымдылық ампер-сағатпен өлшенеді; ампер-сағат 3600 кулонға тең. Мысалы, 20 ампер-сағат сыйымдылығы бар аккумулятор небары 72000 кулон бере алады. Мұндай мөлшердегі кулонды әртүрлі тәсілмен пайдалануға болады: не тізбекке 20 сағат бойы 1 амперлік ток жіберіп, не 10 сағат бойы 2 амперлік ток жіберіп, болмаса әуелі 4 сағат бойы 0,5 амперлік, сонсоң 16 сағат бойы $\frac{3}{4}$ амперлік және ең акырда, 6 сағат 1 амперлік ток жіберіп, т. с. с.

Қорғасын аккумуляторларының сыйымдылығы 5 тен 1000 ампер-сағатқа дейін болады; оның салмағының әрбір килограмына 3,5 тен 6 ампер-сағатқа дейін келеді.

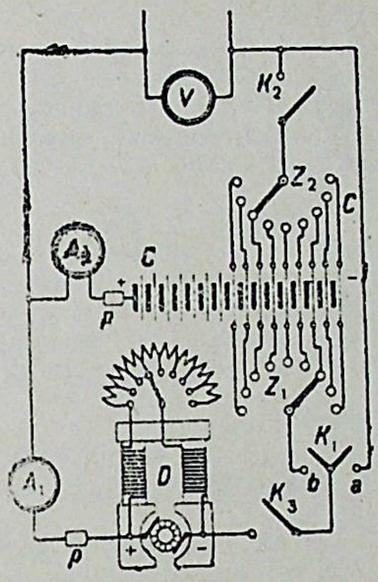
96. Аккумулятордың пайдалы әсер коэфициенті. Егер аккумулятордың пластинкаларындағы кернеу U вольт болып, t сағат ішінде I амперлік ток пен зарядталған болса, онда оны зарядтауға шығарылған энергия $W = IUt$ ватт-сағат болады.

Егер разрядтауда аккумулятордың пластинкаларындағы кернеу U_1 вольт болып, ол t_1 сағат бойы I_1 ток беріп тұрған болса, онда разряд энергиясы $W_1 = I_1U_1t_1$ ватт-сағат болады. Аккумулятордың пайдалы әсер коэфициенті:

$$\eta = \frac{W_1}{W} = \frac{I_1U_1t_1}{IUt}.$$

Осы күнгі аккумуляторларда бұл коэфициент 75—85% ке дейін болады.

97. Аккумулятордың жұмсалуы 1. Аккумуляторлар энергияны сақтауға, оны қалаған жерге апаруға және қалаған уақытта пайдалануға мүмкіндік береді. Аккумулятор батареясы лабораториялар үшін тұрақты токтың жақсы қоры болады.



124-сурет. Аккумуляторлар батареясын динамоға қосудың схемасы.

2. Қейде электр станцияларында аккумуляторлар батареясы динамомашинаға параллель қосылады (124-сурет). Динамомашинадан алынатын энергия тізбекте аз шығындалатын болғанда, оның артығын аккумуляторларды зарядтауға жіберуге болады (K_1 ді b мен тұйықтау керек, K_3 ті K_2 тұйықтау керек); энергия көп жұмсалатын болғанда, тізбекті қоректендіру үшін аккумуляторлардың энергиясы динамоның энергиясына қосылады.

K_1 ді a қосып, сыртқы тізбекті тек динамодан қоректендіруге болады. K_1 мен K_3 айырып, K_2 ні K_1 ді b ға қосып, тек батареяны зарядтауға болады. K_1 мен K_3 тұйықтап, сетьті тек аккумулятордан ғана қоректендіруге болады.

3. Аккумуляторлар автомобильдерді, автобустарды және вагондарды жарықтандыру үшін қолданылады.

4. Аккумуляторлар батареясы кішкене экипаждарды мысалы, ірі станцияларда вагондарға жүк жеткізіп тұратын платформаларды жүргізетін моторларды қоректендіреді. Аккумуляторлар су астында жүргенде сүңгуір қайықтардың моторларын қоректендіру үшін ток беріп тұрады.

5. Аккумуляторлар лампалы приемниктерді қоректендіру үшін радиоустановкаларда қолданылады.

14-жаттығу.

1. Аккумуляторлардың сыйымдылығы 20 ампер-сағат. Одан неше кулон электр алуға болады. Сөткесіне 12 сағаттан есептегенде, 10 сөтке бойы ол қанша ток бере алады? *Жауабы:* 0,17 *А.*

2. Пластинкаларындағы кернеу орта есеппен 2,15 вольт болып келген аккумуляторды 5 ампер токпен зарядтау 10 сағат 10 минутке созылады. Разрядтауда, кернеу 2 вольт болып тұрғанда, аккумулятор 7 сағат 25 минут ішінде 6 ампер ток беріп тұрды. Аккумулятордың пайдалы әсер коэфициентін табу керек. *Жауабы:* 0,81.

3. Вольта элементінің ЭҚК 1 вольтке тең; ондағы поляризацияның ЭҚК 0,5 вольтке тең. Егер элементтің ішкі кедергісі 1 омға тең болса, кедергісі 9 ом дық сыртқы тізбектегі токтың қуаты қандай болады?

Жауабы: 0,0225 ват.

4. Аккумуляторлар батареясы 10 ампер токпен 15 сағат зарядталады; батарея қысқыштарындағы кернеу 20 вольт еді. Кернеу 18 вольт болып тұрғанда, 5 амперлік разряд тогы 12 сағатқа созылады. Аккумуляторлар батареясының пайдалы әсер коэфициентін табу керек.

Жауабы: 0,36.

5. Аккумулятордың ЭҚК 2 вольт; ішкі кедергісі 0,01 ом, разрядті токтың күші 20 ампер. Қысқа тұйықталуда ($r_e = 0$) ток күші шекті күштен неше есе артық болады?

Жауабы: 10.

6. Электр желісіндегі (сеттегі) кернеу 110 вольтке тең болу керек; аккумулятордың зарядтау кезіндегі ең аз кернеуі 1,8 вольт; орта кернеуі 2,2 вольт зарядтаудағы ең үлкен кернеуі 2,75 вольт. Әрбір аккумулятордың кернеуі ең аз және қалыпты болып тұрғанда, батарея тізбектегі кернеуді сақтап тұруы үшін, батареяға қанша аккумулятор қосу керек?

Жауабы: 61; 50

7. 100 вольттік кернеуде жанатын 25 ваттық 100 дана лампалы тізбекті түнде 4 сағат бойы қоректендіріп тұру үшін, қандай сыйымдылығы бар және қанша қорғасын аккумулятор сатып алу керек (разрядка кезіндегі ең аз кернеу бойынша есептегенде); жарықтандыратын жердің станциядан алыстығы 91,5 *м*; сымның көлденең қыймасының ауданы 16 *мм*^{2}.

Жауабы: 58 аккум.

8. 20 ампер сағаттық аккумулятор радиоприёмниктің — екі лампасын қыздыру үшін қолданылады. Егер әрбір лампа арқылы күші 0,05 ампер ток өтетін болса, аккумулятордың заряды неше сағатқа жетеді? (Лампалар параллель қосылған).

9. Автомобильдің аккумулятор батареясы әрбіреуі 2 вольттік және ішкі кедергісі 0,1 омдық үш аккумулятордан тізбектеле құралған. Сыртқы тізбектің кедергісі 11,7 ом. Ток күшін және аккумулятордың ішкі кедергісіне түсетін кернеуді табыңдар.

Жауабы: 0,05 вольт.

10. 116 вольттік және ішкі кедергісі 0,3 омдық аккумулятор батареясы, толық кедергісі 0,2 омдық және поляризациясының кері ЭҚК 100 вольттік аккумулятор батареясын зарядтайды. Екі батареясының оң полюстерін қосып тұратын сымдардың кедергісі 0,5 ом; теріс полюстерін қосып тұратын сымдардың кедергісі 1 ом. Зарядтау 10 сағатқа созылады.

Мына төмендегілерді табыңдар: 1) зарядтайтын токтың күшін; 2) тізбек арқылы өткен кулон санын; 3) оң полюстерді қосып тұратын сымдардағы кернеуді; 4) теріс полюстерді қосып тұратын сымдардағы кернеуді; 5) зарядтайтын батареяның ішкі кедергісінде потенциалдың қанша төмен түскенін; 6) аккумулятор батареясының ішкі кедергісінде потенциалдың қанша төмен түскенін; 7) зарядтау батареясының шығарып тұратын электр энергиясын; 8) аккумулятор батареясын зарядтауға кететін энергияны (ЭҚК 100 вольтқа тең болғанда); 9) екі батарея мен қосқыш сымдардағы кедергілердің қызуынан шыққан энергиясын; 10 тізбектің тұйық кезінде зарядтайтын батареяның полюстеріндегі вольтметрдің көрсетуін; 11) тізбек тұйық кезінде аккумулятор батареясының полюстеріндегі вольтметрдің көрсетуін; 12) разрядтайтын батареяның қуатын; 13) бағасы 20 $\frac{тыйын}{квт\ сағат}$ болғанда, зарядканың қанша тұратындығын табу керек.

Жауабы: 1) 8 ампер; 3) 4 вольт; 8) 28 800 000 дж.; 11) 101,6 вольт; 13) 1 сом 86 тыйын.

98. Электролиздің техникалық қолданылуы. Практикалық электрохимия екі негізгі бөлімге — гальванотехника мен электрометаллургияға бөлінеді.

Гальванотехникаға жататын жағдайлар, өнер кәсіптің дайын нәрселеріне, не бұл нәрселердің белгілі бір түрмен дайындаған формаларына, металдарды электролиз жолымен тікелей кондыру.

Электрометаллургия бұл — электролиз жолымен таза металл шығарып алу.

Гальванотехника металды қосылыстардың сулы ертінділерімен іс қылады. Металды шөгеру мақсатына және шөгеретін қабаттың қалындығына байланысты гальванотехника үш түрге бөлінеді: гальваностегия, гальванотипия және гальванопластика.

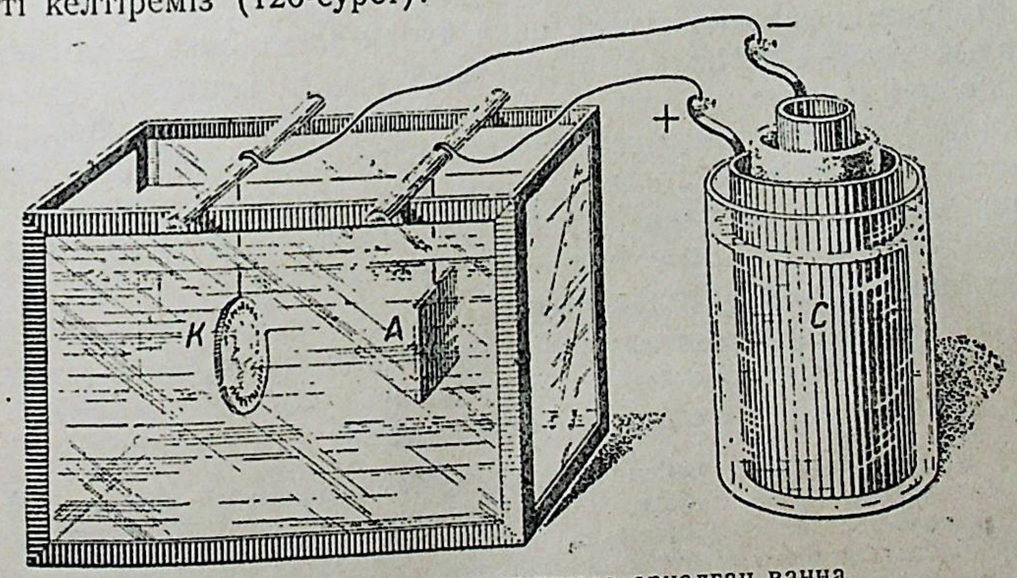
Гальваностегия — металл нәрсенің бетіне басқа бір металдың жұқа (бірнеше микрондық) қабатын жалату болады; ондағы мақсат — бірінші металды бұзылудан сақтау, не ол металдан істеген нәрсенің беріктігін арттыру, не болмаса оған әдемі түр беру,

Гальванопластика — оригиналдарынан бөліп алып, өз алдына жеке бұйымдар есебінде қолданылатын қалың (ондық үлестерінен бірнеше миллиметрге дейін) шөкпелер шығарып алу.

Гальванотипия — искусство мен техника бұйымдарынан (балауыз статуялар, кружевалар, тоқыма нәрселер) не табиғи нәрселерден (жапырақ, гүл, жеміс, шыбын-шіркей) массив қабық түсіріп алу.

Гальванотехниканың барлық жағдайларында металл жалататын нәрсе катод есебінде алынады да, оны электролит ваннасына салады. Нәрсеге шөктіретін металды анод етіп алады. Электролит, шөгетін металл тұзының сулы ертіндісі болады. Берілген металдың тұзын алу, ертіндінің составы мен концентрациясын және әр мақсат үшін лайықтап токтың күшін белгілеп алу, бұлар көп жағдайларға байланысты; бұлар таза техникалық мәселе. Сондықтан бұл арада карастырылмайды.

Біз бұл арада, тек металл шөгеретін гальваникалық ваннаның суретін (125-сурет) және катодта гальваностегия жасау үшін (мысалы, никельдеу үшін) металл нәрселерді асып қою тәсілін көрсететін суретті келтіреміз (126-сурет).

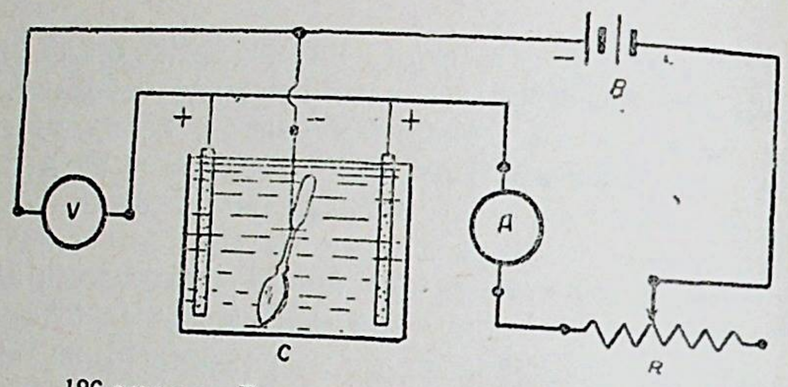


125-сурет. Гальванопластинкаға арналған ванна.

Гальванотехниканың жеке жағдайларына тоқталайық.

Граммофон пластинкалары үшін матрицалар негізгі ән салынған пластинкадан гальванопластика жолымен істеледі.

Дыбыс балауыз пластинкаға жазылады. Дыбыс жазылған балауыз пластинкадан электролиттік тәсілмен металға рельефті таңба түсіріп алады. Металдағы бедерді, заводтарда составы әртүрлі болып келетін пластикалық массаға түсіріп басып, дәл оригиналына ұқсас көп пластинка жасап алады.



126-сурет. Гальваностегияға арналған прибор.

Типографиялық клишенің сыртын гальваностегия шыдамдырақ металдың жұқа қабатымен жабады; сонда, саны көп есе артады, мысалы мыс клише 40 000 ға шейін оттиск беруге жарайды, ал гальванохромдаған мыс клише 1 500 000 оттискіге дейін береді.

Гальванопластиканы орыс ғалымы Б. С. Якоби ойлап шығарған.

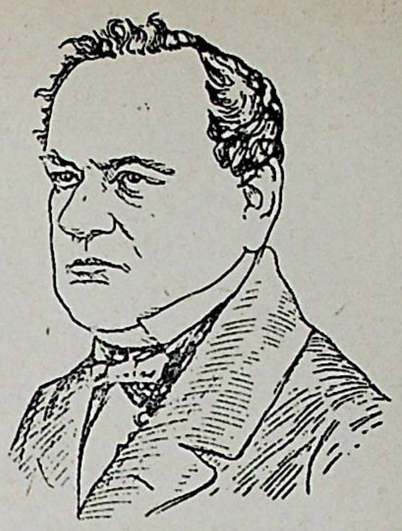
99. Электрометаллургия. Таза металдардың көбін шығарып алу үшін электролизді пайдаланады. Бұл арада біз бұл тәсілмен мыс пен алюминийді қалай шығарып алатынын көрсетейік. Мысты электролиттік жолмен шығарып алу үшін, жаратылыста едәуір көп тараған мыс рудасы — мыс колчеданын пайдаланады[1]). Рудадан қорытқан қара мыс деп аталатын (түрлі қоспасы бар) мыс электролиттік заводқа түседі, онда бұдан электролиз жолымен химиялық таза — рафиндалған мыс шығарылып алынады. Оны былайша дайындайды: үлкен электр ванналарында мыс купоросының ертіндісі толтырылған; анод есебінде қара мыс, катод есебінде таза мыстың жұқа табақтары алынады. Ванналардағы кернеу мен ток күшін айрықша шамада[2]) лайықтап алады. Электролиз жүреді; мұның нәтижесінде мыс иондары қара мыстан ертіндіге көшеді, ал ертіндіден мыс катодка шөгеді.

Алюминий шығарып алу үшін, бұл металдың тұздарының ертіндісіне емес, оның балқыған тотықтарына электролиз жасайды. Ол үшін үлкен көмір тигелдермен пайдаланады (127-сурет).

[1]) Біздің Уралда, Қарабаш деген жерде бұл руданың өте бай кендері бар; руда сол жердің өзінде өңделеді. Мыс рудасының мол жері Жезқазғанда және ССРО-ның басқа көп аудандарында да бар.

[2]) Металдың электролиттен бөлініп шығу тәртібі ваннадағы кернеуге байланысты; металдардың көбіне қарағанда мыс кем кернеуде бөлініп шығады.

Тиглдердің ішіне, алюминий бар (боксит) рудадан қорытып алған, глиноземды (Al_2O_3) салады; тигелдің өзі мұнда катод қызметін атқарады; тигелдің ішіне салынған көмір стерженьдер анод болады. Әуелі көмір стерженьдерді тигелге қосылғанша түсіріп, күшті ток жібереді. Стерженьдерді азғана көтерсек, вольт доғасы пайда болып, глиноземды балқытады. Бұдан кейін ток сұйық арқылы өтеді де, электролизді жүргізеді. Таза алюминий балқыған түрінде тигелдің түбіне (катодқа) жыйналады. Уақыт-уақыт оны тигелдің төменгі тесігінен шығарып тұрады. Натрий, калий, магний тағы басқа металдарды да осылайша шығарады.



Б. С. Якоби[1]) (1801—1874).

Біздің Одақта социалистік бесжылдықтардың ішінде үлкен алюминий заводтары салынды; бұлар социалистік құрылысты (әсіресе, самолёт құрылысын) алюминиймен толық қамтамасыз етіп тұрады.

Революцияға дейін біздің ел шетелдің алюминийімен пайдаланатын еді.

Алюминий заводтары электр энергиясын көп керек қылады; сондықтан, оларды үлкен гидроэлектр станцияларының маңында салады.

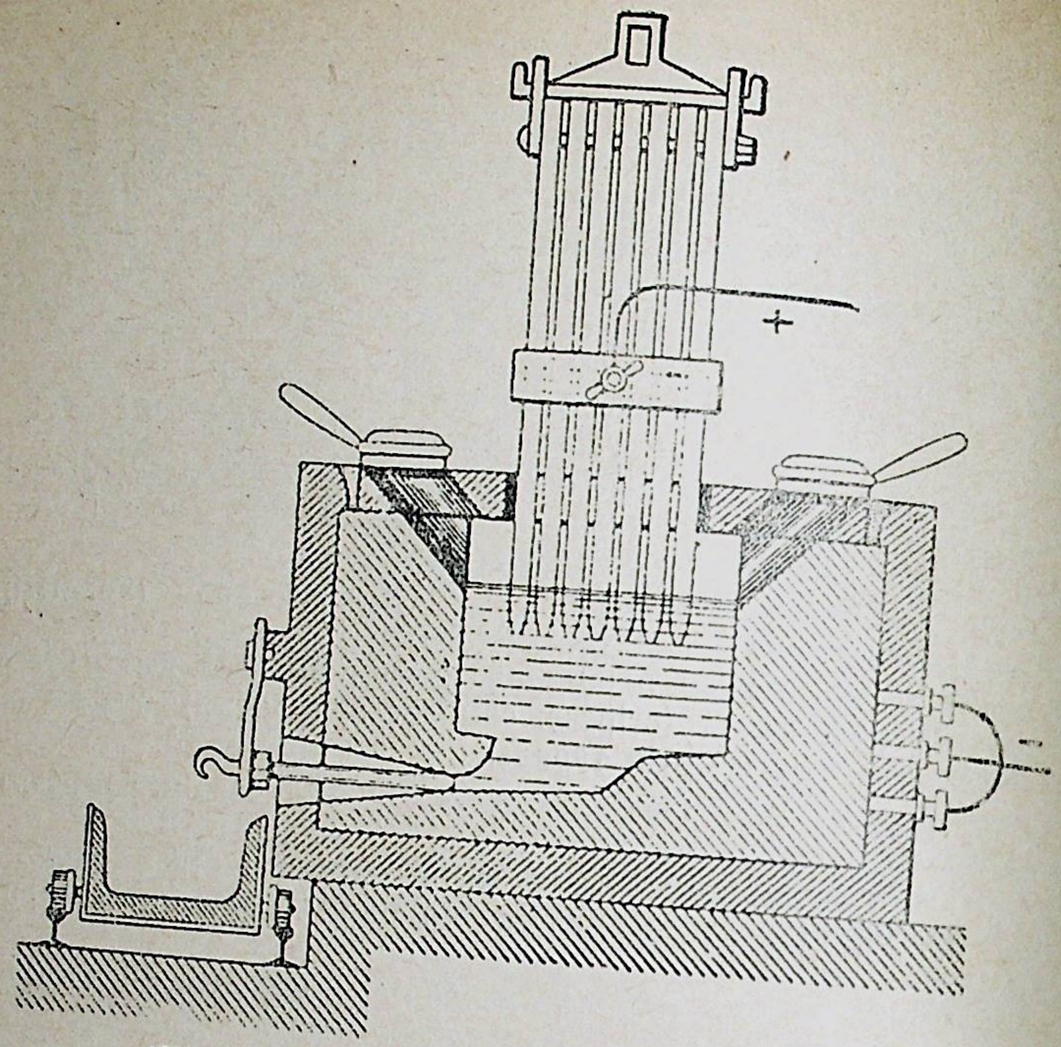
99а. Металдардың коррозиясы. Әртүрлі металдардың қосылысынан тұратын металл мүліктердің барлығында да, металды бұлдіретін электролиз жүреді; мұның себебі: металл мүліктердің бетіне ауадан, не ылғал жерден не суға тигендіктен, ылғал қабыршағы ұялайды. Металдардың осы бұліну процесін коррозия деп атайды. 30 жыл ішінде барлық металл бұйымдардың 40% тейі іске аспай қалады. Металдар, еру серпімділігі кемірек болатын басқа металдар мен тиісіп тұрған кезде коррозиядан өте-мөте күштірек бұлінеді. Мысалы, Түстік Американың кейбір жерлерінде, ауада ылғал мен тұз тозаңы көп; осы жерлерде дуралюминийден істелген само-

[1] *Гальванопластинканы* орыс академигі Якоби Борис Семенович ашты (1801 — 187-).

Орыс техникалық қоғамның, гальванопластиканың ашылуының 50 жылдық мерекесіне арналған материалдарында былай деген: «Осыдан жарты ғасыр бұрын, ғылым мен искусствоның дамуына және таралуына ірі әсерін тигізген, бірлімнің іс жүзінде өте маңызды бір саласы — гальванопластика ашылды. Өнер білім тарихында гальванопластиканың ашылуының маңызы кітап басылуының ашылуымен тең түседі; ал, Россия үшін бұл ашылудың тағы бір құнды жері — бұл Россияда ашылды, оны орыс ғалымы академик Якоби ашты».

Б. С. Якоби электродвигательдің сол кездегі ең тәуір деп танылған конструкциясын ойлап шығарды және «О применении электромагнетизма для приведения в движение машин» деген кітап шығарды. 1838 жылы сентябрьде Нева өзенінде, Якобидің электродвигателімен жүрген, жер жүзінде бірінші кеме жүзді.

Телеграфия облысында да оның еңбектері бар: ол әріп басып шығарып отыратын аппаратты жасады және жер астындағы сымдарды изоляциялау тәсілін тапты.



127-сурет. Электролизбен алюминийді шығарып алу.

лёттер, қанша тәптіштеп күтсе де, бірнеше айдан кейін бүлініп қала берген. Коррозиямен күрес күшті жүргізіледі. Өте-мөте бұл күрестің маңызы біздің Одақта күшті; үйткені кең өріс алып өрлеп келе жатқан социалистік өнеркәсіп толып жатқан металл мүлік-саймандарды керек қылады. Ұлы Отан соғысы кезінде совет ғалымы коррозиямен күресудің эффективті тәсілдерін ойлап шығарды.

100. Газдың электр өткізгіштігі. Газ бен бу кәдімгі жағдайларда электрді нашар өткізеді. Изоляциялаған өткізгішке берілген, зарядтың ұзақ уақытқа дейін сол өткізгіште сақтала алатындығынан электростатикалық тәжрибелер мүмкін бола алады. Осы тәжрибелер кезінде зарядтардың біртелеп жоғала беретіндігі байқалады; бұл жоғалулар көбінесе прибордың астындағы тағандардың, не ілгіштердің изоляциясы жеткілікті болмағандықтан болады.

XVIII ғасырдың аяқ кезінде-ақ электрленген денелердің өзара әсерін зерттеген уақытта Кулон электр заряды бар изоляцияланған өткізгіш, өз зарядын тек тыянақ арқылы ғана емес, тура төңіректегі ауаға шығарып та жоғалтатындығын тапқан. Бұл бақылау жай жағдайдағы ауаның электр өткізгіштік фактысын тағайындайды.

Осы күнде ауаның электр өткізгіштігін арттыратын көп тәсіл-

дер мәлім. Оның ең жабайысы — ауаға, не жалпы алғанда, газға жалын ендіру. Егер зарядталған, бір денеге, мысалы, электроскопқа, шырпы, не горелка жалынын жақындатсақ, заряд лезде жоқ болып кетеді де, электроскоптың жапырақтары түседі.

Бұл жағдайда газда электр өткізгіштік қасиет пайда болуы, жалын ішінде газ молекулаларының екі бөлікке: электронға және оң ионға айрылуынан болады. *Газ молекулаларының электрон мен оң зарядталған ионға бөлінуі газдың иондануы деп аталады.*

Кітаптың кейінгі бөлімдерінде айтылатын басқа құбылыстар да осындай әсер етеді, ол құбылыстар: электрондар мен иондардың соғылысуы (§ 102), катод сәулелері (§ 106); анод сәулелері (§ 107); ультракүлгін сәулелер (§ 208); рентген сәулелері (§ 219); радиоактивті заттардың сәулелері. Иондануды туғызушы осы айтылған бөлшектер мен сәулелердің бәрі де ионизаторлар деп аталады.

Газдың иондануы мен сұйық заттың иондануында айырма бар. Сұйықтың электролиттік диссоциациясы, молекуланың өздерінде зарядтары бар екі бөлікке ыдырап бөлінуі.

Газдың иондануы кезінде, молекуладан қашанда электрон бөлініп кетеді де, молекуланың оң зарядталған бөлігі түрінде ион қалып тұрады.

Бірақ, электрондар мен газ иондары көбінесе бір, не бірнеше нейтрал молекулаларға қосылады; сүйтіп газ ішінде қосылған нейтрал молекулалардың санына қарай, жеңіл яки ауыр иондар пайда болады. Осы жылжымалы газ иондары электр өрісінде қозғалысқа түседі де, газдарда электр тогын туғызады.

Оң зарядталған өткізгіш, қандай болса да бір ионизатор туғызған, теріс иондарды өзіне тартады да, оң иондарды өзінен тебеді. Оң зарядталған өткізгішке тартылған теріс иондар, бұл денеге жетпеген электрондарды береді, оның зарядын кемітеді және өздері нейтралданады. Теріс зарядталған өткізгішті алсақ та осылай болады.

Газдардың ионизация процесімен қосалқыланып әрқашан да қарама-қарсы процесс болады; яғни әр текті зарядталған иондардың өзара тартылу салдарынан, нейтрал молекулалардың қайта құралу процесі болады. Молекулалардың иондардан қайта құралуы газдың молизациясы, не иондардың рекомбинациясы деп аталады. Бір ионизатормен газды иондағанда жылжымалы (динамикалық) тепе-теңдік болуы мүмкін; бұл тепе-теңдікте әрбір уақыт өлшемі ішінде қанша молекула иондарға ыдыраса, сонша молекула қайта құралып тұрады (кеңістік буға қаныққандағы динамикалық тепе-тендікпен салыстырыңдар). Егер ионизатордың әсер етуі тоқталса, онда молизация ионизациядан үстем бола бастайды да, газдың электр өткізгіштігі кемиді. *Газдың өткізгіштігі уақытша құбылыс*[1]). Газ ионизациясы, ертінді иони-

---

1) Кулонның жалын жоқ болғанда да ауаның электр өткізгіштігін бақылай алғанын жоғарыда айтылған басқа ионизаторлардың біреуінің үнемі әсер етіп тұруымен түсіндіруге болады.

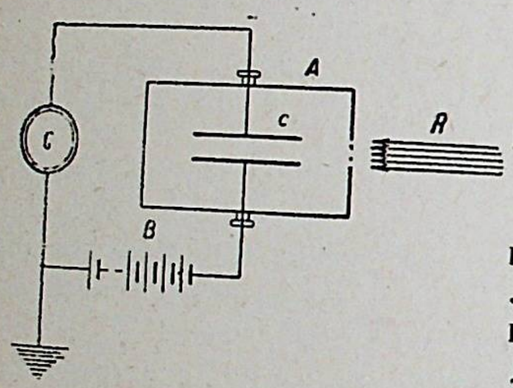
зациясынан осымен айрылады. Ертіндіде диссоцияланған молекулалардың саны өзгермей қала береді.

101. Газдағы ток күші мен потенциалдар айырмасы арасындағы байланыс. Металл өткізгіштерде электрондық өткізгіштік болатындығы мәлім, яғни ток дегеніміз қозғалып жүретін электрондардан құралады; электролиттерде иондық өткізгіштік болады, яғни оларда электр тогы қарама-қарсы екі бағытпен қозғалып түратын иондардан жасалады.

Бірінші текті өткізгіштер үшін де, екінші текті өткізгіштер үшін де өткізгіштегі ток күші мен оның ұштарындағы потенциалдар айырмасы (не өткізгіштегі кернеу) өзара Ом заңымен байланысты.

Бұл заңға газдардағы ток бағына ма?

Газ ішіндегі зерттеу жұмысы ионизация камерасының ішінде істеледі (128-сурет). Бұл камера, ішіне изоляцияланған жазық конденсатор C қойылған, металл A жәшік. Мұның бір пластинкасы жерге жіберіледі, екіншісі B батареясының бір полюсіне қосылады; батареяның екінші полюсі жерге жіберілген болады.



128-сурет. Ионизациялық камера.

Батареядағы элементтердің санын өзгерту арқылы, батарея полюсімен қосылған конденсатордың пластинасына түрлі потенциалдар беруге болады.

Ионизатор жоқ болғанда, тізбекке жалғастырылған сезгіш гальванометр G тізбекте ешбір токты көрсетпейді.

Енді ионизация камерасындағы терезеге қандай болса да бір ионизаторды, мысалы, рентген трубасын жақындаталық.

Әуелі конденсатордың екі пластинкасы да жерге жалғасқан делік. Сонда ионизатор бар болса да, пластиналар арасында, одан әрі тізбекте де ток болмайды. Өріс жоқ болған күнде иондар тәртіпсіз қозғалыста болады.

Енді бір пластинаға азғана оң потенциал берелік. Пайда болған сыртқы өрістің кернеулігі иондарды белгілі бағытпен қозғай бастайды: оң иондар өріс күшінің бағытымен, оң зарядталған пластинадан ноль потенциалды пластинаға қарай қозғала бастайды да, теріс иондар қарама-қарсы бағытпен қозғалады. Күші гальванометрмен өлшенетін ток өнеді.

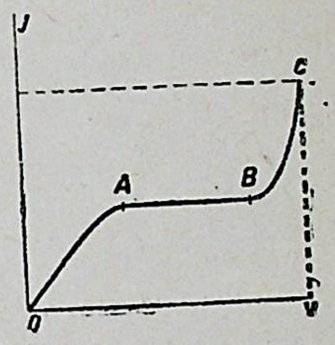
Біртіндеп пластинаның потенциалын арттыралық; сонда біртіндеп токтың күші ұлғая бастайды.

Токтың күшін және пластинкаға берілген кернеуді өлшегенде: кернеу аз болғанда ток күші, потенциалдар айырмасына, не кернеуге пропорционал болатыны аңғырылады. Сүйтіп, *кернеу аз болғанда газдағы ток Ом заңына бағынады.* Бұл жағдайда, иониза-

тор жасайтын иондардың көпшілігі молизацияға ұшырайды; тек қалған бөлігі ғана электр тогын құрап, пластинаға жетеді.

Егер абсциссалар осіне кесінділер түрінде кернеу мәндерін, ординаталар осіне сәйкес ток күштерін салып ток күші мен кернеу арасындағы байланыс графигін жасасақ, онда құбылыстың бұл бөлігі графиктің OA бөлігімен өрнектеледі; бұл сызық координаталар басы арқылы өтетін түзу сызыққа жуық болады (128а-сурет).

Пластиналарға тигізілген потенциалдар айырмасы бұдан әрі үлкейген кезде, өрістің күші де үлкейіп, иондардың жылдамдығын арттырады. Өріс күші айрықша бір шамаға жеткенде, иондардың жылдамдығы сондайлық өскендіктен рекомбинация болмайды [1]).



128а-сурет.

Олай болса бір өлшем уақытта ионизатор жасайтын иондардың бәрі де өрістің күшімен алып кетіліп тұрады; ток күші сол берілгін ионизатор үшін мүмкін боларлық ең үлкен шамаға жетеді. Потенциалдар айырмасының бұдан әрі артуы, ток күшін арттыра алмайды; үйткені, қосымша іске жіберетін резервтік иондар жоқ болады. Осы моменттен бастап, ток күшінің кернеуге байланыстылығы тоқталады.

Күші потенциалдар айырмасына байланысты болмайтын токты қанығу деп атайды.

Қанығу тогына Ом заңы қолданылмайды. Құбылыстың бұл бөлігі графикте, абсциссалар осіне параллель келетін AB түзу сызығымен кескінделеді.

Патенциалдар айырмасын бұдан да әрі арттырғанда, ток күші өте тез өседі. Ток күшінің бұлайша кернеудің өсуімен салыстырғанда пропорционал болмай өсуі, ионизатордан басқа тағы бір себептерден иондардың пайда болғандығын көрсетеді. Бұл жаңа себеп қағысудан не соққыдан иондалу болады.

Құбылыстың бұл соңғы стадиясы графикте BC бөлікпен көрсетілген.

102. Соққымен иондалу. Өріс күші өскен сайын газ иондарының жылдамдығымен бірге олардың кинетикалық энергиясы да өседі. Потенциалдардың айырмасы, қанығу тогына сәйкес шамадан артатындай бір шамаға келгенде, кейбір өте жылдам иондардың кинетикалық энергиясы, нейтрал молекулаға соқтыққанда, оны иондарға (электрон мен оң ионға) бөлшектеп бөліп жіберуге жеткілікті болады.

Потенциалдар айырмасы бұдан әрі өскенде кинетикалық энергиясы кездескен молекулаларды иондарға бөлшектеуге жеткілікті болатын иондардың да саны өседі; сонда бір ион өзінің қозғалысында көп иондар туғыза алатын болады: ион молекулаға бі-

1) Егер ол болса да, оны практикада елемеуге болады.

рінші рет соқтыққаннан кейін үш ион пайда болады; электр әріс күшінің ықпалынан бұл иондардың жылдамдығы көп артылады да; нейтрал молекулаларымен соқтыққанда, оларды бөлшектеп осылайша, үш ион нейтрал молекулалармен әрі қарата соқтыққанда, жаңадан пайда болған иондармен бірге тоғыз ион құрастырады; бұл тоғыз, келесі соқтығуда жаңа иондармен бірге жыйырма жеті ион береді т. с. с. Иондардың саны, ылдыйға қарай домалаған қардың өсуіндей өседі, сондықтан қозғалыстағы иондардың санының осылайша тез өсуін **қаулаған ион** деп атайды.

Сонымен, иондаудың бір тәсілі **соққымен иондау**; бұл, қозғалып жүретін иондардың кинетикалық энергиясы, оларға жолығысқан нейтрал молекулаларды иондарға бөлшектеуге жарайтын шамаға жеткенде болады.

Сонымен, иондалу басталғанда, кернеуге қарағанда ток күші едәуір тез өседі.

Сүйтіп, электродтар арасындағы кеңістіктегі күшті электр өрісінің өзі, электр тогының газ арқылы өтуі үшін керек жағдайды туғыза алады; бұл үшін осы кеңістікте бір ион болса да жеткілікті.

Жеткілікті жоғары потенциалдар айырмасы кезінде ионизатордың әсері тоқталса да, тоқтамай жүре беретін газдағы разрядтік токті, **дербес разряд** деп атайды; ал тек қана ионизатордың әсері кезінде жүретін разрядтік токты **байланысты разряд** деп атайды.

103. Атмосфера қысымында болатын газдардағы разряд. Ауада қашан да болса азын-аулақ иондар болады да, электр өрісі күшті болса, қағысу арқылы иондауды одан әрі өзі де істей береді; сондықтан, потенциалдар айырмасы едәуір үлкен болғанда, тосын ионизатор болмаса да, электродтар арасында разряд болуы мүмкін.

Атмосфера қысымында болатын разрядтың үш түрі мәлім.

1. Баяу разряд. а) Потенциалдар айырмасы белгілі шамаға жеткенде **жарық шығармайтын** (күңгірт) разряд басталады. Мұның, жарық құбылысы болмауы мүмкін, оны өткізгіш потенциалының төмен түсуіне қарап электрометрмен білуге болады. Берілген потенциалдар айырмасында ондай разряд, сүйір үш пен жазықтықтың арасында оңай басталады.

б) **Шашақ разряд.** Оның пайда болу жағдайлары: электродтар арасындағы потенциалдар айырмасының артуы, олардың арасындағы ток күшінің артуы, электродтардың өлшеулерінің аз болуы, олардың арасының едәуір қашық болуы.

Шашақ разрядтың түрі: анод жанында жарқырағаң күлгін шашақ, катод жанында — жарқыраған жұлдызша. Шашақ разряд кішкене ұшқындардан құралады; бұлар өткізгіштен алыстаған сайын тез сөне береді.

Атмосферадағы электр өрісінің кернеуі өте үлкен шамаға жеткенде осы сыяқты жарқыл мачталардың ұштарында, ағаштардың төбесінде және басқа да сүйір ұштарда болып тұрады: бұл жарқылды «Эльма оттары» деп атайды.

Мұндай баяу разрядта ток күші ампердің он мыңдық үлестерімен өлшенеді.

Электродтардың біреуінің сүйір ұшы бар кезде, сүйір жерлері жоқ электродтарға қарағанда, разряд кем потенциалдар да басталады; сонда разрядтық кернеу сүйір үш оң разрядталған кедергіден, теріс зарядталған кезде кемірек болады. Егер үшкір ұш теріс зарядталған болса, онда оған қарай оң иондар ұмтылады: бұлар, сүйір ұшқа қарай жүрген жолында газды иондаудың үстіне, теріс зарядталған сүйір ұштың өзінен электрондарды қағып түсіреді. Егер сүйір үш оң зарядталған болса, онда бұл соңғы уақыйға болмайды; сондықтан, кернеу сондай болып тұрғанда, бұл жағдайда, сүйір ұшта теріс заряд болғандағыдан, электр тогына қатысушы газ иондарының саны кем болады.

в) **Таж разряд.** Электр станцияларынан энергия жіберіліп тұратын жоғары кернеулі сымдарда, көбінесе олардың беті бір тегіс болмай, үшкір ұштары болса, қараңғыда жарқыл байқалады. Бұл жарқыл сымды орай көрінетін болғандықтан **таж** деп аталған. Бұл жағдайда сымдар арасында разряд болып тұрады. Бірақ, екінші сымның болуы шарт емес, оны жерде алмастырады, яғни разряд сым мен жердің аралығында болады. Жоғары кернеу жеткізетін линияларда таж разрядтары шығын көзі болады.

II. Вольт доғасы түріндегі разряд. Электродтардың бір-бірінен қашықтығы кеміп, электродтардың өздері қыза бастаса, онда олардың аралығында вольт доғасы формасында разряд басталады; вольт доғасы тек қана қызған газдардан емес, электродтар жасалған металдардың қызған буынан да құралады. Будың барлығын доғаның спектріндегі сызықтардан білуге болады. Вольт доғасының құралуы мен қолданылуы 64-§ та қаралған.

III. Ұшқын разряд. Екі нүктенің арасындағы кернеу соққы арқылы иондауға жеткілікті болып, бірақ, тұрақты токты сақтап тұруға керекті электр үздіксіз ағып келіп тұрмаса, онда **ұшқын** түрінде қысқа уақыттық разряд пайда болады. Ұшқындық разряд мысалы, индукция катушкасындағы екінші обмотканың ұштарында, конденсатордың разрядник арқылы қосылған астарларының арасында, әр атты зарядталған екі бұлттың арасында яки бұлт пен жердің арасында болып тұрады. Атмосфера электрінің ұшқын разряды **найзағай** деп аталады. Электр ұшқынындағы иондардың жасайтын қысымы бірнеше жүз атмосфераға жетеді; сондықтан, ұшқынмен қалың картонды немесе шыныны тесіп түсіруге болады. Молекулалардың, тез қозғалып бара жатқан электрондармен иондарға соқтыққандағы тітіркенуінен жылу шығады және дыбыс толқыны пайда болады.

Қай газ үшін болса да айрықша бір потенциалдар айырмасы болады, ол айырма бұдан кем болса, онда электродтар арасындағы газдың қабаты қандай жұқа болса да, ол газ арқылы ұшқын өтіп шыға алмайды. Потенциалдар, айырмасының ондай шекті мәндері мыналар: ауада 341 вольт; оттегінде 455 вольт; сутегінде 278 вольт; көмір қышқыл газында 419 вольт.

Ұшқынның ұзындығы электродтар арасындағы потенциалдар айырмасының **жуық** шамалы өлшеуіші бола алады.

Егер электродтар диск формалы болса, онда:

см есебімен ұшқынның ұзындығы	0,02	0,043	0,091	0,215	0,286	0,323
Вольт есебімен потенциалдар айырмасы	1000	2000	4000	8000	10 000	11 000

104. Найзағай. Найзағай — атмосфераның төменгі қабатында бұлт пен жердің, не бұлттардың арасындағы потенциалдарды теңейтін ұшқындық разрядтың орасан ірі формасы.

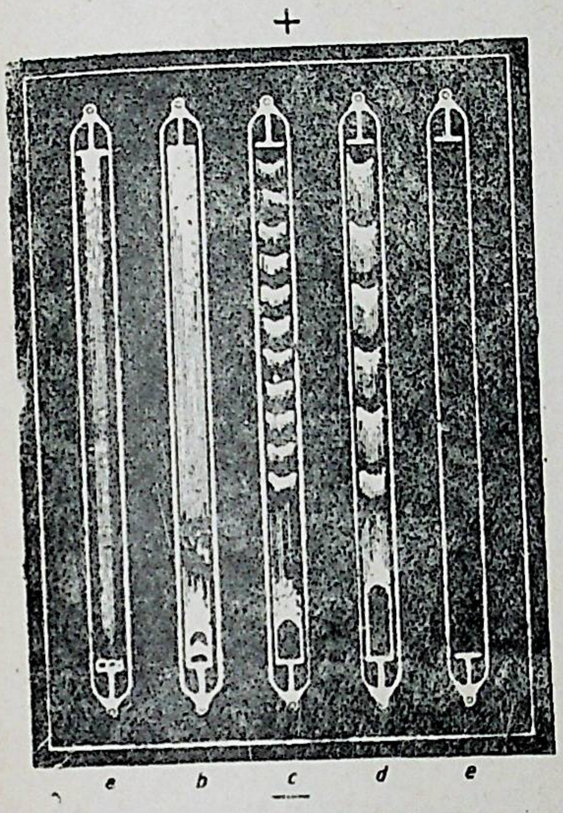
Сызық, не ұшқын найзағай атмосфералық электр өрісінің кернеулігі 30 000 $\frac{вольт}{см}$ ге жеткенде пайда болады. Найзағай өзегінің жуандығы 40 — 50 *см*; өзек әрқашан дерлік тарамдалып келеді. Найзағайдың ұзындығы 10 км дейін барады. Ток күші орта есеппен 20 000 амперге жетеді. Найзағайдың ұзақтығы 0,001—0,2 сек. болғанда, оның ішінен 100 кулоннан артық электр өтпейді.

105. Сиретілген газдардағы разряд. Молекулаларды бұзу үшін жұмсалатын кинетикалық энергияны иондар, тек кернеу өссе ғана алатын болмайды, кернеу өзгермей тұрғанның өзінде молекуладан молекулаға соқтыққанға шейінгі еркін жүгіріс жолының ұзаруы арқасында да ала алады; ұзақ жолда күш ұзақ уақыт әсер етіп тұрады да, жылдамдықтың артуына себеп болады; сондықтан, жолдың аяғына жеткенде алған энергия, кем кернеудің өзінде де, молекулаларды иондарға жіктеуге жеткілікті болады. Газ иондарының жүгіру жолын шыны трубкадағы газды сирету арқылы ұзартуға болады. Сиретілген газдағы разрядты бақылау үшін, ішінен ауасын шығарған трубканың ішіне электродтарды дәнекерлеп, кернеу көзімен қосады (электрофор машинаның өткізгіштерімен, не Румкорф катушкасының екінші обмоткасының ұштарымен, § 134).

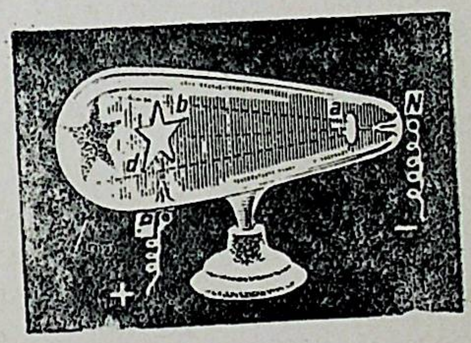
Газды трубкадан сорып шығарған сайын, электродтар арасының қашықтығы бірдей болып тұрғанда, электр разряды өзінің түрін өзгертеді.

Алғашқы көмескі разряд жінішке ұшқын жіп түріне алмасады да, қысым 0,01 атмосфераға тең болған кезде, катод пен анодтағы жарқыл әртүрлі болып, жарқыраған жалпақ бағанаға айналады (129*a*-сурет). Ауаны бұдан әрі сиретқенде анодтағы жарқырау алқызылдау, катодтағы көгілдірлеу болып өзгереді (129*b*-сурет). Бұдан әрі жарқырау қабаттарға бөлінеді (129 *c*, *d*-сурет); молекулаға келіп соқтыққанда ионның жылдамдығы кемиді де, жылдамдық өзінің бұрынғы шамасына қайтадан жүгіріс болған соң ғана жетеді; сондықтан, соқтығудан болатын иониза-ция трубканың тек кейбір жерлерінде ғана болады. Жарқыл, трубканың сол соқтығу арқылы иондалу болатын жерлерінде ғана пайда болады; жарқылдың қабатты болуы осыдан туады. Атмосфера қысымының миллиондық үлесінде, жарқылы мүлдем жоғалып кетеді де, катодтың қарсысындағы шыны жарқылдай бастайды (129 *e*-сурет).

106. Катод сәулелері. Егер, атмосфераның миллиондық үлесіне дейін ауасы сиретілген, крукс[1]) трубкасы деп аталатын трубкада бір фигура формалы, мысалы, жұлдыз формалы (130-сурет) анод жасасақ, анод қарсысындағы шыны түгелінен жарық шығарып тұрмайды, онда әлгі жұлдыз формалы күңгірт бөлік (көленке) пайда болады. Егер трубкаға магнит жақындатса, онда көленке өзінің орнын өзгертеді. Көленкенің орын өзгертуі, трубканың ішінде ток барлығын, яғни электрдің қозғалысын көрсетеді. Магниттің әртүрлі полюстерін жақындатып, көленкенің орнын өзгертуін бақыласақ, онда сол қол ережесі бойынша токтың бағытын анықтауға болады.

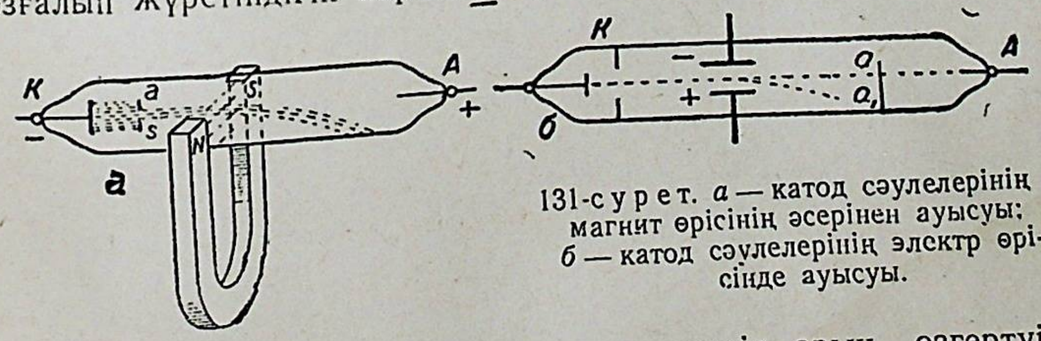


129-сурет. Жарқылдың, газ сиреген сайын алатын түрлері.



130-сурет. Катод сәулелерінің түзу сызықты таралуы.

Тәжрибе, крукс трубкасында теріс электрдің катодтан шыға қозғалып жүретіндігін көрсетеді (131*a*-сурет). Оң, не теріс зарядталған пластинкалардың әсерімен көленкенің орын өзгертуі де, осындай қортындыға келтіреді: ағынды бұлардың біріншісі өзіне



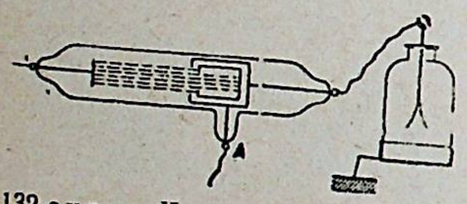
131-сурет. *а* — катод сәулелерінің магнит өрісінің әсерінен ауысуы; *б* — катод сәулелерінің электр өрісінде ауысуы.

[1]) Ағылшынның Крукс деген оқымыстысының атымен аталған. Ол 1880 ж. сиретілген газдағы зарядты зерттеген.

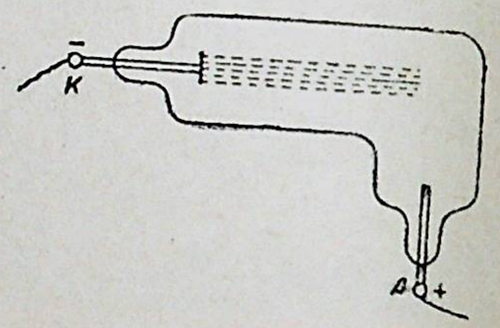
тартады да, екіншісі өзінен тебеді (131*б*-сурет). 1895 ж. Перрен катодтан шығатын бөлшектердің ағынын, трубка ішіне орнатылған, цилиндрге қарай (132-сурет) және трубкаға дәнекерлеген сымға жіберген; сым электроскопқа қосылған. Электроскоп теріс зарядты көрсетті.

Осы тәжрибелердің бәрі мынадай қортындыға келтіреді: крукс трубкасының ішінде *катодтан электрондар ағыны жүріп жатады. Осы еркін электрондардың ағыны катод сәулелері деп аталады.*

Катод сәулелеріне өте көп тәжрибелер мен бақылаулар істелді; осылардың аркасында тағайындалды; катод сәулелері катод бетіне перпендикуляр бағытпен түзу жөнмен тарайды да, олардың бағыты трубка ішіндегі анодтың орнына байланысты болмайды (133-сурет); катод сәулелері электр өрісінде де, магнит өрісінде де ауады; бұл ауууларды өлшеу, зарядтың массаға қатнасын және катод бөлшектерінің жылдамдығын есептеп шығаруға мүмкіндік берді. Әрі қарата есептегенде катод бөлшектерінің әркашан зарядының мәні $e = -4{,}8 \cdot 10^{-10}$ *CGSE* $= -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ кулон, яғни электр зарядтың шамасына тең болатындығы анықталды. Бұл бөлшектердің массасы жуықтап алғанда, сутегі атомының массасынан 1840 есе кем болады да, $9 \cdot 10^{-28}$ *г* ға тең болады екен. Ал, катод бөлшектерінің қозғалысының жылдамдығы, трубкаға тиістірілген кернеу өскен сайын өсіп отырады.



132-сурет. Катод сәулелерді құрайтын теріс бөлшектерді аңғару үшін қолданылатын Перрен установкасының схемасы.



133-сурет. Анодтың қай орында екендігіне қарамастан катод сәулелерінен катодтың бетіне перпендикуляр бағытталуы.

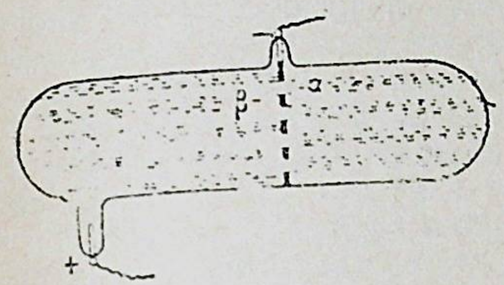
Катод сәулелерінің кинетикалық энергиясы бар; оларды металл бетіне фокустан түсірсе, металды қыздырады да, балқытып та жібере алады; тіпті платинаны да балқытқан. Катод сәулелерінің жолына жеңіл дөңгелек қойып, оның қалақтарына катод сәулелерін түсірсе, дөңгелек қозғалады; бұл, қалақтарға катод сәулелерінің қысым түсіргендігін көрсетеді. Катод сәулелер, оның жолына қойған түрлі заттарға, мысалы, кейбір металдардың көмір қышқылды, күкірт қышқылды, күкірт тұздарына әсер етіп, олардан жарқыл[1]) туғызады. Катод сәулелері газдар арқылы өткенде олардың иондайды да, газдан жарқыл туғызады.

Катод сәулелері фотопластинкаға әсер етеді, сондықтан хи-

[1]) Температура жоғарылауынсыз болатын, осындай жарқылды *люминесценция* деп атайды.

миялық әсер туғыза алады. Ақырында, катод сәулелері, рентген сәулелері деп аталатын ерекше бір түрлі сәулені туғызады.

Сиреген газдар арқылы электрондар өткенде сиреген газдардың жарқыл шығаруы, жаратылыста айбынды ұлы құбылыс полярлық жарқылы түрінде болып тұрады. Полярлық жарқыл атмосфераның сиректелген газдары арқылы электрондардың өтуінен болады, бұлар 100 *км* ден азырақ биіктікте де жиі байқалады.



134-сурет. Анод сәулелері.

Полярлық жарқылдардың жылдық санының барысы, күн дақтарының санындай болады; сондықтан, полярлық жарқылды туғызатын электрондар Күннен шыққан деп ойлауға болады.

107. Анод сәулелері. Егер трубканың ішіне катодты орналастырып, оны (катодты) әр жерден тессек (134-сурет) онда катодтың арғы жағындағы (анодтың екінші жағындағы) кеңістікте де, шынының жарқылын байқауға болады. Катод сәулелері кезіндегідей, жарқыраған шынының бетіне көлеңке түсіруге болады.

Магниттік өріс көлеңкені, катод сәулелері ауатын жаққа қарама-қарсы бағытқа қарай аударады. Бұл тәжрибелер, *крукс трубкасында катод сыртындағы кеңістікте оң зарядталған бөлшектердің ағыны жүріп тұрады* деген қортындыға келтіреді. Крукс трубкасындағы оң зарядталған бөлшектердің ағыны анодтан шығып жүріп тұратын тәрізді; ол бөлшектерді *анод* сәулелері деп атайды.

Анод сәулелері: 1) магнит өрісінде ауады; 2) электр өрісінде ауады (катод сәулесінен көп әлсіз); 3) тұздарда жарқыл туғызады; 4) газдар мен басқа денелерге күшті жұтылады; 5) газдарды иондайды;) 6) 107 *см/сек* жылдамдықпен қозғалады; 7) трубкадағы газдың иондарынан құралады (және біраз электродтың бөлшектерінен де құралады).

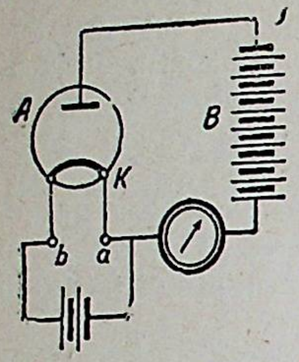
108. Термоэлектрондық ток. Трубканың ішінен ауасын шығарып, крукс трубкасындағы сыяқты электр кернеуі онша үлкен болмаса да, трубканың ішінде электрондар ағынын туғызуға болады.

Металдарда еркін электрондардың болатындығын еске түсіру керек (§ 8). Металдардағы еркін электрондар әруақыт қозғалыста болады; бірақ, бұл қозғалыстар тәртіпсіз. Еркін электрондардың қозғалу жылдамдықтары, дене молекулаларынікі сыяқты, температура көтерілген сайын арта береді. Жылдамдықтары едәуір үлкен шамаға жеткен электрондар, қызу температураны да денеден ұшып шығып кетуі мүмкін. *Қызған өткізгіштен ұшып шығатын электрондар термоэлектрондар деп аталады.*

Егер іші бос[1]) трубканы, ЭҚК аз болып келетін *В* батареяның

[1]) Ішіндегі ауасы көп сиретілген трубка.

(135-сурет) тізбегіне қосса, онда катод суық болып тұрғанда, ондай тізбекте ешбір ток болмайды, өйткені *К* катод пен *А* анодтың арасындағы сирек газ өткізгіш болмайды.



135-сурет. Екі электродты электрондық лампаның схемасы.

Бірақ, катод К кішкене қосымша батареядан келетін ток пен қызған сайын, одан электрондар ағыны күшейіп ұша бастайды. Осы катодтан шығатын электрондарды оң зарядталған анод өзіне тартып алып тұрады; сүйтіп трубка ішінде катодтан анодқа қарай жүрген тұрақты термоэлектрондық ток туады; бұл ток, анодтан катодқа жүретін токтың техникалық бағытына сәйкес келеді. Катод қызғанда ішінде ток пайда болатын іші бос трубка электрондық немесе катодтық лампа деп аталады.

Лампаның А электродын В батареяның теріс полюсімен, К электродын оң полюсімен қоссақ, онда қыздырылатын *К* электроды атып шығарып тұратын термоэлектрондар *А* электродына қарай ұмтыла жөнелмейді; үйткені, онда енді теріс заряд бар, бұл электрондарды өзінен теуіп тұрады. Бұл жағдайда лампа арқылы өтетін ток болмайды.

Егер *А* мен *К* электродтарын айнымалы токтың көзімен қосса, онда лампа арқылы ток, тек *А* анод болып, *К* катод болғанда ғана өтеді. Лампаның, айнымалы токтың түзеткіші есебінде қолданылуы осыған негізделген (§ 151).

Егер труба кернеу көзімен қосылмаса, бұл кезде де қызған катодтан электрондар ұшып шығады, бірақ енді электрондар қайтадан катодқа тартылып түсіп, олардың орнына басқалар ұшып шығып жатады; қызған металдың үстінде «электрон бұлты» деп аталатын жасалады. Бұл «кеңістік заряд» болады.

Қызған металдың бетінде электрон бұлтының пайда болуы, сұйықтың буланууына ұқсас құбылыс. Металдың температурасы жоғары болған сайын, қызған металдың бетін тастап кететін электрондардың саны да көп болады.

Электрондық лампаның басқа маңызды қолданылатын жері радиотехникада болады; бұл жағдайда оның құрылысы күрделірек болып келеді (§ 152).

Әдебиет. 1. Радовский М. И., Гальвани и Вольта. К 150-летию открытия электрического тока. 2. Сулима Л., Самодельные элементы. Массовая радиобиблиотека. 3. Постников, Гальванические элементы. 4. Изгарышев, Гальванопластика и гальваностегия. 5. Гюнтер и Кренке, Катодная лампа.

ОҚУШЫЛАРДЫҢ БІЛІМІН ТЕКСЕРУГЕ АРНАЛҒАН СҰРАУЛАР

1. Электролиттік ванна, анод, катод деп нені айтады?
2. Электролит деп нені айтады? Қандай заттар электролит болады?
3. Электролит жасалғанда ертінді ішіндегі заттың молекуласы қандай өзгеріске түседі?

4. Ионд, анион, катион дегендер не?
5. Токтың электролиттер арқылы өту процесі қандай болады?
6. Электролиз деген не?
7. Электролиздегі екінші реттік реакциялар қандай болады? Олардың мысалдарын келтіріңдер.
8. Дистилляцияланған су өткізгіш бола ала ма? Бұл судың электролиз болуы мүмкін бе?
9. Нені нәтижесінде судың электролизденуі мүмкін?
10. Химиялық эквивалент деп, валенттік деп нелерді айтады? Атомдық салмақ және валенттік арқылы химиялық эквивалент қалай өрнектеледі?
11. Заттың грамм-эквиваленті деген не?
12. Электрохимиялық эквивалент деп нені айтады?
13. Фарадейдің электролиз үшін арналған заңдары қандай?
14. Фарадейдің элктролиз үшін арналған заңдарының формуласын жазыңдар.
15. Заттың грамм-эквивалентіне электролиз жасауда қанша кулон кететін болады?
16. Заттың грамм-эквивалентінде қанша атом бар?
17. Электрон деген не? Ол туралы түсінік қай құбылыстарға негізделген?
18. Әртүрлі иондардың өздерімен қанша электрон алып жүретіндерін мысалдармен көрсетіңдер.
19. Элементтердің поляризациясы қалай болады?
20. Деполяризация деген не? Оны Даниэль элементінде түсіндіріңдер.
21. Электродтардың поляризациялануы қалай болады?
22. Электродтар қандай жағдайларда поляризацияланбайды?
23. Поляризацияның ЭҚК деп нені айтады?
24. Электролиз болуы үшін электродтардағы кернеу қандай шек мәннен жоғары болуы керек?
25. Поляризацияның ЭҚК мен қандай мақсаттар үшін пайдалануға болады?
26. Поляризацияның ЭҚК пайдаланылатын приборлар не деп аталады?
27. Қышқылды аккумуляторлардың құрылысы қандай, олар қалай зарядталады және қалай істейді.
28. Сілтілі аккумулятордың құрылысын сыйпаттап беріңдер.
29. Аккумулятордың сыйымдылығы қандай өлшемдермен көрсетіледі?
30. Ампер-сағат деп нені айтады?
31. Аккумулятордың пайдалы әсер коэфициенті қалай есептеледі?
32. Аккумулятор батареясы деп нені айтады?
33. Аккумулятордың батареяға тізбектеле қосылуы деп нені айтады?
34. Аккумуляторлар батареясының ЭҚК мен ішкі кедергісі неге тең?
35. Тізбектегі аккумуляторлар батареясынан шыққан токтың күшін қалай есептеуге болады?
36. Аккумуляторлар қай орындарда қолданылады?
37. Газдардың иондануы қалай болады?
38. Газдарды иондаудың қандай тәсілдері бар?
39. Газ арқылы электр қалай жүріп өтеді?
40. Газдағы қанығу тогы деген не? Ол не себептен болады?
41. Газда болатын разрядтың барлық түрлері мен олардың қандай жағдайларда болатынын айтып беріңдер.
42. Газдағы разрядтың түрі оның сиретілуі дәрежесіне қалай байланысты болады?
43. Катод сәулесінің жаратылысы мен қасиеті қандай?
44. Анод сәулелерінің жаратылысы мен қасиетін көрсетіңдер.
45. Термоэлектрондық ток деген не? Электрондық лампа деп нені айтады? Оның қасиеттері қандай? Ток қалай түзетіледі?

V. ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ИНДУКЦИЯ

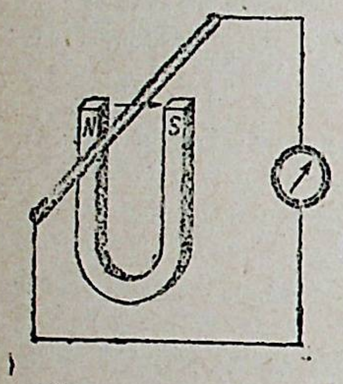
109. Индукция ЭҚК-нің шығу шарты мен шамасы. Ілгеріде электр тогы өз айналасында магнит өрісін жасайтынын анықтағанбыз. Енді, магнит өрісінің жәрдемімен ток қоздыруға болмас па, деген сұрауды қою табиғи нәрсе. Бұл пікір алғаш Фарадей де туған; қойылған сұрауға жауапты ол 1831 ж. берді.

Дұрысында былай екен: өткізгіш, магнит өрісінде тиісті түрде орын ауыстырған кездерде, тұйықталған өткізгіште электр тогы шығады.

Тұйықталған өткізгіш магнит өрісінде қозғалғанда қоздырылатын осы токтарды индукция токтары деп атайды.

Өткізгіште индукцияның ЭҚК қоздырылуын электромагниттік индукция деп атайды.

Енді индукцияның пайда болуы мен индукцияның ЭҚК қандай жағдайларға байланысты екендігін тексерелік.



136-сурет. Электромагнит индукциясын табуға тәжрибе жасау установкасының схемасы.

Магнит өрісінің көзі есебінде таға тәрізді магнитті алайық (136-сурет). Токтың бар, жоғын айырғыш прибор есебінде, сезгіш гальванометр алайық. Алдымен, токтың белгілі көзімен тәжрибе жасап тізбектегі токтың қандай бағытына гальванометр көрсеткішінің қай жаққа қарай ауатындығы сәйкес келеді, соны анықтап алу керек.

1-тәжрибе. Магнитті, оның күш сызықтары солдан оңға қарай кететіндей етіп қоялық. Тізбектің түзу сызықты учаскесін бөліп алып, магниттің күш сызықтарына перпедикуляр етіп қоялық; сонсоң өткізгіш, күш сызықтарды тік бұрыш жасап қиятындай етіп, оны магнит тармақтарының арасымен төмен түсірейік.

Гальванометр, қозғалу уақытының ұзақтығындай уақытқа ғана созылатын ауысуды көрсетеді. Бұл ауысу индукциялық токтің күшін анықтайды және соған қарап ЭҚК шамасын анықтауға болады.

Осы ауысудың бағытына қарап, индукциялық токтың бағытын білуге болады.

Өткізгішті, магнит полюстерінің арасына қозғамай тыйыш қояйық, гальванометр ешқандай ауууды көрсетпейді.

Қортынды: *өткізгіште индукцияның ЭҚК өткізгішті магнит өрісінде орын ауыстырған кезде өнеді. Өткізгіш пен магнит өрісінің салыстырмалы орындары өзгермей тұрғанда, индукция да жоқ болады.*

2-тәжрибе. Енді өткізгішті магниттің ұштарының арасындағы кеңістіктен шығарып әкетейік. Прибор, өткізгіш қозғалып ауысқан кезде болып тұратын, алдыңғы тәжрибедегі токқа қарама-қарсы бағытталған индукциялық токты көрсетеді.

3-тәжрибе. Күш сызықтары оңнан солға қарай жүргендей

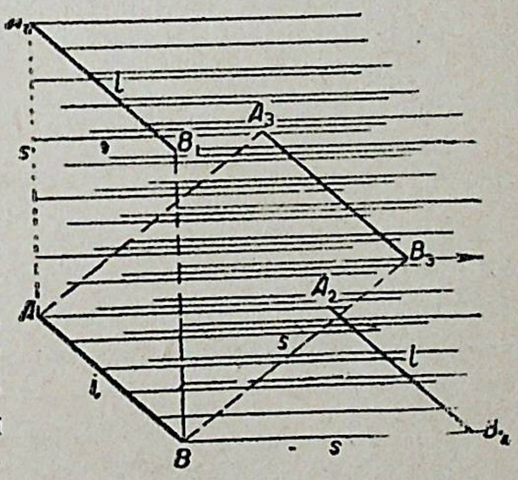
етіп, магнитті аударып қояйық. Өткізгішті қайта түсергенде, пайда болған индукция тогының бағыты, 2-тәжрибедегі өткізгішті шығарып алғандағы токтың бағытымен бірдей болады.

4-тәжрибе. Өткізгішті шығарып алсақ, өткізгіште өнген токтың бағыты бірінші тәжрибедегідей болады.

Бұл тәжрибелерден шығатын қортынды: өткізгіш магнит өрісінің сызықтарын қыйып өткенде, өткізгіште индукцияның ЭҚК индукцияланады; мұның бағыты магнит күш сызықтарының бағытымен өткізгіштің қозғау бағытына байланысты болады.

5-тәжрибе. Индукцияның ЭҚК-і, өткізгіштің қозғалу бағытының күш сызықтарды қыйып өтетін бұрышына байланысты бола ма? Бірінші тәжрибедегі құралдарды алып, бірдей жылдамдықпен өткізгішті күш сызықтарына көсе көлденең (*AB* ден A_1B_1 ге қарай), оларға көлбеу бағытпен (*AB* деп A_3B_3 ке қарай) және олардың ұзын бойымен (*AB* ден A_2B_2 ге қарай), жүргізелік (137-сурет). Бұл жағдайлардың біріншісінде индукцияның ЭҚК ең үлкен шамада болады да, соңғысында индукция болмайды.

Теория мен тәжрибе *индукцияның ЭҚК-і өткізгіштің орын ауыстыру бағыты мен магнит күш сызықтарының бағыты жасайтын бұрыштың синусына тура пропорционал болатындығын көрсетеді* (бірінші жағдайда ол бұрыш 90°, $\sin 90° = 1$, соңғы жағдайда ол 0°, $\sin 0° = 0$; аралық жағдайларда: $0 < \sin a < 1$).



137-сурет.

6-тәжрибе. Индукцияның ЭҚК-нің шамасы өткізгіштің қозғалу жылдамдығына байланысты бола ма?

Бірінші тәжрибедегі құралдарды алып, бір өткізгіштің өзін әртүрлі жылдамдықпен, не төмен түсіреді, не көтереді. Тәжрибе, жылдамдықтың артуына сәйкес прибордың көрсеткіші көбірек ауысатынын, яғни индукцияның ЭҚК-і артатынын көрсетеді.

Теория мен тәжрибе, *индукция ЭҚК-і, күш сызықтарына қарағандағы өткізгіштің орын ауыстыруының салыстырма жылдамдығына тура пропорционал болатындығын көрсетеді.*

7-тәжрибе. Индукцияның ЭҚК магнит өрісінің кернеулігіне байланысты ма? Күштері әртүрлі таға тәрізді екі магнитті алайық. Бұлардың айырмасын, олардың әркайсысының бірдей қашықтан магнит стрелкасын түрліше бұруына немесе көтеруші күшінен байқауға болады. Бір өткізгіштің өзімен, бірдей жылдамдықпен және бір бағытпен әр магниттің күш сызықтарын кесіп өтіп қарасақ, өріс күштірек болғанда индукцияның ЭҚК-нің артық болатындығын көреміз.

Теория мен тәжрибе *индукцияның ЭҚК-і, магнит өрісінің Н кернеулігіне тура пропорционал екендігін тағайындайды.*

8-тәжрибе. Индукцияны ЭҚК-і, магнит күш сызықтарын өткізгіштің қыйып өтетін жерінің ұзындығына байланысты ма?

Жылжымалы өткізгішті бір рет, оның түзу учаскесі таға тәрізді магниттің бүкіл еніне, екінші рет — сол еннің жарымына тең болғандай етіп иеміз. Екі жағдайдың екеуінде де, дәл бірдей қозғалыстар жасап, екінші жағдайдағыға қарағанда, бірінші жағдайда индукцияның ЭҚК-нің екі есе артық болатындығын көреміз.

Теория мен тәжрибе *индукцияның ЭҚК-і өрісте қозғалып тұратын өткізгіштің l ұзындығына тура пропорционал болатындығын анықтайды.*

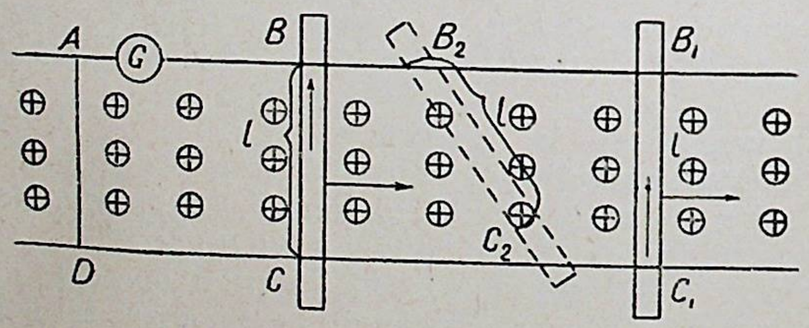
9-тәжрибе. Ақырында, егер бір сымды орамдарының саны әртүрлі, қыймасы тік төрт бұрышты спираль түрінде иіп, әр рет бірдей қозғалыс жасатсақ, онда орам саны артқан сайын ЭҚК өсетінін байқаймыз.

Мұның мәнісі қозғалу кезінде әр орамда қозатын индукцияның ЭҚК-і тізбектеле қосылады.

Барлық жеке қортындыларды бірге қосып, жалпы қортынды шығарамыз:

Өткізгіштің кесіндісі магнит өрісінде қозғалғанда қозатын индукцияның ЭҚК-і магнит өрісінің кернеулігіне, өткізгіш кесіндісінің ұзындығына, оның орын ауыстыруының жылдамдығына және қозғалу бағыты мен магнит күш сызықтары құрайтын бұрыштың синусына тура пропорционал болады.

Бұл ережені индукцияның ЭҚК-нің шамасы бір өлшем уақыт ішінде қыйылатын магнит өрісінің күш сызықтарының санына байланысты болатындықтан жоғарғы ережені басқа ережемен ауыстыруға болады.



137а-сурет.

Мысалы, бір текті магнит өрісінде бір учаскесі қозғалатын тізбек тұр деп ойлайық (137а-сурет). Тізбектің бұл учаскесі BC орыннан B_1C_1 орынға көшкенде, индукцияның ЭҚК туатындығын білеміз, оның шамасы жоғарыда келтірген ережемен табылады. Өткізгіш магнит өрісінде қозғалғанда, күш сызықтарын кесіп өтетіндігін чертёжден көреміз. Белгілі уақыт ішінде қыйылатын

сызық саны, өткізгіш қозғалысының жылдамдығына, өріс кернеулігіне (күш сызықтарының қоюлығы), өткізгіштің ұзындығына және орын ауыстырылатын бағытқа байланысты екенін абайлау оңай.

Өткізгіш магнит өрісінің бағытына перпендикуляр жөнмен қозғалғанда, оның кесіп өтетін күш сызықтарының саны бәрінен де көп болады; егер өткізгіш берілген өрісте сол жылдамдығымен, бірақ басқа бағытпен қозғалатын болса, онда ол сол уақыттың ішінде азырақ санды күш сызықтарды қыйып өтеді. Егер өткізгіш күш сызықтардың бойымен қозғалатын болса, онда ол оларды қыйып өтпейтіндігі түсінікті. Бұл жағдайда өткізгіште ешқандай индукцияның ЭҚК-і өнбейді. Біз енді жаңа ереже айта аламыз: *Индукцияның ЭҚК-і өткізгіштің бір секундте кесіп өтетін магнит күш сызықтарының санына тура пропорционал болады.*

Ақырында, өткізгіш контурымен шектелген ауданнан өтетін күш сызықтардың саны (күш ағыны), өткізгіш орын ауыстырған кезде өзгеретіні чертёжден көрініп тұр.

Өткізгіштің қозғалмалы бөлігі BC орында болғанда, $ABCD$ контурымен шектелген ауданнан Φ_1 санды магнит күш сызықтары өтеді, AB_1C_1D контурымен шектелген ауданнан, басқа Φ_2 санды күш сызықтары өтеді.

Ендеше, уақыт өлшемінде $\frac{\Phi_2-\Phi_1}{t}=\frac{\Phi}{t}$ дей күш сызықтары өзгереді. Бұл санның өткізгіш ұзындығы, өріс кернеулігі, қозғалу жылдамдығы өскен сайын өсетіндігі чертёжден көрінеді.

Сондықтан, электромагнит индукциясының заңын былайша да өрнектеп айтуға болады:

Индукцияның ЭҚК-і өткізгіш шектеп тұратын аудан арқылы өтетін күш сызықтар санының өзгеру жылдамдығына тура пропорционал.

Электромагниттік индукция заңының бұл өрнектелуі жалпы түрде берілген; үйткені, тәжрибелердің көрсетуіне қарағанда, өткізгіш шектейтін аудан арқылы өтетін күш сызықтардың саны, қандай себептен өзгерсе де бәрі бір, әйтеуір өзгерсе-ақ болғаны, индукцияның ЭҚК-і пайда болады екен.

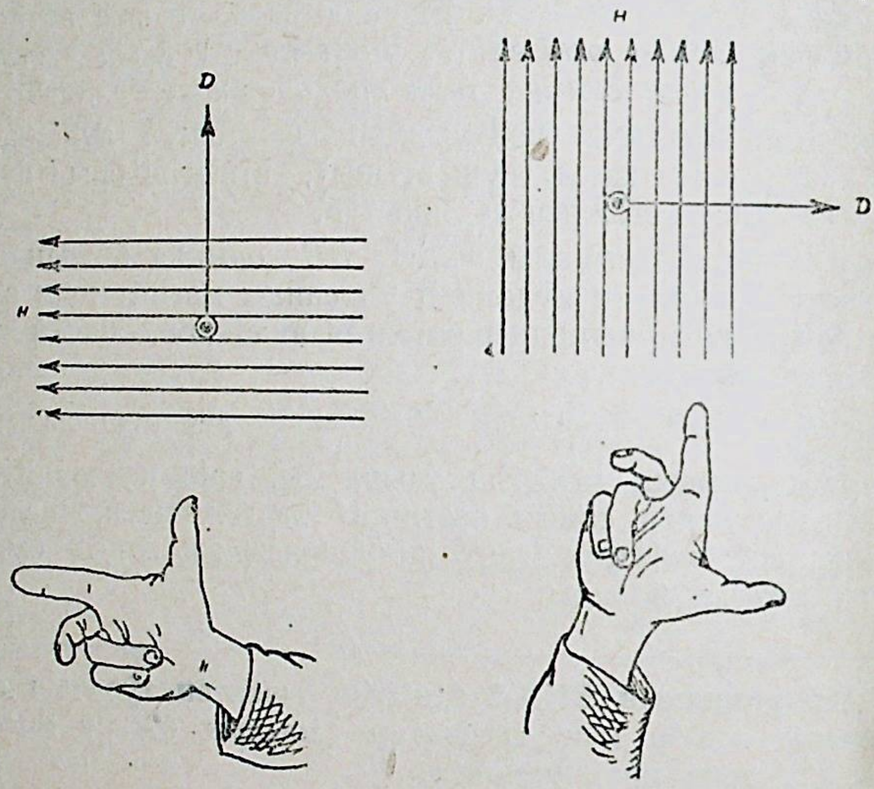
Егер, мысалы, катушка ішінде 100 000 күш сызығы бар өріс туғызса, өріс туған кезде катушкада индукцияның ЭҚК болып тұрады және онда индукцияның ЭҚК-і бұл өріс 1 секундте, не $\frac{1}{2}$ секундте, не 0,1 секундте жасалды ма, соған қарай әртүрлі болады.

109а. Токты токпен индукциялау. Магнит орнына тұйық катушқаға, ток ағып өтіп тұратын екінші тізбекті жақындатуға болады. Бұл жағдайда да электромагниттік индукция құбылысы болады, үйткені, ток қашан болса да өзінің айналасында магнит өрісін

жасайды. Индукциялаушы тогы бар өткізгішті электромагнит деп қарастыруға болады.

Индукцияланатын токтың бағытын анықтайтын ереже, өзіміз-ге белгілі магнит индукциясы кезіндегідей болады; мұны 139а-суретті талдап қарап қорытуға болады.

Токпен токты индукциялаудың тағы бір тәсілі былай: бір қозғалмай тұрған өткізгіштің қасында тогы бар екінші бір өткізгіш қозғалмай тұрсын дейік; осы екінші өткізгіштегі токтың күшін өзгерткенде біріншіде ток индукцияланады. Индукциялайтын өткізгіштегі токтың күші өзгергенде оның айналасында, ендеше, көрші тұрған өткізгіштің айналасында да магнит өрісі өзгереді. Тұйық өткізгішпен шектелген ауданды қыйып өтетін магнит күш сызықтарының саны, қалай өзгерсе олай өзгерсін, әйтеуір, өзгерсе-ақ болғаны, индукцияның ЭҚК-ін туғызады. Индукцияның бұл тәсілінде электр энергиясы бір тізбектен екінші тізбекке магнит өрісі арқылы көшеді.



138-сурет. Флемминтің оң қол ережесі.

110. Индукциялық токтың бағыты үшін Флемминг ережесі. 138-сурет үш бағыттың өзара орналасуын көрсетеді, бұлар: магнит өрісінің күш сызықтарының бағыты H, магнит өрісінде өткізгіштің қозғалу бағыты D және өткізгіш магнит өрісінде қозғалғанда пайда болатын индукцияның ЭҚК-нің бағыты I.

Төрт жағдайдың төртеуінде де, суретте көрсетілген бағыттар 109-§ та жазылған тәжрибеге сүйеніп анықталған.

Индукцияның ЭҚК-нің, яғни өткізгіштегі индукция тогының бағытын, берілген басқа екі бағыт бойынша анықтау үшін, Флемминг оң қол ережесі деп аталатын практикалық ереже берді.

Флемминг ережесі былайша: *оң қолдың бас бармағы мен сұқ бармағын тік бұрыш жасайтын қылып жазып ұстау керек; ортан бармақты бұл екеуіне перпендикуляр етіп қою керек; сонсоң сұқ бармақты күш сызықтардың бет алысына бағыттап бармақты өткізгіштің қозғалысы жағына бағыттау керек; сонда ортан бармақтың бағыты индукцияның ЭҚК-нің бағытын көрсетеді.*

111. *Лабораториялық жұмыс № 4.* Токтардың индукция заңдарын шығару.

Приборлар: 1) таға тәрізді (не түзу) күшті магнит; 2) гальванометр; 3) өзексіз катушка; 4) жұмсақ темірден істелген стерженьге оралған катушка; мұның сыртқы диаметрі алдыңғы катушканың тесігінің диаметрінен кішірек; 5) 1—2 аккумулятор; 6) кілт (рубильник); 7) өткізгіш сымдар; 8) реостат.

1-тапсырма. Токтың индукциясын магнитпен бақылаңдар.

Жұмыс тәртібі. 1. Үлкен катушкадан, өткізгіш сымдардан және гальванометрден тізбек тізіңдер.

2. N полюсін төмен қаратып, магнитті катушканың ішіне түсіріңдер де, гальванометрдің көрсетулерін бақылаңдар.

3. Магнитті катушкадан шығарып алыңдар да, гальванометрдің көрсетулерін бақылаңдар.

4. S полюсін төмен қаратып магнитті аударыңдар да, 2—3-тәжрибелерді қайтадан істеңдер.

5. Осы сайлап алған құралдардың схемалық чертёждерін жасап, ол чертёждерде магниттің полюстерін, магниттің қозғалу бағытын және индукция тогының бағытын көрсетіңдер. Индукция тогының бағытын, магниттің индукциялайтын ұшындағы амперлік токтың (§ 84) бағытымен салыстырыңдар (катушканың орамдарын сызғанда орамдардың алдыңғы бөліктерін жуан сызықтармен, артқы бөліктерін жіңішке сызықтармен сызу керек).

6. Магнит катушканың ішінде болғанмен қозғалмай тұрса, ток индукцияланама?

7. Катушка мен оның ішіндегі магнитті олардың салыстырмалы орналасуын өзгертпей бірге қозғалтса, ток индукцияланама?

8. Магнитті қозғалтпай ұстап тұрып, катушканы не ана, не мына полюсіне кигізіп, не одан суырып алсақ, ток индукцияланама? Бұл жағдайдағы индукция тогының бағытымен 2—4 тәжрибелердегі бағыттарды салыстырыңдар.

9. Магниттің N полюсін түсіргендегі бағыт қандай? Катушканың магнитті енгізетін ұшында соленоидтың қай полюсі пайда болады. Магниттің түсірілетін полюсі мен соленоидта өнетін полюстің арасындағы өзара әрекет қандай?

10. N полюсті шығарып аларда ше?

11. S полюсті түсірерде ше?

12. S полюсті шығарып аларда ше?

13. Магниттің қозғалып тұратын полюстері мен катушкадағы индукциялық токтың арасындағы өзара әсер турасында жалпы қортынды қандай?

14. Магнит пен өткізгіштің қандай қозғалыстары индукциялық токты туғызады?

15. Магнитті әртүрлі жылдамдықпен бірнеше рет енгізіп және қайта шығарып алып, 2, 3, 4-тәжрибелердің біреуін қайтадан істеңдер.

Магниттің қозғалу жылдамдығы индукцияның ЭҚК-нің шамасына қандай әсер етеді? Магниттің қозғалу жылдамдығы, катушка қыйып өтетін күш сызықтары санының өзгеруіне қандай әсер етеді? ЭҚК мен контур қыйып өтетін күш сызықтардың санының арасында қандай байланыс бар?

2-тапсырма. Токтың токпен индукциялануын бақылау.

Жұмыс тәртібі. 1. Аккумулятор, рубильник, темір стерженьді катушкадан бір тізбек, гальванометр мен үлкен катушкадан екінші тізбек тізіңдер.

2. Бірінші катушкадағы токты тұйықтап, мұны екіншісінің ішіне енгізіңдер

де, бұл моментте гальванометрдің көрсетулерін бақылап, индукция тогының бағытын белгілеп алыңдар.

3. Катушканы шығарып алып, гальванометрдің көрсетулерін бақылап, индукциялық токтың бағытын белгілеп алыңдар.

4. Бірінші катушкадағы токтың бағытын керісінше өзгертіңдер де 2—3-бақылауларды қайтадан істеңдер.

5. Алдыңғы төрт установканың схема түріндегі чертёждерін істеңдер де, бірінші катушкадағы индукциялайтын токтың бағытымен екінші катушкадағы индукция тогының бағытын салыңдар.

Катушкаларды жақындатқандағы индукциялайтын токқа қарағанда, индукция тогы қай бағытта болады? Оларды алыстатқанда — қай бағытта? Катушкаларды жақындатқанда олардың жақын ұштарында қандай полюстер болады? Алыстатқанда қандай? Индукциялайтын ток пен индукция тогының, катушкаларды жақындатқанда өзара қандай әрекеті болады? Алыстатқанда қандай?

6. Ішкі катушкадағы токты тұйықтаңдар да, оны сыртқы катушканың ішіне енгізіңдер. Бір катушка екінші катушканың ішінде тыйыштықта тұрса ішінде ток индукциалана ма? Салыстырмалы орындарын өзгертпестен екі катушканы қозғалтыңдар. Ток индукциялана ма?

7. Ішкі катушкадағы токты тұйықтап, оны әртүрлі жылдамдықпен сыртқы катушкаға енгізіп және шығарып алып тұрыңдар. Катушкалардың салыстырма қозғалыстарының жылдамдығы индукцияның ЭҚҚ шамасына әсер ете ме? Ол әсер қандай болады?

8. Бірінші катушкадағы токты тұйықтамай ішкі катушканы сыртқы катушканың ішіне енгізіңдер.

9. Бірінші катушкадағы токты 2-тәжрибедегі бағытпен тұйықтаңдар. Сонда гальванометрдің көрсетуі қандай болады?

10. Бірінші катушкадағы токты айырыңдар. Сонда гальванометрдің көрсетуі қандай болады?

11. Катушканы шығарып алмай тұрып, бірінші катушкадағы токты 4-тәжрибедегідей ауыстырып қосыңдар да, токты тұйықтаңдар, сонда гальванометрдің көрсетуі қандай болады?

12. Токты айырыңдар. Гальванометрдің көрсетуі қандай?

13. Индукциялайтын токты тұйықтағанда, индукциялайтын токқа қарағанда индукция тогының бағыты қандай болады (9, 11-тәжрибелер)? Оны айырғанда қандай болады (10, 12-тәжрибелер)? Токтың 9, 11-тәжрибелердегі бағыты алдыңғы тәжрибелердің қайсыларына сәйкес келеді? 10, 12-тәжрибедегі қайсыларына сәйкес келеді?

14. Кіші катушканың тізбегіне реостатты қосып, ол катушканы екіншінің ішіне енгізіңдер; сонсоң бірінші катушкадағы токты 2-тәжрибедегідей етіп тұйықтап, жылжымалы контактты тез қозғап, кедергінің бір бөлігін ағытып жіберіңдер; сүйтіп индукциялайтын токтың күшін арттырыңдар. Гальванометрдің көрсетуі қандай болады?

15. Жылжымалы контактты әлгідей тез қозғалтып жүргізіп кедергіні кәбейтіңдер де, индукциялайтын токтың күшін кемітіңдер. Сонда гальванометрдің көрсетуі қандай болады?

16. Индукциялайтын токты күшейткенде, индукциялайтын токқа қарағанда. индукция тогының бағыты қандай болады? Оны кеміткенде қандай болады? Индукция тогының индукциялайтын токты күшейткендегі бағыты алдыңғы тәжрибелердің қайсыларына сәйкес келеді? Кеміткендегісі қайсыларына сәйкес келеді?

17. Индукция тогының бағыты индукциялайтын токтың бағытымен бірдей болатын жағдайларды және қарама-қарсы болатын жағдайларды атап беріңдер.

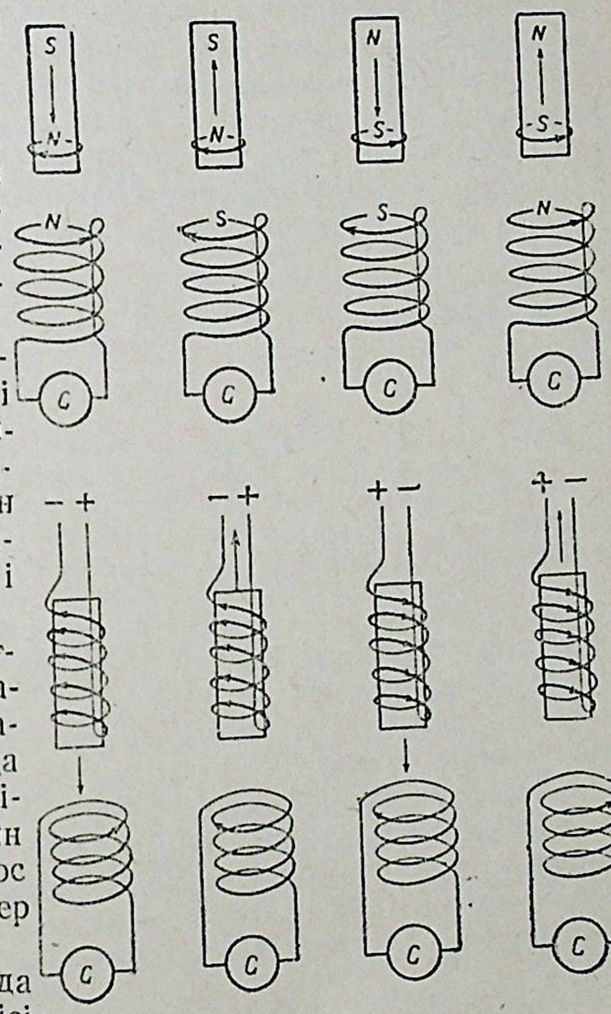
18 Индукциялайтын токқа қарама-қарсы бағытты ток индукцияланатын жағдайларда, индукцияланатын өткізгіштің ішінде күш сызықтарының саны қалай өзгереді? Бағыт индукциялайтын токтікімен бірдей болған жағдайда ше? Индукциялық токтың бағыты мен өткізгішінің контур ішіндегі күш сызықтарының санының өзгеруінің арасында қандай байланыс бар екен?

19. Тұйықтау мен күшейту және айыру мен кеміту жағдайларында индукция тогы мен индукциялайтын токтың арасында қандай өзара әрекет болады?

20. Индукцияның тогы қандай энергияның есесіне пайда болады?

112. Электромагнит индукциясы үшін Ленц ережесі. Тұйық магнит өрісіндегі тұйық өткізгіш, ол өткізгіш қоршап тұрған күш сызықтардың саны өзгеретіндей болып, қозғалатын болса, ол өткізгіште индукция тогы өнеді. Бұл токқа да, басқа токқа әсер еткендей магнит өрісі әсер ету керек (§ 82 қараңдар).

Магнит өрісінің бұл әсері, индукция тогын туғызатын өткізгіш қозғалысының бағытына қалай байланысты? Бұл мәселені жеке мысалдар алып қарастырайық. 139-сурет, катушкаға магнитті енгізіп не суырып алғанда, катушкадағы индукциялық токтың бағытын көрсетеді.



139а-сурет.

Индукция тогы ағып тұрған катушканың қай ұшы қай полюске сәйкес келетінін, индукциялық токтың бағытына қарап абайлауға болады.

Бірінші мен үшінші жағдайлардан көреміз: магнитті катушкаға жақындатқанда, оның магнитке жақын басында, жақындатқан полюспен аттас полюс өнеді. Мұндай полюстердің тебілетінін мәлім.

Екінші мен төртінші жағдайларда: магнитті қашықтатқанда, катушканың магнитке жақын басында индукциялық ток, магнит өрісін жасайтын магниттің жақын полюсімен әр аттас полюс жасайды. Әр аттас полюстер тартылады.

Сүйтіп, барлық жағдайда да индукциялайтын магнит өрісі мен индукциялық токтың магнит өрісі өзара әсерлеседі де, бұлардың өзара әсері токты индукциялайтын қозғалысқа бөгеу жасайтын өзара әсер болады.

Бірдей және қарама-қарсы бағытталған токтардың өзара әсерін еске түсіріп (§ 83) мынадай қортындыға келу оңай: катушкаларды жақындатқанда (1 мен 3 жағдайлар) индукциялайтын ток пен индукция тогының арасында тебілу пайда болады; катушкаларды қашықтатқанда тартылу болады. Ендеше, индукцияның бұл жағдайында да, екі токтардың магнит өрісінің арасында да, индукцияны туғызатын қозғалысқа бөгет жасайтын өзара әсер туады.

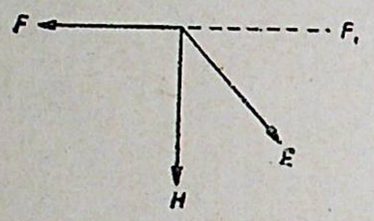
Бұл жеке жағдайлардан жалпы жағдайға көшейік.

139б-суретте тұтас сызықтармен индукциялаушы магнит өрісі-

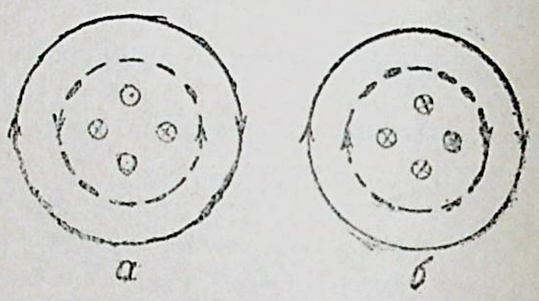
нің H күш сызықтарының бағыты, өткізгіштің қозғалу бағыты F (осының салдарынан индукция пайда болады), өткізгіштегі индукция ЭҚК-нің бағыты E кескінделген.

Егер өткізгіш тұйық болса, онда онымен E бағытпен индукциялық ток жүреді.

Магнит өрісі бұл индукциялық токқа, бағыты Флемминг (§ 82) ережесі бойынша табылатын күшпен әсер етеді. Бұл күштің бағыты суретте F_1 пунктирмен көрсетілген. Индукцияны туғызатын қозғалыстың F бағыты мен сол өрістің индукциялық токқа тигізетін әсерінің F_1 бағытын салыстырып қарап, бұл әсер, токты индукциялайтын қозғалысқа б ө г е у істейтінін көреміз. Сонымен, индукция тогының магнит өрісі, индукцияны туғызатын қозғалысты тоқтатпау үшін, магнит өрісінің индукция тогы бар өткізгішті бөгеуілдететін әсерін жеңуге жұмыс шығындату керек болады. Бұл жұмыс, сол өткізгішті сондай жерге магнит өрісі жоқ болған кездегі орын ауыстыруға шығаратын жұмыстан артық болады. Өткізгішті, өріс жоқта орын ауыстырғандағыдан гөрі, магнит өрісінде жүргізгенде істелетін артық жұмыс, индукция тогында жұмсалатын энергияның көзі болады.



139б-с у р е т. Ленц пен Флемминг ережелерінің байланысы.



139в-с у р е т.

Бұл тәуелділік, энергияның басқа түрге айналу және сақталу заңының айғақталуының бірі. Индукция тогының бағытын табатын ережені, 1834 ж. орыс ғалымы академик Ленц шығарған, бұл ереже Ленц ережесі деп аталады, оны былайша айтуға болады:

Магниттің, не тогы бар өткізгіштің екінші бір тұйық өткізгішке қарағанда орнын ауыстырғанда, соңғыда ток индукцияланады; бұл токтың бағыты, ток өзінің магниттік әсерімен өзін туғызған қозғалысқа кедергі жасайтындай болады.

Магнит пен өткізгіштер салыстырмалы тыйыштықта тұрған жағдайда да токты индукциялауға болады. Екі катушка да қозғалмай тұрған жағдайда бір тұйық катушкада ток индукциялауға болады; ол үшін, екінші көршілес тұрған катушкадағы токты тұйықтап не күшейту керек, айырып не бәсеңдету керек.

Тәжрибелер мынаны көрсетеді: бір катушкада токтың тұйықталуынан және күшеюінен, екіншіде, біріншінің бағытына қарамақарсы ток пайда болады; ажыратқанда не әлсіздендіргенде —

пайда болатын токтың бағыты, индукциялайтын токтың бағытымен бірдей болады.

Өткізгіштің орнын ауыстырмағанда, туатын индукция үшін Ленц ережесін қалай өзгертіп келтіруге болады?

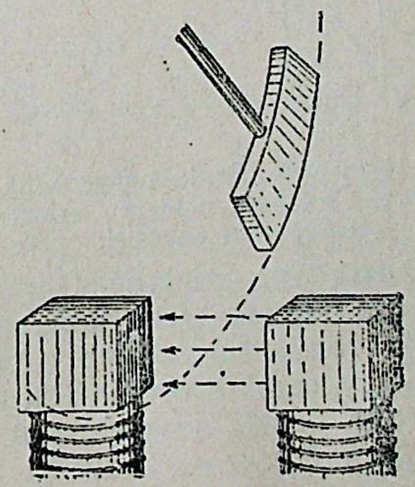
Екі катушка үшін жасаушы және жасалушы токтардың күш сызықтарының бағытын сызайық, бұлардың сыртқысы жасаушы болсын (139в-сурет).

Суретте жасаушы ток тұтас дөңгелекпен, жасалушы штрихпен белгіленген. Жасаушы токтың күш сызықтары оқушыдан әрі қарай бағытталған. Жасаушы токты қосса, яғни күшейтсе, жасалушы ток өріс жасайды, оның күш сызықтары оқушыға қарай бағытталады, былайша айтқанда жасаушы өрісті әлсіздендіреді. Жасаушы токты ажыратқанда яки әлсіреткенде пайда болатын жасалушы ток, күш сызықтары оқушыдан бағытталған, яғни жасаушы өрісті күшейте түсетін өріс туғызады.

Сондықтан, Ленц ережесінің мынадай жалпы формулировкасын келтіруге болады: *токтардың индукция құбылысында, индукцияланатын токтың өрісі қашан болса да индукциялаушы өрістің өзгеруін кемітерлік болып бағытталады.*

113. Тұтас денелердегі индукция. Токтың индукциялануы изоляцияланған сызықтық өткізгіште ғана болып қоймайды, әрбір тұтас кесек өткізгіште де болады. Бұл үшін кесек өткізгіш магнит өрісінде қозғалып жүруі қажет. Тұтас өткізгіштегі токтар (бұларды ашқан француз ғалымы физик Фуко атымен) *Фуко тогы* деп аталады. Егер катушканың ішіне металл стержень салып, катушка арқылы жарықтандыру сетінен, бағыт жағынан да және шама жағынан да, үнемі өзгеріп тұратын ток жіберсек, онда стержень тез қызып кетеді. Оның қызуы, ол арқылы өтетін Фуко индукция тогының жылу әсерінен болады; бұл токты жасаған сеттегі токтың айнымалы магнит өрісі.

Егер маятниктің стерженінің ұшына мыс пластинка бекітіп, оны күшті электромагниттің өте жақындатылған полюстерінің арасында тербелтсе, маятник, электромагнитті қоректендіретін токты тұйықтамағанда ұзақ тербеле береді. Электромагниттың обмоткасындағы токты тұйықтағанда пластинка өрістің күш сызығын кесіп өте бастайды: мұнда ток индукцияланады, ол Ленц ережесі бойынша өзін тудыратын қозғалысқа бөгет жасайды, содан барып маятник тоқтайды (140-сурет).



140-с у р е т. Фуко токтарын көрсету үшін қолданылатын маятник.

Ф у к о т о к т а р ы машиналарда индукциялық токтарды қоздыруға шығатын механикалық энергияның бөлігін өздеріне алады да, бұл энергияны пайдасыз жылуға шығындатады; сондықтан, машиналарда тағы басқа приборларда бұлардың жою үшін ерекше шаралар қолданылады.

Егер маятник ішінде (140-сурет) оның тұла бойын қуалаған ашық тіліктер істелсе, онда мұндай кесектің ішінде қоздырылатын ток анағұрлым бәсең болады, үйткені ауа аралықтар металл кесектің тұтастығын бұзады да, оның өткізгіштігін кемітеді. Фуко токторымен күресу осыған негізделген. Күшті Фуко токтары кезінде мол шығатын джоуль жылуымен металлургияда металдарды балқыту үшін пайдаланады; ол үшін металды айнымалы магнит өрісіне қояды. Балқытуға тиісті металды пештің қуысына толтырып, оның обмоткасы мен қуатты айнымалы ток жүргізеді. Электр өлшеуіш приборларда, Фуко тогымен стрелканың тербелісін демпфирлеу үшін пайдаланады. Демпфирлеу, яғни тыныштандыру

былай істеледі: прибордың тербеліп тұратын системасын, магнитінің полюстерінің арасына орналастырған металл массамен байланыстырады. Бұл масса магнит өрісінде тербелгенде, оның ішінде Фуко тогы өнеді де, системаны кідіртеді.

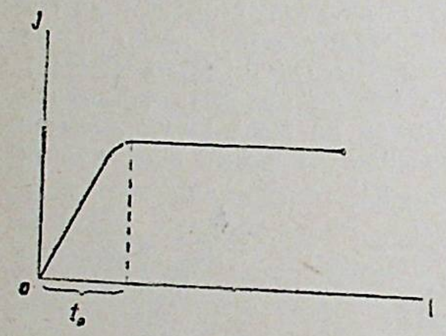
114. Өздік индукция (самоиндукция). Өткізгіш қоршап тұратын кеңістіктегі магнит өрісі қалай өзгерсе де, өткізгіште индукция тогы өнеді. Кезкелген өткізгіштегі токты тұйықтағанда, оның айналасында магнит өрісі пайда болады да, айырғанда ол өріс жоқ болып кетеді. Олай болса, токты тұйықтау мен айыруда өткізгіштің өзінде индукцияның ЭҚК пайда болады.

Өткізгіште ток күші өзгергенде онда индукцияның ЭҚК қозатынын 1834 ж. Фарадей ашқан және ол өздік индукция деп аталған.

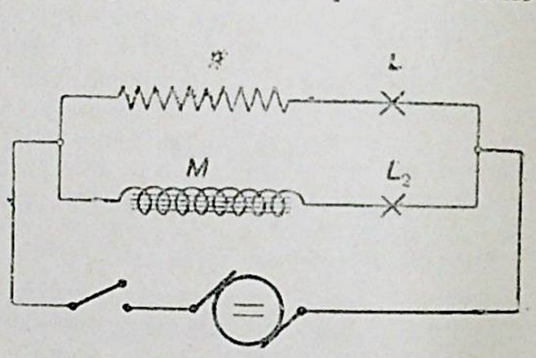
Өздік индукция былай болады:

Өткізгіштегі токты тұйықтағанда, не күшейткенде өткізгіште индукцияның ЭҚК пайда болады; бұл, Ленц заңы бойынша, өзін туғызатын өзгеріске қарсы әсер етеді; яғни тұйықтайтын токқа *қарама-қарсы бағытталған болады*; *өткізгіштегі токты айырғанда, не бәсеңдеткенде өткізгіште, айыратын токпен бағыттас өздік индукцияның ЭҚК-і пайда болады.*

Токты тұйықтауда өздік индукция былайша аңғарылады: тұйықтағанда токтың күші берілген кернеуде және берілген өткізгіштің кедергісінде Ом заңы бойынша тізбекте болатын шамаға бірден жете қоймайды, сондықтан токтың күші қашан өзінің толық шамасына жеткенше азды-көпті уақыт (әдетте, секундтың үлестері) өтеді. Ток күшінің біртіндеп өсуі, токты тұйықтаған кезде өздік индукцияның қарама-қарсы бағытталған ЭҚК-нің пайда болуынан болады (141-сурет).



141-сурет. Өздік индукцияда ток күшінің уақытқа қарай өзгеруінің графигі.



142-сурет. Тұйықтаудағы өздік индукцияны көрсету үшін қолданылатын установканың схемасы.

Тізбекті тұйықтаудағы өздік индукцияны байқау үшін тұрақты токты параллель екі тараумен жіберу керек: бір тармаққа үлкен *M* электромагнитті және оған тізбектеп L_2 қыздыру лампасын жалғастырады; екінші тармақты электромагниттікіндей *R* кедергісі бар сызықша өткізгіш сыммен және бірінші тармақтағыдай кішкене L_1 лампадан құрау керек (142-сурет).

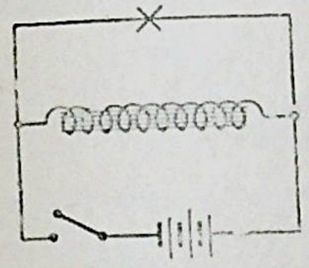
Тұрақты токты тұйықтағанда электромагниті бар тармақтағы лампа, сызықша сым тізбегіндегі лампадан баяуырақ қызады. Олай болса, өздік индукция катушкасы бар тармақта ток күші өзінің толық шамасына бірден жете алмайды.

Токты айырған кездегі өздік индукцияны байқау үшін, жоғарғы установканы ықшамдауға болады: тұрақты токтың көзімен үлкен электромагниттің обмоткасынан тізбек құрап, электромагнитке қыздыру лампасын параллель қосу керек (143-сурет); ток көзін айырған кезде лампа аз уақыт жанып басылады; бұл мынаны көрсетеді: токты айырған кез де электромагнит обмоткасында өздік индукция тогы пайда болады да, бұл ток тараудың бір тармағындағы тұйық жолмен жүреді.

Айырудағы өздік индукцияны айыру болған жерден шығатын ұшқын аңғартады. Айыру кезінде өздік индукцияның сондай үлкен ЭҚК болуы мүмкін, яғни үзіліс болған жерде сондай кернеу пайда болады да, тіпті ауаның өзі өткізгіш болып кетеді, сүйтіп, ол арқылы ұшқындық разряд өтеді (§ 103).

Пайда болған ұшқын приборларды көп бұлдіреді, сондықтан өздік индукция құбылысы күшті болатын приборлардағы, күшті токтарды айырмастан бұрын, біртіндеп оның күшін кемітіп алу керек; айырғыштар әдетте жақсы изоляторларға, мысалы, майға батырылған болады.

Өздік индукция құбылысы инерция құбылысына ұқсайды.



143-сурет. Токті айырған кездегі өздік индукцияны көрсету үшін қолданылатын установканың схемасы.

Паровоздың цилиндрі ішіндегі поршеньге будың қысым күші әсерін тигізгенде, өзінің бірқалыпты қозғалатын жылдамдығына бірден жете алмайтыны белгілі. Керісінше, будың қозғайтын күші тоқтасымен, паровоз бірден тұрып қалмай, бұрынғы жылдамдығымен жүре тұрады.



144-сурет. Бифиляр обмоткасы.

Электромагниттегі жұмсақ темірден істеген өзек жылулық двигательдің маховик дөңгелегіне сәйкес. Токты тұйықтағанда электр көзі беретін энергияның жарым-жартысы магнит өрісін құруға кетеді, ол өріс, темір өзектің барлығы себепті, үлкен болады, энергияның қалғаны ғана кедергіні жеңу мен джоуль жылуына кетеді.

Ал, тізбекті айырған кезде токты магнит өрісіне жыйналып қалған энергия қуаттайды.

Сүйтіп *өздік индукция және ток пен оның магнит өрісінің инерциясы* — бір қасиеттің екі түрлі өрнегі болады.

Тұйықтайтын және айыратын токтың күші және тұйықтау мен айыру жылдамдығы бірдей болғанда өздік индукцияның ЭҚК-і әр өткізгіште әртүрлі болады; тұзу сызықты өткізгіштер мен бифиляр (қос) обмоткамен (144-сурет) оралған катушкада ол жоққа жақын болады; ал енді, жай обмоткамен оралған катушкаларда оның, катушканың оборот санының квадраты мен көлденең ауданына пропорционал өсіп, едәуір үлкен болуы мүмкін. Қатушкада темір өзектің барлығы өздік индукцияның ЭҚК-ін едәуір үлкейтеді.

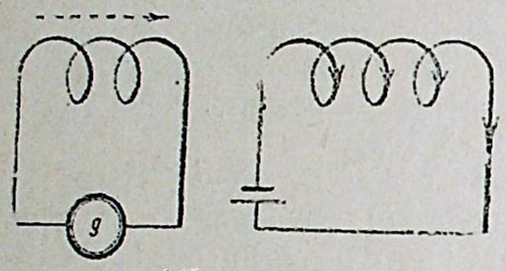
15-жаттығу.

1. Магниттің солтүстік ұшы тұйық сымның орамдарымен оралған катушканың тесігіне түсіріледі. Индукция тогының бағыты қандай? Оны Флемминг ережесіне сүйеніп анықтап, Ленц ережесімен тексеріңдер, не керісінше істеңдер.

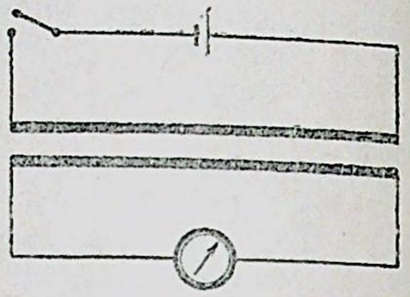
2. Егер солтүстік полюс катушкадан шығарылап алынатын болса, әлгі сұрау қалай шешіледі?

3. Катушкаға оңтүстік полюс түсірілетін болса ше?

4. Катушкадан оңтүстік полюс шығарылып алынатын болса ше?



145-сурет.



145а-сурет.

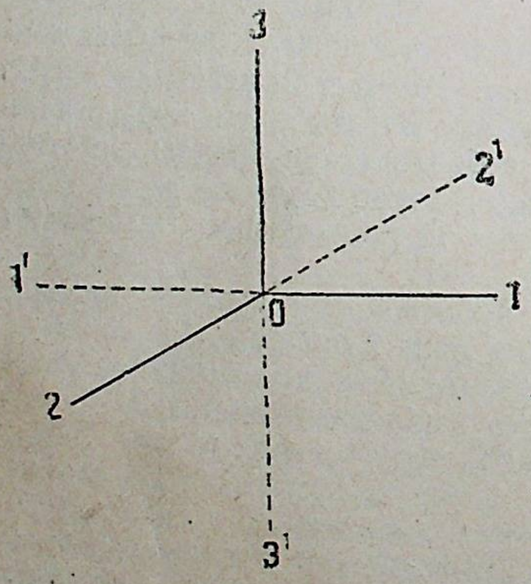
5. Гальванометр арқылы тұйықталған катушка, екінші бір тогы бар катушкаға жуықтап не одан алыстап тұрады (145-сурет). Катушкалар жуықтап, алыстағандағы индукциялайтын токтың қарама-қарсы екі бағыты үшін, индукция тогының бағытын табыңдар.

6. Егер екі катушка да қозғалмай тұрғанда, индукциялайтын катушкадағы токты тұйықтаса, күшейтсе, кемітсе, айырса, гальванометр арқылы тұйықталған катушкада ток индукцияланама? Егер ток индукцияланатын болса, онда индукциялайтын катушкадағы токтың мүмкіндігі бар екі бағыты үшін, оның бағытын табыңдар.

7. Егер индукциялайтын катушканың ішіне темір өзек салса, индукция құбылысы өзгере ме? Өзгерсе қалай және неліктен өзгереді?

8. 145а-суретте кескінделген тізбектерді жақындатып, алыстатқандағы (жоғарғы тізбекті жалғағаннан кейін) индукциялық токтардың бағыттарын сызындар.

9. 106-суретте көрсетілген магнитті енгізіп қайта шығарып алып тұрса, тұйық (106-сурет) спиральда қандай бағытты ток индукцияланады?



146-сурет. 15-жаттығудың 11-есебіне.

10. Егер 107-суретте көрсетілген катушка тұйықталған болса және суреттегі электромагнитті енгізіп қайта шығарып алып тұрса, онда ол катушкада қандай бағытты ток пайда болады?

11. Егер өткізгіштің бағыты 2—2′, магнит күш сызықтарынікі 0 — 3, ал өткізгіштің қозғалу бағыты 0 — 1 болса (146-сурет), онда тізбектің жылжымалы учаскесінде қандай бағытты ток пайда болады?

Мына жағдайлар үшін де сол сұрау:

Өткізгіштің орналасуы	Магнит өрісінің бағыты	Өткізгіштің қозғау бағыты
1—1′	0—2′	0—3
3—3′	0—1′	0—2′
2—3′	0—2	0—1
2—2′	0—1′	0—3′

12. Магнит күш сызығы 0 — 3′ сызығымен бағытталған болса, катушкада 0 — 2 бағытты индукциялық ток туғызу үшін 1 — 1′ өткізгішті қай бағытқа қарай қозғау керек?

13. 0 — 1′ бағытпен қозғалғанда 0 — 2 бағыты индукциялық ток туғызу үшін магнит күш сызықтарының бағыты қандай болу керек?

14. Кедергі эталондары не себептен бифиляр сымдардан істеледі?

15. Магниттің солтүстік (не оңтүстік) полюсін катушканың ішіне бір жағынан түсіріп, магнитті оның екінші жағынан солтүстік (не оңтүстік) полюсімен шығарып алса, индукциялық токтың бағыты қалай өзгереді, соны бақылап біліңдер.

16. Өткізгіш тұйық болғанда және тұйық болмаған жағдайда, өткізгіш оралған катушканың вертикаль тесігі арқылы магнит бірдей үдеумен түсе ме?

17. Таға тәрізді магниттің полюстерінің аралығына, ауданы күш сызықтарына перпендикуляр болғандай етіп, тік төртбұрыш формалы сым өткізгіш орнатылған. Егер осы өткізгіш тік төртбұрыштың орта сызығына дәл келетін осьтен айнала толық бір оборот жасаса, ток пайда бола ма? Қандай бағытты ток пайда болады?

18. Өткізгіш қоршап тұрған ауданының ішінде бір рет 5 секундта 1 000 000 күш сызығы пайда болады да, екінші рет сол ауданның ішінде 4 секундта 600 000 күш сызығы жоғалады. Осының қайсысында индукцияның ЭҚК-і артық болады?

19. Тік төрт бұрыш формалы сым рама, өзінің бір қабырғасымен ток тізбегінің түзу сызықты учаскесіне дәл келіп тұрады да, осы қабырғасынан айналып толық бір оборот жасайды. Бұл қозғалыста ток индукциялана ма?

20. Егер сым тік төрт бұрышты магнит меридианның жазықтығында орналастырып оны сол жазықтықта қозғалтса, онда ток пайда бола ма?

21. Егер сымды тік төрт бұрышты магнит меридианның жазықтығына перпендикуляр қойып, оны сол меридианның ұзын бойымен қозғалтса, ток пайда бола ма? Егер оны меридианға перпендикуляр бағытпен қозғалтса ше?

22. Сым тік төрт бұрышта ток пайда болу үшін, оны жер магнетизмінің өрісінде қалай қозғау керек?

23. Сым тік төрт бұрыш біртекті өрістің күш сызықтарына перпендикуляр қойылды. Қандай жағдайда индукцияның ЭҚК-і артық болады: тік төрт бұрыш күш сызықтарының ұзын бойымен қозғалғанда ма, перпендикуляр не көлбеу бағытпен қозғалғанда ма?

24. Не себептен телефонның сымын, жарыққа арналған айнымалы токтың сымы асылған бағаналарға бірге ілмейді?

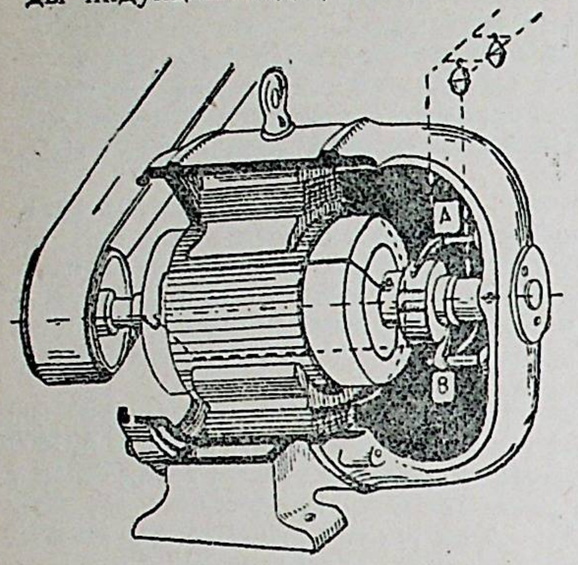
ОҚУШЫЛАРДЫҢ БІЛІМІН ТЕКСЕРУГЕ АРНАЛҒАН СҰРАУЛАР

1. Барлық жағдайда да индукцияның тууы үшін негізгі шарт не?
2. Өткізгіш күш сызықтарының ұзын бойымен сырғанап тұрғанда, индукцияның ЭҚК і пайда бола ма?
3. Индукцияның ЭҚК шамасы неге байланысты болады?
4. Индукциялық токтың бағытын табу үшін арналған Флемминг ережесі қандай?
5. Токтар индукциясы үшін Ленц ережесі қандай?
6. Индукция токтарының магнитпен индукциялағандағы бағыттары қандай болады?
7. Индукциялық токтардың токтармен индукциялағандағы бағыттары қандай болады?
8. Фуко токтары деген не және олардың зиянды әсері қандай?
9. Өздікиндукция құбылысы деген не?
10. Өздікиндукцияның ЭҚК шамасы неге байланысты болады?

115. Индукциялық генератор. Ток көздерінің ерекше бір түрінің құрылысы токтардың индукция құбылысына негізделген.

Индукцияның жәрдемімен механикалық энергияны электр энергияға айналдыратын машинаны электр тогының индукциялық генераторы деп (147-сурет) атайды.

Индукциялық генераторда — негізгі екі бөлік бар: 1) магнит өрісін түзуші электромагнит (не магнит); бұл өріс тоқтарды индукциялайды; осы бөлік индуктор деп аталады; 2) ток индукцияланатын өткізгіш, бұл бөлік якорь деп аталады.



147-сурет. Генератор.

Якорьдің осіне контакты сақыйналар не пластинкалы коллектор орнатылады да, бұларға жұмыс шы тізбектің ұштарына жалғастырылған щёткалар жабысып тиіп тұрады (156-сурет, § 120).

116. *Лабораториялық жұмыс № 5.* Бір текті магнит өрісінде айналып тұратын сымның орамдарындағы индукция токтарын бақылау.

Приборлар. 1) таға тәрізді күшті магнит; 2) гальванометр; 3) магниттің полюстерінің аралығында тұратын, жіңішке сымның бірнеше жүз орамынан құралған, тік төртбұрыш формалы кішкене катушка.

Жұмыс тәртібі. 1. Сым орамдарының ұштарын гальванометрмен жалғастырып, орамдарды, жазықтары күш сызықтарына перпендикуляр болғандай етіп, магнит полюстерінің аралығына орналастыру керек.

2. Орамдары, тік төртбұрыштың ортасы арқылы, оның үлкен қабырғасына параллель кететін осьтен айналдыра, бірінші ширегіндей бұрындар да, гальванометрді бақылаңдар. Ток қай бағытта пайда болады? Индукция тогының гальванометр көрсеткен бағытын, оң қол ережесі бойынша табылған бағытымен салыстырыңдар.

3. Осындай бақылауларды бірінші, үшінші, төртінші шеріктерінің шамасына бұрып отырып істей беріңдер.

4. Тәжрибеден, орамның бір толық оборотында индукцияланған токтың бағыты туралы қандай қортынды шығаруға болады? Оборот кезінде индукцияланған ток бір бағытты бола ма? Бір оборотта ток бағыты неше рет өзгереді? Күш сызықтарымен салыстырғанда, орам қандай қалыптарда тұрғанда бағыт өзгереді?

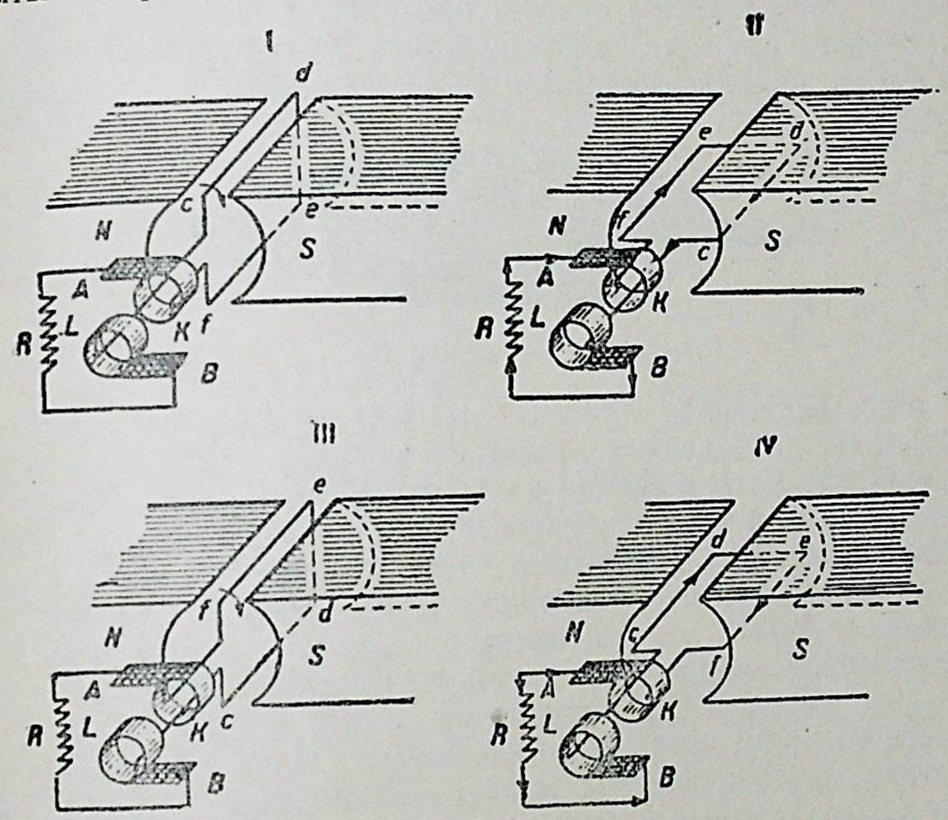
5. Айналысты басқа қалыптардан бастап, жоғарыдағы қортындыларды тексеріп өтіңдер.

6. Айналыс жылдамдығы құбылысқа қандай әсер етеді?

117. Токтың якорьда индукциялануы. Якорьды индуктор өрісінде айналдырғанда, якорьдың обмоткасында токтың қалай индукцияланатынын түсіну үшін, якорьдың бүкіл обмоткасынан бір орамды таңдап алып, бір оборот ішінде болатын ондағы құбылыстарын зерттесек болғаны. 148-суреттегі *N* мен *S* индуктордың полюстерін кескіндейтін болсын. Якорь обмоткасының бір тік төртбұрышты орамын өрістің күш сызықтарына перпендикуляр қояйық та, бұл қалыпты I таңбасымен белгілейік.

Тік төртбұрышты I қалыптан II қалыпқа осьтен айналдыра, шерік оборот бұрғанда, *cd* мен *ef* қабырғалары күш сызықтарды

қыйып өтеді; сондықтан, оларда ЭҚК индукцияланады. Бұл айналдыруда *cd* қабырға төмен қозғалып түседі де, *ef* қабырға жоғары көтеріледі. Оң қол ережесін қолданып, *cd* қабырғасында ЭҚК *d* ден *c* ға қарай, *ef* қабырғасында *f* тен *e* ге қарай бағытталатынын абайлау қыйын емес. Оборотың II қалыптан III қалыпқа дейінгі екінші шерігіндө қозғалыс сол бағытпен бара береді; сондықтан, индукцияның ЭҚК тік төртбұрышта сол *dcfe* бағытын сақтап қала береді. Тік төртбұрыш III қалыптан IV қалыпқа және одан әрі I қалыпқа көшкенде, қабырғалардың қозғалу бағыты өзгереді (*cd* көтеріліп, *ef* төмен түседі); сондықтан, ин-



148-сурет.

дукцияның ЭҚК де өзінің бағытын *c* ден *d* ға және *e* ден *f* ке қарай кері бағытқа өзгертеді. Оборот кезінде I мен III қалыптарда бағыт екі рет өзгереді; бұл кездерде орам жазықтығы өрістің күш сызықтарына перпендикуляр тұрады. Бұл қалыптарда индукцияның ЭҚК нольге айналады. Сондықтан, күш сызықтарына перпендикуляр жазықтықты нейтрал жазықтық деп атайды.

Сонымен, якорь обмоткасының әрбір орамын магнит өрісінде айналдырғанда: нейтрал жазықтығынан бастап есептегенде оборотың бірінші жартысында бір бағытты ЭҚК индукцияланады (орам жазықтығы нейтрал жазықтығына дәл келгенде ЭҚК нольге айналады).

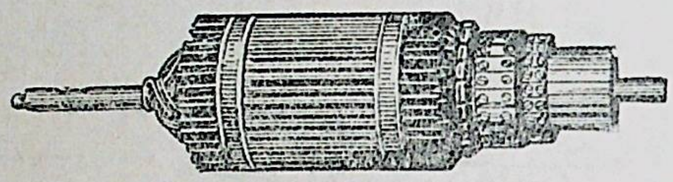
Күш сызықтарды қыйып өтудің ең үлкен жылдамдығы II мен IV қалыптарда болады.

Бұл қалыптарда тік төртбұрыштың ұзын қабырғалары күш сы-

зықтарын оларға перпендикуляр бағытпен қыйып өтеді де, 1 секундте қыйып өтілетін күш сызықтардың саны да бәрінен көп болады да, ЭҚК өзінің ең үлкен шамасына жетеді. I және III қалыптарда тік төртбұрыштың қабырғалары күш сызықтарының бойымен сырғанап отырады; сондықтан, өткізгіш сызықтарды мүлдем қыйып өтпейтін болады да, индукцияның ЭҚК нольге тең болады.

Индукцияның ЭҚК сымның әр орамында пайда болады және орамдар тізбектеле жалғастырылғанда, бұл ЭҚК біріне-бірі қосылады; сондықтан, үлкен ЭҚК туғызу үшін машиналарға сымның бір орамын емес, бірнеше орамын орналастырады.

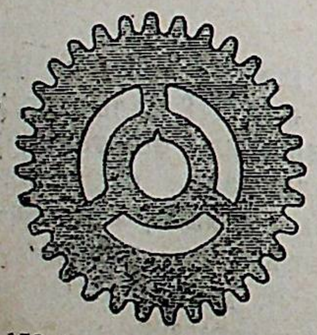
118. Якорь. Осы күнгі машиналарда барабанды якорь деп аталатын цилиндр формалы якорь қолданылады (149-сурет).



149-сурет. Барабанды якорь.

Барабанды якорь, бірінен-бірі изоляцияланған, жұмсақ темір табақтарынан жасалған өзектен құралады. Осы барабанға оның жасаушысының бойымен изоляцияланған мыс сымның көп орамынан құралған обмотка орналастырылған. Сымның әр оборотының формасы тік төртбұрышқа жуық болады. Жұмсақ темірді таңдап алудағы мақсат — ол индуктордың магнит өрісінің күш сызықтарын өз ішіне тартып алады да, ауаға тарап кетуіне мүмкіндік бермейді. Бұдан якорь обмоткасы қыйып өтетін күш сызықтардың саны көбейеді де, индукцияның ЭҚК өседі.

Якорьды темірдің тұтас кесегінен немесе, оның изоляцияланған табақтарынан істейді; ондағы мақсат — цилиндрдің ұзын бойындағы Фуко токтарын жою.



150-сурет. Өзектің штампталған табағы.

Индуктордың полюстері мен өзектің арасындағы ауа кеңістігін кішірейту үшін, обмотка ерекше қуыстарға салынады; сондықтан, өзек табақтары ерекше формамен штампталынады; бұл формалардың бір түрі 150-суретте көрсетілген.

Обмотканың ұштары контактты сақыйналар деп аталатын екі *K* мен *L* сақыйналарына жалғастырылады; бұл сақыйналарды, бірінен-бірін және екеуі де осьтен изоляцияланып оське кигізеді (148-сурет).

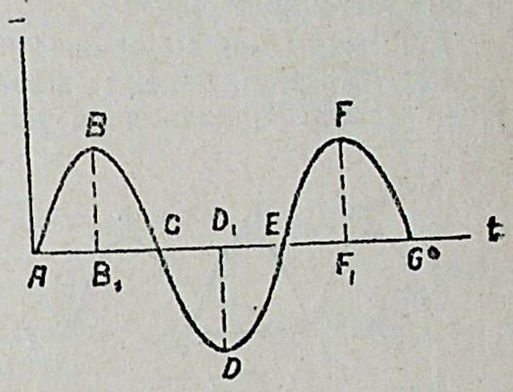
Сақыйналарға серіппелер жәрдемімен *A* және *B* щёткаларын қысып бекітеді; щёткалар мыс сеткамен бірге престелген көмірден құралады. Щёткалардың қысқыштарына тізбектің сырткы учаскесі жалғастырылады да, бұған энергияны тұтынушылар қосылады. Щёткалардың жәрдемімен сырткы (жұмысшы) тізбек пен якорьдың сырғымалы контакт дейтін контакты жасалады. Якорьдың әрбір обороты кезінде сырткы тізбекте токтың бағыты екі рет өзгереді; мұны 148-суреттен көруге болады.

Сыйпатталған машина, белгілі уақыт өткеннен кейін шамасы мен бағыты өзгеріп тұратын ток береді; мұндай ток айнымалы ток деп аталады.

Токтың шамасы мен бағытының өзгеру процесі дәл қайтадан басталуына кететін ең аз уақыт период деп аталады.

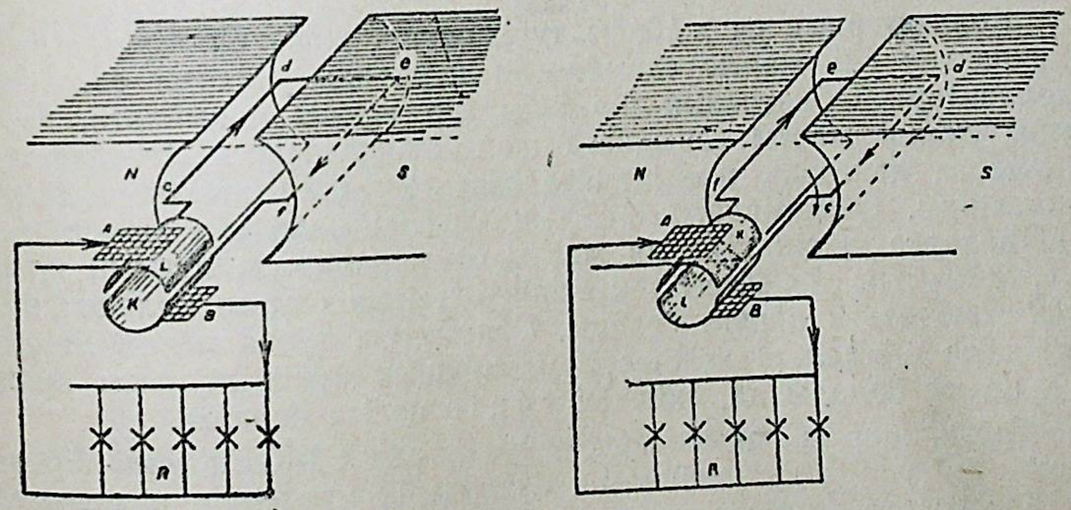
Схемасы жоғарыда тексерілген машинада, айнымалы токтың периоды якорьдың бір оборотының уақытына дәл келеді.

Токтың ЭҚК-інің өзгеруін графикпен кескіндеуге болады; ол үшін абсцисса осіне периодтың өзара тең бөліктерін (мысалы, төрттен бір, он алтыдан бір үлестерін) салып, ордината осіне (шартты масштабпен және тиісті бағытпен) ЭҚК-тің шамалары мен бағыттарын көрсететін кесінділерді салу керек. Жабайы жағдайда осылайша салған сызық *синусоида* деп аталатын қыйсық сызық формалы болады (151-сурет).



151-сурет. Айнымалы токтың ЭҚК синусоидасы.

119. Айнымалы токтың генераторлары. Электр энергиясын қашық жерлерге жеткізу кездерінде (жарықтандыру, двигатель



152-сурет.

үшін) тұрақты токқа қарағанда, айнымалы токтың артықшылығы бар; сондықтан айнымалы токты да, тұрақты ток сияқты жақсы пайдалануға болады.

Айнымалы ток генераторының индукторының қызметін электромагнит атқарады; электромагнит, тұрақты токпен бөтен бір көз

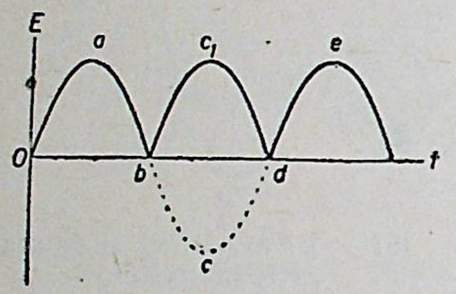
ден, көбінесе ол, айнымалы ток машинасының якорымен бір оське кигізілген, генератордан (§ 120) коректенеді.

Мұндай машиналар әдетте өте үлкен кернеулерге арналып жасалады; сондықтан, контакттық сақыйналар мен щёткаларды алып тастау керек болады. Оның үшін якорьды қозғалмайтын етеді де, оның қысқыштарына жұмысшы тізбектің ұштарын жалғайды; ал, индукторды қозғалмалы қылып істейді. Сонда якорьды с т а т о р[1] деп, индукторды р о т о р[2] деп атайды.

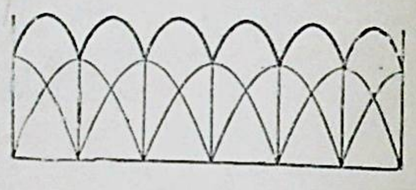
Айнымалы ток машинасының шартты кескіні схема түрінде 148-суретте келтірілген.

Айнымалы ток машинасы а л ь т е р н а т о р деп аталады.

120. Тұрақты токтың машиналары. Химиялық әсерлер үшін және кейбір жағдайларда моторларды (мысалы, трамвай мотор-



153-с у р е т. Пульсациялайтын токтың графигі.



154-с у р е т. Якорьда сымның екі орамы болғанда, коллектормен түзетілген ЭҚК графигі (жуан созық).

ларын) коректендіру үшін, тұрақты токты қолдану керек болады. Айнымалы ток, құрылысы ерекше к о л л е к т о р жәрдемімен түзетіледі.

Коллектордың ең жабайы түрі, осьтен және бір-бірінен изоляцияланған екі жарты сақыйнадан құралады (жарты сақыйналы коллектор). Обмотканың бір ұшы бір жарты сақыйнаға, екінші ұшы екінші жарты сақыйнаға жалғастырылады. Щёткалар, коллекторға нейтраль жазықтықта жататын сызықтардың бойымен қосылады. Обмоткадағы ЭҚК-тің бағыты өзгеретін моменттерде, щёткаларға тиісіп тұратын жарты сақыйналар да ауысып тұрады да, жұмысшы тізбектегі ток өзінің бағытын сақтап қалады; мұны 152-суреттерден көруге болады. Сондықтан, тұрақты ток машинасындағы щёткалардың біреуі, машинаның бүкіл жұмысы кезінде оң полюс болады да, екіншісі т е р і с полюс болады.

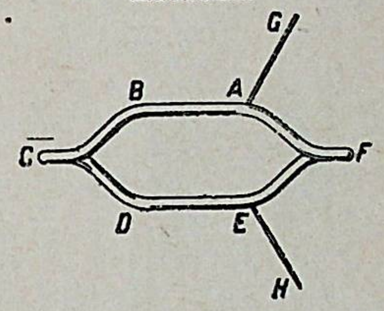
Бірақ, жарты сақыйналық коллекторда ЭҚК-тің мәні бір оборотта екі рет нольге айналып, ол нольдік мәндердің аралығындағы орталықта (бағыт өзгермей тұрғанның өзінде) ең үлкен шамаға жетеді. Ток, п у л ь с а ц и я л а й т ы н ток болып шығады. Оның графигі 153-суретте берілген. Пульсацияны кеміту үшін, якорь барабанындағы тік төртбұрыш обмоткалардың санын көбейту керек. Сонда олардың әрқайсысы нейтрал сызық арқылы өткенде, олар-

[1] Латинның *stare* (старе) — тұ р у деген сөзінен.
[2] Латинның *rotare* (ротаре) — а й н а л д ы р у деген сөзінен.

да индукциялық токтың ЭҚК-і нольге айналады. Бірақ нейтрал сызықтың екі жағындағы якорьдің жартыларындағы жалпы ЭҚК нольге жетпейтін болады. Егер қабырғалары якорьда бірқалыпты таралған және өзара тізбектеліп қосылған екі тік төртбұрышты алсақ, онда тізбектегі ток күшінің өзгерілуі 154-суреттегі графиктің жуан сызығымен кескінделеді.

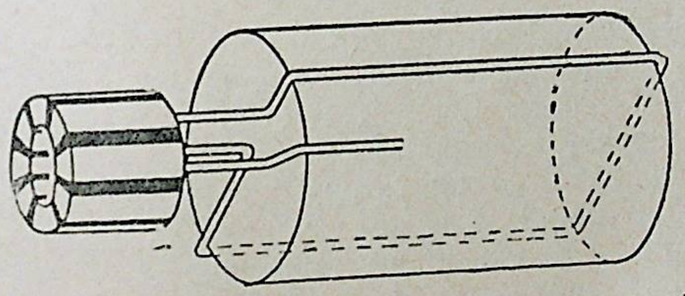
Әр тік төртбұрыштағы ЭҚК-тің өзгеруі бір ғана қыйсық сызықпен кескінделеді; тек, қыйсық сызықтардың өздері периодтың төрттен біріне орындарын ауыстырады (өзгерулер кешігіп отырады). ЭҚК-тің әр моменттегі жалпы шамасы, барлық қыйсық сызықтардың ординаталарын қосу арқылы табылады.

155-с у р е т. Секция шаблоны.



Якорьдың жеке обмоткалары с е к ц и я л а р деп аталады. Неғұрлым секциялардың саны көп болса, солғұрлым тізбекте ток күшінің өзгеруі аз болады. Әдетте, 100 ге жуық секция істеледі; осы арқылы нағыз тұрақты ток дерліктей ток шығады. Секциялар даяр шаблондар (155-сурет) бойынша жасалады да, якорьдың қуыстарына (паздарына) салынады.

Секциялық обмоткада, коллекторды пластинкалы етіп жасайды (149-сурет). Коллектор пластинкаларының саны секциялардың санына тең болады. Коллектордың әрбір пластинкасына бір секцияны бір ұшы және келесі секцияның екінші ұшы жалғастырылады (156-сурет). Якорьдың әр жартысының секциялары, пластинкалар арқылы тізбектеле жалғастырылған; екі жартысы өзара щёткалар арқылы параллель қосылған.



156-с у р е т. Пластинкалы коллектордың моделі.

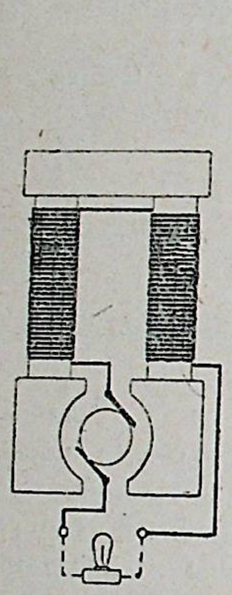
121. Динамомашиналар. Д и н а м о м а ш и н а деп тұрақты токтың машинасын айтады; мұның индукторының қызметін электромагнит аткарады да, бұл электромагнит, машинаның өзі шығаратын токпен коректенеді.

Электромагниттің, машинаның өзі шығаратын токпен қоректенуі ө з д і г і н е н қ о з у деп аталады.

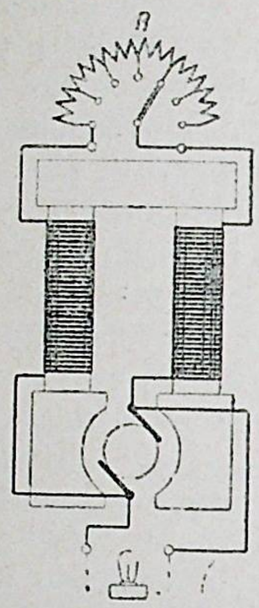
Өздігінен қозу былай. Машинаны заводтан шығарардың алдында электромагниттің обмоткалары арқылы ток жіберіледі. Электромагниттің темір өзегі қалдық магнетизмнің іздерін сақтап қалады. Якорьді алғаш айналдырғанда, оның обмоткасы мен тізбекте

шамалы индукциялық ток туғызу үшін, магнит өрісінің бұл іздері жеткілікті болады. Егер осы токты машинаның электромагниті (индукторы) арқылы да өткізсе, бұл ток магнит өрісін күшейтеді; күшейген өріс, ток күшінің үлкеюіне себеп болады. Сүйтіп, белгілі бір шекке дейін олар бірін-бірі күшейте береді; бұл шек, машинаның жалпы құрылысына және электромагнит обмоткасының якорьмен жалғастырылу тәсіліне байланысты.

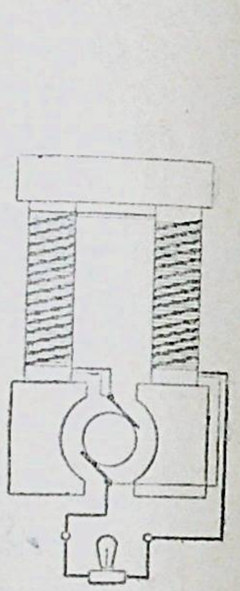
Индуктор обмоткасының тізбекке жалғастырылу тәсіліне қарай динамомашиналар үш түрге бөлінеді:



157-сурет. Сериес-машинадағы индуктор обмоткасының схемасы.



158-сурет. Шунт машинадағы индуктор обмоткасының схемасы.



159-сурет. Компаунд машинадағы индуктор обмоткасының схемасы.

1. Сериес машина. Егер индуктор обмоткасы жұмысшы тізбекке *тізбектей* жалғастырылатын болса, онда машина *сериес*[1]) деп аталады (157-сурет). Сыртқы тізбек түйықталмай тұрғанда, сериес машина кернеу бермейді.

2. Шунт машина. Егер индуктордың обмоткасы щёткалардың қысқыштарына жұмысшы тізбекпен параллель қосылатын болса, онда шунт машина деп аталады (158-сурет).

Шунт машина, жұмысшы тізбек түйықталмаған күйде де жұмыс істей алады; онда барлық ток индоктордың обмоткасы арқылы өтеді. Жұмысшы тізбекті қосқанда якорьдың тогы екі бөлікке бөлінеді: бірі индуктор арқылы өтеді де, екіншісі жұмысшы тізбекке барады; бұл бөліктер параллель тармақтардың кедергілеріне кері пропорционал болады.

3. Компаунд-машина. Индукторда екі обмотка істеп, біреуін сериес машинадағыдай, жұмысшы тізбекке тізбектеп, екіншісін шунт машинадағыдай, оған параллель етіп қосса, ондай машина компаунд[2]) машина деп аталады (159-сурет).

[1]) *Сериес* — ағылшынша катар деген сөз.
[2]) *Компаунд* — ағылшынша аралас деген сөз.

122. Динамомашиналардың пайдалы әсер коэфициенті. Машинаның пайдалы қуаты деп тізбектің сыртқы бөлігіндегі U кернеу мен ондағы I ток күшінің көбейтіндісін айтады. Толық қуаты деп якорьдың ЭҚК-і E мен якорьдағы $I_{як}$ ток күшінің көбейтіндісін айтады.

Пайдалы әсердің электрлік коэфициенті яки электрлік берілісі $\eta_э$ деп пайдалы қуаттың толық қуатқа қатнасын айтады.

Сериес машина үшін:
$$\eta_э = \frac{UI}{EI} = \frac{U}{E}. \qquad \text{(XXа)}$$

Шунт машина үшін:
$$\eta_э = \frac{UI}{EI_я}. \qquad \text{(XXб)}$$

Қай машинаның болса да якорі двигательмен қозғалтылады, двигательдің валдағы қуаты N, генератордың шығаратын қуатынан артық болады; өйткені, ол N қуаттың бір бөлігі подшипниктердегі үйкелісті жеңуге кетеді.

Пайдалы әсердің өндірістік коэфициенті не өндірістік берілісі (η) *деп, пайдалы қуаттың двигательдің қуатына қатнасын айтады.*

$$\eta = \frac{UI}{N}. \qquad \text{(XXв)}$$

Мысал. Шунт машинаның қысқыштарындағы кернеуі 120 вольтке, сыртқы тізбектегі ток күші — 48 амперге тең. Индуктордағы I_u ток күші 2 амперге тең. Якорьдың кедергісі 0,15 *ом*. Егер өндірістік беріліс $\eta = 0{,}85$ болса, электрлік беріліс пен двигательдің қуаты қандай болады, соны табайық.

Пайдалы қуат $N_1 = UI = 120 \cdot 48$ ватт $= 5760$ ватт.

$$I_я = I + I_u = 48 + 2 = 50 \text{ ампер.}$$

Бұл есепте машинаның ЭҚК-ін есептеудің орнына, якорьдағы, индуктордағы және сыртқы тізбектегі қуаттардың қосындысы түрінде толық қуатты есептеген оңай болады.

Якорьдағы қуат:
$$N_2 = I^2_я \cdot r_я = 50^2 \cdot 0{,}15 \text{ ватт} = 375 \text{ ватт.}$$

Индуктордағы қуат:
$$N_3 = I_u \cdot U = 2 \cdot 120 \text{ ватт} = 240 \text{ ватт.}$$

Толық қуат:
$$N = N_1 + N_2 + N_3 = 5760 + 375 + 240 = 6375 \text{ ватт.}$$

Электрлік беріліс:
$$\eta_э = \frac{5760}{6375} = 0{,}903.$$

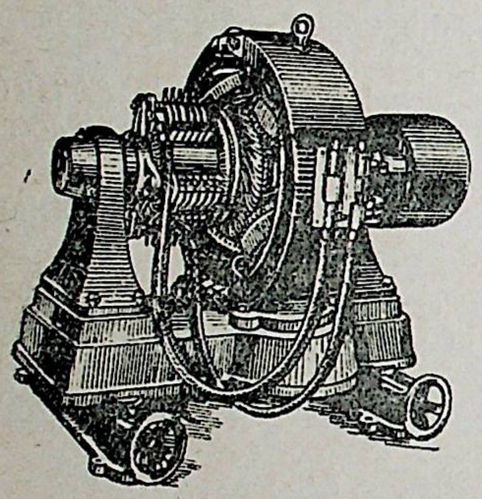
Өндірістік беріліс:

$$\eta=\frac{UI}{N}; \qquad N=\frac{UI}{\eta}; \qquad N=\frac{5760}{0,85\cdot 736}=9,2 \text{ а. к.}$$

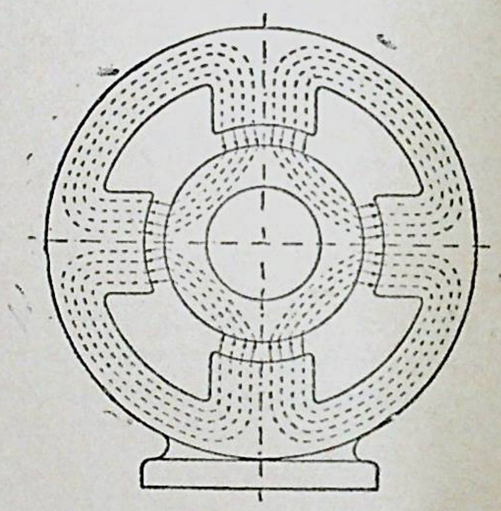
Тұрақты токтың ең соңғы уақытта шыққан үлкен машиналарында олар толық жүктелгенде, яғни сыртқы тізбектегі ток мейлінше күшті болғанда, өндірістік беріліс 90% ке жетеді де, электрлік беріліс 95% ке дейін барады.

123. Көп полюсті машиналар. Әр машинада, оның қуаты ең жоғары қуатқа жетуі үшін, белгілі бір айналыс жылдамдығы болады.

Аз жылдамдықта да, көп жылдамдықтағыдай ЭҚК-тің шамасына жету үшін, полюстердің санын көбейтуге болады; сонда якорьдың әрбір сымы бір оборот ішінде екі полюстің алдынан емес, одан көбірек полюстің алдынан өтеді.



160а-сурет. Төрт полюсті машина.

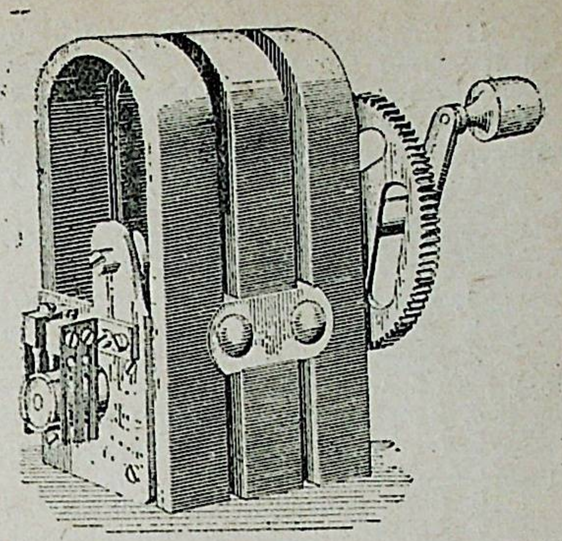


160б-сурет. Төрт полюсті машинаның схемасы.

Мысалы, индуктордың полюсі төртеу болғанда, ЭҚК обмотканың әрбір орамында, бір оборот ішінде нольге тең мән арқылы төрт рет өтеді. Сондықтан, оның бір оборот ішіндегі өзгеруі, полюс екеу болғандағы екі оборот ішіндегі өзгеруге сәйкес болады. Сондықтан, дәл сондай нәтиже шығару үшін полюс төртеу болғанда, полюс екеу болғандағыдан айналыс жылдамдығы екі есе кем болса да жеткілікті болады. Полюс алтау болса, үш есе кем жылдамдық жеткілікті болады, тағы солай бола береді (басқа жағдайлары бірдей болғанда). 160а-мен 160б-суреттерде төрт полюсті динамомашина көрсетілген.

124. Магнето. Ең алғашқыда индукторы тұрақты магнит болған машиналар шыққан. Олар магнитэлектр машиналары деп аталатын еді. Бірақ, электромагниттер тұрақты магниттерге қарағанда күштірек магнит өрістерін туғыза алады; сондықтан, өздігінен қозу принципі табылғаннан кейін электр станцияларында

мұндай машиналардың орнын динамомашиналар алды. Магнито-электр машиналар осы күнде күші аз ток керек болатын жағдайларда қолданылады; мысалы, телефон аппаратарының кейбір системаларындағы шақыру қоңрауының тізбегіне, не іштен жанатын двигательдерде жанғыш қоспаны тұтандыру үшін от алдыру ұшқындарын туғызуға қолданылады. Мұндай кішкене магнит-электр машиналарын магнето деп атайды. 161-суретте телефон аппаратының магнетосы көрсетілген [1]).



161-сурет. Магнето.

16-жаттығу.

1. Егер машина 10 ампер ток тұтынатын сыртқы тізбекті қоректендіретін болса, тізбектей қоздыру динамомашинаның қысқыштарындағы кернеу неге тең болады? Якорьдың обмоткасы мен индуктордың кедергілері 4 ом. Якорьдың ЭҚК-і 440 вольтке тең.

Жауабы: 400 вольт.

2. Өткен есептегі электрлік берілісті табыңдар.

Жауабы: 0,91.

3. Динамомашинаның өндірістік берілісі 0,84, қысқыштардағы кернеу 65 вольт болғанда, 20 амперлік ток береді, динамомашина айналдыру үшін ат күші есебімен қанша қуат шығару керек?

Жауабы: 2,1 а. к.

4. Шунт динамомашинаның индукторындағы обмотканың $r_и$ кедергісі 23 омға тең. Динамо қысқышындағы кернеу 115 вольтке тең де, сыртқы тізбектегі ток күші 121 амперге тең. Якорьдың ток күшін $I_я$ табу керек.

Жауабы: 126 ампер.

5. Якорь 116 вольтті ЭҚК туғызады: сыртқы тізбектегі ток күші 32 амперге, индуктор обмоткасындағы ток күші 1,35 амперге тең, якорь кедергісі 0,18 омға тең. Шунт машинаның қысқыштарының арасындағы кернеу мен индуктор обмоткаларының кедергісін табыңдар.

Жауабы: 110 вольт; 81,5 ом.

6. Осы өткен есепте электрлік берілісті табыңдар.

Жауабы: 0,91.

7. Шунт динамоның қысқыштары арасындағы кернеу 110 вольтке, якорьдағы ток күші 47,5 амперге, сыртқы тізбектегі ток күші 45 амперге, якорьдың кедергісі 0,1 омға тең. Өндірістік беріліс 0,85 деп, электрлік беріліс пен якорьды қозғайтын двигательдің қуатын табыңдар.

Жауабы: 0,91.

8. Егер 1-есептегі машинаны қысқа тұйықтаса (мысалы, 0,001 омдық кедергімен), онда машинаның обмоткалары арқылы қандай ток өтеді? Оған сонда не болады?

Жауабы: ≈ 110 ампер.

9. Егер 4-есептегі машинаны қысқа тұйықтаса (мысалы, 0,001 омдық кедергімен), сол машина индукторының обмоткасы арқылы қандай ток өтеді? Сонда оған не болады?

10. Айнымалы токтың машиналарында не себептен өздігінен қозу қолданылмайды?

[1]) Телефон магнетосын индуктор деп те атайды.

11. Якорының кедергісі $r_я \approx 0{,}04$ омға, индукторының кедергісі $r_и = 20$ омға тең шунт машина, кернеуі 65 вольт болғанда, жұмысшы тізбекке $I = 30$ амперлік ток күшін береді, 1) индуктордағы ток күшін; 2) якорьдағы ток күшін; 3) якорьдың ЭҚК-ін; 4) индуктордағы жылу шығынын; 5) пайдалы әсердің электрлік коэфициентін табу керек.

Жауабы: 3,25 ампер; 33,25 ампер; 66,33 вольт; 0,88

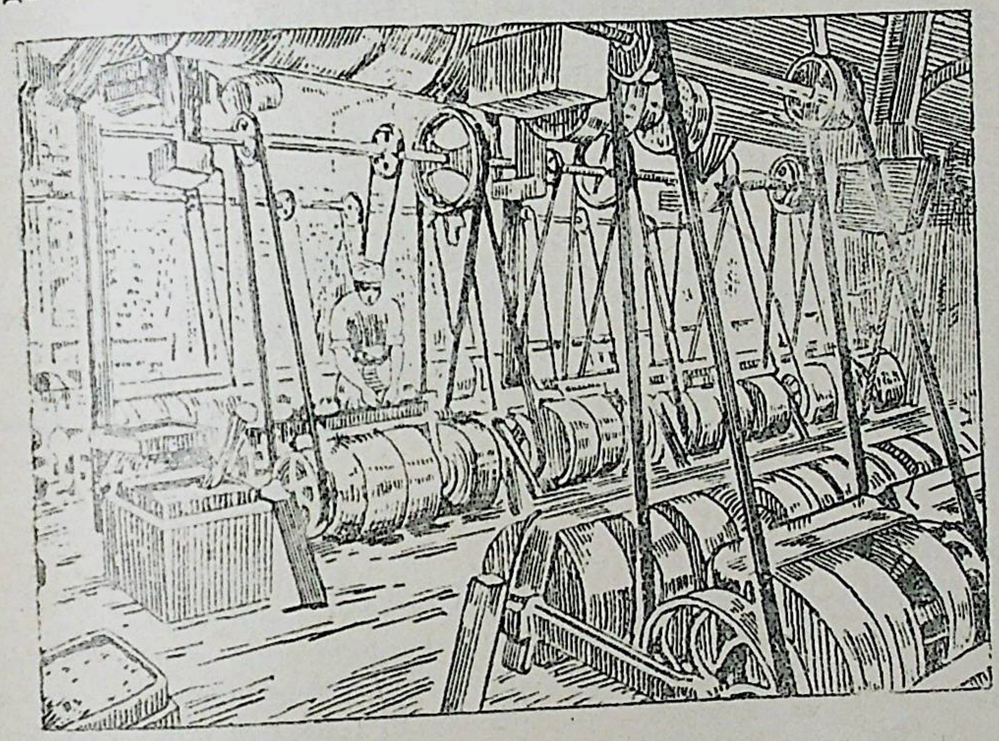
ОҚУШЫЛАРДЫҢ БІЛІМІН ТЕКСЕРУГЕ АРНАЛҒАН СҰРАУЛАР

1. Генератор қандай негізгі бөліктерден құралады?
2. Машинаның якорының формасы қандай болады?
3. Якорьдың өзегі қандай материалдан істеледі? Неге? Материалды таңдап алу неге байланысты болады?
4. Якорьда Фуко токтары қалай жойылады?
5. Магниттік өндірісте айналып тұратын рамада, қандай бағытты токтар пайда болады?
6. Рама қандай қалыптарда болғанда индукцияның ЭҚК нольге айналады?
7. Айнымалы ток деп нені айтады?
8. Айнымалы токтың периоды деп нені айтады?
9. Период ішінде ток өз бағытын неше рет өзгертеді?
10. Айналып тұратын рама қандай қалыптарға келгенде ЭҚК өзінің ең үлкен мәніне жетеді? Неліктен?
11. Айнымалы токтың ЭҚК графигінің түрі қандай?
12. Айнымалы ток машиналары қалай аталады?
13. Статор, ротор дегендер не?
14. Машинада айнымалы ток тұрақты токқа қалай түрлендіріледі?
15. Тұрақты ток машинасындағы пульсация неден болады?
16. Пульсацияны қалай жояды?
17. Якорьдың секциясы деген не?
18. Жеке секциялар бір-біріне қалай қосылады?
19. Пластинкалы коллектор деген не және оны не үшін істейді?
20. Машинаның өздігінен қозуы деген не?
21. Динамомашина деп нені айтады?
22. Қай уақытта динамомашина сериес, шунт, компаунд деп аталады?
23. Динамомашинаның әр типіндегі индуктор обмоткаларының қосылу схемасының суретін салыңдар.
24. Динамоның пайдалы қуаты деп нені айтады?
25. Динамоның толық қуаты деп нені айтады?
26. Машинаның электрлік берілісі деп нені айтады?
27. Машинаның өндірістік берілісі деп нені айтады?

125. Электромоторлар. Электр энергиясын механикалық энергияға айналдыратын машиналар электромоторлар деп аталады.

Двигательдердің басқа түрлеріне қарағанда электромоторлардың көп артықшылығы бар. Олар ауыр трансмиссияларды (162-сурет) қолдануды керек қылмайды, жалпы тізбекке ыңғайлы және көрінбейтін етіп жүргізілетін өткізгіш сымдар арқылы қосылады, орынды аз алады, қауіпсіз болады, сүйген моментте жүргізіледі, энергияны істейтін жұмысқа пропорционал жұмсайды, басқалары істемей тұратын болғанда әрбір жеке машиналарды жүргізіп тұра алады, қуатты ұсақтап бөлшектеуге мүмкіндік береді (мысалы, электрлік вентиляторда ат күшінің 0,1 іне дейін), сүйген үй-сарайда орнатуға болады (жылу установкаларында мұны істеуге болмайды) және өрт жағынан қауіпті жұмыстарда, мысалы, шахталарда, бұлар табылмайтын бағалы двигатель болып саналады.

Динамомашиналар өте қуатты электр энергиясын бере бастағаннан бері, электромоторлар өндіріс кәсібіне кең түрде қолдана бастады. Трамвайлар мен троллейбустар қалалық қоғам транспортының үлкен бөлігі болады; электровоздар темір жолдарда қолданылады; заводтардағы жүк тасымалдайтын крандар, адам тұратын үйлер мен складтардағы подъемниктер, соғыс кемелеріндегі зеңбірек оқтарын жеткізіп беріп тұратын подъемниктер электромотор арқылы қозғалады. Ремен жеткізгіштер арқылы фабриканың жеке станоктарымен жалғастырылған, не машинаның тура валына отырғызған электромоторлар қандай үлкен фабрика мен заводтың болса да барлық машиналарын қозғалта алады (163-сурет). Ауылдық жерлерде плугқа, молотилкаға, веялкаға, диірменге, сүт сепараторларына және колхоз бен совхоздардың басқа да толып жатқан ауыл шаруашылық құралдарына электромоторды пайдалануға болады. Электромоторлар тұрақты токпен де, айнымалы токпен де істей береді.

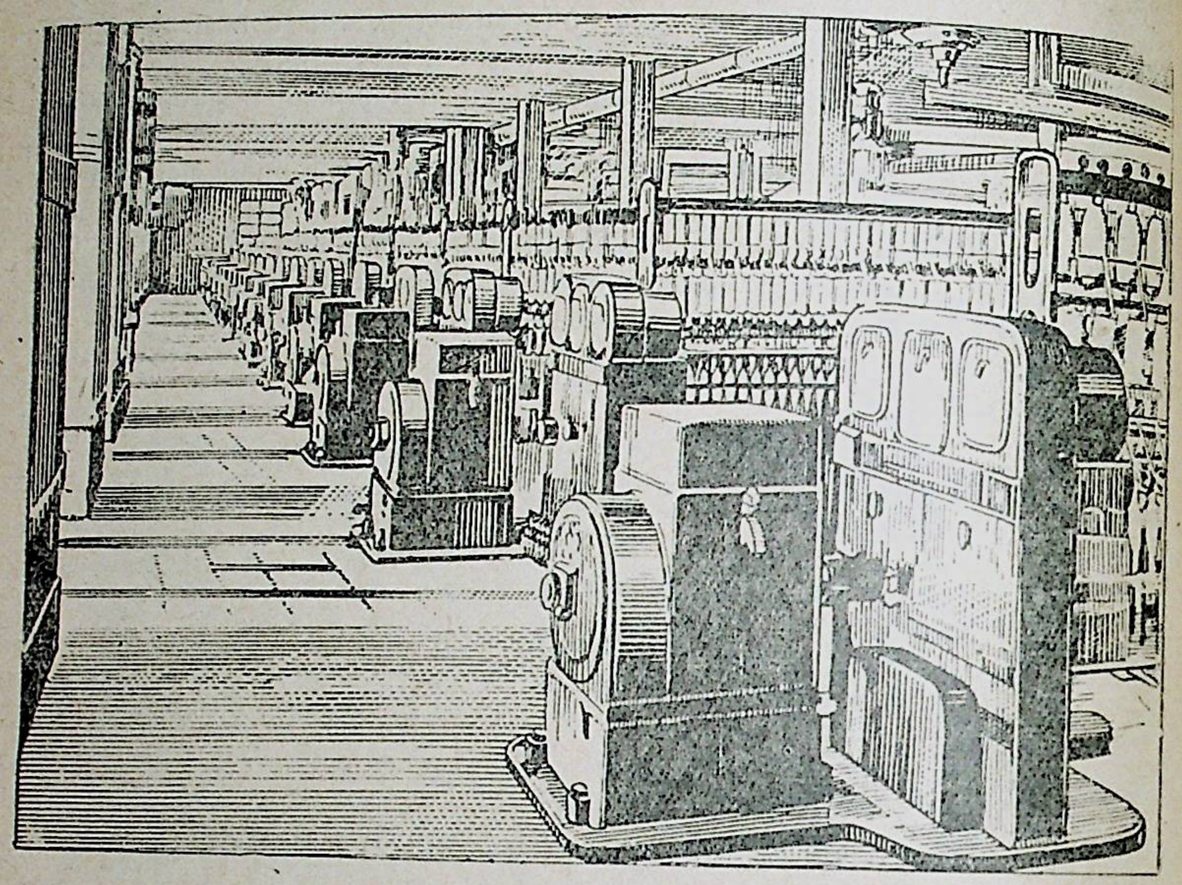


162-сурет. Ременді трансмиссия.

126. Тұрақты токтың электромоторы. Егер динамомашинаның якоріне щёткалар арқылы бөтен бір көзден ток жіберілсе, онда, магнит өрісі қоздырылып, якорь айналады. Дұрысында да тік, төртбұрыш обмотка арқылы сыртқы көзден бағыты 164-суреттегідей болатын ток өтетін болсын. Онда, магнит өрісінің әсерімен жылжымалы рама қозғалады; қозғалудың бағыты сол қол ережесімен анықталады.

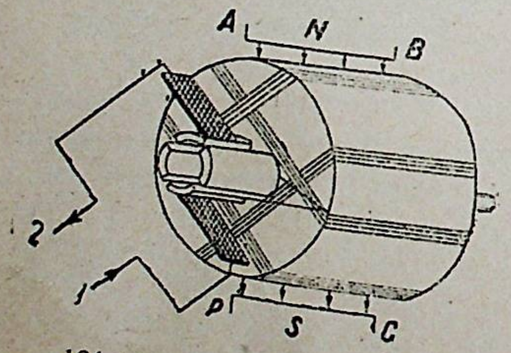
Обмотка секциялары көп болған кезде механикалық әсер күшейеді; ток келіп тұрған уақытта якорь айналып тұрады. Сонда, күш сызықтары мен токтың бағыттары берілген жағдайда якорьдің айналу бағыты, сондай ток беру үшін динамоны айналдыруға керек болатын бағытқа карама-қарсы болады.

Сүйтіп, динамомашина, *механикалық энергияны алып, электр энергиясын береді де, электр энергиясын алып, механикалық энергияны береді.*



163-сурет. Цехтың электрлік жабдықтары.

Мотордың якорі магниттік өрісте айналып тұрады; сондықтан онда динамомашинаның якорындағы сыяқты индукцияның ЭҚК қозады; бұл Ленц ережесі бойынша якорьді қозғалтатын токтың ЭҚК-іне қарама-қарсы болады. Бұл ЭҚК қарсы электр қозғаушы күш деп атайды. Оның шамасы якорьдың айналу жылдамдығына, яғни мотордың жүктелуіне байланысты болады да, қашанда якорьдегі токтың күшін кемітеді.



164-сурет. Электромоторға ток жіберу схемасы.

127. Мотор якорінің айналу бағытын өзгерту. Егер якорь обмоткасындағы токтың бағыты, не болмаса индуктордың магнит өрісіндегі күш сызықтардың бағыты өзгерсе, онда тогы бар өткізгіштің де қозғалу бағытының өзгеруі мүмкін; мұны сол қол ережесін қолданып білу оңай-ақ. Егер әлгі екі бағытты бірден өзгертсе, онда өткізгіштің қозғалысы өзгермейді.

Сондықтан, егер мотор якорінің айналу бағытын өзгерту керек болса, онда не якорь обмоткасындағы, не индуктор обмоткасындағы токтың бағыты өзгерсе болғаны.

128. Электромоторлардың пайдалы әсер коэфициенті. Егер мотордың қыскыштарындағы кернеуді U әрпімен, мотор арқылы өтетін толық токты I әрпімен белгілесек, онда электромотор тұтататын толық электрлік қуат былай өрнектеледі:

$$N = IU.$$

Бұл қуаттың бір бөлігі якорь мен индуктор обмоткаларын қыздыруға кетеді; сондықтан, якорь өндіретін қуат, тұтататын қуаттан Джоуль-Ленц формуласымен есептеп шығарылатын қуаттың шамасындай кем болады.

Якорь өндіретін қуатты N_1 әрпімен белгілейік.

Якорь өндіретін қуаттың мотор пайдаланатын толық қуатқа қатнасын пайдалы әсердің электрлік коэфициенті, не мотордың электрлік берілісі дейді:

$$\eta_э = \frac{N_1}{N}.$$

Бірақ, якорь өндіретін қуаттың бір бөлімі механикалық кедергілерді жеңуге, өзектер темірін магниттеу мен магнитсіздендіруге кетеді. Қуаттың бұл бөлімі мотордың жүгі болғанда да, жүксіз, салт істегенде де бірдей деуге болады; сондықтан, оны салт жүріске кететін шығын деп атайды. Якорьдің қуатынан мұны алып тастасақ, электромотордың валындағы нақтылы эффективті қуат шығады. Бұны $N_{эф}$ арқылы белгілейік.

Электромотор валындағы пайдалы эффективтік қуат пен электромотордың пайдаланатын қуатының қатнасын өндірістік беріліс деп атайды.

$$\eta = \frac{N_{эф}}{N}.$$

Тұрақты токтың электр двигательдерінің электрлік берілісі 70 пен 92% тің аралығында болады; жалпы алғанда, беріліс қуаттылығырақ двигательдерде артығырақ болады. Жүкті асырып жіберсе және кемітсе, беріліс кемиді.

VI. АЙНЫМАЛЫ ЭЛЕКТР ТОГЫ

129. Орам бір текті магнит өрісінде айналғанда ЭҚК-тің синусоидалық өзгеруі. Енді айнымалы электр тогының қасиеттерін толығырақ зерттеуге кірісейік.

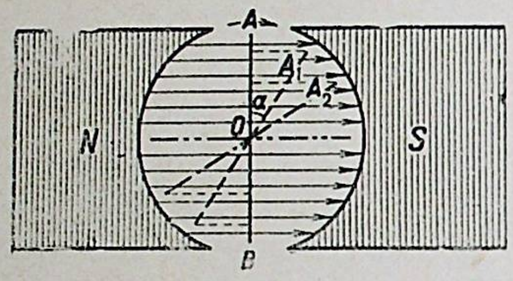
Жоғарыда (§§ 117, 118) біз сым орамы электромагнит өрісінде оборот жасаған кезде, айнымалы токтың пайда болатынын көрдік.

119-§ та біз жалпы түрде айнымалы ток генераторының құрылысымен танысып өттік.

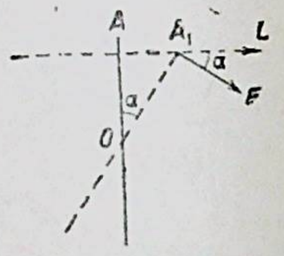
Енді, бір текті магнит өрісінде сым орамының бірқалыпты айналуы кезінде индукция ЭҚК-нің қандай заң бойынша өз-

теретінің бақылап қаралық. 165а-сурет NS электромагнитінің қуймасын, AB сым орамының көлденең қиймасын көрсететін болсын: сым қиймасының жазықтығы чертёжге және өрістің күш сызықтарына перпендикуляр болсын. Электромагниттік индукция турасындағы тарауда (§ 109), индукцияның ЭҚК-і өткізгіштің қозғалу бағыты мен күш сызықтары бағытының арасындағы бұрыштың синусына тура пропорционал болады, деп айтылған. Орамның, сурет жазықтығына A, A_1 A_2..., нүктелері түрінде проекцияланатын қабырғасы, әр моментте шеңберге жанама бойымен бағытталған жылдамдықпен қозғалады, мысалы, A_1 нүктесінде (165б-сурет) A_1F бағыты бойынша болады.

A_1F қозғалу бағыты мен магнит күш сызығы A_1L арасындағы бұрышы A_1AO бұрышына тең (қабырғалары өзара перпендикуляр болып келетін бұрыштар). Олай болса, орам магнит өрісінде айналғандағы индукцияның ЭҚК-орам жазықтығының нейтрал жазықтықтан ауу бұрышының синусына тура пропорционал болады деп аламыз; үйткені, индукцияның ЭҚК-і тәуелді болатын шамалардың бәрі де, орамның айналысы кезінде өзгермей тұрақты болып тұрады.



165а-сурет.



165б-сурет.

Орамның күш сызықтарына перпендикуляр қалыптан бұрылғандағы радианмен көрсетілген бұрышын айнымалы ЭҚК-тің фазасы деп атайды.

Егер индукцияның ЭҚК-нің ең үлкен мәнін E_0 арқылы белгілесек, онда оның кезкелген моменттегі мәні:

$$E = E_0 \sin \alpha$$ болады.

$\alpha = 0$ не $\alpha = \pi$ болғанда $E = 0$ болады; орамның қабырғасы күш сызықтарының бойымен сырғанап отырады да, индукция болмайды. Сондықтан, AB қалып нейтрал деп аталады. Егер $\alpha = \frac{\pi}{2}$ болса, онда $E = E_0$; орам қабырғасы күш сызықтарын перпендикуляр бағытпен кесіп өтіп тұрады да, ЭҚК-тің мәні ең үлкен болады; $\alpha = \frac{3\pi}{2}$ болғанда, $E = -E_0$ болады; мұнда индукцияның ЭҚК-і тағы да өзінің ең үлкен мәніне жетеді, бірақ бұрынғыға қарама-қарсы бағытта болады.

Егер орамның айналуы бірқалыпты болса, онда α бұрышы,

айналудың бұрыштық жылдамдығы ω мен t уақыт арқылы өрнектеледі: $\alpha = \omega t$.

Бұрыштық жылдамдық ω, айналу периоды T, не бір секунд ішіндегі оборот саны (айналу жилігі) ν арқылы өрнектеледі:

$$\omega = 2\pi\nu; \omega = \frac{2\pi}{T}; \alpha = 2\pi\nu t; \alpha = \frac{2\pi t}{T};$$ және $E = E_0 \sin \omega t$.

Әдетте айнымалы токтың генераторлары, айнымалы токтың T периоды секундтың $\frac{1}{50}$ іне тең болғандай етіп істеледі. Сонда, бір секунд ішіндегі ток бағыттарының өзгеру саны 100 ге тең болады.

Әрине, индукцияның ЭҚК-і мен уақыт арасындағы байланыс, синустың бұрышқа байланыстылығын көрсететін графиктің өзімен, яғни синусоидамен көрсетіледі.

Ондай синусоида 151-суретте көрсетілген.

Абсциссалар осіне, айналу периодының өзара тең бөліктеріне сәйкес келетін кесінділер салынған; ординаталар осіне ЭҚК-тің период бөліктерінің ұштарына сәйкес келетін мәндері салынған.

130. Электр энергиясын алысқа жеткізу. Әр фабрикада электростанция салғаннан гөрі, әртүрлі фабрикалардың электромоторларын бір орталық (централ) станция өндіретін токпен қоректендіргенөнімдірек болады. Бірақ, электр энергиясы шығарылатын орыннан, моторлар және жалпы айтқанда энергияны пайдаланушылар алыстағаn сайын электр жеткізетін сымдардың қызуына шығындалатын энергия да көбейе береді. Бұл шығынды өткізгіштің кедергісін кемітy жолымен, яғни оның көлденең қиймасын арттыру аркылы, кемітуге болар еді. Бірақ, бұл жағдайда сымдарға және бүкіл установкаға жұмсалатын материалдың бағасы өсетін болады; сондықтан, техника ток күшін өзгерту жолына түсті.

Токтардың кернеуі мен күшін өзгертіп түрлендіретін приборларды трансформаторлар деп атайды.

Бірінші трансформаторды 1882 ж. орыстың өзі оқып жетілген өнерпазы И. Ф. Усагин[1]) жасады.

Егер трансформатордан шыққан токтың кернеуі жоғарылап шығатын болса, онда оны жоғарылататын трансформатор деп атайды да, егер ток төмен кернеумен шығатын болса, онда төмендететін трансформатор деп атайды.

Алысқа жеткізерде айнымалы токты трансформациялау мәселесі былай орындалады. Ток генераторының қысқышында кернеу e вольт, ток күші I ампер болғанда, генератор Ie ватт қуат береді. Жолшыбай неғұрлым аз шығынмен оны пайдаланушыға жеткізу керек, бұл шығындар I^2 ка пропорционал, сондықтан токты трансформациялаудың міндеті, күші I токтың күшінен көп есе кем бо-

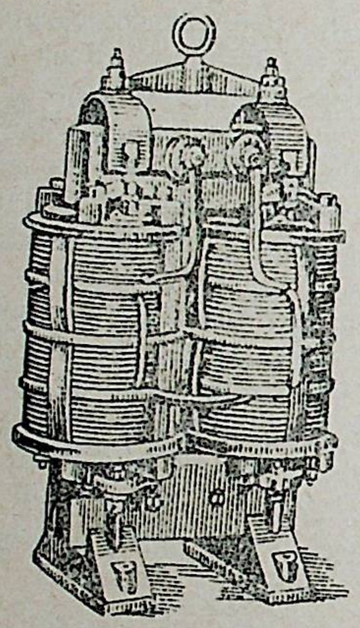
[1]) Усагин Иван Филиппович (1855 — 1919) орыстың өзі оқып жетілген талаша өнерпазы, Москва университетіндегі орыстың үздік шыққан физигі А. Г. Столетовтың ассистенті. И. Ф. Усагин электр тогының трансформаторын ойлап шығарды; трансформаторсыз осы кездегі барлық электротехника күнелте алмайды. Ол, жаңа конструкциялы сынапты насос жасады; түсті фотография облысында істеді: катод сәулелерін тексерді.

латын i күші бар токқа түрлендіру болады. Бірақ жеткізген қуат өзгермеуі үшін, жаңа токтың кернеуі E де сонша есе арттырылу керек. Генератор Ie қуат береді; бұл қуат трансформаторға келіп Ei қуатқа түрленеді, идеал жағдайда (трансформатор ішінде энергия шығындалмайтын болса):

$$eI = Ei \text{ болады.}$$

Аз ток күші i дің сымдардағы джоуль жылуына шығыны аз болады. Тұтынатын орында Ei қуат (мұнда ол шығынсыз[1]) алынған) екінші трансформаторға келеді де, ол трансформатор (идеал жағдайда) токты кері түрлендіреді, яғни $Ei = eI$ түрге келтіреді; қуатты бұл түрінде двигательдер және басқа да электр энергиясын тұтынушылар пайдаланады.

Жеткізу кезінде шығынды кеміту мақсатымен токты трансформациялау мәсілесі осы (дұрысында шығынды еске алып идеал түзетулер кіргізу керек).

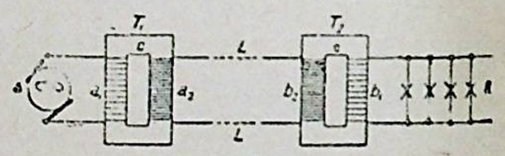


166-сурет. Трансформатордың сыртқы түрі.

131. Айнымалы токтың трансформаторы. 166-суретте айнымалы токтың трансформаторы, 167-суретте оның құрылысының схемасы мен токты трансформациялау схемасы көрсетілген.

Техникалық трансформатор, жеке темір табақтардан құралған, тік төртбұрыш қыймалы рама.

Тік төртбұрыштың бір қабырғасына a_1 катушка кигізіледі; бұл катушка жуан сымнан істеледі де, орам саны (w_1) аз болады; ал енді, тік төрт бұрыштың екінші қабырғасына, орам саны (w_2) көп болатын, жіңішке сымнан істелген a_2 катушка кигізіледі.



167-сурет. Электр энергиясын жеткізіп беру схемасы.

Электростанциядағы A алтернатордың қысқыштары T_1 жоғарылатқыш трансформатордың a_1 катушкасымен жалғастырылады. Оның екінші a_2 катушкасы сымдар арқылы екінші төмендеткіш T_2 трансформатордың b_2 катушкасымен жалғастырылады; соңғы T_2 трансформатор электр энергиясын пайдаланатын орында тұрады; бұл орын станциядан бірнеше жүз километрдей қашықта болуы да мүмкін. Екінші трансформатордың b_1 катушкасы, сымдар арқылы таратқыш тақтамен жалғастырылған; бұл тақта энергияны, пайдаланушыларға, мысалы завод моторларына не жарықтандыру сетіне таратып жіберіп тұрады.

[1]) Кернеудің жалғастырғыш сымдарда шығыны 15% ке дейін болуы мүмкін.

Генератордан a_1 катушкаға келетін токтың әрбір өзгеруінде темір рама T_1 бірде бір бағытпен, бірде оған қарама-қарсы бағытпен магниттеліп тұрады. Өзгеріліп тұратын магнит өрісі екінші реттік a_2 катушкада сәйкес бағытты ток туғызады. Бұл катушкада, өзгеруінің саны бірінші токтың өзгеру санына тең болатын, айнымалы ток өнеді. Бірінші реттік токта, әдетте, секундына 100 өзгеріс, яғни секундында 50 период болады, сонда екінші реттік токта да сонша период болады. Индукцияның ЭҚК-і, индукцияланатын a_2 катушкадағы сымының оборот санына тура пропорционал болады. E дегеніміз a_2 катушкадағы ЭҚК, ал e дегеніміз a_1 катушкадағы ЭҚК; сонда E нің e ге қатнасы, a_2 катушкадағы орам саны w_2 нің a_1 катушкадағы орам саны w_1 ге қатнасындай. Сондықтан,

$$\frac{E}{e} = \frac{w_2}{w_1} = \frac{\text{екінші реттік катушкадағы орам саны}}{\text{бірінші реттік катушкадағы орам саны}}$$

катнасы трансформация коэфициенті[1]) деп аталады.

Электростанцияда кернеуді жоғарылататын трансформатор қойылады.

Екі трансформатордың да a_2 және b_2 катушкаларымен және жалғастырғыш сымдар арқылы, периодты альтернатордағыдай болатын айнымалы ток өтіп тұрады. Бұл b_2 катушка арқылы өтетін айнымалы токтар екінші трансформатордың темірінде айнымалы магнит өрісін туғызады; бұл өріс өз тарапынан екінші трансформатордың b_1 катушкасында айнымалы индукциялық токтарды туғызады. b_1 катушкадағы орамдардың саны b_2 катушкасындағы орамдардың санынан неше есе кем болса, b_1 дегі кернеу b_2 дегі кернеуден сонша есе кем болады.

Екі катушкадағы қуат бірдейге жуық болғанда b_1 дегі ЭҚК b_2 дегіге қарағанда неше есе кем болса b_1 дегі ток күші b_2 дегіден сонша есе артық болады. Сонымен трансформатор, энергия пайдаланылатын орында кернеуді төмендетіп тұратын прибор болады. Мұндай төмендетудің керектігі мынау: электрмен жарықтандыру көбінесе 120 — 220 вольт кернеуге арналып істеледі.

Егер, мысалы, T_1 трансформаторында трансформация коэфициенті 200 ге тең десек, онда a_1 дегіге қарағанда a_2 де ЭҚК 200 есе артық, ал a_2 де ток күші a_1 дегіден 200 есе кем болады (қуаттар тең, яғни $eI = Ei$ болғандықтан). Ток күшінің 200 есе кемуімен қатар, сол өткізгіштегі джоуль жылуына шығындалу да $200^2 = 40\,000$ есе кемиді.

Дұрысында (жоғарыда келтірілген есептердегідей емес) аздықөпті энергия, қызудың салдарынан трансформаторда да жоғалады. Бірақ, трансформаторда айналып тұратын бөліктер болмайды.

[1]) Кейбір кітаптарда трансформация коэфициенті деп $\frac{w_1}{w_2}$ қатынасын айтады.

ды, ендеше үйкелуде болмайды, сондықтан, жалпы шығын жоқа таяу болады да, трансформатордың пайдалы әсер коэфициенті 98% ке дейін барады. Трансформатордағы кернеу өте зор болады; сондықтан, оны жақсы изоляциялау үшін ішіне май құйылған металл сауыттың ішіне орналастырады; бұл май да трансформатор обмоткаларында бөлініп шығатын жылуды әкетіп тұрады, яғни ол трансформаторды суытатын құрал болады.

132. Отанымызды электрификациялау. Физикалық тұрғыдан қарағанда, электрофикация дегеніміз энергияның әртүрлі формаларын шыққан орындарында электр энергиясына айналдырып, оны пайдаланылатын жеріне жеткізіп беру және сол жерде электр энергиясын пайдалану үшін керек формаға қайта айналдыру.

Электр энергиясын қашыққа жеткізудің мүмкіндігін, яғни механикалық жұмысты электр арқылы жеткізудің мүмкіндігін ең алғаш тағайындаған орыс ғалымы Д. А. Лачинов еді: ол 1880 ж. тұрақты электр тогы арқылы энергияны жеткізудің осы кездегі теориясының негізін жасап шығарды.

Электр энергиясын алыс жерлерге жеткізудің практикалық проблемасы, үш фазалы айнымалы ток машинасы деп аталатын, машинаның жасалуына негізделіп шешілді. Бұл машинаны бірінші жасаған орыс ғалымы және инженері М. О. Доливо-Добровольский[1]).

Өндіріс кәсібіне электромотор ендірілместен бұрын механикалық энергияның көзі, яғни жылу двигатель не бу двигатель, әрине фабрикаға мүмкінінше жақын орнатылатын еді; үйткені, валдар, шкивтер және ұшсыз (тұйық) ремендер жәрдемімен орындалатын бұрынғы трансмиссия азғантай қашықтыққа болса да энергия жеткізіп беруге мүмкіндік бермейтін еді. Сондықтан, өндіріс кәсіпті орындарға, двигательдерді қоректендіру үшін, отын тасып әкеліп тұру керек болатын еді.

Орталық бір жерден электр жеткізіп тұру болмаған кезде, өндіріс кәсібінің дамуы отын тасуды көп керек қылады. Отынды за-

---

[1]) Доливо-Добровольский Михаил Осипович (1862—1919) атақты орыс электротехнигі; ол үш фазалы айнымалы ток деп аталатын токтың барлық осы кездегі техникасының негізін жасады.

Үш фазалы айнымалы ток, кәдімгі үш айнымалы токтардың үйлесуі; бұл үш фазалы айнымалы токтың техникалық үстемдігін дәлелдеген М. О. Доливо-Добровольский. Ол, жер жүзінде бірінші рет үш фазалы айнымалы токтың генераторын, бірінші үш фазалы двигательді және бірінші үш фазалы трансформаторды жасады. Доливо-Добровольский 1891 жылы жер жүзінде бірінші рет, айнымалы үш фазалы электр тогының жәрдемімен көп мөлшерлі электр энергияны 175 *км* жерге жеткізу жұмысын орындады.

Сүйтіп, М. О. Доливо-Добровольский, үш фазалы айнымалы токтарды практика жүзінде қолдануды іске асырды; М. О. Доливо-Добровольскийдің бұл табысы, энергетика өндірісінде нағыз төңкеріс жасады; үйткені бұл табыстың арқасында электр тогының жәрдемімен энергияны алыс жерлерге жеткізу проблемасы іс жүзінде шешілді.

Содан бері қарай айнымалы үш фазалы ток электротехникада үстем орын алды да, бүкіл электрофикация проблемасында ең маңызды роль атқаратын болды.

М. О. Доливо-Добровольскийдің осы кездегі электротехникада қолданылып жүрген басқа да маңызды табыстары көп.

водтарға тасып жеткізу транспортты көп керек етеді және ол заводтарға өнімді жұмыс емес. Ал енді, электр энергиясы болса, ол онай және трансформация қолданылғанда, өте пайдалы тәсілмен жеткізіліп беріледі. Осыдан, күш установкасы орнатылған жерге, яғни фабриканың машина бөліміне, энергияны электр энергиясына айналдырып, мұны сымдармен пайдаланатын орынға жеткізіп беріп тұру керек деген пікірдің тууы табиғи нәрсе.

Энергияның арзан запастары есебінде отынның алыс жерге тасып жүруі пайдалы болмайтын, жергілікті аз калориялы түрлері пайдаланылады. Мұндай отынға жататындар: торф, қоңыр көмір, жанғыш сланецтер, көмір тозаңы, фабрика-завод өндірісіндегі қалдықтар.

Мысалы, біздің Одақта мынадай ірі станциялар салынады: Москва жанындағы Шатура станциясы мен Горький станциясы, бұлар генераторлардың двигательдеріне торф жағады; Қашира, Бобрики тағы басқа станциялар, бұлар жергілікті қоңыр көмірлермен жұмыс істейді; Зуев станциясы, бұл мұнайдан шыққан продуктыларды, газдарды жағады т. с. с.

Ең арзан энергия — құлап ағатын судың энергиясы. Сондықтан, ғажап ірі электростанцияларды біз құлама сулардың жағаларында көреміз: Америкада Ниагараның екі жағасында, Африкада Замбези өзенінің бойында, Швейцария, Швеция, Норвегияның таулы жерлерінде. Біздің Одағымызда: Волховта установка, яғни Волхов гидростанциясы жасалды. Днепрде — Днепр станциясы жасалды және басқа өзендерде де станциялар салынды. Кавказда да установкалар бар.

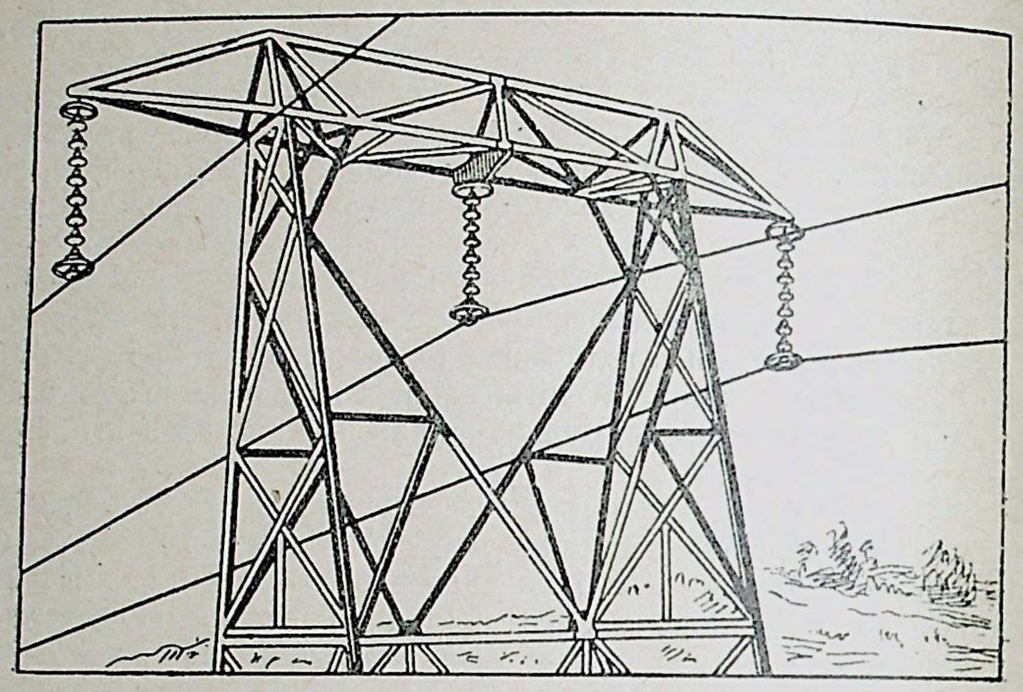
Құлап түсетін судың қуаты гидростанцияның жәрдемімен пайдаланылады. Белгілі бір биіктіктен құлап түсіп тұратын су тұрбалармен гидростанцияға келеді. Мұнда ол, су турбинасына барады да, оған өзінің энергиясының көбін беріп, турбинаны шапшаң айналдырады. Турбинаның валына генератордың айналатын бөлігі кигізіледі; генератор турбинаның механикалық энергиясын электртрлік энергияға айналдырады; неғұрлым генератор үлкен қуатқа арналған болса, солғұрлым оның пайдалы әсер коэфициенті де үлкен болады.

Электр энергиясы трансформаторға келіп, онда азырық қана шығындап, жоғарғы кернеулі ток түрінде шығады. Осы түрінде энергия бірнеше жүз километрлік алысқа жеткізіледі (168-сурет) де, одан кейін төмендететін трансформаторға түседі де, одан әрі пайдаланатын орындарға таратылады.

Волховтағы трансформатор 120 000 вольтке дейін баратын жоғарғы кернеу береді. Ленинградта сыртқы сақыйнада, әуелі кернеу 120 000 вольттен 35 000 вольтке дейін төмендейді де, сонсоң қаланың ішкі 7 подстанциясында 35 000 вольттан 6 600 вольтке, не 3 300 вольтке дейін төмендейді.

Владимир Ильич Лениннің инициативасымен, Сталин жолдастың қолдауымен жасалған электрификацияның бірінші жоспары — ГОЭЛРО жоспары, техника жағынан артта қалған патшалық Россияны алдыңғы қатардағы индустриялы елге айналдыратын социа-

листік жоспар деп аталған болатын. Владимир Ильич Ленин мен Иосиф Виссарионович Сталин электрификация, біздің елімізде социализмнің жеңуіне сөзсіз керекті шарт болып табылады деп есептеген.



168-с у р е т. Жоғары кернеулі токты жеткізіп беру үшін қолданылатын мачталар.

Электрификацияның бірінші жоспары — ГОЭЛРО жоспары бойынша 10 — 15 жылдың ішінде, қуаты 1,5 миллион киловатт болатын 30 аудандық электростанциялары салынбақ болған. Ленин біздің Отанымызды электрификациялау деген идеясының толық орындалуын көре алмай кетті. Бірақ Лениннің істеп үлгіре алмағанын оның шәкірттері істеуге тиіс деген Сталин жолдас. Ленин ісін алға апарушы, біздің партиямыздың ұлы көсемі Сталин жолдастың басшылығымен ССРО-ның электрификация жоспары тек орындалып қана қойған жоқ, артығымен орындалды. 1932 жылдың өзінде-ақ, аудандық электростанциялардың қуаты 2866 мың киловатт болды. Екінші бесжылдықтың өзінде аудандық электростанцияға екі миллионнан артық жаңа қуат қосылады. Екінші бесжылдықтың ішінде электростанциялардың қуаты 4677 мың киловаттан 8116 мың киловатқа шейін өсті.

Сталиндік бесжылдықтардың орындалуының нәтижесінде Советтер Одағы соғыс алдындағы жылдарда электроэнергияны өндіру жағынан алғанда дүние жүзіндегі ең бірінші орынға шыққан еді. Ұлы Отан соғысының алдында, яғни ГОЭЛРО жоспары жасалғаннан 20 жыл кейін өнеркәсіп продукцияларының мөлшері, әсіресе ауыр өндірістің продукцияларының мөлшері және де электростанциялардың қуаты ГОЭЛРО жоспары тағайындаған тапсырмадан бірнеше рет артылды.

Неміс фашистері оккупацияға ұшыраған аудандардың электр

шаруашылығына өте ауыр зиян келтірді. Бұл аудандарда олар, жалпы қуаты 5 *млн.* киловатт шамасында 61 ірі және толып жатқан ұсақ электростанцияларды қопарып, өртеп және жартылап бұзып кетті. 10 мың километрдей жоғары вольттік электр жеткізу линияларын қатардан шығарып кетті және 14 мың бу котелдерін, 1 400 турбиналарды, 11 300 электрогенераторларды Германияға тасып әкетті.

Бүлінген электростанциялардың ішінде Днепрогэс, Зуев, Штер, Солтүстік-Донец, Курахов, Несветаев, Днепродзержинск, Кривожск, Шахт электростанциялары бар және бұлардан басқа оңтүстік көмір-металлургия базасының ірі электростанциялары, Харьков, Киев, Воронеж, Сталинград электростанциялары бар және тағы басқа да көп электростанциялар бар.

Жергілікті мәні бар станциялардың бәрі де, яғни завод, коммунал, аудан станциялары, бірыңғай системада жалпы пайдаланатын станциялар болады. Олар энергияны бір сетьке арнап шығарып тұрады да, энергияны жоспары бойынша бір центрден пайдаланушыларға таратады.

Болашақта электр системаларының бірыңғай сақыйнасымен, бірінен-бірі алыс жатқан райондарды (Орал-Кузнецк, Шығыс Сибирь, Орта Азия, Украина, Орталық-Өндіріс кәсіп облысы тағы басқаларды) қоршап алу белгіленіп отыр.

Ленинградтан Владивостокқа, Архангельскіден Закавказьяға тартылатын бірыңғай сеть идеясы социалистік шаруашылықтың жағдайында ғана жүзеге аса алады.

Энергияны социалистік пайдалануда бір центрден электрмен жабдықтау, істің тек бір бөлігі ғана болады.

Сондықтан, екінші бесжылдықтың теплофикация мәселесі тығыз қойылды. Бұл мәселе екіге бөлінеді.

Біріншіден, ірі күш станцияларында жұмыс істеп шыққан жылуды комбинацияланған жылу-сыйымды өндірістерде, мысалы, химия өндірісінде пайдалану, не болмаса ол жылуды төніректегі халықтың мұқтажына, яғни үйлерін жылытуға, тамақ өндіріс кәсіпбіндегі фабрика-кухняларға, централизацияланған кір жуу үйлеріне, тағы сондайларға жұмсау.

Екіншіден, өндіріс кәсіптің және ауыл шаруашылық өндірісінің барлық жергілікті жанғыш қалдықтарын (ауыл шаруашылығында, мысалы, солом, лузга, тағы басқаларды) централизация жолымен жылуға айналдырып, ол жылумен жергілікті электростанцияны жабдықтау керек те, онда жұмыс істеп шыққан жылуды үй тұрмысының керегіне пайдалану қажет.

Бірде сумен, бірде көмірмен, бірде өндіріс қалдықтарымен істейтін әртүрлі станцияларды бір сақыйнаға біріктіру арқасында, теплофикация мен электрификацияның бірыңғай теплоэлектроцентрал байланысы арқасында, өндіріс кәсібі Одақта генеральный жоспар бойынша ұя-ұя, не комбинат-комбинат болып орналастырылуы керек. Өзара өңдеу процесімен байланысқан өндірістер біріктіріледі; мысалы, Орал-Кузнецкий кені мен көмір комбинаты сондай. Электр сыйымдылығы мол өндірістер гидростанциялармен,

жылу сыйымдылығы мол өндірістер теплоэлектростанциялармен комбинацияландырылады. Мысалы, Днепр гидростанциясы жанынан алюминий заводтары салынды, үйткені алюминий балқыту жұмысы электр энергиясын көп керек қылады және неғұрлым электр энергиясы арзан болса, солғұрлым балқыту жұмысы да пайдалырақ болады.

Жер жырту, астық жыйнау, астық бастыру, электрмен сыйыр сауу, электрмен қой қырқу, электроинкубаторлар, электрмен буландыру қазандары, мал азығын даярлайтын аппараттар, мал қораларын сумен жабдықтау және оларға вентиляция жасау, сыйырлардың үстін тазарту, сүтке стрелизация жасау және оны жылыту, электр жарығы культуралары, жәндіктер мен өсімдіктерге ультракүлгін сәуле түсіретін аппараттар (§ 208), тағы сондай шаралар ауыл шаруашылығын электрификациялау арқылы жүзеге асады.

Электрификацияны қолдаушы буржуазиялық адамдар өздері де, буржуазия елдерінде, көбінесе жеке бастың қамын, не ешбір экономикалық негізі жоқ саяси жағдайларды ойлаушылықтың салдарынан экономика жөнінен қолайлы бірлестіктер жасауға мүмкіндік жоқ деп еріксіз мойындарына алады.

Басқа жағдайлардағы сыяқты, мұнда да өндіру күштері өндірістік қатнастарға қайшы келеді.

Энергетика шаруашылығының осындай бірыңғай системасының проектін тек социализм ғана жасай алады.

«Электрификация — социализмнің техникасы».

Соғысты жеңіспен аяқтап шығып, совет халқы өзінің бейбіт жұмыстарына қайтадан кірісті; совет халқының көздегені соғыс кесепатын болған барлық жараларды өте тез арада түгел емдеп жазып алу және бүкіл ССРО халық шаруашылығын бұдан әрі өркендету. Электрификацияны дамыту, соғыстан кейінгі сталиндік бірінші бесжылдықтың жоспарында үлкен орын алып отыр. Біздің алдымызда тұрған ғажап ірі мақсаттар жөнінде ССР Одағының халық шаруашылығын қалпына келтірудің және өркендетудің бесжылдық (1946 — 1950 жылдар) жоспары туралы заң былай дейді.

«Электрлендіру жөнінде электр станцияларын қалпына келтіру, жаңадан салу тездетілсін, сөйтіп электр станциялар қуатының өсуі басқа салалардың қалпына келтірілуін және өркендетілуін басып озғандай болсын. Электр энергиясының жоғары сапалы болуын қамтамасыз ететін, электр станцияларының жұмысы бәсең жүргізілуіне жол бермейтін, энергосистемаларда тұрақты қуат қоры жасалсын. Электр энергияның өнімі 1950 жылы 1940 жылғыдан 70 процент артық болсын.

Басқыншылыққа ұшырағаң аудандарда электр станциялары толық қалпына келтірілсін, ССР Одағының барлық электростанцияларында бесжылдық ішінде 11,7 миллион киловатт қуат қосылып, электр станцияларының қуаты 1950 жылы 22,4 миллион киловатқа жеткізілсін.

Гидроэлектр станцияларын салу өрістетіліп, халық шаруашылығында электр энергиясын өндіру жөнінде гидроэлектроэнергиясының сыбағалы салмағы мейлінше арттырылсын. Бесжылдықтың

ішінде жалпы қуаты 2 300 мың киловатт гидроэлектр станциялары жүргізілсін.

6 гидроэлектр станциялары, оның ішінде Ленин атындағы Днепр гидроэлектр станциясы қалпына келтірілсін. 30 гидроэлектр станциялар салынып болсын. Бірінші кезектегі 8 гидроэлектр станциялары салынып жұмыс істейтін болсын және жаңадан 5 ірі гидроэлектр станцияларын салу қолға алынсын. Днепр және Сырдария өзендері бойында жаңа гидроэлектр станцияларын салуға даярлану үшін жобалап зерттеу жұмыстары жүргізілсін.

Жергілікті маңызы бар гидроэлектр станцияларын қалпына келтіру, жаңадан салу жұмыстары кең өрістетілсін, мұның үшін ең алдымен кәзіргі бар плотиналар пайдаланылсын. Шағын гидроэлектр станцияларында бір миллион киловатт қуаттың жұмысқа қосылуы қамтамасыз етілсін.

Москваның, Донбастың, Днепр бойының, Киевтің, Харьковтың, Львовтың, Одессаның, Николаевтың, Севастопольдың, Новороссийскінің, Краснодардың, Грозныйдың, Сталинградтың, Воронеждың, Брянскінің, Калининнің, Минскінің, Вильнюстің, Риганың, Таллиннің, Петрозаводскінің жылу электр станциялары мен электросеті қалпына келтірілсін.

37 аудандық жылу электр станциялары, соның ішінде 21 жылу электроцентраль салынып бітіп, іске қосылсын. Москва, Горький, Иваново, Ярославль энергосистемасындағы электростанциялардың қуаты мен электр энергиясын тұтынудағы алшақтық жойылсын.

Өнеркәсіпте жеке автоматты электр приводының кеңінен қолданылуы қамтамасыз етілсін және жұмыс машиналарының аткару тетігімен тығыз байланысты электр приводын бірте-бірте қолдану жүзеге асырылсын. Жеңіл металдар мен түсті металдар өндіруде, қоспа болат, химия бұйымдарын өндіруде және металл өңдеуде электр технологиясы кеңінен қолданылсын.

Өнеркәсіп бұдан былай да электрлендіре берумен қатар, темір жол транспорты мен ауыл шаруашылығын неғұрлым толық электрлендіруге көшу қамтамасыз етілсін. Селолық жерлерде шағын гидроэлектр станциялар, желмен жүретін станциялар және локомобиль двигателімен, газогенератор двигателімен жүретін жылу электростанциялары көп-көптеп салынып қамтамасыз етілсін. Москва, Ленинград, Киев, Харьков, Свердловск, Дондағы Ростов қалаларында теплофикация жұмысы әрі қарата өрістетілсін.

Электр станцияларында ең жаңа энергетика техникасы: қысымы және температурасы жоғарғы бу, ең жаңа теплофикациялық турбиналар және котёлдердің, генераторлардың, жоғары вольтты аспаптардың ең жаңа түрлері кеңінен колданылсын. Электр станциялары мен электр сеттерінің өндірістік процестерін толық автоматтандыру жұмысы кеңінен өрістетілсін; алдымен гидростанцияларын толық автоматтандыру жұмысы жүргізілсін.

Жоғары кернеулі тұрақты ток арқылы электр энергияны алыс жерге жеткізу жұмысы ғылми-эксперимент жолымен зерттеліп, жүзеге асырылсын».

1950 жылдың август және сентябрь айларында ССРО Министр-

лер Советінің Волга өзенінен, қуаты 2 000 000 *квт* және орта есеппен өндіретін жылдық энергиясы 10 000 000 000 *квт-сағат* шамасында Куйбышев гидроэлектростанциясын; Волга өзенінен қуаты 1 700 000 *квт-сағат* және орта есеппен өндіретін жылдық энергиясы 10 000 000 000 *квт-сағат* шамасында Сталинград гидроэлектростанциясын; Днепр бойынан қуаты 250 000 *квт* және орта есеппен өндіретін жылдық энергиясы 1200 000 000 *квт-сағат* шамасында Каховк гидроэлектростанциясын, ақырында Түркменнің басты каналына, қуаты 100 000 *квт-сағат* үш гидроэлектростанциясын салу жөнінде қаулысы болды.

Алғашқы екі станция бірлесіп жылына Москва қаласының өнеркәсіптеріне 10 000 000 000 *квт-сағат,* облыстардың өнеркәсіптеріне 1600 000 000 *квт-сағат,* Волга және Каспий маңындағы жерлерді суаруға 3 500 000 000 *квт-сағат* су береді. Сол сияқты салынып жатқан басқа гидроэлектростанциялар Украинаның, Қырымның, Түркменстанның құрғақшылық облыстарында ауыл шаруашылықты көтеру үшін энергия бермек.

Электрификацияның осындай кең түрде жасалған ірі жоспарын орындау, физиканың және физикаға негізделген техниканың алдына бірқатар өте күрделі міндеттер қояды.

Ол міндеттер мыналар:

1) Жеткізіп беруде энергияның шығынын кеміту үшін, берілетін кернеуді 400 — 600 киловольтке жеткізу.

Біздің Одақта 1 миллион *квт* қа жуық қуатты 1 мың *км* ге, тіпті, 2 мың *км* жерге жеткізіп беру белгіленіп отыр. Мұндай жеткізу, жіберілетін токтың кернеуін 400 не 600 киловольтке мүмкін, тіпті, одан да артыққа жеткізе көтеруді керек қылады.

Бұл майданда зерттеулер жүргізу үшін, ғылыми мекемелердің төтенше жоғары вольтті кернеулер беретін трансформаторлары болу керек. Дұрысында да, Москвадағы энергетика институтының жоғары кернеулер лабораториясында 1 000 000 вольт беретін трансформатор орнатылған. Мұндай трансформаторлар Москвадағы Бүкілодақтық эксперименттік электротехника инситутының лабораториясында және Ленинградтағы физика-техника Электротехника институттерінің лабораторияларында бар.

2) Осындай кернеулерге төтеп беру үшін материалдардың изоляциялық сапасын арттыру.

Академик А. А. Чернышёвтің мәліметтері бойынша, айнымалы токты жеткізіп беру линиясының жалпы бағасы, тұрақты токты жеткізіп беруге керек болатын жабдықтардың бағасынан екі есеге жуық артық болады. Осыдан, тұрақты токты қашықтыққа жеткізіп беру проблемасы туады.

133. Днепр гидростанциясы. Днепр станциясы — Днепр өзеніндегі іргелі құрылыс; оның мақсаты, бір жағынан Днепр өзенінің Днепропетровский мен Запорожье қалалары арасындағы шоңғал- сарқырамалы бөлігінің энергиясын пайдалану да, екінші жағынан Днепрдің бұл бөлігін кеме жүре алатын ету. Бұл проект 1927 жылдан орындала бастады да, 1933 жылы станция жұмыс істей бастады.

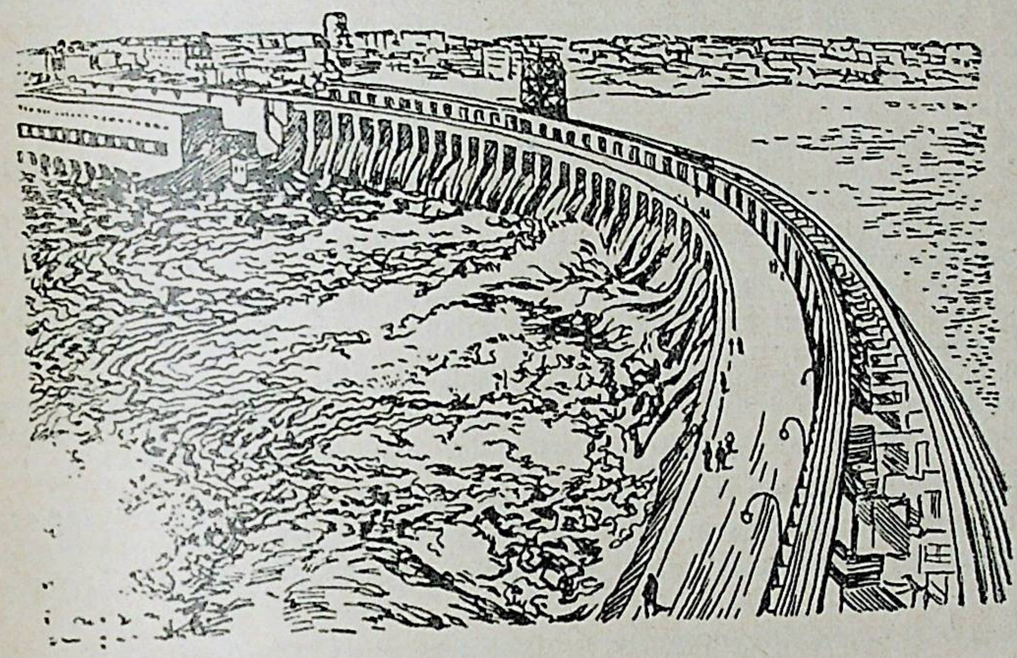
Плотина, су ағып өтетін өзен арнасының бүкіл 760,5 *м* лік енін алып тұрады да тіреулермен 47 пролетке бөлінеді; су құлап түсетін биіктік 37 *м*.

Су расходы 20 400 $м^3/сек$.

Оң жақ жағада плотинаға күш станциясы жанасып тұрады (169-сурет).

Станцияның қуаты ≈ 600 000 *квт*.

Су аз болатын жылдары қыстың күндерінде тек 184 000 *квт* қа жуық қуат береді; жетпейтін қуат бу станциясынан алынады.



169-сурет. Днепр плотинасының көрінісі.

Станцияда әрқайсысы 66 000 *квт* тан 9 турбогенератор орнатылған. Әр турбогенератор, үш фазалық генераторымен тура біріктірілген френсистің вертикаль турбинасынан құралған. Әр генератор 13 800 вольттік кернеу береді. Пайдаланушыға жеткізіп беру үшін, бұл ток 165 000 V тоққа трансформацияланады, 9 үлкен турбинадан басқа жергілікті керек-жарақ үшін әрқайсысының қуаты ≈ 2 500 *квт* тан 2 кішкене турбина қойылған. Станцияның жалпы ұзындығы 242 *м*.

Айуан құлықты фашистер Днепр жағалауын уақытша оккупациялағанда совет техникасының мақтанышы — осы ғажап мүлікті бүлдіріп кетті. Бірақ, совет адамдарының жігері мен қуатының арқасында фашистер қуылғаннан кейін өте аз уақыттан соң-ақ Днепр гидростанциясы қайтадан жаңғыртылды.

Әдебиет. Кузнецов Б. Г., Очерки по истории электротехники.
Лебедев В. И., Электричество, магнетизм и электротехника в их историческом развитии.
Рудометов, Русские электротехники.
Радовский М., Фарадей (жизнь замечательных людей).
Шаховская Н. и Шик. М., Загадка магнита. Повесть о жизни и трудах Майкла Фарадея.

Лебединский В. К., проф., Беседы об электричестве.
Миткевич В. Ф., Электрическая энергия.
Оношко Л. М., Электрическая энергия, её источники, свойства и применения.
Гумилевский Л., Русские инженеры.
Горячкин Е. Н., Переменный ток.
Зибер В. А., Приключение юных электриков. Электричество в быту.

17-жаттығу.

1. Егер 6000 *вт* электрлік қуатты 110 V және 220 V кернеуде жеткізіп беретін болсақ, сыбағалы кедергі бірдей болғанда әлгі екі жағдайдағы сымдардан көлденең қималарының қатнасы қандай болу керек?
2. Кернеуі 120 V болатын айнымалы токтың жарықтандру сетіне, кернеуді 8 вольтке дейін төмендететін, трансформатор қосылған. Оның екі обмоткасындағы орамдар санының арасындағы қатнасты табыңдар.
3. Не себептен трансформатордың өзегі жұмсақ темірден істеледі?
4. Не себептен трансформатордың өзегін темірдің тұтас кесегінен істемейді?
5. Трансформатордың тұйық формасының артықшылығы қандай?
6. Кернеуі 35 000 V айнымалы токтың линиясына қосылған трансформатор, екінші обмотканың қысқыштарының арасында 6 600 V кернеу береді. Трансформацияның коэфициентін табу керек.
7. Бірінші реттік обмотканың орамы 20; трансформация коэфициенті 16 болатын, жоғарылатушы трансформатордың екінші обмоткасында неше орам бар, соны табыңдар.
8. Жоғарылатушы трансформатордың бірінші реттік обмоткасында 80 орам, екінші обмоткасында 1 280 орам бар. Егер бірінші обмотканы 115 V кернеумен қосса, онда екінші обмотканың қысқыштарында қандай кернеу болады?

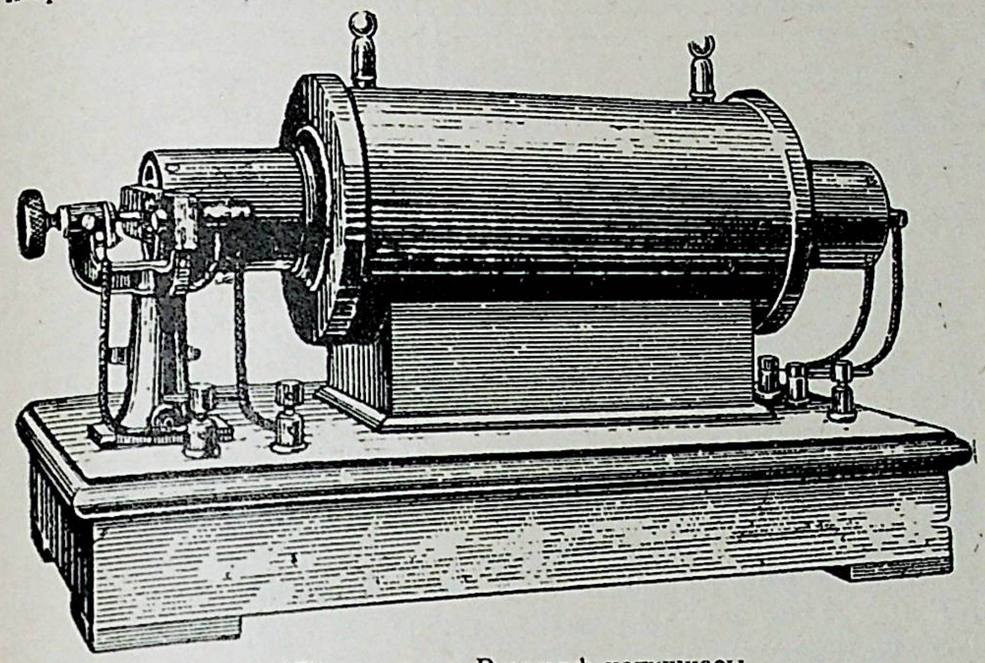
134. Румкорфтың индукциялық катушкасы. Кернеуді жоғарылататын трансформаторлардың екінші бір түрі — Румкорф істеген катушка; бұл катушка сол Румкорфтың атымен аталады (170а-сурет).

Индукциялық катушканың бірінші арналуы кернеулігі жоғары айнымалы токты трансформациялау; одан басқа, индукциялық катушка тұрақты токты жоғарғы кернеулі айнымалы токқа түрлендіру үшін де қолданылады. Бірақ, тұрақты ток тұйықталу не айырылу моменттерінде ғана индукциялық ток туғызады; сондықтан тұрақты токты трансформациялау үшін, оны *үздікті* токқа айналдыру керек. Тұрақты токты үздікті токқа әртүрлі үзгіштердің жәрдемімен түрлендіреді; үзгіштердің ішіндегі ең жабайысы — *балғашалы* үзгіш.

Румкорф катушкасы (170б-сурет) *NS* өзекшесінен яғни жұмсақ темірден істелген шыбықтар шоғынан құралады; өзекшеге бірінші реттік обмотка катушкасы A_1B_1 кигізіледі; ол, кедергісі аз жуан сымнан істеледі де, орамының саны аз болады; бірінші реттік катушкаға одан изоляцияланған, екінші реттік катушка A_2B_2 кигізіледі; ол өте жіңішке сымнан істеліп орамының саны көп болады. Екінші реттік обмотканың ұштары сыртқа шығарылады.

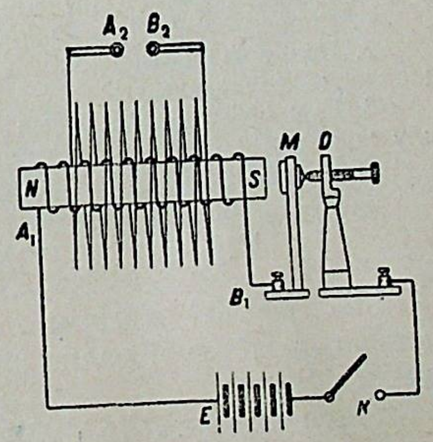
Қатушка өзегінің алдындағы серпімді пластинкаға *M* балғашасы бекітіледі; балғашаның басы жұмсақ темірден істеледі. Серпімді пластинка, балғашаның басын, подставка үстіне бекітілген *D* винтіне қысып, тиістіріп тұрады. Балғашаның табаны, бірінші реттік обмотканың бір ұшына қосылған. Ток көзі *E* бірінші реттік обмотканың екінші ұшына және винттің табанына қосылады.

Бірінші реттік обмоткадағы токты тұйықтағанда, өзек магниттеліп, балғашаны тартады да, оны винттен айырып жібереді. Балғашаның тартылу нәтижесінде, балғашаның винтке алғашқы жанасқан жерінде тізбек үзіледі; ток тоқталады да, өзектің магниттелуі



170а-сурет. Румкорф катушкасы.

жойылады; балғаша аяғының серпімділігі, оны өзектен айрып жібереді де, винтке қайтадан тиістіреді. Балғаша винтке тиіскендіктен ток тағы тұйықталады да, әлгі сыйпатталған құбылыстардың бәрі қайталай береді. Сонымен бір секунд ішінде балғаша неше тербеліс істесе, бірінші реттік ток сол уақыттың ішінде сонша рет тұйықталып, айырылып тұрады.

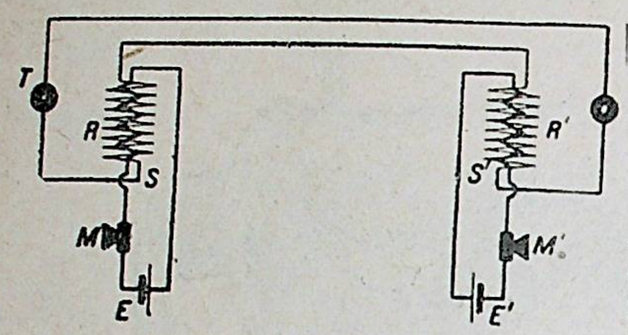


170б-сурет. Румкорф катушкасы құрылысының схемасы.

Бірінші реттік катушкадағы токтың әрбір тұйықталуында екінші реттік катушкадағы токпен бағыттас ток индукцияланады. Неғұрлым екінші реттік катушканың орамдарының саны, бірінші токтың күші бірінші токтың үзілістер саны көп болса, солғұрлым екінші реттік катушкадағы индукцияның ЭҚК шамасы да үлкен болады. Индуктор үлкен болып, екінші реттік обмоткадағы сымның ұзындығы ондаған километр болғанда және үзгіш жақсы болғанда (секундына 1000 нан артық үзіліс беретін болғанда), екінші реттік обмотканың ұштарының арасындағы кернеуді бірнеше жүз мың вольтке жеткізуге болады. Румкорф катушкалары ғылми зерттеулерде және техникада қолданылады. Электродің газдар арқылы өтуі, сәулелердің жаңа түрлерін табу, электромагниттік тербелістерді қоздыру, тағы сол сияқты мәселелер жөнін-

дегі, соңғы жарты ғасырдың ішіндегі, өте ірі ғылми табыстар осы катушкалардың жәрдемімен істелді.

Индукциялық катушкалар телефон техникасында қолданылады. Беруші станцияның микрофонына қорек беретін токты, тура қабылдағыш станцияларға жібермейді, индукциялық катушканың бірінші обмоткасына жібереді: оның екінші обмоткасын екінші станцияның телефонымен — қабылдағышымен косады. Микрофондағы—жіберушідегі ток күші өзгергенде, индукциялық катушкада айнымалы токтар қоздырылады; бұл токтар екінші станцияның телефонына—қабылдағышына келіп, ондағаи мембраны тербелтеді.



171-с у р е т. Телефон станцияларын қосу схемасы.

Екі станцияны (шақыру қоңырауынсыз) өзара қосу схемасы 171-суретте көрсетілген; мұнда M мен M'—екі станцияның микрофондары, T мен T' — олардың телефондары, E мен E' — батареялар, S пен S' индикаторлардың бірінші реттік, R мен R' екінші реттік катушкалары. Қосу әдістері суреттен түсінікті.

ОҚУШЫЛАРДЫҢ БІЛІМІН ТЕКСЕРУГЕ АРНАЛҒАН СҰРАУЛАР

1. Токты трансформациялау қалай болады?
2. Айнымалы токтың трансформаторы қалай істеледі?
3. Трансформатор өзегі қандай материалдан істеледі? Неге?
4. Трансформатор өзегінде Фуко токтары қалай жойылады?
5. Кернеуді жоғарылататын, төмендететін трансформатор деп нені айтады?
6. Трансформация коэфициенті деп нені айтады? Ол қалай есептеледі?
7. Румкорф катушкасының құрылысы қандай, ол неге арналған, қандай жерлерде қолданылады?
8. Румкорф катушкасының екінші обмоткасында индукциялық ток шығарып алу үшін оның бірінші обмоткасындағы токты қандай токқа түрлендіру керек?
9. Елімізді электрификациялау деген не?

VII. ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТЕРБЕЛІСТЕР[1])

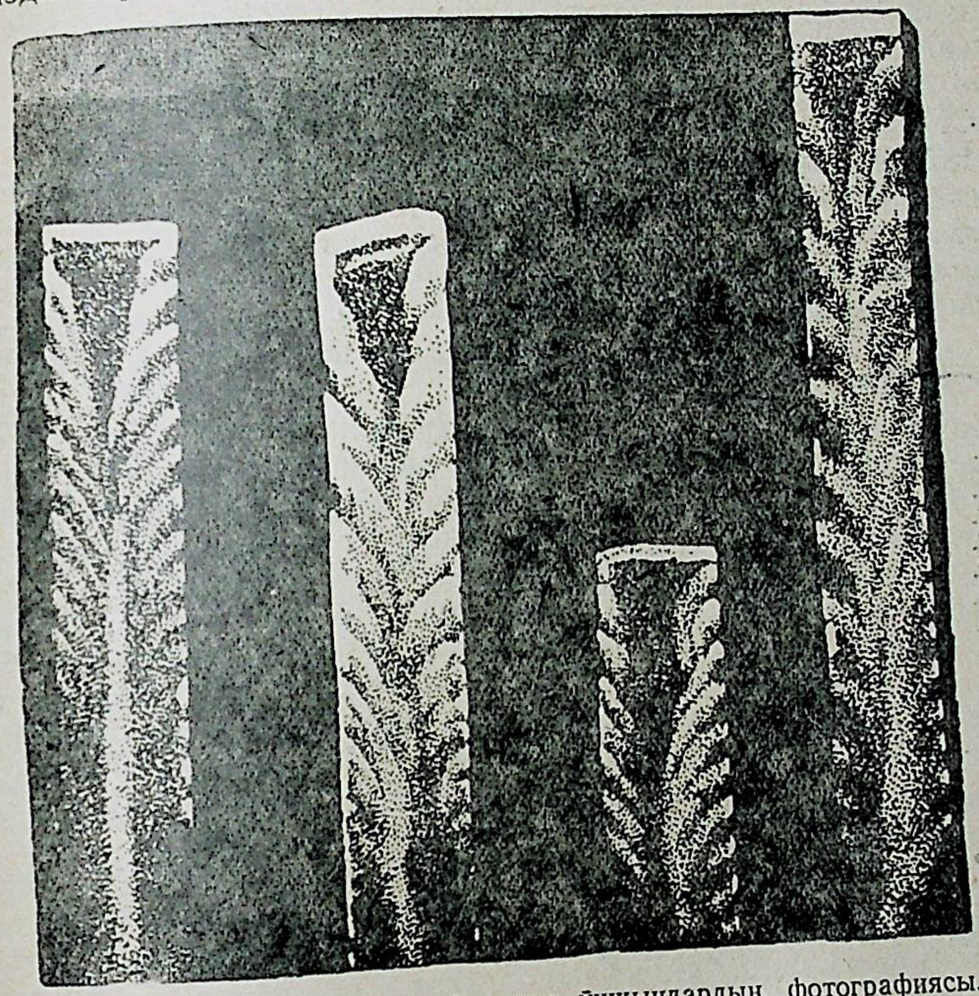
135. Жиілігі жоғары токтар. Біздің Одақтың ірі орталықтары мен алыс жерлері радио арқылы мәдениетті қатнас жасайтыны бәрімізге мәлім.

Өткен тарауда (§ 129) біз, жарықтандыратын установкаларды және электромоторларды қоректендіретін айнымалы токтармен таныстық; мысалы, біз айнымалы токтың динамомашинасынан не трансформатордан келетін сымдардағы электр тогы бір секундте 50 толық тербеліс жасайтынын білеміз.

Егер біз әйтеуір бір тәсілмен токқа одан гөрі жиілігі көбірек тербеліс жасататын болсақ, мысалы, бір секундте жүз мың немесе миллион рет тербеліс жасататын болсақ, онда радиостанциялар пайдаланатын токты, яғни жиілігі жоғары токты шығарып аламыз.

Жиілігі жоғарғы токтарды шығарып алу тәсілдерін қарастырайық.

136. Үшқынды разряд — жиілігі жоғары токтардың көзі. Лейден банкасын алайық та оның астарларын әр атты зарядтармен зарядтайық; сонан соң, доғаша разрядник арқылы ол банканы зарядсыздандырайық; сонда жарқырап үшқын шығады. Тіпті өткен



172-с у р е т. Айналып тұрған айнадағы үшқындардың фотографиясы.

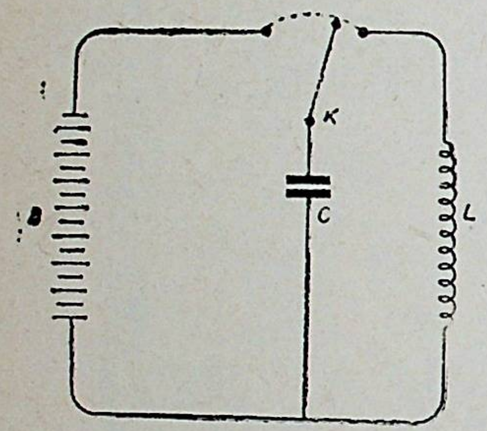
ғасырдың орта шенінде-ақ Федерсен деген физик, айналып тұрған айнадағы үшқынның суретін қарастырып, үшқынды разрядтың жабайы емес екендігін байқаған. Егер айналып тұрған айнадағы (айналу осі үшқынның ұзындығына параллель болғанда) лейден банкасының үшқынының суретін фотографиялап алып қарасақ, 172-суретте көрсетілген сурет шығады (мұнда төрт үшқынның суреті берілген). Егер үшқын қысқа уақыт қана жүретін бір бағытты ток болса, онда айналып тұрған айнада тұтас біртекті жолақ шығар еді (яғни үшқынның үлкейген көлденеңі көрінер еді); бірақ, 172-сурет мынаны көрсетеді: үшқын өткен кездегі газдың

[1]) Тарауды В. М. Шульгин жазған.

жарқырауы үздікті, яғни қараңғы жолақтармен алмасып, кезектесіп отырады. Бұдан мынадай қортынды шығарамыз: ұшқынды разряд бір бағытпен ілезде жүріп кететін ток емес, яғни үстірт қарағандағыдай емес, ұшқынды разряд дегеніміз тербелмелі процесс. Ұшқынды разряд болатын уақыт аралығы қаншама қысқа болғанмен де, оны одан гөрі де ұсағырақ аралықтарға бөлуге болады, сонда осы ұсағырақ аралықтардың әрқайсысында ток біресе ол жаққа, біресе бұл жаққа қарай жүреді екен. Айнаның айналу жылдамдығын өлшеп және бір ұшын созылған уақыттың ішіндегі жарық тілдердің санын санап алып, ұшқынды разряд кезіндегі ток тербелістерінің жиілігін оп-оңай шығарып аламыз. Есептердің көрсетуіне қарағанда, лейден банкасының ұшқынды разряды бір секундта миллион тербеліс істейтін айнымалы ток болады екен.

Сүйтіп, ол **жиілігі жоғары** ток болады.

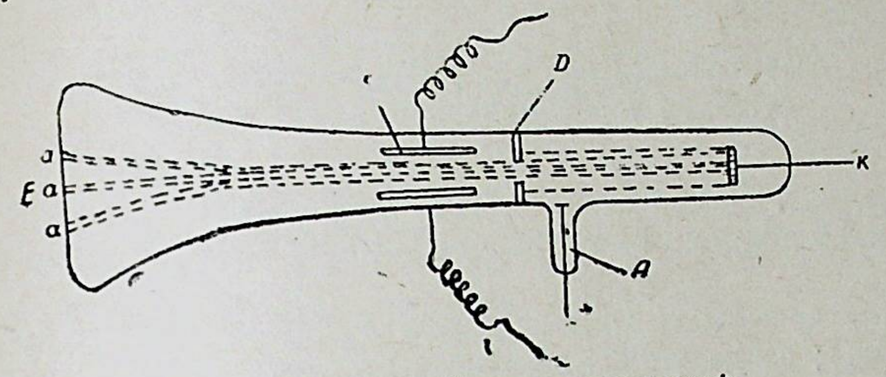
137. Жоғары кернеулі батареядан тербелістер шығарып алу. Ұшқынды разрядты әрі қарата зерттеу мынаны көрсетеді: тербелмелі процестегі ең маңызды рольді атқаратын лейден банкасының *сыйымдылығы* мен жалғастыратын сымдардың *өздік индукциясы* екен (лейден банкасында ондай қосқыш сымның қызметін атқаратын доғаша иілген разрядник болады). Жиілігі жоғары токтарды, ұшқынмен пайдаланбай-ақ шығарып алуға да болады екен; ол үшін тізбекке сыйымдылық пен өздік индукция енгізілсе болғаны. Жиілігі жоғары айнымалы ток шығарып алудың бір тәсілі 173-суретте көрсетілген B — көп санды элементтердің батареясы (ЭҚК-і ≈ 100 вольт), C — конденсатор (сыйымдылығы бірнеше жүз сантиметр), L — сымның бірнеше орамдарынан құралған катушка, K — аударғыш, бұл катушканы біресе батарея тізбегімен, біресе конденсатор тізбегімен кезек-кезек ауыстырып қосып отырады. Батареяны кілтпен тұйықтайық: конденсатордың астарлары батареядан әр атты зарядтар алады. Кілтті оң жаққа аудара қосайық: конденсатор зарядсыздана бастайды да, тербеліс пайда болады. Тербелістер тоқталғаннан кейін, кілтті тағы да сол жаққа аударайық, сонда батарея конденсатормен тұйықталады да, тағы да жаңадан зарядталады, енді оңға қарай ауыстырайық, онда тағы да тербелістер шығады, т. с. с. Әрине, бұл тәсіл, ұшқынды тәсілден гөрі ыңғайсыздау, үйткені мұнда ұдайы аударғышпен істеп отыру керек. Ал ұшқын автоматты аударғыштың қызметін атқарады. Қернеу жоғарылап барған кезде ұшқын секіріп кетеді де заряд біткенде сөніп қалады.



173-сурет. Тербелістерді батареядан шығарып алу.

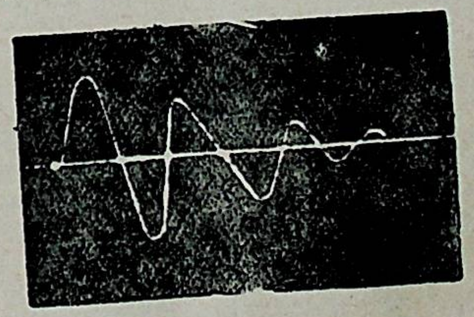
138. Катодты осциллограф. *CKL* тізбектегі (173-сурет) токтың тербелісі, *катодты осциллограф* (174-сурет) деп аталатын ерекше прибор арқылы аңғарылады.

Бұл өзі Крукс түтігі (§ 106) болады да, оған қосымша детальдар орнатылған; ол детальдер: металл диафрагма D, мұның катод сәулелерінің жіңішке шоқ сәулесін шығарып алу үшін арналған, диаметрі кішкене дөңгелек тесігі бар; онан соң C конденсатор бар, ол екі металл пластинкадан құралған және де, беті күкіртті цинкпен жабылған E экран бар. Түтіктің қызметі әр атты зарядтардың тартылуы мен аттас зарядтардың тебілуіне негізделген. Осциллограф түтігімен былай пайдаланады: K катод пен A анодты жоғары кернеудің көзімен қосады да, D диафрагманың жәрдемімен жіңішке шоқ катод сәуле шығарып алады; бұл шоқ сәуле экранға түседі де, оның бетінде жылтылдаған a нүктені береді. Егер C конденсатор зарядталмаған болса, онда жылтылдаған нүкте, E экранның дәл ортасында болады (катод сәулелерінің шоғын іштеме де бұрмайды). Енді C конденсатордың пластинкаларына әр атты зарядтар берейік (мысалы, жоғарғысын теріс, төменгісін оң зарядтай), сонда шоктың дереу т ө м е н бұрылғанын байқаймыз. Пластинкалардағы зарядтардың таңбаларын ауыстырайық, енді шок ж о ғ а р ы бұрылады. Шоқтың өстуінің мәнісі, ол шоқ *электрондардың* ағыны, яғни теріс зарядтардың ағыны.



174-сурет. Катодты осциллограф.

C конденсаторды, 173-суретте көрсетілген тізбектің бір бөлігі етіп алайық, мысалы, оны тізбектегі конденсатормен параллель тіркейік; сонда, біз K кілтті оңға тұйықтағанымызда LC тізбекте жасалатын тербелісті байқай аламыз; экранда қозғалмай тұрған жылтылдаған a нүктенің орнына, вертикаль жарық жолақ көреміз. Бірақ тербелістердің сырын білу үшін оларды ұзақ уақыт болдыру керек. Егер, мысалы E экранның жанына айна қойып, оны вертикаль осьті айналдыра, шапшаң айналдырсақ, онда конденсатордың разряды кезінде болатын тербелістердің суретін көреміз (175-сурет).



175-сурет. Конденсатордың разряды кезіндегі токтың тербелісі (өшер тербелістер).

Катодты осциллографтағы электрондар шоғын инерциясыз деп айтуға болады: тізбектегі зарядтар қандай тербелістер жасайтын

болса, электрондар шоғы да дәл сондай тербелістер жасайды және ешбір кідірмейді.

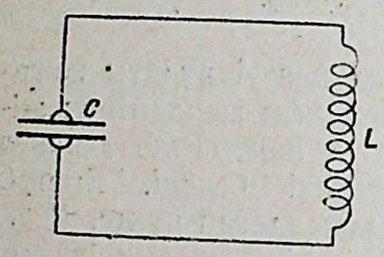
139. Тербелмелі контур. 137-§ та сыпатталған тәжрибеден және тағы да конденсаторды разрядтап істеген толып жатқан тәжрибелерден мынау аңғарылды: жиілігі жоғары токтарды шығарып алу үшін сыйымды конденсаторлар мен өздік индукция катушкаларды тізбектеп қосып тізбек құрау керек.

Сыйымдылық пен өздік индукциядан тұратын тізбекті тербелмелі контур деп атайды.

Тербелмелі контур схемасы 176-суретте көрсетілген.

Осындай контурдағы тербелістердің пайда болу себебін түсіндірейік.

К кілт арқылы *С* конденсаторды *В* батарея мен тұйықтайық (173-сурет); сонда үстіңгі пластинка оң заряд, астыңғы пластинка теріс заряд алатын болсын. Осының арқасында конденсатор пластинкалардың арасында электр өрісі пайда болады да конденсатор батареядан айрықша мөлшерде потенциал энергияның қорын алады. Енді К кілтті оң жаққа қарай сырғытайық; сонда конденсатор өздік индукция катушкасына тұйықталады (177, 1-сурет); енді конденсатор разрядтала бастайды да, разрядтік ток өнеді.



176-сурет. Тербелмелі контур С — конденсатор; L — өздік индукция катушкасы.

Қатушканың өздік индукциясының салдарынан, разрядтік ток бірден өзінің ең үлкен шамасына жете алмайды (§ 114).

Разрядтік ток жүрген кезде онымен қосалқыланып катушкада магнит өрісі өнеді (177, 2-сурет). Конденсатордың пластинкаларындағы потенциалдар айырмасы кеміген сайын оның электр энергиясы кеми береді, ал катушкадағы токтың магнит өрісінің энергиясы ұлғая береді.

Электр өрісінің энергиясы магнит өрісінің энергиясына айналады.

(177, 2-сурет) конденсатордың разрядталған моментін көрсетеді, бұл кезде токтың магнит өрісі өзінің ең үлкен кернеулігіне жетті.

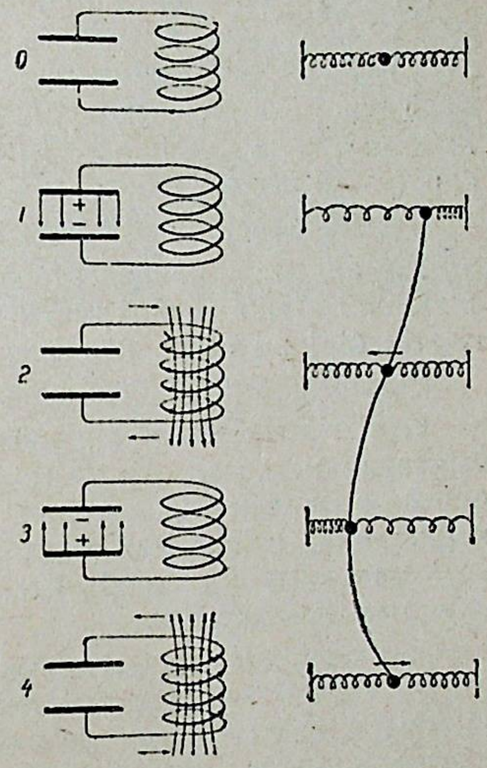
Енді әрі қарата магнит өрісі жоғала бастайды. Бірақ, магнит өрісінің өзгеруі, Фарадей заңы бойынша, индукцияның ЭҚК-ін тудырызады. Мұның бағыты, Ленц ережесі бойынша, индукцияның ЭҚК-і өрістің жоғалуына бөгет жасарлықтай бағытта болады, сондықтан, конденсатор разрядталған болса да, контурдегі ток

бұрынғы бағытын ұстап жүре тұрады (2-суретте стрелкамен көрсетілген бағыт). Катушканың магнит өрісі жоғалып кеткенге шейін, электрондар астыңғы пластинкадан үстіңгіге ауыса береді; сүйтіп, катушканың магнит өрісі жоғалып кеткен моментте конденсатор жаңадан зарядталып шығады, бірақ енді зарядтардың таңбалары кері болады: үстіңгі пластинка теріс зарядталады да, астыңғы пластинка оң зарядталады (177, 3-сурет).

Магнит өрісінің энергиясы электр өрісінің энергиясына айналады.

Бұдан соң конденсатор тағы да разрядтала бастайды, тағы да ток пен магнит өрісі өнеді, бірақ енді кері бағытпен (177, 4-сурет), конденсатор жаңадан қайта зарядталады т. с. с. — өстіп процесс көп рет қайталап отырады. Тербелістің барлық процесі секундтың болымсыз ғана үлесіндей уақыт алатынын есте ұстау керек.

Сонда тербеліске ұшырайтын әрі электр кернеулігінің векторы (конденсатор өрісінде), әрі *магниттік* вектор (катушка өрісінде). Электр мен магнит өрістерінің бірден тербелуін *электромагниттік тербеліс* деп атайды.



717-сурет.

Серпімді серппенің ортасына бекітіп қойған шариктің тербелісі (177-суреттің оң жағын қараңыз), конденсатордың тербелмелі разрядына едәуір ұқсас келеді.

Шариктің ортада тұрған орны зарядталмаған конденсаторға сәйкес келеді (ең жоғарғы сурет).

Шарикті оң жақ ұшына қарай қолмен тартып алып барамыз, бұдан ол потенциал энергия алады; шариктің бұл орны конденсатордың зарядкасына сәйкес келеді (оң жақтың 1-суреті).

Шарикті қоя береміз; оның потенциал энергиясы кинетикалық энергияға ауыса бастайды; шарик қозғалған бетімен келіп ортадағы нүктеге жетеді; бұл орны, конденсатордың толық разрядталған моментіне сәйкес келеді (2-сурет).

Шарик әрі қарата қозғала береді де, сол жақтағы шеткі нүктеге жетеді; мұнда оның кинетикалық энергиясы қайтадан қысылған серіппенің потенциал энергиясына ауысады; бұл қалпы, қайтадан зарядталған конденсаторға сәйкес (3-сурет).

Шарик оңға қарай жүреді де қайтадан ортадағы нүктеге барып жетеді; бұл қалпы, конденсатордың кері бағытты токпен разрядталуына сәйкес т. с. с.

Кәдімгі маятниктің тербелісі де осыған ұқсас маятникте де қайта-қайта және көп рет потенциал энергия кинетикалық энергияға және керісінше ауысып отырады, бұл гармониялық тербелістер үшін тән қасиет.

Дегенмен, механикалық ұқсастықтардың бәрі де толымсыз: электр тізбегінде электр өрісінің тербелуімен қабат магнит өрісі де тербеледі.

140. Тербеліс периоды. Әлгінде сыпатталған контурдегі электромагниттік тербелістер *гармониялық* тербелістерге мысал бола алады (IX класска арналған «физика курсының» II бөлімін қараңдар).

Бір тербеліс болып өтетін уақытты, толық тербелістің периоды деп атайды.

Период T әрпімен белгіленеді.

Тербеліс жиілігі деп аталатын екінші шаманың да маңызы зор (оны ν әрпімен белгілейді).

1 секунд ішінде неше толық тербеліс болатынын көрсететін санды, тербеліс жиілігі деп атайды.

ν мен T шамалар бір-біріне кері екендігі, яғни $T=\frac{1}{\nu}$ және $\nu=\frac{1}{T}$ екендігі түсінікті.

Радиомеханикалық установкаларда әдетте T, секундтың болымсыз ғана үлесіндей (мысалы, $T=0{,}000\,001$), ал ν өте үлкен сан ($\nu=1\,000\,000$) болады.

Тербеліс периоды T неменеге байланысты?

Ең алдымен конденсатордың разрядталуы мен зарядталуының шапшаңдығына байланысты. Сонымен, периодқа ықпалын тигізетін бірінші себеп конденсатордың сыйымдылығы.

Екінші себеп, тербелмелі ток ағатын қоскыш сымдарда болады. Өткізгіштің мына бір қасиетін еске түсірейік: рубильникті түйыққан кезде электр тогы лезде өне бойында да, бірте-бірте барып есіп, тек біраз уақыт (рас, болымсыз аз уақыт) өткеннен кейін ғана, өзінің максимал шамасына жетеді. Токтың біртіндеп өсуі мен кемуінің себебі, өткізгіш айналысындағы магнит өрісінің өсуі мен жоғалуынан.

Сонымен, электромагниттік тербелістің периодына әсерін тигізетін екінші шама енгізілген өткізгіштің (катушканың) өздік индукциясы болып табылады.

Сыйымдылығы тербелмелі контурдың тізбегіне қосылатын конденсатор сыйымдылығы мен катушканың өздік индукциясының, шамалары үлкен болса, соншалық сәйкес, контурдың өзінің, тербелістер периоды T үлкен болады, яғни жиілігі кемімек болады.

Периодтың сыйымдылыққа және өздік индукцияға дәл тәуелділігі мынадай Томсон формуласымен өрнектеледі:

$$T=2\pi\sqrt{LC},$$

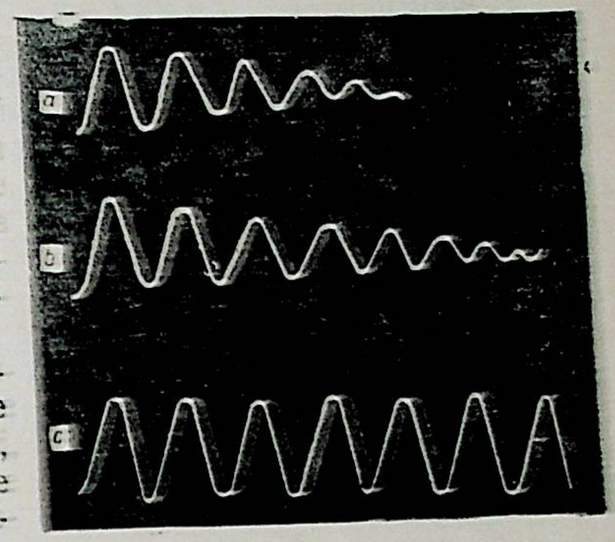
мұндағы T секундпен алынған период, L өздік индукция, бірліктерге дәл пайдалану қажет, C фарадамен алынған сыйымдылық. Соңғы түрі мұнда да 2π мен квадрат түбір бар).

---

*) Өткізгіштегі (катушкадағы) ток $\frac{a}{сек.}$ жылдамдықпен өзгергенде, L вольт-секунд өздік индукция ЭҚК-і индукцияланатын болса, ондай өткізгіштің (катушканың) өздік индукциясы L генри болады.

Сыйымдылық пен өздік индукцияны өзгертіп отырып кезкелген жиілігі бар тербеліс шығарып алуға болады.

Егер, сыйымдылығы (бірнеше ондаған микрофарада) өте үлкен конденсатор және индукциясы өте үлкен (темір өзегі бар және орамы көп) катушка алып, осындай контурда тербелістер қоздырса (үшқын мен немесе жоғары кернеулі батареямен), онда ол тербелістердің периоды үлкен, мысалы 0,5 секунд, ал жиілігі өте аз ($\nu=2$) болып шығады. Ондай жиілігі төмен тербелісті осциллографсыз да байқауға болады: егер контур тізбегіне миллиамперметр тіркесе, онда оның стрелкасы, маятникке ұқсап ток тербелісінің ырғайымен тербеліп тұрады.



178-сурет. Тербелістердің графиктері: *а*—күшті өшер тербелістер; *b*—әлсіз өшер тербелістер; *с*—өшпес тербелістер.

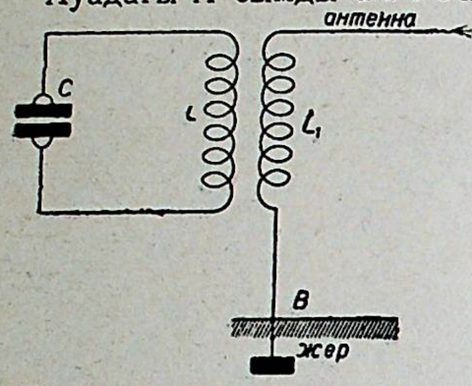
Лейден банкасының үшқынды разряды кезінде жиілігі өте жоғары болуының мәнісі, банканың сыйымдылығы өте аз, ал қоскыш сымның (доғаша иілген разрядниктің) өздік индукциясы жоқка таяу аз.

141. Өшер және өшпес тербелістер. Конденсатордың разряды кезіндегі тербелістердің, осциллограф арқылы алынған графигін зерттей келе (175-сурет), біз тербелістердің амплигудалары бірдей емес екендігін байқаймыз: уақыт өткен сайын олар кеми береді, тербелістер «өше береді». Бұларды *өшер тербелістер* деп атайды; ал, альтернатордың (§ 119) беретін айнымалы тогының тербелістерін, олардың амплигудалары кемімейтін болғандықтан, *өшпес тербелістер деп* атайды.

Өшудің себебі мынадан: тербеліс кезінде энергияның бір белігі басқа түрге айналады, мысалы, джоуль жылуына айналады. Неғұрлым тізбектің омдық кедергісі үлкен болса, соғұрлым шығын да көп болады, тербеліс те тезірек тоқтап қалады: кедергі болымсыз болған кезде тоқ тербелістері тез өшпейді. 178-суреттегі өшерлері әртүрлі болатын тербелмелі токтардың графигі көрсетілген. Техникада көбінесе өшпес тербелістер қолданылады.

142. Сауле шығару. Жабық, яғни тұйық, тербелмелі контур болған жағдайда (173-сурет және 176-сурет) электр және магнит өрістерінің өзгеруі контурдың өзінің ішінде ғана болады. Практикада ашық контурларда, электромагниттік тербелістердің барлық энергиясы тұйық контур ішінде жылуға айналады. Бірақ та, контурдағы тербелмелі энергияның тек бір бөлігі ғана, контурдың өзінің, яғни өткізгіштің тек бір бөлігі ғана қызады. Сол үшін тұйық контурды ашық контурға айналдыру керек. Және мұны істеудегі тіпті оңай: мысалы, тербелмелі контурдың (179-сурет) L катушкасының жасымен қатар өзіне ұқсас бір L_1 катушканы жақын керек; соғанасын

осы L_1 катушка ұштарына екі сым жалғастыру керек; мұның біреуін жоғары қарата тарту керек, әйтпесе горизонталь бағытпен орнатып ұшын ауада аяқтатса сол жөндірек болады, ал екіншісін төмен қарата бағыттап ұшын апарып металл табаққа дәнекерлеп ұстатып, ол табақты бір дәуір терендікке жерге көміп тастау керек.



179-сурет. «Жабық» контурды «ашық» контурға айналдыру.

Ауадағы A сымды антенна деп, ал жерге тартылған B сымды жерлестіру деп атайды. L_1 катушка, A антенна және B жерлестіру *ашық тербелмелі контур* деп аталады. А сым мен жер беті екеуін өзалдына бір конденсатордың «пластиналары» деп қарастыруға болады. LC жабық контурында қоздырылған электромагниттік тербелістер (179-сурет), жартылап (индукция арқылы) ашық контурге көшеді, содан кейін олардың энергиясы, айнымалы электр және магнит өрістері түрінде, *айналадағы кеңістікке* тарайды.

Айналадағы кеңістікте электр мен магнит өрістерінің таралуы электромагниттік сәуле шығару деп аталады.

Ашық тербелмелі контурде сәуле шығару қасиеті бар, мұның жабық контурдан өзгешелігі осы. Тербелмелі контурды қоздырып (мысалы, қуатты трансформатордың ұшқынды разрядымен) айналадағы кеңістікке электромагниттік толқындар түрінде тарайтын қуатты электромагниттік энергия шығарып алуымызға болады.

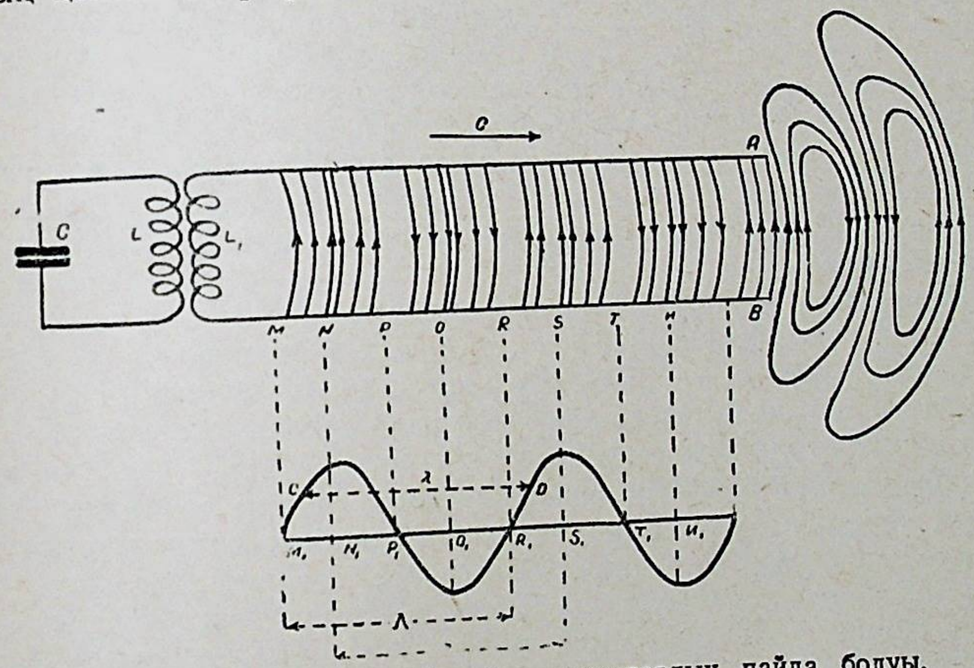
143. Электромагниттік толқындар. Өткен параграфта ескертілген электромагниттік сәуле шығару механизмімен қысқаша танысайық. Радио қатнасы осы электромагниттік сәуле шығаруға негізделген; радио қатнасы ойлап шығарған орыс ғалымы А. С. Попов[1]).

Көрнектілік үшін, сәуле шығаратын ашық тербелмелі контур, өздік индукциялық L_1 катушкадан және өте ұзын A мен B сымдардан құралады дейік; сымдардың бір ұштары ауада үзіліп аяқталатын болсын (180-сурет). Сымдардың біреуі A антеннаға сәйкес, екіншісі B жерлестіруге сәйкес.

[1]) Попов Александр Степанович (1859 — 1906) атақты орыс физигі, радиотелеграфты ойлап шығарған. Кронштадта мина класында электротехниканың мұғалімі болып істеді, бұдан кейін Петербургтегі электротехника институтының профессоры және директоры болып істеді. Қашыққа қабар жеткізу үшін электромагниттік толқындарды қолдануға болатындығын бірінші тағайындаған А. С. Попов. Ол, жер жүзінде бірінші рет антенналы радиоприемник жасап, оны Орыс физико-химиялық қоғамның мәжілісінде 7 майда 1895 ж. көрсетті. А. С. Попов өзінің приемнигін (қабылдауышын), жәй разряды кезінде қозатын, электромагниттік толқындарды регистрациялау үшін қолданды, сондықтан приемнигіне жәй біллиргіш деген ат қойды. Жәй білдіргіш, 30 километрден де алысырақ жерлердегі болған жәй разрядтарын сезетін болған, 1896 жылы март айында сол қоғамның мәжілісінде А. С. Попов сымсыз телеграф жолымен 250 метр жерге

Өлшеулердің көрсетуі бойынша L_1 катушкада ток тербелістерін қоздырған кезде, A мен B сымдардың арасында айнымалы электр өрісі өнеді, яғни барлық бойында ол өрістің күш сызықтарының қоюлығы мен күш сызықтардың бағыттары бірдей емес, бұл суреттте солай көрсетілген: мысалы, N, Q, S, U нүктелерде өрістің кернеулігі бәрінен үлкен (күш сызықтар қою орналасқан); және мұнда N мен S нүктелерде өріс жоғары бағытталған, ал Q мен U нүктелерде төмен бағытталған. M, P, R, T нүктелерде өріс жоқ (бұл жерлерде ол бағытын өзгертеді). Бұл сурет түсініктірек болу үшін, суреттің төменгі жағында электр кернеулігінің өзгеруі, яғни күш сызықтардың қоюлығы графикпен көрсетілген. Бұл график, бізге гармо-


А. С. Попов (1859 — 1906).



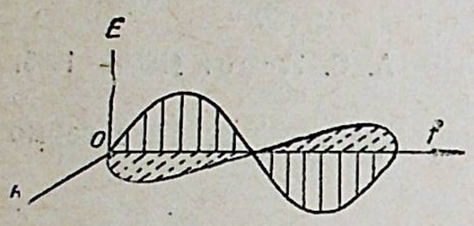
180-сурет. Электромагниттік толқындардың пайда болуы.

Суретте электр күш сызықтары көрсетілген. Бұларға перпендикуляр болып магниттік күш сызықтар орналасады (бұл соңғылар көрсетілмеген).

сөз текст жеткізуді көрсетті. Бұдан кейін А. С. Попов приемник пен передатчикке әртүрлі жаналықтар енгізіп, атап айтқанда телефон трубкасы арқылы құлақпен естітін радиохабарларды қабылдау тәсілін бірінші қолданып, радиотелеграфияның баратын қашықтығын ұдайы үлкейте берді. 1899 жылы А. С. Поповтың радиостанциясы апатқа ұшыраған броненосецті құтқару үшін қолданылды; сонда радио арқылы хабар жеткізудің қашықтығы 40 километрден артты. Италиялық Маркони радиотелеграфия тәжрибелеріне А. С. Поповтан кейін кіріссе де радионы бірінші ашқанмын деп әуреленеді. Поповтай емес, Маркони өзінің барлық сайлаған аспаптарын құғыялап, тығып ешкімге көрсетпеген. Ақырында барып оларын әшкерелегенде, ештеңе бөтендігі жоқ тек қана А. С. Поповтың тіпті 1895 жылы жариялаған конструкциясының қайталаған ізі болып шықты.

ниялық тербелістердің теориясынан белгілі синусоида. Біздің мысалымызды, электр кернеулігінің векторы синусоида заңы бойынша өзгеріп тұрады. Мынаны ескеру қажет: суретте көрсетілген бейне, тек ықтиярымызша қалап алған бір уақыт мерзіміне сәйкес. Мұндағы бір тамаша нәрсе тізбекте тербеліс болып тұрған кезде бұл бейне оң жаққа қарай, жарық жылдамдығындай, яғни 300 000 $\frac{км}{сек.}$ жылдамдықпен қозғалып отырады. Біздің суретімізде бұл бейненің, былайша айтқанда, лездегі суреті түсірілген.

Күш сызықтардың түрі сымдардың шегінде тұйықталмаған болса да, сымдардың ұшына барып жетіп, сымдардан сырылып шыға бере тұйықталады; бұл, суретте нобаймен көрсетілген. Электр өрісінің энергиясы аздап айналадағы кеңістікке тарайды.



180а-сурет. Электромагниттік толқынның кескіні (оңға қарай қозғалады).

Бірақ, электр өрісінен басқа, A мен B сымдардың арасында тағы да магнит өрісі бар. Оның күш сызықтары да, электр өрісінің күш сызықтары орналасқан жерлерде орналасады; олардың да қоюлығы синусоида заңы бойынша өзгереді, бірақ, ол магнит өрісі әрқашан электр өрісіне перпендикуляр бағытталады (біздің суретте магнит күш сызықтары көрсетілмеген). Магнит өрісі де жарық жылдамдығындай жылдамдықпен электр өрісімен бірге қозғалады.

Электр мен магнит өрістерінің бірден өнуі табиғат заңы болады. Өткен ғасырдың өзінде атақты физик Максвелл теория жолымен электр өрісінің әрбір өзгеруінде әрқашан магнит өрісі де өнетіндігін және де электрлік вектор мен магниттік вектор өзара перпендикуляр болатындығын дәлелдеген.

Сондықтан, өрістердің ашық контурда болып жататын гармониялық тербелістерін, өзара перпендикуляр екі синусоида түрінде кескіндейтін болып келіскен. 180а-суретте осы синусоидалар көрсетілген: вертикаль синусоида электрлік вектордың өзгеру заңын көрсетеді; горизонталь синусоида магниттік вектордің өзгеру заңын көрсетеді. Барлық бейне, 180-суреттегідей оңға қарай қозғалады.

Электр мен магнит өрістерінің гармониялық тербелістері жарық жылдамдығындай жылдамдықпен айналадағы кеңістікке беріледі; бұл, ауа қысымының гармониялық тербелісі, дыбыс жылдамдығындай жылдамдықпен, айналадағы ауаға берілгені сыяқты.

Ауа арқылы өтіп жүріп жататын, ауаның кезектескен қоюлануы мен сиректелуі, дыбыс толқындарын жасағаны сыяқты, электромагнит өрісінің кезектескен қоюлануы мен сиректелуі кеңістікке жайылып тарап, электромагниттік толқындарды (радиотолқындарды) жасайды.

Электр өрісінің немесе магнит өрісінің бірдей бағыттағы қоюлануының жақын максимумдарының аралығын электромагниттік толқынның ұзындығы деп атайды.

Сонымен, біздің мысалда толқын ұзындығы $\lambda = NS$ (180-суреттi қара).

Жалпы айтқанда, толқын ұзындығын өлшеу үшін максимумдардан басқасымен де пайдалануға болады; мысалы, M_1R_1 немесе Q_1U_1 немесе CD (180-сурет) аралықтарды өлшесе де болады. Бұл аралықтардың әрқайсысын да λ ға тең екендігіне көз жеткізу оңай.

Сондықтан, гармониялық тербелістердің терминологиясын (IX кластың курсы) еске түсіре келе, толқын ұзындығының жалпы анықтамасын беруімізге болады: *толқын ұзындығы дегеніміз тербелістің бірдей фазаларында болатын ең жақын нүктелердің аралығы.*

Электромагниттік толқындардың таралу жылдамдығын (жарық жылдамдығы) c арқылы белгілейік, тербеліс жиілігін бұрынғыша ν арқылы белгілейік. Бір секунд ішінде біздің шығарып жіберетін толқындарымыздың саны ν ге тең, бұл толқындар бір-бірінe жалғасып c аралықты алады, сондықтан:

$$c = \lambda\nu.$$

Толқынның таралу жылдамдығы c бізге белгілі, сондықтан егер тербеліс жиілігі ν берілген болса, онда біз $c = \lambda\nu$ формула бойынша толқын ұзындығы λ ны табуымызға болады. Бос орын үшін $c = 300\,000\ \frac{км}{сек}$, ауа үшін бұдан гөрі азырақ кем, бірақ есептегенде едәуір дәлдікпен ауа үшін де осы цифрды алуға болады.

Мысал 1. Радиостанцияның толқын ұзындығы 1000 $м$ ге тең. Осы станцияның генераторы беретін айнымалы токтың жиілігін табу керек.

Жауабы: $\nu = \frac{300\,000\,000}{1\,000} = 300\,000$ тербеліс бір секундта.

Мысал 2. Қалалық станцияның динамомашинасы беретін айнымалы токтың бір секундтегі периоды 50. Егер біз динамомашинаға тиісті тербелмелі контур мен радиосеть қоссақ, онда өзалдына бір радиостанция болып шығар еді. Радиостанцияның толқын ұзындығын табыңдар.

Жауабы: $\lambda = \frac{300\,000}{50} = 6000$ *км.*

144. Радиостанция. Айнымалы токтың қайсысы болса да электр мен магнит өрістерінің тербелісін береді, сондықтан қандай айнымалы ток болса да сәуле шығара алады (толқын тарата алады). Бірақ шығарылатын энергияның мөлшері, тәжрибенің көрсетуіне қарағанда, жиілікке күшті байланысты болады.

Мысалы, жарықтандыру сетіндегі кәдімгі айнымалы токтың жиілігі төмен ($\nu = 50$), сондықтан оның сәуле шығару қабілеті азғана. Бұл өте пайдалы; өйткені қалалық айнымалы токтың техникалық мақсаты энергияны сымдар бойымен жеткізу.

Ал, бұған керісінше, жиілігі жоғары токтар сәулені де күшті шығарады, сондықтан олар радиостанцияларда қолданылады.

Жалпы түрде радиотелеграф станциясы мынадай бөліктерден құралады:

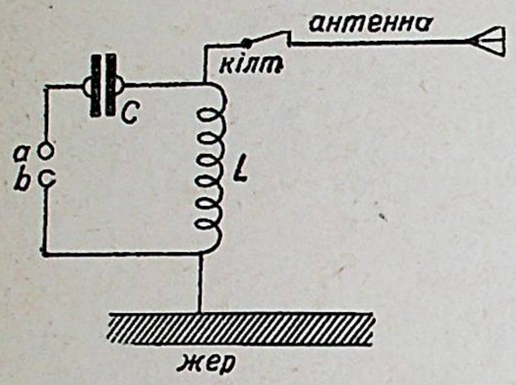
1) жоғары жиілікті токтарды шығару үшін арналған прибор (генератор);

2) тербелмелі контур;

3) радиосеть (антенна және жерлестіру).

Станцияның схемасы 181-суретте берілген.

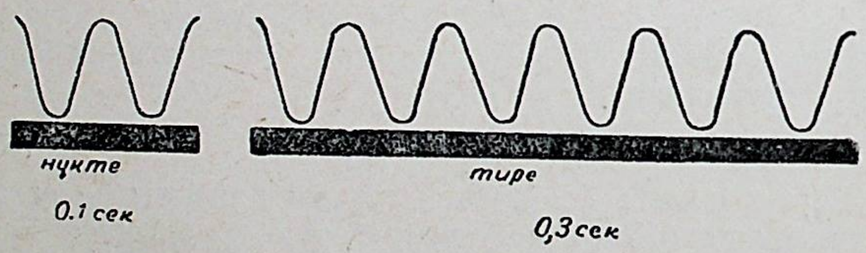
Тәжрибе: екі катушканың орнына бірақ катушка қолдануға болатындығын, яғни антенна мен жерді тербелмелі контурдың тура өзіне қосуға болатындығын және бұл жағдайда да сәуле шығару бола беретіндігін көрсетеді.



181-сурет. Радиотелеграфия. жеткізу станциясының жабайы схемасы.

Жиілігі жоғары токтардың генераторы *a* мен *b* нүктелерінің арасына тіркеледі. А. С. Поповтың көрсеткен үлгісі бойынша, мұндай генератордың қызметін ұзақ уақытқа шейін ұшқынды прибор, содан кейін вольт доғасы және жоғары жиілікті динамомашина (мұны ойлап шығарған орыс инженері Вологдин) атқарған болатын; қазіргі уақытта ылғый ғана катодты лампалар қолданылады, бұлар туралы әңгіме ілгеріде болады (§ 155).

Антенна тізбегіне телеграф кілітін орнатады; мұның атқаратын қызметі тізбекті қысқа уақыт және ұзағырақ уақыт тұйықтау. Қысқа уақыт ($^1/_{10}$ секунд) тұйықтау телеграф әліппесінің, «нүктесін» береді, ұзақ уақыт ($^3/_{10}$ секунд) тұйықтау — «тиресін» береді. Осы уақыттар бойы кеңістікке толқындар тарайды (181а-сурет).



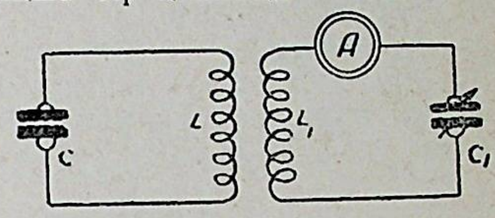
181а-сурет. Телеграф әліппесіндегі «нүкте» мен «тире».

145. Резонанс. Бірдей деп айтарлықтай екі тербелмелі контурды қатар қояйық; бұлардың өздік индукция катушкалары бірдей болсын және конденсаторларындағы пластинкалардың саны да бірдей болсын (182-сурет). Бұрынғы көрсетілген тәсілдердің біреуімен (ұшқынмен, не доғамен, не жиілігі жоғары динамомашинамен т. с. с,) әлгі контурлардың біреуінде (сол жақтағысында) электромагниттік тербелістер қоздырайық; екінші контурға (оң жақтағыға) амперметр[1]) енгізейік; ал, алған конденсаторымыздың

[1]) Тез айнымалы токтар үшін тек қана жылу амперметрі жарамды болады.

сыйымдылығы айнымалы болсын; мұндай конденсаторда екі серия пластиналар болады: бір серия пластинкалар екінші серия пластинкалардың ара-арасына кіре алады (182-сурет және 32-сурет). Пластинкаларды кіргізе қозғаса сыйымдылық ұлғаяды; шығара қозғасақ сыйымдылық кемиді. 182-суреттегі қыйған стрелка конденсатордың сыйымдылығы айнымалы дегенді белгілейді.

Оң контурдағы айнымалы конденсатор арқылы сыйымдылықты бір қалыппен ептеп өзгертіп отырып, амперметрді бақылап отырсақ, оң контурдағы ток күші өзгеретінін байқаймыз. Оң жақтағы конденсатордың пластинкалары айрықша бір қалыпқа келген кезде, ток күші максималь болады.



182-сурет. Резонанс болған кезде А амперметр ең үлкен көрсету береді.

Берілген байламда, оң жақтағы контур ең көп мөлшерлі тербеліс энергиясын алған кезінде, ол сол жақтағы контурмен резонанс күйіне келді дейді. Резонанс қалпынан неғұрлым алыс кете берсек, солғұрлым сол жақтағы контурдан энергияны аз бөліп алатын боламыз; резонанс қалпынан алыста болған кезде оң жақтағы контурдың тербелісі әлсіз болады. Егер оң жақтағы контурда, дәл сол жақтағыдай конденсатор алсақ және өздік индукция катушкасын да дәл сол жақтағыдай етіп алсақ, осы жағдайда резонанс болды деп айтады. Егер оңжақтағы контурда басқа катушка алсақ, бірақ осыған сәйкес оң контурдағы конденсатордың сыйымдылығын артырсақ, бәрі-бір онда да резонанс құбылысы болар еді. *Резонансқа келтіріп күйлеу үшін, не сыйымдылықты не өздік индукцияны қыюластыру* (қалыптандыру) керек.

182а-сурет. Сыйымдылығы айнымалы конденсатор.

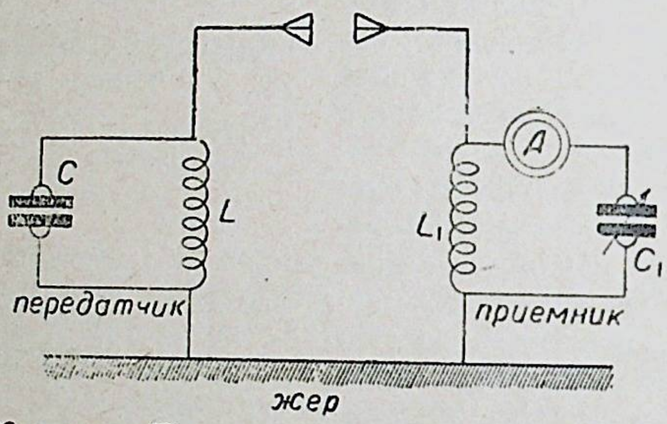
Оң жақтағы контурдың тербеліс периоды сол жақтағы контурдың тербеліс периодымен бірдей болған кезде резонанс болады.

146. Радиоприемник. Үлкен қалалардың радиостанцияларының қуаты ондаған және жүздеген киловатқа жетеді: энергияның бірталайы электромагниттік толқындар түрінде айналадағы кеңістікке сейліп кетеді; электр өрістің және магнит өрісінің дүркін-дүркін қозғалулары барлық жер шарына жайылып кетеді. Бірақ, радиостанция жұмыс істеп жатқанда оның дәл қасында тұрсақта, толқындардың бар екендігін күралсыз біле алмаймыз. Радиотолқындары құлаққа да, басқа сезім мүшелеріне де әсер етпейді. Радиотолқындарын анғару үшін қолданылатын құрал *радиоприемник* деп аталады.

Жалпы түрде, радиоприемник дегеніміз, келетін толқынның ұзындығына сәйкес келтіріп күйлеген, тербелмелі контур болады.

Байлам бар болған кезде, тербеліс энергиясының бір бөлігі бір контурдан екінші контурға көшетінін өткен параграфта көрдік. Контурлар бір-біріне жақын тұрғанда, яғни байлам күшті болғанда энергияның көшуі өте-мөте жиі болады; және де тәжрибенің көрсетуіне қарағанда контурлар бір-бірінен кашықта тұрса да (бірнеше ондаған, тіпті жүздеген километр жерлерде болса да) энергияның көшуі сәтті бола береді, тек ол үшін жіберетін контурға да, қабылдайтын контурға да радиосеть, яғни антенна мен жерлестіруді косу керек.

Энергияны сымсыз жеткізу схемасы 183-суретте кескінделген. Сол жақтағы контур жіберетін станцияны, оң жақтағысы қабылдайтын станцияны көрсетеді. Бұл сурет 182-суретте кескінделгенге өте ұқсас, бірақ 183-суреттегі байлам өте нашар, үйткені тер-



183-сурет. Передатчик пен приемниктің схемасы.

белмелі контурлар бір-бірімен әдәуір қашықта. Және де, оң контурдағы дөрекі амперметрдің орнына енді өте сезгіш құрал (мысалы, әр бөлігі, 10^{-9} амперді көрсететін гальванометр) қойылу керек, ал сол жақтағы контурада қуатты, тербелістерді қоздыру керек. Сонда C конденсатордың сыйымдылығын өзгертіп отырсақ, бір кезде C_1 конденсатор айрықша қалыпқа келгенде гальванометр максималь токты көрсететін болады. Бұл резонанс қалпы болады. Сол жақтағы контурдың антеннасына телеграф кілітін қыстырып қойып, токты бір есе түйықтап, біресе айырып, қабылдағыш құралдың стрелкасын тербетуге болады, яғни Морзе әліппесінің нүктесі мен тиресіне сәйкес келетін шартты белгілер беруге болады.

Сонда, сол жақтағы контурды *радиопередатчик,* оң жақтағыны *радиоприемник* деп атауға болады. Дегенмен, бұл сыпатталған радиоприемникте едәуір ыңғайсыздықтар бар және де мұнда электромагниттік тербелістерді дыбыс тербелістеріне айналдыратын тетіктер жоқ; ал, радиотелефонда оның маңызы ерекше.

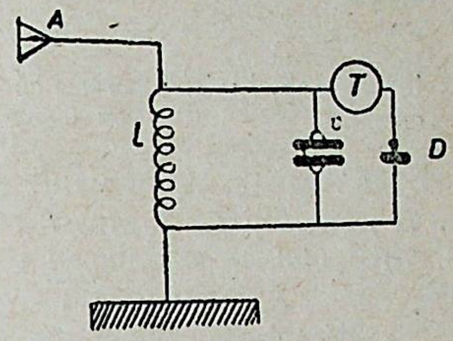
Сондықтан іс жүзінде, 184-суретте схемасы кескінделген радиоприемник қолданылады; оның жеке бөліктері 184 а, б, в-суреттерде көрсетілген.

L — өздік индукция катушкасы, оның орам саны 25 — 150 болады; қабылданылатын станцияның толқынының ұзындығына қарай олардың (катушканың) үлгісі әр түрлі болады. Бірнеше ондаған орамдардан ғана (темір өзексіз) тұратын жабайы катушка алуға да болады.

C — сыйымдылығы айнымалы конденсатор (182а-сурет);

T — телефон (184б-сурет); D — детектор (184в-сурет).

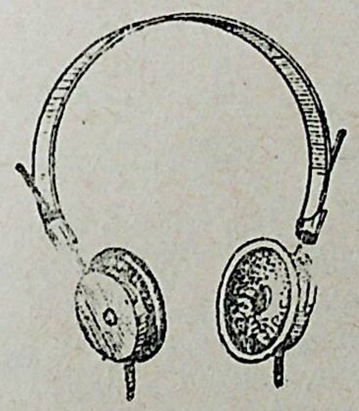
Телефон мен детектор жылу амперметрінің орнына жүреді. Телефон — жиілігі төмен айнымалы токтарды білдіре алатын өте сезгіш құрал болып табылады. Мынадай тәжрибе істеуге болады: айнымалы токтың жарықтандыру сетіне телефонды, өте ірі кедергімен, мысалы, миллион оммен [1]) тізбектеп жалғайық; сонда телефоннан, секундтегі 50 периодке сәйкес келетін дыбысты, жапжақсы естуге болады.



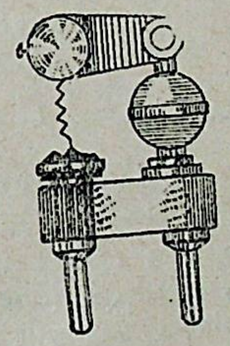
184-сурет. Іс жүзінде жұмсалатын приемниктің схемасы.

Мұнда, дыбыс шығуының мәнісі былай: телефон өзегінің магнетизмі айнымалы токтың әсерінен бірсе күшейіп, біресе нашарлайды. Магнетизмнің өзгеруіне еліктеп, темір мембрана тербеледі. Телефонды құлаққа тигізіп, біз бір секундтегі 50 периодке сәйкес келетін, төмен жуан дыбыс естиміз.

184а-сурет. Өздік индукция катушкасының бір формасы («сотовая»).



184б-сурет. Екі құлаққа арналған телефон.



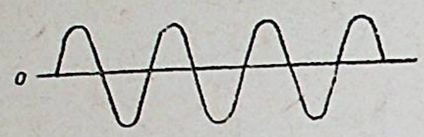
184в-сурет. Детектор.

Ал, егер, тербелмелі контурда (184-сурет) жиілігі жоғары (радиодағы) айнымалы ток, мысалы бір секундта 1 000 000 рет тербелетін ток қоздырылатын болса, әлгіндегідей болмайды.

184-сурет бойынша телефонды детекторсыз қосып тыңдасақ, ешқандай дыбыс естімейміз. Мұның мәнісі былай: телефон катуш-

[1]) Ондай кедергі жасау үшін, қарындашпен жиішке тілім қағазды қарайтса болғаны. 120 вольттік толық кернеуге телефонды тікелей тіркеуге болмайды — обмоткасы жанып кетеді немесе өзегі магнитсізденіп қалады.

касының өзгеше «индукциялық» кедергісі бар; жиілігі жоғары токтар үшін ол кедергі өте-мөте үлкен (жиілікке пропорционал) болады, сондықтан, телефон жиілігі төмен токтарды өткізе алады, жиілігі жоғары токтарды өткізбейді.

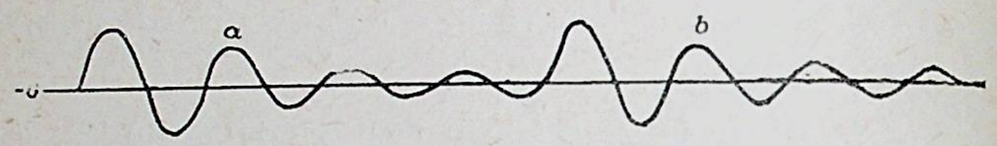


185-сурет. Жиілігі жоғары айнымалы токтың қыйсығы (синусоида).



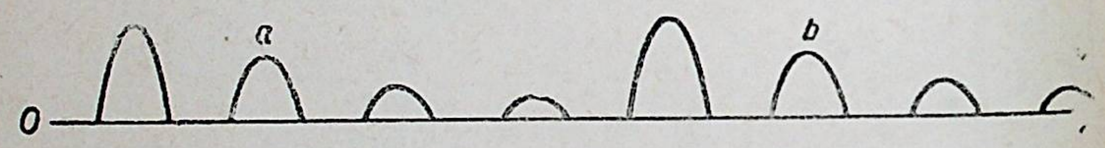
185а-сурет. Детектор «түзеткеннен» кейінгі әлгі токтың қыйсығы.

Бұдан басқа, темір мембрананың инерциясы тым үлкен болады: ол, токтың бір секундтағы 1 000 000 рет тербелісіне ілесе алмайды, тіпті сондай жиілікпен тербеледі десекте, біз дыбысты ести алмас едік, өйткені біздің құлағымыз бір секундта 30 000 реттен артық дыбыс тербелісін қабылдай алмайды.



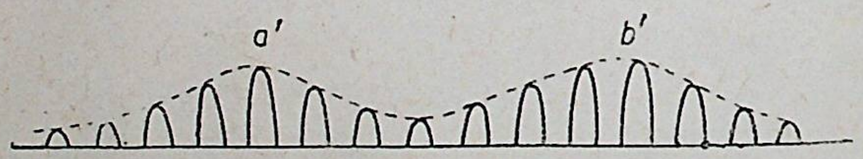
186-сурет. Приемник қабылдаған өшер тербелістер.

147. Детектор. Айнымалы токті түзетуге арналған, дәлірек айтқанда, айнымалы токті бір бағыттағы пульсациялаушы (толықсыма) токке айналдыруға арналған приборды детектор деп атайды.



187-сурет. Детектор «түзеткеннен» кейінгі әлгі тербелістер.

Детектор, темір рудасының (пирит FeS_2) немесе қорғасын блескінің (PbS) кристалынан тұрады; бұл кристалға металл спираль сымның (әдетте никелин сымның)[1]) ұшын сәл тигізіп қояды. Тәжрибе, мұндай контакт, қандай жиілігі болса да бәсең айнымалы токтарды бір-ақ бағытпен өткізетіндігін көрсетті. Детектор, си-



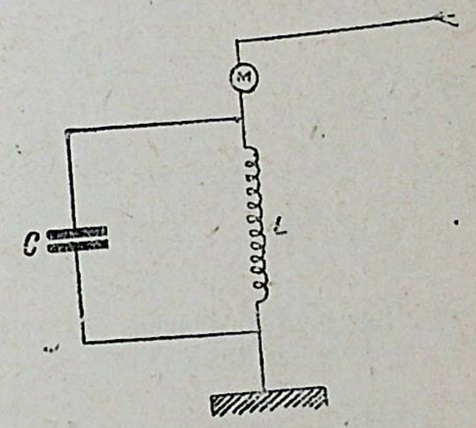
188-сурет. Телефонда естілетін тербелістер.

[1]) Соңғы кезде контактысы тұрақты детекторлар істелетін болды; мысалы. карборунд детектор (темір мен карборунд — CSi), купорос детектор (Cu мен CuO). Бұлар сымды детектордан гөрі сенімдірек болады.

нусоиданың бір жартысын қыйып алып тастайтын сыяқты болады (мысалы төменгі жартысының; 185 мен 185а-сурет). Өшер тербелістерді қабылдағанда да осы сыяқты болады, бұл 186—188-суреттерден көрінеді.

Детектор өшер тербелістерді телефонда естілетін жиілігі төмен тербелістерге айналдырады. Бұл айналыс қалай болатындығы әлгі айтылған суреттерден көрінеді. *a* мен *b* тербеліс сериялары әркайсысы бір тербеліс болып тұтасып кетеді, сүйтіп детектор арқасында біз телефонмен жиілігі төмен тербелісті естиміз, детектордың жәрдемімен біз бір жаққа қарата ғана бағытталған ток аламыз, сондықтан мембрана бір жаққа ғана тартылады.

Бұл айтылғандардан мынадай қортынды шығаруға болады: детектор мен телефонның жәрдемімен біз, приемник арқылы алынған жиілігі жоғары токтың электр энергиясын, дыбыс энергиясына айналдырамыз. Телефонның жәрдемімен біз радио хабарларын «естиміз». Радиотелеграммаларды тындап отырып өте тез оқый алатын болып жаттыққан «тыңдағыш» радиотелеграфистер әлі де бар. Және де кәзірде, приемникпен алынған Морзе әліппесінің таңбаларын өзі жазып отыратын автомат аппараттар да бар. Автоматты передатчиктер де бар. Мұндай аппараттың Морзе әліппесін жіберуі және жазып отырулары орасан шапшаң болады. Морзе таңбалары емес, тура әріптің өзін басып шығарып отыратын да автоматтар бар.



189-сурет. Радиотелефон станциясының схемасы.

148. Радиотелефон. Өшпес тербелістердің артықшылығы мынау: бұл тербелістерге кезкелген дыбыстарды (оның ішінде адам сөзін де) қыйыстырып кіріктіруге болады, яғни радиотелефон жасауға болады.

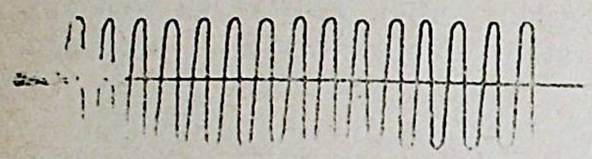
Дыбыстарды жіберу үшін антеннадағы телефон кілтінің орнына микрофонды орнатады: сонда бұл ең жабайы радиотелефон передатчигі болып шығады. Мұндай радиотелефон передатчигінің схемасы 189-суретте кескінделген (*M* микрофонды белгілейді[1]).

Микрофонның істейтін қызметі не? Көмірлі микрофонның құрылысы былай болатындығы мәлім: көмір қалыптың ішін көмір ұнтағымен толтырып, оны көмір мембранамен жауып қояды. Егер микрофонды антеннаға тіркеп, оның алдында дыбыс шығармаса, онда антеннада амплитудалары бірдей өшпес тербелістер қатарымен шығып отырады (190, I-сурет).

Бұлардың амплитудалары үлкен емес, үйткені микрофонның кедергісі әдеуір үлкен болады. Ал енді микрофон алдында сөз сөйлейік. Дыбыс тербелістерінің ырғағына сәйкес мембранада да тер-

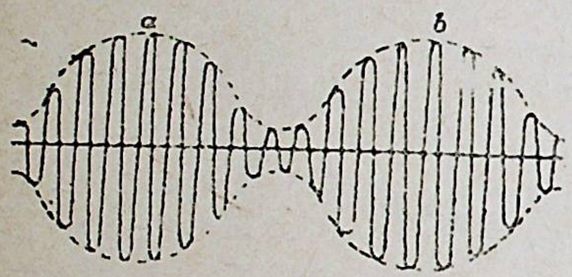
[1]) Қуатты радиопередатчиктерде микрофонды күрделірек тәсілмен қосады.

беле бастайды, сонда ол, ұнтақты біресе қысыңқырайды да, біресе босатыңқырайды; дыбыс тербелістерінің әсерінен микрофонның кедергісі біресе кеміп, біресе ұлғайып отырады, ендеше Ом заңы бойынша ток күші де өзгеріп отырады. 190,II-суреттегі *a* мен *b* толқындар тобының әрқайсысы жеке дыбыс толқындарына сәйкес келеді. 190, II-суретте екі дыбыс тербелісі кескінделген. Егер бұлар «ля» нотаға тиісті болса, онда 1 секунд бойына 435 дыбыс тербелістері орналасады.

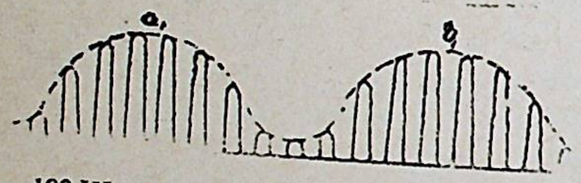


190,I-сурет. Модуляциясыз антеннадағы тербелмелі ток.

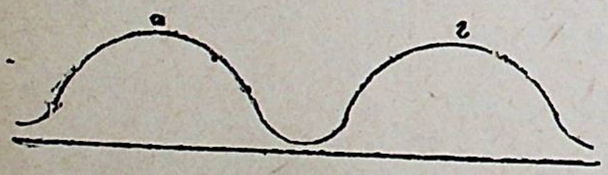
Сонымен, антеннаға енгізілген микрофон — жиілігі жоғары айнымалы токтың күшін, дыбыс тербелістерінің ырғағына сәйкес өзгертіп отыратын, өзінше бір реостат сияқты. *Жоғары жиіліктің үстіне әкеліп төмен жиілікті беттестіру модуляция деп аталады.* Модуляция арқылы кеңістікке амплитудалары бірдей емес толқындар тарайды. Радиоприемникке жеткеннен кейін бұл толқындар, радиоприемникте де түрі 190, II-суретте көрсетілгендей айнымалы ток қоздырады. Детектор мұның бір жартысын өшіреді де, телефонмен тек пульсациялайтын ток қана жүреді (190,-III); бұл токтың бағыты біржаққа қарай болғандықтан, пульсациялар қосыла келе, мембрананы сирек (дыбыстықиндей) тербелтеді (190, IV); бұл тербелістің жиілігі және сыпаты, радиопередатчиктің микрофонның алдында сөйленген дыбысқа сәйкес болады. Сүйтіп мұны қабылдау, өшер тербелістерді қабылдау сияқты болып шығады.



190, II-сурет. Модуляция кезіндегі антеннадағы тербеліс.



190,III-сурет. Детектордың қызметі.



190,IV-сурет. Телефон мембранасының тербелістері.

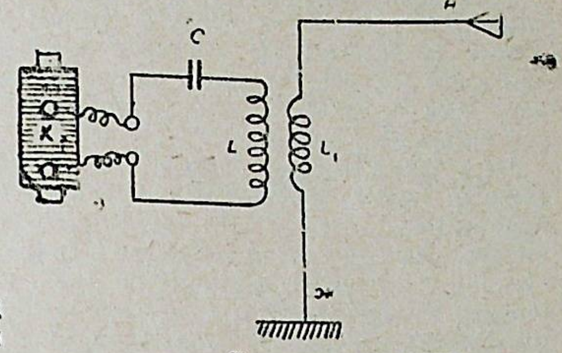
Радиоприемниктерде өнетін өте нашар токтарды, катод лампаларының жәрдемімен миллион есе күшейтуге болады. Катод лампасының қызметі келесі параграфтарда баяндалады. Күшейту бар болған кезде телефон орнына репродукторды тіркеуге болады. Бұл да сол телефон болады, тек қана оның жетілгендеу түрі.

149. Ең жабайы радиопередатчик. Бұл кезде ұшқын, жиілігі жоғары токтардың генераторы болудан қалды, оның заманы өтті; ұшқынды передатчиктерді енді жасамайды, бірақ электромагниттік тербелістерді демонстрациялау үшін, олар әлі де физикалық кабинеттерде қолданылуы мүмкін.

Осы жабайы құралды сыпаттайық (191-сурет).

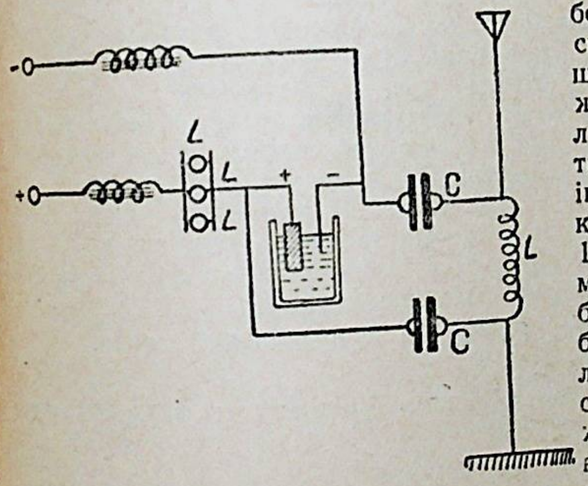
Ол, тербелмелі контур *LC* ден құралады; бұл контурдағы катушка, қоңырау сымының бірнеше ондаған орамдарынан жасалады, ал конденсатор, слюдамен не парафиндалған қағазбен астарлаған жұқа қалайы қағаздан істеледі, L_1 катушка *A* антеннаны және *Ж* жерлестіруді контурмен байланыстырады. Антенна — бірнеше метрлік сым; оны бөлме ішінде потолок астына іліп қоюға болады. *Ж* жерлестіру дегеніміз, су трубасымен немесе жерге қаратылған металл шыбықпен қосылған сым болады; ұшқын ұшатын аралық, кезкелген, тек ұшқын[1]) беретін, Румкорф катушкасының полюстерімен қосылады.

Көрші бөлмеде детекторлы приемник орнатып (184-сурет) телефон арқылы тыңдап, біздің радиопередатчикте өнетін өшер тербелістерді оп-оңай аңғаруға болады.



191-сурет. Ұшқынды передатчиктің схемасы.

Осы тараудың авторы, электролиттік генератор дейтін приборды ұсынған, бұл да өте жабайы, бірақ сәуле шығаруы едәуір күштірек. Бұл құрал, 191а-суретте кескінделген, 25 проценттік күкірт қышқылының ертіндісі құюлы банкадан құралады; ертіндіге екі электрод матырылған; оң электрод қорғасын пластина түрінде, теріс электрод жиішке платина сым; сұйыққа мұның ұшы ғана матырылып тұрады[2]). Осылай сайланған аспаптар, тұрақты токтың немесе түзетілген токтың көзіне қосылады; ток кернеуі 100 — 200 V болу керек. Реостат есебінде, параллель қосылған үш лампа алынады; екеуі 25 *W*-тық, біреуі 100 *W*-тық. Тізбектің бас жағына дроссельдер, яғни темір өзегі бар катушкалар орнатылған; бұлардың қызметі, жиілігі жоғары токтарды сетьке жібермеу. Теріс электродтың платина сымының диаметрі 0,25 *мм* болады да, қышқылға оның 3—5 *мм* дейі матырылады. Екі лампаны патронға кіргізе бұрап барып, тізбекті тұйықтаймыз. Сонда, платина сымдарының жанынан сутегі көпіршіктері жай ғана бөлініп шығып жатқанын байқаймыз. Лампалар толық қызып жанады, үйткені ыдыстың кедергісі үлкен емес. Ыдыс ішінде кәдімгі электролизден басқа құбылыстар болмайды. Енді қуатты 100 *W*-тық лампаны кіргізе бұраймыз; катодта күшті жарқыл пайда болады; ол күшті қызады, сүйтіп бүлініп те қалуы мүмкін. Қуатты лампаны тез шығара бұраймыз, сүйткенде ток шамасы кішірейеді; жарқыл басылмайды, бірақ бұрынғыдай шалқыған болмайды, өйткені ток күші болымсыз, 0,1*A* маңында; оны реостаттағы лампалардан да байқауға болады, олар зорға дегенде қызып тұрады. Генерация[3]) дәл осы кезде басталады. Тербелмелі контурды суреттегі схема бойынша құраймыз; *L* катушканың шамасы кішкене болғаны жөн, мысалы, қоңырау сымының 7 сантиметрдей; катушканың диа-



191а-сурет. Электролиттік генератордың схемасы.

---

[1]) Ұшқын қуатты прибордан, мысалы үлкен Румкорф катушкасынан алынатын болса, онда слюдалы конденсатор емес, ауа конденсаторын алу керек (182а-сурет).

[2]) Басқа металдан істелген сым тез тозып қалады.

[3]) Вольт доғасы сияқты құбылыс.

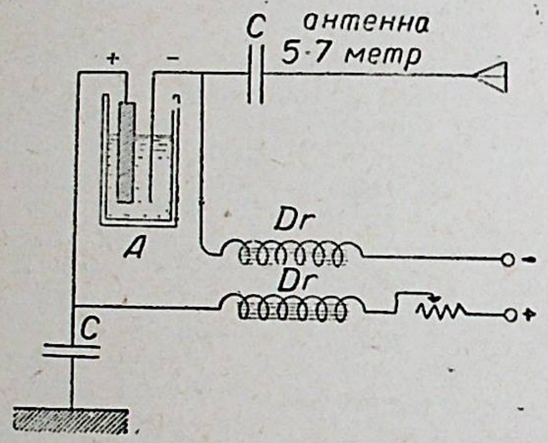
метрі 5 *см* дей. *С*, *С* — пластиналы конденсаторлар: екі-үш пар қалайы қағаз (фольға), астарлары парафиндалған қағаз[1]).

Ұзындығы 5—7 *м* бөлме антеннасы қолданылады.

Жерлестіру есебінде су жүретін труба немесе централь жылыту трубасы болады.

Радиоприемникті де осы бөлмеге немесе көрші бөлмеге орнатамыз; оның катушкасы да әлгінікі сыяқты конденсаторы айнымалы. Детектор тізбегіне (184-сурет) телефон орнына гальванометр немесе миллиамперметр қосамыз. Генератордағы ток күші 0,2 *А* маңында болғанда, приемниктегі ток *1 mA* (миллиампер) ден артықтау болады; мұндай токты дәрекі құралмен де көрсетуге болады. Тербелмелі тізбекті оңайлатуға болады: өздік индукция катушкасын шығарып тастап, тек конденсатор, антенна және жерлестіру, үшеуімен де қанағаттануға болады. Сонымен, электролиттік генератордың схемасы 191б-суретте көрсетілгендей болады.

150. ***Лабораториялық жұмыс № 5а.*** **Радиоприемникті құрастыру және оны күйлеу.** Бөлме передатчигін лабораторияның немесе көрші бөлменің ішіне орнатайық. Ол үшін 191 не 191а-сурет бойынша құрастырған прибор жарайды. Өздік индукция катушкасы есебінде қоңырау сымының 7 орамын аламыз. Мұндай «катушканың» диаметрі $d = 5$ *см*. Антенна — бөлмелік, потолок астына ілінген, ұзындығы 5-7 *м* сым; жерлестіру — газ немесе су жүретін труба, немесе кабырғаға жапсарлай, стол бетіндей биіктікте тартылған мыс сым.



191б-сурет. Ықшамдалған генератор.

Приборлар: 1) сыйымдылығы айнымалы конденсатор; 2) 7 орам қоңырау сымнан оралған өздік индукция катушкасы; 3) телефон; 4) детектор; 5) жерлестіру үшін қоңырау сымының бөлігі. Барлық бөліктерді әрқайсысын жеке-жеке тақтайшаларға жабдықтаған жөн және ол тақтайшаларға ұялар мен клеммалар орнату керек.

Жұмыс тәртібі: 1. 184-суреттегі схема бойынша детекторлы радиоприемник құрастыру керек. Жерлестіруді су жүретін трубаға қосыңдар, немесе қабырғаның бойымен, стол бетінің биіктігімен тартылған сымға қосыңдар. Антеннаны қоспауға да болады.

2. Телефонды құлаққа киіп, детектор сымының ұшын кристалдың әр жеріне тигізіп отырып, «сезімтал» нүктені іздеп табыңдар, (бұл кезде генератордың сылдыры естіледі).

3. Конденсатордың тұтқасын бұрап дыбыстың күшеюін байқаңдар.

4. Мына сұрақтарға жауап беріңдер:

Неге дыбыс максимумы конденсатор айрықша бір қалыпта тұрғанда естіледі?

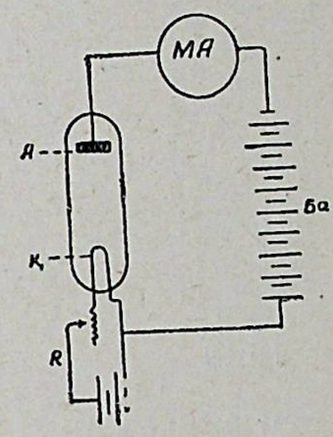
Детектордың қызметі не?

Телефонда неге сылдыр естіледі?

151. Электрон лампасы. XX ғасырдың екінші онжылдығының кезінде электрон лампасын, басқаша айтқанда катод лампасын ойлап шығарды, осының арқасында сол кезден бастап радиотехника тез өсе бастады.

Бостық трубка[2]) дегенді алайық; мұның дәнекерлеген екі электроды болады: *К* катод (192-сурет), жиішке вольфрам қыл түрінде, және *А* анод, металл пластинка түрінде. Анод пен катодты миллиамперметрмен тізбектеп бірнеше ондаған вольттік батареяға қосайық: егер катодтың қылы суық болса, біз ешқандай ток анықталмаймыз (бостық трубканың кедергісі өте үлкен болады).

Енді катодты қыздырайық, ол үшін оған арналған бірнеше вольтті қыздыру батареясын қосайық: бірден ток өте бастайды, оны *МА* миллиамперметр көрсетеді. *R* реостатты тізбектен шығарған сайын және қылдың температурасын айрықша бір шекке шейін жоғарылатқан сайын ток өсе береді. Мұны ашқан Эдиссон, зерттеген Флемминг және басқа физиктер еді; зерттей келгенде қортынды мынау болды; қызған металл қыл электрондары, зор жылдамдықпен бостық трубканың ішінде катодтан анодқа қарай зымырап жүріп отырады; бұлардың жылдамдығы, трубадағы сиректік дәрежесіне және анодтың потенциалына байланысты болады да, бір секундте бірнеше мыңдаған километрге жетеді.

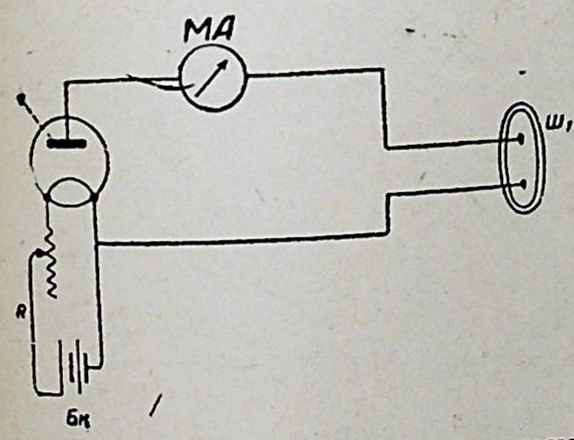


192-сурет. Эмиссиялық токты шығарып алу.

Бұл кездегі өнетін эммиссиялық ток (электрондар ағыны) радиотехникада пайдаланылады. Осы сыпатталған екі электродты катод лампасы (басқаша: диод, кенотрон) айнымалы токты түзету үшін қолданылады.

Түзету қалай болатынын сыпаттайық.

192а-сурет бойынша схема жыйнастырайық. Схема екі электродты катод лампасынан құралады; $Б_к$ — қылды қыздыратын екі аккумулятордан құралған батарея; *R* — қыздыру реостаты; *МА* — түрақты ток үшін миллиамперметр; $Ш_т$ — жарықтандыру сетіндегі айнымалы токтың штепсельдік розеткасы; айнымалы токтың кернеуі 120 V болу керек. *R* реостаттың тұтқасын бұрап, электрон лампасын жағамыз; анодтық тізбектің ұштарын, айнымалы токтың $Ш_т$ штепсельдің розеткасының ұясына сұғып қойып, *МА* миллиамперметрге қарасақ, оның стрелкасы бірталай бұрышқа бұрылып, бірнеше миллиампер ток жүргенін көрсетеді. Бұл ток бір жаққа қарай ғана жүреді: әйтпегенде миллиамперметр бұрылмас еді, яғни ол, айнымалы токты көрсете алмайды (біздің алғанымыз жылулық прибор емес, айнымалы катушкасы бар прибор). Сонымен, электрон лампасы, детектор сыяқты токты «түзулейді»: айнымалы токтың орнына пульсациялайтын ток шығады.



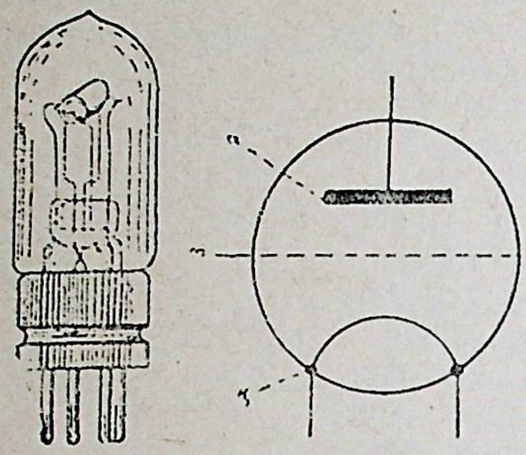
192а-сурет. Электрон лампасы түзеткіш есебінде.

[1]) Бұлардың сыйымдылығы 300—500 *см*.

[2]) Ішіндегі ауасының барлығын дерлік шығарып тастаған трубка осылай аталады.

152. Үш электродты электрон лампасы (триод). Электрон лампасының бұдан әрі жетілдіруі былай болды: мұның ішінде «тор» деп аталатын үшінші электрод орнатылады (әдетте, «тор» дегеніміз спираль түрінде болады).

Осындай үш электродты лампа, басқаша айтқанда *триод* күшейткіш есебінде, де онан соң, жиілігі жоғары электромагниттік тербелістердің генераторы есебінде де жалпы қолданылатын болды.

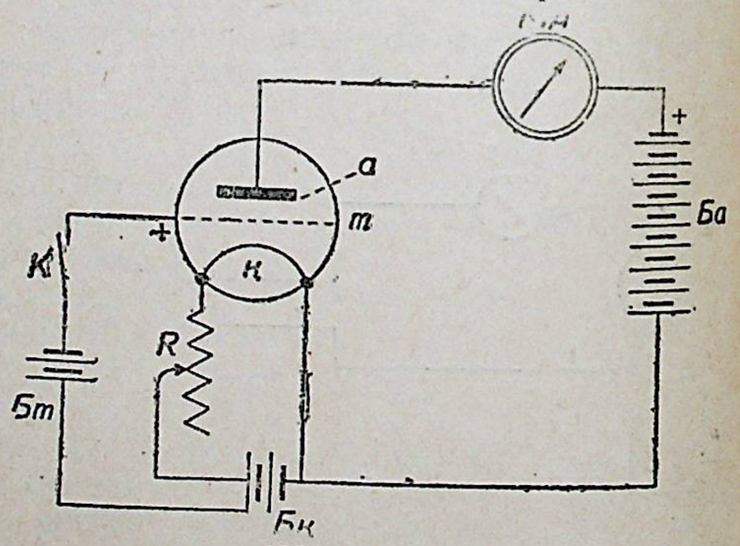


192б-сурет. Үш электродты электрон лампасын кескіндеу—бұл жалпы қабылданған схема және катод лампасының жалпы түрі.

192б-суртте үш электродты лампаның кескіні схемаша берілген. *а* — анод; *қ* — қыздырылатын қыл; *т* — тор.

153. Катод лампасы тербелісті күшейткіш есебінде. 192в-сурет бойынша схема күрастырайық. Анод тізбегіне, бірнеше ондаған вольттік, элементтердің немесе аккумуляторлардың батареясын еңгіземіз ($Б_а$), ал, тор тізбегіне екі элементтен күралатын $Б_т$ батареяны, онансоң $К$ кілтті қосамыз; $Б_қ$ қыздыру батареясы.

R реостаттың түткасын бұрау арқылы $Б_қ$ батареяны қосайық; қыл қызады да, электрондарды шығара бастайды, миллиамперметрдің көрсетуінен біле-міз. Енді кілт арқылы тор тізбегін бір есе тұйықтап, біресе айырып отырайық: $МА$ миллиамперметрдің стрелкасы тербеле бастайды. Мұның мәнісі: тізбекті тұйықтаған кезде және айырған кезде тордың потенциалын өзгертеміз, сонымен қатар анод тогының күшін өзгертеміз. Мысалы, торға біз оң потенциал бердік дейік; онда, анод тогы күшейеді, үйткені тор анодқа көмектесіп қылдан тартылатын электрондардың санын көбейтеді.

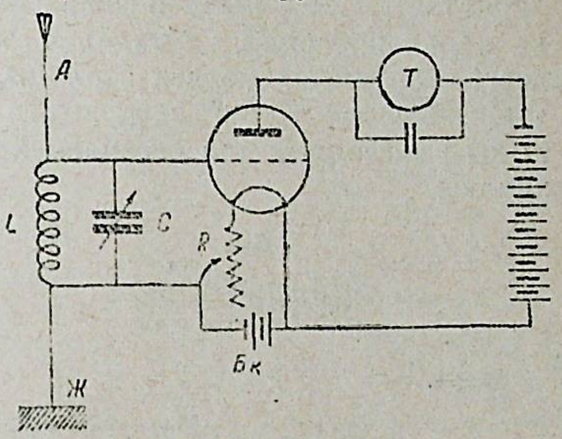


192в-сурет.

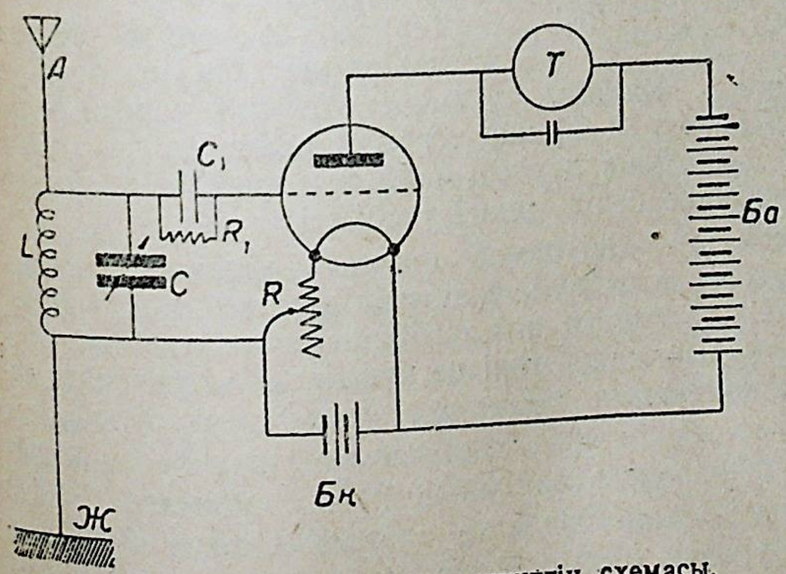
Тордың потенциалын кемітейік — анод тогы бәсеңдейді. Потенциал бірталай теріс шамада болған кезде, ток нольге жетуге де мүмкін, үйткені онда электрондар анодқа бара алмайды, тордың теріс зарядымен тебіліп қайтадан қылға барады.

Сонымен, тор патенциалының тербелісі анод тогының тербелісін жасайды. Онан соң және тор тогының тербелісімен салыстырғанда, анод тогының тербелісі күшті ұлғайып шығады. Сондықтан, үш электродты лампа, радиоприемниктегі токтың бәсең тербелістерін күшейту үшін қолданылады. Бұл, 193-суреттің схемасы бойынша іс-теледі. $Б_т$ батареяның ролін атқаратын, келуші толқындарға сәйкес күйленген, тербелмелі контур болады. *С* — блоктанған конденсатор — жиілігі жоғары ток өткізуге арналған, *Т* — жиілігі төмен дыбыс тербелісін білдіретін телефон. Бірнеше лампаларды алып, олардан «каскада» жасауға болады, яғни бірнеше лампаларды сатылап қолданып, орасан көп рет күшейтіп шығаруға болады.

154. Ең жабайы бірлампалы приемник. 194-суретте бір лампалы приемниктің схемасы берілген. Тербелмелі контур, *L* өздік индукция катушкасынан, онан соң сыйымдылығы айнымалы *С* конденсатордан құралады. Контур, тор тізбегіне қосылған; *Т*—телефон анод тізбегіне қосылған. *CL* контурдың қабылдаған тербелістері тор үстіне беріледі де, онан соң түзетілген түрінде және күшейтілген түрінде анод тізбегіне беріледі. Сондықтан, приемниктегі электрон лампасы әрі детектор, әрі күшейткіш болып табылады. Лампалы приемниктің керекті бір деталы конденсатор $С_1$, мұның сыйымдылығы тұрақты 200 — 300 *см*, онансоң үлкен кедергі R_1 (бірнеше миллион ом) болады. Бұл детальді *гриддлик* деп айтады. Гридликтің істейтін қызметіне тоқталайық.



193-сурет. Электрон лампасы, тербелісті күшейткіш есебінде.

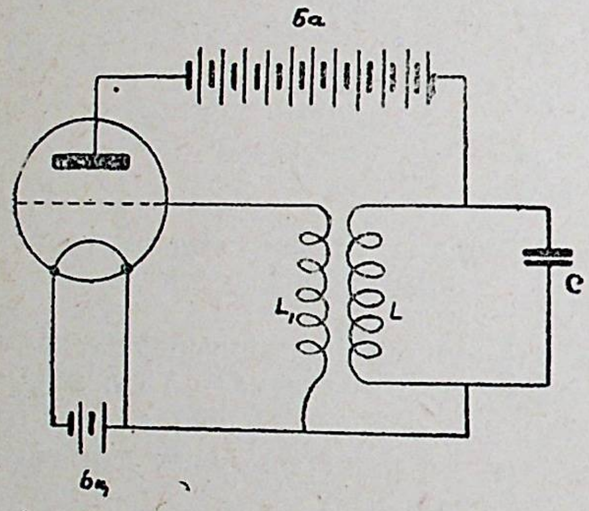


194-сурет. Бірлампалы приемниктің схемасы.

Контурдың тербелу процесі кезінде, бір моментте, С конденсатордың сол жақтағы пластинкасы оң зарядталады дейік, сонда оң пластинкасы теріс зарядталады, өткізгіштің жақынырақ басы индукцияның әсерінен (§ 20) әр атты зарядталатынын еске түсірейік),

ал тор оң зарядталды (қашық басы). Тордың оң заряды анод тоғын үлкейтеді; қылдың шығарып тұрған электрондарының бір бөлігі торға түседі де оның зарядын нейтральдайды. Оң жақ пластинада қалған теріс зарядтар аз уақыт өткеннен кейін стерженьнің барлық бойына таралады да, торға барып түседі, сүйтіп торда теріс заряд жыйнала бастайды. Бұлар нейтральданбайды, үйткені қылдан ұшатын электрондар оң зарядтарды ғана нейтральдай алады. Тор тізбегіндегі токтың тербелістерінің әр қайсысында торға белгілі бір шөлшерде теріс зарядтар жыйнала береді.

Едәуір мөлшерде жыйналғаннан кейін, бұлар эмиссиялық токты нашарлатуы бәлки мүлде тоқтатып тастауы мүмкін, үйткені теріс зарядталған тор, қылдан ұшын бара жатқан электрондарды анодқа қарай жібермей, қайтадан қылға қарай теуіп жібереді. R_1 кедергі «тор утечкасы» деп аталады, оның қызметі торда жыйналған теріс зарядтарды біртіндеп жерге жіберіп отыру болады. Осы арқылы эмиссиялық ток бәсеңдемейді де, лампа жұмысын дұрыс атқарады.



195-сурет. Бір лампалы генератордың ең жабайы схемасы.

155. Электрон лампасы генератор есебінде. Радиотолқындарының лампалы генераторының ең жабайы схемасы 195-суретте көрсетілген. Тербелмелі контур LC анод тізбегіне енгізілген. Тор тізбегіне L_1 катушка енгізіледі; бұл катушка L катушканың жанына қойылады. Осылайша, екі тізбектің арасында байлам болады. $Б_а$ — элементтер батареясы, немесе кернеуі жоғары басқа бір тұрақты токтың көзі; $Б_к$ — қыздыру батареясы.

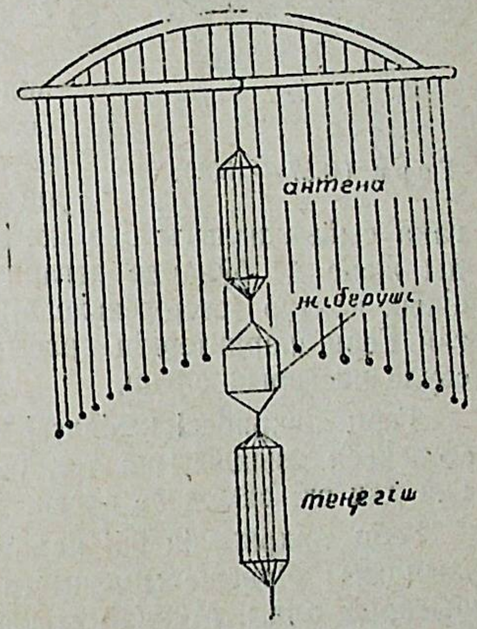
Тербелістің пайда болуын жалпы түрде былай түсінуге болады. Бір себептен, мысалы, тізбекті тұйықтап қалған кезде, анод тізбегіндегі LC контурда бірінші тербеліс пайда болды дейік. Бұл тербеліс L мен L_1 катушкалардың байламы арқылы индукцияның әсерінен тор тізбегіне берілетіндігі түсінікті.

Тордың бұл бәсең тербелісі лампа арқылы қайтадан анод тізбегіне әсер етеді: өзімізге белгілі, электрон лампасының күшейткіш қасиеті бойынша, LS контурдағы тербелісті күшейтеді. Бұл күшею L_1 катушканы бұрынғыдан гөрі де күштірек қоздырады, ендеше анодтағы LC контурдың тербеліс амплитудасын арттырады (бұл құбылыс динамо машинаның өздігінен козуына ұқсаңқырайды, L мен L_1 катушкалардың байламын реттеу арқылы, біз LC контурды күшті «шырқатып» тербелте аламыз. Осылайша өшпес тербелістер болып тұрады, мұның өшпеуіне L_1 тор контуры үнемі автоматты түрде түрткілеп себеп болып тұрады.

CL контурға антенна мен жерді қоссақ, ол ашық контурға айналады да, айналадағы кеңістікке электромагниттік толқындар тарайды.

Лампаға қандай тербелмелі LC контур қосуымызға байланысты, кезкелген жиілігі бар тербелісті шығарып алуға болады; мысалы, өте жоғары ($\nu = 10^9$) тербелістен бастап өте төмен ($\nu = 10$) тербелістерді де шығарып алуға болады.

Генерацияны кезкелген электрон лампасынан, оның ішінде радиоприемниктің кішкене лампасынан да шығарып алуға болады. Бұл соңғының қуаты шағын. Жалпы қабарлайтын станциялардың қуаты өте ірі болатындығы, бұлардың қолданатын лампаларының үлкен болуынан, ондай лампалар бірнеше ондаған, тіпті жүздеген киловаттқа арналады. Бұл лампалардағы, катодтың анод жаққа қарай шығарып отыратын электрондарының ағыны сондайлық күшті болғандықтан, лампа жұмыс істеп тұрған кезде электрондардың соққысынан анод қып-қызыл болып, оны ақкан сумен салқындатып тұрса да, қызып кетеді.



196-сурет. Радиопрожектор.

Радиостанцияларда анод тізбегінде тұрақты токтың жоғары кернеуі қолданылады. Бұл тұрақты токты, екі электродты (тор керексіз) электрон лампасы арқылы түзетілген айнымалы токтан шығарып алады. Мұндай түзеткіш лампаларды да едәуір ірі қуаттарға арнап істейді. Бұларды *кенотрон* деп атайды.

156. Қысқа толқындар. Соңғы уақытта қатнас техникасында қысқа электромагниттік толқындардың маңызы ерекше болды; бұлардың толқындарының ұзындығы мөлшермен алғанда 10 мен 150 *м* аралығында, яғни бір секундте $3 \cdot 10^7$ дан $2 \cdot 10^6$ шейінгі тербелістерге сәйкес келеді. Қысқа толқындарда байқалатын тамаша қасиеттердің бірі: қуаты азғана болса да олардың әсерінің өте қашыққа баруы? Европа мен Америка континеттерінің арасындағы қатнас осы қысқа толқындар арқылы болып тұрады; сондағы бұл толқындардың жұмсайтын қуаты бірнеше ондаған ватт, онансоң, барлық сәуле шығаруға жұмсалған қуат 2 W болғанда да Атлант мұхиты арқылы қатнас болған кездері көп болған.

Қысқа толқындардың екінші бір тамаша қасиеті мынау: оларды, прожектордың шоқ сәулесі сыякты, берілген бір бағытпен жіберуге болады. 196-суретте радиопрожектордың схемасы көрсетілген; параболалық «айна» есебінде, бір-бірінен бірнеше ондаған сантиметр жерде тұратын, параллель сымдары алынады; осы «айнаның» қуысына, толқын ұзындығы небары 10 *м* дей ғана перенадатчик қойылады. Антенна мен жерлестіру орнына екі шоқ-па-



Герц (1857 — 1894).

раллель сымдар алынады; ол екеуі ашық тербелмелі контур жасайды.

Толқындарды айнаның тесігі жағынан ғана қабылдауға болады. Қысқа толқындар мен тәжрибені барлық елдің физиктері және радио әуестері істейді. Алғашқы рет қысқа электромагниттік толқындарды тіпті 1887 ж. Герц шығарып алған еді. Бұл мақсат үшін, ол ұзындықтары бірдей екі стерженьнен тұратын тербелмелі контур қолданған еді; стерженьдер шариктермен ұштalған; шариктердің арасынан ұшқын секіреді (197-сурет). «Герц диполі» деп аталатын, мұндай аспаптың арнаулы конденсаторы мен катушкасы болмаса да, бірталай сыйымдылығы және өздік индукциясы болады: шариктердің өздері содан соң стерженьдер шағын ғана сыйымдылығы бар конденсатордың астарлары есебінде болады және де бұларда азғана өздік индукция бар; ал, және бұл ашық контур (стерженьдердің ұштары тұйықталмаған) болғандықтан Герц шариктердің арасынан ұшқын жүгіртіп электромагниттік сәуле шығарып алған.

Герц тәжрибесі кезіндегі толқын ұзындығы екі стерженьнің екі еселенген ұзындығына тең болған. Сонымен, егер ұзындықтары 1 *м* ден екі стержень алсақ, толқын ұзындығы 4 *м* болады.

Герц тәжрибесін әрі қарата өрістетіп проф. П. Н. Лебедев ұзындығы бірнеше миллиметр[1]) ғана электромагниттік толқындар шығарып алды. Мұндай «генератор» жасау үшін, ол, ұзындықтары бірнеше миллиметр ғана екі платина сымдар алып, соларды тербелмелі контур есебінде пайдаланды.



197-сурет. Герц диполі.

Қазіргі уақытта одан гөрі де қысқарақ электромагниттік толқындар табылды.

Ұзындығы бірнеше сантиметр толқындарды электрон лампалары арқылы шығарып алуға болады.

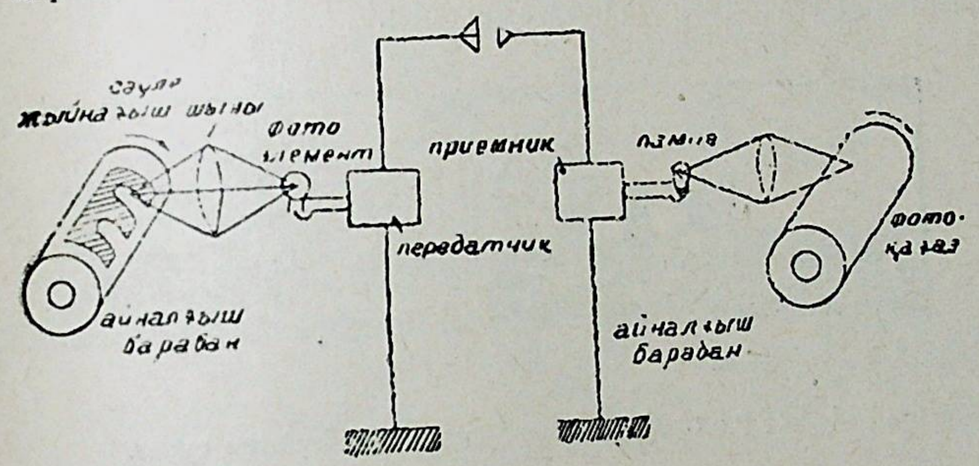
157. Радиотолқындардың қолданылуы. Электрон лампасын ойлап шығару, қатнас техникасында нағыз төңкеріс жасады. Жер шарының бетін тезарада-ақ радиостанциялар қаптап кетті. Жер бетінде электромагниттік сәуле бармайтын жер жоқ, мұны жай радиоприемник арқылы оп-онай аңғаруға болады. Қуатты передатчиктен шыққан электромагниттік сәуле, жер шарын шыр айналып (әрине, нашарлаған түрде) шығып, сол передатчиктің өзіне қайтып келгені талай рет тәжрибеден байқалды.

Материяның ең жеңіл бөлшектерінен — электрондарынан тұратын, эмиссиялық токтың инерциясы, практикаша қарағанда, мүлде жоқ деуге болады; бұл, катод лампасының өте-мөте құнды қасиеті: қандай жиілігі бар электромагниттік толқындар келсе де (жиілігі өте жоғары болса да), электрон лампасы ол келген тербелістерді дәл өзіндей қылып қайталап береді.

Қазіргі уақытта радиотолқындардың барлық жұмсалатын орындарын санап шығу мүмкін емес: ұйткені, олардың түрлері сонша-лықты көп.

Қысқаша олардың кейбіреулерін көрсетейік.

1) Кескінді жеткізу. Мұндай жарық передатчиктерінің басты бөлігі, жарықтандыру дәрежесіне қарай, жиілігі жоғары токтарды біресе күшейтіп, біресе нашарлатып отыратын прибор болады. Бұл прибор *фотоэлемент* (§ 231,6), деп аталады да, микрофонның ролі сияқты роль атқарады; өшпес электромагниттік тербелістерге, фотоэлемент жарық тербелістерін «өріп» кіріктіреді; бұл жарық тербелістері мынадан туады: прибор жанынан, барабанға[1]) желімдеген сурет қозғалып өтіп тұрады; әдетте суреттің кейжері қараңғылау, ал кейжері жарықтау болады (198-сурет). Осы-



198-сурет. Радио арқылы кескінді жеткізу.

лайша модуляцияланған жарық тербелістері радиопередатчик арқылы тарайды да, приемникке келіп жетіп, электрон лампалары арқылы күшейіп, арнаулы бір лампаның жарық күшін өзгертеді; сүйтіп, бұл лампаның жарық күшінің өзгеруі, бастапқы радиопередатчиктегі жарық тербелісіне сәйкес болады. Приемниктегі әлгі лампаның жарығының тербелісі айналып тұрған барабанға проекцияланып, фотоқағазда із қалдырады. Шыққан із айғақталынады, онан соң үйреншікті тәсілмен бекітіледі (айғақтау және бекіту фотографиялық процестер). Жіберетін станция мен қабылдайтын станциялардағы барабандардың айналыстары толық үйлескен (синхронды) болса қабылданған кескін өзінің оригиналына едәуір ұқсас болады (199-сурет). Осы кездегі суретті алысқа жеткізу техникасы сондайлық кәмеліне жеткендіктен, қабылданып алынған кескінді

[1]) Кейініректе Москвада, Аркадьев және Глаголева-Аркадьева деген физиктер бұдан гөрі де қысқарақ (0,15 *мм*) толқындар шығарып алды.

[1]) Барабан винт сызығы бойынша айналып тұрады; винттің жолы өте қысқа.

фотографияның нағыз өзінен айырып алу қыйын. Суреттерді алысқа жеткізудің ең шапшаң тәсілі фоторадиотелеграфия.

2) Телевидение. Радио арқылы тек қана фотография, қол жазба, метеорологиялық карталар жіберіп қоймайды, радио арқылы қозғалыстағы нәрселердің, ораторлардың, әншілердің, актерлердің, кинофильмдердің кескіндерінде алысқа жеткізуге болады.

Телевидение дегеніміз қозғалып тұрған нәрселердің қозғалысы кезіндегі кескіндерін жеткізу және қабылдап алу болады.

Фотосуреттерді жеткізудегіден гөрі телевидение жұмысында күрделірек аппаратура қолданылады, дегенмен, телевидение негізіне қойылған принцип, қозғалмайтын кескіндерді жеткізудегімен бірдей: передатчиктің электромагниттік тербелістеріне әкеліп жарық тербелістерін беттестіру (модуляция).

Қозғалыстағы суретті тұтасымен жібермейді, жеке-жеке кішкене аудандарға бөліп-бөліп жібереді; бұл кішкене аудандарды бірінен соң бірін фотоэлементке проекциялайды, ол үшін оларды бірінен соң бірі «жүгірме сәуле» мен жарық қылады.

Суретті осылай жарықтандыру тәсілі жайында кейбір түсінікті мынадай мысалдан байқауға болады.



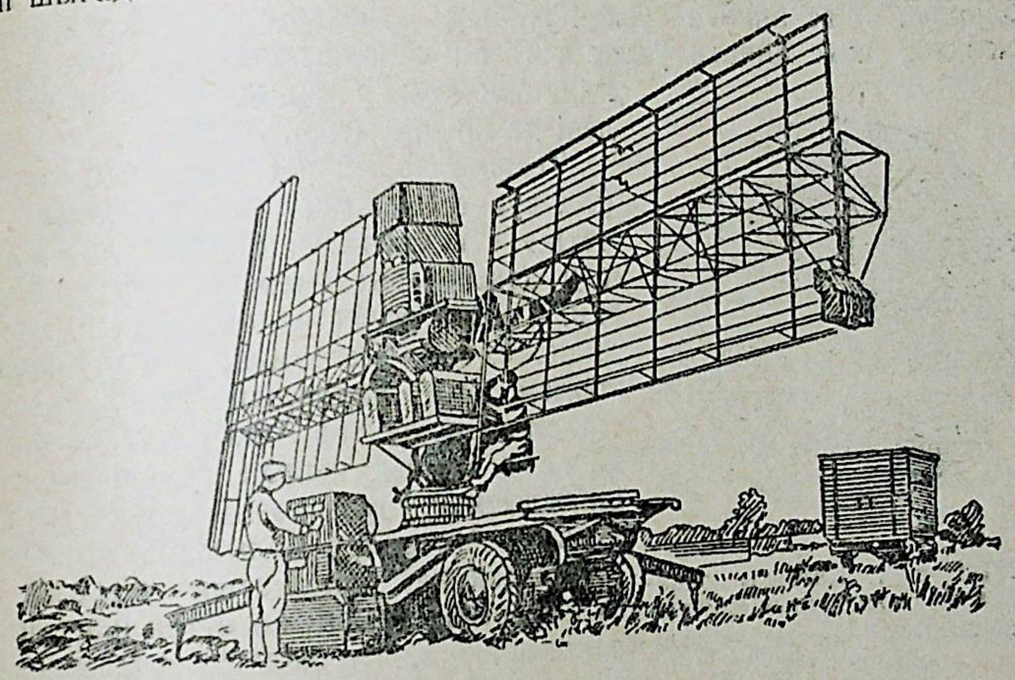
199-сурет. Фотоэлемент арқылы жіберілген сурет.

Тау беткейінде бекіністе жатқан жауды прожектор арқылы ретретімен бақылап шығу керек болды, дейік. Мұны былай тексеруге болады: прожектордың тоқталған жарығын әуелі таудың басынан горизонталь жүргіземіз, одан соң шоқ сәулені аздап төмен түсіріп келесі горизонтальмен жүргіземіз, сүйте-сүйте таудың балағына жетеміз. Нәтижесінде жаудың қалай орналасқаны туралы бізде толық сурет болады. Осы сыяқы: телепередатчиктегі арнаулы аспаптан (оны бұл арада сыпаттамаймыз) алынатын жүгірме сәуле жіберілетін суреттің (қозғалса да, қозғалмаса да бәрібір) бірінен соң бірін барлық жерін аралап шығады. Кітап бетін оқығанымызда да осы сыяқты: көзімізден кітап бетіне тартылған түзу сызық, жолдағы әріптерді біртіндеп аралап өтеді.

Сурет алдына фотоэлемент қойылады. Жүгірме сәуле суреттің кішкене аудандарымен сырғанап отырып, шағылысып барып фотоэлементке түседі. Сырғанау кезінде қараңғы жерлер де, жарықтың бұл тербелістерін фотоэлемент сезеді; өздерінің жалғасқан ретімен олар (тербелістер) радиопередатчиктің электромагниттік

тербелістерімен беттесіп барып содан соң радиотолқын түрінде кеңістікке тарайды.

Жүгірме сәуленің өте шапшаң жүгіретініне көңіл бөлу керек: барлық суретті ол, жолдарды қуалап отырып, өте қысқа уақытта — секундтің $\frac{1}{10}$ інде аралап өту керек. Мысалы, кинолентадағы әрбір жеке түсірілген суреттің (кадрдың) экран бетінде тоқталып тұру уақыты осындай ғана. Беріліс шапшаңдығы осындай болғанда ғана, біздің көзімізге сурет бытырамай, тұтасып көрінеді. Суретті бөлектегендегі элементтердің саны канша екендігі, берілістің сапасына күшті әсер етеді. Олар бірнеше ондаған мың (мысалы, 20 000) болу керек. Сонымен, қозғалып тұрған нәрселердің кескінін жеткізу — бір секунд ішінде 200 000 дей жарық импульстерін жеткізу деген болып шығады.



200-сурет. Радиолокаторлардың біреуінің жалпы түрі.

Қозғалмалы кескіндерді қабылдайтын приемникте кері процесс жүреді — жіберетін станциядағы жүгірме сәулемен толық үйлескен (синхронизмда болатын) жүгірме сәуле өндірілу керек: бұл, жіберетін станциядағы жарықтың барлық тербелістерін, онан соң жолдарды қуалағандағы барлық қозғалыстарын дәлме-дәл қайталап отыру керек.

Жүгірме сәуле есебінде осциллографтың катодтық шоқ (§ 138) сәулесін жарататын болды.

Катодтық шоқ сәулесін қолданғаннан кейін (бұл өнерді кемеліне келтіріп жетілдірген В. К. Зворыкин) телевидение мықты жолға түсті. Катодтық телевизор әдетте дыбыс қабылдауышпен де жабдықталады, осының арқасында, мысалы, оратордың қозғалысы мен сөзі бірден беріледі.

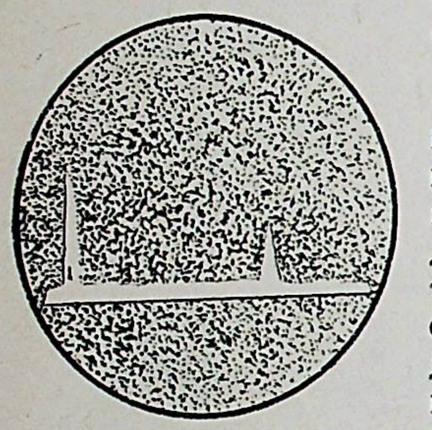
3) Радиолокация. Радиотолқындардың жолында бірдеме көгет кездессе, дыбыс толқындары мен жарық толқындарына ұқ-

сас, радиотолқындар ол бөгеттен шағылысады. Мұндай бөгет танк, самолёт болуы мүмкін.

Шағылысқан радиотолқындар арқылы алыстағы нәрселерді табу — радиолокация деп аталады.

Мұндай қызмет атқаратын прибор — радиолокатор, радар — ультрақысқа (мысалы сантиметрлік) толқындардың радиопередатчигі мен сондай толқындардың приемнигінен құралады (200-сурет).

Передатчикті жүргізген кезде, толқындардың жолында бірдеме бөгеу болмаса, онда толқындар айналадағы кеңістікке сейіліп, ізсіз жоғалып кетеді. Егер толқын, танкке, самолётке, кемеге кездессе, онда толқын оның бетінен шағылысып, жіберген жеріне жартылап қайтып келеді, бұл жерде оны приемник қабылдайды. Шағылысқан толқындардың энергиясы болымсыз, сондықтан оларды, ойыс айнаға түскен жарық сәулелерін фокусқа жыйнаған сыяқты, ойыс айнаға ұқсас тетіктер арқылы шоғырмақтандырады. Радиопрожектор арқылы тарайтын сәулені де бір бағытпен жібереді.



201-сурет. Катодты осциллограф экранының бетінде шағылысқан толқындардың белгілері (тістер).

Тегінде бұл установканың қызметі (200-сурет) кәдімгі прожектордың қызметіне өте ұқсайды, бірақ вольт доғасының орнына радиопередатчик қолданылған. Көздің ролін атқаратын сезгіш радиоприемник. Дегенмен, кәдімгі прожектордан көрі радардың келелі айырмасы бар. Прожектор алдындағы жерді үздіксіз жарық қылып тұрады, онансоң шағылысқан сәуле көзге ұдайы келіп тұрады. Ал, радар болымсыз ғана уақыт (микросекунд) созылатын қысқа импульстармен істейді; бөгеттен шағылысып, приемникке қайта келетін осы соқпа толқындар. Приемникте бұларды, приемникке еңгізілген, катодты осциллограф тіркейді: оның экранында шағылысқан импульстерге сәйкес «жылт ету» байқалады (201-сурет).

Кәдімгі жарық сәулелерімен салыстырғанда, тоқталған электромагниттік сәулелердің тағы бір артықшылығы бар: олар тұман мен бұлттан оңай өтіп кетеді. Сондықтан радиолокацияны кейде «қараңғыда көру» деп те айтады.

4) Радиозонд. Атмосфераның жоғарғы қабаттарында метеорологиялық бақылау қызыметін атқаратын приборды радиозонд деп атайды. Бұл сутегімен толтырылған кішкене шар («шар-пилот» деп аталады) болады да, оған іліп қойған мөлшері өте кішкентай радиопередатчик болады; оның барлық бөліктерінің (катушкаларының, конденсаторының, қыздыру және анод батареяларының) салмақтары өте аз болу керек, үйткені сутегі толтырылған шардың көтеретін күші шағын.

Передатчикті жер бетінде тұрғанда істете бастайды да, барлық приборды атмосфераға қоя береді. Көтерілу кезінде ол, метеорологиялық элементтердің хабарын, мысалы, ауа қысымын ұдайы автоматты жіберіп отырады. Бұл хабарларды жерде қабылдап алып, тіркеп отырады.

Радиозонд ауа қысымының хабарын қалай жеткізеді, соны мысал ретінде қарастырайық. Радиозондтағы передатчиктің тербелмелі контурының конденсаторы екі пластинадан тұрады дейік; пластиналардың аралығында ауа қабаты болсын; пластинаның біреуі барографтың қорабына бекітілген. Қысым кішірейген кезде қораптың көлемі үлкейеді, пластина көтеріледі, конденсатордың сыйымдылығы да өзгереді, сонымен бірге тербеліс жиілігі мен толқын ұзындығы да өзгереді. Толқын ұзындығының бұл өзгеруін, жердегі радиоприемник қолма-қол тіркеп отырады. Егер приемниктің конденсаторының сыйымдылығы, ауа қысымының өлшемдеріне сәйкес (сынап бағанасының миллиметрімен, немесе. миллибармен) градуирленген болса, онда қысымда приемниктің конденсаторы бойынша бірден тура санап айтып беруге болады.

5) Телемеханика дегеніміз техниканың алыстағы механизмдерді басқару мәселесін қарастыратын бір тарауы.

Осы кездегі телемеханика өте кең түрде және алуан түрде болып қолданылатын болды.

Телемеханиканың негізі жөнінде кейбір түсінікті мынадай мысалдан алуға болады. Қозғалып бара жатқан бір механизм, мысалы, кабинасында ұшқышы жоқ, самолёт болсын дейік; ұшқыштың орнына бірқатар радиоприемниктер қойылған, олардың әрқайсысы басқару органдарымен қосылған және әрқайсысы айрықша толқын ұзындығына сәйкес күйленген.

Осының арқасында реттелінетін (істейтін) механизмдердің әрқайсысы, тек айрықша толқын ұзындығы келіп түскенде ғана іске кірісе бастайды.

Хабарды таңдап қабылдау арқасында радио арқылы алыстағы самолёттің қозғалысын басқаруға, оның жылдамдығын өзгертуге, снарядтарды түсіруге, тағы сол сыяқтыларды істеуге мүмкін болды.

Телемеханика мен радиолокация екінші дүние соғысында көп жетілді.

Жиілігі жоғары токтар, техникада, медицинада, агрономияда және толып жатқан өлшеуіш құралдарды жасауда кең түрде қолданылады.

Радиотолқындарын сөз қылғанда, табиғатта болатын тербелмелі разряд жайында айтпай кетуге болмайды. Бұлардың өте-мөте күштісі — найзағай разряды. Тізбектелген бұлттардың бірдәуір сыйымдылығы мен өздік индукциясы болады, ал найзағай дегеніміз орасан үлкен ұшқындар (ұзындықтары бірнеше километр). Найзағай разрядтарының сыпаты тербелмелі екендігін осыдан түсінуге болады.

Табиғи «радиостанцияларының» бұл «сигналдарын» дүние жүзінде бірінші рет өзінің «жәй сездіргіші» мен қабылдаған А. С. Попов еді.

ОҚУШЫЛАРДЫҢ БІЛІМІН ТЕКСЕРУГЕ АРНАЛҒАН СҰРАУЛАР

1. Жиілігі жоғары тоқтар деген не?
2. Жиілігі жоғары токтардың кәдімгі токтардан айырмасы не?
3. Ұшқынды разрядтың сыпаты қандай
4. Тербелістің жиілігі неменеге байланысты?
5. Тербелмелі контур қандай бөліктерден тұрады?
6. Өшер тербелістер мен өшпес тербелістерді графикпен кескіндеңдер.
7. Өшу себебі неліктен?
8. Жиілігі жоғары токтарды, ұшқынды разрядтан басқа қандай тәсілмен шығарып алуға болады?
9. Электромагниттік энергияның тарауы қалай болады?
10. Толқын шығарып тарататын қандай тербелмелі контур болады?
11. Электромагниттік толқынның ұзындығы деп нені айтады?
12. Толқын түрінде жіберу үшін кәдімгі айнымалы ток неге қолданылмайды?
13. Ең жабайы телеграф радиостанциясы қандай бөліктерден тұрады?
14. Айнымалы токтың толқын ұзындығы мен жиілігінің арасында қандай байланыс бар?
15. Электромагниттік тербелістеріндегі резонанс құбылысы қалай?
16. Екі тербелмелі контурды қалай резонансқа келтіреді?
17. Ең жабайы детекторлы радиоприемник қандай бөліктерден тұрады?
18. Детектор қандай қызмет атқарады? Телефон ше?
19. Ең жабайы радиотелефон станциясы қалай жасалады?
20. Модуляция деген не?
21. Модуляцияланған электромагниттік тербелістер радиоприемникте қалайша дыбыс толқындарына айналады?
22. Радиотолқындар қандай мақсаттар үшін қолданылады?

Әдебиет. Берг А. И. и Садовский М. И., Александр Степанович Попов (К 50-летию изобретения радио).
Головин Г., Изобретатель радио А. С. Попов.
Горячкин Е. Н., Радио в школе. Выпуски 1, 2, 1941.
Коваленков А. И. и Духон Н. И., Радиоприёмные устройства, изд. Акад. наук.
Малов Н. Н., Радио на службе человеку, 1947, 64 стр.
Марков, Радио наших дней, 1947.
Гартман Г. А., Что такое радио? Детиздат, 1941, 160 стр.
Жеребцов И. П., Учебник радиотехники.

ОПТИКА

КІРІСУ

Сәуле энергиясының өмір тәжрибесінен бізге белгілі түрі — жарық. Жарық энергияның бір түрі екенін мынадан көруге болады. Денеге жарық түскенде дене қызады, былайша айтқанда, энергияның жылылық формасы пайда болады. Бірақ, сәуле энергиясы, энергияның бір түрі болғанымен, жоғарыда тексеріліп өткен энергияның басқа түрлерінен өзгешелігі бар.

Сәуле энергиясы, мысалы, күннің жарығы Жерге түскенде, заттың болымсыз ғана ізі бар кеңістікпен тарап келеді. Біз лабораториялық тәжрибелерімізде жарықты газы өте-мөте сиретілген трубканың ішімен жібере аламыз, сонда сәуленің өткізілуі зат жоқтықтан нашарлауы былай тұрсын, қайта жақсыланады.

Жарық құбылыстарын үйрену негіздеріне сүйеніп, кісі тұратын және жұмыс істелетін үйлерді, тағы әлеумет үйлерін қолдан жарықтандыру техникасы, бояу жұмысының техникасы, жарық сәулесінің жолын басқару техникасы, атап айтқанда, соғыс ісінде орасан ірі маңызы бар оптикалық приборлардың техникасы құрылған. Еріп жатқан денелердің температурасын жарық тәсілімен өлшеу металлургияда қолданылады. Сәуле энергиясы рентгенотехникада да пайдаланылады. Мұнда сәуленің рентгендік сәуле деп аталатын ерекше түрі қолданылады, бұлар медицинада түрлі организмның ішкі мүшелерінің күйін зерттеуге және металлургияда металдың және басқа кристал денелердің құрылысын зерттеуге пайдаланылады.

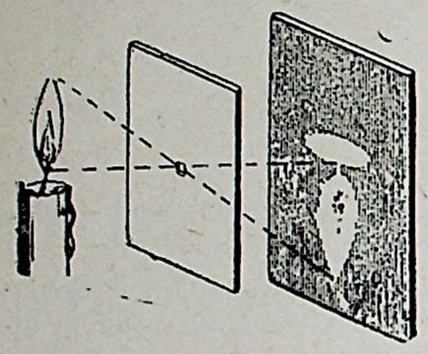
Агротехника ғылымы Жерге Күннен түсетін сәуле энергиясын пайдаланумен байланысты.

Адамның көру мүшесі — көзі жетік болғандықтан жарық сәулесі адамға дүние тану құралы болды. Микроскоп, телескоп және басқа оптикалық приборлар жасап, адам өзінің білім өрісін орасан кеңейтті: адам клетканың құрылысын зерттейтін болды, атомдардың молекулада орналасуы жөнінде түсінік алатын болды, атомның құрылысы жөнінде теория жасай алатын болды. Екінші жағынан адам Жерден көз жетпес қашықта тұратын аспан әлемдерінің құрамын, қозғалысын және олардың түрлену процесін зерттеп білетін болды.

1. ЖАРЫҚТЫҢ ТАРАЛУЫ

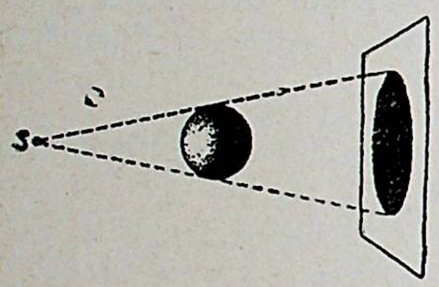
158. Жарықтың біртекті ортада тарауы. Нәрседен шыққан жарық кішкентай тесіктен өткенде түсетін кескін және мөлдір емес нәрселерден түскен көленке, шала көленке (202, 203, 204-суреттер)

турасында физиканың бастауыш курысында жасалып тексерілген тәжрибелер, *біртекті ортада жарқырауық нүктеден жарық түзу сызық бойымен тарайды деген қортындыға келтіріп еді.*



202-сурет. Сәуленің кішкентай тар тесіктен өтуі.

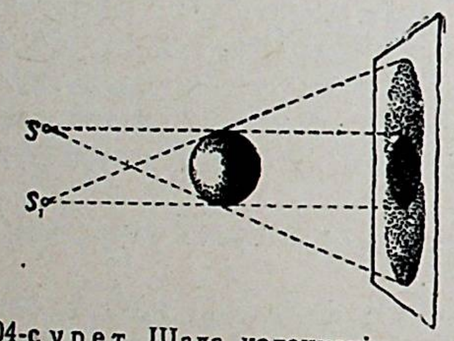
159. Екі түрлі ортаның шекарасындағы жарық құбылыстары. Жарықтың сәулесі екі ортаның шекарасына түскенде сәулемен келетін энергия екіге бөлінеді (205-сурет). Бір бөлігі сол ортаның өзінде қалады, бірақ ол тарау бағытын өзгертеді де, шағылысатын сәуленің бастамасы болады; екінші бөлігі екінші ортаға өтеді, оның да таралу бағыты өзгереді, бұл сынған сәуленің бастамасы болады.



203-сурет. Көлеңкенің пайда болуы.

Сәуле таралып келген ортасында қалып, екі түрлі ортаның шекарасында бағытын өзгертетін құбылысты шағылысу дейді.

Сәуле екінші ортаға өтерде шекарада бағыты өзгеретін құбылысты сыну дейді. Шекарадан шағылысқан AB сәулесін шағылысқан сәуле дейді; екінші ортаға өткен AC сәулесін сынған сәуле дейді.



204-сурет. Шала көлеңкенің пайда болуы.

Екі ортаның шекарасына сәуленің түскен нүктесінде түрғызылған перпендикуляр мен түскен сәуленің арасындағы бұрышты түсу бұрышы дейді; перпендикуляр мен шағылысқан сәуленің арасындағы бұрышты шағылысу бұрышы дейді; перпендикуляр мен сынған сәуленің арасындағы бұрышты сыну бұрышы дейді.

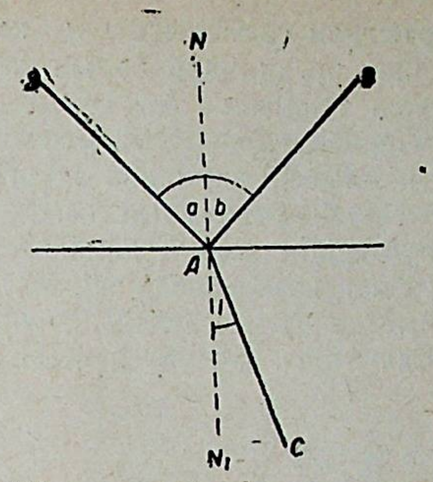
Сәулені шағылыстыратын жылтыратып өңделген тегіс бетті айна деп атайды. Таза сынаптың беті, тегістеп өңдеген металдың беті айна болады.

Түсу бұрышы үлкейген сайын шағылысқан сәуленің шамасы артады да, сынған сәуленің шамасы кемиді; түсу бұрышы кішірейгенде керісінше болады. Тоғамның тыйыш бетінен бақылаушыға сәуле жақын түрған нәрселерден гөрі, алыстағы нәрселерден анық шығылысады. Керісінші судың қайықтан алыс жердегі түбінен[1], гөрі қайыққа жақын жердегі түбі жақсы көрінеді.

[1]) Судың түбі ауадан суға өтіп, судың түбінен қайта шағылысқан жарық сәулесі арқылы қаралады.

Жарықтың шағылысу заңдары бізге 7-класс курсынан белгілі. Ол заңдар: берілген түскен сәуле арқылы шағылысқан сәулені қалай табу керек деген сұраққа жауап беруі керек. Бірінші заң шағылысқан сәуле қай жазықтықта жататындығын, екіншісі шағылысқан сәуле сол жазықта қандай бұрышпен бағытталғанын көрсетеді. Шағылысу заңдары тәжрибемен табылған[1]).

Егер түсу бұрышын a мен, шағылысу бұрышын b мен белгілесек, онда $\angle a = \angle b$ болады.



205-сурет. Түскен, шағылысқан және сынған сәулелер.

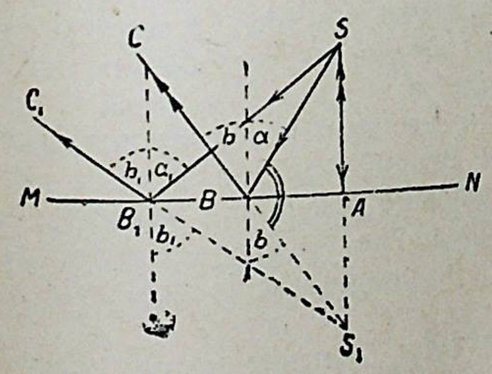
1. Шағылысқан сәуле, түскен сәулемен және шекараға сәуленің түскен нүктесінен түрғызылған перпендикулярмен бір жазықтықта жатады.

2. Шағылысу бұрышы түсу бұрышымен тең болады.

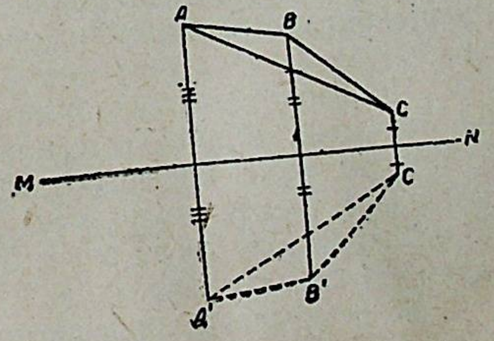
Осы екі заңнан шығатын салдар — *сәуленің аударымдылығы: егер түскен сәулені шағылысқан сәуленің бағытымен жіберсе, онда ол бастапқы түскен сәуленің бағытымен шағылысады.*

160. Жазық айнадағы кескін. Шағылысу заңдарының негізі бойынша, жарқырауық нүктелердің, не нәрселердің жазық және қыйсық айналардағы кескінін табуға болады.

Нүктенің жазық айналардағы кескінін табу үшін (206-сурет) нүктеден шығатын барлық сәулелердің ішінен: бірі айнаға перпендикуляр, екіншісі көлбеу екі сәулені алып қарастырайық MN айнаға перпендикуляр SA сәуле айнадан сол бағытпен шағылысады. Көлбеу SB сәуле BC нің бағытымен шағылысады. Шағылысқан сәулелердің екеуі де көзге келіп түссе, онда олар көзге, олардың ойша



206-сурет. Жарқырауық нүктенің жазық айнадағы кескінін салу.

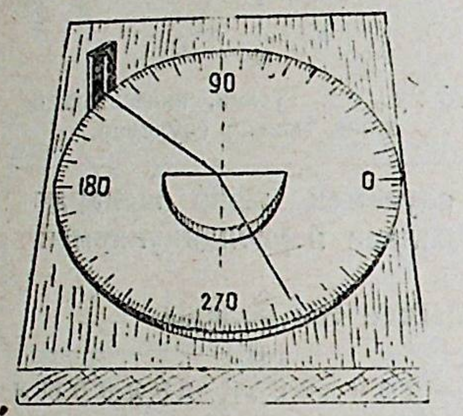


207-сурет. Нәрсенің жазық айнадан кескінін салу.

[1]) Жарықтың шағылысу заңдары Евклидқа да (біздің эрамыздан 305 жыл бұрын) белгілі еді.

тартылған созындысының қыйылысатын нүктесінен, яғни S_1 нүктесінен шыққандай болып көрінеді. SAB мен S_1AB үшбұрыштарының теңдігінен $S_1A = SA$ шығады.

Перпендикуляр SA мен бірге қандай көлбеу сәуле (мысалы, SB_1) алынса да, ойша жүргізілген созындылардың қыйылысатын нүктесі S_1 болатынын осы әдіспен дәлелдеуге болады. Сонымен, S нүктесінің жазық айнадағы кескіні S_1 болады. Бұл кескін жорымал кескін делінеді, өйткені, ол нүктеде сәулелердің өздері қыйылыспайды: сәулелері, сол нүктеден шыққан сәуле сияқтанып шағылысады. Бұл S_1 нүктесі S нүктесіне симметриялы нүкте болады. Жазықтыққа қарағанда симметриялы нүктелер деп, жазықтыққа перпендикуляр түзудің бойында сол жазықтықтың екі жағында одан бірдей қашықтықта жататын екі нүктені айтады.



208-сурет. Жарықтың сыну заңын зерттеуде колданылатын прибор.

Сонымен, *жарқырауық нүктенің жазық айнадағы кескіні жорымал және жарқырауық нүктеге симметриялы кескін болады.*

Нәрсенің жазық айнадағы кескінін салу үшін, оның әрбір нүктесіне симметриялы нүктені табу керек. 207-сурет нәрсенің жазық айнадағы кескінін салуды көрсетеді.

Нәрсенің жазық айнадағы кескіні жорымал және өзіне симметриялы кескін болады.

161. Лабораториялық жұмыс **№ 6. Жарықтың сыну заңдарын зерттеу.**

Приборлар: 1) жарықпен тәжрибе жасау үшін керек прибор (208-сурет); 2) шыны жарты цилиндр; 3) формасы жарты цилиндр сияқты іші қуыс шыны сауыт; 4) су және баска мөлдір сұйықтар; 5) барлық жұмыс істеушілер үшін бір күшті жарық көзі.

Жұмыс тәртібі. 1. Тұтас шыныдан жасалған жарты цилиндрді фанера[1]) дөңгелекке жарты цилиндрдің диаметрі мен центрі дөңгелектің диаметрі мен центріне дәл келетін етіп қойындар.

2. Приборлардың саңлауын күн не қолдан жасалған жарық көзіне каратып, приборды саңлаудан өткен жіңішке жарық шоғы, цилиндрдің тегіс қабырғасының ортасына түскенше қозғап жылжытыңдар; түскен сәуле мен сынған сәуле екеуі де фанера дөңгелекті жарықтап және оның бетіне жарқырауық із түсіретін қып дөңгелекті орнатыңдар.

3. Жапсырылған транспортирмен түсу бұрышы a ны, сыну бұрышы i ді өлшеп алып, таблицамен олардың синусын есептеңдер де $\frac{\sin a}{\sin i}$ қатнасын табыңдар.

4. Саңлауы бар пластинканы қозғалтып, тағы да түсу бұрышын 5 — 6 рет өзгертіңдер де, соның әрқайсысында жоғарыда көрсетілген өлшеу мен есептеуді жүргізіңдер. Сәулені жарты цилиндрдің тегіс бетіне перпендикуляр түсіріп көріңдер.

5. Тұтас шыны орнына іші қуыс сауытты алып, оны сумен не баска сұйықпен толтырып жаңағыдай өлшеңдер.

6. Әрбір затты алғанда шыққан санды таблицаға жазыңдар:

Тәжрибенің номері	Түсу бұрышы a	Сыну бұрышы i	$\sin a$	$\sin i$	$\frac{\sin a}{\sin i} = n$

7. Екінші ортадағы сәуленің жолы туралы қандай қортынды жасауға болады?

8. Түсу бұрышы мен сыну бұрышының арасында пропорционалдық бар ма?

9. Түсу бұрышы мен сыну бұрышының синустарының қатнасы туралы қандай қортынды жасауға болады?

10. Тәжрибеден жарықтың сынуының қандай заңдарын қорытып шығаруға болады?[1])

162. Жарықтың сыну заңдары. Екі түрлі ортаның шекарасына бір қатар сәуле түсіріп қарасақ, сонда әрбір сәуле екінші ортаға өтіп өзінің бағытын өзгертетіндігін — сынатындығын байқауға болады.

Тәжрибеден біз мынаны көреміз: сәуле бір ортадан екінші ортаға өткенде, кейбір жағдайда сыну бұрышы түсу бұрышынан кіші болады да, сынған сәуле перпендикулярға жақындайды (209-сурет I); екінші бір жағдайларда сыну бұрышы түсу бұрышынан үлкен болады да, сынған сәуле перпендикулярдан қашықтайды (209-сурет II).

Бірінші жағдайларда бірінші ортаға қарағанда екінші ортаның оптикалық тығыздығы артығырақ деп, екіншіде, екінші ортаның бірінші ортадан оптикалық тығыздығы кемірек деп саналады.

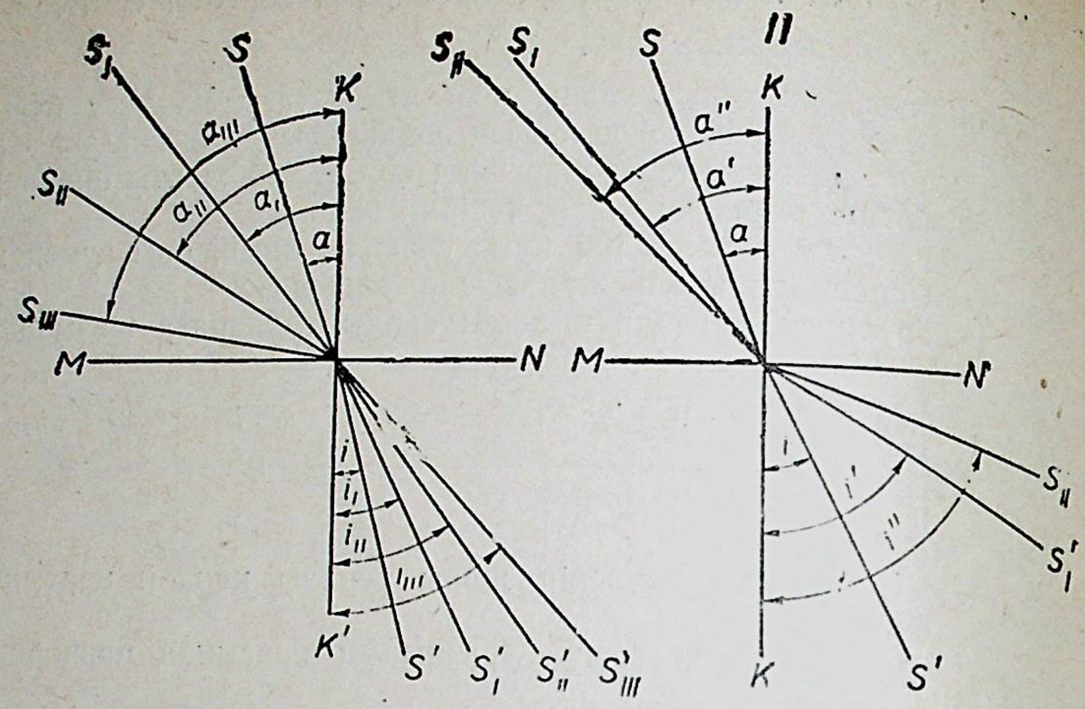
Зерттеулерге қарағанда түсу бұрышы мен сыну бұрышының синустарының арасында пропорционалдық бар екені көрінеді. Сыну заңы шағылысу заңынан едәуір қыйын болғандықтан екі мың жылдай соң ашылды[2]).

---

[1]) Фанера дөңгелекке, градустарға және жарты градустарға бөлінген қағаз дөңгелек жапсырылған. Қағаз дөңгелекке біріне-бірі перпендикуляр екі диаметр сызылған. Шеңбердің бойымен тік саңлауы бар қаңылтыр пластинка айналып тұра алады. Дөңгелектің ортасына шыны қойылады (В. Н. Бакушинский-дің приборы).

[1]) Осы приборды пайдаланып жарықтың шағылысу заңын зерттеп тексеруге болады; жоғарыда аталған приборларға қосымша кішкене жазық айна алып, оны дөңгелектің ортасына орналастыру керек.

[2]) Жарықтың сыну заңдарын табуды 110 жылы Птолемей қам қылған, оларды 1620 ж. Снеллиус ашқан; осы уақыттағы түрінде 1637 ж. Декарт тағайындаған.



209-с у р е т. Сәуленің бір ортадан екінші ортаға өтуі.

1. Сынған сәуле, түскен сәулемен және екі түрлі ортаның шекарасына сәуле түскен нүктесінен жүргізілген перпендикулярмен бір жазықтықта жатады.

2. Берілген екі орта үшін түсу бұрышы синусының сыну бұрышы синусына қатнасы тұрақты шама болады. Бұл тұрақты шаманы екінші ортаның бірінші ортамен салыстырғандағы сыну көрсеткіші дейді.

Екі заңнан шығатын салдар — сәуленің ауыспалылығы: егер түскен сәулені сынған сәуленің бағытымен жіберсе онда жаңадан сынған сәуле алғашқы түскен сәуленің бағытымен шығады.

Екінші ортаның бірінші ортамен салыстырғандағы сыну көрсеткішін n мен белгілесек, онда:

$$n=\frac{\sin a}{\sin i}. \qquad (I)$$

Бірінші ортаның екінші ортамен салыстырғандағы сыну көрсеткіші к е р і шамамен келетінін яғни $n_1=\frac{1}{n}$ болатынын оңай табуға болады.

Сәуле бостықтан қандай болсын бір затқа өткенде өлшенген сыну көрсеткіші, сол з а т т ы ң а б с о л ю т т і қ с ы н у к ө р с е т к і ш і делінеді.

Сыну көрсеткішінің бір қатары мына таблицада берілген:

Алмаз	2,42	Шыны (жеңіл крон)	1,51
Шыны (ауыр флинт)	1,80	Скипидар	1,41
Күкіртті көміртегі	1,63	Спирт	1,36
Қаратікен тұз	1,55	Су	1,33
Кварц	1,55	Мұз	1,31
Канада бальзамы	1,54	Ауа	1,00029

18-жаттығу.

Бетке перпендикуляр түскен сәуле қалай шағылысады және қалай сынады?

2. Жарқырауық нүктенің жазық айнадағы кескінін салыңдар.

3. Жазық нәрсенің жазық айнадағы кескінін салыңдар.

4. Горизонталь тұрған нәрсенің горизонтпен 45° бұрыш жасап көлбеген айнадағы кескінін салыңдар; соны вертикаль орналасқан нәрсеге де орындандар.

5. Траншея перископының схемасын сызып, ондағы сәуле жолын және оның қалай жұмсалатынын түсіндіріңдер. Перископтің сұңғуір қайықта қалай қолданылатынын түсіндіріңдер.

6. Сәуле айнаға перпендикуляр болып түседі. Айна α бұрышына бұрылғанда шағылысқан сәуле түскен сәуледен қаншалық бұрылады?

7. Күннің сәулесі горизонтпен 24° бұрыш жасап түседі. Күннің сәулесі шағылысып, горизонталь кету үшін жазық айнаны горизонтқа қандай бұрышпен қою керек?

Жауабы: 78° немесе 12°.

8. Бостықтан алмаз жағына перпендикулярмен 60° бұрыш жасап түсетін сәуленің алмаздың жағынан шағылысу бұрышы қандай және алмаздың ішіндегі сынау бұрышы қандай?

Жауабы: 21°.

9. Кварцтағы сынау бұрышы 24°. Түсу бұрышы қандай?

10. Сәуленің түсу бұрышы 50°; сыну бұрышы 28°. Сонда сыну көрсеткіші қандай болады?

Жауабы: 1,6.

11. Шағылысу бұрышы 40°, сыну бұрышы 46°. Бірінші ортаға қарағанда екінші ортаның тығыздығы туралы не айтуға болады?

12. Сәуле алмаздан бостықта өткенде 90° бұрыш жасап өтеді. Сонда түсу бұрышы қандай? Осы есепті шыны (крона) мен су үшін де шығару керек.

Жауабы: Алмаз үшін 24°.

13. Таяқ суда неге сынық болып көрінеді? Сынығы қай жаққа қарап тұрады?

163. Толық ішкі шағылысу. Сәуленің сынуын көрсететін прибор (208-сурет) тұтас шыны, не ішіне сұйық құйылған қуыс жарты цилиндрді орнаталық. Содан соң жарықтың сәулесін саңлау арқылы цилиндр бетке түсірелік. Заттың ішіндегі сынған сәуленің жолын бақылағанда сәуле бұл затты ауадан айырып тұрған жазық қабырғаға барып, сол шекарада екіге бөлінетінін байқаймыз. Біреуі шағылысу заңы бойынша с а у ы т т ы ң і ш і н е ш а ғ ы л ы с а д ы; екіншісі с ы н а д ы да, перпендикулярдан алыстап ауаға шығып тарайды, яғни сыну бұрышы түсу бұрышынан үлкен болады. Енді жарты цилиндрді, заттың ішіндегі жазық қабырғаға сәуленің түсу бұрышы үлкейе беретін қып, қозғалық, біз сонда: бірден ауаға шыққан сәуле перпендикулярдан алыстай беретінін, екіншіден ол сәуле көмескілене бастайтынын, ал нәрсенің ішіндешағылысқан сәуленің жарықтана беретінін байқаймыз. Ақырында келіп, түсу бұрышы бір белгілі шамаға жеткенде, сәуле екінші ортаға мүлде шықпай, түгелімен бірінші ортаға қайта шағылысады.

Мұндай күбылыс *тығыздығы артық ортадан тығыздығы кем ортаны айырып тұратын шекараға сәуле түскен кезде* ғана болады. Осы жағдайда ғана сыну бұрышы түсу бұрышынан үлкен болады және түсу бұрышы сүйір болған күнде де сыну бұрышы тік бұрышқа жетуіне болады.

Сыну бұрышы 90° болатын түсу бұрышын — шекті бұрыш дейді.

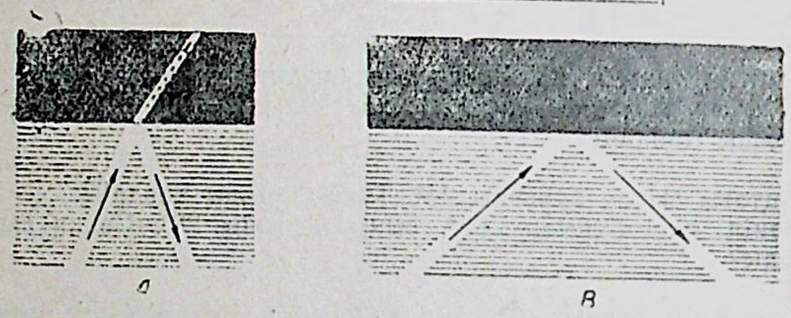
Шекті бұрыштан үлкен бұрышпен тығыздығы кем заттың шегіне түскенде сәулелердің шағылысуын — толық ішкі шағылысу дейді.

210-суретте толық ішкі шағылысқан сәуленің жолы салынған.

Сәуле заттан бостыққа өтердегі шекті түсу бұрышын A деп белгілеп, заттан бостыққа өтердегі сыну көрсеткіші бостықтан затқа өткендегі сыну көрсеткішіне кері сан болатындығын еске алсақ, шекті бұрыш мына формуламен есептелінеді:

$$\frac{\sin A}{\sin 90^\circ} = \frac{1}{n},$$

$$\boxed{\sin A = \frac{1}{n}}$$



210-сурет. Толық емес (A) және толық (B) ішкі шағылысу.

Ауа мен шекарадағы толық ішкі шағылысудың шекті бұрыштары:

Алмаз	24°	Шынының әр сорттары	30—42°
Күкірт көміртегі	38°	Су	49°

Толық ішкі шағылысу күбылысы жаратылыста өте жиі кездеседі. Судағы не шыныдағы ауаның көпіршігі, судағы өрмекші, су не шыны мен ауаның шегінде толық ішкі шағылысудың арқасында жылтырап көрінеді. Сол өрмекшіні судан суырып алғанда, сұр болып көрінеді. Сағым (мираж) күбылысын жарық сәулесінің ауаның тығыз қабатынан тығыздығы аз қабатына өткендегі толық ішкі шағылысуынан деп түсіну керек.

Техникада шыны мен ауаның шекарасындағы толық ішкі шағылысуды горизонталь нәрселерді экранға проекциялағанда, подвалдағы үйлерді жарықтағанда тағы сондайларда сәуленің жолын өзгерту үшін қолданады. Мұнда сәуленің жолының қалай өзгеруін 19-жаттығудың 4-есебінен түсінуге болады.

19-жаттығу,

1. Кварц, скипидар, мұз үшін толық ішкі шағылысудың шекті бұрышын есептеп шығарыңдар.

2. Су мен ауаның шекарасына сәуле 55° бұрышпен түседі. Сәуле ауаға өте ме?

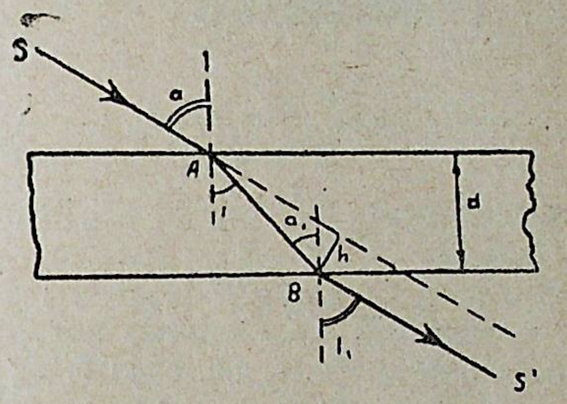
3. Кесек тұз бен бостықтың шекарасының бір нүктесіне түсіп, кесек тұздан бостыққа шыға алатын сәуле қандайлық сызықтық бұрыштың ішінде жатады?

4. Қыймасының формасы тең бүйірлі тікбұрышты үшбұрыш болып келген шыны призманың қабырғасына (катетіне) жарық сәулесі түседі. Сәуленің одан кейінгі жолын сызу керек.

5. Шыны призманың қыймасы тең қабырғалы үшбұрыш. Соның бір жағына перпендикуляр келіп қай төбесінен болсын қабырғасынан үштен бір аралығына сәуле түседі. Сәуленің содан кейінгі жолын сызыңдар.

6. Судың шар тәрізді тамшысының ішкі шегінен толық ішкі шағылысу пайда болу үшін оған сәуле радиусымен қандай бұрыш жасап түсу керек?

164. Жақтары параллель пластинкадан өткендегі сәуленің жолы. Жақтары параллель шыны пластинкаға жарықтың сәулесі SA (параллель сәуле шоғы) түссе (211-сурет), онда шыныны шекарасында сәуле екіге бөлінеді; оның бір бөлігі шағылысады, екіншісі шынының ішінде AB бағытымен сынады. Екінші шекарада AB сәулесінің тағы да бір бөлігі шағылысады бір бөлігі ауаға шығарда BS' бағытымен сынады. Шыққан ғана сәулені бақылалық. Бірінші шекарада түсу бұрышы a мен сыну бұрышы i мынадай қатнас түрінде байланысады:



211-сурет. Жақтары параллель пластинкадан өткен сәуленің жолы.

$$\frac{\sin a}{\sin i} = n.$$

Екінші шекарада шыныдан ауаға өткенде, түсу бұрыша a_1 мен сыну бұрышы i_1 мынадай қатнас түрінде байланысады:

$$\frac{\sin a_1}{\sin i_1} = \frac{1}{n}.$$

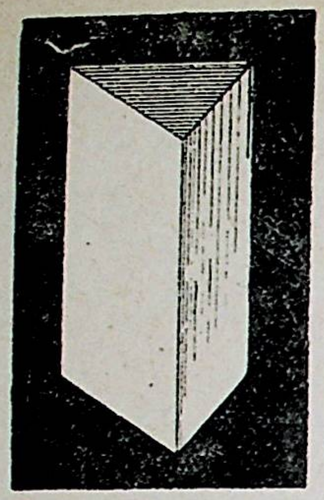
Бұл екі теңдеуді мүшелей көбейтсек мынау шығады:

$$\frac{\sin a \cdot \sin a_1}{\sin i \cdot \sin i_1} = 1.$$

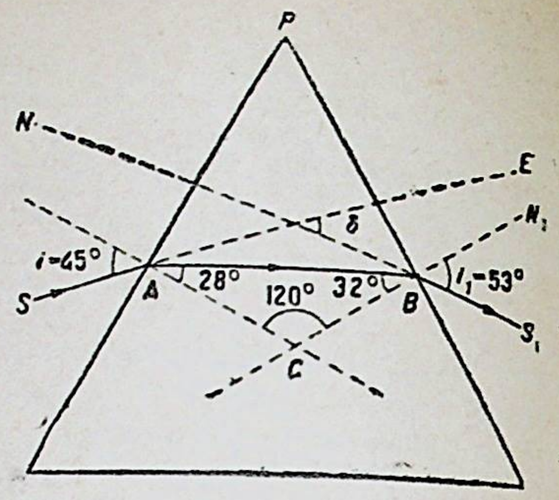
Жақтары параллель болғандықтан $\angle a_1 = \angle i$. Бұдан:

$$\sin i_1 = \sin a \text{ және } \angle i_1 = \angle a.$$

Жақтары параллель болғандықтан, a бұрышы мен i_1 бұрышы



212-сурет. Оптикалық призма.



213-сурет. Призмадан өткен сәуленің жолы.

бірдей, бұдан BS' сәулесі AS сәулесіне параллель болатындығы шығады.

Бұлардан мынадай қортынды шығарамыз: *жақтары параллель пластинкадан сәуле өткенде шыққан сәуле түскен сәулеге параллель болады да, бірақ, одан бірақ жерге ығысады.*

Жақтары параллель пластинка арқылы нәрсені қарағанда, нәрсе өтіп шыққан сәуленің бағытымен көрінеді де, өзінің нағыз орнынан біраз жерге ығысқан сияқты болады.

Түсу бұрышы a, пластинканың қалыңдығы d және сыну көрсеткіш n артқан сайын ығысу h да артады.

Орнынан ығысу шамасын келесі жаттығудың 1—3 есептерінде есептеп шығару керек.

Нәрселерді терезенің әйнегі арқылы қарағанда барлық нәрсе орнынан ығысқандай болып көрінеді. Бірақ әйнек жұқа болғандықтан, оның қалыңдығы бірқалыпты емес жағдайда болмаса, бұл орнынан ығысу байқалмайды.

165 Призмадан өткен сәуленің жолы. Табаны үшбұрышты призма алалық (212-сурет). Призманың сәуле өтетін екі жағы сындырушы жақтары, олардың қыры — сындырушы қырлары, олардың арасындағы сызықтық бұрыш — призманың сындырушы бұрышы делінеді. Ауадан келіп шыны призмадан өткен сәуленің жолы 213-суретте кескінделген. *Айналасындағы ортадан тығыздығы артық заттан істелген призма жарықтың сәулесін табанына қарай бұратыны* салынған кескіннің құрылысынан көрінеді. *Затты осындай призма арқылы қарасақ, ол сындырушы бұрыштың төбесіне қарай бұрылғандай болып көрінеді.*

Жарқырауық нүкте мен нәрсенің призмадағы кескіні — жорымал кескін. Осылай екендігіне, бір нүктеден шыққан екі сәуленің призмадан өткен жолын салып көз жеткізуге болады.

Түскен сәуле мен шыққан сәуленің бағытының арасындағы бұрышын бұрылу бұрышы дейді.

20-жаттығу.

1. SA сәулесі нормальмен 60° бұрыш жасап екі жағы параллель шыны (крон) пластинкаға түседі (211-сурет). Сәуле пластинкадан қандай бұрышпен шығады? Пластинканың қалыңдығы $AB = d = 5$ *см* болса, шыққан сәуленің ығысуы неге тең болады? Егер $d = 0{,}5$ *см* болса ше?

Жауабы: ≈ 1 *см*; ≈ 1 *мм*.

2. Жаңағы есепті түсу бұрышы 50° деп алып қайта шығарыңдар.

Жауабы: 1,9 *см*.

3. 1 және 2-есепті пластинка флинт шыныдан деп алып қайта шығарыңдар.

4. Флинттан жасалған призманың AB жағына бір нүктеден біреуі 30°, екіншісі 40° бұрышпен түскен екі сәуленің жолын салу керек(бірінші сәуле A төбеге жақын). Сызып салып және транспортирмен өлшеп, әрбір сәуленің өз алдына бұрылу бұрышын және жарық шығаратын нүктенің суретін салу керек. Призманың бұрыштары: $\angle A = 60°$; $< B = 50°$.

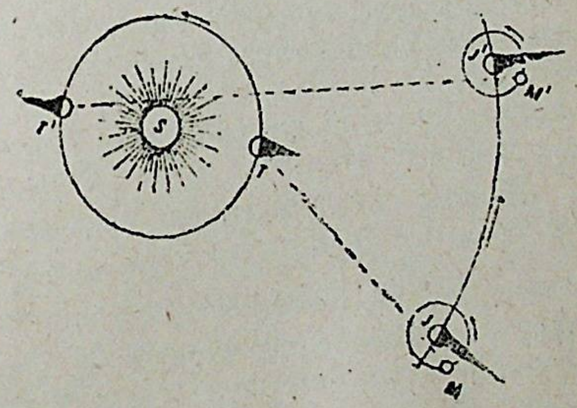
Жауабы: екіншінікі $\approx 51°$.

5. Судың ішінде 4 есептегі призманың формасындай бостық бар делік. Берілетін сан сол бұрынғыдай деп, сәуленің жолын сызу керек.

166. Жарықтың жылдамдығы. XVII ғасырдың ортасынан бастап жарықтың жылдамдығы осы уақытқа шекті әртүрлі жолмен — астрономиялық және физикалық жолдармен — өлшеніп келеді. Біз ең алғашқы және ең соңғы өлшеу методына тоқталамыз.

XVII ғасырдың ортасына дейін, жарықтың жылдамдығын табу талаптары нәтижесіз болғандықтан, жарық, жарық көзінен бақылаушыға дейін лезде, өлшеуге келмейтін уақыттың ішінде тарайды деген ой үстем болған.

1. Рёмердің методы. 1675 жылы Данияның, ғалымы Рёмер Юпитер планетасы серіктерінің тұтылуын бақылап отырып, планетадан түсетін көлеңкеге серігінің қатар екі рет кіруінің не одан қатар екі рет шығуының арасындағы уақытты дәлдеп тағайындаған (214-сурет).



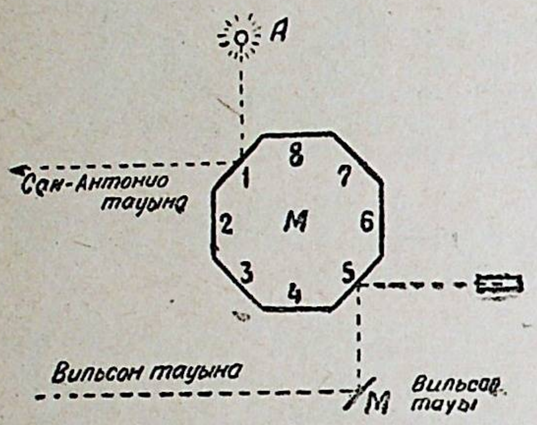
214-сурет. Рёмер әдісімен жарықтың жылдамдығын табу.

Рёмер сол бақылауын Жер Юпитерден ең жақын TI қашықтықта тұрғанда жасап алып, бұдан шыққан мәліметті, жарты жылдан кейін Жер Юпитерден ең T' I' қашықтықта тұрғанда серіктің көлеңкеден шығу уақытын есептеуге пайдаланған. Рёмер бақылай отырып, есептеп шығарған уақытқа қарағанда серіктің нағыз көрінуі 1 000 секундқа жуық кешіккенін байқады. Рёмер мұндай айырмашылықты орсоңғы екінші жағдайда жарық бірінші жағдайдан гөрі жердің орбитасына шамалас жолды артық жүргендіктен деді.

Жер орбитасының диаметрі белгілі болғандықтан (дөңгелектеп

алғанда 300 000 000 *км*), Рёмер жол мен уақыт арқылы жарықтың жылдамдығын (дөңгелектеп алғанда 300 000 *км/сек*) есептеп шығарған.

2. Майкельсонның методы. Жарықтың жылдамдығын өлшеудің физикалық методы жер бетіндегі арасы белгілі екі нүктенің бірінен-біріне жарықтың келу уақытын өлшеуге негізделген. Бірақ, жарықтың жылдамдығы орасан зор болғандықтан жарықтың сәулесі 1 секунд ішінде Жердің экваторынан $7\frac{1}{2}$ есе артық жол жүре алады. Сондықтан Жер бетінің кезкелген екі нүктесінің арасын жарық секундтың болымсыз үлесіндей уақытта жүреді. Физикалық методпен жарықтың жылдамдығын өлшегенде кездесетін үлкен қыйыншылық — жоққа тән болымсыз уақытты өлшеуде.



215-сурет. Майкельсон әдісімен жарықтың жылдамдығын табудағы прибордың құрылысы.

Бұл қыйыншылықты жеңіп, жарықтың жылдамдығын соңғы кезде өлшеген адамның бірі Америка физигі Майкельсон 1928 жылы былай істеген.

Жарықтың сәулесі екі таудың (Вильсон мен Сан-Антонио тауы, арасы 35 *км* дей) біреуінен шығып екіншісіне барып қайтуы керек. Бір таудың басына күшті жарық көзі *A* орнатылған (215-сурет). Жарық шоғының бірі *AB* ні сегіз қырлы айнаның бір жағынан (мысалы, 1-жағынан) шағылыстырып екінші тауға қарай бағыттаған. Екінші таудан сәуле қайта біріншіге шағылыстырылып, сегіз қырлы айнаның біріншіге параллель жағына шағылыстыру арқылы түсірілген (мысалы, 5-ге). Бұл кейінгі жақтан сәуле бақылаушының көзіне жіберілген.

Айнаны айналдырғанда екі жағдай тууы мүмкін. Не жарық бір таудан екінші тауға барып, қайтып келгенше айна оборттың $\frac{1}{8}$ бөлігіне айналады, сонда 5-қабырғаның орнына дәл сондай орналасып 6-қабырға тұрады да, шағылысқан сәуле айна тыйыш тұрғандағыдай бағытпен кетеді. Содан бақылаушы жарық көзін көреді. Не көрсетілген жолды жүруіне кеткен уақытында айна оборотты $\frac{1}{8}$ не айнала алмайды, онда 5 тен соң келесі жағы дәл 5 тей болып орын ала алмайды да, кейінгі шағылысқан сәуле бақылаушының көзіне түспей, басқа жолмен кетеді.

Бақылау былай жүргізіледі: айна қозғалмай тұрғанда бақылаушы жарықты ұстайды (табады): одан соң айнаны айналдырады; жарық көзі көрінбей кетеді; жарық көзі көрінгенше айнаның айналу жылдамдығын арттыра береді. Жарықтың көрінуі жарық

екі таудың арасына барып қайтқан уақытта, айна оборотының $\frac{1}{8}$ бөлігіне [1]) айналғанын көрсетеді.

Айна 530 обор/сек. жасаған. Оборотының сегізден бір бөлігіне кететін уақыт ұзақтығы $\frac{1}{4240}$ сек. Майкельсон бақылау нүктелерінің дәлдеп өлшенген аралығын екіге арттырып, оны $\frac{1}{4240}$ секунд уақытқа бөліп, жарықтың ауадағы жылдамдығы 299711 *км/сек.* екенін тапты.

Осыдан жарықтың бостықтағы жылдамдығы, дәлдігін 1 *км/сек.* дейін алғанда, 299 796 *км/сек.* ке тең болады. Жарықтың жылдамдығы дөңгелектеп алғанда $c = 300\,000$ *км/сек.* болады.

Францияда Фуко және Америкада Майкельсон жарықтың судағы жылдамдығын тікелей өлшеп, бостықтағы жылдамдыққа қарағанда судағы жылдамдығы $\frac{4}{3}$ есе аз екенін тапты.

ОҚУШЫЛАРДЫҢ БІЛІМІН ТЕКСЕРУГЕ АРНАЛҒАН СҰРАУЛАР

1. Жарықтың ауадағы жылдамдығы қалай өлшенеді? Жарықтың бостықтағы жылдамдығы неге тең?
2. Түсу бұрышы, шағылысу бұрышы, сыну бұрышы деп қандай бұрыштарды айтады?
3. Жарықтың шағылысуы деген не және оның заңдары қандай?
4. Жарықтың сынуы деген не және оның заңдары қандай?
5. Сыну көрсеткіші деп нені айтады және ол неге тең болады?
6. Толық ішкі шағылысу деп нені айтады?
7. Толық ішкі шағылысудың шарттары қандай?
8. Тығыздығы артық орта мен тығыздығы кем ортаның шекарасындағы толық ішкі шағылысудың шекті бұрышы деп нені айтады және оны қалай есептеп шығарады?
9. Шағылысу, сыну және толық ішкі шағылысу құбылыстары жаратылыста кездесетініне және олардың техникада қолданылатынына мысал келтіру керек.
10. Параллель жақтармен шектелген пластинкадан өтетін сәуленің жолы қандай?
11. Жақтары параллель пластинкадан өткен сәуленің ығысу шамасы неге байланысты?
12. Сәуле призмадан өткенде бұрылу бұрышы деп нені айтады?
13. Призма арқылы қараған нәрсенің кескіні қалай қарай ығысады?

167. Жарық көздері. Жаратылыстағы жарық көздері өздерінен жарық шығаратын денелер болады, олардың ортасында ең көрнекті орынды Күн алады. Жер үстіне жұлдыздардан және басқа жарық шығаратын аспандағы денелерден түсетін жарық энергиясы Күннен келген энергиямен салыстырғанда болымсыз аз. Жаратылыстағы жарық көзінің басқа түрі электр өткенде газдардың жылтылдап жарық беруі болады (полярлық жарқыл).

Жылу шығаратын химиялық реакциялардың бір сыпырасында жарқыл пайда болып отырады. Мұндай жарқыл хемилюминесценция делінеді. Осындай жарқылдарға мысалдар: қатты фосфордың қышқылданған кезіндегі жылтылдауы, сутегінің асқын тотығының қатысуымен қышқылданатын көп сұйықтардың жылт-

[1]) Жылдамдық артқанда бұл $\frac{2}{8}$; $\frac{3}{8}$ т. с. с. оборотан кейін де бола алады.

тылдауы, ішінде қатты бөлшектер жоқ кезде газдың жылтылдауы (жалын).

Химиялық жарқылдың жеке бір түрі кейбір тірі организмдердің — балық, қоңыз, құрт, инфузориялардың жылтылдап жарық шығаруы (биолюминесценция) болады.

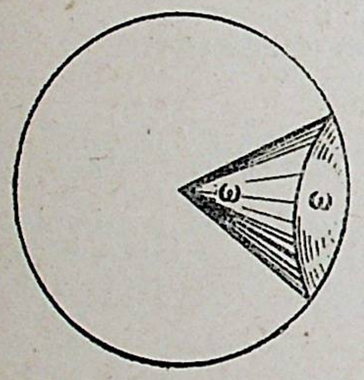
Көрсете кететін бір қызық нәрсе, жарықтың тірі көздерінің пайдалы әсерінің коэфициенті өте жоғары болады, олар химиялық энергияның 50% не шекті жарық энергиясына айналдырады.

Тағы да жарық шығару кристалдануда, кристалл денелерді, мысалы, қантты сындыруда, үйкелісте (мысалы, изоляция, лентасын тартқанда) пайда болады.

Практикалық маңызы бар осы уақыттағы қолдан жасаған жарық көздері жануға, қатты денелерді электр тогымен қыздыруға, газдардан электр өткізіп жылтылдатып жарық шығаруға негізделген.

Әдебиет. Қолдан жарық көзін жасаудың тарихын: Пресман мен Фенклюздың «От лучины к электричеству» деген, Сахаровтың «Борьба за свет» деген кітаптарынан оқуға болады.

168. Халықаралық шам. Люмен. Жарық көзінің бір-бірінен сапа жағынан да, сан жағынан да айырмасы болады. Жарық көзі болуы жағынан қарағанда, жаққан сіріңке бөлмедегі қыздыру электр лампасына пар келмейді; қыздыру лампасы вольт доғасына үйқсамайды.



216-сурет. Стерадиан.

Жарық көздерін салыстыру үшін олардың біреуін үлгіге (өлшемге), басқаша айтқанда, жарық көзінің эталонын етіп алу керек. Жарық көзінің эталонына, әуелі үш елдің: Англия, Америка және Франция, соңынан ССРО және тағы басқа елдердің халықаралық келісімі бойынша халықаралық шам алынған[1]).

Халықаралық шамға жақын келетін нақтылы мысал: жанып тұрған (салмағы 70 *г* шамасы) алтылық балауыз шам болады. Халықаралық шамның белгісі: *шам.*

Жарық көзінің сапасы шығарған энергиясының шамасына байланысты болады. Бір өлшем уақыт ішінде қандай болса да бір ауданнан өтетін жарық энергиясының шамасын сол ауданнан өтетін жарық ағымы дейді.

Энергия ағымы бір нақтылы кеңістік шамасына келтіріліп есептеледі. Бұл шамаға стерадиан делінетін өлшемге тең кеңістік бұрышы (денелік бұрышы) алынады.

[1]) Келісімге келген мемлекеттердің әрқайсысында бірқатар (бізде 24), өзара тәптіштеп тексерілген қыздыру электр лампалары бар. Ол лампалар белгілі Үлгі есебінде жасаған бір халықаралық шам жоқ екендігі есте болсын. Әрбір елдегі эталонның барлығында бірнешеден халқаралық шам болады да, соның өзі үлгі есебінде жүреді. Сонымен халықаралық шам нағызында істелініп жүзеге асырылған нәрсе емес, бірақ үлгі лампалардың белгілі бір бөлігі болады.

Денелік бұрыш өлшеміне кеңістіктің мына сықылды цилиндрдің ішіндегі бөлігі алынады: бұл цилиндрдің төбесі шардың центрінде жатады, ал табаны шар бетінің, шамасы радиус квадратының сан шамасына тең, бөлігі болады (216-сурет).

Радиус 1 *м* болғанда, бір өлшем денелік бұрыш шар бетінің 1 квадрат метрлік бөлігіне тіреледі. Шардың беті $4\pi R^2$ қа тең болғандықтан, бір нүктенің айналасындағы денелік бұрыш 4π өлшем (стерадиан) болады.

Жарық ағымының өлшемі люмен делінеді[1]).

Люмен деп денелік бұрыш өлшемі ішіндегі, оның төбесінен бір халықаралық шамға тең нүктелік жарық көзі шығаратын, жарық ағымын айтады.

Жай жарық көздері — керосин лампасы, электр лампасы тағы басқалар, әртүрлі жаққа жарықты әртүрлі күшпен шығарады. Сондықтан, өлшегенде жарық көзінің не орта күшін, не жарықтың бір бағыттағы күшін табады (горизонталь жарық күшін, тік жарық күшін т. с. с.

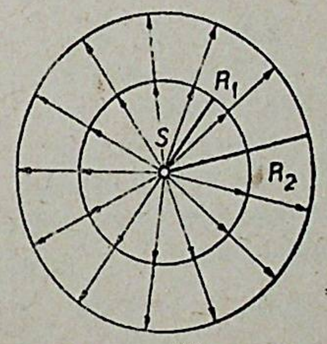
169. Жарықтылық. Қандай нәрсе болмасын оның жарықталуы жарықтылық делінетін шамамен анықталады.

Беттің жарықтылығы, бір өлшем бетке түсетін жарық ағымымен өлшенеді.

Жарық ағымын Φ әрпімен, сол ағым түсетін ауданды S әрпімен, беттің жарықтылығын E әрпімен белгілесек, сонда $E = \frac{\Phi}{S}$ болады.

Жарықтау техникасы жарықтылықтың екі заңына негізделген.

Ламберт (1728 — 1777) тапқан бірінші заң, сәуле бетке перпендикуляр түскен жағдайда, беттің жарық көзінен қашықтығы мен оның жарықтылығы арасындағы байланысты тағайындайды.



217-сурет. Жарықтылықтың бірінші заңын қорытуға.

Оны қорытып шығару үшін, нүктелік жарық көзі жан-жақтың барлығына бірдей Φ жарық ағымын жібереді делік.

Нүктелік жарық көзін айналдыра радиустары R_1 және R_2 екі шар бет жүргізсек (217-сурет), сонда бұл шар беттердің шамасы мынадай болады $S_1 = 4\pi R^2_1$ және $S_2 = 4\pi R^2_2$, ал олардың жарықтылығы мынадай болады:

$$E_1 = \frac{\Phi}{4\pi R^2_1}; \qquad E_2 = \frac{\Phi}{4\pi R^2_2},$$

бұдан:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{\Phi \cdot 4\pi R^2_1}{\Phi \cdot 4\pi R^2_2}, \quad \text{яки} \quad \boxed{\frac{E_2}{E_1} = \frac{R^2_1}{R^2_2}.} \qquad \text{(IIIа)}$$

болады.

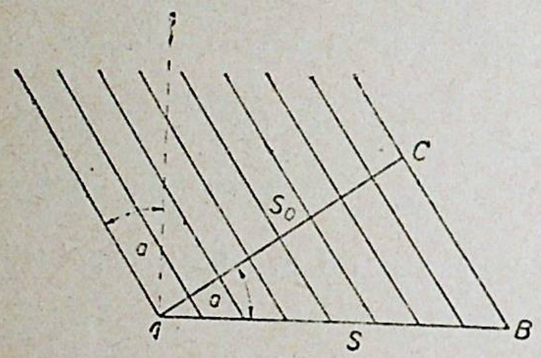
[1] Жарықты латын тілінде *люмен* дейді.

Осыдан жарықтылықтың бірінші заңы шығады:

Нүктелік жарық көзімен жарықтандырғанда беттің жарықтылығы, оның жарық көзімен арасының квадратына кері пропорционал болады.

Сонымен, бұрынғысынан бетті жарық көзінен үш есе алыстатсақ, оның жарықтылығы 9 есе нашарлайды, бұрынғысынан екі есе жақындатсақ, жарықтылығы төрт есе артады.

Бет параллель сәулемен жарықталатын болса, онда оның жарықтылығы бет пен жарық көзінің арасына байланысты болмайды.



218-сурет. Жарықтылықтың екінші заңын қорытуға.

Бұл жағдайда сәулеге перпендикуляр қойылған ауданға келетін жарық энергиясының шамасы, ауданды өзіне-өзін параллель қып жылжытқанда өзгермей, бірқалыпты қалатыны оңай көрінеді. Әрине, есептегенде ортаның сәуле энергиясын сіңіру мүмкіншілігі еске алынбайды.

Бетке сәуленің түсу бұрышы өзгерген уақытта, яғни перпендикуляр келетін сәуленің орнына көлбеу сәулемен жарықтандырған уақытта, жарықтылық өзгереді. Шынында 218-суреттегідей бір қабырғасы AB чертёж жазықтығында, ұзындығы 1 *см*, екінші қабырғасы чертёжге перпендикуляр жатқан тік төртбұрышты алалық; сонда мұндай фигураның ауданы $S = 1 \cdot AB = AB$ квадрат *см* болады да, оның жарықтылығы $E = \frac{\Phi}{AB}$ болады. Ал, сол жарық ағымы Φ, сәулеге перпендикуляр қойылған қабырғасы AC және 1 *см* тік төртбұрыштың S_0 ауданына түседі. Бұл аудан $S_0 = 1 \cdot AC = AC$ квадрат сантиметр де оның жарықтылығы $E_0 = \frac{\Phi}{AC}$ болады. Бірінші мен екінші жарықтылықты салыстырып мынаны табамыз: $\frac{E}{E_0} = \frac{\Phi}{\Phi} \cdot \frac{AC}{AB}$ не $\frac{E}{E_0} = \frac{AC}{AB}$ Ал $\triangle ACB$ үшбұрышынан $\frac{AC}{AB} = cos\ a$, сонда:

$$\frac{E}{E_0} = cos\ a, \text{ немесе } \boxed{E = E_0\ cos\ a.} \qquad \text{(III б)}$$

Осыдан жарықтылықтың екінші заңы шығады.

Параллель сәулемен жарықталған беттің жарықтылығы түсу бұрышының косинусына тура пропорционал болады.

Көлбеу сәулемен жарықталу, ылғый күн сәулесінің Жерді жарықтандыруында кездеседі: сөтке бойында аспанда күннің орны өзгеруімен катар, жердің бетінің жарықтылығы да үздіксіз өзгеріп отырады.

170. Жарықтылық өлшемі және жарықтылық формуласы. Жарық көзі күшінің өлшемі арқылы беттің жарықтылық өлшемі де тағайындалады.

Жарықтылық өлшеміне, жарық көзінен 1 м жерде жарықтың сәулесіне перпендикуляр тұрған ауданға бір шамның беретін жарықтылығы алынған. Жарықтылықтың бұл өлшемі люкс[1] *делінеді.*

Бұл анықтаманы басқа сөзбен айтуға да болады: жарықтылық өлшеміне, 1 $м^2$ ауданына бір тегіс таралып 1 люмен[2]) жарық ағымы түскен беттің жарықтылығы алынады.

Мысал. 1 шам 1 *м* қашықтыққа 1 люкс жарықтылық береді, 10 шам сондай араға 10 люкс береді, 36 шам 36 люкс береді. Бірақ, 36 шам 2 *м* араға төрт есе нашар жарықтылық (§ 169), яғни 9 люкс береді; 4 *м* араға, 16 есе нашар, яғни 2,25 люкс береді; 10 *м* араға 100 есе нашар, яғни 0,36 люкс, $\frac{1}{2}$ *м* араға 4 есе күшті, яғни 144 люкс береді.

Жалпы алғанда жарық көзінің күшін *I* шам деп белгілесек, онда бұл жарық көзінен *R* метр арадағы беттің алатын жарықтылығы:

$$\boxed{E = \frac{I}{R^2} \text{ люкс.}} \qquad \text{(IV)}$$

Гигиена, қызметтің әр түрі үшін жарықтылық нормасын тағайындайды. Кітап оқу үшін 50 люкс жарықтылық жарамды деп саналады.

Ақ фондағы нәрселерді көз айыра аларлық жарықтылықтың ең күштісі 2 000 000 люкс, ең нашары 0,00003 люкс шамасы, ең жақсысы 10 мен 10 000 люкс ортасы болады. Жұмыс ұсақ болған сайын (сағатшы, зергерші, чертёжші т. б.) жарықтылық та солғұрлым күшті болуы керек. Мұнда жарықталу мүмкінінше бір тегіс болуына қам қылу керек (күшті жарық көзін жоғары іліп, мақсатқа лайықты жасалған шағылыстырғыштарды қолдану керек), өйткені күшті жарық көзінен сәуле көзге тіке түссе, не жарық пен көленке кенеттен ауысып отырса көзге зиян келетіндігі сөзсіз.

Жарық көзінің жарықтылығы[3]) 0,75 $\frac{шам}{см^2}$ ден (жарықтанатын беттің 1 квадрат сантиметріне келетін 0,75 шам) артық болса, оған көз тура қарағанда шыдамайды. Стеарин шамы 0,5 $\frac{шам}{см^2}$, кероси

---

[1]) *Люкс* — латын тілінде жарық деген сөз.

[2]) ОСТ 4891 бойынша жарықтылықтың фот (грекше *фос* — жарық) деп аталатын басқа өлшемі тағайындалған. Фот — 1 $см^2$ ауданына бір тегіс таралып 1 люмен жарық ағымы түскен беттің жарықтылығы; фотта 10 000 люкс бар.

[3]) Жарық көзінің жарықтылығы, жарық көзінің көз сәулесіне перпендикуляр 1 $см^2$ бетінен шығатын жарық күшімен өлшенеді.

сын лампасы 1,5 $\frac{шам}{см^2}$, вольфрам қылы бар бостық лампа 200 $\frac{шам}{см^2}$, қуаттылығы 100 ват газ толтырылған лампа 580 $\frac{шам}{см^2}$, күн $200\,000\frac{шам}{см^2}$ береді.

Жұмыстың әр түріне қарап және әрбір үйлерге (жұмыс орнына) қарап, жарық техникасы жарықтылық нормасын шығарды. Советтер Одағындағы заңды нормаларды «Еңбек мәселелері» баспасы фабрика мен заводтарды жарықтаудың уақытша ережесі» деп басып шығарған. Төмендегі таблицада соның бірнеше сандары келтірілген.

Жұмыстың әрбір түріне керекті жарықтылық нормасы.

Үйдің және жұмыстың аты	Люкспен өлшенген жарықтылық
1. Ұсақ және биязы жұмыстар (сағатшы, зергерші, күңгірт бұлды тоқушы, жіңішке жіп иіруші, чертёжші т. б. жұмыстар)	100
2. Ұсақ абайлап ұстайтын тілгіш саймандар қолданылатын — тілгіш, бұрғы, фрезер т. б. мен істелетін жұмыстар . . .	100
3. Станокпен істелетін өте дәлдікті керек қылатын жұмыстар; іс машинасы тігінінде, контор және жазу жұмыстары . .	75
4. Оқу, әртүрлі саймандардың көрсетуін бақылау, иіру . .	50
5. Киім шешетін жер	25
6. Үй ішіндегі кіріп-шығып жүретін қатнас жолдары . . .	10
7. Басқыш	8
8. Қора, жүретін жол	2

Орнымен шақтап жарықтау үшін және үйдің ішінде жарықтылықты бір тегіс тарату үшін қабырға мен үйдің төбесін майлаудың (ағартудың) ірі маңызы бар.

Өзіне түскен жарықтың: барит белиласы (ақ бояу) — 99% ін, цинк белиласы — 94% ін, қорғасын белиласы — 93% ін, ақ қағаз 82% ін, сары қағаз — 40% ке дейін, көкшіл қағаз — 25% ін, қара шұға 0,20% ін шағылыстырады.

21-жаттығу.

1. Үстелден 75 *см* жоғарыда асулы тұрған 25 шамдық лампа қандайлық жарықтылық береді?

Жауабы: ≈ 43 люкс.

2. 1,5 *м* жоғарыдағы 100 шамдық лампа оқуға жеткілікті жарықтылық бере ме?

3. Үстел үстінде қалыпты жарықтылық болу үшін, 32 шамдық лампаны үстелден қанша жоғары асып қою керек?

Жауабы: 80 *см.*

4. 200 шамдық лампадан 4 *м* жердегі беттің жарықтылығы көп пе, жоқ 25 шамдық лампадан 1,2 *м* жердегі жарықтылығы көп пе?

5. Күн мен түн теңелген кездегі талтүсте Москвадағы горизонталь беттің жарықтылығы, экватордың жарықтылығының қандай үлесіне тең болады? Москваның географиялық ендігі $\varphi = 55^\circ\ 45'$.

Жауабы: 0,56.

6. Ең ұзақ күнде Москвадағы горизонталь беттің талтүстегі жарықтылығы экватордағы горизонталь беттің талтүстегі жарықтылығынан неше есе көп? Ең қыска күнде талтүсте Москвадағы горизонталь беттің жарықтылығы экватордағы горизонталь беттің талтүстегі жарықтылығынан неше есе аз болады?

171 Жарық көзінің күшін өлшеу. Жарық көзінің күшін өлшеу үшін, оларды бетті бірдей жарықтайтындай етіп орналастыру керек. Бірінші жарық көзі R_1 метр арадан E люкс жарықтылық беретін болса, онда IV формула бойынша оның жарық күші $I_1 = ER^2_1$ шам болады. Сол E люкс жарықтылықты R_2 метр арада тұрған екінші жарық көзі берсе, онда оның жарық күші $I_2 = ER^2_2$ шам болады. Екінші жарық көзінің күшін біріншінің жарық күшімен салыстырғанда мынау шығады:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{ER^2_2}{ER^2_1}, \quad \frac{I_2}{I_1} = \frac{R^2_2}{R^2_1}.$$

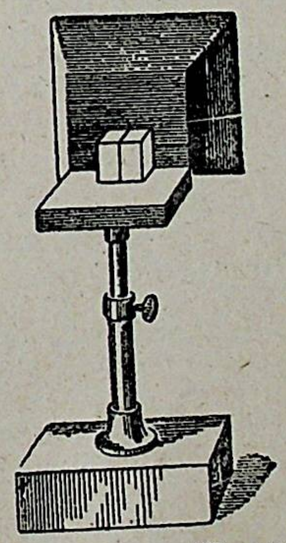
Бір бетті бірдей қып тұрған екі жарық көздері күштерінің қатнасы олардың бетпен аралықтарының квадраттарының қатнасына тең болады.

Екі жарық көзінің жарық күшін салыстырғанда, белгілі бір бетке, олар бірдей жарықтылық беретін қып дәлдеп қою керек.

Бір жарық көзінің жарық күшін өлшеу үшін екінші жарық көзінің жарық күші белгілі болу керек (не өлшем үшін алуға болатын болсын).

Жарық көзінің жарық күшін өлшеуге арналған приборды фотометр[1]) дейді.

172. Фотометр. Практикалық өлшеулерде көп қолданылатын фотометрдің бір түрі парафин пластинкалы фотометр болады (Жолли). Бұл фотометр ортасында тік төртбұрышты тесігі бар экраннан құралады (219-сурет); тесіктің арт жақ түбіне арасы қорғасын қағазбен бөлініп бірі-біріне жапсырылған бірдей екі парафин пластинкасы қойылады. Парафин пластинкалар тесікті жауып тұрады; олардың бөлік сызығы терезенің (тесіктің) ортасынан өтеді. Фотометрдің өзін сызғышқа, не масштаб лентасына орнатады. Екі жағына парафин мен бір биіктікке дәл келтіріп, салыстырылатын екі жарық көзі орнатылады. Сонда парафиннің бір пластинкасы бір жарық көзімен, екіншісі—екіншісімен жарықталады.



219-сурет. Жолли фотометрі.

Жарық көздерін қозғап (алыстатып, жақындатып) екі пластинканың жарықтылығын тең істеуге болады. Пластинкалардағы жарықтылық бірдей болған кезде масштаб бойынша жарық көздері мен пластинкалардың бөлік сызығы араларын өлшейді. Өткен параграфтағы бойынша екі жарық көздерінің күштері I_1 мн I_2 ні салыстыруға болады, не бірін өлшемге алып, екіншісінің күшін сонымен табуға болады $I_1 = 1$ шам деп алсақ, онда:

$$\frac{I_2}{1} = \frac{R^2_2}{R^2_1}, \text{ немесе } I_2 = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 \text{ шам болады.}$$

[1]) Грекше *фос* — жарық; *метрео* — өлшеймін.

173. Лабораториялық жұмыс № 7. **Екі жарық көзінің жарық күшін салыстыру.**

Приборлар: 1) фотометр, 2) сызғыш, не лента формасындағы масштаб, 3) жарық көздерінің астына қоятын екі тіреу, 4) балауыз шам, керосин лампасы, әртүрлі электр лампасы.

Жұмыс тәртібі. 1. Фотометрді масштабтың үстіне қойып, оның бір жағына шамды, екінші жағына керосин лампасын орнатындар.

2. Екі пластинканың жарықтылығы бірдей болып көрінгенше фотометрді әрлі-берлі сырғытындар.

3. Фотометрдің ортасынан шамның және лампаның қашықтығы R_1 мен R_2 ні өлшеңдер.

4. Шамның жарық күшін бір деп алып, лампаның жарық күші $I=\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2$ шамды есептеп шығарындар.

5. Фотометрді қозғаңдар да, жарықтылықты тең келтіріп, қайта орналастырындар.

6. Әр рет екі араларын өлшеп, шыққан санды мына таблицаға жазындар:

Тәжрибенің номері	Өлшенетін жарық көзінің аты	R_2	R_1	$I=\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2$	Жарық көзі қалай қойылған

Әрбір жарық көзі орта шама.

7. Алғашында лампа жалыны (оты) фотометрге жалпақ жағымен тұрса, енді оны қырын келтіріп қойындар да, өлшеуді қайта жүргізіңдер.

9. Балауыз шам орнына әртүрлі электр лампасын орнатып бұрынғылармен салыстырындар.

22-жаттығу.

1. Жарық көзінің бір өлшемінің фотометрден қашықтығы $R_1 = 10$ *см*, ал зерттелетін жарық көзінің фотометрден қашықтығы $R_2 = 25$ *см*. Кейінгі жарық көзінің жарық күші неге тең?

Жауабы: 6,25 *см* өлшем.

2. $R_1 = 16$ *см* арадағы 5 шамдық лампа мен $R_2 = 60$ *см* арада тұрған екінші лампа бірдей жарықтылық береді. Кейінгі лампаның жарық күшін табындар.

Жауабы: ≈ 70 шам.

3. 25 шамдық лампа 80 *см* арада тұрғанда беретін жарықтылықты алу үшін 100 шамдық лампаны үстелден қандай биіктікке асып қою керек?

Жауабы: $\approx 1{,}6$ *м*.

4. 32 шамдық лампа үстелден 1,2 *м* жоғары асулы тұр, екінші лампа 2 *м* жоғарыда асулы тұр және біріншідей жарықтылық береді. Мұның жарық күші қанша?

Жауабы: ≈ 90 шам.

ОҚУШЫЛАРДЫҢ БІЛІМІН ТЕКСЕРУГЕ АРНАЛҒАН СҰРАУЛАР.

1. Беттің жарықтылығы қалай өлшенеді?
2. Жарықтылықтың бірінші заңының мазмұны не?
3. Жарықтылықтың екінші заңының мазмұны не?
4. Люкс деген не?
5. Жарықтылықтың формуласын жазындар.
6. Халықаралық шам деген не?

7. Жарық көздерінің жарық күшін салыстыру қандай тәуелділікке негізделген?

8. Жарық көздерін салыстыратын прибор не деп аталады және қалай жасалған?

174. Жарық сәулелерінің жолын басқару. Не мақсат үшін болса да жарық сәулелерінің табиғи жолының бағытын жарықтың шағылысуы не сынуы арқылы өзгертуге болады.

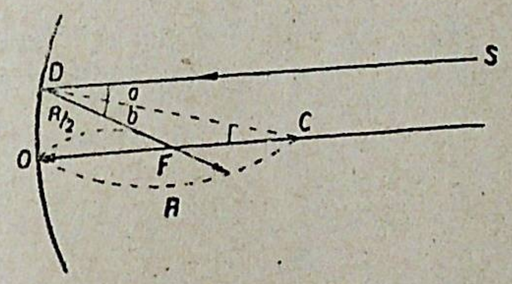
Сәуленің жолына қойылған жазық айна оның бағытын өзгертеді (18-жаттығудың 4, 5, 6, есептерін қара). Горизонталь сәулеге 45° бұрышпен қойылған айна оны тік сәулеге айналдырады.

Сәуленің бағытын өзгертумен қатар, сол жарық ағымынан нәрсенің алатын жарықтылығын өзгерту керек болса, онда сфералық айнадан (жалпы алғанда қыйсық айнадан) жарықтың шағылысуы пайдаланылады, немесе сфералық (жалпы алғанда қыйсық бетпен шектелген) шыныда, я басқа бір мөлдір нәрседе сынуы пайдаланылады.

Біз мұнда бастауыш курстан білетін фактыларға: перископтың құрылысына, жарық сигнализациясына және басқаларына қайта тоқталмаймыз. Жарық техникасын отан қорғау жұмысында пайдалану турасындағы мәліметтерді жаңарту үшін Внуковтың «Физика и оборона страны» деген 1935 ж. басылған кітабын оқыңыз, II-бөлім, 49, 50,53 — 57 мәселелер.

175. Сфералық айнаның формуласы. Сфералық айна деп көбінесе радиусы айтарлық үлкен шар бетінің бөлігін айтады. Шағылыстыратын жері шардың ішкі беті болса, онда айна ойыс айна делінеді, сыртқы бөті болса, онда дөңес айна делінеді.

Айнаның ортасы О мен шар бетінің центрі С арқылы жүргізілген түзу сызық айнаның ұлы оптикалық осі делінеді.



220-сурет. Ойыс сфералық айнаның фокусы (F).

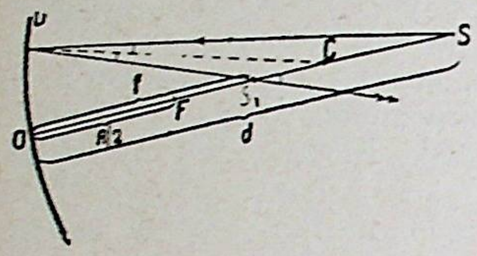
Ұлы оптикалық осіне параллель сәуле SD айнаның бетіне a бұрышын жасап түссе (220-сурет), онда ол шағылысқанда, түсу бұрышы a мен тең, b бұрышын жасайды. Бұл жағдайда түсу нүктесі D ге жүргізілген радиус CD бетке перпендикуляр болады. $\angle a = \angle DCO$, өйткені бұлар параллель SD мен CO сызықтарындағы айқыш бұрыштар болады. Сондықтан, $DF = FC$. Егерде SD сәулесі оське өте жақын жатса (центрлік шоқ сәуле деп аталатын болса) онда болымсыз қаталықпен $DF = OF$ деп алуға, яғни F радиустың ортасы деуге болады. Осы сияқты ұлы оське параллель централ шоқтың қай сәулесі болса да шағылысқаннан кейін радиусты ортасынан кесіп өтетінін ыспаттауға болады.

Осыдан мына қортынды шығады: *Ұлы оптикалық оське параллель центрлік шоқ сәулелер, ойыс айнадан шағылысқаннан кейін ұлы оптикалық осьті бір нүктеде қыйып өтеді, бұл нүкте ұлы фокус делінеді және радиустың қақ ортасында жатады.*

OF аралығы ұлы фокус аралығы делінеді; оны F әрпімен белгілейді және ол радиустың жартысына тең болады;

$$F = \frac{R}{2}.$$

Жарық көзі S ұлы осьте жатса, онда оның сәулесі SD шағылысқанда түсу бұрышымен тең бұрыш жасайды да, осьті S_1 нүктесінде қиып өтеді. (221-сурет). $\triangle SDS_1$ дағы CD сызығы биссектриса болады да, қарсы жатқан қабырғаны үшбұрыштың басқа екі қабырғаларына пропорционал кесінділерге бөледі:



221-сурет. Ойыс сфералық айнаның түйіндес нүктелері S пен S_1.

$$SC : CS_1 = SD : S_1D.$$

Оське өте жақын сәулелерді алсақ, онда көп қатасыз-ақ $SD = SO$ және $S_1D = S_1O$ деп алуға болады.

Жарық шығаратын нүктенің айнадан қашықтығы SO ны d арқылы, S_1O ны f арқылы белгілелік. Сонда $SC = d - R$; $CS_1 = R - f$ болады да, жоғарыдағы теңдік мына түрде жазылады:

$$\frac{d-R}{R-f} = \frac{d}{f}.$$

Мына төмендегі түрлендірулердегі мақсат бұл теңдікті жаттап алуға өте қолайлы түрге келтіруге болады;

$$df - Rf = Rd - df; \quad 2df = Rd + Rf;$$

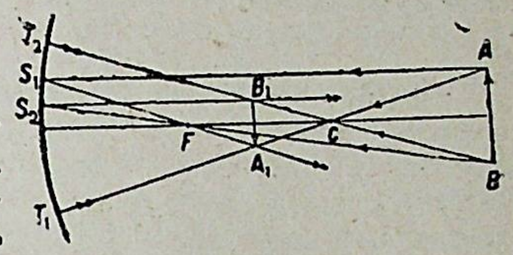
$$\frac{2df}{Rdf} = \frac{Rd}{Rdf} + \frac{Rf}{Rdf}; \quad \frac{2}{R} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}; \quad \boxed{\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}} \quad (V)$$

[1])

Айнаға сол S нүктесінен басқа сәуле түсірсек, ол үшін де осы сыяқты теңдеу қорытып шығаруға болады. Екінші сәулеге де d мен F тің шамасы біріншіде қандай болса, сондай болып қалатындықтан, жоғарыда жазылған теңдеумен табылатын f тің шамасы да сол қалпында қалады. Осыдан ұлы осьтің центрдің сыртында (оське жақын) жатқан бір нүктесінен шығатын сәулелер, ұлы осьтің фокус пен центрдің арасындығы бір нүктесінде қиылысатынын көреміз. S_1 нүктесі жарық шығаратын S нүктесінің кескіні болады. Егерде жарық көзін S_1 нүктесіне қойсақ, онда сәуленің аударымдылық қасиеті бойынша оның кескіні S нүктесіне түседі. Сондықтан, ұлы осьтің екі нүктесі — жарық көзімен оның суреті — *түйіндес нүктелер* делінеді. Жоғарыда қорытылған (V) теңдеу ойыс айнаның формуласы делінеді.

[1]) Бұл формуланы зерттеу, линзаның формуласын зерттеудей жүргізіледі (180 §-ты қара).

176. Ойыс айнадағы кескінді салу. Нәрсенің кескінін салу үшін оның әрбір нүктесінің кескінін табу керек. Нүктенің кескінін салу үшін одан екі сәуле жүргізіп, солардың шағылысқан сәулелерін табу жеткілікті болады. Мынадай үш сәуленің жолын оп-оңай сызуға болады: 1) түсетін сәуле — оптикалық оське параллель; шағылысқан сәуле ұлы фокус арқылы өтеді; 2) түсетіні ұлы фокус арқылы өтеді; шағылысқаны ұлы оптикалық оське параллель кететі (аударымдылық қасиеті бойынша); 3) түсетін сәуле центр арқылы өтеді; шағылысқаны сол жолдың өзімен қайта қайтады. Нүктенің кескінін салу үшін аталған үш сәуленің кезкелген екеуін алса болғаны.

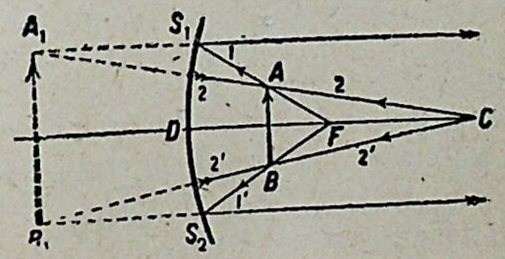


222-сурет. Нәрсе центрдің сыртында тұрғанда ойыс сфералық айнадағы кескінді салу.

222-сурет, айнаға сәуле жіберетін AB кесіндісінің кескінін салғандағы сәуленің жолын көрсетеді.

A нүктесінен шығатын сәулелердің ішінен ұлы оське параллель AS_1 сәулесін алалық; ол фокус арқылы өтетін, шағылысқан S_1F сәулесін береді, екінші сәулеге A дан шығып, центр C арқылы T_1 нүктесіне келетін сәулені алалық. Ол қайта шағылысады. Екі шағылысқан сәуле A_1 нүктесінде қиылысады. Ол A нүктесінің кескіні болады. Енді осы тәрізді B нүктесінің кескінін салалық. Ұлы фокус арқылы түсетін BS_2 сәулесін алсақ ол, шағылысқаннан кейін ұлы оське параллель болып кетеді. Екінші сәуле үшін центрлік сәуле BT_2 алалық. Ол түскен жолымен қайта шағылысады. Олардың қиылысатын B_1 B нүктесінің кескінін береді. A_1B_1 кесіндісі AB кесіндісінің кескіні болады.

Сонымен: *нәрсе центрдің сыртында жатқанда оның кескіні нақтылы, кері және кішірейіп түседі де, центр мен ұлы фокустың арасында жатады.*

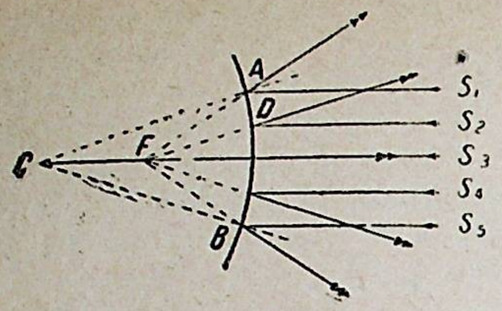


223-сурет. Нәрсе фокуспен айнаның арасында жатқанда ойыс сфералық айнадағы кескінді салу.

223-суреттен нәрсе ұлы фокуспен айнаның арасында жатқан уақыттағы сәуленің жолын қарастырып түсінуге болады; 224-суреттен дөңес сфералық айнадағы ұлы оське параллель түскен сәуленің жолын, 225-суреттен дөңес айнадағы кескіннің қалай салынатындығын түсінуге болады.

Кейінгі үш жағдайдың (223 — 225-суреттер) үшеуінде де жарық көзінің бір нүктесінен шыққан сәулелер шағылысқаннан кейін қиылыспайтынын ескере кетелік. Суретте олардың ойша соңдарындысы ғана қиылысады. Сондықтан, дөңес айнаның ұлы фокусы да, шыққан кескін де *жорымал* делінеді.

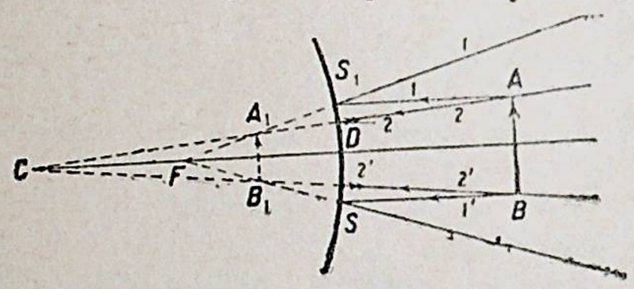
Фокусында 1 000 шамға жуық жарық көзі тұрған ойыс айна кеңістікке параллель шоқ сәуле жібереді. Бұл сәуле шоғы түсетін



224-сурет. Дөңес сфералық айнаның жорымал фокусы (F).

беттің жарықтылығы, оның жарық көзінен қашықтығы артқанмен де болымсыз бәсендейді; бұл бәсеңдеу, беттің жарық көзінен қашықтағандығынан емес ауаның күңгірттігінен ғана болады. Мұндай прибор километрлеген қашықтыққа да әжептәуір жарықтылық бере алады, оны прожектор дейді; ол соғыста түнде жауды іздеуге қолданылады (226-сурет).

Қыйсық айналардың техникада көп қолданылатындарының ішінен күн энергиясын механикалық энергияға айналдыратын күн двигателі дейтіндерге тоқталалық. Біздің Советтер Одағында Ташкент маңында және басқа жерлерде бетін тегістеп өңдеген көп пластинкалардан тұратын ірі құрылыстар салынған. Бұл құрылыстың орасан ірі кең бетіне түсетін күннің сәулесі шағылысқан соң



225-сурет. Дөңес сфералық айнадағы кескінді салу.

сол құрылыстың ішіне орнатылған ішінде суы бір кішілеу трубаға түсіріледі. Трубаға жыйналған күн сәулесінің жылуы суды қайнатады; бұдан пайда болған бу, бу двигателіне келеді. Сонымен күн энергиясын жылу энергиясы мен механикалық энергияға айналдыратын күн двигателі осылайша жасалады.

Әдебиет. Орлов В., Разящие лучи (рассказы о прожекторах).

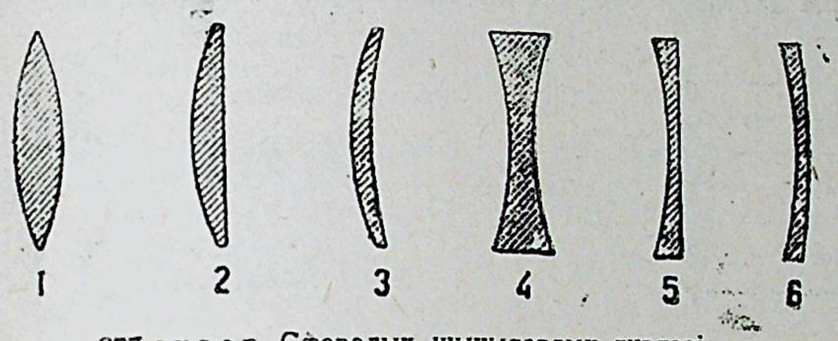
177. Сфералық шынылар. Ауадан сәулені өзінің табанына қарай бұратын, сындырғыш заттан жасалған призма сияқты, сфералық шынылар да сәуленің жолын өзгертеді. Сфералық шыны деп екі жағы да шар беті сияқтанып (не бір беті шар, бір беті жазық) тегіс теліп өңделген шынының айтады. Сфералық шынылардың түрлері 227-суретте көрсетілген. Бірінші шыны қос дөңес, төртінші шыны қос



226-сурет. Прожектор.

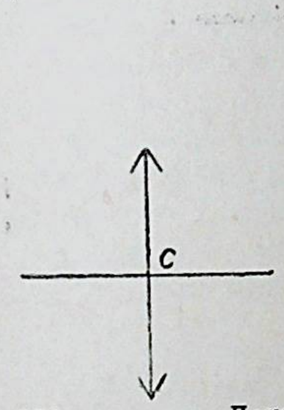
ойыс шынылар деп аталады; сфералық шыны чечевица не линза[1]) деп те аталады. *Шынының шар беттерінің центрлері арқылы өтетін сызықты ұлы оптикалық ось дейді.*

Линзаның қайсысында болса да *сәуле өз бағытын өзгертпей өтетін бір нүктесі болады.* Ол нүкте ұлы оптикалық осьте жатады да, линзаның оптикалық центрі делінеді.

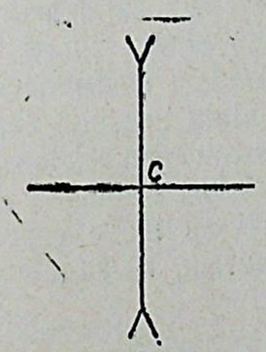


227-сурет. Сфералық шынылардың түрлері.

Ұлы оське бұрыш жасап, оптикалық центрден өтетін түзу сызықтың қайсысы болса да жанама ось делінеді. Жұқа линзалар чертёжде оптикалық центрден түзу сызық арқылы схема түрінде салынады; дөңес линзалар қалай салынатынын 228а-сурет, ойыс линза қалай салынатынын 228б-сурет көрсетеді.



228а-сурет. Дөңес линзаның схемалық кескіні.



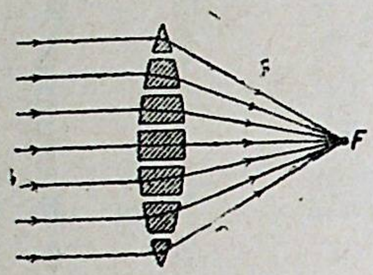
228б-сурет. Ойыс линзаның схемалық кескіні.

Дөңес линзаны, оған күннің сәулесі ұлы оптикалық оське параллель болып түсетін қып қойсақ, күннің сәулесі линзаның ұлы осінде бір нүктеде жыйналады. *Дөңес линзаның ұлы осіне параллель түсетін сәулелердің жыйналатын ұлы осьтегі нүктені ұлы фокус деп атайды* (229а-сурет).

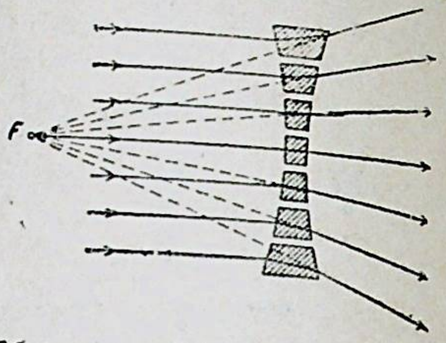
Осындай тәжрибені ойыс линзамен жасағанда, ол линзаға ұлы осіне параллель келіп түсетін сәуле, линзадан шашыранды шоқпен шығады. Бірақ, тәжрибе және сәуленің жолын сызып са-

[1]) Жалпы оптикалық линза деп екі дұрыс (көбінесе сфералық) бетпен шектелген мөлдір денені айтады. Бұл бет одан өткен жарық шоғының кездесуін өзгертуге қолданылады.

лу бұл сәулелер бір нүктеден шыққан сияқты болып шашырайтындығын көрсетеді, бұл нүкте шашыраған сәулелердің созындыларының қиылысатын жерінде жатады. *Ұлы осьтің ұлы оптикалық оське параллель болып түсіп, линзаның ішінде сынғаннан кейін шашырап шығатын сәулелердің созындысы басып өтетін нүктесін жорымал ұлы фокус дейді* (229б-сурет). Дөңес линза табандары жақындастырылған призмалар сияқты болады да, өзіне



229а-сурет. Дөңес линзаның ұлы фокусы (F).

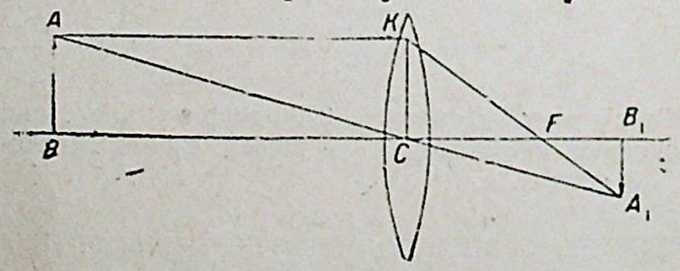


229б-сурет. Ойыс линзаның ұлы фокусы (F).

түскен сәулені бұл да табанына, яғни ортасына қарай бұрады, ал, ойыс линза төбелері жыйнақталған призма сияқты болады да, өзіне түскен сәулені бұл да табанына, яғни бұл жағдайда шетіне қарай бұрады.

Әрбір линзаның екі жағында екі фокус болады, олар линзаның оптикалық центрінен бірдей қашықтықта жатады.

178. Линзаның формуласы. Нәрсенің кескінін салу үшін, оның жеке нүктелерінің кескінін салу керек. Нүктенің кескінін салу үшін одан екі сәуле жүргізіп, олардың сынған сәулелерін табу жеткілікті болады. Көбінесе, өтіп шыққан сәуленің бағыты бұрыштарды өлшемей-ақ және тригонометрия таблицаларымен есептемей-ақ сызылатын, мынадай үш сәуленің екеуі алынады: 1) сәуле



230-сурет. Линзаның формуласын қорытып шығару үшін.

ұлы оптикалық оське параллель түседі, сынған соң ұлы фокус арқылы кетеді; 2) сәуле ұлы фокус арқылы түседі, сынған соң ұлы оптикалық оське параллель кетеді; 3) оптикалық центрден өтетін сәуле, линза арқылы бағытын өзгертпей кетеді.

Линзаның формуласын қорытып шығару үшін линзаның сол жағының бір жерінде ұлы осьтен жоғары тұрған бір A нүктесін алалық (230-сурет). Оның, ұлы осьтің бойымен есептегендегі линзамен аралығын (линзаның оптикалық центріне дейінгі) d мен

белгілейік (яғни $CB = d$). Біреуін ұлы оптикалық оське параллель етіп, екіншісін жанама осьтің бойымен кететін етіп екі сәуле жүргізейік; сонда A нүктесінің кескіні, осы екі сәуле линзадан өткен соң қиылысатын A_1 нүктесінде екенін табамыз. A_1 нүктесінің, ұлы осьтің бойымен есептегендегі линзамен аралығын f пен белгілейік (яғни $CB_1 = f$). Ұлы фокус CF аралығы F пен белгіленеді (яғни $CF = F$), сонда $B_1F = f - F$. ACB мен A_1CB_1 үшбұрыштарының ұқсастығынан мынау шығады:

$$AB : A_1B_1 = CB : CB_1.$$

A_1FB_1 мен CFK үшбұрыштарының ұқсастығынан мынау шығады:

$$KC : A_1B_1 = CF : B_1F.$$

$CKAB$ тік төртбұрыштарындағы KC кесіндісі AB кесіндісімен тең болғандықтан, екі теңдіктің сол жағы тең болады; сондықтан, оң жақтары да тең болу керек:

$$CF : B_1F = CB : CB_1.$$

Пропорцияның мүшелерін жоғарыдағы белгілерімен алмастырып, мынаны табамыз:

$$F : (f - F) = d : f;\quad Ff = df - Fd;\quad Fd + Ff = df.$$

Осыдан ұлы фокус аралығын есептеуге болады:

$$F = \frac{df}{d+f}.$$

$Fd + Ff = df$ теңдігінің барлық мүшесін d/F көбейтіндісіне бөліп, линзаның формуласын қорытып шығаруға болады;

$$\boxed{\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}.} \qquad \text{(VI)}$$

Сөзбен (IV) формула былай айтылады:

Түйіндес нүктелердің линза центрінен қашықтықтарының кері шамаларының қосындысы ұлы фокус қашықтығының кері шамасына тең болады.

Жарық көзі етіп A_1 нүктесін алсақ, онда нүктенің кескіні A нүктесіне түсетіні суреттен көрінеді. Бұл қасиет 162-параграфтағы аударымдылық заңынан және жоғарыда қорытылған формуладан шығады, өйткені ол формулада d мен f дәл бірдей орын алады. Сондықтан, жарық шығаратын нүкте мен оның кескіні, түйіндес нүктелер делінеді де қорытып шығарылған теңдеу дөңес линзаның теңдеуі делінеді.

179. Кескінді үлкейту. Алдыңғы суретте AB кесіндісін нәрсе деп қарасақ, онда A_1B_1 оның кескіні болады. Кескіннің сызықтық мөлшерінің нәрсенің сызықтық мөлшеріне қатнасын үлкейту дейді. Алдыңғы параграфтың бірінші теңдеуінен үлкейтудің мынадай болатыны көрінеді:

$$\frac{A_1B_1}{AB}=\frac{f}{d},$$

яғни *линзаның үлкейтуі кескіннің линзаның оптикалық центрінен қашықтығы мен нәрсенің линзаның центрінен қашықтығының қатнасына тең болады.*

180. Нәрсенің линзадан қашықтығы әртүрлі болғандағы линзадағы кескін. Кескіннің орны мен мөлшерін салу арқылы және линзаның формуласы арқылы (VI), атап айқанда:

$$f=\frac{Fd}{d-F},\quad \text{яки}\quad f=\frac{F}{1-\frac{F}{d}}.$$

формула арқылы табуға болады.

Бірінші жағдай. Нәрсе оптикалық осьте өте қашықта тұрады (шексіз алыста); мұндай нәрседен келетін сәулелер ұлы оптикалық оське параллель болады да, ұлы фокуста жыйналады. Егер $d=\infty$ болса, онда $\frac{F}{d}=0$; $f=F$ болады.

Екінші жағдай. Нәрсе екі фокус қашықтығынан әрі жатады. *Фотоаппаратпен суретке басқанда нәрсе көбінесе осылай тұрады.*

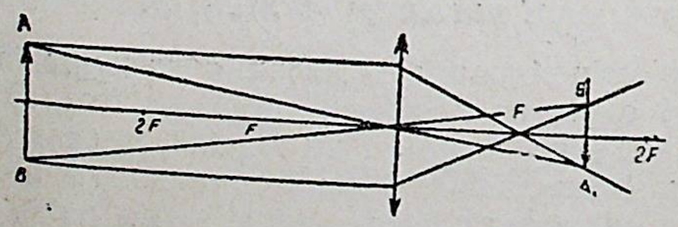
Егер $d>2F$ болса, онда $\frac{F}{d}<\frac{1}{2}$; $1-\frac{F}{d}>\frac{1}{2}$ және $f<2F$; $A_1B_1<AB$ болады, өйткені $f<d$.

Кескіннің салынуы 231-суретте келтірілген.

Нәрсе екі фокус қашықтығынан әрі жатқанда оның кескіні нақтылы, кері, кішірейіп түседі және екі фокус қашықтығындағы нүктемен ұлы фокус арасында жатады.

Үшінші жағдай. Нәрсе екі фокус қашықтығында жатады. Егер $d=2F$ болса, онда $\frac{F}{d}=\frac{1}{2}$; $1-\frac{F}{d}=\frac{1}{2}$; $f=2F$ болады, бұдан $A_1B_1=AB$, өйткені $d=f$.

Кескін 232-суретте салынған.

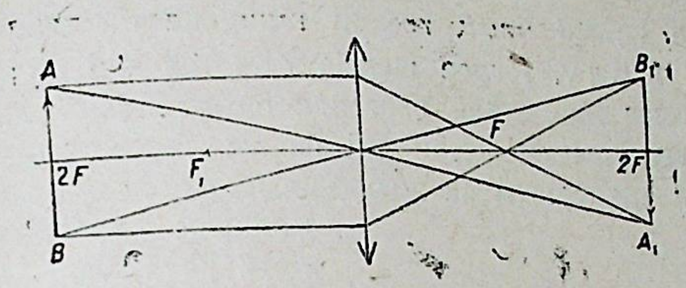


231-сурет. Нәрсе екі фокус қашықтығынан әрі тұрғанда дөңес линзадағы нәрсенің кескінін салу.

Нәрсе екі фокус қашықтығында жатқанда оның кескіні нақтылы, кері, шамасы нәрсенің шамасына тең болады және екі фокус қашықтығында жатады.

Төртінші жағдай. Нәрсе екі фокус қашықтығындағы

нүктемен ұлы фокус аралығында жатады. *Нәрсені проекция фонарында проекциялағанда оның орны осындай болады.*



232-сурет. Нәрсе екі фокус қашықтығында тұрғанда дөңес линзадағы оның кескінін салу.

Егер $F<d<2F$ болса, онда $\frac{F}{d}>\frac{1}{2}$; $1-\frac{F}{d}<\frac{1}{2}$; $f>2F$; $A_1B_1>AB$ болады, өйткені $f>d$.

Кескіннің салынуы 233-суретте көрсетілген.

Нәрсе екі фокус қашықтығындағы нүкте мен ұлы фокус аралығында жатқанда, оның кескіні нақтылы, кері, үлкейтілген болады және екі фокус қашықтығынан әрі жатады.

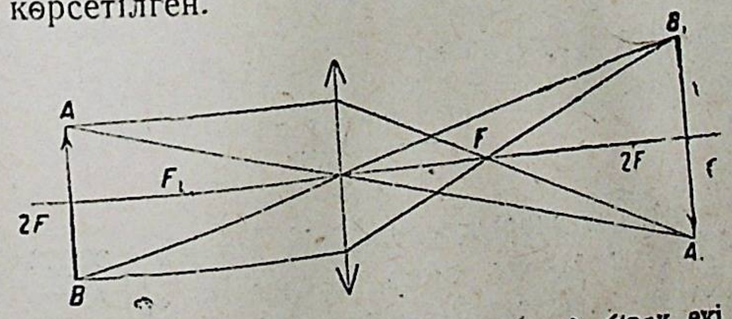
Бесінші жағдай. Нәрсе ұлы фокуста жатады.

Егер $d=F$ болса, онда $\frac{F}{d}=1$; $1-\frac{F}{d}=0$; $f=\infty$, яғни f қандай үлкен саннан болсын артық болады. 234-суреттегі сәулелердің жолынан байқайтынымыз: қыйылысқан кезде нүктенің кескінін беретін екі сәуле параллель кетеді де, қыйылыспайды (яки математикада шексіз алыста қыйылысады деп айтылады).

Нәрсе ұлы фокуста тұрғанда, оның кескіні болмайды (кескіні шексіз алысқа кетеді).

Алтыншы жағдай. Нәрсе ұлы фокус пен линзаның ортасында жатады.

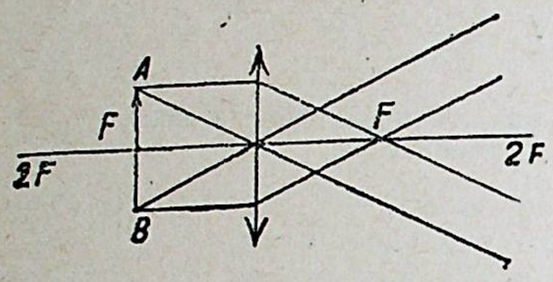
Егер $d<F$ болса, онда $\frac{F}{d}>1$; $1-\frac{F}{d}$ теріс сан болады; $f=\frac{F}{1-\frac{F}{d}}$ бұл да теріс сан, яғни f линзадан нәрсе жатқан жаққа қарай бағытталған болады. Кескінді салғандағы сәуленің жолы 235-суретте көрсетілген.



233-сурет. Нәрсе фокус қашықтығынан әрі, бірақ екі фокус қашықтығынан жақын тұрғанда, дөңес линзадағы оның кескінін салу.

Нәрсе линза мен ұлы фокустың арасында жатқанда, оның кескіні жорымал, түзу болады және үлкейіп түседі. Нәрсе қашан линзаның жанына келіп кескіні өзімен бірдей болғанынша линзаға жақындатқан сайын оның кескіні кішірейе береді.

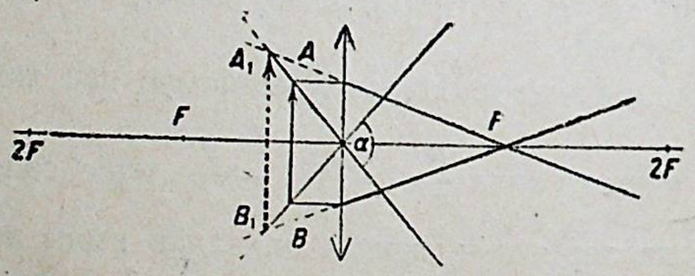
Жалпы шолу. Нәрсе шексіз алыстан екі фокус қашықтығындағы нүктеге жақындай бергенде оның кескіні линзаның екінші жағындағы ұлы фокустан екі фокус қашықтығында жатқан нүктеге дейін анағұрлым аз жылдамдықпен жылжыйды; кескіннің мөлшері дененің мөлшеріне жете ұлғаяды. Нәрсе әрі қарай екі фокус қашықтығындағы нүктеден ұлы фокусқа дейін қозғалғанда, оның кескіні екі фокус қашықтығынан әрі шексіз алысқа таман, қозғалған нәрсенің жылдамдығынан артық, ылғый өсе беретін жылдамдықпен қозғалады. Нәрсені ұлы фокустан линзаға қарай қозғағанда кескін жорымал түзу және ұлғайып, нәрсенің тұрған жағынан көрінеді де нәрсенің соңынан, оның жылдамдығынан солғұрлым артық жылдамдықпен қозғалады.



234-сурет. Нәрсе ұлы фокуста тұрғанда, оның дөңес линзадағы кескінін салу.

Ойыс линзадағы кескінді салу 236-суретте көрсетілген.

Ойыс линзадағы кескін әрқашанда жорымал, түзу, кішірейген кескін болады.



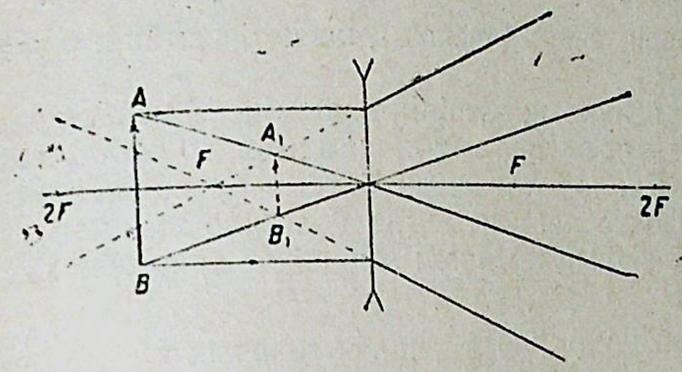
235-сурет. Нәрсе ұлы фокусқа жақын тұрғанда оның дөңес линзадағы кескінін салу.

Ойыс линзаның формуласы:

$$\frac{1}{f}-\frac{1}{d}=\frac{1}{F}.$$

Әрбір жағдайдағы жарық сәулесінің жолын зерттеуді қорыта келіп, адам баласы жазық айна, сфералық айналар, призмалар және линзалар арқылы жарық сәулесінің жолын басқаруды үйренгендігін көреміз.

Адам баласы осы білімін оптикалық приборды жасауға пайдаланады; мысалы, отан қорғау жұмысында ірі маңызы бар прожекторлар мен маяктар, автомобиль фонарлары үшін параллель, яки нашар шашырайтын сәуле шоғын алуға пайдаланады.



236-сурет. Нәрсенің ойыс линзадағы кескінін салу.

181. Лабораториялық жұмыс № 8. **Тәжрибемен линзалардың қасиетін зерттеу**

Приборлар: 1) Тағандары бар екі дөңес линза, (бірі ұзын фокусты, екіншісі қыска фокусты); 2) бір ойыс линза, 3) оптика скамьясы, не сызғыш — масштаб, яки миллиметрлік қағаз лента; 4) тағанға орнатылған экран; 5) садақ оғындай тілігі бар экран; 6) жарық көзі.

Жұмыс тәртібі:

1. Скамьяның, не сызғыштың, не лентаның ұшына садақ оғындай тілігі бар экранды орнатып оны жарық көзімен жарықтандар, сонан соң скамьяға линза мен тағанды және экранды қойыңдар.

2. Линза мен экранды, экранға нәрсенің анық кескіні түскенше әрлі-берлі қозғандар.

3. Нәрседен линзаның ортасына дейінгі қашықтық d ні, линзаның ортасынан кескінге дейінгі қашықтық f ті өлшеңдер және формула бойынша F ті есептеп шығарыңдар; шыққан санды төменгі таблицаға жазыңдар. Кескіннің қандай болып шыққан сапасын да таблицаға жазып отырыңдар.

өлшеудің номері	d	f	F	Кесіндердің сапасы
1				
2				
	Орташа			

4. Линза мен экранның орындарын 7—8 рет ауыстырып қосып F тің орта шамасын шығарыңдар.

5. Осындай қып екінші линзамен өлшеп шығарыңдар.

6. Осыдан шыққан сандарды 180 § тің қортындысын тексеруге пайдаланыңдар.

Мұнда ең болмағанда жоғарыдағы установканың біреуін d мен f бірдей болатын етіп қарастырып F неге тең болатынын салыстырыңдар.

7. Линзаны Күнге қаратып, күннің сәулесінің фокусын табыңдар, екі жағынан да фокус қашықтықтарын өлшеп, олардың орта шамасын табыңдар, мұны есептеп шығарған фокус қашықтықтарымен салыстырыңдар.

8. Дөңес линзаның орнына ойыс линзаны қойып одан шығатын кескінді тауып көріңдер.

182. Линзаның оптикалық күші. Әртүрлі линзалардың оптикалық қасиеттерін өзара салыстыру үшін линзаның фокус қашықтығының шамасы F ті алмай, оның кері, шамасы $\frac{1}{F}$ пайдаланады. $\frac{1}{F}$ шама линзаның оптикалық күші деліне ді. Бұл шама

ның қолданылуы мынаған негізделген. Ұлы фокус қашықтығы ұзын болған сайын линзаның сындырғыштығы нашарлай береді де, $\frac{1}{F}$ бөлшегі азая береді; фокус қашықтығы F қысқарған сайын линза да көбірек сындырады және $\frac{1}{F}$ бөлшегі де арта береді. Сонымен $\frac{1}{F}$ бөлшегі линзаның сындырғыштық қасиетін сыйпаттауға жарай алады.

Линзаның оптикалық күшінің өлшеміне, *ұлы фокусының қашықтығы 1 м линзаның оптикалық күші* алынады, *ондай өлшем* диоптрия делінеді. Қандай линзаның болсын оптикалық күші бір метрмен алынған фокус қашықтығына бөлгенде шыққан санға тең болады. Дөңес линзаның оптикалық күші оң сан, ойыстікі — теріс сан болып келеді.

Сонымен $F = 20$ *см* болса, онда оптикалық күш $\frac{1}{0{,}2} = 5$ диоптрия болады; оптикалық күш 2 диоптрия болса, онда $\frac{1}{F} = 2; F = \frac{1}{2}$ *м* $= 50$ *см* болады.

Оптикалық приборларда қолданылатын линзалар жарық күшін делінетін тағы бір шамамен сыпатталады. Мысалы, фотография аппаратында қолданылатын линзалардың сапасы оның фотография пластинкасына беретін жарықтылығына да байланысты болады. Кескінді жарықтайтын сәуленің шамасы, шынының тесігі (яғни диаметрі) үлкен болған сайын және сәуле күшті сынған сайын (яғни фокус қашықтығы қысқа болған сайын) көп болады. Сондықтан, *линзаның жарық күші, оның диаметрінің фокус қашықтығына қатнасымен өлшенеді.*

23-жаттығу.

Фокус қашықтықтары $F = 16$ *см*, 7,5 *см*, 1,5 *м* дөңес линзалардың және $F = 1$ *м*, 60 *см*, 2 *м* ойыс линзалардың оптикалық күші неше диоптриядан?

2. Оптикалық күштерді диоптриямен алғанда: $+13\frac{1}{3}$; $-16{,}6$; $+2$; $-0{,}5$; $+0{,}75$; $+0{,}4$ линзалардың ұлы фокус қашықтықтары қаншадан екенін табу керек.

3. Кескін үлкейген сайын оның жарықтылығы неге азая береді?

4. Кескінінің сызықтық өлшеуі диапозитивтің сызықтық өлшеуінен 4 есе көп болса экрандағы кескіннің жарықтылығы диапозитивтің жарықтылығынан неше есе аз болады (диапозитивті жарықтандыратын сәулелердің барлығы да экранға түскен күнде)?

5. Нәрсенің дөңес линзамен арасы $d = 24$ *см*, оның кескінінің линзамен арасы $f = 40$ *см*. Линзаның фокус қашықтығы қанша екенін табу керек.

6. $d = 25$ *см*, $f = 1$ *м* дөңес линзаның оптикалық күшін табу керек.

Жауабы: 5 диоптрия.

7. Линзаның ұлы фокус қашықтығы $F = 16$ *см*, $d = 36$ *см*. f ті және линзаның үлкейтуін табу керек.

Жауабы: 28,8 *см*.

8. Линзаның оптикалық күші $16\frac{2}{3}$ диоптрияға тең, $d = 100$ *см*. f ті және линзаның үлкейтуін табу керек.

Жауабы: $\approx 6{,}4$ *см*.

9. $F = 12$ *см*, $d = 10$ *см*. f ті және линзаның үлкейтуін табу керек.

Жауабы: -60 *см*.

10. Линзаның оптикалық күші $13\frac{1}{3}$ диоптрияға тең. Жалған кескін 25 *см* аралықта болу үшін нәрсені қай жерге орналастыру керек?

Жауабы: $\approx 5{,}8$ *см*.

11. Ойыс линзаның ұлы фокус аралығы 10 *см*, $d = 12$ *см*. f ті табу керек.

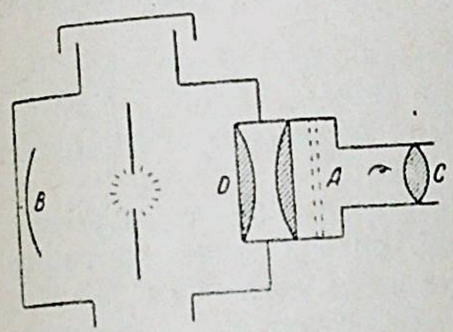
Жауабы: $-5{,}5$ *см*.

12. Линзаның оптикалық күші 4 диоптрия, $d = 20$ *см*. f ті табу керек.

Жауабы: -1 *м*.

13. 7 — 10, 12 — 14 есептердің мәліметтері бойынша нәрсені ұлы оське перпендикуляр кесінді түрінде алып, оның кескінін салу керек.

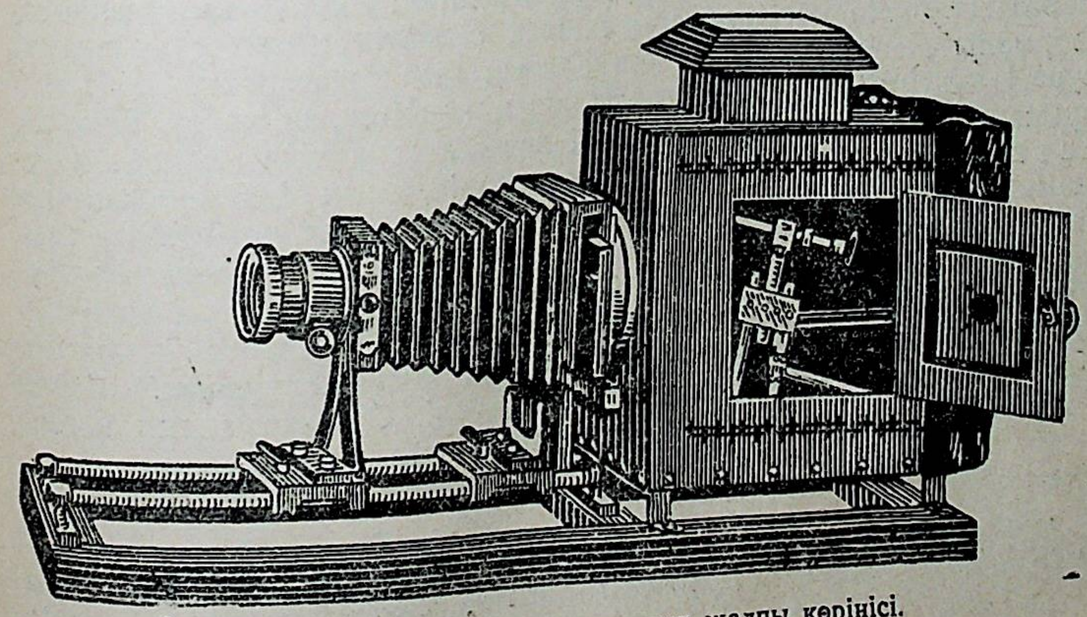
183. Проекция фонары. Линзалар проекция фонарында қолданылады. Проекция фонарының атқаратыны экранға нәрсенің не суреттің нақтылы, үлкейтілген кескінін түсіру болады. Мұндай кескінді жыйналған көп адам бірден әжептәуір қашықтықтан көруге болады. 237-сурет фонардың схемасын кескіндейді, 238-сурет оның жалпы көрінісі; 233-сурет фонардағы сәуленің жолын көрсетеді.



237-сурет. Проекция фонарының схемасы.

Фонардың негізгі бөлігі дөңес линза C — объектив болады. Кескін нақтылы және үлкейген кескін болатындықтан, нәрсе фокустан әрі, бірақ екі фокус қашықтығынан жақын тұруы керек. Кескін көп үлкейіп түсуі керек; оның сызықтық өлшеуі 20 есе үлкейгенде оның ауданы $20^2 = 400$ есе үлкейеді. Сондықтан, кескіннің жарықтылығы да 400 есе азаяды. Кескін көп үлкейтілгенде де жеткілікті жарықталу үшін, нәрсенің өзі өте күшті жарықталуы керек. Фонардың құрылысының басқалары осы айтылғандардан түсінікті болады.

Жарық көзінің қайсысынан болса да энергия жан-жақтың барлығына тарайды да, оның бірқатары проекцияланатын нәрсені



238-сурет. Проекция фонарының жалпы көрінісі.

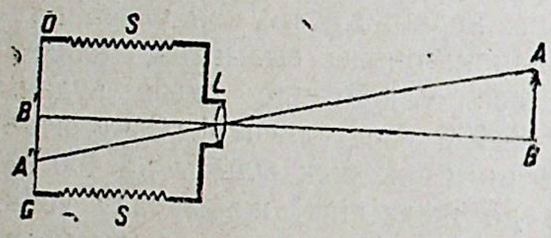
жарықтамай пайдасыз босқа жоғалады. Осы босқа жоғалатын энергияның бір азын пайдалану үшін жарық көзімен нәрсенің екі ортасына «конденсор» орнатылады, конденсор сәуле шоғын нәрсеге жыйнап түсіретін жыйнағыш шынылар тобы (бірнеше шыны) болады.

Конденсордың — сәулені жыйнағыш — құрылысы 237-суретте D әрпімен көрсетілген.

Кейде фонардың кейінгі жағына, жарық көзі центрінде болатын етіп ойыс айна орнатады (237-сурет, B). Оның атқаратын қызметі — фонардың кейінгі жағына түскен энергияны нәрсеге қарай шағылыстыру болады. Сонымен, объективтің атқаратыны — кескін түсіріп беру, басқа қалған бөліктерінің атқаратын міндеті кескінінің ауданы жүздеген есе үлкейсе де, оның жарықтылығы жеткілікті болу үшін нәрсенің жарықтылығын күшейту болады.

Экранға мөлдір емес сәуленің кескінін түсіру үшін ерекше прибор эпидиаскоп қолданылады.

184. Фотография аппараты. Фотография аппараты нәрсенің фотографиялық суретін түсіріп алуға арналған. Оның негізгі бөлімдері: камера, нәрсеге қарап тұратын объектив-линза, сезгіш пластинкалары бар затвор кассетасы болады.



239-сурет.

Көбінесе сурет кішірейіп түседі, олай болса нәрсе екі фокус қашықтығынан әрі тұрады. 239-суретте аппараттың схемасы, 231-суретте сәуленің жолы келтірілген.

Аппаратпен сурет түсіргенде, аппараттың объективін камераның артқы қабырғасында тұратын күңгірт шыны экранға нәрсенің суреті келіп түскенше әрлі-берлі қозғалтады. Оны винттер арқылы қозғалтады, объектив ілгерлі-кейінді жылжый алу үшін аппараттың бүйір қабырғалары жарық өтпейтін материядан гармон формалы жыйырылып, созыла алатын қып жасалған. Нәрсенің суреті күңгірт шыныдан жақсы анық көрінгеннен кейін, шынының суырып алып орнына дәл сондай кассетаны сұғып қояды. Кассета деген жарық өтпейтін жұқа жәшік, оның ішінде жарыққа сезімді пластинка болады. Қассетаның алдыңғы беті объективке қарап тұрады, ол жағы, объектив қалпақпен не ширмамен жабулы тұрғанда ғана ашылады. Суретке басып алудың өзі мынадан тұрады: жарықтың күшіне қарап белгілі бір уақытқа қалпақты объективтен ала тұрады, яки ширманы жыйнай тұрады. Сонда пластинкаға нәрсенің жарық суреті түседі. Суретке басып алғаннан кейін кассетаның алдыңғы бетін жауып қояды.

24-жаттығу.

1. Фонардың фокус аралығы $F = 15$ *см*, объективпен экранның арасы $l = 1{,}6$ *м*. Нәрсенің объективпен арасы d ні және үлкейтуді табу керек.

Жауабы: $d = 16{,}5$ *см*; үлкейту 10 еседей.

2. Объективтің $F = 18$ *см*; нәрсе мен объективтің арасы $d = 20$ *см*, экранның арасын және үлкейтуді табу керек.

Жауабы: $f = 1{,}8$ *м*; 9 есе.

3. Объективтің $F = 30$ *см* және кескін 8,65 *м* араға түседі. Кескін 12,25 *м* араға түсу үшін нәрсені қалай қозғау керек?

Жауабы: Объективке қарай 0,3 *см*.

4. Объективтің $F = 40$ *см*; сызықтық үлкейтуі 20 есе болса, нәрсе қандайлық қашыққа қойылған.

Жауабы: 42 *см*.

5. Нәрсе 18 *см* қашықтыққа қойылса, ал үлкейту 10 есе болса, объективтің фокус арасы қанша F болғаны?

Жауабы: 16,4 *см*.

6. Проекция фонары линзасының фокус аралығы $F = 16$ *см*. Диапозитивтің кескіні 2,16 *м* жерде тұрған экранға түсу үшін диапозитивті линзадан қандай қашықтыққа қою керек? Линзаның үлкейтуі қандай?

Жауабы: 17,3 *м*.

7. Алдыңғы есептегі экран 1,6 *м* қашықтыққа қойылған. Диапозитивтің кескіні экранға анық түсу үшін оны линзаның қай жағына қарай және қанша жерге жылжыту керек?

Жауабы: 0,5 *см*.

8. Үйдің фотографияға түсірілген суретінің биіктігі 15 *см*. Объективтің фокус аралығы 20 *см*. Үйді суретке түсірерде фотоаппарат үйден 5 *м* қашықтықта тұрды. Үйдің биіктігін табу керек.

Жауабы: 18 *м*.

9. 3000 *м* биіктікте жүріп аэропланмен барлау жасау үшін жерді масштабы 1:5000 ді суретке басып алу керек болды. Объективтің фокус аралығы қандай болу керек?

Жауабы: 60 *см*.

185. Суретті дайындау. Жарыққа сезімді пластинка мына ретпен жасалады: желатин мен бромдық калиды не аммониды суға салып ерітіп азотты қышқыл күміс тұзын қосады (қызыл жарықта); сонда бұдан ұсақталып үгітілген, кейде эмульсия түрінде, желатин ішінде таратылған бромдық күміс пайда болады. Бұдан соң жарыққа сезімділігін арттыру үшін эмульсия қыздырылады. Салқындатқаннан кейін қатқан эмульсияны үгітіп ерітіп, тұздардың жұрнағын кетіру үшін жуады, сонан кейін балқытып шынының пластинканың бетіне құяды.

Проявление (сурет көрінетін ету). Суретке басып алған соң қараңғы, не қызыл жарықпен жарықталған үйде жарыққа сезімді пластинканы кассетадан шығарып алады да, ішінде проявителі бар ваннаға салады (проявительдің химиялық составы түрліше болады). Проявительдің ішінде пластинканың жарықталған жерінен ғана металл түріндегі күмістің орасан ұсақ ұнтағы бөлініп шығады, бірақ, мұнда бөлініп шығудың мардымдылығы (қалындығы) жарықтылықтың дәрежесіне дәлме-дәл келеді.

Проявитель болып қолданылатындардың көп тарағаны метологидрохинон. Метологидрохинонның көп пайдаланылатын рецепті мынау: 1 литр су, 5 *г* метол, 7 *г* гидрохинон, 100 *г* сульфит, 100 *г* поташ, 2,5 *г* бромды калий. Проявление үшін алған бөлекті үш, не төрт есе су қосып сұйылтады.

Закрепление (бекіту). Пластинканың жарықталмаған жерінен күмісті ешбір дақ қалдырмай жоғалту керек, әйтпесе жарыққа әкелгенде, оларға жарықтың химиялық әсері тиеді де, бүлінеді, ол үшін пластинканы проявительден закрепителі бар екінші ваннаға салады. Закрепитель көбіне күкіртті қышқыл натрий-гипосульфиттен тұрады да, ол бромды күміспен бірігіп сумен жуғанда қабаттан жуылып кететін оңай ертілетін қосынды береді.

Пластинка закрепительден нәрсенің жарықталған жері күміс қабағымен қапталып қараңғыланып, ал жарықталмаған жері мөлдір болып шығады. Қысқаша



Негатив. *Позитив.*

240-сурет.

айтқанда нәрсенің жарық жері пластинкада қарайып, қара жері жарықтанып түседі. Түскен сурет нәрсеге қарсы (ағы қара, қарасы ақ) болғандықтан негатив делінеді (240-сурет).

Жуу. Фиксированиядан соң пластинканы фиксаж бен проявительдің және шыққан тұздардың дағын қалдырмайтын қып көп сумен бірнеше қайтара жуады. Жуған соң пластинканы кептіреді, сонымен негатив дайын болады.

Қағазға басу. Негативтен суретті басып алу үшін, оған жарық сезгіш қабатын қаратып қағаз жабыстырып қояды да, біраз уақыт жарыққа ұстайды. Жарыққа сезімді қағаз, пластинка сықылды дайындалады. Оның өңдеу ісінің барлығы пластинканікімен бірдей болады. Қағазға түскен суреттің жарығымен қараңғысының орналасуы негативтікіне қарсы болғандықтан оның ақ-қарасы нәрсенікіндей болып келеді де, позитив делінеді.

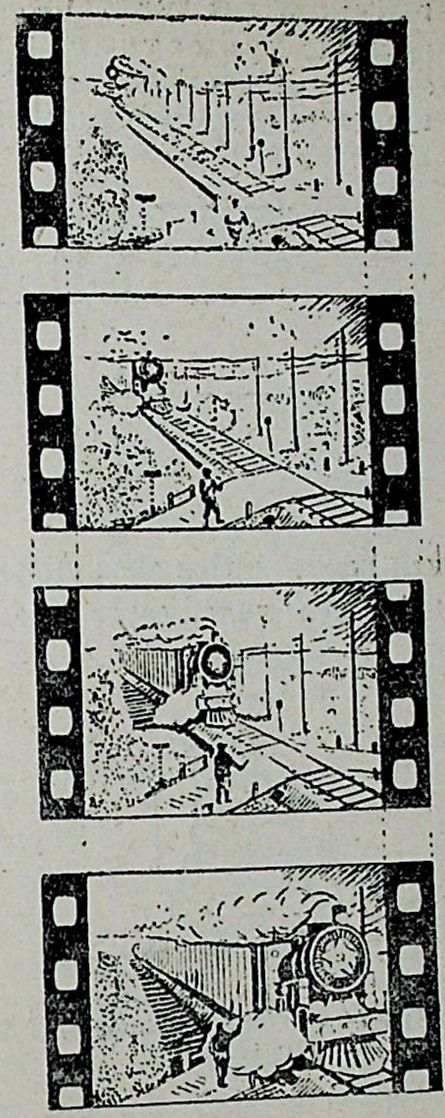
Шыны пластинкалардан дайындалып, проекция фонарына арналған позитивтарды диапозитив дейді.

Фотографияның мәдениеттік маңызы. Адамды суретке басып, оларды келесі буындардың есінде қалдырудан басқа да фотографияның ірі маңызы бар. Жаратылыстың сирек құбылыстары яки қайта болмайтын уақыйға фотография арқылы суретке басылып алынуына болады. Осылай күн тұтылған уақытта, бірнеше минут қана созылатын күннің тұтылуын бақылау үшін ылғый фотография қолданылады. Құрып бара жатқан ескілік мұралардың, не бүлініп бара жатқан нәрселердің суретін басып алып, оны сақтап қойып, кейін зерттеп тексеруге болады.

Үлкен кең алаптармен ұшып өтетін ұшқыштар, ұшып өткен жерлеріне өлшеу жұмыстарын жүргізулеріне мүмкіншілігі болмайды; бірақ, оларды суретке басып алып, кейін керекті есептеу жұмыстарын жүргізуге болады. Жарықтылығы нашар болғандықтан көзге көрінбейтін нәрселердің де суретін фотографияға басып алуға болады. Астрономия трубасына кигізілген және Жердің сөткелік айналуына сәйкес дәлме-дәл айналатын фотография аппаратын түні бойы көзге көрінбейтін нашар шырақтарға қаратып қойып, былай айтқанда шырақтың энергиясын ұзақ уақыт бір жерге түсіріп, оның суретін басып алуға болады. Жалпы алғанда кеңістік және уақытпен бөлініп тұрған нәрсенің көбін фотографиялық суретке басып алып, көбейтіп, Жердің қай жеріндегі болсын көптің қолын жеткізуге болады.

186. Кинематограф. Кинематограф — проекция аппараты; мұнда диапозитив орнына фотографиялық суреттер басылған және қозғалып жүріп тұратын целлулоид лентасы алынады (241-сурет). Мөлдір целлулоид лентаға оның аралықтарын бірдей етіп үзіп, қозғап отырып қозғалыстағы бір дененің секундына 24 фотографиялық суреті басылады. Осы лентаны аппаратқа қойып, мотор арқылы сурет басқандағыдай жылдамдықпен үзіп қозғаса, экранға суреттер түседі.

Көз өзіне еткен әсерді 0,1 секундқа дейін сақтайтындықтан кескін экраннан кетіп қалғаннан кейін де біз оны көре алатын боламыз; сондықтан барлық сурет бірімен-бірі ұштасып караушыларға зат қозғалып тұрған сыяқты болып көрінеді. Кинематографиялық суреттің кәдімгі фотографиядан артықшылығы міне осынысында. Осы күнде суретті ғана салып алып (жазып) отырмайды, онымен қатар дыбысты да жазады (дыбысты кино).

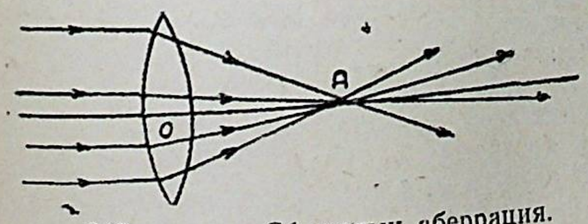


241-сурет. Фильманың қыйығы (кадрлар әредігімен алынған).

187. Сфералық аберрация. Сфералық шыны, бір нүктеге оптикалық осьтің бойымен түсетін жіңішке сәуле шоғын ғана жыйнайды. Осьтен сәуле неғұрлым алыс түссе, ол сынғаннан соң солғұрлым осьтің шығыңа жақын жерін басып өтеді (242-сурет). Линза сындырған сәулелердің түрлі нүктелерде қыйылысуын сфералық аберрация[1]) дейді.

Сәуленің жуан шоғы түскенде аберрация суретті көмескі түсіреді. Суреттің анық болуы қажет болғанда, оның жарықтылығын азайтуына қарамай-ақ, объективтің алдына диафрагма қояды. Диафрагма дегеніміз ортасында дөңгелек тесігі бар мөлдір емес экран. Ол тесік керекгі диаметрлі сәуле шоғын жіберіп қана отырады.

188. Хроматикалық аберрация. Ақ[2]), сәуле линзадан өткенде күлгін сәуле баска сәулелердің барлығынан көп сынады да, фокуска жыйналғанда шығыңа барлығынан жақын тұратын болады; қызыл барлығынан аз сынады да, фокуска жыйналғанда барлығынан да шығыдан алыс тұратын болады. Қалған түсті сәулелер рет-ре-

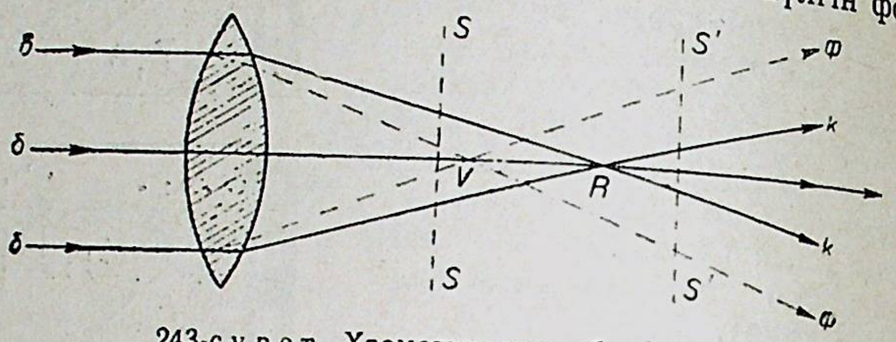


242-сурет. Сфералық аберрация.

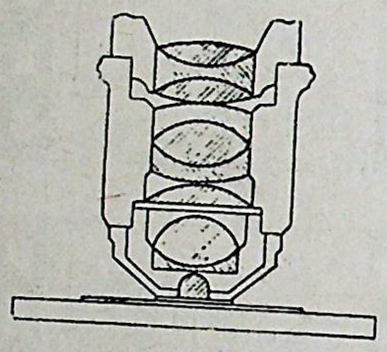
[1]) Сфералық аберрация, сфералық ойыс айнада да болады: ұлы оське параллель шеткі сәулелер, онан шағылысқаннан кейін ұлы фокустан әріде жатқан нүктелерінде ұлы оптикалық осьті қыйып өтеді.

[2]) Физиканың бастауыш курысынан, ақ сәуле бірнеше түсті сәулелерден құралатыны мәлім, ал шығының сындырғыш көрсеткіші әртүрлі түсті сәулеге түрліше болады.

ретімен осы фокустардың аралығына жыйналады (243-сурет). Бұл құбылыс хроматикалық аберрация делінеді. Хроматикалық аберрацияның нәтижесінен линзадағы суреттің шет-шеті кемпір қосақтанып тұрады. Шынында экранды шыныға күлгін фокусынан жақын қойса онда сыртқы қызылынан басқа сәуленің барлығы араласады да, ақ сәуле береді, ал, қызыл сәуле сыртқы қызыл түрді



243-сурет. Хроматикалық аберрация.



244-сурет. Микроскоптың күрделі объективі.

беретіні чертёжден көрінеді; егерде экранды қызыл фокустан әрі сырғытса, онда түсті сыртқы күлгін сәулелер береді. Хроматикалық аберрация суреттің ірі кемшілігі болады. Оны сындырғыш көрсеткіші әртүрлі шынының сорттарынан құралатын бірнеше дөңес және ойыс линзаларды дәлдеп алып жоғалтуға болады. Сондықтан осы уақыттағы оптика приборларының объективі мен окуляры көп линзалардың өте күрделі системасы болады (244-сурет).

ОҚУШЫЛАРДЫҢ БІЛІМІН ТЕКСЕРУГЕ АРНАЛҒАН СҰРАУЛАР

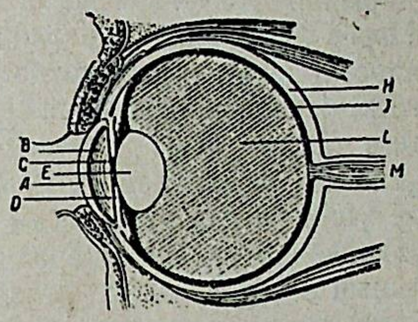
1. Сфералық айна деп нені айтады?
2. Айнаның ұлы оптикалық осі деп нені айтады?
3. Сфералық айнаның ұлы фокусы деп нені айтады?
4. Ойыс сфералық айна қандай кескіндер береді?
5. Дөңес сфералық айна қандай кескін береді?
6. Сфералық айнаның түйіндес нүктелері деп нені айтады?
7. Сфералық айнаның теңдеуі қандай?
8. Дөңес линза, ойыс линза деп нелерді айтады?
9. Линзаның ұлы оптикалық осі деп нені айтады?
10. Линзаның оптикалық центрі деп нені айтады?
11. Линзаның жанама осі деп нені айтады?
12. Дөңес, ойыс линзалардың ұлы фокусы деп нені айтады?
13. Ұлы фокус аралығы деп нені айтады?
14. Линзаның түйіндес нүктелері деп нені айтады?
15. Дөңес, ойыс линзалардың негізгі теңдеулері қандай?
16. Жарқырауық нүктенің линзадағы кескінін салу үшін неше сәуле керек?
17. Қандай сәулелермен нүктенің кескіні барлығынан оңай салынады?
18. Дөңес линзадағы кескінді салып, мына жағдайлардағы кескіннің сапасын табу керек: $d > 2F$; $d = 2F$; $F < d < 2F$; $d = F$; $d < F$.
19. 18 жаттығудың барлығында үлкейту қандай болатынын анықтау керек.

20. Нәрсенің қашықтығы $d = \infty$ деп $d = 0$ ге шекті өзгергенде сурет қалай қарай қозғалатынын және оның мөлшерінің өзгеруін бақылау керек.
21. Дөңес линзаның ұлы фокус аралығын қандай әдістермен өлшеуге болады?
22. Линзаның оптикалық күші немен өлшенеді?
23. Диоптрия деген не?

189. Көз — оптикалық аппарат. Жануарлар организмінде жарықты қабылдап алу үшін ерекше мүшесі — көзі болады. 245-сурет адамның көзінің негізгі бөліктерін көрсетеді.

Көз алмасының құрылысы мынадай болады.

Көздің сыртқы қабығы — шемішек тәрізді қабат *H*; оның алдыңғы жақ бөлімі дөңес, мөлдір — мүйіз қабық *C*. Қан тамырлары тармақтанатын ішкі қабат (бұлар, көзге қорек келтіретін тамырлар) — тұтікті қабат *J*; мұның алдыңғы бөлімі (әр түсті болатын) — көздің түсті қабаты *D*; түсті қабаттағы тесік — көздің қарашығы *C* болады.



245-сурет. Көздің құрылысының горизонталь жазықтықтағы қыймасы.

Түсті қабаттан әріректе — қос дөңес линза — хрусталик *E* тұрады, мұны қоршап ұстап және қозғап тұратын борша еттері болады.

Мүйіз қабат пен түсті қабат аралығы сусымақ дымқыл *B* мен толы, ал, хрусталиктің артында шыны тәрізді мөлдір дене *L* болады.

Артқы жақтан, қабық арқылы көру нервісі *M* өтеді, бұл арқылы көз мыймен жалғасады. Көру нервісі тармақтанып, көздің арғы жақ бөлігін барынша жауып жататын болады да, сетчатка қабығын яки ретинаны құрайтын болады. Нервінің кіретін жері жарықты сезбейді. Бұл жері соқыр дақ деп аталады. Соқыр дақтан біразғантай шеткерек, шеке жақта, ретинаның ең сезгіш бөлігі — *сары дақ* жатады.

Көздің алдыңғы ұлы фокусы мүйіз қабықтан 13,75 *мм* арада жатады [1]).

Көздің оптикалық центрі хрусталиктің ішінде оның ең кейінгі бетінде жатады. Көздің оптикалық центрі мен сары дақтың ортасынан өтетін түзу сызық көздің оптикалық осі яки көз осі делінеді.

Көздің фокус аралығы жоғарыда көрсетілгендей 13,75 *см* болғанда нәрсе әрқашан екі фокус қашықтығынан әрі жатады да, екі дөңес сындырғыш орта — *сусымақ дымқыл мен әсіресе хрусталик — нәрседен шашырап шығатын сәулелерді түйісетін сәулеге айналдырады да, нәрсенің нақтылы, кішірейтілген кері кескінін ішкі ұлы фокус пен екі фокус қашықтығындағы нүктенің аралығы*

[1]) Мүйіз қабықтың, сусымақ дымқылдың және шыны тәрізді дененің сыну көрсеткіші, спектірдің орта жері үшін (§ 213). 1,336 ға тең; хрусталиктің сыну көрсеткіші орта есеппен алғанда 1,437 (хрусталик әртекті қабаттардан құралады).

на түсіреді. Нәрсе кескіні көздің сетчатқа қабығына (ретина) түскен уақытта анық көрінеді.

Линзаның қасиеттерін қарап тексергенде, нәрсені шексіз қашықтықтан екі фокус қашықтығына дейін қозғап әкелгенде, кескін фокус қашықтығына дейін қозғалып келетіні көрсетілген болатын. Ал, онымен катар нәрсені анық көру үшін нәрсе алыс, жақын тұрғанына қарамай оны кескіні әрқашан көздің бірақ жеріне — сетчаткалы қабыққа түсуі қажет. Мұндай кескінің орны тұрақты болуы: оптикалық системаның өзінің өзгеруі арқылы, шар беті қыйсықтығының өзгеруі арқылы және соның салдарынан фокус арасының қашықтығының өзгеруі арқылы болады. Нәрсе бір орында тұрғанда кескін сетчаткалы қабыққа түссе, онда нәрсені көзге жақындатқанда, оптикалық система өзгермесе, оның кескіні көзден өтіп бастың ішіне екі фокус қашықтығындағы нүктеге таман кетуі керек. Оны алғашқы орнына қайтарып әкелу үшін екі фокус қашықтығының ұшын ретинаға жақындату қажет; ол үшін ұлы фокус арасын қысқарту керек, ол хрусталиктің дөңесі ұлғайғанда ғана қысқарады. Хрусталиктің дөңесі көздің мускуласының керуі арқылы ұлғаяды. Мускула әсер етпегенде хрусталикті ұстап тұратын шеттері жақындайды да хрусталик ұлы оське перпендикуляр бағытпен кішірейеді, бірақ ортасы қалыңдайды да, дөңестігі артады, сонымен оның ұлы фокус арасы кішірейеді. Нәрсенің орнын ауыстырып қозғағанда, санаға байланыссыз мускуланың керілуінен, ендеше хрусталиктің қыйсықтығының да өзгеруінен, нәрсенің кескіні ауыспай сетчаткалық қабыққа түсіп отырады.

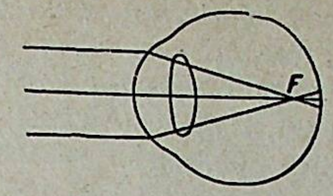
Көздің, нәрсенің кескіні әрқашан сетчаткалы қабыққа түсетін етіп, хрусталиктің қыйсықтық дәрежесін өзгертіп отыратын қасиетін аккомодация дейді. Бұған қарағанда көру, яғни нәрселерді әртүрлі қашықтықтан көру аккомодация, яки көздің қашықтыққа бейімделуінен ғана болады.

Көздің қашықтыққа бейімделуі шексіз емес. Әрбір көздің өзіне ылайық, көретін ең қашық нүктесі, яғни мускула тыйыш тұрған күйде нәрсені көре алатын шекті қашықтығы болады және сондай-ақ жақын нүктесі, яғни мускула еңкөп керілгенде нәрсені көре алатын ең аз шекті қашықтығы болады. Көздің бұлардан басқа тағы да ең жақсы көретін қашықтығы дегені, яғни көздің мускуласын талдырмай нәрсенің ой-қырын жақсы көре алатын қашықтығы (нәрсе мен көздің арасы) болады. Осы қашықтықтардың шамаларына қарап көз үш негізгі группаға: қалыпты (сау), жақыннан көргіш, алыстан көргіш көздерге бөлінеді.

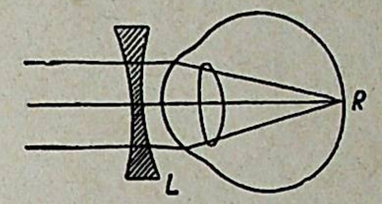
190. Жақыннан көргіштік және алыстан көргіштік. Адам шексіз алыстағы нәрсені көздің мускуласы тыйыш күйде тұрғанда көретін болса, ондай кісінің көзін қалыпты көз дейді. Ондай көздің қашықтық нүктесі шексіз алыста жатады. Шексіз алыстан көзге жақындап келе жатқан нәрсені қарағанда, нәрсе көрініп тұра беру үшін мускула не ол, не бұл дәрежеде керілуі керек. Жас шақта жақын нүкте 10 *см* жерде жатады. Ондай көз үшін ең жақсы көретін қашықтық 25 *см* болады.

Жақыннан көрушілік деп мускуласы тыйыш күйде

тұрғанда ұлы фокусы көздің алмасының ішінде жататын көзді айтады (246-сурет). Мұндай көз өте алыстағы нәрселерді анық көре алмайды, өйткені мускула керілгенде ұлы фокус ретинаға жақындамай, хрусталикке жақындайды. Жақыннан көретін көздің қашықтық нүктесі шексіз алыста емес, бір белгілі арада жатады. Сондықтан, мұндай көз үшін ең жақсы көрінетін қашықтық және жақын нүкте сау көзге қарағанда жақын болады (жақыннан көрушілік дәрежесіне қарай). Жақыннан көретін көзде параллель сәуленің фокусы ретинаға жетпей түседі. Ондай көзге, мускула тыйыш халде тұрғанда параллель сәуленің фокусы ретинаға түсу үшін, қыйсықтығын дәл тауып, шашыратқыш ойыс линзаны (көзілдірік) қосады (247-сурет).

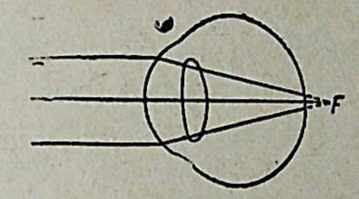


246-сурет. Жақыннан көргіш көз.

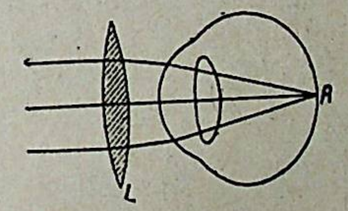


247-сурет. Жақыннан көргіш көзілдірікті көз.

Көздің фокусы мускула тыйыш күйде тұрғанда көз алмасынан әрі жататын болса, (248-сурет) ондай көзді алыстан көргіш көз дейді. Мұндай көздің қашық нүктесі болмайды; жақын нүкте 30 *см* дей болады. Ең жақсы көрінетін қашықтық сау көздікінен артық (алыс) болады. Алыстан көрінетін көз сау көзден нашар сындырады. Онда параллель сәуленің фокусы мускула тыйыш күйде тұрғанда ретинаға түсу үшін көзге қыйсықтығы дәл келетін жыйнайтын дөңес линза (көзілдірік) қосу керек (294-сурет).



248-сурет. Алыстан көргіш көз.

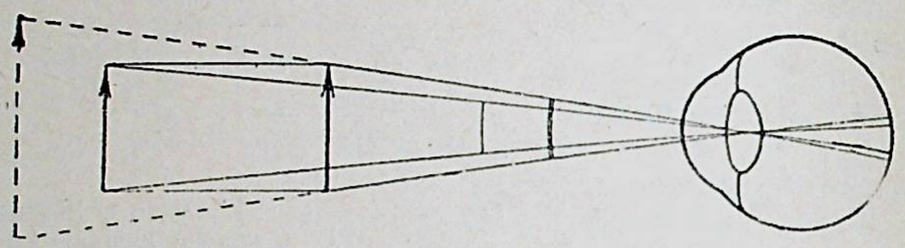


249-сурет. Алыстан көргіш көзілдірікті көз.

191. Анық көрудің шарты. Көру (қарау) бұрышы. Анық көрудің бірінші шарты кескіннің сары даққа түсуі болады. Нәрсені қарағанда, мускулалар көздің осі қараған нүктеге түсетін етіп, көзді бұрады. Нәрсе үлкен, болса, онда жеке-жеке нүктелеріне көздің осін ауыстырып, түсіріп қарайды. Мұның себебі, көздің осі ортасынан өтетін сары дақ көздің жарыққа ең сезгіш жері болады. Сетчатканың әр жерінің сезімі әртүрлі болуы олардың анатомиялық құрылыстарының өзгешелігіне байланысты болады. Көздің жарықты қабыл алуы сетчатканың затында болатын химиялық құбылыспен байланысты. Олар жарықталғанда ыдырайды да, ал жарық үзілген арада, қараңғыда, қаннан қорек алып қайта түзілетін болады. Сондықтан, көрудің екінші шарты — сетчатканың жарықталу дәрежесі химиялық құбылысты туғызуға керекті жарықтың төменгі шегінен кем болмауы керек.

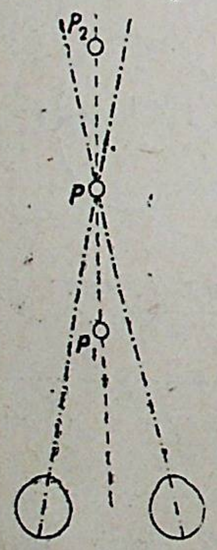
Ақырында, анық көрудің үшінші шарты: нәрсені *көру бұрышы шекті бұрыштан кіші болмауы керек* (250-сурет). *Көру бұрышы деп көздің оптикалық центрінен нәрсенің ұштарына жүргізілген екі түзу сызықтың арасындағы бұрышты айтады.* Нәрсенің екі нүктесі, олардың сары дақтағы кескіндерінің арасы 0,004 *мм* жақын болмаған уақытта ғана бірінен-бірі айырылып көрінеді. Одан жақын болған уақытта бірігіп кетеді.

Бұл шекті араға 1′ шамасындағы бұрыш сәйкес келеді. Бұл шектілі қарау бұрышы болып табылады. Бұл — ұзындығы 1 *см* сызықтың көзден 34 *м* арада тұрғанда көріну бұрышы болады.



250-сурет. Көру (қарау) бұрышы туралы түсініктер.

Көру бұрышы нәрсені көзге жақындатқанда ұлғаяды, бірақ бұл жақындатудың шегі, көздің жақын нүктесі болады; ол нүкте басқалардан гөрі жақыннан көргіш көз үшін жақын болады, сондықтан басқаларға қарағанда жақыннан көретіндер ұсақ баспаны, чертёжді, басқа ұсақ нәрселерді жақсы көреді. Бірақ, адам баласы оптика приборларымен болымсыз кішкентай не орасан алыстағы нәрселерді қарағанда көру бұрышын үлкейтуді үйреніп алды. Микроскоп (§ 201) пен телескоп (§ 202) көру бұрышын үлкейтуге қолданылады.

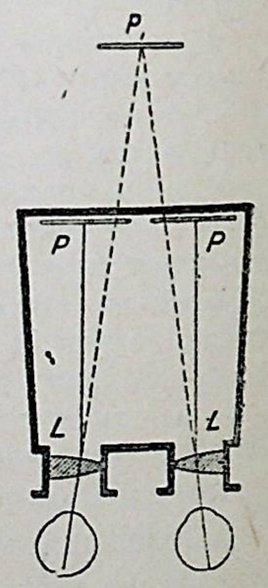


251-сурет. Екі көзбен қарау.

Егер P денеге қарасақ, онда P_1 мен P_2 қосарланып көрінеді.

Нәрсенің кескіні сары даққа түскен уақытта ғана ол жақсы көрінеді, бірақ нәрсені оның кескіні сары дақтың сетчатканың айналасындағы бөлігіне түскенде де көруге болады. Көрудің барлық түрін есепке алғанда көздің барлық көру аймағы екі тік бұрыштан аздап кіші болатынын (150°) айтып кеткен жөн.

192. Екі көзбен қарау. Бір нәрсені қарағанда, әр көзде бір кескін пайда болады. Қос кескін болғанмен біз бірақ нәрсе көреміз; бірақ нәрсе көріну үшін кескіндердің екеуі де екі



252-сурет. Стереоскоптың құрылысының схемасы.

ретинаның сәйкес нүктелеріне (осьпен салыстырған) түсуі керек. Кескіндері ретиналардың сәйкес нүктелеріне түспейтін нәрселер қосарланып көрінеді.

Бұған екі қарындаштың бірін көзге жақын, екіншісін алыс қойып көз жеткізуге болады. Көзді айырмай біріншісіне қарағанда, екіншісі қосарланып көрінеді; екіншісіне көзді айырмай ұзақ қарағанда, біріншісі қосарланады (251-сурет).

Кеңістіктен қандай да болса бір көлем алып тұрған нәрсенің қай-қайсыларын болсын қарағанда, екі көзде бірінен-бірі азғантай өзгеше кескіндер пайда болады. Бұған ең оңайы былай көз жеткізуге болады; егерде бір көзді қысып екіншісінің алдына екі саусақты алдыңғысы кейінгісін жауып тұратын етіп ұстаса, сонан соң басты және саусақтарды орнынан қозғалтпай бірінші көзді ашып, екінші көзді қысса, сонда екі саусақ бір түзу сызық бойында болып көрінбейді. Бірінен-бірі әрі жатқан топ нәрселерді біресе бір көзбен, біресе екінші көзбен кезек-кезек қарағанда, олардың салыстырмалы орындарындағы өзгешелікті оңай көрсетуге болады.

Нәрселердің көлемдік және рельефтік көрінісі екі көзге нәрсенің әртүрлі кескіні түскен уақытта ғана болуы мүмкін. Нәрсенің оң көзбен қарағанда көрінетін кескіні мен сол көзбен қарағандағы көрінетін кескінін жеке-жеке басып алып осы екі фотографиялық суретті стереоскоп деп аталатын прибормен қарайтын болсақ бұл екі жазық сурет бірігіп бір ғана рельефті сурет болып көрінеді (252-сурет).

Екі көздегі нәрсенің кескіні бірдей бола бастаса, онда кеңістікте көлем алған нәрсенің кескіні жазық болып көріне бастайды. Жарым километрдің шегінен әрі жатқан жердің ой-қырын айыра алмаймыз, ол жерді біз жазық кескіндей көреміз. Көздің мұндай қасиеті алыстағы нәрселердің салыстырмалы аралығын анықтауға өте қыйыншылық келтіреді. Соғыс жұмысында қашықтықты өлшеуге қолданылатын әлшеуіштер турасында Внуковтың «Физика и оборона страны» деген кітабынан оқуға болады (екінші бөлім, 54-бет, «Стереотрубалар»).

193. Нәрселердің шамасы және қашықтығы туралы талқылау. Нәрселердің шамасы және қашықтығы турасындағы талқылау, олардың көзге келіп түсетін кескіндеріне және көз алмасын қозғауға, не хрусталиктің қыйсықтығын өзгертуге жұмсалатын мускулалардың жұмысы кезіндегі борша сезімдеріне негізделген. Бұл талқылаудың дұрыстық дәрежесі тәжрибе молайған сайын арта береді.

Нәрселер бірдей қашықтықта тұрғанда, олардың салыстырмалы шамасы туралы нәрселердің әртүрлі нүктесіне көздің осінің жылжып ауысуына ілесіп отыратын борша сезімі бойынша талқылаймыз. Екі бірдей нәрсе әртүрлі қашықтықта тұрған болса, онда талқылау аккомодациядан шығатын борша сезіміне негізделеді.

Әртүрлі нәрсені әртүрлі қашықтықта тұрып қарағанда екі көзбен қараудың ірі маңызы бар: көзді жақын тұрған нәрседен алыстағы нәрсеге аударғанда, көздің осьтері бір нүктеде қыйылысуы үшін көздің алмасын түрліше қозғауға тура келеді. Осылай қозғағанда боршада болатын сезімнің өзгешелігі нәрсенің шамасы және қашықтығы турасындағы тәжрибелік талқылаудың негізіне жатады.

194. Көру әсерінің ұзақтығы. Қоздырылған көру сезімі сетчатканың сол қозған жерінде, одан сезім туғызушының кескіні кет-

кенде де сақталып тұрады. Орташа жарықтылықта көру сезімінің ұзақтығы 0,1 сек. шамасына созылады, жарықтылық болғанда 1 сек. ке дейін жетеді. Бұл құбылысты күнделікті тәжрибеден жиі кездестіруге болады; қызған көмірді тез қозғағанда оның ізі жарық сызық болып көрінеді; жылдам айналған велосипедтің дөңгелектерінің шабақтары тұтасып жалпақ нәрсе болып көрінеді; лампаның қызып тұрған қылына қарап кірпікті жаба қойса, не көзді қарағы жаққа аудара қойса да, жарықтың әсері сақталады.

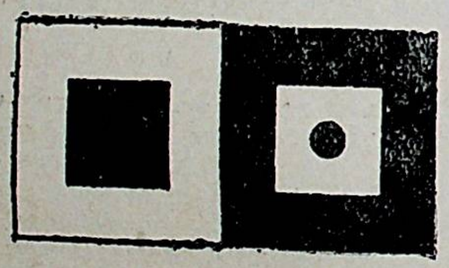
195. Көздің талуы. Сетчатканың ылғый бір жеріне көп уақыт нәрсенің кескіні түсе берсе, онда сезімділігі азаяды; көзді одан нашар жарықталып тұрған бетке, мысалы, ақ қабырғаға түсіргенде, жарыққа сетчатканың талған жерінен басқа қалған жері қозады да көз ақ фонда сол нәрсенің қоңыр кескінін көреді. Осылайша электр лампасына қарап алып, қабырғаға қарағанда, оның қоңыр кескінін көруге болады.

196. Әртүрлі түстерді қабылдау. Гельмгольцтың теориясы бойынша көзде үш түрлі нервілердің ұштары болады: бір түрі қызыл сәулеге ғана, екіншісі жасыл сәулеге ғана, үшіншісі күлгін сәулеге ғана тітіркенеді. Көзге жоғарыда саналған түстің бірі ғана түссе, онда ол тиісті ұштарды ғана қозғайды. Егер аралықтағы бір сәуле түссе, онда ол қатардағы (көрші) екі негізгі сәулеге тітіркенетін ұштарды қозғайды, бірақ та олардың әрқайсысын әр дәрежеде қозғайды. Осылайша спектрде қызыл мен жасыл түстің аралығында жатқан барлық сәулелер қызыл мен жасылға тітіркенетін органдарды қоздырады, бірақ әрбір жағдайда түрлі дәрежеде қозғайды. Көзге күрделі түсті сәуле түскенде онда қатарымен нервінің барлық ұштары да, бірақ әрқайсысы әр дәрежеде тітіркенеді.

197. Әртүрлі түстерге көздің сезгіштігі. Көздің сезгіштігі спектрдің барлық сәулесіне бірдей болмайды. Көздің оң сезгіш сәулелері жасыл сары болады; спектрдің шеткі сәулелерін сезгіштік 1 000 есе аз болады. Сондықтан, спектрде энергияның[1]) қалай тарап жатуын объективтік прибормен өлшеуден оны субъективтік (көзбен) қабылдау өзгеше болады.

Фотография суретінде жарық және қоңыр жерлердің тарап жатысы, сондай-ақ олардың интенсивтігі көзбен қарағанда нәрсенің өзіндегі ақ, қараның тарап жатысы мен интенсивтігінен өзгеше болады. Өйткені фотография пластинкасы бәрінен көк пен күлгін түске сезімді болады, ал көзге спектрдің орта жері ең жарық болып көрінеді.

198. Түстен талығу. Сетчаткалы қабыққа үнемі бір жеке түс әсер етсе, оның бұл түске сезгіштігі азаяды — түстен талығу пайда болады. Түс әсерінен талыққан көзбен нашар жарықталған ақ бетке қараса онда сетчатканың талыққан жері ақ сәуленің құрамындағы талығуға себеп болған түсті сәулеге тітіркенбейді, бірақ қалған түсті сәуленің жыйынына тітіркенеді, мұнда сол алғашқы нәрсенің өзінің суреті түседі, бірақ толықтырмалы түске боялып шығады.



253-сурет. Иррадиация.

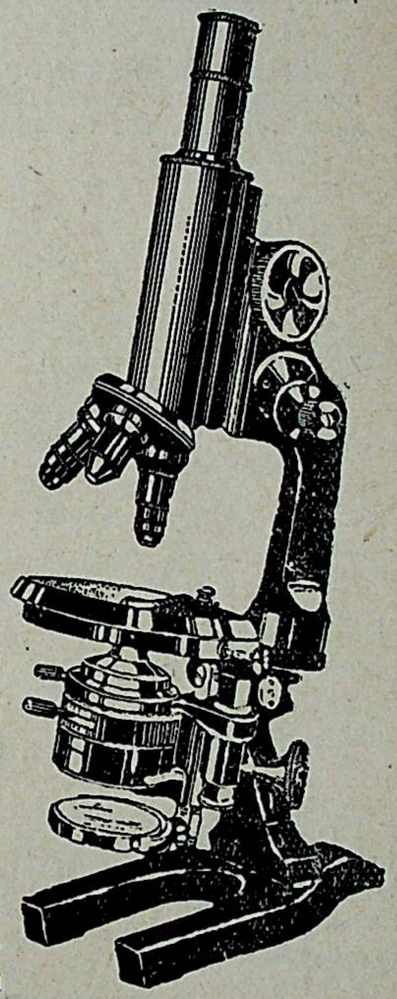
199. Иррадиация. Күшті жарықталған нәрсе қара фонда тұрса, ол әрқашан өзінің геометриялық мөлшерінен үлкен болып көрінеді, осылай, жаңа айдың орағы айдың «күл түсті жарықпен жарықталған басқа жеріне қарағанда ылғый үлкен радиусты болып көрінеді, жарық шығарып тұрған лампаның қылы қызбаған лампаның қылынан, жуан болып көрінеді, қара фондағы ақ квадрат, ақ фондағы сондай қара квадраттан үлкен көрінеді (253-сурет). Жарық нәрсенің мөлшерінің қара фонда тұрғанда ұлғаюын иррадиация дейді. Оның себебі, нәрсенің кескіні түскендіктен сетчаткалы қабықтың қозуы геометриялық кескіннен өтіп, оның маңында физиологиялық жөнмен тарайды. Сондықтан нәрсе үлкейіп көрінетін болады.

[1]) 210 § ты қара.

200. Оптикалық приборлардың жұмсалатын орны. Адам баласы өзінің тек көзімен ғана пайдаланатын болса, онда көп нәрселерді көре алмаған болар еді: көріну бұрышы шекті бұрыштан кем болатын, барлық ұсақ нәрселерді және барлық алыстағы нәрселерді көріп болмас еді.

Бірақ, адам баласы, шынылардың сындыратын қасиеттерін және беттердің шағылыстыратын қасиеттерін пайдаланып оптикалық приборлар дегенді жасай алатын болды. Олардың атқаратын міндеті көру бұрышын үлкейтіп, онымен қатар, адамның көріп тексеретін нәрселерінің санын молайту болады.

Жақын тұрған болымсыз кішкентай нәрселерді қарауға арналған оптикалық приборларды микроскоп дейді. Үлкен болғанмен қарау бұрышы қайткенде шекті бұрыштан кем болатын алыстағы нәрселерді қарауға арналған оптикалық приборды телескоп дейді.[1])



254-сурет. Микроскоп.

Микроскоптың ең жабайысы кәдімгі қос дөңес шыны болады. Нәрсені фокустан жақын қойған уақытта, жорымал, үлкейген кескін түсетіні бізге мәлім. Осылай пайдаланғанда шынының лупа дейді.

Лупаның алдына нәрсені, оның жорымал кескіні ең жақсы көрілетін араға, яғни сау көз үшін $d = 25$ *см* араға түсетіндей етіп қойса, онда лупаның үлкейтуі $\frac{2}{F}$ ке тең болады.

201. Микроскоп. Микроскоптың оптикалық системасы (254-сурет) екі линзадан тұрады, бірі көретін нәрсеге қарап тұрады, оны объектив, ал көз жағына орналастырылғанын окуляр дейді.

Екі линза да металл трубаның — тубус — ішіне — орнатылған.

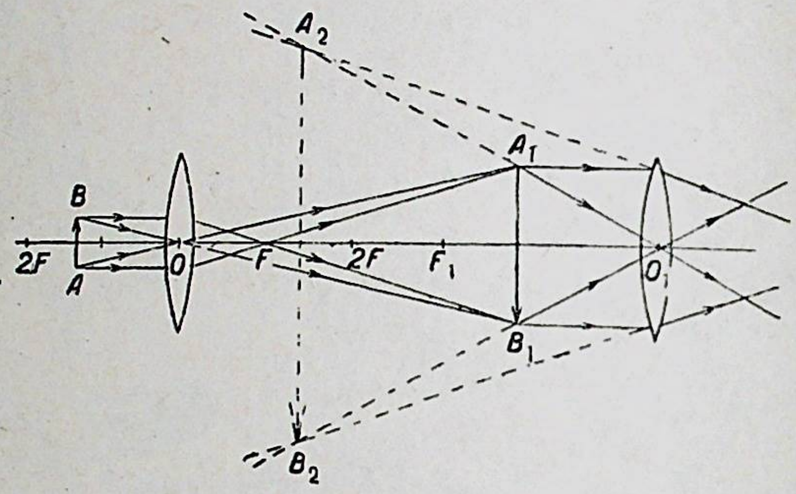
Объектив — қысқа фокусты — линза, ал окуляр — ұзын фокусты линза.

Объектив нәрсенің нақтылы, үлкейтілген кескінін беруі керек, сондықтан, объективтен нәрсе, фокус аралығынан аз алыс қойылады. Кескін 150-параграфтағы ереже бойынша жасалады (255-сурет). Бұл бірінші кескін окулярға нәрсе орнына жүреді; тағы да үлкейтілген кескін шығарып алу үшін окуляр, кескін $A_1 B_1$ окуляр-мен оның ұлы фокусының екі арасына келетін қып қойылады. A_1 нүктесі мен B_1 нүктесінің әрқайсысынан екі сәуледен жүргізіп

[1]) Грекше *скопо* — қараймын, *микрос* — кішкентай, *теле* — алыс деген сөз.

(178-параграфта көрсетілген сәулелерден) сол бұрынғы ереже бойынша екінші A_2 B_2 суретті салуға болады. Ол кескін жорымал, нәрсеге қарағанда кері және үлкейтіліп түседі. Тубусты, бинтін бұрай отырып, жорымал кескін ең жақсы көрінетін араға, былайша айтқанда сау көз үшін — 25 *см* араға жеткенше қозғайды. Микроскоптың үлкейтуін 3 000 есеге дейін жеткізуге болады [1].)

Егер қаралатын нәрсеге жанынан жарықтың күшті шоғын түсірсе онда сәуле өте кішкентай бөлшектерден шағылысып микроскоптың объективіне түсуіне болады, сонымен, сол бөлшектердің бар екендігін табамыз.



255-сурет. Сәулелердің микроскоптағы жолы.

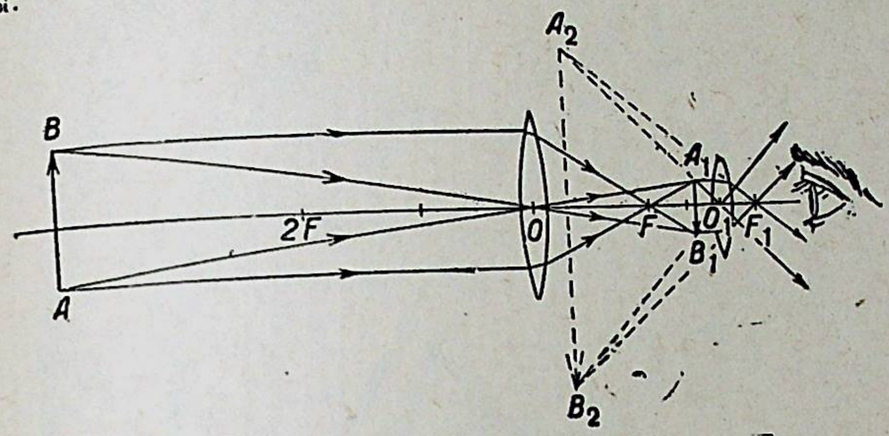
Осы сыяқты, үйде жүрген өте кішкене тозаңдарға күннің сәулесі түскенде олар бүйір жағынан көрініп тұрады. Олардың жарықтылығына қарап жарықты шағылыстыратын бөлшектердің мөлшері туралы да талқылауға болады. Осындай әдіспен диаметрі 0,000005 *мм* бөлшектердің барлығын білуге және мөлшерін табуға болады, бірақ олардың формасы және құрылысы айырылмайды. Осы айтылғандай приборды ультра микроскоп дейді.

202. Телескоп. Сфералық шыны арқылы үлкейтетін телескоптарды, рефрактор дейді. Ең алғашқы рефракторлардың бірі 1611-ж. Кеплер жасаған астрономия трубасы болады. Кеплер трубасының схемасы микроскоптың схемасына ұқсас болады. Мұнда да екі қос дөңес шыны — окуляр мен объектив — бар (256-сурет).

Трубаның объективі — ұзын фокусты болады, окуляры — қысқа фокусты болады. Нәрсенің әрбір нүктесінен келген сәулені параллель сәуле деп алуға болады. Нәрсенің жоғарғы нүктесінен *B* сәулесі келсін. Ол объективте сынғаннан кейін жанама осьте, ұлы фокус аралығындай жерде жатқан, фокустан өтеді. Нәрсенің төменгі

[1]) Микроскоптың пайдалы үлкейтуі 1000 еседен аспайды, себебі бұдан әрі үлкейткенде біз тек, қаралып отырған нәрсеге ешбір қатысы жоқ дифракциялық фигуралармен күрделенген былғаныш нәрсені көреміз.

нүктесінен A сәулесі келеді; ол да объективте сынғаннан кейін, өзінің жанама оптикалық осінде, ұлы фокус аралығындай жерде жатқан фокустан өтеді. Сонымен, объективтің ұлы фокусының дәл жанына (одан әрі) нәрсенің нақтылы, өте кішірейген, кері кескіні түседі. Бұл нақтылы кескін окулярмен қаралады. Сонда бұл бірінші кескін A_1B_1 окуляр мен оның ұлы фокусының аралығында тұратын болу керек; окуляр мен қарағанда көрінетін жорымал кескін A_2B_2 көзден, ең жақсы көрінетін арада тұратын болып орналасады:



256-сурет. Сәулелердің Кеплер трубасындағы жолы.

Нәрсені телескоппен қарағандағы қарау бұрышы $A_2O_1B_2$ болғанда, құралсыз көздің [1]) қарау бұрышы AOB болады. Телескоптың шыныларының фокус аралығына қарай, қарау бұрышының үлкеюі қарайтын дененің 1000 және одан артық есе жақындағанына сәйкес келеді.

Осының арқасында Айдың, Күннің және планеталардың бетінің телескоп қолданылмаса мүлде белгісіз болып қалатындары тәптіштеп зерттелген. Орасан қашық болғандықтан жұлдыздар телескопта нүкте болып көрінеді, бірақ олардың жарықтылығы өте артады, өйткені телескоптың объективінің барлық бетіне түскен сәуле бір нүктеге жыйналады.

Құралсыз көз 5000 шамасы жұлдыз көретін болса, жарықтылық артқандықтан, телескоп арқылы жүз миллиондаған жұлдызды да көруге болады. Телескоппен жұлдыз шоғырлары дегендерді бөлімдерге айырып қарауға болады; телескоптар тұмандықтардың нашар жарығын да түсіріп алады. Спектроскоппен және фотография аппаратымен жалғастырған телескоп көрінетін дүниенің шегін өте алысқа кеңітіп және ғылми ойды байытып, бізге әлемінің құрылысы туралы неше түрлі мәліметтер беретін болды.

257-сурет осы күнгі рефрактордың [2]) біреуінің кескінін көрсетеді.

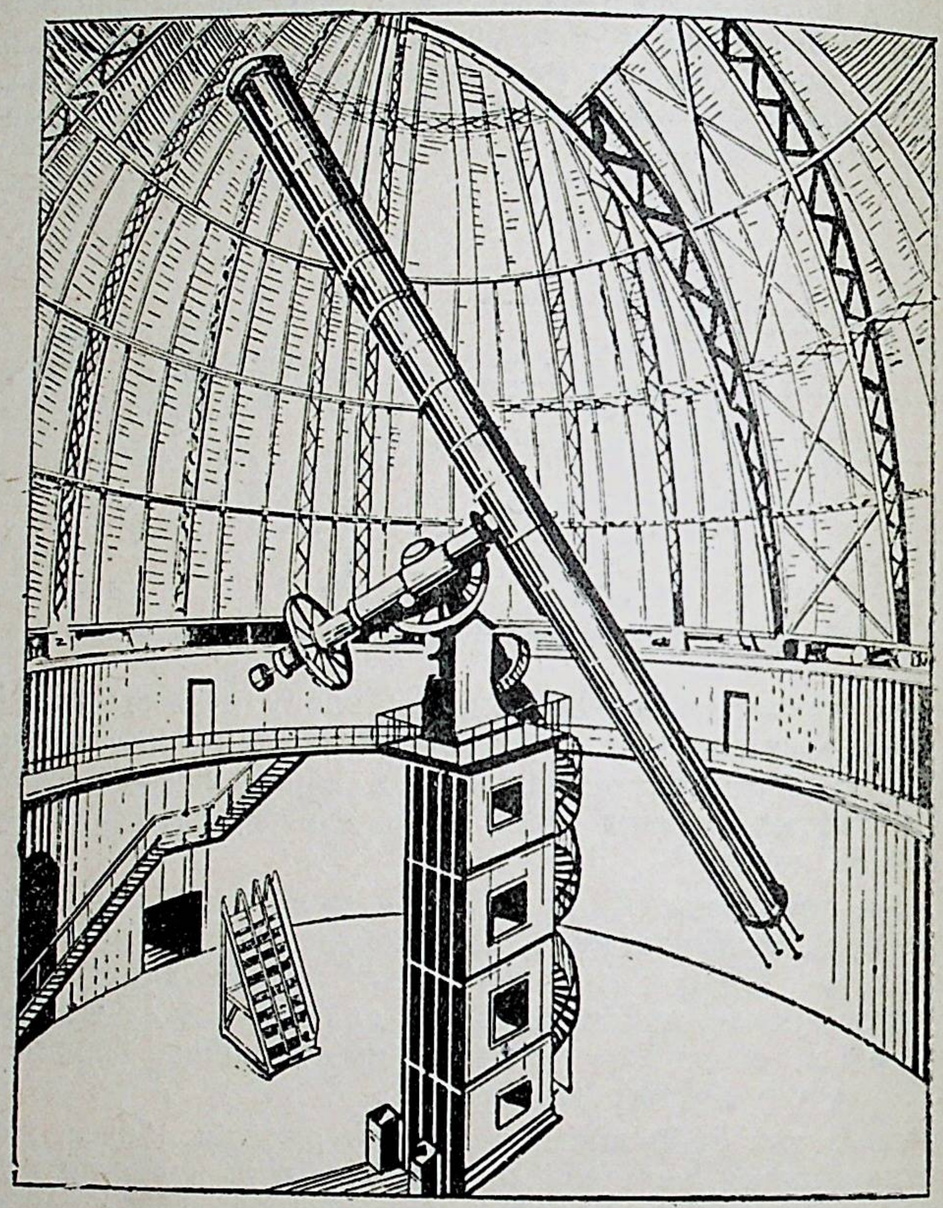
Кеплерден аз бұрын 1609 жылы Галилей өзінің трубасын ойлап шығарды. Оның окулярі ойыс шыныдан тұрады; сәуленің

[1]) Екі ара қашық болғандықтан трубаның мөлшерін еске алмай-ақ көз О нүктесінде деп санауға болады.

[2]) Рефрактордан айырмашылығы бар, бірінші суреті сфералық айна арқылы түсіретін телескопты рефлектор дейді.

жолы 258-суретте көрсетілген. Нәрсеге қарағанда кескін тура көрінеді. Кеплердің трубасынан артықшылығы осында, өйткені төңкеріліп көрінетін нәрсені бақылау ыңғайсыз болады.

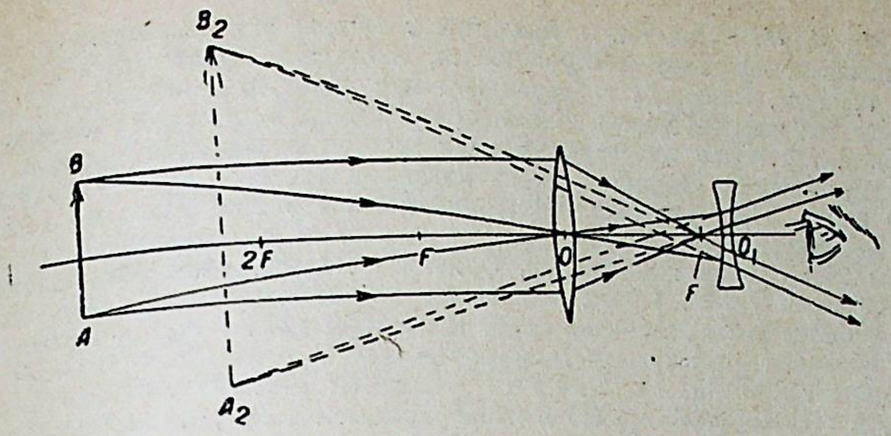
Нәрсені екі көзбен бірдей қарайтын қып біріктіріп жасалған



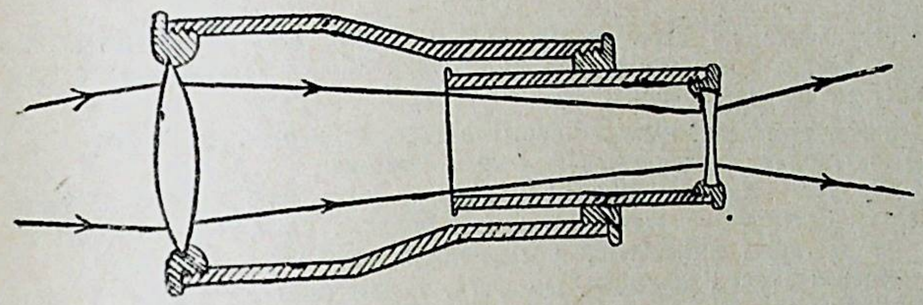
257-с у р е т. Рефрактор.

Галилейдің трубасын б и н о к л ь дейді. 259-суретте кәдімгі театр биноклі трубасының қыймасы салынған.

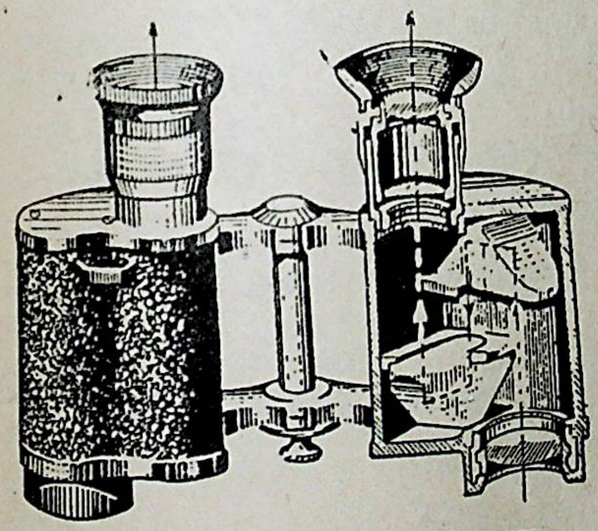
Осы ғасырда призмалы бинокль көп қолданылатын болды, мұнда кескін, призманың ішінде неше қайтара толық ішкі шағылысу жолымен түзу түрге айналады. 260-сурет бинокльдың сыртқы түрінің құрылысы мен сәуленің жолын көрсетеді. Призмалы бинокльдің артық жері — Галилейдің бинокліне қарағанда қарау аймағы (өрісі) кеңірек болады және үлкейтуі Галилейдікімен бірдей болса да, одан көлемі кіші болады. Призмалы бинокльдар осы артықшылығы арқасында, соғыс жұмысында дала бинокольдері есебінде көп қолданылады.



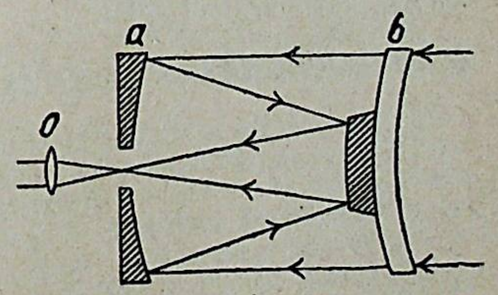
258-с у р е т. Сәулелердің Галилей трубасындағы жолы.



259-с у р е т. Театр биноклінің көлденең қыймасы.



260-с у р е т. Призмалы бинокль.



260а-с у р е т.
Максутов телескобінің
құрылысы.

Максутовтың телескопы. Алғашқы линзалы телескоптар — рефракторлар — жасалған, сол XVII ғасырдың өзінде, шағылыстырғыш телескоптар — рефлекторлар ойлап шығарылған болатын. Оларда линзалы объектив айналы объективпен алмастырылған еді. Бұл системалардың екеуін де жасағанда көп қыйыншылықтар кездесетін де, олардың қызметінде де көп кемшілектер болатын. Рефракторлардың негізгі кемшіліктері — хроматикалық аберрация (§ 188), трубаның аса ұзын болуы, шынының аса сапалы болып істелуін тілейтіні болатын. Рефракторды жасағанда кездесетін негізгі қыйыншылық — шыныны аса ұқыпты өңдеудің қажеттігі. Бұл кемшіліктерді жоюдың оңай жолын 1941 жылы совет

ғалымы Д. Д. Максутов тапты. Максутов телескобі құрылысының негізгі принципі — айнаның сфералық абберрациясын, линзаның сфералық абберрациясын (§ 187) түзетуде. Линзаның абберрациясы мен айнаның абберрациясы кері таңбалы және тең шамалы болған жағдайда ғана мұндай түзетуге мүмкіншілік бар. Өнерпаздың зерттеуіне қарағанда мұндай шартты қыйсықтық радиусы аса аз және радиустарының айырмасы да аз линзаның тек бір түрі — мениск[1]) қана орындай алады. Практика жүзінде мұндай менискіде хроматикалық аберрация кездеспейді. Өнерпаз өзінің телескопін м е н и с к е л і деп атады. Ол телескоптің құрылысы 260а-суретте кескінделген. Ондағы *а*-мениск, оған бақыланатын шұрақтан сәулелер түседі. Сәуле, менискінің ішінде сынып, айнаның шағылыстырушы *b* бетіне түседі. Айнадан сәуле менискінің күмістелген бөлігіне түседі, ал одан, айнадағы тесік арқылы *О* окулярға түседі. Мектепке арналған менискілі телескоптың тесігінің диаметрі 7 *см*, ұзындығы 18 *см*, ол 70 есе үлкейтеді. Сдан ірірек тесігінің диаметрі 0,5 *м* және ұзындығы 1 *м*, телескоп жасалып жатыр.

24а-жаттығу.

«Наставление по стрелковому делу»[1] деген кітапта, мылтық атушыдан нысанаға дейінгі аралықты көзбен мөлшерлеп айыру турасында былай делінген: «Біз мыналарды білеміз:

1) ашық түсті (ақ, қызғылт сары) заттар, қоңыр түсті (қара көк, қара, қоңыр) заттардан жақын сыяқты болып көрінеді;

2) бір түсті, біркелкі (пішендік, қар, егіндік) фон өзінің ішіндегі басқа түсті затты бадырайтып, жақындатқандай болады, ал шұбар, әртүсті фон, керісінше, ол заттарды алыстатып, жасырғандай болады;

3) бұлыңғыр күні, жауында, ымыртта, тұман болғанда т. с. с. аралық қашықтағандай болады, ал ашық шағырмақ күндерде, керісінше, қысқарғандай болады;

4) таулы жерлерде ауа ашық болғанда көрінген заттардың барлығы жақындағандай болады».

Жарықтылықтың бірінші заңын қолданып бұл құбылыстарды түсіндіріңдер (түсіндіргенде аралықтың өзгеруі ж а л ғ а н к ө р і н і с екенін естен шығармаңдар).

ОҚУШЫЛАРДЫҢ БІЛІМІН ТЕКСЕРУГЕ АРНАЛҒАН СҰРАУЛАР

1. Көздің басты бөліктерін баяндап айтыңдар.
2. Сәуленің жолына көздің көбінесе қай бөліктері әсер етеді?
3. Хрусталик деген не? Көзде ол қалай ұсталып тұр? Хрусталиктің формасы неден және қалай өзгереді?
4. Ретина деген не?
5. Соқыр дақ деген не?
6. Сары дақ деген не? Оның орны қайда және маңызы қандай?
7. Қарағанда көзге қандай кескін түседі?
8. Аккомодация деген не? Ол қалай болады?
9. Алыс нүкте, жақын нүкте деген не?
10. Ең жақсы көрінетін ара деп нені айтады?
11. Көру бұрышы деп нені айтады?
12. Шектілі көру бұрышы қандай? Ол неге байланысты?
13. Анық көрудің қандай үш шарты бар?
14. Көздің әркайсысында дененің кескіні бірдей бола ма?
15. Қандай шарт болса екі көзбен қарағанда нәрсе біреу болып көрінеді?
16. Микроскоппен телескоптың негізгі жұмсалатын жері не?
17. Оптикалық прибордың қандай шынысы объектив делінеді?
18. Оптикалық приборлардың қандай шынысы окуляр делінеді?

[1] «Наставление по стрелковому делу РККА. Оружие стрелкового взвода». Госвоениздат, Москва, 1943.

19. Микроскоптың құрылысын және ондағы сәуле жолын баяндап айтыңдар.
20. Кеплер трубасының құрылысын және ондағы сәуле жолын баяндап айтыңдар.
21. Галилей трубасының құрылысы және оның қолданылуын баяндап айтыңдар.

II. ЖАРЫҚТЫҢ ЖАРАТЫЛЫСЫ.

203. Жарықтың интерференциясы. Газ не спирт горелкасын жағып, жалынына, бір текті сары жарық шығарып алу үшін ас тұзының ертіндісі мен дымданған азбес кесегін ұстайық.

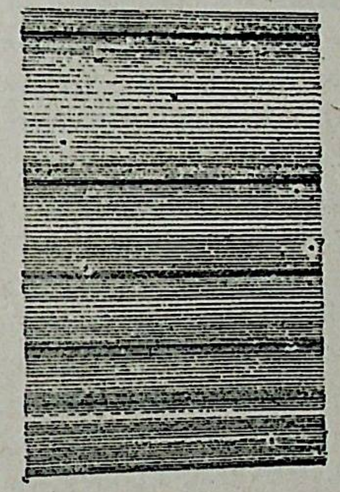
Екі шыны пластинка алайық (өлшеулері 60 *мм* × 30 *мм* × 2 *мм* болса жеткілікті) сонан кейін бұларды біріне-бірін беттестіріп саусақтарымызбен қатты қысайық та, олардан шағылысқан сары жалынның кескінін бақылайық. Сонда біз бірінен соң бірі к е з е к т е с і п ж а т қ а н с а р ы ж ә н е қ а р а ж о л а қ т а р д ы көреміз. Ойламаған жерден мынадай құбылыс байқалады: ж а р ы қ т ы ж а р ы қ с ө н д і р е д і 261-сурет).

Бұл құбылыс, дыбыс интерференциясындағы тәжрибеде дыбысты дыбыс сөндіретінін еске түсіреді.

Жарықтың жарықты сөндіруі де солсыяқты ж а р ы қ т ы ң и н т е р ф е р е н ц и я с ы н а н болады.

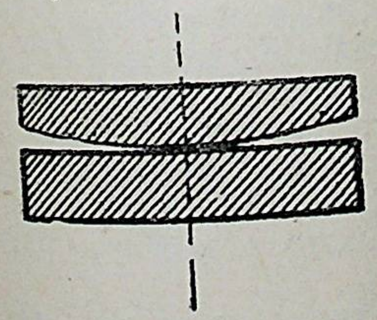
Интерференция толқындар беттескенде ғана болады.

Осылайша, жарық интерференциясы туралы жасалған бұл жабайы тәжрибе *жарықтың себебі* (жаратылысы) *толқын тәрізді қозғалыс екенін ыспаттайды.*



261-с у р е т. Сабын пленкасын бір текті жарықпен жарық қылғандағы интерференция жолақтары.

Жоғарыда келтірілген тәжрибеден басқа, жарықтың интерференциясын былайша шығарып алуға болады. Айна шынысының жазық пластинкасы радиусы өте үлкен (қыйсықтығы азғана) дөңес линзаны беттестіріп, оларды қызыл не басқа түсті шынымен жабулы тұрған доға фонарымен жарықтаймыз, сонан кейін осы екеуінен өтетін жарықты экранға проекцияласақ, экранға бірінен соң бірі кезектесіп келіп отыратын қара және түсті сақыйналар мен қоршалған түсті дақ түсетінін байқаймыз.



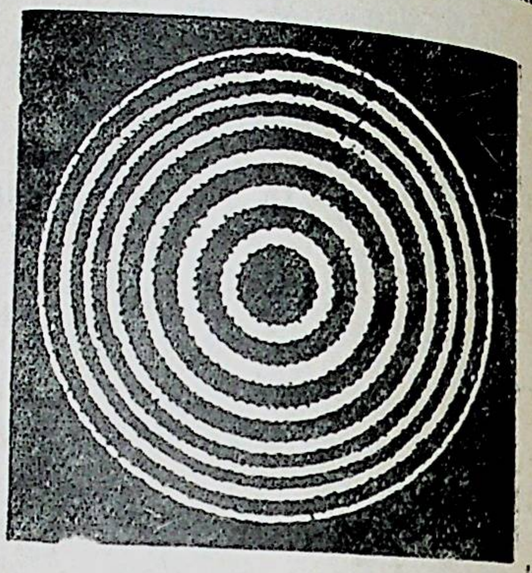
262-с у р е т. Ньютон сақыйнасын шығаратын прибор.

Шағылысқан жарықтың ортасында қара дөңгелек, одан әрі түсті және қара сақыйналар пайда болады (Ньютон сақыйнасы делінетіндер) (262 және 263-суреттер).

Егер қызыл шынының орнына жасыл, одан соң күлгін шыны қойса, онда түсті және түссіз жолақтардың ені жасыл жарықта қызыл жарықтағыдан тар, күлгін жарықта жасыл жарықтағыдан тар болады. Бұл тәжрибеден, спектр

түстері бір-бірінен өзгешелігі бар толқындардан шығады деген қортындыға келуге болады. Бұл өзгешелік толқынның ұзындығының әртүрлі болатындығынан екені алда айтылады.

Бұл приборды ақ жарықпен жарықтағанда, барлық спектр түстерінен тұратын сақыйналар жыйынын байқауға болатынын алдын ала көруге болады. Осылай болатынын тәжрибеде көрсетеді.

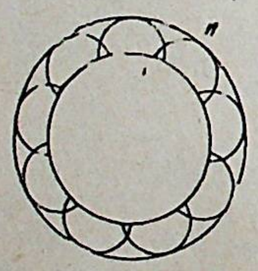


263-сурет. Ньютонның шағылысқан жарықтағы интерференциялық сақыйналары.

Осындай интерференциялық спектр жолақтарын судың бетінде қалқып жүрген майдың, не керосинның өте жұқа пленкаларын, не сабын пленкаларын (сабын көбігі, сабын көпіршігін) ақ жарықпен жарықтағанда да байқауға болады.

204. Жарық толқыны. Сәуле. Жарықтың интерференциясы, жарық құбылыстарынан болатын өзгерістердің характері толқын тәрізді екенін анық тағайындайды. Жарық физика және химия зерттейтін денелердің составына енетін заттар жоқ планеталар аралығындағы кеңістікте тіпті еркін тарайды; ішіндегі ауасы өте жоғары дәрежеде сиретілген шыны трубкалардың ішкі қуысымен де солай тарайды.

Жарықтың толқын теориясы, әрқайсысы нүктелік жарық көзінің, мысалы, кішкентай вольт доғасының, қыздыру лампасының кішкентай қылының айналасынан сфералық (шар) толқын тарайды деп үйретеді (264-сурет). Әрбір сфералық бетте тербелістің бір фазасында тұрған нүктелер ғана жатады.



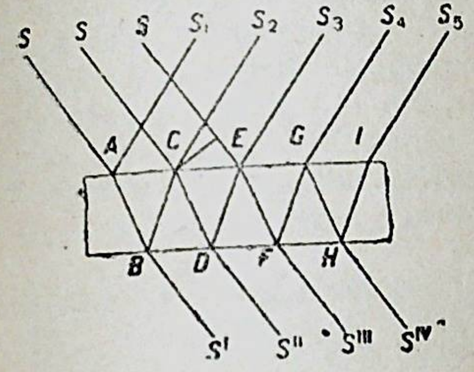
264-сурет. Элементар толқындардың коршауы (Гюйгенс принципі бойынша § 208).

Егер фазалары бірдей нүктелер арқылы концентрлі сфералық беттер жүргізілсе, онда осындай беттердің радиус бойымен алынған аралығы толқынның ұзындығы деп аталады. Сфералық бетке жүргізілген перпендикулярды (нормальды) с ә у л е[1]) дейді. Жарық көзі бақылау орнынан қашық арада болса, онда бақылауға жататын сфералық толқынның бөлігінің жазықтықтан айырмашылығы өлшеуге келмейтіндей болымсыз болады; онда т о л қ ы н —жазық толқын делінеді. Жазық толқын болған уақытта барлық сәуле п а р а л л е л ь болады.

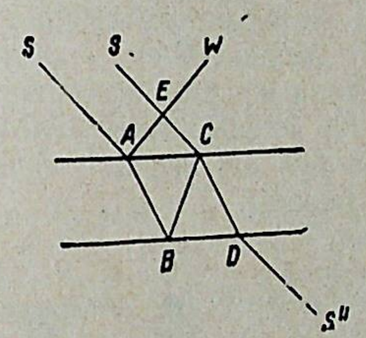
205. Жарықтың интерференциясын түсіндіру. Жарық тербелісінің характерін және оған керекті терминдерді тағайындап алып, енді біз жарық құбылысын зерттей бастағанда алғаш тоқталған интерференция[1]) құбылыстарын түсіндіруге кірісеміз.

[1]) Изотроп ортада, яғни қасиеттері барлық бағытта бірдей ортада.

Жақтары параллель орасан жұқа шыны пластинка алып, оны бір түсті параллель сәулемен жарықтап, шағылысқан не өткен сәулелерді қарасақ, пластинка сәуленің көлбеулігін өзгерткенде ол біресе жарық, біресе қараңғы болып көрініп тұрады. Пластинкаға түсіп ішіне өтетін параллель сәулелер (265-сурет) бірнеше рет пластинканың жақтарынан шағылысады. Сондықтан, пластинкадан қай бағытпен болса да, мысалы, DS'' бағытымен екі сәуле шығуы мүмкін; бірінші SC сәулесі SA ға параллель; ол CD сызығымен сынады да, DS'' сызығымен шығады, екіншісі SA, ол AB мен сынады да, екі рет B мен C нүктесінен шағылысып DS'' бағытымен шығады.



265-сурет. Жұқа пластинкадағы интерференцияны түсіндіру.



266-сурет.

Сәулелер параллель сәуле болғандықтан, толқынның фронты жазық және сәуленің бағытына перпендикуляр келеді; оның бағыты AW мен болады (266-сурет). A нүктесіне түскен толқын C нүктесіне шекті $AB + BC$ жолын жүрген уақытта C нүктесіне түскен толқын EC сызығын жүреді. Толқын ауада v жылдамдықпен, шыныда $v_1 = \frac{v}{n}$ жылдамдықпен жүретінін ескерту керек; мұнда n шынының сыну көрсеткіші болады (§ 166, § 209). Сондықтан толқынның шыныдағы $AB + BC$ жолына ауадағы $n\,(AB + BC)$ тең жол сәйкес келеді. Егер AW фронтында тербеліс A мен E де бір фазада болса, олар әртүрлі жолды әртүрлі жылдамдықпен жүріп, C нүктесінде кездескеннен кейін, әртүрлі фазаларда түсулері мүмкін. Егерде толқын тәрізді қозғалыс екінші сәуледе бірінші сәуледен бір бүтін толқын ұзындығындай қалдық болса, онда екі толқынның фазасы дәл бірдей болады, күранды тербелістің амплитудасы қосылғыш тербелістердің амплитудасынан артық болады және өтетін жарықтың жарықтығы ең күшті болып шығады. Егер артық жолда $[n(AB + BC) - EC]$ бірінші толқынның екінші толқынан артық жолда

[1]) Интерференцияны Юнг түсіндірген (1807 ж.).

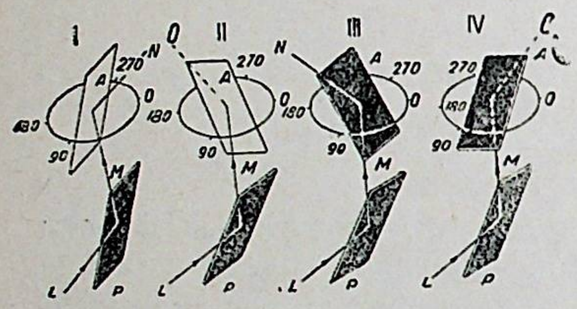
қыннан айырмашылығы толқынның ұзындығының жартысындай болса, яғни фазалары қарама-қарсы болса, онда тербеліс бірін-бірі жояды, құрамды амплитуда ең кіші болады және пластинканың жарықтылығы өте нашар болады.

Сәуленің пластинкадағы көлбеулігін өзгертіп, не пластинканың қалыңдығын өзгертіп, жолдың айырмасын өзгертуге болады[1]).

Ньютон сақыйналарымен жасалған тәжрибедегі интерференция яки біздің алғашқы тәжрибелеріміздегі[2]) интерференция жаңағыдай түсіндіріледі, бірақ оларда интерференция екі шыны арасындағы ауаның қалыңдығының өзгеруіне байланысты.

Пластинканы, не сфералық шынының ақ сәулемен жарықтағанда түсті жолақтар не түсті сақыйналар келіп шығады (сабынның көбігінің, су бетінде қалқып жүрген май пленкасының түстері).

Түсті жолақтардың пайда болуы әртүсті сәулелердің берілген заттың ішіндегі толқынның ұзындығы мен тарау ұзындығының әртүрлі болатындығынан. Сондықтан пластинканың бір жерінің өзіндегі ұзындықтары әртүрлі толқындардың беттесу жағдайы да әртүрлі болады. Егер пластинканың бір жерінде ұзындықтары бірдей толқындардың фазалары дәл келсе, ал екінші бір жерінде екінші бір ұзындықтағы толқындардың фазалары дәл келетін болса, онда бұл екі жердегі пластинканың көрінетін бояулары да әртүрлі болады.



267-сурет. Шыны пластинкадан шағылысқан жарықтың поляризациясы.

206. Жарықтың поляризациясы. Жарық құбылыстарының сыйпаты толқын екенін тағайындап, енді жарық толқынында көлденең тербеліс тарай ма, жоқ болмаса қума тербеліс тарай ма соны анықтау керек.

Бұл сұраққа мына тәжрибелер жауап береді.

Параллель сәулелер шоғы L артқы беті қарайтылған шыны пластинка P ге 55° бұрышпен[3]) түсіріледі (267-сурет).

Түскен сәуле шоғы шағылысқан сәуле шоғы M мен шыныда сынған сәуле шоғына жіктеледі, кейінгі шоғын қара бояу сіңіріп қояды.

Бұл шағылысқан сәуле M нің енді сәуле L де жоқ жаңа қасиеті бар.

Жарық көзінен тура келген сәуле қандай бұрышпен келіп түссе де беттен шағылыса алатыны бізге белгілі.

Ал, беттен бір рет 55° бұрышпен шағылысқан сәуле M екінші айна A дан, екі айнадағы түсу жазықтығы дәлме-дәл келген уақытта ғана шағылысады

[1]) Жұқа пластинкадағы интерференция құбылысы алғаш 1665 жылы байқалған.

[2]) Шағылысқан сәуледегі интерференция да осы сыяқты түсіндіріледі, бірақ, бұл жағдайда ауадағы және шыныдағы жолдың өзгешелігі және жылдамдықтың өзгешелігінен шыққан айырмаға, тығызырақ ортаның — шынының шегінде жоғалатын жарты толқын қосылатынын естен шығармау керек. Интерференция құбылысы шағылысқан сәуледен жақсы байқалады, үйткені өтіп шығатын жарықта интерференцияланатын сәуленің бірі екі рет шағылысқандықтан өте нашар болады.

[3]) Басқа бұрышпен түскенде де құбылыс осылай болады, бірақ аса анық түрде болмайды.

(267-сурет, I мен III орын), олардың әлсіреуі түсу жазықтары өзара перпендикуляр болған жағдайда көбірек болады[1]).

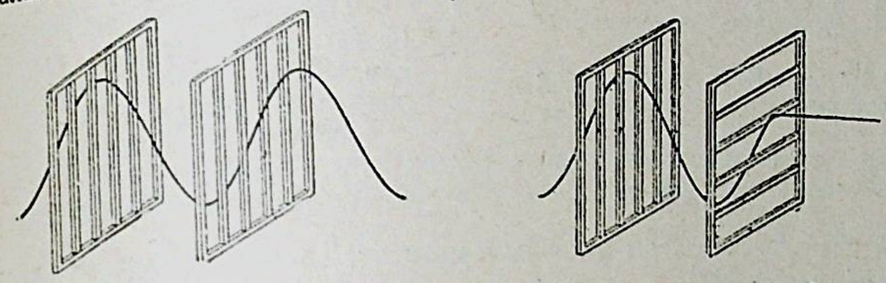
Бұл істелген тәжрибе сәуле M де бір беткейлік пайда болғандықты көрсетеді, соның есебінен сәуле М ді бар жағымен екінші айнаға қаратқанда, екінші шағылысу туады: оны екінші жағымен қаратқанда, шағылысу тоқталады.

Сәуленің бұл бір беткейлігін 1808 жылы Малюс (1775 — 1812) тапқан, жарықтың поляризациясы деп атаған.

Жарық сәулесінің бірбеткейлік қасиеті жарық тербелісінің көлденең тербеліс екенін дәлелдейді.

Тербеліс қума болғанда, яғни тербеліс бағыты жарық сәулесінің бойымен болғанда, құбылыс жарық шоғы шағылыстырылатын беттікке қай жағымен қарап тұруына байланысты болмас еді.

Егер серпімді көлденең тербеліске бір мысал, мәселен резинка жіптің тербелісін алып қараса, бұл жағдайды оңай түсінуге болады. Тақтайдан жіп оңай



268-сурет. Тербелістердің поляризациясының моделі.

өтетін қып, екі тар саңлау жасалық. Саңлауды тік қойып (268-сурет), олардан жіпті өткізіп алалық та, жіпте тік көлденең тербеліс туғызалық, сонда бұл тербелістердің толқыны екі саңлаудан да өтіп еркін тарайды. Егер де екіншісін горизонталь қып аударып қойса, онда біріншіден өткен жіптің тербелісін екінші саңлау жояды.

Жіпте қума (ұзын бойлық) толқын туғызса, онда, ол бірімен-бірі қалай тұрса, олай тұрсын, екі саңлаудан бірдей өтеді.

Толқын теориясы бұл құбылысты былай түсіндіреді. Жарықтың табиғи сәулесінде тербеліс мүмкін бағыттардың барлығында болады. Сондықтан, жарықтың сәулесіне перпендикуляр барлық бағыттар, оптика тұрғасынан қарағанда, мүлде бірдей, бір праволы болады.

Бірінші шағылысқанда мүмкін көлденең тербелістердің барлығынан бір ғана белгілі бағытты тербеліс бөлініп шығады.

Көлденең тербелістердің барлық мүмкін бағыттарынан белгілі бір бағыттың жіктелуін жарықтың поляризациясы дейді.

Көлденең тербелісі бір бағыттағы жарық, поляризацияланған жарық делінеді.

Толқын теориясы, бірінші шағылысумен поляризацияланған жарық тербелістерінің жазықтығын түсу жазықтығына перпендикуляр деп алған. Мұндай поляризация туралы: жарық түсу жазықтығында поляризацияланған деп айтады (267-сурет).

Поляризацияланған сәуле екінші айнадан, оның тербелісі екінші түсу жазықтығына перпендикуляр болса, онда шағылысады, егер параллель болса, онда — жойылады.

Айнаға түскен сәуле поляризацияланған жарық па яки поляризацияланбаған жарық па екендігін айнаның өзімен айыруға болады. Сәуле қандай бұрышпен түссе де, одан шағылысатын болса онда сәуле айнаға шекті поляризацияланбағаны, сәулеге қарағанда айнаның бір орындарында шағылысу болып, екінші

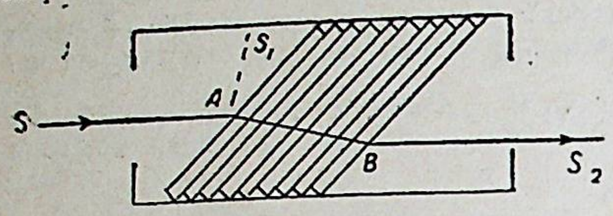
[1]) Айнаның аралықтағы орналасуларында екінші рет шағылысқан сәуленің азды-көпті нашарлағаны байқалады.

орындарында жойылса, онда түскен сәуленің поляризациялағаны. Мұндай жағдайда айна анализатор қызметін атқарады.

Сонымен, поляризация құбылысы қойылған сұраққа нақтылы жауап берді, жарық — *көлденең тербелістердің толқын тәрізді тарауы болады.*

207. Жарықтың сынудағы поляризациясы. *Жарық сәуленің поляризациясын* шағылысумен ғана емес, *сынумен де туғызуға болады.*

Шыны пластинкадан 55° бұрыш жасап шағылысуды, түсу жазықтығында поляризацияланып, шағылысқан сәуле шоғы деп жекелеп алса, онда шыныда сынған шоғында бұл көрсетілген тербелістер (шағылысқан сәуле) жоқ болғандықтан, ол да поляризацияланып шығады, бірақ, шағылысқандағыдай толық болмайды.



269-сурет. Қабатталған жұқа пластинкалар — поляризатор.

Одан толық поляризацияға 10—20 шақты шыны пластинкалар тобынан көп қайта сынғанда жетуге болады.

Мұндай топ пластинкадан өткен сәулелер түсу жазықтығына перпендикуляр түсу жазықтығында поляризацияланған болады; былайша айтқанда тербеліс түсу жазықтығында жатады (267-сурет).

Мұндай пластинкалар тобы поляризатордың да, анализатордың да қызметін атқара алады (269-сурет).

208. Гюйгенс принципі. Жарықтың толқын теориясының жасалуы жөніндегі құбылыстармен танысып алып, осы теорияның негізі бойынша жоғарыда қаралған жарық құбылыстарының бірнешеуін түсіндіріп көрелік. Олар Гюйгенс ұсынған әдіспен түсіндіріледі.

264-суреттегі I шар бет, тербелістің бір моментіндегі фазалары бірдей нүктелерді қоршап тұрсын. Бір t уақыттан соң сол фазалардан өтетін толқын беті кеңістікте жаңадан II орын алады. Гюйгенс, толық бетінің екінші орынға ауысуын былайша қарау керек деп ұсынады. Толқын бетінің орны қандай болсын бір ілездік уақыт үшін белгілі болса, онда бұл беттің барлық нүктелері жаңа тербелістің центрі деп алынады да t уақыт ішінде сол центрлерден жаңа шар толқынмен тарап ct дей араға кетеді, ондағы c — тербелістің тарау жылдамдығы.

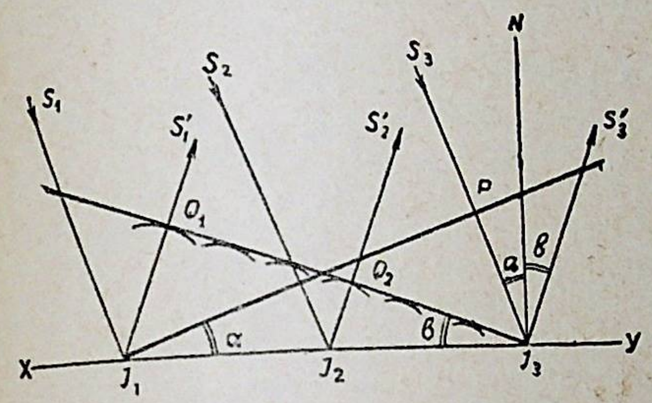
Бұл толқындар элементар толқындар делінеді. Кеңістіктің қай нүктесіне болса да толқынның бұрынғы бетінің әртүрлі нүктелерінен келетін бұл элементар толқындар өзара интерференцияланады. Қаралатын нүктеге келген тербелістердің фазалары дәлме-дәл келетіндері бірін-бірі күшейтеді; фазаларында қандай болсын өзгешелік болса, онда олар бірін-бірі белгілі бір дәрежеде өшіретін болады. Толқынының жолын тәптіштеп толық салу және олардың фазаларын талдап тексеру (бұларды мұнда қарастырмаймыз) мынаны көрсетеді: тербелісі бірдей фазада болатын жаңа толқын фронты жеке нүктелерден жүргізілген барлық болжама шар беттерге жанама (не оны «қоршама» деп те айтылатын) бет болады. Гюйгенс ұсынған толқынның жаңа фронтын табу әдісі Гюйгенстің принципі делінеді.

Гюйгенстің принципі интерференциямен байланысты жарық

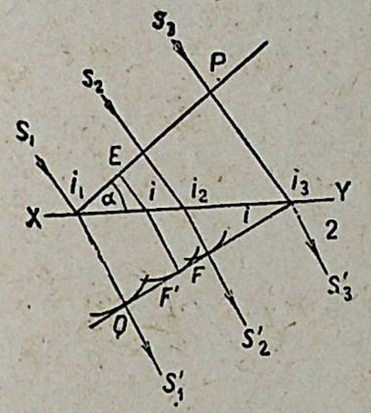
құбылыстарының негізі — толқын тәрізді қозғалыс бар болған кезде, жарықтың түзу сызықпен тарауы мүмкін екенін түсінуге жол береді.

Гюйгенстің принципімен және жарықтың толқын теориясының негізі бойынша жарықтың шағылысу және сыну заңын түсіндірелік.

209. Жарықтың шағылысуы мен сынуын толқын теориясымен түсіндіру. Жарқырауық нүктеден көлденең тербелісті жарықтың сфералық толқыны келеді. Жарқырауық нүкте шексіз қашықта тұрса, онда толқынның әрбір кішкентай жеке жері жазықтық болады. Толқынның тарау бағыты әрбір моментте толқын бетіне перпендикуляр (нормаль) болады.



270-сурет. Толқын теориясы бойынша шағылысуды түсіндіру.



271-сурет. Толқын теориясы бойынша жарықтық сынуын түсіндіру.

Әртекті екі ортаның шекарасы XY кен (270-сурет) шексіз қашықтықтағы жарық көзінен толқын келіп түссін; сонда оның беті жазық болады да, сурет жазықтығындағы қыймасы I_1P сызығы сияқты болады. Шекараның толқын келіп жеткен барлық нүктесі тербеледі де, өздері сфералық толқынның центрі болады.

Бұл толқындардың жарым жартысы, олардың өздері шекараға келіп түскендегі бірінші ортада тарайды, жарым жартысы екінші ортаға өтеді.

Әуелі бірінші ортадағы толқынды бақылап қаралық (270-сурет).

Түскен жазық толқын I_1P бетпен (қыймадағы) өзіне-өзі параллель келіп алға қарай қозғалып XY бетінің I_1 I_2 I_3 нүктелеріне бірте-бірте тиіседі. Тербеліс PI_3 жолын жүргенше, I_1 нүктесіне проекцияланатын және чертёждің жазықтығына перпендикуляр келетін түзу сызықтың барлық нүктелері екінші толқынның центрлері болып қалады. Бұл толқындардың біреуінің қыймасы суретте кесінделген; бұл сфералық толқынның радиусы I_1Q_1; бұл PI_3 ($I_1Q_1 = PI_3$) қашықтығына тең болады, I_2 нүктесі (I_1I_3 қашықтығының ортасы), радиусы әлгіден екі есе кіші ($I_2Q_2 = \frac{1}{2}PI_3$) толқындар береді т. с. с. I_3 нүктесінде жаңа толқынның шығуы басталмайды (радиус нольге тең болады).

Әрбір нүктеден шығатын толқындардың бетін табу үшін, әуелі I_1 нүктесінен I_1Q_1 радиусымен шар сызамыз. Содан соң I_2 нүктесінен I_2Q_2 радиусымен шар сызамыз. Ортақ жанама PQ_2 — толқынның жаңа фронты болады. Ол XY бетімен α бұрышын жасайды. Ал α бұрышы түсу бұрышына тең болады. Шынында да, PI_3 және I_1Q_1 — тең қабырғалы үшбұрыштың екі қабырғасы, I_1I_3 — олардың ортақ қабырғасы. Сондықтан $\alpha = \beta$.

Суреттен, барлық пайда болған сфералық толқындар системасы, суретке перпендикуляр болып, қыймасы I_3Q_1 түзу сызығын беретін жазықтықпен оралатыны көріледі. Осы жазықтық шағылысқан толқынның фронты болады.

Оған перпендикуляр I_1S_1', I_2S_2', I_3S_3' сызықтары шағылысқан сәулелердің бағытын көрсетеді. Тік бұрышты үшбұрыштар $I_1Q_1I_3$ мен I_1PI_3 екі-екі қабырғалары тең болғандықтан бірімен бірі тең болады. Сондықтан $\angle PI_1I_3 = \angle Q_1I_3I_1$. Бірақ, бұрыш $\angle PI_1I_3 = \angle S_3I_3N = a$ болады, ал бұрыш $Q_1I_3I_1$ бұрыш $S_3I_3N = b$ ге тең болады, себебі бұрыштардың қабырғалары біріне-бірі перпендикуляр келген.

Бұрыш a сәуленің түсу бұрышы болады, бұрыш b сәуленің шағылысу бұрышы болады, жаңадан шағылысу бұрышы мен түсу бұрышының теңдігі шығады, яғни шағылысудың екінші заңы шығады.

Енді сыну құбылысына келейік (271-сурет). Бұл толқындар екінші ортада бірінші ортадағы жылдамдығы c_1 ден өзгеше c_2 жылдамдығымен тарайды (мысалы, $c_2 < c_1$). Толқын I_1 ге жеткен уақытта ол нүктеден жаңа сфералық толқын бөлініп шығады; t уақыт ішінде алғашқы I_1 P жазық толқын $PI_3 = c_1t$ дей жол жүргенде, жаңа толқын I_1 нүктесінен $I_1Q = c_2t$ дей араға барып үлгіреді, $\bar{I}_1\bar{I}_3$ бетінің әрбір нүктесі жалғас уақыт аралықтарында сондай жаңа сфералық толқынның центріне айналады; бірақ, бұл толқындардың радиусы бірдей алынған уақыт моментінде нүктелердің I_3 ден қашықтығына пропорционал кемиді. Бұл шексіз көп сфералық толқындардың жалпы жанамасы QI_3 болады, ал оның өзі сынған толқынның фронты болады. Толқындардың (сәулелердің) тарау бағытын салыстырып бірінші ортадағы S_1I_1 сәулесі мен екіншідегі $I_1S'_1$ сәуленің сынғанын көруге болады. $\angle I_3I_1P = \angle a$ (түсу бұрышы), $\angle I_1I_3Q = \angle i$ (сыну бұрышы) болғандықтан $PI_3 = I_1I_3 \sin a$ және $QI_1 = I_1I_3 \sin i$ болады, бұдан,

$$\frac{PI_3}{QI_1} = \frac{I_1I_3 \sin a}{I_1I_3 \sin i} = \frac{c_1t}{c_2t}; \quad \frac{\sin a}{\sin i} = \frac{c_1}{c_2}.$$

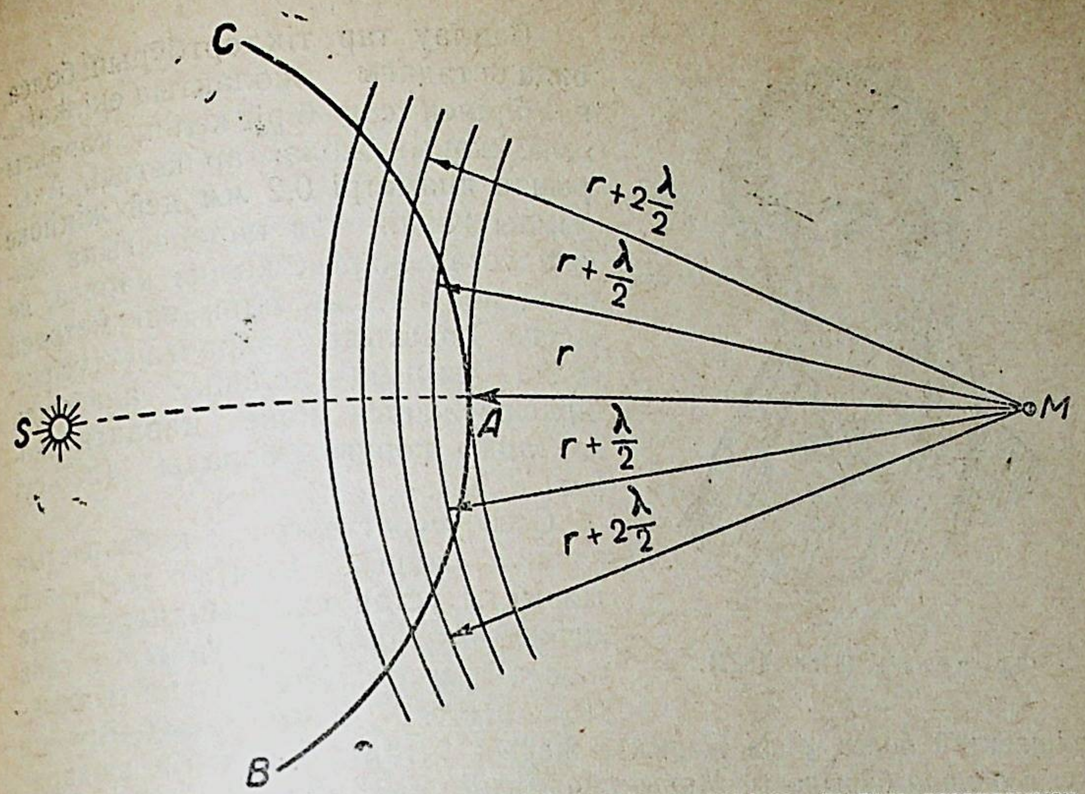
Бұдан *сыну көрсеткіші, толқынның бірінші ортадағы тарау жылдамдығының екінші ортадағы тарау жылдамдығына қатнасы екені көрінеді,* солай екенін тәжрибе де қуаттайды.

Әрқашан екі орталықтың шегінде жылдамдық өзгерсе қозғалыстың бағыты да өзгереді.

210. Жарықтың түзу сызықпен тарауын толқын теориясымен түсіндіру. Нүктелік жарық көзінен сфералық жарық толқынының тарауын жарық құбылысының жарық көзінен түзу сызықпен тарайды деп айтқанға дәл келетіндік мүмкіншілігі қалай екеніне келейік.

Френель. Гюйгенстің принципін және интерференция ережесін қолданып, жарықтың түзу сызықпен тарауына мынадай түсінік берді.

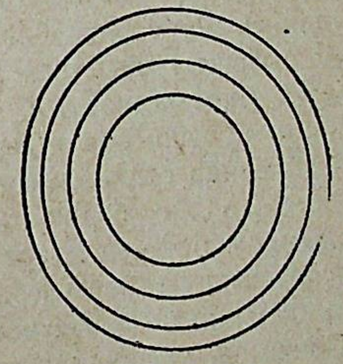
Жарық көзі S тен шыққан жарық толқыны бір моментте BC орнына келсін (272-сурет). Жарық M нүктесіне қалай барады? Нүкте M мен толқын бетінің ең жақын нүктесі A ға дейін қашықтықты r мен белгілейік. Нүкте M мен радиустары r; $r + \frac{\lambda}{2}$; $r + 2\frac{\lambda}{2}$ және т. с. бірқатар беттер жүргізейік; мұндағы λ таралатын бір текті жарықтың толқынының ұзындығы. Бұл сфералар толқын



272-сурет. Бір текті жарықтың түзу сызықпен тарауын толқын теориясымен түсіндіру.

бетінен бір қатар белдеу яки зоналарды кесіп түседі (273-сурет) λ ұзындығы r ге қарағанда өте аз болғандықтан, бұл белдеулердің барлығының аудаңы бірдей, оны ыспаттап көрсетуге болады. Әрбір зона өзінің барлық элементтерімен M нүктесіне толқын жібереді. Бірақ, әр келесі зонаның толқыны, алдыңғыдан жарты толқын ұзындығындай қалып отырады, бұған қарағанда, олар интерференциялап, бірінбірі нашарлата береді, бұл зоналар нүкте A алыстаған сайын нашарлату толығырақ болады.

Интерференцияның болуы себепті барлық нүктелердің M нүктесіне тигізетін жыйынды әсері, бірінші зонаның жартысынан шыққан әсердей болады. λ кіші болғанда мұндай өтө жіңішке шоқты түзу сызық деп санауға болады.



273-сурет.

211. Жарықтың дифракциясы. Нүктелік жарық көзін алалық та, оның алдына жіңішке инемен шаншып тескен мөлдір емес экран қоялық, одан екінші бір ақ экран қоялық. Бұл кейінгі экранға тесіктен өткен жарықтан жарықталған дөңгелек түседі, оны айнала бірінен соң бірі келіп жарық және қараңғы сақыналар тұрады (274-сурет).

Сына тәрізді саңлау алып, оны жарық көзінен 20 метрдей жерге қойып, түсті сәуленің бірімен жарықтаса, онда саңлаудан әрі алыс тұрған экранда түсті жолақтары бар тамаша жарықталған фигура шығады (275-сурет), сонда ондаған жарықтылық сәуленің түзу жолына сәйкес жарықтылықтың геометриялық шегінен (ол шек суретте пунктир сызықпен белгіленген) көп алыстап кетеді.

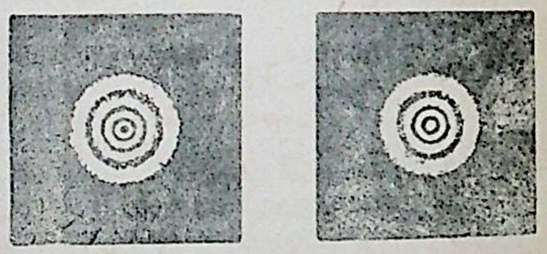


Френель[1]) (1788—1827).

Саңлау тар тік төртбұрыш болса, онда ортадағы жолақтың екі жағына бірінен соң бірі келіп, қараңғы және жарық жолақтар кетеді. Ақырында диаметрі 0,2 *мм* дей жіңішке сымды көздің дәл қарашығына жақын ұстап жарық көзіне қараса, не оның көленкесін одан екі метрдей жерге қойылған экранға түсірсе, сонда сымның көленке алабынан бірнеше жарық және қараңғы жолақтарды көруге болады (276-сурет).

Осы суреттелген құбылыстың барлығы жарық өтетін тесік, яки жарықты ұстап қалатын нәрсе[2]) өте кішкентай болмаған уақытта ғана жарық түзу сызықпен тарайтындықты көрсетеді. Тесік не бөгет өте кішкентай болса, онда жарық — жарық ұстайтын дененің шекарасын *айнала* бұрылады. *Жарықтың мөлдір емес денені айнала сәуле жолының түзу сызығына таюын дифракция*[3]) дейді.

Егерде өте ұзын және өте биік қабырғаның алдында тұрып дыбыс шығарса, онда дыбыс қабырғадан шағылысады да, қабырғаның екінші жағына естілмейді. Дыбысты ұстап қалатын дененің мөлшері дыбыс толқынының ұзындығымен (1 *м* дене 20 *м* ге дейін) мөлшерлес болса, онда дыбыс ол бетті айналып кетеді. Түзу сызықты бағытпен дыбыс сәулесі тіке бармайтын үйдің бір жақ бұрышында тұрып, келесі жағында сөйлеген сөз естілетіндік елдің бәріне мәлім. Толқын су бетімен тарағанда да сол сияқты бөгеулерді айнала бұрылады (277-сурет).



274-сурет. Болымсыз тесік үшін дифракциялық сурет.

Сонымен, дифракция толқын тәрізді қозғалыспен байланысты және толқын тәрізді қозғалысты дәлелдей алады.

---

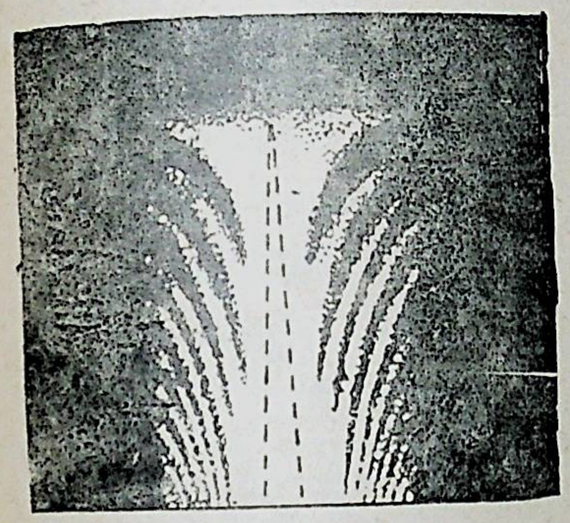
[1]) Френель Огюстен Францияда Брольяда туған. Қатнас жолдарының инженері, 1823 жылдан Француз академиясының мүшесі.

Френель жарықтың толқын теориясын талқылап жасады. Ол теория бойынша жарық көзінен толқын түрінде тарайды. Жарық толқындық процесс деген ұғымның негізімен, Френель жарықтың түзу сызықпен тарау, шағылысу, сыну интерференция, дифракция, поляризация және кристалдарда қосарланып сыну құбылыстарының түсінігін толық жасап шығарды.

[2]) Бұл құбылыс кезкелген денелердің шекарасында болады.

[3]) Жарықтың дифракциясы 1665 ж. табылған. Дифракция құбылысын дым не қырау басқан шыны арқылы, көзді жұмып кірпік арқылы, құстың қауырсыны, немесе мата арқылы фонарға қарағанда көруге болады.

212. Дифракция арқылы жарық толқынының ұзындығын өлшеу. Жарық толқынының ұзындығын жарықтың дифракция құбылысын пайдаланып отырып өлшеуге болады. Ол үшін қолданылатын прибор есебінде аралары біріне-бірі өте жақын етіп бетіне тілгішпен параллель сызықтар жүргізілген шыны пластинка болады. Сызық жүргізілген жері мөлдір емес, ал аралары мөлдір болады. Осы пластинкадан, пластинкаға перпендикуляр етіп, параллель сәулелер, мысалы, қызыл сәуле өткізіп, оларды экранға түзу сызықты сәулемен жасалатын кескіннің орнына тиісті жеріне, түсті ашық *К* жолақ түседі; содан ортадағы жарық жолақтың екі жағына қатар-қатар, жарықтылығы нашарлай беретін, қараңғы аралықтармен бөлінген түсті жолақтар түседі (278-сурет).

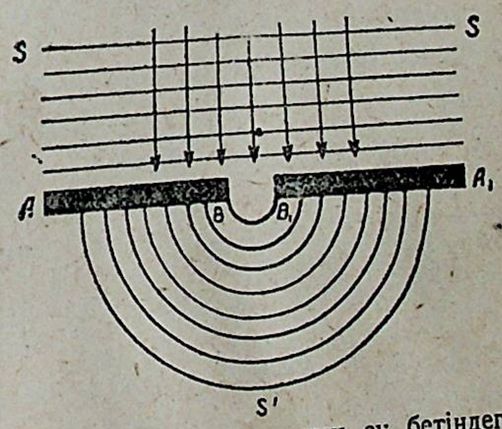


275-сурет. Сына тәрізді саңлаудың дифракция құбылысы.



276-сурет. Жіңішке сымнан дифракция құбылысы.

279-суреттегі *а* сызығы мөлдір аралықтың енін, *b* сызығы мөлдір емес аралықтың енін көрсететін болсын; бұлардың екеуі де миллиметрдің өте кішкене бөлшегімен өлшенеді. Пластинкаға жазық толқын түскен уақытта (үйткені сәулелер параллель) Гюйгенстің принципі бойынша жазық толқынның әрбір нүктесі жаңа толқынның центрі деп алынуына болады. Сондықтан, *В* мен *D* нүктесін жаңа толқындардың центрі деп алуға болады. Бұл толқындардың екеуі де фазалары бірдей болып *ВР* бағытымен



277-сурет. Толқынның су бетіндегі дифракциясы; *SS* — түсетін жазық толқын; BB_1 — тар тесік; *S′* — саңлаудан өткен сфералық толқын.

кетеді; басқа бағыттың қайсысымен болса да фазалары айырылып кететін болады. Сол нүктелерден шығып, BP бағытымен φ бұрыш жасайтын, бағытпен кететін толқындар BR кесіндісіне айрылатындығын суреттен байқауға болады. Егер бұл сызыққа жарты толқын ұзындығы орналасса, онда екі толқын да экранға қарама-қарсы фазада келеді де, бірін-бірі жояды. Ал, сызыққа толық толқынның ұзындығы орналасатын болса, онда екі толқын да бір фазада келеді де, бірін-бірі күшейтіп экранға түсті жолақ түседі.



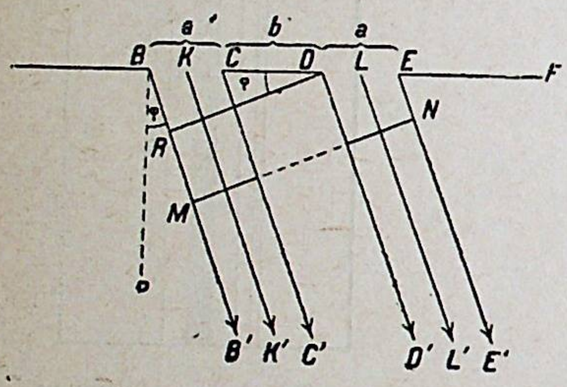
278-сурет Біртекті жарықта решетка арқылы алынған дифракциялық жолақтар.

Толқынның ұзындығын өлшеу үшін, орталықтағы мен бүйірдегі бірінші түсті жолақтың арасын өлшеу және содан бұрышты есептеп шығару жеткілікті болады; $a + b$ сызығының ұзындығы пластинканы жасағанда көрсетіледі. Толқынның өлшенетін ұзындығы бұл жағдайда BR сызығына тең болады.

$\triangle BDR$ ден:

$BR = \lambda = (a+b) \sin \varphi$ шығады.

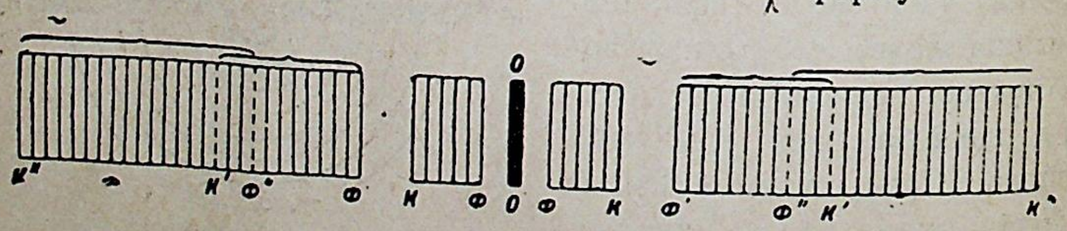
Әрбір спектрдің түсі үшін орта жолақ пен бірінші бүйір жолақтың арасы әртүрлі болады; сондықтан олардың толқынының ұзындығы да әртүрлі болады. Пластинканы ақ жарықпен жарықтағанда, ортасындағы ақ жолақтың екі жағында көп рет қайталап спектрдің барлық түсті жолақтары ішкі күлгіннен сыртқы қызылға шекті жатады.



279-сурет. Дифракциялық жолақтармен толқынның ұзындығын өлшеу.

Штрихтанған шыны пластинканы ақ түсті параллель сәулемен жарықтағандағы бірінен соң бірі үздіксіз келетін түсті жолақтар жыйыны линзаның фокусына жыйналған болса, оны дифракция спектрі дейді (280-сурет).

Спектрдің әрбір тербеліс санын мына $\nu = \frac{c}{\lambda}$ формуламен есептеп шығаруға болады, мұнда c жарықтың бостықтағы жылдамдығы.

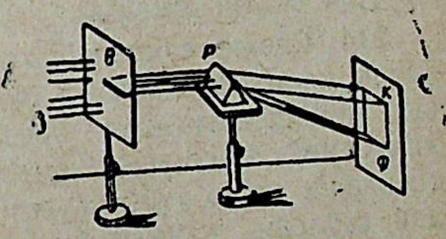


280-сурет. Дифракциялық спектр.

ОҚУШЫЛАРДЫҢ БІЛІМІН ТЕКСЕРУГЕ АРНАЛҒАН СҰРАУЛАР

1. Жарықтың интерференциясы неден байқалады?
2. Жарық құбылысының пайда болуы және тарауы туралы интерференциядан қандай қортынды жасауға болады?
3. Жұқа пластинкадағы жарықтың интерференциясы қалай түсіндіріледі?
4. Жарықтың поляризациясы деп нені айтады?
5. Жарықтың поляризациясы неден байқалады?
6. Поляризацияланған деп қандай сәулені айтады?
7. Жарықтың поляризациясының қандай әдісін білесіңдер?
8. Анализатор деп нені айтады?
9. Жарықтың поляризациясы, жарық толқынының тербелісінің бағыты туралы қандай қортындыға келтіреді?
10. Гюйгенстің принципі неден тұрады және ол қайда қолданылады?
11. Жарықтың түзу сызықпен тарауын толқын теориясымен қалай түсіндіруге болады?
12. Толқын теориясы бойынша жарықтың сыну заңы қалай қортылып шығарылады?
13. Заттың сыну көрсеткіші, жарықтың бостықтағы және заттағы жылдамдығы арқылы қалай жазылады?
14. Жарықтың дифракциясы неден тұрады?
15. Қандай дифракция құбылысын байқағандарың бар?
16. Дифракция арқылы жарық толқынының ұзындығын қалай өлшеуге болады?
17. Дифракция спектрі не?

213. Ақ сәуленің екі ортаның шекарасындағы дисперсиясы. Екі мөлдір ортаның шекарасына ақ сәуле түссе, онда шекараға біртекті түсті сәуле түскендегімен салыстырғанда, екінші ортада жаңа бір құбылыс келіп шығады. Құбылысты анық бақылау үшін қараңғы үйге ақ жарық көзін қоялық (қылы металл электр лампасын, керосин лампасын т. б.); бұл жарық көзін горизонталь тар B саңлауы бар экранмен қоршалық (281-сурет); саңлаудан әрі қабырғасы саңлауға параллель келетін етіп призма P ні қойып тесіктен жарықтың ақ сәулесінің шоғын призмадан өтетін қып түсірсе сонда: 1) тесіктің кескіні призманың кеңейген жағына қарай орын ауыстырады; 2) кескін кеңейеді; 3) кескін аз бұрылған қызылдан бастап, көп бұрылған күлгінге дейін біріне-бірі біртіндеп ауысатын көп түске боялып тұрады; 4) көп түстің және олардың сілемінің арасынан ретімен мына түстер анығырақ бөлініп тұрады; қызыл, қызғылт сары, жасыл, көгілдір, көк, күлгін.



281-сурет. Ақ жарықтың дисперциясы.

Қандай болсын бір затпен ақ сәуленің, оны құрауышы түсті сәулелерге жіктелуін жарықтың дисперсиясы дейді.

Бірінен-бірі ажырап тұрған түсті сәулелердің жыйынын спектр дейді.

Ақ жарықтың сәулесінің составына енетін барлық түсті сәулелер призмадан бір түзу бұрышымен түседі, ал, призмадан түрлише бұрышпен шығады. Бұған қарағанда, *олардың барлығының*

сыну көрсеткіші әртүрлі болады. Ең кіші сыну көрсеткіш — қызылдікі де, ең ірісі — күлгіндікі.

Сыну көрсеткіш жарықтың бостықтағы жылдамдығы мен заттағы жылдамдығының қатнасына $n = \frac{c_0}{c}$ тең болғандықтан және әртүрлі түсті нәрселердің толқынының заттағы тарау жылдамдығы түрліше болатындығы шығады.

Мына таблица әрбір түсті сәулелердің су, шыны және күкіртті көміртегі үшін сындырғыш көрсеткішін береді, мұнда сәуле *A* спектрдің қызыл, *D* — сары, *F* — көгілдір, *H* — күлгін бөліктерінде жатады.

Зат	*A*	*D*	*F*	*H*
Су	1,329	1,333	1,337	1,344
Шыны (крон)	1,510	1,515	1,521	1,531
Күкіртті көмір тегі	1,610	1,629	1,654	1,702

Түсті сәулелер бір бағытпен келе жатқан бетінде, бәрі бірігіп көзге ақ жарық әсерін береді. Призмадан өте берісімен олар әртүрлі бұрышқа бұрылады да, көретін нервілер арқылы мыйда әртүрлі түстің әсерін туғызады. Көз өз бетімен күрделі жарықты оның құранды бөлектеріне жіктей алмайды. Призмадағы әртүрлі сәуленің шашырап шығатын бұрыштық арасы, призманың затының сындырғыштық қасиетіне байланысты болады да, әртүрлі заттан жасалған призмада спектрдің жеке бөліктерінің мөлшері әртүрлі болып шығады.

214. Спектр сәулесінің әрқайсысы — жабайы. Басқа сәулені ұстап қалатын экранның саңлауынан түсті сәуленің біреуінің шоғын өткізіп оны екінші призмадан өткенде басқа түсті сәулелерге жіктелмей, призманың негізіне қарай бұрылады. Осыны тірек қып, спектрдің әрбір түсті сәулелері жабайы сәуле деп саналады, мұндай сәуленің жарығы біртекті не монохроматикалық жарық делінеді.

215. Ақ жарықтың синтезі. Призмадан шығатын түсті сәулелердің жолына (§ 213) жыйнағыш үлкен линза (282-сурет) не жасаушысын саңлауына параллель келетін қып цилиндр[1]) шыны қойса, сонда шыны барлық түсті сәулені экранның бір жеріне жыйнайды; сол жерде қайтадан ақ жолақ шығады.

Бұған қарағанда, *барлық спектрлік түсті қосқанда да жарық пайда болады.*

Барлық спектрлік түсті сәулелерді қосу арқылы ақ жарықтың шығуын жарықтың синтезі дейді.

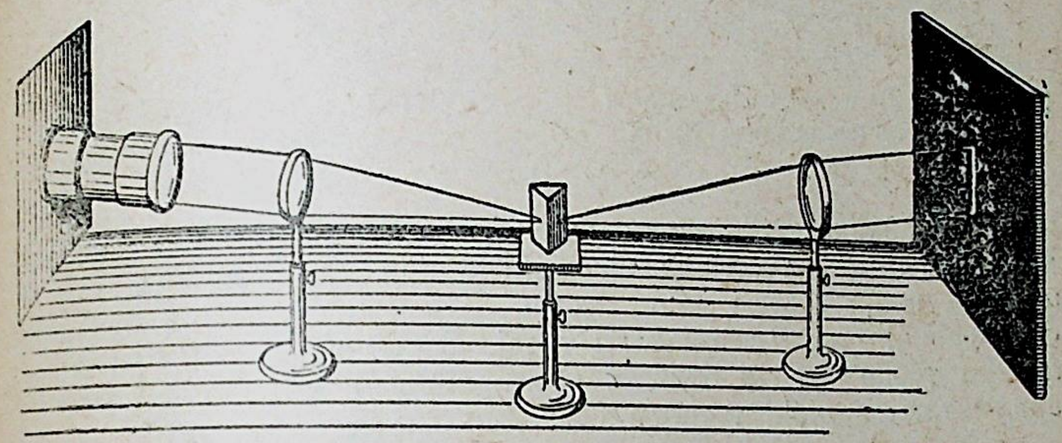
Экранда объективтік қосудан басқа түстердің әсерлерін көз ар-

[1] Екі беті цилиндр беттер түрінде тегістеліп өңделген шыныны цилиндр шыны дейді.

қылы қосумен де ақ жарықтың синтезін жасауға болады. Түстердің қатары дұрыс жалғастырылып, секторлары сәйкес спектрлік түстерге боялған дөңгелек аламыз да, соны жылдам айналдырған кезде түстер қосылып ақ жарық сезімі шығады (283-сурет).

Ақ жарықтың сәулесін түсті сәулелерге жіктеуді, спектрлік түсті сәулелерді қосып, ақ сәуле алуды алғаш жасаған 1666—1667 жылдары Ньютон болатын.

216. Толықтырғыш түстер. Осының алдындағы ақ сәуле синтезіне жасалған тәжрибеде (282-сурет) қызыл сәулелердің шоғын тілдей қағаз бен қалқалап тұралық, сонда экраннан ақ жолақтың



282-сурет. Ақ жарықтың синтезі.

орнына көгілдір-жасыл жолақ көреміз.

Қалқалап тұрған қағазды алсақ, қайтадан ақ жарық шығады. Сонымен, қызыл және көгілдір-жасыл сәуле біріккенде ақ жарық шығады.

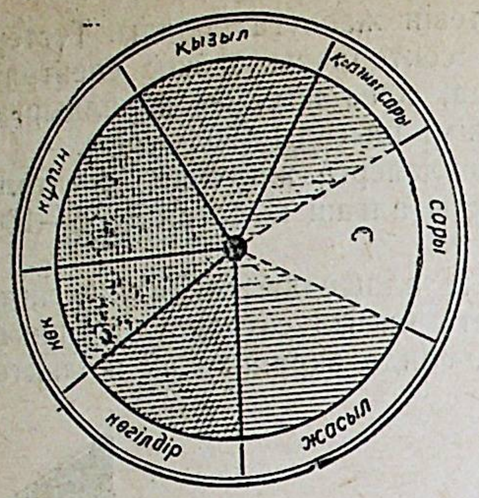
Қосқанда ақ жарық беретін екі түс, толықтырғыш түстер делінеді.

Әрбір спектрлік түстерді бірін қалқалап отырып, жаңағыдай экранға оның толықтырғыш түсін түсіруге болады. Тәжрибенің нәтижесі диаграммада келтірілген (284-сурет). Онда толықтырғыш түстер бір диаметрдің ұшына орналасқан.

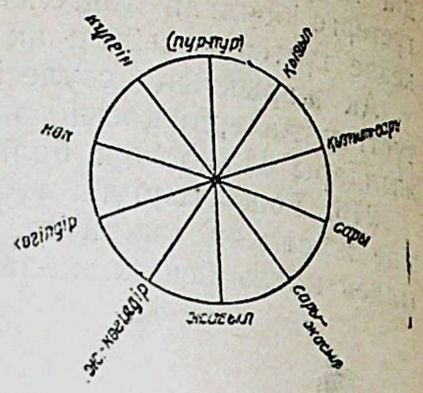
217. Спектрлік түстерді құрау. Қызыл мен жасыл түстерді қосу арқылы (қосқанда қызылдың шамасын азайтып, жасылдың шамасын көбейте беріп) осылардың аралығындағы, мысалы сарғылт қызыл, сары, жасыл т. с. с. түстердің барлығын шығарып алуға болатындығын тәжрибе көрсетеді.

Осылайша жасыл және күлгін түстерді түрлі есемен қосып, олардың аралығындағы көгілдір жасыл, көгілдір көк түстердің барлығын шығарып алуға болады.

Бұл айтылғандарға мына тәжрибе арқылы оңай көз жеткізуге болады. Дөңгелектің бір секторын бір түске, мысалы, қызыл түске, қалғанын екінші түске, мысалы жасыл түске бояп, дөңгелекті оське (центрден тепкіш машинаның осіне) орнатып, жылдам айналдыру керек. Бояған бояулар бір текті жақсы болса, бұл



283-сурет. Дөңгелекті айналдырған кездегі түстердің субъективтік қосылуы.



284-сурет. Толықтырғыш түстердің диаграммасы.

жылдам айналып тұрған түрліше боялған дөңгелекке қараған көз, аралықтағы түстердің біреуінің әсерін алады. Жылдам айналдырғанда, көздегі бір түстің сезімі бітіп жоғалғанша оған екінші түстің сезімі тағы тиеді. Сонымен, көзге түстер араласқан түрде түсетін болады. Секторлардың мөлшерін өзгертіп, аралықтағы әртүрлі түстерді шығарып алуға болады.

25-жаттығу.

1. Ақ сәулені жіктейтін тәжрибеде неге тар саңлау алынады?
2. Нәрселерге саңлаусыз призманың өзі арқылы қарағанда неге барлық спектор көрінбей, нәрсенің айналасында ғана кемпір қосақ жиегі көрінеді?
3. Бір жартысы қызылға, екіншісі көгілдір жасыл түске боялған дөңгелекті жылдам айналдырса қандай түс шығады?
4. Дөңгелектің екі жартысын толықтырғыш түстермен бояп айналдырса қандай түс шығады? (Бұл тәжрибені жасап көру керек).
5. Дөңгелектің бір бөлігі жасыл, екіншісі күлгін түске боялған; бөліктерінің мөлшерін өзгертуге болады. Соны жылдам айналдырғанда қандай түстер шығады? (Тәжрибені жасап көру керек).

ОҚУШЫЛАРДЫҢ БІЛІМІН ТЕКСЕРУГЕ АРНАЛҒАН СҰРАУЛАР

1. Ақ жарықтың диспериясы деп нені айтады?
2. Ақ жарықтың түстерге жіктелуі неден болады?
3. Ақ жарық неден тұрады?
4. Спектр деген не?
5. Ақ жарықты түстерге қалай жіктеуге болады?
6. Жарықты жіктегенде призма неге керек?
7. Призма саңлауға қарағанда қалай қойылуы керек?
8. Спектрдегі түстердің реті қандай?
9. Сәуленің сыну көрсеткіші бір шетінен екінші шетіне қарай қалай өзгереді?
10. Ақ жарықтың синтезі деп нені айтады?
11. Ақ жарықтың синтезін қалай жүргізуге болады?
12. Қандай түстер толықтырғыш түстер делінеді?
13. Толықтырғыш түстердің қосарын қалай табуға болады?
14. Барлық спектрлік түстерді қанша түстен құрап шығаруға болады?
15. Екі түстен әртүрлі аралық түстерді қалай шығаруға болады?

218. Қызған заттардан шығатын көрінбейтін сәулелер. 1800 жылы ағылшын физигі Гершель спектрдің түсті сәулелерінің қыздыруын термометрмен зерттеп отырып, қыздыру көрінетін спектрдің шегінен асып, спектрдің қызыл жағынан да әрі болатынын ашқан. Бұл қыздыру, сәуленің спектрінде көз, сезбейтін, көрінбейтін, бірақ көрінетін сәулелер сияқты энергиясы бар сәулелерді ашты. Орны қызыл сәуледен әрі болғандықтан олар инфрақызыл сәуле деп аталады.

Осы уақытта инфрақызыл сәулелер электр термометрлері (пирометр) арқылы зерттеледі. Инфрақызыл сәуле шығаратын алаптың зерттелген жерінің толқындарының ұзындығы 770 миллимикроннан[1]) 342 000 миллимикронға (0,3 *мм*) шекті болады. Бұл толқындардың тербеліс саны секундына $390 \cdot 10^{12}$ мен $0{,}9 \cdot 10^{12}$ нің арасында жатады.

Тәжрибеде спектрді платино синеродистік баримен сылаған экранға түсірсек, онда бұл тұз көк-күлгін сәулелердің әсерінен жасыл түсті жарық шығара бастайды. Бұл жарық беру көрінетін шекті күлгін сәулемен тоқтатылмай, одан көп әрі де жарық шыға береді.

Тағы сондай спектрді суретке басқанда, фотография пластинкасы, көрінетін күлгін[2]) сәуленің біткен жерінен де көп әрі өзгеріске ұшырайды. Бұл тәжрибелер, ақ жарықтың көзі тағы да күлгін сәулелердікінен ұзындығы қысқа толқындар шығаратындығын көрсетеді.

Көрінетін спектрдің күлгін шетінен әрі жатқан сәулелерді 1801 жылы Ритер ашқан. Ол сәулелер ультракүлгін сәулелер делінеді.

Толқынының ұзындықтарының және тербеліс сандардың таблицасы.

Спектор облысы	Толқын ұзындығы миллимикронмен	Бір секундтағы тербеліс саны
	342 000	$0{,}9 \cdot 10^{12}$
Инфрақызыл бөлігінің шегі	770	$390 \cdot 10^{12}$
Қызыл бөлігінің шегі	759	$395 \cdot 10^{12}$
Қызыл бөліктегі A[3]) сызығы	656	$457 \cdot 10^{12}$
Қызыл сары „ C „	589	$509 \cdot 10^{12}$
Сары „ D „	527	$570 \cdot 10^{12}$
Жасыл „ E „	486	$617 \cdot 10^{12}$
Көгілдір „ F „	431	$697 \cdot 10^{12}$
Көк „ G „	397	$756 \cdot 10^{12}$
Күлгін „ H „	393	$763\ 10^{12}$
Күлгін бөлігінің шеті	10	$30\,000.10^{12}$
Ультракүлгін бөлігінің шегі		

[1]) Микрон (μ) = 0,001 *мм*; миллимикрон ($m\mu$) = 0,001 μ.

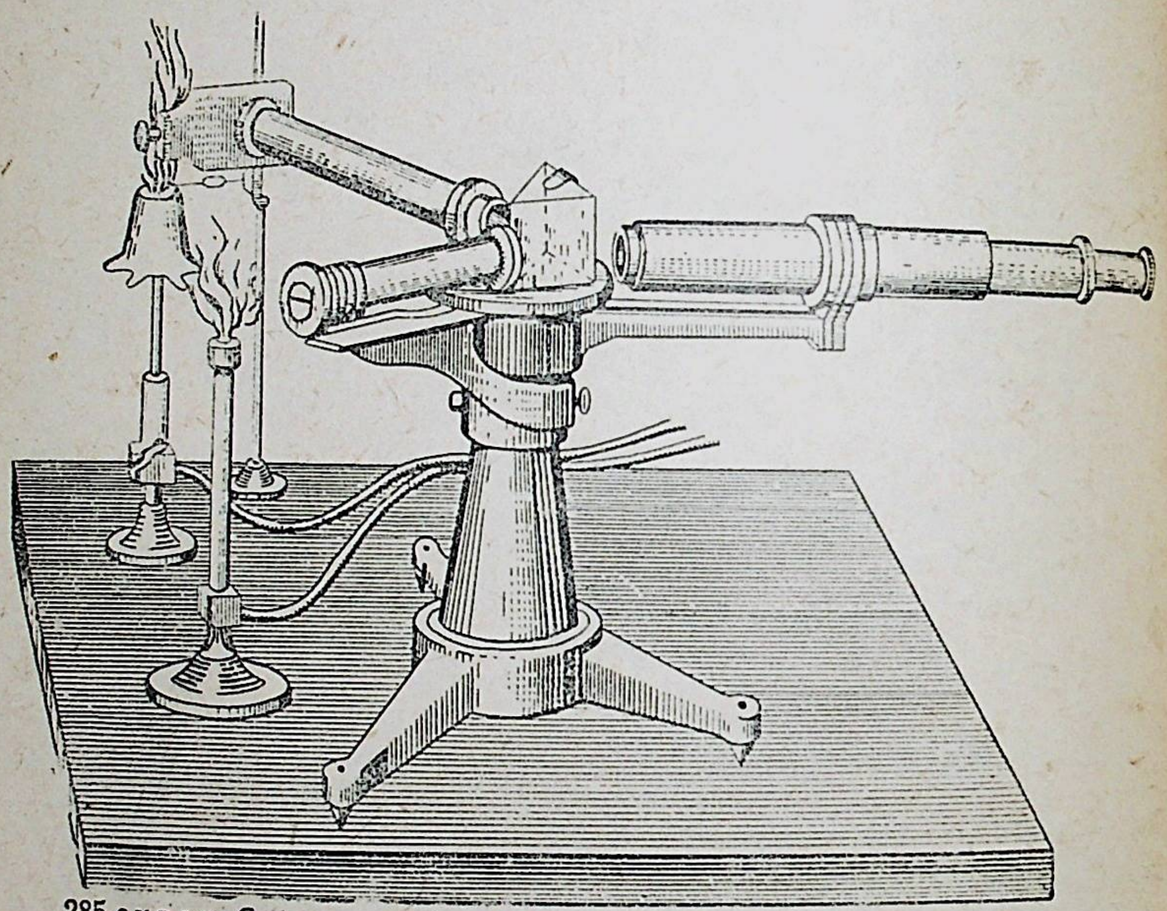
[2]) Бұл тәжрибе үшін кварцтан жасалған призма және линза (§ 223) алу керек не дифракциялық спектр алу керек.

[3]) *A*, *B*... әріптерімен нақтылы спектр сызықтары белгіленеді. Ол сызықтардың орындары 218-§ та анықталады.

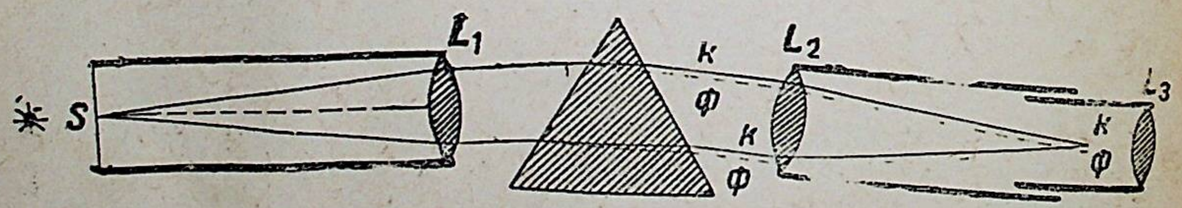
Осы уақытта фотографиялау арқылы, ультракүлгін сәулелер толқынының ұзындығы 393 миллимикронға шекті күлгін сәуледен бастап, ұзындығы 5 миллимикрон толқынға шекті зерттелген. Олардың тербеліс саны секундына $763 \cdot 10^{12}$ мен секундына $60\,000 \cdot 10^{12}$ арасында жатады.

Зерттелген тербелістердің аймағы бұл көрсетілген шектермен бітпейді. Тербелістің басқа түрлері осы күнге дейін қарастырылған әдістерден басқа әдістермен қоздырылады.

219. Шығару спектрлерінің типтері. Вольта доғасынан, не электр лампасынан шығарып алғандай, спектрді қызған дененің қайсысынан болса да шығарып алуға болады. Спектрді зерттеу спектроскоп делінетін прибор арқылы істеледі.



285-сурет. Спектроскоп (сыртқы көрінісі). Сол жақтағы жақын труба шкаланы проекциялау үшін қолданылады.



286-сурет. Спектроскоп (сәулелердің жолы).

Спектроскоптың сыртқы түрі 285-суретте көрсетілген; ондағы сәуленің жолы 286-суреттен көрінеді.

Спектроскоптың негізгі бөліктері — линзалары бар екі труба және призма. Бірінші трубада линза L_1 бар, оның ұлы фокусында саңлау S тұрады.

Зерттелінетін жарық көзімен жарықталған саңлау S линза L_1 ге шашыранды сәуле шоғын жібереді, ол сәулені линза параллель сәуле шоғына айналдырады. Бұл параллель сәулелер призмада сынады да, түсті сәулелер шоғына ажырайды. Барлық қызыл сәуле өзді-өзіне паралелль шығады, барлық жасыл сәуле біріне параллель шығады т. с. с. біртекті сәулелер параллель шоқ пен кетеді.

Призмадан шыққан түсті сәулелер трубаның L_2 линзасына келеді.

Дөңес линза L_2 түсті сәулелердің әрбір параллель шоғын бір жолақ қып, ұлы фокусы арқылы өтетін жазықтыққа жыйнайды, сол жерге шамасы кіші нақтылы спектр түседі. Бұл спектр сол трубаға орнатылған линза L_3 арқылы қаралады. Линза L_3 ді, спектр оның ұлы фокусына жақын жататын етіп орнатады; онда көз спектрдың үлкейген жорымал кескінін көреді. 285-суреттегі қосымша труба шкаланы проекциялауға пайдаланылады.

Жарқырауық денеден шыққан спектр шығару спектрі делінеді. Зерттеу шығару спектрінің мынадай типтерін тағайындайды:

1. Тұтас спектр бірінен соң бірі үздіксіз келетін барлық түсті сәулелерден тұрады.

Тұтас спектр қызған қатты және сұйық[1]) денелерден шығады; қызған не ертілген металдардан, көмірден осы сияқты спектр шығады.

Тұтас спектр, қызған қатты және сұйық денелердің барлығы үшін бірдей болады, олардың химиялық составына байланысты емес.

2. Сызықты спектр, қара аралықтармен бөлінген жеке түсті сызықтардан тұрады.

Сызықты спектрлер, нормал қалыпта қысымы көп артық емес қызған газдардан және булардан шығады.

Элементтің көбінің буын қыздыру үшін, олардың тұзының ұнтағын газ не спирт шамының жалынына қойса, жеткілікті болғаны. Жалынның температурасында тұз ажырайды, металл буланады, оның буы қызады да, шамның жалынының тұтас спектрінің көмескі фонында сызықты спектр береді. Өте жоғары температурада ажыратылатын заттардың қызған буын, олардың вольт доғасының көміріне қойып шығарып алуға болады.

Гейслер трубкасы деп аталатын аз қысымды газ толтырылған трубкалардан электр разряды өткенде газ жарқылдайды.

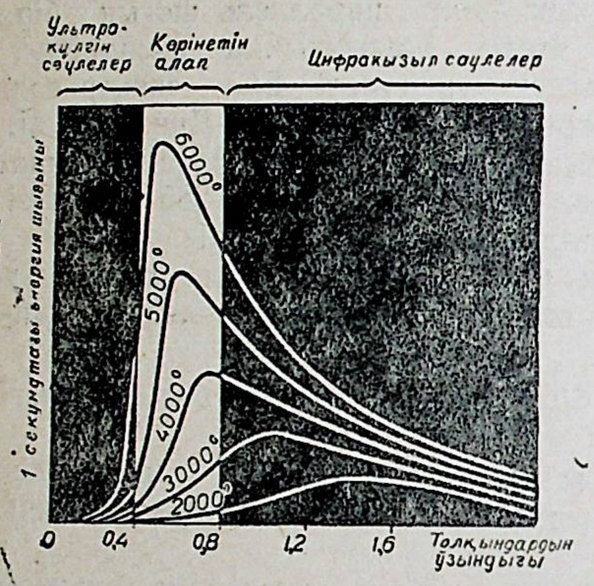
Әрбір химиялық элементтің қызған бу қалпында тұрғанда өзінің меншікті, жалғыз соның өзіне ғана тән сызықты спектрі болады.

[1]) Газдың, шамның немесе лампаның жалыннан шығатын жалпақ спектр жалынында жүретін көмірдің қызған бөлшектерінен (күйеден) шығады.

Әртүрлі элементтің сызықты спектірі бірінен-бірі спектрдің көрінетін, көрінбейтін жерлерінде өз сәулелерінің түсімен (орнымен), санымен, күшімен айрылады.

Сызық саны бірден бірнеше жүзге шекті (темірдің буы) өзгереді.

220. Сәулеленудің температураға байланысы. Сәулеленудің температураға байланысын тағайындау үшін спектрдің әр жеріндегі сәуле энергиясы болометрдің (§ 63, 68) қарайтылған металл лентасына сіңіріледі де, онда жылуға айналады. Лентаның қалыңдығы 0,01 *мм* болғандықтан оны спектрдің әр жеріне қырнан қойып, толқынының ұзындығы үздіксіз өзгере беретін тербелістердің келтіретін энергиясын бірте-бірте өлшеуге болады.



287-сурет. Абсолют қара түсті дененің спектрлерінде энергияның таралуы.

Өлшеудің нәтижесін график түрінде кескіндеуге болады. 287-суретте абсцисса толқын ұзындығына пропорционал болады. Ордината әрбір толқын ұзындығына сәйкес сәулелер келтіретін энергияның шамасына пропорционал болады.

Суретте келтірілгендер абсолют қара дененің сәулеленуіне жатады.

Абсолют қара дене деп оған сырттан келіп түскен сәуле энергиясының бәрін сіңіріп алатын денені айтады.

Тәжрибе жүзінде, абсолют қара денені, ішкі бетінің барлығы қарайтылған, тесігі бар, қатты, қуыс дене етіп жасап шығаруға болады. Кішкене тесіктен енген сәуле энергиясы бірнеше қайта шағылысады, әр шағылысқан сайын қара зат энергияның едәуір бөлігін сіңіреді. Сондықтан айтарлықтай сәуле энергиясы сыртқа шықпайды (абсолют қара денеге мысал: көздің сетчаткалы қабығы, тесік — қарашық).

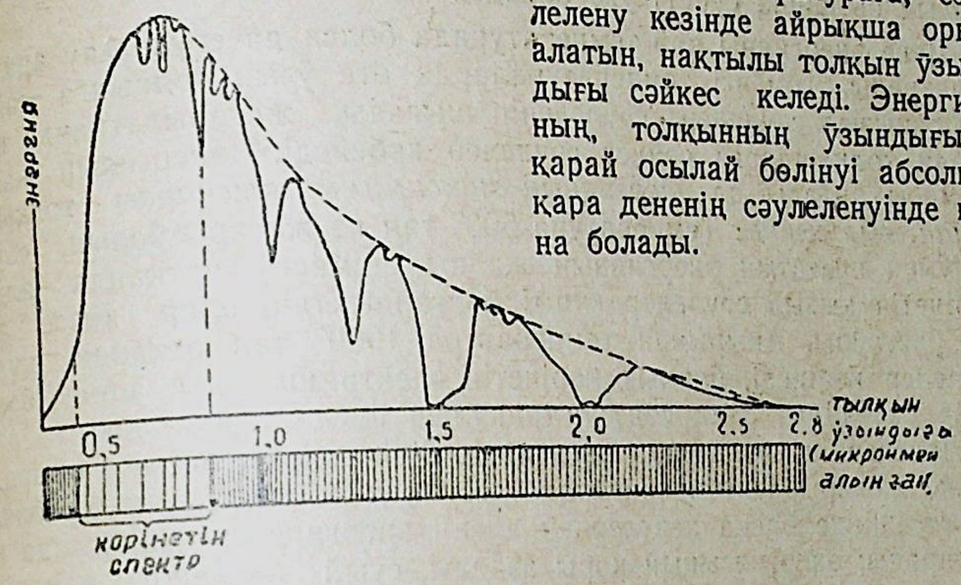
Абсолют қара денені, асбестен ұзынша цилиндр түрінде, негізіне кішкентай тесік жасап дайындап, сым орап электр тогы арқылы әртүрлі температураға дейін қыздыруға болады. Әртүрлі температураға шекті қыздырылған абсолют қара денелердің спектрінде энергияның таралып жатуын зерттеу 287-суретте келтірілген нәтижеге әкелді.

Суретте температурасы әртүрлі сәуле көзіне сәйкес бес қыйсық сызық көрсетілген. Қыйсық сызықты тексеріп қарағанда мынау шығады: 1) дененің сәулеленуінен шығатын энергияның жалпы шамасы[1]) температура жоғарылаған сайын артады; 2) ұзындығы

[1]) Ол энергияның шамасы қыйсық сызық, абсцисса осі және шеткі ордината қоршап тұрған ауданға пропорционал болады.

әртүрлі толқындар шамасы әртүрлі энергия тасыйды; 3) әрбір жеке толқын әкелетін энергияның максимумы температура жоғарылаған сайын ең қысқа толқындар бар жаққа жылжыйды; 4) жердегі жарық көзінің барлығы үшін энергияның максимумы инфрақызыл сәулеге келеді. Жоғарғы температурада тұрған жарық көзінің ғана — 4000° тағы вольт доғасының — қызыл жарыққа сәйкес максимум энергиясы болады[1].

Әрбір температураға, сәулелену кезінде айрықша орын алатын, нақтылы толқын ұзындығы сәйкес келеді. Энергияның, толқынның ұзындығына қарай осылай бөлінуі абсолют қара дененің сәулеленуінде ғана болады.



288-сурет. Күн спектрінде энергияның таралуы.

Абсолют қара емес денелердің сәулеленуіндегі график бұл айтылғаннан өзгешелеу болады, бірақ, жалпы алғанда сыйпаты сол сыяқты.

288-суреттегі қыйсық сызық күн спектріндегі энергияның бөлінуін көрсетеді. Суретте мыналар көрінеді: 1) энергияның ең көбі сары сәуледе болады; 2) энергияның шамасы сары сәуледен инфрақызыл сәулеге қарай жай төмендейді де, күлгін сәулеге қарай тез төмен түседі; 3) көрінбейтін сәулеге сәйкес энергияның жалпы мөлшері әжептәуір; 4) қыйсық сызықтың сәуленің көрінетін және көрінбейтін жерлерінде төмендеуі сіңіру сызығына кететіні (§ 225).

Жердің атмосферасының шегінде Күннің сәулесіне перпендикуляр қойылған 1 см² ауданға күннен 1 минутта келіп түратын энергияның шамасын күн тұрақтысы дейді, ол 1,94 кал. тең болады.

Атмосфераның күйіне қарай, жердің бетіне бұл шаманың жартысындайы жетеді.

[1]) Бұған жатпайтын 1915 жылы Луммер жасаған 20 атмосферадай қысымда тұратын вольт доғасы; оның температурасы 7500°, оның спектрінде максимум көгілдір сәулеге дәл келеді. Тағы осы сыяқты оған жатпайтын ілездегі өте күшті электр ағыны 28000° температураға жеткізе қыздыратын вольфрам болады. Бұл жарық көздері әлі техникада пайдаланылған жоқ.

Сары сәулелердегі күн энергиясының максимумын тауып алып, күннің фотосферасының бетіндегі температураны есептеп шығаруға (мөлшермен) болады. Есептегенде абсолют шкала бойынша 6000° шығады.

221. Температураға қарап сәулеленудің өзгеруі. Түрлі температура жағдайында спектрде энергиясының таралуы туралы істелген зерттеулерді негізге алып денелердің сәулеленудегі энергиясын былайша суреттеуге болады.

Дене энергияны қай температурада болса да сәулелену арқылы шығарады. Төменгі температураларда өте ұзын толқынға сәйкес инфрақызыл сәулелер сәулеленіп шығады, жоғарылатқанда қысқарақ толқындарға сәйкес сәулелер көбейеді: энергияның жалпы шамасы артады да *энергияның максимумы қысқарақ толқынға таман жылжыйды.* Температура 500° тан аз жоғары болып, сәулеленумен шығатын энергияның жалпы шамасы артқанда алғаш көрінетін қызыл сәулелер күшті болғандықтан, олар көзге әсер ете бастайды. Ақырында температура 1000° тан асқанда күлгін сәулелер көрінеді, барлық көрінетін спектр шығады, аппақ болып қыза бастайды, одан соң ультракүлгін сәуле байқалады.

Денелердің сәулелену энергиясы біріне-бірі ауысып отырады. Бірақ, жоғарырақ температурада тұрған дене энергияны бір өлшем уақыт ішінде басқа денелерден алған энергиясына қарағанда көп шығарады: энергиясының қоры азаяды, суый бастайды; төменірек температурада тұрған дене шығарғанына қарағанда сәулені көп сіңіреді де қызады.

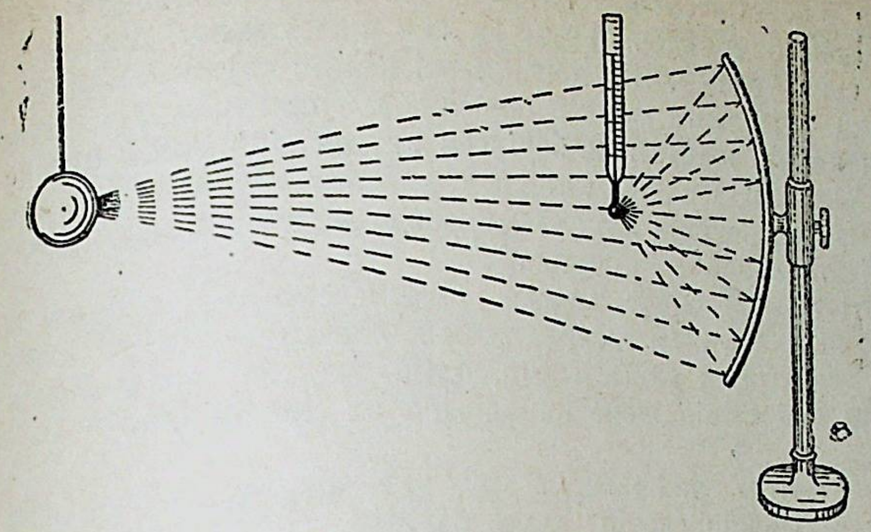
Жоғарыда тексерілгеннен ж а р ы қ энергиясы, жарық беріп тұрған дене шығаратын с ә у л е энергиясының азғана ғана бөлегі екені көрінеді.

Жалпы алғанда, жарықтың көз көретін ең ірі сәулеленуі (40 процентке дейін) 6700° абсолют температурада болады. Бұдан температураны жоғарылатқанда ультракүлгін сәуленің күші көп артады, ал, жалпы шығарған сәулемен салыстырғанда жарық сәулелену үлесі қайта төмендей бастайды.

222. Көрінбейтін сәулеленудің орталарда тарауы. Көрінбейтін сәуленің қалыпты, яки призмалық спектрде табылғандығына қарағанда, көрінбейтін сәулеленудің толқындары жарықтыкіндей тарайтындығы көрінеді, яки бір текті ортада түзу сызықтың бойымен тарайды; шамасы олардың толқынының ұзындығына жақын бөгетке не тесікке кездескенде, олар дифракцияланады, мұнымен қатар толқындар интерференцияланады; әртекті ортаның шекарасын толқындар сынып өтеді.

Көрінбейтін сәулелердің шағылысуын П и к т е айнасымен жақсы табуға болады (289-сурет). Ойыс металл айнаның алдына инфрақызыл сәуле шығаратын қызған дене қойылады. Айнаның түйіндес фокусына пироксилиндік мақта, не термометр қойса, сонда мақта лап ете түседі, термометр температураның жоғарыланғанын көрсетеді.

Айнаның фокусына қойылған дененің қызуы көрінбейтін сәу-



289-с у р е т. Көрінбейтін сәулелердің шағылысуы.

лелер айнадан шағылысып оның фокусына жыйналғанын көрсетеді, сол сәуле жыйналған жерде температура көтеріледі.

Тәжрибеден алынып келтірілген барлық мәліметтер жыйынына ережені тағайындайды: температуралық сәулеленудегі көрінбейтін сәулелер, көрінетін сәулелердің таралу заңына және екі ортаның шекарасынан өту заңдарына бағынады.

223. Дененің мөлдірлігі. Дененің бетіне түсетін сәуленің қандай түрі болса да, жалпы жағдайда жарым жартылап дененің ішіне енеді. Егер бет жақсы тегістелген болса, онда бет а й н а д а й делінеді. Егер бет бұдыр болса және ол өзіне түскен ақ жарықтың барлық түсті сәулесін бір қатнаста бытыратын болса, онда мұндай бет ақ делінеді.

Егер бет оған түскен ақ сәуленің әртүрлі түсті сәулелерінің бір бөлігін ғана шағылыстыратын болса, ал, басқасын дененің ішіне өткізетін болса, онда беттің түсті, бояулы болғаны. Беттің түсі, оған түскен ақ сәуленің составына енетін барлық сәуленің жыйынынан шағылысатын түсті сәулелердің қоспасының түсіне дәлме-дәл келеді. Мұндайлар гүлдердің, жәндіктердің, органикалық емес жаратылыс денелерінің түстері болады. Боялған материалдардың түсі және әртүрлі басқа мөлдір емес нәрселердің түсі осыған байланысты.

Бірнеше ғана толқын ұзындығын шағылыстыратын дененің түсі оның қандай жарықпен жарықталатынына байланысты болатынын ескерту керек. Қызыл шұғаның қыйығы, спектрдің қызыл жерінде ашық қызыл түсті, сары жерінде күңгірт, спектрдің басқа жерінде қара болып көрінеді.

Түскен сәуленің барлығын сіңіріп қоятын дене а б с о л ю т қ а р а дене делінеді. Оған бәрінен күйе жақын келеді. Түскен сәулені өзінен өткізетін денелер м ө л д і р делінеді. Біз мөлдірліктің кәдімгі ұғымына көп шек қоюымыз керек. Жайшылықта мөлдір деп жарық

19–481 Соколов III б.

сәулесін өткізетін денелерді айтады. Жалпы алғанда біржолата мөлдір дене болмайды. Мөлдірлік нақтылы толқындар үшін ғана болады. Бір дененің өзі кейбір сәулеге мөлдір болады да, басқа сәулелерге мөлдір болмайды. Толқынының ұзындығы өзгерумен қабат, жарықтың берілген заттан сіңірілмей өту не өтпеу қасиеті өзгереді. Нақтылы толқын ұзындығы үшін абсолют мөлдірлік болмайды, дененің қандайы болсада не көп, не аз дәрежеде өзінен өткізетін сәулелерді сіңіреді.

Күшті қызған сәуле көзінен келетін сәуленің жолына әртүрлі затты қойып, шыққан дифракциялық спектрді зерттеп және оны нормал спектрмен салыстырып, алынған дене ұзындығы қандай толқынды сіңіретінін және қандайына ол мөлдір екенін байқауға болады.

Осы сияқты тәжрибелер су, мұз, ашудас, шыны көрінетін сәулелерге мөлдір екенін және барлық көрінбейтін сәулелерге мөлдір емес екенін көрсетеді.

Қаратікен тұз, күкіртті көміртегі, озон жарық және инфрақызыл сәулелерге мөлдір болады; бірақ, бұлар ультракүлгін сәулеге мөлдір емес. Кварц ультракүлгін сәулеге де мөлдір болады.

Күкіртті көміртегіндегі иодтың ертіндісі және эбонит абсолют инфрақызыл сәулені өткізеді де, қалған сәулелерге мөлдір болмайды.

Призмалық спектрде көрінбейтін сәулені шығарып алу үшін осылар бойынша шыны емес призмалар қойылуы керек. Ультракүлгін сәуле шығарып алынатын электр лампасының (сынапты) қалпағы кварцтан жасалу керек.

Толқындарының ұзындықтары әртүрлі көрінетін сәулелер үшін де заттардың мөлдірлігі түрліше болады. Осы қасиетке өтіп жатқан жарықта қаралатын нәрсенің түсі, мысалы, мөлдір сұйық делінетіндердің түсі, шынының әртүрлі сортының түсі, кристалдардың түсі т. с. с. байланысты болады.

Саңлаудан призмаға келетін сәуленің жолына жақсы қызыл шыны қойса, онда экранға спектрден жалғыз ғана қызыл жолақ қалады да, қалғандарының барлығы жоғалады.

Жасыл шыны қойғанда, орталықтағы түсті жолақтар — сары, жасыл, көгілдір-жасыл жолақтар қалады. Күлгін түсті шыны қойғанда, күлгін мен қызылдың жіңішке жолағынан басқасының бәрі жоғалады.

Сұйықтардың түсін зерттеу үшін, оларды қабырғасы параллель тар сауытқа құяды да, ақ сәуленің жолына қояды.

Тотыяйын ертендісі (көк) спектрдің көк шетін өткізеді, жарықты сіңіру бір біткей болады. Хлорлы мыстың ертіндісі (жасыл) спектрдің орта жерін өткізеді; сіңіру екі жақты болады. Хлорофилдің ертіндісі қызыл мен қызғылт сары жолақтың түйіскен жерін, қызғылт сары мен сарғыштың шектелген жерін, сарының бітісі және жасылдың басталатын жерінен, жеке сәуле шоқтарын жолақтап сіңіреді; көк-күлгін бөлігінің барлығын нашарлатады.

Тәжрибелерден қортынды: *түсті мөлдір денелер, оған түскен ақ жарықтың бір бөлшегін сіңіреді де, басқасын өткізеді. Олардың түсі олар өткізген түсті сәулелердің қоспасына дәлме-дәл келеді.*

Ақ жарық денеден өткен соң, қара жолақтарымен шыққан спектрлер, сіңіру спектрі делінеді.

Қалың емес ауа, су, мұз, шыны, күкіртті эфир тағы көп басқа мөлдір заттар түссіз болады. Бірақ, ол заттардың қалың қабаты тандап сіңіреді де түсті болып шығады. Үйдей мұздың, не судың көгілдірлеу түсін еске түсіріңіз. Қалың күйінде мөлдір емес дененің өте жұқа қабаты кейбір толқын ұзындығына мөлдір болады. Осылайша ең аяғы металдың тіпті жұқа жапырағы кейбір толқын ұзындығын, оның ішінде жарық толқынын өткізеді. Мысалы, алтынның жұқа жапырағынан жасыл түсті сәуле өтіп кетеді.

Жарыққа мөлдір дене, ішіне сыну көрсеткіші басқаша заттардың бөлшектері қалықтап жүргенде, өзінің мөлдірлігін кемітеді. Үйткені, онда олардың шегінде өте көп шағылысу болады да, жарықтың сәулесі заттан өтпей қалуы мүмкін. Ауа ішінде судың бұы көбейгенде, не тозаң көп болғанда осындай мөлдірлігін кемітеді. Соғыста әскердің қозғалысын, кеменің не артиллерияның тұрған жерін жаудан жасыру үшін ауаның мөлдірлігін әдейі кемітіп «түтін шымылдық» делінетінді жасайды.

Бұл туралы Внуковтың «Физика және отан қорғау» деген кітабының 2-бөлімі, 48-§ ын оқу керек.

224. Бояуларды араластыру. Жоғарыда тексергендеріміз, бояуларды араластыру үшін физикалық негіз бола алады, оның техникада өте ірі маңызы бар. Бояуды араластыру, спектрлік түстерді араластырудан өзгеше болады, өтетін жарыққа екі не бірнеше бояулардың қоспасының түсін табу үшін бұрынғыша оның әрқайсысын зерттеу керек. Сары бояу қызғылт-сары, сары, жасыл сәулелерді, көк бояу жасыл көгілдір, көк сәулелерді өткізетін болса, онда осы екі заттың қоспасы арқылы бөгетсіз жасыл сәуле ғана өтеді, қалғандарын ол, не бұл дене ұстап қалады. Қоспаның түсі жасыл болып шығады.

Жалпы алғанда, *әртүрлі бояудың қоспасының түсі, қоспаға енген барлық бояулар бірдей өткізетін түсті сәулелерден құралады.*

Боялатын заттан шағылысатын жағдайда да қоспаның түсі осылай табылады. Үйткені шағылысқанда сәулені сіңіру геометриялық бетте емес, ішінде тандап сіңіру яғни сәуленің жеке түрлерін сіңіру болатын беттің өте жұқа қабатының шетінде ғана болады.

26-жаттығу.

1. 213-§ тағы біріктіріп қосылған қызыл мен жасыл, қызыл мен күлгін шыныдар қандай-қандай сәулелерді өткізеді?
2. Хлорлы мыстың және тотыяйынның ертіндісін қызыл шыны арқылы, жасыл шыны арқылы, күлгін шыны арқылы жарықтағанда олар әр жолы қандай болып көрінеді?
3. Қызыл орамалды көк түспен жарықтағанда қандай түсті болады?
4. Бір бояу сары, жасыл, көгілдір сәулелерді, екіншісі — қызыл, сары, жасыл сәулелерді, үшіншісі — қызыл көгілдір, көк сәулені өткізеді. Барлық бояудың қоспасынан қандай сәулелер өтеді?
5. Жарық атмосферада бытырамайтын болса, онда күн батудың ақыр ілезінде, не күн шығудың алғашқы лезінде Күннен қандай түсті сәулелер, қандай ретпен көрінер еді?
6. Ай тұтылғанда неліктен ай қара қоңыр шиі түске боялғандай болып көрінеді?

225. Қызған будың сәулелерді сіңіру спектрі. Сәулені сіңіру құбылыстарының ішінен меншікті сызықты спектр шығара қызған газдар не булар арқылы ақ жарық өткен кезде сәуленің сіну жағдайын жеке қарау керек.

223-§ тағы тәжрибе құрылысында ақ жарық көзі мен саңлаудың екі арасына натрийдың қызған буы бар лампаны қойсақ, онда экрандағы жалпақ спектрден натрийдың шығару спектрінде бар сары сызықтар жоғалады да, олардың орнына қара жолақ түседі.

Егер де сол орынға калийдың қызған буы бар лампаны қойса, онда жалпақ спектрде, калийдың буының шығару спектріндегі түсті сызықтардың орнында, қара сызықтар шығады. Дәл осындай, ақ жарықты темірдің қызған буынан өткізгенде темірдің буының шығару спектрінің сызықтарына дәлме-дәл келетін жүздеген қара сызық шығады.

Ақ жарық қызған будан өткенде шығатын қара сызықтармен не жолақтармен қыйылған тұтас спектр сіңіру спектрі делінеді.

Әрбір элементтің сәуле шығаруының сызықты спектрі мен сіңіру спектрінің аударымдылығы болады: шығару спектрінің *түсті* сызығы сіңірудің *қара* сызығына дәлме-дәл келеді.

Егер екі жарық көзі бір бағытпен бірдей шамалы жарық шығарса, онда спектр жалпақ спектр болып қалады. Сіңіретін жарық көзінің жарық күші, бірінші сәуле шығарушының жарық күшінен артық болса, онда ол аз энергиялы толқынды жұтады да көп энергиялы толқынды шығарады, сондықтан, жалпақ спектр фонында бұл будың шығару спектрінің сызықтары жарығырақ болып бөлініп шығады.

226. Сіңіру және шығару спектрі үшін Кирхгофтың заңы. Будағы шығару спектріне кері оның сіңіру спектрінің пайда болуы былай түсіндірілуіне болады: қызған булар оған түскен ақ сәуленің барлық ағымынан, олардың өздері ғана шығаратын түсті сәулелерді сіңіреді. Бұл жағдайда маятниктің тербелісінде және дыбыс құбылыстарында бізге кездескен резонанс орын алады. Қызғаннан сәуле шығаратын бу өзі сол моментте қандай толқындарды шығарса, сондай толқындардың энергиясын сіңіреді.

Осыны және осыған ұқсас жағдайларды зерттеп, 1859 жылы Кирхгоф мынадай жалпы заңға келді.

Әр дене қандай сәулені өзі шығаратын болса, ол жағдайда сондай сәулелерді сіңіреді.

Сіңіргіштік қасиетті өлшеудің ең көп қолданылатын әдісі мынау: беті зерттелетін затпен қапталған металл дөңгелекке тұрақты жарық көзінен жарық түсіріледі. Дөңгелектің 1 сек. ішінде температурасының қанша жоғарылағанын, оның массасын және жылу сыйымдылығын біліп алып, дөңгелектің бетінің 1 сек. ішінде сіңірген жылуының шамасын есептеп шығаруға болады. Көбінесе абсолют, сіңіргіштік қасиетін өлшемей, салыстырмалы сіңіргіштік

қасиеті өлшенеді. Бұл үшін күйенің сіңіргіштігі 100 деп алынып, сонымен салыстырылып өлшенеді.

Белгілі жарық көзіменен жарықтағанда, әртүрлі заттар сіңіргіштік қасиетіне қарай ретпен жатуына болады, мысалы, қызған платинамен жарықтағанда күйенің сіңіргіштік қасиеті 100 бен; түстікі 95 пен; қорғасын белиласынікі 56 мен; металдардікі 13 пен белгіленеді.

Жалпы алғанда, беттің түсі ақ болған сайын және тегістігі артқан сайын, оның сіңіргіштік қасиеті де сондайлық азаяды.

Заттардың күйеге қарағандағы салыстырмалы сәуле шығарғыш қасиетін өлшеу, Кирхгофтың заңын толық растады.

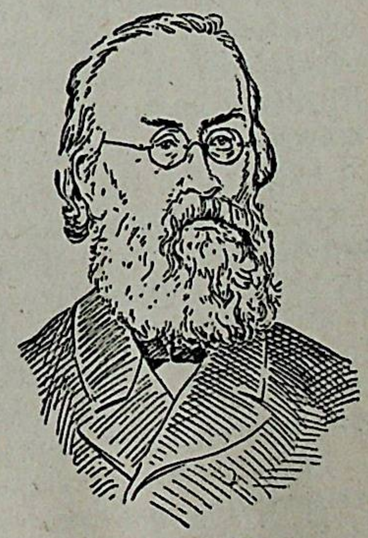
Бірдей сәулелер үшін заттың сіңіргіштік және сәуле шығарғыштық қасиеттері тең температурада бірдей қатынаста болады.

Сонымен, сәулені ең аз шығаратын бет жарқыраған ақ (тегістелген) бет, ең көп шығаратын бет — қара күңгірт бет болуы керек.

Әрбір химиялық элементтің қызған бу күйінде ерекше сызықты спектр беру қасиеті, Кирхгоф пен Бунзенға 1859 жылы спектр анализінің жолдарын жасауға мүмкіншілік берді.

227. Спектр анализі. Спектріне қарап дененің химиялық составын табуды спектр анализі дейді. Спектр анализін жасау үшін зерттелетін заттың кішкентай бөлегін платина ілмекшеге қойып, газ горелкасының жалынына үстайды. Сонсоң ішінде, дененің ішіне енетін элементтердің буы қызған горелканың жалынына спектроскоптың саңлауын қаратады да шыққан сызықтық спектрді барлық белгілі элементтердің спектрлерінің таблицасымен салыстырады.

Мысал үшін зерттелген спектрде сары және орны кальцийдің буының спектр сызығына дәлме-дәл келетін сызықтар болса, онда зерттелген дененің составына кальций енеді деп қорытады. Табылған элементтің сызықтарын шығарып тастап, қалған сызықтарды таблицамен салыстырады. Олардың ішінен, мысалы, барийдың сызықтарын тауып, дененің ішінде барий бар деп қорытады т. с. с. Спектрдің барлық сызығы таблицадағымен салыстырылып біткенше солай істеледі.



Кирхгоф[1] (1824—1887).

Егер зерттелетін спектрде белгілі химиялық элементтердің спектрі-

[1]) Кирхгоф Густаф Кенигсбергте туған, 1850 жылдан бастап Бреславлда, 1874 жылдан соң Берлинде профессор болған.

Кирхгоф спектр анализ методын жасаған, денелердің шығару және сіңіру бейімділіктерінің қатысы турасындағы заңды ашқан, токтың тарамдану теориясын жасаған, дыбыстың трубадағы жылдамдығының формуласын қортып шығарған.

нің сызығымен дәл келмейтін сызықтар болса, онда дененің ішінде ішінде белгісіз жаңа элемент бар деп қортындыға келеді, ол элементті химиялық әдістермен бөліп шығаруға тырысады.

Спектр анализін алғаш қолданған жылдарда мына элементтер осылай табылған: рубидий мен цезий — 1860 жылы; таллий — 1862 ж., гелий Күннің спектрінен 1868 жылы, ал Жерден, ол 1895 жылы табылған.

Спектр анализін шығару спектрімен де, сіңіру спектрімен де жүргізуге болады.

Химиялық анализге қарағанда спектр анализінің ерекше маңызы мыналардан тұрады; біріншіден, бұл әдіс ерекше сезімді болады, спектр анализі үшін заттың миллиграмының миллионнан бір үлесі жеткілікті болады. Екіншіден, спектр анализімен қандайлық орасан қашықта тұрса да, жарық шығаратын дененің, мысалы, Күннің атмосферасының жұлдыздардың, кометелердің, тұмандықтардың составын табуға болады.

Кейінгі он жылдың ішінде шамалық спектр анализі ілгерілей бастады. Оның шешетін мәселелері: спектріне қарап, зерттелетін заттың составына енетін элементтердің арасындағы шама жағынан қатыстарын табу. Шамалық спектр анализі, элементтің спектрдегі әртүрлі сызықтарының күштілігі зерттелетін заттағы сол элементтің концентрациясына байланысты болатындығына негізделген.

Егер де белгілі концентрациялар үшін спектр сызықтарының күштілігінің таблицасын жасаса, онда зерттелетін заттың спектрін шығарып алып, оны таблицадағы күшпен салыстырып, сол салыстырудан химиялық қосындының составында әрбір элемент қандайлық қатынаста болып енгенін қорытып шығаруға болады.

228. Күннің және басқа шырақтардың спектрі. Күннің спектрі оның көрінетін, көрінбейтін жерлерінде жатқан 20 000 дай сіңіру сызығымен қыйылған жалпақ спектр болады. Жалпақ спектр Күннің жарқыраған беті *фотосфера* дегеннен шығады. Оның жалпақ спектрі фотосферадағы заттар қызған сұйық, не бу тәрізді күйде орасан қысымда тұратындықты көрсетеді. Жыйырма мындай сіңіру сызығының болуы былайша түсіндіріледі: фотосфераның ақ жарығы қызған газдардан және булардан тұратын, бірақ температурасы фотосфераға қарағанда көп төмен күннің атмосферасынан өтеді. Күн атмосферасының ішіндегі әрбір газ бен бу, өздері қандай сәулелерді шығарса, сол сәулелерді сіңіреді (Кирхгофтың заңы бойынша). Сондықтан, бізге келіп жететін *күннің спектрі, сіңіру спектрі болады.*

Осы сіңіру спектрімен спектр анализін жасап, күннің атмосферасының химиялық составын тағайындауға болады.

Жерде көп кездесетін элементтерден күннің атмосферасында табылғандандары: сутегі, гелий, оттегі, кальций, натрий, калий, темір, мыс, ковальт, стронций, магний, хром т. б.

Сіңіру сызықтарын алғаш 1817 жылы *Фраунгофер* байқаған: сондықтан барлық сіңіру сызығы сол кісінің атымен *Фраунгофер* сызығы делінеді. Ол байқаған ең анық сегіз сызық әріптермен белгіленеді (218-§ тағы таблицаны қара).

Планеталар және олардың спектрі қара денелер болады, күннің жарығын шағылыстырып жарық береді, спектрлері күндікімен бірдей болады, сондықтан олардың составын спектріне қарап білуге болмайды.

Жұлдыздар — өздері жарық шығаратын денелер болады және меншікті спектрлері болады.

Жұлдыздарды спектрінің түріне қарай мынадай үш ірі группаға бөлуге болады[1]):

Бірінші группаның составында сутегі мен гелидің сіңіру сызықтары бар жалпақ спектрлі жұлдыздар енеді. Бұл жұлдыздардың атмосферасы сутегі мен гелиден тұрады. Олардың түсі ақ, не көгілдірлеу болады. Температурасы 12000 мен 20000° арасында жатады[2]).

Екінші группалардағының спектрі күндікіне ұқсас болады, олай болса атмосферасының да күндікіне ұқсас болғаны. Бұл жұлдыздар — сарғылт, температуралары 5000 нан 7000° қа шекті болады[3]).

Үшінші группаның спектрлері жалпақ сіңіру жолақтарымен қыйылған. Бұл жолақтар жұлдыздың атмосферасында күрделі химиялық қоспалардың пайда болып құралуын көрсетеді. Олардың түсі қызғылтым, температурасы 3000 — 3500° болады. Бұл группаға нашар жұлдыздардың көбі жатады.

Тұмандықтардың спектрлері олардың біреулері газдардан, көбінесе сутегінен және гелийден құралатынын көрсетеді; басқа тұмандықтар жұлдыз спектрін береді.

Кометалардың құйрықтарының спектрі, химиялық составтарына қарап, кометалардың құйрықтарын үш типке бөлуге мүмкіндік береді; бірінші типтегі құйрық сутегі, гелий, көміртегінің тотығынан құралады, екіншідегі ауыр газдардан және металдардың буынан, үшіншідегі ауыр металдардың ірі бөлшектерінен құралады.

229. Рентген сәулелері. 1895 жылы неміс физигі *Рентген* электронның ағымы крукстың трубкасының шынысына, не басқа бір бөгетке соғылып, кенет тоқтап, ерекше сәуленің бастамасын беретіндігін ашқан.

Осыдан шыққан сәуле, сол кісінің аты бойынша рентген сәулелері деп аталған.

Рентген сәулелерінің мынадай қасиеттері болады:

1. Олар магнит өрісінде де, электр өрісінде де бұрылмайды. Бұған қарағанда, олардың өзі зарядталған бөлшек ағымы емес, *жарық сәулесі сыяқты сәуле болады.*

2. Олар газдарды электр өткізетін етіп *иондайды.* Олардың әсерінен зарядталған электроскоп зарядсызданады.

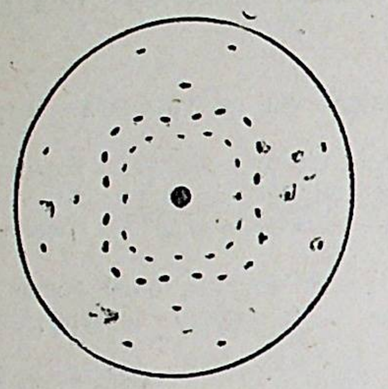
3. Олар әртүрлі затта *жарқыл* туғызады. Оны платиналы синеродистік-бариймен боялған экраннан анық көруге болады.

4. Ол ультракулгін сәуле сыяқты *фотография пластинкасына әсер етеді.* Кейінгі үш қасиеті оларды бақылауға және зерттеп білуге жәрдемші болады.

5. Олар жоғарыда тексерілген сәулелердің барлығына қарағанда әртүрлі заттың қалың қабаты арқылы жақсы өтеді; заттың

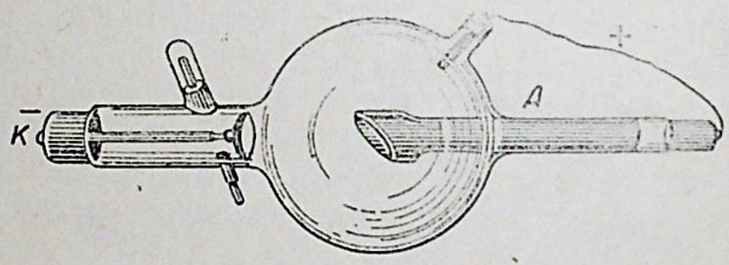
[1]) Астрономияда одан гөрі көбірек бөліну алынады.
[2]) Мұндайлар Вега, Сириус, Альтаир.
[3]) Мұндайлар Күн, Капелла, Арктур, Альдебаран.

жалпы тығыздығы неғұрлым аз болса, солғұрлым тереңге өтеді. Металдардың ішінен алюминий ең көп өткізгіш, ең аз өткізгіш қорғасын болады. Клетчатка, ағаш, сүйек, мата сықылдылардың өткізгіштігі әртүрлі дәрежеде болады.



290-сурет. Хлорлы натридың кристалының рентгенограммасы.

Рентген сәулелерінің бұл қасиетіне оның техникалық, медициналық реттермен көп қолданылулары негізделген. Теріден, боршалардан, сүйектен рентген сәулелері әртүрлі өтетін болғандықтан, осы сәуленің өзінің әсерінен жарық беретін экранға, не фотография пластинкасына рентген сәулесі жәрдемімен скелеттің (сүйектің) және адам денесінің ішкі мүшелерінің суретін түсіріп алуға мүмкін болады. Тірі адамның осылай ішкі мүшелерін қараудың медицинаға ірі жәрдем көрсететіні өзінен өзі түсінікті. Организмнің ішінде пайда болған ауруларды бақылауға, әсіресе хирургияда хирургиялық операциялар үшін сынықты, ісікті не басқа текті денені табуға мүмкіншілік туғызады.



291-сурет. Рентген трубкасы.

Рентген сәулелерінің бұл қасиеті металл құймалардың сапасын зерттегенде оның ішіндегі бос қуыстарды, басқа бұзылған жерлерін табуға пайдаланылады.

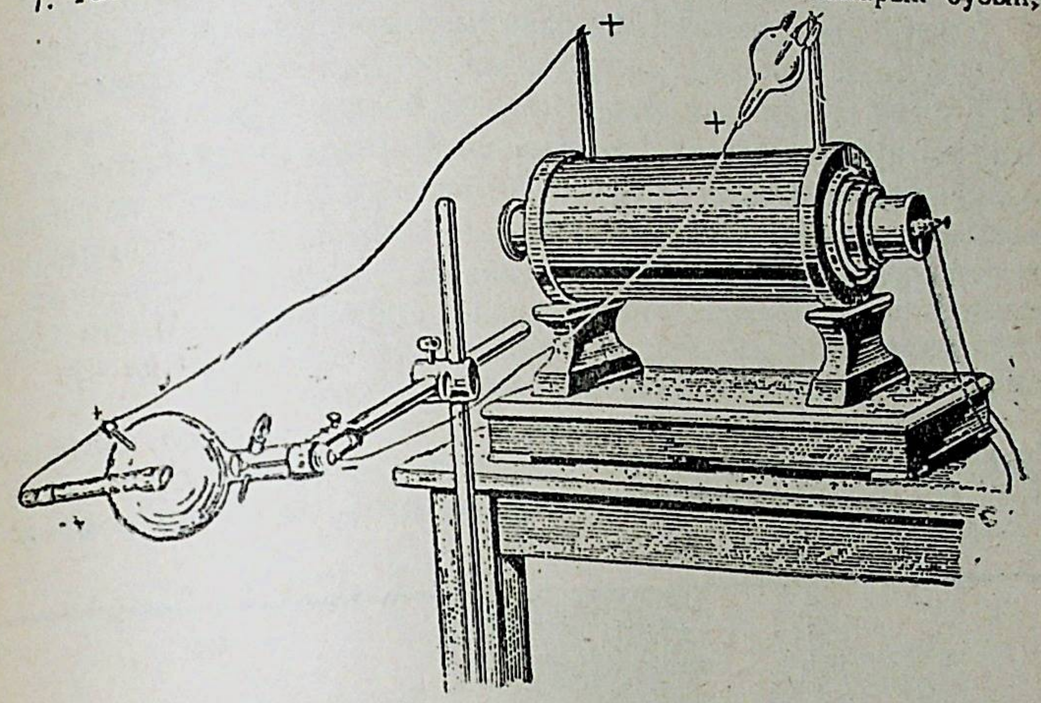
6. Рентген сәулелері *поляризациялана* алады. Олар айнадан *шағылысады,* бірақ айналық шағылысу емес, диффузиялық бытранды шағылыс болады, үйткені ренген сәулелерінің толқыны сондайлық қысқа, бетті қандай жақсы тегістесе де қысқа толқындарға бұдыр болып шығады. Рентген сәулелері *сынады* және толық ішкі шағылысты жасай алады. 1912 жылы рентген сәулелерінің *дифракциясы* табылды. Бірақ ол кристалдың «кеңістік решёткасынан» ашылған (II бөлім), үйткені кәдімгі дифракция решёткасы оған өте ірі болады.

290-сурет рентгенограмманы, яғни хлорлы калийдің кристалынан жіңішке сәуле өткізгенде фотография пластинкасына түскен суретті көрсетеді. Орталықтағы дақ (қарайған жер) сәуленің түзу

сызықпен тарауынан шыққан; қалған дақтар дифракцияланған сәулелерден шыққан.

Рентген сәулелері әртүрлі кристалдардың пластинкасынан өткенде, басып алынған суреттер кристалдардың құрылысының теориясын жасауға мүмкіншілік берді.

7. Тағы да рентген сәулелері организмнің клеткаларын бұзып,



292-сурет. Рентгенмен суретке басуға арналған установка.

физиологиялық әсер көрсетеді. Бұл қасиетіне олардың ем болар-лық әсері негізделген: рентген сәулелерін денеде індет жыйылған жерге түсіріп, індетті шығаратын клеткаларды талқандап, организмді сауықтыруға болады. Бірақ, сәуленің сол физиологиялық әсері, олар мөлшерінен асып әсер еткенде клетканың саулығына зиянды әсер тигізеді.

230. Рентген трубкасының құрылысы. Ең жабайы рентген трубкасы 291-суреттегідей электродтар ұстатылған шыны шар болады, оның ауасы сорып алынған.

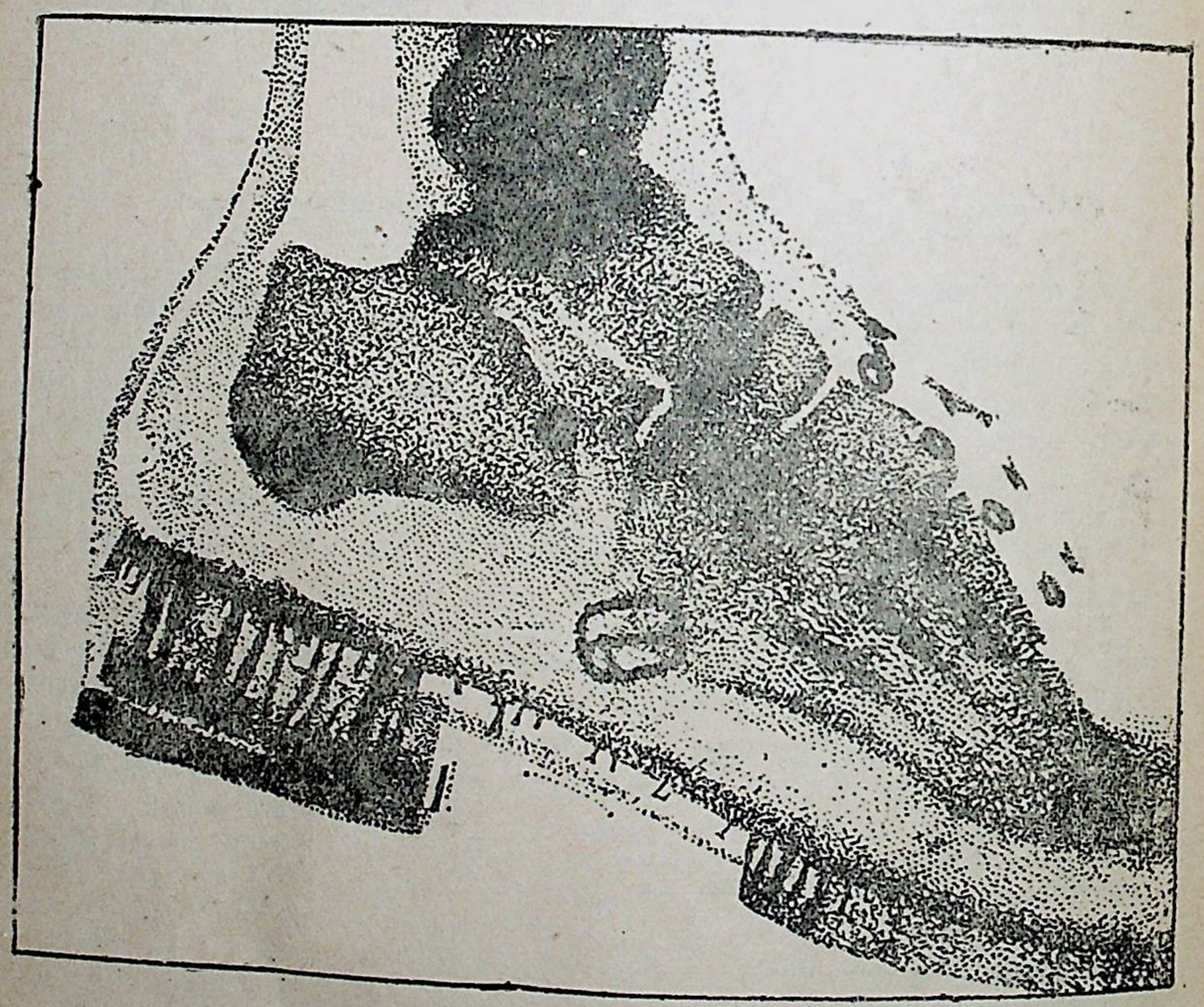
Трубка Румкорфтың катушкасының екінші тізбегіне жалғастырылады. Разряд кезінде катод үгітілетін, яғни одан электрондармен бірге катодтың затының бөлшектері ұшатын болғандықтан, рентген трубаларында катодты ең аз үгітілетін зат — алюминийдан жасайды. Катод сәулесінің жолына оған бұрышпен келтіріліп антикатод — платина пластинкасы орнатылады. Электрон ұшқанда соған соқтығады да, бетіне келіп кенеттен электрон тоқтағанда, рентген сәулелері шығады. Антикатодқа түскен электрондарды нейтралдау үшін оны өткізгіш арқылы анодпен жалғастырады. Ал антикатод электрондар соққанда өте қызып кетеді; оны салқындату үшін ішіне су ағыны жіберіліп отырылады. Рентгендік суреттер үшін және рентгендік бақылау үшін әрқашан

разряд бір бағытта болу керек, ал, Румкорф катушкасының индукциялық тогы айнымалы ток береді; сондықтан, 292-суреттегідей рентген трубкасының тізбегіне түзеткіш қойылады. Түзеткіште сол сыяқты трубка болады (антикатоды болмайды), электродтардың арасы катушканы айырғанда индукциялық ЭҚК ірі болғанда ғана газ аралық арқылы разряд өтетін қып жасалады.

293-сурет рентген сәулелері арқылы түсірілген суретті көрсетеді.

Осы кезде жоғарыда сыпатталған рентген трубкасының орнына Кулидж трубкасы қолданылатын болды. Кулидж трубкасы ішіндегі ауасы сынап бағанасының 10^{-6} *мм* дейін сиреленген шыны баллон болады. Оның ішінде де металл цилиндрмен қоршалған вольфрам спиралі тұрады, спиральды ерекше трансформатордан келген электр қыздырады. Ол спираль қызғанда электрон шығаратындықтан катод қызметін атқарады. Анод қызметін трубкаға ұстатылған вольфрам, не платина пластинкасы болады да бұл антикатод қызметін де атқаратын болады.

Кулидж трубкасындағы сиректелген газда өздігінен зарядталу болмайды. Сондықтан 108-параграфта айтылған өздігінен зарядталу болатын трубкадай емес Кулидж трубкасы аз кернеуде де жұмыс істей береді.



293-сурет. Рентген суреті.

Әдебиет. Вавилов С. И., акад., Глаз и солнце (о зрении и свете). Брегг В., Мир света. Тумерман Л. А., Свет и его источники. Хаустен Р. А., Свет и цвета. Майзель С. Р., Свет и зрение.

231. Сәуле энергиясының энергияның басқа формаларына айналуы. Денеге түсетін сәуле энергиясы үшке бөлінеді. Бір бөлегі шағылысады, екіншісі — сіңіріледі, үшіншісі — өткізіледі.

Денеге әсер ететін алғашқы екеуі болады.

1. Жарық қысымы. Денеге түсетін жарық толқыны оның бетіне қысым түсіреді. Мұндай қысымның болатындығын өткен ғасырдың 70-жылдарында теория жүзінде Максвелл тапқан.

Оны эксперимент жасап Москваның атақты физигі П. Н. Лебедев қатты заттар үшін 1900 жылы, газдар үшін 1910 жылы өлшеген.

П. Н. Лебедевтың[1]) тәжрибесі Максвелдің электромагнит теориясының дұрыстығын дәлелдейтін тәжрибелердің ең негіздерінің бірі болып табылды, сонымен бұл тәжрибе электромагнетизммен жарық жөніндегі осы кездегі ұғымның негізі болып табылады.

Жарықтың қысымы өте аз шамамен өрнектелетін болғандықтан, тәжрибе епгілікті керек қылды. Перпендикуляр күн сәулесімен жарықталған қара түсті бетке түсетін қысым 0,26 *мГ/м²* шамасында болады.

Өйткенмен де жарық қысымы әлем кеңістігінде заттардың өте ұсақ бөлшектерінің орын ауыстыруына ірі әсер тигізеді.

Әлемдегі заттардың қандай бөлшегіне болса да маңындағы шырақтар (жұлдыздар т. б.) екі түрлі әсер етіп тұрады; біріншіден, оған шырақтың тартылыс күші, екіншіден бөлшекті шырақтан тебетін жарықтың қысым күші әсер етеді.

Бірінші бөлшектің массасына пропорционал, яғни оның көлеміне пропорционал, ал бөлшектің формасы сфера болғанда, радиусының кубына пропорционал болады. Екіншісі бөлшектің бетіне, яғни радиусының квадратына пропорционал болады.

Бөлшектің мөлшері кішірейгенде, тартатын күш тебетін күштен жылдамырақ азаяды (ұйткені, санның өзі кішірейгенде, оның кубы квадратынан жылдам азаяды). Бөлшекті ұсақтағанда оның мөлшері шырақтан белгілі қашықтықтағы тебетін күш тартатын күштен артық болып шығуына болады. Мұндай бөлшек кеңістікте шыраққа жоламай сыртқары қарай ағады.

П. Н. Лебедев (1866—1912).

[1]) Лебедев Пётр Николаевич (1866 — 1912) — орыстың атақты физигі, Москва университетінің профессоры. П. Н. Лебедевтің негізгі ғылми еңбегі — жарықтың қатты затқа және газға түсіретін қысымын эксперимент жүзінде өлшеу. П. Н. Лебедевтің бұл тәжрибелері таңғаларлықтай шеберлікпен және дәлдікпен жасалды. Бұл тәжрибелер физикадағы эксперимент шеберлігінің үлгісін көрсетті. П. Н. Лебедевтің тәжрибелері бүкіл жер жүзі ғалымдарына үлкен әсер етті. Осы тәжрибелердің арқасында Максвелдің электромагнит теориясы заңды болып қабылданды және электр мен магнетизм жөніндегі қазіргі ұғым ғылымда тұжырымды түрде бекіді.

Күн ылғый өзінің жарығының қысымымен кометалардың құрамындағы бөлшектерге тебетін әсер көрсетіп тұрады. Кометалар Күнге жақындағанда құйрық шығарады. Кометаның құйрығы деген Күннің жарығының қысымы теуіп шығарған бөлшектердің ағымы болады. Кометаның құйрығының бағыты, Күнге қарсы жаққа қарап тұрады.

Лабораторияда П. Н. Лебедев жасаған тәжрибенің дұрыстығын мыңдаған жыл бойы комета құйрықтарының пайда болуының заңдылығы растап отыр.

2. Дененің сәуле энергиясын сіңіруінің ең жалпы нәтижесі *жылылық энергиясының пайда болуы — дененің қызатындығы болады;* осылай Күннен Жер қызады.

3. Сәуле энергиясы *химиялық энергияға өте жиі айналады.* Өсімдікте орасан көп сәуле энергиясы химиялық энергияға айналады. Оларда көмір қышқыл газы мен су екеуі оттегіне кедейлеу органикалық қосылыстарға айналады. Осылай, өсімдіктер күннің энергиясын тамақ пен отынның потенциял энергиясына айналдырады.

Көп жағдайларда кері процесс — тотықтану жүреді; қарамай түсін өзгертеді, органикалық заттар оңады (матаның оңуы, кендір тоқыманы ағарту).

Жарық жерде хлор мен сутегінің қосылысы хлорлы сутегіне бірігеді. Сутегінің асқын тотығы оттегі мен суға ажыратылады.

4. Сәуле энергиясының әсерімен молекулалық өзгерістер пайда болады: ақ фосфор жарық түскенде қызыл фосфорға айналады, аморфты селен электр өткізгіштігін өзгертіп, кристалды селенге айналады.

Күмістің галоидтық тұзы жарықтағаннан кейін, белгілі заттармен өндеген кезде металдық күміс бөліп шығаратын болып ажыратылады. Күміс тұзының бұл қасиетіне фотография негізделген (§ 185).

5. Сәуле энергиясы люминесценцияны, яғни температура жоғарыламай-ақ жарқыл болуын туғызады. Осылай, ақ жарық шоғымен керосинді жарықтағанда көгілдірлеу түсті жарық шығады; органикалық бояу флюоресценді жарықтағанда жасыл түсті, хлорофилдің спирттік ертіндісі қызыл түсті жарық шығарады.

Күкіртті кальций, бірнеше басқа металдың күкіртті тұзы сияқты, оның алдын-ала күн көзіне, қолдан жасаған ақ жарыққа ұстап алғаннан кейін, жарық бере бастайды.

П. Н. Лебедев жүргізген жарық қысымын өлшеу астрономияның бірнеше маңызды мәселелерін, оның ішінде құйрықты жұлдыз теориясын зерттеп шешудің негізі болды.

П. Н. Лебедев физиканың басқа да бірнеше эксперименттік жұмыстарын, оның ішінде жер магнетизмі мен қысқа электромагнит жөніндегі эксперименттерді іс жүзіне асырды.

П. Н. Лебедев коллективтік жұмыстың тамаша ұйымдастырушысы еді. Ол орыс физиктерінің бірінші рет үлкен мектебін ұйымдастырды; қазіргі совет физиктерінің бірсыпырасы осы мектептен тәрбиеленіп шыққан адамдар.

П. Н. Лебедевтің проектісі бойынша ССРО Ғылым Академиясының Физикалық институты салынды. Бұл институт П. Н. Лебедевтің атымен аталады.

Жарықталып тұрғанда, жарықтаған сәуле емес басқаша сәулемен жарқыл беруді флюоресценция[1]) дейді; жарықтағаннан кейін жарқыл беруді фосфоресценция[2]) дейді.

Люминесценцияның қандай жағайында болса да, дененің сәулелік энергиясы сіңірген сәуле энергиясының есебінен шығады. *Люминесценцияны туғызатын сіңірілген толқыннан люминесценциядағы толқын ұзын болады.*[3])

Флюоресценцияны ультракүлгін сәулелер де туғызатын болғандықтан, оны ультракүлгін сәулелерді табу үшін пайдалануға болады.

Фосфоресценцияланатын денелерді қыздырғанда алдымен жарқылдауы күшейеді, бірақ одан соң жылдам жоғалатын болады. Қыздырғанда энергияның сондайлық запасы жылдам шығындалады.

Бұл қасиетті инфрақызыл сәулелерді табу үшін қолданады. Біраз уақыт фосфоресценцияланатын экранға жалпақ спектр түсіріледі. Оны әкеткенде көрінетін спектрдің шетінен әрі қызыл сәулелер жағынан жарқылдың күшейгені байқалады. Күннің спектрі түскенде инфрақызыл бөліктегі сіңіру сызықтарының астыңғы жағындағы экран сіңірудің әсерінен, басқа жеріндегі жарық беру құрып біткеннен кейін жарық бере береді.

Осы әдіспен спектрдің инфрақызыл жағындағы сіңіру сызығын табуға болады.

6. Фотоэлектрлік әсер. Жарықтың сәулесі денеге түссе, одан электрондарды айдап шығады. Бұл құбылыс фотоэффект деп аталады. Айдалып шыққан электрондардың саны денеге түскен жарық энергиясының шамасына, ал олардың жылдамдығы сәулечің сапасына (толқынның ұзындығына) байланысты болады. Жарықтың мұндай әсері заттың химиялық тегіне және физикалық күйіне байланысты болмайды, дененің қайсысына болса да тиеді.

Осының салдарынан теріс электр мен зарядталған пластинка жарықталғанда өзінің электрондарын жоғалтып зарядсызданады. Зарядтанбаған пластинка жарықтағанда электрондарын жоғалтып оң зарядтанады.

Фотоэффект фотоэлементтің құрылысының негізіне алынған. Фотоэлемент деп жарық энергиясын электр энергиясына айналдыратын приборды айтады. Оның құрылыс принципі мынадай (294-сурет). Ауасы сорып алынған баллонның (шыны сауыт) ішіне металл пластинка (көбінесе сілтілі) *К* ні және металл сетка *А* ны орналастырады. Егер *А* мен *К* ні тізбекке жалғастырып пластинка *К* ні жарықтаса, онда ол өз электронын сетка *А* ға жібереді де

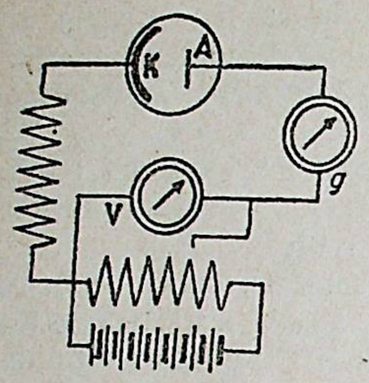
---

[1]) Флюоресценция — ең алғаш осы құбылыс байқалған минерал флюорит, не балку шпатынан алынған сөз.

[2]) Фосфоресценция — жарық беру қасиеті бар фосфордан, оның жарық беруі фосфоренция болмаса да, содан алынған.

[3]) С. И. Вавилов бастаған совет физиктері тапқан жаңа лампалар құрылысы люминесценцияны қолдануға негізделген. Бұл лампалар қыздыру лампаларын қатардан шығаруға айналды. Олардың құрылысымен осы тараудың аяғында аталған әдебиеттен оқып танысуға болады.

тізбекте ток пайда болады; тізбекте токтың бар екенін гальванометр g көрсетеді. Ток күші катодтың жарықталынуына байланысты.



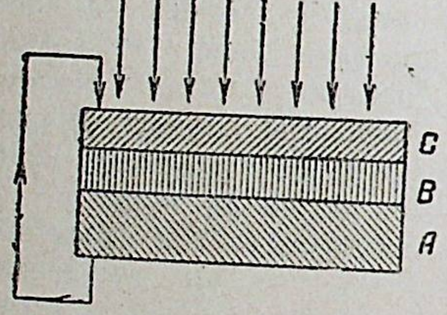
294-сурет. Сілтілік металды фотоэлемент.

Электродтардың арасындағы потенциалдар айырмасы, қанықкан ток пайда болларлықтай, соншалықты үлкен болса, онда суретте көрсетілгендей құрылыста фото тогі катодтың бетіне түсетін жарық ағымының шамасына тура пропорционал болады.

Купрокстық элементтер, не жабылатын қабатты элементтер деген-дер көп таралып кетті. Мұндай элементтер бірінің үстіне бірі салынған үш пластинкадан құралады (295-сурет).

Мыс пластинка *A* ның үстіне мыстың шала тотығының қабаты *B* салынады, ал оның үстіне мыстың, не алтынның, не пластинканың өте жұқа *C* қабаты түсіріледі. Таза металл қабатын жарықтағанда ток арадағы қышқылданған пластинкаға бөтен электр көзінсіз-ақ келеді.

Фотоэлементтер жарық энергиясын электр энергиясына айналдыруға мүмкіншілік береді. Электрондық күшейткішпен жалғастырылған фотоэлементтер сәулеленудің күшінің өзгеруіне қарап қызмет атқаратын неше түрлі сезімтал автоматтардың жарық жағу және сөндіру, жарық сигналдарын басқару, дененің мөлдірлігіне әсер ететін қоспаларды анализдап сорттау т. б. составына енеді.



295-сурет. Жабылатын қабатты фотоэлемент.

Фотоэлементтер суретті алысқа беруде және дыбысты жазып қайта шығаруда (дыбыс киносында) қолданылады.

Фотоэлементті жер жүзінде ең бірінші рет орыс физигі А. Г. Столетов жасап шығарған.

7. Енді ақырында сәуленің, әсіресе ультракүлгін сәуленің *физиологиялық* әсерін айтып кету керек.

Бұл сәулелер организмнің клеткаларын бүлдіріп әсер етеді. Ұзақ ұстағанда күн қандай күйдірсе, олда сондай ауыртып күйдіреді[1]).

Ультракүлгін сәулелердің әсері — клетканы бүлдіріп, онымен қабат бактерияларды өлтіреді де, организмдегі әртүрлі індет шығаратын құрылыстарды тоқтатады. Олардың санитарлық және ем үшін маңызы осыған негізделген.

27-жаттығу.

1. Спектрдің көрінбейтін жерінде сіңіру сызығы барлығын қалай білуге болады?

2. Күн толық тұтылған кезде фотосферадан келетін барлық сәулені ай ұстап қалып, жерге күн атмосферасының ғана сәулесі келеді сонда күннің спектрінің сіңіру сызықтары қайтеді?

3. Күннің сәуле шығару энергиясы жер үстінде қандай әсер көрсетеді?

4. 1 $м^2$ жердің бетіне түсетін күннің энергиясының қуаты неше ат күшіне тең болады?

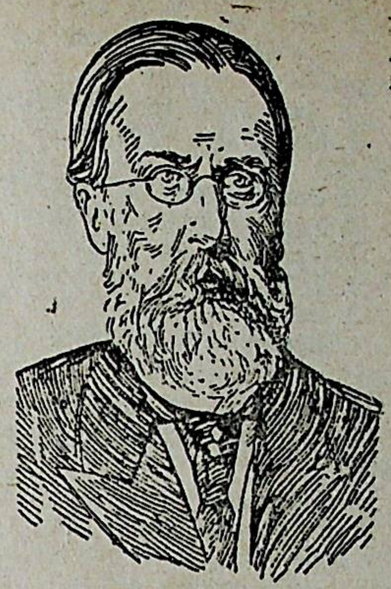
5. Бір сағат ішінде жердің 1 $м^2$ бетіне сәулесі перпендикуляр түскенде, Күн қанша джоуль энергия әкеледі?

6. Қолдан жасаған жарық көзінің мөлшерімен айтқанда қандай температура ең ұтымды температура болуы керек?

7. Қыстың күні күннің жарығы күн ашық болса да, неге қарды ерітпейді?

8. Фотография суретін пластинкада шығару неге қызыл жарықта істеледі?

9. Қызыл сәуле люминесценция жасай ала ма?



А. Г. Столетов[1]) (1839—1896).

ОҚУШЫЛАРДЫҢ БІЛІМІН ТЕКСЕРУГЕ АРНАЛҒАН СҰРАУЛАР

1. Инфрақызыл сәуле деп нені айтады? Оларды тапқанда қандай қасиетімен тапқан? Олар спектрдің қандай жерінде шығады? Көрінетін сәулеге қарағанда олардың сыну көрсеткіші және толқынның ұзындығы қандай болады?
2. Ультракүлгін сәулелер үшін де сол сұраққа жауап беру керек.
3. Шығару спектрінің қандай типтері белгілі?

[1]) Александр Григорьевич Столетов (1839—1896) — орыстың атақты физигі, Москва университетінің профессоры. Оның ғылыми табыстары физиканың көп тарауларымен байланысты; әсіресе, оның фотоэфект және фотомагниттік материалдарды магниттеу жөніндегі еңбегі дүние жүзілік ғылымда айрықша орын алады. Ол физиканың бұл тарауларында маңызды фактылар мен заңды зерттеудің жаңа әдісін ойлап шығарды.

Жарықтың электр разрядына тигізетін әсерін зерттей отырып, А. Г. Столетов жержүзіндегі ең бірінші фотоэлементті жасап шығарды және газдардағы разрядтың, «Столетов заңы», Столетов константасы» деп аталатын заңын тағайындады. А. Г. Столетов электр разрядындағы, жарық әсерінен болатын қанығу тогін ашты. Бұл — разряд құбылысының микроскоптық механизмін зерттеуге мүмкіншілік берді. Электр тогының газ арқылы өтуін зерттеу үшін гальванометрді бірінші рет А. Г. Столетов қолданды. Столетовтың методы осы кезде газдардағы разрядтарды зерттеу жұмыстарының барлығында да кең түрде пайдаланылады.

А. Г. Столетов заттардың магниттік қасиетін сыпаттайтын өте маңызды шамалардың біреуін — магнит алғырлығын зерттеп шықты. Ол магниттеуші күштің өзгеруіне қарай көмірдің магнит алғырлығының өзгеру заңын тағайындады. Бұл кісі, ферромагнит материалдардың магнит алғырлығы, магниттеуші күштің өсуіне қарай біртіндеп өсіп отырып, бір кезде ең бір үлкен мәніне жетеді де, осыдан кейін қайтадан азая бастайтындығын тапты. Осы еңбектерінде А. Г. Столетов балластикалық гальванометр және тороид (түйық сақыйна) деп аталатын құрал арқылы заттардың магниттік қасиетін зерттеудің жаңа методын жасап шығарды.

А. Г. Столетовтың магнетизм жөніндегі еңбектері электр машиналарының қазіргі уақыттағы техникасының негізі болып табылады; өйткені бұл еңбектер электродвигательдер мен динамомашиналардың жұмысын есептеудің ең ұтымды теориясын жасауға мүмкіншілік берді.

А. Г. Столетов бірінші рет Москва университетінің физикалық лабораториясын құрды.

[1]) Адамның организмін күннің күйдіреуінен сақтайтын беткі қабаты сәулені ұстап қалатын бурыл пигмент, ол терінің астына жыйналған болады. Ыстық жердегі, халықтың терісінің қара түсі, қоңыр салқын жердегілердің күнге күйген қоңыр түсі осыдан болады.

4. Жалпақ спектр деп нені айтады? Ол қалай алынады?
5. Сызықты спектр деп нені айтады? Ол қалай алынады?
6. Спектрде энергияның қалай таралып жатқанын қайтып зерттеп білуге болады?
7. Күн спектрінде энергия қалай таралып жатады?
8. Қолдан жасалған жарық көздерінің спектрінде энергия қалай таралып жатады?
9. Температураны жоғарылатқан сайын сәуле қалай өзгереді?
10. Түскен сәуленің барлығын сіңіретін дене қандай деп аталады?
11. Түскен сәулені өткізетін дене қандай дене деп аталады?
12. Әрбір зат сәуленің әртүрлі түріне мөлдір бола ма?
13. Мөлдір дененің түсі неге байланысты? Оны қалай зерттеуге болады?
14. Мөлдір емес дененің түсі неге байланысты? Оны қалай зерттеуге болады?
15. Бірнеше бояудың қоспасының түсі неге байланысты?
16. Спектрлік түстерді араластырғаннан бояуды араластырғанның айырмасы қандай?
17. Сіңіру спектрі деп нені айтады? Ол қалай алынады?
18. Бір заттың шығару спектрі мен сіңіру спектрінің арасында қандай байланыс бар?
19. Спектр анализі деп нені айтады?
20. Қандай спектрлер бойынша спектр анализін жүргізуге болады?
21. Спектр анализі үшін қандай құрал қолданылады?
22. Спектроскоптың негізгі бөлектері қандай?
23. Спектр анализінің маңызы қандай?
24. Сіңіру және шығару спектрлері үшін Кирхгофтың заңы қалай айтылады?
25. Күннің спектрі неден тұрады?
26. Фраунгофер сызықтары деп нені айтады?
27. Фраунгофердің сызықтары қайдан шығады?
28. Фраунгофер сызықтарымен нені білуге болады?
29. Дене сіңірген энергия неге айналады?
30. Сәуле энергиясының жылылық энергиясына ауысқанына мысал келтіріңдер.
31. Сәуле энергиясының химиялық энергияға айналуына мысал келтіріңдер.
32. Сәуле энергиясының физиологиялық әсеріне мысал келтіріңдер.
33. Люминесценция неден тұрады?
34. Люминесценцияда сіңірілген толқын мен шығарылған толқынның арасында қандай қатыс болады?
35. Күннің жарығының қандай сәулесі көбінесе жылу әсерін тигізеді? Химиялық? Физиологиялық?
36. Фотоэффект неден тұрады және ол техникада қалай пайдаланылады?
37. Жарық қысымының шамасы қандай және оның жаратылыста маңызы қандай?

Әдебиет. Вавилов С. И., акад. Холодный свет. Лёвшин В. Л., Холодный свет. Лёвшин В. Л., Светящиеся составы. Жиров Н. Ф., Люминофоры. Зворыкин В. К. и Вильсон Е. Д., Фотоэлементы, и их применение. Ланге Б., Фотоэлементы в науке и технике. Симон Г. и Зурман Р., Фотоэлементы и их применение. Шипалов М. Г. и Налимов В. В., Фотоэлементы.

232. Жарық кванты туралы ұғым. Жарықтың толқын теориясы түсіндіре алмайтын ірі фактының бірі, жоғарыда қаралған фотоэффект болады. Тәжрибе фотоэффектің мына заңдарын тағайындайды: 1) фототогінің күші, яғни *жарықтағанда босап шығатын электрондардың мөлшері монохроматикалық жарық үшін сіңірілген жарық энергиясының шамасына тура пропорционал болады; 2) электрондарды басататын ең зор* ұшып шығу *жылдамдығы жарықтың күшіне байланысты емес, жарықтың толқынының ұзындығына ғана байланысты болады.*

Металдан электрондар күлгін сәуленің әсеріне қарағанда ультракүлгін сәуленің әсерінен жылдамырақ ұшып шығады; ал рентген сәулелерінің әсерінен электрондар одан да жылдам ұшады. Жалпы алғанда жарықтағанда босанатын фотоэлектрондардың жылдамдығы, әсер ететін сәулелердің толқынының ұзындығы неғұрлым қыска болса, не жиілігі неғұрлым зор болса солғұрлым зор болады.

Екінші заң толқын теориясының көзқарасымен түсіндірілмейді; толқын теориясы бойынша жарықтың күші неғұрлым көп болса, яғни жарық көзі жарықталатын бетке неғұрлым көп энергия жіберсе, солғұрлым айдап шығылған электрондардың энергиясы және сондықтан жылдамдығы да көп болуы керек еді.

Теория мен тәжрибе мәліметтері арасындағы бұл үйлеспейтін қайшылық, әрқашан ғылымда болып жүргендегідей теорияның түрін өзгертуге келтірді.

Жарықтың тарауының толқын теориясы, жарық шығаратын көздің энергиясы үздіксіз шығып тұрады деген оқуға келтіреді. Міне осындай үздіксіздік электронның жылдамдығын жарық күшімен қыйыстыруға еш келмейді.

Жаңа теория энергияны шығаруда үздіктілік барлығын енгізеді, энергия белгілі мөлшерлі жеке порциямен (сыбаға) шығарылады дейді.

Атом, толқынының ұзындығы белгілі жарық бергенде, шығарған энергияның мөлшері энергияның кванты деп аталады.

Сәулеленіп шығарылатын толқындардың әртүрлі ұзындығы үшін энергияның кванты түрліше болады. Тәжрибеге негізделген теориялық зерттеу, *энергияның кванты толқынының әрбір түрі үшін тербеліс жиілігіне тура пропорционал екенін көрсетеді.*

Тербеліс жиілігін ν арқылы, осы жиіліктегі толқын үшін энергияның квантын ε арқылы және пропорционалдық көбейткішті h арқылы белгілесек сонда энергияның кванты әрбір толқын түрі үшін жиілік арқылы мына тәрізді жазылады:

$$\varepsilon = h\nu.$$

Сонымен тербелісті қоздырушыдан жіберілетін сәулелену энергиясының кванты күлгін түске қарағанда қызыл түс үшін аз болады. Ультракүлгінге қарағанда күлгін түс үшін аз, рентген сәулелеріне қарағанда ультракүлгін үшін аз болады. Температуралық сәулеленудің жалпы энергиясы ультракүлгінге қарағанда қызыл түс үшін көп болады: (§ 220), оның себебі қызыл түсті сәуле шығарғыштардан анағұрлым артық болады.

Бірдей жиіліктегі толқындардың кванттары бірдей болады, әртүрлі жиіліктегі толқындардың кванттары әртүрлі болады.

Проф. Хвольсон толқындарының ұзындығы түрліше кванттарды былай салыстырып келтіреді: қызыл сәулелер кванты бү-

лар — ұсақ бытыралардың ағымы: рентген сәулесінің кванты — калибраларын үлкейте берген зеңбірек оқтарының ағымы; гамма сәулелер — кванты қамал үшін жұмсалатын зеңбіректердің снарядтары. Квант теориясы бойынша фотоэффектің екінші заңын түсіндіру оңай: кванттың энергиясы толқынның ұзындығына байланысты; сондықтан кванттың энергиясы электронның кинетикалық энергиясына ауысқан жағдайда, электронның жылдамдығыда толқынның ұзындығына байланысты болуы керек.

Кванттар туралы ұғым енгізудің қажеттігі жалғыз-ақ фотоэффекті түсіндіруден шыққан жоқ.

Жоғарыда 221 § та қаралған сәулелену энергиясының температураға байланысы да, негізінде толқын туралы ұғымдар мен түсіндіріле алмайтын болады. Энергияны үздіксіз шығару негізі бойынша тәжрибе табыстарына үйлес келетін формула жасау талабының бәрі босқа кетті.

1900 жылы неміс ғалымы Планк бұл мәселені энергияның кванты турасында ұғым енгізіп барып шешті.

Кванттеориясы дүние танудағы ғылми көзқарасқа түпкілікті өзгеріс енгізді. XIX ғасырда эволюция туралы, бірте-бірте өзгеру туралы, қандай да болса құбылыстың үздіксіз жүруі, мысалы, энергияның үздіксіз шығарылуы туралы оқу үстем болып келді.

XX ғасырда кванттану туралы, процестің барысындағы қопарылыс (от алу) туралы, сапаның ырғу жолымен өзгеруі туралы идея енгізілді.

Советтің белгілі физигі С. И. Вавилов жарықтың жеке кванттарының көзге әсер етуін табудың методикасын жасап шығарды. Бұл метод жарық квантының бар екендігіне өте сенімді жаңа дәлел болып табылады.

233. Жарық теорияларының шолуы. Жарық туралы оқуды аяқтап, енді жарық теорияларының қалай алмасып отырғандығына көз жіберелік.

Ескіліктегі гректердің философтары жарық бақылаушының көзінен шығады деп үйретті.

Ньютонның заманынан бастап XIX ғасырдың жиырманшы жылдарына шекті *ағымдық теория* билеп келді.

Бұл теория бойынша жарық құбылысы салмақсыз ерекше материяның бөлшектерінің қозғалысынан туады. Жарық шығарып тұрған денеден бұл материяның өте ұсақ бөлшектері, яки корпускулдары жан-жақтың барлығына түзу сызықпен ұшады. Бұл бөлшектер көздің сетчаткасына түсіп жарық сезімін туғызады.

Екі ортаның шекарасындағы шағылысу, серпімді доптардың кейін тебілуі сияқты, бөлшектердің бетке тақағанда байқалатын тәбуімен түсіндіріледі. Сыну, орталардың арасындағы өте жұқа қабаттың жарық бөлшектеріне әсер ететін тартылыс күшінен деп айтылды. Оптикалық тығыздығы аз ортадан, тығыздығы көп ортаға түскенде сәуленің перпендикулярға жақындауы бөлшектердің тығыздығы аз ортаға қарағанда, тығыздығы көп ортада үлкен жылдамдықпен қозғалуынан деп түсіндірілген.

Ағымдық теориямен қатар, Ньютонның замандасы Гюйгенс

шығарған *толқын теориясы* шықты және бұл әуелгімен жарыса жүрді.

Толқын теориясын М. В. Ломоносов жақтап және қорытып шығарды. Гюйгенс теориясы бойынша жарық құбылыстары, ерекше серпімді материя да, көлденең толқын тәрізді ғана тербелістермен тарайды деп түсіндіріледі.

Бұл теорияның тыянақты шешіліп жетпегендігі және ғылми белгілі зор Ньютонның атымен байланысты ағымдық теория жарықтың толқын теориясының өрістеп жетілуіне жол бермеді.

Бірақ, жаңадан шыққан эксперименталтабыстар ағымдық теорияның көлеміне сыймады.

Бұл теорияны (ағымдық) барлық күшін салып қорғаушылар болған мен де, жаңа табыстардың тепкісімен құлауы керек болды. Мәселені мынадай екі факт шешті: бұрынғы теория түсіндіре алмаған интерференция құбылысын Юнг толқын теориясының негізімен оп-оңай түсіндірді және Фуконың жарықтың судағы жылдамдығын өлшеуі; мұнда ағымдық теорияның үйретуіне шалғай судағы жылдамдық бостықтағы жылдамдықтан $\frac{4}{3}$ рет аз болып шықты.

Ағылшын Юнг, әсіресе француз Френель өзгертілген түрде толқын теориясын қайта туғызып, соның негізімен жарықтың ұзу сызықпен тарауын, шағылысуын, сынуын, интерференция, дифракция, поляризация құбылыстарының түсініктерін тәртіптеп жасады. Френельдің теориясы бойынша жарық, серпімді орта — эфирдің көлденең тербелісінен тұрады, ол тербеліс жарық шығаратын нүктеден сфералық толқынмен тарайды.

Бірақ бұл теорияның ішкі қайшылығы: жарық құбылысын тасығыш серпімді ортаның қасиеттері турасындағы ұғымда болды.

Жарық толқынындағы тербеліс санының орасан зор екендігін (мысалы, күлгін түстің бір толқыны үшін $675 \cdot 10^{12}$ $\frac{\text{тербеліс}}{\text{секунд}}$) түсіндіру үшін, жарық тасыйтын ортаның серпімділігі болаттың серпімділігінен артық деуге тура келді. Ал, сонымен қатар бұл ортада аспан шырақтарының жылдамдығын өзгертпей қозғалуы, яғни кедергі көрмеуі, сол ортаның тығыздығы болымсыз аз деп санатты.

Бір затта өте үлкен серпімділік болумен қатар болымсыз аз тығыздық болуы үйлеспейді.

Бұл қайшылық Максвелдің теориясымен жойылды.

Максвелл өткен ғасырдың алпысыншы жылдарында, электр және магнит өрістері кернеуліктерінің тербелісі вибратордан толқын тәрізді тарауы керек деп теория жүзінде дәлелдеді. Электр және магнит толқындары өздері тарағанда, жарықтың тарау жылдамдығымен және жарық толқындары қандай шағылысса, сынса, интерференцияланса, дифракцияланса, поляризацияланса, ол да солай болуы керек деді. Максвелл теориясын жасаған соң жиырма жылдан артық өткеннен кейін Герц пен П. Н. Лебедев тәжрибе жүзінде оның алдын ала айтқанын растады.

Бұдан басқа Максвелл заттың сындыру көрсеткіші мен диэлектриктік сіңірімділігі арасындағы қатнасты тағайындады.

Бұлар және басқа[1]) электр, магнит және жарық тұрақтыларының арасындағы белгілі қатнастар, Максвелдің *жарықтың электромагнит теориясын* жасауына негіз болды.

Енді жарық тербелісі, қандай болсын бір серпімді заттың механикалық тербелісі деп қаралмайды.

Жарық құбылысы электр өрісінің кернеу векторының өзгерісінен туады, ол өзгеріс тербеліс сыпатты болады да кеңістікте толқын тәрізді тарайды.

Бірақ арнаулы приборлармен қабыл алынатын басқа электромагнит тербелістеріне қарағанда жарық тербелісінің жиілігі өте зор, $390 \cdot 10^{12}$ мен $793 \cdot 10^{12}$ $\frac{\text{тербеліс}}{\text{секунд}}$ шегінде болады да, адамның ерекше мүшесі — көзбен тіке қабылданады.

Жарық көзін күшті магнит өрісіне қойғанда спектр сызықтары қосарланады не үшеуленеді, ол магнит өрісі жоқта бір текті сәуле шоғының толқынының ұзындығы өзгергенді көрсетеді (Зеeман ашқан құбылыс). Осындай құрылыста электр өрісі де спектр сызығын бірқатар сызыққа жіктейді (Штарк ашқан құбылыс). Екінші жағынан біз, жарық энергиясының ағымы металға түскенде олар электрондарды бөліп шығаратынын көрдік.

Осы келтіргендердің барлығы жарық және электромагнит құбылыстарының арасында тығыз байланыс барлығын көрсетіп жарықтың электромагнит теориясын растайды.

Ақырында, фотоэффект құбылысы жарық шығаратын дене ерекше бөлшек — кванттарды шығарады деген оқуды қайтадан туғызады, яғни толқын теориясымен бірге квант теориясын да жасауды керек қылады.

Ғылми ой жарық құбылысын талқылау жөнінде тамаша диалектикалық процестен өтті. Ағымдық теория, интерференция құбылысына не жарықтың бос жердегі жылдамдығынан заттағы жылдамдығы кем болатын фактыға кездескенде, оларды ағымдық теория түсіндіре алмады, ол бекерге шықты. Пайда болған қайшылық толқын теориясын жасаған соң ашылды. Толқын теориясына қайшы келетін табыстар оны да бекерге шығарып ағымдық теориясына қайтарады, бірақ, оның алғашқы түріне емес, өңделген жоғары сатыға көтерілген түріне әкеледі. Жалғыз квант теориясы да интерференция құбылысын түсіндіре алмайтын болғандықтан, жарықтың теориясы толқын теориясы мен квант теориясының біріккені — синтезі болуы керек.

234. Электромагнит тербелістерінің шолуы. Жоғарыда айтылғанның барлығынан мынадай жалпы қорытынды шығады: *сәулелік тербелістердің қай түрі болса да электромагнит тербелістердің бір түрі ғана болады.*

Бұл ғылми табыс жаратылыстың өсуінің ұлы диалектикалық

[1]) Осылай, бір қатар мөлдір заттар магнит өрісінде тұрған жағдайда оларға жарықтың көлденең тербелісі жүретін жазықтықты бір бұрышқа бұратын қасиет пайда болады. Тербеліс жазықтығының осы сыяқты бұрылуы магниттеген дененің бетінен жарық сәулесі шағылысқанда да болады.

принципін: құбылыстардың көп түрінде негізгі бастаманың бірлігін ашады; мұнда толқын ұзындығының шама жағынан өзгеруі жаңа сапа алу мен үздіксіз байланысты болады да, денеге басқаша әсер көрсетеді.

Әртүрлі электромагнит толқындар бір-бірінен, олардың табиғи жолмен, не жасанды жолмен қоздырылуына қарай оларды табудың ең оңай құралы қандай құрал болатынына қарай айрылады. Жоғарыда барлық тербелістер өздерінің толқындарының ұзындығына қарай, ең ұзын толқыннан белгілі ең қысқа толқынға шейін қатарға тізіліп, электромагнит тербелістерінің «шкаласы» делінетінді жасайды.

Бұл шкаланың бір бөлігі төмендегі таблицада келтірілген, таблица толығырақ болу үшін оған бұл кітапта қаралмаған гамма-сәулесі де ендірілді.

Толқын шкаласының аймағының аты	Толқынның ұзындығы	Герцпен алынған жиілік
1. Төменгі жиілікті толқындар . . .	∞ —15 *км*	0 — $2 \cdot 10^4$
2. Радиотолқындар	15 *км*—1 *дм*	$2 \cdot 10^4$ — $3 \cdot 10^9$
3. Ультра радиотолқындар	10 *см*—0,1 *мм*	$3 \cdot 10^9$ — $3 \cdot 10^{12}$
4. Инфрақызыл толқындар	100 μ —0,76 μ	$3 \cdot 10^{12}$—$400 \cdot 10^{12}$
5. Жарық толқындар	0,76 μ —0,38 μ	$4 \cdot 10^{14}$— $8 \cdot 10^{14}$
6. Ультракүлгін толқындар	0,38 μ —5 *мμ*	$8 \cdot 10^{14}$— $6 \cdot 10^{16}$
7. Рентген толқындары	5 *мμ*—0,004 *мμ*	$6 \cdot 10^{16}$—$7{,}5 \cdot 10^{19}$
8. Гамма-толқындар	40 *X*—1 *X*[1])	$7{,}5 \cdot 10^{19}$— $3 \cdot 10^{21}$

Әдебиет. Иоффе А. Ф., акад., Электрический заряд (серия Учёные — школьникам).

[1]) X — ұзындық өлшемі, миллимикронның он мыңнан бір бөлігіне тең болады.

АТОМНЫҢ ҚҰРЫЛЫСЫ

235. Атомның күрделі құрылысының анықталуы. XIX ғасырдың кейінгі он жылдарына дейін кезкелген химиялық элементтің атомдары бөліктерге бөлінбейді деп ұйғарған еді; бұлай деп ұйғарылғанын атомның грекше атының өзі көрсетіп тұр (атом — грекше бөлінбейді деген сөз). Атом, туралы бұл ұғымға қайшы келген бірінші құбылыс катод сәулелерінің ашылуы болды (§ 106). Катод сәулелерінің магнит және электр өрістерінде бұрылуы, ол «сәулелер», заттың теріс электр қасиеті бар электрон деп аталатын, өте ұсақ бөлшектерінен құралатынын көрсетті.

Электрондардың электр және магнит өрістерінде қозғалысына олардың бұрылуын өлшеу, олардың өрістерде қандай жылдамдықпен қозғалатындығын есептеуге және олардың заряды мен массасының қатнасын анықтауға мүмкіншілік туғызды.

Кейінгі кездерде электрондардың заряды тікелей өлшеніп, электр мөлшерінің $4{,}8 \cdot 10^{-10}$ электростатикалық өлшеміне (CGSE) тең екендігі анықталды. Осы санның жәрдемімен электронның массасын есептеп табуға болады: $m = 9 \cdot 10^{-28}$ *г* (дөңгелектеп алғанда). Бұл масса атомдардың ішіндегі ең жеңілі — сутегі атомының массасынан 1836 (дөңгелектеп алғанда 1840) есе аз екен.

«Катод сәулелерінде табылған электрондар басқа көп құбылыстарда да байқалған, бұл құбылыстардың кейбіреулері оқушыларға бұрыннан белгілі.

Осындай трубкаларда байқалатын «анод сәулелері» (§ 107) деп аталатындар да оң электр қасиеті бар бөлшектердің ағыны болып табылады. Бұл бөлшектердің электр және магнит өрістеріндегі қозғалысын бақылау олардың қозғалыс жылдамдықтарын және зарядтары шамасының массаларына қатнасын табуға мүмкіншілік берді.

Трубкадағы катод сәулелерінің шығуы электродтардың затына байланысты болмайтындықтан, бұл сәулелердің пайда болуын, кезкелген элементтің атомдарының құрамында электрондар бар екендігімен ғана түсіндіруге болады.

Сонымен атом күрделі дене деп қаралатын болды.

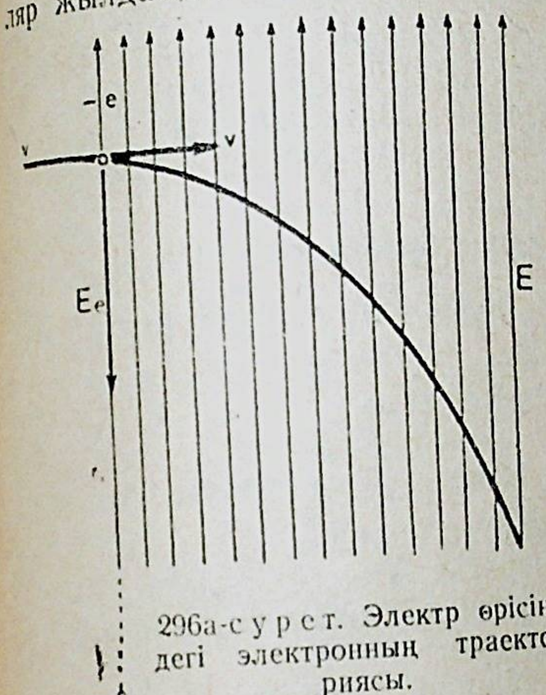
Барлық заттардың — бір атомды, екі атомды және көп атомды заттардың — молекулаларында электр қасиеті болмайтындығы бізге физика және химия курстерінен белгілі. Бұл тұтасымен алғанда атомда электр қасиеті болмайтындығын көрсетеді.

Олай болса атом құрамындағы бөлшектердің оң зарядтары мен теріс зарядтарының шамалары бірдей болғаны.

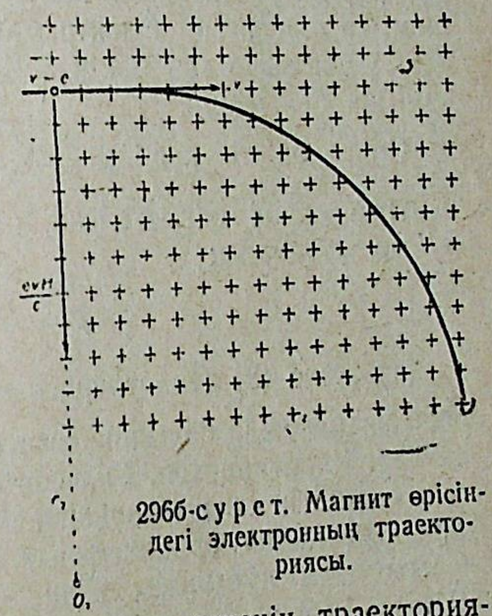
Бөлшектің электр және магнит өрістеріндегі траекториясының бұрылу шамасына қарап, бөлшектің жылдамдығын және заряд шамасының массасына қатнасын қалай есептеп табуға болады?

Бөлшектің жолына бостық трубада кернеулігі E, 296*а*-суретте көрсетілгендей электр өрісі жасалған болсын. Бұл өріске солдан оңға қарай массасы m, заряды e және горизонталь бағытталған v жылдамдықпен бөлшек ұшып кіреді. Бұл бөлшекке, жылдамдыққа перпендикуляр өріс күші Ee әсер етеді.

Егер бір ғана осы күш әсер етсе, онда бұл күштің әсерімен бөлшектер күштің бағытымен бірқалыпты үдеме қозғалар еді. Бірақ бөлшек, сонымен қатар, инерциясымен күш бағытына перпендикуляр жылдамдығын сақтап қалады. Бұл екі қозғалысты қосқанда



296а-сурет. Электр өрісіндегі электронның траекториясы.



296б-сурет. Магнит өрісіндегі электронның траекториясы.

тартылыс өрісінде горизонталь лақтырылған дененің траекториясындай траекториясы бар, яғни парабола шығатын қозғалыс пайда болады.

Параболаның қыйсықтығының бастапқы нүктедегі радиусын, екінші сөзбен айтқанда параболамен ортақ доғасы бар шеңбердің радиусын r_1 арқылы белгілейік. Бұл радиусты парабола формуласы бойынша есептеп табуға болады. Ол жоғары математиканың жәрдемімен, парабола формуласы бойынша есептелуі мүмкін.

Бұл жағдайда Ee күшті центрге тарту күші деп қарап, оны центрге тарту күшінің формуласы бойынша былай өрнектеуге болады:

$$Ee = \frac{m v^2}{r_1} \qquad (1)$$

Осындай горизонталь бағытталған v жылдамдықпен ұшып бара жатқан сол бөлшекке кернеулігі H магнит өрісі әсер етеді дейік. Біртекті магнит өрісі кернеулігінің векторларын өзімізден сурет жазықтығына перпендикуляр етіп бағыттаймыз (296б-сурет),

Электрдің козғалыстағы бөлшегі, күші ev электр тогының элементі болып табылады. Магнит өрісі электр тогын токтың және өрістің күш сызықтарының бағыттарына перпендикуляр бағытқа қарай бұрады. Қозғалыстағы заряд теріс заряд болғандықтан ол Флеминг ережесі бойынша табылатын бағытқа (§ 82), қарсы бағытқа қарай бұрылуы керек.

Өрістің күші әрбір нүктеде токтың бағытына перпендикуляр болады. Сондықтан электронның траекториясы шеңбер болу керек; бұл шеңбердің r_2 радиусын фотографиялық суреті бойынша өлшеуге болады.

Ұзындығы l, күші I токтың элементіне кернеулігі H өрістің әсер ететін күші, Ампер заңы бойынша HIl көбейтіндісіне тең болу керек. Бірақ, бұл формулада электр мөлшері, $CGSE$ системасымен емес, электростатикалық өлшемнен $3 \cdot 10^{10}$ есе үлкен басқа өлшеммен өлшенген. Электр мөлшерінің e шамасын бұл формулаға қою үшін оның сан мәнін $3 \cdot 10^{10}$ есе азайту керек. Бұл шаманы c әрпімен белгілейік.

Сонда өрістің күші $H\frac{e}{c}v$ арқылы өрнектеледі. Бұл күш ылғи центрге қарай бағытталған, олай болса ол центрге тарту күші болып табылады:

$$\frac{e}{c}v = \frac{mv^2}{r_2} \quad \text{немесе} \quad H\frac{e}{c} = \frac{mv}{r_2} \qquad (2)$$

(1) және (2) теңдеулерден v ні және $\frac{e}{m}$ қатнасты басқа өлшенген шамалар бойынша есептеп табуға болады.

236. Спинтарископ. Вильсон камерасы. Атом құрылысының күрделі екендігін анықтағаннан кейін физиктер атомның жеке құрамдарының қалай орналасқанын зерттеуге кірісті.

Атомның құрылысы жөніндегі бірінші сенімді мәліметтерді 1919 ж. Резерфорд тапты. Резерфорд түрлі заттарды гелийдің иондарымен атқылап, бұл бөлшектердің ағыны зат арқылы өткенде қалай шашырайтындығын байқаған.

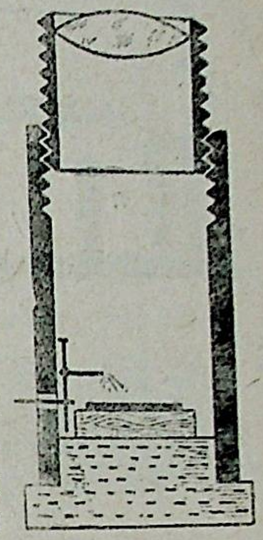
Радиоактивті заттардан гелийдің бұл иондары көп энергиямен ұшып шығатынын химия курсінен білеміз және бұл жағдайларда да олар α-бөлшектер (альфа-бөлшектер, § 224) деп аталады.

α-бөлшектерді оптикалық приборлардың қайсысымен болса да көруге болмайды, бірақ оларды әсерлеріне қарап бақылауға болады.

α-бөлшектерді бақылауға әртүрлі приборлар қолданылады; олардың ішінен спинтарископ пен Вильсон камерасына тоқталып кетелік.

а) **Спинтарископ.** Катод және анод ағындарының бөлшектері сыяқты альфа-бөлшектер де флюоресценция шығарады (§ 106 § 107). Спинтарископ-альфа-бөлшектер соғылған уақытта флюоресценцияланатын күкіртті мырыш қапталған экран сыяқты түбі бар қысқа түтік; түтіктің тесігіне лупа орнатылған; осы лупа арқылы экранды қарауға болады (297-сурет). Экранға жақын

жерден, түтіктің ішіне қарай ине өткізілген; бұл иненің ұшына, альфа-бөлшектер шығаратын өте кішкентай зат шаншылған. Өте қараңғы жерде лупа арқылы экранды қараған бақылаушы экранның әр жерінен ұшқындар (сцинтилляцияны) көреді. Сондықтан да бұл құрал «спинтарископ» деп аталады; бұл сөз грек тің *спинтер*-ұшқын, *скопео*-керемін деген сөздерінен құралады.



297-сурет. Спинтарископ (схемалық кесіндісі).

Бақылаушы, экранда байқалған ұшқындар бойынша, радиоактивті препараттан шыққан α-бөлшектерді санауына және олардың экранға тиген орындарын анықтауына болады. Резерфорд, радиоактивті препарат пен экранның арасына өте жұқа әртүрлі заттарды орналастырып, бөлшектер ағыны осы заттардан өткеннен кейін қалай шашырайтындығын байқаған. Бұл шашырауды Резерфорд бөлшектер мен заттың атомдарының өзара әсерлесуінен болатын құбылыс деп түсіндірді. α-бөлшек атомға неғұрлым жақындап ұшса, ол өзінің бастапқы қозғалысының бағытынан солғұрлым көбірек ауытқыйды. Резерфорд α бөлшектердің көп ауытқуы сирек кездесетінін байқаған, бұдан ол α-бөлшектердің ағыны заттың қабатынан өткенде, олардың азшылығы ғана атомдардың оң зарядталған ядросына жақын өтеді деп қорытынды жасады.

Газдың кинетикалық теориясы бойынша, атомның радиусы 10^{-8} *см* шамасында деп есептелуші еді. Ал Резерфордтың өлшеуі, атом ядросының радиусы 10^{-13} *см* ретінде екендігін көрсетті.

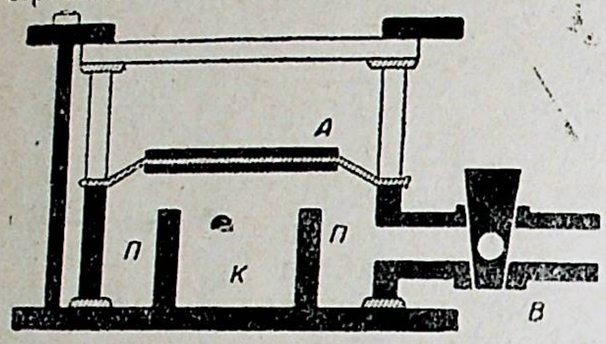
б) **Вильсон камерасы** — қызметі молекулалардың альфа-бөлшектермен иондануына негізделген прибор. Иондану құбылысы және түрлі иондағыштар жоғарыда (§ 86, § 100) қарастырылған. Иондардың өздері, молекулалар сыяқты, жай көзге де және ешбір оптикалық прибор арқылы да көрінбейді.

Бірақ, қаныктырушы бұлардың конденсациялану процесінде тозандар қандай роль атқарса, иондар да сондай роль атқарады. Тозандар да, иондар да жоқ өте таза ауада, қаныққан булар температура төмендесе де сұйыққа айналмай сол қаныққан күйінде, яғни өте қаныққан күйінде тұра алады. Егер осылайша бумен қаныққан ауаға тозандарды немесе иондарды жіберсе, онда олардың әркайсысы сұйық көпіршіктің центріне айналады да, солардың жыйынынан тұман жасалады.

Альфа-бөлшек өзінің қозғалысында ауада 200 000 пар шамасында иондар жасайды, өзінің жолының әрбір сантиметрінде бірнеше ондаған мың ион жасайды. Ион судың қабықшасымен (немесе буы кеңістікті қаныктыратын басқа сұйықтың қабықшасымен) қапталады. Бұл көпіршіктер, әрбір альфа-бөлшектің жүрген жолын көрсететін және «трэк» деп аталатын, тұманды жолақ жасайды.

Сонымен, өздері көзге көрінбейтін болса да, әрбір альфа-бөлшектің қозғалысын бақылауға болады.

Прибор, кеңістіктің бумен өте қанығуын қалайша қамтамасыз ете алады? Вильсон камерасының құрылысы мен қызметін 298-суретке қарап түсінуге болады. Жылжымалы *А* түпнің үстіндегі кеңістік су буымен қаныққан ауамен толтырылған. *А* түпті төмен түсіргенде бумен қаныққан ауа ұлғаяды, сонда ол ауа суйыды да өте қаныққан күйге жетеді (II бөлім, § 120). Сол кезде камераның ішіне ұшып өтетін альфа-бөлшектер, өздерінің ұшып өткен жолындағы буды конденсациялайды, сонымен альфа-бөлшектердің трэктері жасалады, ал бұл трэктерді камераның жоғарғы шыны қақпағы арқылы суретке түсіріп алуға болады.



298-сурет. Вильсон камерасы.

Қарайтылған бөлігі — латунь, ақ бөлігі — шыны, штрихталған бөлігі — резина. Бақылау кеңістігінің түбі *А* — жылжымалы (резина мембрана арқылы). Камераның төменгі жағы *К*, винтиль *В* арқылы вакуумен қосылады. Камераның жоғарғы жағындағының жылжымалы түбі *П*. тіреулерге тигенше төмен түседі.

237. Атомның ядролық құрылысы. Ғалымдардың қарамағында он мыңдаған бақылаулар және альфа-бөлшектер трэктерінің фотографиялық суреттері бар (299-сурет).

Магнит және электр өрістеріндегі қозғалысының сипатына қарап альфа-бөлшекте, электрон зарядынан екі есе артық оң заряд барлығын және оның массасы $m = 6{,}644 \cdot 10^{-24}$ *г* (сутегі атомынан 4 еседей артық) екендігін есептеп шығаруға болады. Оның жылдамдығы $v = 20\,000$ *км/сек*. Осындай «снарядтың» энергиясы 6 000 000 электрон-вольт шамасында болады.

Электрон-вольт — энергия өлшемі, ол атом құрылысы теориясында қолданылады.

Электрон-вольт — электронның, потенциалдар айырмасы бір вольт учаскеден өткенде, электр өрісінен алатын кинетикалық энергиясына тең энергия. Егер электрон, кернеуі 1 000 вольт участкеден өтсе, онда оның энергиясы 1 000 электрон-вольтке тең болады. Энергияның бұл өлшемін *eV* деп белгілейді. Миллион электрон-вольт мегаэлектрон-вольт деп аталады да *MeV* деп белгіленеді.

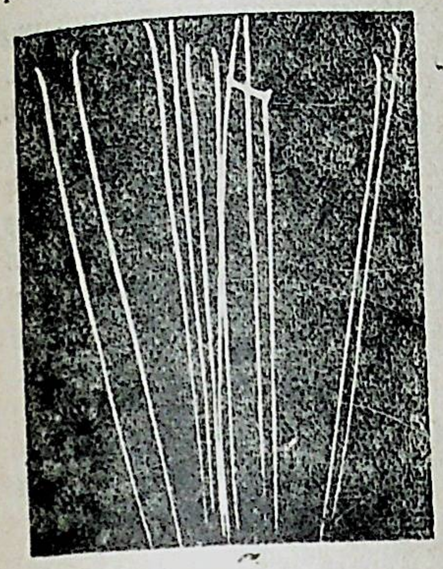
Электрон-вольт, *CGS* системасындағы энергия өлшемінен әлде қайда кіші, атап айтқанда $1eV = 1{,}6 \cdot 10^{-12}$ эрг болды.

Фотографиялық суретке басып алынған және тікелей бақылауда байқалған жүздеген мың трэктер нені көрсетеді? Трэктердің басым көпшілігі түзу сызықты болып келеді. Өте азшылығы ғана «шанышқы» тәрізді немесе 299 а, б-суреттердегідей түзу сызықтылығынан ауытқыған болып келеді.

Жиірек кездесетін ауытқу бұрыштары әртүрлі заттар үшін түрліше болады, мысалы, ол алюминий үшін 0,6°, алтын үшін 2,1° болады. Бір зат үшін ауытқу бұрышының әртүрлі болуы кейде жиі, кейде сирек кездеседі. Бөлшектің кейін серпіліп қайтуы өте сирек кездеседі.

Қандай болса да ауытқу жағдайларының қайталап кездесуінің жиілігінен қандай қортынды шығаруға болады?

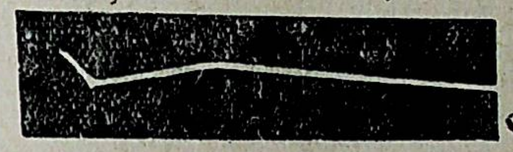
Түзу сызықты трэктердің санының өте көп болуы өздерінің жолында он мыңдаған атомдарды кездестіретін альфа-бөлшектер бөгелмей атомдардан тура өте шығатындығын көрсетеді, бұған қарағанда атомның массасы атомның барлық көлемін толтырып тұрмайтындығы байқалады.



299а-сурет. Қарқынның ақырындағы альфа-бөлшектердің іздері.

Оң зарядпен зарядталған альфа-бөлшектің жолынан ауытқуы, Кулон заңы бойынша тек басқа бір оң зарядпен әсерлесуінен ғана болу керек.

Бұған қарағанда атомның негізгі массасы өте кішкене ғана көлемде және онда оң заряд бар екендігі байқалады. Атомның бұл бөлігі ядро деп аталады.



299б-сурет. Екі рет соқтығысқан альфа-бөлшектің ізі.

Альфа-бөлшектердің кері қарай қозғалуы және әртүрлі заттардың атомдарының ядросына жақындағанда әртүрлі бұрышқа ауытқуы, альфа-бөлшек ядродан әртүрлі қашықтықта ұшып өтетіндігімен және сондықтан альфа-бөлшекпен ядролардың арасындағы өзара әсерлесу түрліше болатындығымен түсіндіріледі (300-сурет).

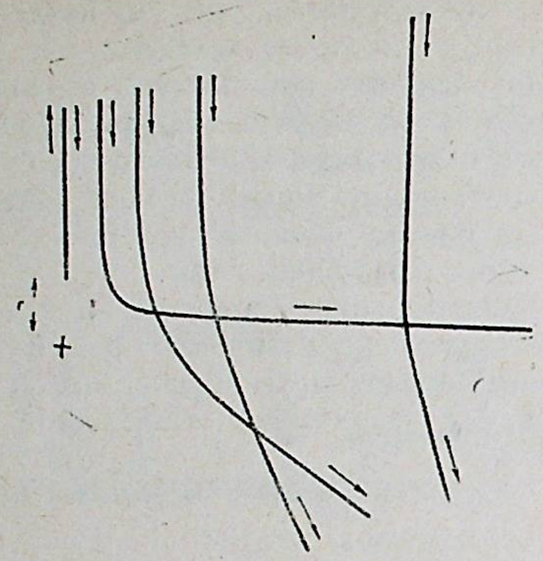
Трэктерді зерттеуге математикалық анализды қолданып ядроның диаметрі $10^{-13} — 10^{-12}$ *см* шамасында болатындығын тапқан. Қезкелген затта ядролардың алып тұратын нақтылы көлемі, атомның жалпы көлемінің миллиард үлесінің жүз мың бөлігіндей болады.

Осындай тәжрибелердің барлық жыйынынан шығатын екінші бір маңызды қортынды: ядроның заряды элементарлық зарядқа $4{,}8 \cdot 10^{-10}$ *CGSE* еселі болуы және ядроның элементарлық зарядының жалпы саны элементтің Менделеев системасындағы рет номеріне дәл келуі.

Сонымен, Менделеев, жоғарыда айтылған тәжрибелерден көп бұрын жасаған өзінің системасында, элементтер құрылысындағы терең заңдылықты елден бұрын болжап айтқан екен.

Толып жатқан тәжрибе материалдарына негізделіп атом құрылысының ядролық теориясы жасалды.

Атомның ядросы, атомның барлық көлемінің өте аз ғана бөлігін алып тұрады; атомның барлық оң заряды және барлығы дерге



300-сурет. Атом ядросына жақын ұшқан альфа-бөлшектердің траекториясы (масштаб: 10^{-12} *см* суретте 2 миллиметрмен кескінделген).

лік массасы (электрондарға жататынынан басқасы) ядрода болады: нейтрал атомның электрондар саны ядроның элементар оң зарядының санына тең болады, демек, ол сан элементтің Менделеев системасындағы рет номеріне де тең болады.

238. Сызықша спектрлардың құрылысы. Жоғарыда айтылған тәжрибелер элемент атомындағы электрондардың санын анықтағанымен, олардың ядроға қарағанда атомда қалай орналасқаны жөнінде нұсқау бере алған жоқ.

Бұл мәселенің түсінігін элементтердің сызықша спектрының анализынан алуға болады (§ 218, § 219). Олардың заңдылығымен сутегі спектрін қарастыру арқылы танысамыз. Спектр анализы ашылғаннан бастап бұл спекторда айрықша бес түсті сызықтың бар екендігі белгілі еді; осы кезде спектордың көзге көрінетін және көрінбейтін бөліктеріндегі сызықтар саны 30 ға шейін артты.

Толқынның ұзындығы бойынша тербелістің жиілігі есептеліп шығарылды (§ 143).

Ілгеріде айтылатындар түсінікті болу үшін жиіліктің спектроскоптық бақылаулардан қорытылып шығарылған сандарын келтірейік (таблицаның 1-бағанасы).

Жиілік ν	$k\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}\right)$	n
$456{,}996.10^{12}$	$3{,}290364 \cdot 10^{15}\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{3^2}\right)$	3
$616{,}943.10^{12}$	$\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{4}\right)$	4
$690{,}975.10^{12}$	$\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1^2}{5^2}\right)$	5
$761{,}193.10^{12}$	$\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{6^2}\right)$	6
$755{,}441.10^{12}$	$\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{7^2}\right)$	7
$814{,}361.10^{12}$	$\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{20^2}\right)$	20

XIX ғасырдың 80-ші жылдарында, Швейцариядағы бір гимназияның оқытушысы Бальмер, сол кезде белгілі болған алғашқы

бес сандардың арасында белгілі бір қатыс бар ма екен деген мәселеге көңіл бөлді. Бұл сандарға түрліше тексеру жүргізіп, олардың барлығына бірдей ортақ бөлігін тапты да, соларды екінші бағанада жазылғандай түрге келтірді (үлкен дәлдік дәрежесінде). Сандардың бұл сыяқты белгілі бір заңдылықпен өзгеріп отыруын бір формуламен өрнектеуге болады:

$$\nu = K\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}\right),$$

мұндағы $K = 3{,}290\,364 \cdot 10^{15}$, ал $n = 3, 4, 5, 6, 7\ldots$ (формула екінші бағананың үстіне жазылған, үшінші бағанада n нің мәндері қойылған).

Бұдан былай спектрдің ультракүлгін бөлігінің сызықтары зерттеліп, олардың жиілігі мына формуламен табылатындығы анықталған:

$$\nu_{\text{ук}} = K\left(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{n^2}\right),$$

мұндағы $n = 2, 3, 4,\ldots$ (бүтін сандар).

Инфрақызыл бөлік үшін:

$$\nu_{\text{ик}} = K\left(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{n^2}\right),$$

мұндағы $n = 4, 5, 6,\ldots$ (бүтін сандар). Осы үш формулалардың бәрін бір формулаға келтіруге болады:

$$\nu = K\left(\frac{1}{n''^2}-\frac{1}{n'^2}\right).$$

Спектрдің ультракүлгін бөлігі үшін $n'' = 1$, спектрдің көрінетін бөлігі үшін $n'' = 2$ және спектрдің инфрақызыл бөлігі үшін $n'' = 3$ болады.

Басқа элементтердің спектрлері үшін де осы тәрізді формулалар қортылып шығарылғандықтан табылған заңдылықтар кездейсоқ заңдылықтар болмау керек, олар элементтердің өздерінің құрылысынан шығатын заңдылықтар болу керек.

239. Сутегі атомының электрондық қабықшасы. Ғалымдардың қолындағы барлық мәліметтердің жыйнағына қарағанда, электрондар теріс зарядты бөлшектер — ядродан тыс жататындығы байқалды. Электрондар ядродан тыс болғандықтан, оларды ядроға қарағанда тыныштық күйде болады деп айтуға болмайды, себебі электрондар тыныштық күйде болса, оларды әр аттас зарядтар жөніндегі Кулон заңы бойынша, ядро өзіне қарай тартып алар еді. Сонымен электрондар ядроны айналып жүреді. Барлық электрондардың саны ядроның элементар зарядтарының санына тең, өйткені олар өздерінің теріс зарядтарымен ядроның оң зарядын нейтралдайды.

Электрондар ядродан айналып жүргенде қандай қашықтықта

екендігін осы күнгі физика тек шамалап қана есептеп айта алады. Бұл есептеулерге қарағанда электрондардың ядродан қалаған қашықтықта болуы мүмкін емес. Сутегі электронының ядродан ең ықтыймал қашықтығы $r_1 = 0{,}5305 \cdot 10^{-8}$ *см*, ал r_1 деп үлкен әрбір келесі қашықтықтар, бүтін сандар тізбегі квадраттарына тең есе, яғни 2^2, 3^2, 4^2,... есе сол r_1 ден үлкен болады.

Электрон ядродан осы мүмкін қашықтықтардың біреуінде болғанда оның белгілі бір энергиясы болады, бұл энергия оның ядромен салыстырғандағы кинетикалық энергиясы мен потенциялық энергиясынан құралады, ал бұл энергияларды электронның массасы, оның заряды, жылдамдығы және ядродан қашықтығы арқылы есептеп шығаруға болады.

Электрон мүмкін алыс қашықтықтан ықтыймал жақын қашықтықтардың біреуіне секіріп түскенде атом энергия квантын сәулелендіреді; атомның сәулелендірген кванты, электрон секіріп шығатын қашықтықтағы энергиясы мен секіріп түсетін қашықтықтағы энергиялары мөлшерінің айырмасына тең болады. Энергия квантының шамасын біле отырып, сәулеленген толқынның ұзындығын және тербеліс жиілігін есептеп шығаруға болады (§ 232).

Сутегі сәулелендірген толқындардың есептелген жиіліктері бақыланған жиіліктермен бірдей дерліктей дәл келеді.

Сонымен, атомның электрон қабықшасын бұдан бұрын зерттеген құрал заттардың шығаратын сызықша спектрлері болса бұдан былай да сол құрал болуы тиіс.

Бұдан былайда спектрді жете зерттеу, электрондық қабықшаның құрылысын дәлірек анықтауға мүмкіншілік береді.

240. Кезкелген элементтің атомдарының электрондық қабықшалары. Сутегі атомын мысалға алып атомның электрондық қабықшасын зерттеудің методы көрсетілген.

Басқа атомдар үшін есептер және ұйғарулар қыйындай береді, өйткені олардың қабықшаларындағы электрондардың саны элементтің рет номері өскен сайын арта береді.

Атомдарда электрондар ядроны айнала қабат-қабат болып орналасады.

Мұндай орналасудың қалай табылғандығын түсіндіруге тоқталмай, тек кейбір мысалдарды ғана келтірейік. Сутегінің протон деп аталатын ядросының айналасында бір электрон қозғалады. Гелийден бастап, элементтердің ядроға жақын қабатында екі электрон қозғалады.

Элементтер системасының екінші периодына кіретін элементтерде алғашқы екі электроннан басқа екінші қабатты құрайтын электрондар бар, ал осы периодтың бірінші тобындағы литий элементінде, осы қабатта бір электрон, екінші топтың элементі — бриллийде 2 электрон, үшінші топтың элементі — борда 3 электрон бар, осылайша арта береді де, жетінші топтың элементі — фторда екінші қабатта жеті электрон болады. Екінші периодтың нольдік тобындағы неон элементінің сыртқы қабатында 8 электрон болады. 11 ден (бірінші топтағы — натрий) 17 ге дейін (жетінші топтағы — хлор) электрондары бар үшінші периодқа кіретін басқа элементтер үшінші қабатында электрондар 1 ден 7 ге дейін орналасады, ал осы периодтың нольдік тобындағы аргон элементінің үшінші қабаты 8 электроннан тұрады да, бұл қабат тұрақты қабат болады. Төртінші периодтың топтарындағы жаңа қабат қайтадан бірден бастап 7 ге дейін электронға толады.

Рет номері үлкен элементтердің электрондарының қабаттарға орналасуы күрделене береді.

Нольдік топтағы инертті газдардың қайсысының болсын сыртқы қабатында 8 электрон болады.

Кейбір элементтердің атомдары, сыртқы қабатындағы электрондарын оңай береді де ионға айналады. Мысалы: натрий, калий тағы басқа сілтілі металдар (1-топ) сыртқы қабатындағы жалғыз электронын жоғалтып бір валентті оң ионға айналады, сонда алдыңғы қабат 8 электронды сыртқы қабат болады да электрондық қабықша тұрақталады. Екінші топтың элементтері кальций, барий тағы басқа сілтілі-жер металдары сыртқы екі электрондарын жоғалтып екі валентті оң ионға айналады да осы түрінде химиялық қосылыстарға түседі.

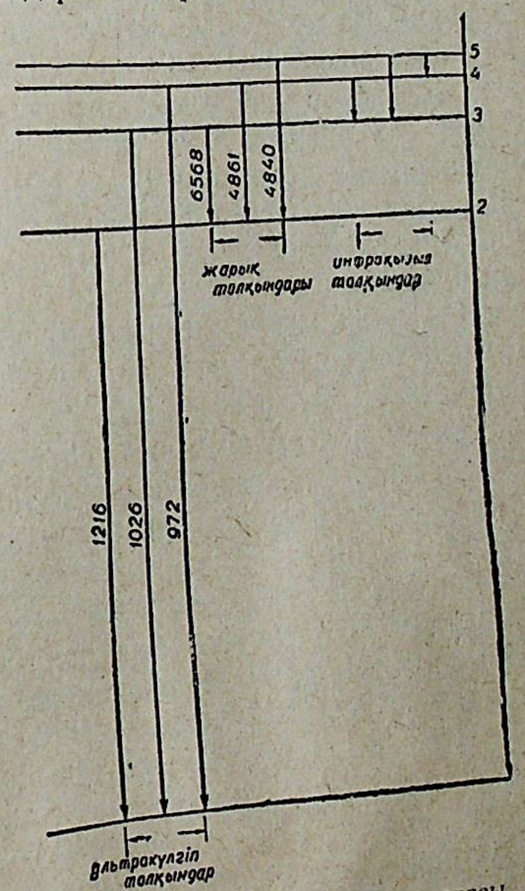
Керісінше, сыртқы қабатында 7 электрондары бар 7-топтың элементтері-галоидтар: фтор, хлор, бром, иод химиялық реакцияларға тез түсуге өте бейім келеді; егер бұлар бір валентті элементтермен химиялық реакцияға түссе, онда олардың сыртқы қабатындағы жалғыз электронын өздерінің сыртқы қабатына қосып алып, бір валентті теріс ионға айналады.

Сыртқы қабатында 8 электроны бар элементтер қабатына едәуір орнықты электрондар системасын жыйнағандықтан инертті болады.

Сыртқы электрондар құбылысы химиялық реакцияны туғызады.

241. Атомның энергетикалық деңгейлері. Сутегі атомының құрылысын тексергенде, оның электроны ядродан кезкелген қашықтықта емес, белгілі бір қашықтықтарда тұратындығы және бұл қашықтықтар үздіксіз өзгеріп отырмай, секірмелі түрде өзгеріп отыратындығы айтылған еді.

Әрбір ықтыймал қашықтыққа электронның белгілі бір энергиясы сәйкес келеді. Электронның ие бола алатын энергияларының мәні энергияның деңгейлері деп аталады;



301-сурет. Сутегі атомы энергиясы деңгейінің схемасы.

бұлар да секірмелі түрде өзгереді. Энергияның деңгейлерін график түрінде кескіндеуге болады (301-сурет).

Бір горизонталь сызықты атомның нормаль күйі деп аталатын қозбаған күйіне, яғни электронның ядроға ықтыймал жақын қашықтығына сәйкес деңгей етіп алады.

Вертикальдың бойына шартты масштабпен келесі энергияның нормаль күйдегі энергиядан артық мәнін салады да, кесінділердің ұштары арқылы горизонталь сызықтар жүргізіледі; осы горизонталь сызықтар энергия деңгейлерінің графиктік кескіні болып табылады. Екі деңгейдің энергияларының айырмасы, электроны ықтыймал алыс қашықтықтардың біреуінен ықтыймал жақын қашықтықтардың біреуіне секіріп ауысқанда, атомның сәулелендіріп шығаратын к в а н т мәнін береді. Графикте энергия деңгейлерінің бірінен-бірінің арасы неғұрлым қашық болса, сәулелену жиілігі де солғұрлым көп болады.

Сутегінің атомы жарық толқынын шығару үшін оның электроны 3-деңгейден ($\lambda = 656{,}3\ m\mu$), 4-деңгейден ($\lambda = 486{,}1\ m\mu$) не 5-деңгейден ($\lambda = 434{,}0\ m\mu$), 2-деңгейге секіруі керек; ультра күлгін толқындар шығару үшін электрон 2-деңгейден ($\lambda = 121{,}6\ m\mu$), не 3-деңгейден ($\lambda = 102{,}6\ m\mu$), не 4-деңгейден ($\lambda = 97{,}2\ m\mu$) 1-деңгейге секіруі керек; ақырында егер электрон 4-деңгейден не 5-деңгейден 3-деңгейге, сондай-ақ, 5-деңгейден 4-деңгейге секірсе, онда инфрақызыл толқындар сәулеленіп шығады. Сонымен атом қашан да болса энергияны тек кванттап қана береді.

Сәуле беру үшін атом қозу керек, яғни қандай энергия көзінен болса да энергия алуы керек. Бірақ атомды кезкелген энергия мөлшерімен қоздыруға болмайды, атом қозу үшін электронның сіңіретін энергиясының мөлшері оның ядроға жақын орындарының біреуіне сәйкес келетін энергиясының мөлшерін ядродан қашық орындарының біреуіне сәйкес келетін энергиясының мөлшеріне өзгерте алырлықтай, яғни электронның энергиясының запасы энергияның төменгі деңгейінен жоғарғы деңгейлердің біреуіне ауыса алырлықтай болуы керек.

Сонымен атом энергияны сіңіргенде кванттап сіңіреді екен.

Электрондарының саны сутегінікінен көп болатын атомдарда энергия деңгейлерінің орналасуы негізінде сутегінікі сыяқты деуге болады, бірақ бұларды энергия деңгейлерінің орналасуы бірсыпыра күрделілеу болып келеді.

242. Радиоактивтік. Электрондық қабықшаның негізгі қасиеттерін анықтағаннан кейін атом ядросының құрылысы туралы мәселе туады. Бұл мәселенің өзінің қойылуы кейбір элементтердің «радиоактивтігі» табылуынан шыққан. Бұл қасиеттің ашылуының алғашқы сатысына қысқаша тоқталып кетейік.

1895 жылы, Рентген өзінің атымен аталған, сәуленің жаңа бір түрін ашқаны оқушыларға мәлім, бұл сәуленің негізгі қасиеттері 229-параграфта айтылған. Француз ғалымы Беккерель флюоресценцияланатын кейбір заттардың жарығына ұқсас, жасыл-сары

жарықпен тәжрибе кезінде жарықталған шыны түтіктің ұшынан, рентген сәулелері шығатынын байқаған (§ 231,5).

Содан кейін Беккерель, флюоресценцияланатын заттардың барлығы да рентген сәулесін бермес пе екен деген мәселені зерттеуге кірісті. Бұл мәселені зерттеу үшін ол екілік күкіртті-қышқыл уран тұзын алды. Беккерель, көрінетін сәулелерді тіпті өткізбейтін, қара қағазға оралған фотопластинкаға, уран тұзы кесегінің әсерін тексеруді зерттеу методы етіп алды. Ол кезде рентген сәулесінің өтімділік қасиетінің күштілігі және фотопластинкаға әсерін тигізетіндігі мәлім болған еді.

Беккерель, шкафтағы қара қағазға ораған фотопластинканың үстіне уран тұзының кесегін қойды да, күн бұлыңғыр болғандықтан флюоресценция тудыру үшін көпке дейін препаратын күнге коя алмады.

Препаратты күнге қойып тәжрибені қайталаудан бұрын, Беккерель шкафта көп уақыт жатып қалған пластинканың жарамдылығын байқағысы келді де біреуін алып, проявительге салды. Фотопластинканың бетіне, флюоресценциясыз-ақ бедер түсіп қалғандығын көріп Беккерель таң қалады. Сонымен, 1896 жылы өз бетімен шығып жататын сәуле табылды; бұл сәулені радиоактивтік деп атады (*радиус* — сәуле деген латын сөзі).

Беккерельден кейін көп ұзамай-ақ Мария Складовская-Кюри ураннан басқа да радиоактивтік торий, полоний және радий деген радиоактивті элементтерді тапты, бұл элементтердің радиоактивтігі басқа радиоактивті элементтерден анағұрлым артық екендігі анықталды. Осы кезде 40 тан аса табиғи радиоактивті элементтердің бар екендігі белгілі.

Радиоактивті заттардың танылуына себеп болатын мынадай қасиеттері болады:

1. Фотопластинкаға әсер етеді;
2. Флюоресценцияны болдырады;
3. Зарядталған денені, мысалы электроскопты разрядтайды;
4. Ауаны иондандырады (§ 100);
5. Маңайындағы заттардың температурасын арттырады;
6. Жануарлардың клеткаларын бұзып, ауру тудыратындарын жоқ қылады да, ұзақ уақыт әсер етсе сауларына зиян келтіреді.

Радиоактивті заттардың флюоресценциялайтын қасиетін, қараңғыда жарық беретін құрамды жасау үшін пайдаланады. Мысалы өте кішкене радий бөлшегі мен күкіртті мырыштың қоспасы осындай құрамалардың бірі болады. Мұндай құрамдармен сағаттың циферблатын және қараңғыда сығалауға қолайлы болу үшін мылтықтың қарауылын қаптайды. Осы кезде жарық беретін құрамдар техниканың көп тарауларында және соғыс істерінде қолданылады.

Электроскоптың разрядталуы радиоактивтікті табу үшін және оның қандай дәрежеде екендігін өлшеу үшін қолданылатын ең қолайлы және сезімтал әдістердің бірі болып табылады.

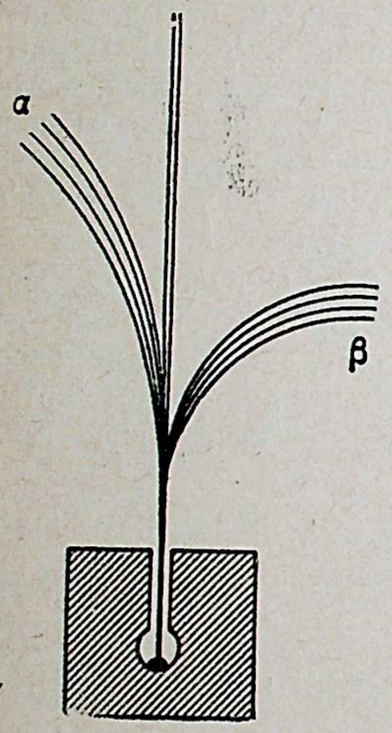
Радиоактивті сәулеленудің организмнің тірі клеткаларына

әсер етуі медицинада пайдалануға мүмкіншілік туғызды. Радий сәулелерімен ракты ісіктерді (жанды жараларды) емдейді.

Алтын футлярға салынған радий препаратын мүмкін болғанынша ісігі бар жерге жақындатып орналастырады да, осы жерді дәрігердің айтуы бойынша сәулелендіреді. Сәуле сау жердің клеткасынан гөрі ісік жердің клеткасына көбірек әсер етіп, оны бұзады.

Радиоактивті заттың препаратын мұзы бар калориметрге салып кәдуілгі калориметрлік жолмен (II б., §40, §103) радиоактивті заттардың уздіксіз бөліп шығаратын және жоғарыда айтылып кеткен әсерлері бойынша байқалатын энергиясының шамасын табуға болады. Өлшеулер 1 *г* радий сағатына 140 калория жылу беретіндігін көрсетеді.

Энергияның сақталу және айналу заңдарының барлық құбылыстарға бірдей ортақтылығы — зерттеушілердің алдына энергияның мұндай үздіксіз бөлініп шығуы нешің есебінен болады деген табиғи мәселені қойды. Бұл сұрақка жауап беру үшін радиоактивті сәулеленудің құрамын зерттеу керек болды.



302-сурет. Радиоактивтік сәулеленуді магниттік өріспен айыру жөніндегі тәжрибенің схемасы.

243. Радиоактивті сәулеленудің құрамы. Радиоактивті сәулеленудің құрамын зерттеу үшін басқа сәулеленулерді — катодтық және анодтық сәулеленулерді — зерттеуде сыннан өткен әдіс қолданылды, атап айтқанда бұған да магнит не электр өрістерінің ететін әсері пайдаланылды. Кішкене қорғасын коробкадағы жіңішке каналға радиоактивтік заттардың бөлшектерін орналастырады (302-сурет). Прибордың айналасына күшті магнит өрісін жасайды. Суретте бұл өрістің күш сызықтары, сурет жазықтығына перпендикуляр бағытталған да бізден әрі қарай тартылған.

Тәжрибелер радиоактивтік сәулелену үш бөліктен құралатынын көрсетеді: бұлардың біреуі магнит өрісінің әсерімен он зарядпен зарядталған бөлшектердің ағындарына сәйкес жаққа қарай аздап қыйсаяды (суретте сол жақтағы); екінші — теріс зарядталған бөлшектердің ағынына сәйкес жаққа қарай өте күшті бұрылады (суретте оң жақтағы); үшіншісі ешқайда бұрылмайды.

Бірінші бөлік альфа-сәулелер делінеді (α-сәулелер); екінші бөлік бета-сәулелер делінеді (β-сәулелер); үшінші бөлік гамма-сәулелер (γ-сәулелер) делінеді.

244. Альфа-сәулелердің қасиеттері. Бөлініп шығатын бөлшектердің санын ауадан және әртүрлі заттардан өткендегі олардың жолдарын қандай приборлармен және әдістермен есептеу 236 §-та айтылған еді. Ал бөлшектердің жылдамдығын және зарядының

массасына қатнасын олардың магнит және электр өрісінде бұрылу шамасына қарап анықтауға болады. Бұл жерде айтылмай отырған басқа бақылаулар мен есептеулерді еске алып, альфа-сәулелер жөнінде физика ғылымы тапқан мынадай мәліметтерді көрсетіп кетуге болады.

1. Альфа-сәулелер—альфа-бөлшектердің (α-бөлшектердің) ағыны. Әрбір альфа-бөлшек гелийдің ($m = 4$ атомдық масса[1] өлшеміне, заряды $q = 2e$) екі валентті ионы болады.

Бұл қортынды, есептеулермен қатар, радий тұзының түйіршігі салынған түтікте біраз уақыт өткеннен кейін гелийдің пайда болуына да негізделген. α-бөлшектерін бөліп шығаратын радиоактивті заттары бар минералдардың қайсысында болсын әруақытта гелий табылады, ал радиоактивті заттары жоқ минералдарда гелий болмайды. Бұл заңдылықтан гелий тек радиоактивті заттар сәулелендіретін альфа-бөлшектерден ғана пайда болады деген қортынды шығады.

2. Альфа-бөлшектер атомның ядросынан бөлініп шығады.

3. Әрбір атом бір ғана альфа-бөлшекті шығарады.

4. α-бөлшектің сәулеленуі бір қалыпты болмайды.

5. Түрлі элементтердің альфа-бөлшектерінің жылдамдығы түрліше, бірақ бір элемент үшін бірдей деуге болады; Альфа-бөлшек жылдамдығының шамасы $2 \cdot 10^9$ *см/сек* = 20 000 *км/сек* болады.

6. Қандай радиоактивті элемент болса да оның альфа-бөлшегінің әсер қашықтығының ерекше белгілі шамасы болады, бұл шамадан артық жерден альфа-бөлшектерді байқауға болмайды. Альфа-бөлшектің әсер қашықтығын оның қарқыны дейді.

Мысалы: уранның альфа-бөлшегінің ауадағы қарқыны 2,7 *см*; радийдікі — 3,4 *см*, радий C^1 — 7 *см*; кейбір радиоактивтік элементтер қарқыны 3908,5 *см* болады. Қатты және сұйық денелердегі альфа-бөлшектің қарқыны ауадағы қарқынымен салыстырғанда азая береді.

7. Альфа-бөлшектің жылдамдығы $1{,}5 \cdot 10^9$ *см/сек* болғанда, оның бастапқы энергиясының шамасы 10^{-5} эрг болады.

Осындай энергиясы бар бір альфа-бөлшек, атмосфералық қысымда және 0° температурада өзінің жолындағы ауада 220 000 пар ион жасайды, 1 пар ион жасау үшін 33 *eV* энергия керек.

8. Неғұрлым радиоактивті заттың қабаты жұқа болса, соғұрлым оның альфа-сәулеленуі, басқа түрлі сәулелендірумен салыстырғанда артық болады. Себебі, қалың қабаттарда, ішкі атомдардан шығатын альфа-бөлшектер ұсталып қалып отырады. Бұл өзгешелік, альфа-бөлшектерді сәулеленетін басқа бөлшектерден айыруға мүмкіншілік береді.

9. 1 *г* радий секундына $3{,}7 \cdot 10^{10}$ альфа-бөлшектер шығарады.

245. Бета-сәулелердің қасиеттері. 1. Бета-сәуле (β-сәуле) электрондардың ағыны болады.

[1] Массаның атомдық өлшемі оттегі атомының $\frac{1}{16}$ не тең.

Бета-бөлшектерде теріс заряд бар екендігі, олардың магнит және электр өрісінде бұрылу бағыты бойынша анықталған. Бұрылудың шамасы бойынша, бета-бөлшектердің қозғалысының жылдамдығын, зарядының массаға қатнасын және заряд ($e = 4{,}8 \cdot 10^{-10}$ *CGSE*) пен массаның ($m = 9{,}035 \cdot 10^{-28}$ *г*) әрқайсысын жеке тапты.

2. Бета-бөлшектердің жылдамдығы, катод түтіктеріндегі бақыланған жылдамдықтардан анағұрлым артық, бұлардың жылдамдығы жарық жылдамдығының үштен бір бөлігі мен 0, 998 бөлігінің арасында жатады.

Бір элементтің шығаратын бета-бөлшектерінің жылдамдығы әртүрлі болуы мүмкін.

3. Бета-бөлшектер, ядроның ішінде түрленулер болғанда, сол ядроның ішінде пайда болады, бірақ олар ядроның құрамына кірмейді (249-§ ты қара). Әрбір атом бір-ақ бета-бөлшек шығарады.

4. Бета-бөлшектердің өтімділік қабілеті альфа-бөлшектердікінен артық болады; бұл қабілет әр элементтерде де және бір элементтің әртүрлі бөлшектерінде де түрліше болады.

Бета-сәулелер, едәуір мөлшерде бірнеше миллиметр қалыңдығы бар алюминий пластинкадан өте алады. Бұлардың сіңуі, альфа-бөлшектердей емес, бірте-бірте болады.

5. Бета-бөлшектердің иондандыратын қабілеті альфа-бөлшектердікінен аз болады.

246. Гамма-сәулелердің қасиеттері. 1. Гамма-сәулелер (γ-сәулелер) магнит өрісінде де және электр өрісінде де өзінің түзу сызықты жолынан аумайды. Бұлар, рентген сәулелерінің толқынынан қысқа, электромагнит толқындарының бір түрі болып табылады; бұл толқынның ұзындығы $40 \cdot 10^{-11}$ *см* мен 10^{-11} *см* (мүмкін бұдан қысқа болуы да) арасында болады.

2. Гамма-сәулелердің өтімділік қабілеті бета-сәулелердің өтімділік қабілетінен 10 — 100 рет артық және альфа-сәулелердікінен 1 000 — 10 000 рет артық.

Мысалы, олар қалыңдығы бірнеше он сантиметр алюминий пластинкадан өтіп кетеді. Олар бірте-бірте сіңеді. Қалыңдығы 1,3 *см* қорғасын пластинка гамма-сәулелерді 2 есе нашарлатады.

3. Гамма-сәулелер фотопластинкаға әсер етеді. Осы әсердің арқасында Беккерель уранның радиоактивтігін тапты.

4. Қашанда болсын гамма-сәулелер жеке өздері шықпайды, олар ылғи не бета-сәулелермен, не альфа-сәулелермен қоса шығып отырады.

247. Радиоактивті элементтердің жарты жіктелуінің периоды. Табиғи радиоактивті элементтер турасында жүргізілген барлық бақылаулар мына қортындыларға әкеледі: а) радиоактивтілік дегеніміз ядроның өздігінен түрленуі; *б*) түрлену барлық ядроларда бірден басталмайды, в) қандай элементтің болсын белгілі бір уақыттың ішінде барлық ядроларының тек арнаулы бөлігі ғана жіктеледі.

Кейінгі қасиетке қалай көз жеткізуге болады? Бір радиоактивтік элементтің, мысалы, полонийдің өлшенген массасын алады. По-

лонийдың атомдық салмағын (полоний үшін 208) және атомдық салмақтың әрбір өлшемінің граммен алынған массасын ($1{,}66 \cdot 10^{-24}$ *г*) біле отырып алынған үлгіде қанша атомдар бар екенін есептеп табуға болады. Затты спинтарископқа не Вильсон камерасына орналастырып сцинтилляцияның саны бойынша белгілі уақыттың ішінде экранға қанша альфа-бөлшектердің түскенін немесе жіктелген атомның санын есептеуге болады. Бір сөтке ішінде полонийдың әрбір 100 000 атомының 495 атомы жіктеледі. Екінші сөткеде бірінші жолы жіктелмей қалған әрбір 100 000 атомның 495 жіктеледі. Үшінші сөткеде де жаңадан жіктелмей қалған әрбір 100 000 атомның тағы да соншасы жіктеледі. Бұл бақылаулардан барлық радиоактивтік элементтер үшін мынадай жалпы заң шығарылады: белгілі уақыттың ішінде жіктелетін атомдардың мөлшері сол уақытта бар атомдардың белгілі бір бөлігі болады. Ал жіктелетін атомның жалпы саны, алынған үлгінің (радиоактивтік заттың) шамасына байланысты. Уақыт өлшемінде жіктелетін атомдар санының, атомдардың жалпы санына қатнасы, алынған үлгінің шамасына байланысты болмайды, сондықтан бұл қатнас әрбір радиоактивті элементті сыйпаттайтын сан (характеристика) болып табылады.

Осы характеристика бойынша алынған заттың жартысының қанша уақытта жіктелетіндігін есептеп табуға болады.

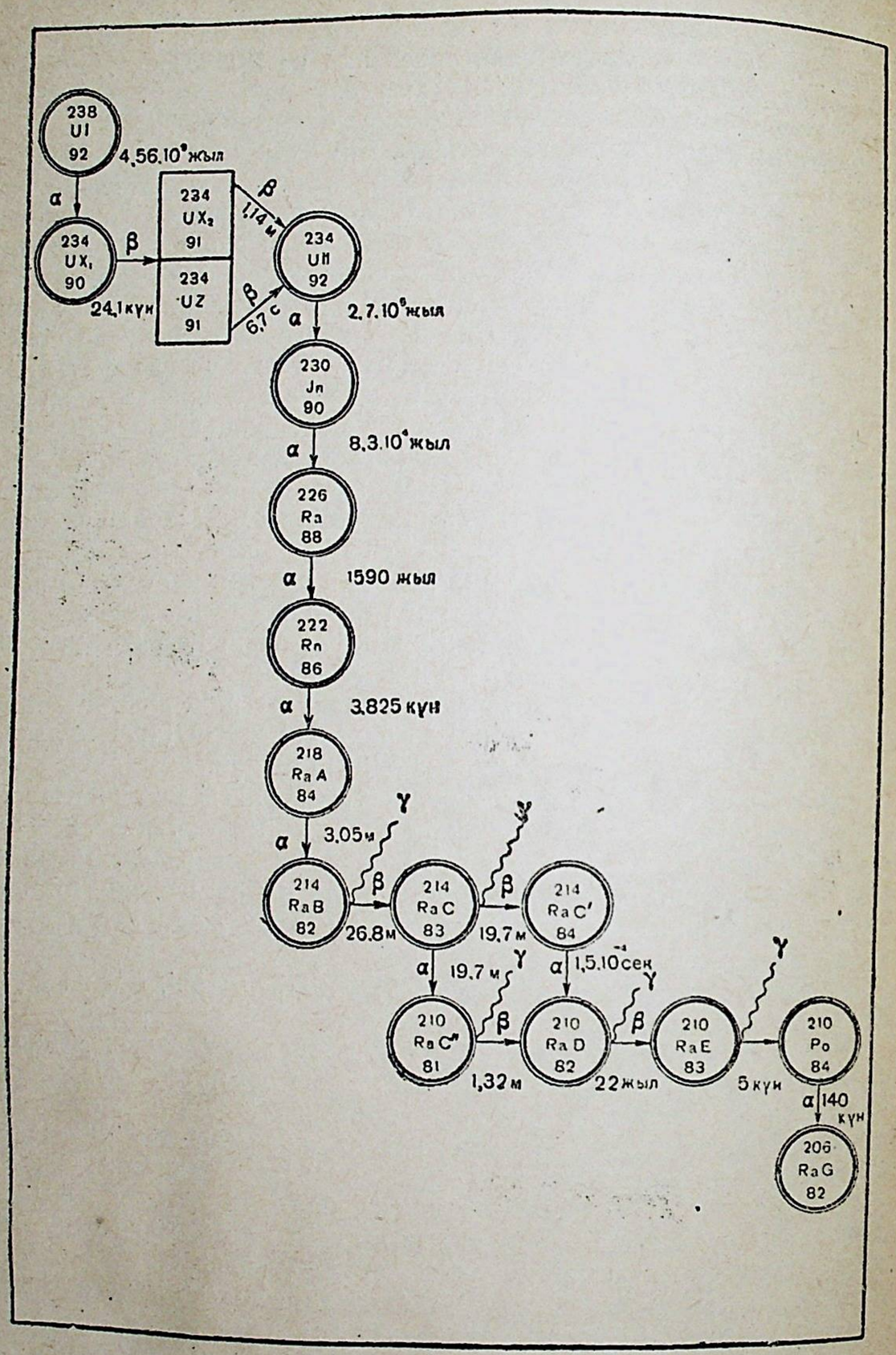
Заттың атомдарының жартысы жіктелу үшін керекті уақытты жарты жіктелудің периоды деп атайды.

Мысал үшін, жоғарыда айтылған элементтердің жарты жіктелу периодтарын келтірелік: урандікі $4{,}56 \cdot 10^9$ жыл (4,56 миллиард жыл), радийдікі 1590 жыл, полонийдікі 140 күн.

248. Радиоактивті элементтердің түрленуі. Бастапқы зат деп аталынатын заттың ядролары табиғи жіктелгеннен кейін не шығады? Химиялық және спектроскопиялық анализдер, альфа немесе бета-бөлшектерді шығарғаннан кейін пайда болған атомдар, бастапқы заттан химиялық қасиеттері өзгеше жаңа затты құрайтындығын көрсетеді.

Эксперимент арқылы табылған бұл мәліметтерді, теория жүзінде де алдын ала болжап айтуға болады.

Менделеев таблицасында барлық элементтер, ядроның оң зарядының біреуі артып отыратындай үдеме тәртіппен орналасқан, сондықтан элементтің рет номері ядроның элементар оң зарядтарының санын көрсетеді, сонымен қатар элементтердің Менделеев таблицасындағы алып тұрған орны, олардың химиялық қасиеттерін де сыйпаттайды. Альфа-бөлшекті бөліп шығарған ядро, элементар екі оң зарядын (келешекте сыртқы қабықшадан екі электронын) және массасының төрт атомдық өлшемін жоғалтады. Сонымен жаңадан жасалатын элементтің — ыдырау продуктысының — рет номері бастапқы элементтің рет номерінен екеуі кем болады. Сондықтан ол, Менделеев таблицасында, бастапқы элементтен екі топ сол жақта болуы керек. Менделеев системасында жаңа орынға көшкен элемент, соған сәйкес химиялық қасиеттерге ие болады.



303-с у р е т. Уранның радиоактивті тегі.

Ядродан бета-бөлшек ұшып шыққанда ядроның бір оң заряды артады және соның салдарынан сыртқы қабықшаға бір электрон қосылады; ыдырау продуктысы Менделеев таблицасында бір топ оң жаққа көшеді де жаңа орнына сәйкес қасиеттерге ие болады. Менделеев системасындағы периодтан және топтан жаңадан орын алуы, оның химиялық жаңа қасиеттеріне сәйкес келеді.

Экспериментпен дәлелденілген осы заңдылық «ығысу ережесі» делінеді.

Жіктелу продуктілерін зерттеу нәтижесі, олардың да радиоактивті екендігін, яғни бұлардан жаңа жіктелу продуктісі шығатындығын көрсетеді.

Сондықтан түрлі радиоактивті заттарды радиоактивті тектерге бөлуге болады. Бұл тектерде бір элементтер екінші элементтерге тізбектеліп түрленіп отырады. Барлық табиғи радиоактивті элементтер үш тек құрайды, бұлардың бастаушылары: у р а н, а к т и н н и й, т о р и й болады.

Мысал үшін осылардың біреуін — уран тегін алып қарастырайық (303-сурет).

Таблицада, түрлену нәтижесінде пайда болған әрбір заттың символы дөңгелектің ішіне алынған. Дөңгелектің ішіндегі үстіңгі сан, пайда болған атомның массалық санын (бүтін санымен алынған атомдық салмақты) белгілейді; төменгі сан Менделеев системасындағы элементтің химиялық қасиеттерін анықтайтын рет нөмері. Дөңгелектердің арасындағы стрелкалар түрленудің бағытын көрсетеді.

Стрелкалардың жанына қойылған грек әріптері α не β түрлену альфа-бөлшекті бөліп шығару жолымен болған ба жоқ бета бөлшекті бөліп шығару жолымен болған ба, соны көрсетеді. Стрелканың жанындағы сандар жарты жіктелудің, жылмен, немесе күндермен, сағатпен немесе минутпен я секундпен есептелген периодтарын көрсетеді.

Радийдан (*Ra* 5-ші дөңгелек), «радийдың эманациясы» не «радон» (*Rn*) дейтін радиоактивті газ шығады. Тек радиоактивті емес затпен — қорғасынмен аяқтайды.

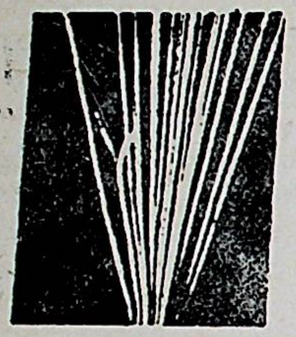
249. Атом ядросының құрылысы. Атомның ішкі құрылысын анықтау мәселесі Резерфордтың 1919 жылғы тәжрибелерінен басталды. Ол радиоактивті заттардың біреуінің альфа-бөлшегін (19 200 *км/сек* жылдамдықпен ұшатын) азоттан бастап, атомдық салмақтары жеңіл заттарға жіберді. Альфа-бөлшектердің жолдарын жоғарыда 236-§ та айтылғандай, спинтарископ және Вильсон камерасы арқылы бақылап отырды.

Резерфордтан кейін басқа ғалымдар да бақылаулар жүргізді. Ол ғалымдар қолына, альфа-бөлшектердің 400 000 дейін трэгі бар, жыйырма мыңнан артық фотографиялары жыйналды.

Бұл бақылаулардан мынадай нәтижелер шықты.

Бұл суреттердің кейбіреулерінде (304-сурет) трэк «шанышқысы» көрініп тұрды, бұл шанышқының бір тармағы жіңішке жә-

не ұзын, екінші тармағы жуан (жалпақ) және қысқа болып келген. Бұл тармақтардың ешқайсысы да альфа-бөлшектің трэгіне ұқсамайды. Өлшеулер нәтижесі жіңішке тармақ протондікі, яғни сутегінің ядросінікі екендігін көрсетеді. Сутегі ядросының массасын атомдық массаның өлшеміне алуға болады (себебі оның атомдық массадан айырмашылығы өте аз), оның заряды элементар оң зарядтың өлшеміне тең болады.



304-сурет. Азоттағы альфа-бөлшектердің іздері.

Альфа-бөлшектің өзінің соңғы қарқынынан көп бұрын жасаған шанышқысы көрінеді. Ең жіңішке сызық протондікі. Жуан сызық альфа-бөлшекті кездестірген ядронікі.

Баска ядроларды атқылап та протондарды бөліп шығарған. Сондықтан *протонды ядроның құрамындағы бөлшек деп есептеуге болады.*

Бұл қортынды мен қатар екінші бір қортынды келіп шықты.

Жалпақ із альфа-бөлшекті сіңірген ядроға тиісті екен. Осындай сіңірудің нәтижесінен не шығуы мүмкін? Мұны, азотты мысалға алып қарастырайық.

Азоттың ядросының массасы 14, атомдық номері 7, олай болса ядроның заряды 7 ге тең. Альфа-бөлшектің массасы 4 өлшемге және заряды 2 ге тең. Егер ядро альфа-бөлшекті тек сіңіріп қана қойса, онда олардың жалпы массасы 18 өлшемге дейін және заряды 9 ға дейін артар еді. Бірақ бөлініп шыққан протон, массасының бір өлшемін және зарядтың бір өлшемін өзімен бірге алып кетті. Сонда жіктелген ядрода массаның 17 өлшемі мен зарядтың 8 өлшемі қалады.

Сегіз өлшем заряды бар атомдар Менделеев таблицасынан 8-орын алады және мұндай атомдар оттегінің атомдары болады. Элементтің химиялық қасиеттері оның таблицалық номерімен анықталады. Сонымен азот атомдарының түрленуінің нәтижесінде шыққан зат нағыз оттегінің өзі болады. Бірақ оның атомдық салмағы әдеттегідей 16 емес 17 ге тең болады.

Атомдық салмақтары әртүрлі бірақ Менделеев системасында бір орында тұратын заттарды изотоптар[1] деп атайды.

Сонымен Резерфордтың тәжрибелері бір элементтің екінші элементке түрленгіштігін дәлелдеп, бұл кезге дейін, элементтер өзгермейді деп келген пікірдің теріс екендігін анықтады.

Бірақ мұндай тәсілмен ядроны өзгертіп көп мөлшерде жаңа элемент алуға болмайды, сондықтан бұл тәсілдің практикалық маңызы жоқ. Фотографиялық суреттер бойынша жүргізілген есептеулерге қарағанда 50 000 альфа-бөлшектердің біреуі ғана азот ядросының ішіне кіре алатындығы көрінеді.

Элементтердің ядроларының құрамына тек протондар ғана кіреме? 1930 жылы бериллияны (Менделеев системасында 4-нөмер) полонияның (бета-бөлшектерді де, гамма-сәулелерді де бөліп шығармайтын) альфа-сәулелерімен атқылағанда жаңа сәулелену

[1] Гректің *изос—тең, топос-орын* деген сөздерінен құралған.

байқалды; бұл сәуле өзінің өтімділігі жағынан альфа-бөлшектен де, бета-бөлшектен де рентген сәулелерінен де басым болды; оны тек гамма-сәулелерімен ғана салыстыруға болады. Мысалы, қалыңдығы 2 *см* қорғасыннан өткенде, сәулеленудің интенсивтігі тек 13% қана кемиген.

Ирэн және Фредерик Жолио-Кюри ионизация камерасында (§ 101) бақылаулар жүргізіп, жаңа сәулелену жеңіл элементтердің (сутегі мен гелийдің) ядроларымен соғысқанда, оларға гамма-сәулелердің беретін жылдамдығынанда артық жылдамдық беретінін байқады.

Сондықтан жаңа бөлшектер бар деп айтуға тура келді.

Альфа және бета-бөлшектерге қарағанда бұл жаңа бөлшектердің өтімділіктерінің артық болуы, олардың оң заряды бар ядромен өзара әсерлесулері өте аз екендігін көрсетеді. Өзара әсердің мұндай аздығын, бұл бөлшектерде электр зарядының жоқтығымен, яғни олардың нейтральдығымен ғана түсіндіруге болады.

Осы себептен бұл бөлшектерді нейтрон деп атаған.

Нейтрондардың сутегі мен гелий атомдарының ядроларымен соқтығысуынан және олардың бұл ядроларға беретін жылдамдығы бойынша нейтронның массасын анықтауға болды. Нейтронның массасы протонның массасымен шамалас екен, сондықтан оны массаның өлшемі етіп алуға болады. Нейтрон массасының дәлірек мәні $m = 1{,}00893$ атомдық салмақтың өлшемі.

Нейтронның символдық белгілеуі ${}_0n^1$; протондікі ${}_1p^1$ (төменгі сол жақтағы сан элементар оң зарядтардың санын, оң жақтағы жоғарғы сан атомдық өлшемнің санын көрсетеді).

Орыс физигі Д. Д. Иваненко ядро құрылысының теориясын дәлелдеді; бұл теория бойынша *ядро тек нейтрон мен протоннан құралады.*

Ядродағы протонның саны, ядроның зарядына (Z) тең, яғни Менделеев системасындағы элементтің рет нөміріне тең.

Нейтрондар, саны атомдық өлшемнің санын (A) белгілейтін сан мен протонның санын белгілейтін санның айырмасына тең, яғни $(A - Z)$.

Сонымен, көміртегінің ${}_6C^{12}$ ядросында 6 протон және 6 нейтрон болады. Натрийдің ${}_{11}Na^{23}$ ядросында 11 протон және 12 нейтрон болады.

Ядроның құрамы осындай болғанда, ядро электрондарды қалай лақтырып шығарады.

Протондар мен нейтрондардың мынадай қасиеттері бар: бұлар элементар бөлшектер бола тұрып, біріне-бірі түрленіп отыра алады. Мұндай түрленуде бұрын ядрода болмаған жаңа бөлшектер пайда болады. Егер нейтрон, заряды: e протонға айналса, онда $+e$ заряды бар электрон пайда болады, мұнда электрон нейтроннан «шыққан» сыяқтанады. Егер протон нейтронға айналса, онда протоннан позитрон шығады; позитронның массасы электронның массасына тең және заряды $+e$ болады.

Бұл түрленулерде де энергия — массаның сақталу заңы күшінде қалады.

250. Жасанды радиоактивтік. Түрлі заттардың ядроларына альфа-бөлшектердің әсерін зерттеуді әрі қарай жүргізе отырып Фредерик Жолио мен Ирэн Кюри атқыланатын алюминийді Вильсон камерасына орналастырып шығатын трэктерді бақылады. Бұл трэктердің араларында электрондардың трэктеріне ұқсаған жіңішке сызықтар байқалды. Бірақ магнит өрісінің әсерімен жіңішке трэктер электронның трэктерінің бұрылатын жағына бұрылмай, оған қарама-қарсы жаққа қарай бұрылады. Бұл жағдай жіңішке трэктерді жасайтын бөлшектер позитрондар екендігін көрсетеді.

Бұдан былайғы бақылауда мынадай бір жаңа құбылыс табылды: алюминийді альфа-бөлшектерімен атқылауды тоқтатқаннан кейін де позитрондар бөлініп шығуын тоқтатпады. Әрбір 3 $\frac{1}{4}$ минутта 1 секундте шығатын позитрондардың саны екі есе кемып отырды. Бұл құбылыс тура радиоактивті жіктелу құбылысына ұсады. Бірақ бұл жіктелудің нәтижесінде альфа-бөлшектер де, электрондар да шықпайды, тек позитрондар ғана шығады.

Сонымен бұл құбылысты жасанды радиоактивтік деді.

Кейінгі кездегі зерттеулер, альфа-бөлшектермен, протондармен, нейтрондармен және дейтрондар ($_1D^2$) деп аталатын ауыр сутегі ядроларымен атқылап жылдам қозғалатын электрондарды, позитрондарды немесе протондарды бөліп шығаратын жасанды радиоактивтікті жасауға болатындығын көрсетіп отыр.

Зерттелген 60 элементтердің 40 элементі атқылағанда радиоактивті заттар шығарды. Бір элементтің өзінен түрлі жағдайда түрлі жасанды радиоактивті заттар алуға болады. Осы ретпен алынған радиоактивті элементтердің саны 270 шейін жетті. Кейбір жасанды радиоактивті элементтердің химиялық қасиеттері радиоактивті емес элементтерге ұқсас, сондықтан бұл элементтерді бірінен-бірін айыру үшін радиоактивті элементтерге «радио» деген сөз қосылады: радиоазот, радиокремний, радиофосфор т. с. с.

Радиофосфор жасалатын ядролық реакциялардың мысалын келтірелік:

$$_{13}Al^{27} + {}_2H_e^4 \longrightarrow {}_{15}P^{30}_{\text{рад}} + {}_0n^1;$$

$${}_{15}P^{30}_{\text{рад}} \rightarrow {}_{14}S_i^{30} + {}_{+1}e^0.$$

251. Жасанды радиоактивті заттарды қолдану. Жасанды радиоэлементтердің болымсыз аз мөлшерінің радиоактивті емес сондай элементке қоспа түрінде араласуы, радиоактивті емес элементтің химиялық қасиеттерін ешбір өзгертпейді, бірақ бөлшектерді әшкерелейтін приборлар арқылы радиоактивті емес заттың бар екендігін табуға мүмкіндік береді.

Қалаған тұздың ертіндісін алып, оған сондай радиоактивті элементтің тұзынан аздап қосып, бір бұлақтың бастауына құйсақ, онда ағынның барлық тарауларын бақылауымызға болады.

Осы жолмен карынның натрий, иод, бром, хлор тұздарын сіңіру жылдамдығы зерттелген. Экспериментші, сәулеленіп шығатын бөлшектердің счетчигін қолына қысып тұрып, жасанды радиоактивті зат қоспасы бар, зерттелетін тұзды ішеді. Счетчиктің көрсетуіне қарай тұздың сіңу жылдамдығын білуге болады.

Помидордың радиофосформен қоректенген жапырағын фотографиялық пластинкаға жапқанда, оған жапырақтың «автопортреті» яғни, жапырқтағы фосфордың қалай орналасатыны түскен (305-сурет).

М. И. Корсунский өзінің «Атомное ядро» деген кітабында, рак ауруымен күресуде радиоактивтік заттарды пайдаланудың осындай келешегін сыпаттайды (219-бет).

«Егер біздің қарамағымызда көп радиоактивті изотоптар бар екенін және осы изотоптарды пайдаланып организмнің түрлі бөліктері тандап сіңіретін түрлі күрделі заттарды синтездеуге болатынын еске алсақ, онда зиянды ісіктер боршасы ғана сіңіретін заттарды жасаудың мүмкіндігі барын түсіну қыйын емес. Радиоактивті заттар рак ісігіне бұзғыштық әсер ететін болғандықтан, ондай заттарды, сіңіру, ракпен күресудегі эффектипті шара болуы мүмкін».



305-сурет. Помидор жапырағының радиоавтографы.

Фотографиялық пластинкаға жапырақты жапқанда түскен кескін Өсімдік радиофосформен қоректенген, радиофосфордың жиналған жері ақ орындармен белгіленген.

252. Атом ядросының энергиясы. Ядроны құрайтын элементар бөлшектер өте аз көлем алады және бұл көлемде олар өте тығыз орналасқан. Ең үлкен ядроның — уран ядросының радиусы $\approx 10^{-12}$ *см* және оның көлемі $\approx 3{,}4 \cdot 10^{-36}$ *см*^{3} Осы көлемде 92 протон және 146 нейтрон орналасқан.

Ядродағы протондар бірінен-бірі болымсыз аз қашықтықта жататындықтан және олардың зарядтары аттас болғандықтан, Кулон заңына сәйкес олар өте зор тебу күштерінің әсерінде болады. Бірақ бұлар бытырап кетпейді де ядро өзінің структурасын сақтап тұрады.

Тәжрибе, *ядроны құрайтын бөлшектердің арасында, оның ішінде протондардың арасында, олар біріне-бірі өте жақын тұрғанда олардың тартылыс күші болатындығын көрсетеді.* Ядро шегінде тартылыс күші тебу күшінен басым болады.

Бұл ядролық күштер әлемдік тартылыс күші де, электростикалық күште емес; олардың табиғаты әлі анықталды деп айтуға болмайды.

Ядро бөлшектерін байланыстыратын күштерді жеңуге және ядроны өзінің құрамдарына ажыратуға керекті энергияны байланыс энергиясы дейді.

Мұнымен қатар байланыс энергиясы бөлшектер ядроға қосылғанда бөлініп шығатын энергияның шамасын көрсетеді.

Есептеулер, әрбір ядролық бөлшекке тиісті байланыс энергиясы барлық дерлік ядролар үшін $8^1/_2$ *MeV* ке тең екендігін көрсе-

теді, ал өте массивті ядроларда бұл байланыс энергиясы 7 *MeV* ге дейін азаяды.

Альфа-бөлшектер үшін (2 протон + 2 нейтрон; 34 *MeV*), не уран ядросы үшін (238 бөлшек; $7 \cdot 238 = 1666$ *MeV*) байланыс энергиясын есептеу қыйын емес.

253. Атомдық энергияны босату. Жоғарыда айтылған ұйғарулар мен есептеулерге қарағанда ядрода өте көп энергияның бар екендігі көрінеді.

Аздаған атомдық энергия, денеден, атомның электрондық қабықшасында болатын химиялық реакциялар кезінде бөлініп шығады. Бірақ химиялық реакциялар кезінде шығатын энергия, ядролық энергияның запасымен салыстырғанда өте аз.

Мысалы, 1 *г* таскөмір жанғанда 8 *ккал*, 1 грамм-атом (12 *г*) көміртегі жанғанда 96 *ккал*, 1 моль сутегі тотыққанда 58 *ккал* жылу бөлініп шығады.

Ал ядролық энергияны, аздап болсада, қалай босатуға болады. Ол үшін ядролық реакция туғызу керек.

Сырттағы бөлшектің ядроға енуінен, ядролық реакция пайда болады.

Сонда ядро қандайлық күйге түседі? Ядро қозады, яғни артық энергия алады. Мұндай қозған ядро: а) не артық энергияны гамма-квант түрінде сыртқа шығарады; б) не басқа бір бөлшекті сыртқа шығарып, жаңа ядроға айналады.

Мысал ретінде алғашқы жасалған ядролық реакциялардың біреуін алып қарастыралық: массасы, 7-ге тең литий элементін протонмен атқылағанда, оның ядросы гелийдің екі ядросына жіктеледі.

Шартты белгілеулермен жазылған ядролық реакция теңдеуі:

$$_3Li^7 + {}_1H^1 \longrightarrow {}_4Be^8 \longrightarrow {}_2He^4 + {}_2He^4.$$

Атомдық массаларды есептесек солжағында мынау шығады: $7{,}01818 + 1{,}00813 = 8{,}02631$; оң жақта: $4{,}00389 + 4{,}00389 = 8{,}00778$.

Оң жақтағы қосынды сол жақтағы қосындыдан массаның 0,01853 атомдық өлшеміне кем.

Массаның бұл өзгерісі осындай ядролық реакция болғанда энергияның бөлініп шығуынан туады.

Масса мен энергияның өзгерулерінің арасындағы байланыс Эйнштейннің мына формуласымен тағайындалады:

$$\Delta E = \Delta mc^2,$$

мұндағы c жарық жылдамдығы. Осы формула бойынша, қарастырылған ядролық реакцияда бөлініп шыққан энергияны есептеп шығаруға болады. Ядролық (атомдық) масса өлшемі $1{,}66 \cdot 10^{-24}$ *г*. 0,01853 ядролық өлшем $= 0{,}0307598 \cdot 10^{-24}$ *г*. Эйнштейн формуласы бойынша мынадай болады:

$$0{,}0307598 \cdot 10^{-24} \left(3 \cdot 10^{10} \frac{см}{сек}\right)^2 = 0{,}2768382 \cdot 10^{-4} \text{ эрг} = 17\,500\,000 \; eV = 17{,}5 MeV.$$

Ядролық энергияны алудың принципы табылғанмен, оны іс жүзінде қолданып ядролық энергияны босатып алуға болмайды, бұған мынадай екі себеп бар:

Біріншіден, бұл реакцияның ықтималдығы өте аз. Ядролар өте кішкене нысана (сызықтық өлшеуінің шамасы 10^{-13} — 10^{-12} *см*); олар бірінен-бірі өздерінің өлшеулерінен 10 000 есе артық қашықтықтарда болады. Сондықтан атқылайтын протондардың он миллионынан тисе біреуі ғана литийдің ядросына тиеді. Басқа элементтерді атқылағанда да осындай қатыстар шығады.

Екіншіден, ядро бөлшекті ұстау үшін, бөлшек ядроға өте жақын келу керек. Ал неғұрлым заттың ретті номері көп болса, сонғұрлым оң заряды бар бөлшек оң заряды бар ядродан күштірек тебіледі. Сондықтан бұл тебуді жеңу үшін бөлшектің ядроға ұшып келетін екпін энергиясы өте көп болу керек.

Табиғи радиоактивті заттар, 5 — 7 *MeV* орташа энергиясы бар альфа-бөлшектер шығарады.

Циклотрон деген приборды жасап, оның жәрдемімен атқылайтын бөлшектің жылдамдығын арттырып, энергиясын 100 *MeV* жеткізу тәсілін тапқаннан кейін ғана, түрлі заттардың ядролық реакцияларын зерттеу жұмысы алға баса бастады.

Бірақ бөлшекке мұндай энергия беру үшін көп энергия жұмсау керек, сондықтан мұндай жіктеудің арқасында энергия алудың іс жүзінде пайдасы жоқ.

254. Уран ядросының бөлінуі. Ядролық реакцияларды зерттеу үшін ғалымдардың көпшілігі уранды нейтрондармен атқылады. Бұл зерттеулер уранның ядросы ірі екі бөлікке бөлінетіндігін және 2 — 3 нейтрон бөліп шығаратындығын көрсетті.

Мұндай тәжрибелердің бірінде уранның (рет номері 92) ядросы екі ядроға бөлінген: барий ядросына (рет номері 56, атомдық салмағы 138) және криптон ядросына (рет номері 36, атомдық салмағы 86).

Әртүрлі тәжрибелерде бөліну продуктылары басқаша болып шыққан: мысалы, бром, иод, стронций, рубидий.

Уран бөлінгенде әрбір жіктелген уранның атомынан 200 *MeV* шамасында энергия босанады.

1 *кг* уран жіктелгенде бөлініп, шығатын энергия ең жақсы тас көмірдің (жылу бергіштігі 8000 *ккал/кг*) 1 килограмы жанғанда беретін энергиясынан 2 000 000 есе артық болады.

255. Уран бөлінгендегі тізбекті реакция. Көп ғалымдардың уранды нейтрондармен атқылап зерттеуі уран бөлінгенде және екінші нейтрондардың шығатындығын көрсетеді; бұл туралы өткен тарауда айтылған еді. Ядроға бір нейтрон тисе, ол ядродан 1 ден 3 ке дейін екінші реттік нейтрондар шығарады.

Ядро бөлінгенде нейтрондар неліктен шығады?

Жеңіл элементтердің (Менделеев таблицасының басында және ортасында тұратын) және ауыр элементтердің (таблицаның аяғын-

да тұратын) ядроларындағы протондар мен нейтрондардың сандарының арасындағы қатыс бірдей емес.

Мысалы, оттегінің ядросындағы 16 бөлшектің 8 і протон, 8 і нейтрон, күкірттің ядросындағы 32 бөлшектің 16 сы протон, 16 сы нейтрон, ал темірдің ядросындағы 56 бөлшектің 26 сы протон (1 протонға 1,15 нейтроннан келеді), криптонда 84 бөлшектің 36 сы протон (1 протонға 1,33 нейтрон келеді), барийда 138 бөлшектің 56 сы протон (1 протонға 1,46 нейтрон келеді), ал урандағы 238 бөлшектің 92 сі протон (1 протонға 1,58 нейтроннан келеді).

Осы қатыстардан мынадай қортынды шығаруға болады: ең массивті уран ядросы, орташа массивты екі ядроларға бөлінгенде, әрбір бөлікте осы элементтердің протондары мен нейтрондарының арасындағы калыпты қатыстан артық нейтрондар болады.

Бұл нейтрондардың біразы, екінші еркін нейтрондар түрінде лақтырылып шығады (қалған нейтрондар түрліше өзгерістерге түсуі мүмкін).

Ең қолайлы идеал жағдайларда, осы екінші нейтрондардың тигізетін әсерлері қандай болуға тиіс? Лақтырылған үш нейтронның екеуі уранның ядросына тиді делік. Сонда бұл ядролардың әрқайсысы екіге бөлініп, тағы да жаңа нейтрондар лақтырылады. Ұйғарылған идеал жағдайда, әрбір нейтрон екі екінші нейтронды босатады, сонымен нейтрондардың саны 4-еу болады. Бұл 4 нейтрон уранның 4 ядросын бұзады да, 8 екінші нейтронды босатады. Осылай, уран ядросының бөліну саны үздіксіз екі еселеп және екінші нейтрондардың саны да екі еселеп арта береді.

Осы ретпен болатын процесті тізбекті реакция дейді.

Тізбекті реакцияда процесс өзінен-өзі үздіксіз үдей береді және босанатын энергияның мөлшері де үздіксіз арта береді.

256. Тізбекті реакцияға бөгет болатын себептер. Уранның бөлінуін қарастырғанда, жерден шығатын уран үш изотоптың, яғни ядроларындағы зарядтары бірдей әрқайсынікі 92 элементарлық өлшеммен, бірақ ядролық бөлшектері әртүрлі, атап айтқанда 238, 235, 234 болатын элементтердің қоспасы екендігі есте болу керек. Ядролық бөлшектері 235 изотоп уран рудасының барлық атомының тек $\frac{1}{140}$ бөлігіне (немесе 0,7%) тең, ал ядролық бөлшектері 234 изотоп тіпті болымсыз мөлшерде болады, сондықтан уранның негізгі массасын изотоп 238 жасайды.

238 изотоп пен 235 изотоптың, өздерінің ядроларына тиетін нейтрондармен өзара әсерлесуі түрліше болады.

Тізбекті реакцияның дамуына бөгет болатын себептердің бірі 238 изотоптың баяу нейтрондарды сіңіріп, бірақ өздерінің бөлінбейтіндігі.

Орыс физиктері Г. Н. Флёров және К. А. Петржак 238 изотопты тек энергиясы 1 миллион вольттен артық болатын нейтрондар ғана бөле алатындығын анықтады.

Уран ядросын бөлмей оған сіңіп кеткен нейтрондар қайтетінін келесі параграфта қарастырамыз. 235 изотоптың ядролары жылдам нейтрондардың да және баяу нейтрондардың да әсерлері мен бөліне береді.

Тізбекті реакцияның дамуына бөгет болатын басқа себептерді анықталық.

Екінші себеп — уран көсегінің (блогінің) бетінен нейтрондардың ұшып шығуы. Уран бөлінгенде пайда болатын нейтрондардың барлығын бірдей уранның басқа ядролары ұстап қалмайды. Ядро ұстап үлгіргенше, нейтрон заттың әжептәуір қабатынан өтіп кетеді. Неғұрлым нейтронның энергиясы, яғни жылдамдығы көп болса, соғұрлым оның ұсталып қалу ықтималдығыда аз болады.

Сондықтан уранның сәулеленетін қабаты жұқа болмау керек. Уранның әрбір кесегінің белгілі минимальдық «Кризис» көлемі болады, осы көлемнен бастап нейтрондар уран кесегінен ұшып кету мүмкіндігі тумайды. Сонымен қатар уранның кесектерін, нейтрондарды шағылыстыратын заттармен, мысалы, графитпен, қоршау керек. Сонда ұшып шыққан нейтрондардың біразы қоршаған қабырғалардан шағылысып, ұранға қайтып келеді.

Үшінші себеп—уранға араласқан басқа заттардың болуы. Уранға араласқан заттар нейтрондарды сіңіруі мүмкін. Уранға араласқан заттардың былайша сіңіруі тізбекті реакция тудыратын нейтрондар санын азайтады. Сондықтан тізбекті реакция тудыру үшін уранды химиялық тәсілмен өте мұқият тазалау керек болады.

257. Жаңа элементтер шығару. 256-параграфта $_{92}U^{238}$ уранның ядросы бөлінбей, нейтронды тек сіңіріп қана қойған жағдайда нейтрон қайтеді деген сұрақ қойылып еді. Ядроға сіңген нейтрон, ядроның зарядын көбейтпейді, оның атомдық массасын бір өлшемге арттырады.

$_{92}U^{238}$ уран $_{92}U^{239}$ уранға айналады ($_{92}U^{238} + {}_0n^1 \longrightarrow {}_{92}U^{239}$).

Уранның бұл изотопы бета-бөлшектер сәулелендіретін радиоактивті элемент, оның жарты жіктелу периоды 23 минут болады.

Бета-бөлшектің ұшып шығуы жаңадан пайда болған элементтің I оң зарядын арттырады, сондықтан бұл элемент Менделеев таблицасында 93-орынды алады.

Осылайша алынған жасанды элемент нептуний деп аталды, оның химиялық таңбасы Np (ядролық реакциясы:

$$_{92}U^{239} \longrightarrow {}_{93}N_p^{239} + {}_{-1}e^0).$$

Нептуний радиоактивті элемент, ол 2,3 күндік жарты жіктелу периодымен бета-бөлшектерді шығарып, заряды 94, атомдық массасы 239 болатын жасанды жаңа элементке айналады. Ол элемент плутоний деп аталды, оның химиялық таңбасы P_u (ядролық реакциясы:

$$_{93}N_p^{239} \longrightarrow {}_{94}P_u^{239} + {}_{-1}e^0).$$

Плутоний радиоактивті элемент, ол 24 000 жылдық жарты жіктелу периодымен альфа-бөлшектерді шығарып, 235 уранға айналады (ядролық реакциясы:

$$_{94}P_u^{239} \longrightarrow {}_{92}U^{235} + {}_2H_e^4).$$

Нептуний мен плутоний табиғатта кездеспейді. Бұлар трансурандық (ураннан кейінгі) элементтер деп аталады, өйткені олар уранның 92-орнынан[1]) кейін, 93- және 94-орындарда тұрады.

Зерттеулерге қарағанда плутонийда 235 уран сияқты тізбекті реакцияны қамтамасыз ете алатын болып оңай бөлінетіндігі көрінеді.

258. Ядролық қопарылыс. Жоғарыда (§ 254), біз уранның не плутонийдің ядролары жіктелгенде 200 *MeV* энергия бөлініп шығатындығын көрдік. Заттың грамм-атомының (235 *г* U^{235} не 239 *г* P_u^{239}) жіктелуі 4,6 миллиард *ккал* не 5 400 000 *квт-сағ.* энергия берер еді.

Секундтің үлесінде болған жартылай жіктелудің өзі, орасан зор қуат береді. Мысалы, 0,01 секундте ядролардың мыңдық үлесі жіктелсе, бөлініп шығатын қуат $2 \cdot 10^9$ *квт* болар еді. Энергияның мұндай дамуынан қопарылыс пайда болады.

Жіктелетін заттың температурасы миллион градусқа дейін көтеріледі. Кенеттен температураның өте зор көтерілуі ауада күшті қоюлану толқынын туғызады. Бұл толқыннан бүліну және өрт пайда болады.

Ядролық қопарылысты болғызатын құрал «атом бомбасы» деп аталады.

«Атом бомбасы» жарылғанда, оны құрайтын заттар, температурасы өте жоғары болғандықтан газға айналады; бұл газ қаратпайтын жарық шығарады.

Атом бомбасының зиянды әсері оның жарылуымен ғана аяқталмайды. Бөлінуде шығатын заттардың өзі радиоактивті заттар болады. Атом бомбасының жарылған жері бірсыпыра уақытқа[2]) дейін көп мөлшерлі радиоактивті заттармен қанығып тұрады; бұл заттар өтімді, көрінбейтін сәуле шығарады. Мұндай сәулелер организмге өте зиянды әсер етеді.

Осы кезде екі мемлекетте атом бомбасы бар: ССРО және АҚШ.

Қашан болсын ауада, жіктелуден пайда болған жеке нейтрондар болады; мұндай беткелді жосылған нейтрондар, жасалып жатқан бомбаға кездейсоқ еніп кетіп, оны жарып жібермеу үшін не істеу керек?

Бертелоның кітабында[3]) плутонийдан (не 235 ураннан) жасалған бомбының жасалу принципі сыпатталған.

Жасалып жатқанда қопарылу болмау үшін заттың көлемі онын кризис көлемінен (§ 256) кіші болу керек.

Радиусы 10 *см* шардың көлемі, плутонийдің кризис көлемі болады.

Егер плутонийдан, әрқайсысының көлемі кризис көлемнен кіші болатын екі жарты шар жасаса, онда бұлардың әрқайсысы өзалдына тұрақты болады.

---

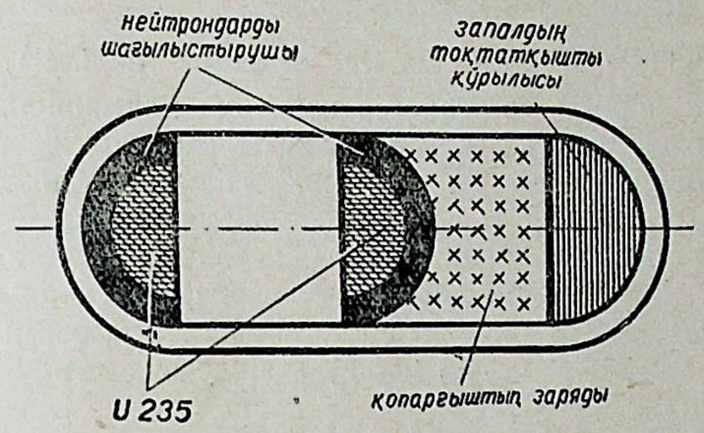
[1]) Қазіргі уақытта жасанды екі жаңа элемент шығарып алынған: америций 95-орында және кюрий 96-орында.

[2]) Радиоактивті заттар, жарты жіктелудің жыйырма еселенгеніне тең уақыт ішінде, елеулі сәулеленуін тоқтатып, «азғындайды» деп есептеуге болады.

[3]) «От атома к атомной энергии», 1948, 206 стр.

Ал бұл жарты шарлар біріне-бірі беттесіп қосылса, сонда жалпы көлемі кризис көлемнен артады да, сол кезде жарылады.

Бомбаның қабықшасының ішінде бұл екі жарты шарлар бірінен-бірі бөлек тұрады (306-сурет).



306-сурет. Атом бомбасының схемалық кескіні.

Жарты шарлардың біреуінің жанында бір қопарылғыш заттың заряды болады. Кәдімгі қопарылғыш снарядтарда қолданылатын тәсілмен, керекті уақытта запалды тұтандырады, сонда екі жарты шар біріне-бірі беттесіп, қосылады да бомба жарылады.

259. Урандық котёл. Атом ядролары бөлінгенде шығатын энергияны пайдалануға арналған установкаларды катёлдер деп атайды.

Қотёл жүйрік нейтрондарды баяулатқыштан құралады;[1]) баяулатқыш салмағы бірнеше тонна, формасы кәдімгі шар тәрізді болады. Көбінесе, баяулатқыш ретінде графитті пайдаланады.

Баяулатқыштан, белгілі ретпен, металл ураннан істелген стерженьдерді өткізеді. Егер кезкелген бір нейтрон уран стерженьнің ядросына енсе, онда ядро бөлінеді де одан 3 нейтрон ұшып шығады. Баяулатқышқа кірген соң бұл нейтрондар күрделі траекториялармен қозғалады да атомдардың ядроларымен кездейсоқ соқтығысуының нәтижесінде бұл нейтрондар біртіндеп өздерінің энергиясын жоғалтады.

Осы баяулатылған нейтрондардың мүмкін дағдыры қандай болар екен? Қотёлдің көлемі кризис көлемнен үлкен болғандықтан осы нейтрондардың кем дегенде біреуі уран стерженьдерінің біреуіне енеді, сонда оны 235 уран изотопының ядросы ұстайды да, өзі тағы да бөлінеді.

Содан кейін қалған нейтрондардың біреуінің баяулатқыштағы жылдамдығы, оны 238 уран изотопы ұстап қаларлықтай болуы мүмкін; нейтрондарды сіңірген 238 уран изотопы екі бета-бөлшегін сәулелендіріп плутоний элементіне айналады.

---

[1]) Қотёлдың сыйпатталуы жоғарыда аталған Бертело кітабынан алынды.

Осындай котёлде жіктелу энергиясы босанады, ал бұл энергиядан котёлдің температурасы тез көтеріледі.

Котёлдің жұмысын тоқтатпау үшін, оны ағын сумен суытып отырады. 1944 жылы жасалған осындай котёлдің біреуі суға 1800 *квт* қуат берді. Бұл сан, әрбір секундте, котёлда мына мөлшерде бөліну болатындығын көрсетеді:

$$11{,}2 \cdot 10^{18} MeV : 200 MeV = 6 \cdot 10^{16} \text{ бөліну}^{1}).$$

Егер уран ядросы ұстаған бір нейтрон плутонийдың бір атомын жасады десек, онда жоғарыда айтылған котёлде бір секундте $6 \cdot 10^{16}$ плутоний атомы, яғни 24 микрограмдай[2]) плутоний жасалады, сонда бір сөткеде 2 *г* дай плутоний жасалады.

Кейінгі кезде жасалған қуатты котёлдер плутоний 1 килограмға дейін (бәлки одан да көп мөлшерде) шығарады.

Оқтын-оқтын уран стерженьді котёлден алып химиялық тәсілмен тазалап отырады; себебі бөліну кезінде онда плутоний және басқа элементтер пайда болады.

Химиялық тазалаудан қалған ураннан жаңадан стержень жасап, оны қайтадан котёлге орналастырады да бұдан былайғы бөлінуде пайдаланылады.

Котёлден алынған уран стерженьдер интенсивті радиоактивті сәулеленудің көзі болады.

Оларды тазалау жұмысын олардан алыста тұрып орындайды. Мұндай жерде жұмыс істейтін адамдар радиоактивті сәулеленуді өткізбейтін қалың экрандармен қорғалуы тиіс;

Сондай-ақ котёлдегі операциялардың барлығыда автоматты түрде немесе алыстан орындалады.

260. Атом энергиясын іс жүзінде пайдалану. Ядролық бөлінуде қандай орасан зор энергия босанатындығы жоғарыда көрсетілген еді. Егер мұндай бөлінуді баяулатсақ, онда оның қопарылғыштық характерін жоғалтып, оны техникалық мақсаттарға пайдалануға болады.

Ең әуелі атом энергиясы жылу формасында бөлініп шығады. Бұл жылуды жылу электроцентральдарының жұмысы үшін пайдалануға болады.

Жылу установкасінің пайдалы әсер коэфициенті қыздырғыш пен суытқыштың температураларының айырмасына байланысты екендігі бізге мәлім (II бөлім, § 136). Уран котёлі жоғары температура шығаруға мүмкіншілік береді; олай болса қыздырғыштық температурасын әжептәуір жоғары көтеріп, установканың п. ә. к. арттыруға болады.

Атом энергиясын пайдаланатын жылу централының қалыпты жылу централынан ерекше артықшылығының бірі, ол энергия беретін затты өте аз керек етеді: 1 *г* уран 22 000 *квт-сағ.* энергия береді, ал осы энергияны ендіру үшін 2,5 *т* тас көмір жағу керек.

---

[1]) $1\,800\,000 \cdot 10^{7}$ эрг : $1{,}6 \cdot 10^{-2} = 11{,}2 \cdot 10^{24}$ *MeV* $= 11{,}2 \cdot 10^{18}$ *MeV*.

[2]) 1 атом массасының өлшемі $1{,}66 \cdot 10^{-24}$ сәйкес келеді, сонда $1{,}66 \cdot 10^{-24} \cdot 239 \cdot 6 \cdot 10^{16} = 24 \cdot 10^{-6} г = 24$ микрограмм.

Мұндай жылу станциялар салуының әзіргі қолайсыздығы, радиоактивті сәулеленуден қорғау үшін оларды өте үлкен құралдармен жабдықтау және уран стерженьдерді химиялық тәсілдермен тазалайтын заводтармен қосу керек болатындығы.

Қалайда болса, атом энергиясын пайдалану турасындағы мәселені шешу ғылым мен техниканың алдына жемісті перспективалар ашып отыр; енді бұл мәселе жөнінде ғылми техникалық ойдың қандай шыңға жететіндігін алдын-ала айту қыйын.

Бірақ атом энергиясын техниканы шексіз дамыту үшін және адамның еңбегін жеңілдету үшін пайдалану, еркін еңбек үстем болған, негізгі мақсаты барлық халықтың тұрмысын жақсарту болып табылатын, социалистік елдерде ғана іс жүзіне асады.

Капиталистік елдердегі капиталис-монополистер, еңбекші халықты қанау арқылы бас байлықтарын арттыра беруге тырысады. Капиталистер ең алдымен атом энергиясын жалпалам халықты қыратын атом бомбасын жасауға, сол бомба арқылы бостаншылықты сүйетін халықтарды қорқытып, оларды өздеріне қызмет істеуге қолданды. Бірақ, атом бомбасымен қорқытып жер жүзіне қожалығын орнатпақ болған капиталистердің арам ниеттері іске аспақшы емес.

Совет Одағының ғалымдары, бүкіл жер жүзіндегі еңбекші халықтардың көсемі Сталин жолдастың нұсқауын орындай отырып, атомдық құралдың құпиясын монопольдық меңгеруді әшкереледі. Совет Одағы өзінің атомдық құралын жасап алса да, бұрынғыдай атом құралын қолдануға жол бермеу позициясын сақтап қалуда.

261. Бөлінетін элементтердің табиғаттағы зонасы. Ядросы тізбекті процеспен бөлінетін негізгі элемент — уран. Ураның жер бетіндегі мөлшері жөнінде, оның тобындағы радиоактивті заттардың шамасы бойынша айтуға болады. 303-суреттің таблицасынан бұл топтың жетінші орнында, радий жіктелгенде атмосфераға шығатын, оның жіктелу продуктысы радон газы тұратынын көреміз.

Радонның атмосферадағы мөлшерін, электрлік әсері бойынша оңай есептеп табуға болады.

Радонның мөлшерін анықтағаннан кейін, оның қандай мөлшерлі элементтен — радийдан шыққандығын есептеп табуға болады. Бұл есептеу радийдың ең аз мөлшері 100 000 *кг* екендігін көрсетеді.

Осы тәсілмен ураның да мөлшерін есептеп табуға болады. Оның жер бетіндегі запасы 300 миллион тонна шамасында.

Зерттеулер, мұнымен қатар, нейтронның әсерінен ураннан басқа периодтық системаның ең ақырғы элементінің алдындағы екі элементтің де (90-элемент торий және 91-элемент протактиний) бөлінетіндігін көрсетеді. Торий бөлінгенде тізбекті реакция тумайды. Протактий бөлінгенде тізбекті реакция оңай пайда болады.

Бірақ бұл элементтің жер бетіндегі мөлшері аз, ал оны химиялық тәсілмен табу өте күрделі және радийға қарағанда қымбатқа түседі.

Орыс ғалымдары Флёров пен Петржак, ураның бөлінуі нейтронның әсерінсіз өздігінен болатындығын анықтады. Бірақ уранның өздігінен жіктелуі өте жай болатын процесс.

Бұл мәселе жөнінде теория практикадан озып отыр және массасы 110 атомдық саннан артық болатын басқа элементтердің де (мысалы қоладан бастап) ядроларының бөлінуінен ішкі атомдық энергия босануының мүмкін екендігін алдын ала болжап айтып отыр.

Біздің заманымыз — адам баласы өміріндегі жаңа дәуірдің атып келе жатқан таңы, жер бетіндегі энергия көзі таусылады деп хауыптенуді жоққа шығарып, болашақ үрімбұтақтың өмірі бұданда қызықты болатынына сенімді зорайтатын, адам баласы пайдаланатын жаңа энергияның сарқылмас көзі табылған дәуір.

Әдебиет. Аглинцев К. К. проф. Очерки по физике атомного ядра. Гинзбург В. Л. Атомное ядро и его энергия. Зайдель А. Н. Загадка атома. Корсунский М. И. Атомное ядро, Огиз. Гос. изд. тех.-теор. лит. 1949, 308 стр. 50 рис., XXVII илл. Бертело Андре, От атома к атомной энергии, француз тілінен аударылған. Гос. изд. иностр. лит., 1948, 206 стр., 33 рис., 22 фото.

МАЗМҰНЫ.

Беті.

ЭЛЕКТР.

Кіріcу 3

I. Электр өрісі.

1. Үйкеу арқылы электрлеу 3
2. Үйкеліскен екі дененің бірден электрленуі 4
3. Зарядталған денеге тиістіру арқылы электрлеу 5
4. Электр өткізгіштік . . . . . —
5. Электрленген денелердің өзара әсері. Электроскоп 6
6. Электрленген денелердің өзара әсері үшін Кулон заңы 7
7. *CGS* системасында электр мөлшерінің электростатикалық өлшемі . . . 8
8. Электрон теориясы және үйкеліспен электрлеуді түсіндіру 9
9. Өткізбейтін денеде және изоляцияланған өткізгіште электрдің таралуы 10
10. Электр тығыздығы 11
11. Электр өрісі. Қернеулік. Күш сызықтар 12
12. Потенциал 14
13. Потенциалдар айырмасының өлшемдері 16
14. Нүктелік зарядпен жасалған өрістің бірдей потенциал беттері . . . 17
15. Эквипотенциал беттердің арасындағы зарядтың орын ауыстырудағы жұмысы . . . . . —
16. Кезкелген зарядтардың өрісіндегі эквипотенциал беттер 18
17. Электрометр . . . . . —
18. Нольдік потенциалдың беті 19
19. Электрдің бір өткізгіштен екінші өткізгішке ауысуы олардың потенциалдарына байланысты 20
20. Электростатикалық индукция . . . . . —
21. Индукция құбылысынан туатын салдар 24
22. Электрофор 25
23. Электр машинасы 26
23а. Пьезоэлектр. Пироэлектр 28
24. Электр сыйымдылық 29
25. Электр сыйымдылықтың өлшемі . . . . . —
26. Өткізгіштің электр сыйымдылығы басқа өткізгіштердің көршілестігіне тәуелді 30
27. Конденсатор 31
28. Конденсаторлар батареясы 33
29. Электрометрді градуирлеу 34

II. Электр тогының заңдары.

30. Электр тогы туралы ұғым 36
31. Электрлеудің химиялық тәсілі 38
32. Токтың химиялық көздері 40
33. Электр тізбегі және токтың бағыты 42
34. Ток күші . . . . . —
35. Ток күшінің өлшемдері 43
36. Тізбектің барлық қыймаларында ток күшінің тұрақтылығы . . . . . —
37. Өткізгіштің кедергісі . . . . . —
38. Өткізгіш кедергісінің заңы 44
39. Заттың меншікті кедергісі 45
40. Өткізгіш кедергісінің формуласы 46
41. Асқын өткізгіштік 47
42. Электр өткізгіштіктің жылу өткізгіштікпен байланысы 48
43. Ток көзінің ішкі кедергісі . . . . . —
44. Реостаттар 49
45. Ом заңы 50
46. Тізбектің түрлі учаскелеріне кернеудің бөлінуі 53
47. Өткізгіштерді тізбектеп қосу 56
48. Өткізгіштерді параллель қосу 57
49. Параллель өткізгіштер арасында токтың бөлінуі 59
50. Лампалы реостат 61
51. Батарея 62
52. Батареяның ішкі кедергісі . . . . . —
53. Батареяның ЭҚК 63
54. Элементтерді батареяға ең тиімді түрде қосу . . . . . —
55. Уитстон көпірімен кедергіні табу 65
56. Токтың энергиясы және қуаты 67
57. Электр энергиясының жылу энергиясына айналуы 68
58. Лабораториялық жұмыс № 1. Токтың жылу әсерінің жылу тәжрибеден қорыту . . . . . —
59. Токтың жылу әсері үшін Джоуль-Ленц заңы 69
60. Лабораториялық жұмыс № 2. Электр энергиясының жылу эквивалентін анықтау 71
61. Жылулық ампер-вольтметрлер 72
62. Термоэлектр . . . . . —
63. Термоэлектрлік термометр 74
64. Вольт доғасы 75
65. Электр пештері 78
66. Доғалы пештер . . . . . —
67. Электрмен пісіру 69
68. Кедергілі электр термометрлері 80

III. Магнит өрісі.

69. Токтың магнит әсері 82
70. Тұрақты магниттердің негізгі қасиеттері . . . . . —
71. Полюстердің өзара әсері үшін Кулон заңы 84
72. Магниттік массаның өлшемі 85
73. Магнит өрісі. Өрістің кернеулігі 86
74. Магнит өрісінің күш сызықтары . . . . . —
75. Магнит индукциясы 89
76. Магнит өрісі мен электр өрісінің күш сызықтарын салыстыру . . 91
77. Жер магнетизмі 92
78. Магнит аномалиялары 94
79. Эрстед тәжрибесі 95
80. Токтың магнит өрісі 96
81. Электромагнит 98
81а. Микрофон мен телефон 99

82. Магнит өрісінің жылжымалы токқа ететін әсері, Флемминг ережесі 101
83. Токтардың өзара әсері 103
84. Магнетизмнің пайда болуы жөнінде Ампердің гипотезасы . . . 104
84а. Парамагнитті, диамагнитті және ферромагнитті денелер . . . 105
85. Электр өлшеуіш приборлар 107

IV. Электр тогының сұйықтар мен газдар арқылы өтуі.

86. Электр тогының сұйықтардан өтуі 111
87. Электролиз кезіндегі екінші реттік реакциялар 113
88. Лабораториялық жұмыс № 3. Электролиз заңдарын тексеру . . 115
89. Электролиз үшін Фарадей заңдары 116
90. Электрон зарядының Кулонмен есептелген сан мәні 117
91. Элементтердің поляризациясы 119
92. Поляризацияланбайтын элементтер 120
93. Электродтардың поляризациясы 122
94. Аккумуляторлар 123
95. Аккумуляторлардың сыйымдылығы 124
96. Аккумулятордың пайдалы әсер коэфициенті 125
97. Аккумулятордың жұмсалуы . . . . . —
98. Электролиздың техникалық қолданылуы 126
99. Электрометаллургия 128
99а. Металдардың коррозиясы 129
100. Газдың электр өткізгіштігі 130
101. Газдағы ток күшімен потенциялдар айырмасы арасындағы байланыс 132
102. Соққымен иондалу 133
103. Атмосфера қысымында болатын газдардағы разряд 134
104. Найзағай 136
105. Сиретілген газдардағы разряд . . . . . —
106. Катод сәулелері 137
107. Анод сәулелері 139
108. Термоэлектрондық ток . . . . . —

V. Электромагниттік индукция.

109. Индукцияның ЭҚК-нің шығу шарты мен шамасы 142
109а. Токты токпен индукциялау 145
110. Индукциялық токтың бағыты үшін Флемминг ережесі 146
111. Лабораториялық жұмыс № 4. Токтардың индукция заңдарын шығару 147
112. Электромагнит индукциясы үшін Ленц ережесі 149
113. Тұтас денелердегі индукция 151
114. Өздік индукция (самоиндукция) 152
115. Индукциялық генератор 155
116. Лабораториялық жұмыс № 5. Бір текті магнит өрісінде айналып тұратын сымның орамдарындағы индукция токтарын бақылау . . . 156
117. Токтың якорьда индукциялануы . . . . . —
118. Якорь 158
119. Айнымалы токтың генераторлары 159
120. Тұрақты токтың машиналары 160
121. Динамомашиналар 161
122. Динамомашиналардың пайдалы әсер коэфициенті 163
123. Көп полюсті машиналар 164
124. Магнето . . . . . —
125. Электромоторлар 166
126. Тұрақты токтың электромоторы 167
127. Мотор якорінің айналу бағытын өзгерту 168
128. Электромоторлардың пайдалы әсер коэфициенті 169

VI. Айнымалы электр тогы

129. Орам бір текті магнит өрісінде айналғанда ЭҚК-тің синусоидалық өзгеруі 169
130. Электр энергиясын алысқа жеткізу 171
131. Айнымалы токтың трансформаторы 172
132. Отанымызды электрификациялау 174
133. Днепр гидростанциясы 180
134. Румкорфтың индукциялық катушкасы 182

VII. Электромагниттік тербелістер.

135. Жиілігі жоғары токтар 184
136. Ұшқынды разряд — жиілігі жоғары токтардың көзі 185
137. Жоғары кернеулі батареядан тербелістер шығарып алу 186
138. Катодты осциллограф . . . . . —
139. Тербелмелі контур 188
140. Тербеліс периоды 190
141. Өшер және өшпес тербелістер 191
142. Сәуле шығару 192
143. Электромагниттік толқындар 195
144. Радиостанция 196
145. Резонанс 197
146. Радиоприемник 200
147. Детектор 201
148. Радиотелефон 202
149. Ең жабайы радиопередатчик 204
150. Лабораториялық жұмыс № 5а. Радиоприемникті құрастыру және оны күйлеу . . . . . —
151. Электрон лампасы 206
152. Үш электродты электрон лампасы (триод) . . . . . —
153. Катод лампасы тербелісті күшейткіш есебінде 207
154. Ең жабайы бірлампалы приемник 208
155. Электрон лампасы генератор есебінде 209
156. Қысқа толқындар 210
157. Радиотолқындардың қолданылуы 217

ОПТИКА.

Кіріcу 217

I. Жарықтың таралуы.

158. Жарықтың біртекті ортада тарауы 217
159. Екі турлі ортаның шекарасындағы жарық құбылыстары . . . 218
160. Жазық айнадағы кескін 219
161. Лабораториялық жұмыс № 6. Жарықтың сыну заңдарын зерттеу . 220
162. Жарықтың сыну заңдары 221
163. Толық ішкі шағылысу 223
164. Жақтары параллель пластинкадан өткендегі сәуленің жолы . . 225
165. Призмадан өткен сәуленің жолы 226
166. Жарықтың жылдамдығы. 227
167. Жарық көздері 229
168. Халықаралық шам. Люмен 230
169. Жарықтылық 231
170. Жарықтылық өлшемі және жарықтылық формуласы 233
171. Жарық көзінің күшін өлшеу 235
172. Фотометр . . . . . —

173. Лабораториялық жұмыс № 7. Екі жарық көзінің жарық күшін салыстыру 236
174. Жарық сәулелерінің жолын басқару 237
175. Сфералық айнаның формуласы . . . . . —
176. Ойыс айнадағы кескінді салу 239
177. Сфералық шынылар 240
178. Линзаның формуласы 242
179. Кескінді үлкейту 243
180. Нәрсенің линзадан қашықтығы әртүрлі болғандағы линзадағы кескін. 244
181. Лабораториялық жұмыс № 8. Тәжрибемен линзалардың қасиетін зерттеу 247
182. Линзаның оптикалық күші . . . . . —
183. Проекция фонары 249
184. Фотография аппараты 250
185. Суретті дайындау 251
186. Кинематограф 252
187. Сфералық аберрация 253
188. Хроматикалық аберрация . . . . . —
189. Көз — оптикалық аппарат 255
190. Жақыннан көргіштік және алыстан көргіштік 256
191. Анық көрудің шарты. Көру (қарау) бұрышы 257
192. Екі көзбен қарау 258
193. Нәрселердің шамасы және қашықтығы туралы талқылау . . . 259
194. Көру әсерінің ұзақтығы . . . . . —
195. Көздің талуы 260
196. Әртүрлі түстерді қабылдау . . . . . —
197. Әртүрлі түстерге көздің сезгіштігі . . . . . —
198. Түстен талығу . . . . . —
199. Иррадиация 261
200. Оптикалық приборлардың жұмсалатын орны . . . . . —
201. Микроскоп 262
202. Телескоп . . . . . —

II. Жарықтың жаратылысы.

203. Жарықтың интерференциясы 267
204. Жарық толқыны. Сәуле 268
205. Жарықтың интерференциясын түсіндіру . . . . . —
206. Жарықтың поляризациясы 270
207. Жарықтың сынудағы поляризациясы 272
208. Гюйгенс принципі . . . . . —
209. Жарықтың шағылысуы мен сынуын толқын теориясымен түсіндіру 273
210. Жарықтың түзу сызықпен тарауын толқын теориясымен түсіндіру. 274
211. Жарықтың дифракциясы 275
212. Дифракция арқылы жарық толқынының ұзындығын өлшеу . . . 277
213. Ақ сәуленің екі ортаның шекарасындағы дисперсиясы 279
214. Спектр сәулесінің әрқайсысы — жабайы. 280
215. Ақ жарықтың синтезі . . . . . —
216. Толықтырғыш түстер 281
217. Спектрлік түстерді құрау 283
218. Қызған заттардан шығатын көрінбейтін сәулелер 284
219. Шығару спектрлерінің типтері 286
220. Сәулеленудің температураға байланысы 288
221. Температураға қарап сәулеленудің өзгеруі . . . . . —
222. Көрінбейтін сәулеленудің орталарда тарауы 289
223. Дененің мөлдірлігі 291
224. Бояуларды араластыру 392
225. Қызған будың сәулелерді сіңіру спектрі . . . . . —
226. Сіңіру және шығару спектрі үшін Кирхгофтың заңы 293
227. Спектр анализі 345

228. Күннің және басқа шырақтардың спектрі 294
229. Рентген сәулелері 295
230. Рентген трубкасының құрылысы 297
231. Сәуле энергиясының энергияның басқа формаларына айналуы . . 300
232. Жарық кванты туралы ұғым 304
233. Жарық теорияларының шолуы 306
234. Электромагнит тербелістерінің шолуы 308

АТОМНЫҢ ҚҰРЫЛЫСЫ.

235. Атомның күрделі құрылысының анықталуы 310
236. Спинтарископ. Вильсон камерасы 312
237. Атомның ядролық құрылысы 314
238. Сызықша спектордың құрылысы 316
239. Сутегі атомының электрондық қабықшасы 317
240. Кезкелген элементтің атомдарының электрондық қабықшалары . . 318
241. Атомның энергетикалық деңгейлері 319
242. Радиоактивтік 320
243. Радиоактивті сәулеленудің құрамы 322
244. Альфа-сәулелердің қасиеттері . . . . . —
245. Бета-сәулелердің қасиеттері 224
246. Гамма сәулелердің қасиеттері . . . . . —
247. Радиоактивті элементтердің жарты жіктелуінің периоды . . . . . —
248. Радиоактивті элементтердің түрленуі 325
249. Атом ядросының құрылысы 327
250. Жасанды радиоактивтік 330
251. Жасанды радиоактивті заттарды қолдану . . . . . —
252. Атом ядросының энергиясы 331
253. Атомдық энергияны босату 332
254. Уран ядросының бөлінуі 333
255. Уран бөлінгендегі тізбекті реакция . . . . . —
256. Тізбекті реакцияға бөгет болатын себептер 334
257. Жаңа элементтер шығару 335
258. Ядролық қопарылыс 336
259. Урандық котёл 337
260. Атом энергиясын іс жүзінде пайдалану 338
261. Бөлінетін элементтердің табиғаттағы зонасы 339

9360

КССР Ғылым Академиясы
Центральная
научная
библиотека
Академия Наук КазССР

И. И. СОКОЛОВ

КУРС ФИЗИКИ

Ч. III.

5-е издание

Учебник для 10 класса средней школы
(На казахском языке)

Казахское Государственное Учебно-Педагогическое издательство
Алма-Ата — 1951

Редактор *А. Собалаков*
Тех. ред. *Юровский М. Н.*
Корректор *Ш. Бекеева*

Подписано к печати 4/V 1951 г. УГ02423. Издательский № 44. Объем 21,75 п. л.
Уч, авторских 24,238. Бумажных 10,88 формат бумаги 60×92.
Тираж 5 000 экз. Цена 6 руб. 25 коп.

г. Алма-Ата, Полиграфкомбинат Казполиграфиздата при Совете Министров КазССР. Заказ № 481.